

目次

研究・開発

- 低針入度再生骨材の有効利用に関する研究 小林靖明・木谷貴宏・滝井陵太・梅本叡史 1
- 耐久性向上と施工性改善を目指した土系舗装の開発 小嶋匠・掛札さくら・平田隆祥・西澤彩 7

施工報告

- 高耐久性アスファルト混合物「タフアスコン」の
の高速道路PAへの適用事例 荒尾宥人・狩野圭介・野口真早人 13
- 特殊車両が通行する工場内における「タフアスコン」の施工事例 丸山大輔 17
- 特殊形状を有する鋼床版におけるeグースの施工 亀井彰吾・瀬川優太・末田修嗣 21
- 中温化材を用いた排水性舗装および長期保証工事の施工事例 有光正和・瀬川雄太・末田修嗣 25
- 既設橋面舗装の補修事例 栗野拓哉・木村匡孝 29
- 高性能床版防水(グレートII)の施工事例 野口真早仁・狩野圭介 33
- 航空自衛隊基地構内におけるコンクリート・
アスファルト舗装の施工事例 家永和広・有馬正光 37
- 単管圧入工法による剛性防護柵嵩上げの施工事例 乾誠・河野晋・植村友也 41
- GNSS測量システムによる埋設物事故防止対策 木村友哉・高江正之 45
- φ1350刃口推進工の施工事例 葛西正人・嶋原祐司 49
- リフトイン工法による既設雨水排水路の補強事例 永澤拓也・小菅俊弘 53
- ワイヤー連結工(ESネット工法)による法面对策 元木博幸・鎌田博之 57
- ゴルフ場の災害復旧における設計施工事例 奥村勝利 61

社外発表(土木学会第76回年次学術講演会—令和3年9月)

- 複層型プレキャスト舗装の構造設計法 光谷修平・横山昂洋・松下陽哉・西澤辰男 65
- アスファルト舗装におけるポットホールの予兆検出方法に関する実験報告
その1試験ヤードの構築と実験条件 光谷修平・佐々木優一・松崎友哉・横山隆明・建山和由 67
- 再生用添加剤の浸透期間が混合物性状に及ぼす影響 小林靖明・井土彪力・高橋修 69
- 溶解度パラメータを用いた改質材の選定と
ポリマー改質アスファルト性状の検討 木谷貴宏・梅本叡史・東本崇 71
- 現地発生土を中詰め材とする土のうを用いた道路断面の
理論的設計に向けてその① 林浩範・光谷修平・赤木悟・木戸隆之祐・木村亮 73
- 高精度GNSS測位データを使用した地上型レーザー
スキャナーによる取得データの検証 山口雄希・富山和也・森石一志・幸谷宥毅 75

社外発表(第34回日本道路会議—令和3年11月)

- 劣化程度が異なる旧アスファルトの再生に関する一検討 梅本叡史・小林靖明・高橋修 77
- 舗装路面計測を対象とした地上型レーザー
スキャナーの効率的な運用について 山口雄希・富山和也・森石一志・幸谷宥毅 79
- 環境に配慮した歩道舗装の供用箇所における経年性能 石川義人・山田優・山崎裕治 81
- 繰返し精度向上を目的としたアスファルト混合物の
作業性評価に関する検討 新堀詩織・上地俊孝 83
- 再生用添加剤の浸透時間が混合物性状に及ぼす影響 滝井陵太・小林靖明・高橋修 85
- 複層型プレキャスト舗装の可能性について 松下陽哉・横山昂洋・光谷修平 87
- 土系舗装材を用いた水締めによる土系舗装と構造物の検討 古谷野菰・小嶋匠・平田隆祥・西澤彩 89

社外発表(土木学会関西支部2021年度年次学術講演会—令和3年5月)

- 効率化した三次元計測装置による路面プロファイルの計測特性評価 森石一志・板垣智哉・富山和也・幸谷宥毅・山口雄希 91

社外誌掲載(雑誌「舗装」令和3年)—報文記載なし

- 路面研磨による景観舗装の適用性評価(1月号) 小嶋匠・掛札さくら・茨木浩一郎・藤原栄吾
- 再生用添加剤の浸透性に関する検討(2月号) 木谷貴宏・梅本叡史・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

低針入度再生骨材の有効利用に関する研究

小林 靖明*
木谷 貴宏**
滝井 陵太***
梅本 叡史***

1. はじめに

アスファルト舗装から発生するアスファルト塊は、中間処理施設で粉砕した後、物性試験を行い、舗装再生便覧の基準に則って品質の評価を行う。基準を満足したものは、再生アスファルト混合物の再生骨材として利用される。しかし、近年では合材製造量における再生合材割合が7割以上となり、繰り返し再利用される再生骨材が増加している。そのため、繰り返し利用した再生骨材中の旧アスファルト（以下、旧As）の針入度は年々低下傾向にあり、将来的に品質基準を満足する再生骨材の減少が予測される。

そこで、本研究では基準外の再生骨材を使用した場合でも、再生合材の品質を確保する手法の検討を行った。具体的には、2章においてバインダと再生用添加剤の浸透性に関する検討を実施して、再生用添加剤の浸透性の評価方法を考案し、再生用添加剤種別による浸透能力の優位差を確認した。3章では再生用添加剤の浸透期間が混合物性状に与える影響を検討し、再生用添加剤を添加した再生骨材の養生温度や浸透時間、および再生用添加剤種別によって、再生混合物の性状回復能力が異なることを確認した。

2. バインダと再生用添加剤の浸透性に関する検討

2-1 概要

再生用添加剤は、再生アスファルト混合物（以下、再生混合物）を製造する際に加えられ、劣化した再生骨材の旧Asの性状を回復させることを目的に添加されている。アスファルトプラントにおいて再生骨材の様々な混合方式があるが、概して加熱した再生骨材に再生用添加剤と新Asが加えられ、旧Asの表面に再生用添加剤と新Asが被膜して混合される。その後、再生混合物はサイロの貯蔵や輸送、施工および供用の工程をたどる。

旧Asに再生用添加剤ほどの時点でどのくらい均一になっているかは現状ではわからないが、プラントにおける再生骨材と再生用添加剤との数十秒間での加熱混合中に完全に均一になっているとは考えにくい。サイロ貯蔵や輸送、および供用中において、旧Asに再生用添加剤がゆっくりと浸透し、劣化した旧Asの性状を回復すると考えている。

再生混合物に添加される再生用添加剤の設計添加量は、針入度試験や圧裂係数試験によって決定される。針入度試

験による設計添加量を決定する場合、回収した旧Asと再生用添加剤は機械的に均一に混合された状態で試験に供される。また、再生用添加剤の再生効果を試験室で評価する場合でも、旧Asと再生用添加剤は均一に混合された状態で試験に供される。これは、前述したアスファルトプラントで練り落とされた再生混合物における徐々に浸透する状態とは異なっている。再生混合物と試験室での性状評価の違いを表した模式図を図-1に示す。

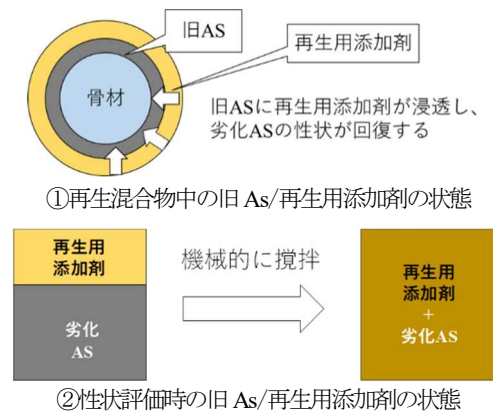


図-1 再生混合物と性状評価の違い

本章では、旧Asと再生用添加剤の界面を通しての浸透性に着目し、浸透性を評価する方法を考案した。また、室内で促進劣化させたアスファルト（以下、室内劣化As）と再生骨材から回収した旧Asによって、再生用添加剤種別による浸透性の相違に関して評価を行った。さらに、再生用添加剤や劣化アスファルトの構成成分の違いによる浸透性の違いや再生用添加剤の加熱時の揮発分に関して評価を行った。

2-2 浸透性試験概要

アスファルトと再生用添加剤を接触させると、界面から再生用添加剤がアスファルトに浸透し混じりあう。再生用添加剤の浸透性が高い場合、界面からより離れた部分まで再生用添加剤の成分が浸透して、アスファルトおよび再生用添加剤の構成成分に変化が生じる²⁾。本試験では、アスファルトと再生用添加剤を接触させて界面を作り、界面からの距離と構成成分の変化で浸透性を評価した。

2-2-1 試料作製条件および性状

試験に用いた室内劣化As、回収した旧Asおよび再生用添加剤の性状を表-1に示す。

*技術研究所第一研究室研究員 **同室主任研究員 ***同室研究員

表-1 再生用添加剤および劣化 As の性状

サンプル名		針入度 (1/10mm)	飽和分 (%)	芳香族分 (%)	レジン分 (%)	アスファル テン分 (%)	I_c
再生用 添加剤	パラフィン : P	—	67.6	22.0	10.4	0.0	—
	ナフテン : N	—	49.9	29.5	20.6	0.0	—
	アロマ : A1	—	5.7	77.6	16.8	0.0	—
	アロマ : A2	—	5.4	76.8	17.8	0.0	—
劣化 As	室内劣化 As	17.0	3.6	6.8	66.1	23.5	0.37
	回収旧 As	16.0	3.0	11.3	68.2	17.4	0.26

注) $I_c = (\text{飽和分} + \text{アスファルテン分}) / (\text{芳香族分} + \text{レジン分})$

室内劣化 As は旧 As と同程度となる針入度とするため、ストレートアスファルト 60/80 (針入度 61) を TFOT5 時間後に PAV48 時間行い作製した。室内劣化 As と回収旧 As は針入度が同程度であるが、劣化指標であるコロイドインデックス (以下、 I_c) は若干異なる値となっており、室内劣化 As のほうが回収旧 As より劣化した試料となっている。

2-2-2 浸透性試験条件

図-2 に示すような筒状浸透試験器を用いて浸透性試験を行った。筒状浸透試験器には、5mm 間隔で穴が 5 つ開いており、そこから試料を採取することが可能である。各試料採取位置は上から No.1~5 と表示する。

劣化 As を試験器の No.3 以上までの 16.2g を入れ、その上から No.1 を超える量である 3.5g の各再生用添加剤を投入した。試験容器の上部にシリコン蓋をし、160°C で 24 時間の加熱養生を行った。養生後の試験器を -20°C で冷却後、各採取箇所から試料を採取し、TLC/FID を用いて成分分析を行った。

48 時間の養生時間では 24 時間の浸透性試験後の浸透性試験器を、追加で 24 時間加熱養生を行い、再度試料を採取し成分分析を行い、構成成分比率の変化を評価した。また、加熱による再生用添加剤の成分の変化を評価するため、再生用添加剤のみで加熱し、蓋内側で凝集した試料 (揮発分) と容器内の試料の成分分析も合わせて行った。

2-3 結果と考察

室内劣化 As と再生用添加剤 A1 の組合せで浸透性試験を行った結果を図-3 に示す。

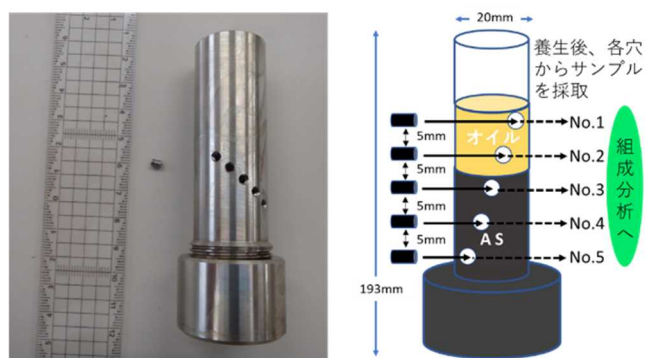


図-2 浸透性試験機の概要

縦軸は試料採取位置の番号を示し、横軸は TLC/FID で測定された各採取位置における成分分析による構成成分比を表している。

図-3 から養生時間 0h では、構成成分比が大きく変化している位置 (破線) は No.2 と No.3 の間である。これは室内劣化 As と再生用添加剤 A1 の界面が No.2 と No.3 の間にあることを示している。養生時間が 24h では No.3 と No.4 の間に移動し、さらに 48 時間後では No.4 と No.5 の間に移動していることが判明したので、構成成分の変化の界面が移動し、アスファルトと再生用添加剤が浸透していることを浸透性試験によって確認できた。室内劣化 As と再生用添加剤 P の組合せで浸透性試験を行った結果を図-4 に示す。図-4 から養生時間 0h と 48h で界面の位置が大きく変化することなく、再生用添加剤 P は A1 に比べて浸透性が低いことが判明した。

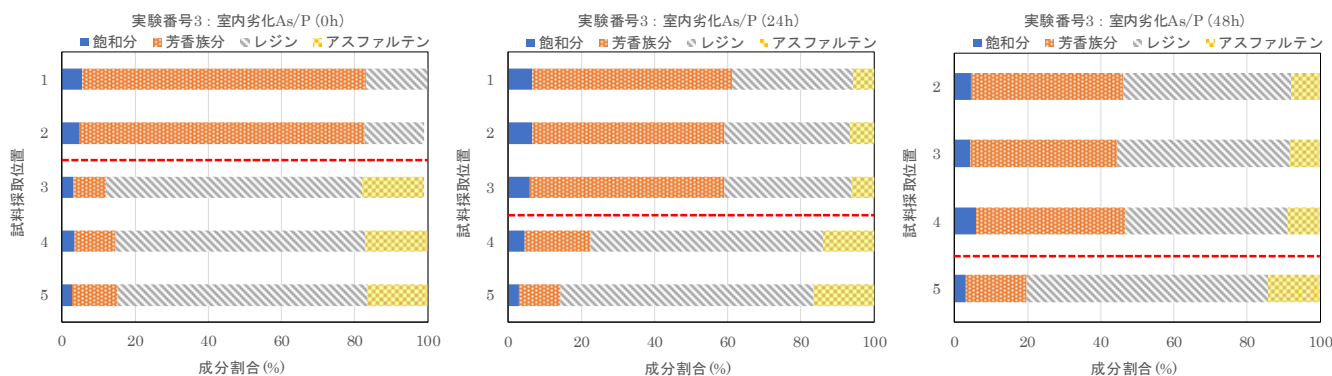


図-3 室内劣化 As と再生用添加剤 A1 の浸透性試験結果 (破線: 界面位置)

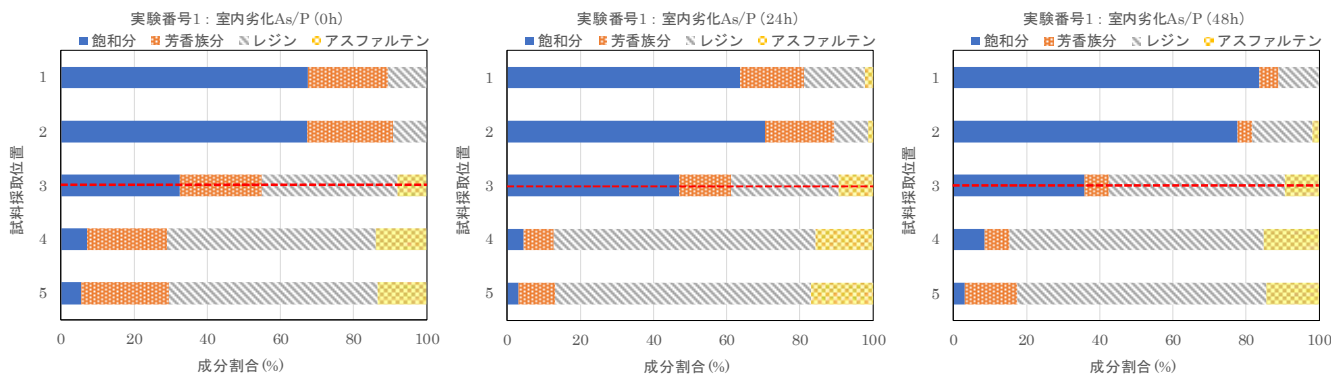


図-4 室内劣化Asと再生用添加剤Pの浸透性試験結果(破線：界面位置)

各劣化アスファルトと再生用添加剤の組合せにおいて、構成成分比の大きく変化する界面の試料採取位置の番号を表-2に示す。

実験番号1~3の比較から、室内劣化Asに対して浸透性は再生用添加剤の種類によって異なっていることがわかる。浸透性の高い順番に再生用添加剤A1>N>Pとなった。浸透性には芳香族分の多い再生用添加剤が優れる結果となった。

実験番号4と5の比較から室内劣化Asと回収した旧Asの浸透性の違いが判明した。浸透性の高い順番に旧As>室内劣化Asとなった。劣化の程度を表す針入度は同程度であったが、室内劣化Asに比べて回収した旧Asのほうの芳香族分が多くアスファルテンが少ないので、浸透性が高い結果となったと推測している。

2-4 再生用添加剤の加熱時における成分変化

再生用添加剤は、加熱による劣化や揮発によって成分変化が生じる可能性がある。そのため、浸透性試験結果

は劣化Asに対する浸透性のみではなく、再生用添加剤の熱による成分変化も含まれると考えられる。この熱による再生用添加剤の成分変化を評価するため、浸透性試験器に再生用添加剤A1のみを入れ、前述した同様の条件で養生を行い、浸透性試験器内に残存する再生用添加剤とシリコン蓋内側に凝縮した揮発物質の成分分析を行った。その結果を図-5に示す。

図-5から、容器内の残存分は加熱によって芳香族分が減少し、レジン分が増加していることがわかった。これは、芳香族分が加熱によって高分子量化しレジン分へ変化したと考えている。揮発分の成分は減少した芳香族分よりもレジン分が多い結果となった。揮発して凝縮した芳香族分が劣化し、レジン分に変化したと考えられる。浸透性試験は、劣化Asと再生用添加剤の浸透性のみを評価するのではなく、再生用添加剤の熱による成分変化を含む。しかし、再生混合物でも同様の現象が生じていると考えられる。

表-2 養生時間毎の界面の位置と界面の移動量

実験番号	劣化As/再生用添加剤の組み合わせ	養生時間0h	養生時間24h	養生時間41~48h	
		界面の位置			界面の移動量
1	室内劣化As / パラフィン : P	No.3	No.3	No.3	0.0mm
2	室内劣化As / ナフテン : N	No.2~No.3	No.3	No.3	0.5mm
3	室内劣化As / アロマ : A1	No.2~No.3	No.3~No.4	No.4~No.5	10.0mm
4	室内劣化As / アロマ : A2	No.2~No.3	No.2~No.3	No.5以上	12.5mm以上
5	旧As / アロマ : A2	No.2~No.3	No.5以上	No.5以上	12.5mm以上 ※養生時間24h時点

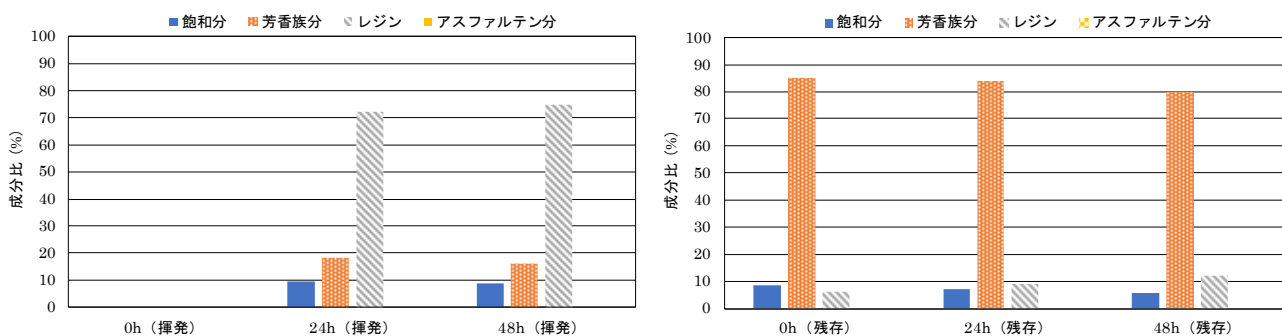


図-5 再生用添加剤A1の加熱時の成分変化(左：揮発分 下：残存分)

2-5 まとめ

浸透性試験を考案し、再生用添加剤の種類の違いによる浸透性の相違を室内劣化Asと回収した旧Asにおいて評価を行った。得られた知見を以下に示す。

- ①過去に評価されていなかった再生用添加剤の浸透性の違いを浸透性試験で評価することができた。
- ②再生用添加剤の成分で比較すると、芳香族分が多いほど浸透性が高くなる結果となった。
- ③針入度が同程度の劣化アスファルトでも、その構成成分によって浸透性が異なることが判明した。
- ④浸透試験中には再生用添加剤の熱による成分変化を含むことが判明した。

3. 再生用添加剤の浸透期間が混合物性状に及ぼす影響の検討

3-1 概要

再生混合物の製造時の混合方式は様々あるが、概ね加熱した再生骨材に再生用添加剤を混合する場合が多い。しかしながら、混合時間が数十秒程度と短いことから、旧Asへ再生用添加剤が浸透し、性状を完全に回復しているかは不明である。そのため、再生用添加剤の旧Asへの浸透性および再生骨材に再生用添加剤を添加し混合後の養生期間(以下、浸透期間)によって、異なった混合物性状となる可能性がある。

2章では、劣化Asと再生用添加剤の浸透性を評価し、再生用添加剤の成分によって浸透性が異なることを確認した。本章では、再生骨材と再生用添加剤の浸透期間によって、混合物性状にどのような影響を及ぼすかを評価した。また、浸透期間を短縮させる手法の1つとして、再生用添加剤の浸透養生中に長時間加熱することで両者の馴染みを向上させる方法があるが、旧Asの熱劣化や再生用添加剤の揮発によって性状が損なわれる恐れもある。そこで、再生用添加剤を添加した再生骨材の養生温度および浸透時間が、再生混合物の性状にどのような影響を及ぼすのかも併せて評価した。

3-2 試験概要

試験概要フローを図-6に、再生混合物の製造条件を表-3に示す。

本検討では、再生骨材に再生用添加剤を添加後、所定の温度(20℃、60℃、130℃)で任意の期間養生した。再生骨材を養生する温度帯によって、養生期間を変更している。再生用添加剤の性状を表-4に示す。飽和分の多い潤滑油系の再生用添加剤(以下、ナフテン系)と、飽和分が少なく芳香族分が多い再生用添加剤(以下、アロマ系)の2種類を用いた。所定の浸透期間養生し、再生骨材配合率60%で再生混合物を製造し、供試体を作製した。混合物試験として圧裂試験およびカンタプロ試験を行った。

カンタプロ試験は、養生温度20℃のみで実施し、供試

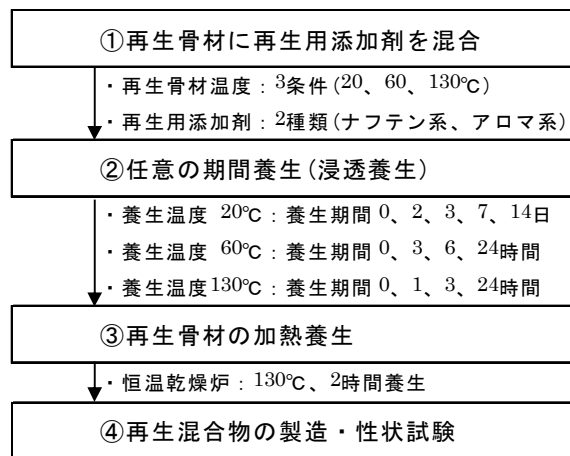


図-6 試験概要フロー

表-3 再生混合物の製造条件

混合物の種類	再生密粒度 アスファルト混合物(13)
設計針入度(1/10mm)	70
再生骨材配合率(%)	60
再生アスファルト量(%)	5.70
再生用添加剤量(%)	0.5 (混合物質量に対して)

表-4 再生用添加剤の概要

種別	ナフテン系	アロマ系
密度(g/cm ³)	0.97	0.92
組成 (%)	アスファルテン分	0.0
	レジン分	5.2
	芳香族分	23.1
	飽和分	71.7

体温度60℃、試験機内30℃、およびドラム回転数を毎分30回転とし、300回転させた。

3-3 結果と考察

3-3-1 空隙率の結果

養生温度20℃における空隙率の結果を図-7に、養生温度60と130℃における空隙率の結果を図-8に示す。

養生温度20℃における空隙率は、再生用添加剤種によらず2日目最大となり、その後は低下する傾向がみられた。養生温度60℃の場合の空隙率は、浸透時間や再生用添加剤の種類によらずほぼ一定であった。これに対して養生温度130℃の場合には、浸透時間の経過に伴い空隙率が増加する傾向がみられた。

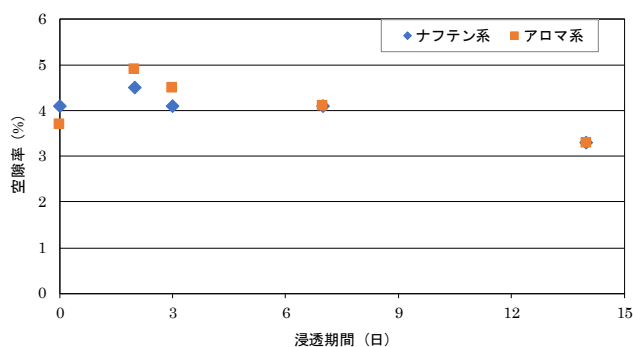


図-7 養生温度20℃における空隙率

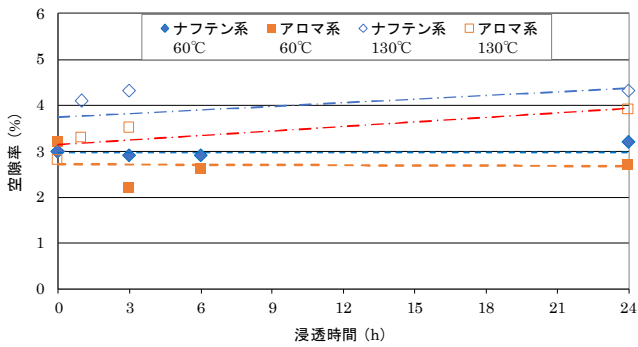


図-8 養生温度 60°C、130°Cにおける空隙率

3-3-2 圧裂試験の結果

養生温度 20°Cにおける圧裂係数の結果を図-9 に、養生温度 60°Cおよび 130°Cにおける圧裂係数の結果を図-10 に示す。

養生温度 20°Cおよび 60°Cにおける圧裂係数は、浸透期間や再生用添加剤種によらずほぼ一定であった。一方で養生温度 130°Cでは、浸透時間の経過に伴い圧裂係数は上昇する傾向がみられた。これは空隙率の結果と同様であり、養生温度を高く設定したので、旧 As が熱劣化によって固くなったと考えられる。

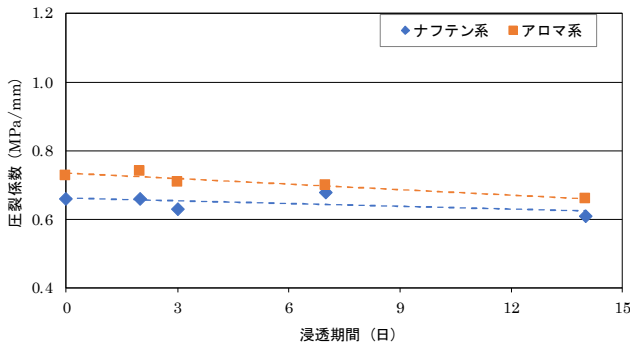


図-9 養生温度 20°Cにおける圧裂係数

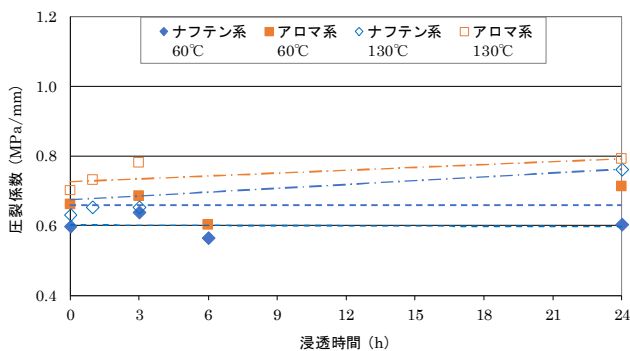


図-10 養生温度 60°C、130°Cにおける圧裂係数

養生温度 20°Cにおける圧裂強度の結果を図-11 に、養生温度 60°Cおよび 130°Cにおける圧裂強度の結果を図-12 に示す。

養生温度 20°Cおよび 60°Cにおける圧裂強度は、浸透期間や再生用添加剤種によらずほぼ一定であった。一方で、養生温度 130°Cでは、浸透時間の経過に伴い圧裂強度は上昇する傾向がみられた。これは空隙率や圧裂係数

と同様に、旧 As が熱劣化によって硬くなったことが要因と考えられる。

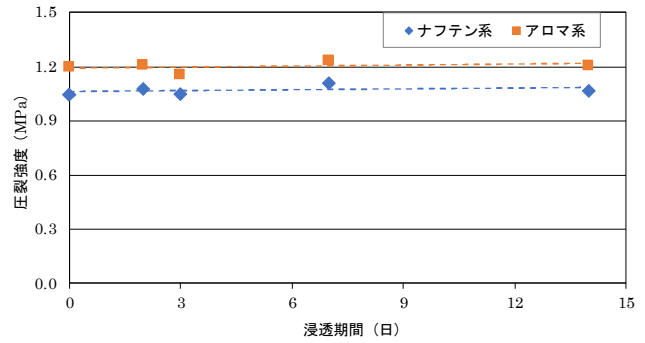


図-11 養生温度 20°Cにおける圧裂強度

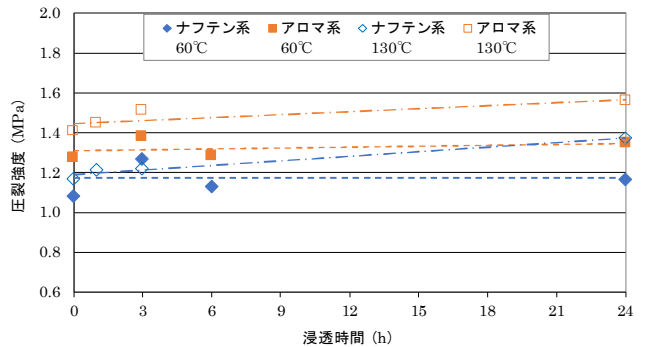


図-12 養生温度 60°C、130°Cにおける圧裂強度

養生温度 20°Cにおける圧裂変位の結果を図-13 に、養生温度 60°Cおよび 130°Cにおける圧裂変位の結果を図-14 に示す。

養生温度 20°Cにおける圧裂変位は、浸透時間の経過に伴って大きくなる傾向がみられた。再生用添加剤で比較すると、ナフテン系では透期間 7 日目から圧裂変位が増加し始めるのに対して、アロマ系では 3 日目から変位が増加した。

養生温度 60°Cについても、浸透時間の経過に伴って圧裂変位が大きくなり、6 時間で最大となった。また、再生用添加剤で比較すると、アロマ系がナフテン系よりも圧裂変位が全体的に大きいことを確認した。

養生温度 130°Cの場合には、アロマ系は圧裂変位が増加したが、ナフテン系では浸透時間によらず圧裂変位はほぼ一定であった。

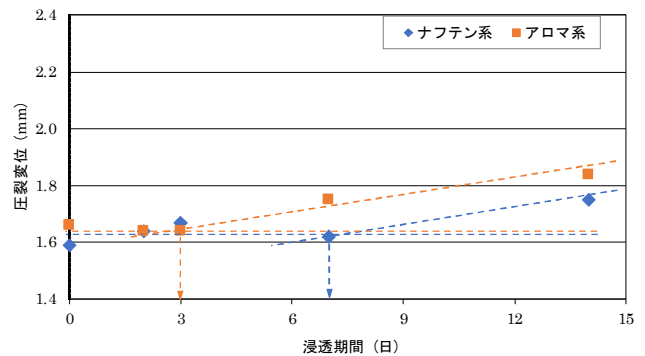


図-13 養生温度 20°Cにおける圧裂変位

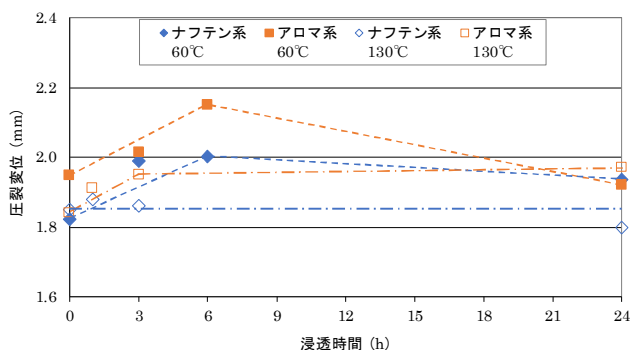


図-14 養生温度 60°C、130°Cにおける圧裂変位

3-3-3 高温カンタブロ試験による損失率の結果

養生温度 20°Cにおける高温カンタブロ試験の結果を図-15に示す。養生温度 60°Cおよび 130°Cにおけるカンタブロ試験は今回実施していない。カンタブロ損失率は、浸透期間や再生用添加剤種別によらずほぼ一定であった。既往の研究によれば、再生混合物の繰り返し再生が進むにつれて損失率が高くなることが確認されている³⁾。本検討に用いた再生骨材は、繰り返し再生の頻度が比較的少なく、損失率自体が低くその変化も小さいので、浸透期間による違いがみられなかったと考えられる。

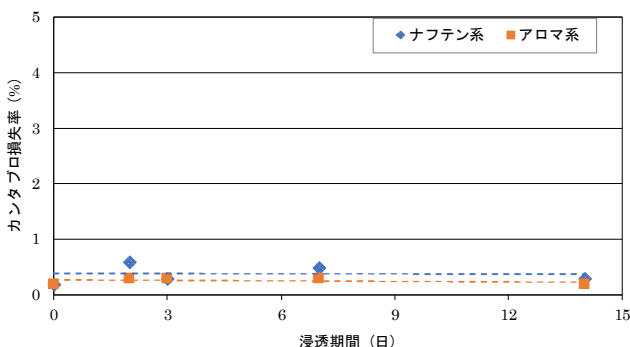


図-15 養生温度 20°Cにおけるカンタブロ損失率

3-3-4 まとめ

再生用添加剤を添加した再生骨材の養生温度および浸透時間が、再生混合物の性状にどのような影響を及ぼすかを評価した。得られた知見を以下に示す。

①再生骨材の養生温度および再生用添加剤種別によ

って、浸透時間に対する圧裂変位の性状回復に優位差があることを確認した。

②芳香族分が多いアロマ系の再生用添加剤は、ナフテン系よりもより短期間に性状が回復することを確認した。この結果は、旧 As と再生用添加剤の浸透性と一致した。

③養生温度 20°Cにおける再生用添加剤の有効浸透時間が 3~7 日であるのに対して、加熱養生することで有効浸透時間を大幅に短縮可能であることを確認した

④養生温度 130°Cでは、旧 As が熱劣化によって硬くなり性状を損ねる可能性が懸念されることから、60°C程度に加熱養生して再生混合物を製造することが望ましい。

4. おわりに

再生混合物中の旧 As の針入度は、今後ますます低下する傾向にあると考えている。再生混合物の品質を確保するためには、基準外再生骨材の性状を回復するような再生用添加剤の選定や、再生用添加剤が旧 As へ十分に浸透する製造方法を確立していくことが重要となる。

今後も実験開発用プラントを有効活用し、実際のアスファルトプラントにおいて実現可能な再生方法について検討していく所存である。

<参考文献>

- 1) (一社)日本アスファルト合材協会：アスファルト合材製造数量の推移(全国)(2018年度版)
- 2) 梅本ほか：再生用添加剤の再生効果の要素に関する一検討、第33回日本道路会議 3018、2019.11
- 3) 川上篤史, 新田弘之, 藪雅行, 掛札さくら, 川島陽子：繰り返し再生したアスファルト混合物への再生用添加剤と再生骨材配合率の影響、土木学会論文集 E1(舗装工学)、Vol.76、No.2、pp. I_251~259、2020

耐久性向上と施工性改善を目指した土系舗装の開発

小嶋 匠*
掛札 さくら**
平田 隆祥***
西澤 彩****

1. はじめに

自動車の安全かつ円滑な通行が主目的であった道路空間では、社会・経済情勢の変化に応じて、そのニーズも変化してきており、魅力的な空間を創造する必要が求められている。したがって、道路空間で大きな面積を占める舗装については、景観や環境への配慮が重要である。

景観や環境に配慮した舗装の一つに土系舗装がある。土系舗装は、自然土を主材料とする舗装で、土本来の風合いによって自然感を有するとともに、適度な弾力性や衝撃吸収性を備えている。

主材料に自然土を使用しているため、周辺の景観と調和しやすい。また、保水性を有することから、夏季の路面温度上昇抑制に大きな効果を発揮できる¹⁾。一方、舗装材料としての強度は小さく、表面が荒れるなど耐久性に課題があるので、施工場所は主に交通量が少ない公園の園路などに適用されている²⁾。土系舗装を、歩道・車道問わず様々な場所に適用することができれば、各地の景観および環境を改善できるバリエーションが増え、美しい国づくりに貢献できる。

本文は、土系舗装の耐久性向上を目的として、同時に従来のエポキシ樹脂の弱点である施工性を改善した土系舗装の実証実験を行った結果を報告するものである。

2. 土系舗装の課題

耐久性のある土系舗装の一つに、結合材に樹脂を用いたものがある。樹脂には、比較的水分の影響を受けづらいことからエポキシ樹脂を使用しているが、それでも水分による性能低下は避けられない。筆者らが、過去に使用したエポキシ樹脂でも、土の含水比が8%を超えると硬化が遅くなり、10%を超えると使用できないとの仕様であった。

一方、土系舗装に用いる真砂土の含水比は、産地等で違いはあるが、経験上少なくとも含水比4%、高い場合は10%を超え、その平均は8%程度である。そのため、樹脂の性能を十分発揮できていない可能性がある。

水分の影響を受けると硬化不良となるので、施工時には土の含水比をコントロールする必要がある。しかし、土系舗装の施工では、自然含水比の土を搬入し、現地に

おいてモルタルミキサなどで結合材と混合し製造する方法が一般的である。したがって、含水比が高すぎる場合は、土の乾燥や別の土に変更するなどが必要となり、耐久性だけでなく施工性にも課題がある。

3. 混合物の特徴

3-1 混合物性状

水分の影響を受けにくく高強度な樹脂(以下、検討樹脂)で、耐久性向上と施工性改善を目指した。

使用した樹脂は、2液混合型の変性エポキシ樹脂で、主剤が液状エポキシ樹脂、硬化剤が変性脂肪族ポリアミンである。一般的なエポキシ樹脂と比較して、水中でも硬化性能を維持できるように、硬化剤の成分を変性させたものである³⁾。

強度は一軸圧縮試験⁴⁾で評価した。試験には、「セメント系固化材による安定処理土の試験方法(JCAS L-01)⁵⁾」を参考に、1.5kgランマーで3層・12回で突き固めた供試体(φ5cm×高さ10cm)を用いた。真砂土には室内試験では茨城県産(含水比8%)を、後述の試験施工では現地産を用いた。混合物の樹脂量は、土の乾燥質量に対し外割8%とした。同時に筆者らが過去に用いた土系舗装用エポキシ樹脂(以下、比較樹脂)でも供試体を作製し、強度比較をした。

比較試験の結果、検討樹脂を使用した混合物は、比較樹脂と比べ5倍以上の高い強度を示す(図-1)。材料、作製方法等に違いはあるが、一軸圧縮強さの記載があるその他の土系舗装^{6),7),8)}と比べても、同程度かそれ以上の値を示した。

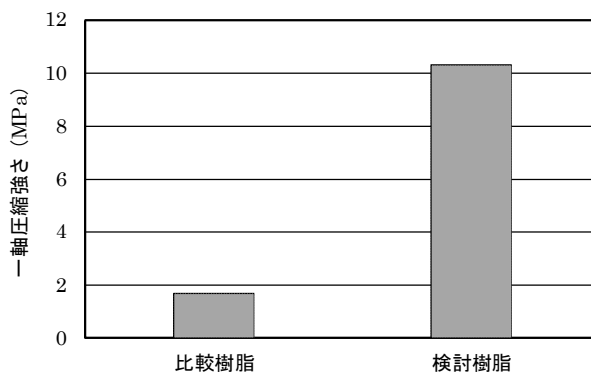


図-1 一軸圧縮試験結果

*技術研究所第二研究室主任研究員 **同室研究員

大林組技術研究所生産技術研究部上級主席技師 *同部主任

水分の影響による性能低下の有無を一軸圧縮試験で評価した。比較樹脂は硬化不良となるので、検討樹脂(樹脂量 8%)で、含水比は 6~12%で試験を行った。

その結果、含水比が高くても硬化不良にならず、加水によって混合性と締固め性が向上することで、強度は増加したと推測される(図-2)。したがって、水による性能低下はないと判断した。

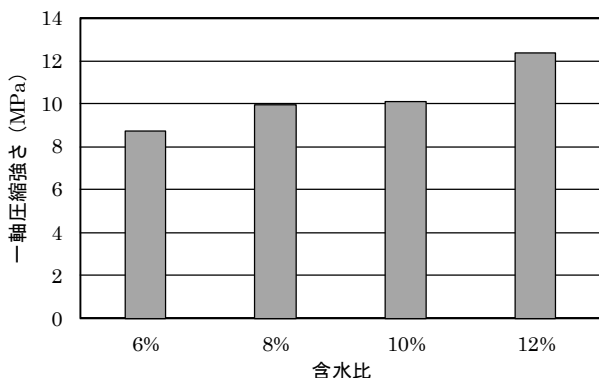


図-2 含水比による一軸圧縮強さの変化

3-2 小規模試験施工による評価

検討樹脂を用いた混合物が施工可能であるか、小規模試験施工を行い評価した。材料および配合は、前述の性状試験と同様である。試験施工概要は、以下のとおりである。

- ・ 施工場所：東京都清瀬市
- ・ 施工面積：2m²
- ・ 舗装構成：土系舗装(t=4cm)、コンクリート版上
- ・ 樹脂量：8%

施工手順は、①樹脂の計量・混合、②ミキサによる土と樹脂の混合、③人力での敷きならし、④手動の整地ローラと振動コンパクタによる締固めとした(写真-1~6)。

試験施工の結果、土系舗装として施工は可能ではあるが、樹脂の粘度が高いので樹脂混合に時間がかかり、混合物製造時も混合物の塊が多く発生した。



写真-1 樹脂混合



写真-2 混合物製造



写真-3 敷きならし



写真-4 整地ローラ



写真-5 振動コンパクタ



写真-6 施工完了

現場作製混合物で一軸圧縮試験、および路面で試験法便覧「S021-2 振り子式スキッドレジスタンステストによるすべり抵抗試験」と「S026-1 舗装路面の弾力性試験」を実施した。

一軸圧縮強さは十分に高いが、供試体ごとで数値にばらつきがあり、混合が不均一である可能性が考えられた。

路面評価では、「土系舗装の性能目標(暫定案)⁹⁾」と比べると、すべり抵抗値は目標値を満足するが、弾力性は目標値の 70%以下とならなかった(表-1)。したがって、検討樹脂による舗装には、混合性と弾力性に課題があることが判明した。

4. 試験施工

小規模試験施工で確認した混合不良については、樹脂を加温し粘度を下げることで解決できたので、実施工を想定した試験施工を行った。弾力性は、樹脂量を少なくすることで改善されると考え、小規模試験施工より樹脂量を減らした異なる 2 つの工区を構築した。

混合物の一軸圧縮強さが高いので、適用場所は普段から車両乗入れがある駐車場とした。試験施工概要は、以下のとおりである。

- ・ 施工場所：滋賀県守山市
- ・ 施工面積：30m²
- ・ 舗装構成：土系舗装(t=4cm)、路盤
- ・ 樹脂量：6%(工区 1)、7%(工区 2)

一軸圧縮強さは、樹脂量 6%で事前の室内試験で 4.8MPa、現場作製供試体で 5.7MPa(ばらつきは 0.1 MPa 以内)であり、樹脂を加温したことで混合不良の発生を抑制できた。しかしながら、施工面では混合物が機械等に付着しやすい、混合物が硬くレーキやスコップで作業がしにくいなどの意見があり、施工性改善の必要を再確認した。

表-1 小規模試験施工結果

	評価項目	No.1	No.2	No.3
現場作製混合物	湿潤密度 (g/cm ³)	1.97	1.88	1.93
	一軸圧縮強さ (MPa)	17.00	13.00	13.50
	ひずみ (%)	0.77	0.76	0.72
現場試験	すべり抵抗 BPN	72 (目標：40以上)		
	弾力性 GB係数 (%)	78 (目標：70以上)		

長期的に性能低下や破損の発生がないか、約 2 年半後まで経過観察をした(写真-7~8、表-2)。評価は、すべ

り抵抗と弾力性だけでなく、色彩色差計による色の变化の測定と、路面の荒れを関係者による目視(5段階評価、表-2参照)で判断した。目標値は「土系舗装の性能目標(暫定案)⁹⁾」を参考にして設定した。



写真-7 施工場所(3か月後)



写真-8 施工場所(2年半後)

表-2 追跡調査結果

工区	測定時期	すべり抵抗	弾力性	色変化		荒れ評価※ (目視)
		BPN	GB係数 (%)	L*a*b*	色差	
工区1	3か月	—	60	43,7,16	初期	4
	1年	74	62	41,5,15	3.0	3
	2年半	79	65	47,2,9	4.9	3
工区2	3か月	—	80	47,6,12	初期	—
	1年	80	77	47,3,10	3.3	5
	2年半	77	78	48,3,8	5.0	5
目標		40以上	70%以下	色差が小さい		5 (荒れがない)

※荒れ評価: 5.非常に良好(ほぼ荒れがない)、4.良好(触ると手に少し砂がつく程度の荒れ)、3.普通(わずかに荒れが見られる)、2.悪い(荒れが目立つ)、1.非常に悪い(著しく荒れて補修が必要)

調査の結果、すべり抵抗は、データ数は少ないが目標値以上の機能を有すると判断した。弾力性は、工区1(樹脂量6%)と工区2(樹脂量7%)で違いがあり、工区1は目標を満足するが、樹脂が多い工区2は満足していない。色差が大きくなっていることから、舗装の色は徐々に変化していることが分かる。目視による荒れの評価では、工区1はわずかに荒れが発生している(写真-9)が、工区2は2年半後もほぼ荒れはない(写真-10)。



写真-9 工区1



写真-10 工区2

なお、アスファルト舗装と比較した場合、路面の温度低減効果は10℃程度あることから、一般的な土系舗装と同程度であった。

試験施工の結果、樹脂量7%以上にすると摩耗による表面の荒れはないがGB係数は大きくなり、6%以下にするとわずかに荒れは発生するがGB係数は70%以下と小さくなることがわかった。したがって、歩道など高い耐

久性を必要としないときは6%以下、車両乗入れなどでは7%以上と、適用場所にあわせて樹脂量を調整することにした。

5. 施工性改善と歩道適用検討

5-1 施工性改善のための粘度変更

検討樹脂で施工性が悪い主な要因は、樹脂の粘度であることは明確であったので、施工性改善を目的として検討樹脂の粘度を3000mPa・s程度から、比較樹脂に近い400mPa・s程度に変更した。粘度を変更した混合物の強度を確認したところ、樹脂の強度は変えずに粘度のみの改良であったが、混合物強度が向上した(図-3)。これは、樹脂の粘度が下がったことで、混合性が向上し、樹脂が均一に土粒子を被覆したものと考えられる。

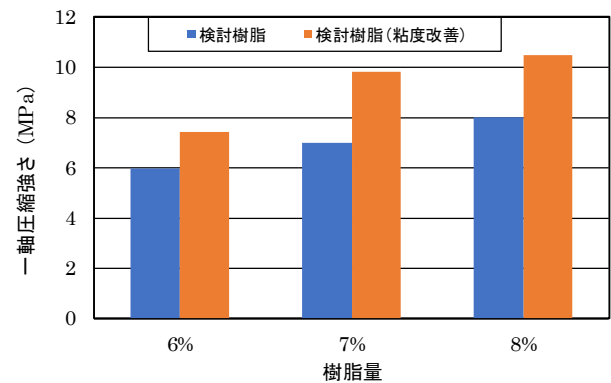


図-3 粘度を改善した樹脂の強度確認

5-2 歩道への適用検討

(1) 室内検討

歩道に適用するために、土系舗装の暫定基準(案)であるGB70%以下を目指した配合と舗装構成を検討した。樹脂量が減るとGB係数は小さくなる。さらに、樹脂量が減ることで、強度だけではなく、密度も小さくなる(図-4)。樹脂量を変えずに、密度のみを変化させても、一部の樹脂量とGB係数の関係で逆転はあったが、密度が小さいほどGB係数は小さくなる傾向にある(図-5)。したがって、GB係数を小さくするためには、樹脂量を減らし、密度も小さくする必要がある。

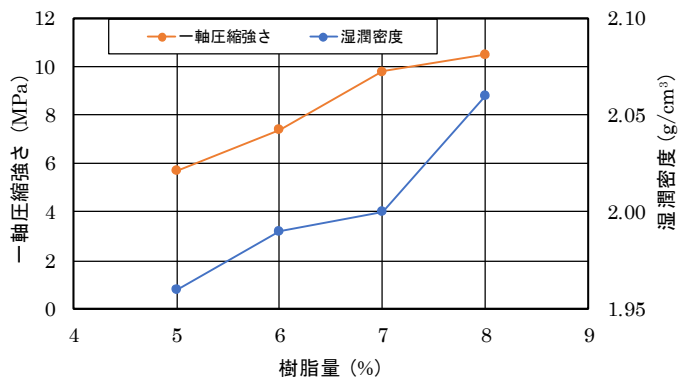


図-4 樹脂量に対する強度と密度の関係

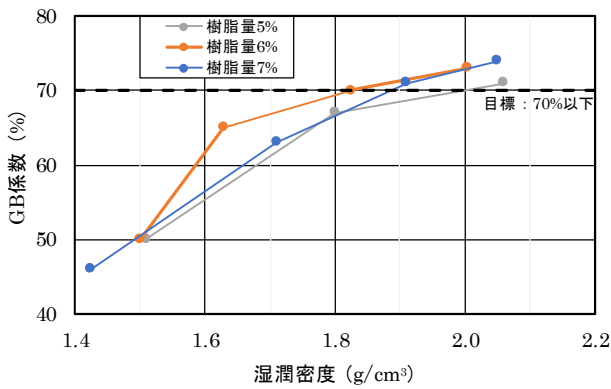


図-5 樹脂量ごとの密度とGB係数の関係

一般的に土系舗装の締固め方法として、歩道では振動コンパクターや手動の整地ローラ、ハンドガイド式振動ローラなど軽量の締固め機械を用いる。一方、車両乗入れ部やそれ以上の荷重がかかる場所では、締固め度を高めるためにコンバインドローラやタイヤローラ等を使用する。

GB係数を70%以下とするには、湿潤密度を1.9g/cm³以下にする必要がある。そのためには、締固め機械とGB係数の関係を把握し、適切な機械を選択することが重要である。したがって、試験施工では、歩道用の締固め機械を採用したときの密度を確認した。

その他、GB係数を小さくする手法として、舗装厚とGB係数の関係を検討した(図-6)。その結果、舗装厚を薄くすることでも、GB係数は小さくなることがわかった。そこで、舗装は路盤上に厚さ2.5cmで施工することにした。

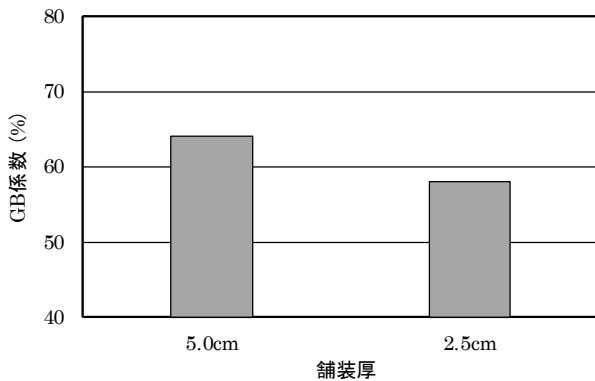


図-6 舗装厚とGB係数の関係

(2) 歩道対応試験施工

室内検討の結果から、樹脂量6%以下で、適切な締固め機械を使用し、舗装厚を薄くするなどの対策を行うことで、GB係数70%以下を満足できると考え、試験施工を行った。

目標強度には基準がなく、明確な樹脂量は決定でなかったが、過去の現場の破損状況や経済性を考慮し、樹脂量5.5%、舗装厚2.5cmで施工した。試験施工概要は、以下のとおりである。

- ・施工場所：埼玉県久喜市
- ・施工面積：10.5m²
- ・舗装構成：土系舗装(t=2.5cm)、路盤
- ・樹脂量：5.5%

施工1週間後に一軸圧縮試験、密度測定、すべり抵抗評価などを行った。一軸圧縮強さは8.0MPaであった。現地切り取りコアで密度1.9g/cm³、現場試験でGB係数61%であり、目標のGB係数70%以下を満足できた。

施工直後から3か月後まで調査を行った結果、BPNとGB係数は目標を満足している(写真-11~14、表-3)。明度L*や色差が徐々に大きくなっていることから、色は変化しているといえる。目視による観察の結果、舗装表面には少し手につく程度の荒れは見られた。



写真-11 1日後

写真-12 1日後(拡大)



写真-13 3か月後

写真-14 3か月後(拡大)

表-3 追跡調査結果

測定時期	すべり抵抗	弾力性	色変化		荒れ評価※ (目視)
	BPN	GB係数 (%)	L*a*b*	色差	
1日		49	40,4,13	初期	5
7日	71	53	39,3,13	1.6	5
28日		54	39,2,13	1.5	5
3か月	86	61	50,2,12	10.0	4
	40以上	70%以下	色差が小さい		5 (荒れがない)

※荒れ評価: 5.非常に良好(ほぼ荒れない)、4.良好(触ると手に少し砂がつく程度の荒れ)、3.普通(わずかに荒れが見られる)、2.悪い(荒れが目立つ)、1.非常に悪い(著しく荒れて補修が必要)

6. 車両への適用検討

6-1 室内検討

車両に対応した土系舗装では、軽車両の乗入れ程度を想定することが多いが、検討樹脂を用いた混合物は、通常のアスファルト舗装と比べても十分な耐久性を有すると考え、目標値を密粒度アスファルト混合物と同等以上に設定した^{10),11),12)}。

試験の結果、密粒度アスファルト混合物と同程度か、それ以上の性能があることを確認できた(表-4)。水浸マーシャル安定度は、水の影響を受けにくい混合物である、48時間水浸であるので養生期間が長くなった等の理由

によって、標準のマーシャル安定度より値が高い結果となった。透水性能は、密粒度アスファルト混合物と違い、徐々に浸透する程度であった。

表-4 車両対応試験結果

試験項目		試験値	目標値	
マーシャル安定度	標準	安定度 (kN)	19.9	4.9
		フロー値 (1/100cm)	34	20~40
	水 ^{※1}	安定度 (kN)	25.9	—
		フロー値 (1/100cm)	33	—
	残留安定度 (%)	130	75以上	
動的安定度	DS	回/mm	変形なし	3000
透水性 ^{※2}	透水係数	(cm/s)	2.30×10^{-2}	—
骨材飛散抵抗	ねじり骨材飛散率	(%)	0.1	20以下
		(120分後)		

※1：水浸マーシャル安定度試験のみ養生日数を空中7日水浸2日とした。その他の試験では養生日数を空中7日とした。
 ※2：ホイール供試体からφ5cmのコアを切り出し、加圧透水試験で評価した。

次に、車両対応を想定した場合、早期に交通開放する必要があると考え、一軸圧縮強さとねじり骨材飛散率から車両通行可能な養生日数を検討した。

その結果、強度は徐々に増加しているが、飛散率は養生1日程度でも極めて小さいことから、車両通行による破損は小さく、翌日には開放が可能と考えた(図-7)。

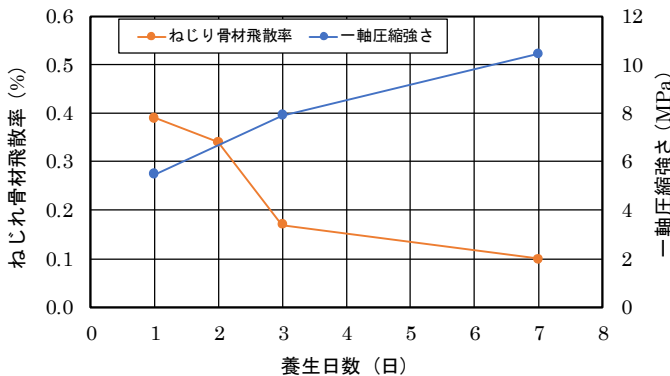


図-7 養生日数による試験値の変化

6-2 車両対応に関する現場評価

車両対応を検討するにあたり、滋賀の試験施工で荒れが少なかった工区2を改めて評価した。はじめに土系舗装に経年による劣化がないかを、切り取りコアのマーシャル安定度試験で評価した。次に、車両対応の試験として、「S021-3 回転式すべり抵抗試験測定器による動的摩擦係数測定」と「S047 フォーリングウェイトデフレクトメータ(FWD)によるたわみ量測定」を実施した(表-5)。

マーシャル安定度試験やすべり抵抗試験の結果は良好であり、FWDによる支持力評価のD₀のたわみ量などを考えると、軽交通程度の車道への適用は可能性であると判断できた。

6-3 実道での検証

車両対応できる可能性が確認できたので、工業施設内の道路で土系舗装を施工した。試験施工概要は、以下のとおりである。

表-5 滋賀試験施工場所での車両対応試験結果

		工区2	目標値 [※]	
マーシャル安定度	樹脂量	7%		
	安定度 (kN)	42.9	4.9	
	フロー値 (1/100cm)	31.5	20~40	
すべり抵抗	DF	20km/h	0.58	0.40以上
		40km/h	0.59	
		60km/h	0.59	
FWDによる支持力評価	D ₀ (mm)	943 (N3まで)	—	
	弾性係数 (MPa)	2,653	—	
	残存TA (cm)	13.2 (問題なし)	設計TA 7.85	

※1：密粒度アスファルト混合物(13)と路面性能評価指標の目標値¹¹⁾を参考とした
 ※2：供試体は舗装を切り取り採取した。周辺を破損させる可能性があったので、工区1のタイヤの載らない位置で実施した

- ・施工場所：岡山県岡山市 工業施設構内道路
- ・舗装面積：45m²(延長15m、幅員3m)
- ・舗装構成：土系舗装(走行区間t=4cm、停車区間7cm)、路盤
- ・樹脂量：8%

大型のモルタルミキサを用いて現地で混合物を製造し、人力の整地ローラ、ハンドガイド式振動ローラ、およびコンバインドローラによって転圧を行った。夜間に気温が急激に下がることが懸念されたので、施工後にシート養生を行った。

翌日、熔融式ラインで停止線等を施工した(写真-15)。なお、土系舗装にラインが施工できるかは、事前に室内の混合物にラインを貼り付け、ねじり試験で確認した。ライン施工後に車両走行実験を行い、樹脂の硬化不良等によるわだちの発生がないかを確認した(写真-16)。



写真-15 ライン施工



写真-16 車両走行実験

現在、施工2か月程度で十分なデータがないので、良否の判断はできないが、平日1日に約150台程度の交通量はありますが、大きな破損はみられない(写真-17~18)。



写真-17 2か月後の状況



写真-18 舗装面の拡大

7. まとめ

水の影響が少なく、高強度な樹脂を用いることで土系舗装の耐久性向上ができた。本研究で、明らかになったことを以下に示す。

- (1) 室内検討および試験施工の結果から、検討樹脂を7%以上添加した土系舗装は、車両乗入れ可能な摩耗抵抗性を示した。試験施工場所を2年半調査し、荒れが発生しない耐久性を有することを確認した。
- (2) 検討樹脂は、真砂土の含水比が6~12%であれば、硬化不良による著しい強度低下が発生しないので、混合物製造時の含水比調整が不要となり、施工性が改善された。
- (3) 樹脂量や舗装厚を変えることで、高耐久な舗装(車道を対象)、および弾力性がある舗装(歩道を対象)のどちらにも対応できる。
- (4) 実道(構内舗装)で施工を行い、施工後2か月程度経つが、破損もなく健全な状態である。
- (5) 舗装の色は、経年的な変化はあるが、明度・色彩ともに低~中で華美な色彩ではなく、周辺と調和しやすい。夏期の温度低減効果は10℃程度で、保水性能もある。したがって、一般的な土系舗装と同程度の性能を

有している。

今回使用した樹脂によって、これまで耐久性の面から適用できなかった場所に土系舗装を施工することで、景観性・環境性の向上に寄与できれば幸いである。

最後に、樹脂の製造および検証にご協力いただいた三光株式会社の関係者に深く感謝いたします。

<参考文献>

- 1) 土木研究所：土系舗装ハンドブック歩道用、p.1、大成出版社、2009.8
- 2) 川上篤史：土系舗装の種類と特徴、舗装(質疑応答)、pp.14~15、2013.1
- 3) 西澤ほか：樹脂系混和材料を用いたセメントペースト・土系舗装材の基礎検討、大林組技術研究所報(83)、2019
- 4) 日本工業規格：JISA 1216 土の一軸圧縮試験方法、2020
- 5) 社団法人セメント協会：JCAS L-01 セメント系固化材による改良体の強さ試験方法、2006.3
- 6) 青木ほか：固化材に特殊樹脂乳剤を使用した土系舗装、土木学会第65回年次学術講演会 V-030、2010.9
- 7) 樋口ほか：土系混合物の寒冷地歩道への適用、第11回北陸道路舗装会議 B-8、2009.6
- 8) 大嶋ほか：セメント・フォームドアスファルトを用いた土系舗装の車道への適用性検討、第28回日本道路会議 32P02、2009.10
- 9) 土木研究所：土系舗装ハンドブック歩道用、p.16、大成出版社、2009.8
- 10) 社団法人日本道路協会：舗装設計便覧、p43、2006.2
- 11) 社団法人日本道路協会：舗装設計便覧、p80、2006.2
- 12) 社団法人日本道路協会：舗装性能評価法別冊一必要に応じて定める性能指標の評価法編一、p42、2008.3

高耐久性アスファルト混合物「タフアスコン」の高速道路 PA への適用事例

荒尾 宥人*
 狩野 圭介**
 野口真早人***

1. はじめに

「小田原厚木道路(特定更新等)小田原管内舗装補修工事(2019年度)」の中で、PAの駐車ますにおいて、高耐久性アスファルト混合物を使用した切削オーバーレイによる補修を行った。元々の設計は半たわみ性舗装であったが、年度内に工事を終わらせなければならない時間的制約が厳しい案件であったので、半たわみ性舗装の代替としてNEXCOで施工実績のある他社製品の高耐久性アスコン(HSアスコン)の施工を行うことになった。

当社で高耐久性アスコンとして開発を進めてきた「タフアスコン」は、これまでに混合物性状、性能および施工性について検証してきた。今後、当該技術を幅広く展開していくためには、現道における供用性の評価が必要であった。

そこで、NEXCOで多くの実績がある上記の他社製品と比較しながら、主にその供用性能(耐久性)について検証するとともに、NEXCOにも適用できる技術の確立を図る目的で、供用中の高速道路パーキングエリアで大型車が頻繁に走行する箇所において、タフアスコンの試験施工を実施した。本文は、その試験施工の概要を報告するものである。

2. 試験施工概要

試験施工概要を以下に示す。

- ・試験施工箇所：東名高速道路中井PA(上り)(図-1参照)
- ・施工日：令和3年3月19日(金)
(NEXCOから試験施工場所の提供)
- ・試験施工内容(図-2参照)
 タフアスコン 130m² HSアスコン 130m²



図-1 施工箇所

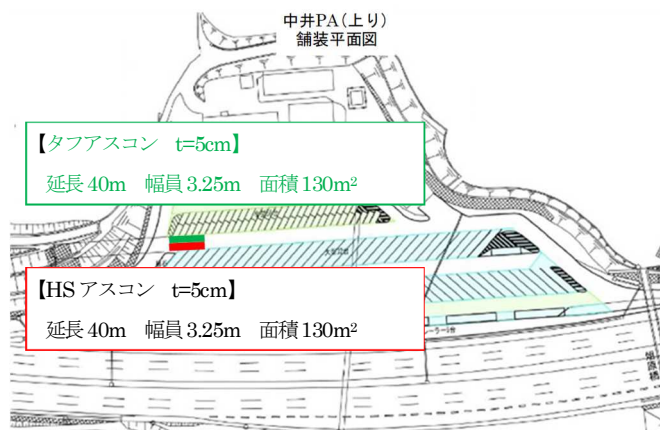


図-2 試験施工内容

3. タフアスコンとは

3-1 タフアスコンの概要

タフアスコンは、ポリマー改質アスファルトⅡ型を使用した混合物に特殊添加剤を加えることで、耐流動性、耐油性、ねじり抵抗性および静荷重抵抗性を向上させたアスファルト混合物である。アスファルト混合所での混合時、ミキサに特殊添加剤を投入して製造する。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等である。

3-2 タフアスコンの特長

タフアスコンの特長を以下に示す。

- ・優れた耐流動性
- ・優れた耐油性
- ・優れたねじり抵抗性
- ・優れた静荷重抵抗性
- ・良好な施工性

3-3 適用箇所

- ・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
- ・工場や倉庫など、油漏れによる舗装の早期破損が懸念される箇所
- ・交差点部やフォークリフトによるねじりが頻繁に起きる箇所

3-4 タフアスコンの配合


(1) ベース混合物および特殊添加剤

タフアスコンは、各アスファルト混合所で出荷している改質Ⅱ型アスコンをベースとし、特殊添加剤をアスファルト量の15%(外割)加えることで、高い耐久性を付与する

*関東支店横浜営業所 **同営業所工事長 ***同営業所工事主任

ことができる。混合物の混合温度および締固め温度は、使用するポリマー改質アスファルトⅡ型の推奨温度とする。特殊添加剤の概要を表-1に示す。

表-1 特殊添加剤の概要

項目	性状
分類	熱可塑性樹脂
形状	粉末状(1mm程度)
色	白色
密度	0.928g/cm ³
外観	

実際に出荷する際は、ベースの改質Ⅱ型アスコンに特殊添加剤を加えた混合物の室内試験を実施し、表-2に示す混合物性状の目標値を満足するか確認する必要がある。

表-2 混合物性状の目標値

ベース混合物	密粒度アスコン (13)&(20)	
	ポリマー改質アスファルトⅡ型	目標値
項目		
空隙率 (%)		2~6
安定度 (kN)		10以上
油浸後残留安定度 (%)		75以上
動的安定度 (回/mm)		10,000以上

4. 室内試験結果

使用材料を表-3に示す。

表-3 使用材料

材料名	材質	生産地	製造場所
5号砕石	硬質砂岩	西多摩郡奥多摩町	㈱昭和石材工業所
6号砕石			
7号砕石			
砕砂	硬質砂岩	八王子市美山町	菱光石灰工業㈱
細目砂	洗砂	君津市久留里大谷	千葉砂礫工業㈱
石粉	炭酸カルシウム	西多摩郡奥多摩町	奥多摩工業㈱
アスファルト	ポリマー改質アスファルトⅡ型	横浜市南区中村町	東亜道路工業㈱
特殊添加剤	熱可塑性樹脂		-

決定配合および混合物性状を表-4に示す。

5. 試験施工

5-1 舗装構成

タフアスコンおよびHSアスコンは、厚木アスコン(東亜道路工業㈱)から出荷した。HSアスコンでは、改質アスファルトⅢ型を使用した混合物を基層に用いることになっており、同条件で比較するため、タフアスコンの基層も基層用混合物(改質アスファルトⅢ型)とした。

表-4 決定配合および混合物性状

骨材配合率 (%)	5号砕石	19	
	6号砕石	25	
	7号砕石	11	
	砕砂	26	
	細目砂	13	
	石粉	6	
アスファルト		ポリマー改質アスファルトⅢ型	
通過質量百分率 (%)	ふるい目	合成粒度	拉度範囲
	26.5mm	100.0	100
	19	99.1	95~100
	13.2	82.2	75~90
	4.75	56.6	45~65
	2.36	42.3	35~50
	600μm	27.3	18~30
	300	18.5	10~21
	150	8.6	6~16
	75	5.6	4~8
項目	試験値	社内規格値	
最適アスファルト量 (%)	5.2	-	
特殊添加剤量 (wt%)	Asに対して外割15wt%	-	
密度 (g/cm ³)	2.391	-	
理論最大密度 (g/cm ³)	2.452	-	
空隙 (%)	2.5	2~6	
安定度 (kN)	16.0	10以上	
油浸後残留安定度 (%)	77.2	75以上	
動的安定度 (回/mm)	21,000	10,000以上	

タフアスコンおよびHSアスコンの舗装構成を図-3に示す。両者ともt=10cmの2層切削オーバーレイである。

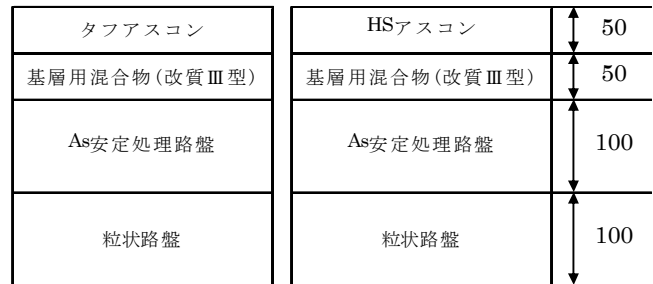


図-3 舗装構成

5-2 タフアスコンの製造手順

タフアスコンは、通常のアスファルト混合物と同様にアスファルト混合所で製造する。タフアスコンの製造条件を表-5に、製造手順を図-4に示す。

特殊添加剤はドライ混合時にミキサに投入する。特殊添加剤をムラなく分散させるため、通常のアスファルト混合物よりも混合時間を長くしている。混合温度は、使用するポリマー改質アスファルトⅡ型の推奨温度に準じる。

アスファルト混合所から舗設現場までの運搬は、通常のアスファルト混合物と同様にダンプトラックで行う。

表-5 製造条件

項目	条件	
混合時間	ドライ	25秒
	ウェット	45秒
混合温度	使用アスファルトの推奨温度	
特殊添加材投入時期	ドライ混合時	

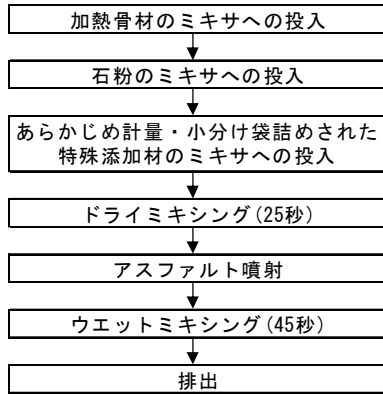


図-4 タフアスコンの製造手順

5-3 施工手順

施工フローを図-5に示す。

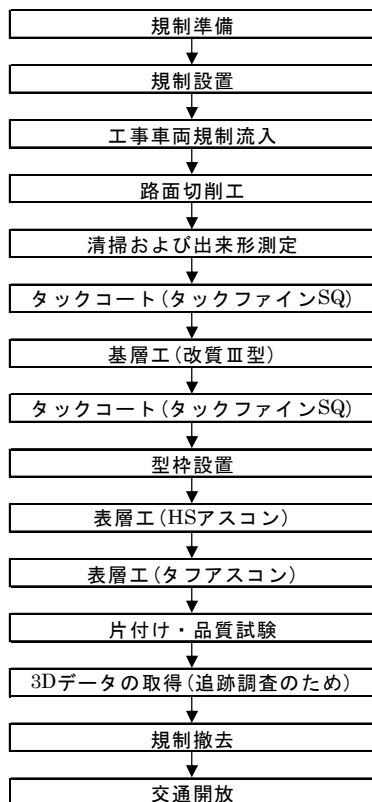


図-5 施工フロー

HSアスコンの施工状況を写真-1に、タフアスコンの施工状況を写真-2、3に示す。



写真-1 HSアスコン施工状況



写真-2 タフアスコン施工状況



写真-3 タフアスコン施工状況

タフアスコンおよび HS アスコン両者の全景を写真-4に示す。



写真-4 全景

両者とも通常のアスファルト舗装と同様であり、施工性の違いは見られなかった。

出荷混合物の性状試験結果を表-6に示す。

マーシャル特性値によれば、安定度に差はなかったが、水浸残留安定度は、タフアスコンのほうがよかった。耐油性は、HSアスコンの性状のほうがよかった。耐流動性は、タフアスコンのほうがよかった。破断時の曲げ強度は、タフアスコンのほうがよく、破断時の曲げひずみは同等であった。これらの結果から、後発品のタフアスコンは、他社

の高耐久型アスコンと遜色ないものと思われる。

供用3カ月後(雨天)の全景と近景を写真-5、6に示す。

6. まとめ

タフアスコンは、通常のアスファルト舗装と同様な施工性である。また、試験結果から他社高耐久型アスコンと遜色ないものと考えられる。

舗設完了後、3次元点群データを取得しているため、供用後の耐久性を検証していきたい所存である。

表-6 出荷混合物の性状試験結果

項目		試験値		社内目標値	
		タフアスコン	HSアスコン	タフアスコン	
混合物の種類					
マーシャル特性値	かさ密度 (g/cm ³)	2.377	2.397	—	
	理論最大密度 (g/cm ³)	2.452	2.470	—	
	空隙率 (%)	3.1	3.0	2~6	
	安定度 (kN)	19.8	20.7	10以上	
	フロー値 (1/100cm)	36	17	—	
	水浸残留安定度 (%)	89.2	69.1	—	
耐油性	油浸後質量損失率 (%)	0.1	0.2	—	
	油浸後残留安定度 (%)	77.6	98.1	75以上	
耐流動性	かさ密度 (g/cm ³)	2.4	2.4	—	
	締固め度 (%)	100.2	100.0	100±1	
	動的安定度 (回/mm)	①	12,600	9,000	10,000以上
		②	10,500	9,000	
たわみ性	破断時の曲げ強度 (N/mm ²)	12.02	9.76	—	
	破断時の曲げひずみ	3.30	3.62	—	



写真-5 全景

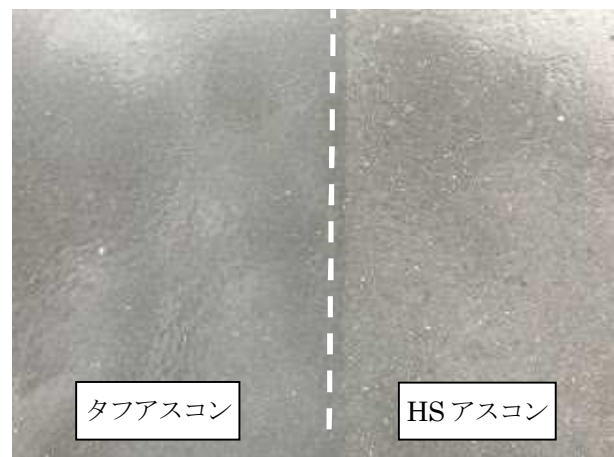


写真-6 近景

特殊車両が通行する工場内における「タフアスコン」の施工事例

丸山 大輔*

1. はじめに

大型車の標準接地圧よりも大きい特殊車両(接地圧1.0MPa)が通行する新築工場の現場で、当初設計では建屋の周囲全面がコンクリート舗装で設計されていた。しかし、隣接する道路は、既存工場との共有であるので、養生期間を必要としない舗装に変更をしたいとの要望があった。また、工事費が低減できる舗装の提案を求められ、高耐久性アスファルト混合物(タフアスコン)を施工した。

本文では、タフアスコン採用の経緯および施工について報告する。

2. 工事概要

工事概要は、以下に示すとおりである。

- ・工事名：(仮称)某産業団地工場新築工事
- ・主な工事内容：タフアスコン舗装 2,507m²
アスファルト舗装 4,426m²
コンクリート舗装 1,363m²

3. 「タフアスコン」の概要

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加えることで耐流動性、耐油性、およびねじり骨材飛散抵抗性を向上させ、半たわみ性舗装に準じた性能・耐久性を有する舗装材である。アスファルトプラントでの混合時、ミキサに特殊添加材を投入して製造する。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。

4. タフアスコン採用の経緯

4-1 電動搬送台車

当該工場は汚泥・吸引車を製造する会社であるの

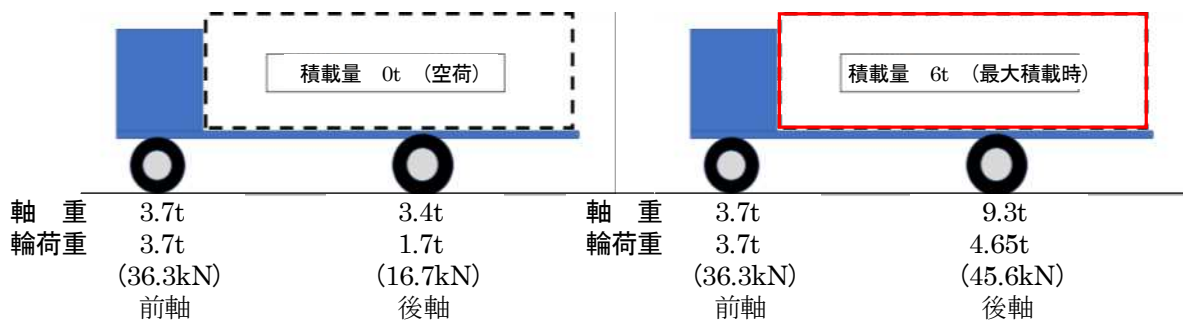


図-1 電動搬送台車の輪荷重

で、組立てに使用する各部材を「電動搬送台車(三輪車)」(写真-1参照)で運搬する計画となっていた。



写真-1 電動搬送台車

4-2 必要T_Aの算出

表-1に示すように特殊電動搬送台車、ならびに他の車両の通行回数から累積49kN換算輪数を求めて検討した。

電動搬送台車の輪荷重の正確な重量配分率は不明であったので、図-1に示すような概略値を採用した。

計算から求めた結果、信頼度90%で必要T_A=9.3cmとなった。

表-1 車両の総重量と通行回数

車種	総重量	通行回数
電動搬送台車	13t	10回/日
大型トレーラー	43t	1回/年
小型2tトラック	6t	10回/日
中型4tトラック	8t	10回/日
大型16tトラック	25t	2回/日

累積49kN換算輪数=19(輪/日)、設計CBR=20
疲労破壊輪数=19×365(日)×10(年)=69,350輪
必要T_A=3.84N^{0.16}/CBR^{0.3}=9.3cm

*四国支店愛媛営業所工事主任

4-3 各種舗装の比較

当初は、舗装構成の比較表(表-2)に示すように、東亜道路工業㈱の高耐久性アスコン(HSアスコン)、ニチレキの高耐久性アスコン(コンテナファルトスーパー)、他にも半たわみ性舗装を挙げて比較検討をしていたが、コスト面で折り合いがつかない状況であった。その時期に当社のタフアスコンの情報を入手し、適用の可否、およびVE提案の検討を行った。

工事金額、施工性および工期を踏まえて、最終的にタフアスコンに決定した。

舗装選定時の留意点として、常時、同じ輪跡部を通過する建屋の出入口の箇所(シャッター出入口部)では、より高い耐久性を有する必要があるため、当初設計のコンクリート舗装とし、それ以外の範囲は輪跡部が分散することから、タフアスコンでも問題がないものと判断した。

表-2 舗装構成の比較表

項目	設計断面	タフアスコン	高耐久性アスファルト舗装
舗装断面	Co舗装 t=200 Fc=24N/mm ²	TA=15cm 高耐久性As舗装※ t=50 密粒度As(改質Ⅱ型) t=50	TA=15cm 高耐久性As舗装※ t=50 高耐久性As舗装※ t=50
	RC-40 t=150	RC-40 t=200 ※タフアスコン	RC-40 t=200 ※ニチレキコンテナファルトスーパー
施工性	Co舗装施工後、1週間の養生が必要 鉄筋組立て作業あり 目地の施工あり	As層が2層施工 (通常のAs舗装と同様の施工方法)	As層が2層施工 (通常のAs舗装と同様の施工方法)
	相対評価 △	相対評価 ◎	相対評価 ◎
耐久性	供用による目地欠けや角欠けが懸念される	静荷重抵抗性の評価では、半たわみ性舗装よりも劣るものの密粒改質Ⅱ型よりも強い 路床以下の圧密沈下によって、構造物際に段差が生じる可能性がある たわみ追従性が低く、長期的には疲労ひび割れが生じる可能性がある	各地のコンテナヤードで接地圧0.9MPaに耐えうる実績あり 路床以下の圧密沈下によって、構造物際に段差が生じる可能性がある たわみ追従性もあり、疲労ひび割れが生じにくい
	相対評価 ◎	相対評価 △	相対評価 ○
維持管理性	軽微な補修(目地注入、ひび割れ注入など)は容易であるが、打換え補修の場合、大規模になり工期が長い	密粒アスコン改質Ⅱ型がベースであり、小規模打換えの場合、材料調達が可能である	特殊アスファルト混合物を使用するので、小規模打換えの場合、材料調達が困難である
	相対評価 △	相対評価 ◎	相対評価 △
経済性	1.00	0.86	0.98
	相対評価 ○	相対評価 ◎	相対評価 ○
総合評価	○	◎	○

4-4 定例会におけるプレゼンテーション

タフアスコンの概要や利点について、定例会で説明する機会を得ることができた。施主に直接、説明することができ、タフアスコンについて納得してもらおうとともに、高い評価を得ることができた。

特に当該現場は、自動車の組立て工場であるので、場内に乗入れた車両のオイル等の漏出には苦慮しており、アスファルト舗装であるにもかかわらず、高い耐油性を有するタフアスコンについて興味を示していた。

追加した。

予備的にOACを中心にアスファルト量を0.5%刻みに5種類変化させ、性状試験によってタフアスコンのOACを決定した。

表-3 混合物性状

項目	目標値
空隙率 (%)	2~6
マーシャル安定度 (kN)	10以上
油浸後質量損失率 (%)	75以上
動的安定度 (回/mm)	10,000以上

5. 配合設計および試験練り

5-1 配合設計

配合設計は「タフアスコン技術資料」に準じて行った。密粒度アスコン(13)(改質Ⅱ型)の最適アスファルト量(以下、OAC)に特殊添加材を外割りで15%

5-2 試験練り

プラント製造時の配合、製造条件および混合物性状を確認するために試験練りを実施した。試験練りのホットビン合成粒度を表-4に、混合物性状試験結果および目視評価結果を表-5、6に示す。

混合温度は施工時期が3月下旬であったので、180℃に設定した。

表-4 合成粒度(試験練り)

ふるい目 (mm)	通過質量百分率 (%)	
	粒度	目標値
19	100	100
13.2	99.3	95~100
4.75	63.4	55~70
2.36	42.6	35~50
0.6	23.4	18~30
0.3	15.1	10~21
0.15	8.7	6~16
0.075	5.2	4~8

耐流動性の評価は、ホイールトラッキング試験で行ったが、動的安定度は高く目標値を満足していた。

耐油性は、油浸条件後のマーシャル安定度と標準マーシャル安定度の比である油浸残留安定度で評価した。油浸条件では、マーシャル試験用供試体を20℃で灯油に48時間浸漬した後、12時間20℃で乾燥させたが、油浸した供試体の表面はアスモル分の損失もなく良好な状態を呈していた。

表-5 目視評価結果(試験練り)

温 度		結 果
温度は適当か	目標温度(℃)	180
	実測温度(℃)	182.7
	温度範囲(℃)	170~190
排出時に青い煙が発生していないか		なし
排出後、混合物から湯気が出ていないか		なし
粒 度		
粒度は適当か		OK
混合物が不均一ではないか		OK
アスファルト量		
混合物がギラついていないか(アスファルト量過多)		なし
混合物がバサついていないか(アスファルト量過少)		なし
混合物にツヤがあるか		OK
混合状態・その他		
粗骨材にアスファルトの被膜が不十分でないか		OK
混合ムラがないか		OK
混合物表面に微泡が発生していないか(水分の有無)		OK
塊が混入していないか		OK

表-6 混合物性状(試験練り)

項 目	試験値	目標値
空隙率 (%)	3.2	2~6
マーシャル安定度 (kN)	21.02	10以上
油浸後質量損失率 (%)	78.6	75以上
動的安定度 (回/mm)	31,500	10,000以上



写真-2 油浸後の供試体比較

6. 本施工

(1) 施工日および使用機械

- ・ 施 工 日：2021年3月26、27日、4月5日
- ・ 使用機械：通常のアスファルト舗装と同様
アスファルトフィニッシャ6.0m級
マカダムローラ
タイヤローラ、
4tコンバインド式振動ローラ

(2) 舗設温度

初転圧前の温度は、改質II型と同様の温度で管理を行なった。初日の舗設時には、摺付け舗装の撤去後に乳剤を散布したり、鉄板を移動するのに手間取った。そのため、1台目のダンプは出荷から130分後に保温シートをめくることになったが、到着温度は172℃(目標温度170℃)で問題がなかったため、舗設を開始した。温度低下もなく、舗装表面のキメや施工性にも問題がなく良好に仕上げることができた。

(3) 人力施工

外構工事ということで、“駐輪場の周囲”や“門扉と道路の間”など、大型の舗設機械が入らない狭小部があり、人力施工となった。このような箇所では、タフアスコンは通常合材に比べて、施工性の低下が懸念された。しかし、実際に舗設をしてみると、レーキやスコップの作業にはまったく問題がなく、ハンドガイド式振動ローラ(1t)や振動コンパクトによる締固めも良好であった。

ガスバーナーによる加熱も問題なく、良好な仕上がりを呈していた。また、背取り台による4tダンプトラックへの移し替えによる施工も行なったが、連続施工ができる分についてはまったく問題がなかった。しかしながら、温度が低下すると混合物の硬化が顕著となるので、待機しているダンプの保温シートをめくるタイミングには注意を要した。

7. おわりに

非常に工期が厳しい現場であることから、タフアスコンの舗設中にも他工事車両の搬入出が頻繁に行

われていた。また、冒頭にも記載したように、隣接する既存工場との共有道路の制約などを受けた当該現場にとって、半たわみ性舗装に準ずる性能を確保しながら、セメントミルクの注入や養生が不要なタフアスコンによって工期短縮を実現できたことは、

非常に有益であり、元請の要望にも応えることができた。

工事の施工にあたり、ご指導、ご協力頂いた四国支店、技術研究所、および本店の関係者の皆様に感謝の意を表したい。



写真-3 人力による施工状況



写真-4 完成状況

ミニ知識(車種分類と軸重分配)

車種分類 ^{※)}	記号	軸重分配(%)				
		1軸目	2軸目	3軸目	4軸目	5軸目
軽自動車	G	50.2	49.8			
乗用車						
貨客車						
小型トラック	ST	23.9	76.1			
ロングボディトラック	MT	19.6	80.4			
中型トラック						
大型トラック	LT	14.1	54.8	31.1		
大型トラック1-2						
大型トラック2-1						
大型トラック2-2	LD	11.7	44.3	44		
ダンプ1-1						
ダンプ1-2						
大型ミキサ						
大型ミキサ1-2	TR	13.7	54.2	32.1		
大型タンクローリー1-1						
大型タンクローリー2-1	TT	6.4	18.5	18.3	29.4	27.3
セミトレーラー3軸以上						
フルトレーラー3時以上	BS	37.1	62.9			
マイクロバス						
中型バス						
大型バス						

※) 国総研資料第2539号 限界状態設計法における設計活荷重に関する検討

特殊形状を有する鋼床版におけるeグースの施工

亀井 彰吾*
 瀬川 優太**
 末田 修嗣***

1. はじめに

本文は、高知南国道路高知中央ICと高知南IC間の連続橋梁区間に位置する絶海池第1橋において、特殊形状を有する鋼床版部で実施した改質グースアスファルト混合物(以下、eグース)の施工について報告するものである。第3章で詳しく述べるが、鋼床版の特殊形状とは、鋼板の継手が通常の“突合せ継手”ではなく、“重ね継手”となっている鋼床版の構造を指す。

2. 工事概要

工事概要は、以下に示すとおりである。

- ・工事名：高知南国道路舟入川橋外舗装工事
- ・施工場所：高知県高知市吸江～高須
- ・工期：令和2年3月27日～12月21日
- ・橋梁種別：コンクリート床版6橋、鋼床版1橋
- ・施工延長：L=1,420m

【改質グースに関わる部分】

- ・鋼床版部：L=181m、W=9.25～9.33m
- ・施工面積：A=1650m²
- ・施工日：10月7、13および14日
- ・横断勾配：i=2.0～5.0%、縦断勾配：i=1.1%
- ・標準断面：図-1参照
- ・舗装構成：図-2参照

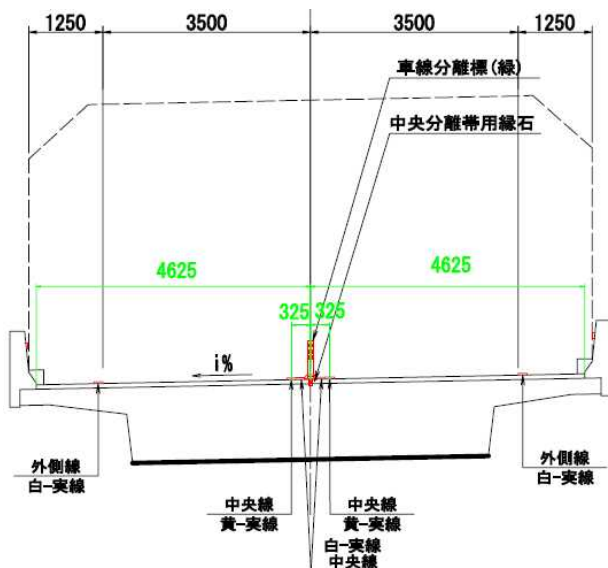


図-1 標準断面図

表層		40mm
基層		40mm
鋼床版	ポーラスアスファルト混合物 (13)	
	タックコート (PKR-T、0.4L/m ²)	
	改質グースアスファルト混合物	
	素地調整 (4種ケレン)・接着剤	

図-2 鋼床版部の舗装構成

3. 鋼床版舗装の概要

3-1 鋼床版の形状および基層厚さ

鋼床版継手の形状は、鋼板同士を突き合わせて添接板で固定する“突合せ継手(図-3参照)”が一般的である。しかし、当該床版の路肩部は、幅員の確保および継手部の補強のために、両側に張り出した鋼板を上重ねた形状の“重ね継手(図-4参照)”であった。



図-3 鋼床版の突合せ継手

*四国支店香川営業所工事主任 **同営業所 ***同支店工事部機械課主任

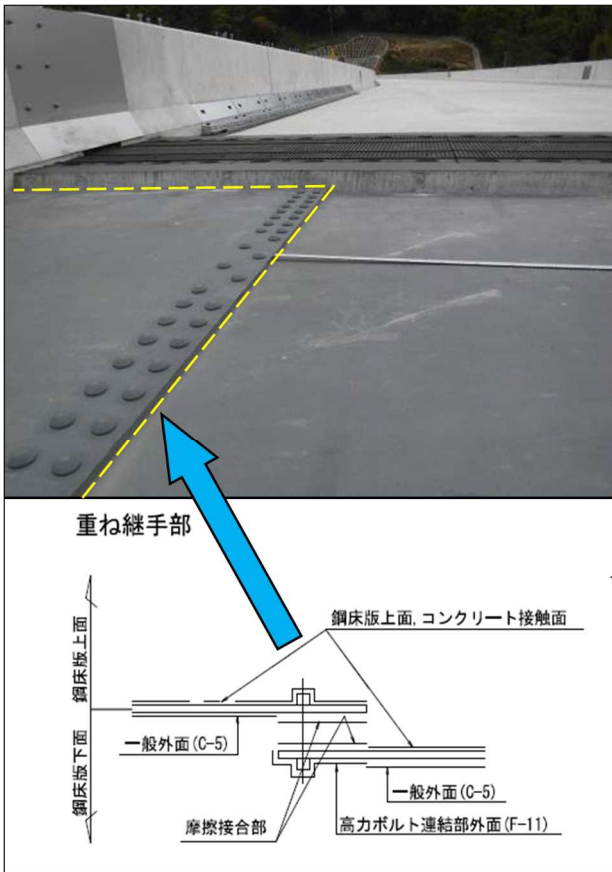
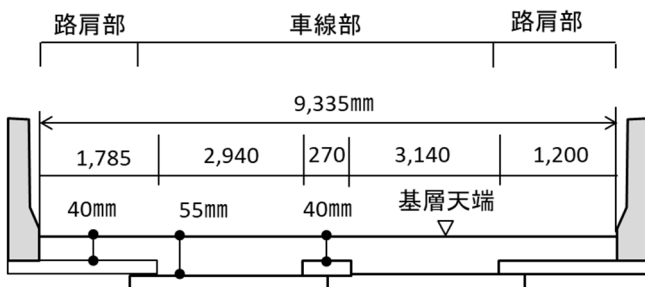


図-4 鋼床版の重ね継手

この床版形状によって基層の厚さは、図-5に示すように車線部と路肩部で舗装厚が異なり、車線部では55mm路肩部では40mmとなり、路肩部のボルトの上部では20mmとなる箇所もあった。



※ボルトの上部では $t \cong 20\text{mm}$ の箇所あり

図-5 鋼床版上の基層の厚さ

3-2 協議事項

当該工事では、鋼床版舗装の施工にあたり、以下に示す3つの協議を事前に行い、施工に臨んだ。

(1) 通常グースからeグースへの変更

当初設計では基層が通常のグースアスファルト混合物(以下、通常グース)であったが、以下に示すeグースの優位性をアピールすることによって、変更(承諾)が認められた。

【eグースの優位性】

- ・材料調達が容易であり、工程の変動に対応可能
- ・耐久性が優れる
(動的安定度：約2倍、疲労抵抗性：約10倍)
- ・施工温度、臭気レベルが低く周辺環境に優しい
- ・施工費が通常グースと同程度

(2) ケレン種別

通常、鋼床版のケレン種別は鋼床版の状態(錆、汚れ等)によって、第1種から第4種のなかで決定する。当該工事は新設橋梁であり、比較的良好な床版状態であったが、文献調査によって鋼床版の錆止めペイントが将来的にプリスタリング等の損傷に繋がる可能性があったので、第1種ケレンを提案した。しかし、地方部特有の交通量の少なさ、他工区との整合性、過去の実績、予算上の観点などからこの提案が認められず、当初設計通りの第4種ケレンとなった。

(3) 施工時期

7月末に通常グースを施工した隣接工区において、夏期の高温とグース混合物の熱による影響で鋼床版が膨張し、写真-1に示すような伸縮装置が閉合する事象が生じた。このような場合、伸縮装置の破損に繋がる可能性が大きい。

当該工事においても同様の事象が懸念されたので、施工時期を8月から10月へと協議・変更した。



写真-1 伸縮装置の閉合による目地材の盛上がり

3-3 課題

当該工事での主な課題は以下の2点であった。

(1) 急勾配箇所での平坦性の確保

当該箇所の横断勾配は、起点側の2.0%(片勾配)から、途中クロソイド緩和曲線が入り、曲率半径 $R=600\text{m}$ の単曲線に移行して、最大5.0%まで変化する区間であった。この横断勾配によるeグースのダレと、および基層の舗設厚さの違いによるダレや盛り上がりによって、横断的な平坦性が悪くなる懸念された。

(2) eグースの品質確保

eグースには、バインダにポリマー改質アスファルトII型と特殊添加材(SBS)を用いるので、高温での

長時間クッキングによって変質し耐久性が低下する可能性がある。そのため、品質確保のためのタイムスケジュール管理および温度管理が重要であった。

3-4 対策

(1) 急勾配箇所での平坦性の確保

試験練りと同時に、高知りょうまアスコン敷地内で試験施工を実施した。試験施工ヤードには現場の最大横断勾配 (i=5%) と添接板の段差等を再現した鉄板を設置し(写真-2参照)、eグースの舗設を行った。

想定していたダレがみられたが、フィニッシャの速度を1.0m/minまで低下させ、さらにフィニッシャの後部に設置した送風機で敷きならし後の混合物に風を送り、混合物温度の低下を促進することで若干の改善がみられた。また、4tタンデムローラの転圧によってダレの修正を試みたが、鉄板の段差が表面に浮かび上がり、逆に平坦性を損ねる結果となった。これについては、ローラを質量の小さいハンドガイド式振動ローラに変更し、転圧温度を管理することによって改善できると判断した。

この試験施工を実施したことで、フィニッシャの速度や送風機の効果、ローラの転圧方法等を確認でき、本施工での平坦性確保のための対策内容を決定することができた。また、グース舗装が初めてだった作業者に施工手順や作業方法の習熟を図ることができた。



写真-2 試験施工時の鉄板設置状況

(2) eグースの品質確保

eグースの品質確保のため、クッキング時間を1.5～2時間と設定し、1日当たりの施工量に対して、クッカ車への積込み時間、現場までの運搬時間、荷下ろし・敷きならし時間等を考慮して、連続施工となるようにクッカ車台数を6台×2廻りと設定した。また、運搬中も加熱可能な電気加熱式のクッカ車を全台配備し、運搬中の非加熱ロスを排除した。さらに、施工現場ではリュエル流動性試験の要員を専属で配置し、品質管理(温度、施工性)を確実に実施した。

4. eグースの施工

4-1 配合設計

eグースの配合設計を当社独自の方法で行った。eグースの配合を表-1に、混合物性状を表-2に示す。

表-1 eグースの配合

合成粒度	骨材配合割合 (%)				As量※ (%)	合計
	6号碎石	7号碎石	粗砂	石粉		
中央粒度	21.1	18.3	25.7	26.6	8.3	100

※ポリマー改質アスファルトⅡ型：特殊添加材=95：5

表-2 eグースの性状

項目	測定値	規格値 (目標値)
リュエル流動性 220℃ (sec)	15.2	3~20
貫入量 40℃ (mm)	2.57	1~6
動的安定度 60℃ (回/mm)	594	300以上 (600程度)
曲げ破断ひずみ -10℃ (×10 ⁻³)	8.3	8.0以上

4-2 施工

(1) 素地調整およびプライマーの塗布

床版の素地調整は4種ケレンであるので、ブロー等を使用して清掃を行い、局所的な発錆箇所や汚れの著しい箇所については、サンダーやワイヤーブラシで研掃を行った。その後、プライマーの塗布および端部成形目地の設置を行った。清掃・研掃状況を写真-3に、発錆箇所の研掃状況を写真-4に、およびプライマー塗布の完了状況を写真-5に示す。

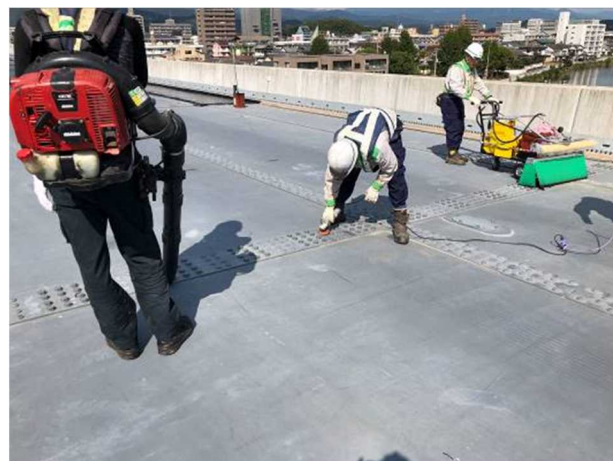


写真-3 清掃および研掃状況(人力)

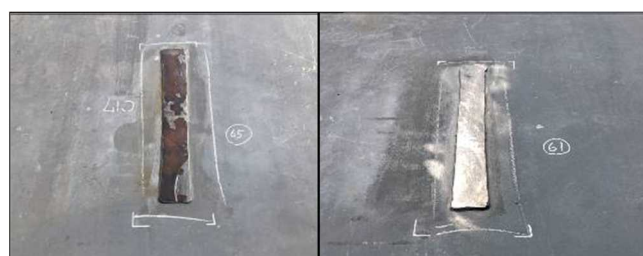


写真-4 発錆箇所の研掃状況



写真-5 プライマー塗布の完了状況

(2) 型枠設置

マグネットで型枠を固定し、添接版の上では木材を加工して天端の高さを合わせた(写真-6、7参照)。施工中は型枠のズレもなく良好な状態を維持していた。



写真-6 型枠の固定状況

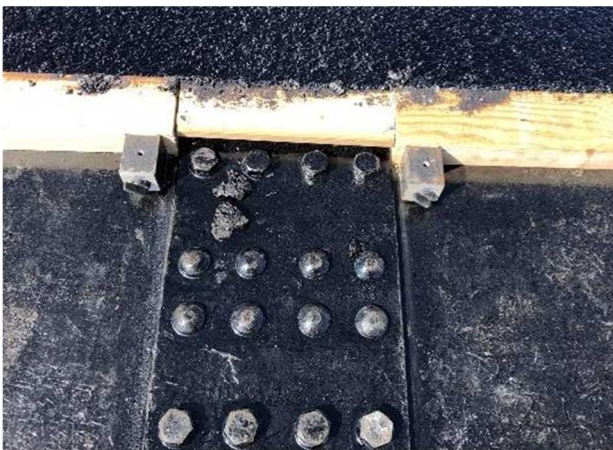


写真-7 添接版部の型枠設置状況

(3) 舗設および課題の対策による効果

舗設は3レーンに区分して、1日1レーンの施工とし3日間で行った。事前に検討したタイムスケジュールによって、フィニッシャがほぼ止まることなく連続施工ができた。また、試験施工によって決定したダ

レ対策(施工速度1.0m/min、送風機の設置、ハンドガイド式振動ローラによる転圧)によって、多少のダレは生じたものの、出来形に影響を及ぼすような形状にはならなかった。

3台毎に1回の間隔でリュエル流動性試験を実施し、目標値の15秒程度をすべて満足することができた。また、クッキング温度は所定の220℃、クッキング時間は最大2時間程度で荷おろしを完了することができた。さらに、自主管理として採取した供試体の動的安定度も884回/mmであり、目標値(600回/mm程度)を満足する結果となった。

5. 現場見学会

舗設最終日には、国土交通省職員等を対象とした現場見学会を開催し、土佐国道事務所等から43名の方が参加した。見学会は、現場休憩所内でのグースアスファルト舗装の基礎知識の講義とeグースの紹介(写真-8上)、舗設現場の見学(写真-8下)で構成し、eグースの有効性に対して理解を深めてもらうことができた。



写真-8 現場見学会の様子

6. おわりに

当該工事は、特殊な鋼床版形状と急勾配という、グースアスファルト舗装の施工には非常に困難な条件であったが、事前に対策を検討し、それを的確に遂行することによって、満足できる出来形・品質となった。

工事の施工にあたり、ご指導、ご協力頂いた四国支店、機械センター、技術研究所、および本店の関係者の皆様に感謝の意を表したい。

中温化材を用いた排水性舗装および長期保証工事の施工事例

有光 正和*
 瀬川 雄太*
 末田 修嗣**

1. はじめに

徳島南部自動車道は、四国8の字ネットワークの一部であり、広域道路ネットワークの形成や災害時の代替路線としての役割を担う道路である(図-1参照)。徳島臨海部では、高速道路整備に伴い工場立地件数が増加し、今後は徳島南部自動車道が産業拠点をつなぎ、更なる地域経済の活性化が期待される。当該現場は、沖洲IC～津田IC間のうち沖洲IC側の工区で、施工延長は1,050m(ON/OFFランプ含む)であった。

本文では、冬季施工における中温化改質アスファルトを用いた排水性舗装および長期保証工事について報告をする。

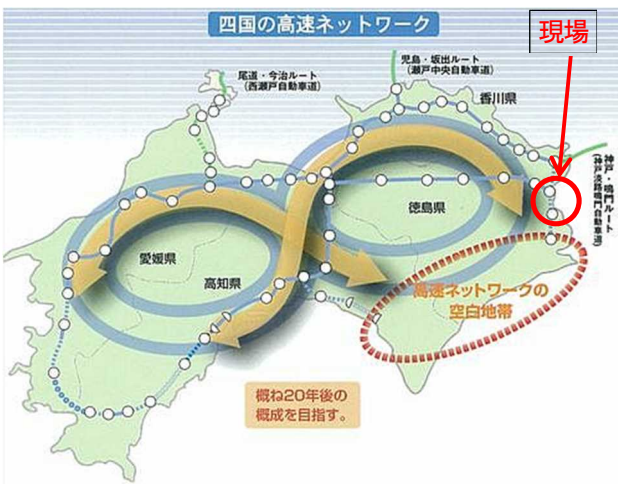


図-1 四国の道路ネットワーク計画

2. 工事概要

工事名：令和2年度横断道沖洲地区舗装工事

施工場所：徳島県徳島市東沖洲地内

発注者：国土交通省四国地方整備局

徳島河川国道事務所

工期：令和2年8月25日～令和3年3月30日

工種：橋面防水工

20,090m²(本線)、1,140m²(ランプ橋部)、

排水性舗装工 20,090 m²(本線)

アスファルト舗装工

1,740m²(土工部)、1,140m²(ランプ橋部)

今回の工事によって、当社工区の沖洲ICと隣接工区の津田ICの区間が供用開始となった。当該現場の北側には、NEXCO西日本が管轄をする沖洲IC～徳島JCTからも建設中で、令和3年度の開通を目指している。



図-2 位置図(google マップから引用・加工)

3. 中温化改質アスファルト

を用いた排水性舗装

3-1 採用に至るまでの経緯

(1) 現場の特徴

当該現場は、徳島県徳島市の東部の海岸線に位置しており、周囲には遮蔽物もなく開けた場所にある。



写真-1 現場施工範囲

(2) 気象条件

冬には西からの季節風や、紀伊水道からの海洋風が入りやすく、地形的な特徴もあり毎日のように強風が吹きつける場所であった。表層の舗設時期となる1月～2月の気象状態を把握するので、2016年から

*四国支店高知営業所 **同営業所工事主任

2020年の過去5年間の気象を調べた。その結果を下記に示す。

<1月>

最低気温の平均値は3.6℃、最高気温の平均値は10.7℃、平均気温の平均値は7.0℃、最大風速の平均値は6.4m/秒であり、それらの発生頻度は比較的、高いものであった。

<2月>

最低気温の平均値は3.6℃、最高気温の平均値は11.1℃、平均気温の平均値は7.1℃、および最大風速の平均値は6.5m/秒であり、1月と同じような気象であった。

グラフの記載はないが、3月になれば最高気温の平均値は15.1℃、最低気温の平均値は6.3℃となり、顕著な温度上昇であった。このように、比較的に温暖な四国地方にあっても、当該現場は、1月から2月にかけて厳しい気象環境であることを改めて確認することができた。

図-7は、1月の最高気温の平均値に近い日を抽出し、1時間ごとの気温を示したものである。最高気温に達するまでの温度上昇は鈍く、午前中は特に低い温度域での施工を余儀なくされた。

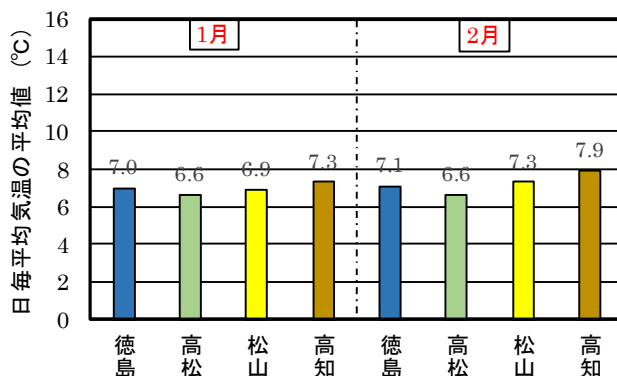


図-5 日毎の平均気温の平均値

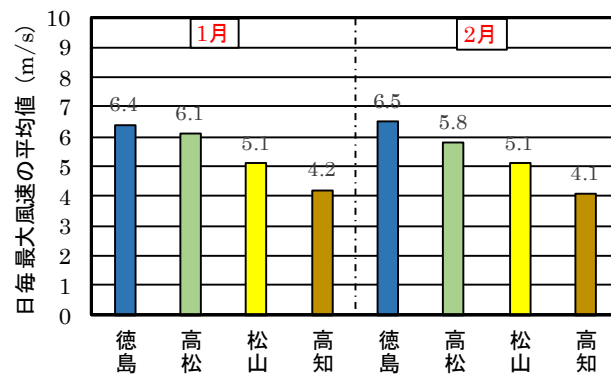


図-6 日毎の最大風速の平均値

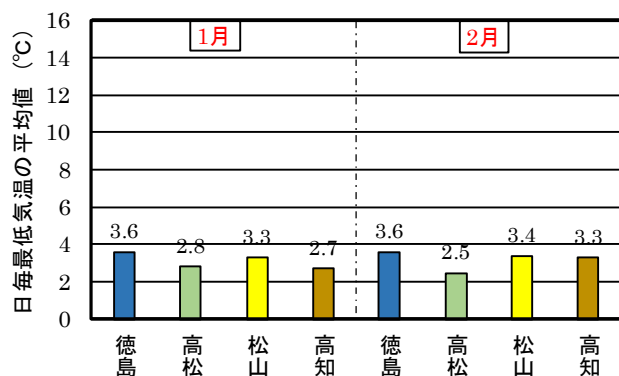


図-3 日毎の最低気温の平均値

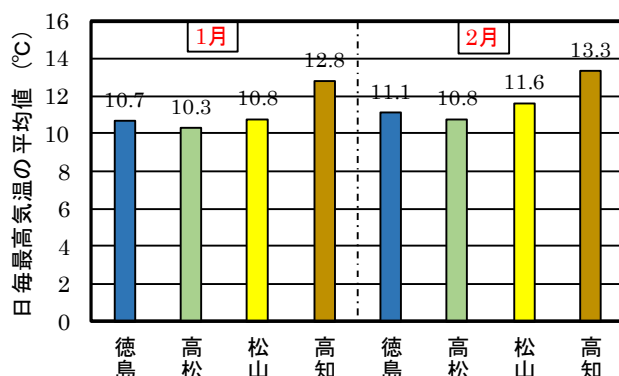


図-4 日毎の最高気温の平均値

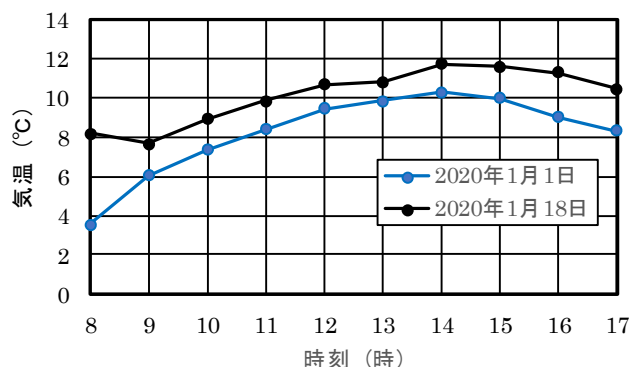


図-7 1時間ごとの気温の推移

3-2 使用アスファルト

(1) 使用アスファルトの特長と採用理由

排水性舗装に用いるアスファルトは、通常、ポリマー改質アスファルトH型を用いる。しかし、前述した内容を踏まえて施工性改善を目的とするため、今回はニチレキの中温化H型バインダ『クリーンアスファルトH型』を使用した。

その特長と採用理由を以下に示す。

【特長】

- ①混合物製造時のCO₂排出量を削減できる
- ②混合物の製造温度を約30℃低減できる。
- ③通常の改質アスファルトH型と同等の混合物性状が得られる。
- ④通常の改質アスファルトで使用する機械編成で施工ができる。

⑤プレミックスタイプであるので、混合物製造時の手間が省略できる。

⑥寒冷期の施工性改善に効果を発揮する。

【採用理由】

舗設時期の気温が低い時期であることや、風の影響を受けやすいことから、ポリマー改質H型を用いた混合物では著しい温度低下が懸念された。

そこで、クリーンファルトH型を用いることによって、温度低下による施工性を改善しながら、適切な密度を得ることができる本製品を使用することとした。

(2) 混合温度

推奨されている混合温度は、表-1に示すとおり135～175℃であるが、これは中温化も加味した温度である。今回の現場では施工性改善を目的としていること、また、冬期であることを考慮し、混合温度の範囲を160～180℃(目標温度170℃)に設定した。

試験練りの際には、1t振動ローラで159℃と125℃の2種類で転圧を行い、双方の表面状態を目視で確認したが、良好な状態を呈していた。

表-1 混合物の製造および施工条件

製造条件	骨材温度	135～180℃
	バインダ温度	150～175℃
	混合温度	135～175℃
施工条件	敷きならし温度	120℃以上
	初転圧温度	110℃以上
	二次転圧温度	70～90℃

3-3 本施工

(1) 機械編成

機械編成はアスファルトフィニッシャ、マカダムローラおよびタイヤローラであり、ジョイント前後などには4tタンデムローラを使用し、通常と同じ機械編成で施工した。

(2) 合材の出荷温度および到着温度

出荷および到着温度ともに170℃程度であった。

(3) 初転圧前温度

図-8に示すように、データ上では120℃まで低下した場合でも、締固め度は通常とほぼ変わらない値を示しているが、施工性改善のために通常と同様の初転圧前温度である160℃を目標とした。

(4) 二次転圧温度

表面温度で70～90℃を目標として転圧を行った。

(5) 締固め度

橋面舗装であり、切取供試体を採取することはできなかつたが、品質管理データから平均温度は151℃、最高156℃および最低139℃であった。このことから、締固め度は十分に満足しているものと考えられる。

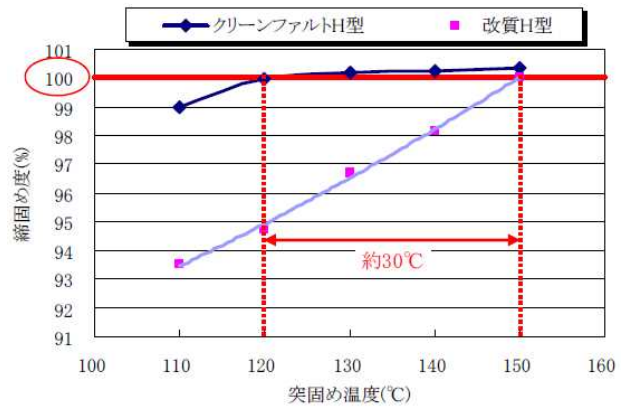


図-8 突固めと締固め度の関係

4. 長期保証工事

4-1 適用箇所

当該工事には、ONランプとOFFランプの土工部区間に長期保証工事が含まれていた。その区間は短いもののランプウェイであるので、約6%の縦断こう配を有しており、ONランプでは登坂力が、OFFランプでは制動力が作用する過酷な条件の場所であった。

<長期保証区間>

- ・ONランプ(土工部のみ) L=95m、A=443m²
- ・OFFランプ(土工部のみ) L=138m、A=549m²

4-2 設計条件および現場条件

- ・設計期間 20年
- ・舗装計画交通量 1,000台以上3,000台未満/日(N6交通)
- ・設計CBR 12%

4-3 保証期間

保証期間は、引渡しの翌日または供用開始日から5年間となっている。沖洲ICから津田ICまでの区間については、供用開始日(令和3年3月21日)から5年間である。

4-4 長期保証を付する指標

長期保証の内容を表-2に示す。

表-2 長期保証を付する指標

指標	指標値	試験頻度
わだち掘れ量	各測点の最大値が20mm(性能指標値)以下	各車線20m間隔で測定
ひび割れ率	各測点の最大値が20%(性能指標値)以下	各車線20m間隔で測定

試験方法は、舗装調査・試験法便覧(日本道路協会)に準ずる。

4-5 路床支持力の確認

当該箇所の設計CBRを確認するために、ONランプおよびOFFランプで、各々3箇所ずつCBR試験を実施した。

路床は2層に分かれていたので、合成CBRを算出

して設計CBRの確認を行った。その結果、双方とも設計CBR=20であり、強固な支持力を有していること確認された。

4-6 施工

ONランプおよびOFFランプの双方の面積を合計しても3000m²以下であったが、協議で認められ、当該箇所の路床から下層路盤についてはICT施工で行った。上層路盤から表層までの舗設も通常の機械編成で舗設を行った。

舗装構成は図-9に示す断面とおりであり、変更承諾とした。

5. まとめ

低気温の対策として中温化バイндаH型を用いた排水性舗装ならびに長期保証区間については、供用開始から4箇月ほど経過するが、現時点では良好な状態を維持している。引続き、今後の経過を見守りたい。

6. おわりに

当該工事は、冬期施工の橋面舗装工事であり、後工程の交通安全施設業者に引き渡す必要があったことから、タイトな工程の現場であった。しかし、職員が一丸となって業務を遂行し、その結果として、『ICT活用証明書』および『週休2日履行証明書』を受理することができた。

工事の施工にあたり、ご指導、ご協力頂いた四国支店、機械センター、技術研究所および本店の関係者の皆様に感謝の意を表したい。

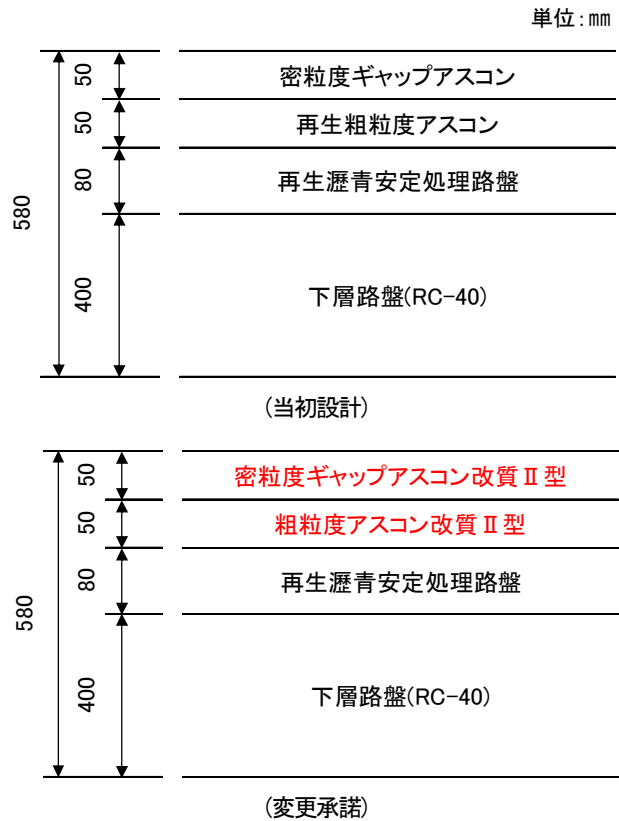


図-9 舗装構成

既設橋面舗装の補修事例

栗野 拓哉*
木村 匡孝*

1. はじめに

国道357号は千葉県千葉市を起点として、神奈川県横須賀市を終点とする延長約80kmの道路で、東京湾沿岸の諸都市を連絡する幹線道路である。

国道357号の原木大橋において既設橋面舗装の補修を行ったので、その概要と創意工夫について報告する。

2. 工事概要

工事概要は、以下のとおりである。

- ・ 工事名称：R1国道357号原木大橋(海側)外
舗装補修工事
- ・ 施工場所：千葉縣市川市原木～市川市高谷
(図-1参照)
- ・ 発注者：国道交通省関東地方整備局
千葉国道事務所管理第二課

- ・ 工期：2020年1月15日～8月28日
- ・ 工事内容：道路修繕

<舗装工 橋梁部> (原木地区)

切削オーバーレイ工 (t=80mm)	5,390m ²
橋面防水工 (塗膜)	5,390m ²
水抜き管設置	43本

<舗装工 一般部> (浦安地区)

切削オーバーレイ工 (t=100mm)	3,260m ²
舗装打換工 (t=250mm)	569m ²
半たわみ性舗装工	1,100m ²



図-1 現場位置図

3. 工事の流れ

工事の流れを図-2に示す。

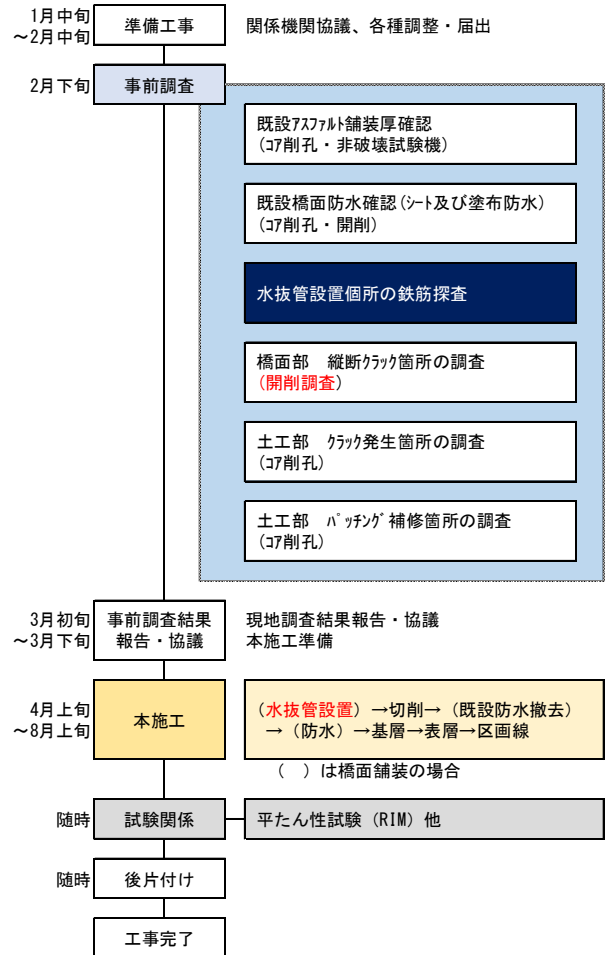


図-2 工事の流れ

4. 事前調査結果

(1) 橋梁部既設防水の状況

既設防水は、図-3に示すように海側が塗膜防水で山側がシート防水であった。目視調査の結果、既設防水の状態は概ね健全と思われた。既設防水の確認状況を写真-1に示す。

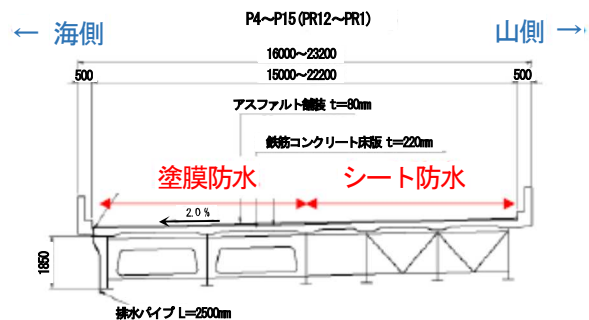


図-3 既設防水の状況

*関東支店千葉営業所工事主任



写真-1 既設防水の確認状況

(2) 橋梁部コンクリート床版の状況

既設舗装の車線中央部に縦断ひび割れが発生していたので、開削調査を実施した。その結果、ひび割れの真下のコンクリート床版に縦ジョイントがあることが判明した。(写真-2、3参照)



写真-2 縦断クラック発生状況



写真-3 開削によって判明したCo床版の縦ジョイント

5. 施工方法および創意工夫

(1) 水抜管の設置

橋面舗装に入った雨水を橋梁のコンクリート床版外に排水するため、コンクリート床版の端部に水抜管を設置した。その際、コンクリート床版内の鉄筋

探査を行い、鉄筋を切断しない位置、かつ排水に適切な位置を選定して43箇所水抜管を設置した。鉄筋探査状況を写真-4に、コア削孔状況を写真-5に、水抜管設置状況を写真-6に示す。なお、コンクリート床版の裏面にはフレキシブルチューブ(導水パイプ)を設置した。(写真-7参照)

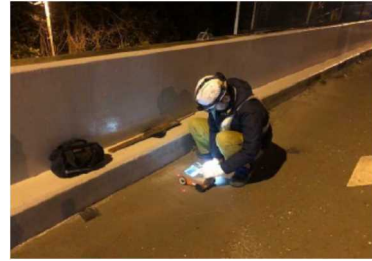


写真-4 鉄筋探査状況



写真-5 コア削孔状況



写真-6 水抜管設置状況



写真-7 フレキシブルチューブ(導水パイプ)設置状況

(2) 既設舗装・既設防水層の撤去

切削機で既設アスファルト舗装を撤去した後に、コンクリート床版上に薄層で残置されたアスファルト混合物および既設防水層をいかに効率よくきれいに撤去するかが課題であった。

従来はバックホウや人海戦術によって撤去していたが非効率であるので、当該現場では搭乗タイプの大型剥し機(写真-8)によって撤去した。この方法によってコンクリート床版を損傷することなく、切削残置層および既設防水層を効率よく除去できた。



写真-8 剥ぎ取り機械による既設防水層の撤去状況

(3) 防水層の施工

コンクリート床版面の清掃後、コンクリート床版の水分率を測定し、規格を満足していることを確認した。その後、プライマーを塗布し、加熱アスファルト型の塗膜系床版防水材料を塗布した。なお、排水については、縦断方向端部(水下)にスパイラルパイプを、横断ジョイント端部にはひび割れ防止対策としてスパイラルパイプではなく導水テープを設置し、これを水抜管に接続した。

防水材料の塗布状況を写真-9に、導水テープの施工状況を写真-10に示す。



写真-9 防水材料の塗布状況



写真-10 導水テープの施工状況

(4) 基層・表層の施工

アスファルト舗装各層の縦継目は15cmずらすのが通常である。しかし、当該現場では、夜間にコンクリート床版上の既設防水層から表層までを撤去し、翌朝までにこれらを新しい材料で復旧し交通開放する必要があるため、基層と表層の縦継目をずらすことが困難であった。

橋面舗装の長期耐久性を確保するためには、特に舗装体の中に雨水を浸入させないことが重要である。そのため、当該現場では表・基層で同じ位置となった縦継目に成型目地材を設置することとした。

これによって、縦継目からの雨水の浸入を抑制してはく離破壊を防止することで、舗装の延命を図ることができるものと考えられる。

表層の施工状況を写真-11に、縦継目への成型目地材の設置状況を写真-12に示す。



写真-11 表層の施工状況

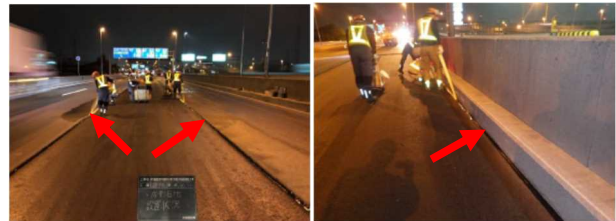


写真-12 成型目地材の設置状況

また、事前の開削調査によって、橋梁コンクリート床版に写真-3に示す縦断方向のジョイントがあることが判明したので、リフレクシオンクラック抑制対策として、直上にカタを入れ、そこにアスファルト乳剤型の常温注入目地材を入れることとした。

6. その他の創意工夫

(1) RIMによる平坦性測定

当該現場は夜間作業によって、規制設置→既設舗装・既設防水の撤去→防水層の施工→基層→表層を行い、翌朝に交通開放しなければならず、施工後の出来形測定(平坦性測定)に要する時間を短縮する必要があった。そこで、平坦性の測定に当社のマルチ測定車RIMを用いた(写真-13参照)。これによって、平坦性の測定時間を30分短縮することができた。



写真-13 RIMによる平坦性測定状況

(2) 土工部における埋設物探査

原木地区の土工部の施工に際しては、事前に地中レーザ探査機によって、埋設物の有無および位置を調査し、既設管の損傷を防止した。(写真-14参照)



写真-14 地中レーザ探査機による埋設物の探査状況



写真-18 オンラインによる打合せ状況

(3) 重機との接触災害の防止

舗装施工時には転圧機械と作業員との接触事故を防止するため、ローラに緊急自動停止装置を設置した。一定の転圧範囲内に人が立ち入ると自動停止する仕組みであり、夜間の厳しい作業工程で注意力が散漫になる中、接触事故の防止に役立てた。(写真-15参照) また、タイヤショベルの後方に接触防止装置を装着し、接触の防止および接触災害の最少化対策とした。(写真-16参照)



写真-19 快適トイレカー未使用時の換気状況



写真-15 緊急自動停止装置装着ローラ



写真-16 タイヤショベルの接触防止装置

(4) コロナ感染対策

コロナ感染対策として以下の内容を実施した。

- ・打合せ室に注意事項を掲示し、除菌液を設置した。
- ・打合せ時は2m以上離隔を確保した。(写真-17参照)
- ・オンラインによる打合せを実施した。(写真-18参照)
- ・トイレは「快適トイレカー」とし、未使用時は換気した。(写真-19参照)



写真-17 打合せ時の離隔状況

7. おわりに

東京湾沿岸の幹線道路(国道357号)の原木大橋において、既設橋面舗装の補修を行った。梅雨時期の雨による工事の中止が多く、またコロナ感染対策も必要となる中、様々な課題を発注者と密に連携をとることで解決し、滞りなく工事を進めることができた。

当該現場は一般車両の交通量が多く、また現場内は重機の輻輳が多かったが、安全対策および規制の縮減を行うことで無事故、無災害で竣工することができた。

本文が今後の橋面舗装の補修の参考になれば幸いである。最後に当該工事にあたり協力いただいた関係各位に感謝の意を表したい。



写真-20 施工完了状況

高性能床版防水(グレードⅡ)の施工事例

野口真早仁*
狩野 圭介**

1. はじめに

NEXCOでは、水や塩化物がコンクリート床版に浸透することを確実に遮断し、鉄筋の劣化進行を長期的に抑え橋梁の延命を図ることを目的に、防水層の高性能床版防水化(以下、グレードⅡ化)を推進している。

しかしながら、建設工事(新設橋)のコンクリート床版上のグレードⅡ化は順調に進行しているが、保全工事では車線規制が長時間にわたることから、コンクリート床版上の基層にグースアスファルトを試みるなど、順調に推移しているとは言い難い状況にある。

こうした中、小田原厚木道路においては、2017年度工事から80~100時間に及ぶ連続の車線規制によって、グレードⅡ化を実施し橋梁の延命化を推進している。

本文では、現在実施中のグレードⅡ化について報告する。ちなみに、グレードⅡは、30年の供用を想定した負荷をかけた試験に合格する高性能床版防水のことである。

2. 工事概要

工事概要は、以下のとおりである。

- ・工 事 名：小田原厚木道路(特定更新等)
小田原管内舗装補修工事(2019年度)
- ・工事場所：図-1参照
- ・発 注 者：中日本高速道路株式会社東京支社
伊勢原保全・サービスセンター
- ・工 期：2020年1月7日~2023年2月14日
 - ①一般国道271号(小田原厚木道路)
(自)神奈川県小田原市板橋
(至)神奈川県厚木市酒井
 - ②一般国道1号(西湘バイパス)
(自)神奈川県中郡二宮町二宮
(至)神奈川県小田原市風祭
 - ③第一東海自動車道(東名高速道路)
(自)神奈川県厚木市岡田
(至)神奈川県足柄上郡大井町
- ・主な工事内容：

舗装補修	76,987m ²
排水ます孔開け工	390孔
床版排水処理工	46箇所
床版防水工(グレードⅡ)	15,813m ²
床版防水工(グレードⅠ)	17,465m ²
伸縮装置取替工	43m



図-1 施工位置(地図マピオンから引用・加工)

3. グレードⅡによる橋面舗装修繕工事の流れ

グレードⅡによる橋面舗装工事の流れを図-2に示す。

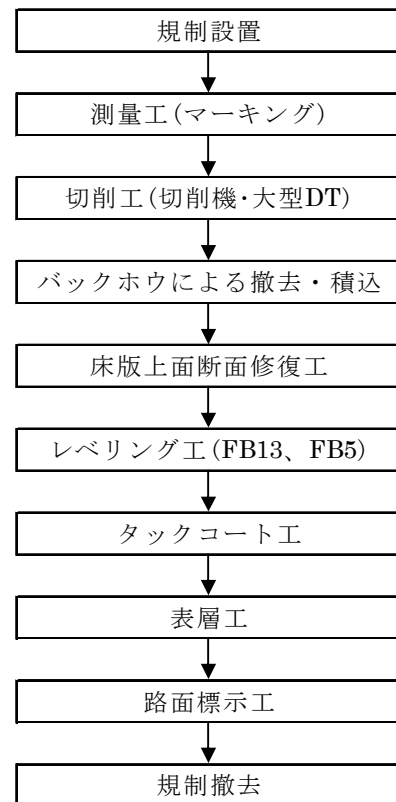


図-2 施工の流れ

*関東支店横浜営業所 **同営業所工事長

4. 当該工事におけるグレートⅡ化

4-1 既設コンクリート床版の現況

小田原厚木道路石原高架橋の追越車線における既設アスコン層および床版防水層撤去後のコンクリート床版の状況を写真-1に示す。

写真-1に示すように、ショットブラスト後の既設コンクリート面には部分的な不陸、小さい凹凸、およびひび割れが見られた。小さい凹凸は、ショットブラストによって脆弱なモルタル層が撤去されて生じたものと考えられる。



写真-1 既設コンクリート床版面の状況

また、端部縁石の状況を写真-2に示す。破損が激しく、当該破損箇所や隙間からアスコン層や床版防水層に雨水が浸入し、舗装および橋梁に悪影響を及ぼしている可能性があった。(図-3参照)



写真-2 端部縁石部の状況

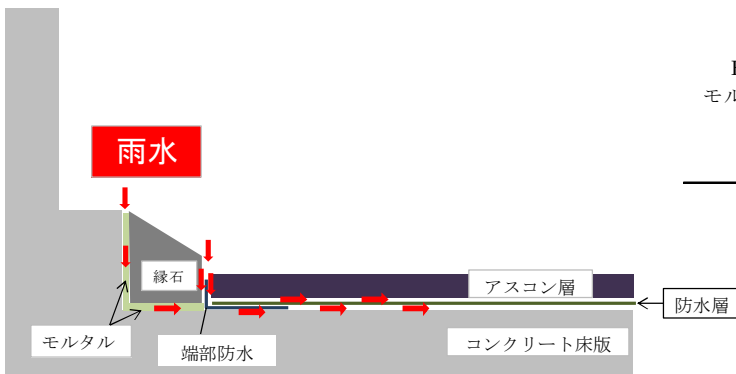


図-3 雨水浸入の推定図

4-2 グレートⅡの前下地処理

通常のグレートⅡでは、コンクリート床版の打音調査で健全と判断された場合、部分的な凹部はその箇所を下地処理した上で、通常のグレートⅡの施工へと移行する。

当該現場では、不健全部を通常どおりウォータージェットで撤去後、断面修復を実施するとともに、健全部も「端部や床版のひび割れ・隙間からコンクリート床版へ浸入する雨水を完全に防止すること」および「ショットブラスト面の凹凸面に空洞を残さないこと」を目的に端部および床版部のすべての範囲で事前下地処理することとした。(図-4参照)

事前下地処理に用いた材料を表-1に、施工手順を図-5に示す。また、HQプライマーの施工状況を写真-3に、HQモルタルの製造状況を写真-4に、施工状況を写真-5に、前処理の完成状況を写真-6に示す。

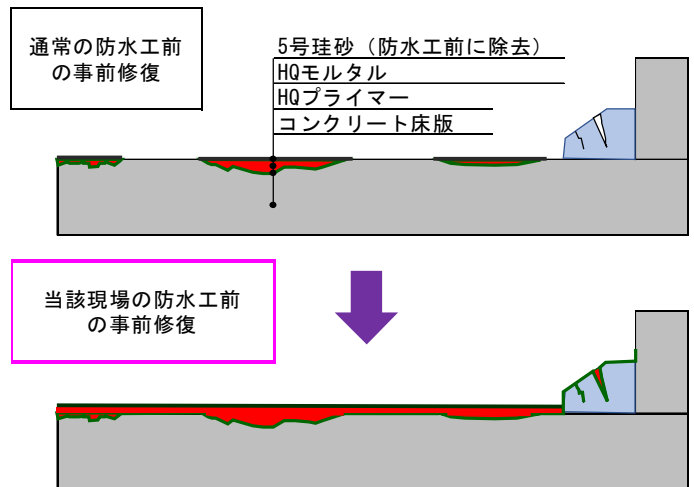


図-4 当該現場のグレートⅡ前の処理

表-1 グレートⅡ事前下地処理の材料

製品名		使用量 (kg/m ²)	配合比		
HG プライマー	樹脂	0.25	A材	100	
			B材	100	
	増量材		炭酸カルシウム	100	
	硬化促進剤		C剤	0~4	
HQ モルタル	樹脂	-	HQプライマー-A材	100	
			HQプライマー-B材	100	
			HQC剤プライマー	0~4	
	骨材		4号珪砂	85	70
			7号珪砂		30
	炭酸カルシウム	7			

施工箇所の清掃	
	ショットブラストで既設防水材・残Asを除去
	ブローアードでダストを処理
	目視・指触で床版上面が乾燥していることを確認
	電気抵抗式水分計でカウント値が200以下であることを確認
HQプライマーの塗布	
	計量前に各材料をよく攪拌する
	HQプライマー-A材・B材・C材、炭酸カルシウムを計量
	混合順を守り合計130秒混合
	ローラ刷毛で塗布(0.25kg/m ²)
	養生不要(HQプライマー塗布後、7日以内にHQモルタルを施工)
	硬化したHQプライマー上には車両を通過させない
HQモルタルの施工	
	計量前に樹脂材料をよく攪拌
	樹脂材料(HQプライマー-A材・B材・C剤)と骨材(4号、7号珪砂、炭酸カルシウム)を計量
	混合順を守り合計130秒混合
	目視・指触で床版上面が乾燥していることを確認
	コテで平らに均す
5号珪砂の散布	
	HQモルタルの施工約30分後に5号珪砂を散布(0.5~1.0kg/m ²)
養生	
	5号珪砂の散布後、約1時間養生(HQモルタルが表面硬化するまで)
5号珪砂の浮き砂の除去	
	浮き砂は、スイーパー、ブロワーで確実に除去
	浮き砂は防水材との接着強度の低下要因となる
	硬化したHQモルタル上には車両を通過させない
防水工(グレードⅡ)の施工	
	HQモルタル施工後、7日以内に防水層を施工

図-5 グレードⅡ事前下地処理の施工手順



写真-3 HQプライマーの施工状況



写真-4 HQモルタルの製造状況



写真-5 HQモルタルの施工状況



写真-6 グレードⅡ前下地処理の完成状況

4-3 小型路面乾燥機

コンクリート床版面と床版防水層の接着を阻害する一要因として、コンクリート床版内の残留水分が挙げられる。特に床版凹部、ジョイント前後部、および縦横断勾配の下側端部は湿潤状態になっている場合がある。このため、今回、新たに作製した小型路面乾燥機を用い、これらの箇所を含め床版全面の水分量を確実に管理値内に低下させることとした。

小型路面乾燥機を写真-7に、小型路面乾燥機の走行速度と電気抵抗式水分計カウント値の低減度の関係を図-6に示す。

小型路面乾燥機を活用した結果、良好な床版面を確保でき、NEXCOからも高い評価をもらった。



写真-7 小型路面乾燥機

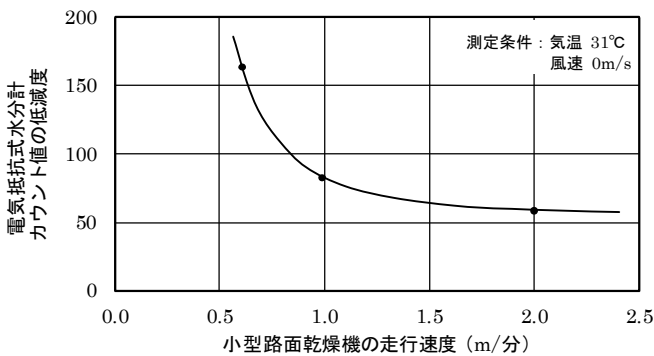


図-6 小型路面乾燥機の走行速度と電気抵抗式水分計カウント値の低減度の関係

5. グレートIIの施工

グレートIIの事前下地処理後、グレートIIをHQハイブレンAU工法で施工した。HQハイブレンAU工法は、図-7に示すように床版部は、①コンクリート床版との接着層、②本体の床版防水層、③上のアスファルト混合物層との舗装用接着材層、および④珪砂の4層構造である。端部は、①コンクリートとの接着材、②防水層、および③端部保護材の3層構造となっている。

本体の床版防水層は、アスファルトの接着性とウレタン

のたわみ性を併せ持ち、舗装用接着材層として改質アスファルト系の材料を用いて、舗装との接着性・密着性を確保しているのが特徴である。

HQハイブレンAU工法は、NEXCOの構造物施工管理要領(平成29年7月版)のグレートIIの規格に適合する反応樹脂型アスファルトウレタン系の製品である。

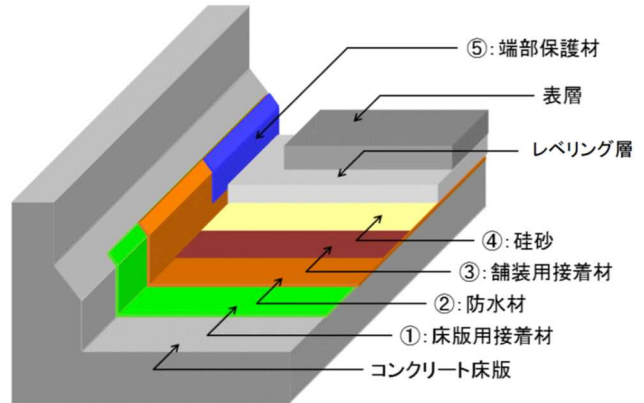


図-7 HQハイブレンAU工法の構成断面

当該工事の使用材料を表-2に示す。表中の赤字が従来のグレートIIとの変更箇所である。なお、グレートII自体の施工手順は従来と同様である。

表-2 グレートIIの使用材料

施工位置	製品名	使用量 (kg/m ²)
床版部	接着剤	AUプライマー-AU(主剤)
		AUプライマー-AU(硬化剤)
		粘度調整材
	防水材	HQハイブレンAU(主剤)
		HQハイブレンAU(硬化剤)
	舗装用接着材	HQコートAU
	付着防止材	4号珪砂
端部	接着剤	AUプライマー-AU(主剤)
		AUプライマー-AU(硬化剤)
		粘度調整材
	防水材	HQハイブレンAU(主剤)
		HQハイブレンAU(硬化剤)
	端部保護材	HQトップAU(主剤)
		HQトップAU(硬化剤)
		粘度調整材

6. おわりに

グレートIIはグレートIと比較し、耐久性が優れている反面、施工に要する時間が長くなるが、橋梁の延命を図るには、有効な工法と考えられる。

本文が今後の既設舗装の床版防水の高性能化工事の参考になれば幸いである。

航空自衛隊基地構内におけるコンクリート・アスファルト舗装の施工事例

家永 和広*
有馬 正光*

1. はじめに

供用中の防衛省航空自衛隊基地構内における誘導路のコンクリート舗装および駐機場のアスファルト舗装の新設工事では、その施工条件から様々な制約が存在する。

本文は、航空自衛隊部隊からの要望に応じた施工条件のもと、様々な課題の抽出とその対策および施工結果をとりまとめて報告するものである。

2. 工事概要

当該工事の概要は、以下のとおりである。

工事名：浜松(1)駐機場新設土木その他工事
工事場所：航空自衛隊基地構内
発注者：防衛省・南関東防衛局調達部
施工期間：2020年2月28日～2021年6月30日
工事内容：土工1式

- ①駐機場 アスファルト舗装工事

瀝青安定処理工 t=99	12,200m ²
基層工再生粗粒度As(20) t=60	12,200m ²
表層工密粒度As(13) t=70	2,910m ²
表層工密粒度As(13) t=80	12,200m ²
タックコート新設部	24,400m ²
タックコート既設Co舗装部	18,860m ²
路盤工RC-40 t=200	1,340m ²
レベリング層 t=40	3,750m ²
- ②誘導路 コンクリート舗装工事

表層工 曲げ4.5N/mm ² t=260	4,080m ²
表層工 曲げ4.5N/mm ² t=320	1,000m ²
張芝工 790m ² 種子吹付工 1080m ²	
マーキング 実線・黄色 W=150、910m	
アースリング 29箇所	
- ③雨水排水工事 現場打側溝 L=36m
- ④撤去等工事

既設As舗装撤去	3,290m ²
既設Con舗装切削 t=10~40	2,730m ²
区画線抹消 W=150、延長L=170m	
- ⑤電気設備工事他 航空灯火設置工 1式

3. 本施工における課題および対策

3-1 誘導路コンクリート舗装の課題

誘導路コンクリート舗装において、以下のような課題を抽出した。

- ①航空自衛隊部隊の要望によって、コンクリート舗装工事を9月末までに完成させるための工程計画
- ②暑中コンクリートの施工方法
- ③鋼製型枠の設置方法
- ④ダンプトラックによるコンクリートの運搬方法
- ⑤コンクリート舗装打設時の材料分離対策
- ⑥打設後のコンクリートのひび割れ防止対策
- ⑦カット目地の切断時期と方法

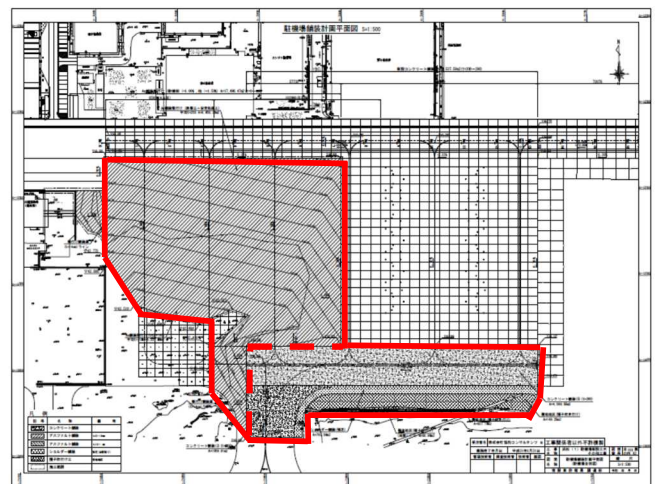


図-1 施工位置図

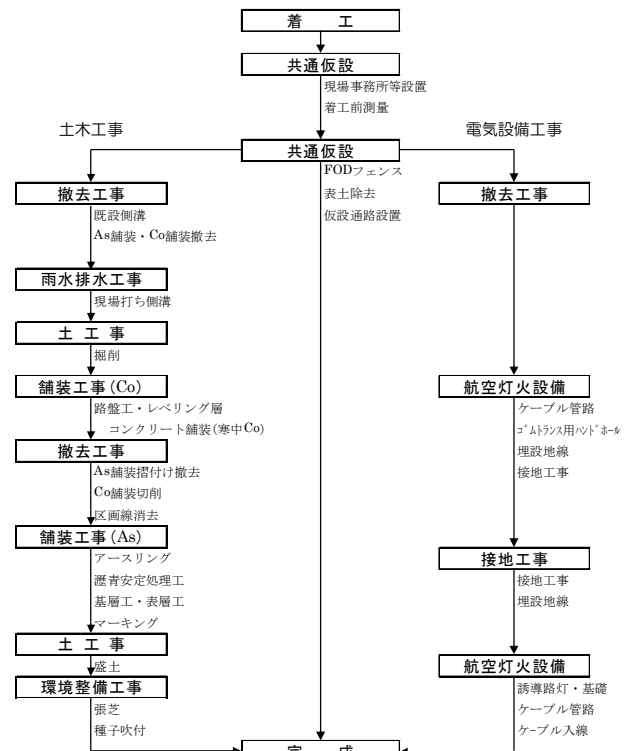


図-2 全体施工フロー

中部支店浜松営業所工事主任

3-2 誘導路コンクリート舗装の対策

上記の課題に対して、以下のような対策を行った。

①工程計画

コンクリート舗装の打設期間(8~9月)を最優先させた工程で全体の計画を立てた。その上で、打設作業開始時間を7時から16時までとしたタイムスケジュールを立案し、早朝から工事車両が専用門からスムーズに出入りできるように、部隊装備部への協力願いを行った。

②暑中コンクリートの施工方法

打設開始前にタイヤローラによって鋼製型枠およびレベリング層表面に軽く散水を行い、表面温度が上昇しないよう冷却効果を図った。



写真-1 散水による冷却

③鋼製型枠の設置方法

鋼製型枠にはロードホームL=3000を用いて、1本当たり@750ピッチでI型ピンL=550を4本打込み固定した。

下地のレベリング層+既設コンクリート版の全厚(t=200)を削岩機φ40で削孔し、人力打込み後、完全に固定されるよう左右の型枠にボルトで締付けた上で、上面が舗装計画高さになるよう設置した。



写真-2 鋼製型枠設置

④コンクリートの運搬方法

コンクリート(曲げ 4.5-2.5-40)の搬入運搬時には、ダンプトラックの荷台を遮光性シートで覆い、日中の紫外線を直接受けないようにした。

また、標準型のAE減水剤から遅延型へ変更し、夏期のスランプロスを考慮した配合とした。



写真-3 遮光性シートによる運搬状況

⑤材料分離対策

コンクリートの荷おろし後に不純物の混入やスランプのばらつきをチェックするための専任管理者を配置した。



写真-4 コンクリートの状態確認

⑥コンクリートのひび割れ防止対策

粗面仕上げ完了後、初期養生の被膜養生剤を速やかに散布し、ほうき目が潰れない程度の硬化が始まり次第、養生マットを人力で設置した。

その後、1日3回の散水養生によって湿潤状態を確保しながら、表面乾燥によるひび割れ防止を徹底した。



写真-5 打設直後の散水養生

⑦カッタ目地の切斷時期と方法

目地切斷において、打設時期が8月と夏期であったので、打設開始から10時間後にはカッタ切斷が可能であった。

各種目地部へ確実にひび割れが誘発するように、カッタ1枚(3mm刃、深さ30mm)で先行切りを行い、角欠けがないことが確認でき次第、目地幅を確保しながら本切斷を行った。(横方向収縮目地は深さ70mm)



写真-6 乾式による目地カッタ切斷

3-3 駐機場アスファルト舗装の課題

駐機場アスファルト舗装において、以下のような課題を抽出した。

- ①広域な舗装による水溜まり防止のための舗装計画
- ②舗装端部における骨材飛散対策
- ③冬期におけるコールドジョイントの施工方法
- ④大型舗装機械の安全性確保

3-4 駐機場アスファルト舗装の対策

上記の課題に対して、以下のような対策を行った。

①水溜まり防止のための舗装計画

既設のコンクリート版上にアスファルト舗装3層を舗装するにあたり、既設面に生じていた版の破損や劣化が著しかったことから、その度合いを把握するためにRIM(マルチ測定車)による路面性状調査を行うとともに3次元点群データも収集した。3次

元点群データをもとにレベリング層厚を計画し、各層でのアスファルト舗装工事の施工管理に活用した。



写真-7 RIM 測定車走行状況

②骨材飛散対策

駐機場のアスファルト舗装接続の端部には、切削機を用いて表層厚さとして最低50mmを確保した。



写真-8 アスファルト舗装端部の切削

③冬期におけるコールドジョイントの施工方法

施工時期が11月下旬の冬期であったので、運搬時には2重シートによる保温対策を行った。また、フィニッシャにL型ジョイントヒータを装着し、施工時に端部全体を加熱することで打継ぎ面を一体化させ、コールドジョイントの良好な仕上がりを図った。



写真-9 L型ジョイントヒータによる加熱

④大型舗装機械の安全性確保

フィニッシャーには、無線機からオペレータが直接ダンプトラックの運転手へ音声で伝えられるとともに、誘導合図が LED 照度版に表示されるシステムを装着した。荷おろし時の安全性が明確化され、現場では非常に好評であった。



写真-10 LED 照度版による安全装置

4. 施工結果

上記の対策を確実に継続的に実施することで、コンクリート舗装の平坦性は、4カ所平均で $\sigma = 0.77\text{mm}$ と良好な仕上がりを確保することができた。



写真-11 誘導路コンクリート舗装全景

さらに、駐機場のアスファルト舗装においても、水溜まり等の不具合が発生しないことはもちろんのこと、施工ジョイントを含めて良好な仕上がり面とすることができた。

5. おわりに

防衛省航空自衛隊基地構内において、運用中のエリア内で新設のコンクリート舗装とアスファルト舗装を施工した。

当該工事は基地構内での作業となるので、様々な施工条件の制約があることが当初から認識できた。

9月末までに航空祭を開催したいと顧客からの強い要望があり、ひび割れ発生しやすい暑中コンクリートによる施工を余儀なくされた。反対にアスファルト舗装においては、冬期という過酷な条件下による施工となった。

しかしながら、様々な対策と情報化施工を用いた結果、平坦性の良好な満足いく出来となり、無事に竣工を迎えることができた。

最後に、本施工にあたりご指導いただきました本店技術部、機械部・機械センター、支店工事部をはじめ、すべての工事関係者の皆様に感謝の意を表します。今回で得られた情報が今後の同工事、同工種の一つでも参考になれば幸いです。



写真-12 駐機場アスファルト舗装全景

単管圧入工法による剛性防護柵嵩上げの施工事例

乾 誠*
河野 晋**
植村 友也***

1. はじめに

「東名高速道路浜松管内舗装補修工事(平成30年度)」において、新東名高速道路の浜松浜北IC～島田金谷IC間で、剛性防護柵の嵩上げ工事を行った。新東名高速道路は供用開始から9年が経過し、剛性防護柵および路面が著しく沈下しており、一般車両からの苦情が後を絶たないことから、舗装の縦断修正に伴い、剛性防護柵の嵩上げも行うこととなった。

本文では、NEXCO中日本で使用されている単管圧入工法による剛性防護柵の嵩上げ工事について、施工方法および施工結果について報告する。

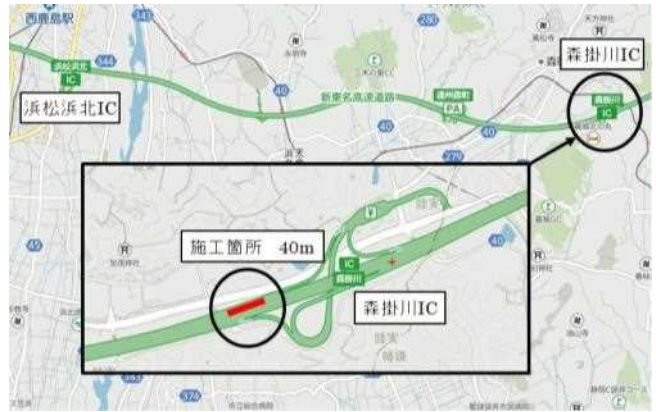


図-1 工事箇所(ゼンリン地図から引用・加工)

2. 工事概要

当該工事の概要は、以下のとおりである。

- ・発注者：中日本高速道路株式会社東京支社
- ・工事箇所：新東名高速道路上り線
浜松浜北IC～森掛川IC間(図-1参照)
- ・施工期間：2021年2月8日～3月4日
(全体工期：2018年9月4日～2021年8月18日)
- ・施工数量：剛性防護柵嵩上げ 単管圧入工40m区間

3. 施工方法の検討

3-1 従来の工法との違い

従来の施工では、沈下した剛性防護柵を取壊し、

新たに剛性防護柵のコンクリート二次製品を設置する工法を採用していた。

この工法では、一時的に剛性防護柵が無くなり、一般車両の進入があった場合、対面の車線で正面衝突の事故が発生してしまう危険性があることから、上下線の規制が必要であった。

今回採用した単管圧入工法では、剛性防護柵がある状態のままの施工が可能であり安全であった。また、剛性防護柵を取り壊して、コンクリート二次製品の復旧を行うのに、納入および施工を含め3ヶ月程度かかるのに対し、単管圧入工法では、3週間程度の施工で工期も大幅に短縮できた(表-1参照)。

表-1 工程表(3週間)

作業内容	数量	単位	日数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
既設構造物撤去	40	m	予定 実施	■	■	■	■																		
アンカー打設	96	本	予定 実施				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
補強治具設置	48	箇所	予定 実施				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
単管杭打設	48	箇所	予定 実施				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
単管内モルタル中詰	48	箇所	予定 実施				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
ジャッキセット	1	式	予定 実施				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
レベル調整	40	m	予定 実施				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
ジャッキ撤去	48	箇所	予定 実施				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
単管杭固定	48	箇所	予定 実施				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
沈下防止対策	40	m	予定 実施				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
構造物復旧	40	m	予定 実施				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

*中部支店浜松営業所 **同営業所工事長 ***同営業所工事主任

3-2 単管圧入工法のメリット

- ①剛性防護柵の取壊しをしないので、コンクリートがらが飛散して一般車両と接触する事故を防ぐことができる。
- ②剛性防護柵取壊し時の振動および騒音のクレームが無くなる。
- ③規制費用が上下線の2車線から施工する車線の1車線だけになるので、施工費用を抑えることができる。
- ④特殊な材料を使用しないので、施工に必要な材料がそろいやすく、納期までの時間もかからない。
- ⑤廃棄物が発生せず、薬品等も使用しないので、環境面に配慮している。
- ⑥コンクリート二次製品を吊り上げ、据え付ける作業が無くなるので、吊り荷災害や重機災害の危険性が無くなる。

3-3 単管圧入工法のデメリット

施工上、舗装内に金具が残ってしまうので、舗装を補修する際に、金具を破損してしまう危険性がある。

3-4 デメリットに対する対策

今回、縦断修正を行う前提であったので、舗装の補修に影響を与えないように、治具の場所をなるべく下端に設置した。また、下端に設置しても影響が出てくる箇所では、協議し舗装を復旧する際、金具が見えるよう部分的に空けて仮舗装を行った。また、縦断修正を行う際も剛性防護柵の際の仮舗装は、ハ

ンドブレーカで慎重にはつり作業を行い、金具を保護した。

4. 施工方法

4-1 施工フローおよびステップ図

施工フローを図-2に、ステップ図を図-3に示す。

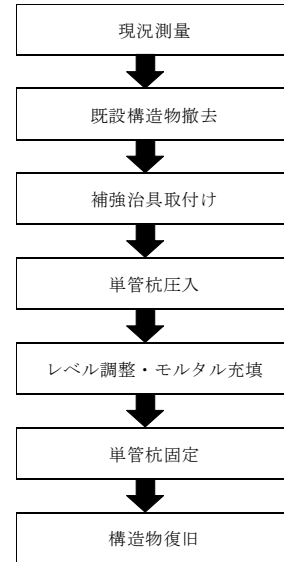


図-2 施工フロー図

4-2 現況測量

オートレベルによって防護柵の天端高さを測定した。当該工事では、最大8.6cmの路面沈下が確認された。この路面沈下に対し、40m区間で高さを調整することとなった(図-4参照)。

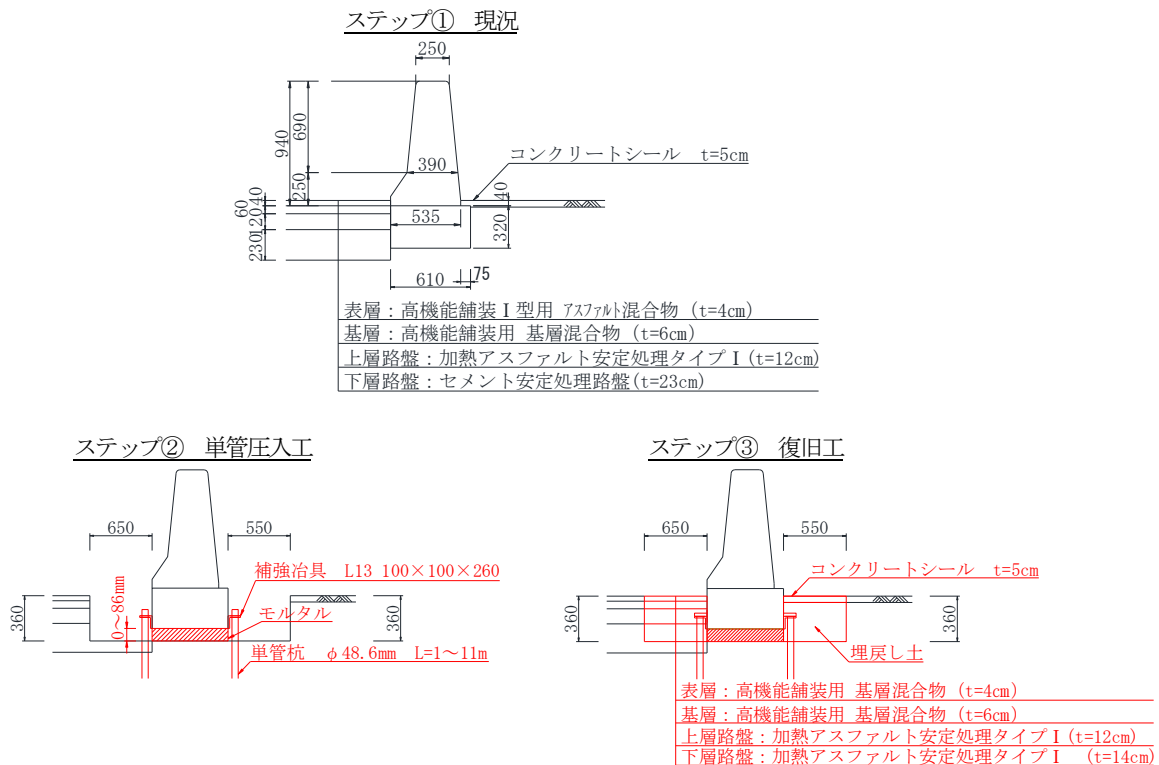


図-3 ステップ図

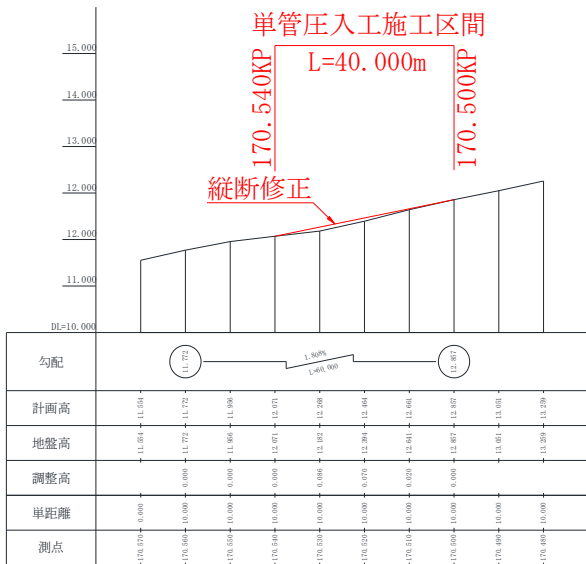


図-4 縦断図

4-3 既設構造物撤去

剛性防護柵の嵩上げに必要な器具を設置するために、支障となる既設構造物の撤去を行った。

4-4 補強治具取付け

10m区間で片側に6箇所の補強治具を設置した(図-5、写真-1参照)。

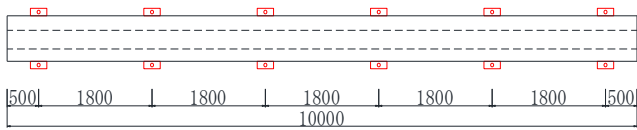


図-5 単管打設箇所図



写真-1 補強治具器具設置状況

4-5 単管杭圧入

圧入治具を補強治具に取り付け、剛性防護柵の自重を反力にして単管杭の圧入を1本ずつ(単管杭1本あたり1m)を行い、単管の接続は直線ジョイントを使用して継ぎ足した。また、圧入中は、圧力ゲージを確認しながら、圧力が30MPaに達するまで圧入を行った(写真-2参照)。また、30MPaの根拠については、剛性防護柵の重量を基に過去の実績から算出し決定した。

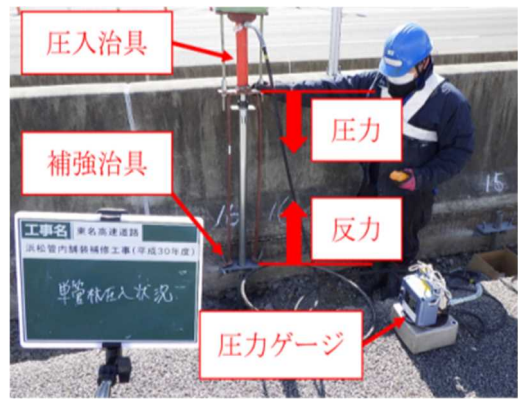


写真-2 単管杭圧入状況

圧入完了後、単管杭の空洞部にモルタルを流し込み単管杭の補強とし、端部閉塞を行った(写真-3参照)。



写真-3 杭モルタル中詰状況

4-6 レベル調整・空洞部モルタル充填

圧入治具をレベル調整治具に取り替え、剛性防護柵を一部分だけを上げると、防護柵自体にクラックが入るので、局所的に負荷を掛けないよう40m区間でジャッキ48個を使用して嵩上げを行い調整した(写真-4、5参照)。

その際、レベル調整中も剛性防護柵の天端をオートレベルで測量を行った。空洞となった基礎コンクリートの下にはモルタルを充填し、剛性防護柵が沈下しないようにした(写真-6参照)。



写真-4 レベル調整治具設置状況



写真-5 レベル調整状況



写真-6 沈下防止対策完了

4-7 単管杭固定

剛性防護柵のレベル調整による嵩上げ後、レベル調整治具を外し、単管杭を切断して単管杭の頭に固定プレートを設置した(写真-7参照)。



写真-7 固定完了

高い位置で30MPaを超えた箇所が多く、地下10m以内で基準値を上回ったのが48箇所中34箇所、地下1mで基準値を上回ったのは16箇所あった。これによって、工事全体の工期を前倒して進めることができた。

5-2 剛性防護柵の高さ

出来形の規格値を+30～-20mmとしており、当該施工では、最大で+16mm、最小で+1mmと良好な結果となった(表-2、写真-8、9参照)。

しかし、構造物自体の施工誤差や経年劣化による変形があり、規格値から外れるほど、剛性防護柵の形状が変わっていれば発注者と協議する必要がある。

表-2 剛性防護柵の高さ記録表

コンクリート防護柵 設置箇所	上り線 追越170.540KP～170.500KP				
	170.540KP	170.530KP	170.520KP	170.510KP	170.500KP
測点					
計画高(mm)	12,071	12,268	12,464	12,661	12,857
実測高(mm)	12,072	12,284	12,475	12,665	12,858
差(mm)	1	16	11	4	1



写真-8 施工前



写真-9 施工後

5. 施工結果

5-1 圧力

圧力の基準値を30MPa以上としており、基準値を上回るまで単管杭を圧入した。圧入中やレベル調整中に単管が座屈する不具合は起こらなかった。また、圧入作業は、1m圧入するのに10分から15分程度かかったが、試験施工で測定した位置(地下11m)より

6. おわりに

当該工法では、防護柵の取壊しをせずに単管杭を用いた簡易な方法で、沈下した防護柵を嵩上げすることができる。本文が、同様の工事を施工する上で参考となれば幸いである。

施工にあたり、様々な助言をいただいた皆様に書面を借りて感謝の意を表します。

GNSS 測量システムによる埋設物事故防止対策

木村 友哉*
高江 正之**

1. はじめに

高速道路には道路管理用、通信事業者KDDIの光通信ケーブルや電気、電話などの占有物件等が設置されている。これら光通信ケーブル等の設置は、土工やトンネル部の中央分離帯、または路肩等に埋設され、橋梁の場合は添架されている。しかし、その埋設箇所は地表面からは判別しにくく、位置の特定が難しい状況にある。

本文では、車線区分柵設置工事において、GNSS測量システムを用いて埋設物の位置を正確に把握して、埋設物損傷事故を防止できたので報告する。



写真-1 車線区分柵(ワイヤロープ)

2. 工事概要

工事概要は、以下に示すとおりである。

- ・ 工 事 名：道央自動車道旭川管内
車線区分柵設置工事
- ・ 施工箇所：道央自動車道旭川鷹栖IC～士別剣淵IC
深川留萌自動車道深川JCT～深川西IC
- ・ 工 期：2019年 5月 10日～2020年 12月 29日
- ・ 工事内容：ワイヤロープ設置工
土工部 20,383m
橋梁部 284m(中小橋9橋)

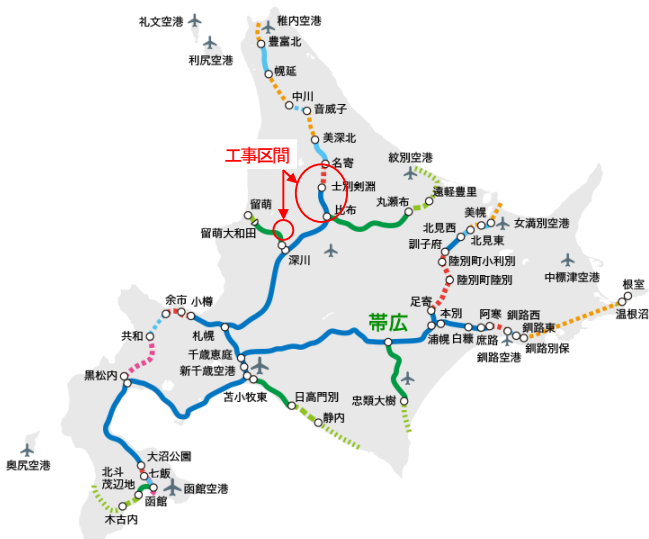


図-1 工事区間

3. 工事の内容

当該工事は、暫定二車線区間において対面通行側への車線逸脱事故防止として、車線区分柵(ワイヤロープ)をセンターに設置する工事である。

作業順序(土工部)は、下記のとおりである。

- ①既設ポール・縁石撤去
- ②支柱割付け
- ③既設コア削孔(t=18cm)
- ④スリーブ岩削(t=52cm)
- ⑤スリーブ管打設(t=70cm)
- ⑥支柱建込み
- ⑦ワイヤロープ敷設(5条)
- ⑧中間ターンバックル設置
- ⑨視線誘導標・安全ブロック設置
- ⑩ランブルストリップス・区画線設置

暫定二車線区間であるので、各IC間を夜間通行止めにして施工する。この路線に接続する高規格道路における他工事の関連で、通行止め規制日はあらかじめ最小限に定められており、施工に係る日数以外の現場調査日は割り当てられていない。したがって、通行止め規制日数内で終わらせなければならない、ぶっつけ本番の施工である。

中間支柱の間隔は標準4mピッチであり、埋設物等によって支柱位置を変える場合には、前後のピッチを4m以内に変更する必要がある。したがって、支柱割付け時には埋設物や構造物位置の特定が非常に重要で、また支柱位置と埋設物との離隔に余裕がない。

このため、埋設物の正確な位置と支柱位置の割付け位置を記載した割付け図をあらかじめ作成し、現場施工に臨まなければ、日々のタイムスケジュールに遅延をもたらし、また埋設物損傷事故を発生させる懸念があった。

*北海道支店苫小牧営業所 **同営業所所長



写真-2 スリーブ岩削状況



写真-4 GNSS機器による位置測量状況(センター管路位置)

4. 埋設物事故防止としての取組み

4-1 GNSSを利用した取組み

従来は図面に記載された埋設物位置と現地調査によって位置を特定してから、割付図を作成していた。発注者からの提供された埋設物関連図面はCADではなく手書き図面で、延長も約20kmと膨大なことから、関連図面は数十枚であった。そこで、GNSSを活用した位置測量とその測定結果から、CADによる割付け図を作成して迅速性と正確性を図った。

4-2 方法(フロー)

作業フロー(埋設物調査～割付図作成)

- ①提供された図面の解読と埋設物種別・位置特定
- ②現場踏査による埋設物の確認
 - ・路肩ハンドホール内の埋設管深さ・方向確認
 - ・センターにおける管路位置特定
- ③GNSSによる位置測量
 - ・ワイヤロープ設置起終点位置(橋梁部)
 - ・近接する構造物の位置
 - ・路肩ハンドホール・センター管路位置
- ④路線元図(CAD図)作成
- ⑤ワイヤロープ割付け図作成
- ⑥他工種を図面に追記



写真-3 現場踏査による埋設物の確認状況(埋設ケーブル探査機)



図-2 GNSS使用機器：Trimble R10 Model-2 GNSS

4-3 測量成果

提供された図面の諸元およびGNSSによる位置測量によって、路線のCAD元図を作成した。その元図から割付け図はもとより、他工種のポール・縁石の撤去工、ランブルストリップス、および区画線工数量を正確に図示した。これによって立会時の確認を含め、数量算出の根拠となった。

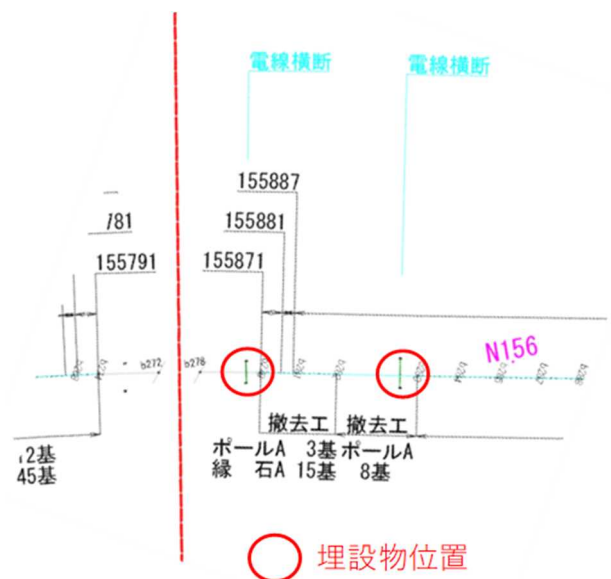


図-3 路線元図全体例(埋設物明示)

工区	調査後のKP	KP	管種・管径等	設備・機器等名	番号
和寒IC～ 士別剣淵IC	N155.010	N155.019	VVR3.5sq-3c+1c	照明1回路	24
			IV3.5sq	照明1回路	
			VVR5.5sq-2c	路上設備回路	
	N155.075	N155.083	VVR3.5sq2c	照明1回路	25
			IV3.5sq	照明1回路	
			CCP-AP0.65-20P	非常電話回路	
N155.309	N155.318	VVR3.5sq-3c+1c	照明1回路	26	
		IV3.5sq	照明1回路		
		VVR5.5sq-2c	内照標識回路		
		VVR14sq-3c	路上設備回路		
		VVR38sq-3c	上りA型情報板回路		
	VVR3.5sq-3c	SP電源回路			

図-4 埋設物調査結果例(埋設種別・位置)

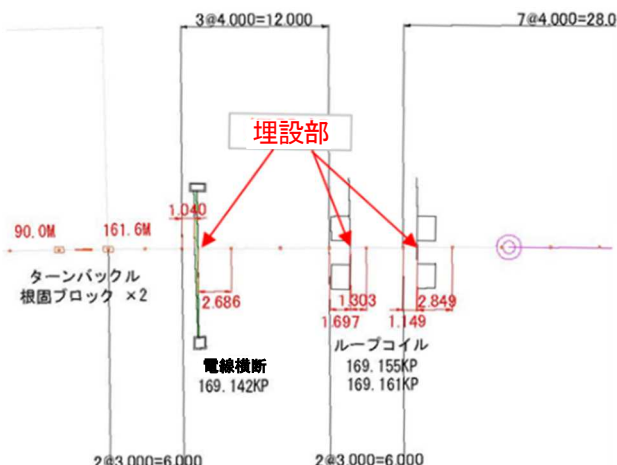


図-5 区間詳細図例(支柱ピッチ割・離隔明示)

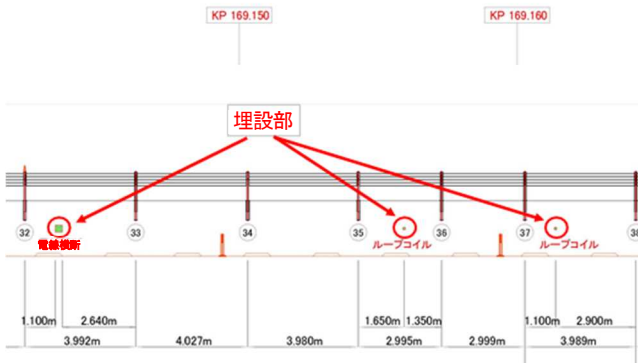


図-6 支柱立面図例(現場利用図)

4-4 実施工での活用

この作成した図面および位置データを用いて、埋設物に隣接する直近の支柱位置を確定した。

現場割付けの施工手順は、下記のとおりである。

①作業準備

埋設物近接作業従事者に対して、作業内容や作業手順の確認と埋設物の位置、深さ、離隔の指示と確認の徹底を図る。

②GNSS記録位置情報による現地確認

GNSS機器を使用して現地埋設物位置を再度確認し、埋設表示ピンで明示する。

③埋設物に隣接する支柱位置の明示

割付図(支柱立面図)に基づき、離隔を確保した位置に埋設物に隣接する直近の支柱位置を明示する。

埋設物箇所には、カラーコーンで注意表示をする。

④全体の支柱位置の明示

起点側端末支柱から中間支柱位置を標準4mピッチ片押しで明示する。埋設物箇所においては、③で確定している直近の支柱の手前で支柱間距離を調整して明示する。その後、埋設物から終点側に埋設物直近支柱から標準4mピッチ片押しで明示する。

⑤支柱箇所のコア削孔

明示された支柱位置でコアカッターによって削孔を行なう(t=18cm φ128)。埋設物箇所前後10m区間は、職員立会のもと削孔位置を再確認後施工する。

⑥スリーブ岩削およびスリーブ管打設

スリーブ岩削(t=52cm)およびスリーブ管打設(t=70cm)をコア削孔に引き続き施工する。埋設物箇所前後10m区間は、職員立会のもと異常がないか確認しながら施工する。

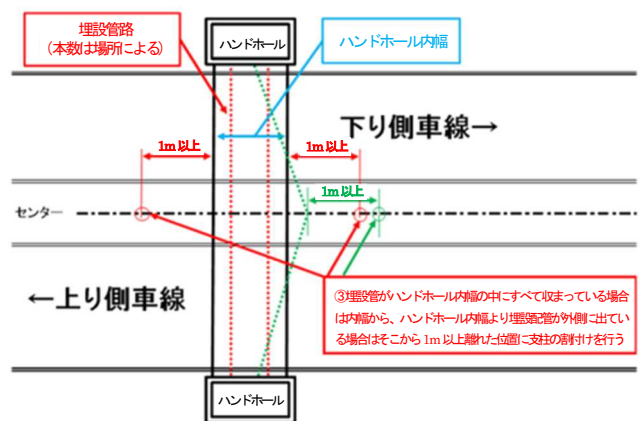


図-7 埋設物直近支柱の割付け例

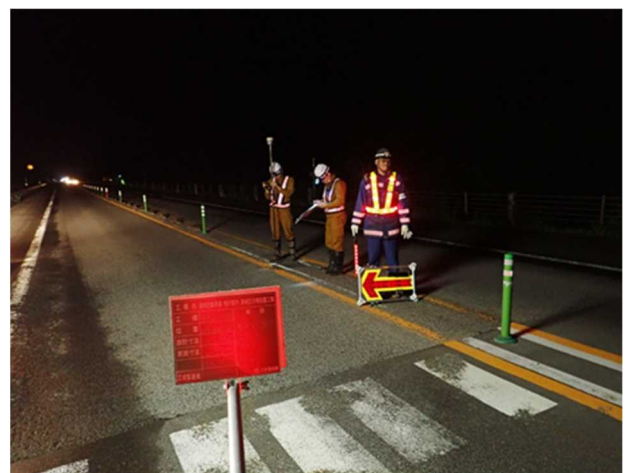


写真-5 GNSS機器による埋設物現地確認状況



写真-6 埋設物直近支柱の離隔確認状況(立会)

4-5 GNSS機器利用の利点と欠点

(1) 利点

- ・位置を電子数値化することで、CAD図に簡単に図示できる。
- ・測量が短時間、かつ高精度に測定できる。
- ・位置の再現性が簡単である。
- ・夜間における測量が可能である。
- ・現場作業人員および作業時間の省力化が図れる。

(2) 欠点

上空があまり開けていない山間部やトンネル近接部等では、補足衛星の偏り精度が低下することがある。

5. 結果

当該工事においては、支柱本数が約5,000本であり、膨大な数の支柱を岩削、打込みしなければならな

った。発注者からの埋設関連図面も旧道路公団時代の手書きで作成が統一されておらず、構造物関連図も含め解読に時間が掛かった。また、現場と合わない事例や図面化されていない埋設物が多々あった。

このような状況下で、埋設物損傷事故を防ぎながら予定日数で施工完了させるためには、確実に詳細な埋設物位置とそれに合せた支柱打込み位置をあらかじめ確定することが必須であった。

今回、GNSS機器を使用してCAD図面化したことによって、確実性と安全性が格段に向上し、無事故で終了できた。さらに、当初予定していた日々のタイムスケジュールを余裕でこなし、大幅に工期短縮を図ることができた。

これらについては、発注者からの評価が高く、工事成績評定点89点と効率的な作業と工程を大幅に短縮して工事を完成したということで、工程管理優秀工事としてNEXCO北海道支社長表彰を受賞することができた。

6. 最後に

GNSSを利用した施工管理は、準天頂衛星システム：QZSSの運用によって年々精度が向上しており、今後、ますます利用促進が進むと考える。今回の施工手法が今後の施工管理の一助となれば幸いである。

今回の施工においては、全国から職員を応援していただいたことによって、無事故で完成しています。最後に、この施工に携わった職員全員、および支店・本店のご協力していただいた方々に多大なる感謝の意を表します。

φ1350 刃口推進工の施工事例

葛西 正人*
 嶋原 祐司*

1. はじめに

東京都内において、某大手ガススマートエネルギーセンターから建設中のオフィス・ホテル棟に熱源供給管を敷設する推進工を実施した。この両施設は、区道をはさんでその両側に位置していたので、区道の両側に発進立坑と到達立坑を設置し、φ1350の刃口推進工によって施工した。

当該工事では、特殊な現場条件によって当初設計から多くの設計変更を実施した。本文では、その工事概要および設計変更概要について報告する。

2. 工事概要

工事概要は、以下に示すとおりである。

- ・発注者：某大手ガス会社
- ・工事場所：東京都江東区内
- ・工事期間：2019年7月1日～2020年8月31日
- ・変更後の工種および数量：
 - 発進立坑(シートパイルⅣ 7.2*7.6*7.73)・・・1基
 - 到達立坑(シートパイルⅣ 3.6*4.8*7.34)・・・1基
 - 地盤改良工(立坑底盤部)・・・60,227L
 - 地盤改良工(推進路線防護部)・・・116,640L
 - φ1350刃口推進工・・・27.1m
 - 熱源供給配管現場打ピット・・・1基
 - 管開削土工(掘削床-3.61m)・・・4.2m

3. 現場条件

当該現場の条件は、以下に示すとおりであった。

- ① 管は区道を横断するが、当該道路は掘削禁止エリアである。
- ② 図-1の土質柱状図に示すように、当該地層はGL-6.7mまではN値が50以上の改良層を含む不均一な埋戻土であり、また地下水位がGL-3.6mである。
- ③ 施工範囲内の地層には、汚染土(産業廃棄物)を多く含む。
- ④ 発進立坑は、某大手建設会社が施工中のヤード内の作業となり、到達立坑は供用開始中の某大手ガス会社スマートエネルギーセンター内での作業となる。

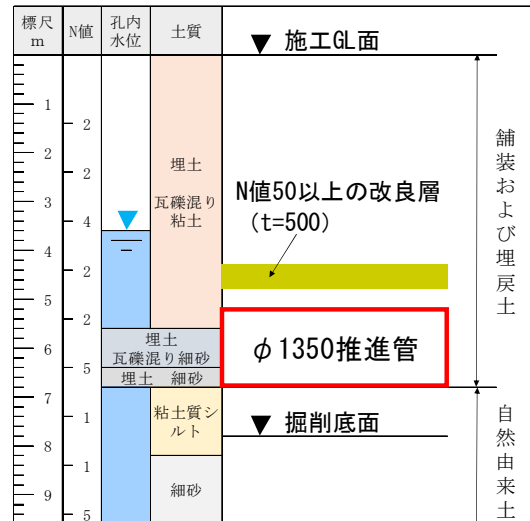


図-1 土質柱状図

4. 当初設計の課題

4-1 立坑築造工

(1) 土留工法

当初設計は「シートパイル油圧圧入工法」であったが、前述のようにGL-4.3m付近にN値が50を超える改良層があるので、この層をシートパイル油圧圧入工法で圧入することはできないと判断された。また、シートパイルセクションからの浸入水を抑制する手法を検討する必要があるがあった。

(2) 底盤改良工

当初設計は「JSG工法」であったが、半置換工法であるJSG工法では、大量の汚泥処理が発生するので、これを抑制でき、かつ掘削床面下の細砂層のボーリング防止効果も確実に発揮できる地盤改良工法とする必要があるがあった。

4-2 推進工事

当初設計では、「φ500～800の小・中口径推進を4系統敷設」であった。過去の同地区の推進工事中において、「木杭・鋼材等の障害物に遭遇し、これを除却するために大変苦労した・・・」ということだったので、これらの障害物に遭遇しても、路上から掘削しこれらを除去することができないという条件で工法を選定する必要があるがあった。

4-3 付帯工部の開削工事

付帯工部の開削工事は、当初設計では「段堀オープンカット」であったが、掘削深さが3.6mとなるオ

*関東支店東京第一営業所工事主任 **同支店工事部担当課長

ープンカットでは掘削幅が大きくなり、付近構造物に対する影響が多く、当該現場では不相当と判断された。また、当該箇所には直上に供用中の建物の張出部があり、長尺物の土留材を先行打設することが困難な状況であったので、こうした環境下における確実な土留工法を選定する必要があった。

4-4 残土の運搬

当初設計では、掘削土砂を直接搬出することになっていたが、当該現場ヤードが狭隘で場内に残土仮置きヤードを設けることができないので、多量の水分を含んだ軟弱土を短時間でコンパクトに運搬できる手法を検討する必要があった。

5. 設計変更およびその成果

当初設計の課題を解決するために、当社からの提案で設計変更した内容およびその成果を以下に示す。

設計変更後の施工断面図を図-2に示す。推進管φ1350の敷設位置は、区道下5.0mである。

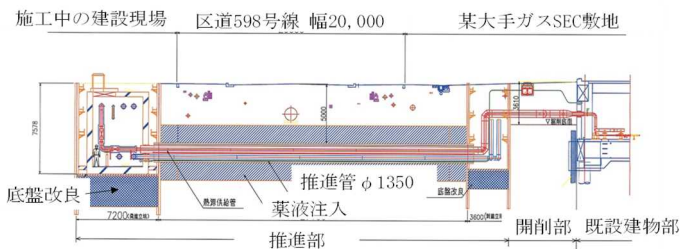


図-2 設計変更後の施工断面

5-1 立坑築造工

(1) 土留工法

シートパイル圧入芯の硬質改良層を「全油圧式ベースマシン一体型油圧オーガー」で破碎し、その後に油圧圧入を行う「先行オーガー破碎併用圧入工法」でシートパイルを設置した。シートパイル(IV型 L=11.5m)先行削孔・油圧圧入状況を写真-1に示す。



写真-1 シートパイル(IV型 L=11.5m)先行削孔・油圧圧入状況

また、シートパイルセクションからの浸入水(汚染水)を抑制するため、シートパイルのセクションに「水分に触れると最高6倍まで膨れ上がる膨潤性樹脂をベースとした止水材」を塗布することとした。な

お、この止水材は工場ですべて事前にシートパイルセクションに塗布し現場に搬入した。セクションに止水材を塗布したシートパイル(商品名:パイルロックNS)を写真-2に示す。

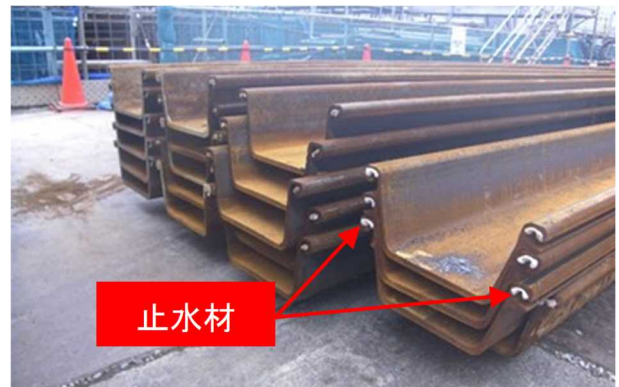


写真-2 セクションに止水材を塗布したシートパイル

以上のような対策を講じた結果、立坑の土留めをスムーズに築造でき、かつ立坑施工中も坑内はほとんど無水の状態を保つことができた。

(2) 底盤改良工

「JSG工法」から「恒久グラウト材注入工法」に変更し、施工中の汚泥処分をなくすこととした。なお、一般的な薬液注入材料では、浸透範囲や強度に問題が生じるので、浸透性の低さを改善した恒久グラウト注入材「ソイルサポートエース」を注入材とした。

この材料は、通常セメント系懸濁材と珪酸ソーダを混合反応させる材料と異なり、超微粒子スラグを主材とし、超微粒子アルカリカルシウムを混合反応させることによって、浸透性、強度および耐久性に優れ、安定した固結体を形成することができる。

施工は通常の二重管ストレーナー工法で行った。立坑底盤改良(恒久グラウト材注入工)状況を写真-3に示す。

以上の工法変更によって、部分的に緩い箇所が発生したものの、汚泥処理することなくボイリングを完全に抑えることに成功した。



写真-3 立坑底盤改良(恒久グラウト材注入工)状況

5-2 推進工事

木杭・鋼材等の地中障害への適応性が低い小口径機械推進工法(4系統)から、切羽部で管内から障害物への対応が可能な「 $\phi 1350$ 刃口推進工(1系統)」に変更した。

また、「 $\phi 1350$ 刃口推進工」では切羽の安定のため、管路周囲を事前に改良しておく必要があるが、掘削禁止エリアで地上からの削孔ができないので、立坑から水平方向に改良材を注入した。この際、改良体の増築精度を上げるため、発進・到達の両立坑から約14mの水平注入を行った。薬液材料は、立坑底盤改良で当該現場での適応性の高さが確認された「ソイルサポートエース」を用いることとした。

到達立坑側の路線防護注入計画図を図-3に、路線防護水平注入状況を写真-4に示す。



図-3 到達立坑側の路線防護注入計画図



写真-4 路線防護水平注入状況

以上の工法変更によって、到達までに三度、木杭等に接触したが、管内から除却し推進工を無事到達させることができた。

「 $\phi 1350$ 刃口推進工」の施工状況を写真-5に、推進中の障害物を写真-6に、および推進到達状況を写真-7に示す。

5-3 付帯工部の開削工事

開削工事箇所は施工ヤードが狭く、掘削断面の片側は法切りできたが、対面側は「シートパイル自立」によって持たせる土留工法とした。



写真-5 「 $\phi 1350$ 刃口推進工」の施工状況



写真-6 推進中の障害物



写真-7 推進到達状況

シートパイル長は $L=9.5\text{m}$ 必要となるが、直上に供用中の建物の張出部があるので、パイルを3分割の継矢板とし、高さがGLから4.0m以内で施工可能な「クリアパイル工法」を採用した。

クリアパイル工法の概要を図-4に、クリアパイル工法の施工状況を写真-8に示す。

当工法の採用によって、安全にシートパイルを設置でき、開削を完了させることができた。

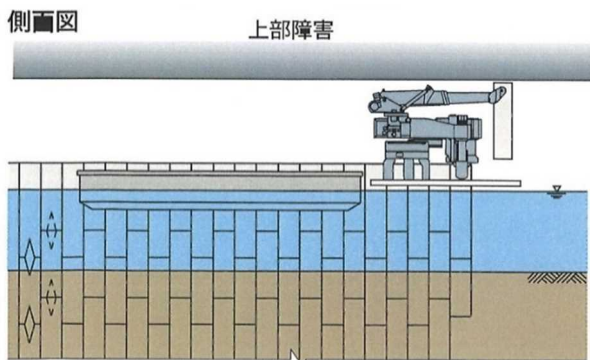


図-4 クリアパイル工法の概要図



写真-8 クリアパイル工法の施工状況

5-4 残土の運搬

掘削中の立坑内は、「パイルロックNS」および「ソイルサポートエース」による底盤改良効果によって、立坑外からの浸入水はほとんどなかった。しかし、これらのことから、逃げ場を失った地盤改良時の削孔水によって、立坑床付付近の土砂は水分が飽和状態となり、直接搬出することが困難な状況であった。

当該現場では仮置き改良ヤードがないので、速やかに固化し場所を取らずに混合できる高含水泥土改良剤MTを用いることによってこの問題を解決した。

ケミカル材料となるMTシリーズは、対象土質によって3タイプの商品があり、現場において各材料を試した結果、MT-2が最も効果的で経済的であることがわかった。攪拌は立坑床付面に降ろした小型バックホウで行い、含水状況に合わせて添加量を約1～5kg/m³程度とした。

以上の対策を講じた結果、立坑床付上の水分飽和状態の土砂を運搬可能な状態に改良でき、スムーズに搬出を行うことができた。小型バックホウによる攪拌状況を写真-9に、改良直後の残土の状況を写真-10に示す。



写真-9 小型バックホウによる攪拌状況



写真-10 改良直後の残土の状況

6. おわりに

当該現場では、特殊な現場条件であるので、さまざまな設計変更を実施したが、常に発注者と綿密な協議を行うことで無事、発注者の満足する熱源供給施設を構築することができた。本文が今後、同様の工事の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。

リフトイン工法による既設雨水排水路の補強事例

永澤 拓也*
小菅 俊弘**

1. はじめに

埼玉営業所管内の現場において、既設雨水排水路を「リフトイン工法」によって補強したので、その概要、施工方法および創意工夫について報告する。

2. リフトイン工法

リフトイン工法は、老朽化した下水道水路、農業用水路、工業用水路、道路横断水路などを更生し、高強度、かつ高機能水路にする更生工法である。

FRPM管(強化プラスチック複合管)を、カゴ型運搬台車と低重心バッテリーカー(図-1参照)によって既設水路構造物に挿入・接合し、既設水路構造物との隙間にエアモルタルを注入する手順となる。

既設水路がボックスカルバート水路、馬蹄形水路、開水路、鋼管、コンクリート管、およびコルゲート管で適用でき、適用口径はφ600～2600mmである。

リフトイン工法の特徴を以下に示す。(図-2参照)

- ・軽量・高強度・耐食性に優れたFRPM管を用いている。
- ・FRPM管、老朽化した既設水路およびエアモルタルの組合せで、耐震性、耐久性の向上が図れる。
- ・既設水路構造物内では、軌条レール無しでカゴ型運搬台車と低重心バッテリーカーによってFRPM管を長距離運搬できる。
- ・既設水路構造物の蛇行・勾配修正ができる。
- ・延長2kmまで更生ができる。



図-1 カゴ型運搬台車と低重心バッテリーカー



図-2 リフトイン工法のイメージ図
(リフトイン工法研究会のホームページから引用)

・工事内容：

運搬路整備工	552.0m
FRPM管設置工(外圧2種、φ1100mm)	550.8m
裏込材注入工(据付プラント)	
取付管接続工	3か所
換気設備・照明設備・信配線設備工	552.0m
仮排水設備工	1式

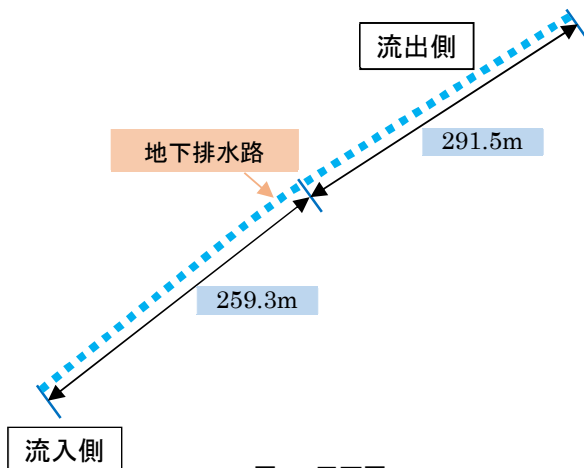


図-3 平面図

3. 工事概要

工事概要は、以下に示すとおりである。

- ・工事名称：排水路更生工事(仮題)
- ・工期：2020年4月16日～10月31日

4. 工事の流れ

工事の流れを図-4に示す。

*関東支店埼玉営業所 **同営業所専門役

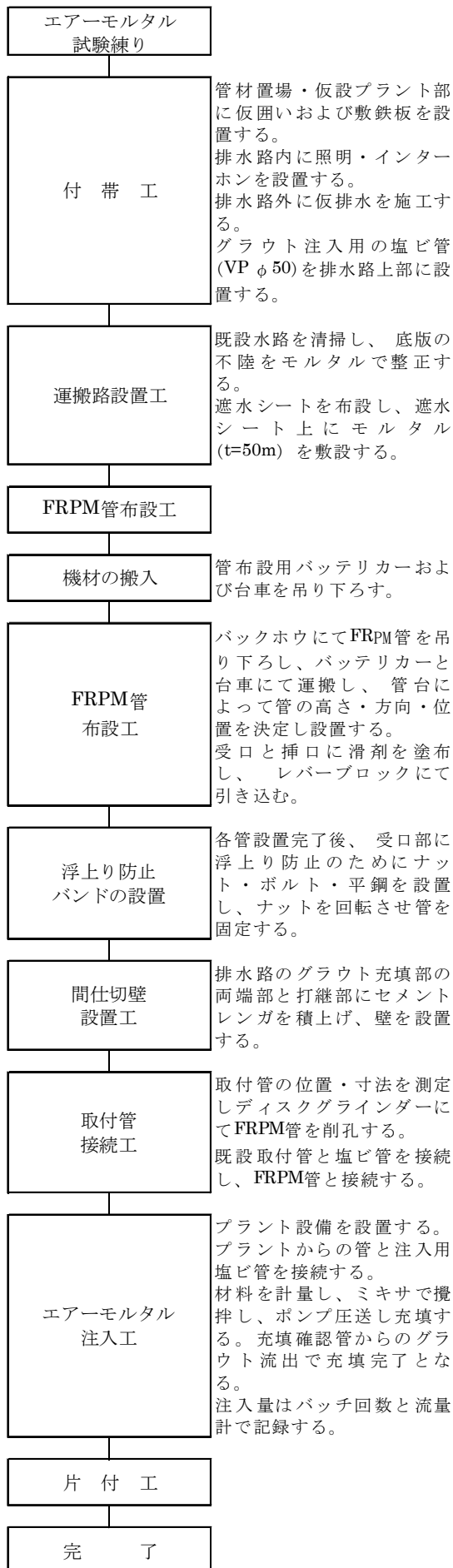


図-4 工事の流れ

5. 施工方法および創意工夫

当該工事では、FRPM管と既設排水路との隙間にエアームルタルをいかに隙間なく充填させるかが要点であった。既設排水路の入口の状況を写真-1に示す。



写真-1 既設排水路の入口の状況

5-1 エアームルタルの試験練り

エアームルタルの材料仕様、配合および試験練り結果を表-1~3に示す。

表-1 材料仕様

材料	品質	密度 (g/cm ³)	備考
セメント	高炉セメント	3.04	太平洋セメント
混和材	マイクロサンド	2.68	奥多摩工業
起泡剤	パールクリート	1.03	第一化成産業
水	水道水	1.00	

表-2 配合

セメント	混和材	水			起泡剤
		混練り水	希釈水	計	
245	245	294	20.97	314.97	2.4

表-3 試験練り結果

生比重	空気量 %	フロー値 mm	一軸圧縮強度 N/mm ²
0.8±0.1	50±5	200±30	1.0

5-2 付帯工

準備工として、管材置場・仮設プラント部に仮囲いおよび敷鉄板を、排水路内に照明・インターホンを、および排水路外に仮排水を設置した。

また、エアームルタルを注入する塩ビ管(VPφ50)を排水路上部に図-5に示すように設置した。その状況を写真-2に示す。

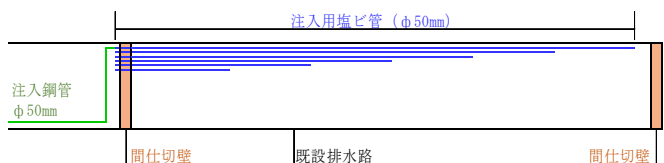


図-5 エアームルタル注入用塩ビ管の設置図



写真-2 塩ビ管の設置状況

5-3 運搬路整備工

運搬路整備工では、①既設水路を清掃、②底版の不陸をモルタルで整正、③遮水シートを布設、その後遮水シート上にモルタル(t=50mm)を敷設した。

なお、注入の設計量を正確に把握するために断面積および延長を正確に測定した。

5-4 FRPM管の布設

バックホウによって、低重心バッテリーカー、カゴ型運搬台車およびFRPM管を吊り下ろし、既設排水路内では、低重心バッテリーカーとカゴ型運搬台車によってFRPM管を運搬した。

FRPM管の吊下ろし状況を写真-3に、既設排水路内のFRPM管の運搬状況を写真-4、5に示す。



写真-3 FRPM管の吊下ろし状況



写真-4 既設排水路内でのFRPM管運搬状況(1)



写真-5 既設排水路内でのFRPM管運搬状況(2)

管台によって高さ・方向・位置を決定しFRPM管を設置した。設置に際しては、受口と挿口に滑剤を塗布し、レバーブロックによって引き込んだ。この繰返して全延長のFRPM管を設置した。管台設置状況を写真-6に、FRPM管の接合状況を写真-7に示す。



写真-6 管台設置状況



写真-7 FRPM管の接合状況

5-5 浮上防止具の設置

各管設置完了後、受口部に浮上り防止のためにナット、ボルトおよび平鋼を設置し、ナットを回転させて管を固定した。FRPM管の布設完了状況を写真-8に示す。



写真-8 FRPM管の布設完了状況



写真-10 電極による注入確認状況

5-6 間仕切壁設置工

排水路の両端部および打継部(合計4か所)にセメントレンガを積上げ、間仕切壁を設置した。間仕切壁の設置状況を写真-9に示す。



写真-9 間仕切壁の設置状況

5-7 エアモルタル注入工

専用の製造プラントでエアモルタルを製造し、プラントから排水路内の注入塩ビ管(写真-2参照)までを鋼管で結び、既設排水路内の空洞に送った。

製造では、材料を計量しミキサで攪拌しポンプ圧送した。充填確認管からのグラウト流出で充填完了と判断した。注入確認状況を図-6に示す。

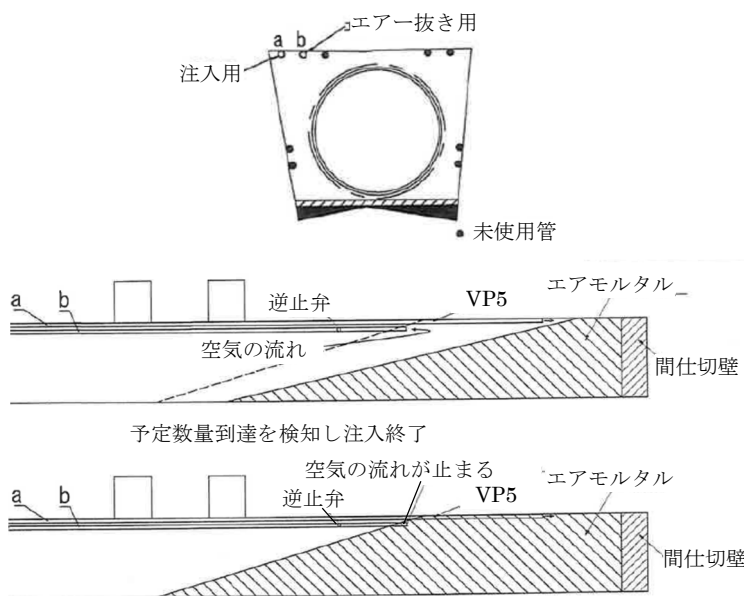


図-6 注入確認状況

空気が流れが止まったことを笛の音で確認できるようにするとともに、事前に排水路上部に設置した電極でも注入の確認を実施した。(写真-10参照)

また、実際の注入量をバッチ回数と流量計で記録し、当初計測した設計体積とこの実際の注入量を比較することで、100%注入を確認した。注入量は設計値の101.6%であった。品質管理結果を表-4に示す。

表-4 エアモルタルの品質管理結果

測定項目	9月8日		9月9日		9月10日	管理値
	午前	午後	午前	午後	午前	
生比重 (%)	0.79	0.81	0.80	0.82	0.80	0.70~0.90
空気量 (mm)	50.0	50.0	50.0	52.5	50.0	45.0~55.0
フロー値	180	210	190	210	210	180~220

5-8 完成

完了状況を写真-11に示す。

6. おわりに

排水路(延長550m)の検査時には、検査官が入るのが困難であったので、施工の流れ・状況がわかるビデオを撮影し、このビデオで検査し好評であった。

本文が今後の同様の工事の参考になれば幸いである。最後に当該工事にあたり、協力いただいた関係各位に感謝の意を表したい。



写真-11 完了状況

ワイヤー連結工(ES ネット工法)による法面对策

元木 博幸*
鎌田 博之**

1. はじめに

大阪府河内長野市内にある某寺院の東側法面に台風・大雨の影響で倒木があり、さらに斜面崩壊の危険があったので、法面の補強を行った。法面下には文化財の建物が有り、法面上は国道という場所での作業となった。

今回、法面の補強対策として、ワイヤー連結工(ESネット工法)を採用したので、その概要について報告する。

2. ESネット工法とは

ES(Earth Sewing)ネット工法は、表層すべりが想定される自然斜面や法面に適用できる表層崩壊対策工法である。格子状に配したワイヤーケーブルと交差点部に打設したロックボルトで構成される。頭部締付時にプレートを介して地山にワイヤーケーブルを押し込むことによって、地山表面の緩みを抑制する。

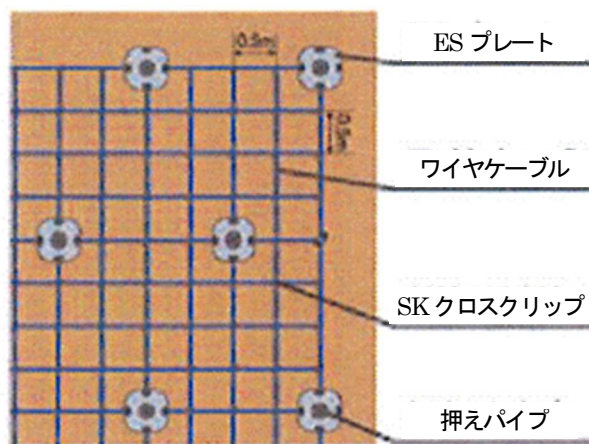


図-1 工法の基本構成(地山補強ネット工法研究会HPから引用)

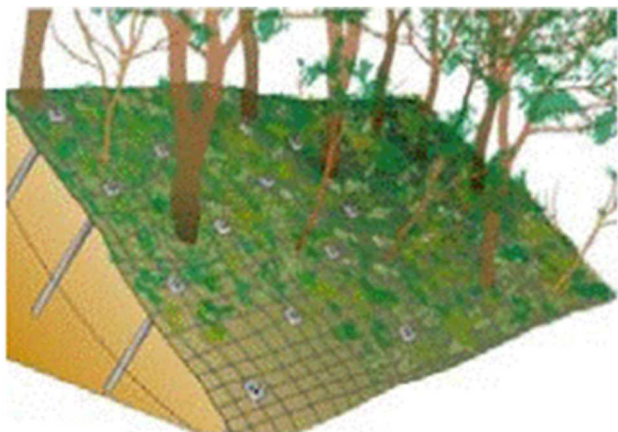


図-2 工法イメージ図(地山補強ネット工法研究会HPから引用)

3. 現場での施工

ESネット工法の施工について以下に詳述する。

3-1 工事概要

当該工事の工事概要を表-1に示す。

当該工事はESネット工法による法面崩壊防止対策として、急勾配範囲をワイヤー連結工で施工する計画であった。

工事着手直後に現地踏査を行ったところ、施工箇所が急勾配であり、既に倒木の可能性のある樹木があったので、安全性を考慮して伐採工を先行することとした。

表-1 工事概要

工事名称	某寺院境内東側法面災害復旧整備工事	
工期	2019年10月30日～2020年3月25日	
施工場所	大阪府河内長野市天野町地内	
工事内容	法面对策工	
	ワイヤー連結工	1,190 m ²
	伐採工	1,190 m ²
	雑工	1式

3-2 施工内容

施工内容を以下に示す。

(1) 伐採工

施工フローを図-3に示す。

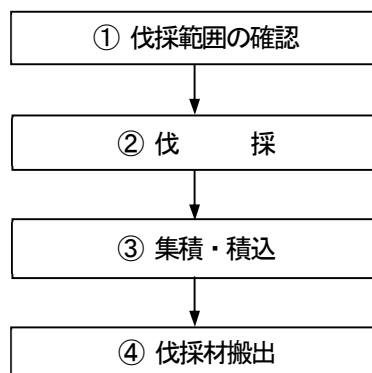


図-3 伐採工の施工フロー

(2) アンカー工(鉄筋挿入)・ワイヤー連結工の施工手順
アンカー工およびワイヤー連結工の施工手順を図-4に示す。

各施工手順について、以下に詳述する。

*大阪支店大阪中央営業所工事主任 **同営業所副所長

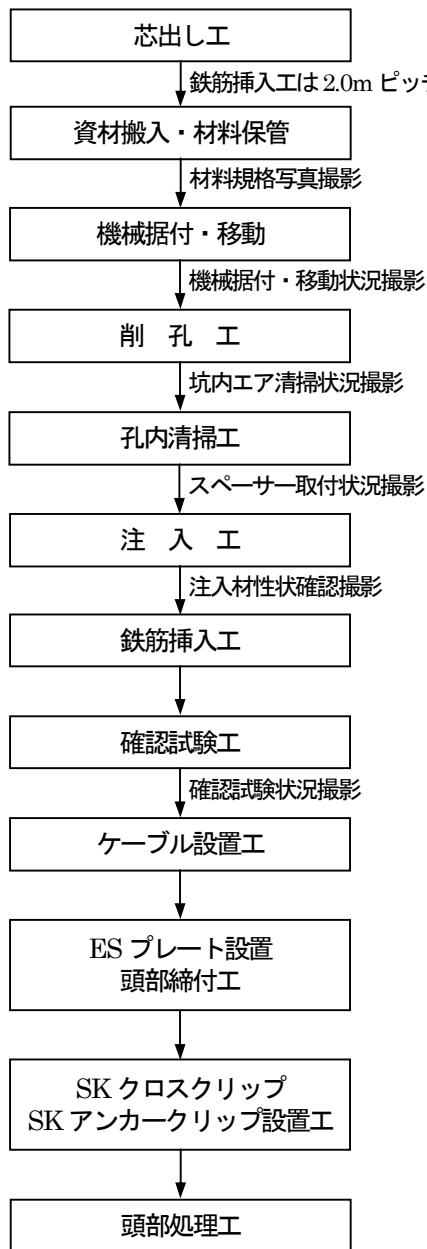


図-4 施工フロー

(3) 芯出し工

補強材打設の芯出しを行い、ケーブルの設置位置を確認する。標準の2mピッチの千鳥配置(配置誤差100mm以内)にナイロンロープ等を配置して位置を決定する。その位置が主ケーブルの配置位置となる。

(4) 資材搬入・材料保管

- ①使用材料荷下し時には、角材等を材料の下に敷くものとし、直接地面にはふれないよう搬入を行う。(ネジ節異形棒鋼)
- ②また、上記によりがたい資材については、パレット上に乗せ、同様に直接地面にふれないよう搬入を行う。(頭部部材・セメント等)
- ③材料を使用しない時および作業終了時にはブルーシート等を用い、雨水湿気等によって錆びないよう養生を確実にを行う。

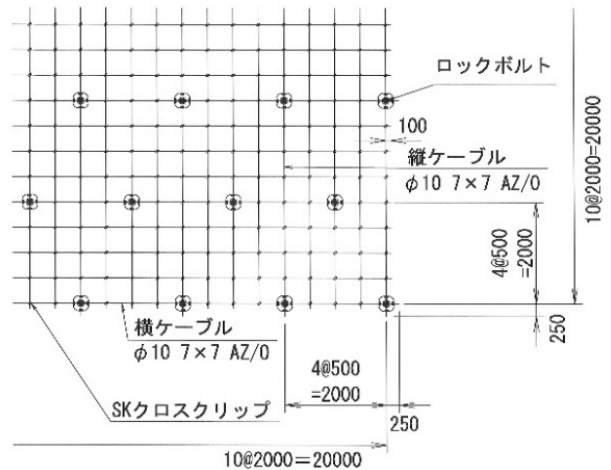


図-5 鉄筋配置図

(5) 削孔工

- ①削孔機を所定の削孔位置および角度(法面に直角)にセットし削孔する。
- ②この時、二重管で所定の深度まで削孔する。
- ③削孔中は、ロッドを上下させながらスライムの排出を行う。
- ④削孔長の検尺は、検尺棒を挿入して確認する。

(6) 孔内清掃工

- ①グラウト注入工に先立ち、孔内の清掃を行う。
- ②清掃方法として、所定深度まで削孔完了した後、インナーロッドを上下させながら孔内の清掃を行い、グラウト注入に支障をきたさないよう、孔内に残っているスライムを除去する。
- ③除去完了後、インナーロッドの回収を行う。

(7) 注 入 工

- ①孔内清掃後、速やかにグラウトの注入を行う。表-2に示す配合のグラウトを使用し、補強材に抱かせた注入パイプ先端からグラウト材を注入する。孔口からグラウト材の排出が確認されるまで行うものとする。
- ②注入完了後の廃棄セメントミルクおよび洗いは、流出しないように1t土嚢袋に回収し、産業廃棄物処理業者に委託して処理する。上水は注入の水とし、ポンプで水槽に送り再利用する。

(8) 鉄筋挿入

- ①スペーサーを2.5mピッチで両端部0.25m(L=3.0m 2個)の位置に固定する。
- ②鋼棒加工の後、ケーシング内に挿入する。また、この際ケーシングの角等でメッキ加工が傷つかないように留意して挿入を行う。ナット締付け代確保のため、地表面から100mmの余長を設ける。

(9) 抜管

- ①セメントミルク注入完了後、削孔機によってケーシングの抜管を行う。その際、鋼棒の共上がりに十分注意しながら、ケーシングを回転させ回収する。
- ②ケーシング回収後、頭部余長を確保し、振動等を与え

ないように固定して養生する。

(10) グラウト配合計画

①使用材料

- ・セメント：早強ポルトランドセメント(比重3.14)
- ・混和剤：レオビルド4000(比重1.13)

②配合条件

表-2に示す配合比に基づいて、配合計算を行う。

表-2 注入グラウト配合比

区分	材料	セメント	水(W/C)	混和剤 (レオビルド [®] 4000)
質量配合比		1	0.50~0.55	C×0.2~1.5%

③グラウト配合計算

グラウトの配合計算は、表-3に示すとおりとする。

表-3 グラウト配合計算

材料	質量 (kg)	絶対容積 (L)
セメント	1,230	1230÷3.14=391.7
水	591.9	1000-(391.7+16.4)=591.9
混和剤	123×0.015=18.5	18.45÷1.13=16.4
合計	1,840	1,000

④現場配合

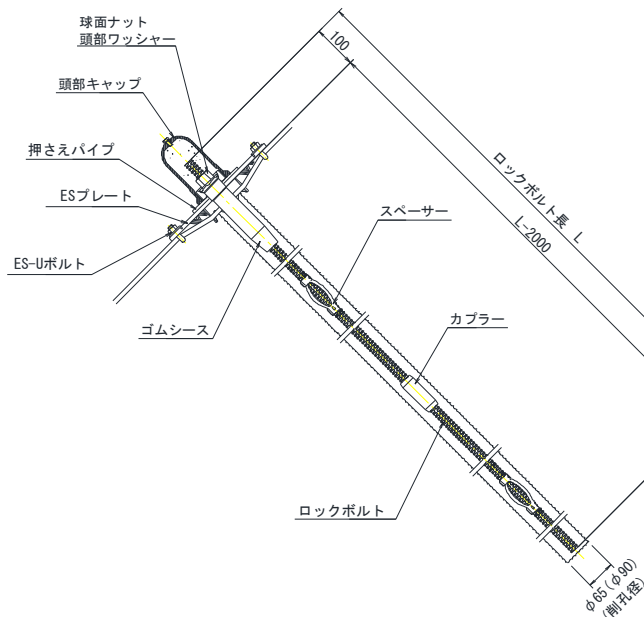
表-3の配合計算結果に基づいて、表-4に示す現場配合で実施工を行う。

表-4 注入グラウト現場配合表

区分	材料	セメント (kg)	水 (kg)	混和剤 (kg)
1m ³ 当り		1,230	591.9	18.5
1バッチ当り		200	96.2	3

配合量の確認として、水量計であらかじめ1バッチ当たりの水を計量し、水量計に印をつける。

混和剤についても、計量器で1バッチ当りの必要量を



計測し、容器に目印線を記入しておく。

(11) 段階試験

①試験の目的

確認試験は、施工した補強材が所定の設計引張力を満足しているかを確認することを目的とする。なお、試験頻度は、全本数の3%、かつ、3本以上とする。

試験は、施工時に採取した供試体の圧縮強度が設計値(24N/mm²)以上であることが確認できた段階で実施する。

②載荷方法

確認試験の載荷方法は単サイクルで、初期荷重は5.0kNとする。

載荷時の荷重増分は5.0kN刻みとし、最大試験荷重23.0kNまで載荷する。

各段階での荷重保持時間は5分とし、荷重の載荷にはボルトジャッキを使用する。

載荷サイクル 5.0→10.0→15.0→20.0→23.0
→20.0→15.0→10.0→5.0

③計測およびデータ整理

試験時の計測項目は、載荷荷重、補強材変位量、および試験時間とする。なお、データの整理においては、設計引張力を満足しているかを確認する。

確認試験の実施前に確認試験計画書を提出するものとする。

(12) 主ケーブルの配置

①縦主ケーブルを1.0m間隔、横主ケーブルを2.0m間隔で斜面に配置する。

②主ケーブルは、専用Uボルトが取り付けられる構造をしており、補強材位置で交差している主ケーブルを専用UボルトによってESプレートに固定する。その際、主ケーブルにたるみができないように固定する。地山になじむ程度に配置する。

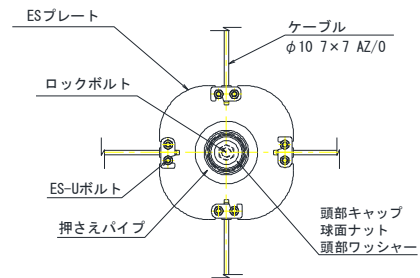


図-6 ESプレート



写真-1 (左から)ESプレート、Uボルトおよび押えパイプ

(13) ESプレート設置・頭部締付け

- ①補強材打設位置において、主ケーブルの上からESプレートを設置する。ESプレートの上下左右には、専用Uボルトが取り付けられる構造をしており、補強材位置で交差している主ケーブルを専用UボルトによってESプレートに固定する。その際、主ケーブルにたるみができないように固定する。
- ②押えパイプの凹部を主ケーブルに合わせて設置し、補強材のナットをレンチ等で締め付けることで押えパイプを地山方向に押し付ける。押えパイプのプレートがESプレートに完全に密着するまで締め付ける。



写真-2 ESプレート設置状況

(14) SKクロスクリップ・SKアンカークリップ設置工

- ①0.5m間隔に補助ケーブルを配置して、補助ケーブルがゆるむことのないように、SKクロスクリップでその交点を緊結する。
- ②0.5m間隔の格子状に補助ケーブルを設置する。
- ③また、SKアンカークリップによって、セメントアンカー頭部に主ケーブルの端部を固定する。



写真-3 クリップ設置状況

(15) 頭部処理

- ①頭部キャップ(防錆油入り)を取り付ける。なお、この際キャップ上部の空気孔から防錆油が溢れ出るのを確認し、防錆油をふき取り後、六角ボルトで空気孔を塞ぐ。
- ②ペンチ等の工具を使用して、ケーブル端部に端部キャップを取り付ける。



写真-4 頭部処理状況

4. まとめ

既存の木を残したまま斜面補強を行うことができる新しい法面保護工の施工事例について紹介した。コンクリートを使用しない工法であり、今後の活用が期待できる。また、本工法には耐久性の高い材料が使用されているが、構造物の長寿命化が求められる中、劣化度合いに応じた維持管理手法の確立およびリニューアルが今後の課題であると考えます。



写真-5 完成状況

ゴルフ場の災害復旧における設計施工事例

奥村 勝利*

1. はじめに

当該ゴルフ倶楽部は、大分県内の丘陵地にあるオールドコースである。18ホール中2番／4番／7番／8番の4ホールが谷越えとなるなど、自然の地形を巧みに生かした各ホールは、戦略性の高い魅力のあるコースとして大分屈指の人気を誇っている。令和2年6月ごろ断続的に降り続いた豪雨によって、各ホールの至るところで災害が発生し、一時ゴルフ場運営ができないほどであった。

本文では、ゴルフ場運営上、甚大な影響がでた2番ホールで、運営を止めることなく自然との調和がとれ、なおかつゴルフ場運営陣への安心感と、利用者への紳士的配慮を考慮した設計施工提案によって、発注者の要望において他社との差別化を図って受注した、災害復旧工事の施工事例について報告する。



写真-1 2番ホールティーグラウンドから望む(完成)

2. 工事概要

工事名：某ゴルフ倶楽部(1H・2H)復旧工事

工事場所：大分県由布市内

工期：2020年11月1日～12月31日

工事内容：1番ホール

土工 $V=1,375m^3$

法面整形工 $A=185m^2$

2番ホール

崩壊部整地工 $V=1,246m^3$

地盤改良工 $A=623m^2$

1号補強土壁 $A=259m^2$

2号補強土壁 $A=100m^2$

3. 受注までの経緯

3-1 発注者からの条件提示(要望事項)

発注者の要望事項は、災害復旧工事期間中であつ

てもゴルフ場運営を続けることが大前提であり、当然ゴルフ場利用者からの苦情を受けないことと、極力ゴルフ場のカート道を利用せずに場内の土砂を利用し、年内で復旧工事を完成させ年明けからコースのフル営業を開始することであった。

ごく当たり前の条件提示であるが、豪雨によって土砂が崩壊し流出している2番ホールでは、復旧に必要な土量を削減できる工法が必須で、その工法を確実に実行できる施工計画が必要となった。したがって、筆者の経験と発注者の要望を基に強度、景観および施工性を考慮した工法の検討が必要であった。

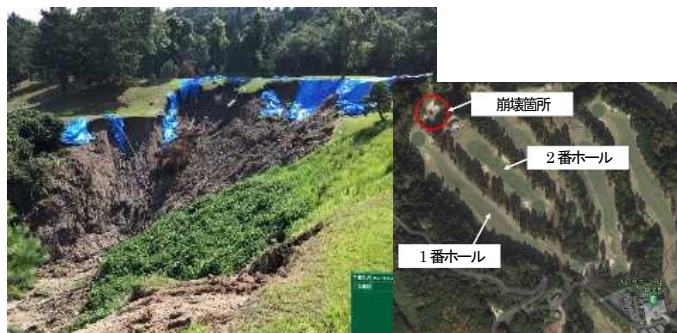


写真-2 2番ホールの崩壊部状況と位置

3-2 復旧工法の検討

復旧工法について検討した結果を以下に示す。

(1) 土量の低減

盛土量を少なくし、敷地内の土砂を利用することによって、場外からの土砂搬入をなくす。

(2) 盛土の強度確保

過去2回以上の崩壊が考えられるので、降雨による土砂崩壊に対する盛土の強度を確保する。

(3) 雨水の制御性能

土砂崩壊の原因である雨水を制御し盛土内部への浸入防止、または盛土内部から排水する。

(4) ゴルフ場の景観確保

ゴルフは緑あふれる自然環境の中でプレーするものであるため、コンクリート製品を使用しない。検討結果から、盛土量を低減させ、主材料が軽量で搬入に大型車両が不必要な、パブリックドレン(高耐圧排水材)を盛土内部に設置して排水を促し、壁面の緑化や景観にも適応した盛土材料を補強できる補強土壁工を選定した。また、補強土壁工の施工において、上記条件を確実にクリアできる施工計画を提案した。

九州支店大分営業所工事主任



写真-3 崩壊部復旧完了

3-3 ゴルフ場の運営をしながらの施工提案

補強土壁工事を施工するにあたり、各条件をクリアした施工提案を以下に示す。

(1) ゴルフ場の運営を続けるため、場外から資機材運搬が可能な小規模アクセス道路の造成を提案。

【効果】カート道路を使用することなく、ゴルフ場の運営時間外の施工による経費を削減できる。

(2) 補強土壁工に必要な土量を採取するエリア(レディースティー)および仮置ヤードを確保するため、2番ホールをミドルホールから暫定ショートホールへのコース変更を提案。

【効果】盛土材の確保と最短距離での運搬が可能となり、ゴルフ場利用者への影響が最小限となる。

提案項目の実行によって、必要以上にカート道路を使用せずにゴルフ場運営に支障を与えない、迅速な施工、材料の確保、過大な騒音の低減、および確実な施工性を求められる難易度の高い設計施工において、技術提案のプレゼンテーションが功を奏し、見積競争業者との差別化によって受注に至った。



写真-4 レディースティー掘下げによる盛土材確保

4. 設計施工の実施に伴う工事営業

4-1 発注者とのコミュニケーション技術向上

発注者は、特に地すべりに関して不安を感じていたが、当社から安定計算の検討、丁寧な説明、および技術資料の提示を行ったことで、受注時のキックオフ会議において信頼を得ることができた。

コースフル営業の開示期日の検討資料では、各週の進捗報告を実施し、計画工程表に各週の進捗工程、進捗写真の添付およびフォローアップによって、問

題点の明確化を行った。また、「報告・連絡・相談」の基本的情報のキャッチボールの徹底によって、発注者の不安感の解消を図った。特にコース管理関係者(グリーンキーパー)とのコミュニケーションでは、協力体制を常に心掛け、ゴルフ利用者の最終時刻を把握し、カート道路を最大限に利用し工程短縮につなげた。

ゴルフ場利用者に対する対応では、毎朝の朝礼時に「朝礼の小言」と称した、ゴルフマナーに関する事例をKYの一環として作業員、重機オペレーター等に周知し、ゴルフ場利用者への配慮を徹底した。



写真-5 工事お願い看板

4-2 施工に対する安心感の表現

(1) 施工中の問題点としては、作業エリア全体が崩壊土砂で、軟弱地盤であることが考えられたので、土質調査を実施した結果、シルト混じり砂質土であることが判明した。そこで、セメント系固化材を使用することとした。浚渫の施工方法のように、確実に重機作業の足場をセメント改良し、重機転倒災害の防止に努めた。



写真-6 重機走路のセメント改良

(2) カート道路を使用せず大型重機を搬入するために進入路の造成を行った。コース管理者から裏山に使用していない小さな点検通路があることを事前に確認していたので、碎石路盤を敷きならしセメント改良を行い、今後のコース管理にも使用可能な工専用通路とした。



写真-7 スーパーロングアーム(14m級)搬入状況

(3) 補強盛土工に使用する盛土材をセメント改良した際には、盛土材をバケツに入れセメントと攪拌し硬化することを発注者に確認してもらった。また、谷部を造成しているので、崩壊面から湧水がにじみ出てきていることが確認できた。そこで、湧水を処理するため、補強盛土内に水平ドレーン、崩壊面に背面ドレーンを密に設置して補強盛土内への湧水の浸入を防いだ。



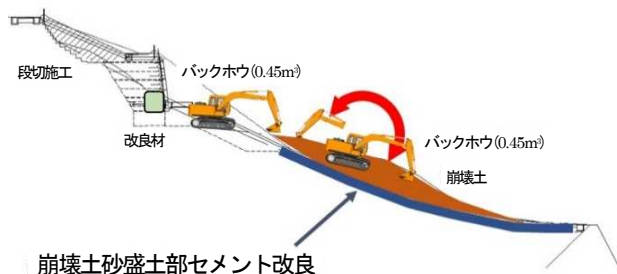
写真-8 パブリックドレーンの設置

(4) 補強盛土に使用する土量を確保するため、崩壊場所の土砂をバックホウでまくり上げる作業においては、ゴルフ利用者から苦情が考えられた。そこで、次世代排出ガス規制対応の超低騒音型新機種を全機配備し、プレーエリアでの騒音が影響しないことを確認してもらいアピールした。



写真-9 崩壊土砂まくり上げ状況

(5) 雨水が流れる崩壊土砂盛土部はモルタル吹付、張りコンクリートなどのコンクリート構造を採用せず、表面を改良厚 $t=600\text{mm}$ でセメント改良(添加量 $60\text{kg}/\text{m}^3$)し、表面緑化を行った。



崩壊土砂盛土部セメント改良

図-1 崩壊土砂盛土部セメント改良



写真-10 崩壊土改良後の緑化状況

(6) 補強盛土工の基礎部については、強度計算を検討して基礎地盤改良を行った。補強土壁工の地耐力($266\text{kN}/\text{m}^2$)をキャスポルで確認し(実測値 $756.7\text{kN}/\text{m}^2$)、発注者への報告を行った。発注者から補強領域外を通るすべりについての質疑があった。補強土壁領域外の円弧すべりについては、谷部を盛土した造成時の断面に影響されるので、崩壊土砂部分を含む前の押さえ盛土部分をセメント改良し、崩壊土砂露出部分の盛土強化を図った。

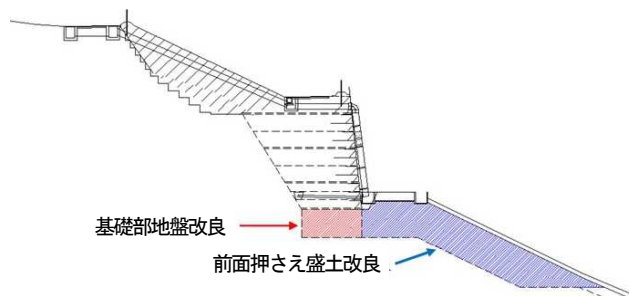


図-2 補強盛土基礎および押さえ盛土改良



写真-11 基礎部改良・支持力確認状況

常に施工に関する情報をゴルフ場経営陣に報告し、時間が合えば現地で施工方法、効果および形状を確認し、工事に関する本質の安心を感じてもらった。

5. まとめ

当該工事においては、特に突出した技術、工種等はなかったが、ゴルフ場内での災害復旧工事であるので、ゴルフ場利用者が常にプレーをしている状況であった。また、ゴルフ場管理者は災害発生時、絶望して復旧できないと感じていたため、災害復旧の設計施工の提案において、発生原因を明確に判断し確実に施工できる復旧案の提示が最も重要な要素になると感じた。



写真-12 現地踏査による問題の明確化



写真-13 既設重力式擁壁の存在

提案を説明する際、施工に関する質問・疑問に対する返答は、経験に基づいた明確で現実的な説明によって、受注に直結するものと考えている。

施工に関しても発注者(特にコース管理者)に対しては、常に状況が確認できる透明性のある報告を心掛けことによって安心感を与え、信頼を構築することで、設計施工の提案物件から継続した工事の受注につながると感じた。

6. おわりに

近年、九州北部豪雨に続き、令和2年7月の豪雨と災害の発生が多く、復旧工事が断続的に行われている。この工事は、ゴルフ場コースの復旧であったが、大分県においては、土砂災害によって通行止め等による不便な状況になっている地域もまだ多数ある。

全国においても同様な災害が発生する可能性があり、復旧工事が進まない中、今年も油断が許されないのが現状である。

今回の復旧工事において、ご指導・協力をいただいた本店、支店および各協力会社の皆様に感謝の意を表します。この工事の実績・経験が災害復旧の糧となり、不便を感じている方々のお力添えになれば幸いです。



写真-14 2番ホールの芝の育成状況

複層型プレキャスト舗装の構造設計法

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

1. はじめに

複層型プレキャストコンクリート舗装（以下、MPCP と称す）は、プレキャストコンクリート版（以下、Con 版と称す）を2層構造とし、上下千鳥に組み合わせることで、下層の Con 版（以下、下層 Con 版と称す）4 枚を上層の Con 版（以下、上層 Con 版と称す）1 枚の4か所の継ぎ手(以下、ピンと称す)で結合する新たな形態のコンクリート舗装である。本稿は、MPCP の特徴に留意した構造設計法の検討結果を記すものである。

2. 目的

MPCP は、①車両等の供用に必要な支持力を下層 Con 版以下で満足させることで、上層 Con 版は機能層として活用でき、部分的に異なる機能・構造とすることが容易となる、②プレキャスト化することでより舗装体としての品質が安定する、③現場作業に舗装用重機や舗装技能者を要さない、④天候に左右され難く工程が短縮される、といった利点が期待できる新しい舗装構造である。そこで、MPCP の構造設計に対応することを目的とする3次元有限要素法（3DFEM）プログラム‘Pave3D’を用いる理論解析に基づいた構造設計法を開発した。

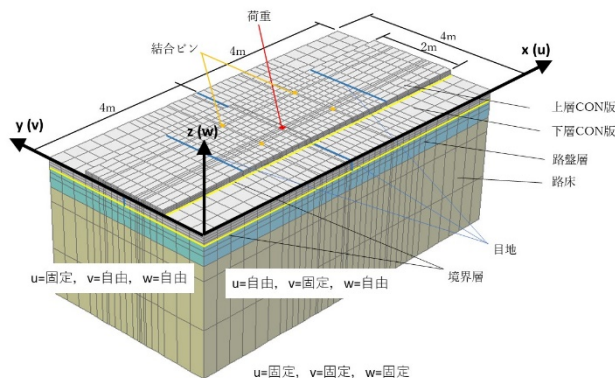


図-1 舗装構成モデル

3. 構造設計法

3.1 舗装構成モデルの特徴

MPCP の舗装構造は、下記に示す事項に留意してモデル化した。作成した舗装構成モデルを図-1に示す。

- ① 上層 Con 版、下層 Con 版とも面的な4方向の広がり個々の版のサイズによる有限要素とし、それぞれの端部は隣接版との目地となる自由境界とする。
- ② 輪荷重は上層 Con 版の上面に作用し、上層 Con 版の下面から下層 Con 版の上面へと伝播する。
- ③ 上層 Con 版と下層 Con 版の間には、境界面があり水平方向にすべる状態として扱う。
- ④ その境界面にはピン要素が挿入されており、水平方向にかかる応力はピン要素が受け持つ。
- ⑤ 下層 Con 版と路盤層の間には、境界面があり水平方向にすべる状態として扱う。
- ⑥ 路盤層、路床は端部拘束されており、端部に平行な面の変位は可能であるが、それ以外は固定とする。
- ⑦ 路床の下面は完全固定とする。

3.2 設計方法

舗装構造の設計は、下記のごとく想定したモデルの Con 版に発生する最大曲げ応力、ピン要素に発生する最大せん断応力を‘Pave3D’を用いて解析し、別途設定した基準値に照らして適否を判断するものとした。

- ① 上層 Con 版の隅角部、縁部へ単点の 5tf の荷重を載荷し版内に発生する最大曲げ応力を確認する。
- ② 上層 Con 版に軸重 10tf の大型車両を想定した6点載荷を Con 版内に発生する最大曲げ応力を確認する。
- ③ ピン部材に発生する最大せん断応力を確認する。

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

4. 設計結果（例）

舗装構成は、上層 Con 版厚さ 10 cm, 下層 Con 版厚さ 20 cm, 路盤は粒状路盤 25 cm, 路床は CBR3% の材料で構築する。ピンのサイズは直径 5 cm, 長さ 5 cm とし Con 版 1 枚あたりに 4 本設置する。各層の材料定数は表-1 に示すとおりである。載荷位置の設定を図-2 に示す。

単点載荷の場合、No.1 から No.9 の各点に 1 点ずつ輪荷重 49 kN（接地圧 0.54MPa）相当が載荷された状態を想定し、6 点載荷場合は上層 Con 版目地近傍に載荷するケースや目地を挟むケースの 3 パターンを想定し、発生する応力に大きく影響を与える条件を選定した。

Con 版の曲げ応力の基準値は、設計曲げ強度を 4.4MPa とした場合、安全率を 2 以上確保することとし 2.2MPa とした。

ピンのせん断応力の基準値は、T25 の後輪荷重 196kN が摩擦係数 0.8 のタイヤで与える制動荷重を、ピンが 39.2kN/本で分担するとして、ピンの断面積が 1962.5mm², 上下 Con 版間の摩擦を考慮しないことで安全率を 1 とし

$$\tau = 39.2 \times 10^3 \div 1962.5 \times 1 \approx 20 \text{ MPa} \text{ とした。}$$

解析結果を表-2 に示す。単点載荷および 6 点載荷ともに、載荷位置が下層 Con 版の目地上にあるケース(No.4, No.6, Case1)が曲げ応力、せん断応力ともに最大となる傾向にあった。これに対して、RC 版内に発生する最大曲げ応力は 2.2MPa 以下、最大せん断応力についても 20.0MPa 以下であり、基準値を満足していることから構造的には問題無いと判断できる。

また、舗装構造モデルは軸対称となっており、単点載荷の場合、対称箇所に発生する最大曲げ応力および最大せん断応力は同様の値を示していることから、モデルの整合性についても問題がないと考える。

5. おわりに

MPCP の特徴に留意した構造設計を確立することを目的に上下層の Con 版に発生する最大曲げ応力、ピン部材に発生する最大せん断応力を 3 次元有限要素法（3DFEM）プログラム‘Pave3D’で解析する方法を検討した。なお、今回考案した方法の妥当性は実験で確認しており、その結果は別途報告する予定である。

【参考文献】1) 西澤辰男：3 次元 FEM に基づいたコンクリート舗装構造解析パッケージの開発，土木学会舗装工学論文集，第 5 巻，pp.112-121，2000.12.

表-1 計算に設定した材料定数

項目	値
上層版 コンクリート版の弾性係数 (MPa)	28,000
上層版 コンクリート版のポアソン比	0.2
下層版 コンクリート版の弾性係数 (MPa)	28,000
下層版 コンクリート版のポアソン比	0.2
境界面のばね係数 (MN/m ³)	1,000,000
路盤の弾性係数 (MPa)	250
路盤のポアソン比	0.35
路床の弾性係数 (MPa)	30
路床のポアソン比	0.4
ピンの弾性係数 (MPa)	210,000
ピンのポアソン比	0.3

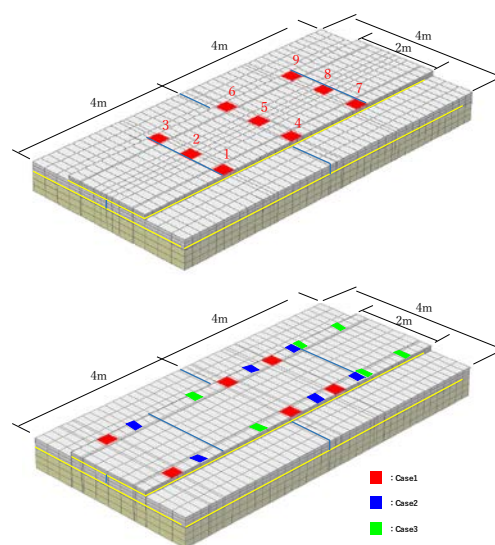


図-2 載荷荷重位置

表-2 曲げ応力とせん断応力のまとめ

載荷ケース	最大曲げ応力 (MPa)	基準値 (MPa)	最大せん断応力 (MPa)	基準値 (MPa)
単点載荷	No. 1	1.40	2.2以下	0.04
	No. 2	1.39		0.03
	No. 3	1.40		0.04
	No. 4	1.97		0.08
	No. 5	1.80		0.07
	No. 6	1.97		0.08
	No. 7	1.15		0.04
	No. 8	1.34		0.03
	No. 9	1.15		0.04
6点載荷	Case1	1.91	0.10	
	Case2	1.21	0.10	
	Case3	1.10	0.09	

社 外 発 表

アスファルト舗装におけるポットホールの予兆検出方法に関する実験報告

その1 試験ヤードの構築と実験条件

大林道路株式会社 正会員 ○光谷 修平

立命館大学 学生会員 佐々木優一, 立命館大学 学生会員 松崎 友哉

立命館大学 正会員 横山 隆明, 立命館大学 フェロー会員 建山 和由

アスファルト舗装路面に発生するポットホール（以下、ポットホール）は、騒音や振動あるいは水はねの原因となる他、通行車両等の走行安全性を著しく低下させる。この為、舗装の維持管理において優先的な対応を要する損傷である。ポットホールが発生する前にその予兆を把握する方法があれば、事前の処置でその影響を最小限とすることができる。ポットホールには、路面に生じたひびわれが外側から骨材飛散を伴いながら進行する、路面上から視覚で発生する予兆を検出可能な形態（以下、外傷型）のものと、舗装体内の剥離や滞水、異物を要因として内側から進行して突然のように発生する、路面上から視覚でその予兆を検出できない形態（以下、内患型）のものがある。本稿は、内患型のポットホールの予兆を検出する方法を開発する為に実施している実験におけるポットホールの要因の模擬方法とテストヤードの概要を報告するものである。

1. 目 的

内患型ポットホールに結び付く要因を検出する方法としては、打音調査¹⁾や連続式赤外線撮影による層間剥離探査²⁾（以下、赤外線探査）が一般的である。路面をテストハンマーで叩いて異音を発する箇所を抽出する打音調査は、比較的正確に要因の有無（以下、患部）を識別できることから、既にポットホールが発生した箇所の補修範囲の特定等に用いられることが多い。しかし打音を感覚で識別する判断基準の曖昧さが課題となっている。一方、患部が舗装体の熱伝導率に影響することで路面温度に差が生じることを利用して抽出する赤外線探査は、走行する車両上からも識別できることから広範囲の調査にも適用されている。しかし日射の違いや影等の影響を少なくする方法が課題となっている。そこで本件では、供用中の道路の内患型ポットホールが発生する予兆を検出する方法の開発を念頭に、これらの課題を解決することを目的として、テストヤードを構築して、実道同様の条件変化の下で打音調査や赤外線探査の諸特性を把握する実験を行っている。

2. 要因の模擬方法

時限爆弾のように発生する内患型ポットホールの要因は、非透水の舗装体間の剥離や間隙であり、それらが進行した砂利化であると考えられる。そこで本研究では、密粒度アスコンによる表層と非透水の基層の層間に表-1 に示すごとく接着を確実に阻害するクッキングシートによる剥離、1 mm以下の間隙の再現ができる段ボールによる間隙、バインダーが消滅したアスコンの砂利化をAs無し13-0で模擬することとした。

表-1 要因の模擬方法

模擬する要因	使用する材料等		選定条件
	呼称	詳細	
層間の剥離 (接着不良)	クッキングシート	両面シリコン樹脂加工耐油紙	アスファルトがこびり付かない。
		耐熱温度250°C	加熱アスファルト混合物を載せて溶融しない
層間の間隙 (キャビティ)	段ボール	t=0.9mm (Gフルート)	間隙高さ1mm以下を再現できる
		常温中で180°Cの加熱アスファルト混合物を載せて確認	加熱アスファルト混合物を載せて溶融しない
アスコンの砂利化	As無し13-0	密粒度アスコンの配合で骨材と石粉を混合したAs無し混合物	密粒度アスコン (13) からアスファルトが消失した状態を再現する

キーワード ポットホール, 層間剥離, アスコンの砂利化, 打音調査, 赤外線探査

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. テストヤードの概要

テストヤードは、既設舗装上に密粒度アスコン(13)をオーバーレイして、延長 30m、幅 3m、厚さ 0.05mの規模で構築した。平面構成を図-1 に、要因を模擬した断面構成を図-2 に示す。層間剥離や間隙は小さいものから進行する可能性を考慮してφ10~30 cm, 砂利化はこれらが進行した結果と考えてφ30 cmとし、層間間隙が全幅に及ぶ箇所も設けた。要因の模擬状況を写真-1, 2 に、テストヤードの全景を写真-3 に示す。なお、本テストヤードの大型車交通量は 10 台/月程度である。

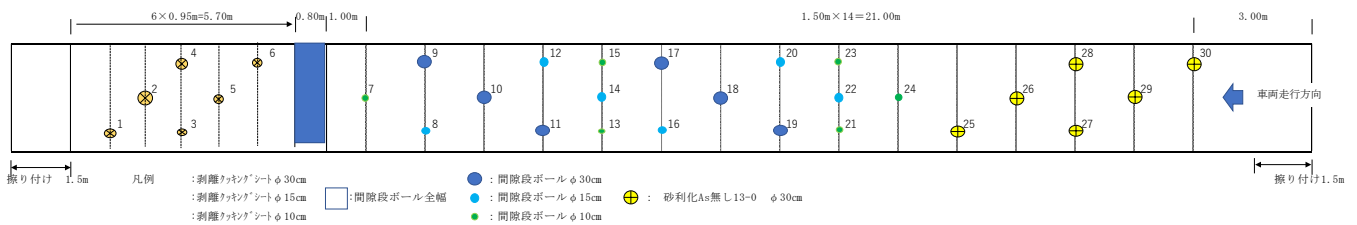


図-1 テストヤードの平面構成

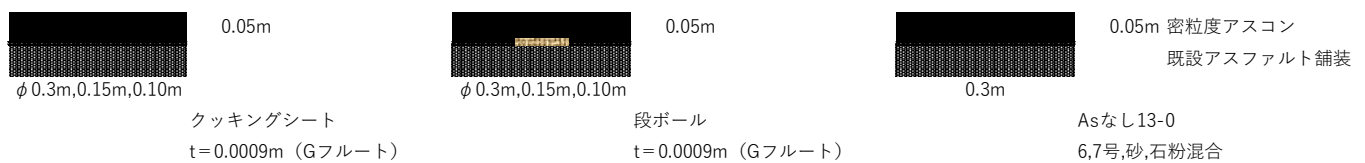


図-2 ポットホールの要因を模擬した断面構成

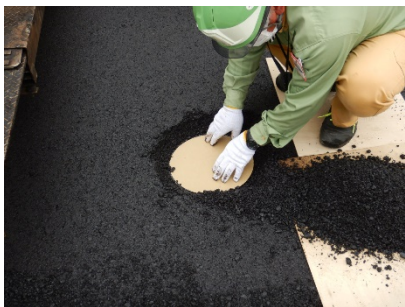


写真-1 段ボールによる模擬作業



写真-2 全幅に及ぶ間隙の模擬



写真-3 テストヤードの全景

4. 実験条件

アスファルト舗装体の場合、打音調査、温度探査とも舗装体の温度と温度変化の状態で反応に違いがでる可能性が考えられる。本実験においては、これらを把握する為、舗設後1か月以上経過した晴天を前提に、下記の日程で時間帯を選んで条件を変えた実験を行っており、その結果は別途報告する。

- ・2020年6月10日 テストヤードを構築
- ・2020年8月5,6日 夏季の日射条件下で最高気温、気温下降、最低気温、気温上昇時
- ・2020年11月4,5日 秋季の日射条件下で最高気温、気温下降、最低気温、気温上昇時
- ・2021年2月24,25日 冬季の日射条件下で最高気温、気温下降、最低気温、気温上昇時

5. おわりに

筆者らはポットホールの要因を供試体に模擬する方法をいくつか試してきたが、汎用化できるまでには至っていない。今回の研究においては、主目的の他に研究手法の確立も成果の一つとなると考えている。

【参考文献】1) 舗装の点検・診断方法と舗装診断技術資料集 pp. 176/NP0 舗装診断研究会

2) 赤外線カメラによるポットホール発生危険部位の診断技術に関する基礎検討/平成28年度国土交通省国土技術研究会/丸山他

再生用添加剤の浸透期間が混合物性状に及ぼす影響

大林道路（株）技術研究所 正会員 ○小林 靖明
 同上 井土 彪力
 長岡技術科学大学大学院 正会員 高橋 修

1. はじめに

再生アスファルト混合物（以下、再生混合物）を製造する際の混合方式は様々あるが、概ね加熱した再生骨材に再生用添加剤を混合する機会が多い。しかしながら、混合時間が数十秒程度と短いことから、再生骨材中の旧アスファルト（以下、旧 As）へ再生用添加剤が浸透し、性状を完全に回復しているかは不明である。そのため、再生用添加剤の旧 As への浸透性および再生骨材に再生用添加剤を添加し混合後の養生期間（以下、浸透期間）によって、異なった混合物性状となる可能性がある。著者らはこれまでに、再生骨材から回収した旧 As と再生用添加剤の浸透性を評価し、再生用添加剤の成分によって浸透性が異なることを確認している¹⁾。本検討では、再生骨材と再生用添加剤の浸透期間によって、混合物性状にどのような影響を及ぼすかを評価したので報告する。

2. 試験概要

試験概要フローを図-1 に、再生混合物の製造条件を表-1 に示す。本検討では、再生骨材に再生用添加剤を添加後、20℃の恒温室にて任意の期間(0,2,3,7,14 日)養生した。表-2 に再生用添加剤の性状を示す。飽和分の多い潤滑油系の再生用添加剤（以下、ナフテン系）と、飽和分が少なく芳香族分が多い再生用添加剤（以下、アロマ系）の2種類を用いた。所定の浸透期間養生し、再生骨材配合率60%で再生混合物を製造し、供試体を作製した。混合物試験として圧裂試験、カンタブロ試験を行った。カンタブロ試験は、供試体温度60℃、試験機内30℃、ドラム回転数を毎分30回転とし、300回転させた。

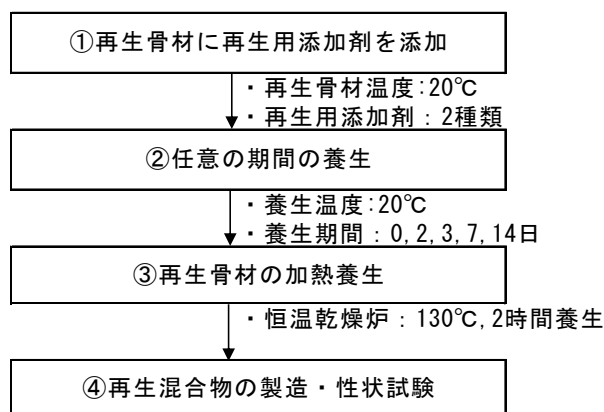


図-1 試験概要フロー

表-1 再生混合物の製造条件

混合物種類	再生密粒度 アスファルト混合物(13)
設計針入度(1/10mm)	70
再生骨材配合率	60%
再生アスファルト量	5.70%
再生用添加剤の添加量	混合物質量に対して0.5%

表-2 再生用添加剤の概要

種別	ナフテン系	アロマ系
密度(g/cm ³)	0.97	0.92
組成 (%)	アスファルテン分	0.0
	レジジン分	5.2
	芳香族分	23.1
	飽和分	71.7
		0.0
		22.6
		64.1
		13.3

3. 試験結果および考察

3.1 空隙率の結果

再生用添加剤の浸透期間と空隙率の関係を図-2 に示す。空隙率は再生用添加剤種によらず2日目最大となり、その後は低下する傾向が見られた。浸透日数の経過とともに締め固まりやすい混合物になっていると言える。

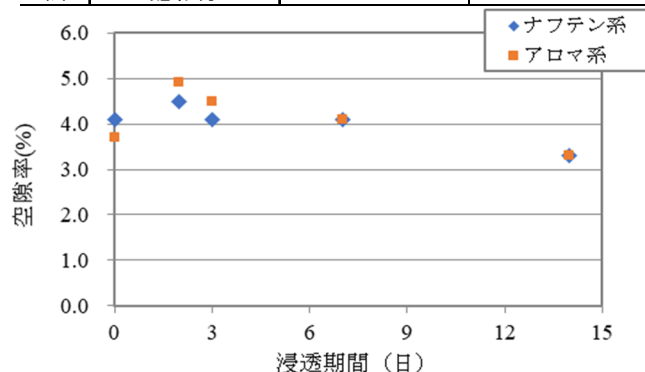


図-2 浸透期間と空隙率の関係

キーワード リサイクル, 再生アスファルト混合物, 再生用添加剤, 浸透性, 圧裂係数

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

3.2 圧裂試験の結果

再生用添加剤の浸透期間と圧裂係数の関係を図-3に、圧裂強度の関係を図-4に、圧裂変位の関係を図-5に示す。圧裂係数は、浸透期間の経過に伴わずかではあるが低下した。再生用添加剤種による圧裂係数の経時変化に違いは見られなかった。圧裂強度は、浸透期間や再生用添加剤種によらず一定であった。圧裂変位は、ナフテン系が浸透期間7日目から増加し始めるのに対して、アロマ系は3日目から変位が増加した。圧裂変位が増加するまでの浸透期間に違いが表れた要因として、芳香族分を多く含むアロマ系の再生用添加剤が、より旧As内部への浸透性が高かったことから、早期に変位が増加したものと考えられる。これは、既往研究の旧Asと再生用添加剤の浸透性結果とも一致する¹⁾。

3.3 高温カンタプロ試験による損失率の結果

再生用添加剤の浸透期間と高温カンタプロ損失率の関係を図-6に示す。損失率は、浸透期間や再生用添加剤種によらずほぼ一定であった。既往の研究によれば、再生混合物の繰り返し再生が進むにつれて損失率が高くなることが確認されている²⁾。本検討に用いた再生骨材は、繰り返し再生の頻度が比較的少ないことから、損失率自体が低くその変化も小さいため、浸透期間による違いが見られなかったと考えられる。

4. まとめ

再生骨材への再生用添加剤の浸透期間を長く設けることで、締め固めやすくなり、圧裂強度は一定のまま圧裂変位が増加していく傾向が見られた。この傾向は、芳香族分が多い再生用添加剤のほうがより早期に効果が表れることを確認した。今後は、再生骨材に再生用添加剤を混合する際の最適温度やアスファルトプラントで実現可能な再生方法について検討していく予定である。

参考文献

- 1) 木谷貴宏, 梅本叡史, 東本崇: 再生用添加剤の浸透性に関する一検討, 土木学会第75回年次学術講演会, V-463(2020)
- 2) 川上篤史, 新田弘之, 藪雅行, 掛札さくら, 川島陽子: 繰り返し再生したアスファルト混合物への再生用添加剤と再生骨材配合率の影響, 土木学会論文集 E1(舗装工学), Vol76, No.2, pp.I_251~I_259(2020)

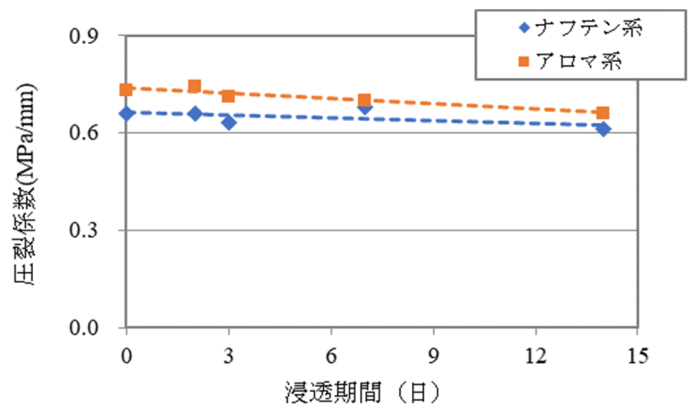


図-3 浸透期間と圧裂係数の関係

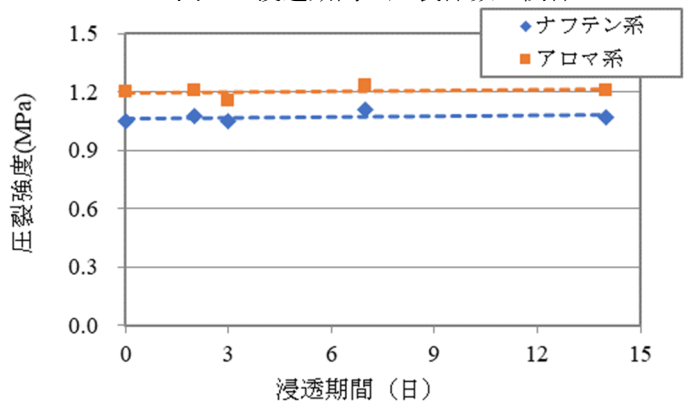


図-4 浸透期間と圧裂強度の関係

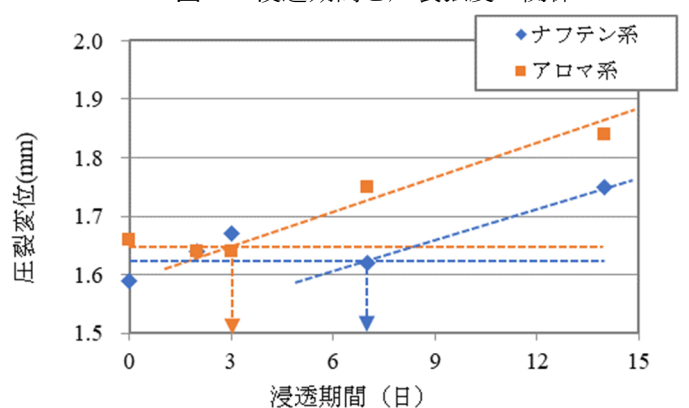


図-5 浸透期間と圧裂変位の関係

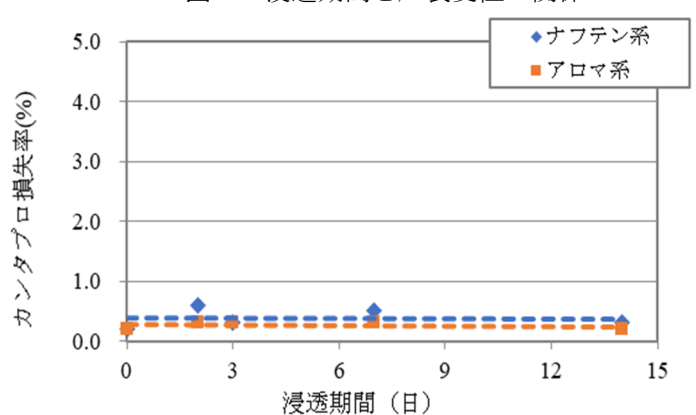


図-6 浸透期間とカンタプロ損失率の関係

社 外 発 表

溶解度パラメータを用いた改質材の選定とポリマー改質アスファルト性状の検討

大林道路(株) 技術研究所 正会員 ○木谷 貴宏
同 梅本 叡史
同 正会員 東本 崇

1. はじめに

近年、舗装の長寿命化によるライフサイクルコストの削減、リサイクル性の向上、高温および重交通条件下における塑性変形抵抗性の向上などポリマー改質アスファルト（以下、PMB）に対する要求条件がますます多様化している。PMB の一般的な改質材はスチレン-ブタジエン-スチレンブロック共重合体（以下、SBS）であり、SBS はこれらの要求性能を満たすことができる改質材である¹⁾。本検討ではより高度化する要求性能を満たすべくSBS の改質材の性状を強化するために溶解度パラメータ（Solubility Parameter 以下、SP 値）から選定した第二の改質材と SBS を併用した PMB を作製し、性状を評価することで第二の改質材の効果の評価を行った。

2. 溶解度パラメータによる改質材の選定

SBS の改質効果の強化のためには SBS の成分とある程度の相溶が必要と考える。相溶の指標として、溶解度パラメータがある。SP 値とは、凝集エネルギー密度の平方根で定義される物性値であり、成分間の SP 値の差が小さいほど相溶性が高いと評価される²⁾。表-1 にアスファルトの各成分と SBS の各成分の SP 値の調査結果を示す。

表-1 アスファルトの各成分と改質材の SP 値調査結果

材料名称	構成成分名	SP値(cal/cm ³) ^{1/2}	SP値参考文献
アスファルト	アスファルテン	80.-10.0	3)
	マルテン	8.0以下	
SBS	ポリスチレンブロック(以下、PS)	8.8	4)
	ポリブタジエンブロック(以下、PB)	8.3	
PPE	単体	8.8	

本検討では、SBS の拘束相である PS ブロックの強化を目的とし、これらの成分と SP 値の差が小さく相溶可能であり、再加熱によるリサイクル可能な熱可塑性樹脂であるポリフェニレンエーテル（以下、PPE）を選定し、アスファルト/SBS/PPE の三成分から構成される PMB 性状の検討を行った。

3. PMB 作製条件

PMB 作製に用いた材料を表-2に示す。材料を所定の配合割合において高せん断ミキサで 170℃～185℃、5000rpm で 30 分混合し、その後低せん断ミキサで 185℃、300rpm で 24 時間の条件で加熱しながら攪拌を行って PMB を作製した。配合割合は全体で 100wt% となるようにした。PMB 作製時の熱履歴を合わせるために改質材が入っていないものについても攪拌作用を行った。作製した PMB は一度冷却を行い、170～185℃に再加熱し成型を行い各種試験に使用した。

表-2 使用材料

材料名	物性値
ストレートアスファルト	針入度グレード:60/80
SBS	スチレン/ブタジエン比:30/70 MFR [※] (g/10min)at 200℃, 49N:<1
PPE	ポリ(2,6-ジメチル-1,4-フェニレンオキサライド)含有量:99.7%以上

※MFR メルトフローインデックス

4. 結果と考察

作製した PMB の軟化点試験結果を図-1 に示す。同添加量の複数の凡例は繰り返し作製した試験結果を表す。横軸は SBS 添加量を表し、凡例の PPE のパーセンテージは PPE 添加量を表す。つまり、横軸の SBS 添加量が 7%

キーワード ポリマー改質アスファルト、溶解度パラメータ、PPE

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

かつ凡例の PPE1% の配合比はアスファルト 92%, SBS7%, PPE1% を意味する. アスファルト/SBS の二成分系では, SBS の添加量と軟化点は S 字カーブを描く. 相転換に必要な SBS 添加量は, およそ 6% 前後であった. SBS 添加量 6% 以下ではアスファルトリッチ相が海構造であり, ポリマーリッチ相が島構造と推測される. 一方, 6% 以上では海島構造の体積分率が逆転し, 海構造がポリマーリッチ相, 島構造がアスファルトリッチ相となる. PPE を添加したアスファルト/SBS/PPE の三成分系では, SBS 添加量が 6% を境に PPE の改質効果が異なることが観察された. SBS 添加量が 6% 以下では PPE の添加によってアスファルト/SBS の二成分系の軟化点とほぼ同一か若干低くなる傾向であり, PPE の改質効果は見られない. しかし, SBS 添加量が 6% 以上ではアスファルト/SBS の二成分系の軟化点よりはるかに軟化点が向上する改質効果が観察された. ここから PPE の改質効果は海構造がポリマーリッチ相の場合に強く発現することが判明した.

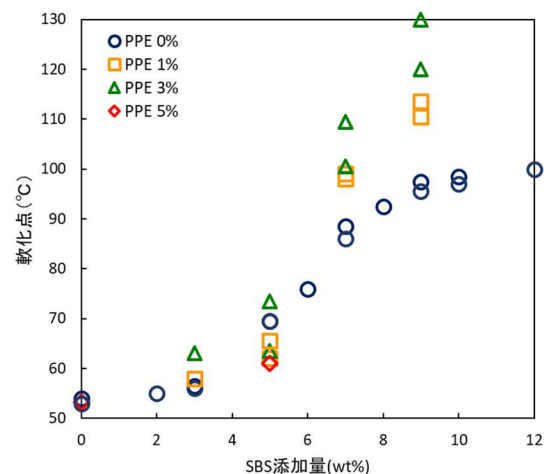


図-1 SBS, PPE 添加量と軟化点の関係

塑性変形抵抗性の指標である $|G^*|/\sin \delta$ を DSR で測定した. 100°C における $|G^*|/\sin \delta$ と SBS, PPE 添加量との関係を図-2 に示す. SBS 添加量が 6% 以下では, PPE の添加の有無によらず $|G^*|/\sin \delta$ の値は同様である. しかし, ポリマーリッチ相が海構造である SBS 添加量 9% では PPE が添加された場合 $|G^*|/\sin \delta$ の値の増加が観察され PPE の改質効果が発揮された. SBS の PS ブロックのガラス転移温度が約 100°C であり, ガラス転移温度以上では $|G^*|/\sin \delta$ は低下すると考えられることから, PPE 添加で $|G^*|/\sin \delta$ の上昇を確認できたことから PPE が PS ブロックにある程度相溶し PS ブロックの強化効果が確認できたと考える.

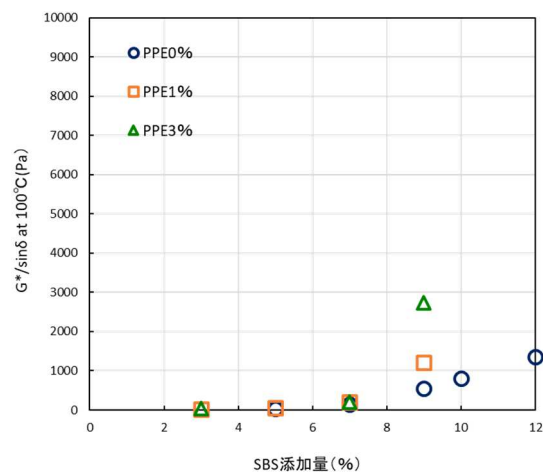


図-2 SBS, PPE 添加量と $|G^*|/\sin \delta$ の関係

5. まとめ

PMB に対する多様な要求性能を満たすため, SBS の改質効果の強化のために SP 値を指標として PPE を選択し SBS と併用して PMB を作製し性状評価を行った. 結果, 軟化点試験結果より, PPE はポリマーリッチ相が海構造をとる場合に軟化点の向上が確認された. DSR の $|G^*|/\sin \delta$ から塑性変形抵抗性の評価を行った結果, SBS の PS ブロックのガラス転移温度 100°C では, ポリマーリッチ相が海構造の場合に, PPE 添加の $|G^*|/\sin \delta$ の増加が確認され, PPE が SBS の PS ブロックに選択的に相溶することが示唆された. 今後も PMB の改質効果の仕組みの解明および改質効果の高い改質材の模索を行い, PMB に求められる要求性能に答えていきたい.

参考文献

- 1) 一般社団法人日本改質アスファルト協会: ポリマー改質アスファルトポケットガイド, 改定 6 版, pp4-7 (2015)
- 2) 井上隆, 市原祥次: ポリマーアロイ, 高分子学会編 (1988)
- 3) Asphalt modified by SBS triblock copolymer: Structures and properties A. Adedeji, T. Grünfelder, F. S. Bates, C. W. Macosko, M. Stroup-Gardiner, D. E. Newcomb Polym. Eng. Sci., 36(12), 1707 (1996)
- 4) 国立研究開発法人: 高分子データベース PoLyInfo, <http://polymer.nims.go.jp/index.html> (2018.06 閲覧)

社 外 発 表

現地発生土を中詰め材とする土のうを用いた道路断面の理論的設計に向けて その①

大林道路株式会社	正会員	○林 浩範
大林道路株式会社	正会員	光谷修平
京都大学大学院	学生会員	赤木 悟
京都大学大学院	正会員	木戸隆之祐
京都大学大学院	フェロー会員	木村 亮

1. はじめに

土のうは、使用する袋（以下、土のう袋）の体積や重量が小さく運搬が容易で、現地にある土砂を詰めることで水や土砂の移動を抑制する塊となる。そのため、昔から土木分野で広く使われており、現在でも例えば土砂災害発生現場における仮設擁壁や、水害時の仮設堤防といった災害時の応急処置等に重宝されている。舗装の分野では、例えば碎石等の資材や工事用の重機類の調達が難しい発展途上国において、現地の土砂を土のう袋に詰めて人力で舗装体を構築している¹⁾他、我が国では振動対策として使われている²⁾。

我が国においては近年、地球規模の気象変動の影響もあり、集中豪雨による水害が頻発している。また、東日本大震災以降、新たな大震災の発生も懸念されている。天災が生じた際、特に山間部や沿岸部の村落がライフラインを切断され易く、その速やかなる回復方法の確立が求められている。そこで筆者らは、現地で発生する土砂をその性状に関わらず最大限活用して、道路を緊急復旧できる方法を念頭に、現地土を詰めた土のうで大型車が通行可能な仮設道路を構築する為の設計方法に関する研究に取り組んでいる。

土のうで舗装体の構築を試みた事例を写真1に示す。



写真1 土のうで舗装体の構築を試みた事例

2. 目的

現在、我が国の道路の舗装の殆どは、TA・CBR法で設計されている。舗装体を構成する資材には、それぞ

れの力学特性を舗装の厚さに反映させるための等値換算係数が与えられており、別途それぞれに必要な品質の目安が与えられている。TA・CBR法のルーツは1950年代に行われたAASHO道路試験であり、我が国の道路舗装の経験を踏まえて確立されたものである。よって、従来、道路舗装での使用が希少である土のうに対応する等値換算係数等は示されておらず、土のうを道路舗装には適用できない。

一方、近年におけるOAの発達により、舗装の構成による力学性状を多層弾性理論で解析するシステム（以下、理論設計法）が実用化され、舗装用のプログラムが活用可能な状態となっている³⁾。実用化されている理論設計法において舗装構成部材の力学特性のインプットデータは、弾性係数とポアソン比であり、繰り返し三軸圧縮試験等により求められる。しかし土のうを理論設計法に当てはめる場合の弾性係数やポアソン比を求めるための方法は確立されていない。

そこで、土のうを用いた舗装の理論設計方法の確立を研究目的とする。現在、図1に示す流れで研究を進めており、本稿では①と②について報告する。

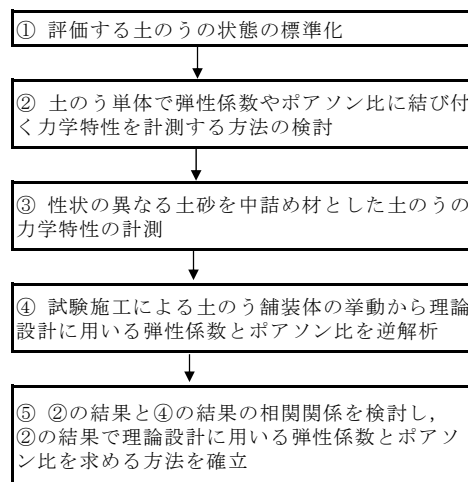


図1 研究の流れ

キーワード 土のう、舗装、弾性係数、ポアソン比、平板載荷圧縮試験

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

3. 土のうの状態の標準化

(1) 土のう袋

現在の土のう袋は、化学繊維を用いた織袋で 48 cm × 62 cm のものが主流である (表 1)。市販品の仕様は引張強度と伸度が示されている。本研究では、全国どこでも使いたい時に、比較的安価に手に入ることを念頭に、表 1 の①の袋で検討を進めることとした。

(2) 土のうの詰め方

土のう積みの作業は、人力に依ることを考慮すると、詰める土砂の量は、20~30 kg が扱い易い。土のうの口は巾着のようにひもが通してあり、土砂を詰めたら締め上げて、口の周囲を縛り上げるので、詰める際は、結び目が綻びない長さの余分を残す必要がある。

また、土のうは荷重を受けて詰められた土砂が土のう袋が拘束する引張り応力と釣り合うまで圧縮変形して塊化する。この際、土のう袋に均等に応力が作用するように、中詰め材と結び目の間に‘遊び’となる隙間が必要である。そこで、袋下端から 45 cm の位置を結び目とし、投入後の土のうの結び目直下には、指 2 本で掴める程度の隙間を確保した (写真 2)。

(3) 土のうの締固め

土のうは積み上げながら、タコ、タンパ等による人力、プレートコンパクタ等による機械で締め固めて安定させる。本研究では、これら動的な締固め方法の内、設計に用いる標準的な力学特性を求める意味から、締固めエネルギーを統一させるために、プレートコンパクタを使用することとした。表 2 にプレートコンパクタの諸元を示す。

締固めは、土のう単体を写真 3 に示すような縦横 40 cm、高さ 8 cm の木枠の中に設置して、プレートコンパクタが枠内から出ない状態として行うこととした。転圧時間による土のうの高さの変化を図 2 に示す。土質や含水比の異なる 3 種類の中詰め材で試した結果、高さの変化は約 30 秒転圧した時点で収まる結果となったことから、転圧時間は 30 秒を標準とした。

4. 土のう単体の力学特性を評価する試験方法

土のう単体の力学特性を弾性係数やポアソン比によって評価する方法として、設置面積が土のうの表面積に見合った大きさとなる平板載荷圧縮試験を検討した。荷重制御式で繰り返し荷重を与えつつ、土のうの鉛直変位や水平変位を計測することで、ポアソン比や弾性

表 1 市販されている土のうの例

品名	材質	形状 (cm)	引張り強度 (N)	伸度 (%)
①	ポリエチレン	48 × 62	タテ500 ヨコ450	タテ30 ヨコ24
②	ポリオレフィン	48 × 62	タテ630 ヨコ690	タテ25 ヨコ17
③	ポリエチレン	48 × 62	タテ1750 ヨコ1550	タテ16 ヨコ13

表 2 プレートコンパクタ諸元

	質量 (Kg)	起振力 (KN)	振動数 Hz	転圧盤長 A(m)	転圧盤幅 B(m)
プレートコンパクタ	66	10.1	93	0.51	0.35



写真 2 土のうの標準的な詰め方



写真 3 転圧方法

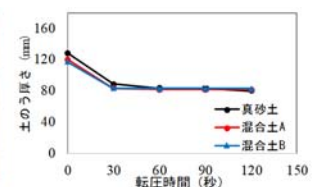


図 2 転圧時間-高さ



写真 4 平板載荷試験状況



写真 5 反力設備

係数を求めることができる。本研究では、写真 5 に示す反力設備を用いて、土のう評価用の平板載荷試験機ならびに試験機構を考案した。

5. おわりに

土のうを用いた舗装の理論設計方法の確立に向けた研究計画を示した。中詰め材の違い等による土のうの力学特性の評価と試験施工を進める中で、設計方法の更なるブラッシュアップをしていく所存である。

参考文献

- 1) 福林良典, 木村 亮: 開発途上国農村部における貧困削減に向けた未舗装道路改修方法, 土木学会論文集C, Vol.63, No.3, pp.783-796, 2007
- 2) 松岡 元, 松村大輔, 木田勝久, 北村一男, 安藤裕之: 「土のう」を用いた道路交通振動の低減法, 第 39 回地盤工学研究発表会, pp.2343-2344, 2004
- 3) 社団法人 日本道路協会: 舗装設計便覧, pp.109-144, 2006

社 外 発 表

高精度 GNSS 測位データを使用した地上型レーザースキャナーによる取得データの検証

大林道路株式会社 正会員 山口 雄希 北見工業大学工学部 正会員 富山 和也
 大林道路株式会社 正会員 森石 一志 北見工業大学工学部 学生員 幸谷 宥毅

1. はじめに

ICT活用工事において、出来形計測に使用されている地上型レーザースキャナー（以下、TLS）は計測に時間を要する事が多く、計測プロセスの効率化が求められている。そこで、筆者らは高精度GNSSの情報からターゲットレスによるTLSで得られた点群データのレジストレーション（以下、TLS-GNSS）¹⁾を行い、路面プロファイルの計測を対象とした検証を行ってきた。本研究では、TLS-GNSSの計測精度に影響をおよぼす要因を明らかにするとともに、路面プロファイルなど面管理以外の点群データ活用方法に適した点群密度について検証を行った。

2. 検証概要

2.1 計測機材

GNSS-TLSは、図-1に示す高精度GNSSとTLSを組み合わせ、TLSの器械中心座標および方向角を算出し、点群に直接座標値を与えることで、ターゲットレスのレジストレーションを行う方法である。

2.2 計測方法

TLS-GNSSを用いた計測は、以下の手順で実施した。

- (1) TLSを中心とした各GNSSアンテナ（2基1セットで0.5m, 1m, 2m間隔）の座標を取得する。
- (2) GNSSアンテナ1セット間の中間座標値を算出する。

2.3 検証方法

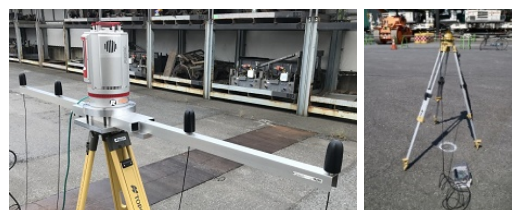
2.3.1 計測距離に対する本体傾きの影響

TLS本体の傾きは、内部センサーによって補正されている。ここでは、ターゲットを使用し器械点を与えた点群データを基準とし、同一計測地点でTLS-GNSSにより器械点情報を与えた点群との比較を行う。具体的には、計測距離に対する本体傾きの影響で発生する鉛直方向（Z値）の差を算出し、各スキャンデータを合成した際の点群データがラップする箇所に発生する誤差を確認した。確認方法は以下の通りである。

- (1) 計測された点群データから、舗装面のみを抽出可能な箇所を選定し、TLSを中心に45°毎に測線を決める。
- (2) 各測線に対して、5m毎の点を中心に10cmの円形状に点群の抽出を行う。抽出点を図-2に示す。
- (3) 器械点を与えられた各点群データから取得した鉛直方向（Z値）の差を算出する。

2.3.2 測定距離による点群密度の確認

現在、ICT舗装工では、点群データ取得の際、点群密度の基準として0.01 m²あたり1点²⁾と定めている。しかしながら、異なるTLSを用いて同基準内で計測を行った場合でも、器械性能差により全体の点群密度にバラツキが生じ、プロファイルなど線状データの抽出結果に影響を及ぼす可能性がある。そこで、プロファイルなど線状のデータを取得する可能性がある計測場所において、ICT舗装工基準内の密度を担保した有効距離50mと20mの設定で計測を行なったデータについて、10 cm²内に存在するポイントデータの分布を確認し検証を行なった。特定の範囲における分布で検証した理由は、TLSの特性上ピンポイントデータの取得はできず、データ抽出座標に対して周囲のデー



(a) TLS-GNSS (b) 固定局

図-1 TLS-GNSSの概要

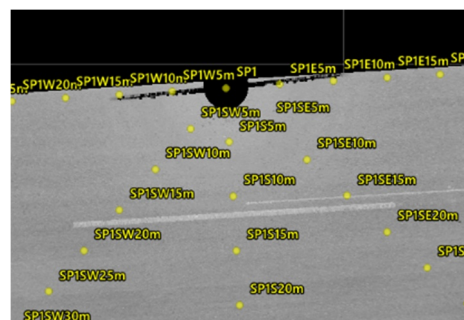


図-2 データ抽出点

キーワード ICT, TLS, GNSS, 点群データ, 点群密度

連絡先 〒204-0011 東京都清瀬市下清戸 4-640 TEL042-495-6800

タ抽出座標に対して周囲のデータを参照し、平均値などを代表値とするためである。検証は、以下の様に実施した。

- (1) 点群データに対し図-3のような10 cm²の範囲に1 cm²のメッシュを10m毎に作成する。
- (2) TLSの性能に応じて50 m範囲と20m 範囲（共に0.01 m²あたり1点の密度）を対象にメッシュ内のデータを確認する。
- (3) 測定時のラップ部（50 m範囲は25 m，20 m範囲は10 m）を中心に10 cm²の範囲に存在する点の分布について検証する。

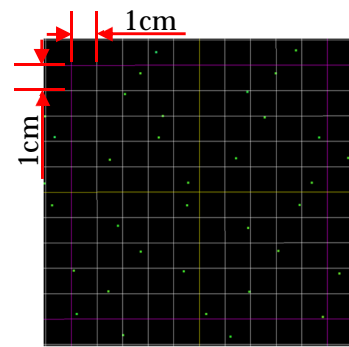


図-3 1cm²メッシュ

3．結果および考察

3.1 計測距離に対する本体傾きの影響

図-4に、横軸に距離、縦軸に鉛直方向の値（Z値）を取り、器械点を中心とした場合の距離と鉛直方向（Z値）の差の関係を示す。図より、中心から距離が離れると本体傾きの角度差に対する鉛直方向（Z値）の誤差が比例しなくなる。これは縦断勾配の影響を受け、密度が一定ではなくなるため、平面的（XY平面）な抽出で点群密度に偏りが生じるためである。

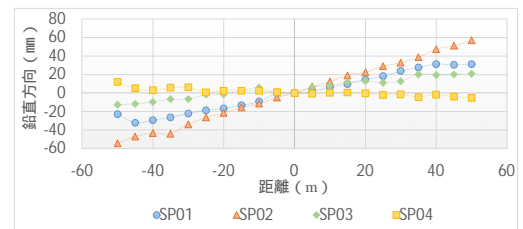


図-4 器械点を中心とした鉛直方向の差

3.2 測定距離による点群密度の確認

図-5に計測データのラップ箇所での10 cm²内の点群の分布を示す。図中、10 cm²の範囲に1 cm²のメッシュを作成し、各メッシュに点が存在する場合にセルを着色した。図-5(a)より、50 m範囲（ラップ部25 m地点を抽出）の場合、ICT舗装工の適用基準は満たすものの、10 cm²範囲内でレーザーの射出角の設定に起因した点の偏りが見られる。そのため、プロフィールなどを算出するデータとして活用する際に、抽出座標の周辺データを参照し平均した場合、

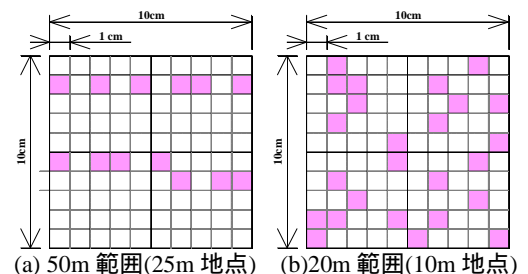


図-5 メッシュ内点群分布表

点群のバラツキ方により特徴点の損失もしくは余分な情報の取得につながることを考えられる。また、測定場所全体を対象に、点群合成後のデータから任意の箇所を確認する場合、合成前の各点群データは本体直近とラップ部周辺での密度にバラツキが生じる。このバラツキに起因し、任意の箇所を抽出した場合のデータ点数の違いや、抽出座標を中心とした場合の点の偏りなど、点群の抽出位置の違いが計測精度に影響を及ぼすものと示唆される。

4．おわりに

これまで、TLS-GNSS計測に時の本体の傾きについては内蔵センサーで補正を行っており、傾きに起因する合成時の誤差が課題となっていた。また、点群データからプロフィール抽出を行う際に、参照する点密度の違いで抽出データの正確性に差異が生じる可能性が懸念されていた。そこで、本研究では、計測距離に対するTLSの傾きの影響およびプロフィールなど点群から線状にデータを抽出する際の点密度が計測に及ぼす影響を検証した。その結果、TLSの傾きは測定距離が延びるにつれ縦断勾配の影響を受け、レーザー入射面で一定の測定値にならないことが確認された。また、プロフィールなどの線状にデータ抽出を行う場合には、点群密度の違いにより計測精度に影響を及ぼす可能性が示唆された。現在、ICT舗装工に対応するTLSの運用は、効率面からICT舗装工の基準内の密度で器機性能の限界距離を目安に測定を行う事が多い。しかし、本研究結果から、プロフィールなど線状のデータを抽出する場合には、点群合成後の密度を均等にすることが重要といえる。今後、様々な計測対象で検証し、最適な計測距離を選定するなど、TLSの計測精度向上および運用効率化を図っていく予定である。

参考文献

- 1) 森石一志他:ICT舗装工における点群データ取得の効率化と適用範囲拡大について,土木学会論文集 E1, Vol. 75, No. 2, I_77-I_85, 2019.
- 2) 国土交通省:地上型レーザースキャナーを用いた出来形管理要領(舗装工事編)(案), 2020.3.

劣化程度の異なる旧アスファルトの再生に関する一検討

大林道路(株)技術研究所 ○梅本 叡史

同上 小林 靖明

長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学専攻 高橋 修

1. はじめに

我が国では、再生アスファルト混合物（以下、再生混合物）の出荷量が増加傾向にあり、現在ではアスファルト混合物の出荷量全体における約75%に達している¹⁾。また、近年の再生混合物には、一度再生した混合物をさらに再利用する繰返し再生によるものもあり、再生骨材の旧アスファルト（以下、旧アス）は劣化がかなり進行している。そのため、今後においては品質基準²⁾（針入度：20以下、圧裂係数：1.70以上）を満足しない再生骨材（以下、基準外再生骨材）の発生が懸念されており、基準外再生骨材の有効活用が求められる。

そこで本検討では、基準外再生骨材を活用するための具体的使用法を明確化するため、その予備的検討として、基準外再生骨材から回収した旧アスとそれを再生させたアスファルト（以下、再生アス）について性状試験を行い、性状を比較した。さらに、再生用添加剤の種類による再生アスの性状への影響についても評価した。

2. 検討方法

基準外再生骨材を準備し、その旧アスを回収した。その後、再生用添加剤を使用して針入度70となるように調整し、各種のバイнда試験を実施した。また、基準を満足する再生骨材（以下、基準内再生骨材）に対しても同様に旧アスを回収し、再生用添加剤を使用して針入度調整を行って、バイнда試験を実施した。

2.1 サンプルの調整条件

表-1に試験サンプルの性状と成分分析の結果を示す。各種バイнда試験には、基準外再生骨材から回収した旧アス（針入度：11）と基準内再生骨材から回収した旧アス（針入度：20）の2種を使用した。再生用添加剤には、飽和分の多い潤滑油系のもの（以下、ナフテン系）と飽和分が少なく芳香族分が多いもの（以下、アロマ系）の2種類を用いた。また、比較基準として新規のストレートアスファルト60/80（以下、新アス）も使用した。

2.2 バィнда試験

再生アスのバイнда性状として、固さと延性を評価するために針入度試験と伸度試験を行った。また、粘弾性を評価するためにDSR試験（角速度：1 rad/s、プレート径：8 mm、温度：-60～80℃）を実施した。

3. 試験結果および考察

3.1 針入度調整の再生用添加剤の添加量

針入度70に調整するために必要な再生用添加剤の添加量を図-1に示す。基準外の旧アスは基準内のものよりも約10%多く必要であるが、針入度は70まで回復できることを確認した。再生用添加剤の種類について比較すると、必要となる添加量はナフテン系のほうが約5%少なく、針入度調整のみに着目した場合はナフテン系が適していると考えられる。

表-1 試験サンプルの性状と成分

項目	旧アス		St.As. 60/80	再生用添加剤	
	基準外	基準内	新アス	ナフテン系	アロマ系
針入度	11	20	63		
飽和分(%)	5.8	6.3	7.8	71.7	13.3
芳香族分(%)	10.9	14.6	36.0	23.1	64.1
レジジン分(%)	65.2	57.0	41.4	5.2	22.6
アスファルテン分(%)	18.0	22.1	14.8	0	0

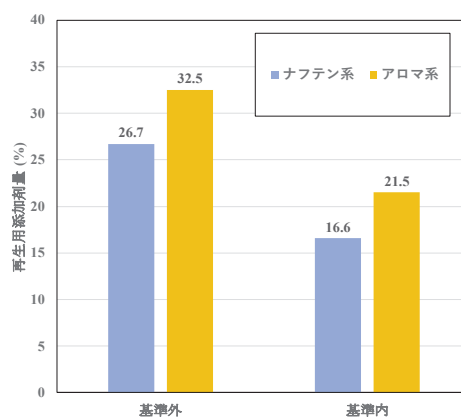


図-1 再生用添加剤の針入度70調整量

3.2 伸度試験の結果

針入度 70 に調整した再生アスの伸度試験の結果を図-2 に示す。基準外の再生アスは基準内のものと比較して、伸度がかかなり小さい。基準内旧アスをアロマ系添加剤で再生させた場合、伸度は 100+ で新アスと同等である。また、基準外旧アスをナフテン系で再生した場合は、伸度はほとんど回復していないが、アロマ系で再生した場合は、基準内旧アスをナフテン系で再生させた場合よりも伸度は大きい。したがって、基準外再生骨材であってもアロマ系の再生用添加剤を使用することで、旧アスの伸度を大きく回復できるものと評価される。

3.3 DSR 試験の結果

DSR 試験の結果として、試験温度と損失弾性率の関係を図-3、4 に示す。再生前の旧アスについて基準外のものと基準内のものを比較してみると、基準外のほうがブロードなピーク形状を呈している。また図-3 で損失弾性率のピークについて着目すると、旧アスの結果は新アスよりも小さいが、再生すると大きく回復して、ピークとなる温度が低温側にシフトしている。再生用添加剤の種類で比較すると、ピーク値はほぼ同じであるが、アロマ系で再生したほうがより新アスに近い温度でピークとなっている。同様に図-4 においても、アロマ系の再生用添加剤で再生したほうが、新アスに近い特性となっている。これはアロマ系のほうがナフテン系よりも新アスに近い粘弾性を有することが要因と考えられる。したがって、新アスに近い性状に再生するためには、アロマ系の再生用添加剤が適していると言える。

4. おわりに

本検討では、劣化程度が異なる基準外および基準内再生骨材の旧アスに再生用添加剤を添加し、その再生アスの基本性状を評価した。基準外の旧アスは、基準内のものよりも多量の再生用添加剤が必要となり、ナフテン系の場合は、針入度は回復できるが伸度は回復できなかつた。しかし、アロマ系の再生用添加剤を使用することで、伸度も回復することができた。DSR 試験においても、同様の結果を得ることができた。したがって、アロマ系の再生用添加剤で旧アスを再生することにより、基準外再生骨材であっても再生利用できるものと期待される。

今後においては、混合物レベルでの評価、旧アスの劣化レベルの違いによる最適な再生用添加剤の選定法、旧アスの劣化レベルと再生骨材の配合量の関係、旧アスの再生限界等について検討していく必要がある。

参考文献

- 1) (一社)日本アスファルト合材協会：アスファルト合材製造数量の推移（全国）（2018 年度版）
- 2) (社)日本道路協会：舗装再生便覧（平成 22 年度版），p.11

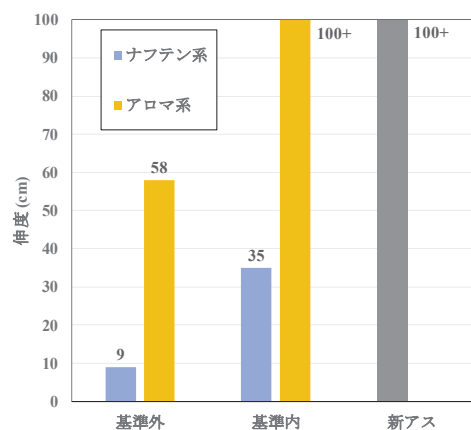


図-2 伸度試験の結果

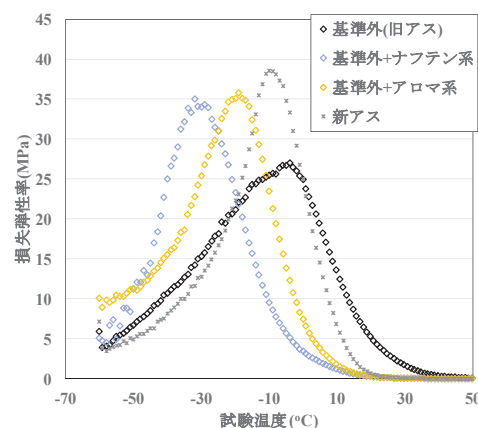


図-3 基準外旧アスの損失弾性率

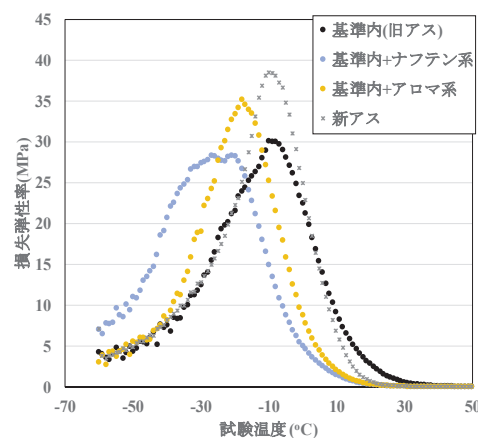


図-4 基準内旧アスの損失弾性率

舗装路面計測を対象とした 地上型レーザースキャナーの効率的な運用について

大林道路株式会社 ○山口 雄希
北見工業大学工学部 富山 和也
大林道路株式会社 森石 一志
北見工業大学大学院 幸谷 宥毅

1. はじめに

現在、ICT 舗装工で実施されている地上型レーザースキャナー（以下、TLS）を使用した出来形管理¹⁾は、計測の効率化が進められているものの、使用機器の計測性能や解析プログラムに依存している部分が多い。そのような中、既往研究²⁾では、2基の測位アンテナを有する高精度な全地球航法衛星システム（以下、GNSS）を使用した TLS（以下、TLS-GNSS）による計測の効率化について検討を行い、従来の方法である TLS を設置した各測点間にターゲットを設置し、そのターゲットを同時に視準するとともに、後のデータ整理で点群データの合成作業としてレジストレーションを行う方法と比較し、作業時間短縮効果があることが確認されている^{2),3)}。一方、舗装の出来形計測の効率化として、盛替え時間と点密度を満たしつつ、効率的に計測を行う事が TLS 運用上の課題となっていた。

以上の背景に基づき、本研究では、既往研究^{2),3)}で抽出された、GNSS と TLS を組み合わせた計測システムの課題を解決するとともに、従来の TLS による出来形計測の手順およびデータ処理、精度について比較することで、より効率的な TLS の運用方法について確立することを目的とする。

2. 計測システムの概要

TLS-GNSS では、三次元点群データの器械点情報として、2基の測位アンテナより算出される位置情報を与えレジストレーションを行うことで、評定点となるターゲットが不要となり計測の効率化につながる事が明らかとなっている^{2),3)}。TLS-GNSS は、図-1 に示すように2基の測位アンテナの中心に TLS を配置し計測を行う。2基の測位アンテナの2点間中心座標を算出し、方位角の算出が可能である。TLS-GNSS では、計測時点で器械自体の位置座標および計測方位角を得ることで、計測点群に直接位置座標を付与し、ターゲットレスでの計測が可能となる。

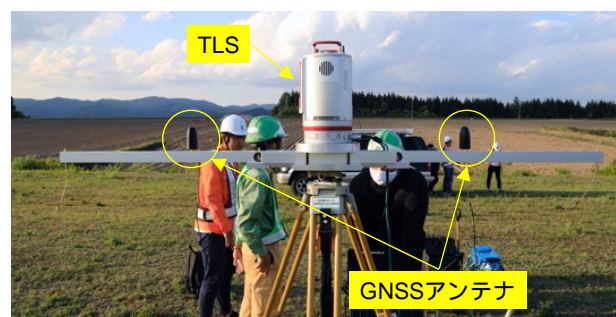


図-1 TLS-GNSS

3 舗装路面計測に適した TLS 運用方法の検討

3-1 点密度の均一化

ICT 舗装工では、 100 cm^2 ごとのデータを $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ の範囲で処理するため、 100 cm^2 内におけるデータのばらつきは相対的に小さく十分な結果が得られるものといえる。しかし、路面の縦断凹凸を評価するためのプロファイルを算出する際には、 100 cm^2 のデータのある測線上で抽出していくため、 100 cm^2 内のデータの均一性が求められる。そこで、 100 cm^2 内での計測点群のばらつきを小さくし均一性を保った計測手法を検証する。

3-2 TLS-GNSS による盛替え作業の簡素化

TLS の盛替えでは、同時にターゲットの移設が必要となるため、既往研究^{2),3)}では、TLS-GNSS を提案し計測の効率化を進め、ターゲットによる方法と同様の計測精度が得られることを確認している。本研究では、より実務的な計測方法に対応した器械配置とし、盛替え作業の効率化について計測時間の観点から検討を行う。

3-3 点密度を均一化させることによるデータ量の低減とハンドリング性の向上

器械近傍では点密度が必要以上に高くなり、データを取り扱う上でのハンドリング性に欠くものであった。そこで、点密度を均一化させることで器械近傍のデータ量を低減した計測方法を提案するとともに、計測後の点群処理における優位性について検証を行う。

4. 検討結果

4-1 点密度の均一化

TLS の配置方法の違いにより、点群の粗密に著しく偏りが生じる結果となった。図-2 に、特にその傾向が顕著であった、TLS 下部の抜けを埋めることなく計測した場合の 2 器械点間のラップ部における 1cm メッシュ内の点密度を 100cm²(縦 10 メッシュ×横 10 メッシュ)で評価した結果を示す。図中のハッチング部分は、レーザが照射された箇所を示しており、本研究において最も偏りが生じた箇所である。この結果は、ICT 舗装工の出来形管理要領¹⁾に準拠しており、舗装の出来形管理では問題なく適用可能であると考えられるものの、路面プロファイルのような点や線で評価する場合、100 cm²内でのデータの均一性が重要となり、点群の偏りは誤差要因となることが懸念される。

4-2 TLS-GNSS を使用した盛替え作業

図-4 および図-5 に示すように、TLS-GNSS の位置精度や任意の測線に対する路面形状は安定した結果が得られており、盛替え作業において一計測点での計測開始から次の計測点に移動するまでに要する時間が 1~2 分程度で行うことが可能であった。以上より、点密度を均一化するとともに盛替え作業を簡素化した TLS の運用について、計測精度および作業時間の観点から、従来手法に対する優位性が確認できた。

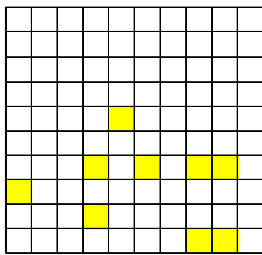


図-2 点密度(100cm²)

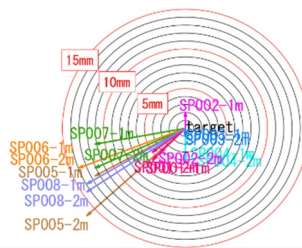


図-3 器械点誤差

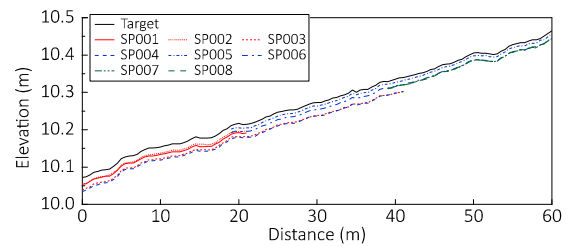


図-4 50cm ピッチでの標高抽出比較

5. まとめ

TLS-GNSS を用いて点密度を均一化した計測を行うことで、盛替え作業を含めた計測時間短縮およびデータ量の軽減を可能とし、計測作業や点群データの事後処理について優位性がみられ、効率的な三次元計測に寄与するものと期待できる。

参考文献

- 1) 国土交通省：地上型レーザースキャナーを用いた出来形管理要領（舗装工事編）（案），2020.3.
- 2) 森石一志，富山 和也：ICT 舗装工における点群データ取得の効率化と適用範囲拡大について，土木学会論文集 E1（舗装工学），Vol.75，No.2，pp.I_77-I_85，2019。
- 3) 森石一志，富山和也，西川啓一，山口雄希：三次元計測機器を用いた路面管理の運用効率化，土木学会論文集 E1，Vol.76，p.I_77-I_85，No.2，2020.12.

環境に配慮した歩道舗装の供用箇所における経年性能

大林道路（株）四国支店 ○石川 義人

大阪市立大学 名誉教授 山田 優

国土交通省 近畿地方整備局 近畿技術事務所 山崎 裕治

1. まえがき

国土交通省近畿地方整備局が、産学官で設立した新都市社会技術融合創造研究会の研究プロジェクト「環境に配慮した歩道舗装に関する研究（以下、『環境歩道舗装』と称す）」では、長期供用に関するデータを採取する目的として、琵琶湖の南西に位置する国道161号の道の駅「妹子の郷」で試験施工を行った。本文は供用から5年後の各試験結果についてとりまとめたものである。

2. 概要

当該箇所の気象の特徴として、冬季は比良山系からの吹きおろしにより気温が氷点下となり、積雪も比較的多い地域である。とりわけ土系舗装は、凍結融解による劣化損傷が懸念されるため、近畿圏では試験施工に望ましい箇所といえる。最低気温 0℃以下、最高気温 5℃以上の日を抽出したものを凍結融解日数として発生割合を算出したものを表-1に示す。

試験施工に用いた舗装の種類は表-2に示す7種類で、土系、樹脂・アスファルト系、コンクリート系の舗装に分類される。それらの結果を図-1～図-10に示す。

3. 調査結果

①GB試験：全般に同様の値で推移している。特に『木質加熱アスファルト舗装』、『樹脂で固めた土舗装』は反発係数が低くソフトな歩き心地を継続している。②平坦性：全般に性能目標値を満足しており良好な値を継続している。③すべり抵抗値：低下傾向を示しているが、性能目標値を十分に上回っている。④浸透水量：4年後の時点では塗装の剥がれや砂塵等により空隙詰まりしていたものが、今回は7、8月の長雨により舗装体内の空隙に詰まった塗装剥がれ等が洗い流されたことにより浸透水量が増加したと思われる。⑤ひび割れ率：増加傾向を示すものの、歩行性に支障を来すものではない。⑥表面温度：2018年は測定前の降水量が殆ど無かったため、やや高い傾向を示していたが、路面温度低減舗装（散水あり）を除いては、概ね同様の値で推移している（図-10）。

表-1 凍結融解日数

（アメダス観測地点：滋賀県南小松）

期間	通算日数	凍結融解日数	割合
竣工 2015.12～2016.3	122	22	18.0%
1年後 2016.12～2017.3	121	24	19.8%
2年後 2017.12～2018.3	121	27	22.3%
3年後 2018.12～2019.3	121	22	18.2%
4年後 2019.12～2020.3	122	7	5.7%
合計	607	102	16.8%

表-2 環境歩道舗装の種類

番号	環境歩道舗装の名称
NO.1	自然石風常温透水薄層カラー舗装
NO.2	樹脂で固めた土舗装
NO.3	土系舗装
NO.4	木質加熱アスファルト舗装
NO.5	遮熱型常温透水薄層カラー舗装
NO.6	路面温度低減舗装
NO.7	透水性コンクリート舗装

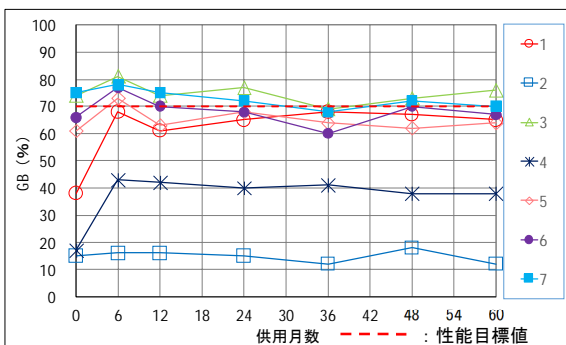


図-1 GB 試験

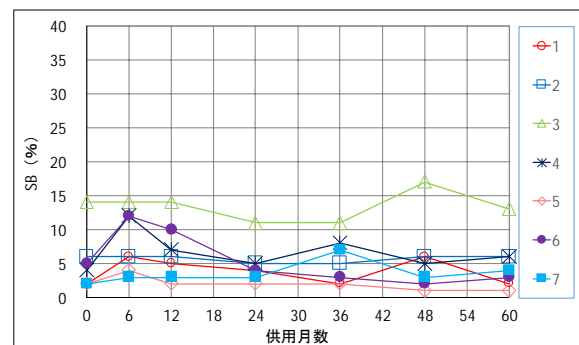


図-2 SB 試験

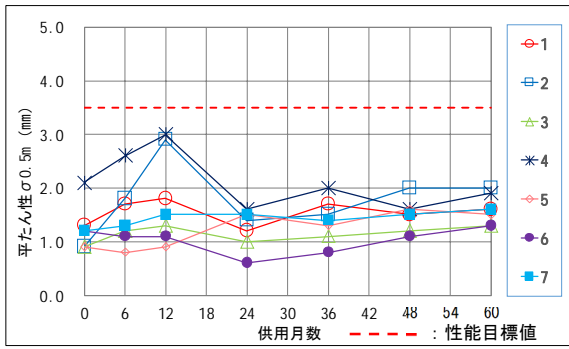


図-3 平均平坦性

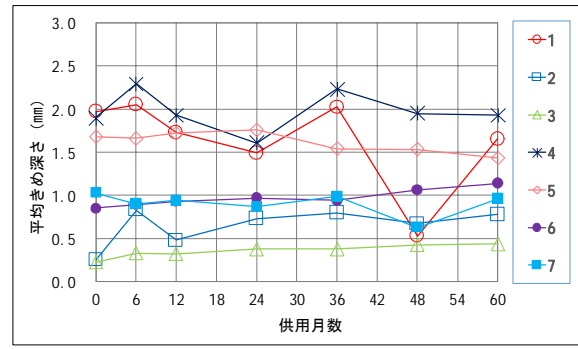


図-4 きめ深さ

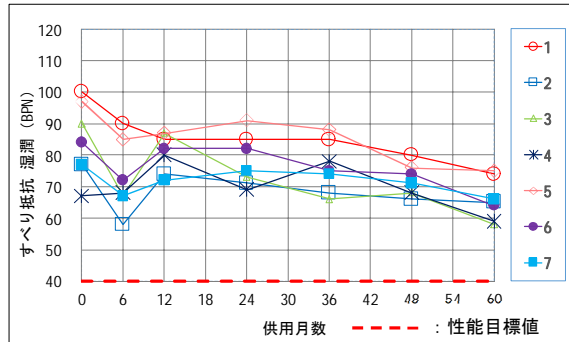


図-5 すべり抵抗 湿潤

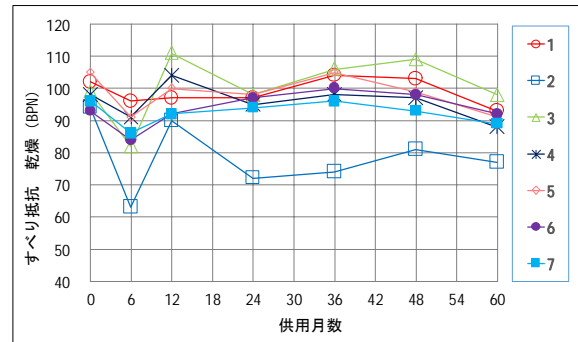


図-6 すべり抵抗 乾燥

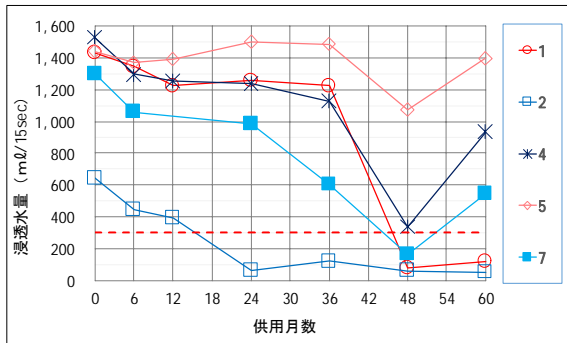


図-7 浸透水量 (NO.2 は非開粒タイプ)

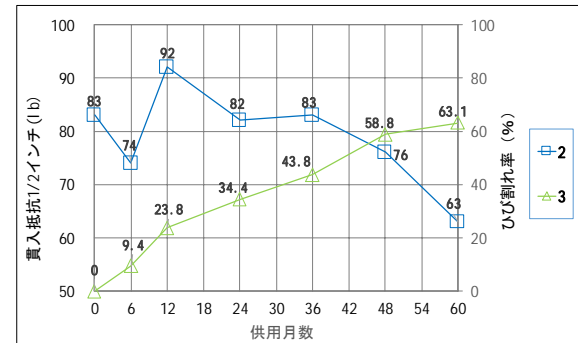


図-8 貫入抵抗 (NO.2), ひび割れ率 (NO.3)

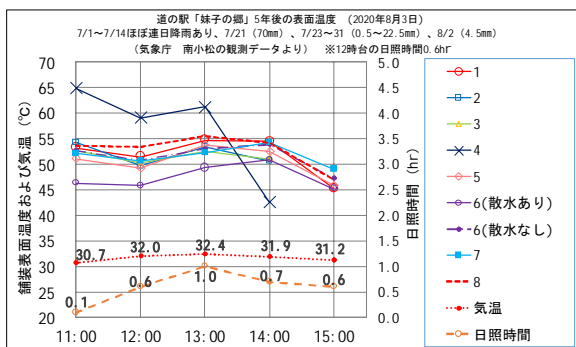


図-9 表面温度 5年後

12時台の日照時間0.6hrのため舗装温度が低下

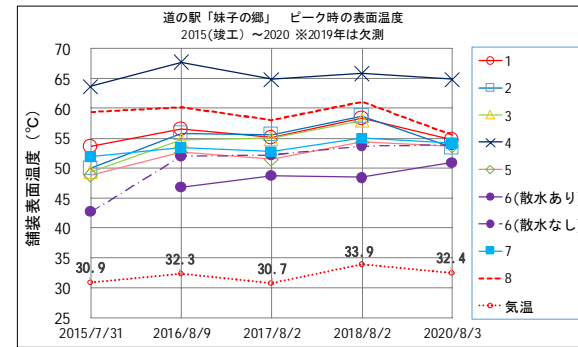


図-10 ピーク時の表面温度 2015～2020年

(8番は密粒舗装)

4. あとがき

実路で環境歩道舗装の長期供用性能について調査を継続し、有意義なデータを取得することができた。今後の基礎資料として活用頂けると幸いです。<謝辞>道の駅における試験施工は、新都市社会技術融合研究会（環境に配慮した歩道舗装に関する研究プロジェクト）が実施したものであり、国土交通省近畿地方整備局、近畿技術事務所、滋賀国道事務所ならびに道の駅「妹子の郷」の関係者の方々に感謝の意を表します。

繰返し精度向上を目的とした

アスファルト混合物の作業性評価に関する検討

大林道路(株) 技術研究所 ○新堀 詩織
同 上地 俊孝

1. はじめに

アスファルト混合物(以下、混合物)の作業性評価方法には統一規格が存在せず、各社が検討を進めている。門田らの提唱した貫入試験は、混合物のほぐれやすさを定量的に評価するものである。簡便に合材の作業性を評価できる一方、繰返しや試験者間のばらつきが大きいことが課題である。筆者らは試験中および試験ごとの貫入速度を一定に保てないことが上記課題の要因と考えた。本報告では、貫入速度を一定にできる電動貫入機を導入し、本試験の精度向上に向けた検討結果を示す。

2. 試験方法

表-1に使用材料を示す。骨材のかみ合わせや温度変化による試験誤差を小さくするために、骨材の最大粒径が5mmの常温混合物を使用した。バインダとしてストレートアスファルト60-80と軽油を用いており、バインダ中のアスファルト割合を90.0、77.5、70.0%と変えて作業性の異なる混合物を作製した。表-2と図-1に電動貫入機の概要を示す。電動貫入機は、送り速度を200~600mm/minに調整できるもので、デジタルフォースゲージを取り付けて使用する。

表-1 使用材料

	配合1	配合2	配合3
バインダ中のAs割合	90.0%	77.5%	70.0%
バインダ量	5.7%		
作業性	悪	標準	良

表-2 電動貫入機の概要

製造	日本電産シンポ(株)
型式	FGS-50E-H(高速仕様)
送り速度	20~600mm/min

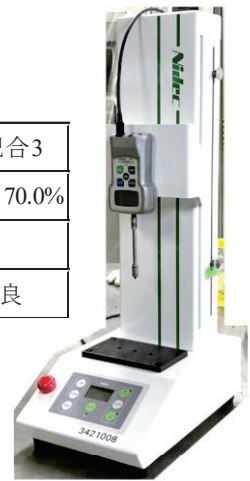


図-1 電動貫入機 外観

貫入試験は門田らの報告を参考に、長さ26mm、直径10mmの先端が円錐状の貫入治具を用いて行った。試験開始から26mm貫入するまで荷重を0.1秒ごとに記録し、最大荷重で評価した。電動貫入機の送り速度は600、400、200mm/minに設定した。また人力で試験する場合は電動貫入機と同じ速度で貫入できるようにメトロノームを用いて行った。試験は1条件につき5回行い、平均値や変動係数の算出時には最大値と最小値を棄却した。

3. 試験結果

3.1. 電動貫入機の送り速度の検討

図-2に電動貫入機で試験したときの送り速度と最大荷重の関係を示す。送り速度と最大荷重には正の比例関係があり、最大荷重の大きい配合ほどその傾きが大きく、送り速度が速いほど、配合間の最大荷重の差が大きかった。また本試験では、最大荷重のばらつき(変動係数)は速度に依存しなかった。以上の結果より配合間の最大荷重の差が大きく、作業性可否の判断が容易な送り速度600mm/minで以降の試験を行った。

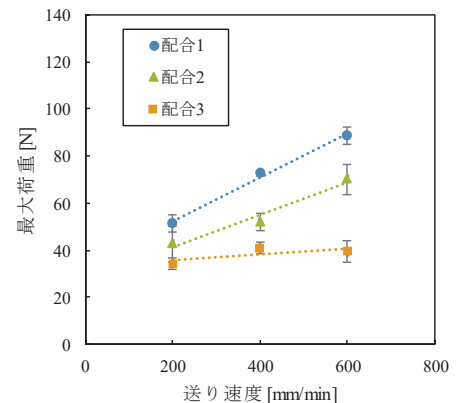


図-2 送り速度と最大荷重

3.2. 人力と電動貫入機の比較

電動貫入機導入の妥当性を検証するために、配合 1 を用いて人力と電動貫入機それぞれで貫入試験をした。図 - 3 に各試験条件における試験時間と荷重の関係を示す。人力による試験では、作業者や試行回数ごとに最大荷重(ピーク)やピークの位置、試験に要した時間が異なった。これは人力での試験では目標とする載荷速度に合わせるのが難しい上に、試験中の載荷速度を一定に保てないためと考える。一方電動貫入機を用いた場合は、一部突出した結果もあるものの、おおむね同じカーブを描いていた。表 - 3 に人力と電動貫入機の最大荷重とその変動係数を示す。電動貫入機の繰り返しの変動係数は試験者 B, C の繰り返しの変動係数や試験者間(A, B, C)の変動係数より小さかった。以上の結果から人力試験の精度に関する課題が載荷速度の制御不足を要因とする考えは妥当であり、その改善策として電動貫入機の導入には一定の効果があったといえる。

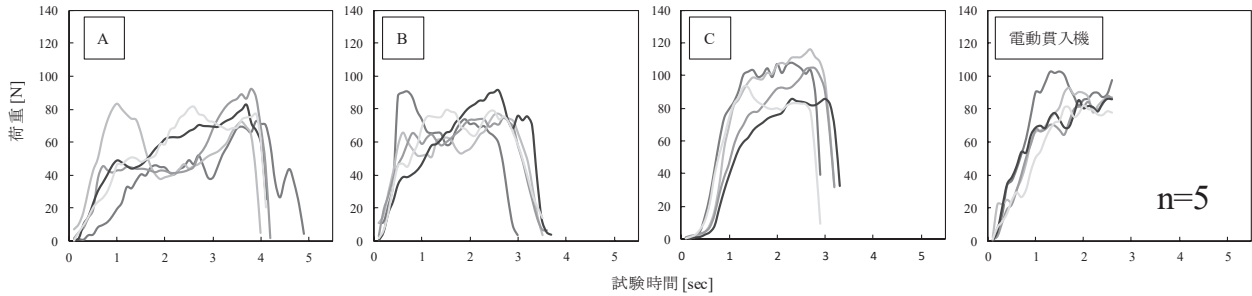


図 - 3 人力(作業者 A, B および C)と電動貫入機の試験結果

4. 精度向上に向けた評価指標の提案

図 - 4 に送り速度 600 mm/min で試験をしたときの荷重と試験時間の関係を示す。26 mm(2.6 秒)以降の荷重と変位も記録している。いずれの配合でも、試験開始直後から荷重が上昇し、一定時間経過後 80N 程度に収束した。一定の貫入量以上になると貫入部分が圧密状態となり、作業性に関わらず荷重が一定になったと考える。また配合 1 は他の配合と比べて特に立ち上がりの傾きが大きかった。このことから、試験開始直後の傾きが混合物の作業性に関係していると考えた。表 - 4 に各配合の傾き(試験直後～1.5 秒)を示す。配合 1 を傾きで評価したときの変動係数は最大荷重での評価よりも小さかった。評価指標に傾きを用いることで、作業性の悪い混合物をより精度よく評価できる可能性がある。

5. まとめ

本検討結果をまとめると以下のとおりである。

- ・最大荷重の評価では、貫入速度を大きくするほど作業性の違いを評価できる。
- ・作業者間のばらつきを小さくする目的で、電動貫入機を導入することは望ましい。
- ・評価指標に傾きを用いることで、作業性の悪い混合物をより精度よく評価できると示唆された。

【参考文献】

1)門田誠也ほか：常温合材の高度化に関する検討，設立 30 周年記念応募論文集，pp.48-53，2015。

表 - 3 人力と電動貫入機の試験結果

		最大荷重		試験者間
		平均	変動係数	変動係数
		[N]	[%]	[%]
人力	作業者A	82.6	1.15	12.55
	作業者B	82.5	8.75	
	作業者C	101.9	7.86	
電動貫入機		88.7	4.10	-

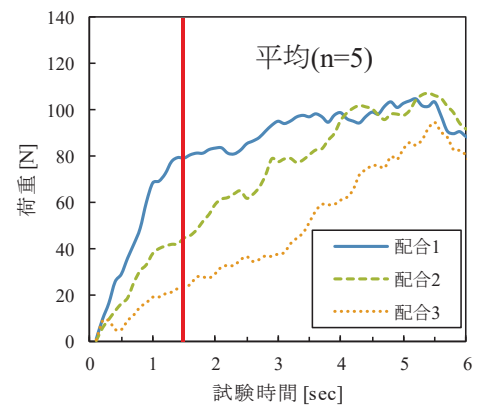


図 - 4 荷重と試験時間の関係

表 - 4 試験開始直後の傾き

	傾き		最大荷重
	平均	変動係数	変動係数
		[N/sec]	[%]
配合1	55.6	1.03	4.10
配合2	32.7	18.22	9.51
配合3	15.8	16.93	11.73

再生用添加剤の浸透時間が 再生アスファルト混合物の性状に及ぼす影響

大林道路（株）技術研究所 ○滝井 陵太
同上 小林 靖明

長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学専攻 高橋 修

1. はじめに

再生アスファルト混合物（以下、再生混合物）の製造において、再生骨材の旧アスファルト（以下、旧As）に再生用添加剤が十分に浸透し、性状を十分に回復しているか否かは不明である。著者らはこれまでに、再生骨材と再生用添加剤の浸透時間を長く設けることで、製造した再生混合物の品質が向上することを確認している¹⁾。ただし、効果発現までの時間が3～7日と長いことから、再生アスファルトプラントで連続的に出荷する場合には非現実的である。浸透時間を短縮させるには、再生用添加剤の浸透養生中に長時間加熱することで両者の馴染みを向上させる方法があるが、旧Asの熱劣化や再生用添加剤の揮発によって性状が損なわれる恐れもある。そこで本検討では、再生用添加剤を添加した再生骨材の養生温度および浸透時間が、再生混合物の性状にどのような影響を及ぼすのか評価した。

2. 試験概要

試験概要のフローを図-1に、再生混合物の製造条件を表-1にそれぞれ示す。本検討では、再生用添加剤を添加した再生骨材を所定の温度（60, 130℃）で養生した。また、養生時間は0～24時間の4水準とした。使用した再生用添加剤の性状を表-2に示す。飽和分の多い潤滑油系の再生用添加剤（以下、ナフテン系）、および飽和分が少なく芳香族分が多い再生用添加剤（以下、アロマ系）の2種類とした。所定時間の養生後に、再生骨材配合率60%で再生混合物を製造し、供試体を作製した。混合物性状の評価試験として、温度20℃で圧裂試験を行った。

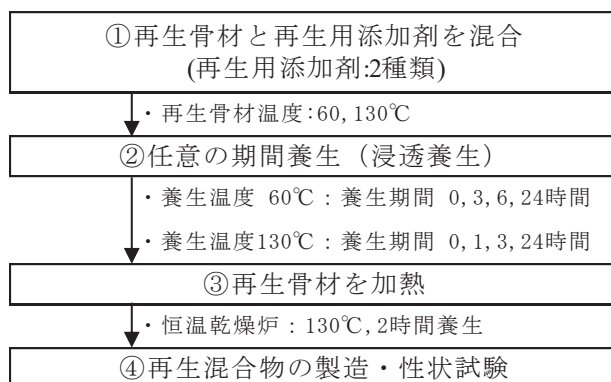


図-1 試験概要フロー

表-1 再生混合物の製造条件

混合物種類	再生密粒度 アスファルト混合物(13)
設計針入度(1/10mm)	70
再生骨材配合率	60%
再生アスファルト量	5.70%

3. 試験結果および考察

3.1 空隙率の結果

再生用添加剤の浸透時間と締め固めた供試体の空隙率の関係を図-2に示す。60℃養生の場合の空隙率は、浸透時間や再生用添加剤の種類によらずほぼ一定であった。これに対して130℃養生の場合では、浸透時間の経過に伴い空隙率が増加する傾向が見られた。この要因については、後で考察する。

表-2 再生用添加剤の概要

種別	ナフテン系	アロマ系
密度(g/cm ³)	0.97	0.92
組成 (%)	アスファルテン分	0.0
	レジジン分	5.2
	芳香族分	23.1
	飽和分	71.7
		0.0
		22.6
		64.1
		13.3

3.2 圧裂試験の結果

再生用添加剤の浸透時間と圧裂強度の関係を図-3に、圧裂変位の関係を図-4に、圧裂係数の関係を図-5にそれぞれ示す。60℃養生の場合の圧裂強度は、浸透時間や再生用添加剤の種類によらずほぼ一定であったが、130℃養生の場合は、浸透時間の経過に伴って上昇する傾向が見られた。これは空隙率の結果と同様であり、旧Asが熱劣化によって硬くなってしまい、締め固まり難くなったものと考えられる。

60℃養生の場合の圧裂変位は、浸透時間の経過に伴って大きくなっており、6時間で圧裂変位が最大となった。再生用添加剤の種類で比較すると、アロマ系がナフテン系よりも圧裂変位が全体的に大きいことが確認される。130℃養生の場合は、アロマ系は変位が増加したが、ナフテン系は浸透時間によらずほぼ一定であった。養生温度60℃、130℃ともに、圧裂変位に違いが生じた要因は、芳香族分を多く含むアロマ系のほうがナフテン系と比べ、より旧As内部への浸透性が高いことによるものと推察される。これは、既往研究における旧Asと再生用添加剤の浸透性の結果とも一致している²⁾。常温時における再生用添加剤の有効浸透時間が3～7日であることを考慮すると、加熱することで養生時間を大幅に短縮できるものと考えられる。

60℃養生の場合の圧裂係数は、浸透時間や再生用添加剤の種類によらずほぼ一定であった。130℃養生の場合は、浸透時間の経過に伴い上昇する傾向が見られた。これは空隙率や圧裂強度と同様に、旧Asが熱劣化により固くなったことが要因と考えられる。

4. まとめ

再生骨材の養生温度、再生用添加剤の違いにより、浸透時間に対する圧裂変位に違いが見られた。また、アロマ系の再生用添加剤は、ナフテン系の再生用添加剤よりも旧Asに浸透しやすく、再生混合物の性状回復に有効と考えられる。

今後は、より効率的に混合物性状を回復できる最適温度や再生用添加剤の選定について検討する必要がある。

参考文献

- 1) 小林靖明, 井土彪力, 高橋修: 再生用添加剤の浸透期間が混合物性状に及ぼす影響, 土木学会第76回年次学術講演会(投稿中)
- 2) 木谷貴宏, 梅本叡史, 東本崇: 再生用添加剤の浸透性に関する一検討, 土木学会第75回年次学術講演会 V-463(2020)

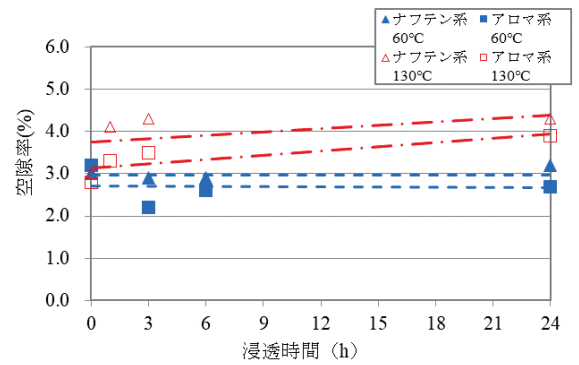


図-2 浸透時間と空隙率の関係

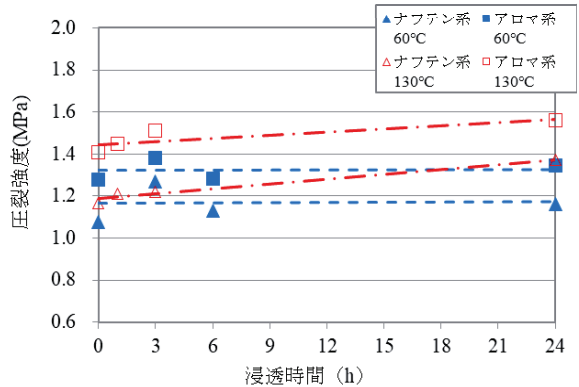


図-3 浸透時間と圧裂強度の関係

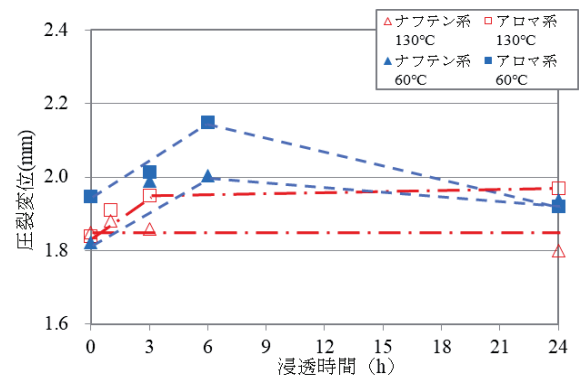


図-4 浸透時間と圧裂変位の関係

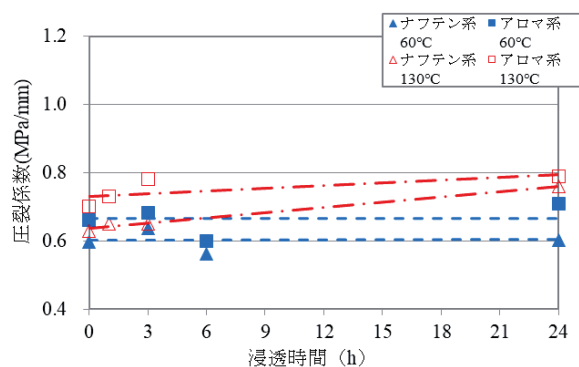


図-5 浸透時間と圧裂係数の関係

複層型プレキャスト舗装の可能性について

大林道路(株) 技術研究所 ○ 松下 陽哉
同 横山 昂洋
大林道路(株) 技術部 光谷 修平

1. はじめに

アスファルト混合物や舗装用セメントコンクリートを舗装用重機や舗装用の小道具を駆使して製品化する舗装工事においては、経験による技能を有するオペレータや作業員の確保が不可欠である(写真-1)。一方、全ての産業共通の課題である少子高齢化による労働力不足は、特殊技能を必要とする場合に特に深刻となり、その対策が急がれている。舗装工事においては、ICTの活用等による政策 i-Construction に則り、経験不足をカバーするカイゼンが進められているが以下の課題がある。

- ・舗装を専門とする技能労働者の不足(重機オペレータやアジャストマン、レーキマン)
- ・劣悪な作業環境(特有の臭気、高い輻射熱、振動、騒音、火の使用)
- ・材料の取り扱い(可使時間が短く、作り置きができない。)
- ・制約条件の多さ(天候、周辺環境、交通規制時間、作業空間)
- ・一工程/一工種の施工、部分的に異なる構造の難しさ

筆者らは、これらの問題を解決するためにプレキャストコンクリート版を用いた新型舗装(以下、複層型プレキャスト舗装)の開発に取り組んでいる。本稿は、複層型プレキャスト舗装の可能性を記したものである。



写真-1 従来の舗設状況

2. 目的

複層型プレキャスト舗装の開発目的は、2つに大別される。1点目は生産方式の改革である。建築工事がブレイブ化により生産方式を刷新したように、特殊重機を用いない舗装工事を実現し、供用後は、任意の箇所を部分的に取り換えられる特徴を活かして、修繕工事の生産性を飛躍的に向上できると考えている。2点目は舗装への機能付加である。従来の付加機能(排水性、騒音低減、遮熱性、景観性等)に加えて、将来普及が見込まれる自動運転車の誘導や電気自動車の給電等の補助機能の組み込みも可能な構造を目指している。

3. 基本構造

現在、プレキャストコンクリート舗装の主流となっているコッター式継手を用いる構造には接続部が破損しやすいという弱点がある。

一方、組み立てブロック玩具から着想を得た本工法の構造は、千鳥配列したプレキャストコンクリート版(以下、Con版)を継手により鉛直方向のみ結合した2層構造となっており(図-1)、交通荷重を支えるために必要な支持力を下層Con版以下で確保することで、接続部分の弱点が解消される。上層Con版は機能層として専用でき、Con版全体は一体として動く。各パーツの構造を以下に列記する。

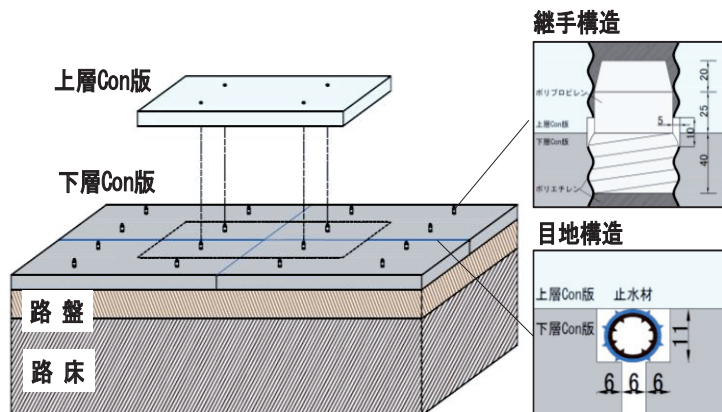


図-1 基本構造

(1) Con 版構造

Con 版は、コンクリート舗装の品質規格（設計基準曲げ強度 4.4MPa ($\sigma 28$)) を満たす配合で製造し、基本的な寸法は、長さ 4000mm、幅 2000mm、高さ 150mm で、配筋は D10@150mm のダブルとした。

(2) 継手構造

継手のメス部分は、ねじ構造を有する中空円筒形の部材とし、厚さ 2mm、内径 55mm、外径 65mm、深さを上層 Con 版では 120mm、下層 Con 版では 80mm とした。また、オス部分の継手部材は、ポリプロピレン製とし、厚さ 8mm、内径 38mm、外径 54mm、長さ 85mm でその下部 40mm をねじ構造とした。

(3) 目地構造

路盤以下の浸食を防ぐため、下層 Con 版の目地部には親水性に優れたポリウレタン製の止水材を設置し、上層 Con 版の目地部には施工効率を考慮して一般的な瀝青系材料を使用する構造とした。

4. 開発に向けた手順

(1) 設計方法

類似の構造を有する舗装が存在しないため、複層型プレキャスト舗装の設計には従来の経験的設計法等を適用できない。そこで、3次元有限要素法プログラムを用いて舗装モデル（図-2）を解析する設計手法を検討した。その際、実物大規模の試験体を使用した载荷実験により解析の妥当性を確認し、3次元有限要素法に基づく設計手法を確立した。

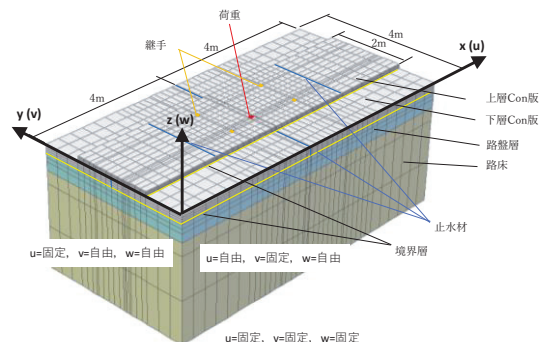


図-2 舗装モデル

(2) 施工方法の検討

開発目的を達成するためには、急速かつ高精度な施工を実現する施工方法が求められる。そこで試験施工（写真-2）により課題点の抽出と改善を繰り返して、最適な施工方法を検討している。

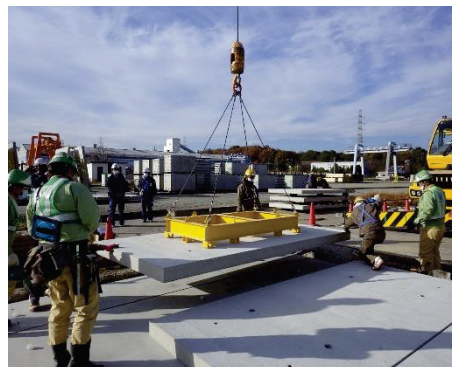


写真-2 施工状況

(3) 供用性の確認

供用性は、大型車の往来がある工場構内道路の適用箇所における追跡調査により確認することとした。供用 3 ヶ月後の追跡調査の結果からは、Con 版の部分的な角欠けや路面帯目の摩耗等の軽度な損傷は認められたものの、構造破壊を及ぼす大きな損傷は見受けられなかった（写真-3）。舗装の変状は、交通荷重に加えて気象条件の影響も多分に受けるため、今後も定期的な追跡調査を行う予定である。



写真-3 追跡調査状況

(4) 工学的な検証

複層型プレキャスト舗装の寿命に関する工学的な裏づけが求められる。そこで実物大の走行試験等による検証方法を検討、計画中である。

5. おわりに

生産性向上と舗装への機能付加を目的に複層型プレキャスト舗装の構造設計と試験施工を実施し、短期供用性に対して問題ないことが確認できた。今後必要なデータを収集し、実用化に向けた開発を進めたい。

本研究を進めるにあたっては、構造設計法、プレキャスト版の試作、継手部材、止水部材、施工方法について、それぞれ豊富な知見をお持ちの専門家、専門企業の皆様にご指導、ご協力を頂いております。この場を借りて深く御礼申し上げます。

以上

土系舗装材を用いた水締めによる土系舗装と構造物の検討

大林道路（株） 技術研究所 ○古谷野 拓
 同 上 小嶋 匠
 （株）大林組 技術本部技術研究所 平田隆祥
 同 上 西澤 彩

1. はじめに

土系舗装は歩行感や土の風合いがあり、景観性の向上が期待できる。しかし、今後の土系舗装の普及を考慮すると、舗装面と周辺環境との調和が取れた景観作りも重要となる¹⁾。そこで、舗装と共通の母材を用いた周辺構造物を開発することで、周辺環境や色彩の調和が取れた景観作りが可能と考えた。また、転圧による締固めでの施工が難しい形状や場所における周辺構造物の構築が可能となるような施工方法とするため、水締めによる施工方法を検討した。本報文は、転圧による締固めが困難な壁面を水締めすることで、舗装及び壁面に同種の材料を用いた構造物の作製方法について検証したものである。あわせて、土壁の作製例について報告する。

2. 樹脂の特徴

土系舗装の結合剤には、変性エポキシ樹脂²⁾を用いた。使用した変性エポキシ樹脂は主剤と硬化剤の2液混合型で、通常のエポキシ樹脂と比較して土の含水状態による硬化への影響を受けにくく、高い強度を発揮する。また、施工後3か月程度は樹脂による濡れ色が表面に残るが、セメント系結合剤を用いた土系舗装と比較して白華しないため、土の風合いを生かした景観を作ることができる。

3. 混合物の作製と水締めの施工方法

混合物は、真砂土と予め主剤と硬化剤を混合した樹脂をステンレスミキサに投入し、3分間混合して作製した。水締めによる施工は水抜き用の穴を設けた型枠を設置し、水を流しながら混合物を投入する方法とした。使用材料を表-1に示す。

表-1 使用材料

材料	性状
真砂土(茨城産)	含水比は8%に調整
変性エポキシ樹脂 (以下、「本樹脂」)	添加量は乾燥土量に対して8%
エポキシ樹脂 (以下、「比較樹脂」)	比較用の従来のエポキシ樹脂

4. 試験結果及び考察

室内にて水締めによる混合物の強度への影響を確認するため、一軸圧縮強さと曲げ強度で評価した。作製及び試験方法を表-2、結果を図-1、図-2に示す。模擬壁は30cm×30cm×5cmの型枠を用いて水締めで作製し、曲げ供試体の寸法に成形した。

表-2 作製及び試験方法

		一軸供試体	曲げ供試体
作製方法	突固め	JCAS L-01-2006「セメント系固化材による改良体の強さ試験方法」	4cm×4cm×16cmの型枠、質量1kgのタンパを用いて、2層15回突きで作製。
	水締め	混合物を型枠に充填し、上面から水を流して締め固める	混合物を型枠に充填し、上面から水を流して締め固める
試験方法	共通	JCAS L-01-2006「セメント系固化材による改良体の強さ試験方法」	JIS R 5201「セメントの物理試験方法」

水締めの特試体は、突き固め方法で作製した特試体と比較して、樹脂の種類の違いに関わらず強度が大きく低下した。これは水締め時の排水条件の影響も受けると考えられる。一軸圧縮試験結果は、本樹脂が63%、比較樹脂が97%低下した。曲げ最大荷重は、水締めが88%、模擬壁は73%低下した。本樹脂を用いた水締め特試体は、比較樹脂を用いた突き固め特試体と同程度の強度を有していた。

実験的な試みのため目標値を設定していないが、水締め方法において比較樹脂を用いた通常の特固め方法と同等の強度で構造物の作製が可能であると判断した。

5. 土壁及び平面の施工

実構造物を想定した壁構造物及び舗装の模擬試験体を作製した。壁面は水締め方法を用い、舗装の平面部は締固め方法を用いて施工した。施工の順序、(1)水締めによる壁面、(2)締固めによる平面とした。

「(1)水締めによる壁面」の施工は、混合物を型枠の1/3程度まで投入し、ならしつつ水締めを行った。混合物の投入、ならし、水締めを天端まで繰り返す行い、表面を木鏝で仕上げた(写真-1)。「(2)締固めによる平面」の施工は、混合物を型枠に投入後、レーキでならしつつ水締めを行う。タンパや手動ローラを用いて初転圧を行い、初転圧後は振動コンパクタで転圧して締め固めた(写真-2)。施工完了状況を写真-3に示す。



写真-1 水締めによる壁打設

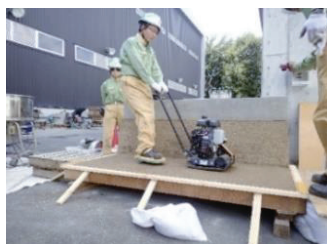


写真-2 平面部の転圧状況



写真-3 施工完了後

6. まとめ

室内強度試験及び土壁の模擬試験体の施工から、土系舗装材を用いた水締めによる構造物の施工が可能であることが分かった。現在作製から約2年経過しているが、破損等は見られない。しかしながら土壁の作製については実験的な試みであり、必要な性能や耐久性については適用箇所等も含め検討中である。また、水締めでの作製は強度の低下が課題となり、工法としてはまだ確立していない。

今後はさらなる検証を行い、最終的には道路、道路付属物、構造物等に利用され、周辺環境と調和の取れる舗装材として認知されることを期待している。

【参考文献】

- 1) 社団法人 土木学会：「街路における景観舗装—考え方と事例—」(舗装工学ライブラリー5), pp2-3, 2007
- 2) 西澤彩・片岡弘安・川西貴士・平田隆祥・小嶋匠・掛札さくら：「樹脂系混和材料を用いたセメントペースト・土系舗装材の基礎検討」, 大林組技術研究所報 No.83, 2019

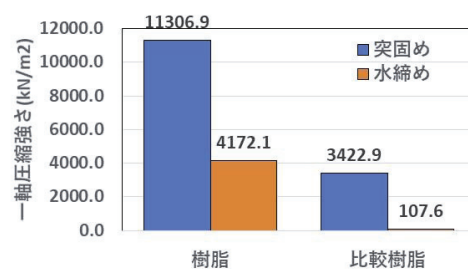


図-1 一軸圧縮強さ



図-2 曲げ最大荷重

大林道路株式会社 正会員 ○森石 一志
 北見工業大学工学部 非会員 板垣 智哉
 北見工業大学工学部 正会員 富山 和也
 北見工業大学工学部 学生員 幸谷 宥毅
 大林道路株式会社 正会員 山口 雄希

1. はじめに

現在 ICT 舗装工では、地上型レーザスキャナ（以下、TLS）を使用した出来形管理が実施されている¹⁾。一方、施工完了後や供用後の路面性状調査のうち、平坦性や乗り心地（IRI）は、路面プロファイルを用いて評価しており、施工完了後においては2種類の計測を実施することとなるため測定の効率化が求められている。また、国土交通省では TLS で取得した点群データから平坦性指標を算出するソフトを提供する予定もある²⁾。そのような中、著者らは2基の測位アンテナを有する高性能な全地球航法衛星システム（GNSS）を TLS に搭載し（以下、TLS_GNSS）、ミリメートルの精度が要求される路面プロファイルを対象に効率的な点群データの処理方法を提案している³⁾。その結果、従来手法と同等の計測精度を有しつつ、計測前後の作業工程を省略した三次元計測装置の効率的な運用が可能となることを明らかにした。そこで本研究では、TLS_GNSS を用いた路面プロファイルの計測特性について評価を行なった。

2. 研究概要

2-1 試験ヤード

本研究は、北見市内にある北見地区農道離着陸場試験ヤードとし実施した。その状況を図-1 に示す。

図に示すとおり、路面プロファイルの算出は滑走路のセンターからショルダーへ向かって2mの箇所とし、計測延長を200mとした。

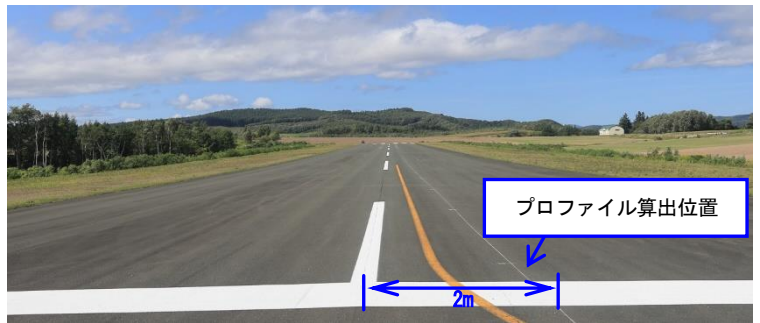


図-1 北見地区農道離着陸場滑走路の外観

2-2 計測装置および方法

(1) TLS

計測は図-2 に示すように、TLS の設置位置と方向角を決定するため、移動局アンテナを2基有し高精度に位置情報を得ることが可能な GNSS（iシステムリサーチ製）を搭載した TLS を使用した。GNSS アンテナは、図-2 (a) に示すように TLS の下部に精密に加工した治具を設け、TLS の本体を中心にその両端 1m の箇所に設置した。これら GNSS アンテナは図-2 (b) に示す専用 Rover で制御されている。TLS_GNSS は、図-2 (c) に示す敷地内に固定局を設け、リアルタイムキネマティック (RTK) 方式にて座標の取得を行った。

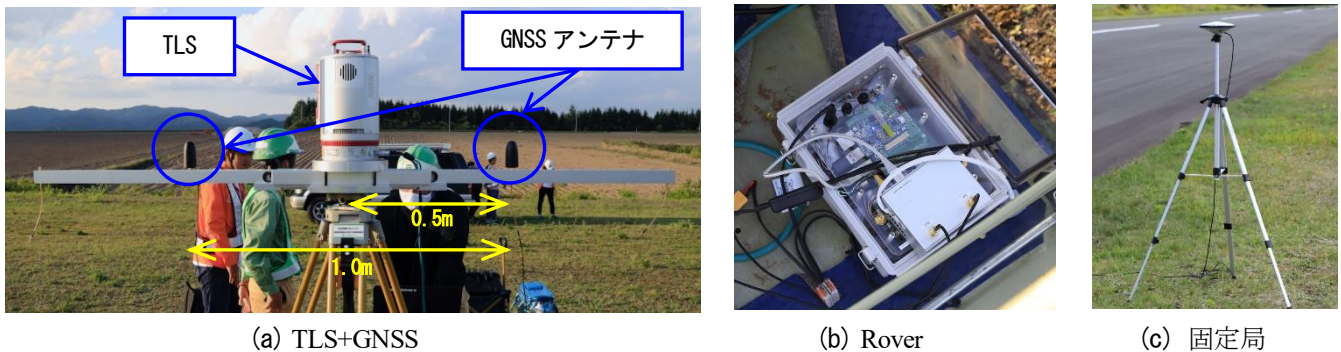
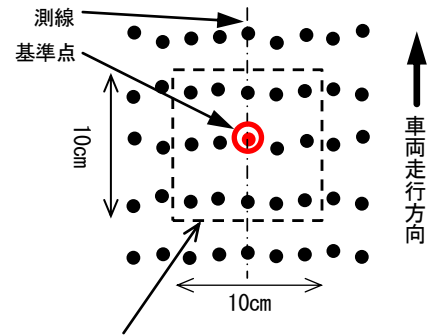


図-2 高性能 GNSS を搭載した TLS

(3) 点群データによる路面プロファイルの取得方法

各三次元計測装置で取得した点群データから路面プロファイルデータを抽出する場合、測線上に点が無い場合や計測原理特有のバラツキがあることから、以下の方法で路面プロファイルを取得した。

- 1) 測線の起終点を直線で結び、その測線を中心に片側 5cm ずつ合計 10cm 幅の点群を抽出する。
- 2) TLS による出来形管理要領¹⁾ならびに既往の研究³⁾から、図-3 に示す測線上の基準点を中心に、10cm×10cm の範囲にある点群の高さの平均を求め、それを当該範囲における点の高さとする。
- 3) 各範囲で得られた点を延長方向に結び 10cm ピッチの路面プロファイルとする。



破線内にある点群の高さの平均値を点の高さとする

図-3 高さの算出方法

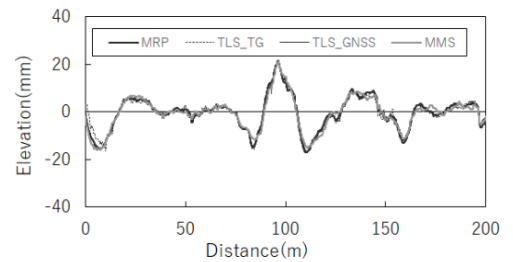


図-4 路面プロファイルの比較

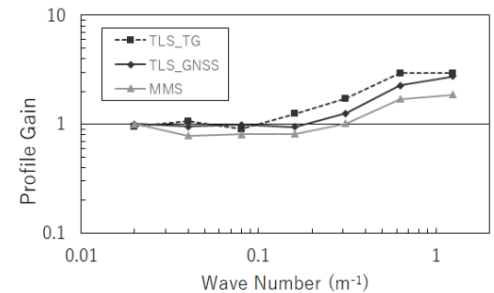


図-5 基準プロファイルに対する Gain

(2) 基準プロファイル取得装置

基準となる路面プロファイルは、図-1 に示す滑走路中心からショルダ一側へ 2m オフセットした測線上にて MRP で測定した。

なおプロファイルは、TLS_GNSS の他に、従来のターゲットを使用した TLS (以下、TLS_TG) および MMS(Mobile Mapping System)により得られたデータも比較対象とした。

3. 結果および考察

3-1 ラフネス波長領域のプロファイル比較

空間領域におけるプロファイルの比較結果を図-4 に示す。基準である MRP と TLS 類および MMS の結果は類似していることから、各計測装置が空間領域において良好な精度を有していることを確認できた。

3-2 空間周波数領域における振幅利得

空間周波数領域での比較として、MRP を基準とした振幅利得⁴⁾ (以下、Gain) を図-5 に示す。図より、 1m^{-1} 以下の波数で Gain が 1.0 に近く、短波長での上昇は一般的なプロファイルの傾向⁴⁾であることから、空間周波数領域においても比較的良好的な結果を得られた。

3-3 IRI の相対誤差と一致度⁴⁾

ラフネス領域の波長を対象とした一致度および IRI の相対誤差を表-1 に示す。表から、TLS_GNSS は IRI の相対誤差 11.5%かつ一致度 98.9% であり、その他の計測装置も一致度 90%以上と、路面プロファイルの計測における高い精度を確認した。

4. まとめ

以上の結果から、今回使用した計測装置で取得したプロファイルは、一般的に使用される MRP と同等の精度を有していることが確認された。

参考文献

- 1) 国土交通省：地上型レーザースキャナーを用いた出来形管理要領（舗装工事編）（案），2020.3.
- 2) 国土交通省：第 8 回 ICT 導入協議会【資料-3】H31 年度以降適用される技術基準類，
<http://www.mlit.go.jp/common/001275857.pdf>，2019.3.1.
- 3) 森石一志，富山和也，西川啓一，山口雄希：三次元計測機器を用いた路面管理の運用効率化，土木学会論文集 E1，Vol.76，p.I_77-I_85，No.2，2020.12.
- 4) 富山和也，川村彰，江口利幸，寺田剛，渡邊一弘：平坦性評価に要する低速プロファイルの測定精度とその検証に関する視点と方法，土木学会論文集 E1（舗装工学），Vol.72，No.3（舗装工学論文集第 21 巻），I_27-I_35，2016

表-1 IRI の相対誤差と一致度⁴⁾

単位 (%)	IRI の相対誤差	プロファイルの一致度
TLS_GNSS	11.5	98.9
TLS_TG	28.2	93.5
MMS	-14.5	96.1