

CONTENTS

調査・研究報告	<ul style="list-style-type: none"> ■ 転圧コンクリート、ポーラスコンクリート、舗装補修用材料に関する実験的研究…………… 鈴木 徹 …… 1 ■ 不飽和浸透特性を考慮した透水性性能評価に関する研究…………… 森石一志 …… 9
工事報告	<ul style="list-style-type: none"> ■ 橋脚耐震補強工事の施工事例…………… 高辻慎也・阿部友昭・佐々木寿彦 …… 16 ■ オートサーキット工事の技術提案と創意工夫事例…………… 宮本耕一・佐藤正英 …… 20 ■ 高度技術・創意工夫により工期短縮を実現した工事の施工報告…………… 古川聡哉・長井伸芳・有賀 真 …… 23 ■ 密粒度アスファルト舗装上の遮熱型熱環境改善舗装 (IRガード) の施工報告…………… 谷口明偉 …… 27 ■ 吸水変色型マットによるコンクリート舗装の養生と管理方法…………… 友瀧康平・青木一生・比良 仁 …… 31 ■ 舗装の平たん性と情報化施工機材について…………… 浦邊 寛・芳賀雅啓 …… 34 ■ ポーラスアスファルト舗装充填用セメントミルク (ハイシールパウダー-J)…………… 尾崎浩司・鈴木 徹 …… 38 ■ 高速道路における振動タイヤローラを用いた…………… 佐々木 涼・中谷文信・石黒修一 …… 42 砕石マッシュク混合物 (SMA) の施工事例 ■ 橋面部における既設基層混合物のはく離対策について…………… 江崎隆夫・大森吏康・山崎秀仁・渡邊敬介 …… 46 ■ 公園改修工事における施工報告…………… 後藤義宏・吉田裕興・鬼村竜太郎 …… 50 ■ 大規模商業施設における揚水型熱環境改善舗装 (打ち水ロード) の施工方法…………… 山下千秋 …… 54
機械の紹介	<ul style="list-style-type: none"> ■ サイドフィーダの導入、施工事例…………… 細見耕平 …… 58
社外発表論文	<ul style="list-style-type: none"> ■ 架設時に静止土圧を考慮した石造アーチ橋の軸力線 (土木学会第64回年次学術講演会)…………… 樋口竜也 …… 64 ■ 振動ローラの加速度応答を利用した舗装工事の剛性評価 (土木学会第64回年次学術講演会)…………… 小関裕二・高倉 拡 …… 66 ■ 開粒度アスファルト混合物の層厚が透水性性能に与える影響 (土木学会第64回年次学術講演会)…………… 森石一志・小関裕二 …… 68 ■ 橋梁部の高機能舗装 (伸縮装置1m区間) に適用するセメントミルクについて…………… 尾崎浩司・稲葉行則・鈴木 徹 …… 70 (土木学会第64回年次学術講演会) ■ 土質遮水材とアスファルト混合物を組み合わせた多層遮水構造に関する研究 5…………… 堀 浩明 …… 72 (土木学会第64回年次学術講演会) ■ リン酸カルシウム塩を用いたフッ素汚染土原位置不溶化試験施工 (第28回日本道路会議)…………… 堀 浩明 …… 74 ■ 凍結抑制効果を持つ低騒音舗装の供用性について (第28回日本道路会議)…………… 藤林省吾・辻森和美・荒木 誠 …… 76 ■ 揚水性ブロック舗装の大規模商業施設への活用 (第28回日本道路会議)…………… 嶋崎明代・安藤宏明 …… 78 ■ 透水性舗装の粒状路盤材が雨水流出抑制性能に及ぼす影響 (第28回日本道路会議)…………… 森石一志 …… 80 ■ 土系舗装における保水性の評価 (第28回日本道路会議)…………… 小嶋 匠・藤田義憲 …… 82 ■ 排水性舗装から排水性舗装へー表基層混在骨材を排水性舗装用骨材としてー…………… 荒木 誠 …… 84 (第28回日本道路会議) ■ 赤外線ヒータを利用したタイヤ加熱装置の開発 (第28回日本道路会議)…………… 浜谷 昭・北山光男 …… 86 ■ セメント系ポットホール用補修材の適用性と耐久性評価 (第28回日本道路会議)…………… 辻森和美 …… 88 ■ 鋼床版上におけるSFRC舗装の施工事例 (第28回日本道路会議)…………… 石黒修一・佐藤和彦 …… 90 ■ αシステムの舗装施工管理への適用について (第28回日本道路会議)…………… 高倉 拡 …… 92 ■ アスファルト混合物の施工時におけるレジリエントモデュラス (第28回日本道路会議)…………… 小関裕二・高倉 拡 …… 94 ■ ポーラスアスファルト舗装充填用セメントミルクについて (第28回日本道路会議)…………… 尾崎浩司・鈴木 徹 …… 96 ■ 湿潤路面時の事故多発箇所における路面のすべり抵抗向上対策とその効果…………… 高橋 省・北岡善文 …… 98 (第28回日本道路会議) ■ 凍結抑制機能の付与を目的としたゴム粒子散布接着工法の開発…………… 東本 崇・鈴木 徹・船井俊孝 …… 100 (第28回日本道路会議) ■ 道路埋設小口径管路の内径計測ロボットの開発 (第28回日本道路会議)…………… 千田 尚 …… 102 ■ 凍結抑制機能の付与を目的としたゴム粒子散布接着工法 (ラバーバック) の開発…………… 東本 崇・鈴木 徹・船井俊孝 …… 104 (平成21年「建設技術報告会」) ■ 緑化舗装の改良とその効果 (土木建設技術発表会2009)…………… 光谷修平 …… 108 ■ Experimental study on change in mechanical and hydraulic characteristics…………… 森石一志・小関裕二 …… 115 of granular sub-base course of permeable pavements (第13回REAAA会議) ■ リン酸カルシウムのナノ表面反応を利用したフッ素等汚染土の不溶化技術…………… 澤田昭吾・堀 浩明 …… 126 (月刊基礎工) ■ 粒状路盤材が透水性舗装の透水性および耐久性に及ぼす影響…………… 森石一志・小関裕二 …… 129 (土木学会舗装工学論文集第14巻) ■ 振動ローラの加速度応答を利用した舗装工事の品質管理に関する研究…………… 小関裕二・牛袋昭宣・高倉 拡 …… 137 (土木学会舗装工学論文集第14巻)

企 業 理 念

豊かな生活環境の創造に向けて
地域社会と共に歩み
人間尊重の経営を行います

経 営 規 範

- ① 人々の期待に応え
時代を先取りした技術力により
新たな価値を創ります
- ② 創造力豊かな人を育て
柔軟な組織のもとで
生き生きとした職場を創ります
- ③ 良き企業市民として
社会と文化の発展に寄与します

行 動 規 範

- ① 高める能力
 - ② 豊かに発想
 - ③ たゆまぬ挑戦
 - ④ ひろげる理解
- そして良き市民、良き国際人

コンプライアンスを経営姿勢とする
私たちの「方針」

安 全 衛 生

私達は人間尊重の経営をもとに
安全衛生水準の向上を図ります

- ① 労働安全衛生
マネジメントシステムの
適切な実施・運用
- ② リスクアセスメントの
確実な実施

品 質

私達は確かなものづくりにより
顧客・社会からの信頼に応えます

- ① 顧客・社会からの
要求に対する迅速な対応
- ② 人材育成及び
業務の継続的改善に努め
確かな技術を製品に反映

環 境

私達は地球や地域を汚染から守るため
環境経営に取り組みます

- ① 「もったいない」
気持ちを大切に
資源の有効利用
- ② 当社の環境技術により
住みたい街づくりに貢献

技術報 No.39 TECHNICAL BULLETIN

平成23年3月31日発行

発行者 大林道路株式会社エンジニアリング部

発行所 大林道路株式会社
東京都墨田区堤通1-19-9
TEL 03-3618-6508

印刷所 有限会社中央美版
さいたま市浦和区高砂4-1-1
TEL 048-861-1613



OBAYASHI
ROAD

大林道路株式会社

本店	〒131-8540	東京都墨田区堤通1-19-9	☎03(3618)6508
技術研究所	〒204-0011	東京都清瀬市下清戸4-640	☎042(495)6800
機械センター	〒346-0035	埼玉県久喜市清久町6-5	☎0480(23)6100
北海道支店	〒060-0001	札幌市中央区北一条西2-9オーク札幌ビル内	☎011(241)1828
東北支店	〒980-0014	仙台市青葉区本町2-5-1オーク仙台ビル内	☎022(225)4437
北信越支店	〒950-0914	新潟市中央区紫竹山1-5-6	☎025(243)6807
関東支店	〒101-0052	東京都千代田区神田小川町3-20第2龍名館ビル内	☎03(3296)6680
中部支店	〒460-0002	名古屋市中区丸の内2-18-25丸の内KSビル内	☎052(222)5161
大阪支店	〒530-0047	大阪市北区西天満1-2-5大阪JAビル内	☎06(6360)7103
中国支店	〒730-0051	広島市中区大手町4-1-1大手町平和ビル内	☎082(243)1966
四国支店	〒760-0007	高松市中央町11-11高松大林ビル内	☎087(833)3729
九州支店	〒812-0011	福岡市博多区博多駅前3-2-1日本生命博多駅前ビル内	☎092(432)0884

全国各地営業所

稚内・道北・道央・道東・小樽・苫小牧・函館・青森・岩手・秋田・宮城・山形・福島
新潟・栃木・群馬・茨城・東京第1・埼玉・八潮・東京第2・港・千葉・横浜・多摩・長野
北陸・高山・静岡・浜松・尾張・三河・南部・三重・京滋・京都・奈良・北摂・大阪北
大阪中央・堺・大阪南・兵庫西・姫路・兵庫東・備前・岡山・福山・広島・山口
米子・松江・西山口・香川・徳島・愛媛・高知・福岡・佐賀・大分・熊本・鹿児島
沖縄

転圧コンクリート、ポーラスコンクリート、 舗装補修用材料に関する実験的研究

鈴木 徹*

はじめに

舗装にはいろいろな気象条件下で自動車荷重等の外力が直接作用する。このため、平たんな路面を維持するための高い耐久性が求められる。また、近年おける舗装に対する社会的なニーズは、自動車騒音の低減や路面滞水の抑制など、より高度な性能を求めるものとなっている。さらに、道路予算の削減に伴い、舗装の更新を先延ばしにできる適切な補修方法も求められている。

本稿では、舗装に対するこれらの要件に鑑みて筆者らが取り組んだ、①高い耐久性を実現する「鋼繊維補強舗装用転圧コンクリート」、②透水機能や騒音低減効果を付加した「ポーラスコンクリート」、③舗装の破損の恒久的な補修を目指した「常温硬化型路面補修材」に関する施工前および施工後の品質を評価し、性能向上の有無を明らかにする研究の概要を紹介するものである。

1. 研究の背景と目的

世界の舗装は、僅かに石貼りや樹脂などを用いたものもあるが、おおむねセメントコンクリートを用いるコンクリート系の舗装と、アスファルトを用いるアス

ファルト系の舗装に大別される。また、その技術は自動車交通量など道路の供用条件、あるいは道路建設に要することができる時間や費用など施工条件に応じて、種々の改良が加えられ図-1に示すような変遷を遂げてきた。

技術の変遷を1980年代後半に着目し、目的から3つに分類すると①耐久性（あるいは強度）の向上、②環境負荷を低減する性能の付加、③合理的な補修材料の開発、となる。「舗装の構造に関する技術基準：国土交通省」では、舗装に安全かつ円滑な交通を確保することができる構造と、環境への負荷を軽減するよう努めることを求め、そのための性能指標を示している。※舗装の技術用語として「機能」と「性能」の使い分けについて、本論では、道路の目的または要求に応じて舗装が果たす役割を「機能」、上述「舗装の構造に関する技術基準」に示されるように「機能」する能力の優劣を一定の指標で評価した結果を「性能」として用いる。また、舗装の性能を、強度等で評価する「耐久性能」と環境負荷の低減効果等で評価する「付加性能」および例えばコンシステンシーやワーカビリティ等を指標として施工のし易さを評価する「施工性能」の3つに区分した。この場合、「耐久性能」と「付加性能」は、所定の「施工性能」を

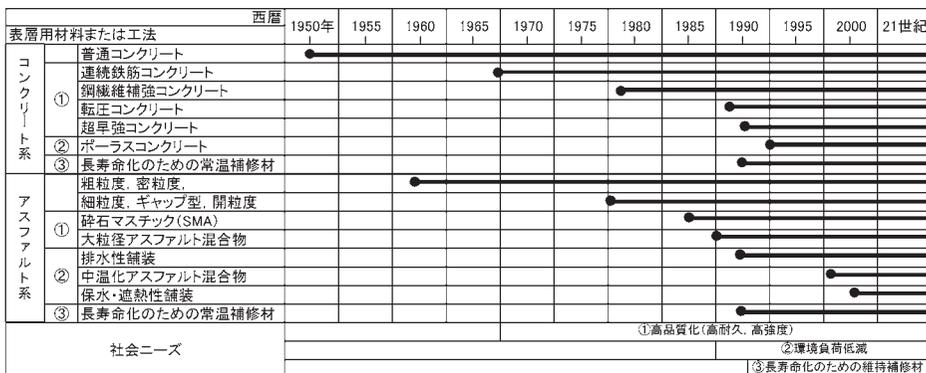


図-1 コンクリート系・アスファルト系舗装材の変遷

* 技術研究所材料研究室室長



前提に確保されるものである。

本論では図-1から①転圧コンクリート舗装、②ポラスコンクリート舗装および③常温補修材の3種類の表層用材料を選定し、その向上に関する研究を行った。

2. 耐久性能：鋼繊維補強転圧コンクリート

2-1 概要

一般にコンクリート舗装は、アスファルト舗装と比較して、耐久性能に勝る長所がある。反面、大規模な機械編成を要すること等、施工性能に劣る短所がある。鋼繊維補強コンクリートは、コンクリートに鋼繊維を混合することで耐久性能を高める技術である。また、転圧コンクリートは、硬練りのコンクリートを用いて、コンクリート舗装をアスファルト舗装並の機械編成で施工できるよう施工性能を改善する技術である。

本研究ではこの2つの技術を組み合わせた鋼繊維補強転圧コンクリートに関して、インデント加工 (Indentation；繊維の断面形状を周期的に変化) した鋼繊維と両端フック付きの鋼繊維の2種類について、それぞれ長さの異なるもの2種類の計4種類を使用した場合の性能を比較することで、以下の検討を行った。

- ①鋼繊維補強舗装用転圧コンクリートの配合の検討として単位水量と修正VC値の関係を求め、施工性能として所要のコンシステンシーが得られる単位水量および細骨材率を選定した。
- ②鋼繊維混入率を変化させて、所定のワーカビリティおよび強度が得られる鋼繊維混入率を選定した。
- ③高性能AE減水剤の添加に伴う単位水量の低減効果ならびにこれに伴う曲げ強度の変化を検討した。
- ④実際に施工する際に、プラントやアジテータから生コンクリートの状態で落下させることによる粗骨材および鋼繊維の材料分離の程度を明らかにした。
- ⑤表面振動機を使って締固めた場合と内部振動機を用いた場合の鋼繊維の配向角の違いを明らかにした。
- ⑥耐久性能の検討として、曲げ強度および曲げ靱性係数を求めて鋼繊維種別による違いを明らかにした。
- ⑦数年間供用して摩耗したアスファルト舗装面へのオーバーレイを想定して、実際に供用されたアスファルト舗装面との境界面での付着強度を求めた。
- ⑧耐久性能の検討として、補助AE剤の有無による凍結融解抵抗性の検討を行うとともに乾燥収縮ひずみの測定を行い、鋼繊維混入の効果を確認した。
- ⑨以上の研究結果を基に、早期交通開放可能な鋼繊維補強転圧コンクリートを開発するため、超早強性混和材を添加した超早強性鋼繊維補強舗装用転圧コン

クリートの若材齢での曲げ強度試験を実施し、超早強性混和材を混入することによる早期強度発現性を評価した。

- ⑩コンシステンシーと曲げ強度を指標として適切な鋼繊維量を設定すると共に、超早強性混和材添加量を変化させて測定した養生時間別の圧縮・曲げ強度から超早強鋼繊維補強転圧コンクリートの交通開放時間の短縮について検討した。図-2に研究範囲を示す。

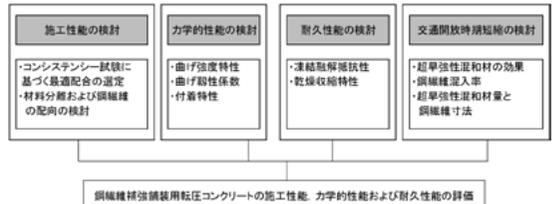


図-2 鋼繊維補強舗装用転圧コンクリートの施工性、力学性能および耐久性能の評価に関する研究範囲

2-2 結果

実施した鋼繊維補強転圧コンクリートの実験結果の内表-1に示す形状および寸法の4種類の鋼繊維を使用

表-1 鋼繊維の比重、寸法、アスペクト比

鋼繊維種別の記号	密度 (g/cm ³)	寸法(mm)		アスペクト比	形状
		直径	長さ		
I-1	7.85	0.7	50.0	71	インデント加工
I-2		0.6	30.0	50	
F-1		0.8	60.0	75	両端フック付き
F-2		0.6	30.0	50	

表-2 検討配合

No.	修正VC値 (秒)	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	Fiber (%)	単位量(kg/m ³)						Fiber Type	
						W	C	S	G	Fiber	Ad ¹		Ad ²
1	38~82	2.3~3.5	37.0~41.2	41.8	1.0	107	119	289	845	858	1238	92	F-2
2	21~62	1.7~3.4	39.8~43.9	41.0	1.0	115	129	289	821	842	1191	1222	F-2
3	50~273	0.8~6.1	39.8	30~80	1.0	115	289	597	1203	843	1476	79	F-2, I-1, I-2
4	21~285	2.8~3.9	39.8	40.0	0~1.5	115	289	791	806	1256	1281	0~118	F-2
5	48~53	2.4~3.4	38.3~38.0	40.0	1.0	99	104	289	817	822	1298	1268	F-1, I-5~I-9
6	45~51	1.8~3.1	33.8~41.9	40.0	1.0	115	121	289	756	739	1256	1268	F-1
7	46~54	2.6~3.8	38.8~40.8	40.0	1.0	112	115	289	798	802	1266	1270	F-1, I-2
8	45~49	3.0~4.3	38.1~40.1	40.0	1.0	110	118	289	785	804	1263	1273	F-1, I-2
9	45~53	1.0~4.5	33.8~41.4	40.0	1.0	104	111	289	808	810	1271	1282	F-1, I-2

*1~4: AE減水剤使用, 5~9: 高性能AE減水剤

No.	修正VC値 (秒)	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	Fiber (%)	単位量(kg/m ³)						Fiber Type
						W	C	S	G	Fiber	Ad ¹	
1	53	2.3	37.0	40.0	-	107	289	811	1294	-	0.72	-
2	45	2.1	42.6	40.0	1.0	123	289	785	1252	79	0.72	F-1
3	51	2.7	40.5	40.0	1.0	117	289	785	1261	79	0.72	F-2
4	55	2.1	41.2	40.0	1.0	119	289	789	1258	79	0.72	F-1
5	47	2.8	39.4	40.0	1.0	114	289	784	1266	79	0.72	F-2
6	8*	4.2	40.0	45.0	1.0	185	463	892	892	79	0.14	F-2

*1~5: AE減水剤使用

No.	修正VC値 (秒)	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	Fiber (%)	単位量(kg/m ³)						Fiber Type	
						W	C	S	G	Fiber	Ad ¹		Ad ²
1	21~62	1.7~3.4	39.8~43.7	42.0	1.0	115	129	289	821	842	1191	1222	F-2
2	53	2.3	37.0	40.0	-	107	289	811	1294	-	0.72	-	
3	48	2.1	42.6	40.0	1.0	123	289	785	1252	79	0.72	I-1	
4	51	2.1	42.6	40.0	1.0	117	289	785	1261	79	0.72	F-2	
5	55	2.1	41.2	40.0	1.0	119	289	789	1258	79	0.72	F-1	
6	47	2.8	39.4	40.0	1.0	114	289	784	1266	79	0.72	F-2	

*1~5: AE減水剤使用

No.	修正VC値 (秒)	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	Fiber (%)	単位量(kg/m ³)						Fiber Type
						W	C	S	G	Fiber	Ad ¹	
1	53	2.3	37.0	40.0	-	107	289	811	1294	-	0.72	-
2	48	2.1	42.6	40.0	1.0	123	289	785	1252	79	0.72	I-1
3	55	2.1	41.2	40.0	1.0	119	289	789	1258	79	0.72	F-1
4	47	2.8	39.4	40.0	1.0	114	289	784	1266	79	0.72	F-2
5	53	3	38.3	40.0	-	105	289	818	1298	79	0.20(0.25)	-
7	45	3.5	40.8	40.0	1.0	118	289	783	1260	79	0.20(0.30)	F-1
8	49	4	39.8	40.0	1.0	115	289	786	1256	79	0.20(0.31)	I-2
9	48	3.5	40.5	40.0	1.0	117	289	784	1261	79	0.20(0.32)	F-1
10	52	3.7	38.8	40.0	1.0	112	289	789	1270	79	0.20(0.33)	F-2

*1~5: AE減水剤使用 6~10: AE減水剤不使用 ()内は補助AE剤使用

No.	W/C (%)	Fiber (%)	単位量(kg/m ³)						Fiber Type	
			W	C	S	G	Fiber	Ad ¹		Ad ²
1	40	-	115	269	789	1198	-	2.8*	-	-
2	40	-	115	275	823	1182	-	1.4	2.8*	-
3	40	0.5	115	275	792	1190	35	-	-	F-2
4	40	1.0	115	275	767	1182	79	14	2.9*	F-2
5	40	1.5	115	275	762	1174	118	-	-	F-2
6	42	1.0	122	275	739	1179	79	15	-	F-2
7	42	1.0	122	280	778	1158	79	30	2.9*	F-1
8	42	1.0	122	245	778	1156	79	45	-	F-1
9	40	1.0	116	275	785	1178	79	15	-	F-2
10	40	1.0	116	280	784	1178	79	30	2.9*	F-2
11	40	1.0	116	245	784	1176	79	45	-	F-2

*1: 高骨材比(水/セメント)超早強性混和材 *2: 超早強コンクリート用高性能AE減水剤 *3: 高骨材AE減水剤

用し、表-2に示す配合における諸特性を測定した結果を紹介する。

実験結果から、材料分離および鋼繊維の配向について以下の知見が得られた。

一般に舗装用転圧コンクリートの施工においては、モルタル分と粗骨材の材料分離に配慮を要する。舗装用転圧コンクリートに鋼繊維を混入することによって曲げ強度が向上することは予想されるが、このコンクリートの材料分離程度や締固め方法の違い、すなわち表面振動機を用いる場合と内部振動機を用いる場合における施工時の鋼繊維の配向状況の違いが明らかになっていない。

前述の4種類の鋼繊維を混入した舗装用転圧コンクリートをコンシステンシーが修正VC値50±5秒となる配合で粗骨材および鋼繊維の材料分離の程度を無混入の場合と比較した。さらに、表面振動機および内部振動機を用いて締固めた後のコンクリート中における鋼繊維の配向角を測定し、曲げ強度に及ぼす影響を明らかにした。

図-3に粗骨材および鋼繊維の材料分離の程度を使用した鋼繊維種別と比較した結果を示す。鋼繊維の材料分離の程度は、粗骨材のそれより小さく、混入率を増加させると粗骨材の材料分離の程度が小さくなる傾向が認められる。このことから鋼繊維の混入は、舗装版の施工時の品質に関しては有利に作用すると考えられる。

図-4に2種類のコンクリートの鋼繊維の配向角の分布を示す。コンシステンシーをスランプ試験で測定できる一般のコンクリート（有スランプコンクリートと称す）とスランプ試験の結果が0となる転圧コンクリートを比較すると、有スランプコンクリートは、31°以上、特に76~90°の範囲に多くの分布が認められ、その度数はかなり多く、平均配向角は約11°大きいことがわかった。この原因は、転圧コンクリートでは、打ち込み面から表面振動機により鉛直下方に締固めるために、加圧により鋼繊維が水平になりやすいが、有スランプコンクリートでは、内部振動機により締固めるとき、遠心力により水平方向の回転力が加わり、モルタル成分の流動によって鋼繊維の配向角が転圧コンクリートより大きくなったためと判断される。

図-5に前図に示したコンクリートの材齢28日における曲げ強度試験結果を示す。曲げ強度は、転圧コンクリートの方が有スランプコンクリートより約30%大きくなることからわかる。水セメント比はほぼ等しく、単位セメント量は、有スランプコンクリートの方が多いにも関わらず、転圧コンクリートの曲げ強度が大き

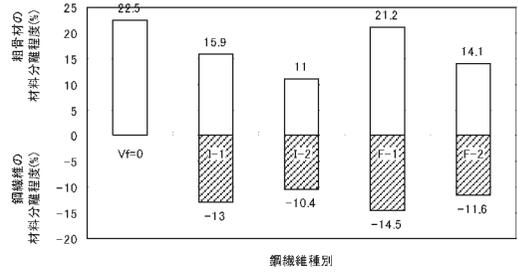


図-3 鋼繊維種別による材料分離程度の比較

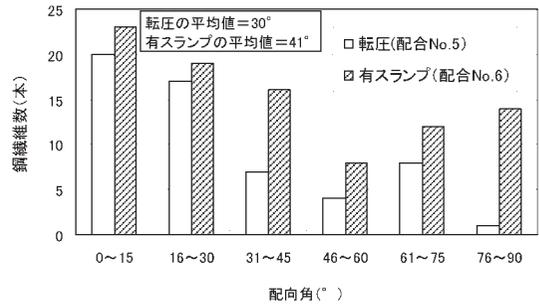


図-4 鋼繊維 (F-2) の配向角の分布

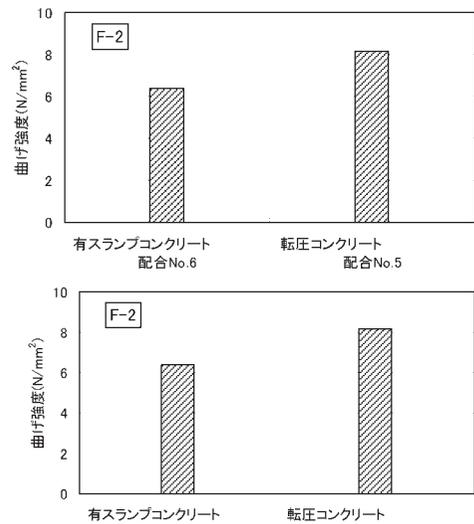


図-5 曲げ強度試験結果

くなったのは加圧の影響も考えられるが、転圧コンクリートの鋼繊維の配向角が、前図に示すように打ち込み面に対して水平に近いものが多いため、作用曲げ応力に対して抵抗力がより高まったことが主因であると考えられる。

2-3 成果

鋼繊維補強舗装用転圧コンクリートに関する実験・研究の成果としてインデント加工した鋼繊維および両端フック付きの鋼繊維を混入した時、修正VC値 (50 ±10秒) を得るための単位水量、細骨材率および鋼

維混入率を示し、高性能AE減水剤による減水程度および適切な添加率が明らかになった。また前述、材料分離程度が無混入の場合より小さくなること、配向角が水平に近づくため補強効果が上がること、曲げ強度および曲げ靱性係数が向上すること、ならびに摩耗アスファルト舗装版上へのオーバーレイを想定した材齢7日の付着強度は無混入の場合と同程度であることなど、力学的性能を明らかにすることができた。さらに本稿での紹介は割愛するが、この他にも凍結融解抵抗性が改善されること、単位水量は増加するが乾燥収縮は無混入の場合と同程度となること、超早強性混和材を5～15%混入した鋼繊維補強転圧コンクリートは一般的な転圧コンクリート舗装と比較して養生時間を70～80%短縮可能であり、早期交通開放が可能であること等の知見が得られた。

3. 付加性能：舗装用ポーラスコンクリート

3-1 概要

排水性舗装や透水性舗装が有する雨水を路面下に浸透させ、水はねやハイドロプレーニング現象の発生を抑制する透水性は、舗装の代表的な付加性能である。透水性は空隙率を大きくとることで得られるが一般に空隙率を増やすと耐久性能は低下する。排水性舗装はポリマー改質アスファルトを用いることで大きな空隙率でも耐久性能を確保できるようにしたアスファルト舗装である。同様に舗装用ポーラスコンクリートは、付加性能として透水性を有するコンクリート舗装である。

本研究では、コンクリート舗装に求められる耐久性能として曲げ強度の基準値 $4.4\text{N}/\text{mm}^2$ 以上と、付加性能となる透水性として透水係数の基準値 $0.01\text{cm}/\text{sec}$ 以上を確保できる舗装用ポーラスコンクリートの配合を検討した。

本研究範囲を図-6に示す。

- ①舗装用ポーラスコンクリートの配合は単位水量が少なく、従来用いられているコンシステンシーの評価方法が適用できない。そこで、舗装用ポーラスコンクリートの施工性能の品質評価として、VC振動締

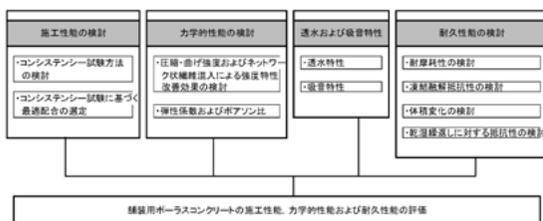


図-6 舗装用ポーラスコンクリートの施工性能、力学的性能および耐久性能の評価に関する研究範囲

固め試験機による方法を検討し、透水係数および曲げ強度の観点から品質管理のための目標値を設定した。

- ②これらに関して振動数とコンシステンシーの指標とした沈下時間の関係および試験値のバラツキ等、試験方法の妥当性を検証した。
- ③配合要因としてモルタル粗骨材容積比、粗骨材最大寸法および単位水量と沈下時間の関係を検討した。
- ④沈下時間と透水係数および曲げ強度の関係を検討した。
- ⑤舗装用ポーラスコンクリートの品質改善効果を期待したネットワーク状繊維と特殊混和材を入れることによるコンシステンシーの変化を検討するとともに最適単位繊維量および単位混和材量を評価した。
- ⑥舗装用ポーラスコンクリートの力学的性能の検討では、先の施工時の品質評価で設定した最適コンシステンシーで製造したコンクリートの力学的性能について、圧縮・曲げ強度およびネットワーク状繊維混入による強度特性改善効果、弾性係数およびポアソン比を検討した。
- ⑦多孔質の材料を用いることで透水機能、吸音機能を有しているため、機能性の評価として透水および吸音性能の検討を加えた。
- ⑧舗装用ポーラスコンクリートの耐久性能の検討として、耐摩耗性、凍結融解抵抗性、体積変化および乾燥収縮抵抗性の検討を行い、舗装用として供することができるポーラスコンクリートの耐久性能を明らかにした。

3-2 結果

ポーラスコンクリートに関する実験結果から、図-7に粗骨材最大寸法20mmの配合を用いてプラスチック板上の重錘を10kgとしたときのVC振動締固め試験機の振動数と沈下時間の関係を示す。図中に測定した加速度を示した。振動数が増加するのに伴って沈下時間が減少する傾向が認められる。振動数30Hzでは空隙率が15%に達するまでに時間を要し締固めが十分に行われない場合のあること、50Hzでは、沈下が急激に発生しコンクリート表面が傾いて測定誤差が生じた

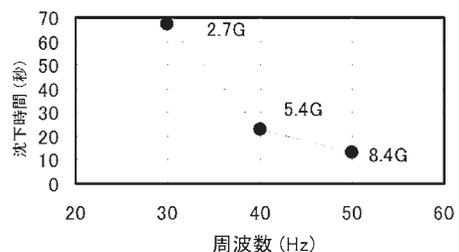


図-7 周波数と沈下時間の関係

りするため、振動数は40Hzが適当であると判断された。また、プラスチック板上の重錘を20kgとすると単位水量の変化に伴う沈下時間の変化が明確に示されない場合があり、急激な沈下により目視判定の誤差が生じることにより重錘は10kgが適当と判断された。

表-3にコンシステンシー試験結果のバラツキを示す。表中①および②は粗骨材最大寸法や単位水量の異なる配合のコンクリートについて43回試験して沈下時間を求めたときの空隙率と目盛り付き棒の目盛りの読みの変動係数を示す。粗骨材最大寸法13mm、沈下時間20秒のコンクリートについて試験日を変えて3回測定したときの沈下時間の変動係数はいずれも10%未満であり、目視判定の誤差が少なく、本試験の再現性に問題は無いと考えられる。

重錘を10kgとし、振動数40Hz（加速度5.4G）としたコンシステンシー試験方法により、表-4に示す配合を検討した。

ポーラスアスファルト舗装に使用されている骨材寸法を考慮し、骨材最大寸法5mm、13mmについての各性能の向上をまとめたものを表-5に示す。以下、粗骨材最大寸法5mm、13mmに変化させた場合と繊維を混入した場合に分けて強度、弾性係数、ポアソン

比、透水係数、吸音率、耐摩耗性、凍結融解抵抗性、乾燥収縮ひずみ、熱膨張係数および乾湿繰返し抵抗性への影響を検討した。

骨材の寸法を小さくすることで強度、耐摩耗性、凍結融解抵抗性は向上する。骨材の寸法を大きくすると、透水係数、熱膨張係数、乾湿繰返し抵抗性が向上する。骨材寸法に関わらず、繊維を混入することで強度、耐摩耗性、凍結融解抵抗性、乾燥収縮ひずみ、熱膨張係数および乾湿繰返し抵抗性は向上する。繊維を混入することで透水係数は低下するが、基準とする透水係数0.01cm/secは十分満足している。弾性係数、ポアソン比、乾燥収縮ひずみは骨材寸法および繊維混入による影響はみられない。

3-3 成果

舗装用ポーラスコンクリートの施工性を確保するためのコンシステンシーを、目標空隙率となるまでの試料の沈下時間を汎用的なVC振動締固め試験機を用いて測定することにより判定できることが確かめられた。その際、VC振動締固め試験機の条件は、振動数40Hz、重錘10kgとすると測定値の変動係数が少なく再現性も問題ないことが明らかになった。曲げ強度と透水係数の基準値を満足できる目標沈下時間は20~40秒を品質管理の目標値として提案する。

この他にも、ポリプロピレンネットワーク状繊維の混入量を1kg/m³とした配合に品質向上効果が認められることがわかった。さらに、生コンクリートのコンシステンシーが良好で硬化後に所定の強度が確保できるという観点から特殊混和材の単位量を30kg/m³とすれば良いことを明らかにできた。繊維を混入することで、強度、耐摩耗性、乾燥収縮ひずみ、熱膨張係数および乾湿繰返し抵抗性が向上すること、透水係数は低下するが基準値を十分満足することを明らかにした。

車道用ポーラスコンクリートのガイドラインとなる特性値の基準類は、透水係数および曲げ強度しか示されていないが、繊維を混入し、本研究で考案したコンシステンシー試験により配合設計することで、施工性能を向上させ施工性能も確保できる舗装用ポーラスコンクリートが製造可能となる。

4. 施工性能：舗装表層用常温補修材

4-1 概要

舗装体の破損につながる路面性状の変化（段差、わだち掘れ、摩耗およびはく離等）の初期段階において表面処理（主として厚さ0.5cm程度の平滑化）工法は合理的かつ有効な補修方法となる。

表-3 VC振動締固め試験結果のバラツキ

		試験回数	目標空隙率	平均	変動係数
①	空隙率	43	15%	16.1%	4.6%
②	目盛りの読み値	43	30mm	29mm	4.2%
③	沈下時間	3	20sec	20.6sec	8.6%

表-4 検討配合

配合No.	Avoid (%)	G _{max} (mm)	W/C	m ³ /g ¹⁾	単位量 (kg/m ³)							
					W	C	Ad1 ²⁾	S	G	Fiber ³⁾	Ad2 ⁴⁾	Ad3 ⁵⁾
1	25	26~22	0.45	80~70	312	-	220~245	1554~1558	-	3.1	-	-
2	25	26~22	0.45	80~70	312	-	219~245	1552	1.0	3.1	-	-
3	20	29~24	0.45	90~75	312	-	198~232	1566~1571	-	3.1	-	-
4	20	27~24	0.45	85~75	312	-	208~232	1570	1.0	3.1	-	-
5	13	27~24	0.45	85~75	312	-	211~237	1566	-	3.1	-	-
6	13	27~24	0.45	85~75	312	-	210~236	1564	1.0	3.1	-	-
7	5	30~27	0.6	95~85	312	-	329~355	1403	-	3.1	-	-
8	5	30~27	0.6	95~85	312	-	328~354	1401	1.0	3.1	-	-
9	13	27	0.45	85	312	-	209	1562	1.5~2.0	3.1	-	-
10	5	30	0.6	95	312	-	327	1400	1.5~2.0	3.1	-	-
11	13	27~24	0.45	85~75	312	-	211~237	1566	-	3.1	0.006	-
12	13	27~25	0.45	85~76	312	-	210~236	1564	1.0	3.1	0.006	-
13	5	30~27	0.6	95~85	312	-	329~355	1403	-	3.1	0.006	-
14	5	30~27	0.6	95~85	312	-	328~354	1401	1.0	3.1	0.006	-
15	13	22	0.45	74	331	30	154	1506	-	-	-	-
16	13	24	0.45	79	331	30	141	1504	1.0	-	-	-
17	5	23	0.6	80	344	30	270	1353	-	-	-	-
18	5	25	0.6	85	344	30	257	1350	1.0	-	-	-

1) m³/g: モルタル標準容積法、2) 特殊混和材(密度1.76g/cm³)、3) ポリプロピレンネットワーク状繊維(密度0.91g/cm³)、長さ240
4) 炭和剤、5) 補助剤

表-5 各性能の向上点

	粗骨材最大寸法		繊維混入
	5mm	13mm	
強度	○	×	○
弾性係数	-	-	-
ポアソン比	-	-	-
透水係数	×	○	×
吸音率	-	-	-
耐摩耗性	○	×	○
凍結融解抵抗性	○	×	○
乾燥収縮ひずみ	-	-	-
熱膨張係数	×	○	○
乾湿繰返し抵抗性	×	○	○

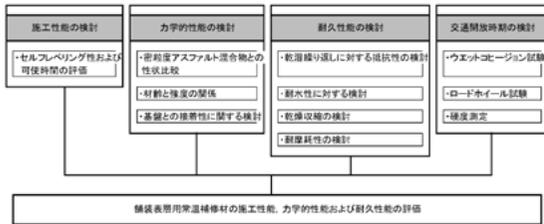


図-8 舗装表層用常温補修材の施工性能、力学的性能および耐久性の評価に関する研究範囲

本研究では、表面処理工法材の施工性能を高めることを目的として、流動性に富み、セルフレベリング性により、鏝やローラによる表面仕上げを要さない常温硬化型路面補修材（以下常温補修材と示す）の開発に取り組んだ。

図-8に研究範囲を示す。

- ①常温補修材の施工性能としてセルフレベリング性を評価する指標として J_{14} ロートによる流下時間を用い、グラウト材の品質基準等に合格するものを検討した。
- ②施工性能はその材料の取り扱える時間、つまり可使用時間に影響されるため、適切な流下時間を保持している時間を検討し、さらにエポキシ樹脂系の可使用時間判定に用いられている試験方法（温度上昇法）ならびに定性的であるが目視触感判定を併用して流し込み施工可能な可使用時間を検討した。これらの結果から新タイプの常温補修材の施工性能に関係する品質を設定した。
- ③常温補修材に要する耐久性能を、密粒度アスファルト混合物を用いるアスファルト舗装との性状比較から検討した。
- ④開発した常温補修材はアスファルト乳剤、水溶性変性エポキシ樹脂を使用している。それらに多く含まれる水分と、アスファルト乳剤を硬化させる為の触媒として用いている無機系セメント材料の反応により、時間経過とともに強度の増加が見込まれることから材齢と強度特性についての関係を調べた。
- ⑤時間経過と曲げ強度および曲げ破断ひずみの関係を調べ、さらに材料特性の検討として静弾性係数および動弾性係数を測定した。
- ⑥補修材は補修箇所との基面との接着性が供用性能に影響を及ぼすことから、接着性を検討し、これらから、新タイプの常温補修材の力学的性能を明らかにした。また、常温補修材の耐久性能の検討として、乾湿繰返し抵抗性、耐水性、乾燥収縮特性および耐摩耗性の検討を行い、新タイプの常温補修材の耐久性能を明らかにした。

最後に補修の施工終了は交通開放前までであるが、

硬化不十分で交通開放を行うとのちに剥がれや崩壊が発生する。現場における交通開放の目安は触指感触等の定性的判断に委ねられることから現場で簡易に定量的に交通開放時期を判定できる手法を検討した。

4-2 結果

舗装用常温補修材料は、大別するとカットバックアスファルト系、アスファルト乳剤系、樹脂系、セメント系の4種類に分類され、破損の形態、規模や緊急性の程度によって、材料の特性を把握し、施工条件にあった材料が選定される。しかし、これらの材料の品質規格や選定基準は定まっていないのが実状である。多種多様な材料がそれぞれ用途を限定して開発されたことにより品質規格等の統一が難しくなったものであるが、とりわけ、小規模補修用常温材料は恒久的な補修を目的としていないこともあり品質規格が示されず、常温補修材の施工性能、力学的性能、耐久性能を一貫して示した研究成果の発表はごく僅かであった。

本研究では、主剤（主成分：アスファルト乳剤）・硬化剤（主成分：反応性樹脂硬化剤）と表-6で示す粉体とから構成される流し込み施工可能な常温硬化型路面補修材（以下本常温補修材と示す）と表-7に示す市販品の常温補修材について各種試験を行った。

本常温補修材の一般性状を表-8に示す。力学的性能として、図-9に応力とひずみの関係を、表-9に静弾性係数測定結果を示す。常温補修材とアクリル樹

表-6 粉体部構成割合

	種類	割合(%)
		セメント部
粉体部	特殊速硬セメント	0.2
	その他セメント	
	硬化遅延剤	
	硬化促進剤	
	流動化剤	
	減水剤	
	増粘剤	
顔料	消泡剤、他	0.2
珪砂	カーボンブラック	0.2
	6号	25.5
	5号	28.7
	4号	28.7
合計		100

表-7 比較用常温補修材

	配合質量比(%)		
	結合材	粉体(骨材部)	合計
アクリル樹脂系	23.2	76.8	100
MMA樹脂系	16.5	83.5	100

表-8 一般性状試験結果

項目	一般性状	
	常温路面補修材	密粒度アスファルト混合物
密度 (g/cm ³)	1.615	2.377
マーシャル安定度 (kN)	8.1	8.4
マーシャルフロー値 (1/100cm)	42	32
動的安定度 (回/mm)	3500	800
レベリング磨耗量 (cm ³)	0.4	0.3

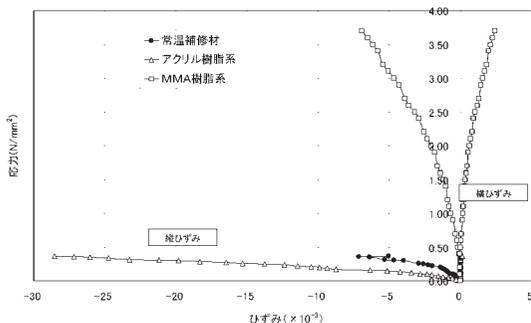


図-9 ひずみと応力の関係

表-9 静弾性係数測定結果

材料名	常温補修材	アクリル樹脂系	MMA樹脂系
測定材齢(日)	10	60	31
圧縮強度(N/mm ²)	0.98	0.9	18.58
静弾性係数(N/mm ²)	65	17	424

脂系はMMA樹脂系と比較して低応力でひずみが極端に大きくなるのがわかる。これは、MMA樹脂系は硬化速度が速く非常に剛性の高い性質を有するが、本常温補修材およびアクリル樹脂系は粘弾性体の性質を有しているためと考えられる。

耐久性の検討として乾湿繰り返しに対する抵抗性の検討を行った。いずれの材料も質量減少率から幾分吸水する材料であることが判明した。強度へ及ぼす吸水の影響を明らかにするため乾湿繰り返し前後の曲げ強度比を比較検討した。なお、試験前の供試体は気中養生を行った材齢7日の供試体を用いて曲げ強度試験を行い、これに対する乾湿繰り返し試験後(30サイクル)の曲げ強度比を求めた。

図-10に曲げ強度比の関係を示す。常温補修材は試験後の曲げ強度が1.6倍となり、アクリル樹脂系、MMA樹脂系は曲げ強度比が0.8となった。乾湿繰り返し試験は、乾燥期間3日、湿潤期間1日、乾燥期間2日、湿潤期間1日の延べ7日間を2サイクルとしているため、30サイクルでは材齢105日間となる。常温補修材の材料構成の1つである無機系特殊混和材中のセメントの水和反応の進行により強度増加につなが

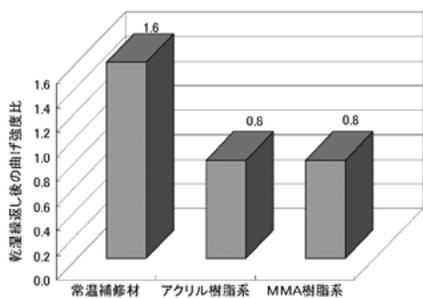


図-10 曲げ強度比の関係

たと考えられる。したがって、本実験により、常温補修材は乾湿繰り返し作用による強度への悪影響は少ない。一方、アクリル樹脂系、MMA樹脂系は乾湿繰り返しの何らかの影響を受けたものと考えられる。

4-3 成果

本研究では、セルフレベリング性に優れ、流し込みのみの補修を可能とする施工性能を重視した舗装表層用常温硬化型路面補修材を開発し、その施工性能と耐久性能を評価した。

その結果、本常温補修材の特徴である流し込みのみの施工を可能とするセルフレベリング性はJ₁₄ロート試験による流下時間で判定することが可能であり、その基準値は20℃で4~10秒が適当あるとの結論を得た。また、流下時間の経時変化から可使時間を求めた結果、約10分であることが明らかになった。

さらに、本常温補修材は、一般的な密粒度アスファルト混合物と同等以上の耐久性能を有し、特に耐流動性に優れていることが明らかになった。例えば、本常温補修材に含まれているセメント系無機材料の経過時間に伴う水和反応の進行により、曲げ強度は継続的に増加し、アスファルト舗装に適用した場合においてもそのたわみに追従可能であること、また、既設路面との接着性は基準としたアスファルトオーバーレイの値より大きく既設路面と一体構造を形成でき、ひび割れやはがれ等の破損は発生しにくいことが明らかとなった。

水浸状態での走行試験で耐水性を確認し、乾湿繰り返しによる耐久性の低下が少なく、乾燥収縮ひびわれが発生しにくいことが判明した。水浸状態による耐摩耗性も良好である。

交通開放時期(硬化時期)の判定方法について検討を加え、押針形状が半球型であるデュロメーターを用いて補修材の表面の硬度を測定し、本常温補修材は硬度85程度で交通開放が可能であることを実際の現場測定結果をもとに示し、簡易的で定量的に交通開放時期を判定する手法を提案した。

おわりに

筆者は、舗装の表層に使用する材料として、①アスファルト舗装より耐久性に優れ、コンクリート舗装の中でも施工の合理化のニーズに応えた施工速度が速く、交通開放時期の短縮が可能となる転圧コンクリート舗装の性能をより向上させた「鋼繊維補強舗装用転圧コンクリート」、②透水機能や騒音低減効果を有することによる雨天時の走行安全性の向上のみならず、ヒー

トアイランド現象の低減、騒音低減等の環境保全が期待できる「舗装用ポーラスコンクリート」ならびに、
③既設のアスファルト舗装やコンクリート舗装の長寿命化を図り、環境保全に配慮した「常温硬化型路面補修材」の研究に秋田大学 加賀谷教授のご指導をいただき平成21年3月に6章200頁により構成される論文に取りまとめた。本稿では、そのエッセンスとなる成果をできるだけ簡潔に実験手順、実験方法などの紹介は省略し研究成果について抜粋して紹介した。

以下に本文の骨子である主な社外発表論文を示させていただきます。参考になれば幸いです。

- (1) TORU Suzuki, MAKOTO Kagaya, TETSUMI Takahashi : Examination on Properties of Road Surface Repair Material of Cold Hardening Type and Simplified Judging Method of Its Hardening Time. Int. J. Soc. Mater. Eng. Resour, Vol.15, No.2, 30~36 (2008)
- (2) 鈴木徹、加賀谷誠、高橋哲躬：常温硬化型路面補修材の基礎物性と硬化時期の簡易判定方法の検討材料、Vol.56、No.11、1010頁~1015頁(2007)
- (3) 鈴木徹、小関裕二、石川洋、高橋良輔、濱田秀則：超早強鋼繊維補強転圧コンクリートの強度特性土木学会舗装工学論文集、第9巻、251頁~258頁(2004)
- (4) 大野誠彦、加賀谷誠、鈴木徹：舗装用繊維補強ポーラスコンクリートの品質改善効果、セメントコンクリート論文集、No.56、304頁~310頁(2002)
- (5) MAKOTO Kagaya, TORU Suzuki, SHUICHI Kokubun, HIROSHI Tokuta: A STUDY ON MIX PROPORTIONS AND PROPERTIES OF STEEL FIBER REINFORCED ROLLER COMPACTED CONCRETE FOR PAVEMENT CONCRETE LIBRARY INTERNATIONAL, No.39,(CD)pp.119~133 (2002)
- (6) 加賀谷誠、鈴木徹、國分修一、徳田弘：鋼繊維補強舗装用転圧コンクリートの配合と基礎物性の検討土木学会論文集、No.669/V-50、253頁~266頁(2001)
- (7) 鈴木徹、八尋正典、小関裕二、加賀谷誠：車道用ポーラスコンクリートのコンシステンシー試験およ

び基礎物性に関する考察、セメントコンクリート論文集、No.55、345頁~352頁(2001)

- (8) 鈴木徹、加賀谷誠、高橋哲躬：常温硬化型路面補修材の基礎物性および硬化時期の簡易判定手法の検討 日本素材物性学会平成20年度年回講演要旨、99頁~102頁(2008)
- (9) 鈴木徹、東本崇、加賀谷誠：常温硬化型路面補修材の硬化時間判定方法の検討、第62回年次学術講演会講演概要集、300頁~301頁(2007)
- (10) 上田哲也、杉本浩一、鈴木徹：常温硬化型路面補修材の開発、第27回日本道路会議論文集、(CD)論文番号12 P24(2007)
- (11) 鈴木徹、杉本浩一、原田博志、石川洋：特殊アスファルト乳剤による常温混合物の開発 設立20周年記念合材フォーラム応募論文集、284頁~289頁(2005)
- (12) 鈴木徹、小関裕二、池田朗：生活道路に適用した薄層排水性舗装、第26回日本道路会議論文集、(CD)論文番号12 P37(2005)
- (13) TORU Suzuki, MASAHIRO Yahiro, HIROJI Koseki, MAKOTO Kagaya: CONSIDERATION ON CONSISTENCY TEST AND PROPERTIES OF POROUS CONCRETE FOR PAVEMENT, 9th International Symposium on Concrete Roads, (CD) Theme II: MATERIALS FOR CONCRETE PAVEMENT, pp.93~100 (2003)
- (14) 鈴木徹、石川洋、加賀谷誠：舗装用ポーラスコンクリートの透水特性、第58回年次学術講演会講演概要集、1423頁~1424頁(2003)
- (15) 鈴木徹、石川洋、小関裕二、加賀谷誠、大野誠彦：ネットワーク状繊維を混入した舗装用ポーラスコンクリートの力学的性質、第57回年次学術講演会講演概要集、815頁~816頁(2002)
- (16) 鈴木徹、八尋正典、小関裕二、加賀谷誠：車道用ポーラスコンクリートのコンシステンシーおよび基礎物性に関する考察、第55回セメント技術大会講演要旨、264頁~265頁(2001)
- (17) 鈴木徹、八尋正典、小関裕二、加賀谷誠：車道用ポーラスコンクリートのコンシステンシーと透水係数、曲げ強度の関係、第56回年次学術講演会講演概要集、194頁~195頁(2001)

不飽和浸透特性を考慮した透水性評価に関する研究

森 石 一 志*

はじめに

現在、環境は悪化の一途をたどり、特に地球温暖化については地球規模で気候が大きく変動することが予測され、それは日本においても同様である。気候の推移に関しては、1898年から2004年までの約100年間に於ける日本の年平均地上気温は約1.0℃上昇している。降水量の推移に関しても、年降水量が1898年から2004年までの約100年間に於いて減少傾向にあるとともに、1960年頃から多雨の年と少雨の年との差が大きくなってきている¹⁾。そういったことから、雨水流出抑制効果を有する透水性舗装が注目されている。

透水性舗装は1970年代初頭に実用化された。しかし、雨水の浸透により路体および路床あるいは粒状路盤の含水比が高くなることで支持力を低下させ、耐久性を損ねることが懸念されているため、車道への適用は少なく、歩道や駐車場など比較的荷重の掛からない場所への適用に限定されていた^{2)~4)}。しかし、平成16年に施行された特定都市河川浸水被害対策法により、「特定都市河川流域内における道路を含む一定規模以上の雨水浸透阻害行為については、流出水量の増加を原地盤と同じ程度に抑制すること」が義務付けられ、主要対策のひとつとして車道透水性舗装が注目され、車道にも適用可能な技術の確立が急務となっている⁵⁾。

1. 研究の目的

透水性舗装は上述の通り、路盤および路床への雨水浸透により、舗装の支持力低下が問題視されている⁶⁾。しかし、近年では重交通道路への適用が検討されており、この支持力低下は、透水性舗装の普及に際して大きな懸案事項となっている。また、透水性舗装を設計する際に、透水係数には飽和透水係数を使用する⁶⁾。しかし、実際の降雨を想定した場合、降雨強度が大きい時は舗装体内部が不飽和の状態では浸透していくため、降雨強度と不飽和浸透特性の関係を把握する必要がある。そこで、不飽和浸透特性の要素である水分保持特

性および飽和-不飽和透水係数の測定する必要がある。

そこで、本研究では透水性舗装各層の透水性について、実路および実物大モデルヤードにおける実験および室内試験から明らかにすることを試みた。またそれらによって得られた知見から、透水性舗装のそれぞれの性能を明確にすることを目的とする。

2. 透水性舗装の雨水浸透・貯留効果の検証

透水性舗装の雨水浸透・貯留効果の検証が全国各地の実路にて行われている。しかしながら、研究としては降雨波形に対するアウトプットとしての溢流量の測定など効果検証にとどまっているものが多数であり、透水性舗装自体の効果に関してメカニズムを踏まえて詳細に検討し考察を行った研究は少ない。本項ではこのような状況を鑑みて、透水性舗装における雨水の浸透メカニズムを解明するため、実路を模擬した実物大モデルおよび実路において散水実験を行い、そこで得られた結果について考察し、雨水浸透・貯留効果を検証した。

2-1 実験概要

本研究で断面構造の舗装は、図-1に示す(舗装計画交通量=3,900台/日・方向、設計CBR=20.0、等値換算厚 $T_A=25.2\text{cm}$)を対象とした。舗装構造は独立行政法人土木研究所による分類区分⁷⁾の中で路床浸透型として施工されているが、現在供用中であることより、散水実験を行うには交通車両があるため困難である。そこで本研究では、実物大モデル(以下、モデル舗装と呼ぶ)を写真-1のように別途構築し、そこで散水実験を行い透水性舗装の環境負荷軽減効果について検討を行った。また、比較対象として隣接して密粒度舗装を設置した。

表層は骨材最大粒径が8mmのポーラスアスファルト混合物(以下、ポーラス(8))で、空隙率が約22.5%であり、使用したバインダーはポリマー改質アスファルトH型である。中間層および基層についても同様に

* 技術研究所工法研究室主任研究員



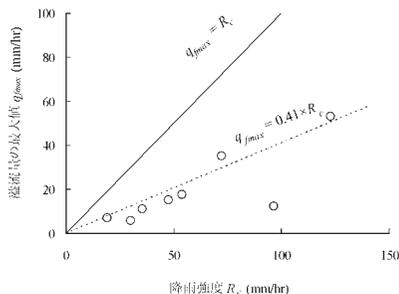


図-5 溢流量の最大値 q_{max} と降雨強度 R_c の関係

流出量が抑制されることがわかる。

(2) 非定常降雨-浸透型

図-6に溢流量 q_f の経時変化を示す。どの降雨波形でも最大降雨強度 r_1 の区間で溢流が発生しているが、溢流量の最大値 q_{fmax} に関して「前方集中型<中央集中型<後方集中型」となっていることがわかる。

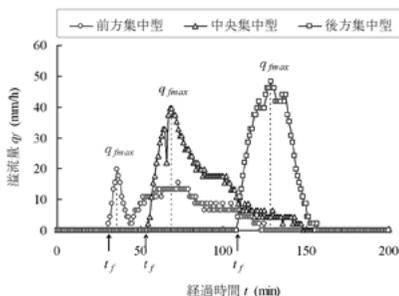


図-6 溢流量 q_f の経時変化

(3) 定常降雨-貯留型

R_c と q_f の最大値 q_{fmax} の関係を図-7に示す。なお、図-7の実線は降雨が100%表面排水された場合、すなわち、流出係数が1と仮定した場合の溢流量である。図に示す R_c との関係から、その関係は原点を通る直線で近似でき、その比は浸透型で約0.41、貯留型で0.76となっている。よって、浸透型で60.0%程度、貯留型で25.0%程度の流出量が抑制されることがわかる。

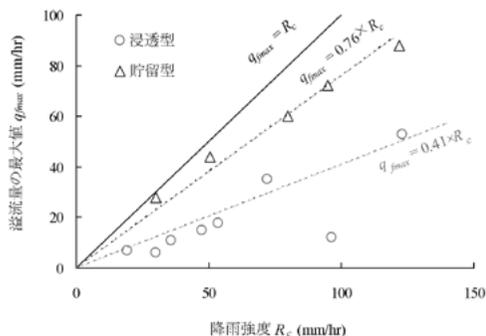


図-7 溢流量の最大値 q_{max} と降雨強度 R_c の関係

2-4 結論

以下に検討の結果得られた知見をまとめる。

- ① 本モデル舗装での散水実験の結果から、降雨強度が強くなるほど、溢流量が多くなるとともに、溢流開始時間が早くなることがわかった。また、雨水流出抑制効果に関しては、約60.0%の流出量が抑制されるという結果が得られた。
- ② 降雨強度と溢流開始時間には直角双曲線的な関係があり、また降雨強度の強さによって浸透現象が異なる可能性があることを明らかにした。
- ③ 定常降雨では、降雨強度が80~90mm/hr以上になると、舗装体内に空気の層すなわち二重水面が生じていることがわかった。

3. 不飽和浸透特性を考慮した雨水流出抑制効果の検証

透水性舗装の透水性を定量的に評価するため、透水性舗装を構成する各層の水分保持特性と、飽和-不飽和透水係数を測定した。また、本研究で検討してきた気液二相流解析プログラムを使用し、他の解析方法や実路実験の結果と比較した。さらに基準降雨を使用し、実路に試験施工された透水性舗装の雨水流出抑制効果のシミュレーションを行った。

3-1 透水性舗装各層に対する飽和-不飽和透水係数および水分保持特性試験

(1) 使用材料

本研究で使用した、アスファルト混合物、粒状路盤材、路床土をそれぞれの粒度を図-8~10に示す。なお、路床土は、対象とした実路の現地の試料を採取し、現場密度試験結果をもとに室内にて模擬した。

(2) 実験概要

a) 飽和-不飽和透水試験

試験装置は工藤ら⁸⁾の実験方法を参考に図-11に示す装置を使用した。また供試体は、舗装調査・試験法便覧〔第4分冊〕F007、突固め試験方法⁹⁾から締固め度を95%とし、寸法は $\phi 150\text{mm} \times h125\text{mm}$ とした。

b) 水分保持特性試験

本研究で作製した水分保持特性測定装置を図-12に示す。以下に本試験の手順を述べる。なお、供試体の作製方法は飽和-不飽和透水試験と同様であり、同じ供試体を使用している。

(3) 実験結果

1) 飽和-不飽和透水試験

a) ポーラスアスファルト混合物

ポーラスアスファルト混合物の骨材最大粒径の違いによる比透水係数と飽和度の関係を図-13に、骨材最

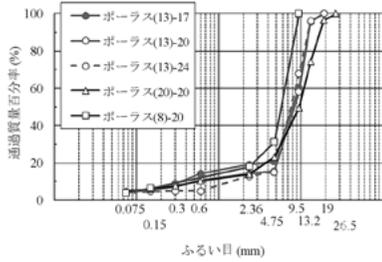


図-8 アスファルト混合物

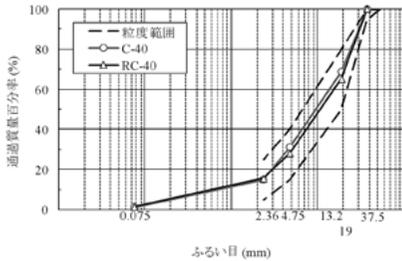


図-9 粒状路盤材

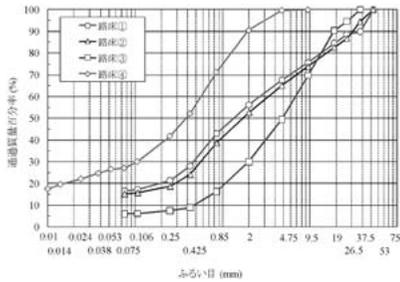
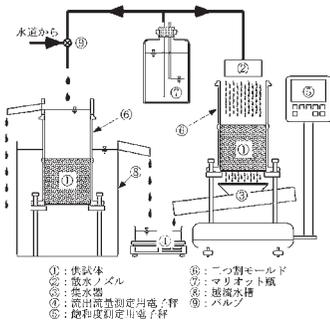


図-10 路床土の粒度



a) 飽和透水試験機 b) 不飽和透水試験機

図-11 飽和-不飽和透水試験機

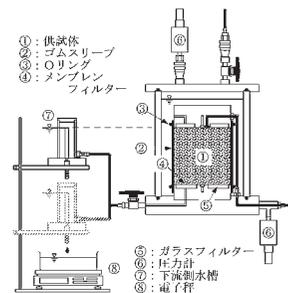


図-12 水分保持特性試験装置

大粒径は同じで空隙率を変化させたポーラスアスファルト混合物による比透水係数と飽和度の関係を図-14に示す。図-13から、同じ飽和度において粒径が小さくなるに従い飽和しにくいという傾向が見られた。図-14から、空隙率が小さくなるに従い飽和しにくい傾向がある。これらの結果より、骨材最大粒径が大きく、空隙率が大きい方が不飽和の状態が少なくなることがわかった。

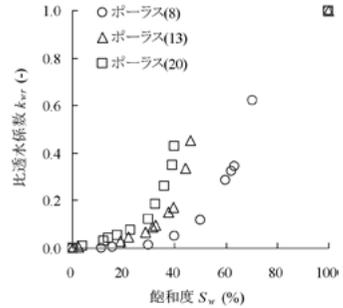


図-13 骨材最大粒径の違いによる比較

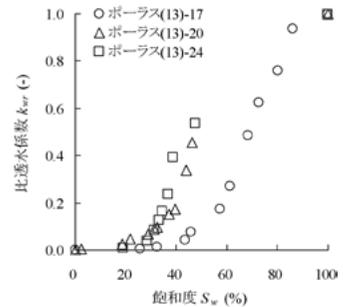


図-14 空隙率の違いによる比較

b 粒状路盤材

粒状路盤材の結果を図-15に示す。C-40は飽和度が30%付近から徐々に飽和透水係数に近づく傾向が見られ、RC-40は飽和度が30%付近から80%付近に向けて急な勾配で飽和透水係数に近づくような傾向が見られた。このようなことから、RC-40の方が、C-40に比べて飽和しやすい傾向にあることがわかる。

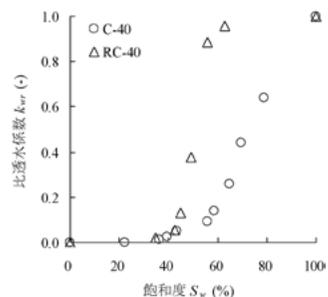


図-15 粒状路盤材の比較

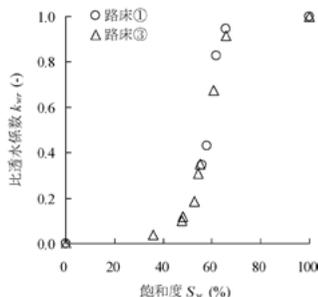


図-16 路床土の比透水係数と飽和度の関係

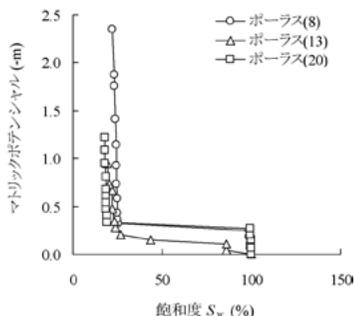


図-17 骨材最大粒径の違いによる水分保持特性の比較

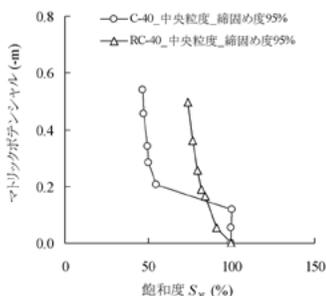


図-18 粒状路盤材の水分保持特性

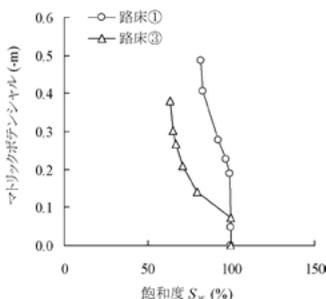


図-19 路床土の水分保持特性

c 路床土

路床土の結果を図-16に示す。今回使用した試料に関しては、粒度が異なっているものの、同様の傾向が見られた。また、飽和度が100%になる前から飽和透水係数になっていると考えられる。

2) 水分保持特性試験

a ポーラスアスファルト混合物

空隙率が一定で骨材最大粒径を変化させた場合の結果を図-17に示す。マトリックポテンシャルは全て負の値なので、座標軸上では原点から離れるほどマトリックポテンシャルが低いことを示している。

空隙率一定の時、最大粒径が小さいほど、最小含水量（空隙内に重力に抵抗して土が保持している最小の水分）は大きくなっていると推察される。

b 粒状路盤材

粒状路盤材の結果を図-18に示す。マトリックポテンシャルが最大値の時の飽和度はC-40が50%、RC-40が70%を示している。これは、空隙内に重力に抵抗して粒状路盤材が保持する最小の水分量（最小含水量）が存在すると考えられる。このことより粒状路盤材は水分を保持し、さらに最小含水量が大きいRC-40の方が保水することがわかる。

c 路床土

図-19に路床土の水分保持特性試験の結果を示す。路床①はマトリックポテンシャルが低下しても飽和度はほとんど低下しない。これは、この土は空隙サイズが小さいので、保水性が高められたと考えられる。

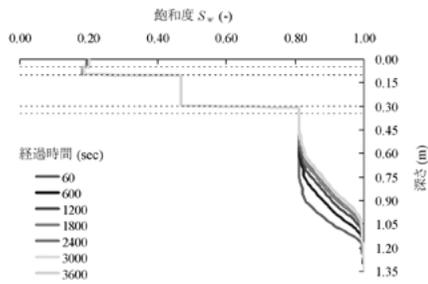
3-2 透水性舗装の雨水流出抑制効果

(1) 浸透解析について

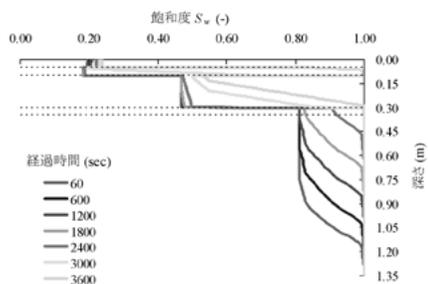
透水性舗装の雨水浸透流解析は当初、赤井ら¹⁰⁾によって開発された飽和-不飽和浸透流解析UNSAFを用いて実施していた。しかし、3項で考察したようにモデル舗装による実験を行った結果、降雨強度が大きい場合、舗装体に空気層が存在することが確認された。また、このような雨水浸透時のメカニズムに関する研究は、参考文献^{11)~13)}の実験的研究から空隙空気の流れが影響していると言われている。そこで本研究ではこれらの雨水浸透に関する研究を踏まえ、雨水の浸透速度が低下するメカニズムとして空気流動による影響を追求する。本研究では井田らによって開発された気液二相流解析コード「NEWTON22^{14)~16)}」を用いることとする。

(2) 解析結果

室内試験結果を用いた気液二相流解析の結果の一例を図-20に示す。路床が浸透型の場合は下部から徐々に飽和しているが、貯留型の場合、路床部分が飽和するだけでなく、上層路盤で飽和している。これは第3章のモデル舗装による実験で見られた二重水面が生じていることを表現できている事がわかる。



a) 路床が浸透型の場合の飽和度



b) 路床が貯留型の場合の飽和度

図-20 降雨強度 $R_c=70\text{mm/hr}$ における舗装体内の状態

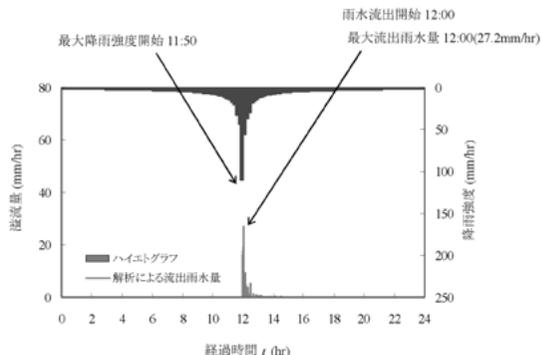


図-21 流出雨量

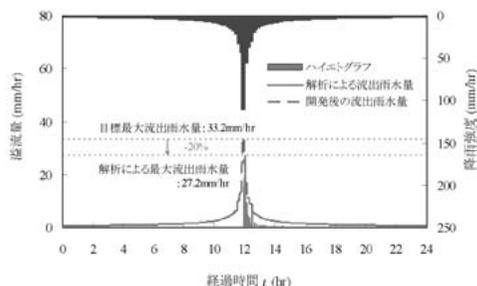


図-22 最大流出雨量（ピーク流出雨量）の算定結果

3-3 雨水流出抑制効果のシミュレーション

(1) 解析概要

実路に試験施工された透水性舗装の雨水流出抑制効果のシミュレーションを実施した。また、対象箇所ので面積が小さいため、下層路盤および路床の違いを明確にすることが困難と考え、前節と同様の舗装構造を試験舗装したこととしてシミュレーションを行った。なお、路床条件は浸透型とした。

基準降雨を使用した。降雨波形は10年確率24時間中央集中型降雨波形で、最大降雨強度は110.6mm/hrである¹⁷⁾。この降雨波形を用いて次項で流出雨量の算定を行う。

(2) 解析結果

解析結果を図-21に示す。最大降雨強度開始の11時間50分後から10分後の降雨開始12時間後に最大流出雨量に達している。

次に、開発後の流出雨量の算定についての結果を図-22に示す。図中の開発後の流出雨量は、降雨強度に間地の流出係数0.3を掛けた値とした。開発後の目標最大流出雨量と解析による最大流出雨量を比較すると、解析結果が目標最大流出雨量に比べて約20%の雨水流出抑制効果が期待できる結果となった。

3-4 結論

以下に検討の結果得られた知見をまとめる。

1) 不飽和浸透特性について

今回の実験で使用した材料では、水分保持特性試験結果から、ポーラスアスファルト混合物は骨材最大粒径の影響を受け、骨材最大粒径が小さいほど水分を保持する。粒状路盤材は材料の違いが影響し、C-40に比べRC-40の方が水分を保持する。これは濡れ性などが原因と考えられる。路床は間隙サイズの違いの影響を受ける。

飽和-不飽和透水試験結果から、ポーラスアスファルト混合物は骨材の間隙の大きさの影響を受け、骨材最大粒径が大きく、また空隙率が大きいほど不飽和透水係数が急激に増加し、比透水係数が大きくなる。粒状路盤材は材料の違いの影響を受け、これは水分保持特性と同様、濡れ性などが原因と推察される。路床は粒度が異なるものの、透水係数の傾向は類似していた。

このことから、さらに異なった材料や条件（締固め度など）の不飽和浸透特性を把握することで、様々な舗装構造や材料条件における数値解析が可能になる。

2) 解析による雨水流出抑制効果について

第二京阪道路における実験結果を飽和浸透流解析を用いてシミュレーションした結果、空気相を考慮した解析がその現象をよく再現していることがわかった。このことから、透水性舗装を設計する際には空気相の影響を考慮する必要がある、この空気相を適切に表現することで、さらに実際の雨水浸透メカニズムを再現することが可能である。また、透水性舗装の浸透性能

は、路床の透水性能が非常に重要である。

おわりに

本稿は京都大学・大西教授にご指導いただいた研究の成果でとりまとめて紹介したものである。以下に結論をまとめる。

- ① 降雨強度が強くなるほど、溢流量が多くなるとともに、溢流開始時間が早くなる。
- ② 降雨強度が80～90mm/hr以上になると、舗装体内に空気の層すなわち二重水面が生じる。
- ③ 室内で実施した不飽和浸透特性試験の結果、アスファルト混合物に関しては間隙のサイズが、粒状路盤材および路床に関しては材料の違いが、それぞれ雨水浸透現象に影響を与えている。

【参考文献】

- 1) 国土交通省 土地・水資源局水資源部：平成17年版 日本の水資源について ～気候変動が水資源に与える影響～、2005。
- 2) 車道透水性舗装の設計方法確立に向けた検討：独立行政法人土木研究所資料 第4008号、2006。
- 3) 白石真一、関伸明、白濱幸則：軽交通道路における透水性舗装の適用性、第25回日本道路会議、09053、2003。
- 4) 渡辺安彦、占部浩二、有賀公則：全断面車道透水性舗装における追跡調査の一事例、第25回日本道路会議、09051、2003。
- 5) 気象庁：平成16年度版 環境白書、2006。
- 6) 道路路面雨水処理マニュアル（案）、独立行政法人土木研究所資料 第3971号、2005。
- 7) 鎌田修、久保和幸：「特定都市河川浸水被害対策法」と「道路路面雨水処理マニュアル（案）」について、舗装、Vol.41、No.2、pp.8-12、2006。
- 8) 工藤アキヒコ、西垣誠、西方卯佐男、鳥居剛、浅田昌蔵：粗粒材の不飽和浸透特性の測定と粒度による影響、土木学会論文集、No.743、Ⅲ-64、pp.77-87、2003.9。
- 9) 社団法人 日本道路協会：舗装調査・試験法便覧〔第4分冊〕F007、[4]－119～130、2007。
- 10) 赤井浩一、大西有三、西垣 誠：有限要素法による飽和－不飽和浸透流の解析、土木学会論文集、第264号、pp.87-96、1977。
- 11) 石原安雄、高木不折、馬場洋二：雨水の鉛直浸透に関する実験的研究、京大防災研究所年報 第9号、pp.1-13、1966。
- 12) 石原安雄、下島栄一：間隙空気の閉塞を伴う一定強度の降雨浸透について、京大防災研究所年報 第23号B-2、pp.1-17、1980。
- 13) 西田義親、八木則男、二木幹夫：雨水浸透による地盤内発生間隙圧と斜面安定、土木学会論文集、第262号、pp.91-100、1977。
- 14) 井田文雄、木野戸広、中川加明一郎：高温岩体からの熱抽出に関する流れと熱移動の連成解析、第23回土質工学研究会、pp.1885-1886、1988。
- 15) 井田文雄、木野戸広、伊藤孝、高岡一章、西垣誠：熱移動・浸透・崩壊連鎖を考慮した地下式原発におけるF.P.の地下漏洩評価、第30回地盤工学研究発表会、pp.1917-1920、1995。
- 16) 井田文雄、木野戸広、西垣 誠：岩盤内のF.P.の挙動について―地下式原発における想定事故時の検討一、日本地下水学会秋季講演会、1994。
- 17) 大阪府告示 第84号、大阪府公報（平成18年1月13日発行）、pp.6-7、2006。

橋脚耐震補強工事の施工事例

高 辻 慎 也*
阿 部 友 昭*
佐々木 寿 彦*

はじめに

本稿は、当社が受注した地下鉄の高架橋脚の耐震補強工事の施工事例から狭隘施工・住民対策などを報告するものである。

本路線の沿線は住宅が密集する地域であり、高架下は各種の公共施設、駐車場などの整備が進められている。施工箇所は駅周辺であるため、商店や住宅が隣接し、歩行者や自転車などの通行も多く、時間制限などの制約が多い中での施工となった。

1. 工事概要

1-1 工事概要

工 期：平成20年5月27日～平成21年2月10日
工事概要：

単柱式橋脚補強工 13橋脚
RC巻き立て工法による補強面積 729m²
ライナープレートによる掘削土留工 40.5m
補強工事に伴う土工 一式、薬液注入工 一式

2. 施工時の取り組み

2-1 現場の特徴

高架橋脚の耐震補強が主な工事であり、既存橋脚をフーチングまで掘削し、補強鉄筋を巻いてコンクリートを厚さ25cmで巻立てる作業となる。

橋脚の耐震補強工事は継続発注されていたが、今回の施工箇所は過去の工事で困難とされ、最後まで残った箇所である。したがって、以下のような都市土木工事特有の要素を多く含んだ工事となった。

- ① 施工箇所が点在すること
- ② 狭隘部であること
- ③ 近隣住民の理解が十分に得られていないこと

2-2 問題への解決策

(1) 施工箇所毎に異なる仮設計画

*北海道支店



写真-1 着工前（バスセンター横）

13橋脚の施工箇所が5工区に点在していることから工区毎に仮設計画を検討した。

工区毎の特徴があり多くの検討要素があるため、発注者の要件と近隣住民との要望をすり合わせるため、工事内容の説明を地域住民に説明することから始めた。

住民への工事説明および聞き取り調査の結果を工区毎にまとめ、共通する事項を全体的な対策として決定し、個々については工区毎の詳細仮設計画を補填する方策とした。

各工区が離れていることによる安全に関するリスク、コストロスのリスクを避けるため、工事の基本事項として工事範囲を広げることなく、工区毎に仕上げることにした。

① 防音・防塵対策

近隣への防音・防塵対策として、高さ3mのパネル型仮囲いで工事箇所全てを囲うこととし、使用するパネル型仮囲い材の選定条件を以下とした。

- a. 外面に突起物がないこと
- b. パネルの突き合わせ部に隙間がないこと
- c. 軽量で取り扱いが容易なこと
- d. 過度なコストを必要としないこと

パネル型仮囲いは必要とされる条件を十分に満たし、





写真-2 パネル型仮囲い



写真-3 防音シート

現場内から発生する埃等による近隣住民からの苦情は1件も発生しなかった。

また、セットで組み合わせた出入口を施錠することにより、現場と外部を完全に隔離できたために、関係者以外の立ち入りを防止し、近隣で多発していた資機材の盗難の発生も防止する、二次的効果もあった。

橋脚の高さがあるため、施工箇所が上部になるほど床版との反射音や仮囲いを越えた越流音および埃の飛散防止対策を必要としたために、使用する防音・防塵シートの選定条件を以下とした。

- a. 消防庁の防災規格合格品であること
- b. 軽量であること
- c. 低温下に柔軟性を失わないこと
- d. 地球環境に配慮した製品であること
- e. 経済的であること

以上を検討した結果、全ての条件を満たしている防音シートを採用した。

防音シートの材質は万が一火災に遭遇した場合であっても、従来のシートと比較して有毒ガスの発生が著しく低減されるポリオレフィン製であり、従来の塩ビ(PVC)製の防音シートに比べて1/5の軽さのため、狭い場所での取り扱いに有用であった。

また、厳冬期においても柔軟性があり、設置・撤去での扱いにも問題がなかった。

防音効果にも優れ、橋脚ハンチまで囲うことにより床版への反射音を防ぐことができ、騒音や埃に関する苦情もなく工事を進捗することができた。

一方で、対策の効果は十分に得られた反面、防音シートで囲われた作業範囲内では空気の流れが遮断されるために換気装置を設置していても夏場は暑く、照明を用いなければ暗い状況であり、作業環境としては決して良い状態ではなかった。図-1にメーカーによる防音シートの騒音に関する測定データを示す。

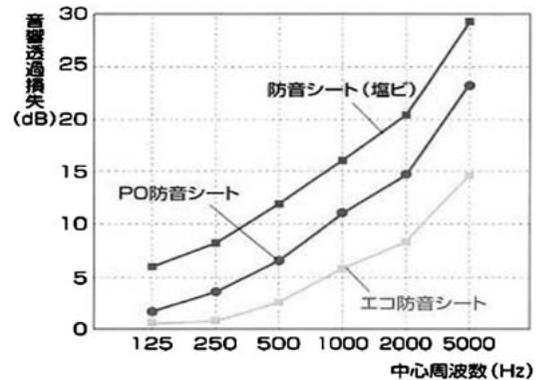


図-1 音響透過損失比較表

② 狭隘部での対策

高架下で行われる作業であり、掘削深さも平均6m以上であることから、各工区における作業スペースの確保が安全と施工性を左右する要素であると判断し、工区毎に作業施工箇所の「作業スペース定規」(高さ、幅、延長)を事前に決めた。

橋脚毎に「作業スペース定規」を当てて範囲をマーキングし、支障対象物件の所有者および管理者に現地でも説明した。

その際、移動・移設に関しては所有者の不利益にならない方法を説明し、駐車場・駐輪場になっている箇所では代替駐車場を確保、公共展示物(展示地下鉄車両)の移動には移動作業の協力等を行った。作業スペースを確保する説明業務は施工する工区に着工する1ヶ月前より行い、協力を得る進捗に応じて工程を調整する必要があり、一番の苦労点であった。

しかし、支障物件の全てを作業開始前に移動、移設することで、着工してからは工程に支障をきたすことなく完成に至った。

③ 近隣住民への広報活動

施工箇所には各々の生活環境があり、生活リズムも異なることから、作業内容による施工時間を決めるた



写真-4 障物移動状況（展示車両）

めに、近隣住民から「生活リズム聴取」を実施するとともに、決定した作業内容と作業時間を事前通知する方策を各工区で行った。

近隣住民は耐震補強工事を行うことには理解を示してくれる一方、地下鉄が走行する際の振動や騒音に対する行き場のない不満を抱えていることが、聞き取りによりわかった。

したがって、今回の工事は耐震補強工事である他に振動抑制工事でもあることを知ってもらうため、過去に実績のある振動抑制工法であることを改めて説明して回った。

その結果、多くの住民、関係者が工事の内容に理解を示してくれることとなり、苦情もなく工事を終えることができた。

設計された振動抑制工法は、補強した橋脚にウレタン系の防振材（ $t=20$ ）を巻き付け、残置したライナープレートとの間を単粒砕石で埋め戻す方法であるが、施工後の振動軽減効果の検証は実施していない。

(2) 施工上の問題点

作業は地表面より下は深さ6.0m以上、直径5.0m～6.0mの円形立坑内で行うこと、および、上部は路線桁があるため施工制約が多く、施工検討会で数々の問題点が浮き彫りとなった。主な問題点と解決方法およびその結果について報告する。

① 掘削作業

施工付近の地形は河岸段丘の中間部に位置し、地質は玉石混じり土である。したがって、既設基礎の埋戻しには掘削時に発生した玉石混じりの土砂が用いられていることから、大型の掘削機械を用いることが効率的と考えられたが、機械の搬入路、上部空間、既設橋脚とライナープレートとの間隙を検討した結果、小型のバックホウ（0.3m³級）に特殊エクステンションを取り付けての掘削とした。しかし、4.0m以深では人力施工となり、1段（50cm）掘り下げるのに丸一日



写真-5 振動抑制工法（防振材+単粒砕石）

を要したため、出来高において設計積算との相違が発生した。

② 工程調整

工種が多く多岐にわたる専門業者が携わることになるが、作業箇所が狭く施工規模が小さいことより、効率良く作業を行うため職員が作業箇所に立ち入る測量や墨出しの業務は夜間または早朝に行うこととした。その結果、業者の手待ちをなくすことで計画工程の通りに作業ができた。

しかし、作業が進むほどに職員への負担が多く、勤務時間の調整に苦労した。

③ スランブ調整

標準配合の生コンクリート（RC-2 27-8-20・クラック防止対策用膨張剤入り）は、ポンプ打ちに適さないため流動化剤（レオパック）を添加してワーカビリティの改善を図った。

流動化剤の使用方法は「打設状況に合わせ現場でアジテータトラックに投入し、高速攪拌を行い、スランブを確認する。」であったが、アジテータトラックの待機場所がなく、流動化剤の効果が発現する時間および時間経過における流動性の変化を見極めることに苦労した。また、アジテータトラックに洗浄水の残水が見られたことから、工場への指示、連絡が重要であることを痛感した。

おわりに

当社は、近年増加している耐震補強工事、管更正工事などの特殊土木工事の営業・施工に力を注いできた。

本工事は、土木工事に関わる職員の技術力の高まりと、協力会社の成長を見極め、新たな立場として土木工事の元請受注に取り組むという支店方針に基づき、受注した工事であった。特殊土木工事における当社の力量を示す機会となり、無災害で工事を終えるとともに、施工管理のノウハウを確立させるという両面を意

オートサーキット工事の技術提案と創意工夫事例

宮本 耕一*
佐藤 正英*

はじめに

当社は某モータースポーツランドから平成17年に遊具解体工事を受注して以来、毎年工事を受注している。

当初は、他社が先行して営業しており、受注には結びつかなかった。しかし、継続して顧客を訪問し、各担当部署の具体的なニーズを収集するとともに、個々の物件について現地を調査し、適切な工法を提案しているものである。

1. サーキットコース工事内容

1-1 物件報告

当モータースポーツランドは、総合モータースポーツランドとして1975年にオープンし、同時にカートコースもオープンしている。1977年には国際公認コースとして登録されている。(写真-2)

1-2 工事概要

コース舗装面積	: 9,585m ²
パドック舗装面積	: 1,550m ²
本コース切土	: 5,183m ³
本コース石積み	: 373m ²
本コース防護フェンス等移設	: 377m

1-3 発注者からの課題と提案内容

発注者から与えられた課題は以下のとおりである。

- ①全日本カート選手権等の競技に適用するコース設計
- ②タイヤ磨耗の少ない舗装表面
- ③本コース・第一・最終コーナーの安全対策のコース設計(昨年クラッシュが多かった場所の安全設計)である。

各課題に対して実行した事項を次に示す。

①コース設計について

JAF国内カート競技規則集およびカート競技委員に確認したところ安全基準はあるがコース設計・形状に

関する規定はないことが判明した。

そこで、コース線形の前案を作り、発注者側コース設計担当者との打合せを何度も行い、発注者側の要望に沿ったものとした。

②使用する表層用アスファルト混合物について

この課題については、新設時の舗装表面が良好な状態でも、長期間使用すると粗面になることをあらかじめ説明し、サンプルを作製して判断を仰ぐこととした。

そこで、他のコースの聞き取り調査をするるとともに、現状コースから舗装サンプルを採取し、抽出試験により混合物種類を確認した。これより、混合物は密粒ギャップアスコン13と判明した(表-1、2参照)。

表-1 切取供試体調査結果-1

番号	As量(%)	密度
No.12-1	5.67	2,448
No.9-1	7.02	2,384
No.8-1	5.75	2,368
No.15-1	5.58	2,404
No.1-1	6.06	2,367
No.7-1	6.74	2,330

表-2 切取供試体調査結果-2

番号	通過重量百分率							
	13.2mm	9.5mm	4.75mm	2.36mm	0.60mm	0.30mm	0.15mm	0.075mm
No.12-1	98.9	86.2	54.0	41.4	29.7	21.6	11.5	7.9
No.8-1	98.9	91.0	63.5	47.3	28.1	17.7	9.6	6.7
No.8-1	98.4	83.0	62.2	42.6	31.1	24.5	13.1	9.1
No.15-1	99.1	87.4	59.1	40.3	29.2	21.8	11.6	7.5
No.1-1	99.5	88.2	62.9	43.3	34.1	25.6	12.2	7.8
No.7-1	0.0	93.4	66.4	52.3	33.5	20.3	10.1	7.0

密粒13	95-100	55-70	35-50	18-30	10-21	6-16	4-8
密粒G13	95-100	35-55	30-45	20-40	15-30	5-15	4-10
密粒G13	95-100	45-65	30-45	25-40	20-40	10-25	8-12
細粒13	95-100	65-80	50-65	25-40	12-27	8-20	4-10

現状の密粒ギャップアスコン13の表面が、粗面のためにタイヤの磨耗が激しいと推察され、サンプルは密粒ギャップアスコン13のほか、段階的に粗面の程度を抑えた密粒アスコン13および細粒アスコン13の3種類を作製した。サンプル作製にあたり、実際に出荷するプラントの材料を使用して、ホイールトラッキング試験用供試体を作製した。サンプルによる評価の結果、

* 東北支店



表層用混合物として密粒アスコン13が採用された。

③本コースの第一最終コーナーの安全対策について

安全向上の目的で、本コースの安全地帯の拡幅を提案した。発注者側担当者と打合せをし、クラッシュ車両の避難場所を設置し、それに伴う法面の掘削・防護フェンス移設等を計画し承認を得た。

2. 施工

2-1 舗装構造

舗装断面を図-1に示す。

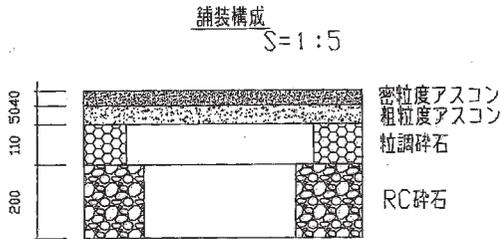


図-1 決定舗装断面

2-2 既設舗装体の利用

既設舗装は、一部ひびわれ等損傷はあったが、大部分は表面の粗面化が補修理由であった。

そこで、既設舗装とラップする箇所は、できる限り再利用することとした。

その結果、全コース面積中26%は、切削オーバーレイ施工となった。(図-2参照)



図-2 切削オーバーレイ箇所

2-3 施工方法

同業他社が施工した既設舗装は、曲率半径が小さいにもかかわらず良好な施工であった。当社として今後の受注のためにも、今以上のできばえを確保する施工方法を検討した。その結果、トータルステーション(以下TS)を使用したOGP工法による施工を採用した。



写真-1 施工状況

施工手順

- ①座標データおよび計画高をもとに3次元の設計データを作成し、作成した設計データを重機のコントロールボックスに入力する。
- ②TSシステムにより重機を制御し、路盤や舗装の仕上がり高さの精度を向上させる。
- ③ホットジョイント施工とし、ジョイントヒーターも併用してできばえの向上に努める。

2-4 本コース第一最終コーナー安全対策の創意工夫

第一最終コーナー安全対策として安全地帯を拡幅し、クラッシュ車両の退避場所を確保する必要があった。そこで、現在のり面下側にある観客席をのり面上部に移し安全帯を拡幅することを提案し施工した。

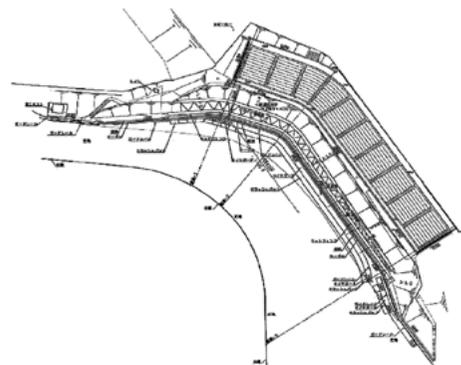


図-3 第一コーナー平面図

3. まとめ

3-1 競技に適用するコース

一部現コースの面影を残すテクニカルな部分もあり、さらにエンジン全開区間の長いハイスピードコーナーとして生まれ変わった。

3-2 タイヤ摩耗の少ない舗装表面

舗装表面については施工前・施工後にDFテストにて動的摩擦係数を測定し0.53 μ （施工前）から0.40 μ （施工後）とすることで、タイヤ摩耗が少なくなり、コース使用後も発注者から高い評価を得た。（表-3 参照）

表-3 動的摩擦係数（施工前後）

新設表層			既設表層		
測定箇所		動摩擦係数 (μ_{80})	測定箇所		動摩擦係数 (μ_{80})
第1コーナー 手前	OUT	0.37	第1コーナー 中央	OUT	0.59
	CENTER	0.37		CENTER	—
	IN	0.39		IN	0.60
第1コーナー 中央	OUT	0.48	第6コーナー 中央	OUT	0.43
	CENTER	0.46		CENTER	—
	IN	0.47		IN	0.66
第3コーナー 中央	OUT	0.38	第8コーナー 中央	OUT	0.59
	CENTER	0.32		CENTER	—
	IN	0.53		IN	0.50
第8コーナー 中央	OUT	0.42	第12コーナー 中央	OUT	0.40
	CENTER	0.32		CENTER	—
	IN	0.32		IN	0.43
			第15コーナー 中央	OUT	0.54
				CENTER	—
				IN	0.61
平均値		0.40	平均値		0.53

おわりに

今後、本コースの改修工事が予定されている。

OGP工法は今後利用価値の高い工法と思われるが、今回のコースのような緩急曲線（半径9m～15m）および複雑な縦横断勾配に対応できるシステムの改良が必要と思われる。また、システムを運用する技術者の育成が必要となる。



写真-2 コース全景



写真-3 第一コーナー完成全景



写真-4 最終コーナー完成全景

高度技術・創意工夫により工期短縮を実現した 工事の施工報告

古川 聡 哉*
長井 伸 芳*
有賀 真*

はじめに

当社が受けましたトンネル内のコンクリート舗装を含む総延長25kmの舗装工事において、開通時期が決まっているにもかかわらず、トンネル本抗工事は依然遅れがちであり、舗装工事への引き渡しが最大8カ月遅れた区間があった。そういった厳しい工程条件のもと、工期短縮が絶対の命題であった。本報文では、工法の創意工夫により、工期短縮を実現し成功した例を紹介する。

1. 工事概要

1-1 工事箇所および工事延長

総延長	25,630m
土工延長	3,086m
橋梁延長	1,836m
トンネル延長	20,708m

1-2 施工数量

セメント路盤工	196,000m ²
アスファルト舗装	40,000 t
コンクリート舗装版工	106,000m ²

2. 工期短縮のための創意工夫

2-1 トンネル内における路盤工のスピード化

全長10.7kmのトンネルのセメントコンクリート路盤工において、施工のスピードアップを目的として、ベースペーパー（アスファルトフィニッシャー）を使用した。これは、同時に平たん性の向上という狙いもあった。従来のグレーダによる敷きならしでは、その施工スピードや仕上がりの良否は、オペレータの技量によるところが大きい。しかし、ベースペーパーによる敷きならしは、路盤材の供給量に応じてスピードを上げることができ、荷降ろしから転圧までの時間が短縮できる。さらに、トンネルは暫定2車線の道路断面で、幅

員は8.5m程度しかない。その中で、通行帯を確保するためには作業スペースは3.5～4.5m程度に限定されてしまう。この工法によって、一定の幅員での敷きならしが可能であり通行帯の幅員を確保しながら施工ができた。当工法により得た結果は表-1に示すとおりである。

表-1 従来工法と当工法の比較

項目	従来工法	当現場
平坦性(8m プロフィール)	1.3程度	0.4
日施工量	800t程度	1100t
進捗量・所要日数	280m/日、38日	390m/日、28日



写真-1 ベースペーパーによる施工状況

2-2 仮設アスファルトプラントの出荷能力向上

当現場では、専用の仮設アスファルトプラントを現場近くに建造し、合材の供給をおこなった。当現場では表層工には高機能舗装とハイブリッド舗装の2種類があった。この2種の混合物は6号砕石や、石粉の配合量が多いため、計量時間が長くなる。その影響で、プラントの出荷能力が低下する。そこで、当現場では、仮設アスファルトプラントを改造し、出荷能力を向上した。改造内容は下記のとおりである。

① ホットビンの3ピン（13mm～5mm）の容量を

* 中部支店



必要に応じて通常時の4.5m³から9.0m³に拡大できるように切り替えダンパを設置した。

- ② 石粉フィーダのスプロケットの径を大きくし、回転数を上げて、供給力を20%アップした。

通常、高機能舗装、ハイブリッド舗装の出荷量は公称180t/hのプラントで100~120t/h程度に低下するが、当現場では上記の改造に伴ない計量時のタイムロスがなくなり150t/h以上出荷することが可能となった。当工法により得た結果を表-2に示す。

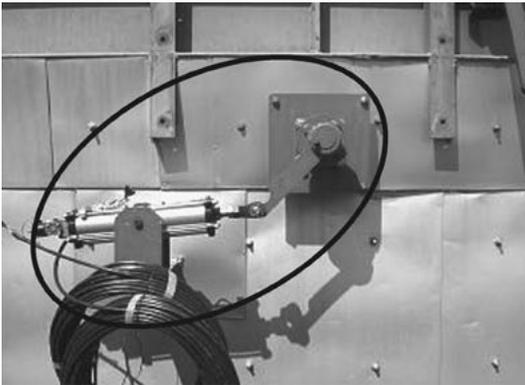


写真-2 3ピン切り替えダンパ



- 拡大時の3ピン
- 通常時の3ピン

写真-3 3ピン切り替えダンパ

表-2 従来工法と当工法の比較

項目	従来工法	当現場
出荷量	100~120t/h	150t/h 以上
日平均施工量	600t程度	900t
進捗量・所要日数	7000 m ³ /日、25日	10,500 m ³ /日、17日

3. その他の創意工夫

3-1 融雪パイプ設置個所の保護層の工夫

当該地域は、冬期には積雪が2mにもなる豪雪地帯である。そのため、橋梁部およびトンネル坑口付近の舗装体には融雪パイプが設置されている。橋梁上では、

コンクリート床版上に融雪パイプ（外径16mm）を設置し、融雪パイプの保護を目的として、SMA（5mm）（平均施工厚 t = 25mm）を舗設し、その上にレベリングを目的として密粒（13mm）（施工厚 t = 35mm）を舗設する構造であった。しかしながら、アスファルト合材による薄層施工での融雪パイプの保護は、クラックなど不具合発生事例が多く発生している。そこで、当現場では、SMAの代替案として、スチールファイバーコンクリート（以下SFRC）による施工を提案し、採用された。設計断面と変更断面を図-1に示す。

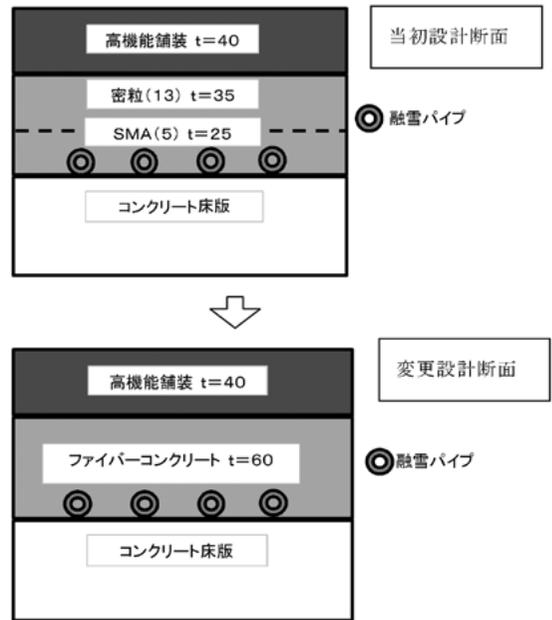


図-1 橋面舗装の変更断面

この提案の効果は以下のことが挙げられる。

- ① SFRCは、流動性が高いため、融雪パイプの下面側における充填性（水密性）が向上できること。
- ② 靱性が高いことから橋梁のたわみ、振動に対する追従性にも対応できる。

これにより、現在のところクラックやパイプの破損などの不具合は発生していない。

3-2 コンクリート舗装における敷きならし方法

当現場の、コンクリート舗装は、通行帯を確保するため、ハーフスリップフォーム工法にておこなった。通常コンクリート舗装は、生コンを鉄網の高さで1層目を敷きならし、鉄網を敷設後、仕上げ高さにて2層目の敷きならしを行うものである。したがって、セットフォーム工法（オンレール）では、スプレッドが前後に走行できるため、1層目と2層目の敷きならしを

1台で行う工法が標準である。しかしながら、スリップフォーム工法（オフレール）では、敷きならし機械を2台縦列する必要がある。そこで、当現場では、1層目の敷きならし機械として、アスファルトフィニッシャを改造したもの（写真-4）を使用した。主な改造点は下記のとおりである。

- ① プッシュローラを、ミキサー車に合わせて前方に張り出した。
- ② ホッパ内のバーフィーダの脇にフェンスを設置し、作業員が、安全にシュートを操作する場所を設けた。これにより、ミキサー車から直接フィニッシャのバーフィーダに投入することができ、荷下ろし効率が向上した。また、副次的効果として、後続のスリップフォームバーバへの生コン供給のための通行帯も確保できた。



写真-4 改造アスファルトフィニッシャ



写真-5 生コン投入状況

3-3 ダウエルバーの設置方法

前項の工法にともない、収縮目底部に設置するダウエルバーおよびチェア（バーアセンブリ）は、アスファルトフィニッシャの走行の支障となるため、あらかじめ設置しておくことができない。そこで、チェアを上から押し込みが可能となるように逆さにして組み立

て、コンプレッサで圧入するようにした。（図-2）

この方法であれば、1層目の生コンを敷きならしたのちに設置できるため、効率よく所定の位置にバーアセンブリを設置することができた。

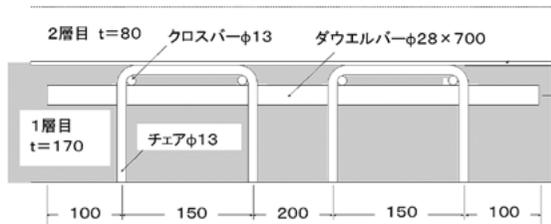


図-2 変形バーアセンブリの構造



写真-6 バーアセンブリ圧入状況

3-4 コンクリートの後期散水養生

コンクリート舗装版の後期散水養生を散水車で行う場合、通常散水ノズルは前方もしくは後方にしかないので、備え付けのホースにて人力により養生マットに散水する。

この方法では、散水車を停車した状態でオペレータがホースを持って散水するか、運転手のほかにホースを持つ作業員が必要である。また、暫定2車線のトンネル内の片側1車線を施工した場合、コンクリート養生期間中は、反対側の車線は工事車両の通行帯となっているため、そこに散水車を停車することは、他の車両の通行を阻害することになる。その対策として当現場では、散水車の側面に散水ノズルを装着した散水車を使用した。（写真-7）

この方法では、運転手だけで散水車を自走させながらの側方散水が可能なので、他の工事車両の通行を妨げることなく、散水作業を省力化でき、さらに安全面でも優位であった。

4. まとめ

本報告で紹介した創意工夫の事例は、施工能率の向



写真-7 側方散水ノズル

上、舗装構造の改善、作業スペースの効率化などに大きな効果があった。その結果、当初15か月かかる予定だったトンネルの舗装工程を12カ月にまで短縮するこ

とができ、厳しい工程の中、全線開通を無事迎えることができた。また、当工事では、本文中で紹介した項目を含めて、地域への貢献や品質の向上、安全衛生など44項目にわたり創意工夫を提出し、高評価を得ることができた。

本報文で紹介した創意工夫の事例は、機械の改造費や損耗費、材料費などのコストアップを伴うものである。実用に際しては、発注者に対し、そのデメリットを補って余りあるほどの合理性、必要性をいかに理解していただけるように提案することが重要である。

おわりに

工事中は、発注者、地元関係、協力会社の各位に多大なご指導とご協力を賜った。この場をお借りして、感謝の意を表する。

密粒度アスファルト舗装上の遮熱型熱環境改善舗装 (IRガード) の施工報告

谷口 明 偉*

はじめに

当社はこれまで密粒度アスファルト混合物路面上に遮熱性舗装を施工した事例はあるが、一部に供用後、はく離やひびわれ等観察されており、密粒度アスファルト混合物路面上への遮熱性舗装の適用にあたっては、施工方法を含めいくつかの課題を抱えている状況にある。

こうしたなか、都内の区道において、密粒度アスファルト混合物路面上に遮熱性舗装を施工することになったため、事前に検討を行い実施工にのぞんだ。

本書は、事前検討、施工概要および施工時の留意点・創意工夫点について報告するものである。

1. 工事概要

工事概要を以下に示す。また、図-1に当該工事の施工位置を示す。

- ① 工事場所：東京都内
- ② 工 期：平成20年10月20日～平成21年3月25日
- ③ 工事の内容：土工・排水工事 1式
 車道舗装工事 1,357m²
 遮熱性舗装 1,357m²
 歩道舗装工事 1,184m²
 交通安全施設工事 1式
 道路植栽・照明工事 1式



図-1 施工位置

2. 性能確認試験

2-1 基準値

遮熱性舗装の性能基準値は表-1のとおりである。

表-1 本工事の遮熱性舗装の性能の基準値

性 能	測定方法	基準値
路面温度上昇抑制効果	室内照射試験法 (遮熱性舗装技術研究会)	7℃以上
サベリ抵抗値	DFテスト機および電子式スケッドメータによる方法	DFT: $\mu = 0.5$ 以上 (40km/h) SPN: 60以上

2-2 室内照射試験

(1) 室内照射試験に供した材料

表層混合物には再生密粒度アスファルト混合物(13)を使用した。遮熱塗料は、メチルメタアクリレート(通称:MMA)を主成分とする反応性樹脂液に、遮熱塗料(N4)を配合したものをを用いた。遮熱塗料の各種特性値は、表-2のとおりである。

硬質骨材の各種特性値は、表-3のとおりである。

表-2 遮熱塗料の各種特性値

試験項目	試験結果	試験条件	備 考	
外 観	A 液	着色粘稠液	下塗り上塗り共通	
	B 液	着色粘稠液		
粘 度	A 液	500mPa・s	B型粘度計、23℃ # # 下塗り上塗り共通	
	B 液	500mPa・s		
	A・B混合液	500mPa・s		
可視時間	10分	23℃	下塗り上塗り共通	
歩行可能時間	1時間以上	23℃	下塗り上塗り共通	
試験項目	品質規格	試験結果	試験条件	備 考
硬さ	70±10	68	JIS K 6253 ショア-D	総合塗膜
摩耗質量	200mg以下	70mg	JIS K 7204 テーパー式摩耗試験機 9.8N 回転数 1000rpm 摩耗輪CS-17	上塗のみ
耐おり落下性	われ、剥がれが無いこと	合 格	JIS K 5609 テーパー式、50g×50cm	総合塗膜
引張接着強さ	1.0N/mm ² 以上	1.4N/mm ²	JIS K 5536 コンクリート 確研式	総合塗膜
引張強度	12±3Mpa	10Mpa	JIS K 6251	総合塗膜
引張伸び	65±10%	70%	JIS K 6251	総合塗膜

表-3 硬質骨材の各種特性値

名称：セラサンD
品名：HW B粒 (1.0~0.5mm)

試験項目	単位	試験方法	基準値	測定値
比重(見掛)		JIS A 1109 (準)	2.25~2.70	2.53
吸水率	%	JIS A 1109	2.0以下	0.95
すりへり減量	%	JIS A 1121	20以下	16.4
硬度		旧モース硬度計	8以上	8

注) すりへり減量は6号サイズの測定値、硬度は原鉱の測定値

* 関東支店



(2) 試験方法

試験方法は、遮熱性舗装技術研究会の室内照射試験法とした。

ベースとなるアスファルト混合物の供試体は、当該工事でアスファルト混合物を出荷する東京総合材工場にて作製した。この供試体に、上記の遮熱塗料を吹き付け、室内照射試験に供した。

(3) 試験結果

路面温度上昇抑制効果は、遮熱塗料を吹き付けない状態と比較し、60℃において12.3℃となり、基準値7℃を満足する結果となった。

3. 事前の検討

これまで当社が、密粒度アスファルト混合物路面に遮熱性舗装を施工した実績からポーラスアスファルトの路面と比較してはく離やひびわれが生じやすいことが判明していた。

平成16年に行った試験施工では、施工1年後にひびわれが発生した。このひびわれの原因は、付着性、耐摩耗性強化のため硬度の高い樹脂を使用したため、塗膜の温度収縮に舗装体が追従できなかったことであった。また、平成20年には、二層施工となる塗膜の硬化速度の差に起因したはく離が確認される。

こうしたことから、当該工事の遮熱性舗装においては、事前に技術研究所にて、はく離抵抗性、付着性について検討を行い、立地条件に合わせた施工方法を検討し、その後実施工にのぞんだ。

(1) 路面の事前処理と評価方法

路面の事前処理については、①研掃なし ②砥石研掃 ③ダイヤモンド研掃 の3種の処理について2-2 (2) の供試体を用いて評価した。また、これらの研掃後に、プライマーを散布した(しない)路面を作製し、あわせて評価した。評価は、はく離抵抗性と塗料の接着性について行った。

はく離抵抗性については、塗料を散布した供試体のねじり走行試験(回転式ホイールトラッキング試験機)後、色彩色差計によって明度を測定することで評価した。表-4にねじり走行試験の詳細項目と条件を示す。

塗料の接着性については、ハンドル式引張接着試験機により、接着強度を測定することで評価した。図-2に引張接着試験機の構造を示す。

(2) 評価結果

ハンドル式引張接着試験機による接着強度の測定結果を図-3に、ねじり走行試験後の明度の測定結果を図-4に示す。これより、研掃の方法にかかわらず

表-4 ねじり走行試験の詳細項目と条件

項目	条件	備考
試験用タイヤ	型式	ハンドカートタイヤ
	寸法	直径200×幅50mm
	トレッド	リフラグパターン
載荷荷重	490N	
タイヤ空気圧	200±10kPa	試験室温度条件での値
テーブル回転速度	10.6 回/分	
走行半径	10cm	中心から内輪まで75mm(図1参照)
試験温度	20℃(残500回は40℃)	
走行回数	500回+500回(40℃)	0,50,100,200,500回で中断して明度を測定

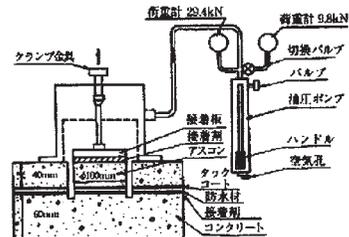


図-2 引張接着試験機の構造

ライマーは散布しないほうが望ましいこと、すべり止め骨材の散布過多は、はく離抵抗性を減ずること、ダイヤモンド研掃を行った路面の接着強度が大きいうことがわかった。

(3) 本施工の施工方針

上記の事前の検討および関係者の打ち合わせにより、

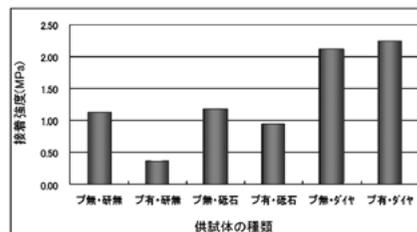


図-3 接着強度試験結果

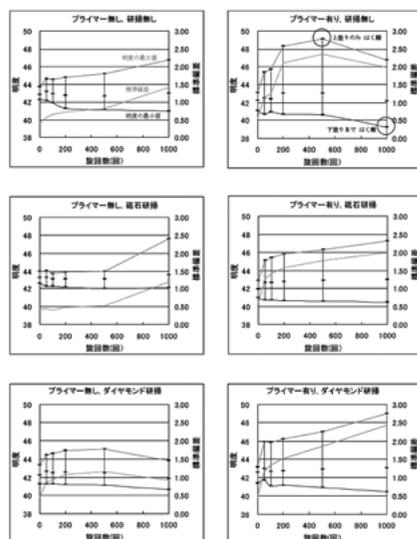


図-4 ねじり走行試験後の明度の測定結果

本施工の施工方針は以下と決定した。

- ①アスファルト舗装面の処理は、ダイヤモンド研掃とする。
- ②下塗りの吹き付け量は、 $0.4\text{kg}/\text{m}^2$ とし、下塗りの吹き付け直後に、硬質骨材を散布する。
- ③硬質骨材の散布量は、すべり抵抗値の確保、上下層の付着を勘案し、 $0.5\text{kg}/\text{m}^2$ とする。
- ④上塗りの吹き付け量は、 $0.4\text{kg}/\text{m}^2$ とする。
- ⑤下塗りと上塗りの塗料は、上塗り塗膜のはく離による色ムラ低減のため同色とする。

4. 使用機械・施工手順・施工状況

4-1 使用機械

使用した機械を表-5に示す。

表-5 使用機械

使用機械	用途	台数
ダイヤモンド研掃機	路面研磨	2台
2液混合樹脂散布機	遮熱塗料の散布	2台
硬質骨材散布機	すべり止め用 硬質骨材の散布	1台
送風機	臭気拡散	1台
消臭剤噴霧器	臭気消臭	1台

4-2 施工手順・施工状況

①研掃工

遮熱塗料を散布する舗装面の油分の除去および接着強度の向上を目的に、ダイヤモンド研掃機にて舗装面を研掃した。(写真-1)

②清掃工

舗装面を箒、ブロー等にて清掃した。

③マスキング

路面表示、周囲の構造物等をマスキング材により養生した。(写真-2)

④下塗りの吹き付け

吹き付けの準備完了後、ガンを装着し吹き付けを開始した。吹き付け量は、 $0.4\text{kg}/\text{m}^2$ とした。(写真-3)

⑤硬質骨材の散布



写真-1 研掃状況



写真-2 マスキング状況



写真-3 下塗りの吹付け



写真-4 硬質骨材の散布

下塗りの吹き付け直後に、硬質骨材を $0.5\text{kg}/\text{m}^2$ 散布した。(写真-4)

⑥上塗りの吹き付け

吹き付けの準備完了後、ガンを装着し、吹き付けを開始した。吹き付け量は、 $0.4\text{kg}/\text{m}^2$ とした。(写真-5)

⑦片付け

上塗りの樹脂吹き付け終了後、マスキング材を撤去し周囲を清掃した。

⑧交通開放

樹脂の硬化確認の後、交通開放した。完成を写真-6に示す。



写真-5 上塗りの吹付け



写真-6 完成

5. 施工時の留意点・創意工夫点

(1) 危険物仮取扱申請書の提出

MMA樹脂のA剤は、危険物(第4類第1石油類非水溶性)に該当する。そのため、事前に「危険物仮取扱申請書」を署轄消防署に提出するとともに、施工に際しての指導を仰いだ。また施工日当日に、作業員に火気厳禁の注意喚起を行うとともに、沿道に火気厳禁の貼紙を掲示し一般歩行者へ注意を促した。

(2) 沿道対策

当該施工区間の沿道関係機関(会社、病院、飲食店、工事中の建築現場関係者等)には、事前に、施工の日程および交通規制状況を記載した「週間工程表」を配布した。沿道の契約駐車場利用者に対しては、駐車場管理者の協力のもと、施工時間帯に入出庫ができなくなる旨を知らせた。また、最寄りの警察署の協力のもと、側道の駐車禁止を解除していただき、この側道を施工時間帯に入出庫の必要がある車両の仮の駐車スペースとした。

(3) 既設路面の状態確認

MMA樹脂は、水分の影響を受けると硬化不良を起こす。そのため、事前に既設路面が十分に乾燥していることを確認した。また、樹脂の硬化中に降雨があると同様の現象が発生するので、天気予報に注意を払った。

(4) 散布樹脂の配合

A液には硬化促進剤、B液には硬化触媒を添加するが、添加量を決める際には十分注意が必要である。MMA樹脂の硬化速度は、路面温度（気温）に大きく影響を受ける。硬化速度が極端に早く、すべり止め骨材の散布が遅れると、下塗りの塗料とすべり止め骨材の付着不良を生じ、また、ブローの風で骨材が飛ばされ散布ムラが生じる。散布ムラは、すべり抵抗性の低下だけでなく、散布過多箇所では早期はく離の原因となる。また、下塗りと上塗りの密着性を高めるためには、施工間隔を短くすることが好ましいが、極端に短くしたり、硬化促進剤・硬化触媒の添加量を減らすと硬化不良を起こす。このため本工事では、施工時に路面温度の測定を行い、慎重に硬化促進剤および硬化触媒の添加量を決定した。

(5) MMA樹脂の臭気対策

MMA樹脂は、硬化反応中に特有の臭気が発生する。当該施工区間は、駅前の繁華街のため、この臭気対策には十分配慮した。臭気対策としては、「事前にちらしを配布すること」と「送風機、消臭噴霧器による消



写真-7 送風機の設置 写真-8 消臭噴霧器の設置

臭」を実施した。具体的には、ビルのエントランスから各階層に臭気が立ち上る箇所には送風機を設置し、間口を開放している飲食店には飲食店の前に消臭噴霧器を設置した。また、消防署へは事前に「消防活動等に支障を及ぼすおそれのある道路工事届出書」を提出した。

おわりに

IRガード（遮熱性舗装）は、下地が密粒度アスファルト混合物の場合、塗膜がはく離しないよう塗料の硬度を検討する必要がある。当該工事では、事前に技術研究所にて評価・検討を実施した結果、前述した施工方針のとおり施工したことで、はく離の懸念を払拭することができた。今後追跡調査を実施することで、効果の程度を検証する予定である。

最後に、発注者、警察署、協力業者の皆様にご感謝の意を表したい。

吸水変色型マットによるコンクリート舗装の 養生と管理方法

友 瀧 康 平*
青 木 一 生*
比 良 仁*

はじめに

本報文は、「国際空港貨物エプロン等の工事」のうちコンクリート舗装工の後期散水養生について吸水型変色型マットを使用して、打設後のコンクリートの保湿状態を視覚により容易に、判断し、的確な散水を行うことで散水養生手間の削減と養生水の節約を試みた結果を報告するものである。

また、今回使用した吸水変色型マットは、本工事において試作品として作製し、現場にて試験的に使用したものである。

1. 工事概要

本工事の工事概要は下記のとおりである。

- ①工 事 名：貨物エプロン等工事
- ②工 期：平成20年6月16日～平成20年12月12日
- ③工事内容：コンクリート舗装工に関する主な数量を表-1に示す。
- ④工事の特色：以下に示すとおりである。
 - 1) 夏期におけるコンクリート舗装工事である。
 - 2) コンクリート舗装の幅員は8.5m、厚さは36cmと通常（I期島では42cm）より版厚が薄い。
 - 3) 工事区域が、工期の途中までは一部制限区域であるが、9月から工事区域全てが制限区域内となる。
 - 4) 運用開始予定が決定しているため、航空局（CAB）検査を11月末に受ける（5.5ヶ月完成）工期となる。

2. 工事におけるコンクリート舗装工

貨物エプロン等工事では、土工事完了後、期間をおかずエプロン舗装を行うことを要求された。

よって、路床工、上層路盤工、およびコンクリート舗装工が重なって施工を行う形となり、コンクリート舗装工においては2班によるコンクリート打設を余儀なくされた。

*大阪支店

表-1 主要工種

工 種	名 称	単 位	数 量
土 工	切土、盛土他	m ³	27,620
上層路盤工	t=170CSセメント安定処理路盤材	m ²	49,001
コンクリート舗装目地	縦方向施工目地	m	5,510
	縦方向膨張目地	m	366
	横方向収縮目地	m	5,780
	横方向膨張目地	m	269
コンクリート舗装	t=360（標準部）	m ²	51,918
	t=350～670（バリットスラブ）	m ²	812
	t=350（枕版）	m ²	675
初期養生・後期養生	被膜養生・マット養生	m ²	51,139

また、各工種の日々の施工内容および施工数量は下記のとおりである。

2-1 土 工

現地盤を計画高さで切り土して、その土砂は盛土に使用した。

盛土においては、現地盤をあらかじめリッピングをしておき、盛土の1層の厚さを60cmまでとし、計画高さに整正した後、35t起振動ローラーにて8回転圧を行った。

施工管理として、SRIDによる含水比確認と平板載荷試験による地盤支持力確認を行い、転圧回数は、GPSにより転圧回数確認を行った。

2-2 上層路盤工

(1) セメント安定処理砕石製造

移動式プラントを設置し、1週強度が $4.0\text{N}/\text{mm}^2$ 以上のCSセメント安定処理路盤材（セメント量5.1%）を製造した（日製造量=800t/日）。

(2) 上層路盤工

CSセメント安定処理路盤材をフィニッシャ（自社機械フェーゲル社製）を使用して厚さ17cmの路盤の



施工を行った（日施工量=2,000m²/日）。

2-3 コンクリート舗装工

(1) 型枠・軌道設置工

高さ350mmの鋼製型枠を打設予定レーンに計画高さに合わせて設置し、型枠に合わせてレールのセットを行った。

(2) 目地設置工

型枠設置完了箇所に横方向目地の位置出しを行い、目地の種類を確認しながら、版厚減少材、チェアーおよびスリップバーもしくはタイバーを設置した。

(3) コンクリート打設

本工事はコンクリート舗装版厚が360mmであるため、下層と上層の2層施工を行う必要があった。

舗装機械の組合せは写真-1に示すボックス式スプレッダ→ブレード式スプレッダ→インナーバイブレッタ→メッシュカー→コンクリートフィニッシャー→縦型フロート（3m）→作業台の順で配置し施工した。

(4) 初期養生

コンクリート打設後の養生においては、表面仕上げを行ってから表面の水分の状態を確認しながら一貫性の塗膜養生剤を散布した。

(5) 後期養生

表面硬化を確認しながら養生マットを布設し、養生マット飛散防止のため、養生ネットを掛けた。

本工事施工においては、後期養生用の水を購入して散水していた。

1日に使用する後期散水養生用の水量は、夏期打設という条件では、6回/1日×20t/1回=120t/日となる。

今回の施工において何とか無駄な散水養生を行わないで済む方法がないかを以前から検討していた。

なぜなら、以前に施工した空港エプロン舗装工事

（コンクリート舗装）においても後期散水養生水を給水船から購入したことがあったからである。

このような状況の中、ある夏の休日に子供を自宅庭でチューブ式のプールに入れている時、水に濡れると白い布が青く変色する現況に気付いた。

翌日、直ちにアオイ化学工業（株）の担当者と連絡を取り、養生マットに水に濡れると変色する布を縫い込めないかを相談して、試作品を作製することにした（写真-2）。

試作品ではマット上面に水に濡れると変色（青色）する布を縫い付けたことから、養生マット表面が乾燥してくると白く元にもどるが、実際の養生マットはいまだ湿潤状態のままであり、養生マットの状態を正確に反映していなかった。このことから、養生マットの内部に変色（青色）する布を縫い込むよう改良を加えた。

その結果、ある程度（30%程度）の湿潤状態では元の状態の白くならないものができあがった（写真-3）。

試作した養生マットを使用して散水養生の管理を行った結果、1日に使用する散水養生用の水量は、夏期打設の条件で、

5回/1日×20t/1回=100t/日となり、20tの水量を削減することができた。

3. まとめ

本工事において吸水変色型マットを使用して後期散水養生を実施した結果、

- 1) 今までの「手の感触（触診）」や、「養生水が養生マットから流出する」状態を確認する、あるいはコンクリート舗装経験者が確認するというあいまいな管理から色の識別を目視で管理することが可能となった。
- 2) 無駄な養生水の使用を避けることができた。



写真-1 コンクリート打設機械配置



写真-2 吸水変色型養生マット試作品（当初）



写真-3 吸水変色型養生マット試作品（改良）



写真-4 吸水変色型養生マット使用状況

3) 後期散水養生状況を容易に写真で判定・管理することができるようになった。

4) 養生水の費用を削減することができた。

本工事において従来の養生マットを使用した場合と吸水変色型マットを使用した場合を比較すると20t/日の養生水とその費用を削減することができた。

おわりに

吸水変色型養生マットは当社とアオイ化学工業㈱の共同で特許出願をしており、商品化（コンマット1号-A）している。

現在、別件自動車専用道路のトンネル舗装において、

吸水変色型養生マットを10m毎に設置して後期散水養生を実施している状況である。

さらに、吸水変色型養生マットの変色度（青色の濃さ）でマットの保湿率が分かる使用の製品の作製も行っており、この資料を工事の管理書類に添付することで、品質管理の証明（湿潤状態の判断基準）が可能となる。

この吸水変色型養生マット（コンマット1号-A）は、コンクリート舗装だけでなく、擁壁のベースコンクリートや街渠のエプロン部など、広い面積でのコンクリートの養生管理にも有効と考えられ、今後の普及の拡大が望まれる。

舗装の平坦性と情報化施工機材について

浦 邊 寛*
芳 賀 雅 啓*

はじめに

近年、建設業界におけるICT（情報通信技術）を活用した施工システム（情報化施工）は、おもに建設機械のマシンコントロールという分野においてめざましく、当社も、ここ数年ブルドーザ、モータージェラダ、アスファルトフィニッシャ等を中心に、情報化施工機材を搭載した重機を現場に投入し、当社の情報化施工システム“OGP工法”として展開している。

OGP工法には、情報化施工機材として、舗装の平坦性の向上を目的とした、レーザ式や超音波式のアスファルトフィニッシャのスクリード自動制御システムがあり、機械センターでは、当システムを使用した現場の舗装の平坦性のデータを収集し、その効果を検証しているところである。

一方、今年に入って、情報化施工機材を搭載した切削機の試験施工を実施し、平坦性のデータ等を収集し、施工精度や適用性を検証している。

本文は、収集した平坦性のデータをもとに、情報化施工機材の効果と舗装の層間の関連性について取りまとめたものと、情報化施工機材を搭載した切削機の試験施工の結果をあわせて報告するものである。

1. 舗装の平坦性向上システム

1-1 レーザ式スクリード自動制御システム

レーザ式スクリード自動制御システムは、図-1に示すように、既設路面の形状をレーザスキャンセンサで縦断方向に扇状に測定し、その測定データの平均を基準値として、この基準値を一定に保つように、アスファルトフィニッシャのスクリードの高さを自動制御し、舗装を平坦に仕上げるシステムである。

1-2 超音波式スクリード自動制御システム

超音波式スクリード自動制御システムは、図-2に示すように、複数台の超音波センサで既設路面の高さ

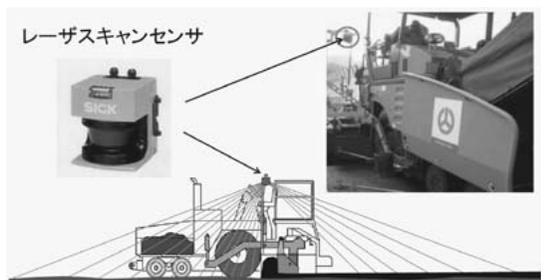


図-1 レーザ式スクリード自動制御システム

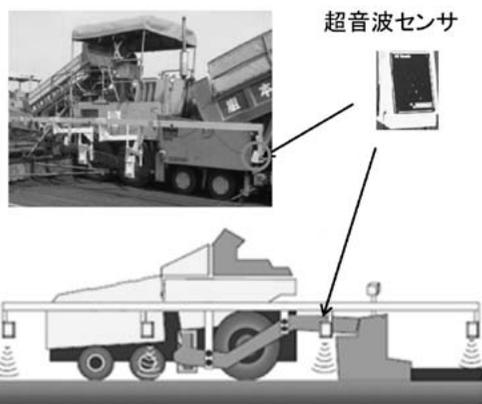


図-2 超音波式スクリード自動制御システム

を測定し、その測定データの平均を基準値として、この基準値を一定に保つように、アスファルトフィニッシャのスクリードの高さを自動制御し、舗装を平坦に仕上げるシステムである。

2. アスファルト舗装の平坦性予測

2-1 平坦性と舗装の層数について

アスファルト安定処理路盤上に、前述したレーザ式や超音波式の平坦性向上システムを使用し、基層、表層といった具合に、複数層のアスファルト混合物を積み上げて舗装した場合の平坦性のデータ（3mプロファイルメータによる方法で測定）を収集し、平坦性 σ と舗装の層数の関係について、図-3に示すよう

*本店工務部機械センター



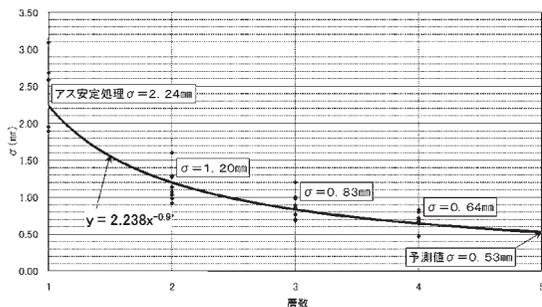


図-3 平たん性と舗装の層数の関係

にグラフ化した。

この結果から、レーザ式や超音波式のスクリード自動制御システムの有効性は明らかで、平たん性向上効果が高いことがわかる。

一方、このグラフを利用すれば、平たん性の目標値に対して必要な舗装の層数が明らかであるため、例えば、設計断面がアス安定処理路盤も含めて3層の場合は、 σ の目標値を0.85mm以下に設定できるといった具合に、設計断面（舗装の層数）に応じて、根拠のある優位な提案ができ、より受注に貢献できるものと考ええる。

2-2 平たん性の向上率について

前項の平たん性データをもとに、各層間の平たん性の向上率についてまとめたものを表-1に示す。

表-1 各層間の平たん性向上率

平たん性 σ (mm)	平たん性向上率 (%)
$3.0 > \sigma \geq 2.0$	51
$2.0 > \sigma \geq 1.5$	35
$1.5 > \sigma \geq 1.0$	23
$1.0 > \sigma$	17

表-1の向上率は、施工前の路面の平たん性 σ に対して、何% σ の値が小さくなるかを表したものである。

表からわかるように、平たん性の向上率は、必ずしも一定ではなく、平たん性が良くなる（平たん性の σ 値が小さくなる）に従い、平たん性の向上率は小さくなる傾向にある。

このように各層間の平たん性向上率が明らかになったことで、各層の仕上がりが予測でき、施工管理に非常に有効であると思われる。さらに、平たん性と舗装の層数の関係とあわせて利用すれば、ターゲットとする平たん性に対して、最低限必要な層数や、仕上が

条件が特定できるので、舗装断面の提案等にも十分有効であると思われる。

ただし、情報化施工機材を使用しても、層間の平たん性の向上率には限界があることも明らかになったので、到達目標の限界を認識することや、目標値の設定には十分注意が必要である。

3. 路面切削機の試験施工結果について

3-1 試験施工の概要

mmGPSシステム等の情報化施工機材を、路面切削機の切削深さコントロール用として適用した場合の施工精度や適用性について、試験施工を実施し検証した。

施工精度については、切削機に標準装備している自動制御装置を使用した従来施工工区を1工区設け、その施工精度を確認し、情報化施工機材を搭載した工区と比較した。

(1) 使用した切削機の種類

Wirtgen社製 2100DC

切削ドラム幅：2 m

(2) 試験施工の条件

施工速度：8 m/min

切削深さ：12cm

※空港滑走路等の維持修繕工事を想定し設定した。

ただし、従来施工工区については既設路面厚が薄いので8cmに設定した。

施工幅：2 m

(3) 工区割り

工区は、従来施工工区のA工区と情報化施工機材を搭載した情報化施工工区のB工区、C工区の計3工区を設定した。

3-2 搭載した機材の種類

(1) 従来施工工区 A工区

切削機に標準装備している従来型の自動制御装置を左右両側に使用した。(写真-1参照)

(2) 情報化施工工区 B工区

左右両側にmmGPSシステムを搭載した。(写真-2、3参照)

切削機の切削深さの制御方式とアスファルトフィニッシャの敷きならし厚さの制御方式が似通っていることから、実績があるアスファルトフィニッシャ用mmGPSシステムを切削機に搭載した。

写真の切削機は、後部クローラを上下することで切削深さを調節する機構であるため、後部クローラを上下させる油圧シリンダの伸縮速度、切削速度等を踏ま

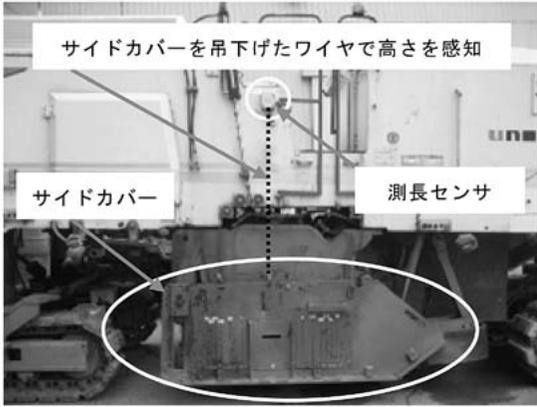


写真-1 切削機標準の自動制御装置

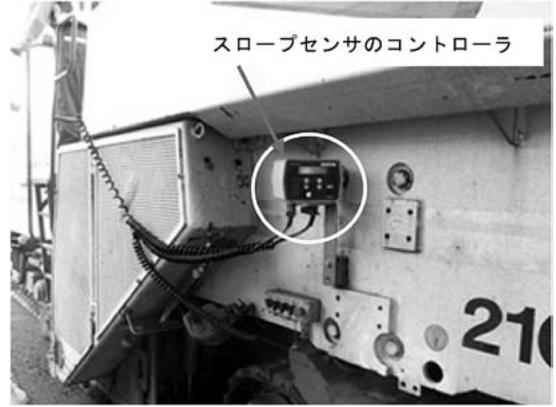


写真-4 スロープセンサ搭載状況



写真-2 mmGPSシステムの搭載状況



写真-5 スロープセンサの各機材

ーラを上下させる油圧シリンダの伸縮速度等の調整についても同様で、スロープセンサのコントローラで電氣的に最適な状態に調整した。



写真-3 mmGPSシステムの各機材

え、事前にコントローラで電氣的に最適な状態に調整した。

(3) 情報化施工工区 C工区

左側にスロープセンサ、右側にmmGPSシステムを搭載した。(写真-4、5参照)

スロープセンサもmmGPSシステムと同様で、アスファルトフィニッシャ用の機材を使用した。後部クロ

3-3 試験施工の結果とまとめ

(1) 平坦性測定結果

平坦性の測定結果を表-2に示す。

平坦性は、従来の施工方法よりもmmGPSシステム等の情報化施工機材を使用した場合のほうが良い結果となった。

表-2 各機材の平坦性

使用機材	平坦性 σ (mm)
従来型の自動制御装置	1.92
mmGPSシステム	1.23
スロープセンサ	1.48

(2) 切削深さ測定結果

縦断方向に5m間隔で切削深さを測定した結果を図-4、5、6に示す。計画線形に対する相対的なずれは、こちらも従来の施工方法よりも情報化施工機材を使用した場合のほうが設計に沿った出来形に仕上がっている。

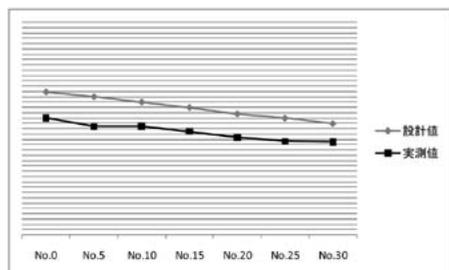


図-4 従来の施工方法の出来形

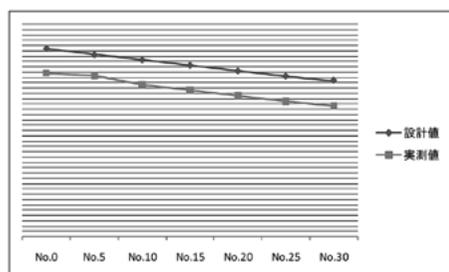


図-5 mmGPSを使用した場合の出来形

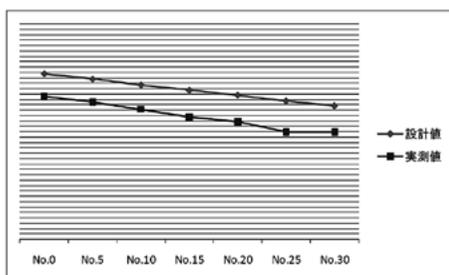


図-6 スロープセンサを使用した場合の出来形

(3) まとめ

今回、切削機の切削深さの制御方式とアスファルトフィニッシャの敷きならし厚さの制御方式とが似通っていることから、フィニッシャ用のmmGPSシステム

やスロープセンサを切削機に搭載し切削作業を行ったが、従来施工と比較しても十分な施工精度を確保できることがわかり、mmGPSシステム等の情報化施工機材の有効性が確認できた。

今後実施工に使用し多くのデータを収集すれば、切削路面の平坦性の予測も可能になり、前述した平坦性の向上率と組み合わせて、舗装の平坦性も予測でき、目標値の設定や、施工管理の面からも有効になるものと思われる。

また、機材の組み合わせ的には、mmGPSシステムは機械の左右に使用しなくても、片側mmGPSシステム+片側スロープセンサでも十分な施工精度が得られることが確認できたので、コストや機材調達の間からも活用しやすくなるものと思われる。

おわりに

情報化施工機材の効果だけではなく、平坦性と舗装の層数の関係や、各層間の平坦性の向上率がおおむね関連付けられたので、提案値の検討や、現場の品質管理等に今後有効に活用してもらえれば幸いである。

しかしながら、情報化施工機材は、必ずしも万能ではないので、適用現場の見極めや、安定した品質の材料の供給や、施工の連続性の確保は重要であるので十分注意していただきたい。

今後は、情報化施工機材を搭載した重機を用いた路盤の平坦性データを数多く調査し、アスファルト舗装との関連付けを行い、さらに精度の高い情報を現場に発信していきたいと考えている。

また、切削機については、今後の実施工を通してさらに検証をすすめ、情報化施工機材の有効性を確認していきたいと考えている。

ポーラスアスファルト舗装充填用セメントミルク

(ハイシールパウダーJ)

尾崎 浩 司*
鈴木 徹**

はじめに

半たわみ性舗装は、空隙率21～25%の開粒度タイプの半たわみ性舗装用アスファルト混合物に浸透用セメントミルクを浸透させたもので、耐流動性、明色性、耐油性等の性能を有する舗装である。浸透用セメントミルクには、養生時間によって普通タイプ、早強タイプ、超速硬タイプの3種類があり、カラー化も可能である。

しかし、ポーラスアスファルト舗装（高機能舗装）に適用する場合、空隙率は17～20%程度であり、種々の問題がある。また、セメントミルクの注入は母体アスファルト混合物の温度が50℃程度以下になってからであり、舗設後時間的ロスが発生する。

ハイシールパウダーJは、ポーラスアスファルト舗装充填用セメントミルクとして、早期解放（養生時間：1.5時間）、高温注入性（母体アスコン温度：80℃）、および高浸透性（空隙率：17～20%）を指向した材料であり、強度発現時間までの養生時間を短縮することにより、作業時間を含めた交通規制時間等の時間的損失を抑えることができ工期短縮が図れる。

本報文は、ポーラスアスファルト充填用セメントミルク（以下、ハイシールJと称す）の概要と、実施工の一例について報告するものである。

1. ハイシールJの概要

1-1 試験項目

ハイシールJの主成分を表-1に示す。

浸透用セメントミルクの流動性および強度発現時間

表-1 ハイシールJの主成分

主成分	セメント(特殊速硬セメント)
	再乳化型粉末樹脂
	混和剤(凝結遅延剤、流動化剤)
	充填剤(珪砂)

表-2 試験項目と方法

試験項目	試験方法
フロー値	Pロートにて流下時間を測定
充填性	空隙率17%(連続空隙率14.8%) 温度80℃のアスファルト混合物に 充填し、目視により充填性を確認
強度	材齢1時間、1.5時間の圧縮・曲げ 強度を測定 40×40×160mm
硬度	C型スプリング式硬度計による硬 度を測定し、硬度と圧縮強度の関 係から交通解放時間を推定
半たわみ性混 合物曲げ試験	セメントミルクを注入した混合物の 曲げ強度測定 50×50×300mm

の指標はそれぞれフロー値、圧縮・曲げ強度で表される。

セメントミルクの試験項目と試験方法を表-2に示す。

1-2 試験結果

ハイシールJの混合直後からの経時変化とフロー値の関係を図-1に示す。混合直後のフロー値は9秒台であり、経過時間20分までは一定の10秒程度を確保する。なお、経過時間20分程度までは外気温5～30℃程度であればフロー値はほぼ同じ傾向となる。

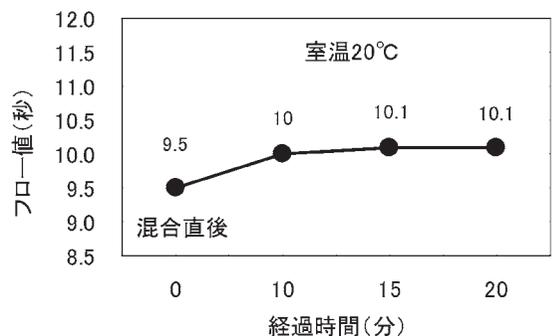


図-1 経過時間とフロー値の関係

* 中国支店 ** 技術研究所



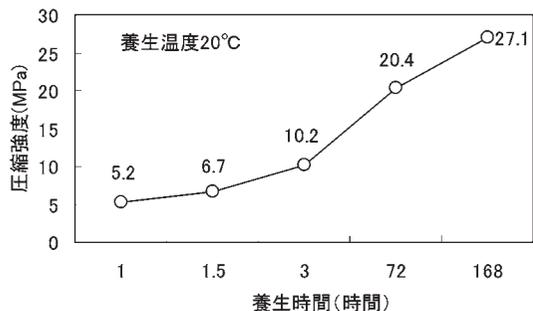


図-2 養生時間と圧縮強度の関係

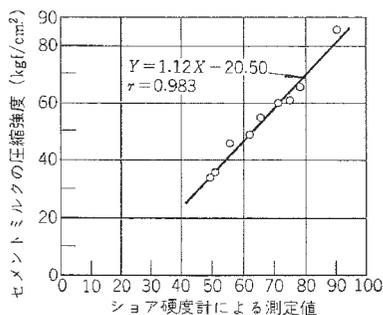


図-3 ミルクの圧縮強度とショア硬度計の関係

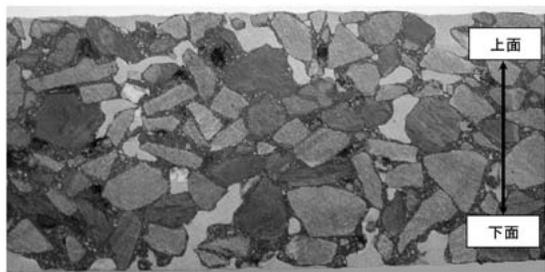


写真-1 セメントミルク充填状況 (空隙率 17%)

図-2に養生時間と圧縮強度の関係を示す。養生1時間、1.5時間の圧縮強度はそれぞれ5.2MPa、6.7MPaであり、交通解放可能な圧縮強度5MPaを満足している。

これにより、交通解放強度に達する時間を3時間としている一般的な超速硬タイプのセメントミルクに対してハイシールJは、1～1.5時間で交通解放強度に達するため、養生に必要とされる時間を半分に短縮することが可能となる。

ハイシールJを混合物温度80℃で、空隙率17%および20%のポラスアスファルト混合物に充填した結果、写真-1(空隙率17%)に示すように、全層にわたり十分にセメントミルクが充填されていることが確認できた。

図-3に、標準温度20℃におけるセメントミルクの圧縮強度とショア硬度計(C型スプリング式硬度計)との関係文献1を示す。両者の間には非常に高い相関があり、ショア硬度計により初期材齢におけるセメントミルクの圧縮強度の推定が可能で、圧縮強度が5MPa以上となるのはショア硬度計の測定値がおおむね60以上であれば良いことがわかる。

ハイシールJを混合物温度80℃で注入した場合の経過時間とショア硬度計による表面硬度の関係を図-4に示す。経過時間に伴い硬度は増加し、経過時間30分以上で硬度は60以上となる。

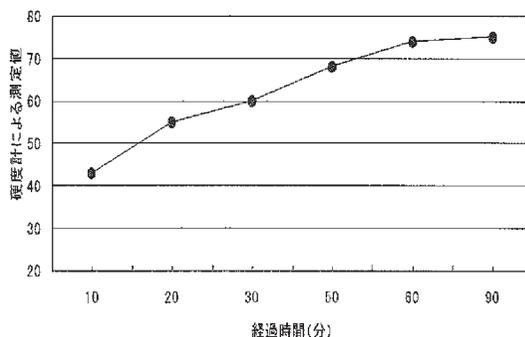


図-4 経過時間と硬度の関係

2. 試験施工

実施工に先立ち、施工性、充填性および早期強度発現を確認するために試験施工を実施した。ポラスアスファルト混合物は空隙率20%、シーロフレックスH型使用、施工厚さ40mmとした。

2-1 試験項目・試験方法

試験項目および試験方法を表-3に示す。

母体アスファルト混合物温度80℃にてセメントミルクの注入を行った。比較工区として2工区に一般的な超速硬タイプの半たわみ性舗装用セメントミルクを施工した。試験施工工区割りを図-5に示す。

2-2 試験結果

1) フロー値

表-4に混合直後のフロー値を示す。

ハイシールJのフロー値は室内試験と同様に9秒台であり超速硬タイプは10秒台で流動性の差が認められる。

NEXCO基準の9～11±1秒の範囲を満足しているが注入(浸透)性はフロー値が小さいほど良好とされており浸透性能は良い。

表-3 試験項目および試験方法

		試験方法	試験頻度等	規格値 (目標, 参考値)	備考
セメントミルク	フロー試験	ポート法	水試料比, 46% 3回/1条件	9~13秒 (Jタイプは9秒台目標)	試験施工時に現地で実施
	曲げ強度 (N/mm ²)	JIS R 5201に準拠 養生温度20°C	材齢: 1時間, 1.5時間, 7日 3個/1条件	参考値	材齢7日用は現地で作製。材齢1, 1.5時間用は研究所で作製。強度試験は研究所で実施
	圧縮強度 (N/mm ²)		材齢: 1時間, 1.5時間, 7日 6個/1条件	5N/mm ² 以上(材齢1.5時間以内)※ 15~36N/mm ² (材齢7日)	
半たわみ性混合物	曲げ強度 (N/mm ²)	設計要領 第一集 舗装編 (2. 半たわみ性舗装 設計・施工マニュアル)	材齢: 7日 3個/1条件	2.5MPa以上(材齢7日)	供試体は現地で作製。試験は研究所で実施
	曲げ破断ひずみ		材齢: 7日 3個/1条件	3 × 10 ⁻³ 以上(目標値)	

※交通開放に必要な圧縮強度は5.0N/mm²以上

2) 施工性および注入(浸透)性

実際の注入作業では、ハイシールJの方は初期の浸透性に優れプレートで2回程度振動をかけることによってほぼ規定量を充填することができた。

超速硬タイプはプレートで6~8回程度振動をかけるとほぼ充填することはできるが、作業に時間を要することが確認できた。写真-2に示すとおり、ハイシールJはセメントミルクの浸透性が良好であり、超速硬タイプは写真-3に示すとおり表面に厚く残る感じである。

使用量から計算したセメントミルクの充填率はハイシールJは97%程度であり、超速硬タイプは94%であった。この点からも高浸透性、高温注入性の改良効果が確認できた。

写真-4にセメントミルク注入後の表面状況を示す。ハイシールJの方は、注入後10分程度から灰白色に変化し、超速硬タイプの方は30分経過しても湿潤状態のままであった。

写真-5にハイシールJを注入した箇所から採取したコアの断面を示す。全層にわたりセメントミルクが充填されていることが確認できる。

3) 硬 度

ショア硬度計による硬度測定結果を図-6に示す。

図-3圧縮強度と硬度の関係図によれば硬度60以上(圧縮強度5MPa)で交通解放が可能であり、今回の試験施工によれば40分程度の養生で交通解放可能となり、格段に早期交通解放が可能であることが確認できた。

4) 物理性状

セメントミルクの曲げおよび圧縮強度試験結果を表-4に示す。

セメントミルクの養生時間1時間、および1.5時間後の圧縮強度はそれぞれ8MPa、9.1MPaであり、セメントミルクを注入した混合物の曲げ強度は3.2MPa、

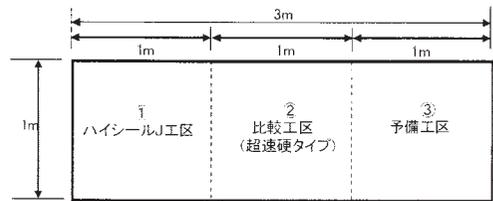


図-5 試験施工工区割り

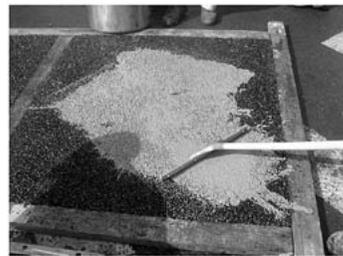


写真-2 ハイシールJ



写真-3 超速硬タイプ



写真-4 30分経過後の状況



写真-5 コアによる充填状況



写真-6 BPN測定状況

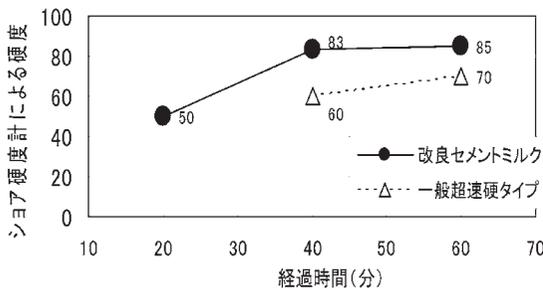


図-6 経過時間と硬度の関係



写真-7 ショア硬度計による強度確認状況

表-4 曲げ・圧縮強度試験結果

種別	ハイシールJ			超速硬タイプ
	1時間	1.5時間	7日	7日
曲げ強度 N/mm ²	2.31	2.57	4.24	4.18
圧縮強度 N/mm ²	8.0	9.1	21.9	29.2

曲げ破断ひずみは 5.5×10^{-3} で、半たわみ性舗装の性能を十分満足している。

3. 本施工（高速道路）

名神高速道路の高機能舗装橋梁部ジョイント（伸縮装置前後1m区間）のセメントミルク注入工にハイシールJを使用した。概要を以下に示す。

3-1 工事概要

施工時期：5月のAM5：00～AM10：30

工事内容：既設高速道路橋 梁ジョイント部におけるセメントミルク注入工（走行車線）

母体アスコン：高機能舗装（空隙率：20%）

施工内容：L = 6 m、W = 1.0m、9箇所

3-2 施工結果

ハイシールJのフロー値は9.1秒、解放時のショア硬度計による硬度は82、BPNによるすべり抵抗値は95（温度補正なし）であった。試験状況を写真-6・7に示す。

1箇所当たりの施工時間は約30分で、9箇所の施工に約4.5時間を要した。注入後、約1時間で強度発現があり、その割には仕上げ完了までの施工性は良かった。

おわりに

半たわみ性舗装よりも空隙率の小さいポーラスアスファルト舗装（高機能舗装）を対象としたセメントミルク：ハイシールJを開発した。また、高温母体への注入および早期強度発現を可能にすることによって作業時間を含めた交通規制時間を短縮することができ、早期交通解放が可能となる。これにより、時間的制約のある場所への摘要が拡大されると考えている。

※文献1：舗装技術の質疑応答、第7巻(上)、pp196-198

高速道路における振動タイヤローラを用いた 砕石マスチック混合物（SMA）の施工事例

佐々木 涼*
中谷 文信*
石黒 修一*

はじめに

高速道路の橋梁におけるコンクリート床版上の砕石マスチック混合物（以下、SMA）は、高機能舗装化に伴い路面からの水の浸透を防ぐ目的から、高い締固め度と水密性が求められている。

今回、高速道路の橋梁舗装補修工事の機会が与えられたため、SMAの施工後の目標空隙率を2～3%とし、その目標空隙率を確保できる施工方法として、動的ニーディング作用で骨材の噛み合わせとモルタル充填効果が向上する振動タイヤローラの使用を提案することとした。しかし、振動タイヤローラを使用したSMAの施工は実績が少なく、通常タイヤローラとの比較データもなかったことから、SMAの試験舗装は、通常タイヤローラの試験舗装に加え、振動タイヤローラの試験舗装区間を設けその有効性を評価することで本施工に臨むこととした。

本報文は振動タイヤローラの有効性の評価および本施工の結果について報告するものである。

1. 振動タイヤローラの有効性の評価

1-1 SMA試験舗装

試験舗装は、通常タイヤローラと振動タイヤローラが比較できるようA工区からF工区の6工区に分割した。図-1に、その工区の概要を示す。

初転圧は、通常使用しているマカダムローラR2(10t級)を共通機種として使用した。二次転圧は、通常タ

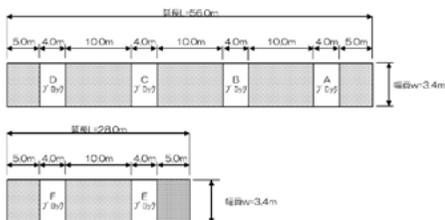


図-1 工区概要図



写真-1 振動タイヤローラ (GW750)

イヤローラにT600C (15t級)を使用し、振動タイヤローラに、高温での転圧作業が可能な自社所有のタイヤ加熱装置が付いたGW750 (8.5t)を使用することとした。(写真-1)

転圧回数は過去の実績から定めた。初転圧はマカダムローラで5回とし、二次転圧は、9回および11回の2タイプで行うこととした。振動タイヤローラは、振動スイッチの切替えにより起振力を替えることができ、無振動から振幅4段までの5段階の起振力を選択できる。

このことから、試験舗装の起振力は、表-1の起振力と従来タイヤローラの重量の関係より、15tタイヤローラに対応する2段と、25tタイヤローラに対応する4段で行うこととした。表-2に、各工区の転圧回数

表-1 起振力と従来タイヤローラの関係

スイッチ位置	振幅(mm)	起振力(KN)	従来タイヤローラの重量(t)
0段	0.00	0.0	9
1段	0.20	7.8	10
2段	0.38	24.5	15
3段	0.56	41.9	20
4段	0.74	58.4	25

表-2 各工区の転圧回数、使用機種

ブロック番号	混合物の種類	仕上がり厚	初転圧		二次転圧	
			転圧回数	使用機種	転圧回数	使用機種
A	砕石マスチック(13)	3.5	5回	マカダムローラ 10t級	9回	振動タイヤローラ (起振力: 2段)
B					11回	
C					9回	振動タイヤローラ (起振力: 4段)
D					11回	
E					9回	タイヤローラ
F					11回	15t級

* 中部支店



表-3 調査試験項目

試験項目	試験方法	試験頻度
温度測定	温度計	数均し直後1回 転圧時 適宜
切取供試体密度測定	JHS 203 JHS 217	3個/1条件
加圧透水試験	舗装調査試験法便覧	3個/1条件

表-4 温度測定結果 (6工区平均)

工区	敷き均し温度	初転圧温度	二次転圧温度
平均	163°C	143°C	113°C
管理温度	150~170°C	140~170°C	100~120°C

表-5 切取供試体の試験結果

二次転圧 使用機種	供試体番号	コア密度 (g/cm ³)	締固め度 (%)	空隙率 (%)	コア平均厚 (cm)	透水係数 (cm/sec)
15t級振動	A工区	2.322	96.1	6.1	3.09	4.60E-04
	B工区	2.348	97.2	5.1	3.14	1.10E-04
25t級振動	C工区	2.370	98.1	4.2	3.08	3.40E-04
	D工区	2.396	99.2	3.1	3.31	1.60E-04
15tTR	E工区	2.365	97.9	4.4	3.41	3.60E-04
	F工区	2.387	98.8	3.5	3.35	1.70E-04
目標値	-	-	96以上	2~3		

数と使用機種を示す。

1-2 試験舗装の評価項目

試験舗装の評価は、表-3に示す調査試験項目から判断することとした。

1-3 試験舗装の結果とまとめ

試験舗装の温度測定結果および切取供試体の試験結果は、表-4、表-5のとおりである。

これらの表より、A~F工区の試験結果をまとめると以下のとおりとなる。

- ①転圧温度は、管理目標内であったが、数値は下限値側にあり、工区の一部に温度低下していた箇所も見受けられた。
- ②締固め度は、平均すると、15 t級振動タイヤローラ（起振力2段）<15 t通常タイヤローラ<25 t級振動タイヤローラ（起振力4段）の傾向が見られた。
- ②目視による仕上がり面は、SMAに求められるようなキメの細かい仕上がりにはならず、全体的に粗い状態であった。
- ③空隙率は、25t級振動タイヤローラによる転圧回数11回で施工したD工区が3.1%となり、最も良い結果となった。しかし、目標値の2~3%を満足することができず、加圧透水試験の結果は、すべての工区において目標値(1.0×10⁻⁷)を下回った。
以上より、振動タイヤローラは、通常タイヤローラより若干の締固め効果を得られることが確認できた。しかし、空隙率は目標値を満足することができず、

SMAの表面は仕上がりが粗い状態となった。このような状況での本施工は、目標空隙率の確保が難しいとの判断から、振動タイヤローラを使用したSMAの再試験舗装を行うこととした。

1-4 再試験舗装の課題と対策

1-3の結果から、課題として以下のことが考えられる。

- ①空隙率を確保するための再試験舗装ヤードと転圧回数数の再検討
- ②試験舗装後の表面の仕上がり状況を考慮した配合の再検討
これにより、以下の対策を立てた。
①再試験施工ヤードは、敷ならし、転圧作業が連続的にできるようニュートラル区間は広く取ることとした。
図-2にその工区の概要を示す。

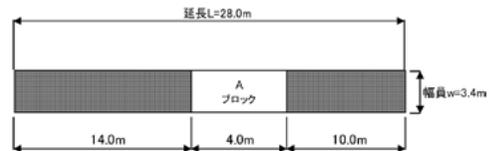


図-2 再試験舗装工区の概要

また、高温で振動タイヤローラを入れるため、初転圧のマカダムローラの回数は、5回から3回に変更し二次転圧は、振動タイヤローラを無振で2回続けて起振力4段(25 t対応)で11回の転圧を行うこととした。その転圧回数の一覧を表-6に示す。

- ③配合は、仕上がり面のキメが細くなるよう、室内の配合割合の2.5mm以下の部分とアスファルト量を若干調整した。

表-6 再試験施工の転圧回数

混合物の種類	仕上がり厚	初転圧		二次転圧	
		転圧回数	使用機種	転圧回数	使用機種
碎石マスタック(13)	3.5	3回	マカダムローラ 10t級	2回	振動タイヤローラ (無振動)
				11回	振動タイヤローラ (起振力:4段)

1-5 再試験舗装の結果

再試験舗装の温度測定結果および切取供試体の試験結果は、表-7、表-8のとおりである。

表-7に示すように、二次転圧温度は加熱装置付きの振動タイヤローラを使用した効果で130°C以上の高温での転圧作業をすることができた。また、表-8に示すように、締固め度は99.6~99.8%となり、空隙率は、2.6%~2.8%で目標空隙率の2~3%を満足する

表-7 温度測定結果

工区	敷き均し温度	初転圧温度	二次転圧温度
A工区	161℃	157℃	132℃
管理温度	150~170℃	140~170℃	100~120℃

表-8 切取供試体試験結果

供試体No	厚さ (cm)	密度 (g/cm3)	締固め度 (%)	空隙率 (%)	透水係数 (cm/sec)
1	3.5	2.405	99.6	2.8	-
2	3.6	2.409	99.8	2.6	-
3	3.4	2.41	99.8	2.6	0.00E+00
4	3.7	2.406	99.7	2.7	-
5	3.2	2.406	99.7	2.7	0.00E+00
平均	3.48	2.407	99.7	2.68	-

ことができ、加圧透水試験は不透水の結果となった。

1-6 振動タイヤローラの有効性の評価

1-4、1-5の結果から、振動タイヤローラの有効性についての評価は以下のとおりとなる。

- ①振動タイヤローラは、通常タイヤローラに比べ、起振力の調整によって締固め度が得られやすい。これは、切取供試体断面の目視観察結果より、振動タイヤローラを使用した場合は、通常タイヤローラに比べ粗骨材の横向き傾向が強くなり、よりニーディング効果が現れているからと考えられる。
- ②加熱装置付きの振動タイヤローラは、高い温度で締固めが可能となるため、通常タイヤローラより品質の確保が容易になる。

これらの結果より、振動タイヤローラの有効性は高いとの判断から、本施工の二次転圧に使用することとした。なお、温度管理と敷きならし転圧回数は、重要な管理項目のため管理担当者を定め施工することとした。

2. SMAの本施工

2-1 本工事のSMA施工概

本工事におけるSMAの施工概要を次に示す。

- (1) 工事内容：高速道路上の橋面舗装
(コンクリート床版)
- (2) 橋面幅員・面積：10.35m・3,968m²
- (3) 施工数量
橋面切削工：7.5cm
塗膜防水工：3,968m²
橋面レベリング工：SMA 3.5cm
表層：高機能舗装 4.0cm
- (4) SMA施工箇所

SMAを行った箇所を図-3に示す。

2-2 SMA本施工の施工状況

SMA本施工の転圧状況を、写真-2から写真-5

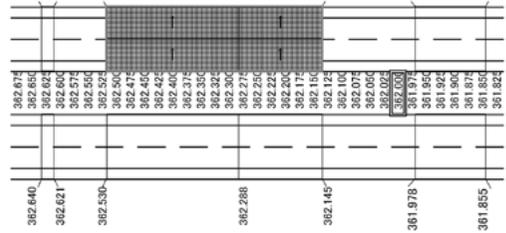


図-3 SMA施工箇所平面図

に示す。

施工は2回の試験舗装の結果を反映させ、初転圧は、高い転圧温度で締め固めができるよう、アスファルトフィニッシャーとの間隔を開けない施工に配慮した。また、二次転圧の振動タイヤローラの施工は、タイヤ加熱装置により表面温度が所定の温度(80℃付近)になるよう事前に調整し転圧を開始した。

このような施工をした結果、SMAの表面は写真-5に示す仕上がり面となり、理想的なキメの細かい表面とは言えないが、ほぼ満足できる仕上がり面となった。



写真-2 初転圧状況

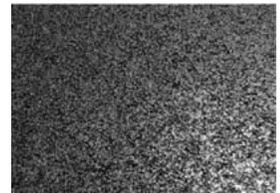


写真-3 初転圧後の表面



写真-4 二次転圧状況



写真-5 二次転圧後の表面

2-3 本施工試験結果

本施工における目標空隙率は、切り取り供試体により確認した。その結果を表-9に示す。

表-9 切取供試体試験結果

	供試体番号	コア密度 (g/cm3)	締固め度 (%)	空隙率 (%)
走行車線	1	2.408	99.8	2.7
	2	2.418	100.2	2.3
	3	2.406	99.7	2.8
	平均	2.411	99.9	2.6
追越車線	1	2.402	99.4	2.9
	2	2.404	99.5	2.8
	3	2.409	99.7	2.6
	平均	2.405	99.5	2.8

この表から、空隙率は走行車線で平均2.6%、追い越し車線で平均2.8%となり、当初求められた目標空隙率2.0~3.0%を満足する結果となった。

3. まとめ

今回のSMAの試験舗装および本施工から、振動タイヤローラの利点について述べる。

- ①起振力4段（25 t対応）の振動タイヤローラと通常の15 tタイヤローラを比較した場合、振動タイヤローラは締め固め度向上の効果が得られやすいため、SMAの品質確保には有効と考える。
- ②振動タイヤローラは、回送に10 tセルフが使用でき25 tタイヤローラの使用と比べると、トレーラの特車申請が不要となるため、集中工事においては回送の段取りがしやすくなる。
- ③振動タイヤローラは、15 t 通常タイヤローラに比べ、運送費の低減と施工中のCO²削減が図れることから、環境対策面において期待できる機械といえる。
なお、今後の課題としては、以下のことが考えられる。
- ④SMAの室内配合割合は、SMAの品質向上に影響を与えることから、配合の決定は試験練りだけでなく試験施工により、その仕上がり状態を確認することが必要となる。



写真-6 端部転圧状況

写真-7 小型振動ローラ

- ②写真-6に示すように、振動タイヤローラによる橋梁部端部の施工は、加熱装置の突起があるため端部に寄ることが困難となる。そのため、端部転圧は、小型振動ローラを使用した転圧を行う。（写真-7）しかし、車線中央部と比較すると粗い仕上がりとなることから、SMA端部仕上げ方法の改善が必要となる。

おわりに

今回の試験舗装および本施工での振動タイヤローラの検討結果は、通常タイヤローラの比較ができ、有効な二次転圧機械であると確認することができた。

また、懸念されていた橋梁下部の騒音・振動も小さく、都市部での使用も十分可能であると考えられる。

今後は、よりよい品質の確保を目指し、振動タイヤローラの使用が増加することを期待するとともに、本報文がSMAの工事に参考となれば幸いである。

橋面部における既設基層混合物のはく離対策について

江崎 隆 夫*
大森 吏 康*
山崎 秀 仁*
渡邊 敬 介*

はじめに

近年、橋面舗装や排水性舗装の基盤層において、アスファルト皮膜の「はく離現象」が原因と思われる損傷が随所で発生している。ここでいう「はく離現象」とは、アスファルト混合物が水に接することにより、骨材の表面からアスファルトが剥がれる現象をいい、アスファルト混合物の強度の基本となる骨材とアスファルトの接着力を低下させる現象であることから、「はく離現象」が進行すれば、ひび割れやわだち掘れといった破損につながる。

本報告は、橋面舗装工事における排水性舗装の基盤層（既設基層）において、工事着手前に「はく離現象」が懸念されたため事前調査を行い、その調査結果および対策工法について取りまとめたものである。

1. 対象工事の概要

対象工事は、平成20年度に四国地方の高規格幹線道路網の一部として延長4,300mを新設するもので、施工区間のうち、橋梁部（延長813m）においては、前年度までの工事でシート防水および基層まで完了しており、当該工事では表層（排水性舗装、厚さ4cm、面積8,150m²）のみの施工であった。

工事着手前の踏査において、既設基層面にプリスタリング箇所が多数認められ、また表面の観察により「はく離現象」が懸念されたために、既設基層混合物を調査した結果、その対策工法として、プリスタリング箇所の補修および遮水性向上のための塗膜防水を施工した。

2. 橋面部既設基層の調査と対策検討

2-1 基層のプリスタリング

現地踏査の結果、プリスタリングと考えられるひびわれとふくれが6月の調査で65箇所、8月の調査で97箇所、11月の調査で104箇所、合計266箇所確認された。

* 四国支店

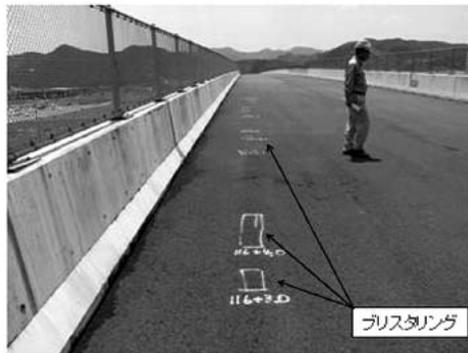


写真-1 プリスタリング発生状況

プリスタリングの発生位置は幅員方向でほぼ同じ位置に発生していた。（写真-1）

調査として、プリスタリングの発生している箇所の基層を開削し、どの層（床版と防水層の間、防水層と基層の間）および、どの範囲まで剥がれが生じているのか、また、水分の有無等を確認した。

詳細な調査の結果、横断的な発生位置は水上側、水下側、中央部に分散しており、縦断的にも橋面全体に分散していた。

コア採取における結果として、防水シートがコンクリート床版より剥がれていることから、プリスタリングはコンクリート床版と防水シートとの間で発生しているものと考えられた。

以上の結果からプリスタリングの発生原因として、基層表面からの雨水浸透によるものではなく、防水シート敷設時における床版面の水分（コンクリート中の水分、防水シートのプライマー等）が要因と考えられた。

2-2 基層混合物の性状

既設基層の表面性状の観察により、全体的に舗装表面が白っぽくなっており、表面の粗い箇所が認められた（写真-2）。使用されている混合物が再生密粒度





写真-2 既設基層表面

アスコン(13)であるため、アスファルトのはく離が生じやすい石灰岩が再生骨材として混入している可能性が考えられた。さらに、表層が排水性舗装のため、雨水の浸入により基層のはく離が懸念された。

調査として、基層のはく離抵抗性を確認するため、修正ロットマン試験を実施した。

試験方法は下記(図-1)のとおりである。

試料採取は4箇所(13年度分1箇所、19年度分3箇所)を選定し、1箇所当たり9個の供試体を近傍で採取した。採取した供試体に対して行った修正ロットマン試験より、圧裂強度からのはく離抵抗性評価を図-2~4および表-1に示す。

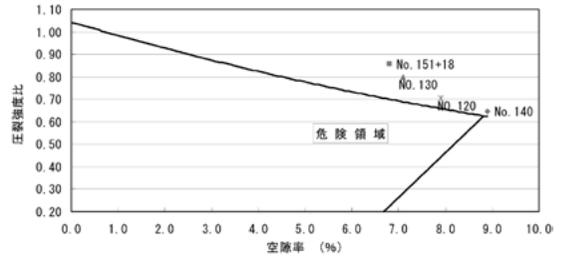


図-2 圧裂強度比による評価

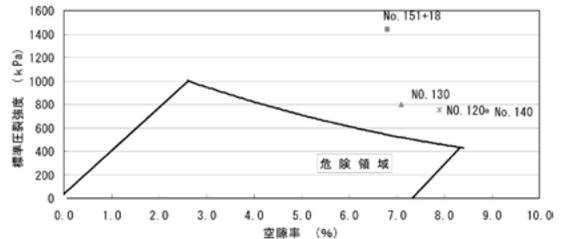


図-3 標準圧裂強度比による評価

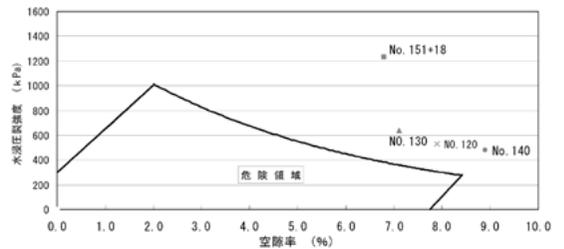


図-4 水浸圧裂強度比による評価

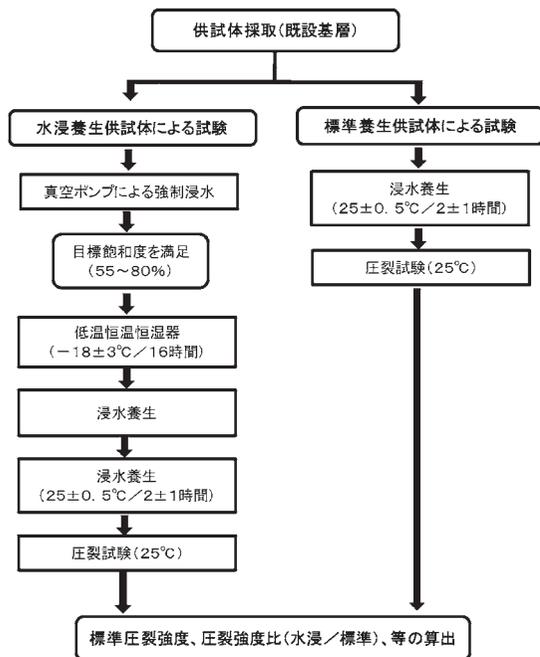
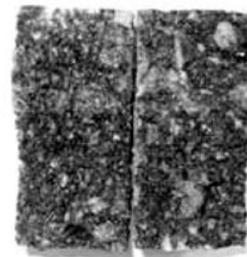


図-1 修正ロットマン試験方法

表-1 評価結果

<評価結果>○: 危険性無し △: 危険性小 ×: 危険性大

試料番号	圧裂強度比	標準圧裂強度	水浸圧裂強度	判定	備考
No. 120	○	○	○	○	H19年度施工
No. 130	○	○	○	○	"
No. 140	○	○	○	○	"
No. 150+18	○	○	○	○	H13年度施工



No. 140 (1) (凍結融解)

写真-3 圧裂試験後の供試体 (浸水・凍結融解後)

表-1に示すように、圧裂強度からの評価においては採取した基層混合物についてははく離の発生の危険性は少ないものと判断されるが、平成13年度施工箇所のNo.150+18については確実に安全領域に位置しているのに対し、平成19年度施工箇所のNo.120、No.130、No.140については危険領域に接近（特に圧裂強度比）しているため、はく離抵抗性は小さいものと考えられる。また、圧裂強度試験後の供試体について「はく離を発生させる負荷（吸水後の凍結融解）」を与えたものには明らかにはく離の発生が認められた。（写真-3）

以上の結果より、平成19年度施工の既設基層混合物は、はく離を促進する作用（水の存在、高温の状態、車両の走行頻度等）の状況（強さ）によっては、はく離発生の危険性があるものと判断された。

また、採取された供試体の密度が小さく（空隙率が大きく）測定されたため、基層の遮水性を評価するため加圧透水試験を行った。修正ロットマン試験に用いた採取コアの推定透水係数を表-2に示す。

一般に遮水性を求められる基層用SMAの透水係数の基準は 1×10^{-7} cm/sec以下であり、これを参考に勘案すると、既設基層の透水係数は非常に大きいものとなっている。このことは、基層内部に水が浸入し

やすい状態にあり、はく離の発生を助長する可能性が高いため、表層の施工にあたっては、基層に対してはく離対策を行うことが望ましいと考えられた。

3. 対策工法の検討と施工

3-1 基層のはく離対策工法

基層のはく離対策工法については、基層から全面打換えを行い、はく離抵抗性の大きな改質混合物を基層に適用することや、表層混合物自体を不透水性とし、密粒タイプの混合物へ変更することも検討したが、既設舗装の有効利用やコスト比較等を考慮し、既設基層上に遮水層を設けるものとした。

基層上の遮水層の施工方法については、最近、乳剤散布装置付アスファルトフィニッシャを用いて高濃度改質乳剤を散布しながら排水性舗装を施工する遮水型排水性舗装が採用されるケースが増えているが、本件では、最も実績があり確実な遮水効果が期待できる塗膜防水工法を採用することに決定した。（表-3、図-5）

3-2 ブリスタリング対策工法

ブリスタリングの発生規模および頻度が少ない箇所

表-2 修正ロットマン試験に用いたコアの推定透水係数

供試体番号	平均空隙率(%)	推定透水係数(cm/sec)
NO120	7.9	1.4×10^{-4}
NO130	7.1	9.6×10^{-5}
NO140	8.9	2.0×10^{-4}

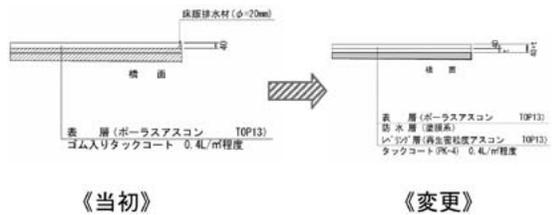


図-5 橋面舗装断面

表-3 工法別比較表（抜粋）

工法	全面打換え工法	密粒度混合物舗装 (ポリマー改質Ⅲ-W型)	遮水型排水性舗装 (ホスマック工法)	塗膜防水工法
概要	既設基層を撤去、防水施工後、改質密粒度混合物+排水性舗装を施工	はく離抵抗性の大きいポリマー改質AsⅢ-Wを用いた密粒度混合物を施工	既設基層上に、特殊フィニッシャで高濃度改質乳剤を散布し、同時に排水性舗装を施工	既設基層上に塗膜防水を全面に施工後、排水性舗装を施工
長所	基層混合物にはく離抵抗性の大きい混合物を使用。基層工完了後、放置することなく表層を施工するためブリスタリング等の発生が起きにくい。	基層への水の浸入を防ぎ、排水性舗装と同額で施工可能。	従来のタックコートに比べ遮水機能の向上が期待でき、遮水と同時に表層を施工することができるため施工が短期間となる。	最も実績があり、簡易な施工方法で、確実な防水効果が期待でき、基層のはく離現象を防ぐことができる。細部も確実に施工でき、端部からの水の浸入も防止できる。
短所	再施工するためコストが非常に高くなる。基層切削時に床版を傷つける可能性がある。	排水性舗装の特徴である消音効果、降雨時の走行性・視認性等が期待できない。	特殊フィニッシャが必要であり、台数も少ない。遮水効果は施工後の遮水試験による確認しかできない。	通常のタックコートに比べ施工時間が長くなる。コストが比較的高い。
コスト	×	◎	○	○
評価	△	△	○	◎



写真-4 塗膜防水の施工状況

については、ドリル等で基層に孔を開け空気逃げ道を作り、ハンマー等で叩いて修復後、削孔部に樹脂等注入剤を充填して水の進入を防ぐ工法を実施した（図-6）。剥がれている層および削孔部に注入することにより、付着と防水を確保した。

なお、プリスタリングが密集している場所では打換えを行った。影響範囲の舗装を撤去後、防水シートを貼り直し、端部等の防水を確実にし、舗装の打換えを実施した。

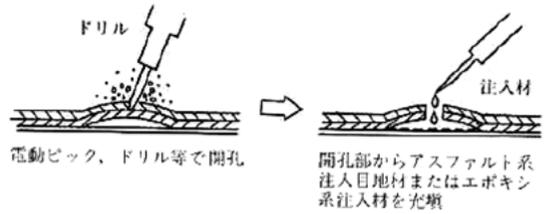


図-6 プリスタリングの処置法

おわりに

橋面舗装は、雨水や交通荷重等の作用が土工部の舗装に比べて過酷な状況にあるため、高い耐久性が要求されている。特に、橋面舗装体内に浸入した雨水は構造的に排出しにくいいため、はく離による破損の危険性が非常に高い。このため、基層には、高いはく離抵抗性を有する改質混合物を用いるなど、基層の耐はく離に配慮した対策を行うことが望ましいと考えられる。

今回の施工事例は、橋面舗装における基層の耐はく離に配慮した対策工法の一例であり、今後の参考として頂ければ幸いである。なお、本現場の供用状況は、8ヶ月経過後（7月現在）も良好な路面状態を保っている。

公園改修工事における施工報告

後 藤 義 宏*
吉 田 裕 興*
鬼 村 竜太郎*

はじめに

東京都内の公園の広場において、大規模な石貼改修工事を施工した。本書は、当該工事における石貼の施工についてまとめたものである。

1. 改修検討の前提条件

(1) 設計当時の背景と設計意図

- ①本広場は、昭和38年に設計された。
- ②当時は、都電の敷石（以後、都電石）を活用することを条件に検討され、「ヨーロッパのドライな広場をイメージした空間」というコンセプトにより、現在の敷石広場となった。（広場の当該工事前の状況を写真-1に示す）
- ③45年の年月が経った現在、歴史性・記念性を留めた広場となっている。

(2) 防災基本計画上の役割

防災基本計画上、広場は、発災直後は非難スペースとして利用され、その後は情報交換の場として計画されている。

(3) 現広場の問題点

- ①バリアフリー上の問題
路面の凹凸が激しく、一般の方にも、足腰の弱い高齢者や車椅子利用者にとっても、通行しにくい舗装となっている。
- ②ヒートアイランド対策・雨水流出抑制の問題
非透水・非保水の大面積の舗装広場のため、夏季の気温上昇や照り返し、降雨時の雨水流出に問題があるとされていた。
- ③利用上の問題
広大な石畳の広場は、ユニークな景観を形成する反面、芝生広場と比較して、利用者に乏しく、特に夏季は通行者もまばらとなる状況となっている。



写真-1 中央広場の当該工事前の状況

2. 検討の経緯

(1) 当社が関与する前の検討経緯

- ①上記問題点を改善し、平常時の利用価値を高めるため、また、ヒートアイランド対策にも配慮して、全面的に芝生広場化する案を検討。
- ②建築設計研究所へのヒアリング調査により、以下の意見交換を行い、改めて改修案を検討。
 - ・広場は、設計者の建築外部空間に対する考え方を表した場であり、また数々の文献にも登場する、世界的に顕著な広場である。
 - ・1964年東京オリンピック当時の記憶を留める歴史性・記念性を持った広場である。このようなドライな広場は、日本において稀有な存在である。
 - ・芝生を健全に維持管理するのは困難と思われる。健全に管理されない芝生は景観を損なう。
 - ・歩行性を改善する余地がある。

(2) 当社が関与してからの検討経緯

- ①設計当時のコンセプトや広場の歴史性・記念性を残しつつ、路面の凹凸、ヒートアイランド現象、急な雨水流出といった諸問題を解決する方策を検討した。
- ②改修に際しての留意事項は以下とした。
 - ・維持管理や補修の手間を考慮する。
 - ・施工性・経済性を考慮する。

3. 試験施工

3-1 試験施工概要

当該公園をメンテナンスの請負者と連携し、試験施

* 関東支店



工を行った。試験施工の概要は以下のとおりである。

- (1) 目的：路面の色・凹凸、路面温度抑制効果、施工性の確認
- (2) 場所：公園の一角（図-1、2参照）
- (3) 施工面積：26m²

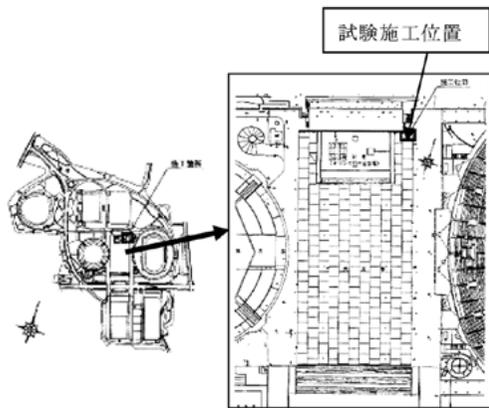


図-1 全体平面 図-2 試験施工の位置

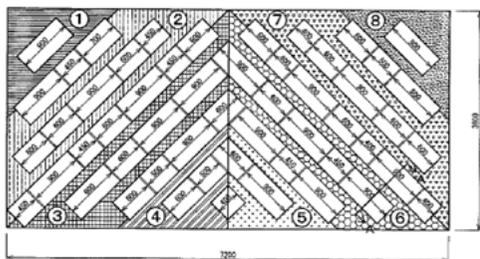


図-3 平面図

3-2 試験施工の流れ

試験施工の流れは以下とした。

- ①既設都電敷石の撤去→②石の撤出・加工・搬入→③スラグ入りモルタル→④加工した石の敷設→⑤各種目地部材料の施工→⑥各種目地の表面の研そう→⑦評価（景観・テクスチャ等）

3-3 試験施工の状況

試験施工の状況を写真-2に示す。



写真-2 試験施工の状況

3-4 舗装表面温度の測定

舗装表面温度の測定結果を図-4に示す。これより透水性コンクリート面下10cmに保水材層がある場合にも、路面温度抑制効果が確認された。

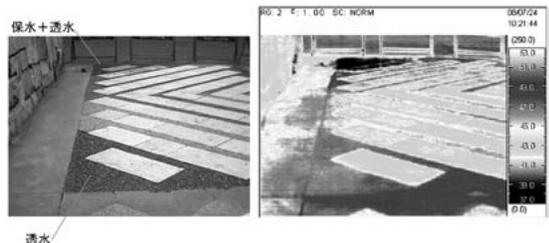


図-4 舗装表面温度の測定結果

3-5 舗装構成の決定

試験施工ヤード完成後、芦原建築設計研究所の評価を受け、当該中央広場の舗装構造は、図-5のとおり決定された。

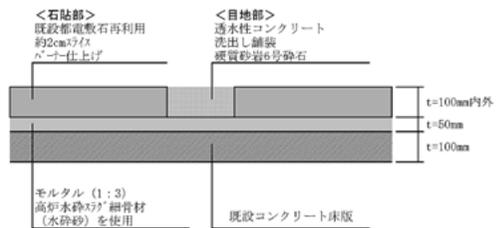


図-5 決定された舗装構成

3-6 モルタルの強度および保水量の試験

当該広場は、大型車が進入する場合があるため、上記で決定された舗装構成の耐久性を確認するためモルタルの強度試験を実施した。

また、当該舗装の路面温度抑制効果の確認のため、モルタルの保水量の試験を実施した。

(1) モルタルの強度試験

当該舗装に大型車の荷重が載荷されたときに舗装体内に発生する応力と各舗装構成層の材料強度の関係からここでは、強度確認が必要と判断されたモルタル層の評価を実施した。

モルタル層に発生する応力は、3.152kgf/cm² [0.309MPa] となり、この値より、モルタルの圧縮強度が大きければ、モルタルは破壊しない。

一方、モルタルの圧縮強度は、材令および締固め度で変化するため、現場の施工条件を踏まえ、確認試験を実施した。

試験状況を写真-3に、試験結果を図-6に示す。

試験結果より、標準状態の含水比で、締固め度90%程度の1日強度でも、輪荷重によって発生する圧縮応



写真-3 試験状況

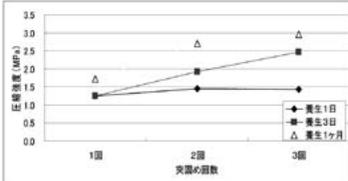


図-6 モルタルの圧縮試験結果

力 (0.309MPa) を上回っており、モルタルが破壊する可能性は非常に小さいことがわかった。

(2) 保水量試験

試験方法は、東京都の保水性舗装の性能試験方法に準拠した。供試体は締固め度を変えて作製し、突き固め回数2、3、5回に相当する締固め度93、95、97%とした。試験前の供試体の状況および20℃の恒温室内の水槽に水浸している状況を写真-4に示す。

試験結果を、図-7に示す。試験結果より、締固め度の違いによる保水量の違いはほとんどなく、いずれも13kg/m²以上の保水量があった。保水性舗装(車道)設計・施工マニュアル(案)では、厚さ5cmの100%浸透型で標準性状が3.0kg/m²以上と記載されているが、モルタルの保水量は、それを大きく上回る結果となった。13kg/m²の保水能力は、モルタルが完全に乾燥している場合、13mmの降雨量を吸収できる能力があることになる。

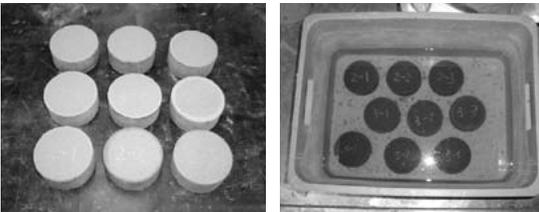


写真-4 試験前状況(左)および水浸状況(右)

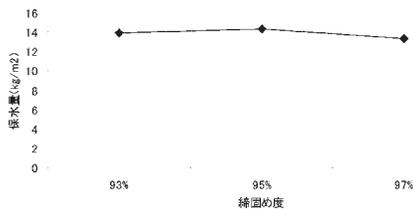


図-7 保水量試験結果

注) モルタル(1:3)は高炉水砕スラグ細骨材を使用

4. 施工手順および施工状況

4-1 施工手順

施工手順は、①既設都電石の撤去→②石の搬出・加工・搬入→③スラグ入りモルタル→④石の敷設→⑤目

地部透水性コンクリートの打設→⑥透水性コンクリート表面の研そう→⑦カッター目地である。

4-2 施工状況

施工状況を以下に示す。



写真-5 既設都電石の撤去



写真-6 石の搬出



写真-7 石の加工(工場)



写真-8 水砕スラグ



写真-9 モルタル



写真-10 石の敷設



写真-11 透水性COの製造・運搬



写真-12 透水性COの打設・締固め





写真-13 透水性COの養生・研そう



写真-14 透水性COのカッター目地・シール



写真-15 完成

5. 施工結果

当該工事は、工期が非常に厳しい中、40%の石の加工を中国で、残り60%の加工を国内（茨城）で行い、無事工期限内に完了した。

品質、出来映えも良好で、発注者（東京都）の期待どおり、バリアフリー・路面温度抑制効果・雨水流出抑制の快適な広場に改修できた。

また、すべての石（約25,000個）を元どおりの位置に正確に復元したことで、設計者のデザイン思想を継承することができた。

おわりに

以上、広場の石貼改修工事の施工について報告した。本書が、今後の石貼改修工事の参考になれば幸いである。

最後に、東京都、関係施工会社、協力いただいた当社技術研究所に感謝の意を表したい。

大規模商業施設における揚水型熱環境改善舗装 (打ち水ロード)の施工方法

山下千秋*

はじめに

打ち水ロードは、図-1に示すように、アスファルト舗装の熱収支を未舗装の地面並にすることを目指した舗装である。

本書は、「大規模商業施設新築工事の内外構工事」において施工した「打ち水ロード」について報告するものである。

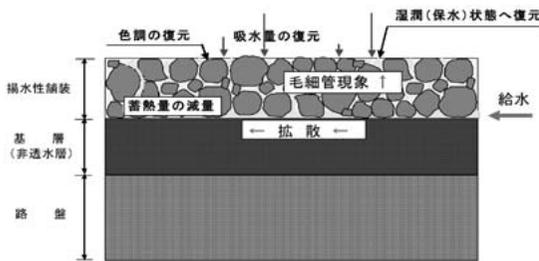


図-1 打ち水ロードの概念

1. 工事概要

①工事名：大規模商業施設新築工事の内外構工事

②工事場所：埼玉県内

③工期：平成19年12月1日～平成20年7月31日

④工事の内容：

- ・アスファルト舗装 74,360m²
- ・屋上アスファルト舗装 75,503m²
- ・コンクリート舗装 9,000m²
- ・ILB舗装 5,436m²
- ・芝ブロック舗装 13,246m²
- ・縁石工 8,757m
- ・塩ビ排水工 φ200～φ700 2,007m
- ・Boxカルバート工800×800等 269m
- ・可変側溝 W300～W600 4,330m

等

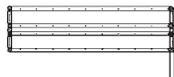
2. 打ち水ロードの改善すべき点とその対策

これまでの打ち水ロードには、以下の改善すべき点があった。

- ①基層面に均一に水が流れるようにすること
- ②表層の母体アスコンの空隙率を確保すること
- ③空隙へ細粒材を十分に充填できるようにすること
- ④配管用溝からの漏水をなくすこと
- ⑤点滴パイプの水圧を確保すること

本現場では、上記の改善すべき点に対し、表-1に示す対策を講じ、路面を均一に湿潤できる打ち水ロードを目指した。

表-1 打ち水ロードの改善すべき点とその対策

番号	改善すべき点	対策
①	基層面に均一に水が流れるようにすること	<ul style="list-style-type: none"> ・基層の仕上がり精度を向上させる。 ・点滴パイプ間隔を2m以下とする。 ・基層および点滴パイプ施工後、仮通水し、濡れ具合を確認する。 ・基層面の仕上がりが悪く、水が回らない箇所はカッター溝を設けて対応する。
②	表層の母体アスコンの連続空隙率を24%程度確保すること	<ul style="list-style-type: none"> ・事前にホイールトラッキング試験用供試体を作製し、室内にて砂の充填試験を行い、砂が充填されるよう配合調整する。 ・出荷合材の空隙率をマーシャル・ホイールの両供試体で確認する。
③	空隙へ細粒材を十分に充填できるようにすること	<ul style="list-style-type: none"> ・プラントで作製した供試体で、60%以上の砂の充填を確認する。 ・アスファルトのべた付きによる砂の充填不足が懸念されるため、シーロHNを使用し、砂の充填性の向上を図る。
④	配管用溝からの漏水をなくすこと	<ul style="list-style-type: none"> ・配管用溝に万が一クラックが入ってもそこから水が抜けないようにビニールシートで溝内側を保護する。
⑤	点滴パイプの水圧を確保すること	<ul style="list-style-type: none"> ・配管は必ずループ状にし、かつ外周にも配管する。 

* 関東支店



3. 使用材料

使用材料は、以下とした。

(1) 母体アスコン

母体アスコンのバイндаは、後工程のべた付きによる細粒材の充填不足防止のため、シーロフレックスHNを使用した。また、6号碎石の粒度を変更し、空隙率を確保し、細粒材の充填に配慮した。写真-1に事前に実施した室内での細粒材の充填確認試験状況を示す。また、図-2に、室内試験による振動時間と細粒材充填率の関係を示す。



写真-1 室内での細粒材充填確認状況

(2) 充填用細粒材

充填用細粒材は、毛細管現象による揚水能力が高く、かつ母体アスコンに充填しやすいものでなくてはならない。本現場では、カラーサンドを用いた。

(3) キャッピング材

キャッピング材は透明のMMA樹脂を散布した。

(4) 導水シート

導水シートは、親水樹脂で表面加工されたのポリエステル製布を用いた。

(5) 点滴パイプ

点滴パイプは、圧力補正機能付きのプラスチック製チューブを用いた。

4. 施工方法・状況

(1) 基層工

基層工は、密粒度アスファルト混合物(13)を用いた。水の拡散性を考慮して、平滑な仕上りとなるよう注意した。また、締固め温度は高めに設定した。

(2) 配管用溝切削工

点滴パイプを設置する箇所を、エンジンカッターにて溝切り切削した。写真-2に溝切り状況を示す。

(3) 配管用溝の止水工

配管用溝に万が一クラックが入っても、そこから水が抜けないようにビニールシートで溝内側を保護した。写真-3に配管用溝へのビニールシートの敷設状況を

示す。

(4) 点滴パイプ、導水シートの設置

点滴パイプ、導水シートの設置状況を写真-4および写真-5に示す。



写真-2 溝切り状況



写真-3 配管用溝へのビニールシートの敷設状況



写真-4 点滴パイプの設置状況



写真-5 導水シートの施工状況

(5) 通水試験

点滴パイプの設置完了後、点滴パイプ内に通水を行い、通水試験を行った。通水試験は、全導水シート部への導水確認と、点滴パイプ端部のエアバルブからの水圧の確認である。この試験は母体アスコンを舗設する前に必ず行う必要がある。写真-6に通水試験状況を示す。

なお、通水試験で、基層面上の水の流れがスムーズでない箇所は、写真-7に示すようにカッター溝を設置した。

(6) タックコート工

導水シートに飛散することがないように、タックコートを施工した。(写真-8)

(7) 母体アスコン舗設工

母体アスコンは、締固め度と空隙という相反する特

性をともに確保する必要がある。このため、敷ならしはフィニッシャによる機械施工とし、転圧には鉄輪のみを用いた。初期転圧には、7 t 振動タンデムローラを用いた。

写真-9に母体アスコンの舗設状況を示す。

(8) 細粒材充填工

打ち水ロードの施工で最も手間取り、かつ重要な工程である。細粒材の充填が不十分な場合、毛細管現象による水の拡散や吸い上げ作用が不足し、十分な機能を発揮できなくなる。

充填は、ブラシを使って擦り込み、ゴム巻きプレートでの振動で落とし込むように充填した。写真-10に細粒材の充填状況を示す。なお、粗骨材表面の細粒材はブラシで取り除いた。



写真-6 通水試験の状況



写真-9 母体アスコンの舗設状況



写真-7 通水試験後に入れたカッター溝



写真-10 細粒材の充填状況



写真-8 タックコート散布状況



写真-11 完成



(9) キャッピング工

細粒材の充填完了後、表面の乾燥の状態を確認し、MMA樹脂によりキャッピングを行った。

(10) 完成

写真-11に完成状況を示す。

5. 温度測定

平成20年8月19日、温度測定を行った。給水後1時間で、路面温度が約10℃程度低下しているのが確認できた。(図-2参照)

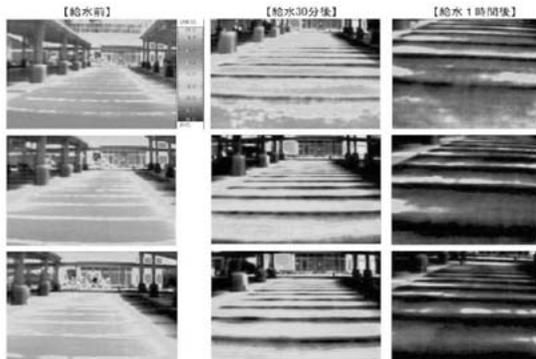


図-2 熱画像測定結果

おわりに

大規模商業施設において、各所を改善した打ち水ロードを施工した。

今回の施工では、いかに細粒材を母体アスコンの空隙に充填するかを事前によく検討し本施工に臨んだ。その結果、路面を均一に湿潤させることにほぼ成功することができたと考えている。

本書が、今後の打ち水ロードの施工の参考になれば幸いである。

サイドフィーダの導入、施工事例

細見耕平*

はじめに

第二東名高速道路等のコンポジット舗装断面による連続鉄筋コンクリート舗装では、スリップフォーム工法が設計に組み込まれている。

スリップフォーム工法では、型枠設置、撤去などの省略化、施工速度が速く施工時間の短縮化が図れるために工期の短縮に繋がる。センサーロープを使用するため自動制御で施工精度を確保できる。工事規模が大きく舗設作業が連続にでき、材料供給が円滑に行える現場には能力を十分に発揮することができる。

しかし、施工機械自体が大型なため施工場所までの進入経路の問題、機械走行場所の構造物の破損、エッジスランプなどの問題がある。そのため施工前に現場状況の確認、現場担当者との入念な打ち合わせが必要である。

当社は、連続鉄筋コンクリート舗装を、自社機械のスリップフォーム工法で、新たに導入した材料供給機サイドフィーダを使用した施工を行った。本文はサイドフィーダの能力、スリップフォーム工法の施工を報告するものである。

1. スリップフォーム工法機械の紹介

1-1 サイドフィーダ機械概要

当社は第二東名の設計幅員に対応するため材料供給機としてサイドフィーダを平成21年に導入した。

サイドフィーダとはダンプトラック、またはアジテータ車から横取り用ベルトコンベアーで材料供給して、コンクリートの粗ならしを行う機械である。写真-1、2にサイドフィーダ、表-1にサイドフィーダの機械仕様諸元を示す。

1-2 スリップフォームペーパー機械概要

平成12年に導入したスリップフォームペーパーは、コンクリートをモールドで締固め、成型、表面仕上げを

表-1 機械仕様

打設幅	2500mm～9500mm
搬送能力	200m ³ /h
定格出力	187kw/254PS
走行方式	4クローラ
駆動方式	油圧式/全クローラ
総重量	36t



写真-1 サイドフィーダ全景



写真-2 横取り用ベルコン

行いながら前進させて同一断面の舗装版を連続的に仕上げていく機構を備えている。また、当社のスリップフォームペーパーにはベルトコンベアーを装着して、ア

*本店工務部機械センター





写真-3 スリップフォームペーパーバ全景

表-2 機械仕様諸元

打設幅	2500mm～9500mm
最大施工厚	450mm
舗装速度	0～6m/min
最大クラウン勾配	3%
定格出力	187kw/254PS
走行方式	4クローラ
駆動方式	油圧式/全クローラ
総重量	29t(基本装備)48t(最大装備)

ジテータ車から直接材料供給が行えるように改良した。写真-3にスリップフォームペーパーバ全景、表-2に機械仕様諸元を示す。

2. 施工

2-1 施工概要

- (1) 施工期間：平成21年1月～8月
- (2) 施工数量：117,551m² 32,370m³

当現場の施工幅員は7,663mmと6,608mmの2分割施工を行った。施工条件としては材料供給が円滑に行える現場であるため、サイドフィーダの能力を発揮することができた。

この現場の課題としては、材料供給方法であった。サイドフィーダの機構は、ダンプトラックにより直接荷受けを行うことによって十分な能力を発揮できる構造になっている。しかし当該現場は、アジテータ車運搬のため、施工幅員に対して1台ずつアジテータ車の荷降ろしでは時間がかかり、日々の出来高に大きく影響することが懸念された。そのため、サイドフィーダの横取りベルトコンベアーに、アジテータ車を2台設置して荷降ろしする試験施工を実施した。しかし誘導員が挟まれる危険性、アジテータ車と構造物の接触、アジテータ車から材料が落ちないなどの課題が生じた。(写真-4)そこで、スリップフォームペーパーバとサイドフィーダでアジテータ車を1台ずつ材料供給することによって供給時間の短縮する施工編成とした。図-1に施工編成フローを示す。

記号	種別	人員
▲	オペレータ	5
★	作業員(タイバー設置・残コン処理・フロート)	5
◆	誘導員(ダンプ誘導)	1
○	左官仕上げ	4

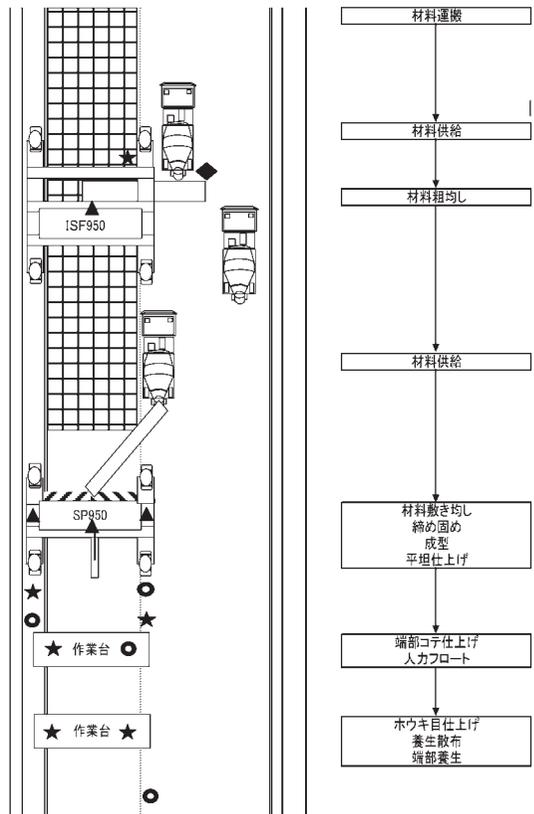


図-1 施工編成フロー



写真-4 2台同時材料供給

2-2 サイドフィーダ改良、能力

サイドフィーダ粗ならしの際、サイドフィーダの機構として、機械施工幅員は現場施工幅員に対して端部から500mm内側に粗ならしを行う機構であった。しかし端部500mmの粗ならしを行わない場合、スリップフォームペーパーバでの仕上がりを試験施工で確認すると、端部に粗骨材が確認されず、モルタルのみで仕上げている状態が確認されたため、エッジがスランプした。そのため、サイドフィーダでの粗ならしを施工端

部から0mm～50mmまでの間で行なえるように機械改良を行った。写真-5にサイドフィーダによる改良前の材料敷きならし状況、写真-6に機械改良後のサイドフィーダによる材料粗ならし状況を示す。



写真-5 機械改良前粗ならし



写真-6 機械改良後粗ならし（本施工）

図-1の施工編成で示しているように材料供給はサイドフィーダ、スリップフォームペーパーで行った。施工断面としては $t=250\text{mm}$ の施工厚をサイドフィーダで $210\text{mm}\sim 230\text{mm}$ の粗ならし、スリップフォームペーパーで $20\text{mm}\sim 40\text{mm}$ 程度と施工厚 250mm の20%の予盛 50mm 程度、合計 $70\text{mm}\sim 90\text{mm}$ の材料供給を行った。

サイドフィーダとスリップフォームペーパーの1日施工数量の割合は7：3程度に分割される。

サイドフィーダの能力は生コン車1台あたり約3分で材料取り込みが完了し、スリップフォームペーパーは1台あたり約7分で材料取り込みが完了する。時間平均台数は約15台（約 65m^3 ）程度である。セットフォーム工法の時間平均台数が6～7台（約 31m^3 ）程度なのでその差は歴然としている。この施工編成での出来高を表-3に示す。

表-3のとおり、最大打設数量の 600m^3 を約8時間程度で施工した。そのため予定施工日数から約30日程

表-3 出来高

	新開第五TM	新開第三TM	同開TM	新開第六TM	新開第五TM	新開第四TM	新開第三TM	新開第二TM	計
	19354m ²	6013m ²	36499m ²	11446m ²	7007m ²	5415m ²	14363m ²	11808m ²	
	1366m	426m	2653m	802m	491m	379m	1006m	11904m	
平均施工面積 (m ²)	2,150	1,189	1,589	1,835	1,752	1,354	1,858	2,124	1,731
平均打設数量 (m ³)	540	298	387	404	416	319	439	499	419
平均打設延長 (m)	301	166	231	229	246	190	260	238	245
累計打設数量 (m ³)	4,884	1,486	8,807	2,825	1,683	1,278	3,515	3,912	28,458
打設数量(MAX) m ³	600	608	508	588	600	414	588	600	608
打設延長(MAX) m	359	358	287	322	330	235	352	395	395

度の施工短縮をすることができた。また平均打設数量が約 400m^3 、平均施工面積約 $1,700\text{m}^2$ と良好な数値を得ることができた。表-4に施工結果、写真-7にサイドフィーダ施工状況を示す。

表-4 施工結果

項目	単位	数量	備考
1日平均台数ISF950	台	101	600m ³ 施工時
1日平均台数SP950	台	32	〃
時間あたり平均台数	台	15	〃
1台あたり取込時間ISF950	分	3	〃
1台あたり取込時間SP950	分	7	〃
機械燃費ISF950	ℓ/h	14.4	
機械燃費SP950	ℓ/h	17.7	



写真-7 サイドフィーダ施工状況

2-3 仕上がり

自社機械初のスリップフォーム工法を施工するにあたって、最重要課題として施工端部の沈下（以後、エッジスランプ）が懸念された。そのため機械センター場内で試験施工を4回行い機械の決定および生コンクリートの配合とエッジスランプの関係について検討を行った。本施工では、現地の生コンクリートプラントで数回にわたって試験練りを行い、配合設計の見直しを実施され、スリップフォーム工法に見合った配合になり、比較的良好的仕上りを待った。しかし、空気量、スランプのばらつきによるエッジスランプは随時補修した。

補修作業を写真-8のように示す。また写真-9には機械通過後の仕上りを示す。



写真-8 補修作業



写真-9 機械通過後仕上がり

表-5 平坦性測定結果

No	測定箇所		距離	測定値	測定日	備考
1	島田第五トンネル	走行	1356 m	1.26	9月14日	
2		追越	1356 m	1.20	9月14日	
3	島田第三トンネル	走行	426 m	1.24	9月14日	
4		追越	426 m	1.46	9月14日	
5	岡部トンネル	走行	2653 m	1.52	9月12日	
6		追越	2653 m	1.35	9月14日	
7	静岡第六トンネル	走行	802 m	1.35	9月12日	
8		追越	802 m	1.42	9月12日	
9	静岡第五トンネル	走行	491 m	1.52	9月12日	
10		追越	491 m	1.64	9月12日	
11	静岡第四トンネル	走行	379 m	1.31	9月12日	
12		追越	379 m	1.37	9月12日	
13	静岡第三トンネル	走行	1041 m	1.44	9月12日	
14		追越	1041 m	1.35	9月12日	
15	静岡第二トンネル	走行	1190 m	1.53	9月12日	
16		追越	1190 m	1.21	9月12日	
	平均値			1.39		

各トンネルの3mプロファイルメーターによる平坦性結果を表-5に示す。

おわりに

今後、サイドフィーダはセットフォーム工法で使用するボックススプレッドの代替の材料供給機として利用可能に思われる。その利点として空港、港湾などの施工時、ボックススプレッドの場合、機械移動時に必要な大型クレーン（100tトラッククレーン）が必要とされるが、サイドフィーダの場合、中型クレーン（50tラフタークレーン）程度となり、費用の削減が期待できる。

今後、自社機械スリップフォーム工法での施工が予定されており、スリップフォーム工法によるコンクリート舗装が増加する傾向にあると思われる。スリップフォーム工法のノウハウを蓄積し、また機械の改良を随時実施して仕上がり精度の高い施工ができるように努力していきたいと思う。

社外発表論文

架設時に静止土圧を考慮した石造アーチ橋の軸力線

国土工営コンサルタンツ(株) 正員○筒井光男 九州産業大学 フェロー 水田洋司
 福岡大学 正員 坂田 力 大林道路(株) 樋口竜也

1. 序論

筆者らは文献 1) で石造アーチ橋のアーチクラウンに載せる重しを一般化して架設時の安定照査式を提案した。本論文では、秋月眼鏡橋を例に取り、先に提案 2) した石造アーチ橋の軸力線を円弧にする鉛直荷重(壁石)は石造アーチ橋を安定にすることを確認した。また、その鉛直荷重と静止土圧を作用させた場合の軸力線の作用位置を調べ、文献 3) に記されている石造アーチ橋の架設手順についても検討した。

2. 軸力線を円弧にする鉛直荷重

石橋がアーチ形状の場合、崩壊しないためにはアーチ断面に曲げモーメントが発生しないようにすればよい。この状態は、アーチの軸力線が断面の図心軸を通る円弧とすることによって作り出せる。図 1 に示すように 2 ヒンジアーチの任意の点の曲げモーメント M_i は次式で表される。

$$M_i = \frac{pl}{2}x - \frac{p}{2}x^2 - Hy$$

$$= M_b - Hy \quad (1)$$

$$M_b = \frac{pl}{2}x - \frac{p}{2}x^2 \quad (2)$$

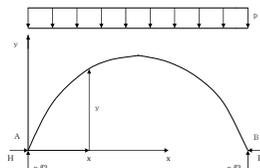


図 1 振り子付き浮き屋根

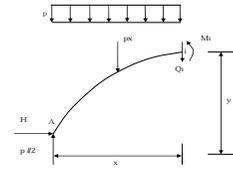


図 2 振り子付き浮き屋根

ここで、 M_b は等分布荷重が作用する場合の曲げモーメント、 H は水平反力、 y は着目点までの高さである。 M_i を 0 とすると、 $y=M_b/H$ が軸力線となる。いま、 M_b が Hy となるような分布荷重であれば、曲げモーメントは発生しない。また、モーメントを 2 階微分することで荷重が求まるので、 $M_b=Hy$ を 2 階微分すればよく、(3) 式が求まる。いま、 $y=M_b/H$ の水平反力 H は一定なので軸力線 y を円弧とするためには式(2)の M_b が円弧であればよい。分布荷重を 2 階微分すると曲げモーメントになるので、円を 2 階微分すると軸力線が円弧となる荷重が求まる。いま、アーチの形状を $x^2+y^2=r^2$ とし、 $x=\sin \theta$ とおくと、 $y = \sqrt{r^2 - x^2} = r \cos \theta$ となる。したがって、軸力線が円弧となる式は(4)式で表される。

$$p(x) = -\frac{d^2 M_b}{dx^2} = -H \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (3)$$

$$p(x) = -H \frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{H}{r \cos^3 \theta} \quad (4)$$

3. 秋月眼鏡橋の鉛直荷重と軸力線

2. で述べた軸力線を円弧にする荷重を秋月眼鏡橋に適用し、軸力線を円弧にする鉛直荷重と軸力線のグラフ(図 3)を作成した。この荷重を図 4 のように左右対称に 53 等分し、真ん中を要石とした。図 4 の荷重の縦

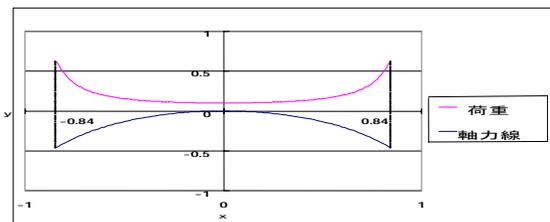


図 3 秋月眼鏡橋の鉛直荷重と軸力線

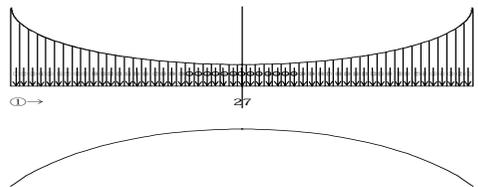


図 4 秋月眼鏡橋の分割鉛直荷重

キーワード：石橋、輪石、壁石、軸力線、鉛直荷重、静止土圧

連絡先：〒813-8503 福岡市東区松香台 2 丁目 3 番 1 号 九州産業大学工学部 TEL092-673-5671



の長さはアーチクラウンを基準として $1/\cos^3\theta$ で求めている。また、壁石荷重の比重は砂利と砂の比重を平均し、 $1.655\text{tf}/\text{m}^3$ とした。表 1 に図 4 の 1~27 の鉛直荷重を記している。秋月眼鏡橋の輪石の高さは 0.519m である。眼鏡橋が崩壊しないためには、軸力が輪石断面のミドルサード内に作用する必要がある、その作用位置は輪石の図心から $-0.086\text{m}\sim 0.086\text{m}$ である。

表 1 鉛直荷重

番号	荷重(kN)
1	32.22
2	28.94
3	26.21
4	23.91
5	21.96
6	20.30
7	18.87
8	17.63
9	16.56
10	15.63
11	14.81
12	14.09
13	13.47
14	12.91
15	12.43
16	12.01
17	11.64
18	11.31
19	11.04
20	10.80
21	10.60
22	10.43
23	10.30
24	10.20
25	10.12
26	10.08
27	10.30

4. 鉛直荷重

文献 3) の架設方法を検証するために、まず輪石を積み、次に 3. で求めた壁石荷重の高さの $1/3$ 、 $1/2$ 、 $2/3$ 、全壁石と積み上げて行き、軸力の返信距離を求めた。なお、輪石 1 つの重さは 7.488kN とした。壁石の鉛直荷重のみを作用させた場合、偏心距離はミドルサードに収まり、安定しているのがわかる (図 5~8)。

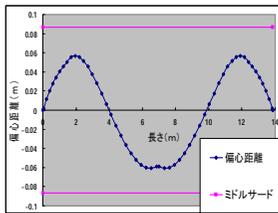


図 5 輪石+壁石 1/3

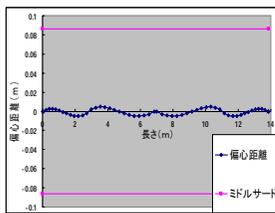


図 6 輪石+壁石 1/2

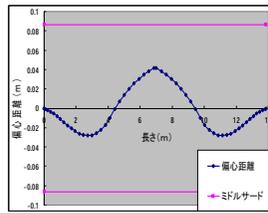


図 7 輪石+壁石 2/3

5. 鉛直荷重と静止土圧

壁石の静止土圧を考慮して鉛直荷重の他に水平荷重も作用させた。水平荷重 (p_h) は、静止土圧係数 $K_0 (=0.5)$ と鉛直荷重 p_v を用い、次式で求めた。

$$p_h = K_0 \cdot p_v \quad (5)$$

壁石の高さが $2/3$ 以上になると、アーチクラウンに重しが必要となる (図 9~11)。重しは輪石 1 個とした。図 12 に示すように壁石を全載した状態では重しの必要はなく、安定となった。これらの結果は文献 3) と良く一致している。図 8、12 から、軸力の偏心は土圧によるのが分かる。したがって、土圧を調整することにより、完成時安定性を向上させることは可能である。

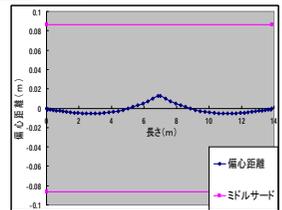


図 8 輪石+全壁石

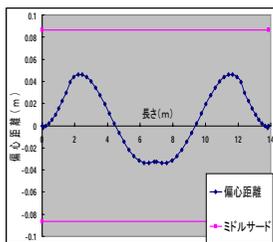


図 9 輪石+壁石 1/3

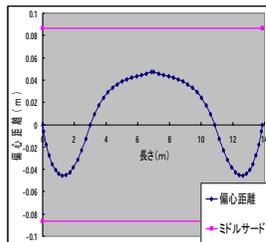


図 10 輪石+壁石 1/2

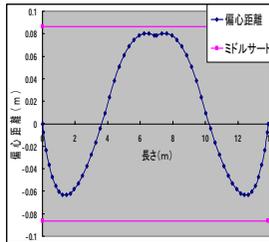


図 11 輪石+壁石 2/3+重し

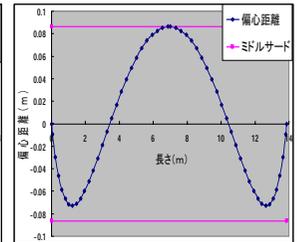


図 12 輪石+全壁石

6. 結論

石造アーチ橋における架設時の軸力線について、得られた知見は以下のとおりである。

- ①鉛直荷重のみを作用させた場合、軸力はミドルサードを出ることはなく、石造アーチ橋は安定である。
- ②鉛直荷重と静止土圧を作用させた場合、壁石 $2/3$ 付近でアーチクラウンに重しが必要となる。
- ③静止土圧を考慮しても全壁石を作用させた場合、石造アーチ橋は安定である。

参考論文

- 1)筒井光男、水田洋司：石造アーチ橋の架設時安定性と簡易照査法、土木構造材料論文集第 22 号、2006.12.
- 2)筒井光男、水田洋司：石造アーチ橋の軸力線を円弧にする方法について、土木学会第 61 回講演概要集.
- 3)岡崎文雄、高山淳吉、薬師寺義則：伝えたいふるさとの石橋、高山総合工業株、p.389、1996.12.

振動ローラの加速度応答を利用した舗装工事の剛性評価

大林道路 技術研究所 正会員 ○小関裕二
 大林道路 エンジニアリング部 高倉 拓
 大林組 生産技術本部 正会員 古屋 弘

1. はじめに

振動ローラで地盤の締固めを行った場合、転圧の進行による地盤の剛性の増加とともに、地盤からの反発を受けることにより振動ローラの加速度波形が乱れ、その周波数を分析することで締固め度の変化を計測することが可能となる¹⁾。土工事では、この加速度応答を利用して締固め度をリアルタイムに全体管理する評価手法が既に実用化されており、NEXCO 各社では路床の検査時に採用(JHS123：ローラ加速度応答法による剛性測定試験方法)されている。また、米国 FHWA では Intelligent Compaction 戦略プランとして、転圧中に材料剛性を測定・記録し、ローラを自動制御することで、情報化による QC/QA の向上および舗装工事を合理化するプロジェクトが進行中である²⁾。そこで、本検討も舗装工事における施工管理・品質管理の合理化を目的として、転圧ローラの加速度応答を利用し、舗装の剛性を評価することを試みた。加速度応答値から藤山・建山による理論式³⁾で地盤変形係数（以降 E_{roller} と記す）を求め、各種試験結果を比較することで振動ローラによる舗装の剛性評価の妥当性を検証した。

2. 試験施工

本検討では、埼玉県にある工場敷地内を掘削し、図-1に示すように、路床として砕砂を 600mm、下層路盤として RC-40 を 150mm、上層路盤として M-30 を 100mm、表層として密粒度アスファルト混合物を 50mm の舗装を構築した。

使用した振動ローラは、写真-1に示す 4 t コンバインドローラであり、わが国の舗装工事で一般的に使用されるものである。ローラの鉄輪側の車軸上に加速度計を取り付け、加速度応答値を測定した。

試験施工は延長方向に 12m 設け、ローラは同じレーンを通過するように往復し、転圧回数毎に加速度測定を行い、転圧後に RI による密度測定、小型 FWD（路床、路盤上）および FWD（表層）によるたわみ量測定を行った。なお、小型 FWD および FWD から得られたたわみは、下記の式によって弾性係数 E_{fwd} を求めた。

$$E_{fwd} = \frac{2 \cdot (1 - \mu^2) \cdot P}{\pi \cdot D}$$

ここに、

E_{fwd} : 地盤弾性係数(MN/m²) μ : ポアソン比 P : 荷重の最大値(N) r : 載荷版半径(mm) D : 変位の最大値(mm)

3. 試験結果

転圧回数と E_{roller} の関係を図-2に示す（データは 3 個の平均値）。路床、下層路盤、上層路盤、表層とも転圧回数とともに E_{roller} が大きくなる傾向があり、表層を除けば、層ごとに E_{roller} が大きくなる。上層および下層路盤で、8 回より 9、10 回の方が小さくなっているのは、8 回転圧後にタイヤローラで表面に散水したことにより、水の影響を顕著に受けたためだと考えられる。

キーワード：加速度応答、振動ローラ、舗装工事、剛性評価

連絡先：〒204-0011 清瀬市下清戸 4-640 大林道路(株)技術研究所 TEL042-495-6800 FAX042-495-6801



図-1 舗装構成



写真-1 4 t コンバインドローラ



表層施工時の表面温度と E_{roller} の関係を図-3に示す。温度の低下とともに E_{roller} が大きくなる傾向が

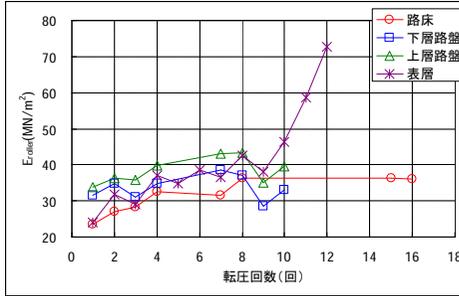


図-2 転圧回数と E_{roller} の関係

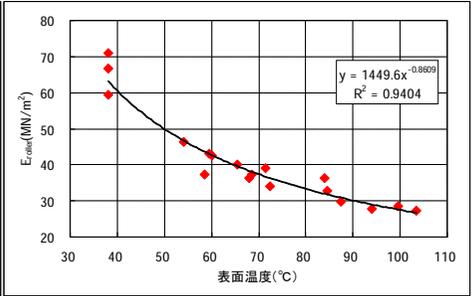


図-3 表面温度と E_{roller} の関係

あり、アスファルトの温度の影響を受けていると思われる。しかし、図-2では10回転圧程度(表面温度60°C)までは路床・路盤と E_{roller} の増加傾向は同等であり、表面温度60°C程度までは E_{roller} はアスファルトの粘度の影響を受けない可能性がある。

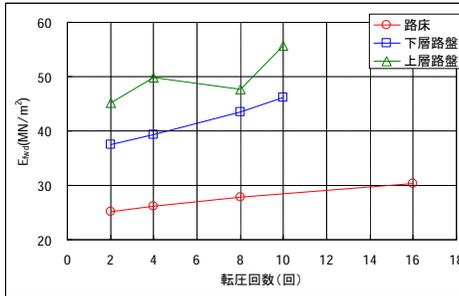


図-4 転圧回数と E_{fwd} の関係

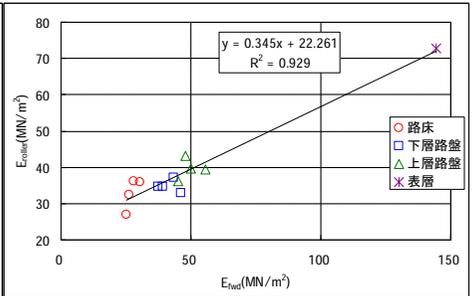


図-5 E_{fwd} と E_{roller} の関係

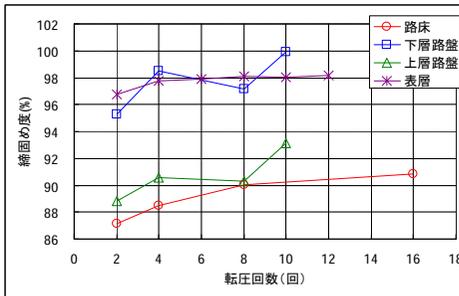


図-6 転圧回数と締固め度の関係

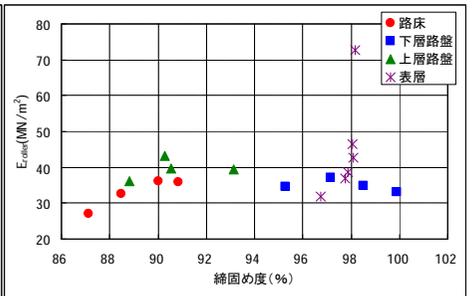


図-7 締固め度と E_{roller} の関係

転圧回数と E_{fwd} の関係を図-4に示す(データは3個の平均値)。転圧回数とともに E_{fwd} は大きくなる傾向がある。図-5に E_{fwd} と E_{roller} の関係を示す。表層のFWDは、路面温度が40°C程度になってから振動ローラで加速度を計測した後に測定したものである。 E_{fwd} と E_{roller} は相関があり、振動ローラでFWDと同等の評価が可能であると考えられる。

転圧回数と締固め度の関係を図-6に示す(データは3個の平均値)。転圧回数によって締固め度は増加する傾向がある。図-7に締固め度と E_{roller} の関係を示す。最後の転圧前に表面に散水した路盤については、その影響で E_{roller} が低下したため、締固め度との相関が見られなかった。

4. おわりに

舗装工事において、振動ローラによる加速度応答値から地盤剛性を測定し、それがFWDと同等に評価できることがわかった。今後、舗装工事の施工管理・品質管理に適用できるようにさらに検討を進める予定である。最後に試験施工で多大な協力をいただいた関係各社の皆様に感謝の意を表するとともに、試験施工が国土交通省の建設技術開発助成制度の適用によるものであることを付記する。

参考文献

- 1) 藤山哲雄、古屋弘：振動ローラ加速度応答を利用した地盤剛性評価装置の開発、平成16年度管内技術発表会(近畿地方整備局),2004.
- 2) <http://www.intelligentcompaction.com/>
- 3) 藤山哲雄、建山和由：振動ローラの加速度応答法を利用した転圧地盤の剛性評価手法、土木学会論文集 No.652/III-51,pp.115~123,2000

開粒度アスファルト混合物の層厚が透水性に与える影響

大林道路機技術研究所 正会員 ○森石 一志 京都大学 正会員 西山 哲
 大林道路機技術研究所 正会員 小関 裕二 京都大学 正会員 矢野 隆夫
 京都大学 正会員 中島伸一郎

1. はじめに

透水性舗装は、近年多発している局所的な豪雨である「ゲリラ豪雨」といった都市型洪水の対策の一つとして注目され、種々の検討が行われている¹⁾。この透水性舗装は雨水浸透性能を有するため、降雨時の河川や下水道の雨水処理量の負担を軽減でき、都市型洪水抑制効果を持つと考えられている。しかし、その効果については明確にされていない。著者らは透水性舗装の雨水流出抑制性能のメカニズムの検討を従来から実施している²⁾ものの、解決には至っていない。また既往の研究から、重交通道路のような舗装厚が厚い透水性舗装の場合、降雨強度が強いと舗装体内に空気の層ができると言われている³⁾。

そこで、本研究は開粒度アスファルト混合物の層厚に着目し、飽和-不飽和透水試験を実施し、その結果について考察した。

2. 試験概要

(1) 使用材料

本研究で使用した開粒度アスファルト混合物の合成粒度を図-1に示す。開粒度アスファルト混合物は、厚さの違いによる比較は、供試体寸法は直径を150mm、骨材の最大粒径を13mm、全空隙率を20%、厚さを30mm, 50mm, 70mm, 100mm, 150mmの5種類とし、 $t=30\text{mm} \sim t=150\text{mm}$ と呼ぶこととする。一方、空隙率の違いによる影響を比較するため、直径を150mm、厚さを150mm、骨材の最大粒径を13mm、全空隙率を17%、20%、24%の3種類とし、それぞれ13mm-17%、13mm-20% (= $t=150\text{mm}$)、13mm-24%と呼ぶこととする。なお、供試体はジャイレトリーコンパクタで作製した⁴⁾。

(2) 試験装置

飽和-不飽和透水試験の装置は図-2に示すように、工藤らの試験方法⁵⁾を参考に、以前著者らが作製した装置を一部改良したものを使用した。一定流量を供給するため、給水装置としてマリOTT瓶を用いた。また、給水ノズルを使用し、供試体断面に均等に給水できる構造とした。なお、飽和透水試験は動水勾配 $i=1.0$ として実施した。

3. 試験結果

各供試体の全空隙率、試験より求めた有効空隙率および飽和透水係数を表-1に示す。作製した供試体はほぼ目標の全空隙率となったが、 $t=30\text{mm}$ のみ目標の全空隙率を若干上回るものとなった。層厚別で見ると、有効空隙率は全空隙率に対し、どの供試体も1~2%程度低い値を示している。また空隙率別で見

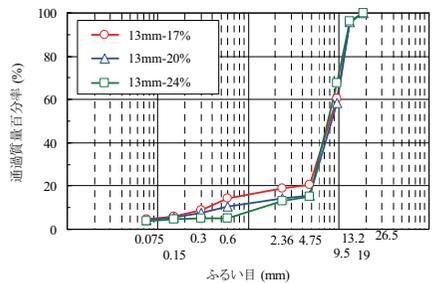
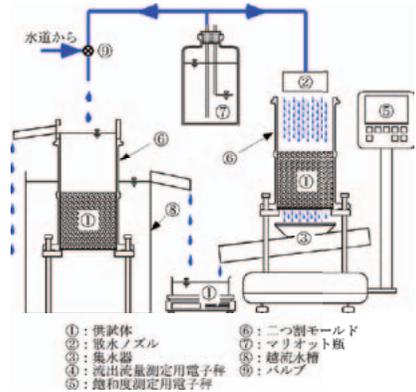


図-1 合成粒度



a) 飽和透水試験器 b) 不飽和透水試験器

図-2 飽和-不飽和透水試験器

キーワード 透水性舗装, 雨水流出抑制性能, 飽和-不飽和透水試験

連絡先 〒204-0011 東京都清瀬市下清戸4-640 大林道路機技術研究所 TEL042-495-6800



ると、全空隙率が少なくなるほど有効空隙率は小さくなる。飽和透水係数は、13mm-24%以外は 10^{-1} cm/sec であり、ほとんど差は見られない。

図-3に層厚別の飽和度と不飽和透水係数との関係を示す。図より、飽和状態（飽和度 100%）における透水係数は層厚によらずほぼ同一であるのに対し、不飽和状態での透水特性は層厚によって大きく異なることが確認できる。ただし、表-1から分かるとおり、これらの供試体はわずかながらも有効空隙率が異なるため、前述の不飽和透水特性の差異が層厚の差のみに起因しているものか不明である。そこで、層厚が同じで空隙率が異なる供試体（13mm-17%、13mm-20%、13mm-24%）の結果を比較すると、図-4に示すように、有効空隙率が変わっても曲線はほぼ一致することが分かった。すなわち、本実験の範囲内では、透水特性は有効空隙率にはあまり依存しない。したがって、図-3における不飽和透水特性の差異は、有効空隙率の差異によるものではなく、層厚によるものであるといえる。

次に、不飽和透水試験時に供試体上面から水が溢流を開始した時点での飽和度を図-5に示す。この図からも分かるように、層厚が薄い場合は飽和に近い状態で溢流しているが、厚くなるに従い飽和状態になる前から溢流が開始している。これは、層厚が薄い場合には、均質な飽和度分布で実験が進行するのに対し、厚い場合には、深度方向の飽和度分布が不均質となり、見掛けの飽和度が低いまま溢流してしまっている可能性がある。また、層厚が厚い場合に不飽和透水係数が大きくなる原因については、今後の検討課題である。そしてこの現象は、西山らが過去の研究で述べた「降雨強度が強い場合は舗装体内に空気の層ができる」という結果³⁾に類似するものである。

4. おわりに

本研究で得られた知見を以下に示す。

- ① 開粒度アスファルト混合物の不飽和透水特性の差異は、有効空隙率の差異によるものではなく、層厚によるものであると考えられる。
- ② 層厚が薄い場合は飽和に近い状態で溢流しているが、厚くなるに従い飽和状態になる前から溢流が開始する。これは、既往の研究にある「降雨強度が強い場合は舗装体内に空気の層ができる」という結果に類似するものである。

【参考文献】

- 1) 伊藤ほか：試験舗装による車道透水性舗装の性能に関する検討，土木学会舗装工学論文集 第12巻，pp.91-98，2007.12.
- 2) 森石ほか：不飽和浸透特性を考慮した透水性舗装の透水性能に関する研究，土木学会舗装工学論文集 第13巻，pp.63-70，2008.12.
- 3) 西山ほか：透水性舗装の雨水浸透機能に関する研究，土木学会舗装工学論文集 第12巻，pp.99-106，2007.12.
- 4) 社団法人日本道路協会：舗装調査・試験法便覧〔第3分冊〕，B007，2007.
- 5) 工藤ほか：粗粒材の不飽和浸透特性の測定と粒度による影響，土木学会論文集，No.743，III-64，pp.77-87，2003.9.

表-1 各供試体の全空隙率，有効空隙率，および飽和透水係数の測定結果

供試体	項目	全空隙率 (%)	有効空隙率 (%)	飽和透水係数 (cm/sec)
13mm-20%	t=30mm	21.8	21.1	4.73×10^{-1}
	t=50mm	20.7	19.9	5.37×10^{-1}
	t=70mm	19.9	19.1	5.84×10^{-1}
	t=100mm	20.1	18.4	4.35×10^{-1}
	t=150mm	19.8	18.6	3.36×10^{-1}
13mm-17%		16.6	14.7	6.03×10^{-1}
13mm-20%*		19.8	18.6	3.36×10^{-1}
13mm-24%		23.6	22.5	1.11×10^0

※：同じ供試体を使用

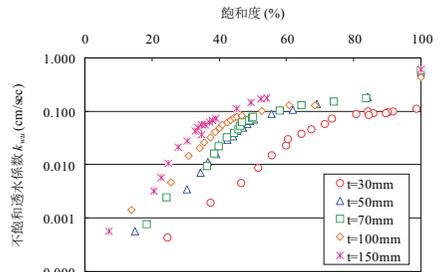


図-3 層厚別の不飽和透水係数の比較

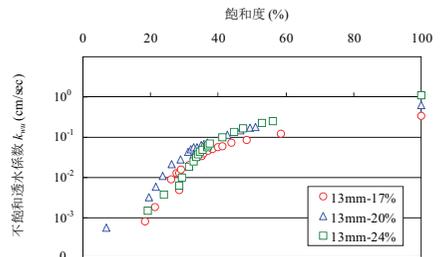


図-4 空隙率別の不飽和透水係数の比較

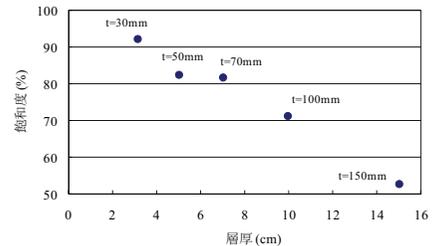


図-5 溢流開始時の飽和度の比較

橋梁部の高機能舗装（伸縮装置 1m 区間）に適用するセメントミルクについて

秩父コンクリート工業(株) 正会員 ○清水 進
 大林道路(株) 中国支店 尾崎 浩司
 大林道路(株) 本店エンジニアリング部 稲葉 行則
 大林道路(株) 技術研究所 正会員 鈴木 徹

本文は、半たわみ性舗装に使用する浸透用セメントミルクを空隙率 17～20%程度のポーラスアスファルト混合物および混合物温度 80℃領域において十分に充填できるように改良したセメントミルクの特性について報告するものである。

1. 目的

高速道路では、橋梁部ジョイントに接する高機能舗装の転圧不足による骨材飛散対策（伸縮装置前後 1m 区間）としてセメントミルク注入工（新設・修繕）が組み込まれている。使用するセメントミルクは現行の半たわみ性舗装用のプレミックスタイプや場合によっては混和剤等を添加したもので対応しているが、半たわみ性舗装用のセメントミルクの充填性等の性状は空隙率 21～25%のアスファルト混合物に対して浸透するように調整されている。一方、高速道路における高機能舗装の空隙率は概ね 17～20%であり、このような空隙率のアスファルト混合物にも容易に全浸透するものが望まれる。また、セメントミルク注入工は、アスファルト舗装工（改良含む）完了後、後日別途交通規制し施工する路面表示工に併せて行うことになっている。しかし、交通規制の都合や作業時間、工程短縮等の工事に関わる時間的（社会的）損失の最小化を考えた場合、アスファルト舗装工事当日にセメントミルク注入工が行える材料が望ましい。一般的な半たわみ性舗装のセメントミルクの充填作業はアスファルト混合物の温度が 40℃程度になってからであり、例えば温度 80℃付近で充填可能であれば一連の施工時間の短縮につながる。また、既往のセメントミルクの強度発現は超速硬タイプでも 3 時間程度であり、交通規制に関わる時間を短縮するため、より短時間で強度が発現するセメントミルクが望まれる。

本論では、このような現状を踏まえ、空隙率 17%および混合物温度 80℃のアスファルト混合物に十分に浸透し、また、強度発現時間を従来の超速硬タイプの半分とした 1.5 時間程度の浸透用セメントミルクの特性を報告するものである。

2. 検討概要

浸透用セメントミルクの流動性および強度発現時間の指標はそれぞれフロー値、圧縮・曲げ強度で表される。本検討に使用したセメントミルクの主成分はセメント、再乳化型粉末樹脂、凝結遅延剤、混和剤、骨材から構成される。このセメントミルクを使用して、表-1 に示す試験を実施した。

なお、浸透用セメントミルクの流動性を左右する因子とフロー値の関係および特殊箇所への適用事例と浸透用セメントミルクの特徴については文献 1) にて既発表済みであるがこれらは主に高空隙を対象としたものである。

表-1 試験項目と方法

試験項目	試験方法
フロー値	Pポートにて流下時間を測定
充填性	空隙率17%（連続空隙率14.8%）温度80℃のアスファルト混合物に充填し、目視により充填性を確認
強度	材齢1時間、1.5時間の圧縮・曲げ強度を測定 40×40×160mm
硬度	C型スプリング式硬度計による硬度を測定し、硬度と圧縮強度の関係から交通解放時間を推定
半たわみ性混合物曲げ強度	セメントミルクを注入した混合物の曲げ強度の測定 50×50×300mm

キーワード セメントミルク注入工、高機能舗装、高温注入性、早期交通開放型

連絡先 〒366-0812 埼玉県深谷市折之口 1340 秩父コンクリート工業(株) カラーセメント事業部開発部 TEL 048-573-5901



3. 検討結果

図-1にセメントミルクの経過時間とフロー値の関係を示す。十分な浸透性を得るため、配合は混合直後から10分後まで10秒以下となるよう混和剤の種類や添加量で調整した。結果は10秒以下を満足し、また経過時間20分までは一定の10秒程度であった。なお、経過時間20分程度までは外気温5~30℃の範囲であればフロー値はほぼ同じ傾向となる。

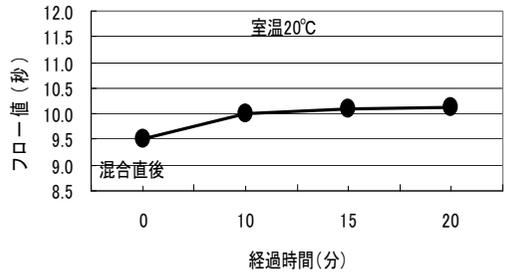


図-1 経過時間とフロー値の関係

写真-1に、供試体裏面および切断面における充填状況を示す。空隙率17%、混合物温度80℃においても全層にわたってセメントミルクが充填されており、連続空隙率から換算した充填率も目標とした90%以上であった。

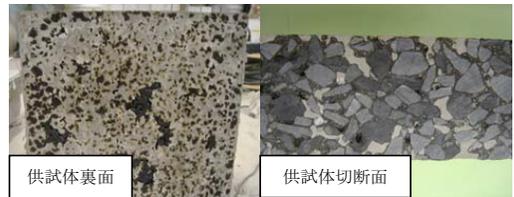


写真-1 セメントミルク充填状況

図-2に養生時間と圧縮・曲げ強度の関係を示す。養生1時間で圧縮強度5.2MPa、曲げ強度1.8MPa、養生1.5時間で圧縮強度6.7MPa、曲げ強度2.3MPaであり、養生1時間~1.5時間で、交通開放における目標圧縮強度5MPaを満足している。曲げ強度は参考値であるが、養生1.5時間で舗装施工便覧の基準である2MPa(材齢7日)以上となっている。以上より、交通解放強度に達する時間を3時間としている一般的な超速硬タイプのセメントミルクに対し、本検討のセメントミルクは、1~1.5時間で交通解放強度に達するため、養生に必要とされる時間を半分に短縮する事が可能となる。なお、空隙率17%、温度80℃のアスファルト混合物にセメントミルクを注入した供試体の材齢7日における曲げ強度は、平均3.7MPa、破断ひずみ 9.6×10^{-3} であり、ネクスコで定める半たわみ性舗装としての基準値を満足しており、性能的には問題ないものといえる。

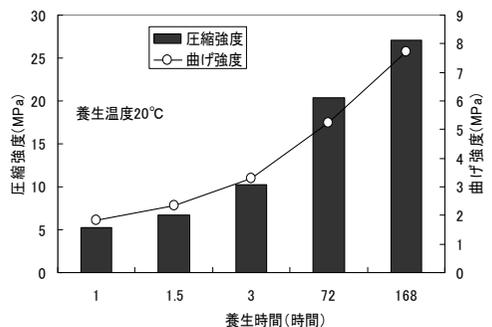


図-2 養生時間と圧縮・曲げ強度の関係

図-3に混合物温度80℃にて注入した場合の経過時間とC型スプリング式硬度計による表面硬度の関係を示す。経過時間に伴い硬度は増加し、経過時間30分以上で硬度は60以上となる。文献2)によれば交通開放強度に達する値は概ね60以上あればよいとされており、先の図-2の結果と併せ考えると、本検討のセメントミルクは前述のとおり養生時間1時間~1時間30分で交通開放可能となる。

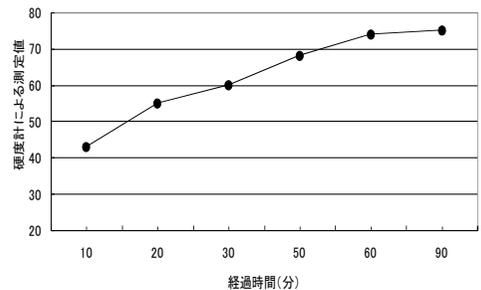


図-3 経過時間と硬度の関係

4. まとめ

空隙率17%、混合物温度80℃領域において、全層に浸透するとともに強度発現(養生時間)を1.5時間とした、橋梁部伸縮装置前後1m区間の高機能舗装用セメントミルクの有効性を明らかにした。本文は室内試験結果にとどまったが、フィールドにおける試験施工結果については今後報告致したい。

【参考文献】

- 清水進 他3名：半たわみ性舗装用セメントミルクの諸性状と特殊箇所への適用事例，第63回年次学術講演会概要集，2008.
- 建設図書：舗装技術の質疑応答，第7巻(上)，pp.193-198，1997.

土質遮水材とアスファルト混合物を組み合わせた多層遮水構造に関する研究 5

－ 材料の異なる遮水層境界の透水性について －

(株)大林組○(正)柴田健司 石田道彦
大林道路(株)(正)堀 浩明

1. はじめに

廃棄物最終処分場の表面遮水工に関して、土質遮水、もしくはアスファルトコンクリート（以後、アスコンと称す）遮水層上に敷設された遮水シートは、【一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める命令の運用に伴う留意事項について】（公布日：平成10年7月16日）一〇遮水層（第五号イ(一)）において「遮水シートと粘土等の層との間には空隙のないように敷設すること」、「遮水シートとアスファルト・コンクリートの層との間には空隙のないように敷設すること」と記載されている。これは遮水シートが破損した場合でも、汚水の拡散を極力防止するためである。

本報告では、この遮水シートとその下層の土質遮水層の密着性が、遮水シートが破損したときの汚水の拡散防止に有効か、さらに土質遮水層上にアスファルトコンクリート遮水層を敷設した場合の汚水の拡散は、遮水シートと土質遮水層が密着して敷設された場合と比較してどうか、たわみ性壁透水試験機により、評価した結果を報告する。

2. 遮水層境界の透水性の評価方法

図-1に上層遮水層と下層遮水層の密着性確認のための透水試験の概要を示す。アスコン等の透水性を評価するためのたわみ性壁透水試験機を用いて、下層の土質遮水層とその層に密着して敷設した遮水シートおよびアスファルト遮水層（上層遮水層）境界の透水状況を調査した。上層遮水層となる遮水シートには、厚さ1.5mmのポリエチレン系の遮水シート、およびアスコン遮水層には細目砂、石粉、アスファルトを4:1:2の割合で配合したアスファルトモルタルを使用した。上層遮水層には遮水層の厚さと孔の比が同等となるように、遮水シート、アスファルトモルタルに各々、φ1mm、3.3mmの孔を遮水層中央に削孔して、土質遮水層上に設置し、測圧を150kPa、透水圧（上載圧）を100kPaとして透水試験を実施した。透水時間は下部から排水が確認されるまでとした。試験開始から2時間後に排水が確認されない場合は試験を終了した。透水試験には着色水を使用して、試験終了後、土質遮水層を炉乾燥して透水経路を確認できるようにした。透水経路の確認は、炉乾燥した土質遮水層を表面から削り取り、目視確認と写真撮影により行った。

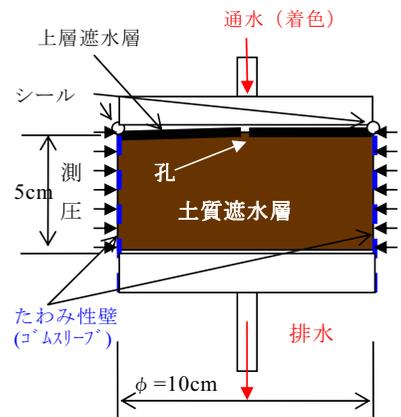


図-1 密着性評価透水試験概要図

3. 試験条件および試験ケース

最終処分場において遮水層に作用する上載圧と浸透圧は異なるが、試験機の構造上、遮水層に作用する上載圧と浸透圧は等しい条件で試験を実施した。土質材料には細目砂と石粉を110℃で24時間炉乾燥させた後、所定の割合で混合して使用した。表-1に土質層の透水係数を示す。表-2に試験ケースを示す。遮水シートに関しては、異なる透水係数の土質遮水層に対して実施した。

表-1 土質層の透水係数

配合 (細目砂：石粉)	透水係数 (cm/s)
3:1	1.10×10^{-4}
2:1	4.53×10^{-5}
1:1	1.80×10^{-5}

連絡先：〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟 (株)大林組エンジニアリング本部
環境技術第1部 柴田健司 TEL03(5769)1054 FAX03(5769)1905 E-mail: shibata.kenji.cv@obayashi.co.jp
キーワード：遮水シート、土質遮水、アスファルトコンクリート遮水、密着性、透水性



4. 試験結果および考察

写真-1、2 に各々、ケース 1 の土質材料の表面（遮水シート直下）の状況、試料を表面から 1mm 削り取った内部の状況を示す。砂：石粉=1:1 の場合、通水時間 2 時間では、試料中には全く通水が確認されなかったが、遮水シートの孔から円周方向に広がっていつている状況は確認できる。上載圧により遮水シートは、土質材料に密着しているものの、遮水シートと土質材料境界面の透水性は、土質材料よりも大きいため、試料中に浸透するよりも境界面を円周方向に広がっていく状況が観察されているものと考えられる。

写真-3、4 に各々、ケース 2 の土質材料の表面（遮水シート直下）の状況、試料を表面から 3mm 削り取った内部の状況を示す。砂：石粉=2:1 の場合も、砂：石粉=1:1 の場合と同様な状況であったが、表面から 3mm までの間では透水が確認され、砂：石粉=1:1 の場合よりも土質材料内への浸透距離はわずかではあるが大きくなり、加えて、遮水シート直下の円周方向への広がりも若干小さくなっていることから、遮水シートと土質材料境界面の透水性が、土質材料の透水性に近くなったのではないかと考えられる。

写真-5¹⁾、6¹⁾と 7¹⁾、8¹⁾は各々、ケース 3、4 の土質材料表面（遮水シート直下）と内部の状況を示したものであり、上層遮水層が遮水シートの場合は、透水開始から 16 分後に下部から排水を確認したが、アスコン遮水層の場合は下部からの排水を確認できず、透水開始から 2 時間後に試験を終了した。上層遮水層が遮水シートの場合、ケース 1、2 とは異なり、土質材料表面において浸透水が拡散し、さらに写真-6 に示すような土質材料内部にも水みちを浸透していく様子が供試体下部まで確認された。土質材料の透水性が遮水層間の境界面の透水性より大きくなったためと考えられる。一方、上層遮水層と土質材料が完全に密着している上層遮水層がアスコンの場合には、土質材料表面への浸透水の拡散は認められず、さらに土質材料内部への拡散もわずかであった。上層遮水材を土質遮水材に完全に密着して敷設できれば、上層遮水材破損時の浸出水の漏洩抑制に有効であることが確認できたと考えている。

参考文献：1) 柴田他、土質遮水材とアスファルト混合物を組み合わせた多層遮水構造に関する研究 4、土木学会第 63 回年次学術講演会、2008 年

表-2 試験ケース

ケース	土質材料	上層遮水層	損傷
1	砂：石粉=1:1	遮水シート	φ 1mm
2	砂：石粉=2:1	遮水シート	φ 1mm
3	砂：石粉=3:1	遮水シート	φ 1mm
4		アスファルトモルタル	φ 3.3mm



写真1 境界面(遮水シート)



写真2 表面から-1mm

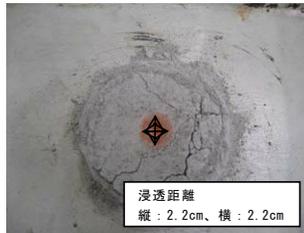


写真3 境界面(遮水シート)



写真4 表面から-3mm



写真5 境界面(遮水シート)



写真6 表面から-15mm



写真7 境界面(アスコン遮水)



写真8 表面から-25mm

リン酸カルシウム塩を用いたフッ素汚染土原位置不溶化試験施工

大林道路（株）営業部 ○堀 浩 明
 富山工業高等専門学校環境材料工学科 袋 布 昌 幹
 チョダウーテ（株）事業本部環境事業部 中 野 宏 一

1. はじめに

平成 15 年 2 月に「土壤汚染対策法」が施行され、汚染土壌の調査・対策に対する関心が高まっている。しかしながら実施されている対策工事の内容は、掘削除去がその大半を占めているのが現状である。このような状況の中、本年 4 月「土壤汚染対策法の一部を改正する法律」が成立し、掘削処理以外の対策にも目が向けられようとしている。

当社は平成 19 年より、掘削処理以外の工法として原位置不溶化工法の検討を行ってきた。本報告は、富山工業高等専門学校等との共同研究として実施した、リン酸カルシウムの一種である DCPD（リン酸水素カルシウム二水和物）を用いたフッ素汚染土の原位置不溶化試験施工の概要を報告するものである。

2. フッ素不溶化技術の概要

フッ素不溶化に用いた DCPD は、水中に含まれる微量のフッ化物イオンと反応し、難溶性のフッ素アパタイト（FAp）を生成する。¹⁾ この性質を利用し、土壌中のフッ素化合物を難溶性のフッ素アパタイトとして固定・不溶化することができる。²⁾ この不溶化原理は、虫歯の予防で行われている「フッ素塗布」にヒントを得て富山工業高等専門学校にて開発されたものである。



図－1 不溶化原理の概要

この反応が起こるためには、DCPD 粒子表面に「ナノ表面構造の誘起」が必要³⁾ であり、この表面構造を持たない DCPD では不溶化効果はあまり期待出来ない。

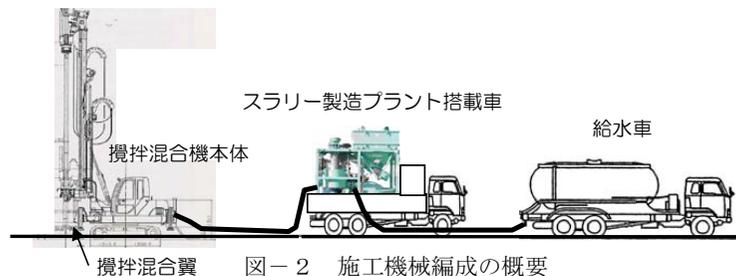
3. 試験施工の概要

試験施工の概要を以下に示す。

- ① 試験施工場所：滋賀県大津市（試験ヤード造成）
- ② 原位置混合方法：スラリー系機械攪拌式深層混合処理
- ③ 実施時期：平成 20 年 11 月

施工機械編成を図－2 に、また施工状況を写真－1 に示す。使用した攪拌混合機は、深層混合処理工法で通常使用されているものである。

セメントと DCPD を混合したスラリーを、スラリー製造プラン



図－2 施工機械編成の概要



トにて製造し、所定の添加量となるように、突出量と攪拌混合翼の速度をコントロールしながら、原位置で攪拌混合を行った。

混合深さは4m、攪拌混合径は60cmとした。

4. 試験結果

試験施工に先だって、室内においてDCPDの不溶化効果を確認する試験を行った結果を図-3に示す。

環境基準値の10倍程度の溶出を、4%程度の添加で環境基準以下に不溶化することが出来ている。これを受け、現場にてその効果を確認することとした。

結果の一部を図-4に示す。原位置施工用に試験ヤードを造成し、汚染土をそこに持ち込み、図-2に示す施工機械にて、原位置不溶化の試験施工を実施した。

図に示すように、環境基準以下に溶出量を押さえることが出来ていた。また、社団法人 土壤環境センターから案として出されている酸およびアルカリによる溶出試験でも、環境基準以下に抑えられていることより、不溶化の持続性も確認出来た。

図-5には、養生期間による溶出量を示したものであるが、1週間で効果は現れているものの、4週後に溶出量がほぼ平衡状態となっていることより、養生期間としては4週以上とすることが好ましいと考える。

5. まとめ

今回の試験施工結果を以下にまとめる。

- ① DCPD はフッ素の溶出量を環境基準以下に抑えることが出来る
- ② スラリー系機械攪拌式深層混合処理工法により、DCPD を原位置で混合し、フッ素の不溶化を行うことが可能である。
- ③ 原位置不溶化の養生期間は4週以上が好ましい。

参考文献) 1) 袋布他;「A Separation Method for Simplified Determination of Fluoride by Using Calcium Phosphate」 Analytical Sciences,Vol17,pp753-756 2001
 2) 袋布他;「フッ素汚染土壌の処理剤及び処理方法」特開 2007-216156
 3) 袋布他;「リン酸水素カルシウム二水和物(DCPD)と水溶液中低濃度フッ化物イオンとの反応機構」 J.Ceram.Soc.Jpn,Vol.113,pp263-267 2005



写真-1 施工状況

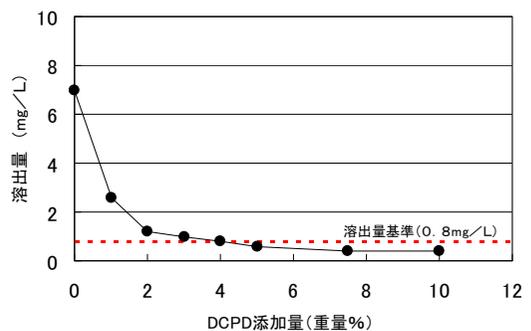


図-3 フッ素溶出試験結果 (室内)

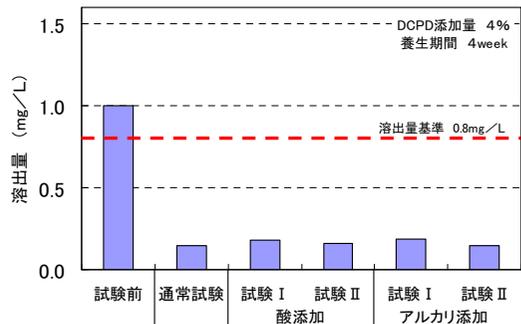


図-4 フッ素溶出試験結果 (現場)

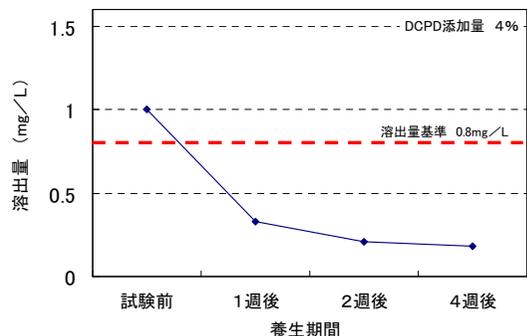


図-5 フッ素溶出量と養生期間

凍結抑制効果を持つ低騒音舗装の供用性について

大林道路（株）大阪支店 ○藤 林 省 吾
 辻 森 和 美
 荒 木 誠

1. はじめに

本論文は、積雪寒冷地域において施工（国道8号線の2箇所）したゴム入り低騒音舗装の供用性（施工後2～5年経過）を調査した結果をとりまとめたものである。

2. ゴム入り低騒音舗装

2-1 ゴム入り低騒音舗装

ゴム入り低騒音舗装用アスファルト混合物とは図-2.1 に示すとおり、走行騒音の低減機能を有するポーラスアスファルト混合物中に0.6～5.0 mm程度の特種なゴム粒子を重量比で0.5%添加し、騒音低減効果と共にゴム粒子が有する弾性挙動による氷結膜の破壊除去を図ろうとするもので、既に全国で55件25万㎡以上(2008年3月現在)の実績を有する。

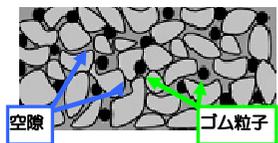


図-2.1 ゴム入り低騒音舗装模式図

2-2 ゴム入り低騒音舗装用混合物の性状

使用したゴム入り低騒音舗装用混合物(13mm)の性状等は、表-2.1、表-2.2 に示すとおりである。

表-2.1 混合物配合

材料名称	6号砕石	細砂	石粉	ゴム粒子	フィラー	植物繊維	合計
配合率(%)	78.5	10.8	4.7	0.5	5.5	0.1	100.1

表-2.2 ゴム入り低騒音舗装用混合物(13mm)の性状

項目	安定度 (KN)	フロー値 (1/100cm)	空隙率 (%)	残留安定度 (%)	カンタプロ 損失量(%)	透水係数 (cm/sec)	動的安定度 (回/mm)
試験値	①A地区	6.25	33	17.1	91.8	2.5	9.15×10 ⁻²
	②B地区	6.17	34	17	90.3	2.5	1.17×10 ⁻¹
規格値	3.5以上	20～40	目標17	75以上	20以下	10 ⁻² 以上	5,000以上

3. 追跡調査

3-1 ゴム入り低騒音舗装施工箇所および調査対象区間

- ① A地区舗装修繕工事の調査箇所を図-3.1 に示す。
 - ② B地区舗装修繕工事の調査箇所を図-3.2 に示す。
- ①、②工事とも表層厚さは5cmである。



図-3.1 A工事調査位置図



図-3.2 B工事調査位置図

3-2 調査項目

追跡調査項目は表-3.1 に示すとおりである。

A舗装修繕工事の調査は、平成16年4月から平成21年3月までの5年間、B舗装修繕工事の調査は、平成18年10月から平成23年3月までの5年間としている。

表-3.1 追跡調査項目一覧表

番号	1	2	3	4	5	6	7
調査項目	横断凹凸測定	平坦性測定	すべり抵抗測定	路面視覚 調査	騒音(車出し)測定	浸透水量 測定	路面視覚 調査
調査方法 (舗装調査・試験法参照)	S030	S028	S024-3	現場調査 (視覚)	S027-1T	S025	現場調査 (視覚)
測定時期	10月	0	0	0	0	0	0
	12～3月	-	-	-	-	-	0
備考	レーザー照準プロファイラー	3mレーザープロファイラー	DFテスター	ひび割れ、剥離地	特殊騒音 測定車	現場透水 試験器	凍結抑制 効果

3-3 調査結果

(1) 供用性に関する調査

- ① 維持管理指数 (MC I)
- ② すべり抵抗



A工事の維持管理指数(MCI)は、第1回調査から第2回調査にかけて1.2~1.3程度の低下を示すが、その後は緩やかな低下傾向となっており、

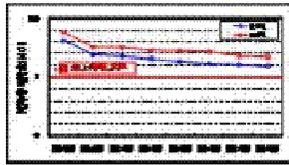


図-3.3 A工事MCI

第8回調査においても5以上の望ましい管理水準を維持している。

A工事の動摩擦係数 μ は、いずれの調査時においても0.5以上の値を示しており、第8回調査においても、評価Aの良好な結果を維持している。

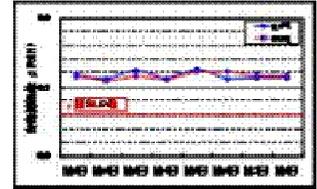


図-3.4 A工事動摩擦係数

③ 供用性における総合評価

A工事における維持管理指数(MCI)およびすべり抵抗の結果よりゴム入り低騒音舗装は、供用性について総合的に問題ない良好な状態を維持しているものと評価され、この状態を今後3年程度は維持できるものと考えられる。

表-3.3 供用性に関する総合評価

番号	調査項目	評価ランク	総合評価
A工区	維持管理指数	A	A
	すべり抵抗性	A	
B工区	維持管理指数	A	A
	すべり抵抗性	A	

(2) 機能性に関する調査

① 低騒音効果

低騒音効果については、RAC車予測値により評価した。B工事の結果を図-3.5に示す。

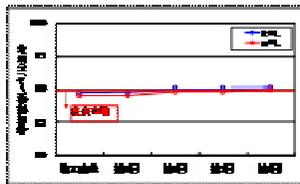


図-3.5 B工事RAC車予測値

② 透水性

浸透水量は、施工直後は良好な値であったが、夏季の高温期における空隙つぶれの影響により大幅な透水機能の低下が見られた。

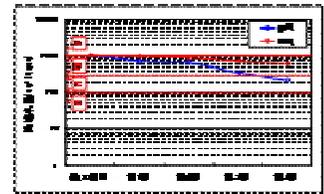


図-3.6 B工事浸透水量

③ 凍結抑制効果

ゴム入り低騒音舗装は、密粒舗装に比べて一定の効果を保持していることが伺えるものの、十分であるとは言いがたい状況である。この原因として表面に露出しているゴム粒子の数が平均550個/m²程度と表面ゴム散布による方法(7000個/m²程度)の10分の1以下の少ない数であることによるものと考えられる。

表-3.4 凍結抑制効果による評価

項目	凍結抑制効果	評価
第1回 (H17.2)	効果あり	B
第2回 (H17.2)	確認できず	-
第3回 (H17.12)	効果あり	B
第4回 (H18.1)	効果なし	D
第5回 (H18.12)	確認できず	-
第6回 (H19.2)	確認できず	-
第7回 (H19.3)	確認できず	-
第8回 (H20.2)	確認できず	-
第9回 (H21.1)	確認できず	-



写真-3.1 A工事本線下り 第3回(凍結抑制舗装) 写真-3.2 A工事本線下り 東側市道第3回(密粒舗装)

④ 機能性における総合評価

A工事：低騒音については一定の効果を有しているが、透水性についてはほとんど効果が期待できない状態であり、また、凍結抑制については一応効果が認められるものの十分とは言いがたい。

表-3.5 機能性に関する総合評価 (A工事)

番号	調査項目	評価ランク	総合評価
(1)	低騒音効果	A	C
(2)	透水性	D	
(3)	凍結抑制効果	C	

B工事：低騒音については一定の効果を有しているが、透水性については透水機能の低下が見られたが、透水効果は2年経過後もあると考えられる。凍結抑制効果は同一路線で密粒区間との違いは確認出来なかったが、総合的には2年経過後も機能は十分有しているものと判断される。

表-3.6 機能性に関する総合評価 (B工事)

番号	調査項目	評価ランク	総合評価
(1)	低騒音効果	A	B
(2)	透水性	B	
(3)	凍結抑制効果	-	

4. まとめ

施工後5年が経過し、供用性は良好であったが、機能の持続性は低下する結果となったが、今後も調査を継続し、各性状の変化を把握する。また、高耐久ポリマー改質アスファルトを使用して、混合物に混入するゴム粒子量を増加させる、配合設計時の空隙率を増加させる等の対策を講じ、より良い工法を目指す。

揚水性ブロック舗装の大規模商業施設への活用

大林道路（株）東京第2営業所 安藤 宏 明
同 エンジニアリング部環境技術課 ○嶋 崎 明 代

1. はじめに

近年、我が国の都市部では、地球温暖化現象に加えて、ヒートアイランド現象が頻繁に発生し、熱環境の悪化がより顕著になっている。

そこで、路面や屋上の温度を潜熱輸送で冷やすことを目的として、内部から均一に水を供給するシステムの活用を提案している。本稿では、このシステムを用いる揚水性ブロック舗装の大規模商業施設への活用事例を紹介する。

2. 下面給水方式を利用した技術

下面給水方式とは、舗装体等の内部へ、水を点滴パイプといわれる給水パイプで送り、導水シートによって均一に供給するシステムをいう。内部に供給した水は、上部の舗装材や土壌などの毛細管現象により、表面へ向かって揚水される。本来の打ち水や散水とは異なり、水溜まりの心配が無く、過剰な水を必要としない。給水はコントローラーによってタイミミングと量を設定することができるので無駄がない。また、雨水を貯留して利用すれば資源の有効利用になる。

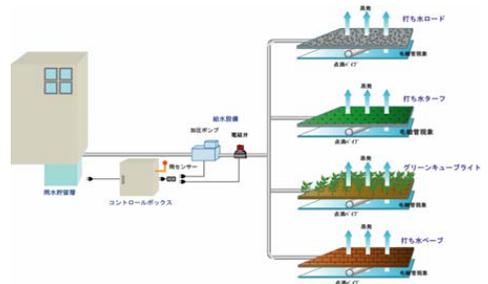


図-1 打ち水システム図

下面給水方式を舗装に適用すると、路面から水が蒸発することで、路面の表面温度を低減することができる。

このシステムを利用したのが揚水性ブロック舗装である。本工法を大規模商業施設へ適応した事例について報告する。

3. 活用事例

3.1 事例その1

本件は、延床面積 12 万㎡を越える大規模商業施設である。

施設エントランスの歩道部に揚水性ブロック舗装が活用された。平均幅員 3m、延長約 100mで舗装面積は約 350 ㎡である。 徒歩で来店する利用者はこの歩道に沿って、また建物付近には最寄り駅からの路線バスの停留場があり、バスで来店する利用者也通行する歩道である。ベンチとシェルターが設置されている。

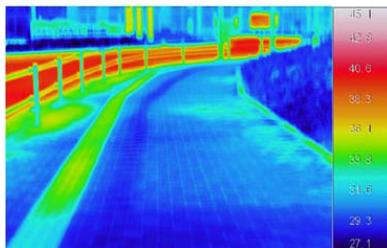


写真-1 サーモグラフィ



写真-2 歩道での活用



3.2 事例その2

2件目は、延床面積 36 万㎡を越える、日本最大級の商業施設である。環境に配慮した技術や仕組みを採用したエコストアとして設計された。ソーラーパネルなど省エネルギー技術の導入や再生プラスチック車止めなどの再生材の利用、壁面緑化など CO2 排出量削減や省エネルギーの実現に向けた数多くの技術が取り入れられている。

1Fの本棟と外部のレストランとの間の歩道部に適応された。幅員 5～9m、延長約 130m で舗装面積は約 800 ㎡である。建物廻りの広場には水辺や水路が配置され、涼感を誘う。建物間の風の通りみちにあたり打ち水効果も高い。



写真-3 全景

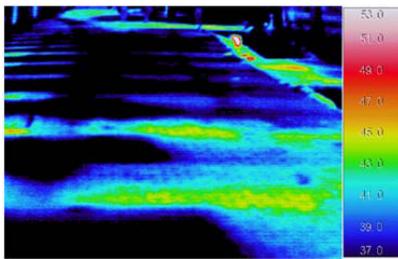


写真-4 サーモグラフィ



写真-5 歩道での活用

3.3 事例その3

3件目は延床面積 15 万㎡の商業施設である。幅員 2～6m、延長約 110m で舗装面積は約 400 ㎡である。

正面玄関の左右に建物に沿って延びる歩道部に適応されている。

本論文作成時はオープンされていないため、揚水性ブロック舗装の効果は確認できていない。写真-7は施工後（4月）に撮影したものである。



写真-6 全景

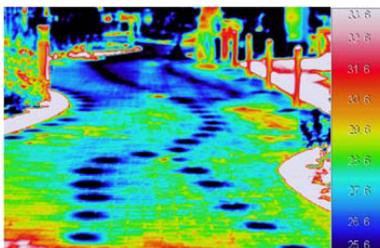


写真-7 サーモグラフィ



写真-8 歩道での活用

透水性舗装の粒状路盤材が雨水流出抑制性能に及ぼす影響

大林道路株式会社 技術研究所 ○森石 一志
 京都大学大学院 工学研究科 矢野 隆夫
 京都大学 次世代開拓研究ユニット 中島伸一郎

1. はじめに

透水性舗装の一般的な水収支計算¹⁾では、舗装は高い透水性を持つものとみなし、路面から浸透した雨水はただちに路床面に達し（一部は舗装内に拘束されるが）、路床の透水性に応じて以深に浸透していくというモデルを考えている。すなわち、アスファルト混合物や粒状路盤材の透水性は、水収支計算上には表れない。しかし、粒状路盤材の種類によっては、このような仮定が成り立つかどうかは不明である。

そこで本研究では、粒状路盤材の種類を変えた透水性舗装の試験舗装に対して散水実験を実施し、その水収支を実測した。また室内にて不飽和浸透特性試験を行い、粒状路盤材の浸透特性を検証した。

2. 実路での散水実験

(1) 試験舗装概要

試験舗装は、現在建設中の第二京阪道路の副道にて実施した。図-1 に示すように、粒状路盤材の違いによる雨水流出抑性能への影響を確認するため、クラッシュラン（以下、C-40）と再生クラッシュラン（以下、RC-40）の2工区に分けて施工し、C-40工区およびRC-40工区とした。その舗装構造を図-2 に示す。

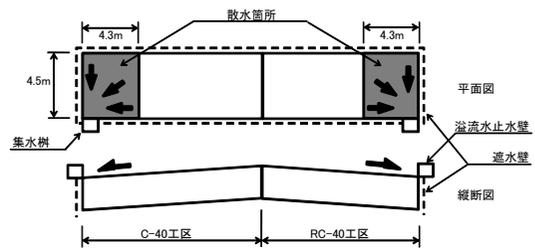


図-1 試験施工概要および散水箇所

(2) 使用材料

使用材料は、表層はポリマー改質アスファルトH型を使用した開粒度アスファルト混合物(13)、上層路盤はストレートアスファルトを使用した開粒度アスファルト安定処理(20)、下層路盤はC-40およびRC-40、フィルター層は海砂を使用している。路床は盛土、切土および路床改良箇所が点在していたが、透水係数は両工区とも 10^{-3} cm/secと同程度であった。粒状路盤材の合成粒度を図-3 に示す。

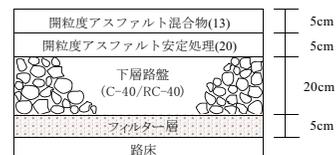


図-2 舗装構造

(3) 実験概要

散水実験の範囲は、各工区の勾配最下部から縦断方向へ4.3mの部分とした。また、図-1 に示すように、周囲に路床上部から舗装表面まで遮水壁を設置し、浸透した雨水が工区外に浸透しない構造とした。実験方法を以下に示す。

- ① 調査ヤードは散水量の容量、散水装置等の関係から、 $W4.5m \times L4.3m = 19.35m^2$ とした（文献2）より算出）。
- ② 降雨強度50mm/hrに相当する量を人力で散水し、溢流水を最下部の集水桝に集め、その量を経時的に測定した。
- ③ 散水量と溢流量の関係から貯留・浸透量を算定した。

(4) 実験結果

図-4 に散水実験結果を示す。溢流開始時間はC-40工区が散水開始から38分後、RC-40工区は30分後で

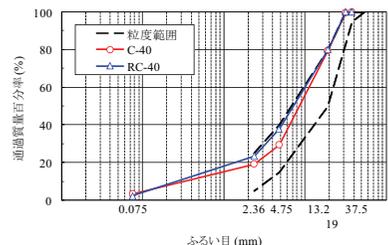


図-3 散水実験に使用した粒状路盤材の合成粒度



あり、C-40 工区の方が雨水流出時間を遅延できる。また、時間当たりの散水量 50mm/hr に対し、溢流量および貯留・浸透量が一定になった時の水量を比較すると、雨水流出の抑制量に差が見られた。両工区の路床の透水係数は同程度なので、雨水流出抑制性能の差は粒状路盤の材質の違いによるものである。実際の降雨の降り始めは舗装体が不飽和の状態であり、この不飽和状態での透水特性および保水特性が影響したものと考えられる。そこで、粒状路盤材の浸透特性試験を行った。

3. 不飽和浸透特性試験

(1) 試験概要

粒状路盤材の浸透特性を飽和－不飽和透水試験および水分保持特性試験により求めた。なお、試験方法等については参考文献 3) に譲るものとする。また、使用材料は図-5 に示すとおり、中央粒度、縮固め度 95%とした。

(2) 試験結果

飽和－不飽和透水試験結果を表-1 および図-6 に示す。本実験で使用した試料の場合、飽和透水係数は RC-40 の方が 1 オーダー小さい。不飽和透水係数は、体積含水率に対する増加傾向は類似しているものの、同じ体積含水率における不飽和透水係数を比較すると、飽和透水係数と同様に RC-40 が 1～2 オーダー小さい値を示している。このことより、同じ粒度であっても材料の違いによって透水性能が大きく異なることが分かる。

図-7 に水分保持特性試験結果を示す。図中のマトリックポテンシャルとは、土壌粒子が水分子を引きつける力の強弱を示している。マトリックポテンシャルが大きいくほど保水性が高いことを示す。マトリックポテンシャルが最大値の時の体積含水率は C-40 が 0.13、RC-40 が 0.17 を示している。これは間隙内に重力に抵抗して粒状路盤材が保持する最小の水分量（最小含水量）が存在すると考えられ、さらに RC-40 の方が保水性が高いことが分かる。したがって散水実験の結果に差が生じたのはこれらが原因のひとつと考えられる。

6. まとめ

粒状路盤材の種類を変えた透水性舗装に対する散水実験および不飽和浸透特性試験より、透水性舗装の流出特性を設計する際には、路床の透水性のみならず、路盤の浸透特性も考慮する必要がある。

最後に、散水実験の現場の提供およびご協力頂きました国土交通省近畿地方整備局浪速国道事務所の関係者の皆様にこの場を借りて深く感謝致します。

【参考文献】

- 1) 独立行政法人土木研究所：道路路面雨水処理マニュアル(案)、山海堂、2005.12.
- 2) 財団法人先端建設技術センター：環境に配慮した舗装構造 設計・施工・維持管理要領 (案)、2003.
- 3) 森石ほか：雨水浸透による車道透水性舗装の諸性状変化に関する一考察、土木学会舗装工学論文集 第 12 巻、pp.107-114、2007.

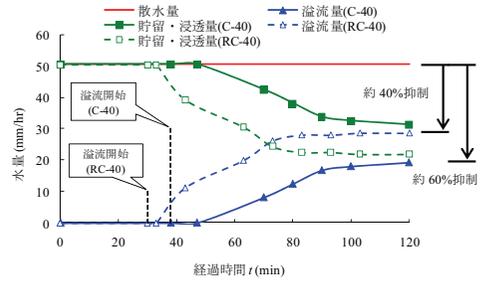


図-4 散水実験結果

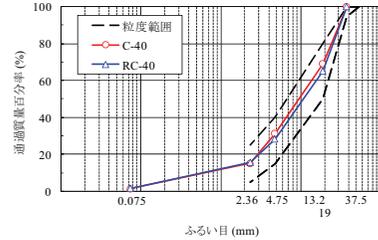


図-5 室内試験に使用した粒状路盤材の合成粒度

表-1 飽和透水試験結果

項目	飽和透水係数 (cm/sec)
C-40	2.46×10^{-1}
RC-40	2.00×10^{-2}

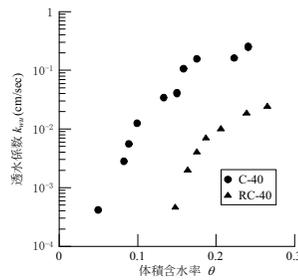


図-6 不飽和透水試験結果

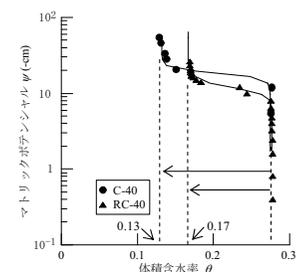


図-7 水分保持特性試験結果

土系舗装における保水性の評価

大林道路(株) 技術研究所 ○小嶋 匠
同 技術研究所 藤田 義憲

1. はじめに

土系舗装は土を主材料とする舗装で、土本来の景観を有するとともに、適度な弾力性、衝撃吸収性、保水性などの性質を保持しており、グラウンドや歩行者系道路などの舗装として広く用いられている。土系舗装には自然に近い風合いがあり、またその明度と保水能力によって、路面温度上昇の抑制が期待されることから、近年ではヒートアイランド現象対策のひとつとして注目されている。

このように環境改善に関する効果が期待される土系舗装であるが、現状ではその保水性に関する報告が見当たらない。したがって、保水性に関するデータの蓄積や評価方法の確立が必要とされている。

そこで本文は、地盤工学会の「土の保水性試験方法」によって、土系舗装の保水性の評価を行ったので、その結果を報告するものである。

2. 土の保水性(水分特性)

通常、土質工学では、不飽和状態の土がその空隙に保持できる水分量を保水量といい、土が水を保持する能力を保水性という。このように保水性とは水を保持する力であるので、大気圧を0とするゲージ圧で表すと、常に負の圧力となる。

この負の圧力は、土粒子の吸着力や水の表面張力で決まり、マトリックポテンシャル(ϕ)という。マトリックポテンシャルは、0~900,000kPa程度までの広い範囲をとるので、この負の対数をとった $pF(=\log(-10.2\phi))$ という表記がその簡便さから現在でも使われている。したがって、本文でもこの表記を使用する。

土の含水量と pF との関係を表すものが水分特性曲線で、図-1 に示すように土が吸水する過程と脱水する過程では曲線が異なる。

土の水分特性曲線がわかれば、土の保水能力だけでなく、土の構造やコンシステンシー限界(液性限界、塑性限界、収縮限界など)をその曲線から知ることができる。このような土の水分特性曲線を求めるのが、「土の保水性試験方法」であり、土系舗装の保水性評価にも適用できると判断した。

3. 毛管水量

土の空隙中の水は、土粒子との結合強さによって次のように分類される。

- 1)吸着水：土粒子と水との分子間力などによって土粒子表面に強く吸着されている水で、 $pF4.2\sim7$ に相当。
- 2)毛管水：吸着水の外側に表面張力によって重力に逆らって保持されている水で、 $pF1.8\sim4.2$ に相当。
- 3)重力水：飽水後短期間(1~2日)で重力によって流れ去る水で、 $pF0\sim1.8$ に相当

土系舗装体内の水分が蒸発し、水の気化熱により路面温度上昇が抑制されるが、体内の水分がすべて蒸発するわけではない。舗装体内を自由に移動できるのは、上記の土中の水の中でも毛管水だけである。したがって、本文では毛管水量に着目して、土系舗装の保水性を評価することにした。

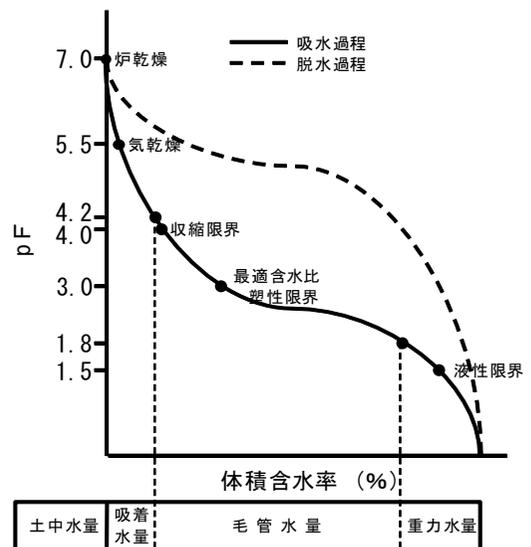


図-1 水分特性曲線と土質定数



4. 対象とした土系舗装

保水性評価の対象として、表-1 に示すような3種類の土系舗装を選定した。

試料 No.1 は、グラウンドで使用実績の多い、真砂土に保水性の改善効果のある土壤改良材を混合したものである。試料 No.2 と No.3 は、歩行者系道路で使用実績の多い、山砂と粘性土の混合土に無機系固化材と団粒化剤を混合したものである。ここで、団粒化剤とは、土粒子を立体網目状の団粒構造に改良することにより、雨水の透水性及び保水性を高める効果がある添加剤である。

5. 試験結果

母材と添加材等を混合した後、約2週間養生した供試体を用いて保水性試験を実施した。その結果を図-2 に示すが、図中の曲線は脱水過程におけるものである。

(1) 土壤改良材の効果

試料 No.1 の結果から、土壤改良材の量が増えるほど、母材に比べて全体の保水量は増える。しかし、土壤改良材 20% では、母材に比べて毛管水量は逆に減少している。

試料 No.1 と試料 No.2、No.3 を比較すれば、(固化材+団粒化剤)よりも、土壤改良材の方がその使用量が多いこともあり、保水量の増加割合はかなり大きい。

(2) 固化材と団粒化剤の効果

試料 No.2 と No.3 との結果から、固化材の添加によって、両者とも母材に比べて毛管水量が少なくなる傾向がある。しかし、試料 No.2 では、団粒化剤の効果によって毛管水量が増えるが、試料 No.3 では逆に減っている。この原因としては、粘性土の量が影響していると考えられる。

しかし、固化材や団粒化剤には、いろいろな成分のものがあり、母材ばかりでなく固化材と団粒化剤の組合せによって、それらを混合した土系舗装の保水性は、上記の結果と異なることが考えられる。

6. まとめ

「土の保水性試験方法」によって、水分特性曲線を求めることで土系舗装における保水性の評価を行った。土系舗装体内の毛管水量に着目することで、土壤改良材や固化材と団粒化剤の効果を検証することができた。今後は、養生期間や乾湿繰返しなどが土系舗装の保水性に及ぼす影響なども調べていきたい。

<参考文献>

- 1)地盤工学会：土質試験の方法と解説—第一回改訂版、地盤工学会、pp118～135(2000.3)
- 2)箭内他：pF の原理と応用(その1)－pF の工学的応用、土と基礎、土質工学会、pp99～105 (1987.2)

表-1 評価対象用土系舗装の配合

試料 No.	母材	土壤改良材	
No. 1-0	真砂土	—	
No. 1-1		20%	
No. 1-2		30%	
No. 2-0	山砂：粘性土 9：1	固化材	団粒化剤
No. 2-1		—	—
No. 2-2		5%	0.3%
No. 3-0	山砂：粘性土 7：3	—	—
No. 3-1		—	—
No. 3-2		5%	0.3%

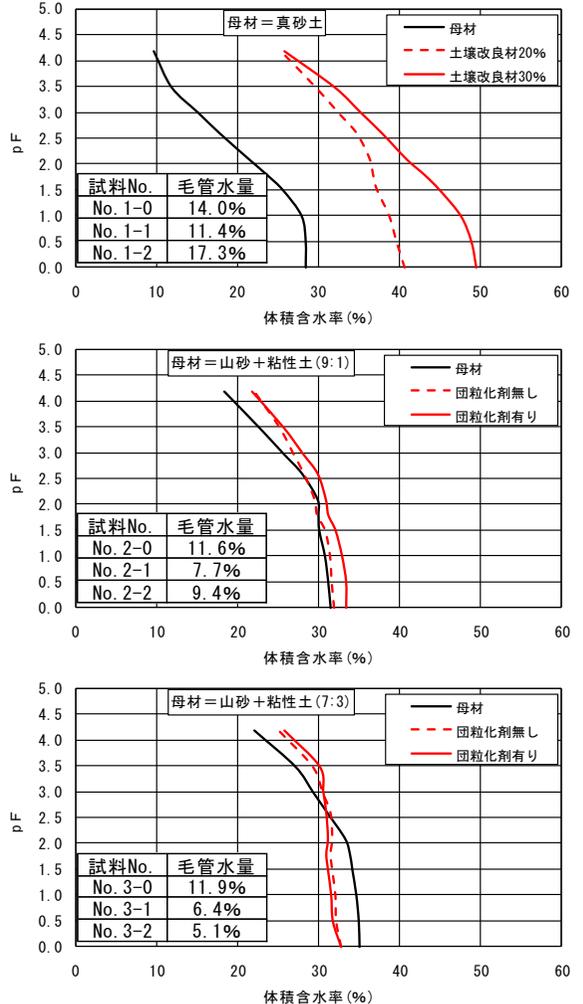


図-2 各試料における水分特性曲線

排水性舗装から排水性舗装へ

——表基層混在骨材を排水性舗装用骨材として——

大林道路株式会社 ○荒木 誠
 近畿大学 理工学部 佐野 正典
 都市リサイクル工学研究所 山田 優

1. はじめに

排水性舗装の施工は 1987 年に東京都の環状 7 号線で本格的に施工されて以来、全国で幅広く使用されている。今後さらに排水性舗装の施工延長が増加し、その材料需要もあわせて伸びていくと考えられる。一方では、初期に施工された排水性舗装は更新時期を迎えており、舗装修繕時において大量の発生材が生じている。一般のアスファルト舗装発生材のリサイクルについてはすでにその技術が確立され運用されているが、排水性舗装発生材では骨材の特殊な粒度分布と高粘度のバインダーの使用などから、路盤材として、あるいは密粒度混合物、粗粒度混合物へのリサイクルが多い。再生排水性舗装に関する研究は多方面でなされている。

本研究は、排水性舗装に利用されている良質な骨材を 100%使用して排水性舗装に利用した再生排水性舗装の技術を進め、排水性舗装の更新時の撤去方法として、最も使われている切削工法で発生する表基層混在した切削材から、骨材を取り出し再度排水性舗装用骨材として利用するための検討を実施したものである。本論は、その中間報告として、室内試験の結果をとりまとめたものである。

2. 再生骨材

舗装発生材は、平成 21 年 2 月に国道 4 3 号の補修工事において表基層同時施工にて発生した切削材を使用した。舗装発生材を写真-1 に示す。



写真-1 表基層混合切削材



写真-2 分級後の粗骨材・細骨材

再生材料化は、加熱式¹⁾の骨材分離技術により行い、再生骨材へのアスファルトモルタル付着量は 1%程度を目標とした。再材料化後に粗骨材と細骨材に分級した状況を写真-2 に示す。分級後の粗骨材の写真からもわかるようにアスファルトモルタルの付着状況は、薄膜状である。分級後の粗骨材の性状を表-1 に示す。



表-1 再生粗骨材の緒性状

アスファルト含有率(%)	粒度(mm)								密度(g/cm ³)
	1.0	13.2	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075	
0.87	100.0	96.4	17.8	13.6	12.0	10.0	7.6	5.4	2.671

3. 配合

再生粗骨材の粒度が6号砕石の粒度に近いことから、当社門真プラントにて通常出荷している排水性混合物の内、使用している6号砕石を再生粗骨材に置き換えて配合を行った。その混合物配合を表-2に示す。アスファルト量は、通常のアスファルト量が5%であるので、再生粗骨材の全体に占めるアスファルト含有率の1/2をマイナスして4.65%とした。その結果の合成粒度を表-3に示す。食物繊維は外割の率である。

再生粗骨材の粒度が、6号砕石と近いが微妙に異なるため、2.36mmでの通過量と0.075mmの通過量が粒度範囲をはずれている。

表-2 混合物の配合

材料名	配合比(%)
再生粗骨材	80.8
天然砂	9.5
石粉	4.7
ポリマー改質アスファルトH	4.65 (5.00)
食物繊維	(0.3)

表-3 合成粒度

ふるい	粒度(mm)							
	19.0	13.2	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075
合成粒度	100.0	96.9	30.1	25.6	20.1	16.1	12.1	8.9
規格	100	90~100	11~35	10~20	—	—	—	3~7

4. 混合物の性状

作製された混合物の性状を表-4に示す。空隙率はほぼ規格通りであるが、合成粒度で規格値を外れている影響か、残留安定度が規格値を満足できなかった。しかし、その他の測定項目は特に問題なく、特に最も重要な動的安定度は十分に満足できるものであった。

表-4 混合物の性状

測定項目	単位	測定値	目標値
密度	g/cm ³	2.013	—
空隙率	%	19.7	20程度
安定度	kN	5.66	3.43以上
フロー値	1/100cm	24	20~40
残留安定度	%	67.3	75以上
飛散抵抗	%	10.7	20以下
透水係数	cm/sec	2.5×10^{-1}	10^{-2} 以下
動的安定度	回/mm	21000	3000以上

5. まとめ

今回の配合は、現在使用している6号砕石の代用として再生粗骨材を検討した。再生粗骨材を独自の骨材として砂、石粉などの配合を調整して合成粒度が規格にはいるよう配合を検討すれば規格を満足のできる混合物となる可能性が高い。今後も室内での検討を進め、すべて規格を満足できる状態で試験施工の実施を行いたい。今回の報告では粗骨材のみであったが、写真-2を見るとわかるように多量の細骨材も発生する。本研究では平行して、細骨材についても混合物への使用を検討している。室内実験では、排水性舗装、密粒度舗装ともに規格を満足し、実路での実証実験を待つ状態である。本研究は、新都市社会技術融合創造研究会「舗装用骨材資源の有効利用」プロジェクト(プロジェクトリーダー:山田 優 大阪市立大学名誉教授)で遂行しているものである。

1) 藤森ほか:既設アスファルトプラントを活用した排水性舗装発生剤のリサイクル技術について、第27回日本道路会議一般論文集(2007)

赤外線ヒータを利用したタイヤ加熱装置の開発

大林道路（株） 工務部 機械センター ○浜谷 昭
同 北山 光男

1. はじめに

砕石マスチックアスファルト（以下 SMA）等の特殊混合物の舗装ではキメ細かさや高い締め固め密度を要求される場合が多い。できるだけ高い温度で転圧するのが効果的であるが、タイヤローラのタイヤには混合物が付着しやすくなり、付着防止剤を使用しても転圧作業に支障をきたすのが現状であった。これを解決するためにはタイヤの予備加熱が最も効果的であると考え、赤外線ヒータを利用したタイヤ加熱装置を開発し、25t タイヤローラと同等の締め固め能力を有する振動タイヤローラに設置してその効果を確認した。

本論文はその加熱装置の開発状況、概要を報告するものである。

2. 加熱装置構造の検討

タイヤ加熱装置を開発するにあたり、まずタイヤ表面温度と混合物付着量の関係を調査するため、切り取ったタイヤ片を使用して室内実験を行った。また同時に加熱方式についても検討した。

(1) 加熱温度の検討

実験は加熱したタイヤ片を混合物表面に置き、ローラコンパクターにて転圧を実施するものである。タイヤ片温度と混合物温度は任意に変化させ、組み合わせて混合物の付着量を測定した（写真-1、2）。結果を以下に示す。



写真-1 付着量測定①



写真-2 付着量測定②

- ・タイヤ片が 30～40℃付近では混合物温度に関係なく付着量が顕著に多くなる。
- ・タイヤ片が 80℃付近では付着量は少なくなる傾向である。
- ・タイヤ片を 130℃まで加熱すると煙が発生して変形が生じる。

この実験からタイヤ表面温度が 80～100℃であれば、表面温度 130℃までの混合物に対して付着防止の効果があることがわかった。

(2) 加熱方式の検討

以下の3案について予備実験を実施して検討した。

- ・ジェットヒータによる加熱・・・100℃までの温度上昇は 30 分程度。しかしヒータの熱風によりタイヤローラの油圧機器、ホース類への悪影響が考えられた。
- ・電気ヒータによる加熱・・・100℃付近まで加熱するとなると大容量の発電機が必要となりあまり現実的ではない。



- ・赤外線ヒータによる加熱・・・100℃までの温度上昇は20分程度と速く加熱効率が良い。また局部的に加熱するのでローラ機器への影響も少ない。

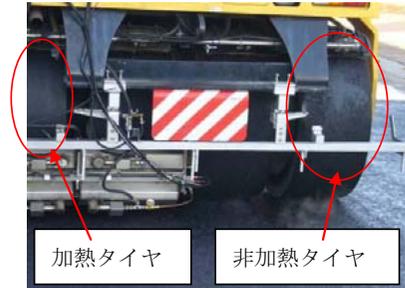
この予備実験の結果より赤外線ヒータによる加熱方式を採用することとし、装置製作を実施した。

3. 試験施工の実施

試験施工はアスファルトフィニッシャにて SMA を敷き均し、タンデムローラにて一次転圧を実施した。二次転圧で使用する振動タイヤローラには前後輪の左側のみ加熱装置を設置して、加熱タイヤと非加熱タイヤへの混合物付着量を比較できるようにした。転圧状況を写真－3に示す。



写真－3 転圧状況



写真－4 付着状況

二次転圧温度は130℃前後、加熱タイヤの表面温度は60～80℃、非加熱タイヤ温度は8～16℃であった。結果、非加熱タイヤへはアスモル分および骨材の一部付着が見られたが、加熱タイヤへは付着がほとんどなく、加熱装置の効果が確認できた。また採取した切取コアについても高い締め固め度を得ることができた。タイヤへの混合物付着状況を写真－4に示す。

4. タイヤ加熱装置の特徴

装置には以下の機能を持たせて安全対策とした。

- (1) 温度センサー、制御盤によりバーナの着火・消火を自動制御（過加熱防止、任意温度保持）。
- (2) 走行レバーと連動。走行開始時にバーナ自動着火、停止（ニュートラル後5秒）で自動消火。
- (3) タイヤに速度感知センサーを設置。速度0で自動消火（走行レバー故障時の対策）。

加熱装置前部を写真－5、後部を写真－6に示す。



写真－5 装置前部



写真－6 装置後部

5. おわりに

このタイヤ加熱装置について実績はまだ少ないが、振動タイヤローラーの能力との相乗効果もあり実際の現場で良好な結果を得ることができている。今後 SMA や特殊な混合物を使用する現場で活用し、品質向上に寄与していきたいと思う。

セメント系ポットホール用補修材の適用性と耐久性評価

住友大阪セメント（株） セメント・コンクリート研究所 ○佐々木 徹
 同 安藤 豊
 大林道路（株） 大阪支店 辻森 和美
 フォレストコンサルタント（株） 大阪支店 香川 保徳

1. はじめに

現在、舗装体に生じるポットホールの補修には、アスファルト系常温合材が広く用いられている。常温合材は施工が簡易であり、短時間で補修ができるという特長を持っている反面、補修後数時間で再破損し、繰返し補修を余儀なくされるケースも多い。また、明色系のコンクリート舗装の補修に黒色のアスファルト系混合物を用いた場合、美観に悪影響を及ぼし、舗装全体のイメージ悪化にもつながる。

そこで筆者らは、耐久性に優れているとされるセメント系ポットホール用補修材の適用性を検討した。本稿では、試作した補修材の物理性状および試験施工による耐久性評価について報告する。

2. セメント系補修材の概要

試作したセメント系ポットホール用補修材は、超速硬セメントをベースに、水中不分離剤と有機繊維を添加したモルタル品である。試作段階では、夏季から冬季での施工に対応すべく、施工時期に応じて標準タイプ（S型：15℃～35℃対応）と低温タイプ（W型：5℃～20℃対応）の2種類を用意した。施工は、モルタル粉末材料に対して水を22%添加し、ハンドミキサー等で約2分間混合後、ポットホール部に充填することで行う。セメント系ポットホール用補修材の特長を下記に示す。

- ①湧水箇所や薄層での施工が可能である。
- ②適当な可使時間を有し、早期交通開放が可能である。（交通開放時間：30分～60分）
- ③アスファルト系常温合材と比較し、長期に渡り安定した強度発現性を示し、長期耐久性に優れている。

3. セメント系ポットホール用補修材の検討経緯

（1）交通開放時期の検討

交通開放可能の判断は、ホイールトラッキング試験（舗装調査・試験法便覧 B003）で供試体表面にタイヤの痕跡が残らない時期とした。その際の輪荷重は0.63MPaとした。それと同時にゴルフボール（以下GB）反発試験を行い、供試体表面の硬化状況とGB反発率との関係を測定した。W型5℃でのホイールトラッキング走行試験後の状況を写真1に、経過時間とGB反発率の関係および圧縮強度とGB反発率の関係を図1に示す。

圧縮試験は、JIS R 5201「セメントの物理試験方法」に準じて測定した。GB反発率40%以上で供試体に痕跡は残らなかったため、反発率40%以上を交通開放可能と判断した。また、図1よりGB反発率40%以上となる圧縮強度は3.5N/mm²であり、交通開放可能な強度を3.5N/mm²とした。

（2）可使時間と交通開放時間との関係

5℃と35℃における可使時間と交通開放の目安となる圧縮強度3.5N/mm²発現時間との関係の測定例を図

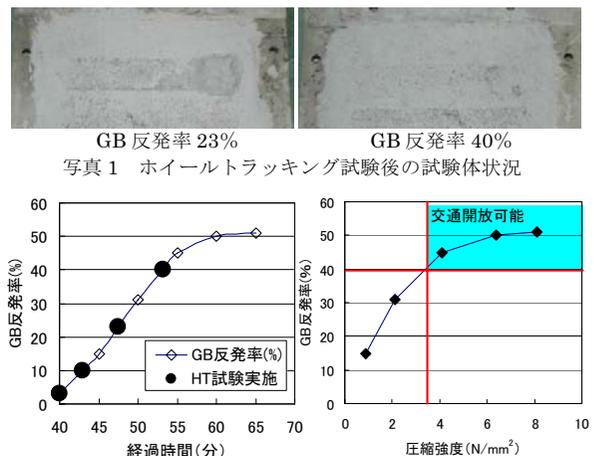


図1 GB反発試験結果



2に示す。可使時間の調整は凝結遅延剤の添加量で行った。可使時間 10 分程度で 30 分以内に交通開放が可能とされる強度を発現し、可使時間 20 分程度で 60 分以内に同強度を発現した。

(3) その他の物理性状の把握

S型 20℃の圧縮試験結果を図 3 に示す。圧縮強度は材齢 1 時間で 13N/mm²程度であり、28 日後には 48N/mm²以上まで増進した。

曲げ強度およびタフネスは、舗装調査・試験法便覧（(社) 日本道路協会) B067「鋼繊維補強コンクリートの曲げ強度および曲げタフネス試験方法」に準じて行った。曲げタフネスは荷重点たわみがスパンの 1/150 となるまでの荷重-たわみ曲線下の面積によって評価した。S型 20℃での曲げ強度およびタフネスをそれぞれ図 4、図 5 に示す。曲げ強度は材齢 1 時間で 4.6N/mm²、材齢 28 日で 8.8N/mm²と、舗装用コンクリートに要求される 4.5N/mm²を材齢 1 時間で発現した。また、曲げタフネスは 939N・mmと、繊維無添加の場合に比べ、約 4 倍の値を示した。

付着強度の測定はJSCE-K 531「表面被覆材の付着強さ試験方法」に従って行った。W型およびS型の 20℃での材齢 7 日の付着強度を図 6 に示す。密粒度アスファルト、コンクリートいずれに対しても 1.5 N/mm²以上の付着強度を示しており、表面処理を施したホワイトトッピング舗装と同程度程度の値を示した。

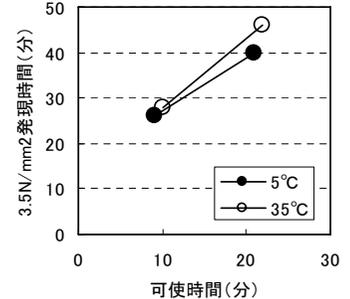


図 2 可使時間と交通開放可能な強度発現時間との関係

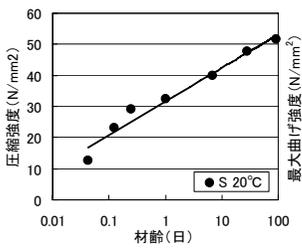


図 3 圧縮強度

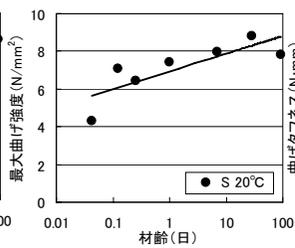


図 4 曲げ強度

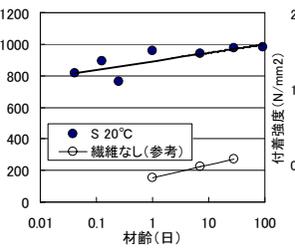


図 5 曲げタフネス

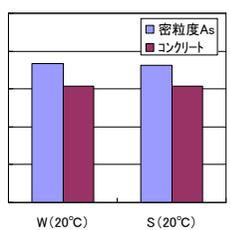


図 6 付着強度

4. 試験施工による耐久性評価

構内試験施工は平成 20 年 2 月に大阪市大正区の工場敷地内で実施した。試験施工は模擬ポットホールを成形し、補修を行った。模擬ポットホールの平面寸法は 400×300mm、断面形状は図 7 に示す 4 種類とした。また積雪寒冷地での湧水状態を想定し、施工前に補修対象箇所軽く散水したものと、水を溜めた状態の 2 条件で施工した。交通開放は 1 時間後に行った。施工後の供用状況は、写真 2 に示すように、施工 14 ヶ月経過後もいずれの工区でも補修材にひび割れや飛散等は見られず、良好な状態を維持している。

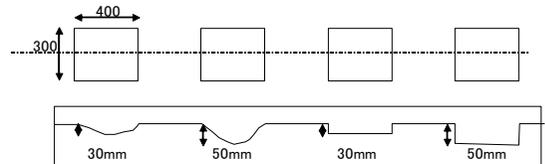


図 7 模擬ポットホールの平面・断面形状

現道でも平成 20 年 3 月より試験施工を実施し、現在も継続して耐久性の評価を行っている。振動のない施工箇所では、施工 13 ヶ月経過時においても車両走行に支障をきたすような損傷はなく、良好な供用状況であった。また、橋梁部において振動が発生するような箇所では一部補修材のグラツキ・段差が認められた。適用場所の条件に応じた耐用年数を有するものと考えられる。

5. まとめ

本稿で報告したセメント系ポットホール用補修材は、30～60 分後に交通開放が可能で、振動等の悪条件がない箇所で用いれば 1 年以上の耐久性を有することが確認された。今後は、さらに施工実績を重ねることでデータ収集を行い、舗装構造やポットホール形状と、補修箇所の耐久性の関係をより明確にしていきたい。



写真 2 構内試験施工箇所の供用状況(14 ヶ月後)

表-1 SFRCの基準配合条件

設計基準 圧縮強度 N/mm ² (k gf/cm ²)	粗骨材の 最大寸法 mm	セメントの 種類	S.F混入 後の スラン プ	水セメント 比 w/c %	空気量 %	S.Fの 混入率 %	膨張剤 の量 kg/m ³	曲げ強度 N/mm ² (k gf/cm ²)	曲げ靱性 係数 N/mm ² (k gf/cm ²)
29.4 (300)	15	普通ポル トセメント	8±2.5	50以下	5±1.5	1.5	30	6.9 (70)	5.4 (55)

4. SFRC舗装の施工

SFRC 舗装は、試験施工により各作業を確認し本施工に望んだ。打設計画は、追越車線（1回目 W=3.150m）、追越側路肩コンクリート（2回目 W=0.625m）、走行車線（3回目 W=4.350m）、走行路肩コンクリート（4回目 W=0.500m）の分割施工とし、次のように施工した。

- 1) ずれ止め用スタッドは、寸法φ9.5×30mm、間隔250mmを標準に施工した。（写真-1）
- 2) 鉄網はφ2.6×50×50mmを使用し、負のモーメントが発生する範囲は全面挿入とした。またエポキシ樹脂接着防水剤は0.35～0.5kg/m²を塗布した。
- 3) 鋼繊維の投入方法は、夏季施工による品質確保を目的に、エア圧送機によるアジテータトラックへの現地投入とした。（写真-2）アジテータによる攪拌で空気量は、ベースコンクリートに対し、約3%増大した。また、スランプは、6.5～7.5cm程度減少した。



写真-1 スタッド施工状況



写真-2 鋼繊維現地投入状況

4) SFRCの打設は、バックホウとホッパを使用し簡易フィニッシャで施工した。（写真-3）

- 5) 夏季の施工では鋼床版上の温度が高温になるため、防災シートで覆い温度上昇対策をした。打設後は、浸透性の被膜養生剤150g/m²を散布し急激な水分蒸発を低減させ、後期養生として養生マットを敷設し散水を念入りにおこない、クラックの抑制を図った。

以上より施工結果は、問題となるようなヘアクラックの発生はなくおおむね良好な施工ができ満足するものとなった。



写真-3 SFRC打設状況

5. あとがき

近年、鋼床版の疲労損傷が報告されている。この疲労損傷を抑制する方法として、アスファルト舗装に比べて剛性の高いSFRC舗装の採用が効果的であるといわれている。今回施工した鋼床版のSFRC舗装が今後の鋼床版補強対策工事の参考となれば幸いである。

【参考文献】 名古屋高速道路公社：舗装設計基準 平成19年4月

αシステムの舗装施工管理への適用について

フォレストコンサルタント（株）東京試験所 ○下館 鎮
 大林道路（株）エンジニアリング部 高倉 拡
 （株）大林組 生産技術部 古屋 弘

1. はじめに

近年、建設工事における技術革新としてGPSを利用した情報化施工が目まじしい発展を遂げている。これは、品質の確保を工法規定で行う場合に大きな効果を発揮するシステムである。一方、品質管理においても施工中の品質データをリアルタイムで収集・管理するシステムが開発されており、その一つとして土工事の締固め管理用に開発されたαシステムがある。

このαシステムを舗装工事における締固め管理に適用した場合、従来の管理方法が密度を主体とした「施工面に対する点管理」であるのに対し、αシステムでは「施工面に対する面管理」を行うため、信頼性の高い舗装体を構築することが可能になるものと考えられる。

本文は、αシステムの舗装施工管理（品質管理）への適用性を検討するために行った試験施工の概要を報告するものである。

2. αシステムの概要

2-1 αシステムの概要

αシステムは、振動ローラの加速度応答が地盤の締固めの進行に伴って変化する現象を利用し、振動ローラの振動輪の加速度を計測することによって、地盤の剛性等を判定するものである。このシステムは、施工を行いながらリアルタイムに、かつ施工面全体にわたって品質を判定するため、従来の平板載荷試験やRIによる品質管理に比べ、効率的な品質データの取得が行え、多くのデータを施工全域で取得できることから、不具合の早期発見や統計的手法を用いた品質管理が行うことができ、結果的に高精度な盛土の品質管理を行うことができるものである。αシステム装置概要を図-1に示す。



図-1 αシステム装置概要

2-2 αシステムの測定原理¹⁾

盛土等においては、転圧の進行による地盤剛性の増加に伴い振動ローラの加速度波形が乱れ、その周波数解析において振動ローラの振動数以外の成分が卓越してくることが知られている。αシステムでは、この性質を利用して「乱れ率」を定義し、この乱れ率と振動ローラの挙動の数値計算モデル解析結果より、転圧面の地盤剛性を定量的（変形係数）に評価できるようになっている。

図-2に加速度計測例および周波数分析結果、図-3に振動ローラの挙動を数値計算するためにモデル化したものを示す。また、式-1に乱れ率の算出式、式-2に地盤変形係数の算出式を示す。

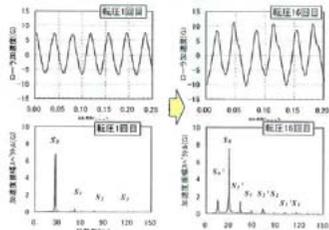


図-2 加速度計測例および周波数分析結果

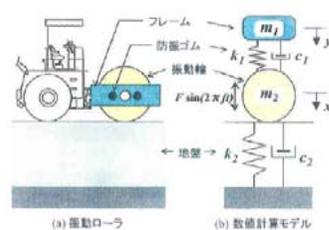


図-3 振動ローラ～数値計算モデル



$$\text{乱れ率} = \frac{\sum_{i=1}^3 S_i + \sum_{i=1}^3 S_i'}{S_0 + S_0'} \cdot \dots \cdot (\text{式-1})$$

$$\frac{F}{(m_1 + m_2)g}$$

$$E = \frac{2 \cdot (1 - \nu^2)}{B \cdot \pi} \cdot \left(\frac{4}{3} \cdot (\text{乱れ率} + 1) \cdot (2 \cdot \sigma_a)^2 \cdot m_2 \right) \cdot \dots \cdot (\text{式-2})$$

$$\alpha = 1 - \left(\frac{F}{(m_1 + m_2)g} \right)^2$$

3. αシステム適用性評価試験施工

3-1 試験施工概要

- αシステムの適用性を評価するために行った試験施工の概要を以下に示す。
- ・実施場所：山陽自動車道宮島SA内・スマートインター設置工事の現場内
- ・舗装構成：基層 t=4cm、上層路盤 t=10cm、下層路盤 t=15cm

3-2 調査項目

試験施工において実施した現地調査項目を表-1に示す。

3-3 測定方法

(1) αシステム測定

試験施工に使用したαシステムの機器構成を図-4に示す。

なお、αシステムによる盛土管理では大型振動ローラが使われているが、今回は舗装の施工管理であることを考慮して、舗装工事で一般的に使われている4tコンパインドローラを使用した。

(2) FWD測定

小型FWDおよび大型FWDを使用し衝撃荷重と変位を測定し、地盤弾性係数を算出した。

3-4 測定結果

測定結果の一例として、αシステムにより測定した各層上面の地盤変形係数（以降、Erollerと記す）とFWDの測定値から算出される弾性係数（以降、E_{pwd}と記す）の関係を図-5に示す。

図-5より、物性（変形係数等）の違う材料で構成された舗装体のErollerとE_{pwd}の間には高い相関性が認められた。

なお、今回の測定ではαシステムからの解析値（Eroller、乱れ率等）と密度との相関性は明確とならなかった。

4. おわりに

今回の試験施工結果より、ErollerとE_{pwd}の間に高い相関性が見られたことから、この相関性のさらなる検証を行うことにより、αシステムを用いた舗装施工管理手法を構築することが今後の課題である。

最後に、厳しい工程の中で今回の試験のために施工ヤードを提供していただいた西日本高速道路（株）中国支社広島高速道路事務所および西日本高速道路メンテナンス中国（株）広島事務所の関係者の方々に厚く御礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 藤山哲雄、建山和由：振動ローラの加速度応答法を利用した転圧地盤の剛性評価手法、土木学会論文集 No. 652/III-51, 115-123, 2000. 6

表-1 現地調査項目

調査項目	測定舗装体部位および測定数
αシステム測定	路床面：2測線、下層・上層路盤面：2測線×転圧4水準、基層面：2測線×温度3須順
FWD測定(小型)	路床面：10箇所、下層・上層路盤面：10箇所×転圧4水準
FWD測定(大型)	基層面：6箇所×温度4須順
RI密度測定	路床面：10箇所、下層・上層路盤面：10箇所×転圧4水準
現場密度測定	路床面：3箇所、下層・上層路盤面：2箇所×転圧4水準

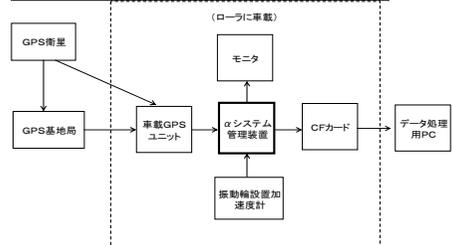
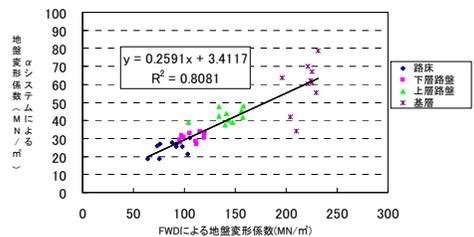


図-4 αシステム機器構成



※基層面は路面温度20℃程度まで下がった時に測定

図-5 ErollerとE_{pwd}の関係

アスファルト混合物の施工時におけるレジリエントモデュラス

大林道路（株）技術研究所 ○小関裕二
 大林道路（株）エンジニアリング部 高倉 拓
 （株）大林組 生産技術本部 古屋 弘

1. はじめに

振動ローラで地盤の締固めを行った場合、転圧の進行による地盤の剛性の増加にともない、地盤からの反発を受けることにより振動ローラの加速度波形が乱れ、その周波数を分析することで地盤の剛性を評価することが可能となる¹⁾。この加速度応答を舗装工事に適用した結果、地盤と同様な剛性の評価ができ、路床、路盤、アスファルト混合物（以下、アスコン）層とも転圧回数の増加に伴い剛性が高まり、路床、下層路盤、上層路盤の順に剛性が高まる。しかし、アスコン層の施工時（60℃以上）の剛性は、上層路盤より小さい値となり、アスコンの温度が60℃以下になると、急激に剛性が高まる²⁾。

そこで、三軸繰返し圧縮試験を用いて、レジリエントモデュラス（以下、 M_r ）を求め、施工時のアスコンの性状を確認した。施工時のアスコンの性状がわかれば、加速度応答による剛性評価をアスコン層にも適用できると考えられる。

2. 実験概要

通常のアスコンは、150℃以上で製造し、110～140℃で初転圧を行い、70～90℃で二次転圧を終了させる。実際の施工温度では、 M_r 試験を行うことができないため、施工時のストレートアスファルト（以下、ストアス）と常温で同じ粘度の材料を用いたシミュレーション実験で M_r を求めた。ストアスの代替としてエンジンオイル（Motor oil SAE 20W-50）とグリセリンを用いた。各材料の温度粘度曲線を図-1に示す。

ストアスの施工時と同じ粘度になるバインダの温度を表-1に示す。表-1に示す温度を試験温度とした。

実験に使用したアスコンは、密粒度アスコン(13)の配合とした。ただし、常温でストアス（比重 1.035）、オイル（比重 0.87）、グリセリン（比重 1.264）の比重が異なるので、バインダはアスファルト量と同じ体積になるように配合した。

M_r 試験は、「舗装調査・試験法便覧」の路盤の条件で行った。ただし、通常実施する予備載荷（1000回）は行わなかった。また、供試体は締固め度（100%、95%、90%）を変えて作製し、締固め度の影響も調べた。供試体（サイズφ15cm、高さ30cm）の作製は、所定の締固め度になるようにボシュタンパにて3層に分けて締固めた。

実験に使用した M_r 試験機は、拘束圧をかける内側の水槽に入れる脱気水と外側の水槽の水の温度を制御することができるので、それらによって試験温度を制御した。

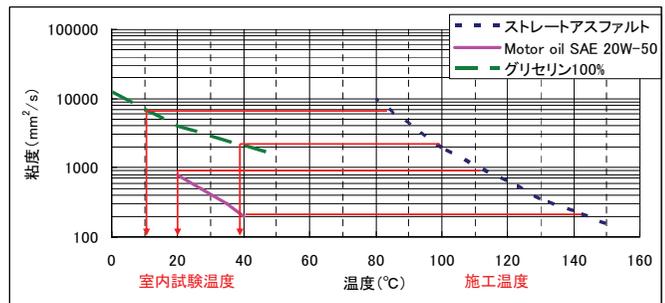


図-1 使用材料の温度粘度曲線

表-1 試験温度

粘度 (mm ² /s)	温度(°C)		
	ストアス	オイル	グリセリン
200	145	40	—
300	135	35	—
500	125	27	—
800	115	20	—
2,000	100	—	40
7,000	85	—	10



3. 実験結果

実験は1条件を3回実施しているが、供試体によるばらつきが大きいため、近似直線のR²が最も大きい結果のみを示す。図-2にオイル混合物の試験温度別の試験結果を示す。グラフには、締固め度100%のC-30の結果も示している。図-2より、ストアスで115~145℃の粘度に相当するアスコンのMrは、C-30より小さく、締固め度が小さいとMrも小さいことがわかる。C-30よりオイル混合物のMrが小さいのは、最大粒径の影響によるものと思われる。

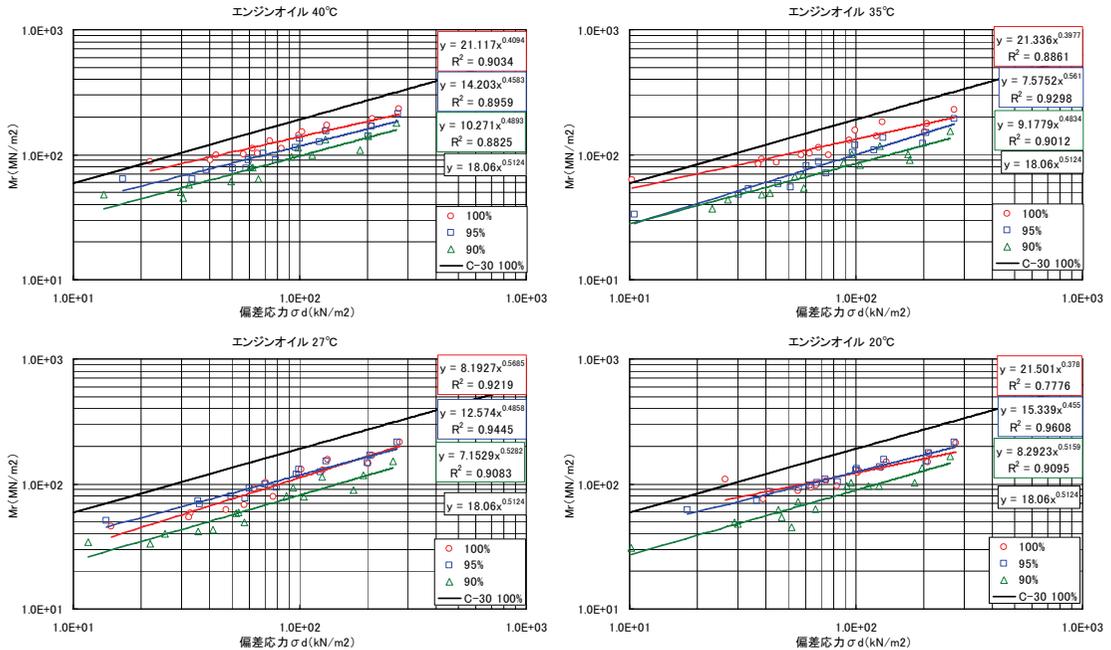


図-2 実験結果 (オイル混合物、試験温度別)

図-3に締固め度100%の各混合物の試験結果を示す。グリセリン混合物10℃の結果が、他と異なる傾向になった。これは、ストアス85℃に相当することから、粘度の影響を受け、偏差応力によらない弾性体に近づいたと思われる。また、オイル混合物27℃が、偏差応力が小さい領域でMrが小さいが、これを除けば、ストアス100~145℃に相当する範囲では、Mrに大きな差はないと思われる。つまり、ストアス混合物は、100℃以上では、動的な性状は変わらないと思われる。

4. おわりに

アスコンの施工時の性状をMr試験によって確認した。結果は、通常の締固め作業が行われる温度範囲(100~145℃)では、バインダの粘度の影響をほとんど受けないことがわかった。今後、振動ローラによる加速度応答値から地盤剛性を測定し、それをアスコン層の評価にも適用できるようにさらに検討を進める予定である。最後に、この実験が国土交通省の建設技術開発助成制度の適用によるものであることを付記する。

参考文献

- 1) 藤山哲雄,古屋弘: 振動ローラ加速度応答を利用した地盤剛性評価装置の開発,平成16年度管内技術研究発表会(近畿地方整備局),2004.
- 2) 小関裕二,高倉祐,古屋弘: 振動ローラの加速度応答法を利用した舗装工事の剛性評価,土木学会年次学術講演会,講演概要集,第V部門,2009

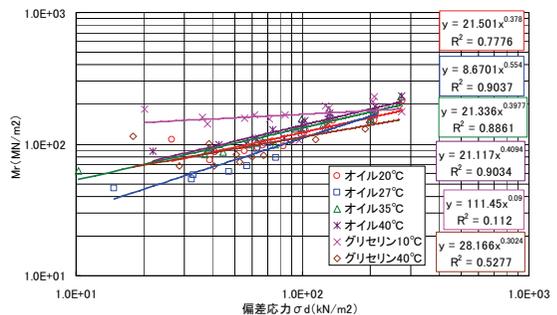


図-3 実験結果 (締固め度100%)

ポーラスアスファルト舗装充填用セメントミルクについて

大林道路(株)中国支店 ○尾崎 浩司
 大林道路(株)技術研究所 鈴木 徹
 秩父コンクリート工業(株) 清水 進

1. はじめに

半たわみ性舗装に使用する一般的な浸透性セメントミルクは空隙率 21~25%の開粒度アスファルト混合物を対象としており、高規格幹線道路等に用いられている空隙率 17~20%程度のポーラスアスファルト舗装(高機能舗装)への使用には困難な場合がある。また、セメントミルクの注入は母体アスファルト舗装の温度が 40~50℃以下になってからであり、舗設とセメントミルク注入工を連続して行う場合、セメントミルク注入可能温度までの時間ロスが発生する。これに加えて一般的な超速硬タイプのセメントミルクの強度発現時間は 3 時間程度であり、強度発現時間までの養生時間を短縮することができれば、作業時間を含めた交通規制時間等の時間的損失を最小に抑えることができ、工程短縮が図れる。これらのことを鑑み、一般的な半たわみ性舗装用浸透性セメントミルクをポーラスアスファルト舗装充填用セメントミルクとして、高浸透性、高温注入性ならびに超早期開放型に改良した。

本報告は、ポーラスアスファルト充填用セメントミルク(以下改良セメントミルクと称す)の概要と、実施工の一例を報告するものである。

2. 改良セメントミルクの概要

改良セメントミルクの主成分を表-1に示す。このセメントミルクの流動性をPロートによるフロー試験で評価した。改良セメントミルクの混合直後からの経時変化とフロー値の関係を図-1に示す。混合直後のフロー値は9秒台であり、経過時間 20 分までは一定の 10 秒程度を確保する。図-2に養生時間と圧縮強度の関係を示す。養生 1 時間、1 時間 30 分の圧縮強度はそれぞれ 5.2MPa、6.7MPa であり、交通開放可能な圧縮強度 5MPa を満足している。このような物性のセメントミルクを混合物温度 80℃で、空隙率 17%および 20%のポーラスアスファルト混合物に充填した結果、写真-1(空隙 17%の一例)に示すように、全層にわたり、十分にセメントミルクが充填されていることが確認できた。

表-1 改良セメントミルクの主成分

主成分	セメント(超速硬, ポルトランドセメント等)
	再乳化型粉末樹脂
	混和剤(高性能減水剤, 消泡剤等)
	充填材(珪砂)

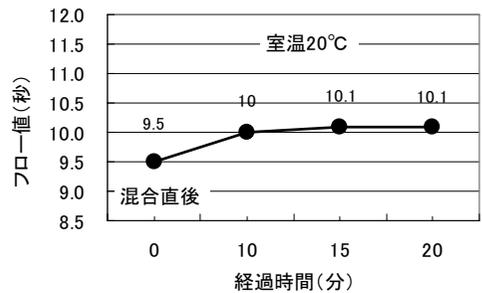


図-1 経過時間とフロー値の関係



写真-1 セメントミルク充填状況

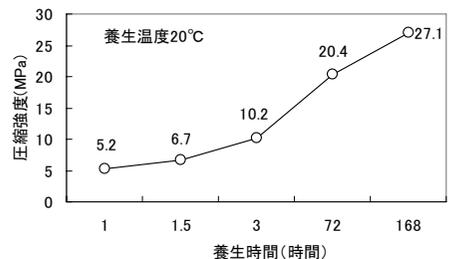


図-2 養生時間と圧縮強度の関係



3. 試験施工および実施工への適用

実施工に先立ち、施工性、充填性および強度発現性を最終確認するため試験施工を実施した。空隙率 20%，母体アスファルト混合物温度 80℃にてセメントミルクの注入を行った。比較として一般的な超速硬タイプの半たわみ性舗装用セメントミルクを施工した。表—2 に混合直後のフロー値を示す。改良セメントミルクのフロー値は室内試験と同様に 9 秒台であり、一般的な超速硬タイプは 10 秒台で流動性の差が認められる。実際の注入作業では、改良セメントミルクの方は初期の浸透性が優れプレートで 2 回程度振動をかけることによってほぼ規定量を充填することができた。超速硬タイプはプレートで 6～8 回程度振動をかけるとほぼ充填することはできるが作業に時間を要することが確認できた。使用量から計算した結果、セメントミルクの充填率は改良セメントミルクは 98%程度であり、超速硬タイプは 94%であった。この点からも高浸透性、高温注入性の改良効果が確認できた。写真—2 はセメントミルク注入後 30 分経過した表面状況である。改良セメントミルクの方は、早期に灰白色に変化しはじめ、一般的な超速硬タイプの方は湿潤状態のままであった。ショア硬度計による硬度測定結果を図—3 に示す。事前に実施した圧縮強度と硬度の関係図によれば硬度 70 以上（圧縮強度 5MPa）で交通開放可能であり、今回の試験施工によれば 40 分程度の養生で交通開放可能となる。格段に早期交通開放可能であることが確認できた。なお、同試料により作製したセメントミルクの養生 1 時間、1 時間 30 分後の圧縮強度はそれぞれ 8MPa、9.1MPa であり、セメントミルクを注入した混合物の曲げ強度は 3.2MPa、曲げ破断ひずみは 5.5×10^{-3} で、半たわみ性舗装の性能を十分に有している。写真—3 は改良セメントミルクを注入した箇所から採取したコアの断面である。全層にわたりセメントミルクが充填されていることが確認できる。

試験施工による性状確認の後、高速道路の集中工事において、高機能舗装橋梁部ジョイント（伸縮装置前後 1m 区間）の 45 箇所についてセメントミルク注入工に改良セメントミルクを採用した。高機能舗装舗設の当日にセメントミルク注入工を実施した事例で、施工性は良好であり、セメントミルク注入後 1 時間経過でショア硬度計による硬度は 80 程度で、従来の超速硬タイプのセメントミルクより早期に交通開放できることが実証できた。写真—4 にセメントミルク注入工前後の概観を示す。

4. まとめ

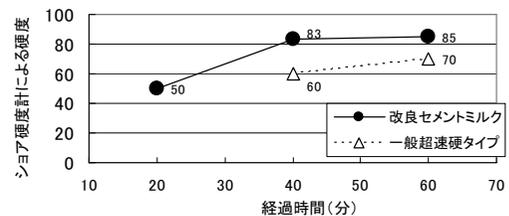
ポーラスアスファルト舗装充填用セメントミルクの高浸透性、高温注入性及び超早期交通開放性の効果を示すことができ、作業時間、養生時間も含めた全体的な時間短縮につながる有効性を確認した。

表—2 フロー試験結果

	フロー値(秒)	
	改良セメントミルク	超速硬タイプ
測定1	8.8	10.1
測定2	9.0	10.1
測定3	9.6	9.9
平均	9.1	10.0



写真—2 30分経過後の状況



図—3 経過時間と硬度の関係



写真—3 コアによる充填状況



写真—4 施工前後概観

湿潤路面時の事故多発箇所における路面の すべり抵抗向上対策とその効果

東日本高速道路(株) 関東支社 谷和原管理事務所 高階 守
 大林道路(株) 東北支店工事部 ○高橋 省
 同 エンジニアリング部 北岡 善文

1. はじめに

東日本高速道路(株)東北支社が管理する高速道路総延長は現在、1,172km ある。平成10年より表層の高機能舗装化を行い、現在では約55%が高機能舗装となっている。この高機能舗装化により路面のすべり抵抗が向上し、交通事故件数も減少している。しかし、一部区間においては高機能舗装になった後も湿潤路面時に継続して事故が多発している箇所が見られる。

このような事故多発箇所のひとつである東北道村田ジャンクション付近上り線は平成18年の1年間で37件の事故が発生し、事故復旧のために8回の通行止めが実施された。今回、当該箇所(315.3kp.~315.7kp)にて、さらなるすべり抵抗向上にむけて透水性レジンモルタルシステム工法(以下PRMS工法と呼ぶ)が採用され、追跡調査を行ったので以下に報告する。

2. PRMS工法の概要

PRMS工法は高耐久性、速硬化性に優れた高性能樹脂バインダーと特殊粒径の細骨材とを混合して得られる透水性樹脂モルタル混合物を高機能舗装の表面骨材の間隙に充填する工法である(図.1参照)。

PRMS工法を高機能舗装に適用した場合、

- 1)すべり抵抗の向上
 - 2)空隙詰まりの抑制
- などの効果が期待できる。

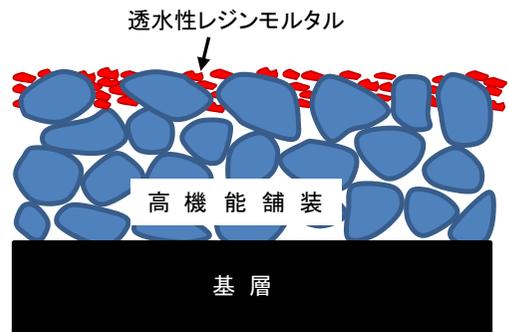


図.1 PRMS工法の概念図

3. PRMS工法の施工

施工概要を以下に示す。

施工箇所：東北自動車道 上り線 315.3kp~315.7kp

施工面積：2,800m² (延長400m)

施工年月：2007年8月~9月

施工手順を図.2に示す。

規制時間は11:00~18:00で、2パーティにより、1日約500m²を施工した。



写真.1 東北道(上り)315.3kp付近





写真.2 PRMS 工法の施工状況

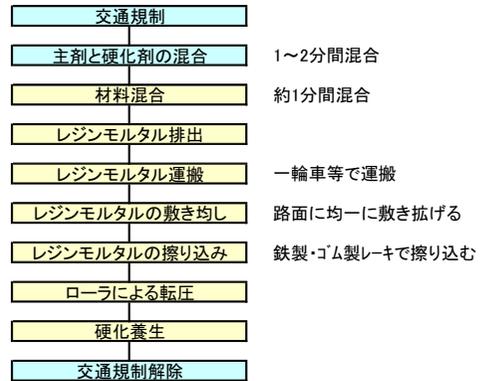


図.2 PRMS 工法の施工フロー

4. 追跡調査結果および考察

施工前後および供用1年後に、DF テスタによる動摩擦係数、振り子式スキッドレジスタンステスタによる BPN、現場透水量等を測定した。動摩擦係数の変化を図.3 に、BPN の変化を図.4 に示す。また、当該箇所における施工前から施工後にかけての事故件数の変化を図.5 に示す。

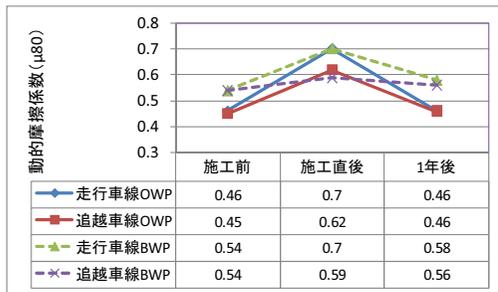


図.3 動的摩擦係数 (μ80) の変化

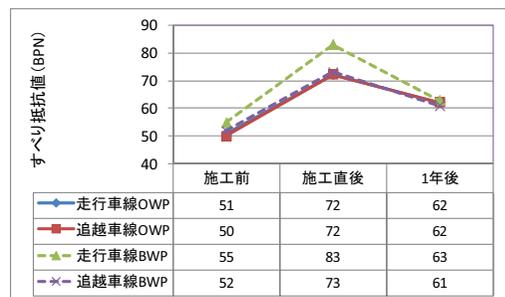


図.4 BPN の変化

図.3、4 に示すように動的摩擦係数と BPN は同様な傾向を示し、施工直後に大きく数値が上昇するが、1年後の調査では、数値が低下し、施工前と同等か若干高い数値を示した。これは、施工直後には高機能舗装粗骨材表面に PRMS 骨材が接着しているため、動的摩擦係数や BPN が高くなるが供用中に粗骨材表面の PRMS 骨材が車両の走行により飛散するため、1年後の試験では数値が低下するものと推察される。

しかし、図.5 に示すように、事故件数は PRMS 工法施工後で激減し、施工後1年経過した時点で4件にとどまった (PRMS 工法施工前 H18 年1月～12月で

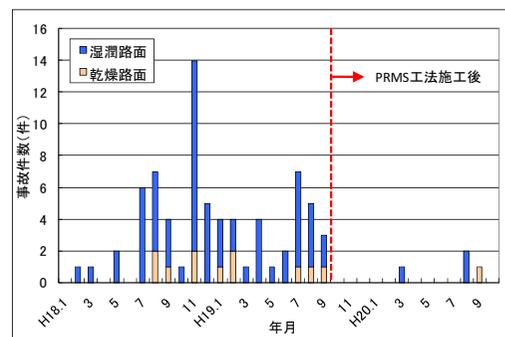


図.5 東北道(上り)317kp～村田JCTにおける事故件数の変化

36件、H19年1月～9月まで25件の事故件数)。また、目視観察でも粗骨材間隙に PRMS 骨材が十分に充填されていることから、供用1年を経過しても PRMS 工法の効果は持続していると考えられる。

5. 終わりに

PRMS 工法が路面のすべり対策向上に有効であることがわかった。今後はその効果の持続期間の確認や、すべり抵抗の測定方法について検討する必要がある。

凍結抑制機能の付与を目的としたゴム粒子散布接着工法の開発

大林道路㈱技術研究所 ○東本 崇
 同 鈴木 徹
 同 船井 俊孝

1. はじめに

冬期の道路における交通安全確保のために、凍結抑制舗装が各地で施工されている。今回、新たな凍結抑制舗装工法として経済性に優れた「ゴム粒子散布接着工法」を開発した。本工法は新設あるいは既設舗装表面にゴム粒子を散布接着して凍結抑制効果を付与する工法で、施工が容易で経済的である。また、副次的な効果として舗装表面に存在するゴム粒子の弾力性によりタイヤ加振音の発生が抑制され、騒音が低減される。

本論文では、本工法の凍結抑制効果、耐久性および騒音低減効果について、室内および実道で確認した結果について報告する。

2. ゴム粒子散布接着工法の概要

ゴム粒子散布接着工法の概念図を図-1 に、施工機械編成を図-2 に示す。「既設タイプ」は、既設舗装表面に乳剤を散布後、ゴム粒子を散布し、赤外線路面ヒータで舗装表面を加熱してローラによりゴム粒子を圧入・接着させる工法である。「新設タイプ」は、アスファルトフィニッシャーによる敷きならし後、ゴム粒子を散布し、ローラにより転圧してアスファルト舗装の締固めとゴム粒子の圧入・接着を行う工法である。ゴム粒子は、アスファルトとの接着性に優れた特殊ゴム粒子（直径3mm）を使用している。両タイプとも、ゴム粒子を均一に散布するために開発した専用のゴムチップスプレッド以外は汎用的な機械を使用し、ワンプラスで施工することができる。

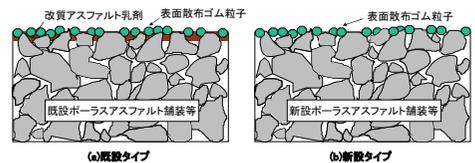


図-1 ゴム粒子散布接着工法の概念図

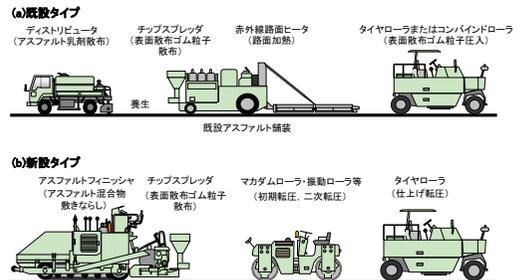


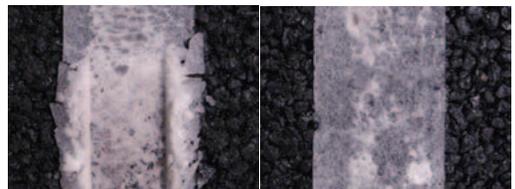
図-2 施工機械編成

3. 凍結抑制効果の室内検証

凍結抑制効果は、交通荷重により氷板が破碎し剥がれる状態をシミュレートしたオリジナルのホイールトラッキング（以下、WT）試験により確認した。本試験は、WT 供試体（30×30 cm）の表面に厚さ4mmの氷板を作製し、試験温度-5℃の恒温室内で車輪を60分間走行させて、氷板のひび割れやはがれ状況を目視観察するものである。試験状況を写真-1に、試験後の供試体の状況を写真-2に示す。ポラスアスファルト混合物の場合、車輪を走行させても氷板は試験前の形状を保っていたが、本工法の場合、車輪の走行により氷板にひび割れが発生して破壊に至ることが確認された。



写真-1 試験状況



a) ゴム粒子散布接着工法 b) ポラスアスファルト混合物
 写真-2 試験後の供試体の状況



4. 実道における試験施工

(1) 既設タイプ

「既設タイプ」の試験施工概要を表-1 に示す。なお、比較工区として、当社において施工実績のあるゴム粒子散布・混入型凍結抑制舗装を設けた。各工区とも、乳剤およびゴム粒子散布量は目標値を満足しており、均一に散布できていることが確認された。供用9か月後（一冬後）までの浸透水量、すべり抵抗性およびゴム粒子残存率を図-3～5 に示す。図-3 より、浸透水量は施工直後に若干低下するが 1000ml/15 秒程度であり、供用後も大きな低下が見られないことから、十分な透水性を有していると考ええる。

図-4 より、施工直後の動的摩擦係数は $\mu = 0.31 \sim 0.40$ であり、また、供用期間の経過とともに動的摩擦係数が大きくなることから、すべり抵抗性に問題はないと考える。図-5 より、ゴム粒子残存率は、比較工区のゴム粒子散布・混入型凍結抑制舗装と同程度であるため、ゴム粒子の接着性は問題ないと考える。写真-3 に、供用1年6か月後における降雪時の路面状況を示す。写真より、本工法施工箇所は、隣接舗装と比べて路面の露出が多く、凍結抑制効果が確認できる。

表-1 既設タイプの試験施工概要

施工場所	秋田県横手市奥羽山麓大規模農道		
施工日	平成19年8月8日		
施工面積	546.2m ²		
既設母体混合物	ポラスアスファルト混合物(13) 空隙率17%		
工区	乳剤散布量 (kg/m ²)		ゴム粒子散布量 (kg/m ²)
	実測値	目標値	実測値
1工区	0.40	0.4±0.1	0.36 0.3±0.1
2工区	0.30	0.3±0.1	0.32 0.3±0.1
3工区	0.39	0.4±0.1	0.42 0.4±0.1
4工区	0.30	0.3±0.1	0.42 0.4±0.1
比較工区	ゴム粒子散布・混入型凍結抑制舗装		

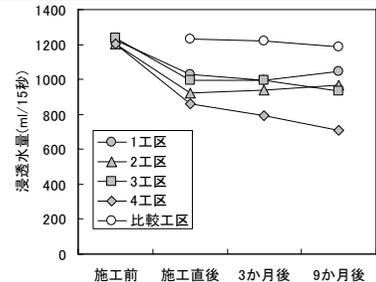


図-3 浸透水量

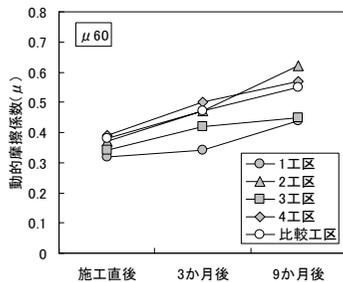


図-4 すべり抵抗性

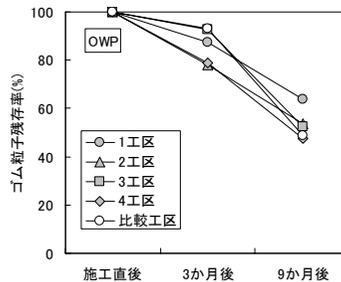


図-5 ゴム粒子残存率



写真-3 降雪時の路面状況

(2) 新設タイプ

「新設タイプ」の試験施工概要を表-2 に示す。施工直後および供用6か月後の追跡調査結果から、透水性能、すべり抵抗性およびゴム粒子の接着性に問題がないことが確認された。また、施工1週間後に、当社保有のタイヤ/路面騒音測定装置で測定したタイヤ/路面騒音を図-6 に示す。なお、比較のため、同時期に施工した隣接のポラスアスファルト舗装の結果も併せて示す。図より、本工法のタイヤ/路面騒音は、ポラスアスファルト舗装と比較して 0.7～1.9dB 低くなっており、本工法の騒音低減効果が確認された。

表-2 新設タイプの試験施工概要

施工場所	長野県塩尻市広丘吉田地先		
施工日	平成20年3月21日		
施工面積	808.3m ²		
母体混合物	ポラスアスファルト混合物(13) 空隙率17%		
ゴム粒子散布量	0.3kg/m ²		

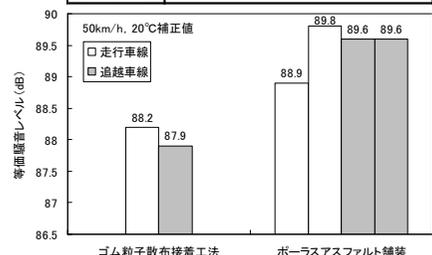


図-6 タイヤ/路面騒音

5. おわりに

本検討により、ゴム粒子散布接着工法の凍結抑制効果、耐久性および騒音低減効果が確認された。本工法は容易かつ経済的に凍結抑制機能を付与することができるので、冬期の道路の交通安全確保のために一助となれば幸甚である。

道路埋設小口径管路の内径計測ロボットの開発

宮崎大学工学部機械システム工学科 川末紀功仁
大林道路株式会社 管路部 ○ 千田 尚

1. はじめに

都市部を中心に主要な道路下には下水管や上水道、通信や電力、ガスなど夥しい数の埋設管が設置され、われわれの社会生活を支えている。これらの埋設管は、狭い道路下空間に、開削工法あるいは非開削工法で平面配置や埋設深度を変えて設置されており、多くの場合補修や敷設替えは非開削で行わざるを得なくなっている。一方、これらの主要なパイプラインは戦後の復興期から高度成長期にかけて急速に設置延長を伸ばしてきたが、最近でも毎年数千 km の長さで設置が続いている。設置から数十年を経過した管路延長も膨大になってきており、徐々に管体が劣化し、あるいは管路の線形が当初の機能を果たせなくなるほどに変形している場合も少なくない。

劣化した管路は、破損して周囲の土砂を引込み、ついには道路陥没の原因となることも少なくない。このため、劣化した管路や変形した埋設管は新たに設置しなおすか、あるいは補修する必要があるが輻輳した道路下の状況から非開削工法を採用せざるを得なくなっている。

劣化した小口径埋設管の補修工法に、管内面に光や熱で硬化する樹脂をライニングする工法が管更生工法として盛んに採用されている。しかしながら、この工法では、硬化樹脂の品質とともに、既設管の内面形状や補修完了後の内面形状を計測できて所定の品質を確保できるが、正確にこれらを測定する方法がなかった。

ここでは、人の入れない小口径管を対象に既設管あるいは補修管の内面形状を計測可能とした管内径計測ロボットを紹介する。写真-1 は、内径 200mm 用の計測ロボットである。

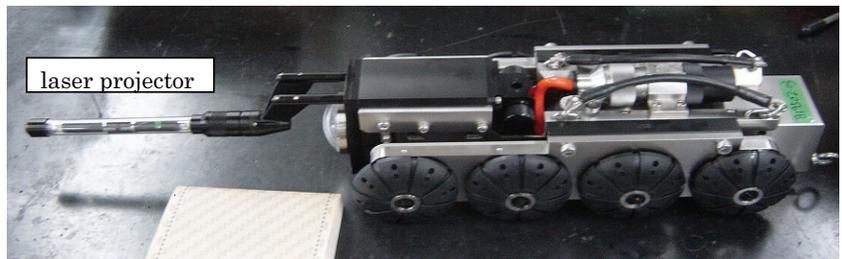


写真-1 φ200mm 小口径管内径計測ロボット

2. 計測原理とひずみ補正

管内面全周方向に投光されるレーザーを、走行装置に搭載した CCD カメラで撮影し、データ映像として画像処理することで、管内面形状を管路方向に連続的に解析できる。管路の計測位置は、計測ロボットの移動距離と関連付けることで計測したデータを解析する。

計測システムは、できるだけ機械の全長を短くするために CCD カメラに画角の大きい広角レンズを

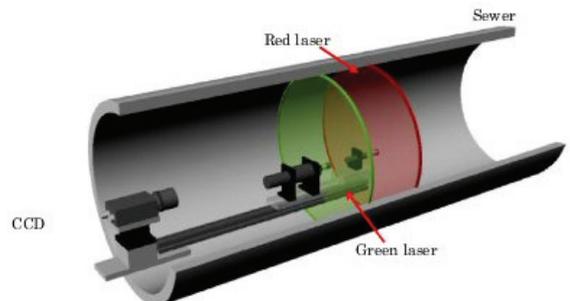


図-1 レーザー発光部と CCD カメラの位置



使用しており、画像にはひずみが発生する。受像面のわずかな像ひずみによって大きな測定誤差が生じるため、レンズのひずみ補正を行って誤差を解消している。また、計測に先立ちキャリブレーションを行って内径計測値の精度を高めている。

3. 下水管軸と計測ロボットの傾斜調整

管の断面形状は管軸に対して垂直に計測しなければならないが、一般的には管内を車輪で走行する計測ロボットは管軸と一致した位置を走行する保障はない。このため、画像処理するレーザー光は、130mm 離れて 2 本照射し、ロボットの軸と

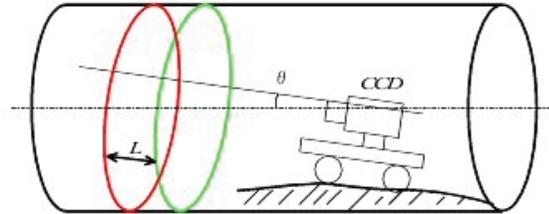


図-1 計測ロボットの傾斜調整

管軸のずれを調整している。具体的には、同時に処理した 2 本のレーザー光の中心がずれていなければ軸がずれていることになり、コンピューターのデータを修正して、管軸に直交した断面のデータを得る。

既設管の計測の場合は、管継手部などで計測ロボットが傾いたり、ガタつくことが想定される。このため、大きく外れたデータはデータ解析時に除外して、取り扱うことにしている。

4. 管路の傾斜計測

管内において、計測用のレーザーリングは内径 200mm の場合、カメラ本体から約 30cm 離れており、車輪先端より前方 30cm 位置の管内径を計測し、同時にカメラ位置とレーザー照射位置の相対的な傾斜角を測定したことになる。カメラ本体の位置の管底の傾斜は、レーザーがその位置を通過する時点で計測しており、随時重ね合わせることで管路の傾斜を計測可能となる。厳密には、管底の傾斜とカメラ車輪の位置は同じにならず誤差が生じるが、本機は既設管の計測に使用する装置であり管口両端の高さは正確に既知となるので不陸計測の結果を両端で調整して管路の傾斜を計測可能となる。

5. 計測データ

本機による計測は、ロボットの移動速度により計測間隔は変化する。計測間隔は、1mm 程度からデータを取れるが実用的には 5mm～10mm 間隔で十分であり、移動速度を調整して計測間隔を設定し、測定データの 10 本の平均を計測値とした。円周方向の計測断面も連続データを得ることが可能であるが、断面内の 60 度間隔で表示することとしている。延長方向のデータは、既設管の場合、既設管 1 本当たり 2 箇所、補修管の場合は 1m 間隔でデータを表示することとした。ただしデータとしては全測定データを保存しているので、詳細データが必要な場合は取り出せる。

表-1 計測データと表示位置

	延長方向の計測データ表示	円周方向断面の計測データ表示
既設管	既設管 1 本に付き 2 箇所	管頂から 60 または 45 度間隔
補修管	延長 0.5～1.0m ピッチ	管頂から 60 または 45 度間隔

参考文献

K.Kawasue ,S.Sakai ,T.Wakiyama ,S.Oyama ,M.Senda ,Pipe Measurement Robot Using Parallel Lasers ,Proceeding of The 9th Asian Symposium on Visualization Hong Kong, 4-9 June, 2007

凍結抑制機能の付与を目的としたゴム粒子散布接着工法 (ラバーパック) の開発

大林道路 (株) 技術研究所 材料研究室 主任研究員 ○ 東本 崇
 技術研究所 材料研究室 室長 鈴木 徹
 技術研究所 材料研究室 船井 俊孝

1. はじめに

冬期の道路における交通安全確保のために、凍結抑制舗装が各地で施工されている。凍結抑制舗装はロードヒーティング等の消雪効果を発揮するものではなく、降雪時や凍結初期に凍結抑制効果を発揮し、冬期の路面管理を補う工法である。つまり、路面の凍結する時間帯や期間を短くできること、凍結防止剤の散布量や散布回数を減らすことおよび除雪作業回数を減らすことなどの効果をねらったものである。このような効果から、スリップ事故の低減による交通安全確保、凍結防止剤散布量の低減による沿道環境保全および冬期路面管理コスト低減につながると考えられる。

当社では、「物理系凍結抑制舗装」に属するゴム粒子混入型凍結抑制舗装について研究開発してきており、現在、「ギャップ混合物型¹⁾(ルビット舗装)」、「ポーラス混合物型²⁾(オークサイレント)」、「表面処理混合物型³⁾(RAペープ)」の3タイプのゴム粒子混入型凍結抑制舗装について開発・改良を行い、施工実績に結びつけている。

今回、新たな凍結抑制舗装として経済性に優れたゴム粒子散布接着工法「ラバーパック」を開発した。本工法は新設あるいは既設舗装表面にゴム粒子を散布接着して凍結抑制機能を付与する工法で、施工が容易で経済的である。また、副次的な効果として舗装表面に存在するゴム粒子の弾力性によりタイヤ加振音の発生が抑制され、騒音が低減される。

本論文は、本工法の施工事例を中心に、室内試験および追跡調査による凍結抑制効果、耐久性および騒音低減効果について報告するものである。

2. ゴム粒子散布接着工法「ラバーパック」の概要

ラバーパックの概念図を図-1に、施工機械編成を図-2に示す。本工法には、既設舗装に適用する「ラバーパック E」と、新設舗装に適用する「ラバーパック N」の2タイプがある。ラバーパック Eは、既設舗装表面に乳剤を散布後、ゴム粒子を散布し、赤外線路面ヒータで舗装表面を加熱してローラによりゴム粒子を圧入・接着させる工法である。ラバーパック Nは、アスファルトフィニッシュャによる敷きならし後、ゴム粒子を散布し、ローラにより転圧してアスファルト舗装の締固めとゴム粒子の圧入・接着を行う工法である。

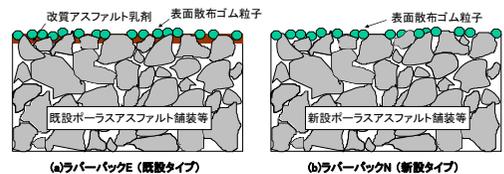


図-1 ラバーパック概念図

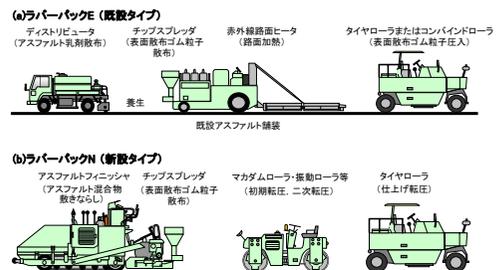


図-2 施工機械編成



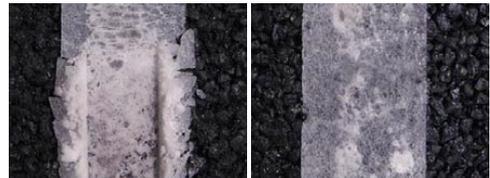
ゴム粒子は、アスファルトとの接着性に優れた特殊ゴム粒子（直径 3mm）を使用している。両タイプとも、ゴム粒子を均一に散布するために開発した専用のゴムチップスプレッダ⁴⁾ 以外は汎用的な機械を使用し、ワンパスで施工することができる。

3. 凍結抑制効果の室内検証

凍結抑制効果は、交通荷重により氷板が破碎し剥がれる状態をシミュレートしたオリジナルのホイールトラッキング（以下、WT）試験により確認した。本試験は、WT 供試体（30×30 cm）の表面に厚さ 4mm の氷板を作製し、試験温度-5℃の恒温室で車輪を 60 分間走行させて、氷板のひび割れやはがれ状況を目視観察するものである。試験状況を写真-1 に、試験後の供試体の状況を写真-2 に示す。ポーラスアスファルト混合物の場合、車輪を走行させても氷板は試験前の形状を保っていたが、本工法の場合、車輪の走行により氷板にひび割れが発生して破壊に至ることが確認された。



写真-1 試験状況



a) ラバーパック b) ポーラスアスファルト混合物

写真-2 試験後の供試体の状況

4. 実道における施工事例

4. 1 ラバーパック E

ラバーパック E の施工概要を表-1 に、施工状況および施工前後の路面を写真-3, 4 に示す。なお、比較工区として、当社において施工実績のあるポーラス混合物型凍結抑制舗装工区を設けた。

本工法は、ワンパス施工のため、スムーズに短時間で施工が終了し、表面の仕上がり状態も良好であった。また、各工区とも、乳剤およびゴム粒子散布量は目標値を満足しており、均一に散布できていることが確認された。

供用 9 か月後（一冬後）までの浸透水量およびすべり抵抗性を図-3, 4 に示す。また、凍結抑制効果に直接関わる舗装表面のゴム粒子数を計測し、残存率で評価した結果を図-5 に示す。

図-3 より、浸透水量は施工直後に若干低下するが 1000ml/15 秒程度であり、供用後も大きな低下が見られないことから、十分な透水性を有していると考えられる。

図-4 より、施工直後の動的摩擦係数は $\mu = 0.31 \sim 0.40$ であり、供用期間の経過とともに動的

表-1 施工概要

施工場所	秋田県横手市奥羽山麓大規模農道			
施工日	平成19年8月9日			
施工面積	546.2m ²			
既設母体混合物	ポーラスアスファルト混合物(13) 空隙率17%			
工 区	乳剤散布量 (kg/m ²)		ゴム粒子散布量 (kg/m ²)	
	実測値	目標値	実測値	目標値
1工区	0.40	0.4±0.1	0.36	0.3±0.1
2工区	0.30	0.3±0.1	0.32	0.3±0.1
3工区	0.39	0.4±0.1	0.42	0.4±0.1
4工区	0.30	0.3±0.1	0.42	0.4±0.1
比較工区	ポーラス混合物型凍結抑制舗装(オークサイレント)			



写真-3 ラバーパック E の施工状況

摩擦係数が大きくなることから、すべり抵抗性に問題はないと考える。

図-5より、ゴム粒子残存率は、供用9か月後（一冬後）において約50%であり、比較工区のポーラス混合物型凍結抑制舗装と同程度である。ポーラス混合物型凍結抑制舗装の過去の追跡調査においても同様の残存率であり（一年経過後で残存率40~60%）、ゴム粒子の接着性は問題ないと考える。なお、この程度の残存率であれば凍結抑制効果があることは、過去の追跡調査から確認されている。

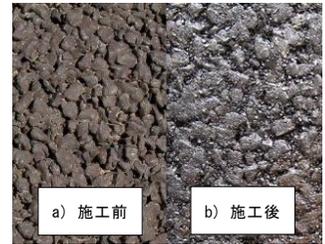


写真-4 施工前後の路面

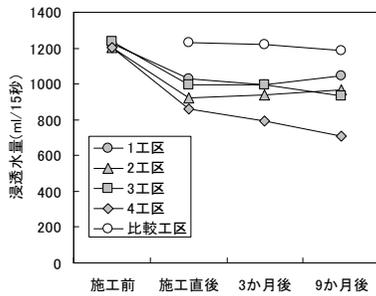


図-3 浸透水量

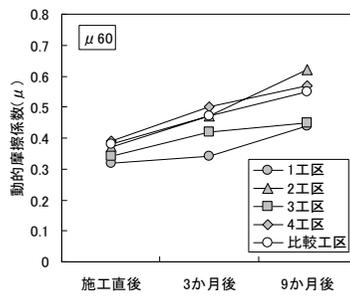


図-4 すべり抵抗性

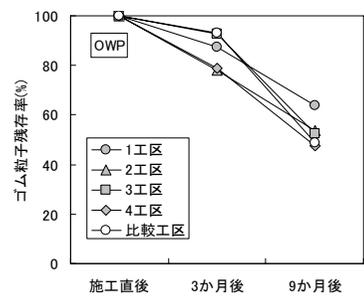


図-5 ゴム粒子残存率

写真-5に、供用1年6か月後における降雪時の路面状況を示す。本工法を適用した舗装表面では、圧雪が車両の走行によりひび割れ、容易に剥がれる状態となっており、隣接舗装と比べて路面の露出が多く、凍結抑制効果が確認できる。



写真-5 降雪時の路面状況

4. 2 ラバーバック N

ラバーバック Nの施工概要を表-2に、施工状況を写真-6に示す。ラバーバック Nは、専用のゴムチップスプレッダおよびゴム粒子供給の人員を必要とする以外は、一般的なポーラスアスファルト舗装と同様の施工が可能である。

表-2 施工概要

施工場所	長野県塩尻市広丘吉田地先
施工日	平成20年3月21日
施工面積	808.3m ²
母体混合物	ポーラスアスファルト混合物(13) 空隙率17%
ゴム粒子散布量	0.3kg/m ²

表面散布ゴム粒子の散布量を確認したところ平均で0.31kg/m²と目標値を満足しており、

均一に散布できていることが確認できた。

施工直後および供用6か月後の追跡調査結果から、透水性能、すべり抵抗性およびゴム粒子の接着性に問題がないことが確認された。



写真-6 ラバーバック Nの施工状況

また、施工1週間後に、当社保有のタイヤ/路面騒音測定装置で測定したタイヤ/路面騒音を図-6に示す。なお、比較のため、同時期に施工した隣接のポーラスアスファルト舗装の結果も併せて示す。図より、本工法のタイヤ/路面騒音は、ポーラスアスファルト舗装と比較して0.7～1.9dB低くなっており、本工法の騒音低減効果が確認された。

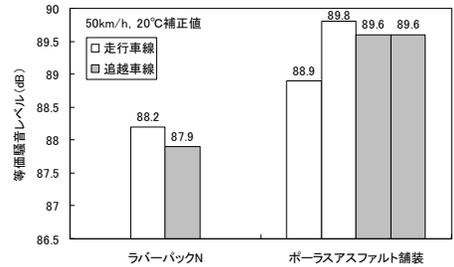


図-6 タイヤ/路面騒音

5. まとめ

ゴム粒子散布接着工法「ラバーパック」の凍結抑制効果を中心に施工性および性能を評価した結果、以下の知見が得られた。

- ・ラバーパック E およびラバーパック N の両タイプとも施工性が良好であることが確認できた。
- ・両タイプとも施工直後および供用後において十分な透水性能とすべり抵抗性を有していることが確認できた。ただし、ラバーパック E は、乳剤を散布することで浸透水量が若干低下する。
- ・ゴム粒子の接着性は、凍結抑制舗装として実績のあるポーラス混合物型凍結抑制舗装と同等であり、問題ないことが確認された。
- ・凍結抑制効果に関しては、室内試験および現道での追跡調査両方において、舗装表面での雪氷のひび割れ、剥離が確認されるとともに、一般舗装と比較して降雪時の路面露出にも優位性が確認された。
- ・本工法のタイヤ/路面騒音は、ポーラスアスファルト舗装と比較して0.7～1.9dB低くなっており、騒音低減効果が確認された。
- ・本工法は、専用のゴムチップスプレッダ以外は汎用的な機械を使用し、ワンパス施工で舗装表面に凍結抑制機能を付与できるため、非常に経済性に優れた工法である。

6. おわりに

本検討により、ゴム粒子散布接着工法「ラバーパック」の凍結抑制効果、耐久性および騒音低減効果が確認された。今後も追跡調査を行い、凍結抑制効果の持続性および耐久性を検証していく予定である。本工法は容易かつ経済的に凍結抑制機能を付与することができるので、冬期の道路の交通安全確保のために一助となれば幸甚である。

<参考文献>

- 1) 谷口ほか：粒状ゴム系凍結抑制舗装のメカニズムと効果，道路建設，No.564,pp.66～72 (1995.1)
- 2) 小澤ほか：積雪寒冷地におけるゴム粒子を用いた多機能舗装，第26回日本道路会議，(2005.10)
- 3) 工藤ほか：ゴム粒子を用いた表面処理型凍結抑制舗装の性状と施工事例，第61回土木学会年次学術講演会講演概要集，(2006.9)
- 4) 芳賀ほか：ゴム粒子混入型多機能舗装用ゴムチップスプレッダーの開発，第27回日本道路会議論文集，12001，(2007.11)

緑化舗装の改良とその効果

光谷修平¹・赤川宏幸²・大湊正幸³

¹正会員 大林道路株式会社 エンジニアリング部 (〒131-8540 東京都墨田区堤通1-19-9)

²博(工) 株式会社大林組 技術研究所環境技術研究部 (204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640)

³ 東洋工業株式会社 開発室 (〒760-0055 香川県高松市観光通1-2-14)

都市部における夏季の熱環境の悪化や都市型水害をもたらすヒートアイランド現象が問題視されている。ヒートアイランド現象の原因の1つとして地面を覆う舗装の影響があり、芝生と舗装を組み合わせる緑化舗装の採用が、その弊害を抑制する有効な対策の1つとして期待される。しかし、一般の舗装と異なり、緑化舗装は芝の生育に必要な水やり等の管理が必要となる、また、柔らかい芝による路面は、自転車や車いすの通行やハイヒール等での歩行には不向きである。このため、ヒートアイランド対策としての都市部への適用にはなんらかの改善を要する。そこで、今回、芝への灌水の自動化、歩行性や景観面に優れたブロックタイプの緑化舗装を開発した。

キーワード: ヒートアイランド現象, 緑化舗装, 省力化, バリアフリー

1. はじめに

現在、わが国の大都市の多くで地球温暖化とヒートアイランド現象による双子の温暖化が顕在化し、夏季の猛暑や熱帯夜の増加といった生活環境の悪化に結びついている。また、ヒートアイランド現象によって短時間に発生する集中豪雨が、建造物や舗装で覆われた地表面を短時間で流下することで発生する都市型水害が頻発している。本論は、都市部におけるヒートアイランド現象の弊害を軽減するための対策として期待される緑化舗装の建設技術について報告するものである。

(1) ヒートアイランド現象

地球温暖化はいうまでもなく地球全体の問題である。その主な原因は二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスの増加にあり、現在、国連やG8等の国際会議の場でその削減に関する取り組み方が議論され削減目標が設定されている。舗装の分野においてもその達成に向け、加熱アスファルト混合物の加熱温度を下げる技術や、ICTを用いた施工効率の向上＝燃料消費減等により、温室効果ガスの排出量の削減に努めているところである。

これに対してヒートアイランド現象は、首都圏や京阪神のように大小の市街地が境目なく広範囲に連続して大都市圏が形成されているわが国に特有の問題といえる。その原因の一つとして、人工廃熱の多さ、高い建造物による風の道の遮断と並んで舗装等

で地表面が覆われることによる熱収支の変化があげられている。例えば東京都23区を対象として実施されたシミュレーション¹⁾では、「自然状態」(陸域がすべて自然表面、その約半分が樹木に覆われている場合)と「現況」を比較すると、対流顕熱が37%増加し、蒸発潜熱が58%減少し、さらに対流顕熱の30%に相当する人工顕熱が新たに加わって大気を直接暖める熱負荷が増大することで、気温が7.4℃上昇するとした結果(図-1)も示されている。

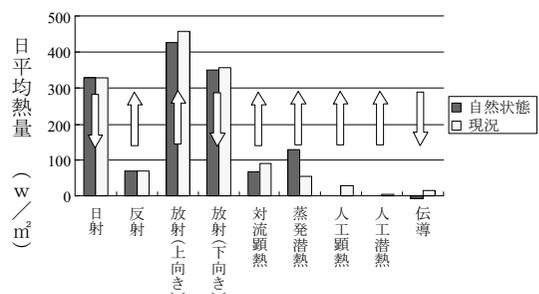


図-1 自然状態と現況の熱収支の比較の例¹⁾

ヒートアイランド現象という呼称が、都市部の気温が郊外に比較して高くなり、等温線を描くと島の形になることに由来しているのは周知のとおりである。夏季のヒートアイランド現象は、暑さを増幅させ「熱帯夜」の増加など住環境を悪化させるだけではなく、夕方の短時間に集中豪雨を誘発し都市型水害に結びつく場合もある。



(2) 舗装の影響

舗装がヒートアイランド現象やそれに伴う都市型水害の原因の1つとされている理由を以下に列挙する。

(a) 路面温度の上昇

わが国で多くを占めるアスファルト舗装は、自然な状態の地面と比較して、

- ① 黒色のため日光の反射が少なく、且つ、炭素を多く含んでいるため太陽光線のエネルギーから熱を吸収し易い。
- ② 保水し難く、太陽光線で加熱されていく過程において、蒸発潜熱による冷却作用が発現しない。
- ③ 植物で覆われた地面と異なり熱容量が大きく、路面で発生した熱が地下に蓄積され易い。

といった特性（図-2 参照）があるため路面温度が上昇し易い。わが国のアスファルト舗装は、一般に夏季の路面温度が最高 60℃に達するものと設計されている。

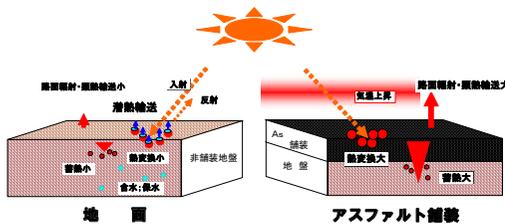


図-2 アスファルト舗装の熱特性

(b) 流出係数の増加

一般に降雨による雨水は、地中に浸透したり、草木に吸着されたり、蒸散したりするため、その流出量は降雨量より少なくなる。ところが、地面を平滑にして固める舗装の場合、地中への浸透は殆ど無く、吸着する量も僅かで蒸散する時間も少ない。このため、地表が舗装で覆われると、雨水の流出を抑制する作用が小さくなり、地表面を一気に流下させ、河川や排水路を氾濫させる都市型水害に結びくと考えられている。流出のし易さを表す指標としては流出係数が一般的である。流出係数は降雨量に対して地表を流下する雨水の割合を表し、例えば国土交通省²⁾は芝、樹木の多い公園舗装には 0.05~0.25 を道路には 0.80~0.90 を当てており、舗装された道路に降った雨水は、殆どそのまま河川等へ流下していると認識されている。

(3) 舗装としての対策と限界

路面温度の上昇を抑制する舗装技術として、

- ① ポーラスアスファルト舗装の空隙に保水性を有するセメントグラウトを充填することで蒸発潜熱による冷却効果を期待する保水性舗装
 - ② 舗装路面に近赤外線を反射する遮熱塗料を塗布することで、太陽光エネルギーの熱への変換を減じる効果を期待する遮熱性舗装
- が開発されている。ただし、保水性舗装には晴天が続くと乾燥して蒸発潜熱による冷却効果が失われる。また、遮熱性舗装についても加熱速度は下がるものの一旦加熱されてしまえば冷却効果は期待できないといった課題がある。

他方、雨水の流出を抑制する舗装技術には、

- ③ ポーラスアスファルト舗装他、透水係数の比較的高い材料で舗装全体を構築し、雨水を地中へ浸透させる透水性舗装

があり、その適用範囲の拡大が検討されている。ただし、透水性舗装は、激しい降雨の場合、雨水が舗装の空隙内の空気を十分押し出せず浸透性能が低下し、元来平たんな仕上げを前提としているため、降雨の流下を抑制しきれなくなる欠点がある。緑化舗装はこれらの限界を補完する技術として期待されるものであり、本件ではこれを都市部に適用できるよう種々の検討を行った。

2. 緑化舗装

以下、緑化舗装の特性を簡単に紹介する。

(1) 緑化舗装とは

緑化舗装は、道路路面を植物により部分的あるいは全面的に被覆する舗装と定義される。一般には芝が用いられ、主として駐車スペースや広場などに採用されている。

緑化舗装は、水分の蒸発潜熱他によって路面温度の上昇を抑制する。雨水が吸着・浸透するので、流出係数を低減する効果がある。さらには、景観性の向上、光合成や昆虫等の生育等、複合的な環境改善の効果が期待できる舗装といえる。

(2) 保護材

植物は、車や人の踏圧を繰り返し受け続けると生育できなくなる。また、踏圧で簡単に变形するため、繰り返し作用する交通荷重に耐えて、通行に適した路面状態（形状）を維持することができない。

このため一般的な緑化舗装は、十分な耐荷性を有する保護材を使って交通荷重を支え、植物を補強する構造となっている。写真-1 にブロック系保護材による緑化舗装の路面、写真-2 樹脂系保護材による緑化舗装の路面の各々一例を示す。



写真-1 ブロック系保護材による緑化舗装路面



写真-2 樹脂系保護材による緑化舗装路面

3. 自動給水システムの導入

緑化舗装内の植物の生育に必要な水は、降雨に期待する 경우가多く、良好な状態を維持するためには、適宜、上面から散水などの方法で、日々‘水やり’が必要となる。一般の芝生や植栽の場合、スプリンクラー等を設置することで効率的な‘水やり’が可能となるが、舗装においてはスプリンクラーや散布される水が通行の妨げとなるため不可であり、別な方式による自動給水システムの導入が必要である。

(1) 下面給水方式

前述、保水性舗装の一種に下面給水方式による湿潤ブロック舗装 (図-3 参照) がある。

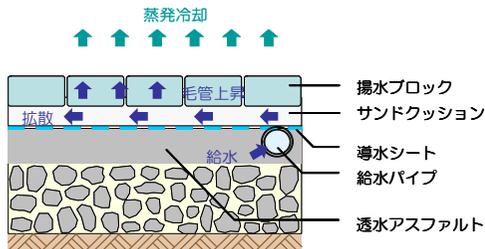


図-3 下面給水型湿潤ブロック舗装の構造

下面給水型湿潤ブロック舗装は、ブロックの下面

全体に敷き詰めた導水シート (写真-3: 導水効果の高い特殊な布) と 3m 間隔に設置した点滴パイプ (写真-3: φ17 mm のフレキシブルパイプで 30 cm 間隔に設置された点滴器から一定量の水が排出される) で給水した水を導水シートで拡散し、微細な空隙を持たせた特殊なブロックを使用することで、毛細管現象によって路面に揚水して、蒸発潜熱で冷却効果を発現する舗装である。

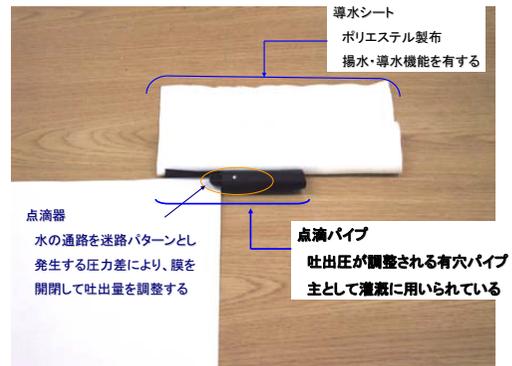


写真-3 導水シートと点滴パイプ

この下面給水方式は、スプリンクラーのように路面に突起物が生ずることがなく、散水による通行妨害も起こらない。また、緑化舗装の場合、芝が根を使って吸水するので、下面給水型湿潤ブロック舗装のように毛細管現象を生ずる特殊なブロックを用いる必要がない。これらの理由から、緑化舗装に用いる自動給水システムに最適と判断し導入するものとした。

4. 保護材の選定

緑化舗装に用いる保護材は、ブロック系と樹脂系に大別されることは前述のとおりである。そこで、両者を使った試験ヤードを構築して、その汎用性を比較した。その結果、

- ① 樹脂系保護材は緑化率が一見して芝生と同様のほぼ 100% となり、温度低減効果や雨水浸透効果はブロック系に勝る。
- ② 樹脂系保護材は 4 t トラックのステアリングによる‘据えきり’により、僅かながらも変形することが確認された。また、多少の差はあるものの紫外線の影響による脆化は避けられず、高温下においては軟化する。これら耐久性に課題がある。
- ③ 樹脂系保護材は緑化率がほぼ 100% となるた

め、冬枯れなどで芝が衰弱すると、路面から保護材が突出して、通行の妨げとなる。

- ④ ブロック系保護材は、面積的に約半分を占めるブロック面が等間隔に存在するため、冬枯れの時期においても、通行面での問題が少ない。
- ⑤ 4tトラックで急発進・急制動をかけてもブロックに目立った破損の発生は認められなかった。また、紫外線劣化の懸念も小さく、耐久性で樹脂系に勝る。

といったことが確認され、ブロック系保護材の使用を基本とするものとした。

5. 芝材の選定

我国で芝生として使用される芝の種類は、気候から野芝か高麗芝が一般的である。ともに暖地型芝生に分類され生育適温は 25～35℃である。このため、例えば関東東地区に適用する場合は春（3～5月）に張り付けて、生育適温期となる夏場に踏圧などを受けない養生期間がとれると、最も生育状態が良好となり匍匐茎（以後ランナーと称す）が縦横に発達し密度の濃い丈夫な状態となる。逆に秋や冬の休眠期に張り付けて、養生期間が少なく生育不十分なまま供用すると、葉や茎が弱いままに圧迫されランナーの発達も遅く、そのまま枯れてしまう場合も少なくない。このため、芝へのダメージを考慮すると、本方法は 3～6月に施工して、生育適温期となる 6～8月の間、立ち入り禁止とするなどの養生措置をとり、十分活性化させてから供用することが理想的である。

緑化舗装用として野芝と高麗芝の適用性を試験施工により比較した。

- ① 茎や根が太い野芝は施工時に扱い難く、太いことにより、施工や通行者から受けるダメージがむしろ残ってしまう傾向があった。
- ② 茎や根が細い高麗芝は施工時に扱い易く、施工や通行者からのダメージは、葉が切断されることで残りにくい傾向があった。

この結果、緑化舗装には野芝より高麗芝の方が、特に施工面から適当であると判断された。

6. 下面給水型緑化舗装の標準構造

図-4 に決定した標準構造を示す。使用するブロック材料は通行車両の荷重に耐える強度と、紫外線

劣化等を起こし難い材質のものとし、緑化率は 35%のものを採用した。点滴パイプは、地表面から 10～12cm の所に埋設し、踏圧による破損を防ぐ構造とした。緑化舗装の基盤は、滞水による根腐れを防止するため透水性舗装仕様のポーラスアスファルト舗装とした。また、点滴パイプをポーラスアスファルト舗装内に敷設するため、漏水対策として、給水パイプ周辺には遮水シートを敷いた。

緑化用の植物には、高麗芝を採用するものとした。客土の厚みは、植物の生育を最低限確保できるように、約 10cm とした。

給水システムは、雨水を溜める地下貯水槽の水を利用し、タイマーやセンサーを用いることで、一定量の水が自動的に供給されるようになっており、植物の生育に適量の水を与えることができる。

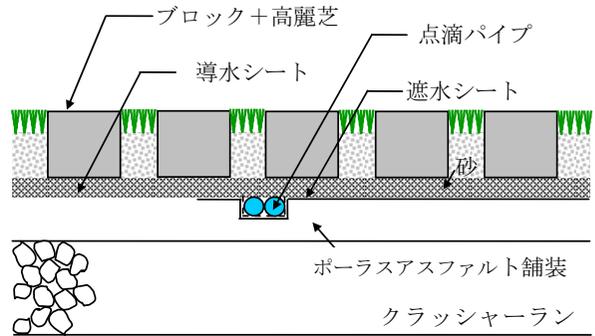


図-4 下面給水型緑化舗装の標準構造

7. 下面給水システムの有効性

下面給水システムの有効性を確認するため、システム有、システム無の試験ヤードを構築し、6月～8月の2ヶ月間の生育の差を確認した。

(1) 下面給水システム有り

根の長さが 12cm で根付きが良く、芝の生育も良好（写真-4,5 参照）である。これは、給水が芝や土壌を効果的に潤しているためと考えられる。

(2) 下面給水システム無し

根の長さが 8cm で根付いてはいるが、芝の生育は約半分程度（写真-6,7 参照）である。これは、自然給水のみが芝土壌を潤す状況であり、夏場の雨の少ない環境により成長が抑制されていると考えられる。



写真-4 下面給水システム有りの根の様子



写真-5 下面給水システム有りの葉の様子



写真-6 下面給水システム無しの場合の根の様子



写真-7 下面給水システム無しの場合の葉の様子

8. 路面温度上昇抑制効果

下面給水システムを使った緑化舗装の温度上昇抑制効果を検証するため、前述試験ヤードで1日の路面温度の変化を隣接したアスファルト舗装と比較した。結果を図-5に示す。観測当日の温度変化はシステムの有無に関わらず最大13℃程度の抑制効果が認められた。

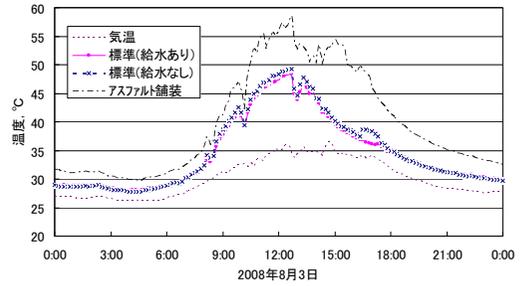


図-5 試験ヤードで観測した路面温度

また、これとは別の箇所で撮影した、隣接する一般のブロック舗装との熱画像の差を写真-8,9に示す。部分的にはあるが最大20℃程度に達する温度差が生じている。



写真-8 熱画像撮影箇所の状況

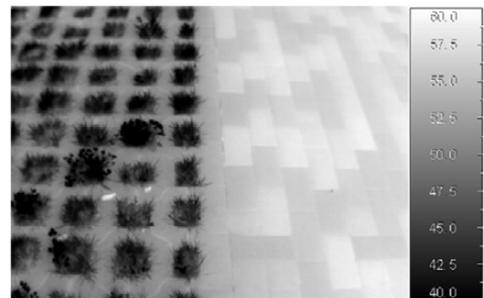


写真-9 一般のブロック舗装との温度差

これらのことから、緑化舗装は保水性舗装等と同
等以上の路面温度上昇抑制効果があることが判った。

9. 歩行性の改善

緑化舗装を都市部に適用する場合、ハイヒールで
の歩行や車いすでの通行にも配慮する必要があり、
路面凹凸の大きさに起因する歩行性の悪さが問題と
なる。

そこで緑化舗装の一部の芝を、形状を工夫するこ
とで着脱を容易とした小型ブロックに置き換えるこ
とで、平坦な歩行帯を任意に設けることを可能と
した。また、この着脱ブロックのバリエーションを
色や柄の他、LED内蔵型など豊富に揃えることに
より、利用者が自由に路面の模様替えを楽しめるも
のとした。工法の概念を図-6 に工法の有効性を検
証するために構築した試験ヤードの様子を写真-10
に示す。

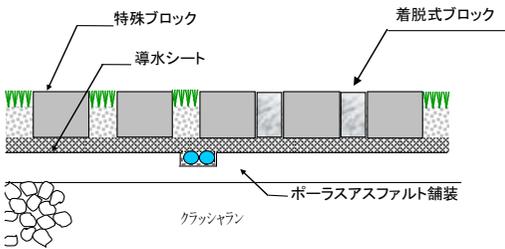


図-6 着脱式ブロックを組み合わせる方法



写真-10 試験ヤードを用いた車いす実験

舗装評価法³⁾では、歩道の平坦性を25cm間隔で
測定して得られる高さデータの標準偏差 $\sigma 0.5$ を図-
7に照らして評価することとされている。

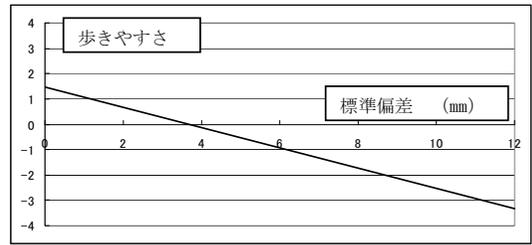


図-7 路面高さの標準偏差（平坦性 $\sigma 0.50$ ）
と歩きやすさの関係

そこで小型プロファイラを用いて、緑化舗装と着
脱ブロックによる歩行帯の路面凹凸を計測した結果、
緑化舗装が11.41mmで歩きやすさが-3.09とかなりあ
るき難いと感じられる結果となったのに対して、着
脱ブロックによる歩行帯は2.53mmで歩きやすさが
-0.46で特に歩き難さを感じないレベルにまで改善
されることが確認された。

また、車いすを走行させた場合に感じる振動を重
力加速度で測定した結果、緑化舗装が0.228Gとな
ったのに対し、着脱ブロックによる歩行帯は0.090G
と大きく改善されることが判った。

10. 今後の課題

都市部に人口が集中するわが国において、生活の
利便性を損なわずに環境を保全する技術を都市部に
展開することが急務であり、特に、ヒートアイラン
ド現象の対策技術のニーズは高い。現に、省エネに
よる廃熱量の削減への取り組みが始まっている他、
風の道の確保や保水性舗装、遮熱性舗装の導入など
多角的な対策が進められている。

本件、緑化率35%の緑化舗装は、植物を使用する
ことで、熱環境対策として有効である。また、短時
間に発生する集中豪雨を考えた場合、芝生の流出係
数を0.20、舗装された道路の流出係数を0.90とす
るならば、本工法は単純に0.45となり、さらに路面
の凹凸による粗度係数の増加も見込まれることから、
流出時間のピークを遅らせ、都市型水害対策として
も有効であると判断される。しかし、いずれの場合
も広範囲に適用しなければその効果は明確に現れな
い。本論では、都市機能として求められる利便性を
損なわずに緑化舗装の適用範囲を拡大する方法とし
て着脱ブロックを使う方法を紹介した。ただし、こ
の方法を用いても全面的なバリアフリーを達成でき
る訳ではなく、利用者のコンセンサスを得て、い
ろいろな制約を容認してもらう必要がある。

「環境」の重要性をどこまで共有できるのかによって、さらにいろいろなレベルの技術を用意する必要があると考える次第である。

以上

参考文献

- 1) 環境省：平成13年度ヒートアイランド対策手法調査検討業務報告書，2001
- 2) 国土交通省：流出雨水量の最大値を算定する際に土地使用形態ごとの流出係数を定める告知，特定とし河川浸水被害対策法，平成16年国土交通省告示第521号
- 3) 社団法人日本道路協会：舗装性能評価法別冊，2008

Experimental study on change in mechanical and hydraulic characteristics of granular sub-base course of permeable pavements

**Kazushi MORIISHI, Yuzo OHNISHI, Satoshi NISHIYAMA,
Takao YANO and Hiroji KOSEKI**

Obayashi Road Corporation Technical Research Institute, Tokyo, Japan

kazushi-moriishi@obayashi-road.co.jp

Department of Urban and Environment Engineering, Kyoto University, Kyoto, Japan

Abstract

When rainwater permeates into the ground, the granular materials in the sub-base course of the permeable pavements move, and their durability and water permeability undergo a change. In this research, we investigated the mechanical and hydraulic characteristics of the granular materials of permeable pavements. We carried out a laboratory test wherein specimens with a CBR values were watered and their properties before and after watering were investigated. We also conducted a field experiment involving rainfall simulation in an experimental yard.

1. Introduction

In recent years, Japanese cities have undergone rapid urbanization. In urbanized areas where the land is covered by houses, roads, etc., rainwater cannot infiltrate into the ground. This is one of the primary causes of urban flooding. To successfully deal with this phenomenon, comprehensive flood control systems are needed. One solution for the urban flooding problem is the use of permeable pavements.

The permeable asphalt pavements comprise a porous asphalt mixture and granular materials. The pavements can reduce direct runoff of rainwater from roadways, because they allow rainwater to permeate to the subgrade. The durability and permeability of permeable pavements are being investigated in laboratories and through field experiments.[1] The investigations reported that infiltration of rainwater reduces the durability and water permeability of the granular sub-base and the subgrade.[2] Some researchers confirmed decrease in the CBR after water percolation in some kind and gradation of granular sub-base materials.[3][4] They attributed the decrease in the CBR to seepage water, moving of fine aggregate, and changing of aggregate matrix.

In this research, rainfall simulation tests were carried out on permeable asphalt pavements with three different structures, and change in mechanical performance of the pavements between before and after watering were investigated by using FWD measurements. The stiffness of each layer was verified based on back-calculation of FWD measurements. Water percolation tests were also performed in laboratory for compacted sub-base materials, and permeability and CBR of them was examined. Change in permeability and CBR between before and after water percolation and the effect



of grain size distribution and compaction ratio is discussed in this paper.

2. Verification of change in bearing capacity of granular materials in the case of an actual road

A field experiment involving rainfall simulation was conducted in an experimental yard to verify the change in the bearing capacity of the granular sub-base due to seepage water.

(1) Experimental yard

a) Structures and materials of the pavements

Figure 1 shows the structure of the pavement constructed for the test. Four sections were prepared. Sections 1, 2 and 3 were permeable pavements and section 4 was a conventional impervious pavement. Section 4 was constructed using recycled dense-graded asphalt mixture for the surface and recycled crusher run (RC-40) for the granular materials. The base course of section 2 consisted of two layers: RC-40 was used for the base course and a recycled mechanically stabilized crushed stone (RM-40) was used as the sub-base course. Sections 1 and 3 contained a layer of sand as a filter layer. As sections 1, 2 and 3 are compared with section 4, the influence of the water permeating would be verified. Sections 1 and 3 are compared with section 2 to determine the effect of a filter layer. The characteristics of the asphalt mixtures, granular materials, and subgrade are listed in Tables 1, 2, and 3 respectively.

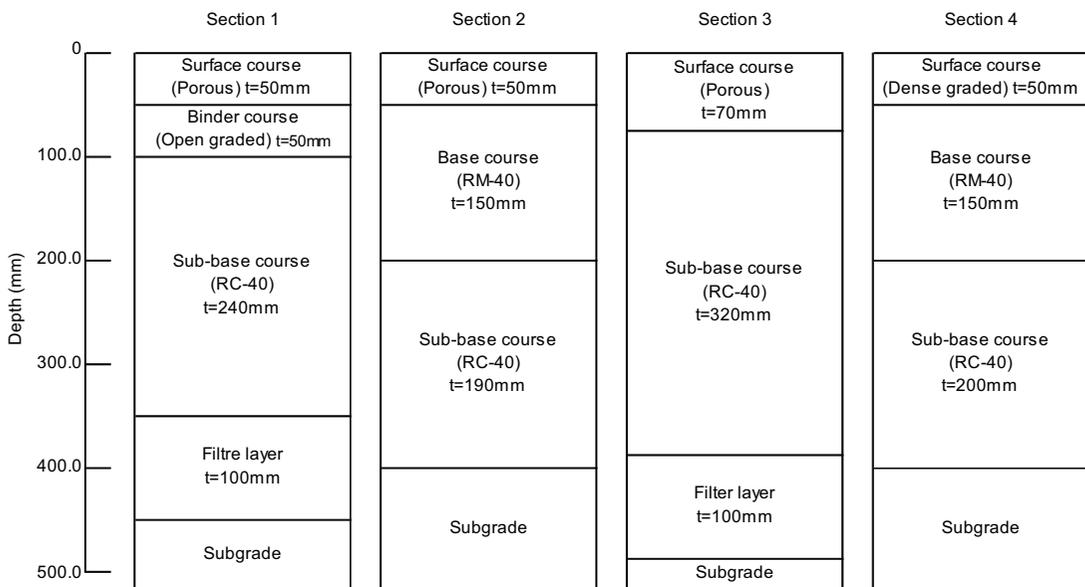


Figure 1 Structures of four types of pavements

b) Rainfall simulation

Rainfall simulation was performed as shown in Photo 1. The watering area was 25 m² (5m×5m). The boundaries of watering areas were sealed using liner sheets. The amounts of water

used are shown in Table 4. They are equivalent to the whole amounts of effective air voids in the pavements and are calculated using following equation.[5]

$$S = A \times F_s \times \sum (H_i \times V_i / 100) \tag{1}$$

S : Amount of water (m³)

A : Watering area (m²), (A=25m²)

H_i : Volume of each layer per road surface unit area (m³/m²)

V_i : Air voids in each layer (%)

F_s : Effective air voids ratio

(Ratio of air voids into which rain water actually goes to all the air voids) = 0.7



Photo 1 Rainfall simulation

Table 1 Characteristics of asphalt mixtures

Item	Permeable pavement		recycled dense-graded asphalt pavement
	Surface	Binder course	Surface
Percentage passing by mass (%)			
26.5 mm	-	100	-
19.0	100	96.8	100
13.2	95.1	60.8	98.6
4.75	26.9	21.3	63.2
2.36	18.6	18.1	47.8
0.6	12.6	9.9	29.3
0.3	9.0	8.1	19.9
0.15	6.0	6.3	8.8
0.075	4.9	5.2	5.7
Performance			
Air void (%)	17.7	19.4	3.5
Binder contents (%)	4.2	3.6	5.4

Table 2 Characteristics of granular materials

Item	RC-40	RM-40
Percentage passing by mass (%)		
53 mm	100	100
37.5	98.8	100
19.0	76.5	78
4.75	33.3	44.5
2.36	20.1	31.5
0.425	-	22.7
0.075	-	5.0
Performance		
Modified CBR value (%)	40.3	105.0
Air void (%)	18.6	-

Table 3 Characteristics of subgrade

Item	Section (Permeable pavement)		
	1	2	3
Soil	Sandy soil	Sandy soil	Sandy soil
CBR (%)	3.2	3.8	3.4

Table 4 Amount of water used in the experiment

Item		Section		
		1	2	3
Amount of water	(m ³)	2.7	1.6	2.9
Amount of water per hour	(mm/h)	30	30	40

c) Investigation procedure

FWD measurements were conducted before and after watering at the center of each experimental yard.

(2) Verification of change in bearing capacity

a) Change in bearing capacity

Figure 2 shows the D_0 deflection, i.e., the deflection of the loading center, before and after watering. Figure 3 shows the estimated CBR values of the subgrade (sections 1 - 3) in situ before and after watering. The estimated CBR was computed using formula (2).[6]

$$\text{Estimated CBR (\%)} = 1,000/D_{150} \tag{2}$$

D_{150} : Deflection 150 cm away from the loading center (μm)

From Figure 2 the D_0 deflection immediately increased slightly 10 to 15 minutes after watering. However, the estimated CBR did not change immediately after watering as shown in Figure 3. When rainwater existed in the pavements, the change in bearing capacity occurred above the subgrade. In this experiment, bearing capacity of the subgrade was not affected by infiltrated water.

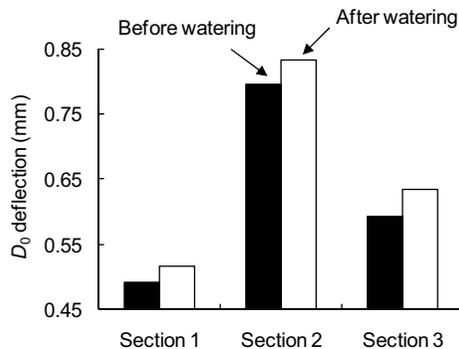


Figure 2 D_0 deflection before and after watering

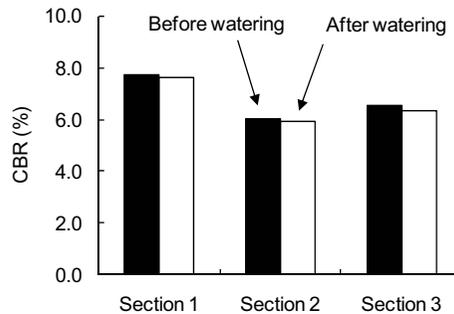


Figure 3 Estimated CBR before and after watering

b) Change in D_0 deflection with time

Figure 4 shows the change in D_0 deflection. Among sections 1 - 3, the D_0 deflection of section 2 was the largest. Although the deflection increased immediately after watering, the deflection after 70 hours was almost the same as that before watering.

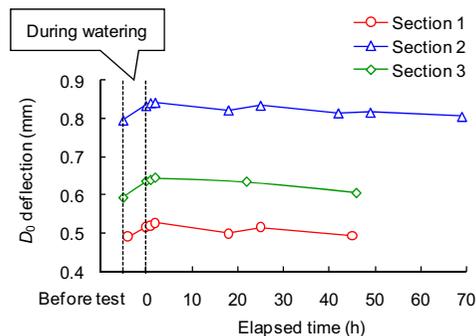


Figure 4 D_0 deflection

c) Evaluation of elastic modulus by back-calculation

Elastic modulus of each layer was estimated by back-calculation of FWD measurements. LMBS (Layer Moduli Backcalculation System), a back-calculation program available as freeware in Japan, was used. We back-calculated the modulus of the asphalt mixture, sub-base course and subgrade (including the filter layer). The elastic modulus of the asphalt mixture layer was corrected to the value at 20 °C using following temperature correction formula.[7] In the case of section 2, the base course and the sub-base course were treated as one layer.

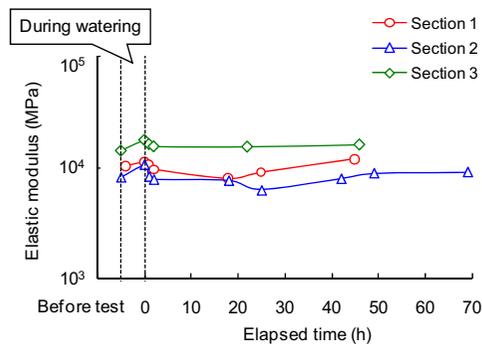
$$E_{as(20)} = E_{as(z)} \times 10^{(-0.0184 \times (20 - T_{ave}(z)))} \tag{3}$$

$E_{as(20)}$: Elastic modulus of asphalt mixture layer at a standard temperature of 20 °C (MPa)

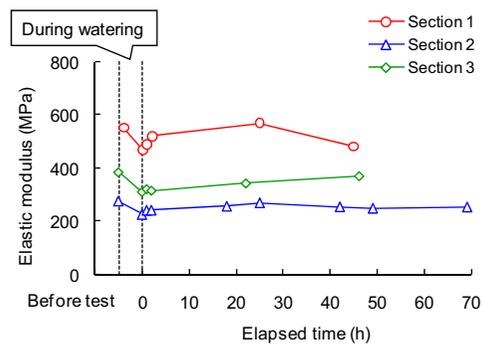
$E_{as(z)}$: Elastic modulus of a T_{ave} °C asphalt mixture layer (MPa)

$T_{ave}(z)$: Mean temperature of asphalt mixture layer at the time of FWD measurement (°C)

Figure 5 shows the results of the back-calculation of each layer. From Figure 5(c) the elastic modulus of the subgrade did not change between before and after watering. On the other hand, the elastic modulus of the base course decreased immediately after watering. Although the elastic modulus of section 2 and section 3 declined once, modulus returned gradually to the level before watering. Moreover, the elastic modulus of section 1 increased 18 hours after watering. The elastic modulus of the asphalt mixtures in each section was about 10^4 MPa, and it remained unchanged before and after watering. From this result, we concluded that when rainwater exists in permeable pavements, their bearing capacity reduces. However, although the bearing capacity recovers soon after, the long after value is slightly lower than the original value. The bearing capacity of each layer that reduced by infiltration of the water does not completely return to the first value. This result may become the decrease of the bearing capacity. From the back-calculation results, it was confirmed that decrease in the elastic modulus by water was remarkable especially in the granular sub-base course. In the following section, therefore, we focus on the performance of granular sub-base materials in the laboratory.



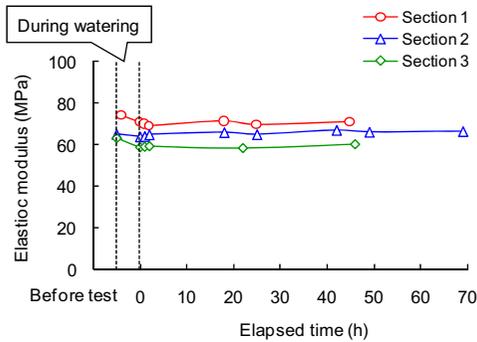
(a) Asphalt mixtures



(b) Granular materials

Figure 5 Back-calculated elastic modulus





(c) Subgrade

Figure 5 Back-calculated elastic modulus

3. Investigation of bearing capacity and permeability of granular materials in the laboratory

(1) Outline of the Experiment

a) Materials

Figure 6 shows the particle size distribution of the tested materials of RC-40. The test materials were made into three kinds such as upper, center, and lower gradation according to JIS (Japanese Industrial Standards).

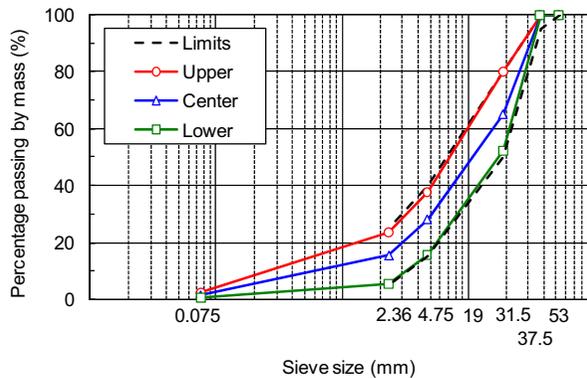


Figure 6 Combined gradation

b) Experiment item

Constant permeability tests and CBR tests were carried out.

c) Production of specimens

The material was compacted in a mold with a diameter of 150 mm and a height of 125 mm using an electric vibrating tamper at the compaction degrees of 95 % and 100%. Three specimens were prepared for each testing condition.



d) Experiment equipment

CBR test equipments were improved for water percolation tests and constant head permeability tests as shown in Figure 7.

e) Experimental procedure

Figure 7 and Photo 2 show the experimental procedure.

- 1) Water percolation was carried out as shown in Figure 7(a). Total amount of percolated water was prescribed to be $795 \times 10^3 \text{ cm}^3$, which represents normal 30 years' precipitation in Japan. Fine grains, which passed thorough the bottom filter, were collected and measured the weight.
- 2) Water permeability test was carried out under constant head condition every $79.5 \times 10^3 \text{ cm}^3$ of water percolation using an apparatus as illustrated in Figure 7(b).
- 3) After $795 \times 10^3 \text{ cm}^3$ of water percolation, specimens were set in the loading machine and CBR tests were carried out as in Figure 7(c).

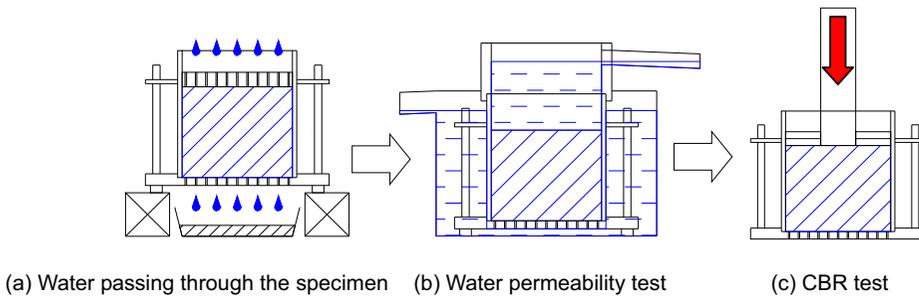


Figure 7 Experimental procedure

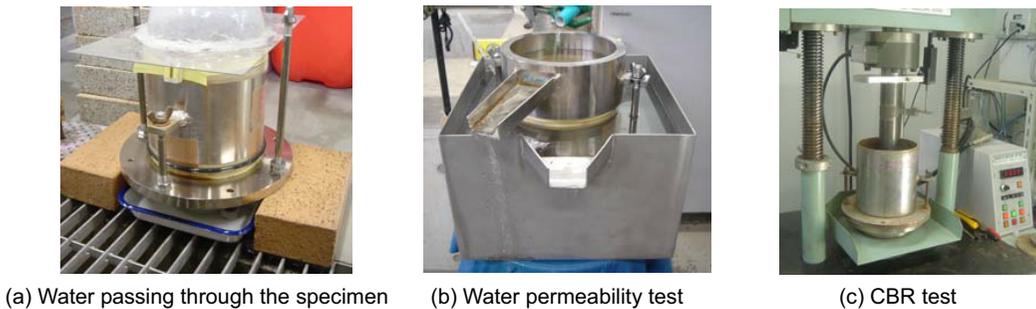


Photo 2 Experimental apparatus used in the tests

(2) Experimental results

a) Water permeability

Figure 8 shows the relation between the amount of water passing through the specimen and its coefficient of permeability. The plots show the average value of three specimens. Granular materials of lower gradation have the largest coefficient of permeability. There is no significant change in the



coefficient of permeability of each specimen during the course of the experiment (except upper gradation of 100% compaction). This change in the coefficient of permeability is a result of the fine grains to move downward due to seepage force. Figure 9 shows the relation between the void ratio before water percolation and the coefficient of permeability. The coefficient of permeability increases as the void ratio increases. Therefore, granular materials with center and lower gradation have higher permeability. Figure 10 shows the amount of materials that passed through the bottom filter. From the figure, it is confirmed that fine particles did not leak out by water percolation in the highly-compacted specimens.

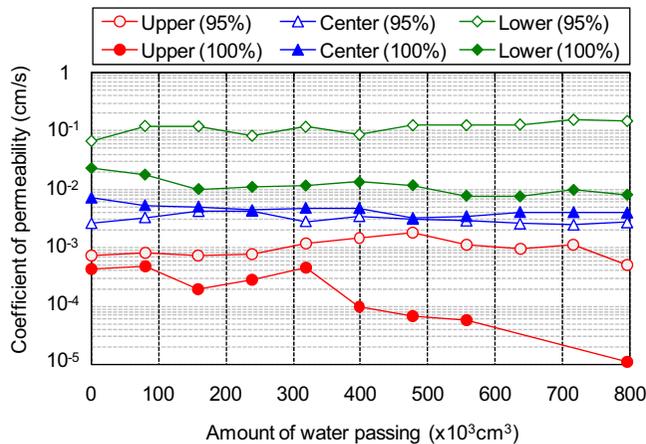


Figure 8 Change in coefficient of permeability

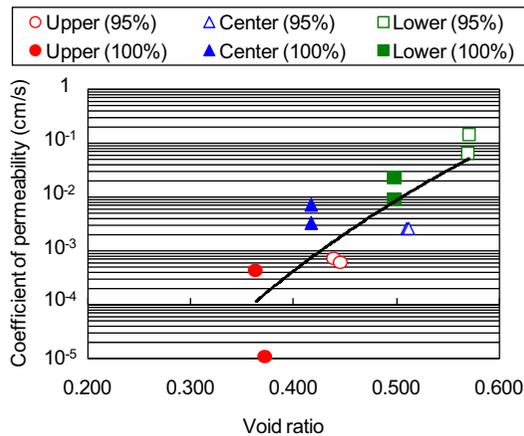


Figure 9 Relation between void ratio and coefficient of permeability

Especially, quantity of the fine grains leaked from the specimen with upper gradation was less than the specimens with other gradation. From these results, the fall of the aggregates with smaller grain size influences a ratio of aggregate forming a continuous air void facilitating the movement of the aggregates with smaller grain size.

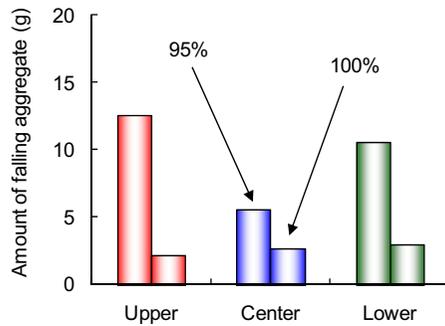


Figure 10 Comparison of amounts of minute grain

b) Change in bearing capacity

Figures 11 and 12 show the CBR values before and after watering. Before watering, the material with upper gradation has the largest CBR value, and the material with lower gradation has the smallest CBR value. After watering, the CBR value of all the materials decreases; however, the CBR value of the material with upper gradation is still the largest, and that of the material with lower gradation is still the smallest. The CBR value of the center and lower gradation of 95% compaction did not change. However, the CBR value of the upper gradation decreased. As a result, the change of bearing capacity would be influenced by the difference in gradation. And bearing capacity of the granular materials containing many fine aggregate would decrease. However, when the degree of compaction is 100%, the rate at which the CBR value decreases is the lowest for the material with upper gradation and the highest for the material with lower gradation. This might be the combined effect of the decrease in the void content of the aggregate, change in the aggregate matrix, and the degree of compaction. The effect of these factors was more pronounced in the material with upper gradation.

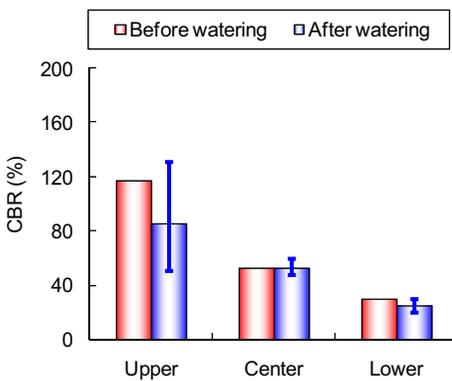


Fig.11 Change in bearing capacity (95%)

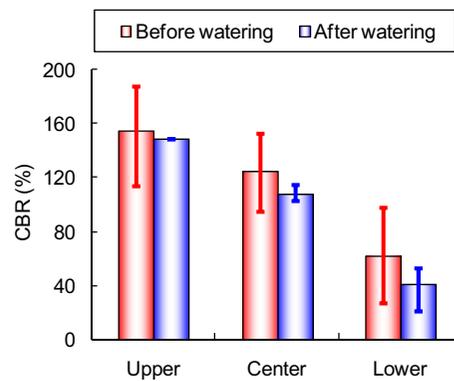


Fig.12 Change in bearing capacity (100%)

4. Conclusion

In this research, the change in the mechanical and hydraulic characteristics of permeable pavements due to infiltration of water was investigated by means of an actual road experiment and a laboratory experiment. In both types of experiments - actual and laboratory - we focused on the granular materials in permeable pavements. In the case of the actual road experiment, we observed that when water existed in the pavement, its bearing capacity changed before and after watering. During the laboratory experiment, we observed that a change in the gradation influenced the change in the bearing capacity by infiltration of water.

The results of our study can be summarized as follows.

- (a) FWD measurements indicated the existence of water in a pavement affects the durability of the granular materials.
- (b) The bearing capacity of the sub-base course material decreases due to infiltration of water. When the water drains into the subgrade, bearing capacity is recovered. However, although the bearing capacity recovers soon after, the overall value is slightly lower than the original elastic modulus.
- (c) Laboratory experiment indicated the permeability of RC-40 does not decrease. However, for 100% compaction, the permeability of a material with upper gradation decreases.
- (d) The CBR value of a material with upper gradation decreases considerably post water infiltration. Therefore, the gradation of granular materials is an important consideration as far as permeable pavements are concerned.

References

- 1) Questions and answers: The measure towards utilization of the permeable pavement, pavement, Vol.36. pp.19-20, 2004. (in Japanese)
- 2) Kamada OSAMU, et al.: The research on the durability of a driveway permeable pavement, the Japan Society of Civil Engineers collected papers, pp.91-98, 2005. (in Japanese)
- 3) Hiromitsu NAKANISHI, et al.: Development of the driveway permeable pavement which considered environment, pavement, Vol.36, pp.10-17, 2001. (in Japanese)
- 4) Etsuro NODA, et al.: A study of the performance of the granular materials in a driveway permeable pavement, the 59th lecture meeting of Japan Society of Civil Engineers, pp.1321-1322, 2004. (in Japanese)
- 5) Advanced Construction Technology Center: Pavement structure which considered environment designs, construction and the control of maintenance point (proposal), 2003. (in Japanese)
- 6) Road preservation technical center: The practical use method of FWD, 2005. (in Japanese)
- 7) Yoshio Saika, et al.: A study of the correction for temperature of the characteristic value acquired from FWD, pavement, Vol.30, pp.10-15, 1995. (in Japanese)

●特集：土壌・地下水汚染の対策技術●

報文

リン酸カルシウムのナノ表面反応を利用した
フッ素等汚染土の不溶化技術

袋布 昌幹* / 丁子 哲治** / 澤田 昭吾*** / 堀 浩明****

1. はじめに

フッ素化合物はその優れた化学的特性から種々の産業で使用されている。一方、産業活動に伴って発生する廃棄物などを原因とするフッ化物イオンによる土壌汚染は、多くが他の金属イオンなどとの複合汚染であるものの、汚染土壌全体の12%を占める（環境省のデータより）。この対策技術として、安価な薬剤を添加して土壌中のフッ素化合物などを難溶性の化合物として不溶化する技術が渴望されている。

著者らは生体内でフッ化物イオンなどが骨や歯に蓄積することに着目し、虫歯予防のために行なわれる「フッ素塗布」で、歯にフッ素化合物が蓄積されるメカニズムに着目した不溶化技術を開発した。また、その技術を用いた汚染土壌の不溶化技術の検討を産学連携で進めている。

本報告では、著者らが開発した不溶化技術の概略を示すとともに、実汚染土壌を用いて行なった不溶化施工試験について紹介する。

2. 不溶化技術の概要

汚染土壌中のフッ素化合物を不溶化する手法として、薬剤を用いて難溶性の無機化合物としてフッ素化合物を不溶化する手法を用いた。フッ化物イオンを含む工業廃水処理では、廃水に薬剤を添加してフッ化物イオンを難溶性の無機化合物として沈殿させる。フッ素を含む無機化合物として有名な化合物はフッ化カルシウム（蛍石、 CaF_2 ）であるが、この化合物は理論上フッ素の溶出を8 mg/L程度まで抑制できるものの、この値は土壌汚染対策法（土対法）で規定されている溶出濃度である0.8 mg/Lより高い。一方、天然のリン鉱石や歯のエナメル質に含まれる無機化合物であるフッ素アパタイト（FAP, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ ）はフッ素を0.1 mg/L以下まで不溶化できるが、フッ化物イオンを含む溶液にカルシウムおよびリン酸塩を添加しても、FAPを容易に生成させることはできない。これはFAPが溶解度よりも高い過飽和状態で安定な溶液として存在できるためであり、体液中のイオン濃度がこの種の塩の溶解度よりもきわめて高いにもかかわらず、

体液中で結晶の生成が生じることはないのはその理由による。そのため別の反応を用いて、フッ化物イオンをFAPとして不溶化することが必要となる。

著者らは、歯にフッ素化合物を塗布して虫歯予防を行なう際に、歯の表面で生じる反応として報告されている反応¹⁾に着目した。これは歯の無機成分である水酸アパタイト（HA, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ）が酸によってリン酸水素カルシウム二水和物（DCPD, $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）に転化し、その後フッ化物イオンと反応してFAPを生成するものである。FAPはHAよりも耐酸性に優れているため、虫歯の予防が可能となる。著者らはこの系で示されている固体のDCPDとフッ化物イオンの反応を環境レベルの微量フッ素化合物の不溶化に適応させるため、種々検討を進めてきた。その結果、DCPDは直接フッ化物イオンと反応してFAPを生成するのではなく、いったんその粒子表面に数十ナノメートルの前駆体の微細粒子を生成させた「ナノ表面構造」を誘起し、その表面粒子がフッ化物イオンと反応してFAPを生成し、その後DCPD全体がFAPに転化することを明らかにした²⁾。この「ナノ表面反応」に関してラボベースで検討した結果、0.8 mg/Lを下回るレベルまで、用水や土壌などに含まれるフッ化物イオンをFAPとして不溶化できることを明らかにしている³⁾。

DCPDの不溶化の特徴として、用水や排水などの溶液のみならず、固体試料に含有しているフッ素化合物を不溶化できることが挙げられる。その一例として、セッコウ中のフッ化物イオンの不溶化について検討した結果⁴⁾を示す。

リン酸製造時に発生するリン酸セッコウには、リン酸原料であるリン鉱石の成分であるフッ化物イオンが含有している。通常このフッ化物イオンは洗浄して除去されているが、DCPDの反応性を評価するため、未洗浄のリン酸セッコウを用いて検討を行った。結果、DCPDを添加して養生することにより、セッコウからのフッ化物イオンの溶出を土壌環境基準である0.8 mg/L以下にまで低減できることを見いだした。走査型電子顕微鏡を用いた微細構造観察および組成分析の結果より、セッコウ粒子周辺にFAPの粒子が分散しており、これがセッコウ中

* TAFU Masamoto	富山高専専門学校 准教授, 工博	富山市本郷町13
** CHOJI Tetsuji	同上 教授, 工博	同上
*** SAWADA Syōgo	大林道路㈱ 営業部 課長	東京都墨田区堤通1-19-9
**** HORI Hiroaki	同上 副部長	同上



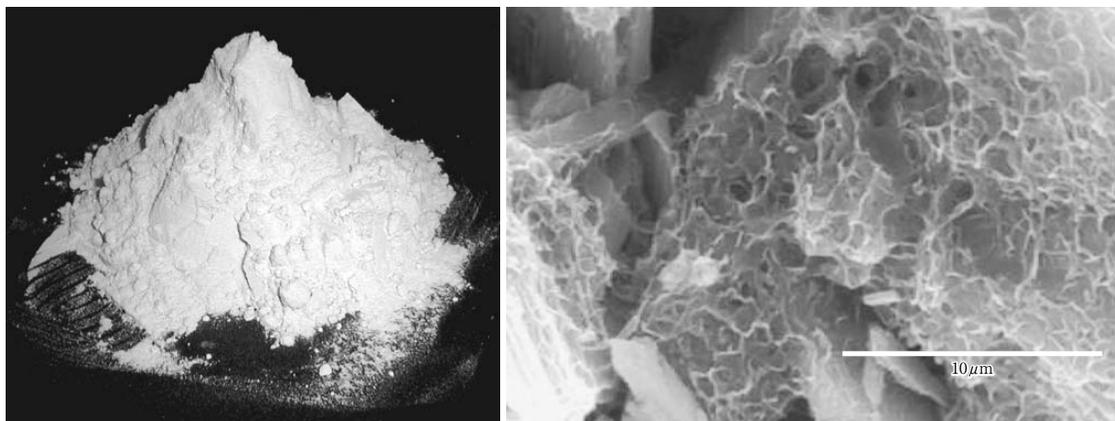


写真-1 DCPDの粒子表面を活性化した不溶化剤

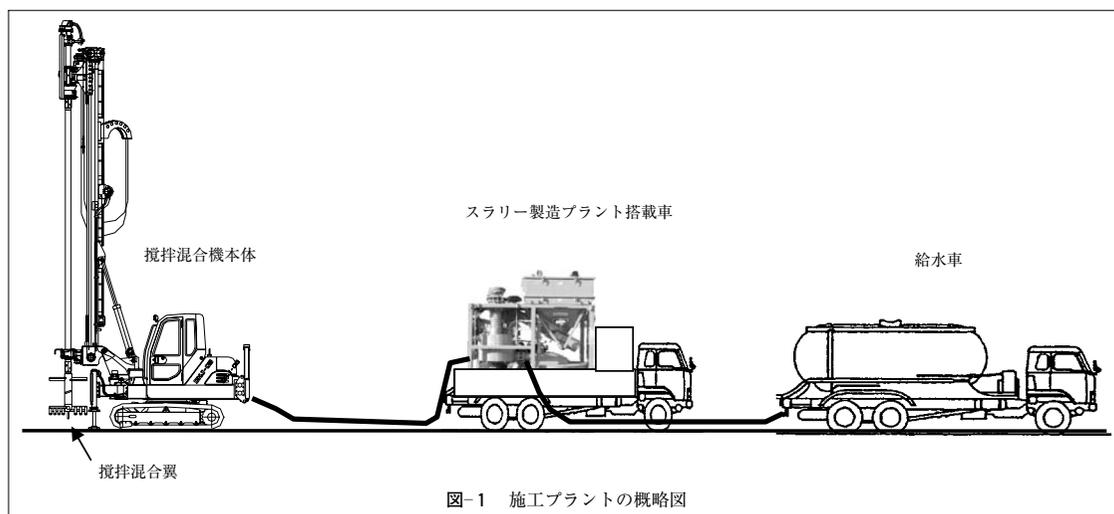


図-1 施工プラントの概略図

のフッ素化合物を不溶化しているものと結論づけた。

この結果を利用すれば、汚染土壤に含まれるフッ化物イオンもDCPDによって不溶化できると期待される。汚染土壤を用いたラボベースの検討の結果、DCPDを添加することにより汚染土壤からのフッ化物イオンの溶出を抑制できることがわかった。一方、絶乾条件の土壤を用いてDCPDを添加すると、フッ化物イオン不溶化能力は著しく低下した。この結果より、DCPDは土壤中に含まれる水分を介して溶解性のフッ化物イオンと反応し、難溶性のFAPを生成して不溶化が生じると考えられる。汚染土壤の不溶化に水分が必要であることより、DCPDを用いた汚染土壤の不溶化施工を行う際には、DCPDと汚染土壤を粉体として混合するのではなく、何らかの方法で水を共存させた状態で混合することが必要となる。しかし、単にDCPDを水と混合したスラリーとして土壤と混合すると、施工土が泥状となるため、その対策を施工技術に盛り込むことが求められる。

一方、写真-1に示すようにあらかじめDCPD表面にナノ表面構造を誘起させることにより、高いフッ素化合

物不溶化能力を引出す技術を開発⁵⁾し、民間企業と量産試験を進めている。

3. 施工技術

前節に示したDCPDのナノ表面反応を利用して、フッ素などで汚染された汚染土壤の現位置不溶化技術を開発した。ここで用いる施工機械は、深層混合処理工法で通常使用されているものを利用した。DCPDと水を混合したスラリーを調製するプラントは、1パッチ200L混合可能なミキサーを装備した移動式スラリー製造用プラントである。また、攪拌混合機は、10～8tクラスの機械式攪拌混合機で、砂質系であればおおむね20程度のN値の地盤に対応できる。参考として8tクラスの機械仕様を表-1に示す。現位置施工では、土を混合可能な状態にするために水を添加する。これにより処理後の土の強度が低下するため、これを現状程度に復旧することを目的として、地盤改良材（高炉セメント）も併せて添加する。

1つの改良帯が円柱であるため、図-2に示すように

表-1 施工機械の仕様

項目	仕様
オーガー回転トルク	7.1~21.4kN・m
オーガー回転数	21.1~63.1rpm
オーガー押込み/引抜き力	45.6kN
オーガー昇降ストローク	5,300mm
最大掘削深度	9 m
掘削径 (全旋回可能寸法)	800mm
走行速度	2.4km/hr
機械総重量	9,840kg (ロード5m+3m, ヘッド含む)

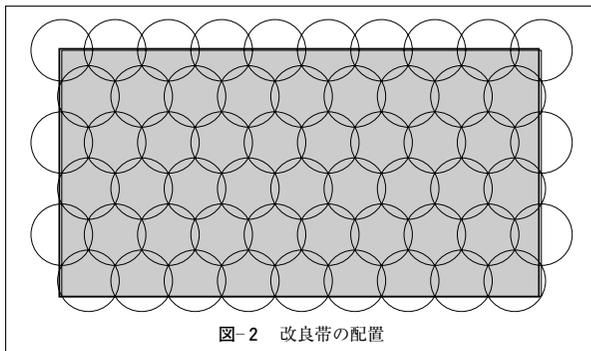


図-2 改良帯の配置



写真-2 施工状況

改良帯をラップさせて配置し、不溶化処理対象土壌にDCPDがすべていきわたるように施工する。

現位置不溶化工法に限らず、不溶化処理自体はあくまでも溶出量を抑制する工法であるので、含有量が基準を超過している現場に適用できないのはいうまでもない。

4. 試験施工事例

現位置に試験施工ヤードを造成し、上記施工機械を使用して試験施工を行なった。DCPDの添加量・種類などを変化させ実施した結果、酸およびアルカリ添加溶出量試験でも溶出量に変化せず、安定した不溶化効果が得られることを確認できた。

5. 今後の展望

本報では、リン酸カルシウムの一種であるDCPDを用いた汚染土壌の不溶化試験に関して、その概要を紹介した。現在、フッ素化合物の不溶化剤としてのDCPDの実用化を十数社の産学連携で進めているが、この取組みに対して昨年11月に第3回モノづくり連携大賞(日刊工業新聞社主催)で特別賞を受けた。

平成21年4月に「土壤汚染対策法の一部を改正する法律」が成立し、平成22年には新しい土壤汚染対策法が施行されると思われる。新しい土対法では、掘削除去以外の対策方法にも目が向けられるものと考えられ、著者らが開発を進めてきた不溶化技術への関心も高まるものと期待している。

掘削除去対策の工事費は規模・現場条件などにより違いはあるが、おおむね40,000~45,000円/m³程度である。これに対し、現位置不溶化工法としては20,000~25,000円/m³を目標にすれば、この工法が市場に受け入れられるものと考えており、現在はその価格の多くを占める薬剤のコストダウンの検討が、今後の課題であると考えている。

■参考文献

- 1) L.C. Chowほか：J. Dent. Res., Vol. 52, p. 1220, 1973.
- 2) 袋布昌幹ほか：J. Ceram. Soc. Jpn., Vol. 113, p. 263, 2005.
- 3) M. Tafulほか：Anal. Sci., Vol. 17, p. i753, 2001.
- 4) M. Tafulほか：J. Eur. Ceram. Soc., Vol. 26, p. 767, 2006.
- 5) 袋布昌幹ほか：PCT/JP2008/68441, 2008.

粒状路盤材が透水性舗装の透水性および 耐久性に及ぼす影響

森石一志¹・大西有三²・西山哲³・矢野隆夫⁴・小関裕二⁵

¹正会員 博(工) 大林道路株式会社 技術研究所 (〒204-0011 東京都清瀬市下清戸 4-640)
E-mail : kazushi-moriishi@obayashi-road.co.jp

²正会員 工博, Ph.D 京都大学 理事・副学長 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

³正会員 博(工) 京都大学大学院 准教授 工学研究科 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

⁴正会員 博(工) 京都大学大学院 技術専門員 工学研究科 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

⁵正会員 博(工) 大林道路株式会社 技術研究所 (〒204-0011 東京都清瀬市下清戸 4-640)

透水性舗装を車道に適用した場合、空隙づまりが原因とされる透水性の低下、および雨水浸透による路床・路盤の支持力の低下が懸念される。透水性能の水収支計算は、舗装は透水性の高いものとみなし、路面から浸透した雨水はただちに路床面に達し、路床の透水性に応じて以深に浸透していくというモデルを考えている。しかし、粒状路盤材料の種類によっては、このような仮定が成り立つかどうかは不明である。また、支持力の低下についても、雨水浸透がどのように影響するかが明確ではない。そこで本研究では、実路に試験施工された透水性舗装で散水実験および支持力調査を実施した。また、室内で不飽和浸透特性試験を行うとともに、過去に実施した室内および実路実験結果と比較した。

Key Words : granular material, permeable pavement, permeability, durability, bearing capacity
watering test, FWD, seepage water

1. はじめに

透水性舗装は、水循環の保全、都市型洪水の抑制など道路舗装からの環境対策として期待されているが、雨水の浸透による路床の軟弱化が懸念されることから、適用箇所は歩道や駐車場などに限定されていた。現在は、車道部へ適用が検討されており¹⁾、全国各地で試験施工が行われ、散水実験などが実施されている²⁾。また、室内実験においても各材料の透水特性に関する研究が行われている²⁾。しかし、各材料の室内実験の結果と散水実験の結果との関係は明確にされていない。

透水性舗装の一般的な水収支計算では、舗装は透水性の高いものとみなし、路面から浸透した雨水はただちに路床面に達し(一部は舗装内に拘束されるが)、路床の透水性に応じて以深に浸透していくというモデルを考えている。すなわち、アスファルト混合物や粒状路盤材の透水性は、水収支計算上には表れない。しかし、粒状路盤材料の種類によっては、このような仮定が成り立つかどうかは不明である。

一方、支持力の低下については、既往の研究^{3,4)}では、

透水性舗装に使用する路盤材料は、供試体を作製し通水を行った場合、使用する材料や粒度によっては、CBR値が低下するという結果が得られている。CBR値の低下は浸透水によって路盤材中の細粒分が移動し、骨材同士の噛み合わせが変化したためだと考えられている。しかし、雨水浸透がどのように影響するかが明確ではない。

そこで本研究では、散水実験と室内実験のそれぞれの結果から、特に粒状路盤材に着目し、粒状路盤材が雨水流出抑制性能に及ぼす影響について検討した。また実路でのFWD測定から、雨水浸透による支持力低下の有無について検証を試みた。

2. 透水性に関する検証

散水実験は上述したように全国各地で試みられている。本実験においても試験施工された車道透水性舗装で散水実験を実施した。

2-1 実路実験

(1) 実験概要

試験施工は、現在建設中の京都と大阪を結ぶ一般国道1号のバイパスである第二京阪道路の副道にて実施した。



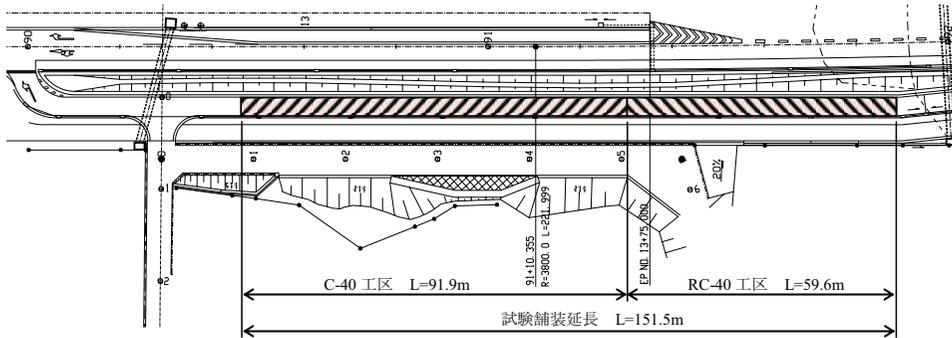


図-1 試験施工平面図

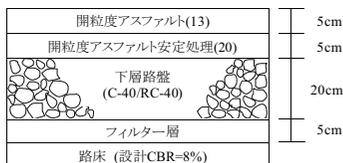


図-2 舗装構造

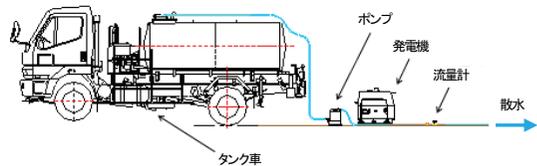


図-4 散水装置

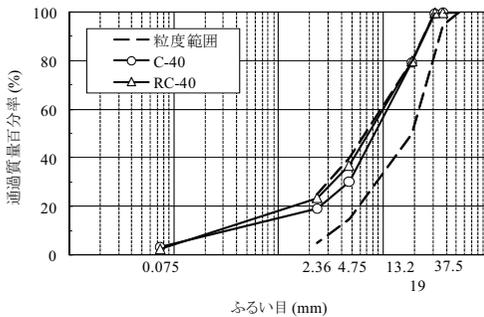


図-3 粒状路盤材の粒度曲線

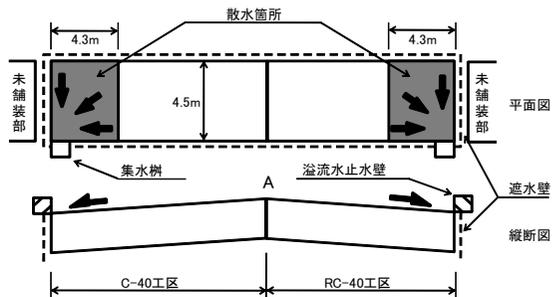


図-5 遮水壁設置状況

表-1 路床土の性状

項目		路床①	路床②
路床土の性状	室内CBR (%)	27.6	48.4
	液性限界 (%)	37.5	43.1
	塑性限界 (%)	24.3	25.2
	PI	13.2	17.9
	土の分類名	細粒分質砂質礫	細粒分質砂質礫
	分類記号名	GFS	GFS
	土粒子の密度 (g/cm ³)	2.628	2.621
	最大乾燥密度 (g/cm ³)	1.938	1.857
	透水係数 (cm/sec)	4.5×10 ⁻³	2.9×10 ⁻³

図-1 に示すように、粒状路盤材の違いによる雨水流出抑性能および支持力への影響を確認するため、施工箇所道路が縦断方向に山型であることより、頂点 (図-5 中

A 点) を境にクラッシュラン (以下、C-40) と再生クラッシュラン (以下、RC-40) の 2 工区に分けて施工し、C-40 工区および RC-40 工区とした。その舗装構造を図-2 に示す。

(2) 使用材料

使用材料は、表層はポリマー改質アスファルト H 型を使用した開粒度アスファルト混合物(13)、上層路盤はストレートアスファルトを使用した開粒度アスファルト安定処理(20)、下層路盤は C-40 および RC-40、フィルター層は海砂を使用している。路床は盛土、切土および路床改良箇所が点在していたが、透水係数は両工区 10⁻³ cm/sec と同程度であった。粒状路盤材は現地で入手した材料をそのまま使用した。各材料の粒度分布を図-3 に示す。過

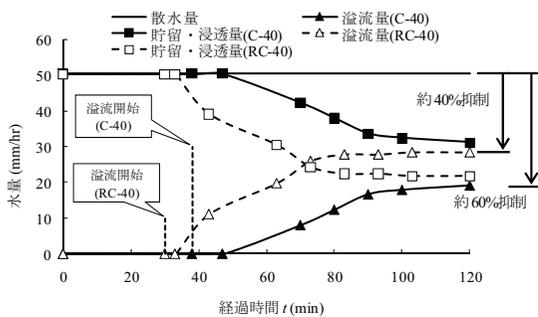


図-6 散水実験結果

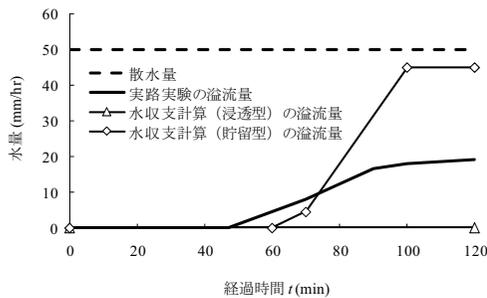


図-7 実路実験結果と水収支計算結果の比較

去の研究⁹⁾によれば、C-40とRC-40の透水係数は1オーダー程度異なり、粒度の差に比べて材質による影響のほうがはるかに大きいことを確認している。したがって、図-3における粒度分布のわずかな差は、舗装の透水性能の評価に大きな影響を与えるものではなく、ほぼ同一の粒度分布とみなすことができる。また、路床土の性状を表-1に示す。

(3) 散水実験概要

散水実験は図-4に示す散水装置で行い、その範囲は、各工区の勾配最下部から縦断方向へ4.3mの部分とした。また、図-5に示すように、遮水壁は舗装工区を取り囲むように設置した。工事上の都合から、散水範囲の勾配上部側境界には遮水壁を設置していないが、水収支計算上は、散水領域内を鉛直に水が浸透するものと想定した。実験方法を以下に示す。

- ① 調査ヤードは散水量の容量、散水装置等の関係から、 $W4.5m \times L4.3m = 19.35m^2$ とし、タンク車に所定数量以上の水(2m³)を準備する(参考文献5)より所定の散水量を算出)。
- ② 図-4に示す装置で散水を行い、降雨強度50mm/hrに相当する量を人力で散水し、溢流水を最下部の集水樹に集め、その量を経時的に測定する。
- ③ 散水量と溢流量の関係から浸透・貯留量を算定する。

(4) 実験結果

図-6に散水実験結果を示す。溢流開始時間はC-40工区が散水開始から38分後、RC-40工区は30分後であり、C-40工区の方が雨水流出時間を遅延できると考えられる。また、時間当たりの散水量50mm/hrに対し、120分後にC-40工区は雨水の流出を約60%抑制している。一方、RC-40工区は100分後に約40%程度しか雨水流出を抑制できないことが確認できた。どちらの工区も路床の透水係数は同程度なので、雨水流出抑制効果は路盤材の性状の影響を受けることは明らかである。

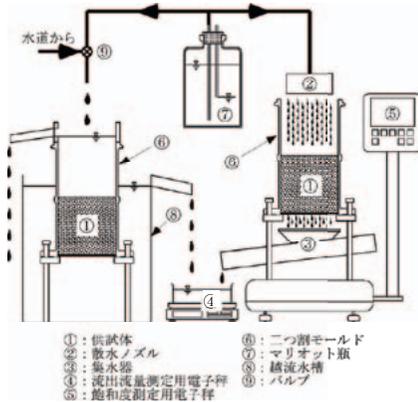
(5) 実路実験結果と水収支計算結果⁶⁾による比較

現在使用されている水収支計算で、路床の条件が異なった場合に水収支計算結果がどのようになるかを試みた。当該舗装は路床以深へ水が浸透する路床浸透型で施工されているが、比較検討のため、路床以深へは水が浸透しない貯留型の計算も実施した。その結果を図-7に示す。貯留型にした場合、路床以深への雨水浸透が無いため、60分後に溢流を開始した後に散水量の50mm/hrに近づいている事が分かる。これは以前より著者らが検討を試みている、降雨強度が大きい場合には舗装体内の空隙(間隙)が飽和する前に雨水が溢流する、いわゆる不飽和状態が影響していると考えられる。したがって、水収支計算では不飽和状態を考慮せず、路床まで雨水が達し、その後、徐々に下部から飽和していくという現象を想定しているため、溢流までに時間がかかると考えられる。

2-2 室内における透水性能試験

従来の透水性舗装の透水性能は、室内で作製した供試体を用いて、飽和状態における定水位透水試験で求めた飽和透水係数で評価するのが一般的である⁶⁾。しかし、降雨強度が強い場合や、近年多発しているゲリラ豪雨のような、雨量が降り始めに集中している場合において、舗装体内に不飽和領域が存在した状態で表面流出が生じるという現象が確認されている⁷⁾。この現象は、降雨強度が大きい場合、舗装体内の間隙内の空気により雨水が浸透しにくくなるためであり、透水性舗装では舗装体内が不飽和の状態での透水性能を把握する必要があると考えられる。

そこで本試験は透水性舗装の雨水流出抑制性能に影響を与えると考えられる粒状路盤材の水分保持特性試験と飽和・不飽和透水試験により透水性能を実験的に求め、粒状路盤材の不飽和状態が雨水流出抑制性能にどのような影響を及ぼすかについて検証を行った。なお、各試験の原理については参考文献8)に譲ることとする。また、本試験で使用した装置は、参考文献9)に改良を加えたものである。



a) 飽和透水試験機 b) 不飽和透水試験機
 図-8 飽和-不飽和透水試験機

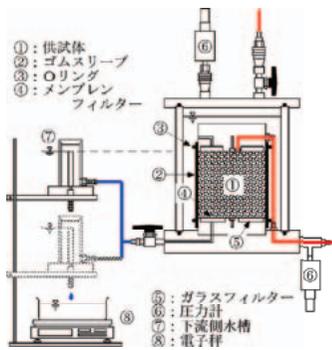


図-9 水分保持特性試験装置

(1) 試験概要

a) 飽和-不飽和透水試験

試験装置は工藤ら⁸⁾の実験方法を参考に図-8 に示す装置を使用した。また、供試体の作製は、舗装調査・試験法便覧〔第4分冊〕F007、突固め試験方法¹⁰⁾の結果から締固め度を95%とし、寸法はφ150mm×h125mmとした。なお、試験は以下の手順で実施した。

- ① 絶乾状態にした供試体を図-8b)に示す試験装置に設置し、供試体上面にマリオート瓶から一定流量の水を供給し、供試体質量および流出流量の経時変化を計測する。
- ② 供試体質量および流出流量が一定になった時点で、不飽和透水係数 k_{un} および定常時の体積含水率 θ を算出する。マリオート瓶の給水流量を増加させ、供試体上面に水面が形成されるまで計測を行う。
- ③ 不飽和透水試験終了後、図-8a)に示す飽和透水試験装置を用いて飽和透水試験を行う。

b) 水分保持特性試験

本研究で作製した水分保持特性測定装置を図-9 に示す。

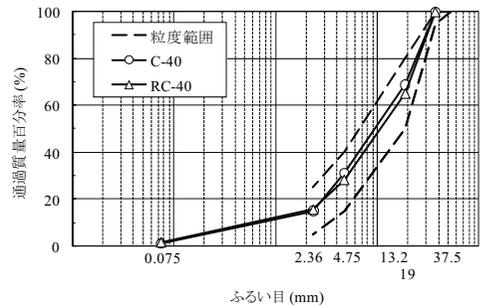


図-10 粒状路盤材の粒度曲線

以下に本試験の手順を述べる。なお、供試体の作製方法は飽和-不飽和透水試験と同様であり、同じ供試体を使用している。試験手順は以下の手順で実施した。

- ① 試験装置に飽和状態の供試体を設置する。
- ② 側圧をかけた後、供試体内の圧力を大気圧に保つ。
- ③ 下流側水槽を下げ、下流側水槽と供試体内に水位差を与え、供試体内に圧力差を発生させ、排出される水の量を電子秤で計測する。
- ④ ③の排出される水の量が無くなったことを確認した後、下流側水槽を下げ、圧力差をさらに増加させる。
- ⑤ 以上の③と④の作業をフィルター材が空気を封入させることが可能な範囲内で繰り返し行う。なお、下流側水槽を下げ切った場合はコンプレッサーを用いて供試体内に圧力を作用させる。

(2) 使用材料

本実験で使用した粒状路盤材の粒度曲線を図-10 に示す。

(3) 試験結果

a) 飽和-不飽和透水試験結果

試験結果を表-2 および図-11 に示す。本実験で使用した試料の場合、飽和透水係数はRC-40の方が1オーダー小さい。不飽和透水係数は、体積含水率に対する増加傾向は類似しているものの、同じ体積含水率における不飽和透水係数を比較すると、飽和透水係数と同様にRC-40が1~2オーダー小さい値を示している。このことより、同じ粒度であっても材料の違いによって透水性能が大きく異なることが分かる。これはC-40とRC-40はそれぞれを構成している骨材の表面の粗度等が異なっているためだと考えられる。

b) 水分保持特性試験結果

試験結果を図-12 に示す。図中のマトリックポテンシャルとは、土壌粒子が水分子を引きつける力の強弱を示している。マトリックポテンシャルが大きいほど、保水性

表-2 粒状路盤材の飽和透水係数

項目	飽和透水係数 (cm/sec)
C-40	2.46×10^{-1}
RC-40	2.00×10^{-2}

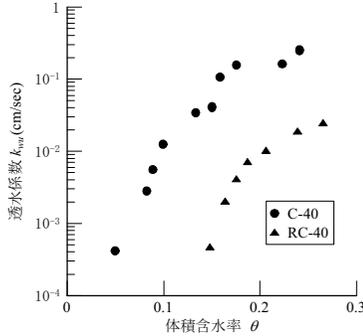


図-11 粒状路盤材の不飽和透水試験結果

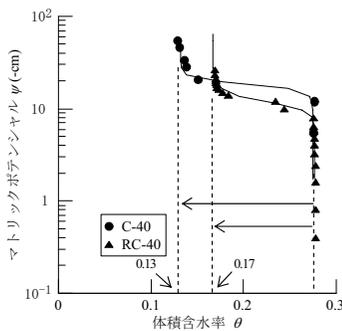


図-12 粒状路盤材の水分保持特性

が高いことを示す。マトリックスポテンシャルが最大値の時の体積含水率はC-40が0.13、RC-40が0.17を示している。これは、間隙内に重力に抵抗して粒状路盤材が保持する最小の水分量（最小含水量）が存在すると考えられる。このことより粒状路盤材は水分を保持し、さらに最小含水量が大きいRC-40の方が保水することが分かる。

c) 雨水浸透メカニズムの解明

実路における散水実験の結果から、下層路盤にC-40を使用している透水性舗装の方がRC-40を使用している舗装に比べ雨水流出抑制効果があることが分かった。また、室内における不飽和浸透特性試験の結果においても、同じ粒度で比較した場合、C-40の方がRC-40に比べ透水性能が優れているという結果であった。このことより、実路で使用した骨材と室内試験で使用した骨材の粒度は若干異なっているものの、透水性舗装は下層路盤の材料の違いが透水性能に大きく影響し、C-40の方がRC-40に比べて優位であることが分かった。これは室内試験結果か

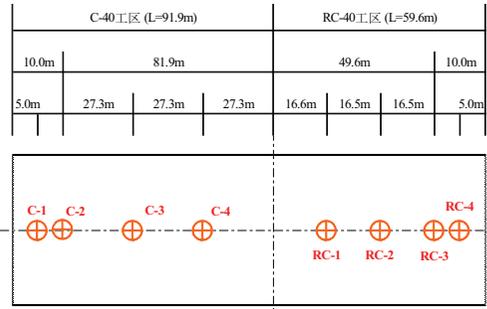


図-13 FWD測定箇所

ら分かるように、C-40は体積含水率が低い状態で高い不飽和透水係数を有している。それは水分保持特性試験結果がRC-40に比べて水分を保持していないことから明らかである。したがって、アスファルト混合物層を流下した雨水は、C-40の場合は水分を保持すること無く下層へ浸透させるのに対し、RC-40は水分を保持し、飽和不飽和透水係数も小さいため下層への浸透が遅くなり、散水実験の結果のように、雨水流出抑制効果に影響を与えたと考えられる。

3. 耐久性に関する検証

透水性舗装は舗装体内に雨水が浸透することから、路床および路盤の支持力の低下が問題視されている。そこで、第二京阪道路の副道でFWDにより支持力の測定を行った。

3-1 調査概要

FWDによる支持力測定は、当該道路は現在建設中であるため供用されておらず交通履歴が無いこと、および施工後数年間は供用されないことから、図-13に示すように、路肩の構造物の影響を受けずに測定が可能である各工区の非わだち部4箇所を測定した。測定時期は施工直後、8ヶ月後（累積降雨量1,116.0ml）および12ヶ月後（累積降雨量1,516.5ml）である。なお、交通量については、工事関係車両がある期間に通過した程度である。

3-2 調査結果

(1) たわみによる評価

透水性舗装は、雨水の浸透による支持力の低下が懸念されている。そこで、FWDのたわみによって支持力の経年変化を検証した。また温度補正に関しては、現在幾つかの方法が提案されているが^{11), 12)}、本研究では財団法人道路保全技術センターが提案する方法を採用した。

各工区の温度補正後の載荷直下のたわみ D_0 の経年変化を図-14に示す。C-40工区の D_0 たわみはほぼ同値である

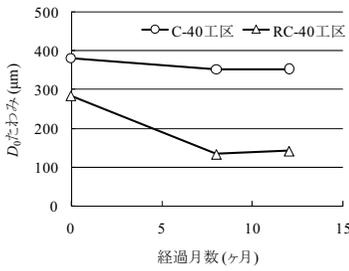


図-14 D₀たわみの経年変化

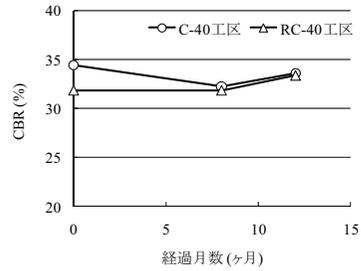
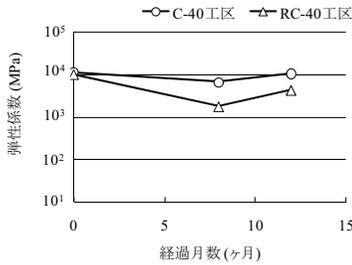
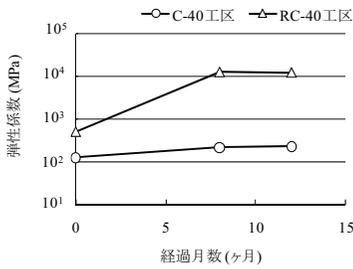


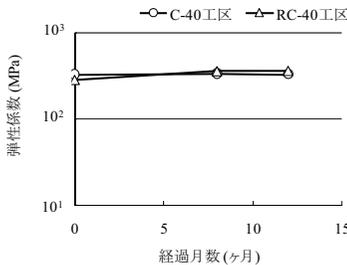
図-16 推定される現状の CBR



a) アスファルト混合物



b) 粒状路盤



c) 路床

図-15 各層の逆解析弾性係数

のに対し、RC-40 工区の D₀たわみは若干減少しているものの、その差は顕著でないことから、雨水浸透によって支持力が低下していない事が分かる。

(2) 弾性係数による評価

FWD たわみを逆解析し、舗装各層の弾性係数を求めた。逆解析には、フリーウェアとして公開されている LMBS を使用した。なお、逆解析はフィルター層を路床に含めて行い、アスコン層の弾性係数は、式(1)により 20℃の弾性係数に補正した¹¹⁾。

$$E_{as(20)} = E_{as(z)} \times 10^{[-0.0184 \times (20 - T_{ave(z)})]} \quad (1)$$

ここに、 $E_{as(20)}$:標準温度 20℃のアスコン層の弾性係数(MPa)

$E_{as(z)}$: T_{ave} ℃のアスコン層の弾性係数(MPa)

$T_{ave(z)}$: FWD 測定時のアスコン層の平均温度(℃)

図-15 に各層の逆解析弾性係数の結果を示す。アスファルト混合物層および路床の弾性係数は時間が経過しても変化はほとんど見られないが、粒状路盤材については変化が見られた。特に RC-40 の変化が顕著であり、図-14 から分かるように、粒状路盤材が以前から言われている水硬性¹³⁾等が D₀たわみの減少に影響を与えていると考えられる。

(3) CBR による評価

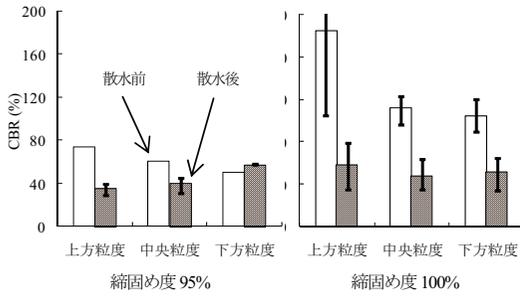
式(2)から算出した現状の CBR¹²⁾の結果を図-16 に示す。

$$\text{現状の CBR}(\%) = \frac{1,000}{D_{150}} \quad (2)$$

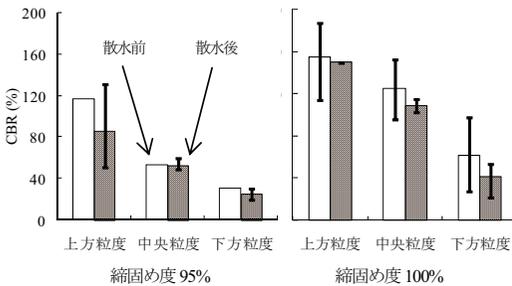
ここに、 D_{150} : 荷重中心から 150cm 位置のたわみ (μm)

この結果は D₀たわみと同様、支持力の低下が見られなかった。これより、工事用車両のような重交通車両が通行したが、その交通量は少ないことから、少なくとも降雨だけでの作用では、耐久性は低下しないということが分かった。

室内での通水実験の結果を図-17 に示す。試験法等に関しては参考文献 14) に譲るものとする。室内実験においても材料の種類の違いで CBR 値に違いが見られた。しかし、



a) C-40



b) RC-40

図-17 室内での通水実験による CBR 値の変化

室内実験結果は CBR 値が低下しているものの、実路においては低下していない。

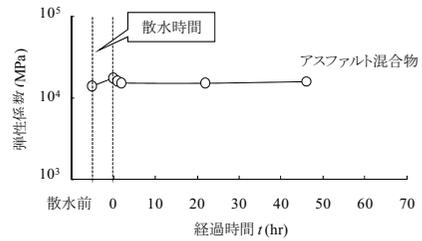
また、著者らは関東地方の市道においても散水実験を行った際に支持力の測定を実施し弾性係数を算出している¹⁴⁾。その結果を図-18 に示す。なお、算出方法は上述した方法と同様である。この結果を見ると、雨水が舗装体内に介在している間は支持力が低下しているが、その後回復している事が分かる。したがって、図-17 の CBR 試験の結果は、材料の最悪の条件である飽和状態で試験を行った結果であり、図-18 でいうところの散水直後の状態である。そういったことから、1,500ml の通水後で最悪の条件である飽和状態においても、支持力は基準値を上回っていることより、素早く下部に浸透させることが可能な粒状路盤材を使用することで、透水性舗装の耐久性を維持することが可能である事が分かった。

4. まとめ

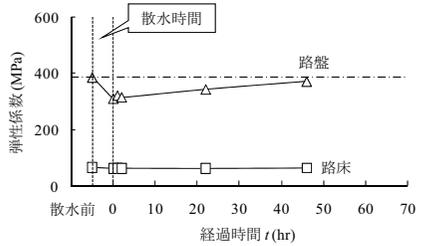
以上の実験結果から得られた知見を以下にまとめる。

① 透水性について

- a) 実路での散水実験の結果、下層路盤に C-40 を使用した透水性舗装の方が RC-40 のそれに比べ雨水流出抑制効果があることを明らかにした。



a) アスファルト混合物



b) 粒状路盤および路床

図-18 実路における散水実験による弾性係数の変化 (粒状路盤材は RC-40 を使用) ¹⁴⁾

- b) 室内における不飽和浸透特性試験の結果、C-40 に比べ RC-40 の方が飽和-不飽和透水係数が小さく、さらに水分を保持しやすいことが分かった。
- c) a), b)の結果から、透水性舗装の雨水浸透メカニズムは、粒状路盤材の不飽和浸透特性が影響し、アスファルト混合物層を流下した雨水は、C-40 の場合は水分を保持すること無く下層へ浸透させるのに対し、RC-40 は水分を保持し、飽和-不飽和透水係数も小さいため下層への浸透が遅くなり、C-40 に比べ溢流開始時間が早く、溢流量が多くなると考えられる。
- d) 実路での散水実験結果と水収支計算 (貯留型・浸透型) との比較から、
 - i. 浸透型の水収支計算では溢流しないにもかかわらず、実験では溢流したことから、飽和透水係数では路床の浸透能力を過大に評価していることを示し、不飽和の考慮による浸透能力の算出が必要である。
 - ii. 貯留型の水収支計算の方が、実験よりも溢流開始時刻が早かったことから、水収支計算では舗装 (アスファルト混合物層・路盤層) の貯留容量を過大に評価していることを示し、不飽和の考慮による貯留容量の算出が必要である。

すなわち、飽和を前提とした現在の水収支算法は、舗装の貯留容量および路床の浸透能力を、共に過大評価していると考えられる。

② 耐久性について

- a) 総降雨量が 1,500ml 以上あったにも関わらず、どちらの工区においても支持力は低下していなかった。
- b) 室内実験結果から、1,500ml の水を通水すると CBR 値は低下していた。しかし、これは飽和状態での結果であり、関東地方の市道での散水実験の結果から、舗装体内に水が介在する時には弾性係数は低下するが、その後回復している。したがって、素早く下部に浸透させることが可能な粒状路盤材を使用することで、透水性舗装の耐久性を維持することが可能であると考えられる。

5. おわりに

著者らは、透水性舗装の粒状路盤材に着目し、雨水浸透が透水性および耐久性に及ぼす影響について検討を試みた。しかし、前述したように既往の研究では軽交通道路の耐久性の低下は見られていないものの、重交通道路での長期的な耐久性や供用後の維持修繕についての検討が必要である。今後は、透水性と耐久性の関係について検討を行うとともに、透水性舗装に最適な材料の選定や舗装構造について検討する予定である。

最後に、現場の提供およびご協力頂きました国土交通省近畿地方整備局近畿技術事務所および浪速国道事務所の関係者の皆様方に、この場を借りて深く感謝致します。

参考文献

- 1) 質疑応答:透水性舗装の実用化に向けた取組み, 舗装, Vol.36, pp.19-20, 2004.
- 2) 土木研究所資料:車道透水性舗装の設計方法確立に向けた検

討, 土木研究所資料第 4008 号, 2008.

- 3) 中西弘光, 浅野耕司, 川西礼緒奈, 高砂武彦:環境に配慮した車道透水性舗装の開発, 舗装, Vol.36, pp.10-17, 2001.
- 4) 野田悦郎, 遠藤 桂, 竹内 康:車道透水性舗装における粒状路盤材の性能に関する一検討, 土木学会第 59 回年次学術講演会, pp.1321-1322, 2004.
- 5) (財)先端建設技術センター:環境に配慮した舗装構造 設計・施工・維持管理要領 (案), 2003.
- 6) 独立行政法人土木研究所:道路路面雨水処理マニュアル (案), 2006.
- 7) 田中裕, 大西有三, 西山哲, 矢野隆夫, 青木一男:透水性舗装の都市型洪水抑制のための雨水浸透に関する研究, 土木学会第 61 回年次学術講演会, pp.317-318, 2006.
- 8) 工藤アキヒコ, 西垣誠, 西方卯佐男, 鳥居剛, 浅田昌蔵:粗粒材の不飽和浸透特性の測定と粒度による影響, 土木学会論文集, No.743, III-64, pp.77-87, 2003.9.
- 9) 森石一志, 大西有三, 西山哲, 矢野隆夫, 小関裕二:不飽和浸透特性を考慮した透水性舗装の透水性能に関する研究, 土木学会舗装工学論文集 第 13 巻, pp.63-71, 2008.
- 10) 社団法人 日本道路協会:舗装調査・試験法便覧 [第 4 分冊] F007, [4]-119~130, 2007.
- 11) 雑賀義夫, 阿部長門, 姫野賢治, 丸山暉彦:FWD から得られる特性値の温度補正に関する検討, 舗装, Vol.30, pp.10-15, 1995.
- 12) (財)道路保全技術センター:活用しよう!FWD, 2005.
- 13) 後藤教司, 浅野耕司, 長崎洋:透水性舗装の生活道路への適用について, 第 25 回日本道路会議, 09052, 2003.
- 14) 森石一志, 大西有三, 西山哲, 矢野隆夫, 小関裕二:雨水浸透による車道透水性舗装の諸性状変化に関する一考察, 土木学会舗装工学論文集 第 12 巻, pp.107-114, 2007.

INFLUENCE OF TYPE OF GRANULAR MATERIALS ON PERMEABILITY AND DURABILITY OF PERMEABLE PAVEMENTS

Kazushi MORIISHI, Yuzo OHNISHI, Satoshi NISHIYAMA
Takao YANO and Hiroji KOSEKI

Considering application of permeable pavements into traffic roadways, our concern is decrease in infiltration capacity of porous asphalt concrete due to clogging as well as reduction of bearing capacity of subgrade and sub-base due to cyclic loading under saturated condition. In calculation of flood control capacity of a permeable pavement, the paved surface and the sub-base are generally treated as well-drained layers, and the hydraulic conductivity of the subgrade is only taken into consideration. However, some types of sub-base course material are thought to be poor drained depending on the quality and the grain size distribution. Also, it is not clearly determined how the seepage water effects on pavement durability. To investigate flood control capacity of a permeable pavement and change in the bearing capacity, we carried out watering tests on a test field paved with a permeable pavement, and FWD-tests before and after watering. Permeability tests on sub-base course materials under unsaturated condition were also conducted in laboratory in order to grasp the relationship between the saturation degree and the hydraulic conductivity of the materials and to interpret the water balance that was observed in the watering tests on the test field.

振動ローラの加速度応答を利用した 舗装工事の品質管理に関する研究

小関裕二¹・牛袋昭宣²・高倉拡³・古屋弘⁴

¹正会員 博(工) 大林道路株式会社 技術研究所 (〒204-0011 東京都清瀬市下清戸 4-640)

E-mail : koseki@obayashi-road.co.jp

²大林道路株式会社 技術研究所 (〒204-0011 東京都清瀬市下清戸 4-640)

³大林道路株式会社 エンジニアリング部 (〒131-8540 東京都墨田区堤通 1-19-9 リバースイド 隅田セントラルタワー 5F)

⁴正会員 博(工) 株式会社大林組 生産技術本部 (〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟)

建設工事における情報化施工は、GPSなどのポジショニング技術に施工機械の高度な油圧制御技術を組み合わせることにより、施工の自動化が急速に進んでいるが、舗装工事における品質管理にまでは適用されていない。そこで、舗装工事における情報化を活用した品質管理を実現するシステムを構築することを目的として、振動ローラの加速度応答を利用した方法について検討した。振動ローラの加速度応答値から地盤弾性係数を算出し、室内試験から求めたレジリエントモデュラスから施工面の平均弾性係数を求め、両者の相関を確認した。それらの関係から、舗装の理論的設計方法と連動した室内試験結果と加速度応答値によって、施工時にリアルタイムに品質管理を行うことが可能なシステムを提案した。

Key Words : vibratory roller, roller accelerations, compaction control, quality control, resilient modulus

1. はじめに

建設工事における情報化施工は、信頼性設計のツールとして現場計測管理から CALSEC の普及に伴う情報の電子化共有等、急速に進展しつつある。建設分野における ICT (情報通信技術) の導入が着実に進められる中、2008年7月には国土交通省から「情報化施工推進戦略」が打ち出され、建設工事において広範囲な情報化施工を推進していく方針が明確となった。近年においては、道路土工において3次元のデジタル設計データを使用した施工管理および出来形管理も実用段階に入ってきている。

これらの背景にはコンピュータの普及とその高速化を基盤として CAD による設計図書の電子化や各種センサー技術、現場通信技術が重要な役割を果たしており、とりわけ GPS (全地球測位システム) や自動追尾トータルステーションといったポジショニング技術の急速な発達により、高精度なリアルタイム位置計測が可能となってきた点が大きく貢献している。そして、これらの技術に施工機械の高度な油圧制御技術を組み合わせることにより、施工の自動化が急速に進むこととなった。欧米では既にこのようなシステムを施工の省力化のみならず、調査・設計、施工、維持管理の建設施工プロセス全体の合理化に向けて活用するための検証も進みつつある¹⁾。

日本においても、これらの技術を土工事等に導入することで施工管理、特に出来形管理の技術が飛躍的に進歩した。ただし、舗装工事における品質管理にまでは適用されておらず、従前からの締固め度を測点毎に測定するサンプル管理の手法に拠っている現状にある。既往の研究として、振動ローラに走行型 RI 密度測定器を取り付け、自己位置検出装置によって面的な締固め度管理を試みたものがあるが²⁾、実施工での実績はない。また、施工管理用としてローラ等の転圧回数を GPS による位置情報で管理するシステムについては既に実用化されている³⁾。一方、米国 FHWA では Intelligent Compaction 戦略プランとして、転圧中に材料剛性を測定・記録し、ローラを自動制御することで、情報化による QC/QA の向上および舗装工事を合理化するプロジェクトが進行中である⁴⁾。

そこで筆者らはこれらの状況をふまえ、現在、GPS と振動ローラの加速度応答による施工管理技術を組み合わせ、舗装工事における品質の全体管理を実現するシステムを構築することを最終目的とした研究開発に取り組んでいる。本文は、それらの研究の内、舗装工事に振動ローラの加速度応答による施工管理技術を適用することについて検討した結果を述べるものである。



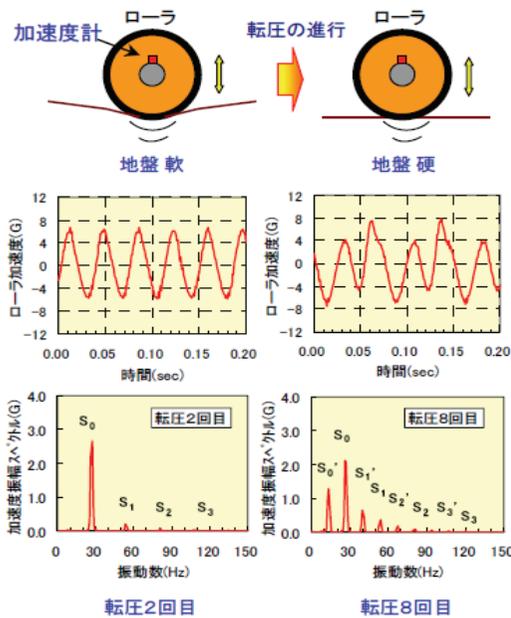


図-1 加速度計測および周波数分析例⁷⁾

2. 加速度応答を利用した地盤剛性の評価

(1) 評価手法の概要

振動ローラで地盤の締固めを行った場合、転圧の進行による地盤の剛性の増加にともない、地盤からの反発を受けることにより振動ローラの加速度波形が乱れ、その周波数を分析することで締固め度の変化を計測することが可能となる⁹⁾。土工では、この加速度応答を利用して締固め度をリアルタイムに全体管理する評価手法が既に実用化されており、NEXCO 各社では路床の検査時に採用 (JHS123：ローラ加速度応答法による剛性測定試験方法) されている。

本研究では、この土工で採用されている方法を舗装工事に適用した。この方法によって、舗装工事の品質管理の合理化を目的として、転圧ローラの加速度応答を利用し、舗装をリアルタイムに評価できる方法を目指した。

(2) 評価手法の原理

本研究において計測した加速度応答値は、藤山・建山による理論式⁶⁾で地盤変形係数 (以下、 E_{roller} と記す) に変換して用いた。

図-1 に加速度計測および周波数分析結果の一例を示す。転圧の進行による地盤の剛性の増加に伴い、振動ローラの加速度応答の波形は乱れ、その周波数解析において振動ローラの振動数以外の成分 (高周波スペクトル S_1, S_2, S_3 ならびに $1/2$ 分数調波スペクトル S'_1, S'_2, S'_3) が卓越する。この性質を利用して「乱れ率」を定義する。

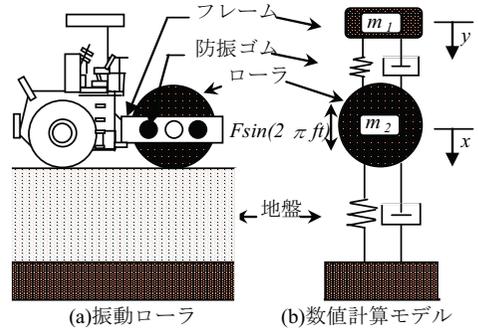


図-2 振動ローラの数値計算モデル

式(1)に乱れ率の算出式を示す (変数の意味は図-1 および図-2 参照)。乱れ率が大きいほど地盤が締固まっていることを表す。

$$\text{乱れ率} = \frac{\sum_{i=1}^3 S_i + \sum_{i=1}^3 S'_i}{S_0 + S'_0} \cdot \frac{F}{(m_1 + m_2)g} \quad (1)$$

ここに、 S_0, S'_0 ：加速度スペクトル(G)

F ：起振力(kN)

f ：振動数(Hz)

m_i ：質量(kg)

g ：重力加速度(m/s^2)

振動ローラの挙動を図-2 に示す数値計算モデルを用いて解析し、式(2)を用いて地盤弾性係数 E を算出することができる (変数の意味は図-1 および図-2 参照)。この藤山・建山による理論式によって得られる E 値を E_{roller} とした。

$$E = \frac{2 \cdot (1 - \nu^2)}{B \cdot \pi} \cdot \frac{\left(\frac{4}{3} \text{乱れ率} + 1\right)^2 \cdot (2\pi f)^2 \cdot m_2}{1 - 0.32\alpha + \sqrt{0.1024\alpha^2 - 1.64\alpha + 1}} \quad (2)$$

$$\alpha = 1 - \left(\frac{F}{(m_1 + m_2)}\right)^2$$

ここに、 ν ：ポアソン比 (0.33 と仮定⁸⁾)

B ：振動輪幅(m)

f ：振動数(Hz)

3. 加速度応答を利用した舗装の品質管理手法

(1) 舗装の品質管理手法の概要

『舗装設計便覧 (社) 日本道路協会』⁹⁾には、「経験に基づく設計方法」と「理論的設計方法」が記載されている。「経験に基づく設計方法」において用いられる材料特性値は等値換算係数であり、実際の力学的特性を示す E_{roller} とは異質のものである。これに対して「理論的設計方法」は、舗装材料の弾性係数とポアソン比を設定し、

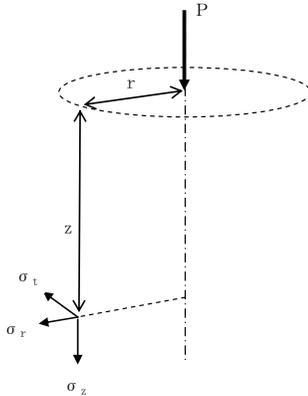


図-3 円筒座標による地盤内応力表示

疲労破壊回数を計算して舗装断面を設計するものである。このため、地盤弾性係数である E_{roller} は理論的設計方法によって設計された舗装の施工管理に適していると考えられる。

そこで、舗装の理論的設計方法で設定される弾性係数と E_{roller} の関係を利用した品質管理手法を検討した。

(2) 施工面の弾性係数

E_{roller} は施工面における地盤の剛性を表す。したがって、品質管理手法に使用するためには表面で計測される弾性係数に対応させる必要がある。多層構造における理論的な平均弾性係数(以下、 E_h と記す)は式(3)によって算出できる。

$$E_h = \left(\frac{H_1 E_1^{1/3} + H_2 E_2^{1/3} + \dots + H_n E_n^{1/3}}{H_1 + H_2 + \dots + H_n} \right)^3 \quad (3)$$

ここに、 E_h : 平均弾性係数 (MN/m²)
 E_n : n層目の弾性係数 (MN/m²)
 H_n : n層目の厚さ(m)

(3) 各層の弾性係数

理論的設計方法においては舗装材料毎の弾性係数をパラメータとして用いるが、繰返し三軸圧縮試験により得られるレジリエントモデュラス (以下、 Mr と記す) を実測することが望ましいとされている。そこで、本研究においても Mr を用いることとしたが、 Mr は拘束応力によって値が変わる。そこで、舗装内応力は Boussinesq 理論によって算出した。

Boussinesq 理論は、図-3 に示すように半無限弾性体の表面に集中荷重が作用したときの任意の点における応力を求めることができる¹⁰⁾。しかし、多層系の場合、Burmister 理論によって、2層弾性係数比で応力分布が変わることが明らかである。また、振動ローラの接地応力分布に関しては、ほとんど解明されておらず¹¹⁾、走行状態では、最

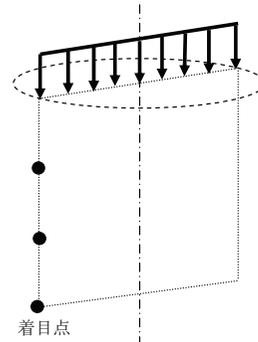


図-4 ローラ荷重による舗装内応力の着目点

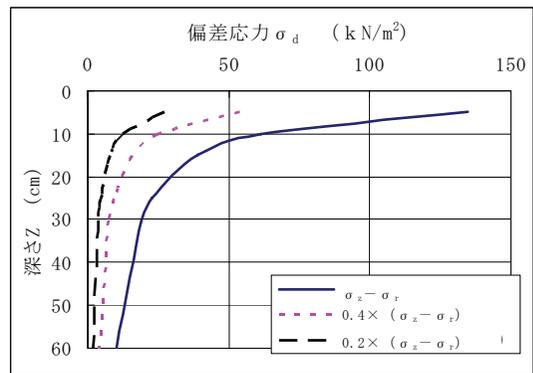


図-5 ローラによる地盤内応力

大応力は接地面直下に発生しない^{11),12)}。さらに、Boussinesq 理論の計算値と実測値を比較した結果、舗装体内の応力解析には 0.4 倍するなどの補正係数を用いることによって利用できる¹³⁾との報告もある。すなわち、振動ローラによって生じる地盤内応力を正確に把握することは困難である。そこで、本研究では、Boussinesq 理論による計算値を補正することで、舗装内応力を推定することにした。

本研究では、ローラによる荷重を図-4 に示す線荷重として、舗装内応力を算出した。着目点は、加速度計を取付けるローラ端部の直下として、4 トンコンパインドローラの鉄輪のローラ幅 (130cm) と起振力 (34.3kN) から舗装内応力を算出した。

Boussinesq 理論によって、ローラ荷重で発生する舗装内応力を算出すると、図-3 に示す σ_t は、 σ_z と σ_r に比べて小さい。一方、後述する舗装材料の Mr 試験の結果では、偏差応力 (以下、 σ_d と記す) と Mr が線形関係にある。そこで、ローラ荷重による σ_d の状態で Mr を決定した。本研究では、 σ_t を用いずにローラ荷重によって発生する σ_d を $(\sigma_z - \sigma_r)$ とした。

Boussinesq 理論で σ_d を算出した結果を図-5 に示す。図-5 には、 σ_d を 0.4 倍したものと 0.2 倍したものについてもプロットしている。本研究では、振動ローラによって



図-6 舗装構成 (単位: mm)

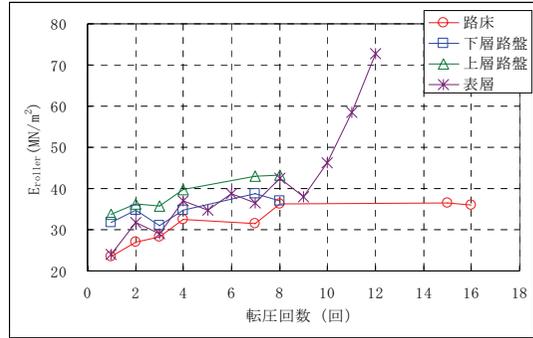


図-7 転圧回数と E_{roller} の関係



写真-1 振動ローラ (4 トンコンパインドローラ)

舗装体内に発生する応力を Boussinesq 理論で算出するが、加速度応答を利用した E_{roller} と施工面の弾性係数 E_h が一致する補正係数についても検討した。

各層の弾性係数は、ローラ荷重によって、深さ z (cm) に発生する σ_d を各材料の Mr 試験 (繰返し三軸圧縮試験) から得られる式(4)に代入して算出した。

$$Mr = k_1 \sigma_d^{k_2} \quad (4)$$

ここに、 Mr : レジリエントモデュラス (MN/m²)
 σ_d : 偏差応力(kN/m²)
 k_1, k_2 : 材料係数

(4) 品質管理手法の流れ

E_{roller} を品質管理に利用するための流れを以下に示す。

- ① Mr 試験によって式(4)の係数 k_1, k_2 を求める。
- ② 舗装断面からローラで発生する σ_d を算出する。
- ③ σ_d を式(4)に代入し各層の弾性係数を求める。
- ④ 各層の弾性係数から式(3)で E_h を求める。
- ⑤ $E_h = E_{roller}$ として、 E_{roller} を管理基準値として管理する。

E_{roller} を品質管理に用いるために、上記②の σ_d は重要なパラメータである。

4. 試験施工による検証

(1) 検証試験の概要

舗装各層上面で計測される E_{roller} と Mr から求める E_h と

の関係を検証するため、図-6 に示す断面構成の舗装を構築し各種試験を行った。材料は、路床として砕砂、下層路盤として RC-40、上層路盤として M-30、表層として密粒度アスファルト混合物を使用した。

写真-1 に使用した振動ローラ (4 トンコンパインドローラ) の写真を示す。GPS、加速度計、解析装置、ノート PC を既存のコンパインドローラに取り付け、リアルタイムに転圧位置における E_{roller} をモニタリングしながら転圧作業を行うことができるようになっている。使用したローラは、舗装工事で一般的に使用されているものである。その主な仕様は下記のとおりである。なお、本研究では、高振幅で測定を行った。

- ・ 機械質量: 3,230kg
- ・ 前輪質量: 1,990kg
- ・ 起振力 (低振幅/高振幅): 26.5kN/34.3kN
- ・ 振動数 (低振幅/高振幅): 55Hz/55Hz
- ・ 締固め幅: 1,300mm
- ・ 前輪 (径×幅): 800mm×1,300mm
- ・ 起振機: 一軸偏心 (装着位置: 前輪)

なお、舗装工事における E_{roller} の適用性については、既に検討を行っている^{14),15)}。その結果として、①土工事では実績のない 4 トン振動ローラが適用可能であること、②路盤工、基層工でも転圧回数によって E_{roller} が増加すること、③FWD のたわみから Burmister 理論で算出した地盤弾性係数と E_{roller} に明確な相関があることなどを確認した。

なお、以下に示す現場試験の結果は、測定データの平均値を用いている。

(2) 各種試験結果

a) 加速度応答値¹⁶⁾

転圧回数と E_{roller} の関係を図-7 に示す。路床は 16 回、上・下層路盤は 8 回、表層は 12 回まで転圧した結果である。どの層も転圧回数とともに E_{roller} の増加傾向が見られる。また、アスファルト混合物層を除き、路床・下層路盤・上層路盤という施工にしたがって E_{roller} が大きくなる

表-1 各施工面の E_{roller}

	E_{roller} (MN/m ²)
路床	36.0
下層路盤	37.1
上層路盤	43.3
表層 (8回)	42.6
表層 (12回)	72.8

表-2 密度試験結果

	締固め度 (%)	含水比 (%)
路床	97.7	5.2
下層路盤	97.6	4.3
上層路盤	97.2	4.5
表層	98.2	—

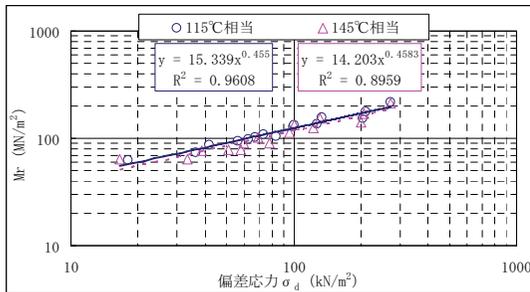


図-8 エンジンオイル混合物の M_r 試験結果

傾向がある。アスファルト混合物層は10回転時(表面温度60℃)以降の増加が著しく、温度低下によるアスファルトの粘度の影響を顕著に受けているものと思われる。

路床、上・下層路盤の仕上がり面と表層8回転時(表面温度65℃)および12回転時(表面温度38℃)における E_{roller} は表-1に示すとおりである。

b) 現場密度試験

路床、上・下層路盤の仕上がり面における現場密度試験結果による締固め度および含水比と表層の切り取りコアの締固め度を表-2に示す。路床・路盤は、最適含水比より乾燥側で仕上がっている。

c) M_r 試験

路床および路盤については、表-2に示した現場の締固め度および含水比で供試体を作製し、 M_r 試験を行った。表層については、締固め度95%のアスファルト混合物が115℃の状態にある場合をエンジンオイル混合物によるシミュレーション実験で求めた¹⁷⁾。エンジンオイル混合物とは、アスファルト混合物のアスファルトをエンジンオイルに置き換えたもので、施工時のアスファルトの粘度と同じ粘度を常温で得られるエンジンオイルを用いることで、施工中のアスファルト混合物を再現したものである。図-8は、締固め度95%のエンジンオイル混合物を115℃および145℃相当の粘度で M_r 試験を行った結果である。両者に大きな差は見られない。表-1に示した8回転時の表面の温度は65℃だが、内部温度はもう少し高温であり、動的な荷重におけるアスファルト混合物の M_r は高温の場合、大きな差が見られないこと、8回転時の

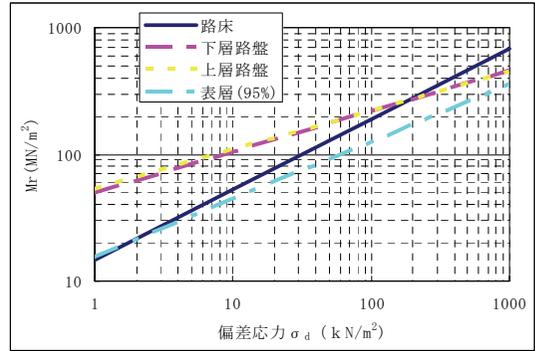


図-9 M_r 試験結果

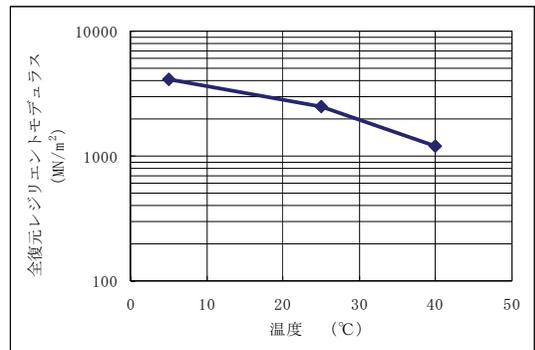


図-10 切り取りコアの M_r 試験結果

表-3 各材料の M_r

	M_r (MN/m ²)
路床	$M_r=14.65\sigma_d^{0.5549}$
下層路盤	$M_r=49.64\sigma_d^{0.3199}$
上層路盤	$M_r=53.09\sigma_d^{0.3077}$
表層 (95%, 115℃)	$M_r=15.34\sigma_d^{0.4550}$
表層 (98%, 38℃)	1,358

締固め度は95%程度であると仮定し、現場の条件を室内で再現した。図-9に M_r 試験結果をまとめたものを示す。

また、表層については、切り取りコアによる繰返し間接引張試験を行い、仕上がったアスファルト混合物の M_r を求めた。その試験結果は図-10に示すとおりであり、図から12回転時の温度(38℃)における M_r を推定した。

以上の M_r 試験をまとめると表-3に示すようになる。

(3) E_h の算出

路床の E_h は、4トンコンバインドローラの影響深さが60cm程度である¹⁸⁾ことから、深さ60cmにおける σ_d を用いて、表-3の式から算出した M_r を E_h とした。ただし、路床については、多層ではないが、理論値を0.4倍した偏差応力を用いることで、 E_h と E_{roller} がほぼ一致したので、全ての条件において、0.4倍の補正値を用いた。

路盤および表層(締固め度95%)については、図-11に示すように施工する材料の底部における σ_d から、表-3

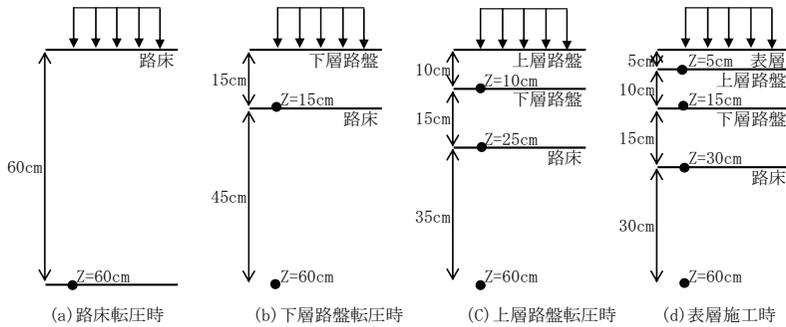


図-11 舗装内応力の計算位置

に示す式で M_r を算出し、式(3)で E_h を求めた。材料の底部における σ_d を用いたのは、振動ローラによる締固めでは、加速度応答は影響深さにおける最も弱い部分が反映されると考えたからである。締固め度 98%の表層の M_r は表-3 の値を用いて E_h を求めた。

算出した E_h と表-1 に示した E_{roller} を比較すると図-12 のようになる。路盤および表層については、Boussinesq 理論で算出される偏差応力を 0.2 倍したもので各層の M_r を求め、それを合成した E_h が E_{roller} とほぼ一致することがわかる。したがって、路床からアスファルト混合物まで、同じ手法で施工時の E_h を求めることができることが確認できた。

5. 舗装品質管理システムの提案

本研究では、振動ローラの加速度応答値を用いた舗装工事の品質管理手法について検討した。振動ローラによって発生する舗装内応力として、Boussinesq 理論から得られた値を補正することで、試験施工から得られた E_{roller} と室内試験から理論的に求めた E_h は、ほぼ一致する結果が得られた。

以上の結果より、振動ローラの加速度応答値を用いた舗装の品質管理をシステムとしてまとめると、図-13 に示すようなフローとなる。フローは以下の3つの要素から構成される。

- ① 舗装構造の理論的設計
- ② 管理システムによる品質管理の準備
- ③ 管理システムによる品質管理の実施

①舗装構造の理論的設計には、使用材料の M_r が必要であり、②管理システムによる品質管理の準備で実施する M_r 試験結果を用いることができる。 M_r 試験の条件は、設計条件を用い、設計舗装構造が決定したら、その構造で Boussinesq 理論によって舗装内応力を求める。このように、理論的設計にリンクした E_h を E_{roller} として、施工時の基準値として扱うことができれば、上記③のシステム

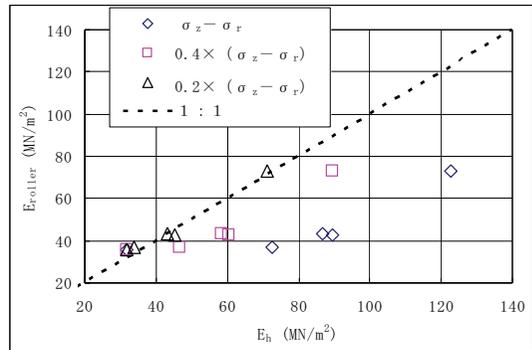


図-12 E_h と E_{roller}

によりリアルタイムに各層の締固め管理が可能になる。また、GPS やトータルステーションなどのポジショニング技術と組み合わせることで、測点によるサンプル検査ではなく、面的な管理ができる。それをデータベース化し、品質管理書類とすることができれば、現場試験や検査書類作成の省力化につながるだけでなく、舗装工事の工期短縮、品質向上に寄与することになると思われる。

6. おわりに

従来、舗装は経験に基づく設計方法で設計し、締固め度という間接的な指標によるサンプル管理でその品質が保証されてきた。このため、条件の変化に対する信頼性の確保が不十分で、かつ例えば産業副産物など施工実績の少ない材料の利用が難しいという課題があった。

今回の成果から加速度応答による管理手法を確立できれば、全数管理により品質の向上が図れる他、不要な転圧作業を省いた省エネルギー、CO₂の削減にも結びつく。また、理論的設計方法に用いる材料定数を舗装材料の品質として直接的に管理できることから使用実績の少ない建設副産物の活用も可能となり、総じて環境保全に寄与することになると期待される。

今後の課題として、①载荷条件等によって異なること

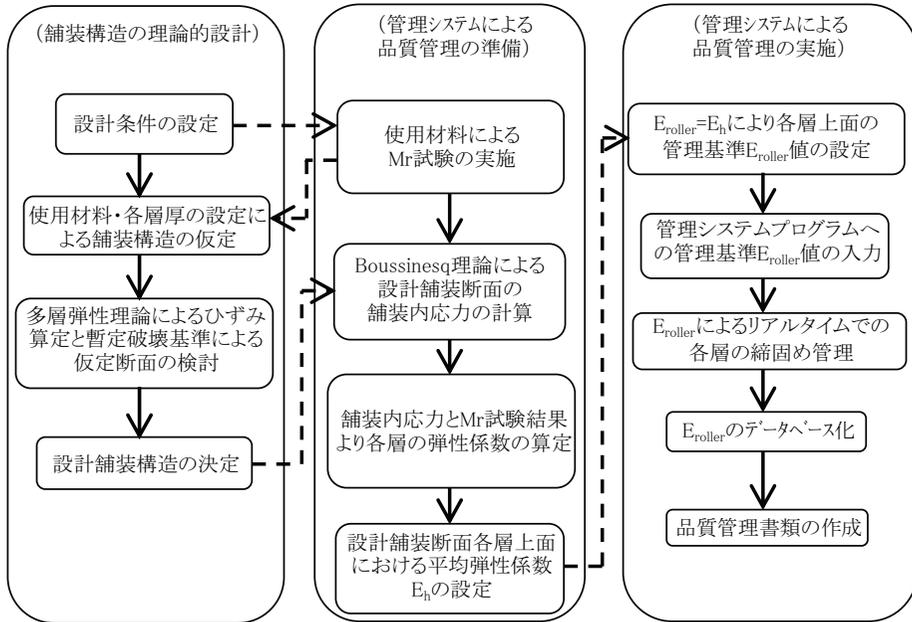


図-13 舗装品質管理のフロー

が予想される E_h の設定方法, ②加熱アスファルト混合物の Mr の妥当性の確認, ③ E_{roller} や Mr のばらつきに対する信頼性の確認などが挙げられる. 更に検証を進め舗装の品質管理手法として実用化に向けた検討を行う予定である.

最後に検証試験等で多大な協力をいただいた関係各社の皆様に感謝の意を表するとともに, 検証試験の一部が国土交通省の建設技術開発助成制度の適用によるものであることを付記する.

参考文献

- 1) 情報化施工に関する米国調査報告会, 2008.12. (講演資料: 情報化施工ポータルサイト <http://cmi-ics.jp/index.html>)
- 2) 建設省土木研究所, 財団法人先端建設技術センターほか13社: 舗装における合理化施工技術の開発に関する共同研究報告書, 平成7年6月.
- 3) 植木睦央: 複数の情報化機械を組み合わせた総合的な土工管理システムについて, 舗装, pp.27-32, 2008.8.
- 4) <http://www.intelligentcompaction.com/>
- 5) 藤山哲雄, 古屋弘: 振動ローラ加速度応答を利用した地盤剛性評価装置の開発, 平成16年度管内技術研究発表会(近畿地方整備局), 2004.
- 6) 藤山哲雄, 建山和由: 振動ローラの加速度応答法を利用した転圧地盤の剛性評価手法, 土木学会論文集 No.652/III-51, pp.115~123, 2000.6.
- 7) α システム研究会: パンフレット, 2007.4.
- 8) 藤山哲雄, 益村公人, 建山和由, 石黒健, 三嶋信雄: 種々の土質条件に対するローラ加速度応答法の締固め管理への適用性, 土木学会論文集 No.701/III-58, pp.169-179, 2002.3.
- 9) 社団法人日本道路協会: 舗装設計便覧, 2006.2
- 10) 例えば, 松野三郎, 養王田栄一, 三浦裕二, 飯島尚: 道路舗装の設計, 道路建設講座5, 山海堂, 昭和49年12月.
- 11) ローラ設計指針作成委員会: 転圧ローラ工学—締固め性能に着目して—, テラメカニクスライブラリー3, テラメカニクス研究会, 1999.10.
- 12) 秋元洋胤, 早野公敏: 移動ローラ載荷装置の試作と移動載荷試験による模型地盤の応力分散, 土木学会舗装工学論文集, 第9巻, pp.241-249, 2004.12.
- 13) 南雲貞夫, 阿部忠行, 安崎裕, 飯田章夫: 道路舗装の設計, 道路実務講座6, 山海堂, pp.103, 昭和59年3月.
- 14) 根本司, 高倉拓, 古屋弘: 振動ローラの加速度応答による舗装工事の品質管理手法の合理化の検討, 平成20年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集, 社団法人日本建設機械化協会, pp.111-116, 2008.10.
- 15) 根本司, 高倉拓, 古屋弘: 舗装工事の品質管理の合理化 (GPSと振動ローラの加速度応答を利用した検討), 建設機械, 7月号, 2009.7.
- 16) 小関裕二, 高倉拓, 古屋弘: 振動ローラの加速度応答を利用した舗装工事の剛性評価, 土木学会, 第63回年次学術講演会講演概要集, 第V部門, 2009.9.
- 17) 小関裕二, 高倉拓, 古屋弘: アスファルト混合物の施工時におけるレジリエントモデュラス, 第28回日本道路会議論

文集, 2009.10.

木学会, 第 63 回年次学術講演会講演概要集, 第III部門,

- 18) 藤山哲雄, 高橋浩, 古屋弘, 疋田喜彦: 振動ローラ加速度
を利用した締固め管理手法による地盤評価深さの検討, 土

2009.9.

STUDY ON QUALITY CONTROL OF PAVEMENT CONSTRUCTION BY ACCELERATION OF VIBRATORY ROLLER

Hiroji KOSEKI, Akinobu USHIBUKURO, Hiromu TAKAKURA and
Hiroshi FURUYA

Recently, information and communication technology rapidly have been developed. Especially, positioning technology by GPS and automated machine control technology have been applied for construction sites. However, quality control technology has not been developed for pavement construction. Then, we focus that the behavior of the vibrating rollers changes according to the ground stiffness. We studied the method of quality control for asphalt pavements by acceleration of vibratory rollers. The accelerations of a vibrator roller were measured on subgrade, sub-base course, base course and surface course at the test construction yard. The ground moduli of each layer were calculated by acceleration data. The results showed that the ground moduli would be applied for the quality control of pavement construction. On the other hand, resilient moduli of each layer material were investigated at the laboratory. Resilient modulus can be used for the theoretical design method of asphalt pavements. From results of laboratory tests, the average modulus was calculated. Comparing ground moduli of field test with average moduli of laboratory test, we found the good relationship of both moduli. Finally, we suggested the method of quality control for asphalt pavements construction combined with theoretical design method of asphalt pavements.