

目 次

研究・開発

- ポーラスコンクリート舗装の配合設計法と景観性向上について 藤井秀夫・茨木浩一郎 1
- スチールファイバの塩水環境下の腐食に関する考察 入矢桂史郎 6

海外出張報告

- PDRG Workshop2023 in Atlanta 森石一志 8
- 7th BESETO2023に参加して 横山昂洋 15
- 第27回世界道路会議(ブラハ大会)参加報告 小林靖明 17

施工報告

- 外構工事におけるタフアスコンの施工事例 成瀬慎治・形部陽祐 21
- 48時間ランプ閉鎖における「BLG」の施工事例 阿久津健次・坂井貴博 25
- 高速道路における車線規制を伴うIH式舗装改良工の施工事例 松岡徹・高沢利之 29
- セメントレス土系舗装の施工事例 吉田浩介 33
- オーククレ－Rの法面部への適用例 吉田一喜・藤井秀夫・古谷野拓 37
- 東北自動車道における高耐久上層路盤の施工 菊地太・森本敦之 41
- 発砲スチロールボイドを用いた中空床版打換工の施工事例 松本健太郎・海老原雅彦 45
- トンネル舗装工事におけるBIM/CIM活用についての取り組み事例 和田剛央・大森大介 49
- 西日本最大規模の住宅展示場『ウェルビーみのお』の施工 高橋佳郁・小鹿珠菜・丸武司・阪上淳一 53
- 3Dデータを活用したワンマン測量による生産性の向上事例 藤本隆二・鷺峰歩・園田寛規 57
- 激しい漏水箇所での管更生(光硬化工法)の適用事例 阿部 仁 61
- 高速道路における横断排水管の破損補修事例 山路純平・安藤博紀 65

社外発表(土木学会第78回年次学術講演会—令和5年9月)

- 歩行空間の評価方法の新たな取り組み 森石一志・山口雄希・鈴木啓祐・幸谷宥毅・富山和也 69
- 道路整備を意識した商店街の賑わいの定量化とその測定 嶋崎明代・光谷修平・堀温子・堀繁 71
- 輪荷重走行試験による複層型プレキャストコンクリート舗装の耐久性評価 横山昂洋・松下陽哉・光谷修平・西澤辰男 73
- 土のうの繰返し平板載荷試験 その3：反力装置と実験機構の改良 丸尾繁・井土彪力・光谷修平・西村奈都・木戸隆之祐・木村亮 75
- HWT試験による半たわみ舗装および高耐久型アスファルト混合物の評価 小林靖明・滝井陵太・東本崇 77
- 地震時の内水型パイプラインに発生する管材変形の周波数解析に関する研究 本間順・北野原朋宏・鈴木哲也・木津和樹・萩原大生 79
- モデルパイプラインによる水撃作用を利用した漏水波の
非破壊・非接触検出に関する研究 北野原朋宏・本間順・鈴木哲也・木津和樹・萩原大生 81

社外発表(第23回舗装技術に関する懸賞論文)

- プラントミックスタイプのコンクリート床版用グース
アスファルト混合物の開発(研究開発部門 優秀賞受賞) 上地俊孝・東本崇・滝井陵太・下鎔鎮・川上篤史 83

社外発表(第35回日本道路会議—令和5年11月)

- 街路の「賑わい度」測定事例 嶋崎明代・光谷修平・堀温子・堀繁 89
- コンクリート廃材とスラグによるCO₂ 吸着型低炭素舗装 茨木浩一郎・光谷修平・林浩範・鷹野明 91
- プラントミックスタイプのコンクリート床版用グースアスファルト
混合物のプライマの検討 滝井陵太・上地俊孝・東本崇 93
- 3次元点群データを使用した歩行空間情報の包括管理 山口雄希・森石一志・幸谷宥毅・鈴木啓祐・富山和也 95
- プレートコンパクタとハンドローラの転圧特性比較例 佐藤愛琉・光谷修平・丸尾繁・木戸隆之介 97
- 植物由来の再生用添加剤を使用した再生アスファルト混合物の検討 小林靖明・滝井陵太・東本崇 99
- 中和反応型常温アスファルト混合物の強度確認方法に関する一検討 新堀詩織・上地俊孝 101
- マグネシウム系固化材を用いた土系舗装材の溶出物質が植栽へ及ぼす影響 古谷野拓 103
- レーザー技術によるフッ素樹脂ライニングと土砂類付着抑制技術 光谷修平・川淵達巳・山下将弘 105

社外誌掲載(雑誌「舗装」令和5年)—報文記載なし

- 中和反応型中温化混合物の開発と再生利用の検討(3月号) 新堀詩織・上地俊孝
- 環境に配慮した土系舗装材の開発(6月号) 古谷野拓・藤井秀夫・根本哲夫・中村航
- ユーザーの声を反映した中和反応型常温混合物の改善(7月号) 上地俊孝・新堀詩織・東本崇

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

企業理念を実現するための経営規範と行動規範

経営規範

1. 人々の期待に応え時代を先取りした技術により
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

ポーラスコンクリート舗装の配合設計法と景観性向上について

藤井 秀夫*
茨木 浩一郎**

1. はじめに

ポーラスコンクリート舗装は、碎石、砂、水および混和剤からなるポーラスコンクリートをアスファルトフィニッシャまたは人力で敷きならし、振動コンパクタやゴム巻タンデムローラなどで締固めて仕上げる舗装である。ポーラスコンクリート舗装には、以下のような特徴や適用箇所がある。

特徴としては空隙率が 15%以上で、透水性(透水係数 $10 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ 以上)および保水性があり、素早く雨水を吸収し、地中に徐々に浸透させる。この効果によって、降雨時の滞水によって生じる歩行者への水はねを防止できることや、歩道の水はけを良くし歩行性を改善する。

空気の流通性もよく雨水を地中に還元できるので、地中を自然の状態に保ち、樹木の育成に効果がある。雨水流出抑制施設として治水対策効果が期待される。保水した水の舗装面からの蒸散の効果や、舗装面が白色系で高空隙であることに起因する夏期の照り返しの抑制によって、アスファルト舗装に比べ温度上昇を抑制する。

コンクリート舗装であるので、耐流動性、交通荷重による空隙つぶれ、耐油性およびタイヤの旋回や据え切り作用による骨材飛散などに対して優れている。

適用箇所としては、歩道・園路・広場、自転車道、駐車場・料金所などの車両が滞留する箇所および構内舗装・建築外構が主なものである。しかしながら、車道への適用事例がほとんどなく、ポーラスコンクリートの優れた特性を生かし切れてはいない。

そこで、本文では、ポーラスコンクリートの車道対応(曲げ強度 4.4N/mm^2 以上)を目標とした配合設計法の提案と景観性向上を確認するために実施した試験施工の結果について報告する。

2. 配合設計

2-1 配合の留意点

ポーラスコンクリートとは、粗骨材の粒子同士をモルタルおよびペーストによって結合する混合物であり、一般的には配合の指標として、ペースト粗骨材空隙比(K_p)モルタル粗骨材空隙比(K_m)、および水結合材比(W/B)がある。

今回の配合設計の方針では汎用性を考慮して、特殊な混和材(水結合材比で計算に組み込まれる物)を使用せず、骨材、セメント、水および混和剤で構成した。また、舗

装用ポーラスコンクリートは、セメントペーストの粘性が必要であるので、既往の研究から W/C (水セメント比)は 20~25%の間とする場合が多い。

設計空隙率に関しては 15%以上であれば、透水係数 0.01cm/sec を満足するとの既往の研究報告があり、目標空隙率は 15~20%の中心とし、17.5%を目標値として設定した。

また、ポーラスコンクリートは、粗骨材の単位容積質量以上に混合物内に粗骨材が存在することはなく、既往の研究から、単位粗骨材かさ容積は 0.95~0.98 程度とされている。粗骨材の単位容積は、単位粗骨材かさ容積×実積率で計算されるので、たとえば実積率を 58.5%とすれば、コンクリート 1m^3 当たり 556ℓ ($0.95 \times 0.585 \times 1000$) ~ 573ℓ ($0.98 \times 0.585 \times 1000$) を目安として配合すればよいことになる。

2-2 使用材料

配合設計の使用材料を表-1 示す。

表-1 使用材料

材 料	種 類	密度 (g/cm^3)	吸水率 (%)	単位容積質量 (g/cm^3)	実積率 (%)	粗粒率 (FM)
セメント	C 普通ポルトランド	3.16	—	—	—	—
細骨材	S 砕砂	2.59	0.74	1.433	56.1	2.83
粗骨材	G1 碎石(13-5)	2.64	1.21	1.525	58.5	5.04
	G2 碎石(5-2.5)	2.66	0.91	1.634	62.0	6.79
混和剤	Ad 高性能AE減水剤	—	—	—	—	—
水	W 水道水	1.00	—	—	—	—

2-3 配合設計法(配合設計フロー)

配合設計フローを図-1 に示す。

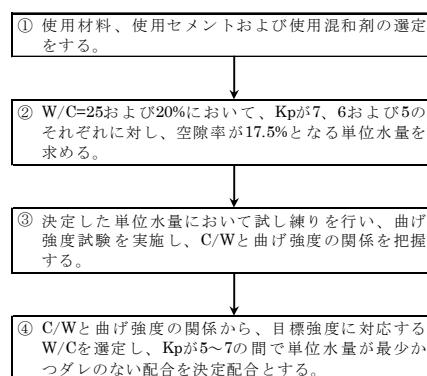


図-1 配合設計フロー

使用骨材は、JIS A 5005『コンクリート用碎石および砕砂』の規格された骨材を選定する。粗骨材の粒度は 13-5 または 5-2.5 とし、細骨材は砕砂とする。使用セメントは、JIS R 5210 に規定されたセメントとし、強度発現を考慮して選定する。

一般的には、普通ポルトランドセメントとする。

使用混和剤はセメントの分散性を考慮し、JIS A 6204『コンクリート用化学混和剤』に規定された高性能 AE 減水剤とする。

配合計算は煩雑となるので、簡単な表計算ソフトを使用して行う。必須指標を表-2 に示す。

表-2 必須指標

$V_t = (1 - G_g) - \alpha \cdot K_m$
V_t : 設計空隙率
G_g : 粗骨材の実積率
α : 傾き
K_m : モルタル粗骨材空隙比
K_p : ペースト細骨材空隙比

W/C=25%および20%において、Kp が 7、6 および 5 のそれぞれに対し、空隙率が 17.5%となる単位水量を求める。

最初に、Vt(設計空隙)を 17.5%、W/C(水セメント比)を 20%および 25%とする。Kp が 7、6 および 5 のそれぞれにおいて、Kp に対応する傾き α を入力し、単位水量が 70~90kg/m³程度となるように 3 種類の配合を作成する。選定した 3 種類の配合について 50 程度で試し練りを行い、10×10×40 の型枠にフルコンパクション(それ以上締固まらない状態)で混合物を充填する。

例として、13-5 粒度のポーラスコンクリートにおける単位水量と空隙率の関係を図-2 に示す。

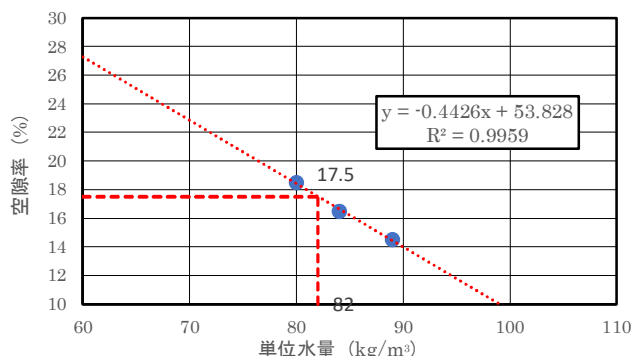


図-2 単位数量と空隙率の関係

決定した単位水量で試し練りを行い、曲げ強度試験結果から、C/W と曲げ強度の関係を把握する。W/C が 20% および 25% で、Kp7、6 および 5 で求めた最適単位水量で試し練りを行う。

曲げ強度は、Kp7、6 および 5 の平均値とし、C/W と曲げ強度の関係(5-2.5)を図-3 に、C/W と曲げ強度の関係(13-5)を図-4 に示す。

W/C を 20%および 25%として 2 点で近似した理由には、5%の違いが曲げ強度として 1N/mm² 程度の違いであり、W/C が 30%になると成型が困難になることが挙げられる。

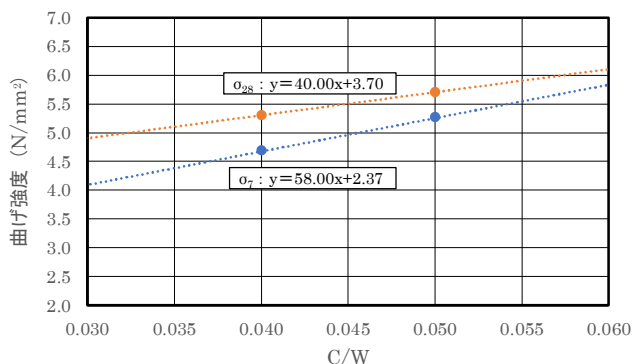


図-3 C/Wと曲げ強度の関係(5-2.5)

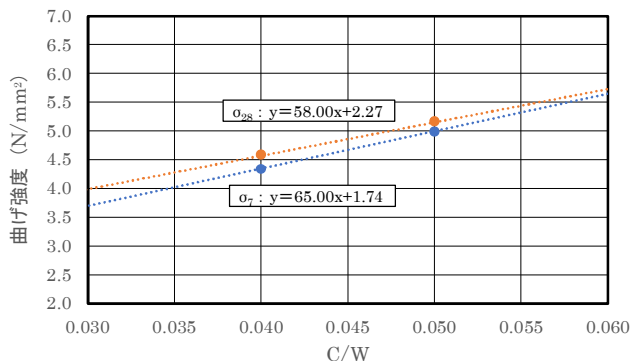


図-4 C/Wと曲げ強度の関係(13-5)

通常の曲げコンクリートの設計基準強度は、4 週強度で 4.4 N/mm² となるが、変動係数等を考慮して目標強度を 5.0N/mm²とし C/W を設定する。

しかし、保障材齢は 4 週が一般的であるが、現場の状況に合わせて決定する場合もある。各 Kp における最適単位水量と W/C の関係を表-3 に示す。

表-3 を参考に配合設計の目安とし、使用材料の更新にともないその都度修正していく。

表-3 各 Kp における最適単位水量と W/C の関係

13-5 の場合			
W/C	Kp(ペースト細骨材空隙比)		
	7	6	5
20%	87	84	82
21%	86	84	82
22%	85	84	82
23%	84	84	82
24%	83	84	82
25%	82	84	82
5-2.5 の場合			
W/C	Kp(ペースト細骨材空隙比)		
	7	6	5
20%	88	91	89
21%	89	91	89
22%	89	92	89
23%	89	92	89
24%	89	92	89
25%	90	92	89

*□で囲われた単位水量を使用して試し練りにより配合を決定する。

2-4 骨材の飛散抵抗性の検証

ポーラスコンクリート舗装では、脆性破壊が起きやすいので、ここまでの配合設計によって作製された混合物の骨材飛散抵抗性について検証した結果と、その対策方

法について以下に示す。

骨材飛散抵抗性試験結果を表-4 に示す。

表-4 骨材飛散抵抗性試験結果(常温 20℃カンタブロ)

配合種別	使用混和剤・養生剤	高性能AE減水剤 (増粘剤入) & 被膜養生剤	
		高性能AE減水剤 (増粘剤入)	& 被膜養生剤
W/C=21.2%			
13-5(粗骨材)		15.9%	14.2%
13-5(粗骨材)		12.4%	
W/C=24.0%			
13-5(粗骨材)		19.4%	16.3%
13-5(粗骨材)		14.8%	
W/C=25.0%			
5-2.5(粗骨材)		12.6%	

表-4 から、高性能 AE 減水剤のみの配合に比較し、増粘剤が添加された高性能 AE 減水剤のほうが、骨材の飛散抵抗性が改善され、含浸系の被膜養生剤を使用した場合もさらに改善されることがわかる。

この結果から、5-2.5 を粗骨材に使用した配合では、水の蒸散を防ぐタイプの通常の被膜養生剤を使用して初期養生を行う。13-5 を粗骨材に使用した配合では、増粘剤入りの高性能 AE 減水剤を使用し、5-2.5 を粗骨材に使用した場合と同材料で初期養生を行うか、または、増粘剤の入っていない高性能 AE 減水剤を使用して、コンクリート表面に硬化層を形成する含浸系の被膜養生剤によって初期養生を行う。さらに改善する場合は、増粘剤入り高性能 AE 減水剤を使用し、コンクリート表面に硬化層を形成する含浸系の被膜養生剤によって初期養生を行えば、骨材の飛散抵抗性は問題ないと考えられる。

3. 景観性向上を目標とした試験施工

3-1 目的等

透水性コンクリートは一般的な混合物である。本試験施工は、汎用性のあるポーラスコンクリートの配合を構築するとともに、その施工性および施工方法を確立することを目的とし実施した。検討内容は、混合物の製造方法、現場における舗装の施工方法、および供用性・耐久性の評価とした。また、景観性の向上を付与するため、表面研磨による表面性状の評価も合わせて実施した。

使用する配合は、一般的な生コンプラントが特別な混和材等の投入をすることなく製造可能な配合とした。

3-2 概要

施工箇所は埼玉県久喜市内で、施工形態としてはフルデプスポーラスコンクリートを敷きならし、表面研磨を行った。また、研磨後の意匠性の比較のため、40-5 と 20-13 を粗骨材とした場合を検証した。

概略平面図を図-5 に、研磨施工図を図-6 に示す。

3-3 使用材料

使用材料を表-5 に示す。

3-4 現場配合

現場配合を表-6 に示す。

3-5 使用機械

使用機械を表-7 に示す。

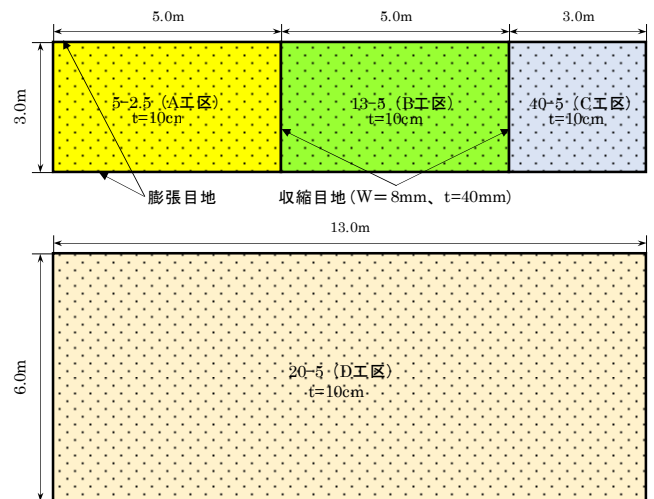


図-5 概略平面図

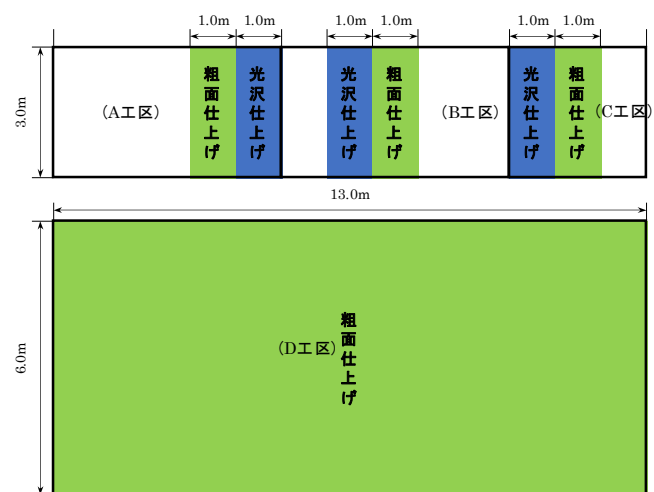


図-6 研磨施工図

表-5 使用材料

種別	材料名	備考
細骨材	砕砂	A、B、C、D工区
粗骨材	40 - 20	C工区
	20 - 13	D工区
	13 - 5	B工区
	5 - 2.5	A工区
セメント	普通ポルトランドセメント	A、B、C工区
	早強ポルトランドセメント	D工区
高性能AE減水剤	増粘タイプ	A、B、C、D工区
目地材	発泡ウレタンt=10mm	A、B、C工区
	注入目地材	A、B、C工区
養生剤	含浸系被膜養生剤	A、B、C、D工区

表-6 現場配合

配合種	Km	Kp	W/C (%)	Vt (%)	単位量(上: kg/m³, 下: l/m³)					設計強度 (ozs: N/mm²)
					W	C	S	G	Ad	
40-5	0.59	7	24	17.5	82	342	116	1560	3.42	4.4
					82	108	44	591	3.42	
					112	350	142	1394	3.50	
20-13	0.61	6	32	20.0	112	111	53	524	3.50	2.5
					85	354	120	1536	3.54	
					85	112	46	582	3.54	
13-5	0.58	7	24	17.5	93	372	179	1441	3.72	4.4
					93	118	68	546	3.72	
					93	118	68	546	3.72	

表-7 使用機械

項目	使用機械
製造	移動式プラント: 2種
運搬	ホイールローダ(0.5m³級)
敷きならし	フェーゲルS-1603
締固め	タンデムローラ(6.5t)
研磨	大型研磨機、集塵機(研磨機用)

3-6 施工方法(施工フロー)

施工フローを図-7に示す。

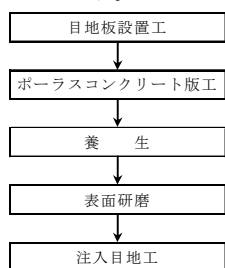


図-7 施工フロー

施工方法は、一般的なポーラスコンクリートと同様としたが、混りませには移動式プラントを用い、その効果を検証した。移動式プラントを写真-1に示す。



①(A、B、C工区)



②(D工区)

写真-1 移動式プラント

3-7 試験施工結果および考察

3-7-1 路床工

既設路盤を撤去後、路床整正面において小型 FWD を用い支持力を確認したところ一部軟弱な箇所があり、碎石によって置換えを行った。その結果、路床面の支持力係数 K_{30} は、 $170\text{MN}/\text{m}^3$ となった。

3-7-2 路盤工

路盤整正面において、小型 FWD を用いて支持力を確認したところ、路盤面の支持力係数 K_{30} は、 $206\text{MN}/\text{m}^3$ ($200\text{MN}/\text{m}^3$ 以上) となり、今回のコンクリート舗装版の路盤としては問題ない結果であった。

3-7-3 ポーラスコンクリート舗装版工

1) 混合方法について

一般的に 1 日 6 時間程度の出荷と考えられるので、写真-1①のプラントは $9\text{m}^3/\text{日}$ の出荷能力であった。このことから、車道タイプのコンクリート打設には不十分なプラントの容量で、歩道タイプの施工の場合、 110m^2 ($t=8\text{cm}$) を目安とすれば使用可能である。

写真-1②のプラントは $36\text{m}^3/\text{日}$ の出荷能力であった。このことから、機械施工によるコンクリート打設の標準施工量 ($t=100\text{mm}$ 、 670m^2) の約半分の施工には、十分なプラントの容量であると考えられた。

2) 敷きならし方法

アスファルトフィニッシャ(フェーゲル S-1603)によって敷きならしを行ったが、今回の施工では工区ごとに敷きならしを行ったので、明確な施工能力を判断するこ

とはできなかった。また、移動式プラントの出荷能力に左右され、1 時間当たり 1.5m^3 (約 1 工区当たりの量) がフィニッシャのホップに投入された後に敷きならしを行ったので、先行工区境の部分が締固め完了から 1 時間後に乱される結果となり、骨材の飛散が顕著となった。

このことから、先行部分を乱さないためには、十分な養生(約 1 週間程度)を行ってから、施工ジョイント部分を施工することが望ましい。

3) 転圧方法

主にタンデムローラ(6.5t)によって転圧を行い、端部転圧やローラマークの消去にハンドガイド式振動ローラ(600kg)・振動コンパクト(60kg)を使用した。

基本的な転圧の考え方は、コンクリートの仕上げ面がそれ以上低下しない程度を目安とする。しかし、コンクリートに粘性がないので、一度転圧した箇所の近傍を転圧すると、コンクリートが転圧方向と直角方向に側方移動し、ローラマークが消えない状況が見られた。また、タンデムローラでの転圧を最初に有振動で行った場合、縦断方向の不陸が無振動では修正できないことが判明した。このことから、タンデムローラの転圧は、最初は無振動で全体をある程度平滑にし、仕上げに有振動で行い、コンクリートの側方移動防止のために、舗装横断端部を先行して転圧するのがよい。

車道タイプの場合の転圧機械の選定では、幅員が広い場合はタンデムローラ(6.5t)でよいが、最初に平滑に転圧することを考慮すると、 $3.0\sim 4.0\text{t}$ 程度のタンデムローラを使用したほうが、仕上げ面の流動が抑えられる。

歩道タイプの場合は、今回使用したハンドガイド振動ローラ(600kg)・振動コンパクト(60kg)で十分である。

3-7-4 養生方法

初期養生では、表面に硬化層を形成するタイプの浸透型養生剤を使用したもので、研磨の際、5-2.5 以外に関しては骨材の飛散抵抗性に寄与していたが、5-2.5 に関しては同じく骨材の飛散抵抗性は向上していたものの、表面に露出した空隙が小さく目が潰れやすい傾向があり、必要以上に表面を強化せず、急激な水の逸散を防止する目的の被膜養生剤を使用したほうがよいと考えられた。

後期養生では、コンクリート表面をビニールシート、保温のための空気緩衝材、およびブルーシートによって湿封養生を行ったので、コンクリートが湿潤状態に保たれ、表面の硬化状態も良好であった。

3-7-5 コンクリート舗装版の性状(研磨前)

試験結果として、すべり抵抗値(DFT)を表-8に、浸透水量を表-9に、および曲げ強度を表-10に示す。

表-8 すべり抵抗値(DFT)

粗骨材寸法	すべり抵抗値(動的摩擦係数 μ)				
	80km/h	60km/h	50km/h	40km/h	30km/h
13-5	0.54	0.56	0.57	0.54	0.55
5-2.5	0.59	0.52	0.52	0.50	0.52

表-9 浸透水量

粗骨材寸法	浸透水量 (cc/15sec)
40-5	1373
20-13	1446
13-5	1346
5-2.5	1190

表-10 曲げ強度

粗骨材寸法	曲げ強度 (N/mm ²)		
	σ_1	σ_2	σ_{28}
40-5	—	4.08	5.82
20-13	2.94	3.89	—
13-5	—	3.72	4.56
5-2.5	—	4.53	5.10

表-8 から、各速度における動摩擦係数(μ)は目標値とした 0.25 以上(μ_{80})および 0.30 以上(μ_{60})であった。

表-9 から、浸透水量は目標値の 1000ml/15sec を十分満足する結果であった。

表-10 から、20-13 以外では 7 日養生後の曲げ強度が、車道における交通開放強度の目安である 3.5N/mm² を超える結果であった。また、28 日養生後の強度は 5-2.5 が目標値の 5.0N/mm² に満たない結果であったが、4.4N/mm²(車道の設計基準強度)を満足しており、強度的にも問題ない結果であった。

20-13 は、目標値を管理用車両通行程度の規格値である 2.5N/mm² としているので強度は低いが、目標値を十分満足する結果であった。

3-7-6 コンクリート舗装版の性状(研磨後)

各粗骨材の最大粒径ごとに、光沢仕上げおよび粗面仕上げの施工を行った。すべり抵抗(BPN、C.S.R')の試験結果を表-11 に示す。

表-11 すべり抵抗値(BPN、C.S.R')

粗骨材寸法	BPN (20℃)			C.S.R	
	光沢仕上げ	粗面仕上げ	研磨なし	光沢仕上げ	粗面仕上げ
40-5	67	50	—	—	—
20-13	—	68	—	—	—
13-5	45	56	84	0.64	0.76
5-2.5	41	70	79	0.75	0.79

表-11 から、各粗骨材種ともに、BPN は高齢者の歩行に必要な 40 以上の結果であった。40-5 については、研磨の性質上、光沢仕上げより粗面仕上げの BPN が低いことは考えられない。この結果は、粗骨材の最大粒径が表面のマクロ的なテクスチャに大きく影響された結果であるので、光沢仕上げで BPN は 60 以上であるが、研磨の評価には有用な値ではない。

以上の結果から、すべての研磨タイプは歩道に適用でき、車道タイプには 20-13 および 5-2.5 の粗面仕上げの有効性が示唆された。

表-11 から、静止摩擦係数の指標である C.S.R' 値において、高齢者の歩行に必要な 0.5~0.8(既往の研究)であり、各粗骨材種および研磨方法において問題ない結果であった。

研磨後の表面を写真-2~5 に示す。



光沢仕上げ

粗面仕上げ

写真-2 5-2.5 表面研磨



光沢仕上げ

粗面仕上げ

写真-3 13-5 表面研磨



光沢仕上げ

粗面仕上げ

写真-4 40-5 表面研磨



粗面仕上げ

写真-5 20-13 表面研磨

4. おわりに

ポーラスコンクリートの配合設計法については、マーシャル供試体を使用した方法等があるが、今回報告した方法は、混合物の骨格を固定するので、締固め後の混合物の状態を推定するにはよい方法である。

景観性向上を目標とした試験施工では、車道に適用するための BPN の規格値である 60 以上を確保するには、20-13 および 5-2.5 の粗面仕上げの有効性が示唆された。

今後は、汎用的な 20mm(5 号砕石)をベースに配合し、その効果を検証する。また、ポーラスコンクリートは耐流動性に優れ、交通荷重による空隙つぶれは発生しにくいので、その透水性の評価も引き続き経時的に行っていく予定である。

<参考文献>

- 1) セメント協会：車道用ポーラスコンクリート舗装設計施工技術資料、2007 年 10 月
- 2) 光谷修平、小嶋匠、堀繁：研磨したポーラスアスファルト舗装の諸特性、舗装工学論文集 E1、vol.73、No.3 (2017)

スチールファイバの塩水環境下の腐食に関する考察

入矢 桂史郎*

1. はじめに

道路橋のコンクリート床版は交通量の増大、荷重の影響に加えて融雪剤の影響などにより、ひび割れや剥落などが発生し、大規模な更新や補修が行われている。補修・補強工法としては上面を増厚する方法が多く適用されている。近年、超高強度繊維補強コンクリート(UFC)を応用した UHPFRC を用いた上面増厚工法が開発されている¹⁾。

ここで取り扱った UHPFRC はスチールファイバー(以下、SF)を2%以上含む超高強度モルタルで、コンクリート床版の補修・補強に適用できるように UFC の自己充填性を弱めて勾配施工に対応できるように改良を加えたものである。UHPFRC は従来使用されてきた SFRC に比べて強度が高く緻密でひび割れ幅拘束能力に優れることから増厚の厚さを小さくでき防水性も向上することが期待できるなどメリットが大きい。

本研究では SF を体積比 2%(以下、SF 混入量は体積比とする)混入し特殊セメント“サイトハード P”を使用し、急硬性を有する“スティフクリート”(以下 STC)と SF3%で中庸熱セメントを使用し急硬性を有しない“UHPFRC”の 2 種類について、塩水環境下での SF の腐食状況を実験にて確認した。

2. 使用した UHPFRC の特徴

STC と UHPFRC の使用材料を表-1に、配合を表-2に示す。STC はスリムクリート²⁾をベースにし勾配施工に対応できるように0打フロー200mm となるように調整している。急硬材を使用して若材齢で膨張により強度を得るもので、その影響でスリムクリートに比べて吸水率が大きい。

材齢28日標準養生での圧縮強度と吸水率を表-3に示す。スリムクリートと STC の塩化物イオンの拡散係数を比べると、吸水率の大きい STC の拡散係数は約10倍大きい値であった³⁾。

表-1 使用材料

供試体の種類	材料名称	種類	密度 (g/cm ³)	メーカー
STC	プレミックス粉体	サイトハードP		UBE三菱C
	珪砂	5号	2.70	東北珪砂
	急硬材	ビフォーム		デンカ
	膨張剤	パワーCSA	3.20	
	高性能減水剤	サイトハードL	1.10	UBE三菱C
	セメント	中庸熟ポルトランドセメント	3.14	UBE三菱
UHPFRC	シリカフェューム	マイクロシリカ940-U	2.30	エルケムジャパン
	高性能減水剤	SP8HU改良品	1.10	ボノリス
	膨張剤	パワーCSA	3.20	デンカ
	珪砂	5号	2.70	東北珪砂
	不活性シリカ	シリカフラワー	2.70	竹折工業
	石灰細砂	最大粒径1mm以下	2.70	菱光石灰工業

表-3 圧縮強度と吸水率

種類	空気量 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)	吸水率 (%)
UHPFRC	2.0	158	3.2
STC	2.0	120	6.8
スリム(参考)	2.0	170	<3.0

3. 試験方法

UHPFRC と STC を練り混ぜ後、縦 40cm×横 40cm×高さ 3cm の型枠内に打ち込み 20℃で静置し、翌日脱型した。20℃水中で 2 週間養生した後、縦 4cm×横 2cm×高さ 3cm に切断し所定の材齢まで 20℃で水中養生した。材齢 28 日に達した後、3%食塩水に浸漬し 20℃の恒温室に静置した。材齢 20 か月(600 日)で浸漬から引き揚げ、中心で切断し内部を観察した。

供試体の作製手順を図-1 に示す。

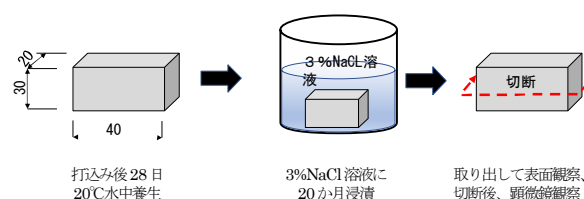


図-1 試験の手順

表-2 UHPFRC の配合

種類	セメントの種類	W/B (%)	W/P (%)	W	B	P	S	急硬材	SF (vol%)	SP (× P%)
				(kg/m³)						
UHPFRC	MP	17.4	15.2	200	1150	1311	810		3.0	1.8
STC	サイトハードP		16.0	210		1327	837	144	2.0	

*元：本店技術部担当部長(現：公益社団法人日本コンクリート工学会、専務理事)

4. 試験結果

供試体の表面の状況を写真-1に示す。切断面でSFが表面に露出している面は激しく腐食していた。ただし、型枠面でSFが表面に露出していない部分は、点錆は認められるものの切断面ほどの腐食は発生していなかった。写真-2に内部の腐食状況を示す。

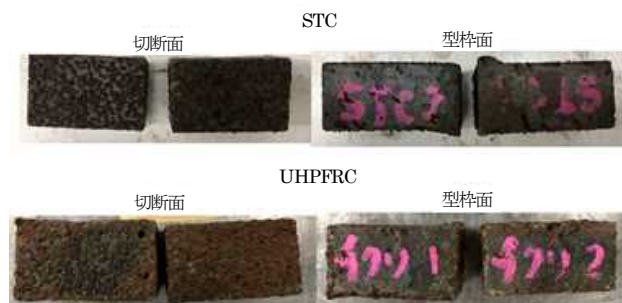


写真-1 表面のSF腐食状況

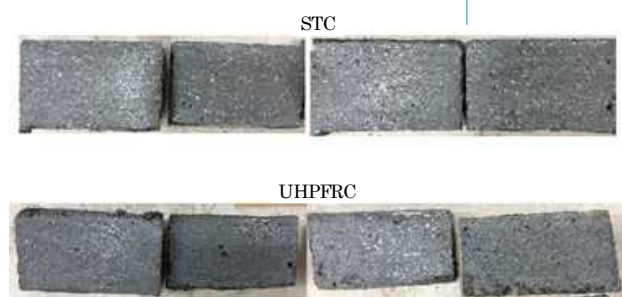


写真-2 内部のSFの状況

内部は目視で見る限り、腐食していることは確認できなかった。切断面を顕微鏡で観察した結果を写真-3および写真-4に示す。大きな視野で見ると腐食は確認できなかったが、写真-4のように表面部分を拡大してみると、いくつかの点錆が認められた。一部のファイバーでは腐食が始まっているのが認められた。

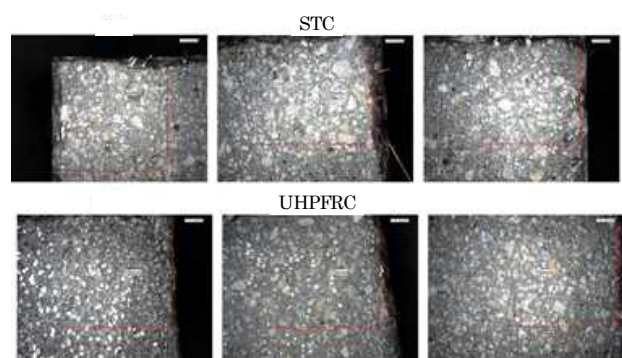


写真-3 表面のSF腐食状況

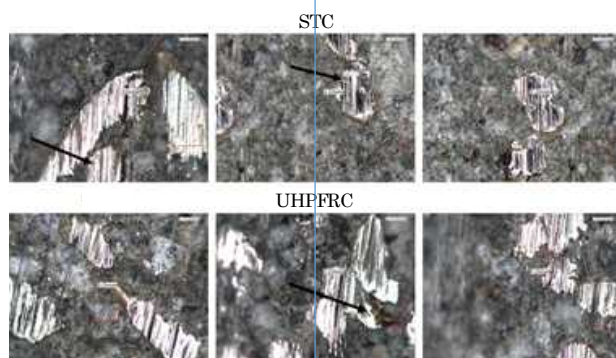


写真-4 表面のSFの拡大写真

これまでの試験結果³⁾によれば、39週間(273日)の10%食塩水浸漬試験でSTCに塩化物イオンが侵入する深さは4mmで、1mm深さで4%の塩化物イオン濃度、見かけの拡散係数は $0.032\text{cm}^2/\text{年}$ と報告されている。その結果をもとに本試験結果を考えると、写真-3の視野(表面1mm)では3~4%程度の塩化物濃度であったと考えられ、腐食する塩化物イオン濃度であった。しかし、SFは腐食しておらず、その理由としてSFは表面から内部まで連続していることから、表面の腐食が犠牲陽極となり内部のSFの腐食を妨げていることが考えられる。

4. まとめ

- 1) 急硬材を使用することによって、吸水率は大きくなる。初期に膨張することが原因と考えられる。
- 2) 3%食塩水に600日(20か月)浸漬した結果、表面に露出しているSFは激しく腐食するが、型枠表面など表面に露出していない部分は腐食が進んでいない。
- 3) 目視では内部に腐食は認められなかった。表面の一部に点錆が認められた。
- 4) STCでは急硬材の影響により、吸水率が大きいものの、SFの腐食に関してはその影響は認められなかった。

<参考文献>

- 1) 渡辺有寿: 超高性能繊維補強セメント系複合材料(UHPFRC)を用いた各種補修、補強技術の最新動向、コンクリート工学 Vol.59、No.5、pp.446~451、2021.5
- 2) 武田篤史ほか: 常温硬化型高じん性高強度モルタル「スリムクリート」の屋内ブリッジへの適用、大林組技術研究所報 No.74、2010
- 3) 青木俊二他: 床版上面増厚工法用超速硬型超高性能繊維補強コンクリートの物性および耐久性、土木学会年次学術講演会概要集V、2022.9

PDRG Workshop2023 in Atlanta

森石 一志*

1. はじめに¹⁾

2019年に特定非営利活動法人舗装診断研究会¹⁾ (PDRG: Pavement Diagnosis Researchers Group) では、米国の舗装に関する非営利団体RPUG (Road Profile Users' Group) との合同会議を契機に、日米の舗装技術者の情報交換の場として、PDRG Workshopを開催している。昨年度は、2022年4月29、30日の2日間にわたり、北海道科学大学において開催され、ジョージア工科大学のYichang Tsai教授や、路面プロファイルの表示および解析ソフトウェア「ProVAL」開発者のひとりであるDr. George K. Chang氏(The Transtec Group)を招き、「Evolution of Pavement Diagnosis to the Next Generation(舗装診断の次世代への進化)」をテーマに、日米の最新の研究結果発表や意見交換を行った。

このような取り組みを継続し、第4回となる今回は、昨年度基調講演を頂いたYichang Tsai教授が所属するジョージア工科大学を訪問し、「US-Japan Next Generation Pavement Evaluation and Management for Infrastructure Sustainability and Safety(インフラの持続可能性と安全性のための日米の次世代舗装の評価と管理)」をテーマに、日米の舗装技術者による最新の研究や取り組みの報告や意見交換、将来の舗装の研究課題に関するグループディスカッションなどを行った。

さらに、アラバマ州オーバーン市にある国立アスファルト技術センター(National Center of Asphalt Technology)を訪問し、促進載荷試験用のテストトラックや室内実験施設を見学した。

当社からは2名、筆者は当研究会の企画運営の立場として、当部の山口雄希職員と参加した。また、Yichang Tsai教授と交流があり、当社と共同研究を実施している北見工業大学の富山准教授が日本側のコーディネーターとして参加した。そこで、本文では筆者らが現地で経験した内容について報告する。

2. 概要

実施概要を以下に示す。

- ・名称: PDRG Workshop 2023 in Atlanta
- ・開催期間: 2023年9月26日(火)～29日(金)
- ・開催場所: Georgia Institute of Technology 他
(アメリカ合衆国、アトランタ)

日米の参加機関を表-1に、行程を表-2に示す。日米とも産学官各機関の参加者がおり、学(大学)に関しては学生も参加および研究発表を行った。

表-1 ワークショップ参加機関

	機関	人数 (人)	機 関 名
日本	大学 (学生含む)	5	北海道科学大学、北見工業大学、 室蘭工業大学
	官公庁	3	国土技術政策総合研究所、土木研究所
	民間	14	・道路関連会社: 大林道路、NIPPO、前田道路、 大成ロテック、東亜道路工業、 ニチレキ、大陸建設 ・コンサルタント会社: オリエンタルコンサルタンツ ・高速道路会社: NEXCO総研
	小計	11	
米国	大学 (学生含む)	5	George Institute of Technology
	官公庁	3	FHWA Georgia Department of Transportation
	民間	3	US Federal Highway GGfGG Engineering
	小計	11	
合 計		33	

表-2 行程

月/日	行 程
9/25 (Mon)	— Haneda ⇒ Chicago ⇒ Atlanta
9/26 (Tue)	AM Technical Visit at Georgia Tech
	PM Technical Visit at NCAT
9/27 (Wed)	AM Opening Speech / Keynote Presentations Technical Sessions
	PM Technical Sessions
9/28 (Thu)	AM Group Discussion
	PM Presentation of Group Discussion Results
9/29 (Fri)	— Technical Tour
9/30 (Sat)	—
10/1 (Sun)	Atlanta ⇒ Chicago ⇒ Haneda

3. 実施内容

3-11 日目(Technical Visit)

9/26はジョージア工科大学でYichang Tsai教授による開会の挨拶および大学の施設見学を行った。

その後、NCATヘバスで移動し促進載荷試験用のテストトラックや室内実験施設を見学した。

表-3 1日目(9/26)のスケジュール

	項 目	内 容
1	Invitation	Visit Georgia Tech
2	Technical Visit	Field trip on NCAT test track (Off on routine truck testing during lunch time so the team can visit) NCAT presentations and lab visits ・Pavement Profile Measurement, Analysis, and Ride Quality ・Pavement Surface Texture ・Automated Pavement Condition Surveys, Evaluation, and Reporting

*本店 DX ソリューション部担当部長

(1) Invitation

はじめに Yichang Tsai 教授による大学施設および研究室の紹介があった。Tsai 教授は高速道路会社と共同で道路の維持管理に関する研究を行っており、そこで使用されている路面性状測定車(写真-1)の紹介があった。本測定車は当社の RIM と同様、三次元データによって面的に路面の形状を把握するものである。



写真-1 大学内にあるアトランタオリンピックの水泳で
使用されたプール(オリンピック時は屋外)



写真-2 Georgia Tech 施設見学

(2) Technical Visit

大学の紹介の後、約 183km 離れた場所にある NCAT へバスで移動した。(図-1)

・NCAT について

NCAT は、アメリカの高速道路インフラを維持するニーズを満たす実践的な研究開発を提供するために、オーバーン大学と全米アスファルト舗装協会(NAPA)研究教育財団とのパートナーシップとして 1986 年に設立されたオーバーン大学国立アスファルト技術センターである。

耐久性、持続可能性、安全性、および経済性に優れた舗装を提供することを目的に設立され、州高速道路局、連邦道路局、および高速道路建設業界と協力して、舗装の迅速な改善につながる新製品、設計技術、および施工方法の開発・評価を行っている³⁾。

・業務紹介および施設見学

テストトラック マネージャーの Jason Nelson 氏による NCAT の業務紹介および施設案内があった。最初に舗

装の耐久性評価のためのテストコースを視察した。

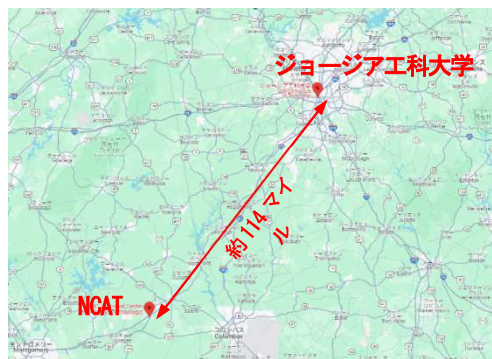


図-1 NCAT とジョージア工科大学の位置関係



写真-3 NCAT の外観

テストコースは全長 1.7 マイル(約 2.74km)で、コース内を 7 軸(1 輪 80.4kN)のけん引トラックが 5 台、60 ~70km/h の速度で走行している。1 台のトラックが 1 日に約 400 周走行し、約 1,000 万輪相当の通過交通量の交通载荷を 3 年間で達成することが可能である。同様の試験は日本でも土木研究所で実施されているが、1 年当たり約 40 万輪相当の荷重であり、走行スピードも日本は低速である。ただ、日本は自動走行であるのに対し、米国は交代で運転手による走行が行われている。自動運転技術など日本よりはるかに進んでいる米国で人間による運転が実施されていることは、走行軌跡を実環境に近づけるためだということである。

走行試験が中断する昼休みには、実際にテストコースで説明を受け、その規模の大きさに驚かされた。その際、FWD(Falling Weight Deflectometer)の紹介もあった。



写真-4 走行状況



写真-5 テストコースの説明



写真-6 FWDの説明



写真-7 路面性状測定車

屋外での視察の後、屋内において試験室および技術紹

介があった。試験室は非常に整理されており、パートナーであるオーバーン大学の学生と職員と一緒に作業しており、学生の PBL 教育(課題解決型学習)の場として活用されている。



写真-8 ねじり抵抗性試験機



写真-9 学生らによる試験状況

今回の見学はトラックが走行していない昼休みにテストコースの見学もできたことは、日本の一企業ではなく、産学官で参加したことで実現したものである。

3-2 2日目(Workshop)

9/27 は表-4 に示すスケジュールでワークショップが行われた。

表-4 2日目(9/27)のスケジュール

項目	内容
1 Invitation	Don Webster, Chair of School of Civil and Environmental Engineering at Georgia Tech Welcome to Atlanta and CEE at Georgia Institute of Technology
2 Keynote	James Tsai, Georgia Institute of Technology "A New Concept: from Medical Precision Surgery to Roadway Precision Maintenance & Management Using 3D Pavement Data"
3 Material and Pavement Design	Christopher Wagner, US Federal Highway Administration (FHWA) "US Pavement Design and Its Changes" Georgene Geary, GGA Engineering, LLC "US Pavement Material and Its Changes" Kimio Maruyama, Civil Engineering Research Institute for Cold Region (CERI) "Study on an Effective Repair Method to Mitigate Pavement Roughness at Box Culverts" Yusuke Taniguchi, Nippon Expressway Research Institute Co., Ltd. "Development of New Index for Evaluating Partial Subsidence of Porous Asphalt Surface Layers"
4 Lunch	Individual lunch in student center, guided
5 Asset Management	David Frost, Georgia Institute of Technology "Non-traditional Inverted Pavement and its Long-term Performance" Andy Mergenmeier US Federal Highway Administration (FHWA) "Pavement Data Collection: Changes Over time and Quality Assessment of Condition Data" Yuya Wakabayashi, National Institute for Land and Infrastructure Management (NILM) "Evaluation of the Effect of Interlayer Bonding Condition on Deterioration of Asphalt Pavement" Tomotaka Ueta, Oriental Consultants Co., Ltd. "Pavement Management in Local Governments"
6 Pavement Condition Evaluation	Zhongyu Yang, Georgia Institute of Technology "Topological Crack Propagation & Forecasting Using 3D Pavement Data and ML" Ryan Salameh, Georgia Institute of Technology "Concrete Pavement Forecasting and Treatment Determination Using 3D Pavement Data" Kazuhisa Satoh, Nichireki Co., Ltd. "Inspection systems that integrate routine and planned pavement management" Marei Inagi, Kitami Institute of Technology "Human-centered Evaluation of Expressway Surface Condition in Terms of Mental Stress of Road Users" Kazuya Tomiyama, Kitami Institute of Technology "Toward Innovation in Human-Road-Vehicle Approach for Pavement Condition Evaluation"
7 Group Discussion	Ice Break & The first meeting and discussion by 4 working groups so they can start discussion and interaction

(1) Keynote

ワークショップの開催に先立ち、Don Webster 学部長による挨拶があった後、Tsai 教授による 1 日目に実機を見学した路面性状測定車に関する基調講演があった。

日本では舗装調査は路面性状調査として発注されるが、米国では各州の道路局 (DOT: Department of Transportation) の職員が実施する。本技術は共同研究で開発され、大学が測定車を保有することで、データ解析やプロファイラの精度向上などの研究ができるというメリットがある。一方、管理者側も大学が取得したデータを使って評価し路管理に用いることができるという、双方にメリットがある官学連携の事例のひとつである。

また、日本と米国の大きな違いは、日本は民間の道路会社が技術開発し、その技術を管理者が採用するが、米国は民間の道路会社は施工のみ、管理者が大学などと研究や技術開発および運用を行っている。

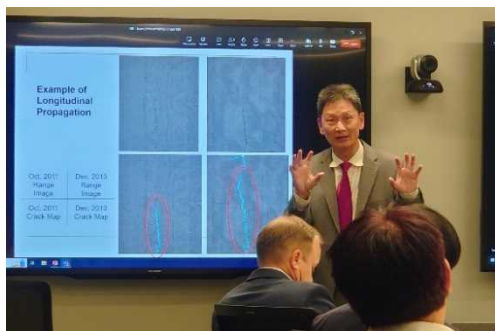


写真-10 Tsai 教授の基調講演

(2) Workshop

グループディスカッションに先立ち、それぞれのテーマに関する日米の技術紹介およびディスカッションが行われた。

・Material and Pavement Design (材料と設計)

材料と設計のテーマでは、日米各 2 編ずつ発表があり、米国はジョージア工科大学や FHWA (The Federal Highway Administration: 米国運輸省連邦道路庁) などのコンサルティングをしている GGF&A Engineering, LLC と FHWA、日本は寒地土木研究所および NEXCO 総研からそれぞれの設計法などの発表があった。FHWA から米国の設計方法についての説明があった。



写真-11 Christopher Wagner 氏による発表

また、寒地土木研究所の丸山上席研究員から、ボック

スカルバートにおける舗装補修方法について発表があった。

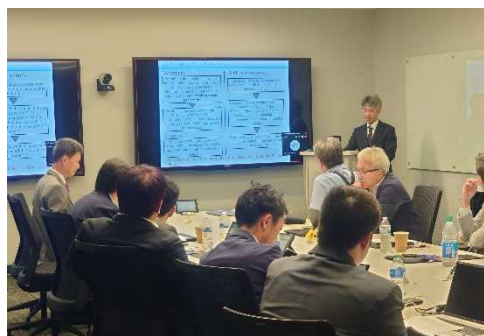


写真-12 寒地土木研究所 丸山上席研究員による発表

・Asset Management (アセットマネジメント)

アセットマネジメントでは、日米各 2 編ずつ発表があり、米国はジョージア工科大学と FHWA、日本は国土技術政策総合研究所およびオリエンタルコンサルタンツから発表があった。

FHWA の発表は、NCHRP (National Cooperative Highway Research Program: 全米共同道路研究プログラム) の舗装の維持管理に関する取組みが紹介された。

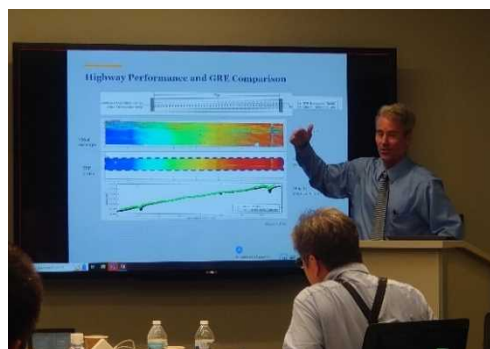


写真-13 Andy Mergenmeier 氏による発表

・Pavement Condition Evaluation (路面性状評価)

路面性状評価では、米国 2 編、日本 3 編の計 5 編の発表があり、米国はジョージア工科大学の博士後期課程の学生、日本はニチレキと北見工業大学から発表があった。

ジョージア工科大学の学生から大学が所有する路面性状測定車で取得した画像を用いた AI によるひび割れ抽出の研究の発表があった。

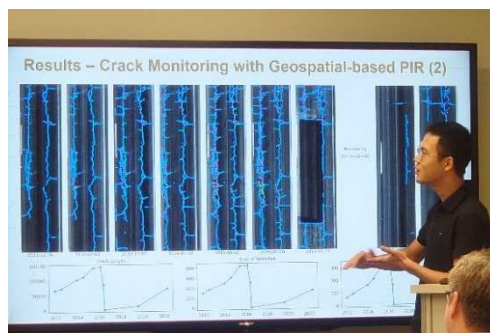


写真-14 Zhongyu Yang 氏による発表

また、共同研究を行っている北見工業大学の富山准教

授からは、様々な道路・歩道利用者の目線での評価方法の研究について紹介があった。



写真-15 北見工業大学 富山准教授による発表

(3) Group Discussion

翌日に実施するグループディスカッションに向けて事前の打合せが実施された。

3-3 3 日目 (Workshop)

9/28 は表-5 のスケジュールに示されたように、最初に基調講演とワークショップが行われた後、メインであるグループディスカッションが実施された。

(1) Keynote

基調講演は、国立研究開発法人土木研究所の藪上席研究員による“Efforts for Next Generation Pavement Management in Japan”であった。

日本の再生技術や土木研究所の取り組み内容や施設紹介などの発表があった。



写真-16 土木研究所 藪上席の基調講演

(2) Workshop

・ Transportation Safety and Pavement (交通安全と舗装)

ワークショップでは、「交通安全と舗装」について発表

があり、日米各 2 編ずつ発表があり、米国はジョージア州運輸局とジョージア工科大学、日本は北見工業大学と室蘭工業大学から発表があった。

北見工業大学の大学院生から、当社との共同研究の内容の発表があり、高い関心を得た。



写真-17 北見工業大学大学院 西海氏による発表

(3) Group Discussion

全ワークショップの発表が終わり、各グループディスカッションおよび成果発表があった。

グループディスカッションでは、各グループに分かれ、それぞれのテーマに対してロードマップを作成した。各グループに学生が就いて進行およびとりまとめをおこなったが、我々のグループは学生がいなかったため、私が片言の英語で進行およびとりまとめを担当し、難しい用語等に関しては翻訳ソフトを使用し、メンバーで協力してロードマップを作り上げた。言いたいことが言えないもどかしさもあり、改めて英会話の重要性を痛感した。



写真-18 ディスカッション風景

表-5 3 日目 (9/28) のスケジュール

	項 目	内 容
1	Keynote	Masayuki Yabu, Public Works Research Institute (PWRI) "Recent Efforts for Next Generation Pavement Management in Japan"
2	Transportation Safety and Pavement	Ronald W Knezevich, Georgia Department of Transportation, "Managing Friction Demand on Sharp Curves Through Visibility and Pavement Friction Improvements"
		Lucas Yu, Georgia Institute of Technology "Cost-Effective and Equitable Curve Safety Assessment Method using Smartphone and Intra-Agency Crowdsourcing"
		Hayato Nishigai, Kitami Institute of Technology "Ride Quality Evaluation for Micromobility Users"
		Takumi Asada, Muroran Institute of Technology "Network-level Evaluation of Bicycle Riding Safety and Comfort on Large Cycle Routes"
3	Group Discussion	"Development of the research needs and the roadmap for infrastructure sustainability and safety"
4	Lunch	by Individual or by discussion group
5	Group Discussion	"Development of the research needs and the roadmap for infrastructure sustainability and safety"
6	Group Discussion	Group presentations, including challenges and improvement needs (each group has 15 min with 5 min Q/A)
7	Closing	



写真-19 各グループによる成果発表



“Material and Pavement Design” group



“Pavement Condition Evaluation” group



“Asset Management” group



“Transportation Safety and Pavement” group

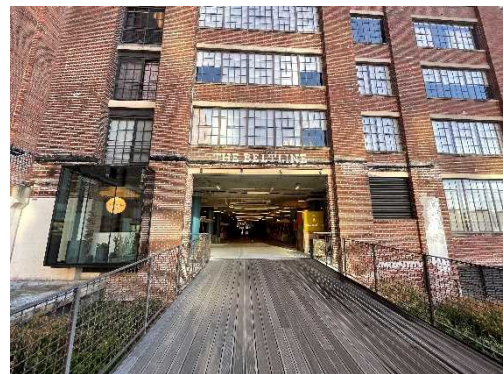
写真-20 各グループの記念撮影

3-4 4 日目 (Technical Tour)

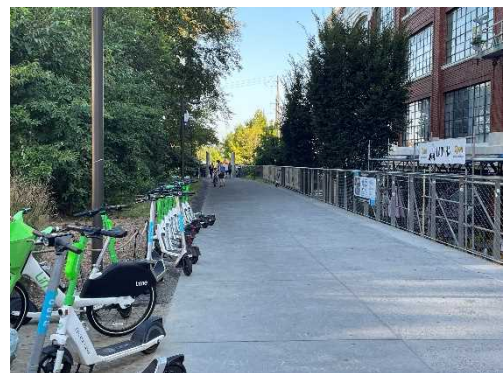
現地最終日は、ベルトライン(Ponce City Marcket)を見学した。

緑豊かなアトランタベルトライン(Atlanta BeltLine)は、アトランタを中心とした全周 35km の鉄道の廃線使用し、その周辺地域の活性化を目指した都市開発プロジェクトで、アトランタの経済や人々の生活に大きな良い影響を与えたことで知られている。このベルトラインは、公園、多目的のトレイル、公共交通機関をつなぐ、現在米国で進行中の都市開発としては最大級の取り組みである。

現在は、Atlanta BeltLine, Inc. (ABI) が運用している。



(a) 駅があったであろう建物



(b) サイクリングコースとして活用



(c) 随所に廃線の跡が残っている

写真-21 ベルトライン

4. おわりに

今回のワークショップを通して、プレゼンテーションやディスカッション、資料のまとめ方など、日米の差を痛感した。

特にグループディスカッションでは、我々は研修でしか実施しないようなロードマップを作成し、さらにその進行を担当したことで、語学力およびとりまとめ能力のなさを改めて認識させられた。

また、廊下に掲示されている研究紹介の資料も1枚で明確にまとめられているなど、学生の中からこのようなスキルを磨いていることに感銘を受けるとともに、非常に参考になった。

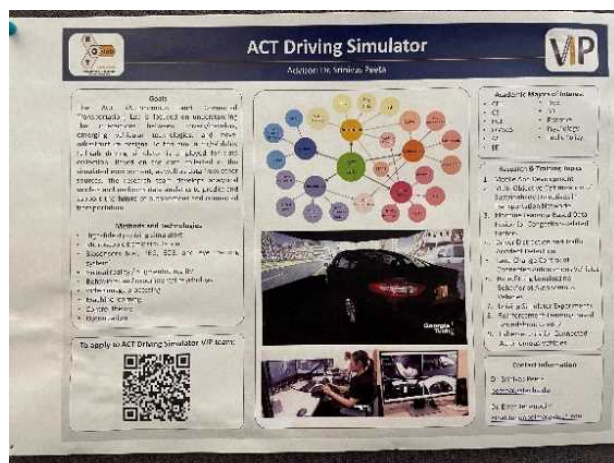


写真-23 廊下に貼り出された研究紹介

最後に、本ワークショップに参加する機会を与えて頂いた会社に改めて感謝するとともに、今後の業務に生かしていきたいと考えます。

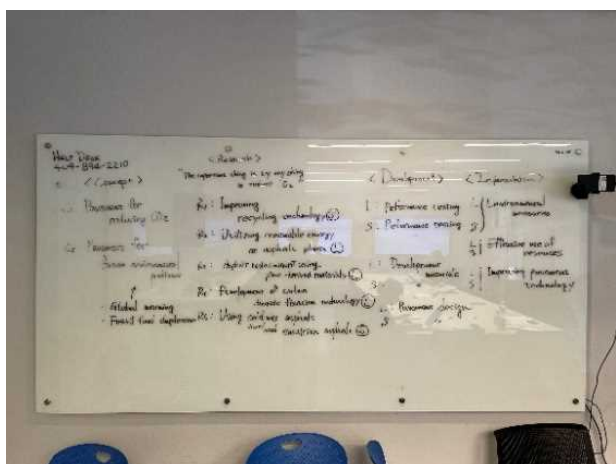


写真-22 ディスカッションで作成したロードマップ

【参考文献】

- 1) 特定非営利活動法人舗装診断研究会 HP、
<http://pdr.org/>
- 2) 若林由弥：PDRG Workshop2023 in Atlanta 開催、雑誌「舗装」、2023年12月号、建設図書
- 3) NCAT HP、
<https://eng.auburn.edu/research/centers/ncat/>
(2024.2.5 閲覧)

ミニ知識

舗装診断研究会PDRGとは¹⁾

特定非営利活動法人 舗装診断研究会、下記のような活動を通じて、舗装構造の診断技術の情報収集、測定技術及びデータ解析技術の研究を通して舗装診断技術の向上と普及を目指すとともに、広く不特定多数の市民に対して、これに関する情報・資料を提供する事業を行い、日本の舗装がより安全で快適なものになるよう、その発展に寄与することを目的とする団体です。

1. 舗装構造の診断技術の情報収集、測定技術及びデータ解析技術に関する研究を通して舗装診断技術の向上とその普及に努める

海外の技術者との交流を通して、共有する問題の解決に積極的に取り組む

2. 舗装技術者として開発途上国への技術支援にも積極的に努める

3. 広く不特定多数の市民に対して、舗装とその診断に関する情報・資料を提供する

PDRGは、FWDによるたわみ測定法の基準化、舗装支持力評価法の確立などを目指すための勉強会として1990年に設立された「FWD研究会」が発展解消して設立されました。

日本国内におけるFWDなどを用いた舗装支持力測定法や舗装診断法の共通認識を高めることなどを旨として、FWDをはじめとする様々な舗装診断技術に関するテーマを取り上げ、テーマごとに委員会を構成し、活発な活動を続けてきています。

7th BESETO2023 に参加して

横山 昂洋*

1. はじめに

筆者らは、社会の持続可能性向上や将来の社会的要請（自動運転ガイド、EV への無線給電等）への対応を目的とした「複層型プレキャストコンクリート舗装」の開発を、石川工業高等専門学校の西澤辰男教授との共同研究で進めてきた。今回、西澤教授の紹介により、コンクリート舗装の国際会議である BESETO に参加する機会を得た。本報では、本会議の内容と韓国における高速道路の現状を記す。

2. BESETO とは

BESETO は、前述の通り日中韓のコンクリート舗装の国際会議であり、名称は 3 カ国の首都名称(Beijing-Seoul-Tokyo)の頭 2 文字をとったものである。

当該会議は、韓国の中央大学校の Cho 教授の発案で設立された。その主な目的は、コンクリート舗装に関する各国の取組みを共有し、技術的な課題解決に繋げることである。設立の背景には、アメリカの大学で学位を取得した Cho 教授の目から見て、欧米の技術を自国に取り込むだけでは必ずしもよい結果は得られず、アジアの国同士で議論する場が重要だと考えていたことがある。そのため、参加人数は比較的少数で、参加者全体で議論することに重きを置いている。

当該会議は、3 カ国がホストを持回りで務め、基本的には毎年 1 回開催されている。次回の 8th BESETO2024 は、中国河南省許昌市で 2024 年 7 月に開催される予定である。

3. 7th BESETO2023

3.1 概要

7th BESETO2023 の概要を表-1 に示す。今回の会議は 2019 年の札幌大会以来、4 年ぶりの開催であった。

表-1 7th BESETO2023 概要

場 所	韓国江陵市(강릉시)
会 場	江陵原州大学校(강릉원주대학교)
日 時	2023年8月1日～8月3日
内 容	1～2日目：会議
	3日目：現場視察(高速道路)
参加者 51名	西澤辰男(石川工業専門学校)
	藪 雅行(国立研究開発法人土木研究所)
	種綿順一(大成ロテック株式会社)
	中村弘典(一般財団法人セメント協会)
参加者 51名	横山昂洋(大林道路株式会社)
	中国：13名 Xiaoming Huang(東南大学、東南大学)ら
	韓国：33名 Yoon Ho Cho(中央大学校、중앙대학교)ら

3.2 特別セッション

特別セッションでは、各国の代表者 1 名から自国で注目の話題が紹介された。藪氏からは「日本における舗装の現状と新技術活用」、Cho 教授からは「韓国のコンクリート舗装における IoT」、Huang 教授からは「中空連続鉄筋コンクリート舗装の特性」と題して報告が行われた。

Cho 教授の発表(写真-1)では、韓国のコンクリート舗装における IoT 活用のトレンドや、IoT 活用事例が紹介された。それらを以下に示す。

IoT 活用のトレンド

- 1980 年代 : 「デジタル設計の夜明け」
- 1990 年代 : 「ウェブとワイヤレスの革命」
- 2000 年代 : 「BIM とその先へ」
- 2010 年代以降 : 「AI と自動化の台頭」

過去の IoT 活用事例

- ・埋込みセンサーによる温湿度測定、挙動分析
- ・ひび割れ画像測定車 ARIS
- ・建設サイクル全体の意思決定支援データベース

現在の IoT 活用事例

- ・ベルコン上の骨材に対する水分含有量非接触測定
- ・スランプ自動測定システム
- ・QR コードを活用した輸送支援クラウドシステム

将来の IoT 活用事例

- ・深層学習によるコンクリートの配合設計、強度予測
- ・舗装の損傷検知、補修を自動で行うロボット
- ・ドローンを活用した施工進捗管理

以上のように、韓国では 1980 年代から IoT 活用に関する広範な取組みが行われており、その中で PC やクラウド、センサーや通信技術がデータ活用に大きな役割を果たしてきたことが理解できた。そして、今後は AI やロボットの活用による業務の自動化や効率化がますます重要になると感じた。



写真-1 発表状況(Cho 教授)

*技術研究所東日本研究室研究員

3.3 一般セッション

一般セッションでは、コンクリート舗装に関わる様々な発表が行われた。発表件数は、日本が4件、中国が5件、韓国が7件であった。筆者は、「複層型プレキャストコンクリート舗装の開発」と題して発表を行った(写真-2)。

発表にはCho教授から激励の言葉を頂き、発表自体は特段の問題もなく終わることができた。発表後には参加者同士の議論も活発に行われ、多数の参加者の異なる視点から率直なご質問を頂いた。直接頂いた質問を以下に示す。

- ・2層にする最大のメリットは何か
- ・有効な適用箇所はどこか
- ・ライフサイクルコストは低減できるか
- ・設計の供用期間はどの程度か
- ・上層版と下層版の間に緩衝材を入れられないか

これらに対しては、明確な回答をできなかったものもあるので、研究のさらなるブラッシュアップに向けた今後の検討課題としたい。



写真-2 発表状況 (筆者)

3.4 現場視察

最終日には、日本のNEXCOに相当する韓国道路公社管轄下の東海高速道路の現場視察が行われた。

橋面舗装にはLMC(Latex Modified Concrete)(写真-3)が採用されており、供用開始からある程度の期間経過しているとのことであったが、視察した範囲では軽微な損傷すら見受けられず、耐久性の高さがうかがえた。



写真-3 LMC 外観

4. 韓国における高速道路の現状

韓国における高速道路の舗装種別毎の道路延長(1車線あたり)の推移を図-1に示す。

韓国では1980年頃からコンクリート舗装が施工されるようになり、1990年頃にはアスファルト舗装を追い抜き、2017年時点では全体の約2/3を占めている。また、2022年に建設中の工事では、約半分がコンクリート舗装とのことであった。

一方で、日本の場合は高速道路のコンクリート舗装の割合が5%程度で近年推移している²⁾。

また、橋面舗装の新設工事では、今回視察した高耐久性を有するLMCが採用されるのが一般的であり、補修までに要する期間は、アスファルト舗装を含むいくつかの舗装と比較して最も長いとの調査結果もある³⁾。

日本では、初期コストが低く早急な道路整備が可能なことから、アスファルト舗装の施工件数が高度成長期に大幅に増加し、主要な舗装となったと考えられている。このような状況下において、日本でもコンクリート舗装をより積極的に採用していくことが必要と感じた。

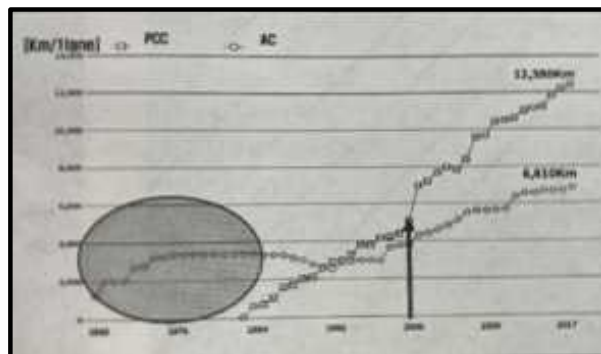


図-1 舗装種別毎の道路延長(1車線あたり)の推移

5. おわりに

今回、BESETOに初めて参加し、非常に有意義な時間を過ごすことができた。国際会議での発表経験を積めること、海外技術者との繋がりを持つること、コンクリート舗装に関する各国の動向を把握できること等、本会議への参加により得られるものは大きい。特に、若手技術者にとっては非常に良い機会になると感じた。今後も、弊社職員が定期的に参加することが望ましいと考える。

最後に、本会議に参加する機会を与えて頂いたことに感謝の意を表するとともに、この経験を今後の業務に活かしていく所存である。

【参考文献】

- 1) 7th BESETO2023 パンフレット、pp.6
- 2) 公益社団法人日本道路協会：
<https://www.road.or.jp/event/pdf/201609151pdf>、pp.4
- 3) 公益社団法人土木学会：道路橋床版の長寿命化を目的とした橋面コンクリート舗装ガイドライン 2020、pp.89

第 27 回世界道路会議(プラハ大会) 参加報告

小林 靖明*

1. はじめに

第 27 回世界道路会議プラハ大会が、2023 年 10 月 2 日から 6 日に、チェコ共和国のプラハで開催された。

当該会議は、1909 年に設立され世界的に最も権威のある道路組織として知られる世界道路協会(通称 PIARC : 旧名称 Permanent International Association Road Congress)の主催で、第 1 回が 1908 年にフランスのパリで開催されて以来、4 年に 1 度開催されている。

その内容は、PIARC の技術委員会による 4 年間の活動報告、世界中から集まった道路および道路交通関係者による最新技術の発表、取組み紹介および情報交換である。

2023 年プラハ大会では、「Together on the road again」をスローガンとして、120 か国から 6,000 人の道路関係者、40 か国の交通大臣が参加し、討議セッションが開催された。また、当該会議では 65 のセッション、16 のワークショップ、15 のテクニカルビジットが催された。

今回当社からは 4 名が当該会議に参加する機会を得たので、その概要を以下に報告する。

2. 出張概要

2-1 会場

チェコ共和国にあるプラハコンgresセンターで世界道路会議が開催された。会場は、プラハ中心部から南寄りのヴィシェブラド地区にあるプラハ最大のカンファレンスセンターである。

会場には、20 のホールと 50 の部屋があり、収容人数は 17,000 人でホテルも完備している。

2-2 プラハの特徴

プラハはチェコ共和国の首都であり、人口は約 120 万と少ないものの、中央ヨーロッパ有数の世界都市である。市内中心部をヴルダヴァ川が流れており、プラハ城やティーン聖母教会をはじめとする古い街並みや建物が数多く現存している。プラハ歴史地区は世界遺産に登録されており、毎年海外から多くの観光客が訪れている。

筆者もプラハの街を散策した際には、中世ヨーロッパにタイムスリップしたような感覚になるほど美しかったのを覚えている。また、プラハの街並みでは、至る所に大型のテントやテラス付きの飲食店が軒を連ねており、ビール片手に賑わっているのが印象的であった。日本においても「歩行者利便増進道路(ほこみち)」が令和 2 年度に制定され、各自治体で取組みが行われ始めている。

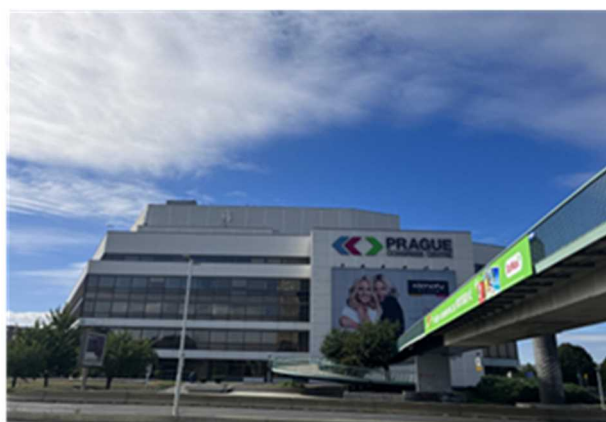


写真-1 プラハコンgresセンター外観



写真-2 世界道路会議開会式



写真-3 プラハの街並み

3. 会議概要

3-1 会議のプログラム

当該会議のプログラムを図-1 に示す。会議は大臣セッション、基調講演、技術セッション、技術展示会、およびポスターセッションで構成されていた。

*技術研究所主任研究員

日程		プレナリー	テクニカルセッション/ワークショップ								展示会場	イブニング プログラム
10/2 (月)	午前	オープニングセッション							PS			
		大臣セッション1										
	午後	大臣セッション2										
		文化紹介 パフォーマンス							PS		展示会オープニング	ウェルカムカクテル
10/3 (火)	午前	基調講演1	SDS	FS	TS	FS	FS	FS	PS	WS		
	午後		TS	SDS	TS	FS	FS	FS	PS	WS	日本パビリオン オープニングセレモニー	
10/4 (水)	午前	基調講演2	TS	TS	SDS	FS	FS	SPS	PS	WS		
	午後		TS	TS	TS	SDS	FS	SPS	PS	WS		
10/5 (木)	午前	基調講演3	TS	TS	TS	TS	FS	FS	PS	WS		
	午後		TS	TS	TS	TS	FS	SPS	PS	WS		
												ガラカクテル&イベント
10/6 (金)	午前	基調講演4	FS	TS	TS	TS	FS	SPS	PS	WS		
	午後	クロージング セッション										

SDS=ストラテジックディレクションセッション

FS = フォアサイトセッション

TS = テクニカルセッション

SPS=スペシャルプロジェクトセッション

PS = ポスターセッション

WS = ワークショップ

図-1 会議のプログラム

3-2 大臣セッション

開会初日には、大臣セッションが開催された。大臣セッションでは、「交通安全」と「自転車」の2つのテーマでセッションが行われ、各国の取組み状況や課題等に関する発表や意見交換が行われた。

「交通安全」のセッションでは、各国で取り組まれている交通事故の対策についての紹介があった。交通事故による死者数を最終的にゼロにすることを目指した「Vision Zero」を推進する国が多く、交通安全は各国の最優先課題であることを実感した。

日本からは吉岡国土交通省技監が出席し、事故危険箇所における集中的な事故対策や、途上国の道路技術者に対する交通安全研修について紹介されていた。交通安全対策として具体的な事例が紹介されており、その効果によって交通事故死者数が大幅に減少傾向にあることを述べており、日本の技術力の高さをあらためて実感した。

3-3 セッションとワークショップ

5日間で65のセッションと16のワークショップが開催された。カーボンニュートラル、道路交通の安全、持続可能性、DX など、将来の道路を見据えたテーマが多く見受けられた。

技術セッションでは、下記4つのテーマについての4年間の活動成果の発表が行われた。

- 1) 道路行政
- 2) モビリティ
- 3) 安全と持続可能性
- 4) レジリエント/インフラストラクチャ

この中で、東京大学鈴木准教授が「新たなモビリティが道路インフラと交通に与える影響」について、その可能性を特別報告されていた。今後急速に普及していくこ

とが想定される自動運転車、コネクテッド・カー、および電動モビリティといった、新たな形態のモビリティをハード・ソフト両方の道路インフラへ適用するための可能性を紹介していた。筆者自身も当該公演を聞き、次世代モビリティを見据えた舗装の研究開発をしていく必要があることをあらためて実感した。

また、舗装をテーマとしたセッションでは、当社の横山職員が複層型プレキャストコンクリート舗装について報告した。この舗装は、コンクリート版を上下2層で千鳥に組み合わせる、当社オリジナルの舗装であり、隣同士のコンクリート版を連結しないので、取外しが容易である特徴を有する。プレゼンテーション時には、各国の道路関係者が関心を持たれていた。



写真-4 横山職員によるプレゼンテーション

3-4 技術展示会

プラハ大会の技術展示会では、過去最多となった前回アブダビ大会(26ヵ国)を上回る35の国・地域によるナショナルパビリオンと、300以上の企業・団体が出展し

た。世界中から道路および交通に関わる最先端の技術や取組みが紹介された。日本パビリオンでは、官民合計 38 の企業・団体が「Road for the future -Reconnect-」を合言葉に、趣向を凝らしたコンテンツが展示されていた。

10 月 3 日にはオープニングセレモニーが開催され、主催者や PIARC 会長をはじめとする来賓による挨拶に続き、書家による大筆書きパフォーマンスが行われた。

日本パビリオンのブースでは、参加団体(道建協会会員会社)がデジタルサイネージによる舗装技術の紹介、供試体およびサンプルなどの展示によって日本の舗装技術を紹介していた。日本パビリオンの展示は、会場の中でも情報量や品質において特に見応えがあり、大会最終日まで連日多くの来場者で賑わっていた。



写真-5 日本パビリオン全景



写真-6 道建協会会員会社

当社は以下の技術・工法について紹介した。

- ・パネル舗装一体型太陽光発電システム
「ソーラーウェイⅡ」
- ・発煙筒補助・代替製品「ミチレス Q」
- ・複層型プレキャストコンクリート舗装

当社の技術・工法の中で、「ソーラーウェイⅡ」についての質問が特に多く聞かれた。チェコをはじめとする諸外国では、石油に頼らずに太陽光発電や風力発電による再生可能エネルギーへのシフトが日本と比べて進んでいる。そのため、舗装上で太陽光発電を行える「ソーラーウェイⅡ」に関心が高まっていると感じた。当社の技術

は日本だけでなく、海外に目を向けて積極的に PR していくことも重要だと、今回会議に参加して感じた。



写真-7 当社ブース前にて
(右から鈴木部長、黒川社長、横山職員、小林)



写真-8 当社技術の説明

3-5 テクニカルビジット

テクニカルビジットでは、チェコを代表するインフラ施設に関する 15 の技術視察があり、その内一つに参加した。

筆者らは、チェコのカルロヴィ・ヴァリ市を通る高速道路と BMW 施設を視察した。現場視察した高速道路は、1993 年に開通した 4 車線の幹線道路を、新たに 3 つの橋梁を含めた高速道路に拡張する工事であった。海外での橋梁の施工をはじめて視察し、建設規模もさることながら、チェコの技術力の高さに目を見張るものがあった。



写真-9 カルロヴィ・ヴァリ市を通る高速道路



写真-10 建設中の高速道路の橋梁

2023 年に完成したテスト施設は、チェコのカルロヴィ・ヴァリ地区にあり、名称は「BMW Group Future Mobility Centre」である。全長 6km の高速サーキットを含む複合型テストサイトの敷地は約 9 万m² と広大であり、自動運転技術やドライバーアシスタンスシステムをテストするためのトラックをいくつも完備していた。

この施設では、実際の交通環境下での走行、緊急ブレーキ、および回避行動のテストが行われており、視察した際にもその一部を確認できた。今回 BMW 施設を視察し、自動運転技術の進歩を感じるとともに、自動運転に対応した舗装構造を考えていく必要があると感じた。



写真-11 BMW のテスト施設

4. おわりに

今回世界道路会議に参加して、各国の技術的な知見を得られたことや、施工現場の視察や施設見学から多くのことを学ぶことができ、非常に有意義な時間を過ごせた。

当初は、英語で技術・工法の説明をしたり、質問への受け答えに四苦八苦したが、身振り手振りも交えて説明することでなんとか理解してもらえたのは嬉しかった思い出である。

今回のプラハ大会では、電気自動車や走行中の給電システムによる道路交通の脱炭素化、自動運転技術や AI などの活用による DX に関する最新技術をテーマとした様々なセッションが聴衆の関心を集めていた。その中でも、環境に配慮した舗装に関わる報告は非常に多く、道路の脱炭素化に向けたカーボンニュートラルは、国際的にみても関心が高まっていることを実感した。筆者自身も脱炭素化に向けた新たな舗装の研究開発に日々取り組んでおり、今後研究する上でのよい刺激となった。

なお、次回は 2027 年 10 月にカナダのバンクーバーで開催される。

最後に、当該会議に参加する機会を与えて頂いたことに感謝申し上げるとともに、この経験を今後の業務に活かしていく所存であります。

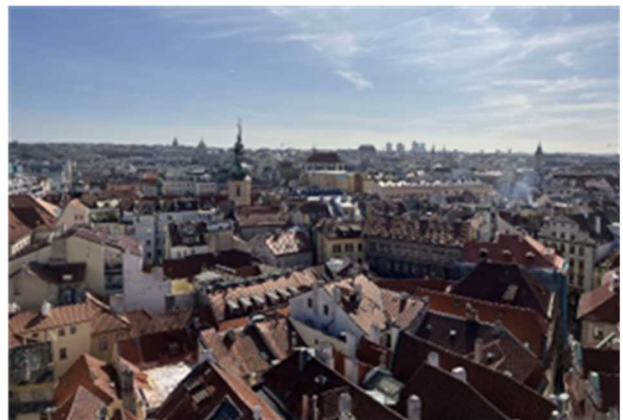


写真-12 プラハの風景

外構工事におけるタフアスコンの施工事例

成瀬 慎治*
形部 陽祐**

1. はじめに

当該工事は、大型車両が頻繁に通行する鉄鋼板製造工場の新築工事に伴う舗装工事で、当初は半たわみ性舗装で設計されていた。建築工事の工程ひっ迫によって、半たわみ性舗装の養生期間の確保が困難であると予想されたので、同等の品質で工程短縮に有利であるタフアスコンを提案し採用された。

本文では、外構工事におけるタフアスコンの施工事例について報告する。

2. 工事概要

- ・工 事 名：某鉄鋼板製造・加工工場新工場
建築工事の内外構工事
- ・工 期：2022年8月1日～2023年3月31日
- ・元 請：矢作建設工業株式会社
- ・工事内容：施工箇所平面図を図-1に示す
タフアスコン：3,101m²(青色部分)
アスファルト舗装：499 m²
コンクリート舗装：180.4m²

3. タフアスコンとは

タフアスコンは、ポリマー改質アスファルトⅡ型を使用したアスファルト混合物に特殊添加材を添加することで、耐流動性、耐油性、骨材飛散抵抗性および静止荷重抵抗性を向上させた混合物である。

アスファルトプラントでの混合時にミキサに特殊添加材を投入して製造し、混合物の運搬および施工

は、一般的なアスファルト混合物と同様である。工場、物流センター、コンテナヤードなど重荷重車両が走行・駐停車する箇所、あるいは工場や倉庫で油漏れによる舗装の早期破損が懸念される箇所等で採用され、全国で5万m²以上の施工実績を有している。

4. タフアスコン採用の経緯

当該工事の問題点は、建築工事の遅延や発注者からの工期短縮指示に伴う舗装工事の工期の確保であった。

当初は半たわみ性舗装で設計されており、約3,100m²を施工完了するのに最短でも舗装工4日、セメントミルク注入工4日、養生期間3日の計11日間必要であった。そこで、工程の短縮策としてタフアスコンでの施工を検討した。半たわみ性舗装とタフアスコンの施工日数の比較を表-1に示す。タフアスコンの場合、セメントミルクが不要で舗装翌日には交通開放が可能であり、養生期間も不要なことから、半たわみ性舗装と比べて7日間の短縮が可能となる。

工程短縮が可能であり、品質も半たわみ性舗装と遜色がない点を発注者から評価され、採用に至った。

表-1 施工日数の比較

工 種	半たわみ性舗装	タフアスコン
舗 装	4日間	4日間
セメントミルク注入	4日間	0日間
養 生	3日間	0日間
合 計	11日間	4日間

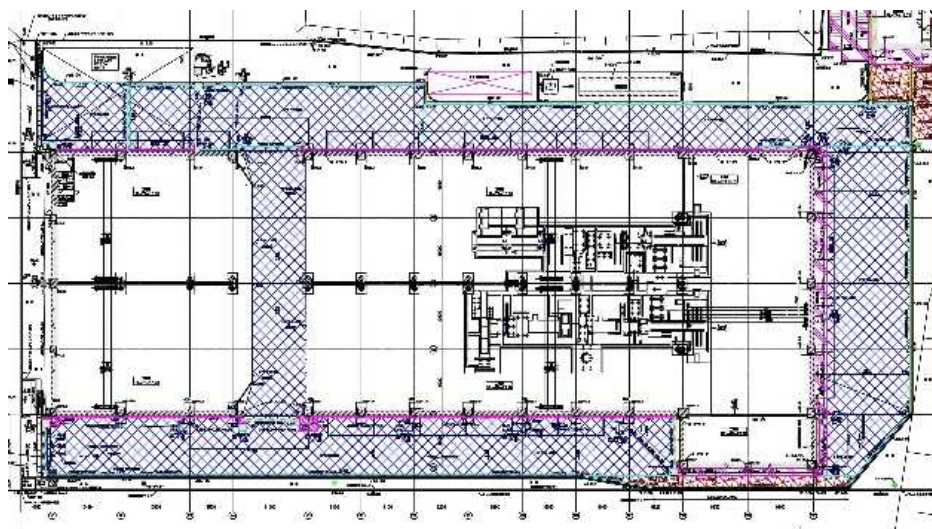


図-1 施工箇所平面図

*大阪支店大阪北営業所副所長 **同所技術係

5. 施工における課題と対策

5-1 温度管理

施工にあたり、試験練り結果や事前の施工検討会において、温度管理の目標値を表-2のように定めた。

表-2 目標温度管理値

現場到着温度	175 ± 10 °C	(170°C以上目標)
敷きならし温度	165 ± 10 °C	(160°C以上目標)
初転圧温度	150 ± 10 °C	(150°C以上目標)
二次転圧温度	100 ± 10 °C	(表面温度)
仕上転圧温度	70 ± 10 °C	(表面温度)
廃棄限界温度	155°C以下	

5-2 余盛り率および転圧回数

温度管理と同様に、過去の実績をもとに敷きならし時の余盛り率を表-3、転圧回数を表-4に示すとおり定め、施工前に協力会社と打合せ、周知徹底した。

表-3 余盛り率

施工場所	目標余盛り率 (%)	目標敷きならし厚 (mm)
一般部	15	58
狭小部	25	63

表-4 転圧回数

転 圧 機 械	転圧回数	備考
コンパインドローラ4t	初転圧	5回以上 回数は片道 前進のみ散水
タイヤローラ13t	二次転圧	7回以上 回数は片道 付着防止剤使用
コンパインドローラ4t	仕上げ転圧	適宜 ローラマークが 見られた場合
ハンドガク式振動ローラ 振動コンパクタ	転圧	7回以上 狭小部

5-3 狭小部の施工

建物際においては、壁から幅300mmの基礎が点在し、大型重機での転圧が不可能であることから、小型締固め機械(振動コンパクタ、ランマー)による施工だけでは、十分な密度が得られないことが懸念された。

そこで、アスファルト舗装内の建物基礎が影響する箇所を、図-2に示すように犬走りコンクリートへ変更し、端部まで大型重機で転圧できるように改善した。

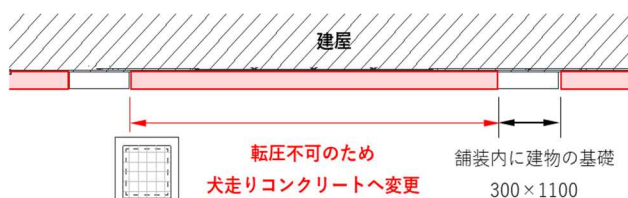


図-2 建屋基礎部の変更

5-4 施工継目の付着改善(サイドタック)

建築工事との工程調整の結果、施工は3分割であった。施工時期が冬季であり、さらに分割施工となることから、施工継目の付着力の確保と舗装端部の締固め度の確保が課題であった。

付着力不足による施工継目の開きの例を写真-1に示す。



写真-1 施工継目の開きの例

技術研究所でのタフアスコンの施工継目に関する試験(写真-2、3、表-5、6)において、供試体継目にタックコート0.4L/m²を塗布した供試体としなかった供試体では、圧裂強度がそれぞれ0.80N/mm²と0.57N/mm²という結果となっている。

その結果から、「タフアスコンが高耐久ゆえに、打継ぎ合材の熱だけでは施工継目が溶融せず付着しづらい。」という考察が得られている。

さらに、タフアスコンの打継面にタックコートを塗布することで、密粒度アスコンと同程度の施工継目の強度を得られるという考察も得られている。

当該工事においては、各施工端部と先行舗装部との施工継目および当日施工の打継目を含め、すべてにサイドタックを塗布することで、付着強度の確保を図った。

表-5 各供試体の条件表

試験水準	混合物の種類	施工目地の処理
1	密粒度アスコン StAs60-80	処理なし
2	密粒度アスコン 改質Ⅱ型	処理なし
3	タフアスコン	処理なし
4	タフアスコン	タックコート塗布



写真-2 圧裂試験状況

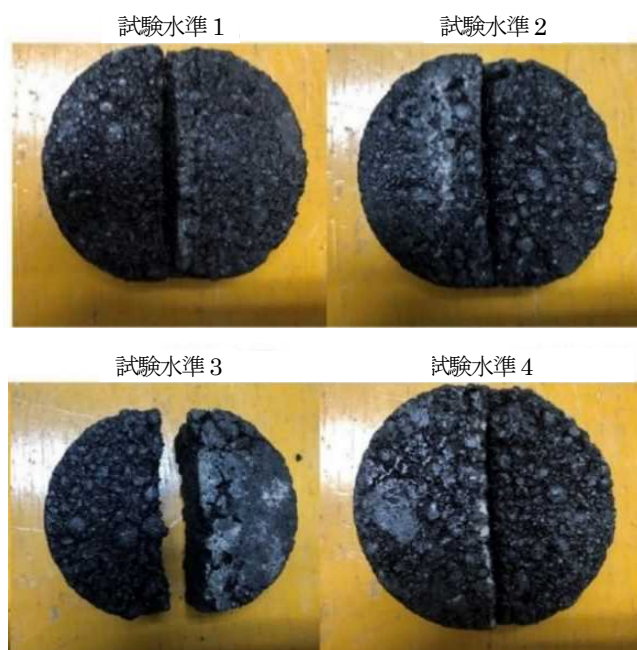


写真-3 各供試体の試験結果

表-6 各供試体の試験結果

試験水準	混合物の種類	施工目地の処理	圧裂強度 (N/mm ²)	試験後の施工継目状況
1	密粒度アスコン StAs60-80	未処理	0.85	両端部で保持
2	密粒度アスコン 改質Ⅱ型	未処理	0.80	両端部で保持
3	タフアスコン	未処理	0.57	破断
4	タフアスコン	タックコート塗布	0.80	両端部で保持

5-5 施工継目の付着改善(L型ジョイントヒータ)

施工継目の付着改善と締固め度の確保のため、L型ジョイントヒータ(写真-4)を使用した。

L型ジョイントヒータは、アスファルト舗装の縦継目を加熱する装置で、L型形状のヒータが既設舗装端部を2方向から効率的に加熱することによって、施工継目の熔融を促進し付着強度を確保した。



写真-4 L型ジョイントヒータ

5-6 出荷体制

分割施工による日々の施工量と数量を計画し、施工のタイムスケジュールを作成した。それに基づきプラントとダンプ台数の調整を行い、合材待ちによる施工の中断あるいは合材供給過多によるダンプ待

機時間の増加に伴う合材温度の低下を防止した。

5-7 運搬時の保温対策

タフアスコンの運搬に際し、保温シートは2枚重ねとし、シートの敷設は運転手任せとせず、プラントにおいて全台数確認してから出荷した。

現場での到着温度は、3点(ダンプの前後中)計測し、定められた破棄温度になっていないことを確認した。

また、舗設直前に保温シートをめくるように運転手に指示し、温度低下を起こさないよう配慮した。

6. 施工

検討した対策を確実に実施するよう施工に臨んだ。

6-1 サイドタック

施工継目において、ブラシを用いてサイドタックをムラなく塗布した(写真-5)。



写真-5 施工継目サイドタック塗布状況

6-2 L型ジョイントヒータ

施工継目では、敷きならし前にL型ジョイントヒータを使用し、平均110～130℃で加熱して施工を行った。

ジョイントヒータによる加温によって、付着強度ならびに締固め度の向上が図れた(写真-6)。

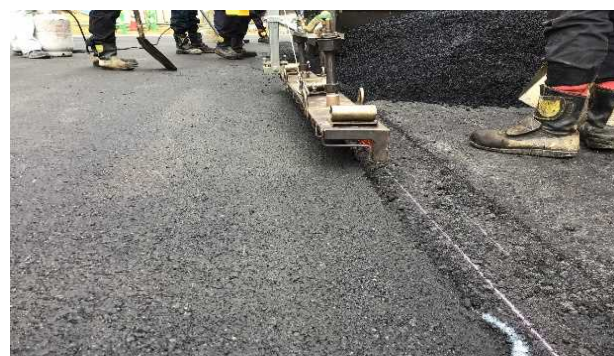


写真-6 L型ジョイントヒータ使用状況



写真-7 舗設状況



写真-8 1か月後の状況(南側)

7. まとめ

タフアスコンの冬季施工における施工継目に関する付着不足、強度確保、締固め不足などの課題の抽出を行い、管理温度値の設定や狭小部のコンクリート舗装への変更、さらに施工継目におけるサイドタック施工、L型ジョイントヒータの使用などの対策を講じた。その結果、1か月後点検の際、施工継目の開きなど懸念された不具合は見当たらなかった。

発注者からは継続して経過観察を行うことのできる了承を得ており、今後も3か月ごとに点検を行っていく予定である。1か月後の状況を写真-8、9に示す。

8. おわりに

2週間の工期短縮を達成したこと、トレーラーなどの大型車両が走行しても半たわみ性舗装と遜色がなく、骨材飛散や施工継目の開きなどの不具合が出ていないことで、元請から多大な評価を得ることができた。



写真-9 1か月後の状況(北側)

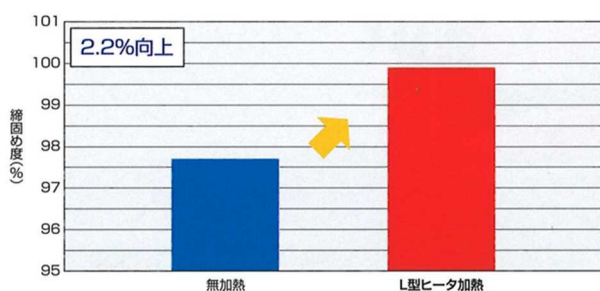
今後、半たわみ性舗装で設計されていて、工期短縮の必要性がある現場に関しては、当該工事のようにタフアスコンへの変更が大いに期待できる。

当該工事の施工にあたり、事前検討時から施工に至るまで、指導および技術協力していただいた方々に、お礼を申し上げます。

技術情報：L型ジョイントヒータの効果

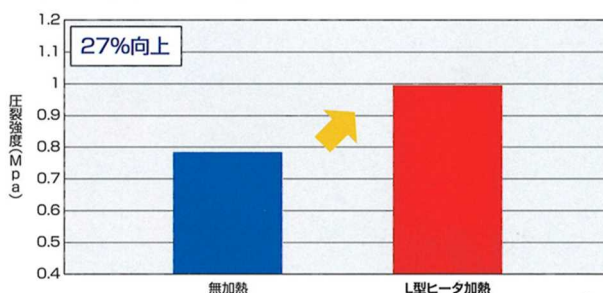
■ 締固め度の向上

L型ヒータの加熱により、既設舗装端部の締固め度が2.2%向上。



■ 圧裂強度の向上

L型ヒータの加熱により、付着強度の指標として実施した施工ジョイント部分の圧裂強度が27%向上。



リーフレット「L型ジョイントヒータ」から抜粋

48 時間ランプ閉鎖における「BLG」の施工事例

阿久津健次*
坂井 貴博*

1. はじめに

首都圏中央連絡自動車道の高尾山ICは、橋梁部の急勾配でかつ急カーブの線形となっており、床版防水(グレードⅡ)とアスファルト舗装との接着低下によって、舗装損傷が多発している。

当該工事の当初設計は、路面切削後にファインミリング工法で既設のグレードⅡ防水を撤去後、床版防水(グレードⅠ)、FBおよび高機能舗装Ⅱ型の舗装構造であった。さらに、オンランプとオフランプをそれぞれ48時間閉鎖して施工する条件であった。

工期中にBLG(Bridge Levelling Guss asphalt、橋梁レベリング層用グースアスファルト)が要領化されたことで、施工5ヶ月前に設計変更が行われ、早急な計画の見直しが必要となった。

さらに社会的影響を考慮して、オンランプとオフランプの48時間同時閉鎖による施工を要望された。

本文は、上記の条件内での計画・施工について報告するものである。

2. 工事概要

- ①工 事 名：中央自動車道八王子管内
舗装工事(2020年度)
- ②工事場所：中央道 高井戸IC～上野原IC間
圏央道 相模原IC～あきる野IC間
- ③全体工期：令和3年1月5日～令和4年12月31日
(図-1参照)
- ④発 注 者：中日本高速道路株式会社八王子支社
- ⑤工事内容：切削オーバーレイ工 83,000m²
路面標示工 56,000m
伸縮装置取替 510m

当該工事は、令和3年5月と令和4年5月に中央道・高井戸～八王子間での集中工事が含まれており、高尾山ICの施工箇所は、工期終盤である令和4年10月に行う予定であった。施工範囲を図-1に示す。

3. 施工内容

3-1 施工計画

BLGへ設計変更後、オンランプとオフランプを別班で施工しても72時間は必要であった。オンランプの数量がオフランプに比べ1,200m²程度多く、オンランプをいかにして効率よく施工することが課題であった。

表-1 全体工程表

年月	令和3年												令和4年											
工種	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
準備工																								
事前調査																								
集中工事																								
舗装補修																								
伸縮装置取替																								
片付け																								

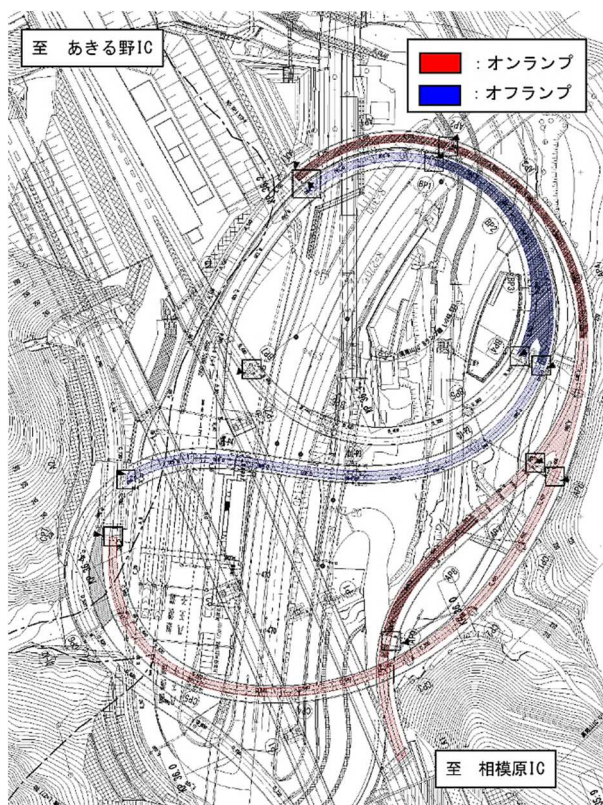


図-1 高尾山IC施工範囲図

そこで、切削機の台数の見直しや複雑なランプ構造を考え、施工方向やダンプ等の運行経路およびプラントの選定等を再検討した。(表-2、3および図-2参照)

3-2 切削・既設防水除去

既設防水の撤去は当初通りのファインミリング工法で行った。ただし、床版の不陸等で既設防水が残ることが懸念された。その場合は、追加工程として搭乗式スクレーパ等で確実に防水の除去を行えるように計画した。(写真-1参照)

*関東支店多摩営業所工事主任

表-2 オンランプ検討前タイムテーブル(72時間)

工程	時間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
準備工	1H																								
切削工	8H 大型切削機 1台																								
防水除去 ファインミリング																									
研掃工 ウォータージェット																									
乾燥養生																									
工程	時間	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
乾燥養生																									
BLG'ース 接着剤塗布	5H																								
BLG'ース																									
工程	時間	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
BLG'ース																									
養生 60℃以下																									
表層工																									
品質管理 路面標示工																									

表-3 オンランプ検討後タイムテーブル(48時間)

工程	時間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
準備工	1H																								
切削工	6H 大型切削機 2台																								
防水除去 ファインミリング	5H ファインミリング切削機 2台																								
研掃工 ライナックス	9H ライナックス 3台																								
BLG'ース 接着剤塗布																									
BLG'ース																									
工程	時間	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
BLG'ース																									
養生 60℃以下																									
表層工																									
品質管理 路面標示工																									



写真-1 既設防水撤去

既設舗装の切削は、切削機2台で効率的な切削が行えるような機械配置と施工方向を考慮して決定した。ファインミリング工法用の切削機も別で2台用意して工程短縮を図った。

床版の下地処理は、NEXCO設計要領上はウォータージェット処理の仕様であったが、床版乾燥時間短縮のため、協議して、ライナックス研磨で行うこととした。(写真-2参照)



写真-2 床版研掃状況

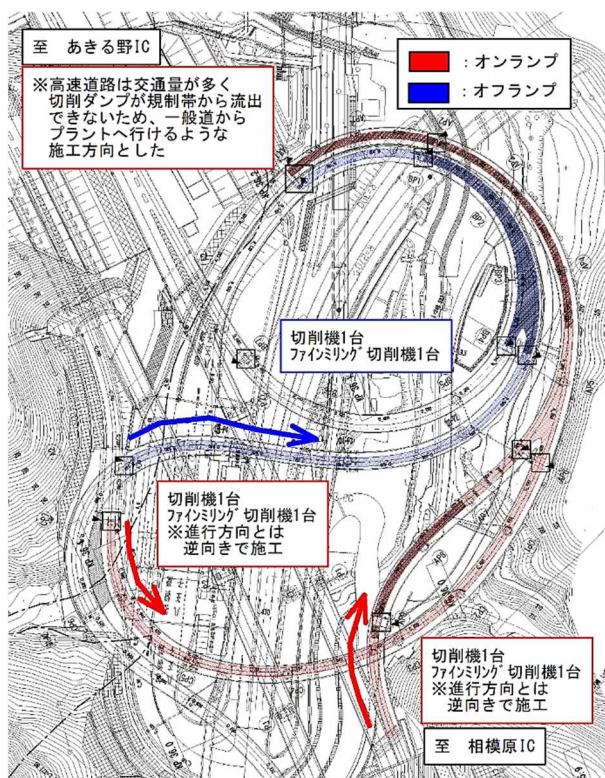


図-2 切削機の進行方向

3-3 橋梁レベリング層用グース「BLG」

BLGの配合設計は、動的安定度(以下、DS)を確保するため、過去の経験からDSに大きく影響する石粉の選定に留意した。

試験練りでは、1~5時間のクッキング時間いずれでも規格値のDS1,000回/mm以上をクリアした(表-4参照)。

表-4 ホイールトラッキング試験結果(試験練り時)

	室内	混練時間				基準値
		0.5	1	3	5	
動的安定度(回/mm)	1,125	1,189	1,286	1,432	1,105	1,000以上

成形目地は、設計要領では高弾性となっていたが、BLGは通常グースに比べ温度が低いので、成形目地が溶解しやすいように低弾性へ協議・変更した。伸縮装置前後では人力施工が必要になるので、バーナ付きコテを利用し、施工性の向上と良好な仕上がり面確保に努めた。

施工を2班体制で行うため、2プラントを選定し、当社保有の電気式クッカ車とガス式クッカ車の両方を使用した。ガス式クッカ車は、走行中のクッキング(加熱)がで

きないので、現場近くのプラントを選定し、現場到着後にクッキング時間の短縮を図った。

施工途中でオンランプ班のグースフィニッシャが故障し、あらかじめ用意していた予備機械で施工を再開した。しかし、故障時に施工基面への油漏れに気が付き、再度研掃と接着剤塗布を行う必要性があり、6時間の工程遅延が発生した。

発注者へ直ちに報告したが、閉鎖時間延長はできないと回答された。そこで急遽、タイムテーブルを再度見直して、順調に施工していたオフランプ班が、工程が遅れているオンランプの応援に回れるように施工区割りの見直しを行った。

その際、出入口は両端にしかないことから、ランプ途中のノーズ付近で行うしかなく、その位置決めは、2班が同じ時間に終わる位置を割り出して決定した(図-3、4参照)。

また、合材のクッキング温度を規格の範囲内で高めに設定してBLGの流動性を向上させ、施工速度が落ちないようにした。

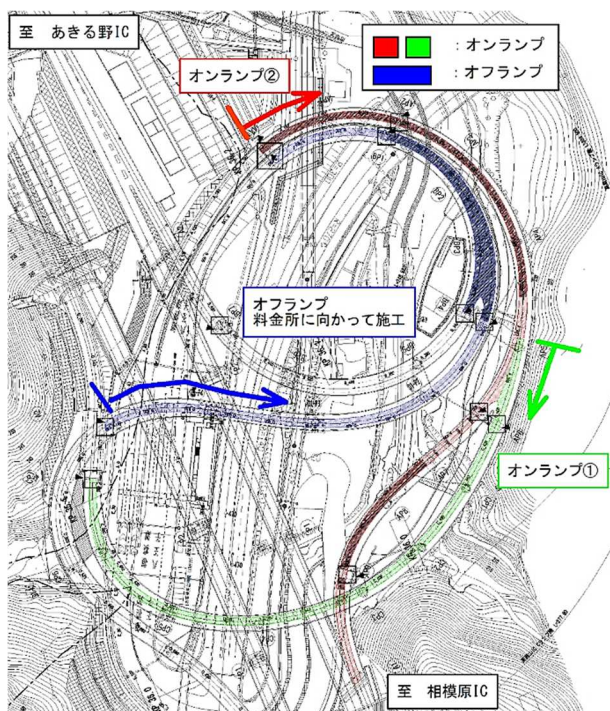


図-3 BLG施工区割図(当初)

3-4 表層工

表層工は、BLGの舗装表面が60℃以下で施工可能となるので、早期に冷却する必要があり送風機を配置することで対応した。

BLG上のタックコートは、BLGは乳剤を散布しなくても表層との接着が良いこと、また散布しても弾かれて水玉状になり性能を発揮しないので、BLG表面に乳剤散布せず、端部側面にのみの散布とした。

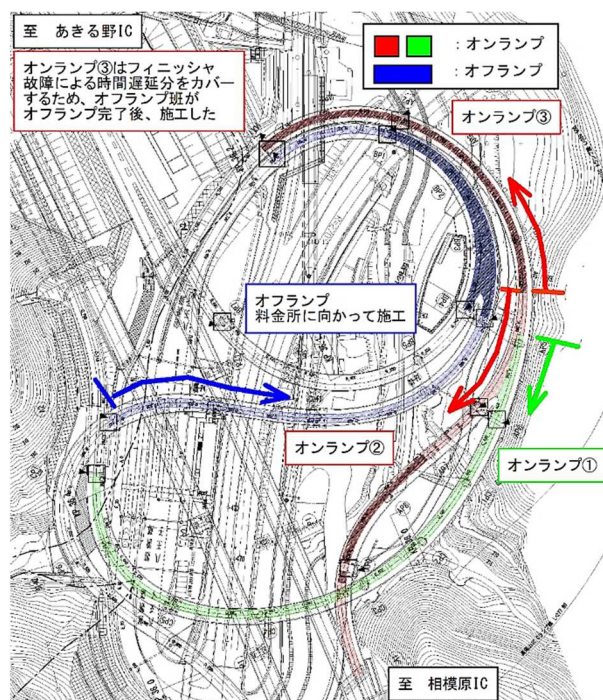


図-4 BLG施工区割図(変更)

材料は、高機能舗装Ⅱ型用混合物を厚さ4cmで施工した。

BLGの遅れを取り戻すため、図-5に示す当初予定区割りから表層工の別班作業員がオンランプ完了後、オフランプ班の施工機械を使用して、オフランプの表層工を早期に開始させ、時間短縮を図った(図-6参照)。

表層の施工状況を写真-3、4に示す

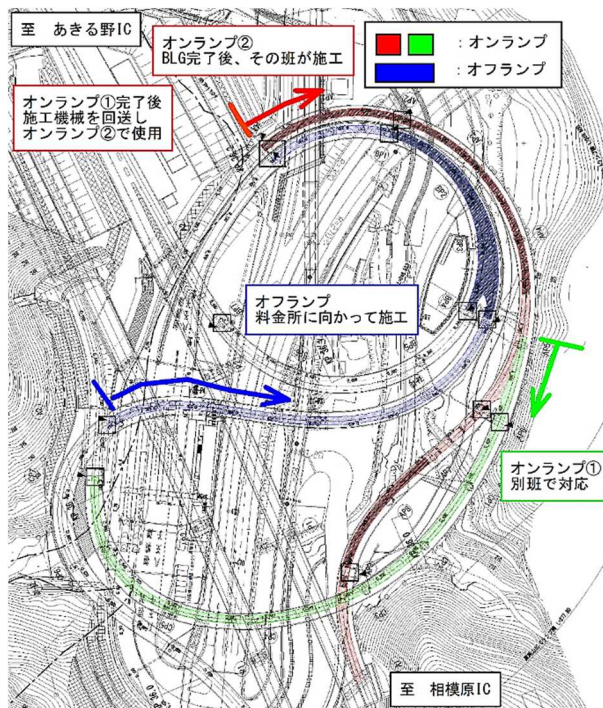


図-5 表層工施工区割図(当初)

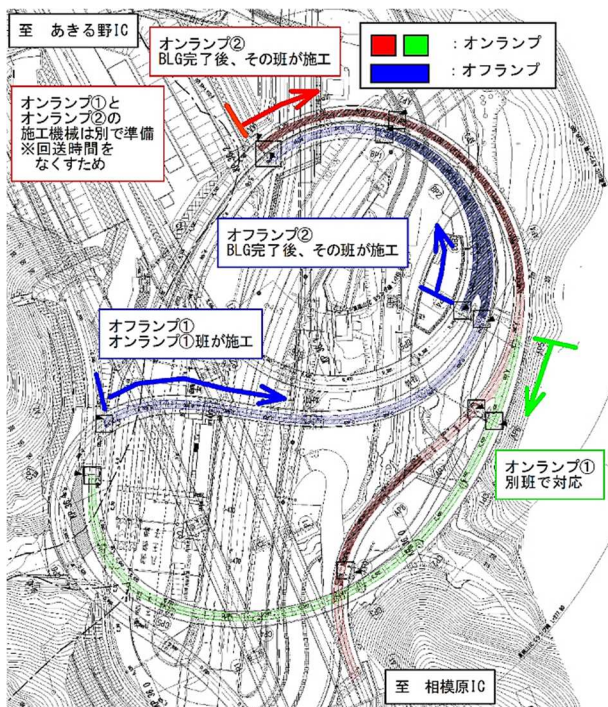


図-6 表層工施工区割図(変更)



写真-3 表層工施工状況①



写真-4 表層工施工状況②

4. 今後の課題

4-1 BLGの廃棄

NEXCOの設計要領上、BLGは5t以上積載する必要がある(1t必要でも5t積載しなければならない)、最終クッカ車の廃棄合材が無駄に多く発生してしまう。

請負者の責によるものではないにも関わらず、積算上は考慮されていないことが多い。

さらに、リユエル流動性試験で1台につき50kg程度の廃棄合材も発生する。

4-2 BLGの運搬

ガス式クッカ車は法律上、材料を加熱運搬することできないので、現場到着後に再クッキングを行う必要があり、ランプ閉鎖等の時間的制約がある現場への適用には十分な検討が必要になる。

当該工事では、施工数量が多いオンランプの施工が全体工程上クリティカルパスとなることから、クッキングによる時間ロス無くすため、使用するクッカ車8台すべてを電気式とした。

オフランプは施工数量が少なく時間的余裕があったので、クッカ車8台の編成を電気式1台、ガス式7台とした。

4-3 BLGの施工

橋梁部の急勾配で、かつ急カーブの線形でのBLGの施工であったが、試験舗装で現場の勾配での流動量を確認することで敷きならし高さを調整し、当該施工では問題なく施工することができた。

事前に流動する量を確認し対策を検討したうえで実施工に臨むことが非常に重要である。

ただし、流動時の補修は現実的に困難であり、非常に難しい課題である。今後は、小型鉄輪ローラ等の使用も検討してよいと感じた。

5. おわりに

発注者からは、急な設計変更に対応したこと、トラブルが発生した中でもあらかじめ想定して準備していたこと、段取り変更を速やかに行い時間内に工事を終えたことが評価され、しゅん功検査では高い評点をとることができた。

最後に、施工に尽力いただいた全協力業者、関東支店内営業所からの全応援職員、技術的な支援をして頂いた技術研究所と関東支店技術部ならびに工事部の関係各位に感謝の意を表します。

高速道路における車線規制を伴う IH 式舗装改良工の施工事例

松岡 徹*
高沢 利之**

1. はじめに

名港西大橋は、名古屋港を横断する名港トリトン（名港東大橋、名港中央大橋）のひとつであり、伊勢湾岸自動車道伊勢湾岸道路の名港中央IC（名古屋市港区金城ふ頭）から飛島IC（海部郡飛島村木場）の間にある橋梁である。橋長758m、中央径間405mの鋼斜張橋で、構造が他の2大橋と異なって上下線に分離している。

上り線（現在の豊田・新東名方面）は有料道路名港西大橋として1985年3月20日に暫定2車線対面通行で供用された。一方、下り線（現在の四日市・新名神方面）は1993年7月に事業化され、1998年3月30日から供用されている。

この3橋において、近年の交通量増加の影響に伴い、鋼床版の損傷が約10年前から発生している。さらに、2016年10月に発生した舗装の損傷（ポットホール）は、鋼床版のUリブ溶接部からデッキプレート母材方向に進展したデッキプレート貫通亀裂の影響から発生した損傷であった。

この損傷形態は、路面陥没に繋がる恐れがあることから、走行車両の安全性を確保するため、その対策が急務であった。しかし、通常の交通規制条件下（夜間21時～翌6時）において、全層にわたる舗装打換および鋼床版補修は不可能であった。そのため、従来は表層のみの切削オーバーレイで対応してきた。しかし、補修直後から変状が発生することから、鋼床版の老朽化による影響が大きいと考えられたので、中日本高速道路㈱名古屋支社において初となる、IH式舗装撤去工法によって施工を行い、鋼床版の調査および補修を実施した。

本文は、その対策工事として伊勢湾岸自動車道（下り線）名港西大橋において試験的に実施した、IH式舗装改良工についての施工結果、および施工上の課題等を報告するものである。

橋梁位置図を図-1に、橋梁イメージ図を図-2に示す。

2. 工事概要

- ・工 事 名：東名高速道路（特定更新等）豊田管内
舗装補修工事（2021年度）
- ・発 注 者：中日本高速道路株式会社名古屋支社

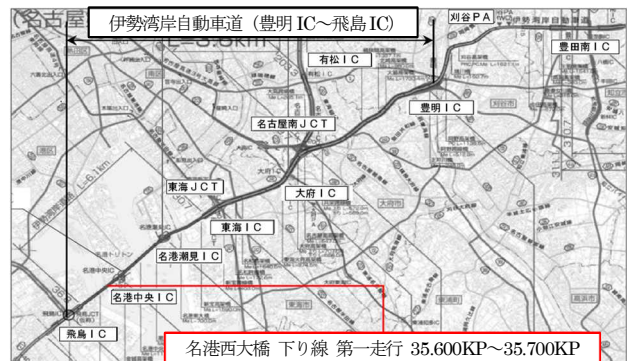


図-1 橋梁位置図



図-2 橋梁イメージ図

・工事箇所：（図-3参照）

- ①東名高速道路（岡崎IC～豊田IC）
自）愛知県岡崎市大平町～至）愛知県豊田市美山町
- ②伊勢湾岸自動車道（豊明IC～飛島IC）
自）愛知県豊明市栄町～至）愛知県海部郡飛島村
- ③新東名高速道路（岡崎SA）
愛知県岡崎市宮石町内

・工 期：

（当初）令和4年4月28日～令和5年 7月21日（450日間）
（変更）令和4年4月28日～令和5年10月24日（545日間）
新東名高速道路下り線岡崎SAの駐車ます改良工事に伴い、現地調査や支障物の移設を検討する必要が生じたので、工期が延伸した。

・主な工事内容：

切削オーバーレイ工（t=5cm）（N）（舗）	2,230m ²
切削オーバーレイ工（t=10cm）（DN）（舗）	53,650m ²
切削オーバーレイ工（t=10cm）（N）（舗）	4,880m ²
アスファルトコンクリート表層工（t=4cm）（SA）	2,910m ²
コンクリート舗装版（t=20cm）A（SA）	2,375m ²
IH式舗装改良工（舗）	378m ²

*中部支店三河営業所技術係 **同所工事長



図-3 位置図

3. IH 式舗装撤去工法の概要

鋼床版上の舗装は、繰返しの交通荷重や建設後の長期経過などの様々な要因で損傷が進展し、舗装の全層打換えを行うケースも増えてきている。鋼床版上の舗装全層撤去は、床版やボルトを傷つけやすいことから、慎重に行う必要がある。

現状の撤去方法は、鋼床版を損傷しない深さまで路面切削機を使用し、平爪を装着したバックホウなどで丁寧に舗装を撤去し、ボルト部などは人力によるはつりで撤去作業を行う。

しかし、鋼床版上の打換え工事は、交通規制の時間的制約や、住宅密集地域では騒音や振動を抑制するなどの対応が必要となる。

IH式舗装撤去工法は、このような課題を解決するために開発された技術で、電磁誘導加熱で鋼床版とアスファルト舗装の界面を加熱し、接着を解くことによって、アスファルト舗装のはく離・撤去を容易にできる。また、鋼床版を傷つけることなく、工事騒音の発生を抑制でき、沿道環境の改善に寄与できるものである。IH式舗装加熱方法を図-4に示す。

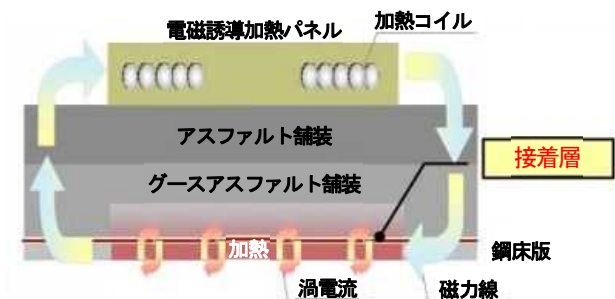


図-4 IH式舗装加熱方法(イメージ)

4. IH 式舗装改良工の施工

4-1 施工位置図および断面図

名港西大橋において実施した施工箇所平面図を図-5に、施工断面図を図-6に示す。

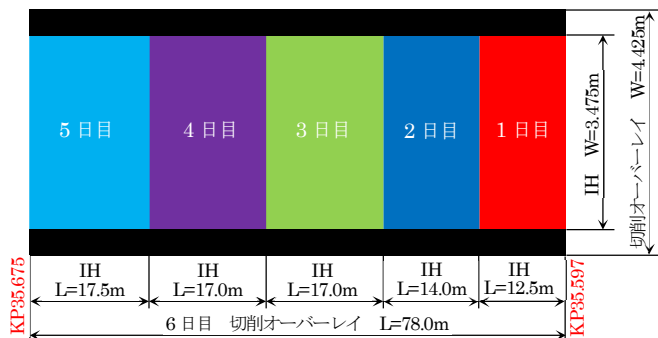


図-5 施工箇所平面図(下り線第一走行車線)

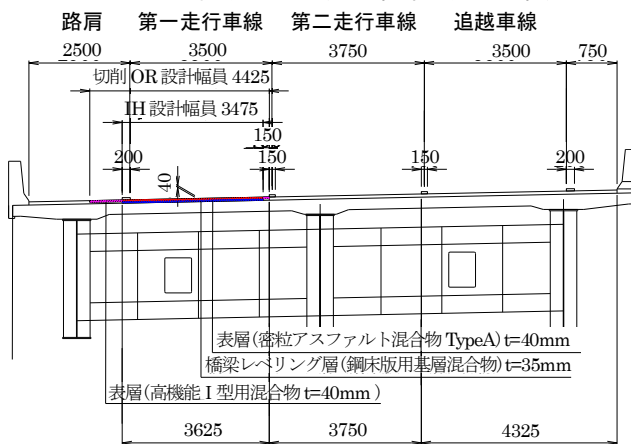


図-6 施工断面図

4-2 全体フロー

名港西大橋において実施した調査、協議、計画および各部の施工順序を図-7に示す。

本施工に先立ち、施工計画を立案しタイムテーブルを作成した。夜間規制時間(21時～翌6時)内での施工完了は難しいと判断されたので、夜間規制時間(18時～翌8時)延伸について発注者と協議を行った。また、橋梁レベリング層に改質グースアスファルト混合物(以下、eグース)を提案し採用された。

4-3 施工上の課題と解決策

事前調査によって明らかとなった施工上の課題とその解決策を以下に示す。

(1) 舗装版切断時の添接部(HTB)の損傷

添接部は、図-8に示すように舗装のかぶり厚さが46mmと薄いので、舗装版切断時にボルトを傷つける懸念があった。そこで、添接部の位置確認時に電磁波レーダ(図-9参照)を用いて現地調査と開削を行い、舗装厚さを確認した。添接部の位置を明確化することで、舗装版切断時のボルト損傷を防止した。

(2) 施工時における通行車両の安全確保

本施工は、第一走行車線規制で行う作業であり、第二走行車線と追越車線の2車線が開放された状態で施工する。名港西大橋は海上の吊り橋で常時風が強く、周辺には埠頭があり通行車両は大型が比較的多い箇所である。ラバーコーンが風や通行車両の風圧で転倒することが多々あり、重大事故につながるおそれがあった。

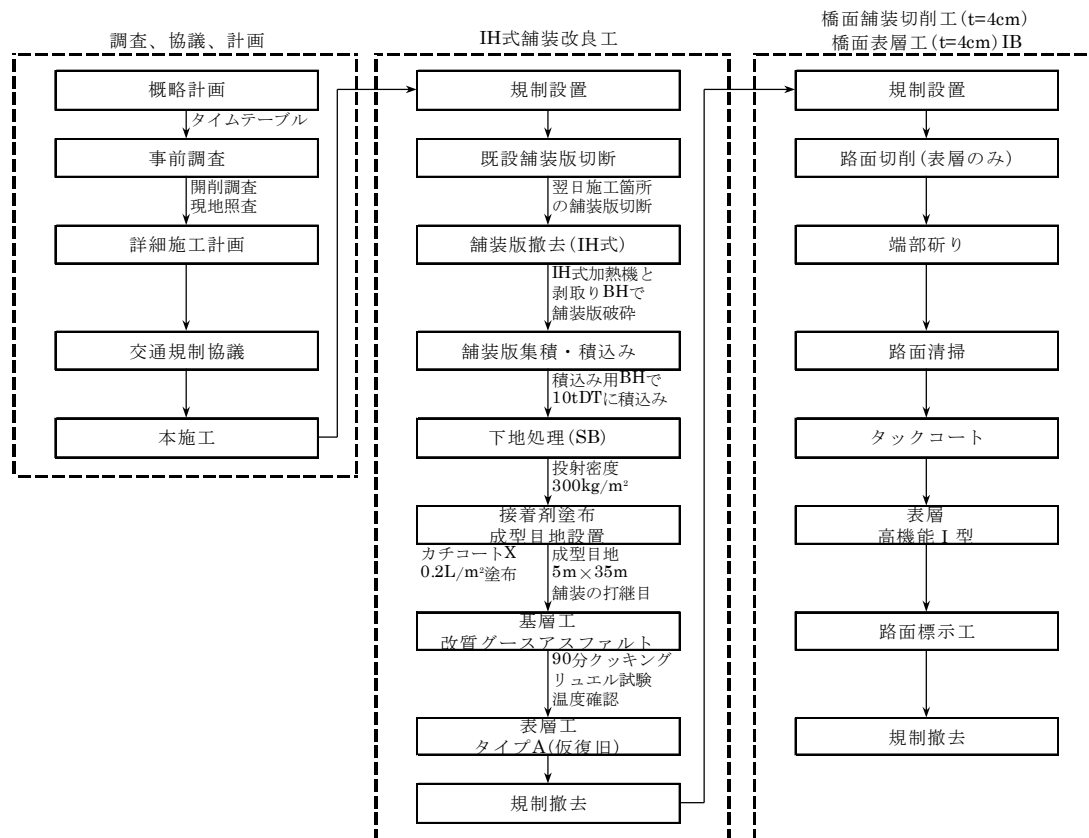


図-7 事前協議と施工フロー図

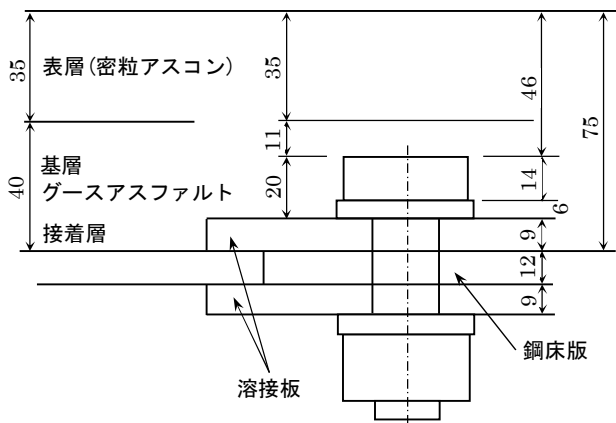


図-8 HTB添接部



図-9 電磁波レーダ (NJJ-105)

そこで、当初の施工幅員が破線内(第二走行車線であったが、破線内から15cm第一走行車線側に入れた箇所)で施工を行い、通行車両の幅員を広げることによって安全性を確保した。

(3) 路肩部の滞水

本施工箇所は路肩側への水勾配であり、路肩部分の現況表層が密粒度アスファルト舗装混合物であることから、舗装表面の滞水が懸念された。橋面表層切削工(t=4cm)と橋面表層工(t=4cm)IBの施工幅員を変更し、排水機能を持った高性能I型用混合物とすることで、路肩部分の滞水を防止した。

4-4 IH式舗装改良工の施工

名港西大橋において実施したIH式舗装改良工の施工手順を写真-1に、施工内容を以下に示す。

(1) 既設舗装版切断

事前調査結果をもとに、鋼床版およびボルトを傷つけないよう添接部箇所にはマーキングを施し深さ方向に30mm、その他箇所は深さ方向に60mmの舗装版切断を行った。翌日の施工予定箇所を先行して舗装版切断することによって、当日の施工時間短縮を図った。

(2) 舗装版撤去 (IH式)

IH式加熱機によって鋼床版を80℃で加熱し、舗装版剥ぎ取りバックホウ(逆バケット)で舗装を鋼床版の界面から撤去した。鋼床版の加熱効果が損なわれない内に、速やかに剥ぎ取り作業を行った。

(3) 舗装版集積・積込み

積込み用バックホウによって、舗装版を10tダンプトラックに積み込み搬出した。

(4) 下地処理(ショットブラスト)

鋼床版上の残留物は、橋梁レベリング層(改質グースアスファルト)の接着性および耐久性の低下をおよぼすので、ショットブラストによって鋼床版上の残留物を除去し清掃を行った。ショットブラストの投射密度は 300kg/m^2 とした。

(5) 接着剤塗布・成型目地材設置

鋼床版の研掃ムラや残留物を確認し、接着剤を 0.2kg/m^2 塗布した。塗布後、指触で乾燥を確認した。舗装打継目に防水処理として成型目地材を設置した。

(6) 基層工

橋梁レベリング層にはeグースを用いた。目標温度($210\sim 230^\circ\text{C}$)の中央値 220°C を上限に設定し、クッカー車によってeグースを加熱・攪拌しながら運搬した。現場到着後、リュエル流動性試験で品質を確認した。

グースアスファルトフィニッシャーを使用して敷きならし、端部は人力で熱した鋤やタンパを使用し、所定の高さになるように敷きならした。舗装表面に発生した気泡は、鋭利なものでエア抜きを行った。

(7) 表層工(タイプA仮復旧)

敷きならしは、アスファルトフィニッシャーおよび人力で行い、転圧はコンバインド式振動ローラで行った。仮復旧であることから、施工最終日に切削オーバーレイで表層($t=4\text{cm}$)の打換えを行った。

4-5 橋面舗装切削工・橋面表層工の施工

(1) 路面切削・路面清掃

IH式舗装改良工で仮復旧した表層($t=4\text{cm}$)を、路肩側は既設密粒まで切削した。端部は人力でブレードを用いて斫り取り、路面清掃車で清掃した。

(2) タックコート

路面清掃確認後、ディストリビュータによって、切削面全体に均一になるように所定量(0.4l/m^2)を散布した。

(3) 表層工(高機能I型)

敷きならしは、アスファルトフィニッシャーおよび人力で行い、初転圧はマカダムローラで、二次転圧はタイヤローラで行った。

(4) 路面標示工

突起型路面標示はパイブラ専用機によってリブを形成し、幅 20cm で施工した。溶融噴射・直接流下型は、塗料中にガラスビーズを含み、加熱溶融した材

料を用いて施工した。



①IH施工状況



②SB、磁粉深傷調査状況



③の発生状況



④グースアスファルト施工状況



⑤仮舗装状況



⑥切削状況



⑦表層施工状況



⑧完成

写真-1 施工状況

5. まとめ

本施工では、IH式舗装改良工を合計7日間(雨天で2日間中止)実施した。舗装撤去完了後に発注者のほうで磁粉深傷調査を行い、鋼床版の状態を確認した。

調査の結果、鋼床版表面に亀裂が発見された。亀裂周辺部には凹凸が見られ、基層下面に水分が浸水した影響によって腐食したものと考えられる。亀裂部は発注者でサンダーを掛け、溶接棒で溶接し補修を行った。既設舗装の損傷は既設基層の不透水性が失われた影響であると考えられる。

施工の結果として、夜間規制時間(18時～翌8時)の施工離脱リミット翌5時に対して、翌4時半と時間内に施工を完了することができた。夜間車線規制のみでの施工は、今回の施工量が限界であるとする(A= $43.4\sim 60.8\text{m}^2$)。

本文の施工事例が今後、同条件下での工事を施工するうえでの参考となれば幸いである。

セメントレス土系舗装の施工事例

吉田 浩介*

1. はじめに

当該工事は、施設工事の内外構工事であり、実施工を行う前のモックアップとして、セメントレス土系舗装の施工を行ったものである。

セメントレス土系舗装の特徴は、以下のとおりである。

①MgO(酸化マグネシウム)を主要固化材とし、骨材に土を使用した舗装である。セメントや樹脂を使用しないので、舗装撤去粉砕後の土が、環境省の定める土壤環境基準(環境庁告示第46号)を満足し、何年か後に(今後の経過観察が必要)土に還ることを特徴としている。

②保水した舗装面からの水分蒸発効果や、舗装面が暖色系であることに起因する夏季の照り返し抑制によって、アスファルト舗装に比べて温度上昇を抑制する。

③コンクリート舗装と同等の強度を有しているので、耐流動性、タイヤの旋回や据え切り作用による骨材飛散などに優れている。

本文では、当該工事におけるセメントレス土系舗装の施工を報告する。

2. 工事概要

工事概要は、以下のとおりである。

- ・工 事 名：某施設モックアップ舗装工事
- ・元 請：株式会社大林組
- ・工事場所：静岡県某市
- ・工 期：令和4年8月1日～10月7日
- ・工事内容：セメントレス土系舗装(t=100)
(表面ショットブラスト仕上げ) 180m²
収縮目地間隔：5.0m以内

モックアップの平面図を図-1に示す。なお、セメントレス土系舗装は、図中の赤枠内である。

3. 施工手順、施工上の注意点および考察

3-1 施工手順

当該工事の施工手順は、「土系舗装設計・施工要領書案(社内資料)」を参考にして施工方法を決定した。

施工フローを図-2に示す。

(1) 材料準備・キャリブレーション

今回の使用材料は、以下のとおりである。

使用材料の配合比率を表-1に示す。

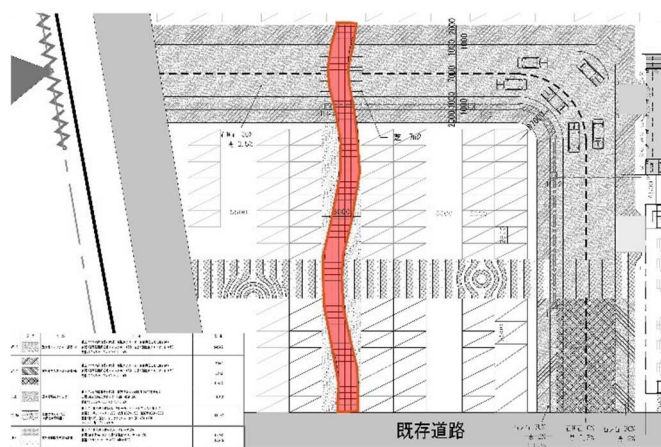


図-1 モックアップ舗装平面図

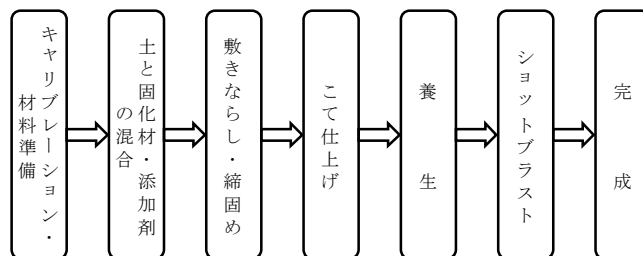


図-2 標準施工フロー

①骨材

さなげ砂(日本銀砂産)

②固化材

酸化マグネシウム(MgO)

食品添加物クリスタンCS(MgCl₂)

特殊添加剤

表-1 配合比率

	さなげ砂 (乾燥)	MgO	MgCl ₂	特殊添加剤	水	混合物
配合割合	1	0.08	0.08	0.0056	0.115	1.28
質量/バッチ (kg)	250	20	20	1.4	28.75	320.15

今回の施工では8切ミキサ(0.3m³)を使用したもので、1バッチ当たりの質量は表-1に示すとおりした。

(1) 混合

混合フローを図-3に示す

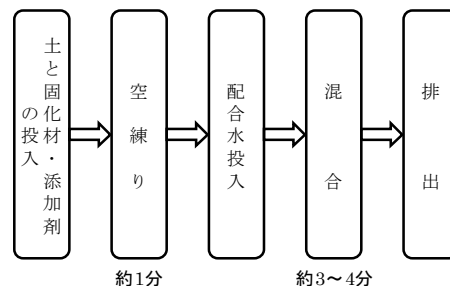


図-3 混合フロー

*中部支店静岡営業所工事長

- ①混合作業前にキャリブレーションで決定した1バッチ当たりの材料を小分けしておいた。
今回の配合では、砂の質量がバックホウのバケツ1杯になるように調整した。
- ②材料を砂→固化材の順にミキサに投入し、空練り1分、Wet練り4分混合した。



写真-1 混合状況

(2) 運搬および敷きならし・締固め

- ①今回の施工では、ホイールローダで材料の運搬を行った。その運搬ルートを図-4に示す

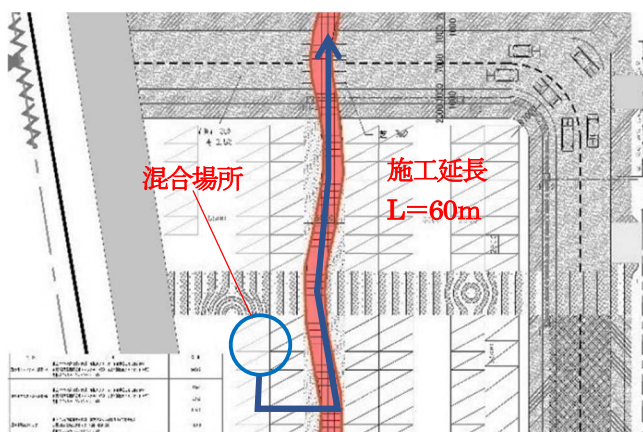


図-4 運搬ルート

②敷きならし・締固め

今回の施工箇所は、幅員3mのセンターキャンバーの断面であった。

混合物のワーカビリティは低く、棒状バイブレータの締固めは有効ではなかったため、平面バイブレータを使用して締固めを行った。(写真-2)



写真-2 敷きならし・締固め状況

(4) 養生

敷きならし完了後に被膜養生剤(パラフィン系)の散布を行った。

写真-3に示すように表面水が引く前に散布を行い、

養生完了後の被膜養生剤は、後工程で行う表面仕上げ(ショットブラスト)施工時にムラなく除去した。



写真-3 養生剤材散布状況

(5) 収縮目地切断(カッタによる切断)

幅3mm、深さ10cmの目地を5m間隔に配置した。ショットブラスト施工前にカッタ切断を行った。切断時期は、PTシュミットハンマでの推定圧縮強度で3.5N/mm²以上となる場合とした。(写真-4)



写真-4 目地切断状況

(6) ショットブラスト(表面仕上げ)

ショットブラストは現場養生一軸供試体の圧縮強度が15 N/mm²以上となる時期に行った。

夏場(9月)の施工であったので、約3日程度で強度発現していた。(PT型シュミットハンマで確認)

今回の施工では、ショットブラストの投射密度を60kg/m²で行った。(写真-5)

ショットブラスト後に養生剤が残ってしまう箇所が見受けられた。被膜養生剤の散布ムラが原因と推測されるので、施工の際は被膜養生剤が必要以上に厚くならないように留意する必要がある。



写真-5 ショットブラスト施工状況

4. 出来形・品質管理

設計基準曲げ強度と版厚を表-2に示す。今回の現場では、表-2の赤枠内の条件で設計を行った。

表-2 設計基準曲げ強度と版厚

交通量区分			舗装計画交通量 (台/日・方向)	土系舗装版の設計			
				標準		版厚低減※	
				曲げ 強度 (MPa)	版厚 (cm)	曲げ 強度 (MPa)	版厚 (cm)
歩道および 自転車道等	管理用 車両	なし	—	2.5	7	—	—
		あり	—	2.5	10	—	—
小型道路 標準荷重 17kN	S ₁ ~S ₃	3000未満	4.4	15	—	—	—
	S ₄	3000以上	4.4	20	4.9	18	—
普通道路 標準荷重 49kN	N ₁ ~N ₃	100未満	4.4	15	—	—	—
	N ₄	100以上250未満	4.4	20	4.9	18	—
	N ₅	250以上1000未満	4.4	25	4.9	22	—
	N ₆	1000以上3000未満	—	—	4.9	25	—

※曲げ強度を4.9MPaとした場合の版厚低減値
「舗装設計便覧(日本道路協会)から引用

(1) 品質管理

品質管理基準は、表-3に示すとおりである。
試験結果を表-4、5に示す。

表-3 品質管理基準(案)

項 目	基 準 値	計測方法	頻度
練り混ぜ状況	ダマがないこと	目視観察	適宜
含 水 比	最適施工含水比	強制乾燥による	適宜
スランプ	4.5cm程度	JIS A 1101に準拠	1回以上/日
すべり抵抗性	BPN40以上(歩道) BPN60以上(車道)	舗装調査・試験法便覧 S021-2に準拠	3箇所/車線
一軸圧縮強度	15MPa以上 (ショットブラスト仕上げ の基準値)	JIS A 1216 に準拠	3個/1回/配合
曲げ強度	歩道・自転車道等 2.5MPa以上 車道 4.4MPa以上	JIS A 1106 σ ₇ (気中4日・3日水浸) σ ₂₈₊₃ (気中28日・3日水浸)	6個/1回/配合 ※強度保証 材令はσ ₂₈₊₃

表-4 曲げ強度試験結果(n=3)

作成日	材令	平均曲げ強度 (MPa)	備 考	規格値
9月20日	7日	2.9	事前作製	2.5以上
9月20日	28日	2.9		
9月21日	7日	2.9	施工1日目	
9月22日	7日	2.7	施工2日目	

表-5 砂および混合物の含水比測定結果

作成日	時刻 (約)	種類	含水比 (%)	設計配合 との差
9月13日	—	さなげ砂	7.33	—
9月20日	—	さなげ砂	6.29	—
9月21日	9:14	さなげ砂	6.29	—
	12:45	さなげ砂	6.45	—
	15:15	さなげ砂	5.61	—
	9:38	混合物	9.15	-2.35
	11:00	混合物	10.96	-0.54
	13:15	混合物	11.12	-0.38
	14:15	混合物	10.98	-0.52
	15:30	混合物	10.44	-1.06
9月22日	8:45	さなげ砂	5.18	—
	9:15	混合物	10.93	-0.57
9月30日	13:36	さなげ砂	6.38	—

品質に関しては、所定の値が得られている結果となった。

(2) 出来形・出来映え

出来形管理基準は、現場の設計図書等に準じて行い、今回の施工では出来形の値に特に問題はなかった。

出来映えについては以下のような不具合があった。

- ・収縮目地(カット目地)施工時にひび割れが発生した。(写真-6)
- ・硬化時の収縮による舗装体の自由挙動を吸収するため、強度確認後にショットブラスト施工前にカットで目地溝を設けたが、強度不足によってカット面に角欠けが発生した。
- ・パラフィン系被膜養生剤がショットブラストで完全に除去できずに残留した。
- ・研掃機のタイヤ痕が付いた。(写真-7)
- ・提出サンプルと凸凹具合が異なる。(写真-8、左)
- ・提出サンプルと色合いが異なる。(写真-8、右)



写真-6 目地部の不具合



写真-7 研掃機のタイヤ痕



写真-8 サンプルとモックアップの相違

5. まとめ

今回の施工経験から得られた知見を以下に記す。

- 混合物の性状は、骨材の含水比に左右されるので、ストック時の含水比が均一になるよう管理をし、混合前に含水比を測定する。測定した含水比によって、加水量を的確に調整する。
- 本施工では、今回の施工よりも1日当たりの出荷量が多くなるので、出荷量に合わせた施工体制を検討する必要がある。
- 混合物の硬化がセメントコンクリートと比較して緩やかであるので、マット養生等の上載養生は適さない。したがって、今回のような一貫養生用の被膜養生剤が必須である。
- 混合物に膨張性があるので、今回の収縮目地(カット目地)施工では、膨張性に起因するひび割れが生じる恐れがあるので、膨張目地を設ける必要がある。膨張目地は、硬化時の膨張量から判断して、施工延長10m毎に幅1cm程度が適当である。
- 設計者は、景観舗装を空間デザインの一部として考えている。したがって、機能はもとより見映えを非常に重視する。今回の施工では、ショットブ

ラストの投射密度の違い、周辺路盤の含水状況や土系舗装の保水状況によって、提出サンプル(乾燥状態)との見た目の違いが発生した。

したがって、舗設直後の表面を提出サンプルと同等となるよう留意する必要がある。加えて、供用後には、摩耗等の経年変化は起こりえるので、事前に設計者とコンセンサスをとることが非常に重要である。

6. おわりに

今回の施工は、施主へのモックアップであるので、今回で得られた貴重なデータを生かして、本工事では良好な施工ができるように、引き続き本支店技術部および技術研究所との連携が必要である。

最後に当該工事の完成写真(写真-9)を示すとともに、当該工事を進めて行く上でお世話になった方々に本文を借りて感謝の意を表します。

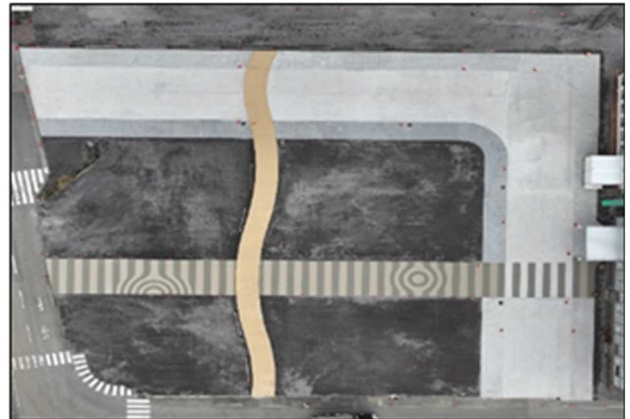


写真-9 上空からの完成写真

オーククレールRの法面部への適用例

吉田 一喜*
藤井 秀夫**
古谷野 拓***

1. はじめに

一般的に、景観舗装に採用されている土系舗装は、自然土とセメントまたは樹脂などの結合材との混合物で構成される(たとえば、当社のオーククレールG・Eなど)。これらの土系舗装は、駐車場や公園などに適用されているが、経年による景観性や耐久性の低下への対策が課題であった。

このため当社では、従来品よりも耐久性に優れた土系舗装「オーククレールR」を研究・開発し、実試験駐車場や構内道路での試験施工を経て2021年から展開している。

「オーククレールR」は、結合材に(株)大林組と三光(株)が開発した変性エポキシ樹脂「レジバインダー」を使用している。この「オーククレールR」の優れた耐久性に着目し、ダム本体建設工事の法面部に設計されていた防草コンクリートを「オーククレールR」で代替することを提案し、本施工採用に至った(写真-1)。

本文では、「オーククレールR」の特性および法面に適用する際の留意点と今後の展望を報告する。



写真-1 オーククレールR施工場所

2. 工事概要

当該工事は、堤高84m 堤頂長334mの重力式コンクリートダムとその周辺設備の新設工事である。ダム下流に位置する減勢工は、ダム本体からの放流水を流下させる導流壁を構築し、背面は現場発生土で埋戻す。その端部は、勾配1:3.0および1:1.5の法面となる。

この範囲は防草対策工として、当初は張りコン

リートを打設する設計であったが、アスファルト舗装に変更されている。

一方、法面部のアスファルト舗装は施工が大掛かりとなるので、当初設計の張りコンクリートを含めて、法面部に適用可能な防草対策工の協議を行った。

当該工事の概要は、以下のとおりである。

- ・工 事 名：川上ダム本体建設工事
- ・工事場所：三重県伊賀市阿保他地先
- ・発 注 者：独立行政法人水資源機構
- ・元 請：大林・佐藤・日本国土
特定建設工事共同企業体
- ・工 期：2017年6月15日～2023年3月31日
- ・工事数量：減勢工アスファルト舗装工 1,520m²
減勢工防草工(オーククレールR) 298m²

3. 防草対策工の施工上の問題点と解決策

当初設計の張りコンクリート(t=150mm)は直高が5.0m、勾配1:3.0および1:1.5となっており、型枠目地の組立設置、コンクリート打設および仕上げ作業の安全性確保が課題となっている。また、打設後は、湿潤養生を広範囲で継続するので、濁水処理を適切に行わないと環境面に問題が生じる可能性がある。

こうした課題や問題から、張りコンクリートの代替として、「オーククレールR」を提案した。

「オーククレールR」は、高い耐久性、敷きならしから締固めまで一貫した重機施工が可能、および湿潤養生でなくシート養生によって品質が確保できる特徴を有するからである。

4. 「オーククレールR」の法面適用における技術的課題

一般的な土系舗装の景観性や耐久性が低下する原因の一つとして、結合材が固化する過程で自然土に含まれる水分が硬化反応を阻害することがあげられる。

「オーククレールR」は結合材に「レジバインダー」を使用している。「レジバインダー」は(株)大林組と三光(株)が開発した変性エポキシ樹脂で、水中でも硬化性能を発揮するという特性を有している。

「オーククレールR」は、当社の土系舗装の従来品よりも一軸圧縮強度が5～7倍高い(写真-2、図-1)。

*大阪支店大阪北営業所技術係 **技術研究所第二研究室室長 ***同室研究員



写真-2 「レジバインダー」と「オーククレール」

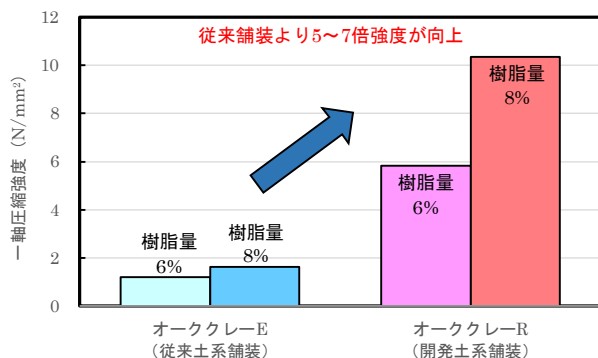


図-1 一軸圧縮強度の比較

しかしながら、施工実績は平坦な駐車場・構内道路のみであり、法面部への適用実績は無い。そのため、法面部における締固め方法を確立し、締固め度と一軸圧縮強度の関係を把握するとともに、所定の品質を確保するための樹脂量を把握することが技術的課題であった。

5. 課題解決に向けた技術的検証

5-1 室内試験

前述の課題を解決するため、室内試験ならびに入念な試験施工を実施し、本施工に臨むこととした。そこで、「オーククレールR」の特性を評価するにあたり、室内試験で以下の2項目を検証した。

- ①樹脂量・締固め度と強度の関係
- ②目標強度に対する締固め度

これまでの施工実績から、「オーククレールR」の樹脂量の標準は歩道で5～6%、車道で7～8%であり、樹脂量が多いほど高い強度が得られる。本施工は防草を目的としており、車両は走行しない。しかし、法面部では締固め効果が得られにくいことを想定し、樹脂量5.5%および7.0%の2種で各締固め度の供試体を作製し、一軸圧縮試験によって強度を求めた。なお、農学分野における防草効果持続性の強度基準が3N/mm²以上であることから、安全率を考慮し目標強度を3.6N/mm²以上とした。

試験結果を図-2に示す。目標強度を満たす各樹脂量における締固め度は5.5%で89%以上、7.0%で85%以上であった。

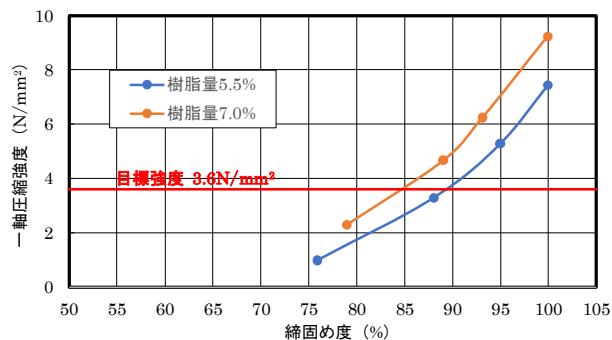


図-2 締固め度と一軸圧縮強度の関係 (室内試験)



写真-3 転圧面の亀裂・試料の剥落

5-2 法面部における試験施工

法面での本施工に際し、2種類の勾配(1:1.5、1:3.0)で「オーククレールR」の試験施工を行い、樹脂量と転圧条件毎に締固め度を求めた。なお、施工厚は、一般的な歩道用舗装厚さと同じ30mmとした。

樹脂量は5.5%および7.0%、締固め機械は振動コンパクタ(80kg)および転圧ローラ(注水による質量調整10～60kg)とし、転圧回数を変化させた。ただし、人力での転圧ローラによる施工では、一定速度かつ上下に移動させて法面を均一に締め固めることが困難であった。そこで、ウインチ付きバックホウを用いてローラを吊り下げながら転圧した。

試験施工直後にはシート養生を行い、強度が十分に発現する7日後に法面部の施工箇所の切取供試体を採取し、室内試験で密度および締固め度を計測した。

試験施工の結果、振動コンパクタでは、締固めエネルギーが法面に対して垂直方向以外にも作用し、締固め面上に亀裂および試料の剥落が生じた(写真-3)。一方、転圧ローラは、振動ではなく自重によって締め固めるので、表面を均一に仕上げることできた。

施工箇所の切取供試体から得られた密度および締固め度の結果を表-1に示す。

樹脂量5.5%で振動コンパクタによる施工では、目標締固め度89%以上を法面では満足せず、また、前述のとおり、振動によって締固め面上に亀裂等が生じたことから不採用とした。

表-1 試験施工結果

樹脂量 (%)	勾配 (%)	使用機械	転圧回数 (回)	締固め度 (%)		判定
				実測値	目標値	
5.5	平場	振動コンパクタ (60kg)	6	100	89	OK
	1:3.0		6	81		NG
	1:1.5		6	80		NG
7.0	平場	転圧ローラ (40kg)	6	89	85	OK
	1:3.0		6	85		OK
	1:1.5		6	79		NG
	1:1.5	転圧ローラ (10kg)	6	84		NG
	1:1.5		10	85		OK

一方、樹脂量7.0%、転圧ローラによる施工では、法面でも目標締固め度85%を満足したことから、本施工に採用することとした。なお、締固め回数は、1:3.0法面勾配では転圧ローラ(注水による質量40kg)で6回、1:1.5法面勾配では転圧ローラ(同10kg)で10回必要であった。

5-3 樹脂の収縮によるひび割れ対策

変性エポキシ樹脂を用いた土系舗装は、樹脂の硬化に伴う収縮が生じやすいので、収縮ひび割れ等が発生し、防草効果が損なわれることが懸念される。

そこで本施工では、「オーククレール」の施工ジョイント(2.0m間隔)下部に防草シートをあらかじめ敷設することとした。この対策に加えて、ひび割れが進行した場合、希釈した「レジバインダー」と真砂土を混合した材料を充填する補修を行うこととした。

6. 本施工

試験施工の結果から決定した本施工の条件を表-2に示す。本施工では、樹脂量7.0%、目標締固め度85%以上の条件で、転圧ローラによる施工を行った。目標締固め度を満足するように、転圧条件を1:3.0勾配では質量40kgの転圧ローラで6回、1:1.5勾配では質量10kgの転圧ローラで10回に設定した。また、施工ジョイント(2.0m間隔)下部には前節に示した防草シートを事前に敷設した(写真-4)。

本施工においても、試験施工と同様に転圧ローラをウインチ付きバックホウで吊り下げながら転圧することで、法面上でも一定速度で上下に転圧が可能となり、ローラの自重で表面を均一に締め固めることができた(写真-5)。また、締固め度も95%と管理基準値に対しても満足 of いく結果となった(表-2)。

7. 供用後の状況

本施工の1か月後、樹脂の収縮による施工ジョイント部の開きが発生した(写真-6)。施工ジョイント下部には、あらかじめ防草シートが敷設されている。しかし、より防草効果を維持するために、開きが発生した箇所に「レジバインダー」と真砂土を混合した補修材を充填した(写真-7)。



写真-4 施工ジョイント下部の防草シートの設置

表-2 本施工の施工条件と結果

樹脂量 (%)	勾配 (%)	使用機械	転圧回数 (回)	締固め度 (%)		判定
				実測値	目標値	
7.0	平場	転圧ローラ (40kg) (10kg)	6	96	85	OK
	1:3.0		6	95		OK
	1:1.5		10	95		OK



写真-5 ウインチ付きバックホウで吊り下げた転圧ローラによる締固め



写真-6 ジョイント部の開きの発生状況(最大3mm)



写真-7 ジョイント部の補修状況

その後、1年以上経過するも施工ジョイント部の開きの進行やひび割れ等は確認されず、雑草も生えることなく防草効果を発揮している。

8. 今後の展望

「オーククレールR」は、従来の土系舗装よりも高強度で、かつ主要材料の土が水を含んでいても硬化に影響しないという特徴を有している。このことから、景観性を求められる工事以外にも、当該工事のように張りコンクリート等の代替として用いることが期待される。また、主要材料である真砂土は全国に広く分布しており、現地で安価かつ入手しやすい材料で、調達の容易さも導入を促進する要因となる。

今回の施工範囲は小規模であったので、簡易な練混ぜプラントで施工が可能であったが、大規模施工の場合、今回のようなプラントでは施工能力が劣り、労務費が高む。

今後は、大規模施工が可能な大型練混ぜ機の開発と、転圧ローラのワイド化を実現し、コスト面および工程面でのメリットを追求していく必要性を感じる。また、硬化に伴う収縮を低減および防止する品質改善も期待される。引き続き、本施工箇所を追跡調査を行い、品質ならびに工法の改善に繋げていきたい。

変性エポキシ樹脂「レジバインダー」は、水に強い特徴があり、「オーククレールR」のような土系舗装以外にも様々な用途展開が期待される(表-3)。

表-3 変性エポキシ樹脂「レジバインダー」の用途例

外観			
用途	ライニング 上下水道 プール	補修 リニューアル PCa接合	ポーラス 固化体、 内外装材
材料	樹脂	樹脂 +モルタル	樹脂 +貝スラグ木片

9. おわりに

当該工事では、変性エポキシ樹脂「レジバインダー」を用いた土系舗装「オーククレールR」が、法面部の防草対策工に適用できることを確認した。試験施工によって最適な樹脂量と転圧方法・回数を設定することで、本施工においても所定の品質を満足することができた。減勢工下流の工程が切迫している中、試験施工から本施工まで、本支店、営業所、および協力会社が一丸となって工事を行った結果、満足のいく出来栄で竣工でき、川上ダム建設事業(減勢工法面防草工景観整備)の目的を十分果たせたものと思われる(写真-8)。

最後に技術研究所、大阪支店工事部・技術部、および営業所の関係各位の支援に感謝の意を表す。

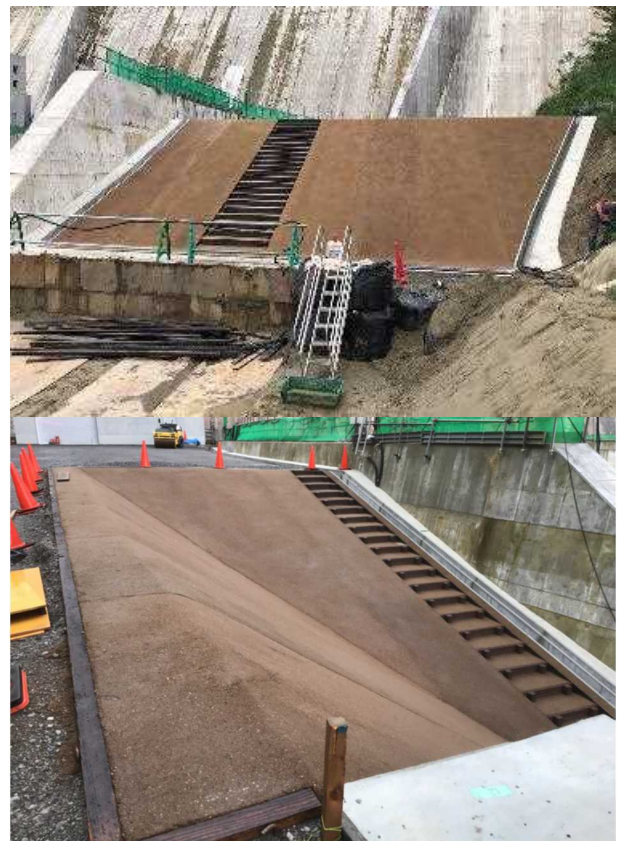


写真-8 法面部完成写真

東北自動車道における高耐久上層路盤の施工

菊地 太*
森本 敦之**

1. はじめに

高速道路で供用開始から30年程度経過した舗装においては、上層路盤や下層路盤での雨水の浸透による砂利化や疲労ひび割れによる損傷が明らかとなっている。

しかしながら、上層路盤や下層路盤といった比較的舗装の深部にある層は、交通規制の制約等から頻繁な補修実施が困難となっている。そこで、本来、上層路盤が受け持たなければならない役割および寿命の確保を目指し、荷重分散性能、耐水性および耐疲労抵抗性能の確保を目的とした高耐久な上層路盤用混合物が開発された。

東日本高速道路(株)東北支社が管理する高速道路の舗装においても、供用年数が増加するとともに、舗装の損傷はその内部・下層へと進行し、補修の対象層が年々深くなる傾向にある。

そのため、工事に要する時間や費用が増加しており、このままでは、いずれ補修が立ち行かなくなり、安全で快適な路面の安定的な供給が困難になる懸念が高まっている。

そこで、現在では多頻度補修箇所や補修困難箇所への対応、あるいはライフサイクルコストの低減を目指し、既設舗装の長寿命化に取り組まれている。

本文は、舗装の長寿命化に向けて、東北自動車道で施工されることとなった高耐久上層路盤用混合物について報告するものである。

2. 工事概要

- ・工 事 名：東北自動車道
福島管理事務所管内舗装補修工事
- ・工事場所：(自)福島県本宮市荒井(本宮IC)
(至)宮城県白石市福岡深谷(白石IC)
- ・発 注 者：東日本高速道路(株)福島管理事務所
- ・工 期：令和3年2月3日～令和5年8月21日
- ・主な工事内容：
 - 高耐久上層路盤工(t=18cm)
 - 上り走行車線289.400kp～289.600kp 872m²
 - 切削オーバーレイ工 132,000m²
 - 基層：基層用遮水性アスファルト混合物(t=6cm)
 - 表層：高機能舗装Ⅱ型用混合物(t=4cm)

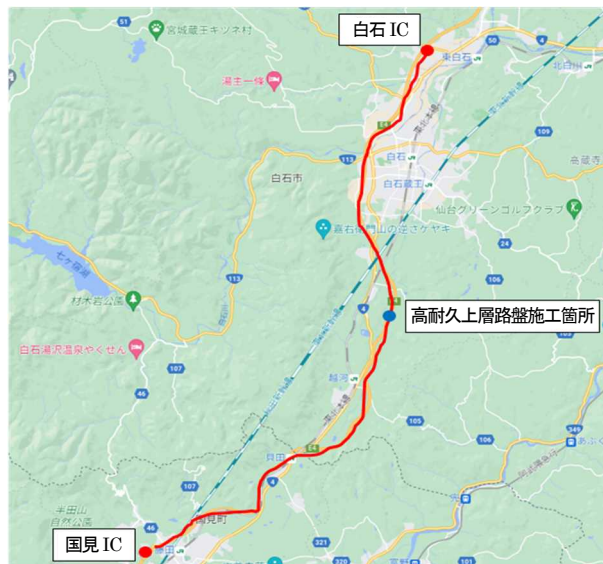


図-1 施工位置図 (google mapに加筆)

3. 高耐久上層路盤用混合物の概要

アスファルト安定処理路盤に替わる新しい上層路盤材料に関しては、20年ほど前から欧州をはじめ多くの国で使用され、損傷事例の少ない「ハイデュラスアスファルト混合物」が着目された、そこで、海外での配合や規格を参考にしながら、日本の実情に合った上層路盤用混合物への適用が検討されることとなった。

高耐久上層路盤に求められる性状として、疲労抵抗性に優れ、かつ脆弱化した下層路盤に対しても作用荷重が軽減できるような、剛性の高い荷重分散性の大きなアスファルト混合物を使用することが有効であるので、スティフネス、疲労抵抗性、はく離抵抗性および水密性について検討された。

混合物としては、剛性(スティフネス)が高く、耐水性を有し、疲労破壊抵抗性が高く、および動的安定度が高いという性能を満足しなければならない。

混合物の粗骨材最大粒径は20mm、仕上がり厚さは5.0cm以上を標準とし、一層の施工厚さが10cmを超える場合は2層施工を標準とする。

高耐久上層路盤用混合物に使用するアスファルトの品質規格値を表-1に、高耐久上層路盤用混合物の性状基準値を表-2に示す。

アスファルトは、表-1の品質規格値を満足するものを標準とするが、満足しない場合でも混合物の性

*東北支店福島営業所工事主任 **同所工事長

状基準値を満足することが確認できれば使用してもよいとされている。

表-1 アスファルトの品質規格値

項 目	規格値
針入度(25℃) (1/10mm)	20～40
軟化点 (℃)	44.0～65.0
伸度(25℃) (cm)	50以上
トルエン可溶分 (%)	99.0以上
引火点 (℃)	260以上
薄膜加熱質量変化率 (%)	0.6以下
薄膜加熱針入度残留率 (%)	58以上
蒸発後の針入度比 (%)	110以下
密度(15℃) (g/cm ³)	1.00以上
G* (20℃) (MPa)	9～17

表-2 高耐久上層路盤用混合物の性状基準値

性能	項目	確認方法	基準値
I	スティフネス ^{注1)}	Nottingham Asphalt Testerを用い 温度20℃、載荷速度124ms	9,000±2,500MPa
	圧裂係数 ^{注1)}	試験便覧B006 ^{注2)} 温度20℃	—
II	はく離面積率	NEXCO試験法244	5.0%以下
III	疲労破壊回数	試験便覧B018T 温度10℃ 載荷周波数10Hz、ひずみ400μ	10,000回以上
IV	動的安定度	試験便覧B003	1,000回/mm以上

注1)スティフネス、圧裂係数の試験項目を両方実施。
注2)圧裂試験の試験結果は報告のみとする。(基準値無し)

4. 使用材料・配合および混合物性状

高耐久上層路盤用混合物は、福島舗装㈱・あづまアスコン㈱福島合材工場から出荷を行った。使用材料には、通常の舗装に用いられる骨材を使用し、アスファルトは日進化成㈱製の高耐久上層路盤用特殊アスファルトを使用した。

混合物の配合率を表-3に、配合設計時の混合物性状を表-4に示す。

表-3 混合物の配合率

種別		骨材	混合物
材料	5号碎石	24.6	23.3
	6号碎石	25.1	23.8
	7号碎石	19.0	18.0
	粗砂	16.1	15.3
	細砂	8.0	7.6
	石粉	7.2	6.8
	アスファルト	—	5.2

表-4 配合設計時の混合物性状

項 目	選定配合	備 考
最適アスファルト量 (%)	5.2	—
マーシャル 特性値	密度 (g/cm ³)	2.525
	空隙率 (%)	2.5
	飽和度 (%)	83.5
	安定度 (kN)	11.2
	フロー値 (1/100cm)	36
	残留安定度 (%)	93.0
スティフネス (MPa)	10,940	9,000±2,500
動的安定度 (回/mm)	3,905	1,000以上
平均はく離面積率 (%)	0.2	5.0以下
圧裂係数 (MPa/mm)	1.97	—
平均疲労破壊回数 (回)	110,109	10,000以上

5. 高耐久上層路盤の施工

5-1 施工箇所の選定

施工箇所の候補については、発注者である東日本高速道路㈱福島管理事務所から、当該現場で土工部でのコア採取で判明した、現況の安定処理路盤までクラックが発生し土砂化している箇所(写真-1)が提示された。また、発注者が行った直近の路面性状測定から、ひび割れが進展している箇所を選定し、事前調査箇所を決定した。

決定箇所は、東北自動車道白石IC～国見IC間の上り線、289.6～289.4kP走行車線の延長200m区間となった(写真-2)。



写真-1 コア採取



写真-2 決定調査箇所

5-2 事前調査

高耐久安定処理路盤を施工するにあたり、既設舗装内部に損傷が発生している箇所について、代表的な箇所を選定し開削調査を行い、舗装断面(写真-3)および路盤の状態(写真-4)を確認した。



写真-3 舗装断面



写真-4 下層路盤面

また、今回の調査箇所は老朽化によって、損傷が深層化していることが想定されることから、建設当初と現在の物理特性・力学特性を比較し、損傷発生要因の推定に用いる基礎資料を得ることも目的に各種試験(表-5)を行った。

表-5 試験実施項目

試験項目	試験方法
骨材のふり分け試験	JIS A 1102準拠
液性・塑性限界試験	JIS A 1205準拠
突固め試験	JIS A 1210準拠
修正CBR試験	JIS A 1211準拠
現場密度試験(突砂法)	JHS104:1992参考
小型FWDによる支持力調査	舗装調査・試験法便覧S043-3
FWDによるたわみ量調査	試験法246

5-3 試験練り

室内配合試験に基づいて製造された混合物性状および混合状況の確認を目的に試験練りをした。

混合物性状を表-6、7に示す。混合物性状等から最適アスファルト量を5.2%とした。

表-6 マーシャル特性値

材料	種別	密度 (g/cm ³)	空隙率 (%)	飽和度 (%)	安定度 (kN)	フロー値 1/100cm	残留安定度 (%)
OAC-0.3%	(=4.9%)	2.518	3.2	78.7	11.13	33	92.9
OAC	(=5.2%)	2.518	2.7	82.2	11.19	35	93.4
OAC+0.3%	(=5.5%)	2.514	2.4	84.6	11.22	38	90.4
基準値		—	2~3	—	6以上	—	75以上

表-7 混合物特性値

材料	種別	動的安定度 (回/mm)	スティフネス (MPa)	圧裂係数 (MPa/mm)
OAC-0.3%	(=4.9%)	3,013	8,971	1.66
OAC	(=5.2%)	2,325	9,291	1.71
OAC+0.3%	(=5.5%)	1,527	8,726	1.68
基準値		1,000以上	9,000±2500	—

5-4 試験舗装

高耐久上層路盤が試験練りで決定した混合物の品質を満たしているか、また施工性を確認するために試験舗装を実施した。検討事項として、高耐久上層路盤(t=18cm)の施工は2層施工(1層を9cm施工)で実施するので、2層目の施工開始(車両の乗入れ)温度を1層目の表面温度が70℃程度になったことを確認してから実施することとした。

舗装施工時の機械編成は、通常舗装施工時と変わらずアスファルトフィニッシャ(敷きならし)、マカダムローラ(初転圧)、タイヤローラ(二次転圧)で行った(写真-5)。各工区の目標温度を表-8に示す。



写真-5 試験舗装施工状況

表-8 目標管理温度

現場到着温度	155 ± 10℃ (目標)
敷きならし温度	150 ± 10℃ (目標)
初転圧温度	145 ± 10℃ (目標)
二次転圧温度	110 ± 10℃ (目標)
現場到着廃棄温度	144℃以下 166℃以上

※混合温度は、試験練り時の混合温度で設定する。
試験施工時に温度低下が著しい場合には、
本施工時において 混合温度を調整する。

試験舗装の締固め度は、98.8から99.0%であり、各工区での締固め度のばらつきはみられなかった。

また、検討事項であった2層目施工開始温度を、1層目の表面温度70℃(内部温度85℃)を確認してから車両の乗込みを行った。2層目施工時、たわみの発生など問題が無いことを確認できたので、本施工時にも実施することになった。

5-5 本施工

本施工は、2022年9月27、28日の2日間で実施した。天候は、2日間ともに曇りで気温が26℃前後であった。

高耐久上層路盤のタイムスケジュールを表-9に示す。

表-9 タイムスケジュール

工程	時間	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	備考
規制設置															
FWD試験															
重機搬入															
切削工 (t=10cm)															872×0.1×2.35=205t 205t/8t=26台 26台×6min=156min
切削工 (t=4cm)															85.7×0.04×2.35=8t 8t/8t=1台 1台×6min=6min
片付け															
準備工															
切削工 (t=18cm)															
Aa安定処理 (1層目)															3.5×100m×0.18×2.35 =148t(19台) 19台×6min=114min
Aa安定処理 (2層目)															3.5×100m×0.09×2.45 =77t(10台) 10台×6min=60min
後片付															
交通規制															
準備工															
基層工															872×0.06×2.4 =125t(16台) 16台×6min=96min
表層工															858×0.04×2.4 =80t(12台) 12台×6min=72min
路面標示工 各種試験															
FWD試験															
後片付															
交通規制															

出荷プラントから施工現場までは、運搬距離49km、運搬時間50分程度であったが、合材到着時の荷姿および合材荷降ろし時において、塊などはみられなかった。試験舗装時には感じられなかったが、本施工では二次転圧施工時に高耐久上層路盤に落ち着きがなく、ローラマークが残っていたので、振動コンパクト等で消去した。

2日目施工時には、東日本高速道路株式会社東北支社の技術課舗装専門役の方が来られたので状況を説明した。

高耐久上層路盤が、二次転圧時に落ち着きが見られない状況は、他の工事でも同じ状況であるとのことであった。試験舗装時に決定した2層目乗入れ温度、表面温度70℃(内部温度85℃)を実施するため、養生時間を確保した。概ね45分程度で規定温度になった。2層目の施工時も二次転圧時に合材の落ち着きはなかったが、大きなわだち等発生することなく完了することができた。(写真-6、7)。

6. 今後の課題

高耐久上層路盤2次転圧時に落ち着きが無く、ローラマークが残ってしまったので、わだち等を発生させないためにも、特に2層目施工時は養生時間を十分確保し、乗入れ温度を確認してから施工することが必要ということがわかった。また、基層・表層は高耐久上層路盤と同日施工は行わずに、十分に温度が低下した翌日に施工を行うなどの対応を行い、工程管理にも留意する必要がある。

7. おわりに

施工から9か月程度経過したが、現時点では良好な状態を維持している。引き続き今後の経過を確認したい。舗

装の長寿命化を目指し、高耐久上層路盤の施工は今後標準化されると思われる。

今回の施工にあたり、このような機会を与えてくださった東日本高速道路株式会社東北支社福島管理事務所の関係者各位、またご指導、ご協力いただいた東北支店、技術研究所および本店の関係者各位に感謝の意を表します。



写真-6 本施工状況



写真-7 本施工完了全景

発砲スチロールボードを用いた中空床版打換え工の施工事例

松本 健太郎*
海老原 雅彦**

1. はじめに

鉄筋コンクリート中空床版橋は、コンクリート橋としては最も数の多い橋梁形式の一つである。中空床版とは、床版部分に鋼製円筒型枠(以下、鋼製ボイド管)を縦断方向に多数設置し、床版内部を空洞化することで、桁の重量が軽減される床版構造である。

当該現場である某高速道路高架橋①および高架橋②は、延長7.35m、φ600mmの鋼製ボイド管を用いた中空床版橋であり、建設時の床版コンクリートの打設の際、ボイド管の浮上りによるかぶり厚さ不足(設計160mmに対し40～150mm)の箇所が事前調査により数多く確認された。当該工事は、そのかぶり厚さ不足箇所の打換えを目的としたものである。当該路線の交通量が非常に多いうえに日々の交通開放が求められたことから、タイムスケジュールを厳守する施工方法を検討した。

本文では、当初設計の打換え材では施工不良になることから、別の材料で施工した内容を報告する。

2. 工事概要

- ・工 事 名：某高速道路コンクリート橋補強工事
- ・工事箇所：神奈川県川崎市～東京都世田谷区
- ・工 期：令和4年6月1日～令和5年10月9日
- ・発 注 者：某高速道路株式会社
- ・元 請：株式会社大林組

- ・主要工種：中空床版打換工・・・・・・92.0箇所
- 防水工・・・・・・635.6m²
- レベリング工・・・・・・544.6m²
- 切削オーバーレイ工・・・・3,070.0m²

3. 施工内容

3-1 施工延長および標準断面

1箇所当たりの施工延長は、1本の鋼製円筒型枠全延長7.35mの打換えと延長3.5mの打換えを行う箇所があり、全体施工数量92箇所の内8割は3.5m箇所である。標準断面を図-1に、着手前の路面状況を写真-1に示す。



写真-1 着手前路面状況

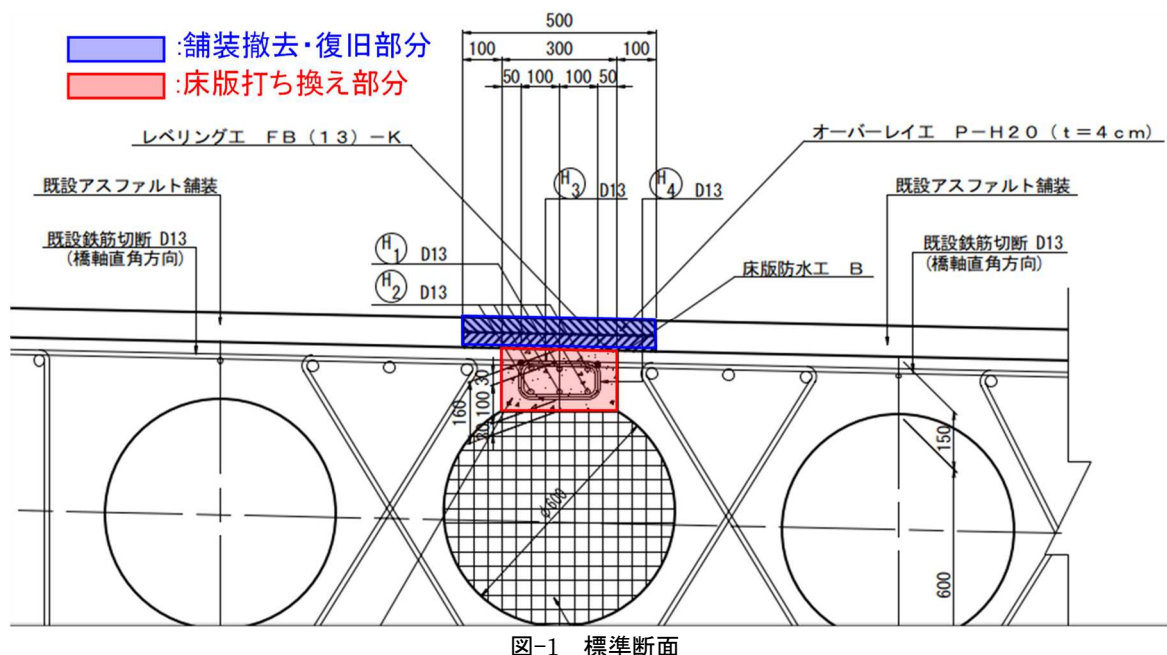


図-1 標準断面

*関東支店横浜営業所工事主任 **同所工事長

3-2 施工手順

施工の流れを図-2に、手順を以下に示す。

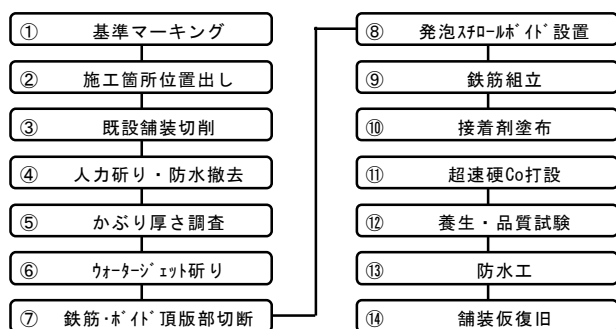


図-3 施工の流れ(14の手順)

- ①多配列地中探査レーダで調査したかぶり厚さ規定外箇所を座標により管理し、現地にマーキングを行う。
- ②マーキングを基準に路面切削等の位置だしを行う。
- ③既設舗装部を小型切削機にて床版を傷つけないよう切削を行う。
- ④人力にて端部および防水部を取り除き、既設床版面を露出する。
- ⑤小型地中探査レーダ(写真-2)を使用してかぶり厚さを正確に調査し、打換え位置の特定、墨だしを行う。
- ⑥ウォータージェットを施工面に設置(写真-3)し飛散防止対策として専用の櫓(写真-4)で機械を覆った後、床版面のはつりを行う。はつり完了後、ボイド管の露出を確認し施工面を清掃する。
- ⑦発砲スチロールを詰める巾(300mm)を確保するため、鉄筋をツライチカッター、既設鋼製ボイド管頂部をセーバーソーにて切断する。その際、鉄筋のエンクローズ溶接ができない鉄筋などは協議の上切断しない。鉄筋切断後、鋼製ボイド管内部(写真-5)をハイウォッシャーで洗い流す。
- ⑧事前に切断加工しておいた発砲スチロールボイドを分割して設置し、上面に160mm下がりまで超速硬モルタルを打設する(写真-6、7)。

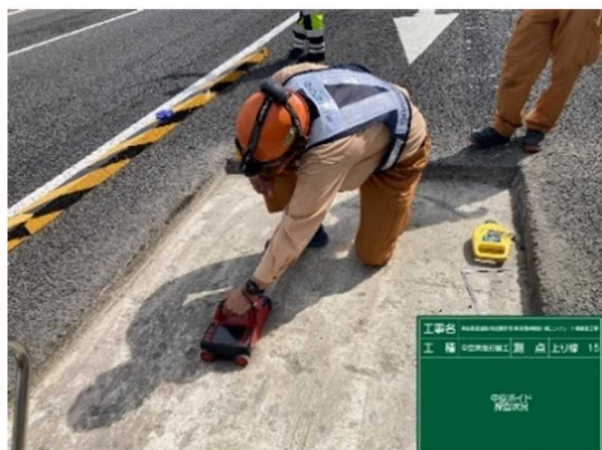


写真-2 地中探査レーダ



写真-3 ウォータージェット



写真-4 飛散防止櫓



写真-5 鋼製ボイド管内部



写真-6 発砲スチロール設置状況



写真-7 発砲スチロール上面の超速硬モルタル

- ⑨切断した鉄筋をエンクローズ溶接で復旧し、フープ筋のかぶりを確保・結束して鉄筋組立てを行う。

⑩新旧コンクリートの打継ぎ目に対し接着強度を確保するため、鉄筋防食効果がある接着剤(ボンドE2000)をはつり面および鉄筋に吹き付ける。その際、一部にマイクロクラック補修用プライマを塗布する。

⑪超速硬コンクリートは、モービル車で製造し、スランプ試験等で品質を確認した後、打設する。

⑫養生剤には、防水用プライマーとの接着を阻害しない材質のもの(フェアリート、ノックス社製)を使用する。3時間養生後、現地で一軸圧縮試験を行い所定の強度発現を確認する。

⑬コンクリートの水分量8%以下であることを確認し防水工(GI)の施工を行う。

⑭舗装仮復旧として、橋梁レベリング用混合物(FB13)により表・基層10cmを1層施工で行う。

以上を1日の施工量と定め、隔週で第一走行、追越し車線の施工を行った。

当該橋梁は、近接工事(某高速道路床版取替工事)の最終施工時に表層の全面切削オーバーレイ工が行われるので、本工事における表層は最低影響幅(最短延長10.0m)を数か所に分けて切削オーバーレイを施工し完成とする。

4. 問題点とその解決策

4-1 円筒型枠の使用材料

(1) 問題点

当初設計では、円筒型枠の材料は発泡ウレタンの仕様であった。そのため、発泡ウレタンが施工対象外の鋼製ボイド管内部へ流出しないための対策を検討する試験施工を実施した。流出防止対策として、鋼製ボイド管内部にビニル袋を入れ、そのビニル袋内に発泡ウレタンが留まることで流出防止が図られることを想定した。なお、試験施工では、鋼製ボイド管ではなく紙製のボイド管を使用した。

試験施工の結果、以下の問題点が生じた。

①注入速度のばらつきにより均一に膨張せず空洞が多数発生したり、精度よく加工できず凹凸が生じた(写真-8、9)。

②硬化後にひび割れが発生したことで、超速硬モルタル施工時、ひび割れ部に超速硬モルタルが流入し重量が重くなる。

(2) 解決策

問題点に対し、発泡ウレタンでは解決できないと考え、別の施工方法を検討した結果、発泡スチロールボイドを用いた施工方法を実施することとした。

使用材料はφ600mm、L=500mmの円筒状の発泡スチロールボイドとした。

これによって、均一な円筒形状を確保することが

でき、ひび割れも生じることがない。また、上面の切断については、あらかじめ切断しておくことでフラットな形状が可能となった。これらを、試験施工において実証確認した。

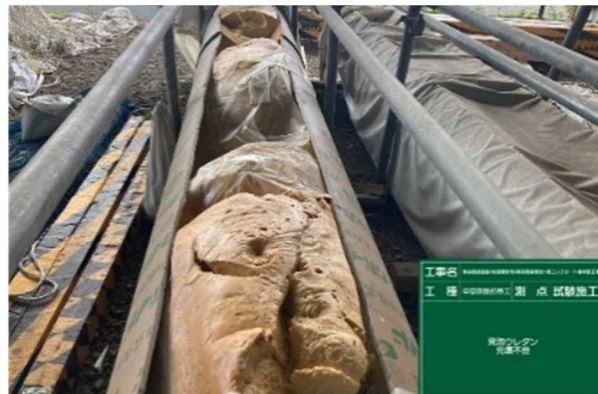


写真-8 発砲ウレタンの空洞



写真-9 上面の凹凸

4-2 発砲スチロールボイド設置方法

発泡スチロールボイド設置方法の問題点を以下に示す。

- ①変形した鋼製ボイド管への追従性
- ②鋼製ボイド管両端部の内径変化(φ600⇒φ500)
- ③発砲スチロールボイドの切断面の不一致
- ④タイムスケジュール(割り当て90分)に対しての実施時間超過(120分)
- ⑤発砲スチロールボイド加工時の飛散の危険性

上記問題に対し施工終了後、現場検討会を実施して解決策について検討した結果を以下に示す。

1) ①、②の解決策

形状に合わせて事前に切断加工した発砲スチロールボイドを図-3に示す。発泡スチロールボイドAをボイド管底面部に設置した後、続いてB・Dを設置する。その際、既設ボイド管の変形が生じている可能性があるため、Cは熱線を使用して切断し、現地合わせとした。その後、かぶり厚(160mm)を確保するため、床版天端よりさらに+20mmの180mm下がり度でE・F・Gを熱線によって切断後、分割して設置した。また、コンクリート打設時の浮き上がり防止および鉄筋溶接時の残火による火災防止、鉄筋施工時の発

泡スチロール破損等防止を目的として、発砲スチロールボイド上面に超速硬モルタルを160mm下がり(厚さ20mm)まで打設した(写真-10)。

これらの実施内容によって、鋼製ボイド管の変形等にも柔軟に対応することができた。

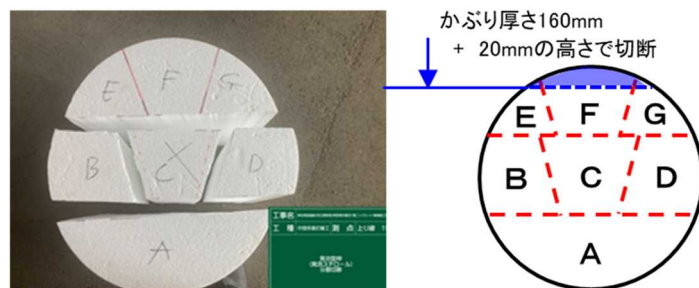


図-3 事前加工した発砲スチロールボイド

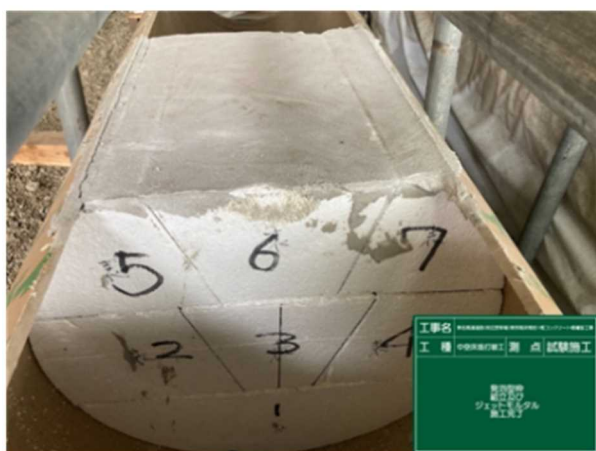


写真-10 発砲スチロールボイド上面の超速硬モルタル

2) ③の解決策

円柱発砲スチロールは1回施工(3.4mの場合)7本使用するので、設置時に1～7番、1番を起点とし7番方向に矢印マーク(→)を設置後確認できる場所にマジックにて記載し切断面の不一致を防止した。

3) ④の解決策

①～③の解決策を講じることで、不要な手間を省略することができ、効率的に発砲スチロールボイドを設置することができた。これによって、所定の90分以内に施工を完了することができた。

4) ⑤の解決策

発砲スチロールボイド加工時の飛散対策については、ウォータージェットの飛散防止櫓を使用することで対応した。櫓の内部で切断・組み立て・片付けまで行うことで飛散することなく完了できた。

ただし、櫓は防災シートで覆っているため、内部の気温が非常に高くなりやすく熱中症のリスクが増すことから、5月以降はスポットクーラーを配備・稼働させて作業を行った。

上記①～⑤の解決策を講じた結果、規制時間内に無事故で作業を終了することができた。

4-3 狭小部での安全対策

(1) 問題点

施工時間のロス軽減を図るため、ウォータージェット施工関連車両の配線・配管および電動工具類、照明器具等を施工箇所付近に置くことにした。そこで、安全通路確保、飛散防止対策の課題が生じた。

(2) 解決策

走行車線対面側に1列約50cm、延長12mを資材置き場に設定し、道具類の転がり防止のため□100mm×L 4.0mのバタ角にトラテープを張り資材置き場として明示した。さらに飛散養生ネットにて常時覆った。また、走行車線側に道具や資材が転がらないよう上記同様バタ角を3本(12.0m)置き、養生した。

ウォータージェット配管、配線は停車車両側に並列させ、狭小なりにも安全通路を確保し施工を行った。

上記の結果、飛散による災害、資材等の転がりによる災害を防止することができた。

4-4 飛散養生櫓の設置撤去方法

(1) 問題点および解決策①

当初計画では、飛散養生櫓(重量約120kg)の設置撤去にラフタークレーンを都度使用することにして、ラフタークレーンの据え直し回数が5回程度必要となり、計60分程度のタイムロスが懸念された。

【解決策】

飛散養生櫓の柱に仮設用車輪を設置することにより人力での移動を可能とし、ラフタークレーンの据え直し回数を2回まで軽減することができ、当初計画より30分以上短縮できた。

(2) 問題点および解決策②

車輪を設置することによって横断勾配による車道への転がりの懸念、突風による自然移動、車道へのはみ出し等が懸念された。

【解決策】

養生ロープによって既存ガードレール等固定物に縛り、車道へのはみ出しを防止した。また、人力移動時には、強風時を避けて必ず4人以上で行った。

上記対策によって、施工時間の短縮および無事故で作業を終了することができた。

5. おわりに

中空床版の鋼製ボイド浮き上がりによるかぶり不足は、当該現場以外でも多数発生しており、路面変状の原因となっていることから、適切な補強工法が求められている。

今回、打換え材を現場管理の難しい流動性の発砲ウレタンから、切断が容易な発砲スチロールに変更することで予定どおりの軽量化と床版の補強ができた。ここに、工事に携わった関係者一同へ感謝の意を表します。

トンネル舗装工事における BIM/CIM 活用についての取り組み事例

和田 嗣央*
大森 大介**

1. はじめに

三遠道路は国道474号三遠南信自動車道の一部21kmを構成する路線で、奥三河・北遠州地域への高速サービスの提供、災害に強い道路網の構築、地域医療サービスの向上等を図るために建設されるものである(図-1参照)。

当社は、このうち全長3,566mの3号トンネルの東栄側の舗装工事を請け負った。

本文では、国土交通省が提唱するi-Constructionに則り、3号トンネル施工業者から引き継いだ設計および CIM (Construction Information Modeling, Management) を活用して施工計画や現場管理を行った事例を報告する。

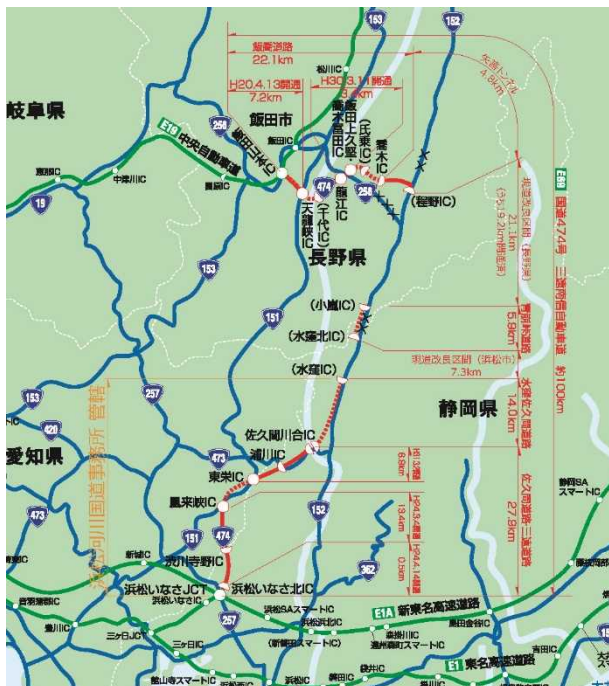


図-1 三遠南信自動車道全体図(浜松河川国道事務所HPより)

2. 工事概要

- ・工 事 名：令和4年度 三遠道路3号
トンネル東栄地区舗装工事
- ・工事場所：愛知県北設楽郡東栄町三輪
- ・工 期：令和4年5月9日
～令和5年2月24日
- ・発 注 者：国土交通省中部地方整備局
浜松河川国道事務所
- ・工事内容：連続鉄筋コンクリート舗装 8,125m²

プレキャスト監視員通路壁	723m
管(函)渠型側溝	1,418m
プレキャスト集水桝	28箇所
ケーブル配管・高圧電線	2,433m
ハンドホール	15箇所

3. CIM の導入

3-1 CIM適用の定義と目的

CIMとは、土木建設事業で取扱う情報をデジタル化することによって、調査・測量・設計・施工・維持管理等の建設事業の各段階に携わる受発注者のデータ共有を容易にし、建設事業全体における一連の建設生産・管理システムの効率化を図ることである。

本件では、舗装を含むトンネル建設工事の生産性向上と供用後の維持管理を目的にCIMが導入された。

3-2 使用したシステム

本件CIMには、KSSの工事情報共有システム(電納ASPer)を使用した。発注者や他の受注者がONLINEで入力した情報を「3次元データ等表示機能」を用いて当社の工事に活用し、また当社工事の情報を入力共有することで、発注者等との連携を促進した。当社がCIMにUPしたデータは、図面(標準断面図、舗装工詳細図、監査路工図、ケーブル配管工、非常駐車帯横断面図)、Co品質管理データ1式、異形棒鋼ミルシートである。

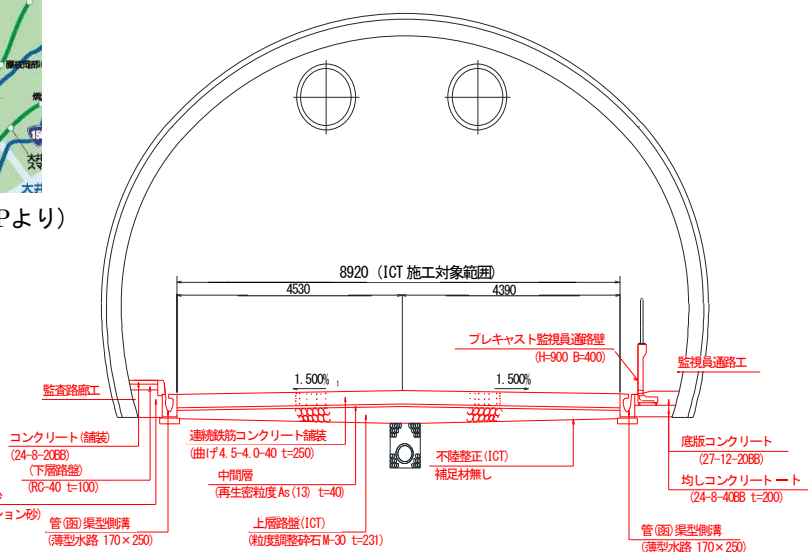


図-2 標準断面図(赤字：当該工事施工対象)

*中部支店浜松営業所技術係 **同所工事長

また、2次元図面の3D化とTLSで取得した点群データの3Dモデルへの取込みを本店情報技術課に依頼して行った。

発注者とのCIMの共有には、株式会社コルクのクラウド(KOLC+)を活用したところ、データのUPに要する時間は、15分程度であった。

3-3 設計照査

トンネル内の舗装工事では360°の制約を考慮する必要がある、限られた空間での施工となるので、以下の事項にCIMを活用した。

(1) トンネル覆工と配管・ハンドホルルの干渉確認

トンネル内の監査歩廊に設ける配管の位置は、他の構造物と干渉しないか確認する必要がある。

TLSを用いて行った3D起工測量で取得した点群データをCIMから得られる設計データに統合した。そうすることで、当初設計でのケーブル配管位置が出来上がった状態のトンネル覆工(インバート有り)の形状寸法でも問題がないか、可視化して確認することができた。

また、ハンドホルルの形状・位置と配管位置を3Dで『見える化』して、干渉の有無を施工前に確認することで、施工段階での手戻りを未然に防ぐことができた。(図-3、4参照)

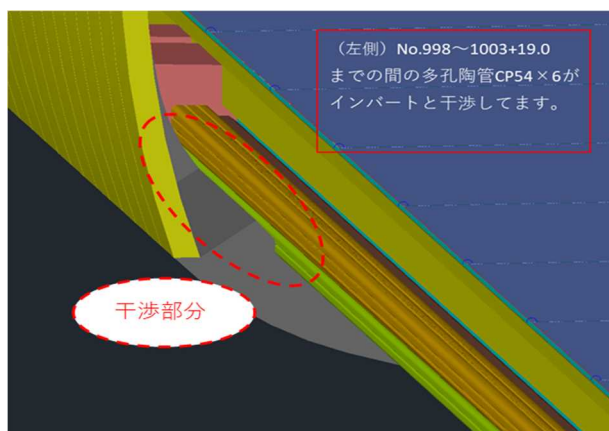


図-3 覆工と配管の干渉チェック

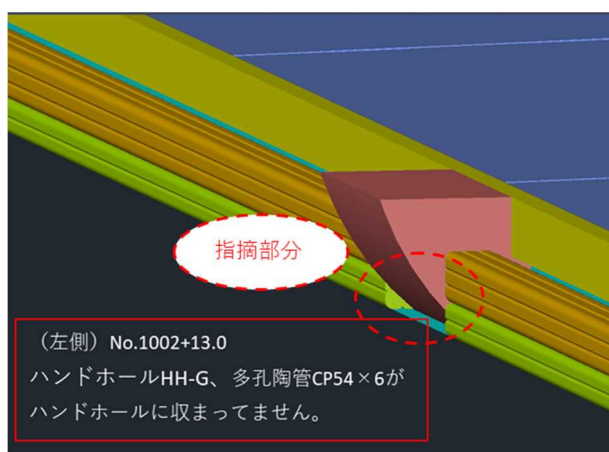


図-4 ハンドホルルと配管の整合チェック

(2) ハンドホルル

トンネル内の監査歩廊および監視員通路に設けるハンドホルルは、トンネル覆工の仕上りによって、形状の変更が必要となる場合がある。従来は、現地で管渠型側溝の位置出し後に実測しての検討を要したが、起工測量で取得したトンネル覆工コンクリートの点群データを設計の3次元モデルに重畳し、机上で施工寸法を確認できた。この方法でいちいち現場で位置・寸法を測定して照査する必要がなくなり業務の効率化・時短につながった。(図-5、6参照)

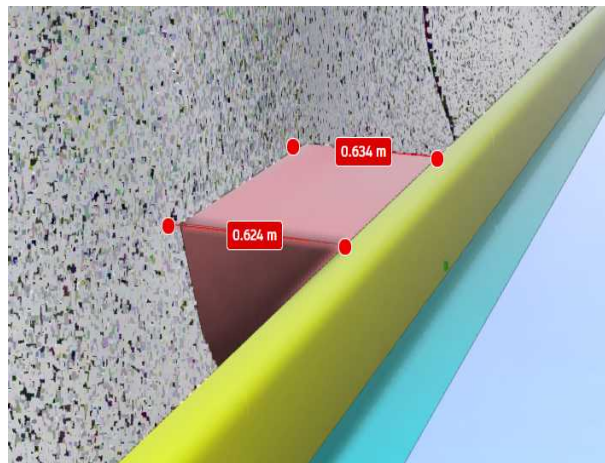


図-5 ハンドホルル寸法の確認

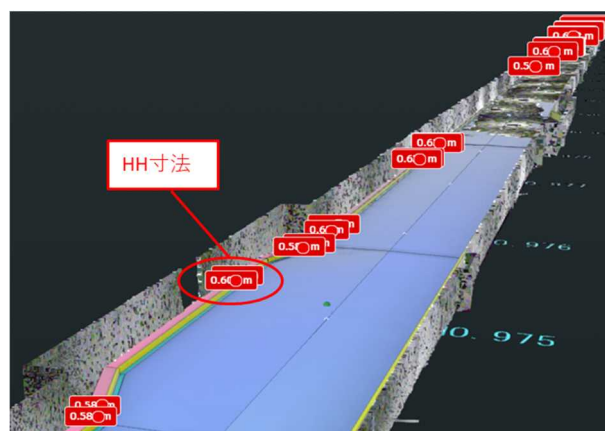


図-6 重畳したCIMモデルと点群データ

3-4 施工段階

CIMを活用して施工段階の効率化に取り組んだ。

(1) 日々の打合せおよび新規入場者教育時の説明資料

従来の打合せでは、工事の内容や注意点を平面図や断面図を使用し、2Dで現場従事者に説明していた。

しかし、CIMを活用して3Dで『見える化』することで、理解の正確性と速度が向上し、打合せの所要時間短縮にもつながった。(写真-1参照)

また、協力業者から現場ルールなどもイメージが湧きやすく、頭に残りやすいという意見をもらうことができた。



写真-1 打合せ状況

(2) 作業計画の立案

作業計画の立案にCIMを活用することで、作業空間を『見える化』して施工機械の選定や通行帯の確保方法などの現場に則した計画立案が可能となり、安全性の向上につながった。(図-7、8参照)

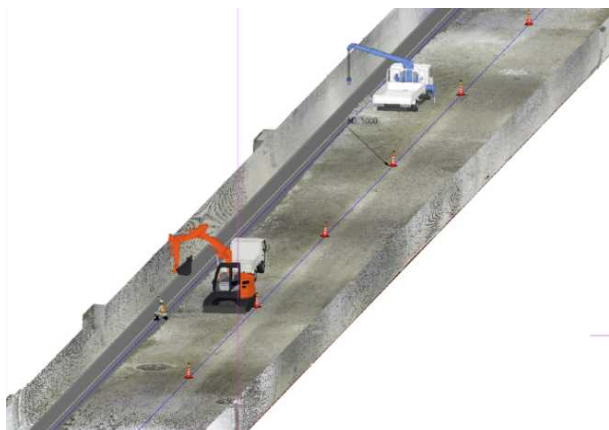


図-7 トンネル内のCIM

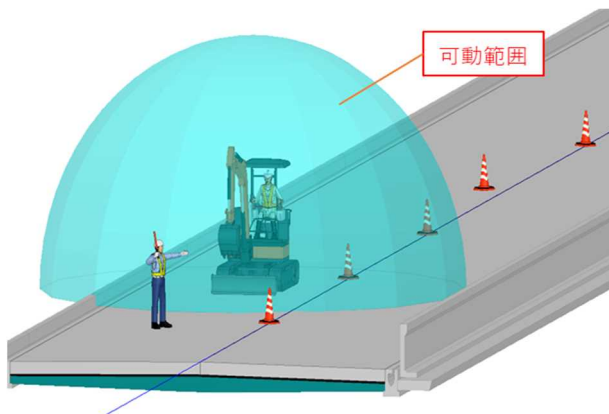


図-8 施工機械のCIM

4. MR/ARの導入

4-1 MR/AR技術

CIMのデータは、MR/AR(複合現実/拡張現実)技術を用いて現場にそのまま投影して活用できる。本件では、『GyroEye Holo』(ジャイロアイホロ)という機器を使用した。その特徴を活用し、現場でCIM

の設計データや注意点を実寸大のホログラム映像として重畳表示して施工をアシストした。

また、iPad画面に表示することも可能で(写真-2参照)、経験の浅い技術者への指導や新入職員の現場見学会で活用しその理解を高めた。



写真-2 iPadでのCIMモデルの表示

従来の平面図や断面図、現場説明資料など、紙媒体を用いた2次元的な情報では、指導者が直接現場で説明しないと経験の浅い技術者や新入職員にとっては理解が難しく、理解の個人差も生じていた。

GyroEye Holoを利用することで、指導者がその場に居なくても、複合世界で現場に設計を立体的に投影できるので、どう施工すべきかを容易に理解してもらえた。(写真-3参照)



写真-3 GyroEye Holo使用状況

4-2 4D工程表による工程管理

CIMと工程表を連携し、時間軸をもたせた4Dモデル(施工ステップモデル)を作成し(図-10参照)、施工進捗管理ツールとして活用した。そうすることで、施工完了箇所および遅延箇所を一目で確認することが可能となった。さらに、CIMの点群データを統合・共有・活用できる共有クラウド(KOLC+)を用いた4D工程で工事の進め方について、関係者間の合意形成の円滑化につながった。

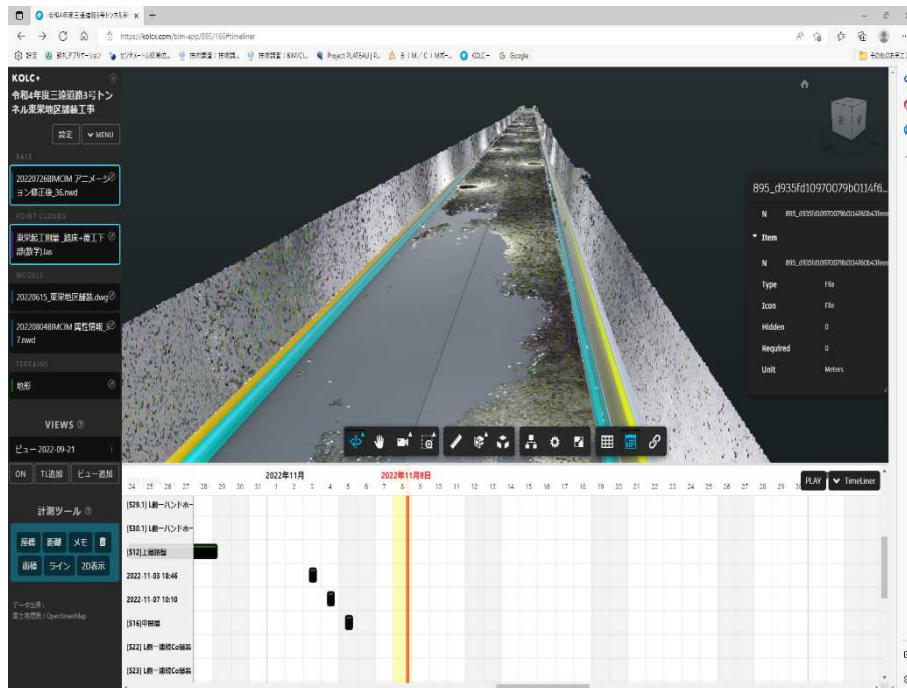


図-10 4D工程表

5. まとめ

当該工事では、2020年4月に国土交通省から公表された「令和5年度から小規模を除くすべての公共事業でBIM/CIMの原則適用」に基づき、CIMを導入し、契約図書(2次元図面)の照査や施工計画、安全教育、打合せなどに利活用した。その結果、施工の前段階で干渉する箇所の特定制ができ、施工時の手戻りや工期延伸、コストの増加、および配管や構造物の破損事故防止につなげることができた。

また、施工順序や重機の配置、現場内での通行ルートなど、施工計画を3Dで『見える化』したことで、施工状況を直感的に把握でき、協力業者に対する計画説明や安全教育に有効であり、具体的なKY活動や安全意識の向上、若手技術者の理解促進に寄与することができた。

トンネル舗装工事におけるCIM活用の取組み事例が少ない中で、今回実施した内容が効果的であったので、発注者や近隣住民からの指摘や苦情が出ることなく、無事故・無災害で竣工することができたと考える。

6. おわりに

前例の少ない取組みに挑戦できたことは、貴重な経験であり、このノウハウを活かして、よりよい現場環境づくりに励む所存である。本文が今後の同様工事における取組みの参考になれば幸いである。

最後に、当該工事の施工にあたりご指導・ご協力いただいた関係各位に感謝の意を表します。



写真-4 完成写真

西日本最大規模の住宅展示場『ウェルビーみのお』の施工

高橋 佳郁*
小鹿 珠菜*
丸 武司**
阪上 淳一***

1. はじめに

当該工事は、「サステナブルな暮らしとウェルビーイング」をコンセプトとした住まいと暮らしのテーマパークとして展示場数が42戸と、西日本最大規模の住宅展示場の新設工事である(図-1)。そのなかで当社は土木工事、建築工事を一括で受注、施工した。契約工期の変更など、厳しい条件のなか、土木・建築が一体となり竣工することができた。

本文は、業務の効率化が工程短縮につながると考え、様々な課題をICTやDXツールを活用して解決し、竣工した事例を報告するものである。



図-1 全体平面図(ウェルビー箕面HPより)

2. 工事概要

工事概要を以下に示す。

- ・工 事 名：ウェルビー箕面住宅展示場新築工事
- ・工事場所：大阪府箕面市今宮1丁目
- ・発 注 者：エー・ビー・シー開発株式会社
- ・工 期：2022年3月7日～2023年3月25日
- ・工事数量(土木工事)：
 - 敷地面積40,274m²
 - 土工事1式(切土1,250m³、盛土21,700m³)
 - 擁壁工事(L型擁壁、重力式用擁壁)620m
 - アスファルト舗装、ILB舗装 16,000m²

・工事数量(建築工事)：

- センターハウス棟(木造鉄骨造 地上2階 657m²)
- ライフスタイル棟(鉄骨造木造 地上1階 409m²)
- カフェ棟 (鉄骨造木造 地上1階 257m²)
- ボタニカルガーデン棟
(鉄骨造木造 地上1階 257m²)

3. 施工における課題

当初契約工期の18か月に対し、発注者の開発申請の遅延や住宅展示場オープン日程の変更など、合わせて5.5か月の工期短縮を指示された。

建設業の2024年の時間外労働の上限規制の適用をふまえ、工期短縮対策を職員の残業や負担増加、および作業員の増員に頼るのではなく、設計や施工を通し様々な手法を検討し、実施することが課題であった。

そこで、工期短縮を達成するためには、業務の効率化や生産性向上が重要と考え、従来の施工管理手法に代え、ICTやDXツールを積極的に導入し活用することとした。

また、設計や作業手順および工法の検討を土木、建築一体で行い、効率的にロス無く現場運営を行う方策を検討した。

4. 効率化、生産性向上の実施策

4-1 UAV測量および土工事的设计変更

UAV測量とは、UAV(ドローン)を使用して上空から地形情報を取得する測量技術で、土工事については、当初は光波やレベルで測量を行う計画であったが、測量の効率化を目指しUAV測量に変更した。

それによって、3次元点群データ(図-2)を取得し、当初の造成計画の照査を視覚的に速やかに行うことができ、場外処分する土量約20,000m³を盛土材へと転用する、工程短縮に有利となる変更案を提示し承諾された。

残土処分を減少させることで、土工事に要する日数を当初計画の約1/2に短縮させた。これによって約60日の工期短縮効果があった。

*大阪支店兵庫営業所技術係 **本店建築部副部長 ***同支店兵庫営業所工事長



図-2 3次元点群データ

4-2 GNSS測量

構造物の大まかな位置出しや標高を現地で測量する際、GNSS測量機械(株ニコン・トリンプル：SpectraSP85)を使用した。

GNSS測量とは、衛星から送信される位置や信号送信時刻などの情報を1台の受信機で受信することによって、衛星から電波が発信されてから受信機に到達するまでに要した時間を測り、距離に変換する測量手法のことである。従来の光波測量器に比べ相互の視通不要で、複数人で行っていた測量が1人でできるように効率化された。また、即時に位置や高さが算出されるので、測量時間の短縮も達成できた。

従来の光波およびレベルでの測量時間と比較し、1日当たり約2時間の時短、効率化ができた(写真-1)。



写真-1 GNSS測量機械使用状況

4-3 ビジネスチャット「Direct」

舗装工事、ILB舗装工事やハウスメーカーの揚重作業は通路を塞いでの作業となり、資材の搬出入が交錯する。2ヶ月前から施工箇所ごとの日割り工程を作成し、発注者、当社およびハウスメーカーでの昼礼時に施工調整を行った。調整した日割り工程やその変更箇所の情報共有方法として、スマートフォンアプリ「Direct」を活用し、職員や関係者に一斉に情報を送り即時に周知した(図-3)。

Directは、文章で連絡・指示ができ、情報の間違った解釈や指示不足による手戻り、ロスの発生を抑制できた。また、職員間の打合せを事務所に集まっ

ての対面方式からDirectによる情報共有に代えることで、職員が施工管理に集中できる環境となり、日進量の増加につなげることができた。特に、SNSの親和性が高い若年職員には好評で、打合せ時のペーパーレス化も実現し、Directを使用する前は打合せに1.5時間/日かかっていた時間が0.5時間/日に効率化された。

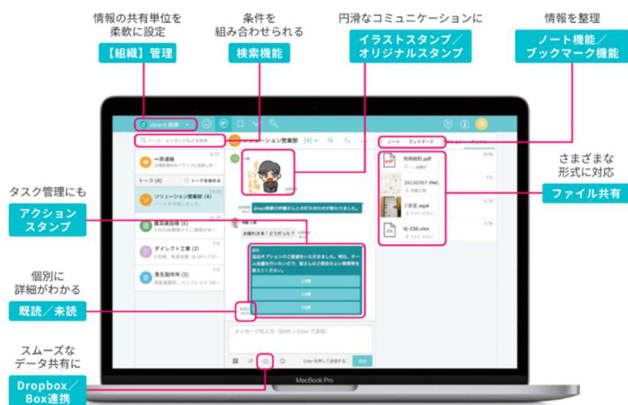


図-3 連絡ツール(Direct)

4-4 蔵衛門 PadDX

写真管理には、工事現場専用タブレット「蔵衛門 PadDX」を採用した。ITが苦手でも教育なしですぐに使用が始められる機能設計の専用端末であり、工事写真撮影・管理・図面の共有に活用した(図-4)。

情報流出の危険性もないことから、協力会社担当者へも貸与し、工事記録写真の撮影を依頼した。撮影した写真はクラウドで複数職員が即時に確認でき、撮り忘れやミスが減少、写真整理時間の短縮など、従来の写真管理と比較し、2時間/日の職員負担軽減や効率化が達成できた。



図-4 蔵衛門PadDX

4-5 3DCAD

3DCADとは、紙で行っていた2次元図面(2D)をコンピュータ上で3次元に拡張したもので、コンピュータ上の擬似3次元空間に立体を構築していくことで、設計のイメージづくりがより具体的に行えるというメリットがある。当該工事では、建築図面の作成に「AUTOCAD2023」を使用した。従来の2DCADでは不可能であった部材同士の干渉が視覚的に把握でき

た(図-5)。

主に木構造材や鉄骨部が多いセンターハウス棟において、木材と鉄骨の接合部などの詳細を検討した。

複雑な形状でも視覚的にわかりやすくなり、部品の形や大きさといった情報を容易に確認し、理解できた。

発注者との協議にも使用し、設計知識のない発注者の確認や理解にかかる時間の大幅な短縮だけでなく、情報の共有化やクロスチェックが容易にできた。また、部材の発注の際にも視覚的にチェックできるので、手戻りやロスを削減でき業務の効率化につながった。

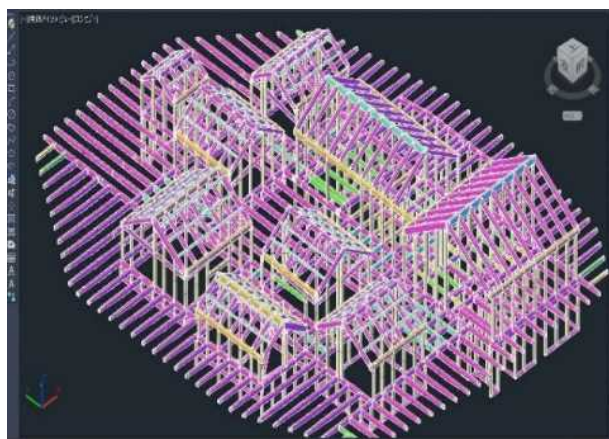


図-5 3DCADを用いた詳細

4-6 3D 木材加工機

3D木材加工機とは、3DCADの設計データ(STLデータ)をもとにして、立体モデルを製作する機械で、部材加工の生産性向上を目的に、3D木材加工機「フンデガーK2i」(独：フンデガー株)を保有する協力会社を選定し、センターハウス棟の木構造材を協力会社工場で木材のプレカットに使用した(写真-2)。

従来の大工で加工を行う場合は、墨付けを行い手加工で行うが、3D木材加工機であれば墨付けが不要で、加工精度は±0mmであり、加工精度が高品質で確保できる。さらに従来の手加工に比べ、加工時間も約50%カットできる。加工精度が一定であるので、現場での修正がなくなり、センターハウス棟では、部材の加工から組立まで工期が2/3程度へ短縮された。



写真-2 3D加工機(フンデガー株HPより)

また、現場加工による木材の不要なカット材発生が抑制され、産廃の削減にも寄与した(写真-3)。



写真-3 3D加工機によって作られた部材

4-7 現場事務所の工夫

最盛期には10名以上の職員が配属され、事務所内での土木担当、建築担当職員のコミュニケーションを円滑に行うため、中央にテーブルを置き、職員同士が気楽に会話できるよう工夫した。

業務に関しては、個々が仕事に集中しやすいようにパーティションで仕切り、円型レイアウトで周囲の音や視線が気にならないようデスクを配置し、メリハリを持って業務に集中することで事務作業の効率化、生産性向上を目指した(写真-4)。



写真-4 現場事務所内

5. まとめ

業務の効率化や生産性向上が工期短縮につながると考え、様々な創意工夫を行った結果、発注者から指示された工期内の竣工を達成でき(写真-5、6)、発注者から高評価を得ることができた。

業務の効率化や生産性向上はある程度達成されたが、副次的効果として期待された職員の残業時間の減少には、日々変わる設計変更の対応によって、残念ながら大きくつながらなかった。

6. 今後の課題

6-1 3DCAD

3DCADは、従来の2DCADの操作の応用が必要になり、コマンド(機能)も多く、操作自体にも慣れが必要であり、習熟の難易度が高く図面の編集作業に時間を要した。3DCADに対する習熟度の向上が課題であった。

6-2 3D加工機

3D加工機は、加工には限界があり、機械の能力上できない加工があるので、大工による追加加工が発生する場合がある。データ入力の汎用性は高いが、3D加工機の専門知識が必要であり、専用ソフトへの入力が難しい。また、製品がドイツ製であるので、刃物、部品など消耗品が輸入となり、コスト高になる可能性がある。

6-3 工期短縮

工期短縮については、2024年度に適用される「時間外労働の上限規制」を発注者に理解してもらい、職員の努力だけで工期短縮を目指すのではなく、発注者には余裕のある工期設定での発注に期待する。

7. おわりに

土木の開発工事から着工し、約5か月後に建築工事が開始された。当初は土木、建築の完成書類などの管理手法の相違やお互いの施工内容の理解不足などでコミュニケーション不足となり、潤滑な現場運営ができていないこともあった。

日々の打合せや会議などでお互いに意見を出し合い、問題を共有することで土木、建築の連携が強化され、全員が厳しい工程に対し共通の認識を持ち、日々の業務での小さな効率化の積み重ねで、全体工期の短縮が達成できた。

当該現場のような土木、建築との共同施工では、土木、建築が一丸となり、1つのチームとして連携していくことで困難を克服できると考える。

最後に、設計・施工から当該工事において多大なる支援をいただいた設計者、協力業者、および当社支店・営業所の皆様方に感謝の意を表します。



写真-5 建物全体図(センターハウス)



写真-6 建物内部(センターハウス)

3D データを活用したワンマン測量による生産性の向上事例

藤本 隆二*
鷲峰 歩**
園田 寛規**

1. はじめに

当該工事は、某産業団地第2期造成工事において、道路を構築する工事であった。施工範囲が広範囲となるので、元請会社から当社と同業他社の2社に分割して発注された。構造物の施工延長も長く、対象工区の道路線形の半分以上が曲線であったので、測量に要する業務量の短縮が大きな課題となることが予想された。

本文では、この課題を打開するために当該現場で採用した、測量方法 (ICT施工現場端末アプリ) について報告する。

2. 工事概要および施工条件

2-1 工事概要

- ・排水構造物 (PU・VS側溝) L=5,700m
- ・集水柵 N=240基
- ・縁石工 L=3,300m
- ・L型側溝 L=300m
- ・アスファルト舗装 A=27,000m²

図-1の赤枠部分が当社の施工範囲である。

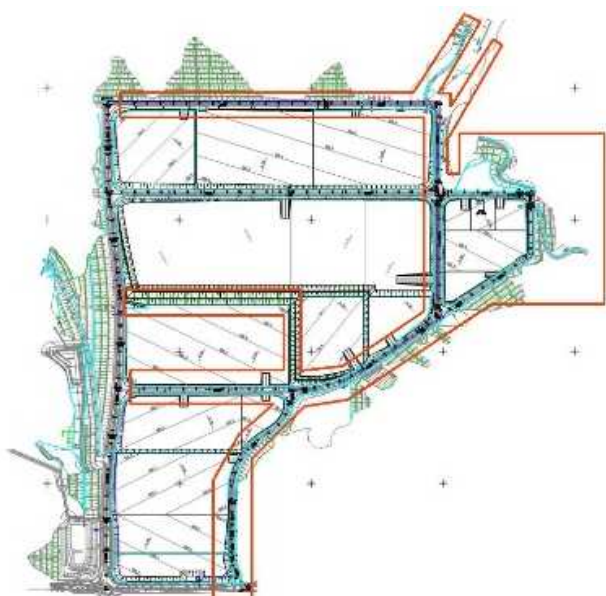


図-1 計画平面図

2-2 施工条件

土工事施工会社による道路土工が完了した状態で当社へ引渡しされる。

現状土は、基本的には真砂土であるが、一部軟岩部があったので、対象箇所の床掘については土砂掘削から軟岩掘削に設計変更となった。



写真-1 土工事完了写真(当社施工前)

3. 従来の測量方法

3-1 測量データ計算(事前準備)

従来のトータルステーション(以下、TS)を使用した測量では、丁張設置箇所の座標を計画平面図から拾い出すか、路線データから座標データを計算していた。計画高については、縦断図から計画高を読み取り、パーチカルカーブ部では手計算等によって変位量を計算する必要がある。

このような作業を、施工が直線の場合は最低でも10m毎、曲線部では5m毎に事前に調べておく必要があった。1点の座標と計画高を調べるのに要する時間は、約5分程度必要になる。

当該現場の構造物の施工延長が総延長 L=9,300mであり、直線と曲線の割合が約3:7であることから、現場での概算丁張設置箇所数は、下記の計算から1,581測点となる。

また、従来の手計算によってすべての箇所を算出するのに約132時間もの時間を費やす必要があった。
丁張設置箇所：9,300m÷100m×17測点=1,581測点
データ算出時間：1,581測点×5分

=7,905分÷131.7時間

さらに、調べたポイントのデータを測量時に見やすいようにとりまとめるため、従来の手法では実際に算出した以上の内業時間が事前準備として必要に

*中国支店岡山営業所工事主任 **同所技術係

なる。

3-2 現地における測量

前項での測量データをもとに、現地においてTSを使用し、機器側に1人、および測量手元(プリズムを持つ側)に1人の合計2人で1点ずつ測量していく。

測量によって出したポイント付近に杭を打ち込み、杭の天端に釘を打ち、レベルを使用して高さを測定、計画高までの下がり进行を計算し測量板を設置する。



写真-2 丁張設置例

この作業では、機器側が測量手元に対して、対象のポイントまで声掛けや手合図によって誘導する必要がある。

直線部や曲線部に関係なく同じ時間で丁張の設置はできるが、ポイント出しに5分、高さの測定に2分程度必要となり、合計で1か所あたり7分程度の時間が必要になる。

したがって、1,581測点の全箇所を測量する時間は、下記の計算から約185時間もの時間を費やす必要があった。

測量時間：1,581測点×7分=11,067分÷60=184.4時間

4. 快測ナビの活用

従来の測量データ作成および測量方法では、内業時間および測量時間が多大に必要となるが、人員不足の状態では測量業務にだけ時間を費やすのは難しい状態である。

ワンマン測量の機器として杭ナビがあるが、事前に登録した座標点のみを測量することになるので、座標登録に要する時間も必要になり、任意の測点の位置を出すのが不可能である。

そのため、従来の現場手法を180°転換し、日々の準備作業が不要となる、3D施工データを活用した快測ナビAdvを当該現場の測量機器として採用した。

4-1 快測ナビの概要

快測ナビは、各社測量機器と連動し、従来は複数

名で行っていた現場での位置出しや丁張設置、施工段階のチェックなどの作業を「ワンマン」で行うことができるICT施工現場端末アプリである。3D施工データを活用することで、「明日の計算が要らない」革新的なスマート施工を実現できる。

このアプリケーションを活用するためには、「3次元設計データ」が必要にはなるが、データを機器に取り込むことで様々な測量作業に活用できる。



図-1 快速ナビAdv (株建設システムのパンフレットより)

道路線形データおよび縦横断データを入力することで、どの地点においても現在位置の測点名と道路センターからの左右離れ、観測標高、計画横断上からの標高差をリアルタイムに表示可能となる。



図-2 標高差表示 (株建設システムのパンフレットより)

これらを活用するのに「3次元設計データ」の作成が必要であり、設計変更や追加項目を容易に修正できるように後述の「SiTECH 3D」で作成する。

4-2 SiTECH 3Dの活用

快測ナビを使用するためのデータ作成において、操作性および互換性を考慮し、同じ開発会社の(株)建設システムの製品であるSiTECH3Dを採用した。

SiTECH3Dは線形データ、縦断面図、および横断面図の2次元図面を変換することによって、容易に3Dデータ作成が可能となり、拡幅部や交差点部において

は設計データを手入力することで、データの作成が可能となる。



写真-3 作成後の3Dデータ

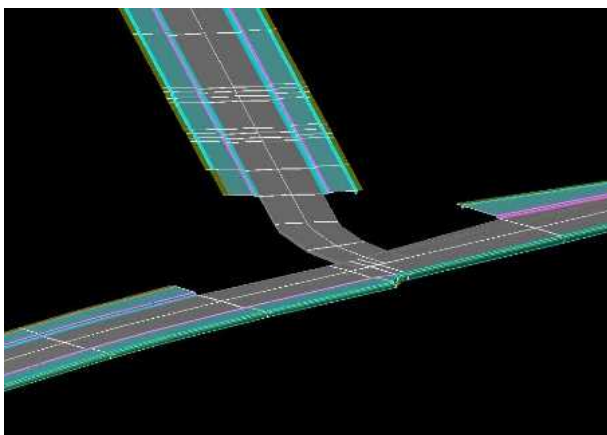


写真-4 赤丸部分の拡大

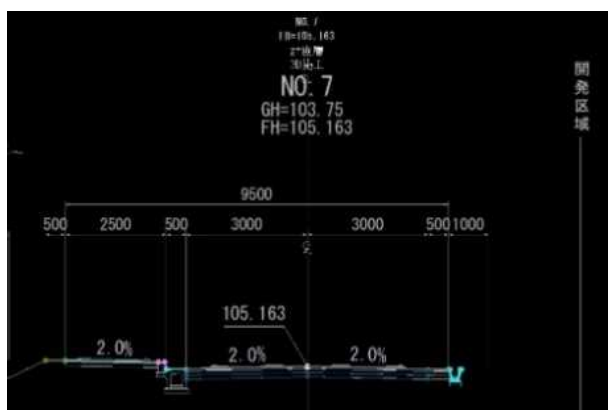


写真-5 横断データ

作成したデータの確認や設計把握も容易になり、施工時に気付くような設計不備箇所も事前に把握でき、施工前に設計者へ質疑し、問題を解決することができた。

また、計算間違いによる手戻り工事を回避できるので、経験が少ない技術者に対し、安心して現場を任せることが可能となり、業務負担の低減へとつながった。

横断設計データは道路線形、道路排水構造物の位置、および歩道の計画を入力して、測量できるようにデータを作成した。

今回の設計データ作成にあたって費やした時間は、約48時間の6日間程度であった。

さらに、施工段階での設計変更に伴うデータ修正に要した時間は約8時間であり、合計56時間であった。

4-3 快測ナビの活用

SiTECH3Dで作成した3Dデータを快測ナビに読み込んで測量を実施した。快測ナビの機能として《どこでも丁張》という機能があり、3D施工データから瞬時に丁張設置に必要な数値が計算されるので、事前の丁張計算は不要となった。

丁張を掛けたい測点を指定し、360°プリズムを持った状態で延長方向、水平離れ、および鉛直離れをリアルタイムに確認しながら丁張設置を行い、曲線部のように細かい間隔で設置する場合でも容易に位置出しが可能であった。



写真-6 快測ナビ誘導画面



写真-7 構造物出来形確認状況

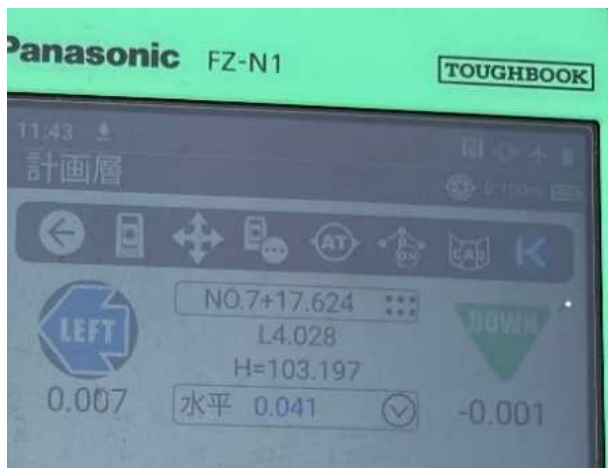


写真-8 快測ナビ確認画面

5. まとめ

従来方法の測量とSiTECH3Dで作成した3D施工データを活用した快測ナビAdvを使用した場合の業務時間を表-1に示す。

表-1 従来方法と改善後の必要時間数

		人数 (人)	時間 (h)	個別合計時間 (h)	合計時間 (h)
①従来型	事前準備	1	131.7	131.7	500.5
	測量	2	184.4	368.8	
②ICT測量	SiTECH3D	1	56.0	56.0	108.7
	快適ナビ活用	1	52.7	52.7	

短縮時間(h) ①-②=500.5-108.7=391.8時間

従来方法とICT測量を比べると、測量に必要な時間は約390時間、日数に置換えると約49日短縮となり、なおかつ、従来方法と比べヒューマンエラーによる測量間違いがなくなり、手戻り工事をなくすことができた。

測量機器の費用は、従来方法に比べ1.5倍程度高くはなるが、測量にかかる労務費は100万円程度安価になり、業務時間の短縮および生産性の向上が実現できた。

6. その他機能

i-Construction の3次元設計データと路線データを活用し、リアルタイムに3次元モデルを確認しながら、観測位置と設計面との標高較差・水平較差・垂直較差を確認でき、ICT 活用工事の実地検査にもご活用できる。

当現場では、当初契約から追加になった、切削オーバーレイの交差点部での切削深さ検測、切削出来形確認、水糸で確認するのが難しい団地内幹線道路における交差点部の舗装高確認および舗装型枠設置後の高さ確認に使用した。また、Surfaceガイダンスの機能を使用すれば、目盛り表示となりより簡単に計画高までの高さ確認をおこなうことができた。



写真-9 Surfaceガイダンス確認画面

7. おわりに

3D施工データを使用した測量方法によって、測量および確認に費やす時間を大幅に縮小でき、ゆとりが生まれたことで、手戻り工事もなく安全に工事を完成することができた。



写真-10 完成写真

激しい漏水箇所での管更生(光硬化工法)の適用事例

阿部 仁*

1. はじめに

新小岩アンダーパス(写真-1参照)は過去に大雨で冠水したことがある経緯があり、鉄道は東西を結ぶ路線が多い中、南北を走る平和橋通りは地域にとってバス運行を含めて重要な路線であり、冠水対策は地域の重要な課題であった。

本件は、平和橋通りにおける車道および歩道の勾配改善を目的とした路面補修工事で、その付随工種の路面下排水工として、開削による雨水取付管18箇所および本管57mの撤去新設工事が含まれていた。

本文では、この雨水取付管および本管の工法検討および施工内容を報告するものである。



写真-1 新小岩アンダーパス

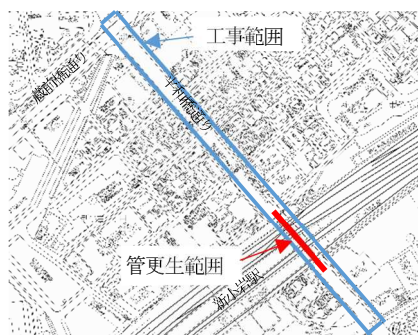


図-1 施工位置図 (Google mapに加筆)



写真-2 試掘結果

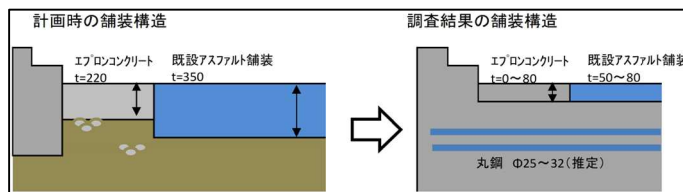


図-1 想定される舗装構成

2. 工事概要

- ・工 事 名 : 路面補修工事(3五の10・歩道改善)及び自転車通行空間整備工事(3五-2)
- ・工 期 : 令和4年1月31日～令和5年4月28日
- ・発 注 者 : 東京都建設局第五建設事務所
- ・施工場所 : 東京都葛飾区東新小岩五丁目(図-1参照)
- ・主要工種 : 車道舗装工 4,549m²
歩道舗装工 1,393m²
街渠工 315m

3. 事前調査

3-1 舗装構造調査

アンダーパス内部の舗装の事前調査の結果、周囲の表層(t=50mm)の下にコンクリート床版があり、カルバートと一体の構造物であることが確認された。

発注者の判断によって、管の撤去が不可となった。そこで、代替案として管更生工法を検討するため、TVカメラ調査を実施した。

調査時の写真を写真-2に示す。そこから想定される舗装構成を図-2に示す。

3-2 TVカメラ調査

人孔部には、大量の漏水による滞水で管が埋まっておりカメラを挿入できないので、事前に1日作業で水替えをして水位を下げた。そのうえで、随時流れてくる漏水をバキューム車で吸引をしながらTVカメラ調査を実施した。しかし、管のたるみと多量の侵入水の影響によって、すべての帯水を取り除けないので、管底の異常の有無は確認できなかった。

TVカメラ調査の結果、本管継手部からの多量の浸入水と管全体がたるんでいることが判明したので、滞水が更生材の硬化不良の原因となる可能性が懸念された。本管のたるみと滞水状況を図-3に、接手部からの侵入水の状況を写真-3に、および本管のたるみ部帯水状況を写真-4に示す。

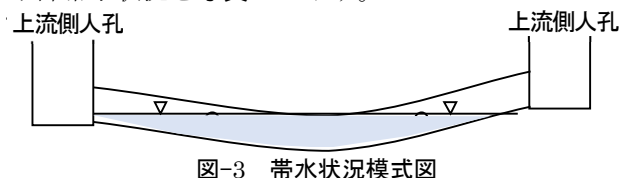


図-3 帯水状況模式図

*関東支店東京第一営業所工事長



写真-3 本管侵入水状況



写真-4 本管帯水状況

4. 施工方法の検討

事前調査の結果をもって、管更生工法を提案した。今回の工事の目的は、管路の漏水を解消することによって、純粋な雨水のみを排水できるようにすることであったので、管路の逆勾配やたるみについては修正する必要はないことから、管更生工法で承諾を得た。ただし、以下に示す問題点が生じた。

4-1 問題点

管更生工法を実施するにあたっての問題点は以下の通りである。

- ①施工範囲から下流に向かう管が逆勾配になっており施工箇所の人孔に侵入水が集中する。
- ②地下水位の影響による侵入水であるので、雨天晴天に関係なく0.5m³/分程度の水が集まってくる。
- ③管全体がたるんでいるので、人孔部で排水を実施しても管中心部での滞水は解消されない。

4-2 工法の検討プロセス

管更生工法は、主に製管工法と反転形成工法に大別される。

一般的に、開削可能な施工環境であれば、部分開削によって滞水箇所を改善し、多少の侵入水がある状況下でも更生作業を行うこととなるが、当工区では非開削で行うことが前提であるので、部分開削による滞水の改善はできない。また、薬液注入等によって、管内侵入水を抑制することによる滞水量の低

減効果も検討したが、管の目地漏水箇所が多すぎることを確認できているので、その効果に十分な確証を得ることもできない。

そこで、製管工法では滞水環境下では確実な充填材注入及び硬化が期待できないので、同工法での検討は除外した。反転形成工法においては、硬化方法によって、光硬化工法と熱硬化工法があるが、熱硬化工法の場合は光硬化工法に比べ、材料冷却によって外部侵入水の影響を受けやすい工法である。

したがって、同環境下で最も影響の少ない光硬化工法を選択し、品質保証を確実なものとする補助工法を検討することとした。

4-3 光硬化工法に伴う補助工法の検討

光硬化工法は更生後、硬化材料のみで本管同等の強度を保証する工法である。その品質を確保するための更生材の不良硬化を防止する補助工法として、「仮更生」を選定した。「仮更生」は、強度保証除外品であるが、設計下水流量確保が可能な厚さ3mmの更生材を用いて、管内侵入水を遮断する方法である。

この「仮更生」によって管内侵入水を遮断した後、11mmの更生材を用いた「更生(本設更生)」を実施する「二重更生工法」を提案した結果、発注者から承諾を得た。なお、本工法のような方法は、管更生工法においてもごく稀な方法である。

5. 施工

5-1 施工手順

施工ステップの模式図を図-4に、施工手順を以下に、各種施工状況を写真-5～8に示す。

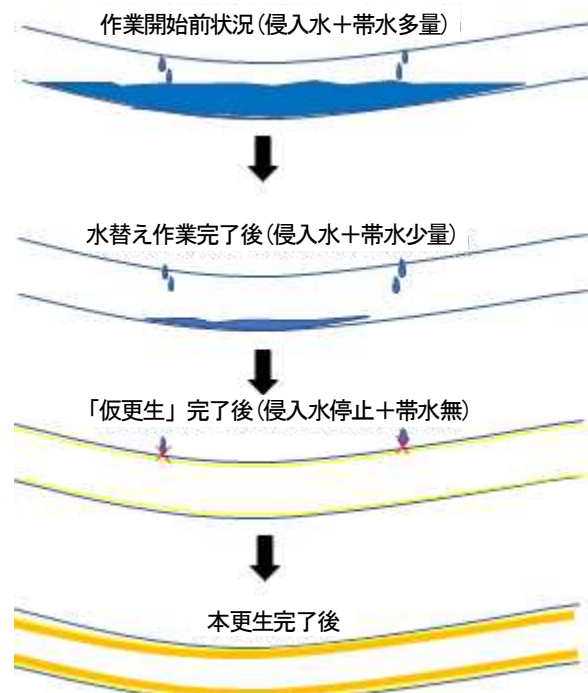


図-4 施工ステップ模式図

【施工手順】

- ①事前水替え(3インチ水中ポンプ×2台)
- ②管内洗浄(高压洗浄車+バキューム車)
- ③障害物除去(高压洗浄車+カッター)
- ④スリップシート引込み(バキューム車吸引継続)
- ⑤仮更生材(3mm)引込み
- ⑥加圧拡張(0.03~0.05MPa)・UVライト引込み
- ⑦光硬化(600W×6灯、60cm/分以下)
- ⑧冷却・インナーフィルム除去
- ⑨管口処理

上記①～⑨の作業をもって「仮更生」(3mm止水)を完了とする。

- ⑩スリップシート引込み(バキューム車吸引継続)
- ⑪更生材(11mm)引込み
- ⑫加圧拡張(0.03~0.05MPa)・UVライト引込み
- ⑬光硬化600W×6灯、45cm/分以下)
- ⑭冷却・インナーフィルム除去
- ⑮管口処理
- ⑯施工確認(TVカメラ)



写真-5 更生材管内挿入



写真-6 UVライト点灯確認



写真-7 光硬化状況



写真-8 ロボット削孔状況

5-2 施工上の注意点

施工上の注意点は、作業前及び作業中における排水と上流からの流入水の止水である。

作業前は雨天後を避け、事前のポンプアップによってできる限り水位を下げる必要がある。夜間の20:00~6:00までが作業可能時間であるが、規制帯の設置、作業開始前の止水、バキューム車による水替え等を実施してからの本作業になる。したがって、本作業可能時間は6時間程度になるので、作業車両の配置位置、段取り等を含めた計画的な施工が求められた。

5-3 施工結果

出来形の基準値は、更生管厚と設計厚の差が+20%以内である。施工結果を表-1に示す。

「仮更生」では、設計3.0mmに対して3.5mmであるので+15%、本更生では設計11mmに対して13mmであるので+18%となり、基準値を満足した。

表-1 施工結果

工種	位置	施工前径 (mm)	施工後径 (mm)	更生材厚 (mm)	設計値 (mm)	基準値
仮更生	上流側	397	390	3.5	3.0	20% 以内
	下流側	399	392	3.5		
本更生	上流側	390	364	13.0	11.0	
	下流側	392	366	13.0		

当該工事を施工することで、事前調査で確認された既設管のズレ、管の破損、モルタルによる詰まり、およびクラックを補修することができた。

また、一番の問題であった侵入水を止めることに成功した。

今回、この二重管更生を実施したことで、損傷を補修して侵入水を防止することによって、管の長寿命化を図ることができた。

管径としては26mm細くなったものの、更生前に比べ更生後の粗度係数が小さくなった結果、流量を回復することができ、冠水対策にも寄与した。

施工前、仮更生完成後、および本更生完成後の管内部をそれぞれ写真-9～11に示す。



写真-9 施工前

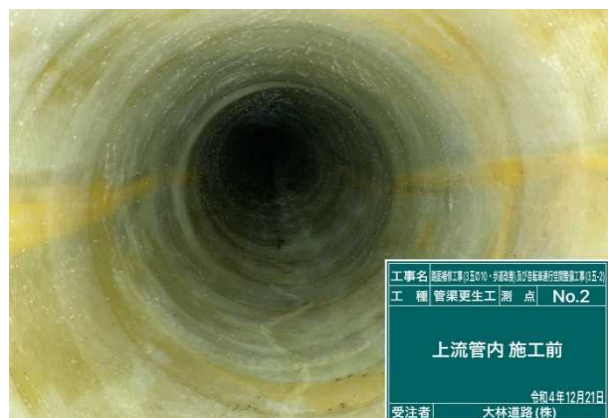


写真-10 「仮更生」完成



写真-11 本更生完成

6. おわりに

当該工事は、当初、開削による管渠の撤去新設工事が設計として計上されていたなかで、早い段階で調査を実施することで問題を早期に発見し、時間をかけて発注者と施工方法を協議することで新しい工法による管渠補修の提案を認めてもらうことができた。

また、表層直下にコンクリート床版が確認されたことによって、舗装構成や周囲の構造物等に様々な変更協議が生じたが、営業所、支店工事部、および技術部と積極的にコミュニケーションを図ることで円滑に問題解決と提案を行うことができた。

その他にも、重交通区間の交差点部には、当社の開発品である新技術の高耐久アスファルト舗装「タフアスコン」を東京都発注工事として初めて施工する(写真-12参照)など、数多くの提案を行ったことも高く評価され、発注者から工事評定において優良の評価をもらうことができた。

今後、同様の事例が発生した際に、本文が参考になれば幸いである。

最後に、協力会社および技術支援をいただいた関係各位にこの場を借りて感謝の意を表したい。



写真-12 タフアスコン施工箇所

高速道路における横断排水管の破損補修事例

山路 純平*
安藤 博紀**

1. はじめに

徳島自動車道において、本線を横断する排水用コルゲートパイプが経年劣化によって座屈変形し、本線に近接する側道のり面で陥没が発生した。本線における沈下も懸念されたので、既設管の上載荷重となる土を除去して応急措置を講じた(写真-2)。

本復旧の対策について、西日本高速道路エンジニアリング四国株式会社から当社に検討依頼があり、その後、何度も協議を重ねた結果、最善の施工方法を提案することができ、当該工事を受注することができた。

本文では、その補修方法の検討提案から施工について報告する。

2. 工事概要

- ・ 工事名：徳島地区コルゲートパイプ補修工事
- ・ 工事場所：徳島県三好市三野町太刀野
- ・ 施工期間：2022年8月22日～12月20日
- ・ 工事内容：立坑設置 1ヶ所
鋼管推進 9m
排水管設置 45m



写真-2 陥没箇所の応急措置

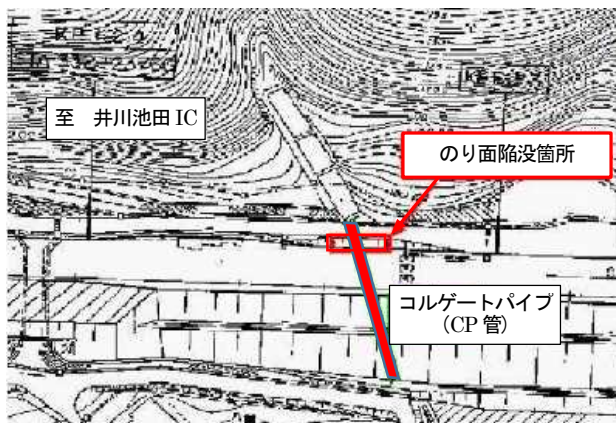


図-1 陥没箇所位置図



写真-3 既設コルゲートパイプの変形



写真-1 陥没箇所

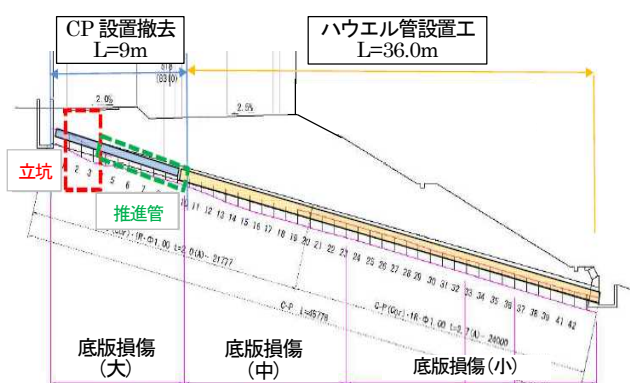


図-2 補修計画図

*四国支店徳島営業所技術係 **同所工事主任

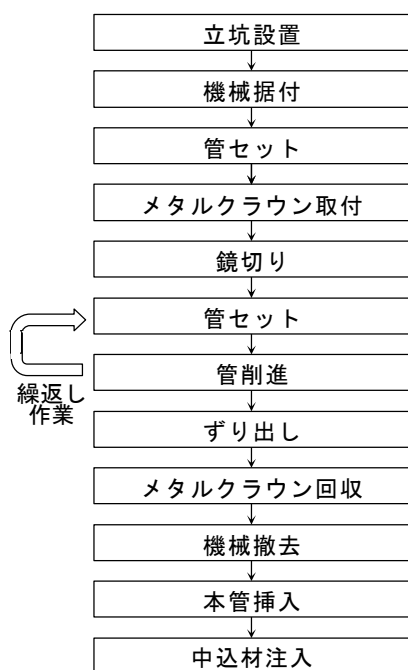


図-3 施工フロー図

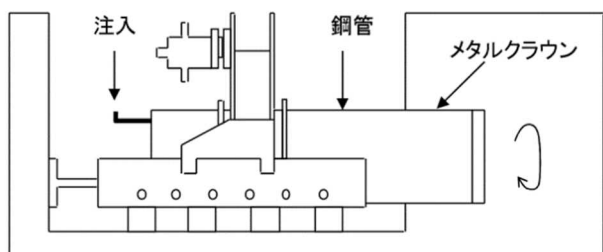


図-4 推進工施工イメージ

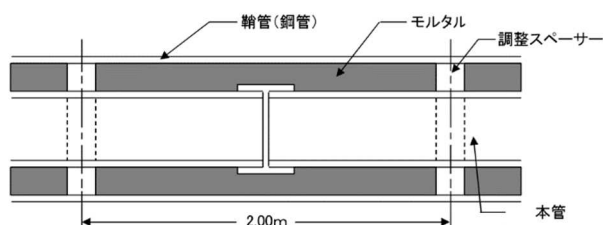


図-5 中込注入工施工イメージ

3. 補修方法の検討

3-1 推進工法

破損箇所が本線下で埋設深さも深いので、開削による補修は困難であった。そこで、既設管よりも大口径の鋼管推進工法によって破損管を取り込み、新設排水管を挿入・充填する方法を採用することとした。

3-2 排水管

既設管で使用されていた鋼製コルゲートパイプでは、将来的に同様の事象が発生するおそれがあるので、より耐久性のある管材を使用する必要があった。検討した結果、強度が大きいハウエル管を使用することとした。

3-3 施工中に起こる地盤変状の予測

地盤が緩んでいる箇所における鋼管推進であることから、更なる変状が起こる可能性があった。その対策として、発進立坑施工時に観測孔を3箇所設けること、および本線路面の3箇所を定点観測することで、常時、状況を把握し沈下等の事態に迅速に対応することとした。

3-4 立坑部復旧

立坑部内の本管は露出状態であるので、防護コンクリートを用いて保護することで、劣化を防ぐ役割とした。

4. 施工における課題点と対策

4-1 推進管径および推進機セッティング

破損部のみの補修を行うにあたり、発進立坑側においては問題なく測量が行えたが、鋼管到達部は地中であるので、既設管の計測に検討が必要であった。その対応策として、ノンプリズム計測による管内無人計測を行った。

4-2 排水管の挿入

施工が下り急勾配であるので、本管挿入時のすべり防止対策も必要となった。

本管にスペーサーを取り付け、発進立坑側からターンバックルで常時、緊張を施し、挿入速度に合わせて緩めていくことで、挿入速度をコントロールすることができた。

4-3 中込注入の充填管理

既設コルゲートパイプが一部破損した経緯も含めて、中込注入の充填には、発注者から品質の確保を強く求められた。今回施工の本管はφ700mmで行うので、管内圧送注入では施工できない。そこで、発進坑口からの充填工法を用いた。

本管挿入時にφ25mm塩ビ管を4本固定し、互いの長さをずらすことで、その箇所までの計画注入量に対して、吹出し確認を用いて充填管理を行った。

4-4 路面排水の対策

今回破損したφ1,000mmコルゲートパイプは、雨水排水を目的としていることから、完全復旧までは排水が遮断されている状態である。そのため、大雨の際、供用中の本線に雨水が流出しなうよう、確実な対策を講じる必要があった。その対策として、上流側に200V-3インチ水中ポンプ3台、および2インチ水中ポンプ2台を設置した。センサー感知式を用いることで、水位が上昇したときのみ排水を行い、立坑内、推進管内、および本線路面への雨水流出防止に対応した。

4-5 地元対策

当該現場は、高速道路の側道部が陥没したことで

メディアに取り上げられており、地元住民、マスコミ、官庁など様々な方面への配慮が必要となった。

マスコミ・地元への対応について、西日本高速道路エンジニアリング四国(株)工事部・広報部と度々の協議を行い、工事期間中も大きなトラブルを起こすことなく工事に従事することができた。

5. 施工状況

工期短縮が求められる中、高速道路本線の防護を最優先とした施工を進めていった。

5-1 発進立坑築造

発進立坑では、ライナープレート式φ4500mm、深さ4.5mの立坑を構築する。本線に近接しての作業であることから、地盤崩壊を起こさないよう掘削は土留め工を施しながら掘り進めて行った。

側道を通行止めにして、完全規制下での作業ではあったが、立入り禁止、転落防護、昇降設備、作業通路などの仮設には最善の注意を払い、設備面、安全面、および作業環境において、万全の体制で施工できるよう環境を整えた。

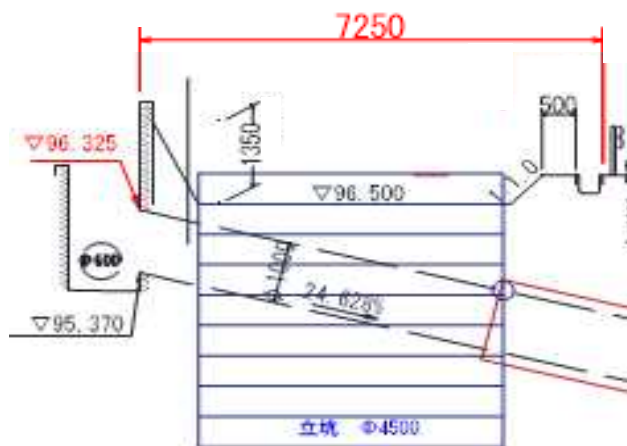


図-6 立坑断面図



写真-4 立坑設置完了

5-2 推進工

推進工は、パイプ削進工法(PSH工法)を用いて鋼管φ1350mmを削進した。下り勾配が約16%と、非常に急勾配での施工となるので、マシン架台は堅固に設置した。立坑基礎にH鋼200mmを補強材として埋め込んでいたので、ライナープレートへの直接荷重を軽減できた。



写真-5 鋼管据付完了

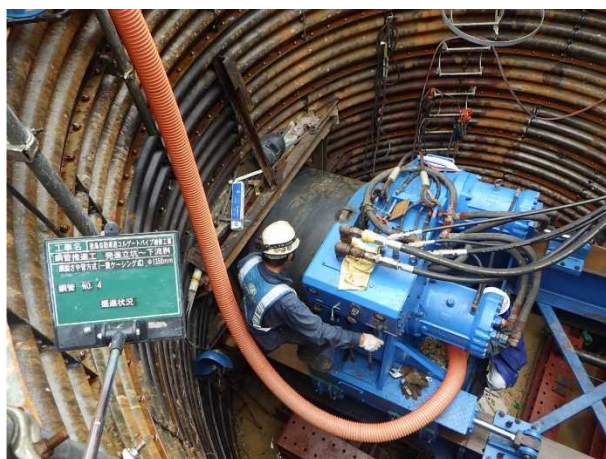


写真-6 鋼管掘進状況



写真-7 既設コルゲートパイプ取込み

5-3 本管挿入工

本管挿入工は、鋼管推進工によって既設コルゲートパイプの破損箇所を回復させた後、高耐圧ポリエ

チレン管、ハウエル管φ700mmを下流桝まで挿入した。上流発進立抗からの挿入手順となるので、推進工同様に急勾配施工に対する対策が必要となった。

本管挿入は、通常行う圧入方法を選択したが、鋼管およびコルゲートパイプが鉄製で、スペーサーバンドも鉄製であることから、下流へ向いて管が離脱する恐れが大きくあった。

対策として、先頭管に追加のスペーサーバンドを固定し、それらに延長分のワイヤーを2本固定し、発進側の支圧壁で反力を取ることで、すべり防止を施すことができた。

挿入時には、圧入スピードと緊張を解くスピードを調整することによって、ジョイント部の脱着もみられることなく、挿入を完了させることができた。



写真-8 ハウエル管挿入

5-4 中込注入工

中込注入工は本管挿入後、発進抗口および到達抗口を閉塞し、裏込め材を充填注入した。当初に発注

者側から指示のあった充填管理は、挿入時に設置した長さの違う塩ビ管に充填したモルタルが噴き出すことによって、下流外部からの目視による充填管理を行った。

設計数量と実施数量の対比によって、管内部の空隙がないことで、品質確保につなげることができた。



写真-9 モルタル充填

6. おわりに

高速道路側道の陥没発覚から、当社主導で迅速な計画立案、調査、および復旧対策を行うことができ、完成まで事故や通行制限を発生させることなく完成することができた。発注者からは絶大な信頼を得ることができ、当該実績は、今後の維持管理工事を受注するうえで、非常に有益なものとなった。

最後に当該業務を遂行するにあたり、ご協力頂いた支店工事部、営業所関係各位、および協力会社の方々にこの場をお借りして、感謝の意を表したい。

社 外 発 表

歩行空間の評価方法の新たな取り組み

大林道路株式会社	正会員	○森石	一志
大林道路株式会社	正会員	山口	雄希
明石市役所	正会員	鈴木	啓祐
北見工業大学大学院	学生会員	幸谷	宥毅
北見工業大学	正会員	富山	和也

1. 目的

現在、歩道の維持管理で用いる路面評価は、アスファルト舗装では、縦断凹凸、縦横断勾配、ひび割れなどであり、インターロッキングブロック舗装では、前者に加えて段差や目地幅などが指標とされているものの、車道を対象とした試験方法であるため、それらの基準値に課題がある^{1),2)}。また実際は、目視や利用者からの通報や巡回点検による主観的な手法が中心である。そのようなことから、著者らは以前より歩行空間の維持管理に必要な計測手法や計測技術の研究に取り組んでいる³⁾。

そこで本研究では、歩道の面的管理を目的に地上型レーザースキャナー（以下、TLS）で取得した三次元点群データを使用し、歩道の水溜まりの検出を試みた。

2. 実験概要

計測は明石市内の歩道で実施し、その規模は図-1に示すとおり、幅員 3.8 m、延長 100 m とした。

また、計測は著者らが開発した図-2 示すような TLS を電動車いすに搭載した装置⁴⁾を使用し、10m ピッチで停止（計測）・移動を繰り返す Stop & Go で行った。



図-1 計測ヤード



図-2 計測装置

3. 検出方法

3.1 基準面の設定

水溜まりはコンターを使い検出することとした。コンターを作成する際、基準面の設定が必要となるが、今回は「水平面」を基準面とした。水平面とは地球（重力方向）に対して水平を取り、その面からの高さ情報を使って高低差を色付けし、路面の凹凸を表現する方法である。以下にその手順を記す。

- (1) 評価する範囲の四隅の平均高さで面を作成する。
- (2) 評価範囲の中にある点群でメッシュを作成する。
(本実験は 10cm メッシュ)
- (3) 作成した各メッシュとその範囲内にある点群の高さの差でコンターを作成する。

3.2 判断方法

作成したコンターから、周囲の高さに比べて低い箇所に水溜りが生じると判断した。また、実験日とは異なるが、水溜まりが生じていた日に位置を押さえ、その結果と比較することで、その一致の度合いを確認した。

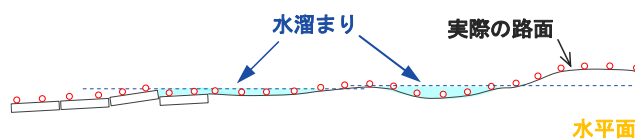


図-3 水平面の概念図

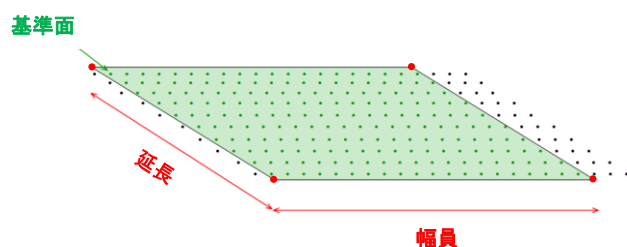


図-4 水平面の概念図

キーワード 歩行空間、TLS、三次元点群データ、コンター、水溜まり

連絡先 〒204-0011 東京都清瀬市下清戸 4-640 大林道路株式会社 TEL042-495-6800

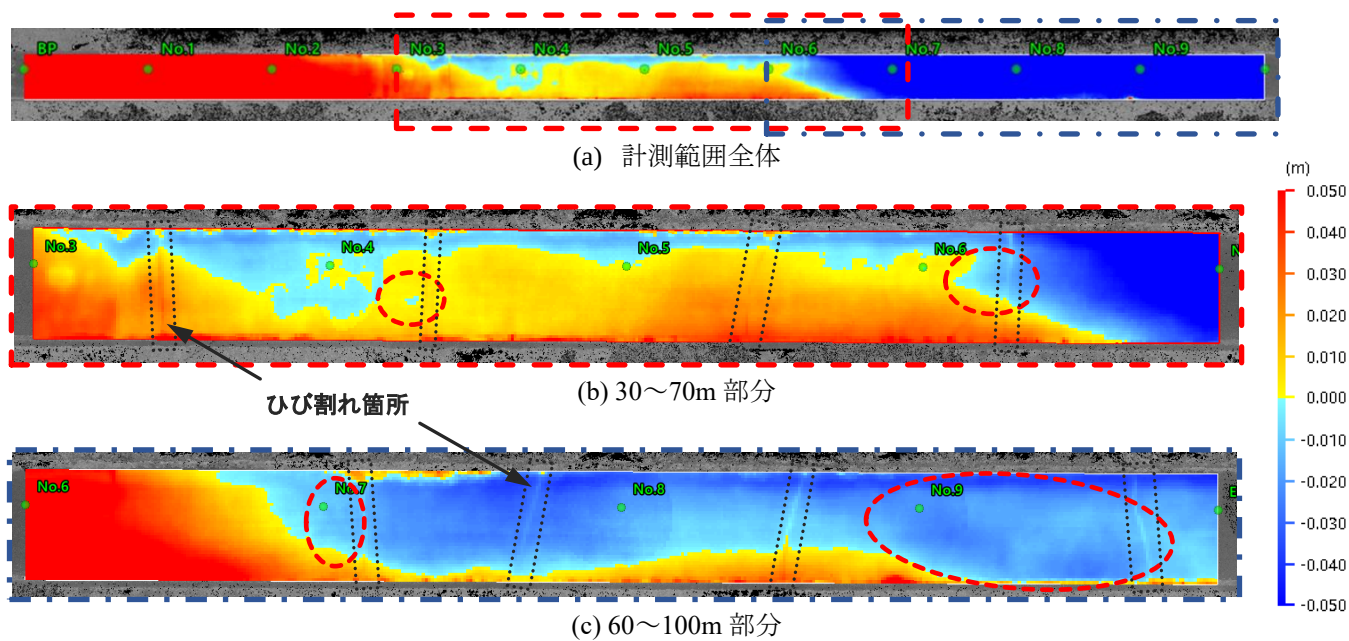


図-6 水溜まり発生状況

4. 検出結果

作成したコンターとして、計測範囲全体を図-5(a)に示し、水溜まりを判別しやすくするため 30~70m 部分を抽出したものを図-5(b)、60~100m 部分を図-5(c)にそれぞれを示す。なお、図-5(a)は勾配を把握するため全体で平均面を作成し、図-5(b)(c)は部分的に作成していることからコンターの見え方が異なっている。

これらの結果から、43m 付近は周囲と比べて低くなっているのに対し、その他の3箇所はその現象が明確に見られない。しかし図-6に示す実際に水溜まり発生状況を確認すると、横断方向にひび割れが存在し、さらにその部分が盛り上がっていたことから堰のような状態となり、縦断勾配の水上から流下するはずの表面水が堰き止められ水溜まりになったことが分かる。またその状況は図-5(b)(c)でも確認できる。

5. まとめ

今回の実験の結果から、基準面を平均面としてコンターを作成することで水溜まりの発生箇所を特定できる可能性を見出した。しかし、平均面を作成する位置（高さ）および路面の凹凸の大きさにより水溜まりが再現できない可能性もある。また、広範囲の基準面でコンターを作成すると、勾配や高低差が影響し、レンジの取り方によっては水溜まりが見える箇所と見えない箇所が生じる。そのようなことから、今後は一定のエリアに分けて評価するなど、最適なコンターの作成条件や解析方法について検討を進めて行く。

参考文献

- 1) 久下晴己, 國府勝郎, 秋山哲男: 高齢者の歩行特性とブロック系舗装の目地部許容段差に関する考察, 土木学会論文集, No.627/V-44, 67-76, 1999.8.
- 2) 吉田武, 新田弘之, 大橋幸子: 都市内歩行者系舗装の総合評価に関する研究, 土研成果報告書, 383-388, 2003.
- 3) 富山和也, 山口雄希, 森石一志, 幸谷有毅: Dual-tree 複素数ウェーブレット変換による路面三次元点群解析の効率化および合理化, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol.77, No.2, p.I_119-I_127, 2021.
- 4) 幸谷有毅, 富山和也, 山口雄希, 森石一志: ハンドル型電動車いすを用いた三次元路面計測手法の開発, 第4回 i-Construction の推進に関するシンポジウム, pp.61-64, 2022.7.11.

社 外 発 表

道路整備を意識した商店街の賑わいの定量化とその測定

大林道路株式会社 正会員 ○嶋崎明代

大林道路株式会社 正会員 光谷修平

一般社団法人まちの魅力づくり研究室 堀 温子

一般社団法人まちの魅力づくり研究室 堀 繁

1. 目的

「賑わい」とは活気があって商売や取引が繁盛する状態をいう。まちが賑わうと経済活動が活発となり地域が潤う。少子高齢化により地方都市等の消滅が危惧されるまちの「賑わい」は重要である、そのためには近隣住民や観光客などの交流人口を増やすことで創出するしかない。

まちは道と沿道で出来ているが、中央の道が重要である。沿道は民間の各店舗で操作は困難なのに対し、道路は行政が一気に整備でき、影響大きい。道路は人や車の交通を支える重要なインフラである。多くの人が魅力を感じて足を運び、買い物や飲食を愉しめる空間は道路の重要な機能となる。さらに近年では、例えば「ほこみち」のように道路をまちに賑わい空間として捉え、多角的に活用しようとする制度・試みが進められている。我々が商店街に出かければ「賑わい」の有無を誰しも同様に評価すると考えられる（写真-1,2 参照）。



写真-1 賑わいの少ない商店街

写真-2 賑わいのある商店街

この定性的な評価を定量化するには、①歩いている人の数、②取引される金額を指標とする方法が考えられるが②は道路技術者が得やすい情報ではない。①は活気と直結する。そこで筆者らは、道路整備とその賑い創出効果を検討する前提として、「まちの賑わいの定量化」の方法を実践し検討した。実践については道路空間の機能として「賑わい」が最も求められるのは商店街である。商店街は全国に12,000以上あるといわれており、多くの商店街が「賑わい」を失いその活性化

を求めているそこで東京の商店街で実際に計測し、その結果から「賑わい度」の定量化の測定方法の妥当性、問題点、改善点について検証した。

2. 測定方法の提案

1) 定量化

「賑わいの定量化」を人の数で測定する目的とする。その値を仮に「賑わい度」と定義する。

2) 撮影方法

撮影は1人で撮って評価することとした。測定方法は以下の要件を満たすものとした。

- ・人が感じる活気をそのまま指標化する。
- ・道路の占有を要さない。

そこで、

- ・使用するカメラの焦点距離は、肉眼に近い画角範囲となる標準レンズ状態に設定する。
- ・歩行可能な場所（歩道あるいは自動車が殆ど通らず歩行者が多い状態の車道）で撮影する。
- ・歩行者の視点となるよう、立ち止まった状態（地面から160 cm程度）で撮影するものとした。

3) 撮影する時間帯

住宅街と駅を結ぶ道路における朝の通勤通学時間帯の人通りは購買等に直結せず、ここにいう「賑わい」とは異質なものと考える。夕方の帰宅時間帯は、朝と比べて購買に結び付くと考えられるものの、単に「通行のついで」であり道路空間の魅力とは関わり合いが小さいと考える。そこで撮影する時間帯は原則10時～15時の範囲内で設定するものとした。

4) 撮影位置

道路空間の状態を満遍なく把握するには、道路の中央からの撮影が好ましいと考えられる。しかし、遮蔽物（人・車）を避けて撮影することは重要。そこで本件では撮影位置を道路の左、中、右の3箇所とした。

キーワード 賑わい,写真,測定方法

連絡先 〒101-8228 東京都千代田区神田猿樂町 2-8-8 大林道路株式会社 技術部 tel 03-3295-8855

3. 測定方法の改善

前述の方法で実際に商店街で行った測定結果から定量化その方法の妥当性, 問題点, 改善点について整理した。

1) 定量化

現地で撮影した際に店員や客引き等は客とならない人は区別がついた。そこでバギーに乗った子供も含めて「賑わい度」には数えないこととした。また写った人数を数える際に、遮蔽物の影から僅かに出ている人を拡大して探すかどうかで評価が変わることが判った。

2) 撮影方法

立ち止まってそのまま撮影するだけで比較的容易だが、撮影者の直前に人が近いと遮蔽されて写る人数が減ってしまうという問題点が分かった。また、縦断勾配が大きい場合には上側から撮れば評価範囲が広く(写真-3)、下側からは狭くなり、カーブの手前では狭くはなるが数えやすくなる場合もある(写真-4)ことが判った。そこで以下に考慮して撮影することとした。

- a. 人が正面に近いところに見え遮蔽物となった場合は時間をおいて撮影する
- b. 縦断勾配がある場合は測定箇所を避け撮影する
- c. カーブしている測定箇所は避け撮影する



写真-3 坂の上側から



写真-4 カーブの手前から

3) 撮影する時間帯

駅や学校等との位置関係が異なる8か所の商店街で10時～12時の状態を観察した。それぞれ通勤通学中と思われる人は見当たらなかった。一方で10時に開店している小売店が多い商店街と12時近くになってから開店する小売店が多い商店街があり、賑い度の変化と関係する可能性が高いと推定された。

3) 撮影位置

道路の中、右、左の順に時をなるべく早く移動して撮影した。しかし、同時に撮影する訳ではないため歩行者の移動の影響が大きく(写真-5, 6 参照)、位置を変えることによる利点は少ないと思われた。

また人気店舗の前等、局部的に人が集まっている場

合の取り扱いに検討を要することが判った。



写真-5 中央から撮影



写真-6 左側から撮影

4. 結果と考察

今回の測定法で写真から読み取った「賑わい度」(人の数)は「現地での実感」(定性的)とある程度の妥当性を得た。定量化の妥当性, 測定法の妥当性, 問題点, 課題など, 気をつけなければならない点が分かったが、「定量化」が可能と分かった。

そこで今回の検証で抽出された問題点, 課題を解決する方法を考案し、調査箇所を増やしてその妥当性を検証していく必要がある。そして最終的には、以下の用途に使える評価法として確立させる所存である

- a. 同様なタイミングでの「賑わい度」でいろいろな商店街の状況を比較し、自街が目標とすべき(繁盛している)商店街を選べるようにする。
- b. 定期的な「賑わい度」の変化から、自街の状態を診断し、対策の要否やその方法を検討する。
- c. 曜日や時間を変えた「賑わい度」を測定することで、客の特徴を把握し、営業時間や定休日を検討する。
- d. 位置を変えた「賑わい度」から人の流れを検証し、これを改善する手段を導入する。

筆者らは、道路舗装の路面を工夫することで道路空間の雰囲気を変えて人の流れを呼び寄せ、ベンチ等を工夫して人を滞留させる方法の研究にも取り組んでいる。商店街の「賑わい」を診断し、これらの研究成果で盛り上げられれば幸甚である。

- 1) 堀 繁：景観からの道づくり—基礎から学ぶ道路景観の理論と実践
堀繁講話集 大型本 - 2008.

社 外 発 表

輪荷重走行試験による複層型プレキャストコンクリート舗装の耐久性評価

大林道路(株) 正会員 ○横山 昂洋
同上 松下 陽哉
同上 光谷 修平
石川工業高等専門学校 正会員 西澤 辰男

1. はじめに

コンクリート舗装は、アスファルト舗装に比べライフサイクルコストに優れ、重車両等の静止荷重やオイルドロップに対して優れた耐久性を有する。しかし、施工後の養生に時間を要し、供用後は部分的な改良・補修が難しい等の欠点がある。一方、工場生産のプレキャストコンクリート舗装版（以下、RC版）を使用した従来工法は、隣り合うRC版を水平方向に連結する部位に緩みが生じ、破損が発生する等の弱点がある。複層型プレキャストコンクリート舗装（以下、MPCP）は、版同士の連結にダウエルバーやコッター等を使用せず、RC版を上下千鳥に組み合わせ鉛直方向にピンで連結した2層構造であり、取り外しが容易で供用後の部分的な改良・補修に対応しやすい舗装である。これまでは、3DFEM解析による設計方法の妥当性を室内試験により確認し、私道での試験舗装等により施工方法の確立や適用性の検証を行ってきた¹⁾。本稿では、MPCPの動的荷重に対する挙動と耐久性の確認を目的として行った輪荷重走行試験より得られた特性データを報告する。

2. 輪荷重走行試験

輪荷重走行試験の概要を以下に列記する。

- ① 場所 国立研究開発法人土木研究所
舗装走行実験場
- ② 時期 2022年4月～2023年3月
- ③ 規模 L=22m, W=4m 上層RC版10ピース、
下層RC版22ピース（図-1）
- ④ 施工条件 R=100m, 横断勾配7%
- ⑤ 走行試験条件 表-1 参照

表-1 走行試験条件

走行試験条件	
車両仕様	全長8.4m×全幅2.8m×全幅2.48m
走行速度	30km/h
載荷重	324.3kN（前軸重69.1kN，後前軸128.1kN，後後軸127.1kN）
49kN換算輪数	6輪（走行1回あたり）
走行累積輪数	40万輪

49kN換算輪数10万輪ごとに路面調査を行った。調査内容は、目視によるひび割れ測定、レベル測量による上層RC版の高さおよび段差測定、FWDによるたわみ量測定である。

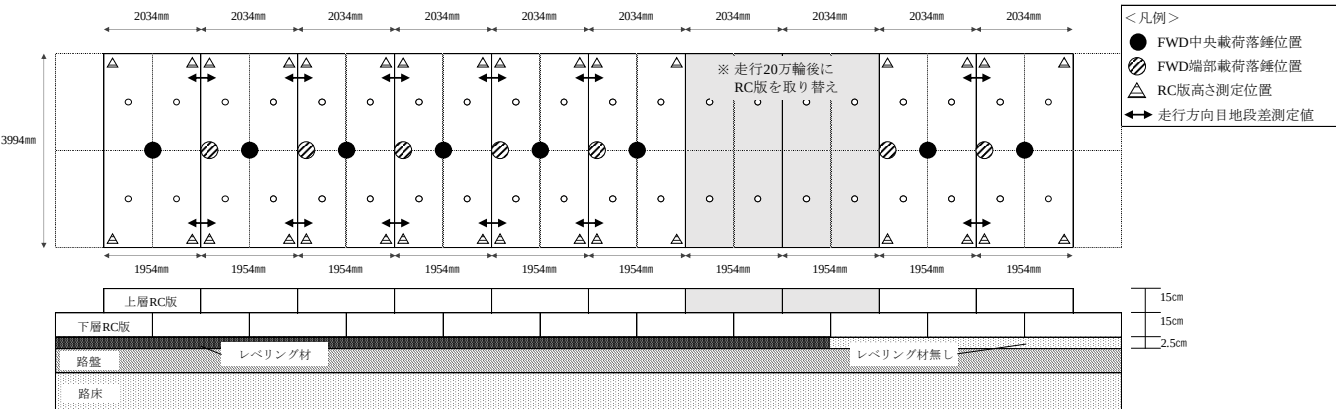


図-1 試験ヤードの概要

キーワード FEM, プレキャストコンクリート舗装, 構造設計
連絡先 〒204-0011 東京都清瀬市下清戸 4-640 大林道路(株) 技術研究所 TEL 042-495-6800

3. 試験結果

(1) ひび割れ測定結果

本稿では 1m^2 あたりのひび割れ長さをひび割れ密度と定義する。上層 RC 版ひび割れ密度の経時変化を図-2 に示す。走行輪数の増加に伴いひび割れが発生し、ひび割れ密度が微増したが、ひび割れ幅は 0.25mm 以下と微細であり、ひび割れ幅の拡大は認められなかった。よって、上層 RC 版のひび割れは鉄筋により拘束されているものと考えられる。

ひび割れ発生パターンは、RC 版短辺方向の中央位置に規則的に発生していた。これは、施工精度に起因する上下 RC 版界面に発生した隙間の影響であると考えられる。上層 RC 版を外してひび割れを確認した結果、表側から裏側に貫通しておらず、疲労が原因ではないと考えられる。

(2) 高さおよび段差測定結果

上層 RC 版の高さおよび段差の経時変化を図-3 に示す。走行輪数の増加に伴う段差の変化は認められなかった。一方、高さの変化は僅かであるが不規則に変化し、走行輪数の増加に伴い沈下し、走行 30 万輪以降は安定している。

(3) たわみ量測定結果

FWD によるたわみ量は、車載型単重錘システムを用い、直径 300mm の載荷板で 98kN の落錘荷重を舗装に載荷して測定した。FWD による D_0 たわみ量の経時変化を図-4 に示す。中央載荷のたわみ量は、走行 10 万輪で減少し、その後は若干の増減が見られるものの収束している。荷重車の走行により上下層の RC 版と路盤全体が馴染んだ影響によると考えられる。端部載荷のたわみ量は、走行 30 万輪まで減少していたが、その後増加した。荷重車の走行や気温変化による上層 RC 版の変動や、上下 RC 版間に発生している隙間の変化によるものと考えられる。

4. まとめ

輪荷重走行試験より、MPCP は上下 RC 版間に発生している隙間の影響で不規則な動きをすることを確認した。耐久性については、走行 40 万輪後のひび割れ幅の拡大は無く、ひび割れが配筋により拘束されており、構造上問題無いことを確認した。今後は、上下 RC 版間の隙間とひび割れの関係について 3DFEM のシミュレーションによって解明していきたい。

【参考文献】

- 1) 光谷 修平, 横山 昂洋, 松下 陽哉, 西澤 辰男: 複層型プレキャスト舗装の構造設計法, 土木学会第 76 回年次学術講演会, 2021.

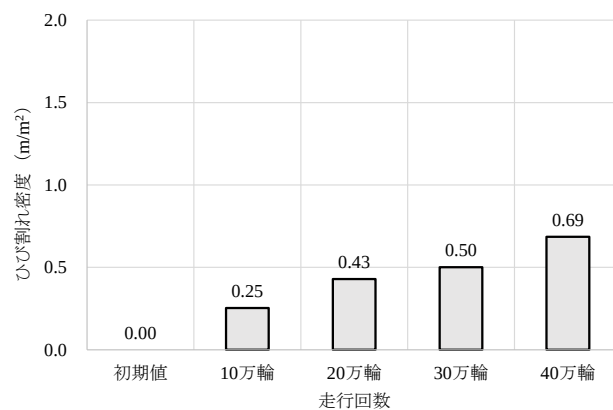


図-2 ひび割れ密度の経時変化

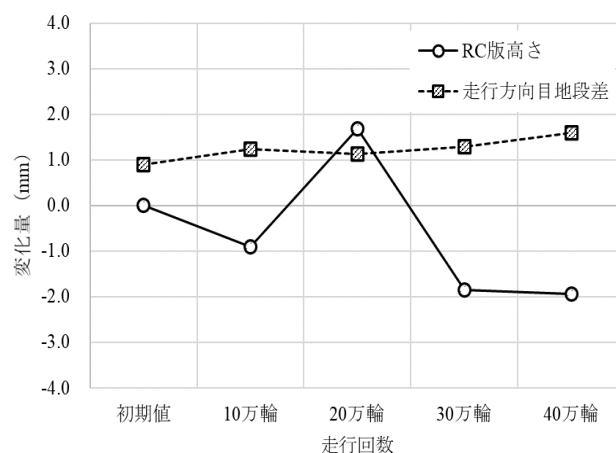


図-3 高さおよび段差の経時変化

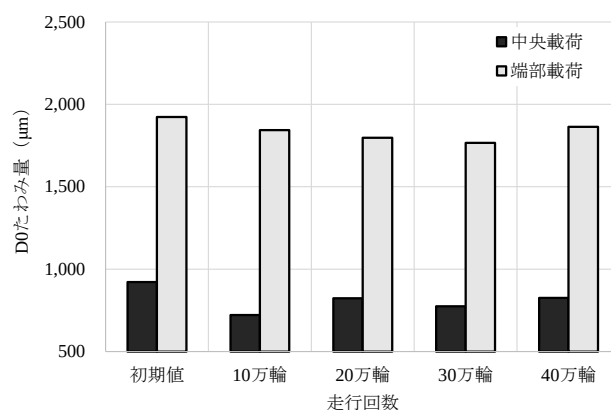


図-4 D_0 たわみ量の経時変化

社 外 発 表

土のうの繰返し平板載荷試験 その3：反力装置と実験機構の改良

大林道路株式会社 正会員 ○丸尾 繁 京都大学大学院 学生会員 西村奈都
 大林道路株式会社 正会員 井土彪力 京都大学大学院 正会員 木戸隆之祐
 大林道路株式会社 正会員 光谷修平 京都大学アフリカ地域研究資料センター フェロー会員 木村 亮

1. はじめに

粒状材を土のう化すると袋の拘束力により耐荷力が向上し、道路の路盤に用いると振動低減効果も期待できることが報告されている¹⁾。現地の土砂を土のう化して路盤に適用（以下、土のう路盤）できれば、災害時に緊急通路を大型重機なしで構築する必要がある場合、同様に碎石などの搬入が難しい場合、やむを得ず農地を一時的に使用して速やかに原型復旧が求められる場合などへの対応に活用できる可能性がある。

そこで筆者らは、強度特性の異なる路床における土のう路盤による荷重分散特性を把握するための繰返し平板載荷試験を実施した。本稿では、路床の強度特性を変えて実験ができ、複数段積み重ねた土のうの荷重分散を確認できるよう工夫した平板載荷実験装置の機構について報告する。

2. 実験背景

筆者らがこれまで土のう路盤の平板載荷試験に使用した反力装置について述べる。

2.1 土のう単体による実験

土のうに詰める粒状材（中詰め材）の違いによる土のう単体の力学特性を把握するための実験では、H型鋼材を口の字型に連結した固定式の設備を反力装置として使用した（図1）。H型鋼材の敷桁を底面とし土のうを積み重ね繰返し平板載荷試験を実施し、載荷圧力と軸ひずみの関係から中詰め材の違いによる土のう袋の破損形態を確認した²⁾。

2.2 土のう複合体による実験

中詰め材を一定として、土のうを前後左右に敷設し積み上げた土のう複合体の実験では、バックホウの後部底面を反力とした実験設備を構築した（図2）。土のうは荷重の作用点に対して平面方向に広がると仮定し、原地盤上に縦横1.8mの鋼製型枠（以下、外枠）で周囲を拘束する構造とした。



図1 固定式反力

図2 移動式反力

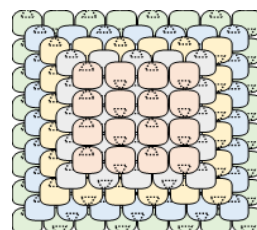


図3 平面（5段、千鳥配置）

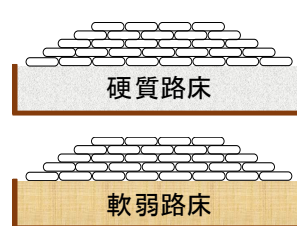


図4 断面（路床、土のう）

実験は3段積みを基本とし、土のうの積み方を変化させて複合体での繰返し平板載荷試験を実施した。

反力を移動させ土のう1個の中央、2個の境目、4個の境目に載荷位置の違いによる沈下特性を確認した³⁾。この方法では、1) バックホウの後部底面を載荷位置に合わせ移動させる必要があるため試験ごとにオペレーターが必要である、2) 載荷位置によってはバックホウの後部が届かない、3) 載荷荷重によっては反力が浮き上がり人力でのジャッキアップの操作が容易ではない、といった課題があった。

3. 新たな実験条件

本研究では、土のうの縦横方向の変位を拘束する外枠を設けず、路床土条件の良否が載荷特性に影響を及ぼすと考え、路床土を変化させ実験を行った。土のうを積み重ねた平面図と断面図を図3、図4にそれぞれ示す。この際、土のうの積み重ね範囲が大きくなることからバックホウの移動では載荷位置に届かない箇所がある。このような場合の平板載荷試験では、一般的には梁を組み、その上に必要な荷重を載せた状態で実施するが、荷重下での作業は窮屈で安全面からも避けたと思った。

キーワード 土のう、舗装、平板載荷試験

連絡先 〒101-8228 東京都千代田区神田猿樂町 2-8-8 大林道路株式会社 技術部 tel 03-3295-8855

4. 反力装置とその機構

図5、図6に反力装置の全景と詳細をそれぞれ示す。

反力装置は4本の支柱の2方向上部をH型鋼材のフレームで繋ぎ、このフレーム上部に平板載荷試験の反力となる載荷ばりを架けた。載荷ばりの両端下部にはフレームを挟み込むよう片方に4個ずつ車輪を取付け両端のフレームと平行移動できるようにし、無負荷の状態であれば人力で動かすことができる。また、フレーム端部には車輪止めとなる蓋をし、車輪の付いた載荷ばりの逸脱・落下の防止措置を設けた。これにより載荷試験時には重機やオペレータを必要とせず、大きな荷重の真下で作業をすることもなく、任意の箇所へ反力が移動でき、平面的に何れの箇所においても試験が実施できる実験機構とした。

本実験では、平板載荷試験の最大載荷応力を普通道路の設計輪荷重 49 kN の2倍の 98 kN とし、載荷ばりのH型鋼材のフランジの両側面に鋼板を貼り補強して必要な断面二次モーメントを確保した。路床は実験装置の中央に厚さ 25 mm の鉄板を敷き路床の底面とし、側面については鋼板で囲い路床体とした。路床体の大きさは土のうの敷設範囲を満たすよう縦横 3.5 m とし、高さは平板載荷試験による支持力特性が載荷板直径の 1.5~2.0 倍程度であることから路床の厚さは載荷板直径 30 cm であるため 2.0 倍の 60 cm とした。

5. 路床体の作製

路床体は、強固なもの（以下、硬質路床）と軟弱なもの（以下、軟弱路床）の2種類とした。硬質路床土は、CBR 値 20%以上の再生砕石（RC-40）を使用し、締固めについてはプレートコンパクタにて 10 cm ごとに転圧した。軟弱路床土は CBR が 3 未満を想定したが均一な材料を入手することが困難であったことから、既製品販売している粉末状の笠岡粘土に加水調整し軟弱土を作製する事とした。

軟弱土の作製に際し、室内 CBR を実施し混練り時の含水比を検討した結果、含水比 25%で CBR 値 1.5%、含水比 40%で CBR 値 0.7%であった。軟弱土の構築には、実機による移動式プラント（図7）にてフレコンバック入りの粉末状粘土に加水し粘性土を混練りした。目標であった含水比 40%の混練りでは、攪拌ムラができ塊りも若干混在したため、投入した際に空隙が発生してしまうと判断した。密実な軟弱路床を構築するに



図5 反力装置(全景)



図6 反力装置(詳細)



図7 移動式プラント



図8 生石灰混合

は水量を増加し、混練り後の混練土の状態を観察しながら作製した。構築可能であった含水比は 60%と水分過多であったことから、路床層全厚 60 cm の下部 40 cm を混練土で上面にブルーシートを覆い、上部 20 cm を砂で敷き詰め軟弱土の構築とした。しかしながら、実験においては極端な軟弱土であり、実験が難しい状況となった。そこで、生石灰を 20 kg/m³ 混合攪拌（図8）し、最終的には現場 CBR が 3%程度の軟弱路床を構築できた。なお、硬質および軟弱路床の構築後、沈下挙動を確認するため、反力装置のフレームを利用し複数箇所において路床面までの鉛直高さを実験期間中沈下の有無を計測した。

6. 結論

新たに構築した実験設備はバックホウの場合と比較して実験効率が改善され、部材の変形は無く簡便かつ安全に実験を行う事ができた。一方、路床土を変化させる場合に、特に軟弱路床の構築や長期間の含水状態を維持する方法に課題が残った。

参考文献

- 1) 松岡 元：土のう（Soilbag）による地盤環境振動対策工法，地盤環境振動低減対策工法講習会，地盤工学会，pp.45-59, 2010.
- 2) 赤木 悟，木戸隆之祐，木村 亮，光谷修平，丸尾 繁：土のうの繰返し平板載荷試験 その1：中詰め材を変化させた土のう単体，令和4年度土木学会全国大会第77回年次学術講演会，No.V-82, 2022.
- 3) 丸尾 繁，光谷修平，赤木 悟，木戸隆之祐，木村 亮：土のうの繰返し平板載荷試験 その2：真砂土を用いた土のう複合体，令和4年度土木学会全国大会第77回年次学術講演会，No.V-83, 2022.

社 外 発 表

HWT 試験による半たわみ性舗装および高耐久型アスファルト混合物の評価

大林道路（株）技術研究所 正会員 ○小林 靖明
同上 正会員 滝井 陵太
同上 正会員 東本 崇

1. はじめに

半たわみ性舗装は、開粒度アスファルト混合物（以下、開粒度アスコン）の空隙中に、特殊セメントミルクを浸透させた舗装である。塑性変形抵抗性に優れ、わだち掘れの発生を抑制することから交差点付近やバスターミナルなどで適用されている。この半たわみ性舗装のバインダの違いによる耐流動性を比較しようとした場合、ホイールトラッキング試験(以下、WT 試験)による動的安定度では、6,000 回/mm 以上で全て同程度とみなされるため、適確に評価できない。そこで、欧米でアスファルト混合物の耐流動性と耐水性の評価に実績がある Hamburg Wheel Tracking (以下、HWT)試験¹⁾に着目した。HWT 試験は、高耐久型アスファルト混合物（以下、高耐久アスコン）のように耐流動性の高いアスファルト混合物の評価に有用であることがわかっている²⁾。本報では、HWT 試験により、バインダ種の異なる半たわみ性舗装の耐流動性および耐水性を評価可能か検証するとともに、高耐久アスコンをはじめとするアスファルト系混合物の耐流動性の序列を明らかにした結果を報告する。

2. 試験概要

2.1 HWT 試験概要

HWT 試験の概要を表-1 に示す。HWT 試験は、WT 試験と比較し、載荷荷重が若干大きく、水浸 60℃で長時間試験を実施する。供試体はジャイレトリー試験機を使用し、混合物の密度は供用中の舗装の耐久性を評価するため、基準密度となるよう作製した。

2.2 混合物種

本試験で使用する混合物種を表-2 に示す。HWT 試験による半たわみ性舗装の評価の有効性を確認するため、母体である開粒度アスコンに一般的に適用される 3 種のバインダを使用した。比較するアスファルト混合物は、2 種のバインダの密粒度アスファルト混合物 (13) (以下、密粒度アスコン)と高耐久アスコンとした。高耐久アスコンは、ポリマー改質Ⅱ型をベースとし、熱可塑性樹脂である特殊添加材をアスファルト量の 15%(外割)添加し製造した。

表-1 試験概要

評価項目		WT試験	HWT試験
試験法		舗装調査・試験法便覧B003	AASHTO T324
供試体条件	供試体	長さ300mm×幅300mm	GTM(直径150mm,2個)
	厚さ	50mm	60mm
試験条件	試験温度	気中60℃	水浸60℃ ^{※1}
	載荷荷重	686±10N	705±4.5N
	走行車輪	ソリッドタイヤ	スチールタイヤ
	走行サイクル	1,260回	10,000回
評価指標	試験結果	動的安定度DS (回/mm)	SIPあり:その載荷回数(回)
		d0(mm)	SIPなし:試験後の変形量(mm)

※1試験温度は、混合物種の差を明確にするため従来よりも温度の高い60℃とした

表-2 混合物種

No.	混合物種	バインダ種	添加材種
1	半たわみ性舗装	StAs60-80	-
2		ポリマー改質Ⅱ型	-
3		ポリマー改質H型	-
4	密粒度アスコン	ポリマー改質Ⅱ型	-
5		ポリマー改質Ⅲ型	-
6	高耐久アスコン	ポリマー改質Ⅱ型	特殊添加材

3. 試験結果

3.1 半たわみ性舗装の HWT 試験結果

半たわみ性舗装の HWT 試験結果を図-1 に、供試体縦断方向の変形量の推移を図-2 に、試験後供試体状況を写真-1 に示す。走行サイクルごとの変形量を測定し、急激に進行する点を剥離変曲点(以下、SIP)と評価している。SIP は、開粒度アスコンに StAs60-80 を使用した場合 1,935 回、ポリマー改質Ⅱ型で 7,046 回に発生し、試験後供試体についてはアスファルトの剥離を確認した。

キーワード 半たわみ性舗装, HWT 試験, 高耐久型アスファルト混合物

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

一方で、ポリマー改質H型を使用した場合にはSIPは発生せず、アスファルトの剥離は僅かにみられる程度であった。HWTの試験条件は水浸60℃であるため剥離の影響を受けやすい環境である。このため、ポリマー改質アスファルトの骨材への剥離抵抗性の効果が、試験結果の差に表れたと推察される。この結果からHWT試験により、バインダ種の異なる半たわみ性舗装の耐流動性および耐水性を評価できる可能性があることが示唆された。

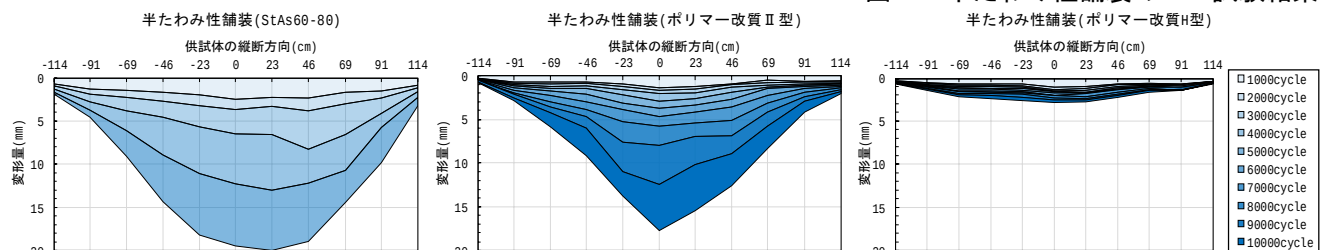


図-1 半たわみ性舗装のHWT試験結果

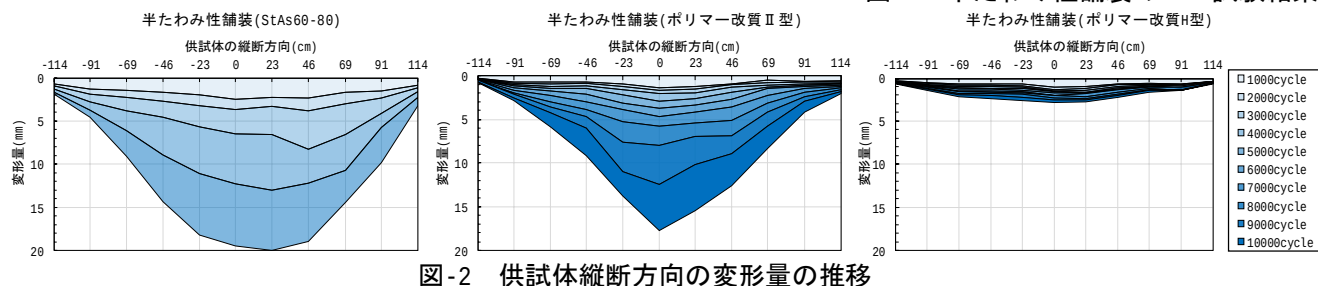


図-2 供試体縦断方向の変形量の推移

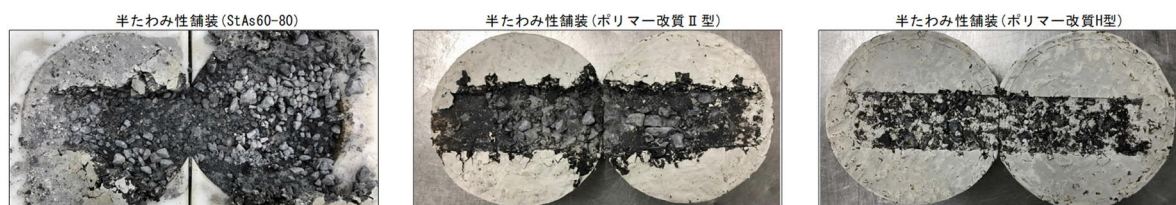


写真-1 試験後供試体状況(半たわみ性舗装)

3.2 アスファルト混合物とのHWT試験結果比較

各アスファルト混合物のHWT試験結果を図-3に、試験後供試体状況を写真-2に示す。SIPは、改質Ⅱ型密粒度アスコン3,205回、改質Ⅲ型密粒度アスコン5,695回にそれぞれ発生し、試験後供試体を確認すると、アスファルトの剥離が見受けられた。一方で、高耐久アスコンにはSIPは発生せず、アスファルトの剥離も見られなかった。最終変形量は、高耐久アスコンで1.5mm、半たわみ性舗装(ポリマー改質H型)で2.3mmとなり、高耐久アスコンが最も耐流動性および耐水性に優れた混合物であることを確認した。

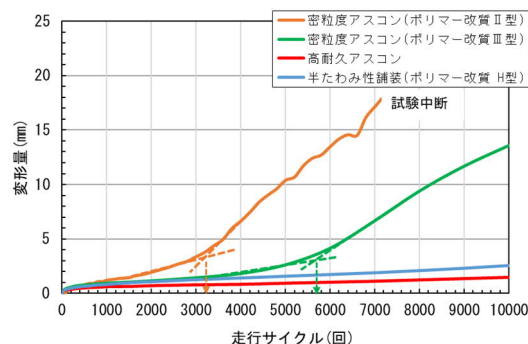


図-3 各アスファルト混合物のHWT試験結果



写真-2 試験後供試体状況(各アスファルト混合物)

4. まとめ

HWT試験により、バインダ種の異なる半たわみ性舗装の耐流動性および耐水性を評価できる可能性があることを確認した。また、アスファルト系混合物との比較を行うと、高耐久アスコンが最も耐流動性および耐水性に優れた混合物であることを確認した。今後も継続的にHWT試験の実用性の向上に向けて取り組んでいく所存である。

参考文献

- 1) AASHTO Designation: T324-11: Standard Method of Test for Hamburg Wheel-Track Testing of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA).
- 2) 朴希眞, 藤井洋志, 遠藤桂: HWT試験によるアスファルト混合物の評価と適用性, 第32回日本道路会議

社 外 発 表

地震時の内水型パイプラインに発生する管材変形の周波数解析に関する研究

大林道路株式会社 正会員 ○本間 順
大林道路株式会社 正会員 北野原 朋宏
新潟大学自然科学系（農学部） 正会員 鈴木 哲也
新潟県農地部（旧新潟大学農学部） 木津 和樹
新潟大学大学院自然科学研究科 萩原 大生

1. はじめに

パイプラインは、現代生活の基盤である水を扱う上で重要な構造物である。しかし、地震時には地震動に伴い動水圧が発生し、管水路の破損に繋がる場合もある。地震時の管材がどのような挙動を示すのかを特定する必要がある。本研究では、地震時における実構造物の管材変形を時間周波数解析によって通常時、ポンプ ON 時およびポンプ OFF 時で比較検討する。

2. 実験方法

実験対象施設は A 浄水場の送水パイプラインである。管材の条件は外半径 360 mm、管厚 10 mm、内半径 350 mm の厚肉鋼管となっている。フランジ片落ち管中心部にひずみゲージを貼り付けた。ひずみゲージの貼り付け位置を写真-1 に示す。長期間の常時計測を行うために、ゲージの表面を SB テープおよび VM テープでコーティングした。表-1 に使用したひずみゲージの計測条件を示す。ひずみゲージは約 2 週間に一度データ回収を行った。

本研究では、2022 年 3 月 16 日 23 時 36 分 32 秒に福島県沖で発生した地震とそれに伴う管材の変形を対象とした。通常時、ポンプ制御時の水圧変動に伴う管材変形を比較対象とした。解析範囲は 2022 年 3 月 16 日の 21 時 00 分 00 秒から 23 時 59 分、2022 年 3 月 17 日の 21 時 00 分 00 秒から 23 時 59 分 00 秒を対象とした。

3. ひずみ理論値¹⁾

パイプラインの管体では、管体両端の拘束条件や管厚、外圧などが原因となり、算出されるひずみが条件によって異なることが知られている²⁾。本研究では、対象となるパイプラインを両端拘束の鋼管厚肉円筒と仮定した。なお、対象はゲージ圧で計測され、外圧は 0.0 MPa とした。両端拘束と仮定した場合、管の軸方向へのひずみは発生しないものとする。この場合の半径方向変位は式 (1) で求められ、周方向ひずみは式 (2) で求められる。

$$u = \frac{(1 + \nu)}{(b^2 - a^2)E} \left\{ (1 - 2\nu)(a^2 p_1 - b^2 p_2)r + a^2 b^2 (p_1 - p_2) \frac{1}{r} \right\} \tag{1}$$

$$\varepsilon_{\theta} = \frac{2\pi(r + u) - 2\pi r}{2\pi r} = \frac{u}{r} \tag{2}$$

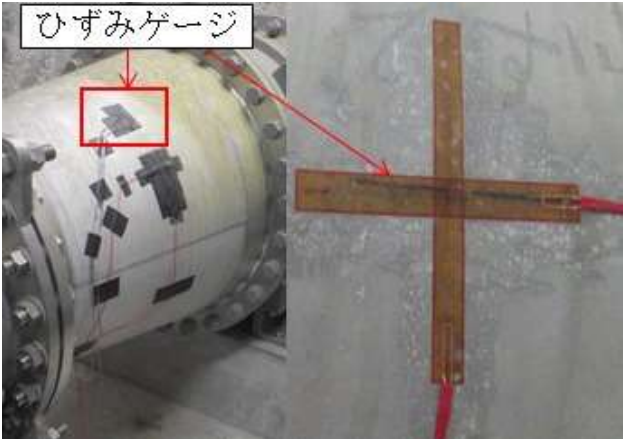


写真-1 解析面およびひずみゲージ

表-1 ひずみゲージの計測条件

型式	FLAB-5-11-5LJCT-F (東京計器研究所 社製)
ゲージ長	5mm
チャンネル	ch2: 軸方向ひずみ ch3: 周方向ひずみ
計測間隔	1Hz

キーワード パイプライン, 地震時動水圧, 周波数解析, 管材変形

連絡先 〒101-8228 東京都千代田区神田猿樂町 2-8-8 大林道路株式会社 技術部 TEL 03-3295-8855

ここで、 u : 半径方向変位 (mm)、 ε_θ : 周方向ひずみ、 ν : ポアソン比、 E : 縦弾性係数 (N/mm²)、 r : 中心から微小要素までの距離 (mm)、 p_1 : 内圧 (MPa)、 p_2 : 外圧 (MPa)、 a : 内半径 (mm) および b : 外半径 (mm) である。

4. 結果および考察

周方向ひずみの時系列変化を図-1に示す。図-1より地震時の水圧下降に伴うひずみの変化は理論値との一致が確認されたが(図-1 (a) 赤枠内)、ポンプ OFF 時のひずみの変化は理論値との一致が確認されなかった。また、地震時の水圧上昇時はひずみが変動しているのに対し(図-1 (a) 紫枠内)、ポンプ ON 時のひずみの変化は緩やかだった(図-1 (d) 赤枠内)。

図-2は周方向ひずみのスカログラムである。いずれのケースも大きなひずみの変動がある時刻で周波数が卓越しているが、特に地震時のひずみが変動した 400 秒付近で高い周波数帯での卓越が確認された(図-2 赤枠内)。

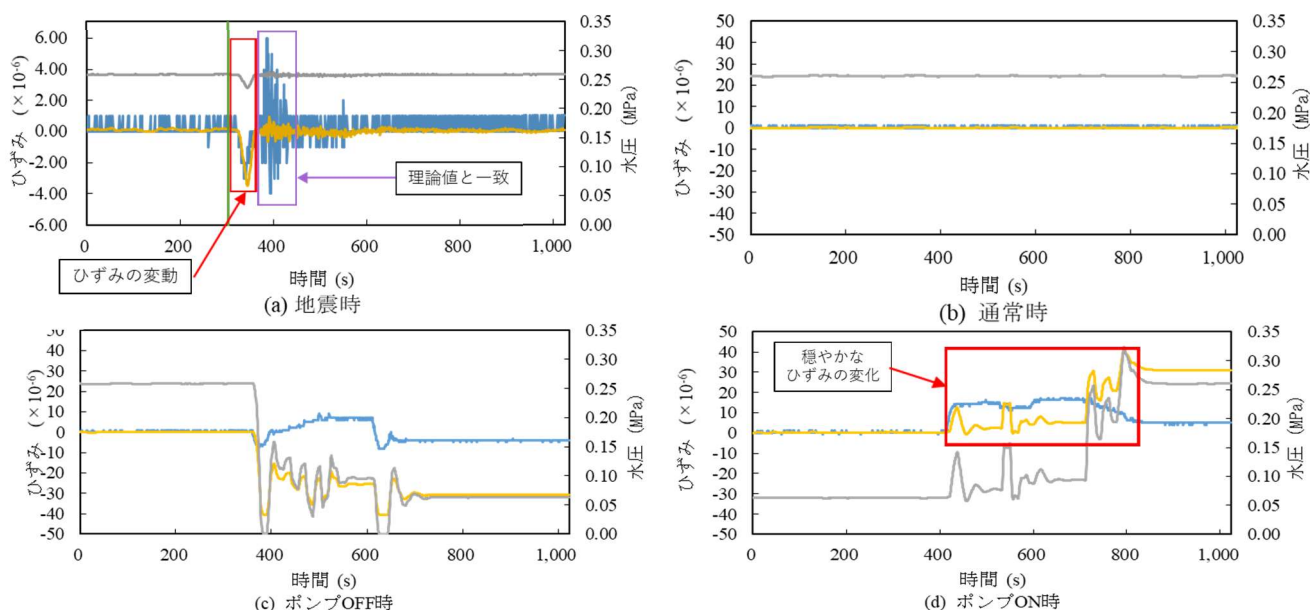


図-1 周方向ひずみの時系列変化

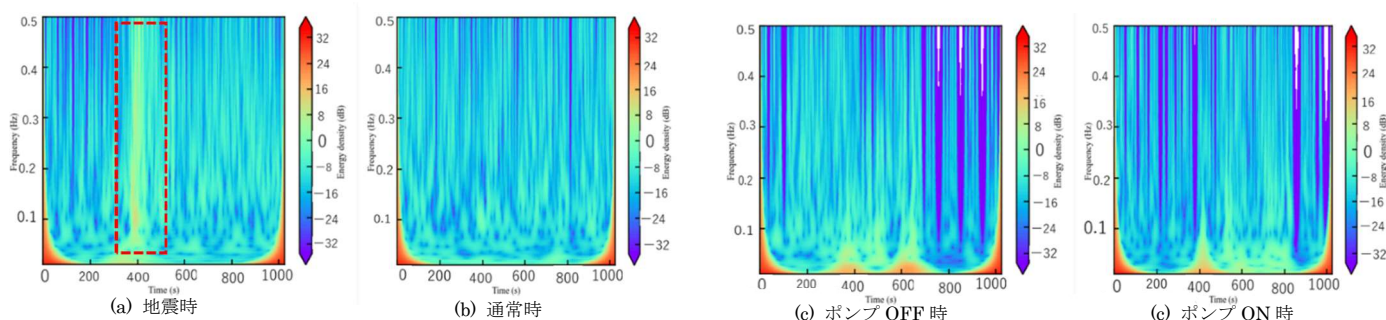


図-2 周方向ひずみのスカログラム

5. おわりに

本研究では、地震時の実構造物における管材変形を周波数解析によって検証した。その結果、地震時の水圧変動に伴うひずみの変化は、ポンプの ON, OFF による水圧変動とは異なる挙動を示すことが確認された。

引用文献

- 1) 渋谷寿一, 本間寛臣, 斉藤憲司: 現代材料力学, 8. 円筒と中空球の応力と変形, 朝倉書店, pp. 151-158, 1986.
- 2) Watkins Reyold King and Loren Runar Anderson: Structural mechanics of buried pipes, CHAPTER 19. STRESS ANALYSIS, CRC Press, pp. 239-268, 2000

社 外 発 表

モデルパイプラインによる水撃作用を利用した漏水波の非破壊・非接触検出に関する研究

大林道路株式会社 正会員 ○北野原 朋宏

大林道路株式会社 正会員 本 間 順

新潟大学自然科学系（農学部） 正会員 鈴 木 哲 也

新潟県農地部（旧新潟大学農学部） 木 津 和 樹

新潟大学大学院自然科学研究科 萩 原 大 生

1. 目的

パイプラインは、合理的な水配分が可能であるといった利点から、幅広い分野で利用されている。近年パイプライン事故は増加傾向にあり、定量的な診断法の開発が喫緊の課題である。筆者らは、3次元画像解析を用いて実構造物における水撃圧発生時の管材変形の同定を検討している¹⁾。本研究では、画像解析によって水撃圧発生下における漏水の有無を非破壊・非接触で検出することを目的とする。

2. 実験・解析方法

モデルパイプライン実験にて、漏水現象の検出を試みた。対象のパイプラインは、全長は約 65m、放流口と自由水面までの高低差は約 7.74m である。使用したパイプラインは外半径 75mm、管厚 6.6mm の VP 管である。放流口から約 0.6m 地点にボールバルブが設置されており、実験ではバルブを開閉することで圧力波を発生させた。実験を開始するにあたって、ボールバルブより 3.60m 上流に縦 80mm、横 55mm の画像解析面を作成した。解析用の画像は、撮影間隔を 20Hz に設定した CCD カメラで撮影した（図-1）。撮影されたステレオ画像に対し、デジタル画像相関法による 3次元画像解析を行った。画像解析における評価パラメータは周方向変位である。

3. 水撃圧の周期および管体の固有振動

発生した水撃圧は、一定の周期性をもってパイプラインを往復する。水撃圧の周期は式（1）によって求めることができる。

$$T = \frac{4L}{a} \quad (1)$$

ここで、 T ：水撃圧の周期（Hz）、 L ：反射端までの距離、 a ：圧力伝播速度（m/s）である。計算の結果、本パイプラインにおける水撃圧の周期は 1.70Hz と算出された。

管体には特に顕著な振動が見られる周波数帯が存在しており、固有振動と呼ばれる。本検討では、固有振動に着目した解析を行った。管体をはりと仮定した場合、 n 次の固有円振動数は式（2）で求められる²⁾。

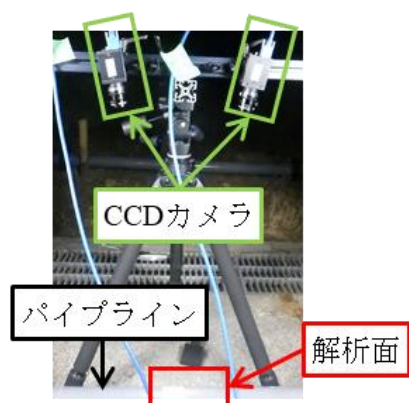


図-1 画像撮影の様子

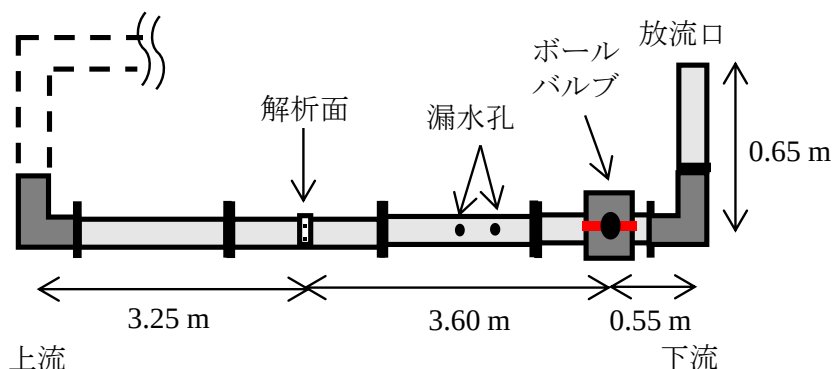


図-2 直線部の模式図

キーワード パイプライン，漏水現象，非破壊検査，画像解析，水撃圧

連絡先 〒101-8228 東京都千代田区神田猿樂町 2-8-8 大林道路(株)プロジェクト推進部 TEL：03-3295-8853

$$\omega_n = (n\pi)^2 \sqrt{\frac{EI}{\rho NL^4}} \quad (2)$$

ここで、 ω_n : n 次の固有円振動数 (Hz)、 E : 縦弾性係数 (N/mm²)、 I : 断面二次モーメント (mm⁴)、 ρ : 単位体積重量 (kg/mm³)、 N : はりの断面積 (mm²)、 L : 区間長 (mm) である。 n 次の固有振動数 f_n は式 (3) で算出される。

$$f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} \quad (3)$$

画像解析面を含む直線部 (図-2) をはりと仮定して計算した結果、1 次および 2 次の固有振動はそれぞれ 1.67Hz、6.67Hz と算出された。

4. 結果および考察

図-3 に、水圧および周方向変位の周波数解析結果を示す。対象区間はバルブ閉塞 5 秒前から 25.6 秒間である。グラフ内の青線は 1.70Hz を示し、水撃圧の周期で卓越した成分が確認された。赤線はそれぞれ 1.67Hz および 6.67Hz を示しており、管体の固有振動付近で周波数成分が強く検出された。図-4 に示したスカログラムでも水撃圧および固有振動付近の周波数帯で卓越した成分が検出された。また、いずれにおいても漏水の有無で比較した場合、漏水ありのケースのほうが漏水なしのケースよりも減衰過程の時間が短いことが確認された。

5. おわりに

本研究では、管体の周方向変位に着目して漏水の検出を試みた。その結果、水撃圧発生に伴い固有振動付近で卓越した成分が検出されること、漏水の有無による減衰の傾向が水撃圧と固有振動で一致していることが確認された。このことから、管体振動に着目することで、漏水現象を非接触で検出できる可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 木津和樹 (2022) : デジタル画像相関法を用いたポンプ On-Off 制御による管材変形の非破壊同定、第 71 回農業農村工学会講演会要旨
- 2) 国井隆弘 (1995) : よくわかる構造振動学入門、工学出版株式会社、pp.66-70

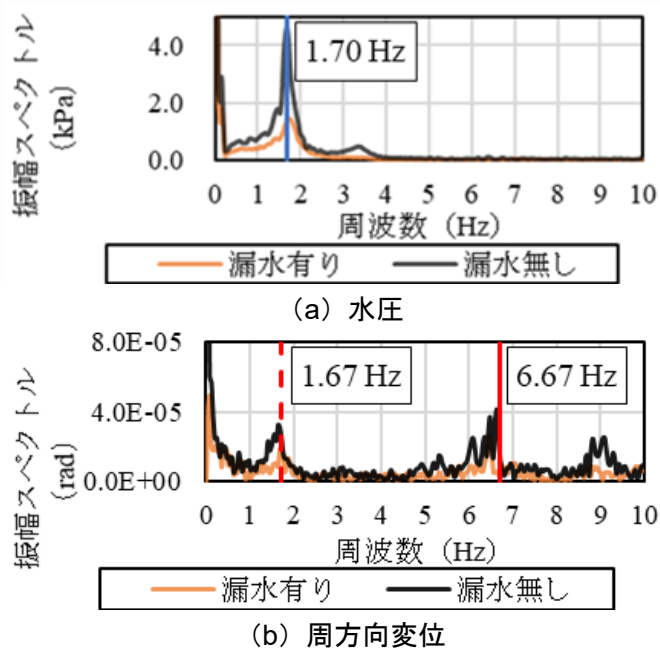


図-3 周波数解析結果

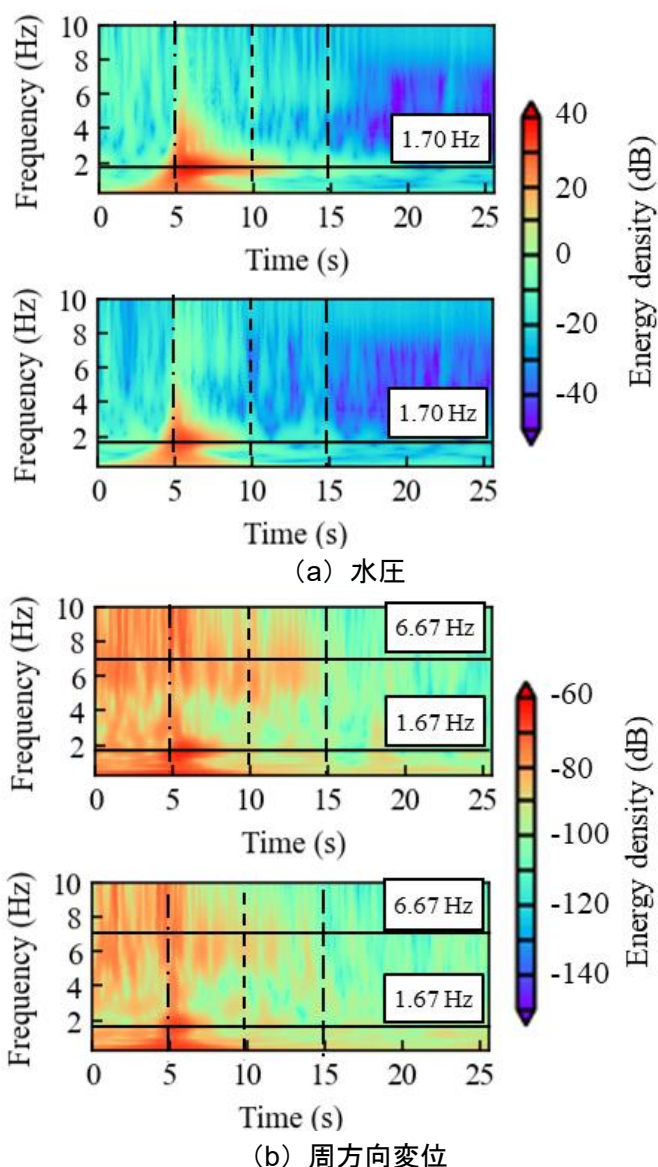


図-4 周方向変位の時間周波数解析
(上 : 漏水無し、下 : 漏水有り)



研究開発部門 優秀賞

プラントミックスタイプのコンクリート 床版用ゲースアスファルト混合物の開発

大林道路(株) 技術研究所	上地 俊孝
// //	東本 崇
// //	滝井 陵太
// 本店技術部	下館 鎮
(国研) 土木研究所 舗装チーム	川上 篤史

1 はじめに

コンクリート床版用改質ゲースアスファルト混合物¹⁾がさまざまな機関で開発されている。しかし、既報の技術はいずれも専用改質アスファルトを使用したプレミックスタイプの技術であり、プラントミックスタイプの技術は見受けられない。

舗装工事ではさまざまな理由により急な工程変更が余儀なくされるが、プレミックスタイプの場合、ローリー車の確保を含めた日程の再設定が難しいのに対し、プラントミックスであれば添加材以外の材料はプラントに常備されているため工事からの要求に応えやすい。

また、改質ゲースアスファルト混合物の性状はクッキング環境の影響を受けやすく、場合によっては室内クッカ製造品(配合設計)から実機製造品(試験練り)で動的安定度が低下する。このような事例に対し、プラントミックスであれば添加材の追加による品質の調整が可能であり、合材工場レベルでより幅広く実機製造品の品質を担保できるメリットがある。

本報では、大林道路(株)と(国研)土木研究所との「防水性を高めたコンクリート床版用橋面舗装の実用化に関する共同研究」において、水密性が高くかつ耐久性に優れたコンクリート床版用ゲース

アスファルト混合物(以下、RC床版用ゲース)をプラントミックスタイプで開発した結果を報告する。具体的には、筆者らがこれまで鋼床版用に検討してきたプラントミックスタイプの改質ゲースアスファルト混合物(以下、従来改質ゲース)²⁾をコンクリート床版に適用可能とするため、一般的にはトレードオフの関係となる“施工温度の低減”と“耐流動性の改善”の両方に取り組み、RC床版用ゲースの基本配合を見い出した³⁾。

さらに、開発したRC床版用ゲースのバインダ性状や防水性能を確認するとともに、試験施工により施工性や供用性を確認した。

2 開発コンセプト

バインダは、特殊な改質アスファルトを使用せず、ポリマー改質アスファルトⅡ型をベースアスファルトとして、プラントミックス材(以下、ポリマー)で改質することとした。これにより、プレミックスアスファルトを使用する場合に比べ下記のメリットが期待できる。

- 特殊な改質アスファルトを使用することによるデリバリー範囲の制約を受けない。

- 合材工場が工事工程の変更に対応しやすくなる。
- 合材工場レベルで品質の調整が可能となり性状を担保しやすい。

RC床版用グースの目標性状は、コンクリート床版に施工可能なグースアスファルト混合物として実績のあるNEXCOのBLG (Bridge Levelling Guss asphalt) と同等とした。目標性状を表－1に示す。

表－1 混合物の目標性状

性能指標	試験名	試験方法	目標値
施工性	リュエル流動性試験	舗装調査・試験法便覧 C002	3～20秒 (混合物温度180℃)
塑性変形抵抗性	ホイールトラッキング試験	舗装調査・試験法便覧 B003	1,000回/mm以上

3 プラントミックス材

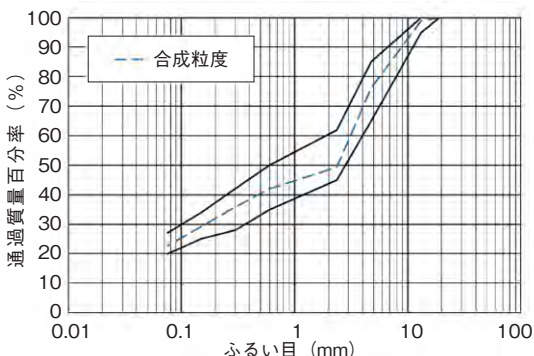
混合物の開発にあたり、従来改質グースで使用しているポリマーに加えて、新たに3種類のポリマー A～Cについても適用性を比較評価した。なお、今回新たに選定したポリマーはクッキング時の貯蔵安定性の観点から、従来のポリマーに比べて耐熱性に優れたものを選定した。

4 材料および骨材配合割合

骨材配合割合を表－2に、合成粒度を図－1に示す。骨材配合割合は、過去に従来改質グースと

表－2 骨材配合割合

骨材配合割合 (%)					合計
6号碎石	7号碎石	砕砂	細目砂	石粉	
23.0	29.5	7.5	12.0	28.0	100.0



図－1 合成粒度曲線図

して出荷実績のある材料および骨材配合割合を採用した。

5 基本配合の検討

5-1 基本配合の検討手順

従来改質グースの目標性状は、220℃のリュエル流動性が15秒、動的安定度が600回/mm程度である。今回設定した目標性状を満足するためには、従来改質グースのリュエル流動性を向上(施工温度を低減)し、動的安定度も併せて向上する必要がある。そこで、下記①～④の手順で検討を進めた。なお、検討手順①、②ではより広範囲の高温流動性を一律に比較評価できるよう、“リュエル流動性が15秒となる温度(施工温度)”を評価指標として用いた。

(1) 室内レベルでの配合検討

- ① 従来改質グースから総バインダ量*1)およびポリマー量*2)を変更し、リュエル流動性とDSの関係が向上する方法を見出し、仮配合を決定した。

*1) 総バインダ量(%) = (アスファルト + ポリマー) 質量 / 混合物質量 × 100

*2) ポリマー量(%) = ポリマー質量 / 総バインダ質量 × 100

- ② 仮配合でプラントミックス材であるポリマーの種類(ポリマー A～C)を検討し、従来ポリマーよりリュエル流動性とDSの関係が良好なポリマーを選定した。

- ③ 決定したポリマーでアスファルト量およびポリマー量を再検討し、2配合を室内決定配合とした。

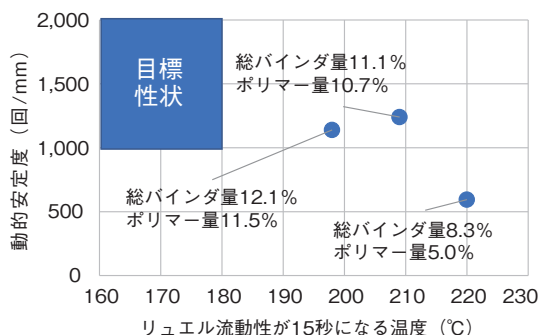
(2) 実機レベルでの配合検討

- ④ 室内決定配合2配合で試験練りを実施し、混合物性状を確認し標準配合を決定した。

5-2 室内レベルでの配合検討

(1) 仮配合の検討結果

仮配合の検討結果を図－2に示す。従来改質グース(総バインダ量8.3%、ポリマー量5.0%)から総バインダ量とポリマー量を共に増やすことで、リュエル流動性とDSの関係が良好になり



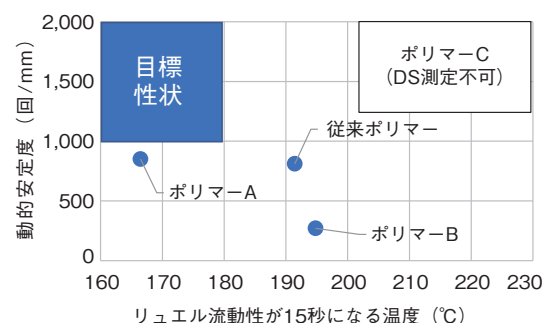
図－２ 仮配合の検討結果

目標性状に近づくことを見い出した。そこで、次の検討手順「プラントミックス材の選定」で使用する仮配合を総バインダ量12.1%、ポリマー量11.1%とした。

(2) プラントミックス材の選定結果

プラントミックス材の選定結果を図－3に示す。従来ポリマーからポリマー Aに変更することでリュエル流動性と動的安定度の関係が良好になり、目標性状に近づいた。一方でポリマー B、Cは従来ポリマーよりも性状が低下した。

以上の結果より、以降の検討ではプラントミックス材にポリマー Aを採用した。



図－３ プラントミックス材の選定結果

(3) 室内決定配合と混合物性状

ポリマー Aを使用して総バインダ量と特殊添加材量を追加検討し、目標性状最低限の配合(以下、配合①：総バインダ量11.5%、ポリマー量14.0%)と、目標性状を上回る配合(以下、配合②：総バインダ量12.0%、ポリマー量16.0%)を見出し、室内決定配合とした。室内決定配合の混合物性状を表－3に示す。配合①、②ともに設定した目標性状を満足していた。

表－３ 室内決定配合の混合物性状

配合	総バインダ量 (%)	ポリマー量対バインダ比内割 (%)	リュエル流動性		動的安定度 (回 /mm)
			(℃)	(秒)	
配合①	11.5	14.0	180	16.2	1230
配合②	12.0	16.0	180	9.1	1640

5－3 実機レベルでの配合検討

(1) 試験練り概要

実機製造品の混合物性状から RC床版用ゲースの基本配合を決定するため、配合①、②で試験練りを実施した。また併せて長時間クッキング時の混合物性状への影響も評価した。試験練り概要を表－4に示す。本検討では、高温時のリュエル流動性のデータを得るためにクッキング温度は190℃とした。

表－４ 試験練り概要

配合名	クッキング温度	積載量	検討項目
配合①	190℃	6t	クッキング 0.5、1.0、3.0、5.0 時間の混合物性状
配合②			

(2) 配合検討結果

試験練り混合物の性状試験結果を表－5に示す。

リュエル流動性は配合①、②ともに目標性状を満足していた。室内検討と試験練りで比較すると、配合①は向上し、配合②は若干低下しており、室内から実機への性状の変化に傾向は見い出せなかった。

動的安定度は配合①では目標性状を満足できなかったが、一方で配合②では目標性状を満足していた。室内検討と試験練りで比較すると配合①、②ともに室内検討と比べて動的安定度が30%程度低下していた。

鋼床版のゲースアスファルト混合物の曲げ特性の指標である -10℃の曲げ破断ひずみは、配合①、②ともに当該基準である「 8×10^{-3} 以上」を満足し

表－５ 試験練り混合物の性状試験結果

水準	クッキング時間 (h)	リュエル流動性		動的安定度 (回 /mm)	曲げ破断ひずみ ($\times 10^{-3}$)
		温度 (℃)	流動性 (秒)		
配合① 試験練り	3	180	9.0	881	9.7
① 室内配合	2	180	16.3	1,230	—
配合② 試験練り	3	180	11.4	1,110	11.2
② 室内配合	2	180	9.1	1,640	13.9
目標値	—	180	3～20	1,000 以上	—

ており、橋面舗装としての十分なたわみ追従性を有していると考えられる。

以上の結果から、RC床版用グースの基本配合は実機製造品ですべての目標性状を満足する配合②とした。ただし、製造方法の違い(室内と実機)による影響で動的安定度が30%程度低下する傾向が確認されたため、配合設計時にはより高い目標値の設定が必要となる可能性がある。本混合物の室内製造から実機製造による性状の低下については、今後も検証を続ける必要がある。

(3) 長時間クッキング時の影響評価

配合②のクッキング時間ごとのリュエル流動性を図-4に示す。リュエル流動性は、クッキング時間0.5hを除いてクッキング時間1.0～5.0hで同程度の試験結果となっており、長時間クッキングにおいても高温時の流動性は安定していた。クッキング時間0.5hについては、クッキング時間不足の可能性が考えられるが、今回の結果からは判断できなかった。

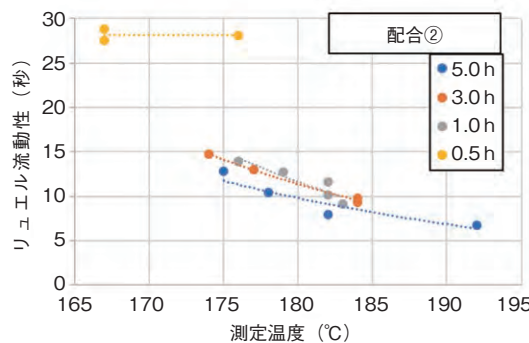


図-4 クッキング時間ごとのリュエル流動性

配合②のクッキング時間と動的安定度の関係を図-5に示す。動的安定度は、クッキング時間0.5～5.0hで1,100回/mm程度で推移しており、終始安定していた。

以上の結果より、RC床版用グースはクッキング時間の経過に伴う性状の変化はほとんどなく、少なくともクッキング時間1.0hで目標性状を満足することが確認できた。なお、長時間クッキングに対する性状の安定性については耐熱性のポリマーを選定した効果が表れたものと考えている。

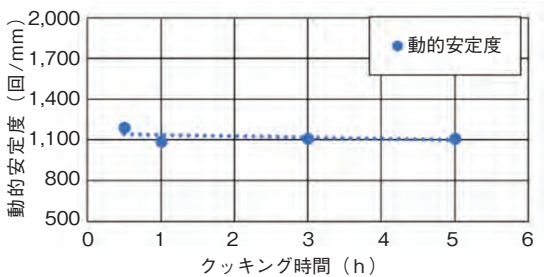


図-5 クッキング時間と動的安定度の関係

6 開発品のバインダ性状

RC床版用グースはプラントミックス材を使用した混合物である。そこで、上記で決定した基本配合(ポリマー量16%)であらかじめ混ぜたバインダ(プレミックスバインダ)を作製し、そのバインダ性状を確認し評価した。バインダの試験項目は既の実績のあるBLG用改質アスファルトと同様とした。

試験結果を表-6に示す。参考にBLG用改質アスファルトの基準値を併記している。試験の結

表-6 開発品のバインダ性状

試験項目	試験方法	開発品 (RC 床版用グース) プレミックスバインダ	BLG 用改質アスファルト 基準値	
針入度 (25℃)	1/10mm	JIS K 2207	18	20 ～ 40
針入度 (60℃)	1/10mm	JIS K 2207	79	100 ～ 200
軟化点	℃	JIS K 2207	110	80 以上
伸度 (15℃)	cm	JIS K 2207	測定不能*1)	30 以上
引火点	℃	JIS K 2265	344	260 以上
薄膜加熱質量変化率	%	JIS K 2207	0.04	0.6 以下
薄膜加熱針入度残留率	%	JIS K 2207	72.2	65 以上
密度 (15℃)	g/cm ³	JIS K 2207	1.025	報告
曲げ仕事量 (-5℃)	× 10 ³ MPa	試験便覧 A063T	1,424	750 以上
曲げスティフネス (-5℃)	MPa	試験便覧 A063T	11	80 以下
G*/sin δ ^{注1)}	Pa	試験便覧 A062	17,436	5,000 以上

注1) 試験の各種条件は次のとおり 試験温度: 60℃、平行円盤直径: 25mm、試料厚さ: 2mm、周波数: 1.2rad/s、ひずみ量: 1%

*1) バインダの凝集力が高く、試験途中で治具から試料が剥脱するため伸度試験ができなかった。

果、ほぼすべての試験項目で BLG 用改質アスファルトの基準値を満足していた。

一方、針入度 (25℃、60℃) は共に基準値より小さく基準外であった。ただし、針入度 (25℃、60℃) は、低温脆性や流動変形抵抗性の指標であり、より詳細に評価している曲げ仕事量・スティフネスや $G^*/\sin \delta$ については、基準値と比べて高い水準であった。このことから、RC 床版用グースのバインダ性状に問題はなく、針入度 (25℃、60℃) の基準値は、開発品のバインダ性状としてあてはまらないものと考えている。

また、伸度 (15℃) はバインダの改質程度が非常に高く、試験途中で治具から試料が剥脱してしまい評価が出来なかった。しかし、これについても曲げ仕事量が十分に高い水準であったことからバインダ性状として問題はないと考えている。

7 開発品の防水性

田中らの BLG の防水性の評価方法¹⁾を参考にし、開発した RC 床版用グースの防水性を確認した。なお、コンクリート版との接着層となるプライマーには専用の市販品を使用した。

表-7 開発品の防水性

試験項目		開発品 (RC 床版用グース)	目標値 ^{※1)}	可否
基本負荷試験				
引張接着強度 (23℃)	N/mm ²	1.20	0.6 以上	○
せん断接着強度 (23℃)	N/mm ²	0.45	0.15 以上	○
防水性試験Ⅱ		漏水なし	漏水しないこと	○
温冷繰り返し (-10 ~ 50℃) および輪荷重負荷後の試験				
引張接着強度	(-10℃) N/mm ²	1.92	1.2 以上	○
	(23℃) N/mm ²	1.34	0.6 以上	○
	(50℃) N/mm ²	0.56	0.07 以上	○
せん断接着強度	(-10℃) N/mm ²	1.39	0.8 以上	○
	(23℃) N/mm ²	0.36	0.15 以上	○
	(50℃) N/mm ²	0.04	0.01 以上	○
ひび割れ開閉負荷 ^{※2)}		漏水なし	漏水しないこと	○
負荷を与えない試験				
耐薬品性	飽和 Ca(OH) ₂	異常なし	異常のないこと	○
	3% NaCl	異常なし	異常のないこと	○
	3% CaCl ₂	異常なし	異常のないこと	○
膨れ抵抗性		異常なし	異常のないこと	○
はがれ抵抗性		異常なし	異常のないこと	○

※1) 目標値はグレードⅡの基準値に準拠

※2) ひび割れ開閉負荷試験は参考文献¹⁾の試験方法による

防水性試験の結果を表-7に示す。試験の結果、すべての項目で目標値を満足しており、コンクリート床版に施工するグースアスファルト混合物として高い防水性を有していることを確認した。

8 試験施工による施工性と供用性の確認

8-1 試験施工概要

開発した RC 床版用グースの施工性と供用性状を確認するため、土木研究所構内の舗装走行実験場の一部区間に試験施工を実施した。

試験施工の横断断面を図-6に示す。

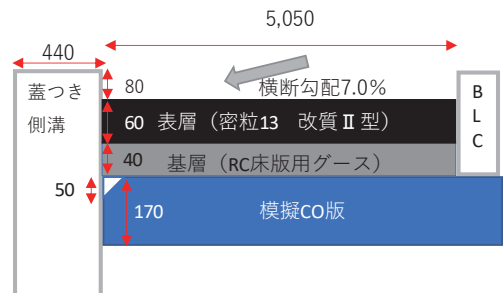


図-6 横断断面

施工断面は、模擬コンクリート床版表面をスチールショットブラストで研掃処理し、プライ

マー、RC 床版用グース、密粒 (13) 改質Ⅱ型を施工する構造である。また、縦断勾配はほとんどなく、横断勾配は 7% 程度であった。

8-2 施工性の確認

試験施工状況を写真-1に示す。RC 床版用グースは通常のグースアスファルト混合物や BLG と比較しても極端にバインダ量の多い混合物である。このため、リユエル流動性を管理しても勾配の水下側に混合物が想定以上にダレたり、材料分離が発生することが懸念されたが、そのような状況はみられず、通常のグースアスファルト混合物と同様の施工性であることを確認した。

また試験施工当日、模擬コンクリート床版の水分量が電気抵抗式水分計で150カウント程度、施工時の混合物温度が180～190℃であったが施工中に特段問題となるようなブリストリングは発生せず、コンクリート床版への施工性も良好であったといえる。



写真－1 試験施工状況

8－3 供用性の確認

施工工区内の4か所で荷重車(軸重127kN)の走行輪数ごとにおける横断形状を測定し、わだち掘れ量で評価をしている。現在、49kN換算輪数20万輪走行後(一夏経過後)のわだち掘れ量は4～6mm程度であり、大きな変形もなく供用性は良好である。

9 まとめ

開発したRC床版用グースは、既存技術にはないプラントミックスタイプでありながら、コンクリート床版に施工するための混合物性状や防水性、施工性、供用性を有していた。通常、プラントミックスタイプには添加材の投入手間が増えるなどのデメリットがあるが、グースアスファルト混合物では既述のようなメリットもあり、プレミックスおよびプラントミックス両方の技術を確立させることで適用工事に合わせた使い分けが可能となる。今後も供用性や防水性を確認していくとともに、プラントミックスならではの適用性に関しても検討していく所存である。

【参考文献】

- 1) 田中敏弘、鎌田修、丸山陽、床版防水性能を有する橋面舗装の開発、土木学会論文集 E1(舗装工学)、2016、72巻、3号、p. I_69-I_75
- 2) 菅野善次郎、下館鎮、今村教雄他、改質グースアスファルト混合物の性状と施工事例、舗装、2016-03、51(3)、14-18
- 3) 上地俊孝、滝井陵太、下館鎮 プラントミックスタイプのRC床版用改質グースアスファルト混合物の開発、土木学会第77回年次学術講演会 V08、2022

街路の「賑わい度」測定事例

大林道路株式会社 ○嶋崎明代

大林道路株式会社 光谷修平

一般社団法人まちの魅力づくり研究室 堀 温子

一般社団法人まちの魅力づくり研究室 堀 繁

1. はじめに

筆者らは、商店街等を対象に道路整備による「賑わい」創出効果を検討する為の指標として「賑わい度」を提案している。「賑わい度」は、地域の「賑わい」を歩行時に見える人の数で計測しようとするもので「ある場所がある瞬間」に、「1枚のスチル写真で撮影」し、「写り込んでいる人をカウント」した値である。

本稿では8つの商店街の街路で実測した「賑わい度」から、測定方法の妥当性と指標としての活用方法を検討した結果を報告する。

表-1 8つの街路の「賑わい」の実感と「賑わい度」

No.	特徴	延長	幅員	測定点間隔	測定点数	賑わいの 実感	賑わい度測定値		
							平均	最大	最小
1	自転車等で通過が多い	350m	6.5m	80m	5	×	2.8	8	0
2	卸売り店が多い	650m	4.5m	100m	6	×	2.6	7	0
3	2つの駅に直結	500m	6.0m	100m	5	×	2.8	8	0
4	生活食品雑貨店が多い	300m	3.6m	100m	4	△	3.6	9	0
5	外人客も多い観光スポット	160m	3.8m	30m	5	○	5.4	14	0
6	高齢者に人気の観光スポット	840m	6.0m	100m	8	○	5.7	15	1
7	世界的に有名な街路	348m	5.5m	20m	18	○	10.1	26	3
8	庶民的な魅力をテレビで紹介	1300m	5.0m	100m	13	○	7.4	11	1



No. 1



No. 2



No. 3



No. 4



No. 5



No. 6



No. 7



No. 8

写真-1「賑わい度」を測定した商店街の

2. 測定結果と妥当性

8つの街路（写真-1）の寸法特徴と測定点の間隔、及び現地で感じる「賑わい」の有無と測定した「賑わい度」を表-1にまとめる。測定は10時から12時まで30分間隔で行ったが、No. 8は延長が長く10時と11時のみ、No. 6は11時30分までのデータとなった。街路はすべて歩車兼用ではあるが自動車の通行は極少ない。表-1の結果を一瞥すると「賑わい度」の平均値は現地で感じる「賑わい」と矛盾しておらず、概ね妥当な評価であるといえる。なお最小値の差は小さく、瞬間の値であることによる誤差を無くす測定数の下限が必要と判る。

3. 測定結果の分析

賑わい度の分析を以下に試みた。

3.1 時間別の「賑わい度」

各街路の時間別の賑わい度全測点平均値の変化を図-1 に示す。絶対値が高いNo.7を除くと、「賑わい」を感じないNo.1～3は変化が少なく、No.4～6は開店時間であろう11時に大きく変化している。このことから「賑わい度」の変化で単に通行している人数と購買等を目的に訪れる人数を分類できる可能性が伺える。

3.2 測定点別の「賑わい度」

各街路の測定点毎の「賑わい度」全時間平均値を図-2 に示す。No.1とNo.3～7のピークは端にNo.8は中央にある。これは鉄道の駅の位置、多くは駅側の端部にピークがあり、No.8は駅が中央にある。またピークがないNo.2は駅への道路に直交する向きの街路である。このことから商店街までの公共交通施設から徒歩への結節点近くは「賑わい度」が高くなるとが確認できる。また「賑わい度」が大きいほど変化の係数が大きくなり、「賑わい度」が小さいと駅側端部のみが高い傾向が伺える。

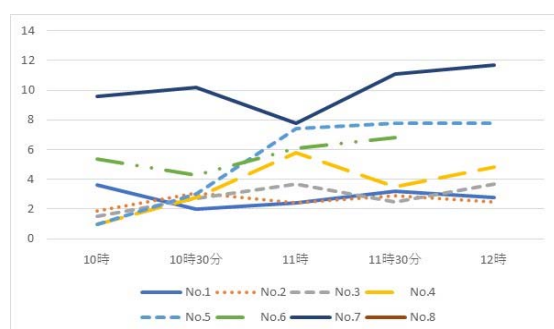


図-1 各街路の賑わい度の時間変化

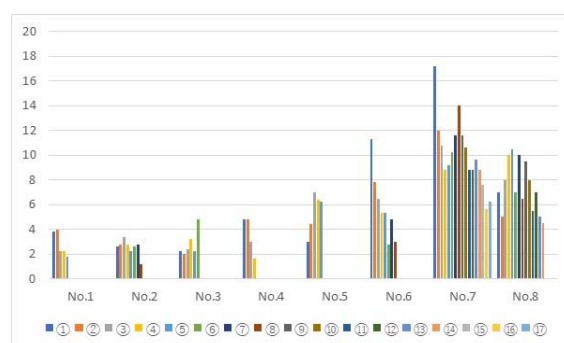


図-2 各街路の測定点別賑わい度

4. 検討事項

以上の結果から、「賑わい度」を指標として活用するには以下の事項を検討する必要があることが判った。

4.1 測定点の設定

前述、「賑わい度」は測定点数に下限値が必要であるが、延長が160mしかないNo.5と1,300mのNo.8のように長短ある街路が存在すること、さらには途中の交差点の影響を勘案して、点数と間隔の設定になお工夫が必要である。なお、遮蔽物の影響を考えると、測定点の間隔は距離等地図上での計画に囚われ過ぎず、現地で適切と思える位置に補正するべきと考える。

4.2 測定時間

前述、通勤通学時間をさけて10時から12時で測定した結果、商店の開店時間との関係で単なる通行者を区別できる可能性があることが判った。同様に通勤、通学時間、商店や飲食店の営業時間別に測定することで目的別の人の流れを把握できる可能性がある。

5. 結論

今回の検討で「賑わい度」は、測定方法をブラッシュアップすることで街路からの「賑わい創出」の指標として使える妥当性と、目的に応じた活用への可能性が確認された。

人口減少・超高齢化社会を迎える一方で都市が薄く広がり車での移動が必要な構造となり、高齢者に対する行政サービスの低下が懸念されることから政府は中心市街地のまちづくりを重要視¹⁾。国土交通省は、インフラの整備に絡めて、中心市街地活性化に多くのステークホルダーが連携して取り組めるよう組織や制度²⁾を整備している。これらの施策の中核を担う道路整備は従来の「安全」「円滑」「快適」「環境」に加えて「賑わい」が求められる。賑わい度がその指標に活用できれば幸甚である。

コンクリート廃材とスラグによる CO₂ 吸着型低炭素舗装

大林道路㈱技術研究所 ○茨木浩一郎

技術部 光谷修平

中国支店 林 浩範

JFE ミネラル㈱製鉄関連事業部 鷹野 明

1. はじめに

2050 年カーボンニュートラルの実現に向けた取り組みが全ての産業に求められている。道路建設業界においても全ての事業活動における CO₂ 排出量の削減に向け、使用する資材や動力の見直しやリサイクルの促進に取り組んでいる。筆者らは、高炉スラグ微粉末と同スラグ砂をジオポリマーとして使用して構築時の CO₂ 排出量を減じ、更に粗骨材に廃コンクリートの再生骨材を使用することで廃コンクリートに含まれるカルシウム分と CO₂ の反応を利用して供用後も空気中の CO₂ を吸着・固化する機能を付加した「CO₂ 吸着型低炭素舗装」の開発に着手、2012 年 11 月に 80m² 規模の試験舗装を構築し今般供用 10 年以上を経過した。そこで本稿では本試験舗装の概要をレビューし 10 年供用後の状態を報告する。

2. 試験舗装の概要

試験舗装は既設のアスファルト舗装(表層厚さ 5cm、硬化スラグ路盤 20cm 以上)の片側 OWP 部幅 2m を上部 10cm で削り取り(図-1、2)に示す構成、(表-1)に示す配合の混合物で構築した。D1、D2 は耐久性を重視した非透水の密粒タイプ、P は CO₂ 吸着固定機能を重視したポーラスタイプを指向した配合である。また舗装版の伸縮によるひび割れを防止する打ち込み目地を 5m 間隔で設けた。施工はアスファルトフィニッシャーにて敷き均し、転圧は混合物の付着に配慮して、敷き均し面にコンパネを敷いてプレートコンパクタで転圧した後、コンパネを外してタイヤローラで行った(図-2 参照)。完成時の状態を(写真-1)に示す。

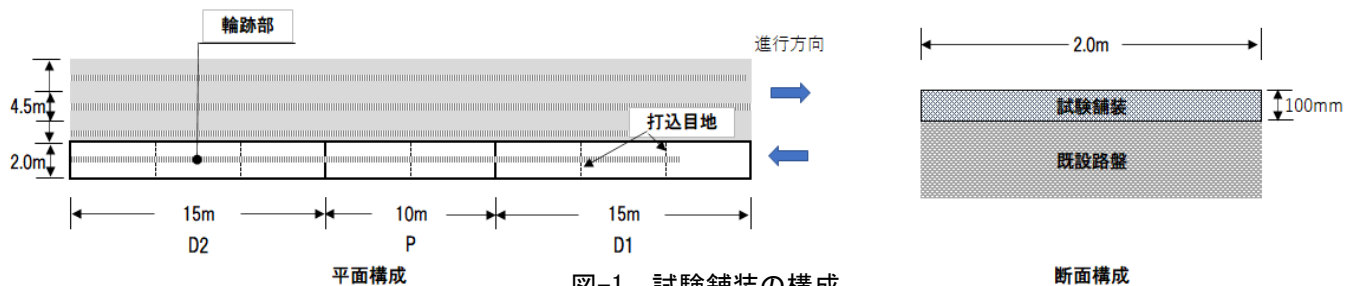


図-1 試験舗装の構成

表-1 試験舗装用混合物の配合

種別	骨材配合		固化材添加量(外掛け)		水添加量(外掛け)
	コンクリート再生骨材	スラグ水砕砂	普通ポルトランドセメント	スラグ微粉末	水
D1	50%	50%	4%	12%	12%
D2	75%	25%	4%	12%	13%
P	95%	5%	4.5%	10%	11%

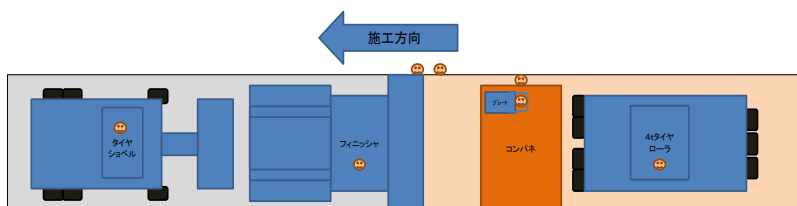


図-2 施工時の編成



写真-1 供用開始時の状態

3. 供用 10 年後の状態

交通量区分 N_1 相当の当該路線で供用 10 年以上(10 年 7 か月)を経た試験舗装路面を鳥瞰すると、交通に支障をきたすような損傷は認められず、概ね良好な状態にあると見受けられる。

3-1 種別 D1

細骨材分が多い配合の D1 の路面(写真-2)は、表面の細骨材分が飛散し肌理が粗い状態(写真-3)である。既設舗装との取り合いの段差をアスファルト混合物で擦り付けているが供用による損傷ではなく施工時の出来形に起因する処置である。全体に目立ったひびわれや、輪跡部のわだち掘れは認められない。切り取り供試体で観察される断面は緻密(写真-4)で浸水やはく離の兆候は認められない。



写真-2 D1 の路面状態



写真-3 D1 の路面の粗れ



写真-4 D1 の切り取り供試体

3-2 種別 D2

密粒度を企図した配合の D2 の路面(写真-5)は、粗れの進行が D1 より緩やかと見受けられた。横断方向に幅 2mm 程度のひび割れ(版を貫通)が認められ、表面に達していないひび割れも観測(写真-6)された。切り取り供試体で観察される断面は緻密(写真-7)で浸水やはく離の兆候は認められない。



写真-5 D2 の路面状態



写真-6 D2 のひび割れ



写真-7 D2 の切り取り供試体

3-3 種別 P

通気による CO_2 固定促進を企図した配合の P の路面(写真-8)は、 CO_2 固定に伴うものと推定される空隙潰れが進行し浸透水量も大きく減少(写真-9)していた。切り取り供試体で観察される空隙潰れは上面側だけ(写真-10)で、他の要因による可能性も否定できない結果であった。



写真-8 P の路面状態



写真-9 現場透水試験



写真-10 P の切り取り供試体

4. おわりに

本稿は 6 月 19 日に実施した調査の速報であり、現在路面性状の値や舗装体の強度、 CO_2 固定機能の有無等について解析を進めている。本会議で結果を報告し皆様のご意見をいただければ幸甚である。

プラントミックスタイプのコンクリート床版用 グースアスファルト混合物のプライマの検討

大林道路（株）技術研究所 ○滝井 陵太
同 上地 俊孝
同 東本 崇

1. はじめに

昨今、プレミックスタイプのコンクリート床版用グースアスファルト混合物（以下、BLG）¹⁾が運用され始め工期短縮の観点などから注目を集めている。弊社でも2022年度にプラントミックスタイプのBLGを開発した²⁾（以下、BLG開発品）。弊社BLG開発品は混合物レベルでは要求性能を満足しているがアスファルト量やアスファルト性状が通常BLGとは異なることもあり、BLG用に開発されたプライマがそのまま適用可能か確認する必要があった。そこで、BLG用プライマとして市販されている2種類のプライマを選定し適用性の検討を行った。プライマを2種類検討した理由は、工程変更などの急な数量の増減への柔軟な対応や施工地域毎の価格に合わせた選択を可能とするためである。本報は2種類の市販プライマの適用性を検討するため、防水層への性能照査³⁾試験を実施した結果を報告するものである。

2. 使用材料および試験方法

BLG開発品の混合物配合、骨材の合成粒度曲線図を表-1、図-1に、プライマA、プライマBの性状を表-2にそれぞれ示す。供試体の作製は、ショットブラストを施し下地処理したJIS A 5371 I類の普通平板（以下、JIS平板）の表面にプライマA・Bを必要量塗布し、BLG開発品を施工した。作製した供試体は、防水層の性能照査の流れ（図-2）に準じて試験を実施した。

表-1 混合物配合率

混合物配合率 (%)						合計
6号砕石	7号砕石	砕砂	細目砂	石粉	改質ゲル・スポンジ PMA-II 特殊添加剤	
20.2	25.9	6.6	10.6	24.7	12.0 10.08 1.92	100

表-2 使用プライマの性状

試験項目	試験方法	プライマA	プライマB
不揮発分 (%)	JIS K 6833	44.7	52.6
アスファルト含有量 (%)	SDSを確認	10~40	10~40
指触乾燥時間 (23°C) (min)		16	9
指触乾燥時間 (0°C) (min)	JIS K 5600-1-1	22	13
耐水性 (23°C)		異常なし	異常なし

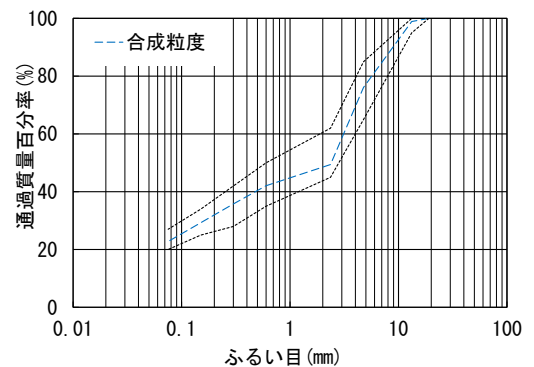


図-1 合成粒度曲線

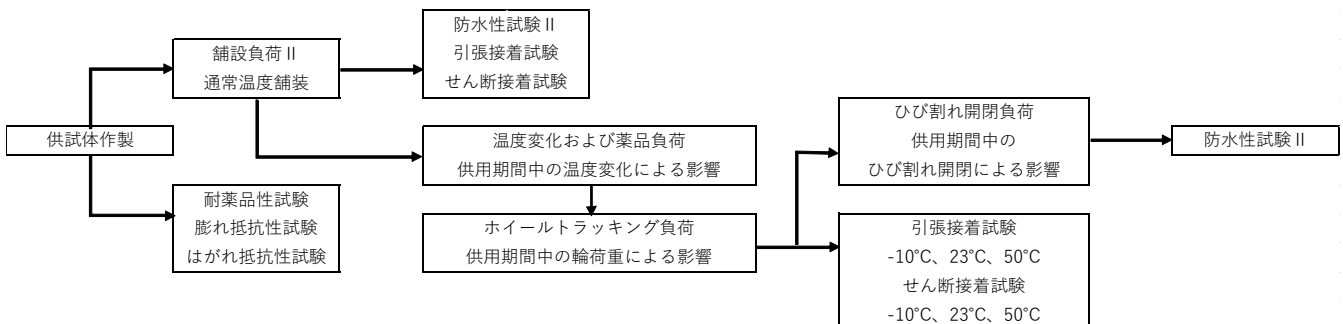


図-2 防水層の性能照査の流れ ※防水層の性能照査の流れ「低温時を除く舗設」（グレードII）³⁾より抜粋

3. 防水層の性能照査（グレードⅡ）結果

防水層の性能照査（グレードⅡ）結果を表－3 に、引張接着試験後の状況を図－3 に示す。

「基本負荷試験」はプライマ A・B どちらも引張接着試験・せん断接着試験・防水性試験について目標値を満足する結果となった。また、引張接着試験後の供試体を確認するとプライマ B は破断面に多くのコンクリート片が付いており BLG 開発品と JIS 平板が強く接着されていた。

「温冷繰返負荷を与えない試験」について膨れ抵抗性試験・はがれ抵抗性試験は、特段異常は見受けられなかった。耐薬品性試験はプライマを使用していない供試体（混合物やバインダ単体）への試験のためプライマ A・B で同じ結果を掲載している。

「温冷繰返し（-10℃～50℃）および輪荷重負荷後の試験」はプライマ A・B どちらも引張接着試験・せん断接着試験の項目について目標値を満足した。プライマ A のひび割れ開閉負荷試験について異常はなかったがプライマ B については未実施である。

以上よりプライマ A は全ての試験項目を満足した。また、プライマ B に関してもひび割れ開閉負荷試験以外全ての試験項目でプライマ A と同等の性能で満足した。



図－3 プライマ B 引張試験後

表－3 防水試験結果

試験項目		プライマ A	プライマ B	目標値 ^{※1}
基本負荷試験				
引張接着強度（23℃）	N/mm ²	1.20	1.66	0.6以上
せん断接着強度（23℃）	N/mm ²	0.45	0.49	0.15以上
防水性試験Ⅱ		漏水なし	漏水なし	漏水しないこと
温冷繰返し負荷を与えない試験				
耐薬品性	飽和Ca(OH) ₂	異常なし		異常のないこと
	3%NaCl	異常なし		異常のないこと
	3%CaCl ₂	異常なし		異常のないこと
膨れ抵抗性		異常なし	異常なし	異常のないこと
はがれ抵抗性		異常なし	異常なし	異常のないこと
温冷繰返し（-10～50℃）および輪荷重負荷後の試験				
引張接着強度	（-10℃） N/mm ²	1.92	1.85	1.2以上
	（23℃） N/mm ²	1.34	1.34	0.6以上
	（50℃） N/mm ²	0.56	0.53	0.07以上
せん断接着強度	（-10℃） N/mm ²	1.39	1.73	0.8以上
	（23℃） N/mm ²	0.36	0.42	0.15以上
	（50℃） N/mm ²	0.04	0.10	0.01以上
ひび割れ開閉負荷 ^{※2}		漏水なし	未実施	漏水しないこと

※1：目標値はグレードⅡの基準値に準拠

※2：ひび割れ開閉負荷試験は参考文献1) の試験方法による

4. まとめ

BLG 開発品について 2 種類のプライマで防水層の性能照査（グレードⅡ）をおこない、プライマ A についてはすべての試験で目標値を満足し、プライマ B は、ひび割れ開閉負荷試験が未実施ではあるが、他試験に関してプライマ A と同じ結果でありプライマ A・B は同程度の性能であったと考える。

以上より、BLG 開発品とコンクリート床版間の接着層にプライマ A を使用すれば BLG の要求性能を満足することを確認した。今後、ひび割れ開閉負荷試験を実施することで、プライマ B についても BLG の要求性能をすべて満足すると考えている。また試験施工、本施工を実施し、BLG 開発品の技術の確立を目指す所存である。

参考文献

- 1) 田中敏弘, 鎌田修, 丸山陽：床版防水性能を有する橋面舗装の開発, 土木学会論文集E1（舗装工学）, 2016, 72 巻, 3 号, p. I_69-I_75
- 2) 上地俊孝, 滝井陵太, 下館鎮：プラントミックスタイプの RC 床版用改質グースアスファルト混合物の開発, 土木学会第 77 回年次学術講演会 V08, 2022
- 3) 東日本, 中日本, 西日本高速道路株式会社（NEXCO）：舗装施工管理要領, 令和 2 年 7 月版 4-3 性能照査（グレードⅡ）

3次元点群データを使用した歩行空間情報の包括管理

大林道路(株) DX ソリューション部	○山口 雄希
大林道路(株) DX ソリューション部	森石 一志
大林道路(株) 三河営業所	幸谷 宥毅
明石市 水道局施設・管路整備課	鈴木 啓祐
北見工業大学 社会環境系	富山 和也

1. はじめに

近年、道路舗装業界でも ICT の普及により、地上型レーザースキャナー（以下、TLS）や MMS（Mobile Mapping System）などで3次元点群データを取得する機会が増えてきている。これらのデータは、主に TLS は出来形管理に、MMS は路面性状調査に使われており、さらに様々な用途への適用が検討され、一定の効果が得られている¹⁾。一方で歩行空間においては、3次元点群データの使用事例は少なく、管理手法についても歩行空間として統一された基準が少ない。また、管理方法についても、現在は目視などの主観的評価が多く、効率的に取得した歩行空間情報の適用が困難である。そこで、筆者らは TLS を用いて、歩行空間の3次元点群データを効率的に取得し、そのデータから、既存の基準値との比較、点群データを用いた面的評価などから定量的評価の可能性について検討を試みた。

2. 計測概要

計測には、本研究で開発した TLS 搭載型電動車いす²⁾（図-1）を使用した。これは、一般的なハンドル付き電動車いすに TLS を取り付け、歩行区間の3次元点群データの取得を行うものである。また、点群データ取得と同時に、高精度 GNSS より位置データを取得して、取得した点群データに位置情報を付与し出力できる。これにより、通常のターゲットを用いて基準点から座標を合わせる方法より簡便で、かつ単独測位によるメートル誤差の GNSS 情報を与えるよりも高精度な位置情報を持つ3次元点群データを取得することが可能となっている。



図-1 TLS 搭載型電動車いす

実際の歩行空間の計測には、バリアフリーのまちづくり³⁾を検討している明石市協力のもと、ブロック舗装の区間2か所、アスファルト舗装の区間2か所の合計4か所でデータを取得した。各計測は、10m 毎に機器を停止して点群を取得し、その後、次の計測位置へ移動する方式で行っている。なお、計測は電動車いすに計測者が搭乗したまま行うため、計測者が照射される TLS から電動車いす側の点群は除外してデータ解析している。

3. 評価方法

3.1 水平面コンター / 平均面コンター

取得した点群データは、高さ情報を使用し、基準面に対して色付きのコンターを作成して、路面状況进行评估している。コンターの基準面は、水平面に対しての比較評価（図-2(a)）、平均面に対しての比較評価（図-2(b)）を行った。この時、水平面比較では主に水たまりの有無や勾配を確認することができ、平均面比較では路面凹凸や段差などの路面変状を確認できる。

3.2 段差測定

前述の平均面比較によるコンターから、段差と思われる箇所を計測範囲全域より確認するとともに、その箇所の状況により、部分的な詳細断面（図-3）を作成した。この結果から、段差の高さを抽出、数値化が可能である。

3.3 水たまり検出

前述の水平面比較によるコンターの位置と高さ情報から三角網を作成し、点群解析ソフトを用いての水位シミュレーション（図-4）による当該範囲の抽出を行った。この方法は、誰でも水たまりが認識しやすいような処理がされており、同時に面積の算出も可能である。

3.4 建築限界測定

TLS で取得したデータは、対象箇所のほか周囲のデータも同時に捉えている。そこで、歩行空間全域における植栽や構造物の位置関係（図-5）を高精度に捉えている関係から、建築限界⁴⁾などの計測が行える。図-5 では歩道面に露出している樹木の高さを測定している。

4. まとめ

本研究から得られた知見を以下に示す。

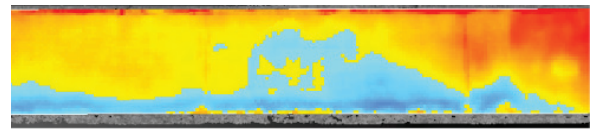
- ・ 3次元点群データによる様々な歩道評価の可能性を見出した。
- ・ コンターで水たまりの検出が可能である。
- ・ コンターによる水たまりの検出には、ある程度の経験が必要であったが、より分かりやすいビジュアライズ化と詳細な数値化により解消することができた。

5. おわりに

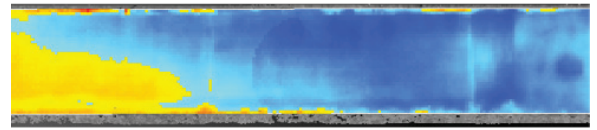
本研究から、歩行空間を定量的かつビジュアライズ化を用いた分かりやすい管理手法の確立が期待できる。また、このようなリアリティキャプチャを作成することで、現状の歩行空間を利用者が把握でき、特に歩行が困難な車いす利用者などへの最適なルート選定にも役立つものと考えられる。

参考文献

- 1) 国土交通省：i-Construction ICT 土木事例集，事例集（工事）その1 他 <https://www.mlit.go.jp/common/001186303.pdf> 他
- 2) 幸谷他：ハンドル型電動車いすを用いた三次元路面計測手法の開発，第4回 i-Construction の推進に関するシンポジウム，pp.61-64，2022.7.11.
- 3) 国土交通省：バリアフリー法に基づく道路移動等円滑化基準、道路の移動等円滑化に関するガイドライン，<https://www.mlit.go.jp/road/road/traffic/bf/kijun/kijun.html>.
- 4) 公益社団法人日本道路協会：道路構造令の解説と運用，平成27年6月。



(a) 水平面コンター



(b) 平均面コンター

図-2 各コンター

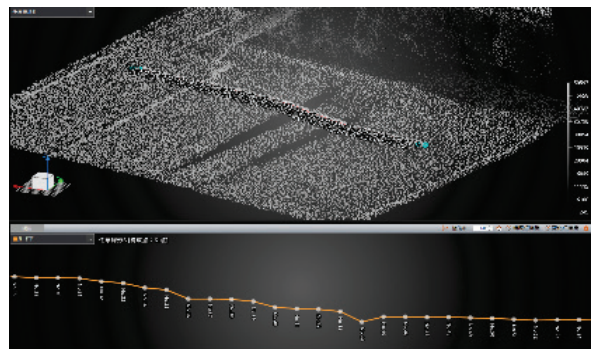


図-3 段差評価の例



図-4 水たまりの評価例

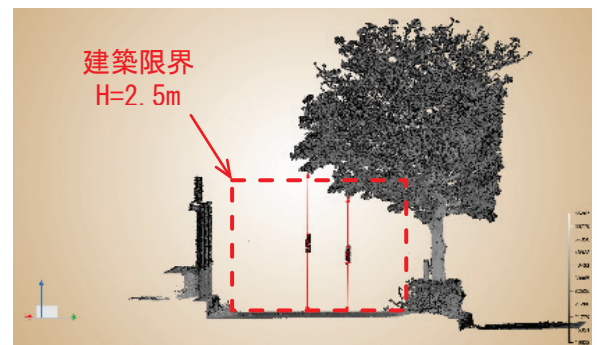


図-5 建築限界の評価例

プレートコンパクタとハンドローラの転圧特性比較例

大林道路株式会社 ○佐藤愛琉

同上 光谷修平

同上 丸尾 繁

京都大学大学院 木戸隆之祐

1. はじめに

プレートコンパクタ(以下、プレート)は舗装工事において、路床・路盤、アスファルト混合物等の転圧作業に広く使用される。振動を加えることで小さい骨材が動いて大きな骨材の隙間に嵌って締まるものと思われる。ローラ類が入れない狭小部で特に用いられており所定の締固めを得る必要がある¹⁾。しかし、プレートの転圧はどの程度の効果があるか実際に調べた文献は少ない。本報告は真砂土を最適含水比に近い状態でプレートとハンドガイドのタンデムローラ(以下、ハンドローラ)にて転圧を行い、その各転圧特性について比較した結果を示す。

2. 試験概要

1) 使用機械

使用機械の概要を表-1に示す。有振のプレートと無振のハンドローラの2条件で試験を行った。振動で骨材のかみ合わせを良くする方法と重量のある機械で振動を加えず押しつぶす方法を比較したいと考え選定した。

表-1 使用機械概要

機械種別	質量(kg)	振動数(Hz)
プレート	66	93
ハンドローラ	536	55

2) 試験方法

転圧特性を評価するため、現場密度試験(砂置換法)とプレスケールによる圧力測定を実施した。プレスケール(富士フィルム(株)製)とは、圧力測定シートであり発色剤が塗布されたシートと顕色剤が塗布されたシートを重ね合わせて使用する。そこに圧力が加わることによって発色する。プレスケールは種類により対応する圧力領域が異なる。今回は測定範囲0.2~0.6MPaのものを270mm×200mmのサイズとし敷均し底面に設置した。また現場密度試験は1条件3回で実施した。試験手順を図-1に示す。現場密度試験状況を写真-1、プレスケールの設置状況を写真-2に示す。

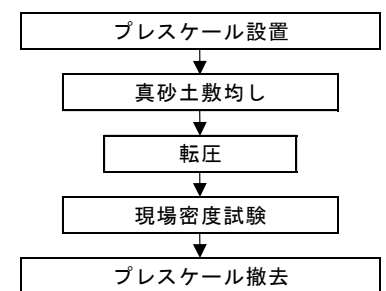


図-1 試験手順

3) 試験条件

アスファルト舗装上に木製の型枠(2,600mm×800mm)を設置し、真砂土が側方へ移動しないよう拘束した。型枠の間隔はプレートとハンドローラで機械幅に応じ調整した。施工厚さは5、10、15cm、転圧回数は1、3回と合計12条件で試験を行った。転圧は片方向を1回とし、プレートは1回毎に機械を方向転換させ、ハンドローラは方向転換せず前後進で繰り返した。また転圧速度は両機械ともに20~24m/minとした。



写真-1 現場密度試験

写真-2 プレスケール設置

3. 試験結果

1) 現場密度試験

各条件で現場密度試験を実施した結果を図-2に示す。締固め度はプレートの施工厚さ15cm、転圧回数1回が最も低く、ハンドローラの施工厚さ5cm、転圧回数3回が最も高い結果となった。プレートとハンドローラを比較するとハンドローラの締固め度が高か

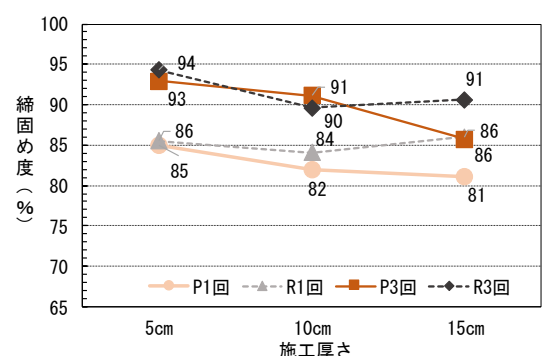


図-2 現場密度試験結果

った。転圧回数 1 回と 3 回を比較すると 5～10%程度、締固め度が増加している。またプレートは施工厚さの増加に伴い締固め度が減少しているが、ハンドローラは 10cm と 15cm で大差はない。

2) プレスケール分析

転圧後のプレスケールを専用ソフトにて解析すると圧力に応じたカラー分布に変換される。高い圧力はピンク、赤、オレンジの暖色、低い圧力は緑や青の寒色に設定される。解析前後の変化(例)を図-3に示す。プレスケールの解析結果を図-4に示す。目視評価は施工厚さが厚く、転圧回数の少ない条件はピンクや紫といった 0.45MPa 以上の圧力範囲が少なく、0.3MPa 以下の緑や青の範囲が多い結果となった。

プレスケールの結果を定量化するため各圧力範囲の加圧面積(mm²)×範囲の平均圧力(MPa)の合計を圧力指標(N)と定義し評価した。指標算出結果を図-5に示す。ハンドローラよりもプレートの方が転圧回数に関係なく指数の値が大きくなった。また 1 回転圧はプレートおよびハンドローラともに 5～10cm では指標の変化は小さいが、10～15cm は比較的变化が大きい。

4. 考察

- ・施工厚さが 5cm から 15cm の範囲では施工厚さが増加するほど、転圧によるエネルギーが底面部付近まで到達しないため締固まりづらい。
- ・プレートの締固め度と圧力指数の値が反している。機械の進行速度がどちらも同程度であったことを踏まえると、プレートは瞬間的な圧力を底面部まで伝えやすいが、全体は締固まりづらい。
- ・ハンドローラは底面部まで圧力が伝わりにくく、施工上面から 10cm 程度までがよく締まりやすい。
- ・少なくとも施工厚さ 15cm までであれば、転圧回数を重ねることで所定の締固めを得られる可能性が高い。

5. おわりに

実験結果から施工厚さに関わらず、転圧回数を重ねることで十分な締固め効果が期待できることが明らかになった。またプレスケールによる評価では転圧機械による圧力分布を可視化することができた。地盤材料や施工条件に合った最適な転圧時間を明確にできれば、適切な条件設定、施工の効率化につながることを期待できる。今後はさらに試験条件を増やし、広範囲の実験結果を得ることが必要である。

参考文献

- 1) 橋本毅、藤野健一、建山和由：小型締固め機械の締固め能力指標の提案とその利用に関する研究、土木学会論文集 C(地圏工学)、Vol. 70、No. 4、340-352、2014。

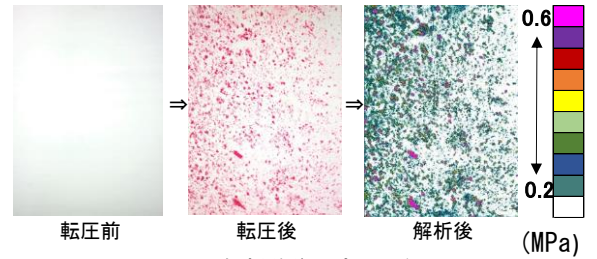


図-3 解析前後の変化(例)

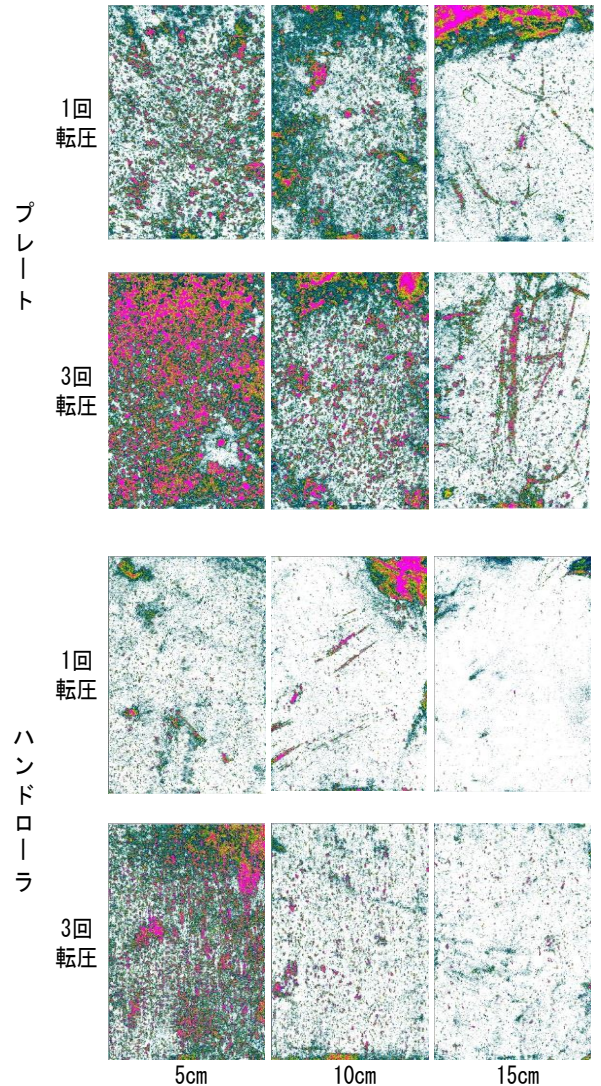


図-4 プレスケール解析結果

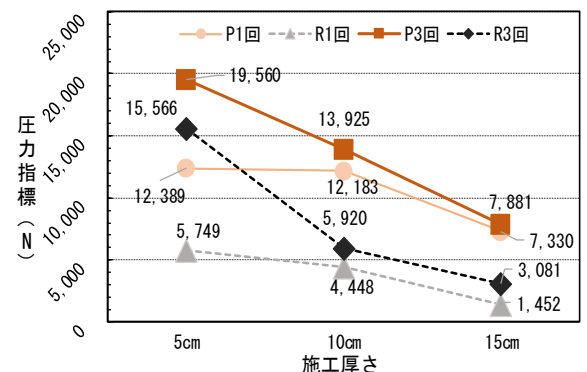


図-5 評価指標算出結果

植物由来の再生用添加剤を使用した再生アスファルト混合物の検討

大林道路（株）技術研究所 ○小林 靖明

同上 滝井 陵太

同上 東本 崇

1. はじめに

わが国では、2020年10月に「2050年カーボンニュートラル」を宣言し、分野ごとに脱炭素社会の実現に向けた指針が示された¹⁾。道路分野においても、国土交通省の基本政策部会にてカーボンニュートラルに向けてCO₂排出量を大きく削減する取り組みの議論が行われた。

道路分野でのCO₂排出量削減として、筆者らは再生アスファルト混合物（以下、再生混合物）を構成する材料の一種である再生用添加剤（以下、添加剤）の低炭素化に着目した。諸外国では、植物由来の添加剤（以下、植物系添加剤）を使用した再生混合物に関する研究²⁾や施工実績がある一方で、わが国では石油由来の添加剤（以下、石油系添加剤）の使用が一般的である。そこで本検討では、植物系添加剤を使用した再生混合物について、ひび割れ抵抗性および作業性を石油系添加剤と比較評価したので報告する。

2. 試験概要

本検討で使用した添加剤を表-1に示す。植物系添加剤と、比較として4成分組成割合の異なる2種類の石油系添加剤を使用した。植物系添加剤は、舗装再生便覧の定める添加剤の標準的性状のうち、動粘度（60℃）のみ品質基準を満足していない。再生混合物は、再生骨材配合率50%で針入度法により配合設計した。実施した混合物試験を表-2に示す。試験は基本性状としてマーシャル特性値を、混合物性状として、ひび割れ抵抗性および作業性を評価した。

3. 試験結果および考察

(1) 添加剤量とマーシャル特性値

表-3に針入度70調整時の添加剤量と、各混合物のマーシャル特性値を示す。添加剤量は、植物系添加剤が最も低添加量で針入度70になることを確認した。マーシャル安定度試験によるマーシャル特性値は、植物系添加剤を使用した場合においても再生混合物の基準値をすべて満足することを確認した。

(2) ひび割れ抵抗性評価

表基層に用いられる再生混合物の性能として、変形が生じた場合に柔軟に追従できるひび割れ抵抗性が重要な指標となる。そこで、植物系添加剤を用いた再生混合物のひび割れ抵抗性を評価した。

a) 圧裂試験

図-1に圧裂試験から得られた圧裂係数の結果を示す。図から、圧裂係数は添加剤種によらず同程度であることを確認した。圧裂係数

表-1 添加剤種概要

添加剤種別	植物系添加剤	石油系添加剤	
		添加剤A	添加剤B
60℃粘度 (mPa・s)	30.0	105.7	500.0
密度(g/cm ³)	0.930	0.924	0.970
4成分の組成割合	飽和分(%)	84.3	16.7
	芳香族分(%)	14.3	81.9
	レジン分(%)	1.4	1.3
	アスファルテン分(%)	0.0	0.1

表-2 試験項目

評価性能	項目	試験方法
基本性状	マーシャル特性値	試験法便覧B001
	圧裂試験	試験法便覧B006
ひび割れ抵抗性	直接引張試験	文献3
	高温カンタブロ試験	試験法便覧B010および文献4
作業性	引張抵抗性試験	文献5

表-3 添加剤量とマーシャル特性値

混合物種別	再生混合物			新規 混合物	基準値
	植物系 添加剤	石油系添加剤			
		添加剤A	添加剤B		
設計アス量（%）	5.8	5.8	6.0	5.7	-
添加剤量（対旧As量%）	8.6	18.0	23.2	-	-
空隙率（%）	4.3	4.1	3.5	4.3	3～6
安定度（kN）	9.9	8.7	8.6	7.8	4.9以上
フロー値（1/100cm）	26	25	31	22	20～40
残留安定度（%）	92.9	87.4	97.0	84.0	75以上

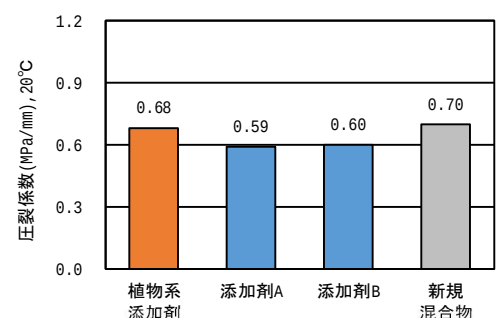


図-1 圧裂係数

は、疲労破壊抵抗性を評価した繰返し曲げ試験による破壊回数と相関があることがわかっている。植物系添加剤は、他添加剤や新規混合物と同程度であり、疲労破壊抵抗性は問題ないことが示唆される。

b) 直接引張試験

図-2 に直接引張試験から得られた破壊時ひずみの結果を示す。図から、植物系添加剤は、添加剤 B が最も高く添加剤 A や新規混合物とは同程度であることを確認した。破壊時ひずみは、混合物を引き伸ばした際の変形追従性を意味し、値が大きいとひび割れ抵抗性は高いとされている³⁾。植物系添加剤は、添加剤 B には劣るものの、添加剤 A や新規混合物と同程度であり、ひび割れ抵抗性は問題ないと考える。

c) 高温カンタブロ試験

図-3 に高温カンタブロ試験から得られた損失率を示す。図から、損失率は新規混合物が最も低く、再生混合物では添加剤 B < 植物系添加剤 < 添加剤 A の順で低いことを確認した。高温カンタブロ試験による損失率は、舗装の表面縦ひび割れを模した WT 疲労試験のひび割れ率と高い相関があり、高温時のひび割れ抵抗性を評価できる可能性があることが分かっている⁴⁾。植物系添加剤は、添加剤 B には劣るものの、添加剤 A よりも高温時のひび割れ抵抗性が優れる結果であった。

(3) 作業性評価

各混合物の作業性を評価するため、引張抵抗性試験を実施した。図-4 に引張抵抗値と試験温度の関係を示す。引張抵抗性試験は、レーキワークのしやすさを定量的に評価可能であることがわかっている⁵⁾。図から、一般的な再生混合物の初期転圧時の下限温度 110℃の引張抵抗値は、新規混合物が最も低く、再生混合物で比較すると植物系添加剤 < 添加剤 A < 添加剤 B の順で小さい結果となった。植物系添加剤は、新規混合物の作業性と最も近く、石油系添加剤と比較し施工性が良好といえる。

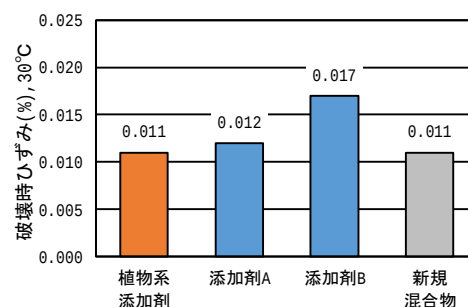


図-2 破壊時ひずみ

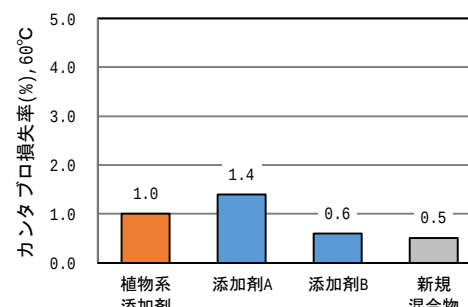


図-3 カンタブロ損失率

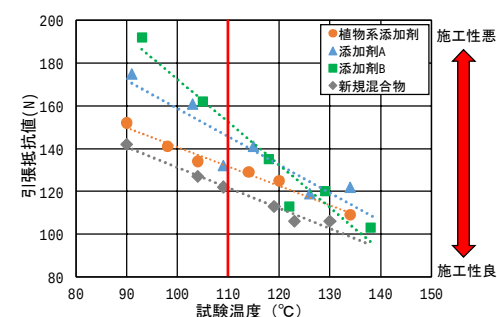


図-4 試験温度と引張抵抗値の関係

4. まとめ

植物系添加剤は、舗装再生便覧の定める添加剤の標準的性状のうち、動粘度(60℃)の性状を満足しないものの、石油系添加剤と比較しひび割れ抵抗性は概ね同程度であり、作業性は良好であることを確認した。今後も継続的に検討を行っていくことで、道路分野のカーボンニュートラルの一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) 経済産業省：カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略
(<https://www.meti.go.jp/press/2021/06/20210618005/20210618005.html>), (参照 2023.5.12).
- 2) アスファルト舗装研究グループ：SDGs に貢献できるアスファルト技術, 「アスファルト」(一社)日本アスファルト協会, Vol.63, No.236, pp73-94, 2022.
- 3) 高橋修, 平澤佑太：品質基準を下回る再生骨材を使用した再生アスコンの性能評価に関する一検討, 土木学会論文集 E1, 舗装工学論文集第 23 巻, pp. I-71-I-77, 2018.
- 4) 田湯文将, 新田弘之, 川上篤史, 川島陽子：アスファルト混合物の疲労破壊抵抗性に関する評価方法の検討, 第 33 回日本道路会議, 3055, 2019.
- 5) 小林靖明, 小澤光一：加熱アスファルト混合物の作業性評価方法に関する一検討, 3053, 2019

中和反応型常温アスファルト混合物の強度確認方法に関する一検討

大林道路（株） 技術研究所 ○新堀 詩織
同 技術研究所 上地 俊孝

1. はじめに

筆者らはかねてから、災害時の応急復旧への使用を想定した、広範囲にも施工可能な中和反応型常温アスファルト混合物(以下、開発品)の検討を進めている。応急復旧では、人力施工する場合が多いため、十分な締固め度が得られず強度が低くなる傾向にある。また、通行止め等を早期解除するために、施工から交通開放までの時間を短縮することが求められている。そこで開発品は、既報の中和反応型補修材¹⁾よりも硬化速度を更に早くすることで、人力施工後1時間で交通開放しても、初期わだち発生量を一般的な加熱アスファルト混合物(以下、加熱アスコン)と同程度に抑えられるよう設計した。しかし、施工環境によっては1時間以内で交通開放する事例も想定される。強度発現が不十分な状態で交通開放すると、わだち掘れが急速に進行して破損するリスクがある。このため、施工管理の観点から、交通開放時の強度をリアルタイムで確認できる評価指標も必要だと考えた。既報の検討²⁾で、リバウンドハンマで測定した反発度で、常温アスファルト混合物の強度発現をリアルタイム評価できることが確認できている。そこで本報では、開発品施工時の交通開放の目安となる反発度を検討したので、その結果を報告する。

2. 開発品の概要

開発品は、常温施工可能な5 mm TOPのアスファルト混合物である。バインダとしてアスファルトと潤滑性固化材、硬化促進材としてセメントを含んでいる。開発品は散水すると、材料内部がアルカリ性となり、中和反応を開始して硬化する。また、開発品の常温マーシャル安定度^{注1)}は作製後1時間で4.9 kN以上となる。運搬時の荷姿はフレコンバッグで、湿気等水分が浸入するのを防ぐために二重構造(外側：保護材料、内側：防湿材料)となっている。

注1) 供試体作製後20℃で1時間気中養生し、20℃でマーシャル安定度試験。

3. 検討概要

まず、交通開放の目安となる反発度を検討するために、施工温度範囲内(5～40℃)で最も強度が発現しにくい温度を確認した。開発品のホイールトラッキング試験用供試体(以下、WT 供試体)を5, 20, 40℃で作製し、供試体作製後1時間時点での反発度が最も小さくなる温度を試験温度として設定した。次に、試験温度での初期わだち発生量を確認するために、常温ホイールトラッキング試験(以下、常温 WT 試験)を行い、終了後変位量(以下、 d_{60})を測定した。そして、リバウンドハンマ測定で得られた反発度と常温 WT 試験の結果から交通開放の目安となる反発度の提案を試みた。

3. 1 WT 供試体の作製方法

WT 供試体の作製には、試験温度に養生した開発品を使用した。また WT 供試体の締固め度は、人力施工での締固めを想定して、両面50回突きマーシャル供試体の密度に対して96%とした。作製した供試体は、供試体作製中の散水開始時を起点として任意の時間養生し、各試験に供した。

項目	仕様	試験機外観
計測範囲	1~5 N/mm ²	
打撃エネルギー	0.833 Nm	
ハンマ質量	720 g	
ハンマ・ヘッド直径	40 mm	

図 - 1 リバウンドハンマの概要

3. 2 リバウンドハンマでの反発度測定方法

図 - 1 に使用したリバウンドハンマの概要を示す。リバウンドハンマは、コンクリートの圧縮強度推定に

用いられており、測定面を打撃して反発度を測定する。一度の測定につき WT 供試体の 9 か所を打撃し、反発度の平均を求めた。

3. 3 常温 WT 試験方法

試験は「舗装調査・試験法便覧 B003」に準拠した。ただし、供試体作製や養生、試験は設定した温度で行った。

4. 試験結果および考察

4. 1 各温度における養生時間と反発度

図 - 2 に各温度における反発度の経時データを示す。20℃養生と 40℃養生は、養生 15 分から 30 分にかけて反発度が急激に大きくなった。一方 5℃養生は、養生 15 分時点で反発度 16 であり、その後比較的緩やかに反発度が上昇した。また、養生 1 時間で比較すると、20℃養生の反発度が最も低かった。開発品のバインダは、低温で粘度が高くなるため、温度が低いほど材料自体が固くなる。また、硬化速度は、施工温度範囲内であれば温度が高いほど早くなる。20℃で養生した供試体は、5℃養生よりも柔らかく、40℃養生よりも硬化速度が遅いことが影響して、養生 1 時間の反発度が低くなったと考える。本結果から、試験温度を 20℃に設定した。

4. 2 初期わだち発生量の確認

試験温度 20℃で常温 WT 試験を行った。養生時間は 30 分、1 時間とし、各養生時間での試験は 2 回ずつ行った。

図 - 3 に走行回数と変位量の関係を示す。養生 1 時間の d_{60} は 1 mm 程度と小さく、繰返し試験結果も同等であった。一方、養生 30 分の d_{60} は 2 mm、5 mm と同一試験内で差があった。養生 30 分は強度発現途中であるため、試験ごとの差が生じたと考える。また、どちらの養生時間においても往復走行 200 回(試験時間 10 分)程度までの変位量が大きく、それ以降は横ばいとなっていた。反発度増加に伴い、 d_{60} が小さくなることが確認できたため、反発度で初期わだち発生量を評価できると推察する。

4. 3 交通開放の目安設定

反発度を用いた交通開放の目安値を検討した。表 - 1 に交通開放の目安を検討した結果を示す。まず、初期わだち発生量の確認結果から、開発品は少なくとも養生 1 時間で十分な強度が発現すると考え、養生 1 時間時点で測定した反発度 9 か所の標準偏差 σ を求めた。このとき、反発度の平均 μ は 23、標準偏差 σ は 1.9 であった。そして、得られた反発度は正規分布に従うと仮定し、2 σ 区間 (95%信頼区間) 下限の 19 を目安値とした。反発度 19 のとき、図 - 2 の近似曲線から求めた養生時間は約 40 分である。常温 WT 試験を 30 分で行ったときの d_{60} が 2~5mm であることを考慮すると、反発度が 19 以上であれば、交通開放しても大きな初期わだちは発生しないと考える。

5. おわりに

本検討では、リバウンドハンマを用いた簡易的な強度確認手法と交通開放目安について検討した。今後は必要に応じて、施工後表面が著しく濡れている場合や施工厚さを変えた場合の影響を検討していきたい。

【参考文献】1) 上地俊孝ほか：中和反応型常温混合物の供用初期における飛散と低温作業性の改善，第 15 回北陸道路舗装会議，2022. 2) 山原詩織ほか：常温アスファルト混合物の品質管理手法における一検討，第 33 回日本道路会議，2019.

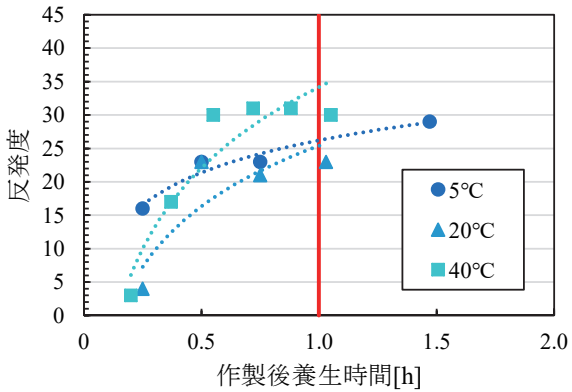


図 - 2 作製後養生時間と反発度の関係

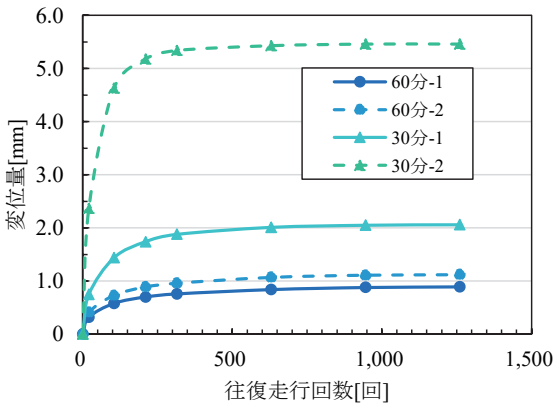


図 - 3 走行回数と変位量の関係

表 - 1 交通開放の目安

反発度の平均 μ	標準偏差 σ	2 σ 区間(下限) $\mu-2\sigma$
23	1.9	19

交通開放の目安

マグネシウム系固化材を用いた土系舗装材の 溶出物質が植栽へ及ぼす影響

大林道路（株） 技術研究所 ○古谷野 拓

1. はじめに

土系舗装は植栽等の自然環境と調和し、土本来の風合いを生かした景観性の向上が期待出来る。さらに、弊社が開発した、固化材として酸化マグネシウムと塩化マグネシウムを使用した土系舗装材(以下、本舗装材)は、『環境庁告示第 46 号溶出量試験(28 項目)』で土壤環境基準を満足する、環境にも配慮した材料である。¹⁾ しかし、固化材が塩基性の物質であるため、周辺の植栽への影響が懸念された。本報文は、実際に植物を用いて、本舗装材によるアルカリ障害の発生の有無について検証したものである。

2. 溶出期間の確認

本舗装材の耐水性を確認するため、作製した供試体を水道水で水浸養生したところ、養生水の pH が 9.5 程度まで上昇していることが分かった。供試体から塩基性の物質が溶出している可能性が考えられたため、養生水の pH 測定を継続的に行った。

測定方法は次のとおりである。

- 1) 本舗装材を用いて、30×30×5cm の供試体を作製。
- 2) 作製した供試体を水道水(pH7.68)で 24 時間水浸養生し、pH メーターを用いて養生水(弱アルカリ性水溶液)の pH を測定。
- 3) 水を入れ替え、24 時間後に pH を測定。
- 4) 以降は 3) を繰り返し実施。

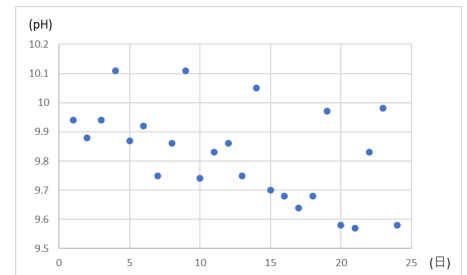


図-1 養生水の pH 測定結果

測定結果を図-1 に示す。時間の経過とともに低下の傾向は見られたが、弱アルカリ性を維持し続けた。

この結果から、塩基性物質の溶出は、少なくとも 1 か月程度の継続性があると判断した。

3. 水溶液の散布試験

継続的な塩基性物質の溶出が確認できたため、二十日大根を用いたアルカリ障害の試験を行った。通常の生育環境において 20～30 日程度で収穫可能なことから、試験期間は 30 日間とした。

試験方法は次の通りである。

- 1) 本舗装材で作製した供試体を水道水で水浸養生し、pH8～11 程度の弱アルカリ性水溶液を作成。
- 2) 根箱に市販の培養土を充填し、1cm 間隔で二十日大根の種を撒く。
- 3) 発芽への影響、成長への影響を確認するため、次の 3 つのサンプルで比較試験を実施。
共通条件として、降雨時は水の散布は行わない。
サンプル 1：試験終了時まで水道水で管理
サンプル 2：種まきから発芽までを水道水、発芽後は弱アルカリ性水溶液で管理
サンプル 3：試験終了時まで弱アルカリ性水溶液で管理
- 4) 発芽および発根、根や葉の成長具合を随時確認し、アルカリ障害の発生の有無を確認。
- 5) 30 日後、収穫を行い、各根箱の上層と下層から土を採取。
- 6) 農林水産省の『土壌・作物診断マニュアル』を参考に、採取した土の pH を測定。

4. 試験結果および考察

1) 植物への影響

生育 30 日後の各サンプルの発芽・発根の様子を写真-1 に示す。いずれのサンプルにおいても発芽・発根の確認ができた。また、アルカリ性土壌でよく見られる、葉面に現れる栄養障害等は確認できなかった。更に、主根は根箱の底まで到達し、箱全体に側根が行き届いていることから、生育障害は発生しなかったと考えられる。

この結果から、弱アルカリ性水溶液による植物への影響は少ないと判断した。



写真-1 生育 30 日後の根箱

2) 培養土の pH 測定

根箱から採取した培養土の pH 測定結果を表-1 に示す。測定結果から、いずれのサンプルにおいても、水の散布による培養土のアルカリ化は確認できなかった。

また、各根箱の上層と下層の pH の差が少なく、降雨による培養土の酸性化も確認できなかった。

この結果から、弱アルカリ性水溶液の散布による培養土への影響は少ないと判断した。

表-1 培養土の pH 測定結果

番号	培養土の pH			備考
	1回目	2回目	3回目	
Blank	4.74	4.74	4.74	蒸留水 (pH6.0)
	5.06	5.06	4.76	水溶液 (pH9.87)
	-	-	4.99	水道水 (7.68)
サンプル1	6.07	5.8	6	上層
	5.98	5.6	5.85	下層
サンプル2	6.03	5.63	5.77	上層
	5.51	5.46	5.41	下層
サンプル3	6.12	5.71	5.93	上層
	5.47	5.32	5.41	下層

5. おわりに

本舗装材から塩基性物質の溶出が確認されたが、今回の試験では植物のアルカリ障害は発生しなかった。また、塩基性物質による土壌への影響は少なく、アルカリ化には至らなかった。

このことから、本舗装材は、環境と植栽に配慮したサステナブルな舗装材であると考えられる。今後は、実際の植栽環境における、長期的かつ継続的な調査を検討したい。

6. 参考文献

1) 古谷野 弘・藤井 秀夫・根本 哲夫・中村 航. 環境に配慮した土系舗装材の開発. 舗装. 2023, vol.58, No6, p.30-34.
2) 茨城県農業総合センター. ”土壌・作物診断マニュアル”. 農林水産省. 2015.
https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_schi_kizyun/ibaraki01.html, (参照 2023-05-19).

レーザー技術によるフッ素樹脂ライニングと土砂類付着抑制技術

大林道路㈱技術部

○光谷修平

(株)ヒロテックレーザー技術研究室

川渕辰巳

大煌工業㈱

山下将弘

1. はじめに

付着物が作業を阻害し除去や防止に多くの労力を要する場合がある。身近な事例として料理の際に食材がフライパンに付着すると擦り取るのにかなりの労力を要する。しかし最近のフライパンはテフロン加工されたものが多く付着が大きく抑制されている。テフロンは米国企業のフッ素樹脂製品の登録商標であるが、ニーズの高さからフッ素樹脂コーティングの通称のように思われている技術である。フッ素樹脂は非粘着性や撥水性、すべり性に優れるので高い付着抑制効果を有する。しかしコーティングでは摩耗による効果の消滅が早く産業用としてはコストパフォーマンスに課題がある場合が多い。ある程度の厚みでライニングすればコストパフォーマンスは改善されるが、フッ素樹脂は金属との接着も難しく不可であった。

樹脂類を金属にライニングする技術が開発された。金属面にナノレベルの酸化物粒子を構造的に配列する特殊な処理を施し、レーザーによる緻密な温度コントロールで樹脂が溶着する状態に加熱し、ローラーで樹脂薄板を押し付けて圧着（図-1）するものである。筆者らはこの技術によるフッ素樹脂ライニング金属板を、舗装を含む建設産業に活用する研究に取り組んでおり、その最初の成果としてダンプトラックの荷台に取り付けて土砂類の付着を抑制する技術を NEDO の助成事業により確立できたので紹介する。

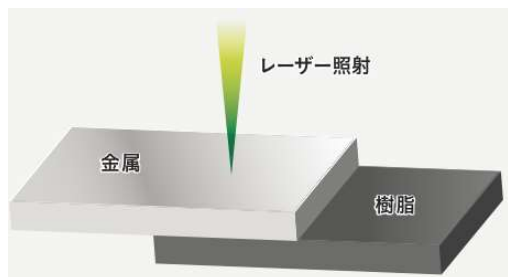


図-1 レーザーによる樹脂ライニングのイメージ

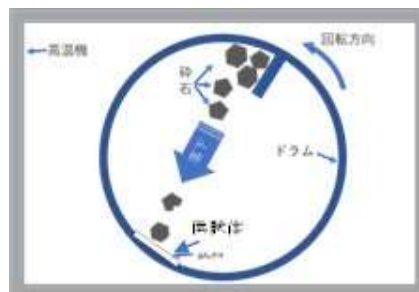


図-2 ロサンゼルス試験機の改造による促進劣化

2. 性能の評価

独自のヒアリングから、土砂の積下ろしを繰り返すダンプトラックの荷台の損傷は、用途や頻度にもよるが5年程度でなんらかの処置が必要な状態となることが判った。このことからフッ素樹脂ライニングの

効果は5年以上継続することが望ましい。そこでロサンゼルスすり減り試験機を改造した図-2、写真-1に示す装置による促進劣化試験を実施し、回転による4号砕石の擦過回数を積下ろしに換算する方法でライニングの持続年数を評価した。ライニングは2年換算以降端部から僅ずつ進行し、7.5年換算になると顕著になった。このことから、一般的な土砂類の積み下ろしに対するライニングの持続年数は、5年間程度期待できると評価した。

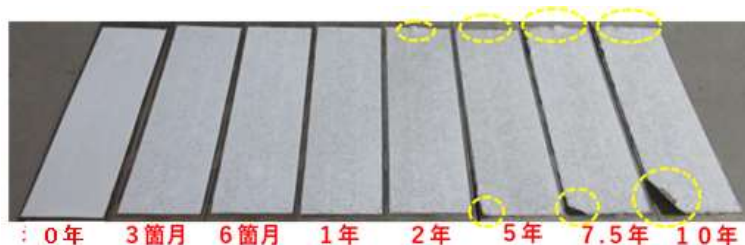


写真-1 フッ素樹脂ライニングの促進劣化後の状態

ダンプトラックからの荷下ろしは、荷台の片側を持ち上げ傾けることで荷台面に向いた積み荷の重力ベクトルの方向を変えて滑り落とす。積み荷の土砂が粘着性を有する（以下粘性土）の場合、荷台面に粘着して滑り難くなり残存量が多くなる。フッ素樹脂ライニングによる粘性土の滑り落ち易さを前述促進劣化の年数の異なるライニング板とライニング無しのステンレス板で比較する定速押上げ試験機（写真-2）を考案して評価した。試験機は、粘性土を載せた供試体を底版上に固定しその片側をモータにより一定速度で上昇させて傾ける機構とした。表-1 に試験条件を図-3 に結果を示す。ライニングの有無で比較すると、塑性限界を下回り気乾に近い状態（含水比 10%）や液性限界に近い状態（40%, 45%）では滑り方に大差は生じないが、特に付着が問題となりやすいであろう塑性状態で水分が多め（含水比 30%）の条件では、2～5 年相当で 1/3～1/4 と大差があり、フッ素樹脂ライニングの優れた性能が認められる結果となった。

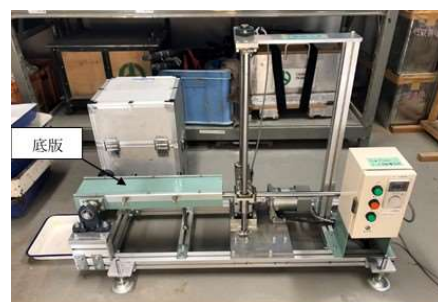


写真-2 定速押上げ試験機

表-1 定速押上げ試験の条件

試料土質	荒木田土（粘性土）
試料重量	550 g
盛り形	150×76×26mm
含水比	10, 20, 30, 40, 45%
試験前ラップ養生	18時間
試料端押上げ速度	1cm/sec

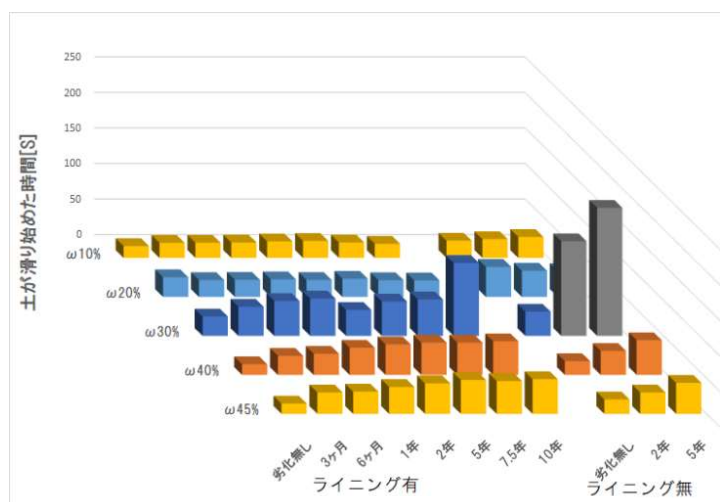


図-3 定速押上げ試験の結果



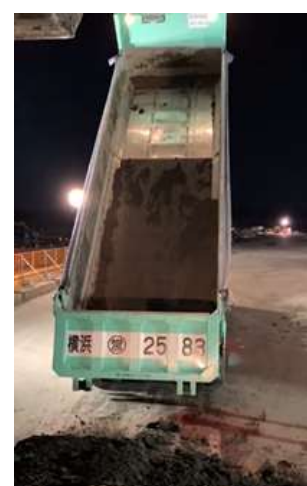
写真-3 フッ素樹脂ライニング板の取り付け位置

3. 実用化

本技術の実用化にあたり、ダンプトラックでの粘性土の荷下ろしを観察した結果、粘性土は荷台の隅角部に付着して全体の滑りが阻害され荷台全体に残存することが判った。そこでフッ素樹脂ライニング板は荷台の隅角部にのみ取り付ける（写真-3）ことで実用化に必要なコストパフォーマンスを確保しつつ付着抑制機能を確保することができた。フッ素樹脂ライニング板の取り付けの有無による粘性土の付着の違いを写真-4 に示す。その差は明確である。



ライニング板無



ライニング板有

写真-4 ライニング板の有無による粘性土の付着の差

4. おわりに

ダンプトラックの荷台に付着した残土は、取り除かなければ運搬効率を阻害し、取り除くには労力を要しCO₂の排出量を増やす。本技術が土砂運搬作業の効率化と環境負荷の低減に結び付けば幸甚である。