

目 次

研究・開発

- 自己治癒剤によるUHPFRCのひび割れ治癒効果に関する研究 入矢桂史郎 1

施工報告

- 高速道路における凍結抑制舗装(アイストッパーR)の施工事例 中原勇介・河野貴哉・福田雄史 7
- 九州地方における凍結抑制舗装(アイストッパーR)の施工事例 碓山勝吾・樋口竜也 12
- 橋梁レベリング層用グースアスファルト(BLG)の施工事例 土井詳彦・峯映博・上原義行 16
- 橋面舗装工事における床版調査および橋面舗装の事例 湊拓哉・石田将太郎 20
- 駅乗降場(ホーム)床アスファルト舗装の施工事例 長山祐利・吉川武弘 24
- 横浜横須賀道路逗子インターチェンジにおける災害復旧事例 海老原雅彦 28
- 函館空港維持修繕工事における除雪工 富沢卓馬・貝森貴行・太田正和 32
- 夜間通行止めによる中空床版の補修事例 宮崎耀平・松葉将揮 36
- 高速道路におけるコンクリート舗装版補修の施工事例 住本和朗・熊谷宏・野村簾 40
- 気泡混合土工法の施工事例 杉石遥 44
- JR近接箇所における軟弱地盤上の盛土の施工事例 梅枝生起 48
- トンネル中央排水工の施工事例 有馬正光・大森大介 53

社外発表(土木学会第77回年次学術講演会—令和4年9月)

- プラントミックスタイプのRC床版用改質グースアスファルト混合物の開発 上地俊孝・滝井陵太・下館鎮 57
- 環境に配慮した土系舗装材の開発 古谷野弘・藤井秀夫・中村航・根本哲夫 59
- 高耐久舗装発生材を使用した再生アスファルト混合物の性状 小林靖明・滝井陵太・東本崇 61
- 中和反応型の弱加熱混合物に関する再生利用の検討 新堀詩織・上地俊孝 63
- 土のうの繰返し平板載荷試験その2：真砂土を用いた土のう複合体 丸尾繁・光谷修平・赤木悟・木戸隆之祐・木村亮 65
- 床版上面増厚工法用超速硬型超高性能繊維補強コンクリートの現場適用事例 富山裕司・相本正幸・富井孝喜・青木峻二 67

社外発表(北陸道路舗装会議—令和4年6月)

- 中和反応型常温混合物の供用初期における破損と低温作業性の改善 上地俊孝・新堀詩織・東本崇 69
- 耐流動性と耐油性に優れた高耐久アスファルト混合物の開発 小林靖明・上地俊孝・東本崇 73

社外誌掲載(雑誌「舗装」令和4年)—報文記載なし

- 路耐久性向上と施工性改善を目指した土系舗装(1月号) 古谷野弘・小嶋匠
- 舗装に関する生産性向上(4月号) 小関裕二

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

自己治癒剤による UHPFRC のひび割れ治癒効果に関する研究

入矢 桂史郎*

1. はじめに

UFC や UHPFRC(Ultra high performance Fiber reinforced concrete)などのモルタルベースで水セメント比を小さくした超高強度化したセメント系材料には、多くの未水和セメントが残されており、長い時間をかけて徐々に水和していくといわれている¹⁾。未水和セメントが多ければ水和が長く続くことにより水和鉱物が生成し続けるが、その中で生成した水酸化カルシウムが空気中の二酸化炭素と反応し炭酸カルシウムとなり、微細ひび割れに充填することでひび割れは治癒する²⁾とされている。この現象を自己治癒と称するが、自然にひび割れが自己治癒するにはひび割れ幅に制限があり、大きなひび割れが時間とともに治癒することを期待するのは困難であることなど、自然での自己治癒性の確実性は高くない。UFC や UHPFRC は超高強度のセメントマロリックスにスチールファイバー(以下、SF)を加えて、ひび割れ発生後も強度を発揮するように設計された材料である。通常、体積比2vol%程度の混入率が多いが、それを3vol%に高めることによりひび割れ幅をさらに小さく制御し、自己治癒性を高める研究も行われている³⁾。

微細ひび割れの例を写真-1に示す。本文は微細な幅に制御されたひび割れを確実に治癒するための自己治癒剤の効果について2年間の研究をまとめたものである。

コンクリートの自己治癒の研究としてはすでに多くの研究がなされており⁴⁾、バチルス菌など微生物による炭酸カルシウムでの積極的充填など、自己治癒剤の研究も報告されている⁵⁾。微細に制御したひび割れの自己治癒に関する研究は、ピニロン繊維を高含有した高靱性セメント系材料 ECC に自己治癒剤を加えて治癒効果を確認した研究⁶⁾があるが、UHPFRC など超高強度コンクリートに対して、微細ひび割れの治癒効果を確認した研究は少ない。また、最近、高速道路のコンクリート床版の補修・補強対策として従来行われてきた SFRC による上面増厚に代わって、UHPFRC を用いる検討⁷⁾が行われている。床版の耐久性向上には水の侵入を防ぐ必要があり、現在は増厚コンクリートの上面に防水を施す対策が行われている。UHPFRC を用いる場合、高強度に加えてその高いひび割れ拘束能力から、それに防水効果を付与したいというニーズは大きい。

本研究では、SF を3vol%加えた UHPFRC によりひび割れ幅の拘束効果を高めた上で、バチルス菌を用いた自己治癒剤を用い、ひび割れ発生後の治癒効果について

実験を行うとともに、微細ひび割れを自己治癒剤により治癒したことによる防水効果についても検討を行った。

2. 自己治癒剤の概要

自己治癒剤の種類に関してはいくつか研究が行われているが⁸⁾、ここではデルフト工科大学 Junkers 准教授が開発したバクテリア(バチルス菌)にポリ乳酸を含む多孔質粘土でコーティングした「バジリスク」を使用した⁹⁾。バクテリアがひび割れを自己治癒する概略の原理は、以下のとおりである¹⁰⁾。

- 1) アルカリ環境で生存できるバクテリアにポリ乳酸を栄養源として付加し、多孔質粘土に固定させた後、微粉砕した状態(本実験で使用した自己治癒剤)でコンクリート中に練りこみ、均一に分散させる。
 - 2) ポリ乳酸は高 pH 環境では加水分解が進み、セメント中のカルシウムを取り込み乳酸カルシウムとなって存在する。
 - 3) ひび割れが入ると pH が低下するとともに水が侵入しバクテリアの活動が活発化する。バクテリアの活動で乳酸カルシウムが炭酸カルシウムに変化し、ひび割れが充填される。
 - 4) バクテリアが生成する二酸化炭素と未水和セメントが反応し、3)に加えて炭酸カルシウムが生成される。
- バジリスクには、ひび割れに塗布するタイプと練りこむタイプがあるが、ここでは対象の UHPFRC が RC 床版の上面増厚を対象としているので、練りこみタイプとした。練りこみタイプではひび割れ幅に応じて使用量を変化させることになっているが、ここでは0.2mm 以上のひび割れに対応できるとされる5kg/m³を使用した¹⁰⁾。



写真-1 UHPFRCの微細ひび割れ

3. UHPFRC の使用材料と配合

(1) 使用材料

本研究では特殊セメントは使用せず、中庸熟ポルトランドセメント(以下、MP)を使用した。混和材としてシリカフェュームを120kg/m³と膨張材を20kg/m³使用し、

*本店技術部担当部長

これらを合わせて結合材(以下、B)とした。

膨張材はエトリンガイト系で密度 3.2kg/m^3 、粉末度 $2900\text{cm}^2/\text{cm}^3$ のものを使用し、細骨材として6号珪砂、不活性シリカ微粉末、石灰石細砂を使用した。膨張材をUHPFRCのような低水セメント比で使用した場合の遅れ膨張破壊の懸念については、供試体を2年間水中養生したものが現時点で変化がないことを確認した。また、混和剤として高強度用のポリカルボン酸系高性能減水剤(以下、SP)および消泡剤を使用した。SFは高強度用を使用し、密度 7850kg/m^3 、 $\phi 0.16\text{mm}$ 、長さ 13mm 、引張強度 2000N/mm^2 以上のものを使用した。使用材料を表-1に示す。

(2)UHPFRCの基本配合と練り混ぜ方法

本研究では、配合上の制約は打撃を与えないフロー値(以下0打フロー)を施工ができる範囲の 200mm 以下とし、SPの使用量を粉体量に対して2%以下となる範囲で単位水量を定める程度とした。その結果、単位水量は 200kg/m^3 でSP1.8%とすることで 160mm 程度の0打フローを得られた。SFの使用量はすべて全体容積に占める割合とし、vol%と表記した。使用した配合を表-2に示す。練り混ぜは、 10l のパン型ミキサーを用いて、Pと珪砂を加えて空練り1分、水とSPを投入後4分、SF投入後2分とした。SFは1 vol%ごと分散して投入した。

(3)UHPFRCの強度

UHPFRCの強度は圧縮強度、曲げひび割れ強度、曲げ強度の3つを材齢28日の標準養生供試体を用いて測定した。試験結果を表-3に示す。圧縮強度は $\phi 50\text{mm} \times h100\text{mm}$ の供試体で測定し、曲げ強度は幅 $100\text{mm} \times$ 長さ $400\text{mm} \times$ 厚さ 30mm の供試体で測定した。

4. 圧縮試験後の自己治癒剤の効果

表-1に示す自己治癒剤を使用したMPの基本配合で、圧縮強度試験で最大強度に達した後の $\phi 50\text{mm} \times h100\text{mm}$ の円柱供試体を標準養生槽に浸漬し、自己治癒の状況を調べた。浸漬前と浸漬3週間および4週間後の供試体表面部の状況を写真-2に示す。3週間の浸漬で供試体表面の細かいひび割れは、充填されているのが認められた。また、4週間では治癒の状況はさらに進んでいるように見える。

内部を調査する目的で、4週間の時点で高さ方向に3等分にスライスし、自己治癒の内部への進展状況を調べた。スライスした断面を写真-3の上段に示す。4週間後の切断した内部の状況を見ると、自己治癒しているのは水と接触している表面のみで、内部は全く治癒していなかった。その後、切断した供試体を再度 20°C 水中に浸漬した。写真-3の中段に6か月後の断面の写真を示す。

6か月後であれば、大きなひび割れも自己治癒が進んでいるのがわかる。下段に浸漬15か月の断面を示す。15

か月になると、 1mm 近くあったひび割れがほぼ自己治癒していることが認められる。15か月の時点で浸漬をやめ、ひび割れを含む断面中心で切断して内部の状況を調べた。内部の状況を写真-4に示す。

表-1 UHPFRCの使用材料

記号	種類	密度 (g/cm^3)
C	中庸熟ポルトランドセメント	3.14
SIF	940-U	2.3
EX	パワー-CSA	3.2
SI	6号珪砂	2.7
SIFL	シリカフロー	2.7
CaCO ₃	最大粒径 1mm 以下	2.7
BZ	バジリスクHA	1.25
SF	カットワヤー、 $\phi 0.16\text{mm}$ 、 $L13\text{mm}$ 、引張強度 2000N/mm^2	7.85

表-2 UHPFRCの基本配合

セメントの種類	W/B (%)	W/P (%)	W B P S				SF (vol%)	SP ($\times P\%$)
			(kg/m ³)					
MP	17.4	15.2	200	1150	1311	810	3.0	1.8

表-3 UHPFRCの強度

セメントの種類	SF (vol%)	W (kg/m ³)	フロー (mm)	圧縮強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	
					ひび割れ	最大強度
MP	3	200	190	158.2	12.6	32.0

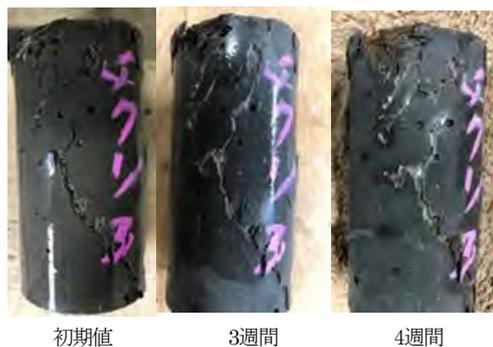


写真-2 表面部の自己治癒状況



4週間後の断面



6か月後の断面



15か月後の断面

写真-3 自己の進展

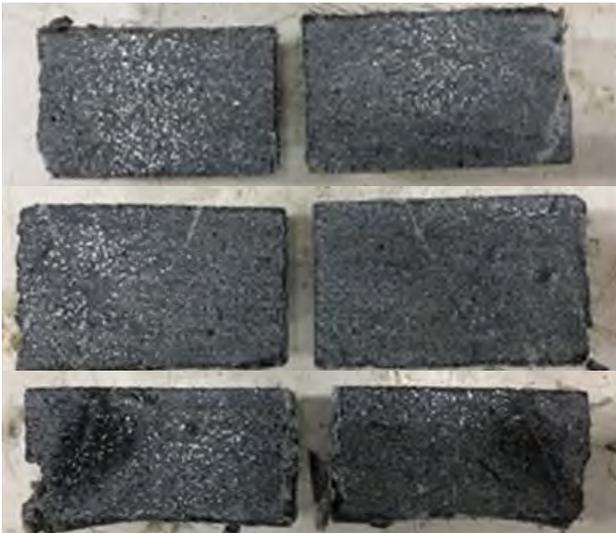


写真-4 15か月後の内部の治癒状況

その結果、内部のひびわれはひび割れ幅が1mm程度あるにもかかわらず、すべて充填しているのが確認された。詳細を見るために顕微鏡にて内部を観察した結果を写真-5に示す。顕微鏡写真からは、0.2~1mmに至るすべてのひび割れが自己治癒により充填されていることが認められた。

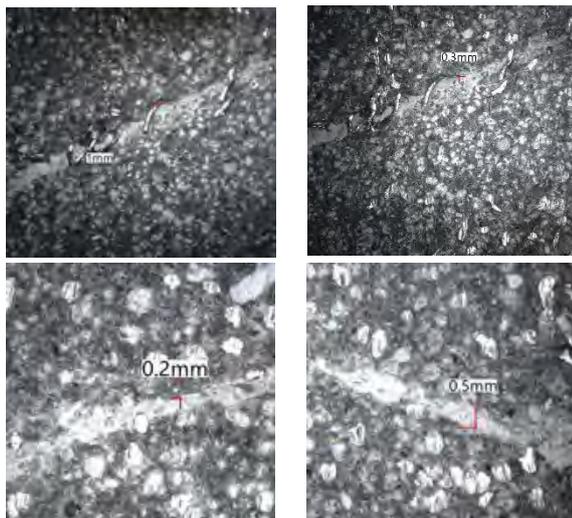


写真-5 15か月後の内部の顕微鏡写真

5. かぎ型継ぎ手の曲げ試験後の自己治癒剤の効果

(1) かぎ型継ぎ手の曲げ試験後の状況

かぎ型継ぎ手の曲げ試験に使用した材料は、圧縮強度試験に使用したものと同一のものとした。かぎ型継ぎ手を挟んだ曲げ試験を行うと、下面(引張側)の鉛直打ち継ぎ面が剥離し、その後も水平面は一体性を保つため、ひび割れが上面に伸びて最大荷重に達する。最大荷重に達した後、下面のひび割れ幅が2mmに達した時点で荷重を除荷した。曲げ試験が終わった供試体の状況を写真-6に示す。

試験後の供試体の水平打ち継ぎ面は開いておらず、ひび割れは鉛直打ち継ぎ面から上方に伸びていた。また、

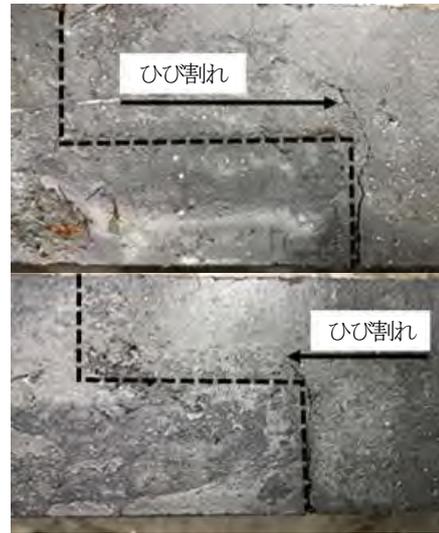


写真-6 曲げ試験終了時のひび割れ状況

鉛直打ち継ぎ面上方はSFがつながっている一体打ちの状態になっており、上部ではひび割れは発生しているが、ひび割れ幅は0.2mm程度に小さくなっていた。

(2) 水中浸漬後の自己治癒状況

曲げ試験終了後、20°Cの水槽に浸漬し自己治癒の状況を観察した。4か月および6か月の外観を写真-7に示す。

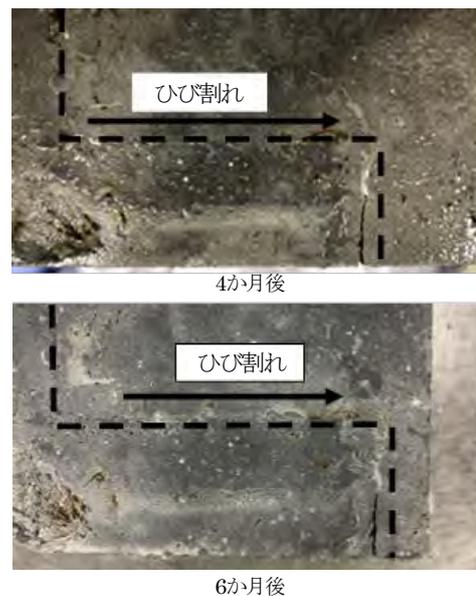


写真-7 水中浸漬後の自己治癒状況

外観では、下面の2mm開いた部分は治癒していないものの、上部のひび割れ幅が小さい部分は炭酸カルシウムで充填されていた。また、6か月後に関しても下端の開いている部分は自己治癒されず、上部のみ治癒が進展していた。打継ぎ目に直角に切断した内部の治癒状況を写真-8に示す。下端の2mm程度開いた部分は一部治癒しているものの大半は治癒していない状態であったが、上面のSFが連続してひび割れ幅が小さかった部分については、ほぼ完全にひび割れが自己治癒していた。切断面の顕微鏡写真を写真-9に示す。0.2~0.3mmのひび割

れ幅のものは、浸漬6か月で自己治癒しているのが認められる。ただし、1mm以上のひび割れに関しては、自己治癒の痕跡は認められるが、充填はしていないかった。

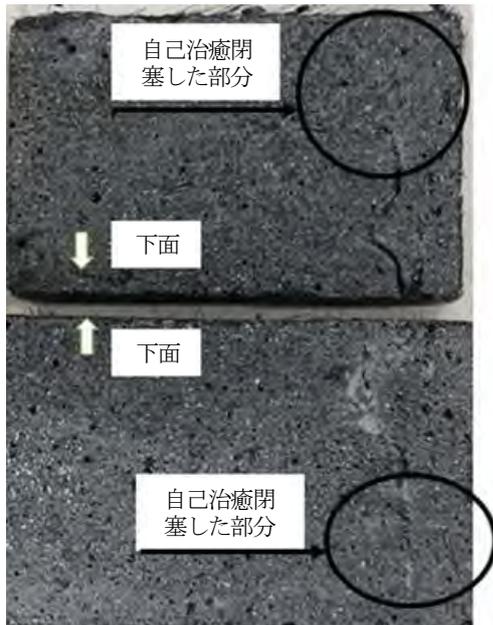


写真-8 浸漬6か月の内部の状況

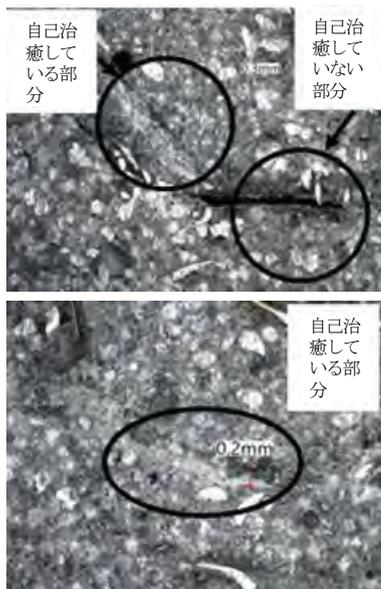


写真-9 浸漬6か月の内部の顕微鏡写真

6. 繰り返し曲げ試験時における自己治癒の効果

(1) 水浸状態の繰り返し曲げ試験

基本配合において、自己治癒剤を使用した供試体と使用しない供試体を作製し、自己治癒剤を使用しない供試体には乾式の繰り返し曲げ試験を行い、自己治癒剤を使用した供試体には水浸状態にて繰り返し曲げ試験を実施した。供試体の寸法は幅50mm×高さ30mm×長さ400mmで、3等分の曲げ载荷を行った。载荷応力は縁応力で15N/mm²と20N/mm²とし、繰り返し数は480万回、载荷速度は5Hzとした。繰り返し曲げ試験の状況を写真-11に示す。縁応力15N/mm²で480万回载荷終了後の底

面のひび割れ状況を写真-10に示す。自己治癒剤を使用したケースでは表面のひび割れが白色の炭酸カルシウムで充填されているのがわかる。



写真-10 15N/mm²、480万回载荷後の底面の状況

自己治癒剤を使用しないケースと比較するために、水浸载荷でも20N/mm²での繰り返し曲げ試験を始めたが、480万回に至らず破断したため、18N/mm²に縁応力を再設定して試験を実施した。しかし、18N/mm²においても270万回にて破断したため試験を打ち切った。自己治癒剤を使用しないケースの20N/mm²、480万回载荷後の底面と状況と自己治癒剤を使用した18N/mm²、270万回試験後の底面のひび割れ状況を写真-11に示す。270万回载荷であったが、破断面以外は微細ひび割れに分散し、微細ひび割れは治癒していることが認められる。一般に気乾状態での载荷に比べて水浸载荷では疲労破壊が早まるといわれている¹⁾。本試験結果も、水浸载荷の破断荷重は微細ひび割れが自己治癒しているにもかかわらず、気乾载荷に比べて低い値であった。



写真-11 18および20N/mm² 480万回载荷後の底面の状況

(2) 自己治癒状況

ひび割れの分散については、気乾载荷、水浸载荷ともに複数微細ひび割れが認められた。自己治癒剤を添加し水浸状態で試験した2つのケースでは、底面および側面に発生した0.03~0.07mmのひび割れすべてにおいて自己治癒が認められた。15N/mm²で载荷した底面のひび割れの顕微鏡写真を写真-12に示す。

ひび割れは自己治癒されて、白色の炭酸カルシウムで充填されているのがわかる。下面にひび割れが発生し、それが水浸している状態でも、生成した炭酸カルシウムが消失することなくひび割れに充填できる結果を得た。疲労試験終了後、供試体を切断して供試体内部の自己治癒の状況を確認した。15N/mm²载荷後の切断面のひび割れ部の顕微鏡写真を写真-13に示す。

断面内でも水浸部分は完全に自己治癒により生成された炭酸カルシウムで内部まで充填されていた。自己治癒剤の信頼性として、自己治癒はするものの繰り返し荷重によりひび割れが開閉し、治癒した部分が剥離するこ

とが懸念された。しかし、表面から観察する限りその兆候はなく、また、写真-13に示すように曲げの繰り返し载荷後も供試体内部のひび割れは十分に充填されていることが確認されたことから、下面を水浸させた繰り返し曲げ状態でも自己治癒は可能であると考えられる。



写真-12 底面の顕微鏡写真

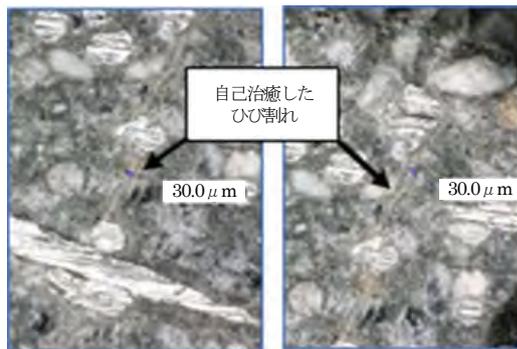


写真-13 内部の顕微鏡写真

橋梁のコンクリート床版に上面増厚材としてこのUHPFRCを使用した場合、負曲げにより上面に発生する曲げ応力によりひび割れが発生する可能性があるが、水の侵入は上面から浸透するため、本実験に比べ炭酸カルシウムがひび割れに充填しやすい状況にあり、自己治癒が進むものと推察される。

ひび割れ後水槽内で水浸させた供試体では、1か月程度では内部まで自己治癒が進まないのに対して、水浸状態での繰り返し曲げ試験では11日程度の载荷期間で自己治癒が内部まで進んでいる理由として、繰り返し曲げ試験では供試体の下面しか水浸しておらず、ひび割れに水と二酸化炭素や酸素が供給されやすい環境で自己治癒が速く進んだことによるものと考えられる。

7. 自己治癒したひび割れへの水の侵入の評価

(1) 試験方法

UHPFRC が防水効果を発揮するためには、ひび割れ内への水の浸透を防がなければならない。ここでは、繰り返し曲げ試験後の供試体に水压をかけてひび割れへの水の侵入を観察した。本試験では、6章で実施した繰り返し曲げ载荷の供試体を用いて引張応力側(ひび割れがある面、载荷時の下面)を上面として加圧し、防水性をひび割れへの水の浸透の有無で評価することとした。

試験は、道路橋防水便覧に規定される防水試験に基づき実施した。防水試験では注入する溶液にはウラニンを

混入し、加圧後供試体を切断してひび割れ内への水の侵入を確認するように定められている。供試体は、疲労試験後の供試体の等曲げ区間を長さ80mmにカットし、周囲をφ125mmの円筒状に樹脂を充填整形して作製した。

試験ではひび割れへの水の侵入を確認するため、側圧をかけずに試験を行った。圧力および加圧時間は、防水試験方法に従い、圧力0.5MPaを24時間加圧した。防水試験の手順を図-1に示す。

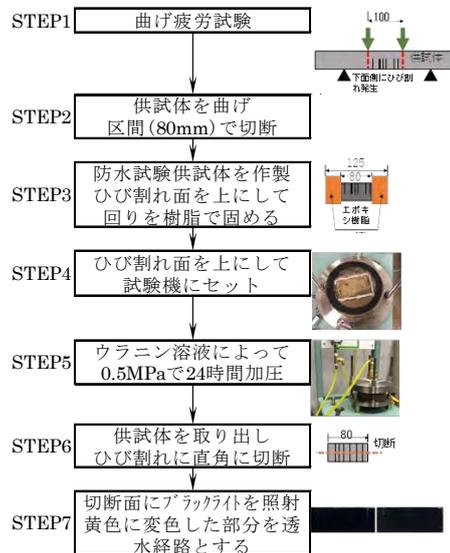


図-1 防水試験の手順

防水性の評価は、加圧後、乾式カッターで供試体を切断し、ブラックライトで紫外線を照射することにより、水の浸透の有無を確認した。

(2) 試験結果

15N/mm²で繰り返し曲げ試験を行った自己治癒剤を使用しない供試体の防水試験後の切断面を写真-14に示す。また、自己治癒剤を使用した15N/mm²を载荷した供試体と18N/mm²を载荷した供試体の切断面を写真-15に示す。写真の黄色の筋がひび割れ内に水が浸透した跡である。自己治癒剤を使用していない供試体では、すべてのひび割れにウラニンが侵入し黄色く着色している状況が確認できた。また、自己治癒剤を使用した供試体は、ほとんどウラニンの黄色い筋はみられなかったが、若干のひび割れに薄い反応が認められた。ただし、その発色の程度は自己治癒剤を使用していないものに比べて小さかった。

防水試験の結果、UHPFRCはSFを3vol%混入することで、ひび割れ幅を0.03mm程度に制御できたが、防水試験の評価としての観点から見ると、ひび割れ幅が小さいことだけでは水の侵入を防ぐことはできなかった。水浸载荷ではひび割れ幅が最大0.07mmあったが、自己治癒剤の効果により水の侵入は格段に減少し、若干の水の侵入はあったものの、ひび割れが治癒し防水の可能性が確認できた。

▼疲労試験時下面(引張側)：防水試験時加圧面

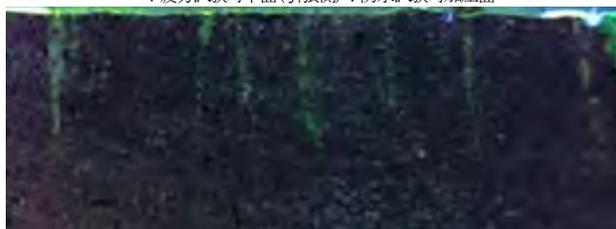


写真-13 自己治癒剤を使用しない供試体の水の侵入



15N/mm² 載荷



18N/mm² 載荷

写真-14 自己治癒剤を使用した供試体の水の侵入

完全に水の侵入を止められなかった理由として、ひび割れが完全に治癒するには、試験期間11日では治癒する期間が足りなかったのではないかと考えられる。もう少し載荷時間長くすることで、完全に治癒する可能性はあると思われる。

8. まとめ

本研究の結論として、以下のことが明らかになった。

- 1) UHPFRC のような多くの未水和セメントを含む材料では、バチルス菌を用いた自己治癒剤の効果により長期にわたって自己治癒が進み、1mm 程度のひび割れまで自己治癒が期待できる。
- 2) 自己治癒に要する期間は、水槽内に静置した条件下では、0.1mm 以下の治癒に要する期間は4か月程度、0.2～0.3mm で6か月程度、1mm 程度の治癒に要する期間は1年程度であった。
- 3) かぎ型継ぎ手に自己治癒剤を用いることで、曲げ試験において継ぎ手部上部に発生する0.2mm 程度のひび割れは治癒することができた。
- 4) 水浸下の繰り返し曲げ試験のように酸素や二酸化炭素を取り込める環境であれば、その治癒速度は速い。
- 5) SF を3vol%以上加えた UHPFRC を上面増厚材として使用し、ひび割れ幅を0.07mm 以下に拘束できれば、自己治癒によって早期にひび割れが治癒され防水性を高めることができる。

謝 辞

本研究は、技術研究所第二研究室藤井秀夫室長はじめ古谷野拓氏、茨木浩一郎氏、板垣時生氏ほか技術研究所の多くの研究員の支援の下に実施いたしました。皆様のご支援に感謝申し上げます。

<参考文献>

- 1) 安藤陽子、片山哲哉、野口孝俊、久保善司：100年以上が経過した第二海堡に使用されたコンクリートの岩石学的観察および長期耐久性、Cement Science and Concrete Technology、Vol.71、pp.448～455
- 2) 例えば、奥泉椿、鄧朋儒、松本高志：ひび割れ自己治癒による UHPFRC 曲げ挙動への影響の実験的検討、土木学会全国大会講演概要集、V-401、2021.9.10
- 3) 入矢桂史郎、藤井秀夫、古谷野拓：UHPFRC の曲げひび割れ特性と自己治癒剤による防水効果の基礎的研究、コンクリート工学論文集34巻投稿中、2023.7.15
- 4) 三橋博三：自己治癒、自己修復コンクリート、建材情報、pp.7～12、2010.12
- 5) 劉宏涛：バクテリアを活用した自己治癒コンクリート技術、コンクリート工学、Vol.59、No.11、2021.11
- 6) LP.Ou and H.L：Smart concrete and Structure Proc. international workshop on durability Reinforced Concrete Under Combined Mechanical and Climatic loads, Aedificatio Publisher, pp.83～93、2005
- 7) 渡辺有寿：超高性能繊維補強セメント系複合材料(UHPFRC)を用いた各種補修、補強技術の最新動向、コンクリート工学、Vol.59、No.5、pp.446～451、2021.5
- 8) (公社)日本コンクリート工学会セメント系材料の自己治癒技術の体系化研究専門委員会：セメント系材料の自己治癒に関するシンポジウム委員会報告書、論文集、2011.6.9
- 9) Henk.M.Junkers and Erik Schlangen：A two component bacteria based self-healing concrete, Concrete Repair Rehabilitation and Retrofitting II, 2009
- 10) 會澤高圧コンクリート(株)：Basilisk 概要書
- 11) 松井繁之：移動荷重を受ける道路橋 RC 床版の疲労特性と水の影響について、コンクリート工学協会、第9回コンクリート年次講演会論文集、pp.627～632、1987

高速道路における凍結抑制舗装(アイストッパーR)の施工事例

中原 勇介*
河野 貴哉*
福田 雄史**

1. はじめに

磐越自動車道は、太平洋側と日本海側を結ぶ横断道であり、福島県と新潟県間での地域交流および物流の促進等様々な面で重要な役割を果たしている。

当該工事区間は福島県会津地方にあり、冬期には積雪の多い地域で、冬期道路の安全・円滑な交通確保のために路面管理が重要な課題となっている。令和3年3月31日付で国土交通省北陸地方整備局および東日本高速道路株式会社新潟支社では、集中降雪に対する対応の一環として、「集中降雪時の交通傷害の発生を予防する方策を検討・確立する」とこととされている。具体的には、「過去のスタックの発生した場所やスタックしやすいIC、SAおよびPAランプ部にスタック等を防止するための融雪設備等について検討する」ということである。これを受け、当社の凍結抑制舗装工法である「アイストッパーR」がスタック発生の抑制等において効果があるものと考え、施工承諾によって施工することとなった。

○会津若松管内の気象状況
 雷氷対策期間：11月1日～翌年4月30日
 ・磐梯熱海～若松間は地吹雪による視程障害と凍結
 ・西会津～津川間は湿った雪が多く降る

●管内気象概況

年度	初雪日	終雪日	冬日 日数	真冬日 日数	最低 気温	降雪 日数	日最大 降雪量	最大 積雪深
H29	11.15	4.17	135	64	-14.6	89	60	165
H30	11.23	4.15	128	28	-10.1	90	30	60
R1	11.19	4.90	119	6	-10.7	77	30	30
R2	11.10	4.90	116	36	-15.1	63	81	150
R3	11.23	3.27	122	38	-12.4	82	60	138

(注)各データは管内の本線上6箇所および各IC5箇所の気象観測所から得られたものの最高値を記載

●主要IC年間累計降雪量 (cm)

年度	猪苗代磐梯高原	会津若松	西会津
H29	447	425	698
H30	304	134	384
R1	211	39	120
R2	402	310	711
R3	568	494	689

冬期の雪氷対策は重要課題
→凍結抑制舗装を試験的に施工

図-1 会津若松管内の過去の気象データ

2. 工事概要

工事名：磐越自動車道

猪苗代磐梯高原～津川間舗装補修工事

工事場所：(自)福島県耶麻郡猪苗代町大字堅田

(至)新潟県東蒲原郡阿賀町津川

上り線 西会津 PA 付近(アイストッパーR)

工期：令和2年3月4日～令和4年2月21日

主な工事内容：

切削オーバーレイ工 42,254m²

オーバーレイ工 10,348m²

アイストッパーR 2,400m² (表層+基層)

表層：アイストッパーR 混合物 t=40mm

基層：基層用遮水性混合物 t=60mm



図-2 施工位置図(google map に加筆)

3. アイストッパーRの概要

アイストッパーRは、粗面型の砕石マスチック(以下、SMA)タイプの混合物にゴム粒子を混合するとともに、舗装表面にもゴム粒子を散布した物理系の凍結抑制舗装である。舗装表面はポーラスアスファルト混合物と同等のきめ深さで、舗装下部は、SMAと同様に骨材間隙がアスファルトモルタルで充填された密実な構造を持つ舗装である。

アイストッパーRの概念図を図-3に示す。

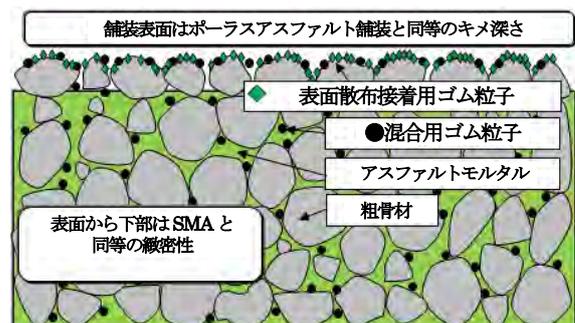


図-3 アイストッパーRの概念図

*東北支店福島営業所 **同所工事主任

アイストッパーRの特徴を以下に示す。

(1) 凍結抑制効果

舗装表面および混合物中のゴム粒子が交通荷重によって変形することで雪氷を破碎・除去し、路面露出を促進させる。また、副次効果であるが、舗装表面に形成された凹部によって、凍結抑制剤の残留効果が向上する。

(2) 走行安全性

舗装表面のきめ深さがポーラスアスファルト混合物と同等であるので、降雨時における路面上の水膜の発生を抑制し、走行安全性が向上する。

(3) 耐久性

舗装下部の骨材間隙がアスファルトモルタルで充填されて SMA と同等の密実な構造であるので、骨材飛散抵抗性、耐流動性および耐水性に優れている。

(4) 騒音低減効果

舗装表面のきめ深さおよび舗装表面のゴム粒子によって、タイヤ路面騒音を低減できる。

4. 使用材料・配合および混合物性状

アイストッパーR用混合物は、北信越支店の阿賀野アスコンからの出荷で、材料は通常の舗装に用いられているものを使用し、アスファルトは東亜道路工業(株)のポリマー改質アスファルトH型-F(寒冷地用)を使用した。

配合設計における最適アスファルト量は6.4%とな

表-1 アイストッパーR用混合物の性状

項目	試験結果	目標値
ゴム粒子混入率 (%)	2.0	-
アスファルト量 (%)	6.1	-
密度	真空パック (g/cm³)	2.231
	かさ (g/cm³)	2.316
空隙率	真空パック (%)	6.8
	かさ (%)	3.3
骨材間隙率 (%)	20.1	21以下
飽和度 (%)	66.2	65~85
マーシャル安定度 (kN)	6.2	6以上
フロー値 (1/100cm)	56	-
残留安定度 (60℃, 48h) (%)	91.9	75以上
カンタプロ損失量 (供試体温度-20℃) (%)	7.4	12.0以下
動的安定度 (回/mm)	5250	3000以上

な、試験練りを実施し、混合物の目視観察およびレーキワークにおける施工性の確認、混合物性状の確認等を行い、最終的に、当該工事で使用するアスファルト量を6.1%とした。

アイストッパーR用混合物の性状を表-1に示す。

5. 施工にあたっての検討事項および対策

(1) 施工箇所の選定

施工箇所の候補を表-2に示す。発注者である会津若松管理事務所からは、橋梁部における施工を望まれていたが、候補②と③の橋梁部では区間内に多数のジョイントがあることや、施工時期や規制などの施工条件等が厳しく、耐久性や平たん性等に問題が発生することが考えられた。

そこで、当該工事区間の中でも冬期における降雪量が多い地域であるとともに施工条件等も問題ないことから、候補①である西会津IC付近の土工部を選定することとした。

(2) 施工ジョイントの止水対策

アイストッパーRの施工箇所において、排水勾配の上流側に既設アスファルト舗装があり、施工目地から舗装体内に雨水等が浸入し、舗装が脆弱化することが懸念された。その対策として、既設アスファルト舗装との施工目地に成型目地材を設置し、雨水等の浸入を防止することとした(写真-1)。



写真-1 成型目地材の設置

表-2 施工箇所の候補

候補	場所	昼夜	規制	総厚 表層厚		車線	面積 (m²)	プラント	距離 P~現場	施工時期	表層 施工日数	備考
				(mm)	(mm)							
候補①	土工部	昼	昼夜間連続規制	100	40	走行	1,200	阿賀野アスコン	54km	7~8月 or 11月	2日間	工程調整中
						追越	1,200					
						合計	2,400					
候補②	橋梁部 小黒川橋	昼	昼夜間連続規制	75	40	走行	675	郡山アスコン	44km	10月中旬~	4日間	区間内に2箇所 フィンガージョイント有り 横断ジョイント4箇所
						追越	675					
						合計	1,350					
候補③	橋梁部 杉坂沢橋	夜	夜間通行止め	75	40	走行	2,016	阿賀野アスコン	57km	5/24~	11日間	日々の時間的余裕がない 日進量: 300~400m²/日 横断ジョイント多数
						追越	1,765					
						合計	3,781					

(3) 層間接着力の強化

タックコートは、工事車両による剥がれや供用後の舗装のズレ等の不具合発生の防止のため、ダンプトラックや施工機械のタイヤに付着しにくく、ゴム入りアスファルト乳剤と同等な接着性能を有する改質アスファルト乳剤(PKM-T)を選定した。

6. 施工

施工条件として、出荷プラントである阿賀野アスコンから施工場所まで、運搬距離54km、運搬時間60分であった。このような点を踏まえて、タイムスケジュールを作成し、延長300m・幅員4mの走行・追越の2車線を4日間で施工を行った。

施工の流れは、基本的には切削オーバーレイ工と同じである。しかし、敷きならし後のチップスプレッダによるゴムチップの散布や二次転圧での水平振動ローラの使用などの工程を加味したタイムスケジュールと役割分担表を作成して、職員や作業員に周知し、現場でのタイムロスがないように施工を行った。

作業工程表を表-3、使用機械編成を図-4に、および施工状況を写真-2、3に示す。



写真-2 ゴムチップ散布状況



写真-3 二次転圧状況(水平振動ローラ)

表-3 作業工程表

工種	車線	数量	施工期間			
			1日目	2日目	3日目	4日目
準備工	走行		—			
	追越				—	—
切削工	走行	t=10cm 1,200m ²	—			
	追越	t=10cm 1,200m ²			—	
タックコート	走行	1,200m ²	—	—		
	追越	1,200m ²			—	—
基層工	走行	t=6cm 1,200m ²		—		
	追越	t=6cm 1,200m ²			—	
表層工	走行	t=4cm 1,200m ²		—		
	追越	t=4cm 1,200m ²			—	—
路面標示工	走行	t=4cm 1,200m ²			—	
	追越	t=4cm 1,200m ²				—

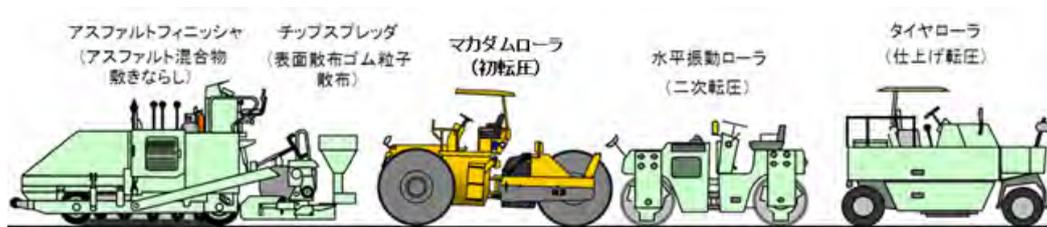


図-4 使用機械編成

7. 冬期追跡調査結果

2022年2月に1冬目における凍結抑制効果の確認を目的とした追跡調査を実施した。調査前日の夕方から断続的に降雪があり、当日の気温は高速道路の

表示板で0°Cであった。凍結抑制効果の調査方法では、走行車両にデジタルビデオカメラを取付け、調査区間を速度60km/h程度で走行しながら路面状況を撮影し、凍結抑制舗装と隣接する通常舗装の路面状況を比較した。

(1) 目視による代表箇所の画像比較結果

アイストッパーR区間は、追越車線の起終点部のBWP位置に薄く雪氷(シャーベット)が見受けられるが、ほぼ全面的に雪氷は見受けられなかった。一方で、隣接した通常舗装区間については、走行および追越車線ともにBWP位置に薄く雪氷(シャーベット)が見受けられた。また、雪氷の程度は土工部に比べ橋梁部のほうが大きいように見受けられた。以上の目視による代表箇所の画像比較結果から、アイストッパーRに一定の凍結抑制効果が確認された。

路面状況を写真-4、5に示す。

(2) 二値化画像による凍結抑制効果の評価

二値化画像による凍結抑制効果の評価を行った。二値化画像による評価では、対象画像を白と黒の2色に変換する画像処理を行い、全体のピクセル数に対する黒のピクセル数の割合を路面露出率とした。代表箇所の画像のうちアイストッパーR区間、土工部通常舗装区間、および橋梁部通常舗装区間のそれぞれ走行車線2箇所を対象とした。それぞれの区間の平均路面露出率は、アイストッパーR区間が97.3%、土工部が72.2%、および橋梁部が62.5%となり、アイストッパーR区間の平均路面露出率が最も大きく、路面露出率による評価においても凍結抑制効果が認め

られた。

解析結果を図-5~7に示す。

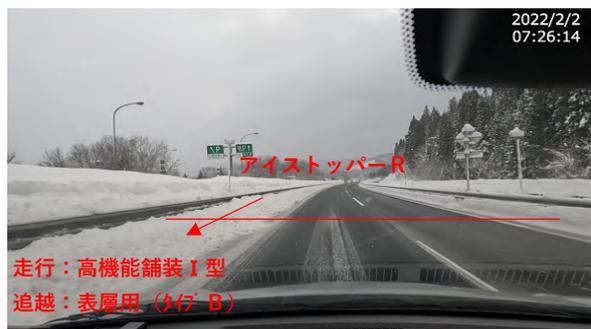


写真-4 アイストッパーR区間の路面状況(起点側)



写真-5 アイストッパーR区間の路面状況(終点側)

	可視画像		路面トリミング画像		路面二値化画像	
アイストッパーR						
144.100KP 走行車線	全体ピクセル数	29,661	路面露出率 (%)	99.9		
	黒のピクセル数	29,635				
アイストッパーR						
144.000KP 走行車線	全体ピクセル数	29,661	路面露出率 (%)	94.7	平均路面露出率 (%)	97.3
	黒のピクセル数	28,090				

図-5 路面露出率(凍結抑制舗装)

	可視画像		路面トリミング画像		路面二値化画像	
通常舗装 (高機能舗装Ⅰ型) 区間 土工部						
144.300KP 走行車線	全体ピクセル数	29,661	路面露出率 (%)	69.1		
	黒のピクセル数	20,491				
通常舗装 (高機能舗装Ⅰ型) 区間 土工部						
143.850KP 走行車線	全体ピクセル数	29,661	路面露出率 (%)	75.3	平均路面露出率 (%)	72.2
	黒のピクセル数	22,327				

図-6 路面露出率(土工部)

	可視画像		路面トリミング画像		路面二値化画像	
通常舗装 (高機能舗装Ⅰ型) 区間 橋梁部						
145.200KP 走行車線	全体ピクセル数	29,661	路面露出率 (%)	44.1		
	黒のピクセル数	13,072				
通常舗装 (高機能舗装Ⅰ型) 区間 橋梁部						
143.780KP 走行車線	全体ピクセル数	29,661	路面露出率 (%)	80.9	平均路面露出率 (%)	62.5
	黒のピクセル数	23,986				

図-7 路面露出率(橋梁部)

8. おわりに

追跡調査結果から、凍結抑制舗装「アイストッパーR」は、一定の凍結抑制効果が得られているということで、発注者から高い評価を得ることができた。それとともに継続的な凍結抑制効果を求められていることから、今後も凍結抑制効果が持続しているのか、追跡調査を行う予定である。

最後に、今回、凍結抑制舗装の施工を行う機会を与えて下さった東日本高速道路株式会社 東北支社 社会津若松管理事務所の関係者各位およびご指導・ご支援をいただいた関係各位に対して、感謝の意を表します。

九州地方における凍結抑制舗装(アイストッパーR)の施工事例

碓山 勝吾*
樋口 竜也**

1. はじめに

大分県は、熊本県と隣接する阿蘇くじゅう国立公園や耶馬日田英彦山国定公園など自然豊かで、とても起伏に恵まれた地形となっているのが特徴である。その影響で、夏季は日田地方を中心に大分市、別府市、竹田市など、35℃を超える猛暑日が続く地域が多い。その一方で、山間部以外の大分市や別府市といった観光地でも最低気温が-5℃を下回り、積雪や路面凍結による交通障害が毎年のように発生している。そのため、冬季の道路事情への対策が課題となっている。

当該工事では、臼杵市と阿蘇を結ぶ主要道路において、延長約145m、幅5.8~6.7m(上下線)の国道に対して、当社の凍結抑制舗装であるアイストッパーRが発注時点で採用されて施工したので、ここに報告する。

2. 工事の概要と目的

2-1 工事概要

- ・工事名：令和2年度防安加国舗白第200号
舗装補修工事
- ・工事場所：国道502号 臼杵市野津町大字西畑
- ・元請会社：株式会社大下建設工業
- ・工事内容：道路延長145m、幅員5.8~6.7m
舗装版破碎、基層・中間層 910.0m²
表層(凍結抑制舗装・アイストッパーR) 910.0m²



図-1 標準横断面図

2-2 工事の目的

見通しの悪いカーブが連続した当該路線は、中山間地域を經由し東西方向に臼杵市と阿蘇市を結ぶ。沿道には、

広葉樹が生い茂り、日照が遮られる箇所が多く、寒冷期の路面凍結は通勤時間帯の通行の安全に直接影響する。また、沿道の湧水や流水によって不定期に凍結が発生しているため、舗装補修の計画に際し、道路管理者が以下の効果を期待し、凍結抑制舗装が採用された経緯がある。

- ①凍結防止剤の散布回数・散布量が低減できる。
- ②除雪時間が短縮できる。
- ③日照不良箇所でも早期に氷膜が融解する。
- ④路面凍結による交通事故が減少する。

3. 凍結抑制舗装の概要

3-1 概要

車両が安全に走行するためには、タイヤが路面をグリップすることが重要となる。しかし、寒冷期などで路面上に雪や雨水が氷結した箇所が発生すると、グリップが低下して車両の走行性が低下する。そこで、舗装に路面凍結を抑制する機能を持たせ、車両走行の安全性を向上するとともに、除雪効率の向上を期待できるものが凍結抑制舗装である。

主な機能としては、路面温度-5℃程度までの路面の凍結を抑制することが挙げられる。降雪初期においては、路面の積雪や凍結を遅らせ、消雪のタイミングでは路面の露出を促進する。

3-2 効果

- ・路面が凍結する時間帯や凍結する期間が短くなる。
- ・凍結防止剤の散布量や散布回数を減らせる。
- ・除雪作業回数を減らすことができ、除雪作業の効率もよくなる。

3-3 効果から期待できる道路管理への作用

- ・スリップ事故が減り、交通の安全確保につながる。
- ・凍結防止剤の散布量が減り、沿道環境の保全に対応できる。
- ・凍結防止剤の散布量および除雪回数が減り、冬期路面管理コストを低減できる。

3-5 アイストッパーR

3-5-1 特徴

アイストッパーRは、碎石マスチック混合物(粗面型)に特殊なゴム粒子を混入させ、舗装表面にも高付着型の特殊ゴム粒子を散布接着させた凍結抑制舗装である。母体が碎石マスチック混合物であることから、耐久性や耐水性は比較的高い。

*九州支店大分営業所工事主任 **同所

アイストッパーRの断面図を図-2に示す。

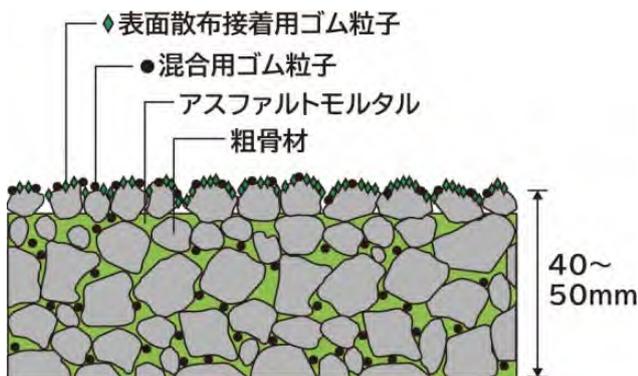


図-2 アイストッパーRの断面図

3-5-2 機能と効果

アイストッパーRは、一般的な凍結抑制効果に加えて、舗装表面の凹凸による凍結防止剤の残留効果がある。このため、凍結防止剤の散布量を抑えることができ、さらに表面ゴム粒子による騒音低減機能も有しているため、沿道環境への配慮に貢献できる。また、一方で九州地方は年間を通して降水量が多く、雨天時の走行安全性の向上が望まれている。アイストッパーRは、表面排水機能によって水膜の発生を抑制することから、年間を通じた走行安全性の向上に寄与できる。

このようにアイストッパーRは、発注者の要望にも合致した様々な効果が期待できる。

4. 施工方法と検討事項

4-1 施工フロー

施工までの準備は、施工計画や安全関係書類、試験施工計画、交通規制の検討などを元請会社と打合せ作成し、施工機械および試験練り・試験施工の手配を本店技術部、技術研究所、機械センター、および大分センターアスコンの協力によって進めた。

当該工事の施工フローを図-3に示す。

4-2 準備工(規制形態の検討)

片側2車線の対面通行の道路であったので、片側交互通行による交通規制を行った。作業範囲の前後には、道路線形に急なカーブがあり見通しが悪かった。施工前に協議し、交通誘導員を2名から3名に変更した。

規制材の配置図を図-4に示す。

4-3 打換え工(基層・中間層)

既設舗装版を破碎・撤去し、基層・中間層を施工した。アイストッパーRを施工するまでは中間層で開放し、上り線を2日間施工した後、下り線に切り替えて2日間施工した(200~300m²/日)。

既設舗装版の撤去状況を写真-1に示す。



図-3 全体施工フロー図



図-4 規制材の配置図



写真-1 既設舗装版の撤去状況

4-4 アイストッパーRの施工

九州支店管内では初めての施工になるため、九州支店工事部と本店技術部の協力によって、他支店で行った施工実績データや試験施工報告書を参考に施工機械の選定や転圧回数等の協議を行った。

また、ゴムチップ(ゴム粒子)の接着性や平坦性の向上を図るため、二次転圧機械には水平振動ローラを採用した。

4-4-1 タイムテーブル

表層の施工は、通常1日当たりの標準施工量を1,500m²/日と考えるが、当該工事では片側交互通行

による交通規制の設置、ならびに段差摺付けの撤去や上下線の施工による交通規制の切替えに時間を要することが予想された。また、舗装後の温度低下のための養生時間が必要となるので、タイムスケジュールを綿密に検討した。

施工面積が1,000m²未満であったので、上下線を1日で施工する予定とした。表層に使用するアスファルト混合物も102tであることから、十分に施工が可能であると判断した。

交通規制の開始から交通開放までの当該工事のタイムテーブルを表-1に示す。

表-1 タイムスケジュール

工種	項目	時間
規制準備	片側交互通行	8:30 ~ 9:30
擦付け撤去	横断施工継目	9:00 ~ 9:30
乳剤散布	上り車線	9:30 ~ 10:00
舗装準備	型枠・成形目地	9:30 ~ 10:00
表層工	上り車線	10:00 ~ 12:00
養生	開放温度まで	~ 13:00
規制切替え	下り車線	13:00 ~ 13:30
乳剤散布	下り車線	13:30 ~ 14:00
舗装準備	型枠・成形目地	13:30 ~ 14:00
表層工	下り車線	14:00 ~ 16:00
養生	開放温度まで	~ 17:00
交通規制撤去	片付け・清掃	~ 17:30

4-4-2 ゴムチップの投入

ゴムチップは、アスファルトフィニッシャの後部に取り付けたゴムチップ散布機械の投入口にゴムチップを投入する。袋詰めで納入したゴムチップは、運搬中の影響で塊となり、散布機械内部で詰まる恐れがあるので、投入する前にゴムチップの塊をほぐす必要がある。

ゴムチップ投入前の確認状況および投入状況を写真-2に示す。

表層の舗装時に、ゴムチップ散布機械の後方3m程度の範囲に作業員が入ると、散布量に変化し路面のゴム粒子にムラができるので、作業中も立入禁止範囲の明示や指導・教育を行う必要がある。

表層施工時における立入禁止範囲を写真-3に示す。



写真-2 ゴムチップ投入前確認①・投入状況②



写真-3 ゴムチップ投入時の立入禁止範囲

4-4-3 アスファルト成型目地

表層と中間層の間に舗装継目部から雨水等が浸入し、はく離による舗装版劣化の可能性があるため、成型目地の検討を行った。

既設舗装版と今回施工する境目からの侵入が考えられるので、起終点の横断方向施工継目にアスファルト成型目地の設置を行った。

成型目地の設置状況を写真-4に示す。



写真-4 成型目地の設置状況

4-4-4 ゴムチップの散布量

ゴムチップは、ゴムチップ散布機械によって、施工速度に応じて散布する。施工前に発注者立会のもと、試験施工によって事前にゴムチップ散布量の確認を行った。

0.3×0.33(0.1m²)のマグネットシートの上面に両面テープを貼ったものを用意し、乳剤散布量試験のような形式でゴムチップ散布量を確認した。

ゴムチップ散布量の試験状況を写真-5に、散布量の確認状況を写真-6に、および散布量の測定結果を表-2に示す。



写真-5 ゴムチップ散布量試験の実施状況



写真-7 アイストッパーRの施工状況



写真-6 ゴムチップ散布量の確認

表-2 ゴムチップ散布量の測定結果

試料 No.	質量 (g)			散布量 (kg/m ²)	
	空袋	散布後	ゴムチップ ^a	実測	設計
1(R)	227.1	262.2	35.1	0.35	0.30
2(L)	228.3	269.0	40.7	0.41	
3(⊙)	229.6	262.1	32.5	0.33	
平均				0.36	

4-4-5 施工フロー

アイストッパーRの施工フローを図-7に、施工状況を写真-7に示す。

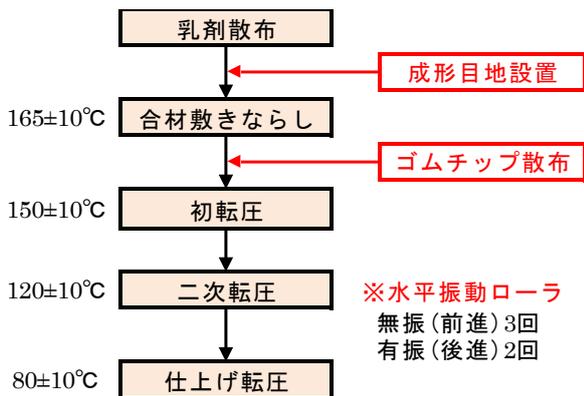


図-7 施工フロー図

九州で初めて実施する施工で不安はあったが、様々な資料と支援・指導によって、入念に準備したことで予定どおりの施工ができた。

5. おわりに

当該施工箇所は道路線形も悪く、農地の管理用道路にも面しているため、施工前は老朽化とひび割れの進行、および平坦性の悪化が著しい状況であった。特に平坦性(σ)は2.13mmであった。これに対して施工後の平坦性は1.73mmと走行性を確保でき、初期わだち掘れも発生していない。

当該路線は見通しが悪く、朝夕の通勤ラッシュに加え、臼杵市の港湾運送業も盛んで大型車両が常に走行する。そのため、第三者との接触事故や巻き込まれ事故等の重大事故が懸念された。しかし、交通規制の検討および事前の周知によって、労働災害や地元住民の方の公衆災害や苦情等も一切発生せず、完工できた。

凍結抑制効果に関しては、施工以降の積雪等はないが、寒冷期に発注者の意図する効果が確認されるまで、随時ヒアリングや調査を実施する必要がある。

温暖な地域が多い九州においても、中山間地などでは同様の課題を抱える道路管理者は多く、今後、アイストッパーRが課題解決の一助となることを切に願うとともに、本文が凍結抑制舗装(アイストッパーR)の施工に役立てば幸いである。

最後に、施工にあたりご指導・ご協力をいただいた本店技術部・技術研究所・機械センター・支店・各協力会社の皆様に感謝の意を表します。

橋梁レベリング層用グースアスファルト(BLG)の施工事例

土井 詳彦*
 峯 映博**
 上原 義行***

1. はじめに

当社で受注・施工し、2022年6月に竣工を迎えた湯浅御坊道路広川舗装工事では、西日本高速道路株式会社からの橋梁工事引渡し時期が大幅に遅れ、舗装工事の本線4車線化開通工程が逼迫した。そこで、できる限りの工程短縮案を検討する必要があった。

当該現場の拡幅橋の既設床版は、鉄筋面が露出した部分や床版面の凹凸・段差があり、当初設計の床版防水(GII)では、防水工の工程が多く施工期間が長くなることに加え、所定の品質を確保するための不陸修正等にさらに多くの工程を要することが想定された。そこで、不陸修正とレベリング層が同時施工可能で、床版防水(GII)の防水性とレベリング層としての耐久性を満足する橋梁レベリング層用グースアスファルト(Bridge Leveling Guss asphalt 以下、BLG)による工程短縮案を提案し、設計変更となった。

本文では、BLGの施工内容、防水工(GII)を含めた通常工法との比較、および今後のBLGの課題などについて報告する。

2. 工事概要

工事名：湯浅御坊道路広川舗装工事
 工事場所：自)和歌山県有田郡有田町大字天満
 至)和歌山県有田郡広川町大字上津木
 STA96+14.7～STA213+60.0(L=11,749m)
 工期：令和2年3月27日～令和4年6月30日
 発注者：西日本高速道路株式会社関西支社



図-1 位置図

3. BLG施工内容

(1) 施工場所

BLGの施工場所は、以下の2つの橋梁が対象であ

った。

- ①水尻高架橋(下り線 P11～P30)：2,398.7m²
 延長420.09m、幅員5.55～6.05m
 平均厚さt=60.5mm、合材数量：330.9t
- ②山田高架橋(上り線 A1～A2)：2,197.2m²
 延長254.67m、幅員7.76～8.01m
 平均厚さt=51.0mm、合材数量：257.7t

(2) 施工断面

BLGの施工断面の詳細を図-2、3に示す。

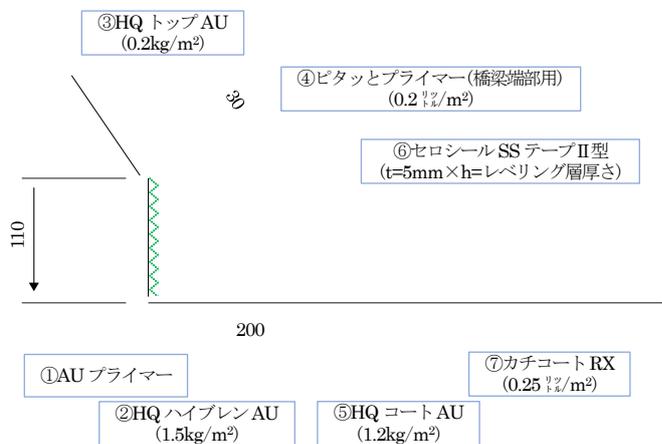


図-2 施工断面詳細図(高欄側、①～⑦：施工順序)

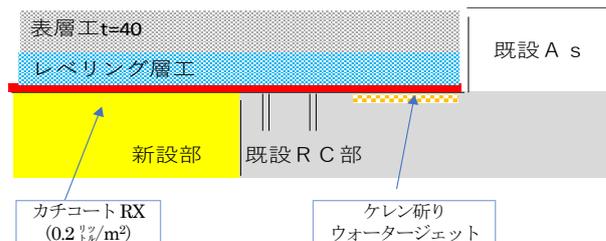


図-3 施工断面詳細図(既設RC側)

(3) BLGの混合物性状

BLGの混合物性状を以下に示す。

- ・床版防水GIIと同程度の防水性能
- ・動的安定度：1,000回/mm以上
- ・リュエル流動性3～20秒(施工時190±10℃)
- ・基準密度：2.30t/m³

(4) BLGの混合物諸元

BLGの使用材料を表-1に、合成粒度を表-2に、加熱骨材配合比を表-3に、およびプラント製造条件を表-4に示す。

*大阪支店広川舗装工事事務所副所長 **同所試験主任 ***同所工事主任

表-1 使用材料

材料名	材質	産地名	生産者
6号砕石	硬質砂岩	広島県呉市	中国物産㈱
7号砕石			
スクリーニングス	砂 岩	和歌山県岩出市	赤井産業㈱
粗 砂	海 砂	佐賀県唐津市	(有)ネクサス
石 粉	石灰岩	岐阜県大垣市	清水工業㈱
改質アスファルト	BLG用	栃木県下野市	ニチレキ㈱

表-2 合成粒度

ふるい目 (mm)	通過質量百分率 (%)							
	19.0	13.2	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075
目標粒度	100	99.7	69.2	48.2	38.5	32.4	28.1	24.1
予定粒度	100	99.4	68.8	48.4	38.9	33.3	28.4	24.1
標準粒度範囲	100	95~	65~	45~	35~	28~	25~	20~
		100	85	62	50	42	34	27

表-3 加熱骨材配合比

工 種	ビン番号						計
	3ビン	2ビン	1ビン	石粉	アスファルト		
骨材のみ	29.0	23.0	21.0	27.0	—		100.0
骨材+アスファルト	26.2	20.8	19.0	24.4	9.6		100.0

表-4 プラント製造条件

アスファルト量 (%)	9.6	
使用アスファルト種別	BLG用バインダ	
時間当たり混合物生産量	40t/h	
1バッチ当たりの混合量	800kg	
混合時間 (秒)	Dry	16
	Wet	55
骨材加熱温度 (°C)	260±10	
アスファルト加熱温度 (°C)	180±10	
混合温度 (°C)	190±10	
プラント廃業限界	温度範囲外のもの	

4. BLGと通常工法の比較

4-1 計画施工日数の比較検討

通常工法での施工日数は、残存シート防水ケレン研りとウォータージェット研掃で3日、床版凹凸部補修養生で2日、ライナックス研掃工⇒防水材散布⇒端部防水⇒舗装用接着剤塗布⇒付着防止剤散布で7.5日、型枠設置⇒レベリング層工で1.5日、タックコート⇒型枠設置⇒表層工で2日の、合計16日間の施工日数が必要となる。

BLGでの施工日数は、残存シート防水ケレン研りとウォータージェット研掃で3日、ライナックス研掃工⇒端部防水で7日、型枠設置⇒BLG工で3日、タックコート⇒型枠設置⇒表層工で2日の、合計12日間の施工日数となりBLGの方が4日短縮となる(表-5参照)。

4-2 実施工日数

当該現場の施工場所では、想定どおり、残存のシート防水や床版面の凹凸・段差(写真-1参照)があった。ケレン研りとウォータージェット研掃(写真-2参照)した後、通常工法では床版補修が必要となるが、BLGを採用することによって床版補修の工程が省け、防水工が端部防水のみの施工(写真-3参照)となり5.5日の短縮となる予定だった。しかし、施工幅員が5.5mでBLGが2分割施工(写真-4参照)となったこと、また運搬時間(片道70分)に対するクッカ車の台数不足などもあり、施工日数に3日を要した。その結果、通常工法より4日の短縮となった。

表-5 施工日数比較工程表

実施日数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
通常工法																
ケレン研り、ウォータージェット																
床版補修、養生																
床版防水GⅡ (HQハイブレンAU工法)																
研掃工ライナックス																
清掃工・床版用接着剤塗布																
防水材散布																
端部防水																
舗装用接着剤塗布																
付着防止剤散布																
レベリング層工 (FB13)																
乳剤散布タックコート																
表層工 (高機能1型)																
実施日数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
BLG工法																
ケレン研り、ウォータージェット																
端部防水GⅡ																
研掃工ライナックス																
AUプライマー																
HQハイブレンAU																
ビタットプライマ																
セロシール																
HQコートAU																
カチコートRX																
レベリング層工 (BLG)																
乳剤散布タックコート																
表層工 (高機能1型)																

4日間の短縮



写真-1 残存シート防水



写真-2 研り、研掃状況



写真-3 端部防水施工状況



写真-4 BLG施工状況

4-3 施工費の比較

BLGの施工は、床版補修や防水工の施工工程を省くことができることから、施工日数を短くできるメリットがある。しかし、特殊合材であり出荷できるプラント及び施工機械、クッカ車等の保有会社が限定されるので、材料や施工機械の調達と同業他社との合同になる可能性がある。その場合、費用が割高となるデメリットがある。

当該現場では、BLG施工の設計単価は49,520円/tとなった。通常工法では、設計単価93,805円/tであり、設計単価を比較すると約2.5倍以上の単価差であった。そのため、BLGを採用する場合、かなり割高となることから、施工費および材料、機械等の手配調達状況を含め、施主と事前協議したうえで工法選定する必要がある。

5. 今後の課題

5-1 レベリング層の施工厚さ

施工前の現況測量結果から、レベリング層厚さが最小で20mm、最大で110mmとなった。局部的な箇所を除き、下限値35mm、上限は65mm、壁高欄から表層天端までの高さ900mm以上を条件として計画高修正を行ったが、局部的にレベリング層の厚さが修正条件に合致しない箇所が発生した。当該現場では、流込み施工であるBLGに変更したので、条件に合致せずともそのまま施工できたが、今後同様の事象が広範囲になった場合の対応策を事前に協議しておく必要があるものとする。

5-2 型枠下面からの合材流出防止と施工継目の処理

施工幅員が5.5m以上で2分割施工となり、縦施工継目部に型枠を設置することになった(図-4参照)。レベリング層の高さ調整をした場合、場所によって型枠下面と床版の間に隙間が生じる。BLGは流込み施工であり、その隙間からBLGが流出しないよう確実に塞ぐ必要があった。当該現場ではその隙間に発

砲ウレタンを充填して隙間を塞ぎ、施工後に撤去・清掃を行った。また、施工継目部の側面にはカチコートRXを塗布し、継目部の付着不良のないように施工を行った。

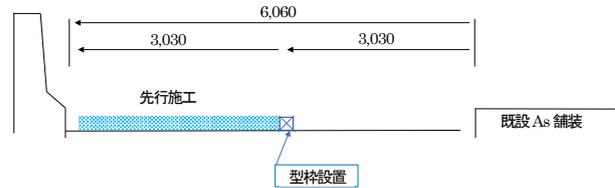


図-4 型枠設置図(水尻高架橋)

5-3 BLGのダレ

レベリング層の施工厚が最大で110mmの箇所付近は、他の施工場所より温度低下が遅く、敷きならした後に横断勾配の低い方にダレが生じ、施工継目部に約15mmの段差が発生した。

BLGが厚い場合、敷ならし後に温度低下が進まず、ダレによって既設舗装との段差が生じるなどの不具合が発生する。施工厚さ65mm程度の場所については、ダレによる不具合がなく施工できたので、施工厚さが65mmより厚くなる場合はリュエル流動性が3~20秒の範囲内に収まるようにクッキング温度の調整を行い、敷ならし温度を190±10℃の下限側で施工を行う必要があると考える。その際、施工時の気温等にも注意しなければならない。



写真-5 施工継目部のダレによる段差発生状況

5-4 防水性の品質確認について

当初、設計レベリング厚さは40mmであったが、最小下限値35mmの条件で計画高さの修正を実施したものの、局部的には20mmとなる場所もあった。また、BLGの敷き始めと敷き終わりの部分は人力での施工となるので、それらの箇所において防水性能に懸念が生じた。BLGの現場施工管理項目に防水性能はないが、自主的に防水性の品質確認が必要と考えた。一般的には、防水性を確認する試験として、現場から採取した切取コアを用いた加圧式透水試験がある。しかし、破壊検査である切取コア採取は、採取後の穴を入念に埋戻しても、そこが弱点となり

防水機能を損なう原因となるので、極力避けなければならない。そこで、透気性が空隙率に依存することから、加圧式透水試験に代わる管理試験として、真空透気試験を行うこととした。

試験方法は、真空透気試験装置を用い圧力室の縁にパテを円形上に隙間なくセットし測定面に圧着させ、圧力室内のエアを真空ポンプで抜き、真空度を $60\text{ cm}\cdot\text{Hg}=0.08\text{MPa}$ にし、1分当りの気圧の増加(透気)量を2分間測定するものである。基準値は $2\text{ cm}\cdot\text{Hg}=0.003\text{MPa}/\text{分}$ 以下とした。

施工日毎に起終点部の人力施工部や施工厚の薄い部分等において、真空透気試験を実施し防水性の確認を行った。真空透気試験の概要図を図-4に、試験実施状を写真-6に示す。

測定結果は、各測定位置すべてにおいて2分後の増圧(透気)量は 0.000MPa で変化がなく、基準値を十分満足したので、防水性能を確認することができた。

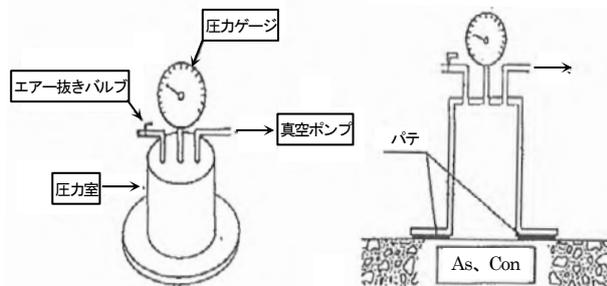


図-4 真空透気試験概要図



写真-6 真空透気試験実施状況

7. まとめ

当該現場で施工したBLGの知見を以下にまとめる。

- ・床版の段差や修正補修の工程が省略できる。
- ・床版防水(G II)の機能を満足し、かつ床版防水(G II)の工程を短縮できる。

- ・レベリング層として必要な動的安定度 $1,000$ 回/mm以上を有する。
- ・BLG薄層箇所、および人力施工箇所の防水性能は基準を十分満足する。
- ・施工時間に制約のある保全現場での採用が期待できる。
- ・床版の段差や修正補修を一度に施工できるが、施工厚が 65mm 以上になるとダレ等が発生するので、温度調整等によるダレ防止対策を行う必要がある。
- ・特殊合材の出荷できるプラントや施工機械、およびクッカ車を調達するための調整が必要となる。
- ・通常施工より割高となる場合がある。

以上のまとめから、今後は、ダレが発生しないようにするための簡易な温度調整方法や施工方法、および配合の検討が望まれる。また、防水性能の品質管理方法についても、非破壊検査方法として部分的な真空透気試験の実施だけでなく、広範囲の検査ができるCT画像解析や自走式電磁波レーダー測定等を応用した方法も検討する必要があるものと考え

8. おわりに

当該現場のBLG施工に携わり、橋面舗装の老朽化・漏水による改修時の舗装切削・撤去方法について、段差修正を併せて施工した場所の撤去方法やBLGの容易な剥ぎ取り方法、コンクリート床版を痛めないような撤去方法等、より良い施工方法を我々も考えていく必要があると感じた。この報文が今後、少しでも既存技術の改良改善、新技術の研究・開発の参考になれば幸いである。

最後に、BLG施工にあたり協力していただいた協力会社や本支店の関係各位に感謝の意を表します。



写真-7 BLG施工完了全景

橋面舗装工事における床版調査および橋面舗装の事例

湊 拓哉*
石田将太郎**

1. はじめに

東京都では、道路・橋梁の日常的な維持・補修を実施し、利用者の安全性と利便性の向上に取り組むとともに、道路構造の改良、透水性舗装の普及拡大、歩道のバリアフリー化、遮熱性舗装の実施など、今日的な時代の要請に応える中で、快適な都市環境の確保に努めている。

東京都北区のJR田端駅北側には、1935年に軍艦製造で培われた溶接技術を導入し建設された、歴史的鋼構造物である全溶接道路橋の田端ふれあい橋(旧：田端大橋)があり、その横には1987年に旧田端大橋の架け替え工事として竣工した新田端大橋が架かる。

橋梁の主要部材であるアスファルト舗装は、交通荷重や雨水の滞水などによって日々厳しい環境下にあることから、定期的なアスファルト舗装の打換えによって橋梁を保護し、橋本体の耐久性を確保する必要がある。

本文は、東京都における効率的な舗装の維持管理の一環として発注された、新田端大橋ほか3橋(南大橋、根岸二丁目歩道橋、根岸小学校前歩道橋)における床版調査および橋面舗装の施工内容を報告するものである。

2. 工事概要

工事概要を以下に示す。

工事名：新田端大橋ほか3橋維持工事(橋面舗装)
 路線名：特定都道白山小台線(第458号)ほか2路線
 工事場所：東京都北区田端6丁目地内～同区東田端1丁目地内 他3箇所
 工期：令和3年2月8日～10月27日
 発注者：東京都建設局第六建設事務所
 施工箇所：図-1参照

3. 施工内容

3-1 施工フロー

全体施工フローを図-2に示す。



【新田端大橋】



【南大橋】



【根岸二丁目歩道橋、根岸小学校前歩道橋】

図-1 施工箇所(Googleマップに加筆)

*関東支店東京第一営業所工事長 **同所

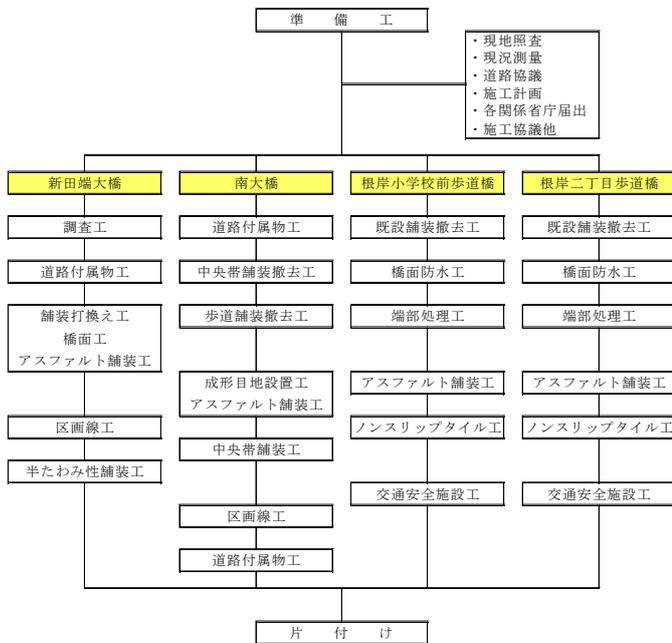


図-2 全体施工フロー

3-2 調査工

調査工は、新田端大橋のみにおいて実施した。調査では、路面性状測定車タイプの非破壊調査機械である「床版キャッチャー」(写真-1参照)を用い、既設床版の損傷状況と既設舗装版厚さの確認を行った。

その結果、既設床版に大きな損傷が無く、健全であることが確認できた。また、既設舗装の厚さが事前に確認できたことで、切削時に既設床版を損傷することなく施工できた。



写真-1 床版キャッチャーによる調査

3-3 道路付属物工

道路付属物工は、新田端大橋と南大橋において実施した。舗装施工箇所に設置してある既存の車線分離標を撤去し、舗装工が完了した後、所定の位置に再度車線分離標を設置した。その際、撤去した車線分離標を再利用した。

3-4 舗装撤去工

舗装撤去工は、4橋において実施した。

新田端大橋では、調査工から判明した舗装厚さより1cm程度薄い位置まで路面切削機によって切削した。その後、バックホウと搭乗式スクレーパを併用して、床版を傷つけないように残アスファルト舗装および既設防水層を撤去した。

新田端大橋における舗装撤去機械編成を図-3に示す。

南大橋では、中央帯の舗装撤去後、歩道の舗装撤去を行った。歩道の舗装種別はタイル舗装であったので、油圧ブレーカを用いて、下地モルタルも含め、平滑に撤去した。

根岸小学校前歩道橋および根岸二丁目歩道橋では、タイル舗装およびゴム製舗装を油圧ブレーカで丁寧に撤去し、廃材の荷下ろしにはラフタークレーンを用いた。

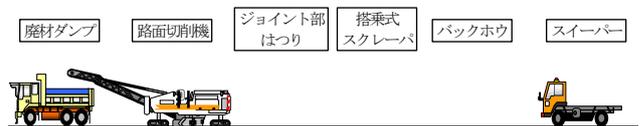


図-3 舗装撤去機械編成(新田端大橋)

3-5 橋面防水工

橋面防水工は、新田端大橋と根岸小学校前歩道橋および根岸二丁目歩道橋において実施した。

新田端大橋の防水工断面図を図-4に示す。

根岸小学校前歩道橋および根岸二丁目歩道橋については、加熱アスファルト防水材を1.2kg/m²塗布した。

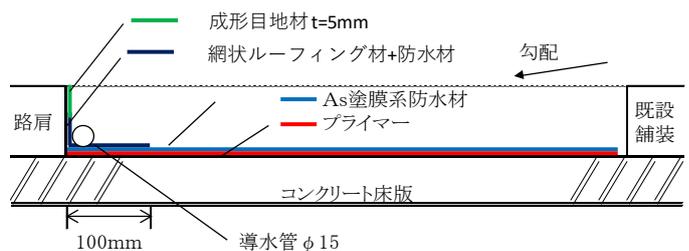


図-4 橋面防水工断面図(新田端大橋)

3-6 端部止水処理

端部止水処理は、4橋において実施した。

雨水が端部から侵入した場合、アスファルト舗装のはく離や床版の劣化の原因になる。そのため、4橋とも、路肩側端部に低弾性タイプの成形目地材を貼付け、止水対策を行った。

また、根岸小学校前歩道橋については、橋げた部分の鋼構造物面の腐食防止として、劣化部分に紫外線FRPシートを貼り付けた(写真-2参照)。



写真-2 紫外線FPRシート貼付け状況



写真-5 ラフタークレーンによる合材供給状況

3-7 アスファルト舗装工

(1) 新田端大橋

新田端大橋の舗装構成は、基層が密粒度アスファルト混合物ポリマー改質アスファルトⅢ型-W(t=4cm)、表層が密粒度アスファルト混合物(13)ポリマー改質アスファルトⅢ型-W(t=3cm)であった。

敷きならしには、TV型のアスファルトフィニッシャーを使用し、締固めにはマカダムローラおよびタイヤローラを使用した。

施工状況を写真-3に示す。



写真-3 舗装施工状況(新田端大橋)

(2) 南大橋

南大橋の舗装構成は、細粒度アスファルト混合物(5)(最小厚さ3cm)であった。4tダンプトラックで運搬した合材を車道側からバックホウで施工箇所へ投入し、人力で敷きならした。締固めには、ハンドガイド式振動ローラと3tタイヤローラを使用した。

施工状況を写真-4に示す。



写真-4 舗装施工状況(南大橋)

(3) 根岸小学校前歩道橋および根岸二丁目歩道橋

根岸小学校前歩道橋および根岸二丁目歩道橋の舗装構成は、細粒度アスファルト混合物(5)(最小厚さ3cm)であった。合材の供給をラフタークレーンで行い、敷ならしは人力で行った。締固めは、ハンドガイド式振動ローラのみとした。

ラフタークレーンによる合材の供給状況を写真-5に示す。

3-8 ノンスリップタイル工

ノンスリップタイル工は、根岸小学校前歩道橋および根岸二丁目歩道橋において実施した。

床版上に所定の高さまでモルタルを敷き、ノンスリップタイルを圧着貼りによって施工した。モルタルの強度発現のため3日間養生した。

ノンスリップタイルの施工状況を写真-6に示す。



写真-6 ノンスリップタイル施工状況

3-9 半たわみ性舗装工

半たわみ性舗装は、新田端大橋のバス停部分において施工した。セメントミルクは超速硬タイプを使用し、製造はポリバケツとハンドミキサーで行った。

振動コンパクタを使用して振動を与えながらセメントミルクを入念に充填し、余剰分をゴムレーキで確実に除去して骨材表面をしっかりと露出させ、すべり抵抗性を確保した。

半たわみ性舗装の施工状況を写真-7に示す。



写真-7 半たわみ性舗装施工状況

4. 課題・問題点とその対応策および効果

4-1 既設床版の非破壊調査

橋面舗装の修繕工事では、従来、切削完了後に床版の状態を調査し、その結果から補修計画を策定していた。

当該工事では、施工対象の橋が複数あることから、事前協議・準備に多くの日数を要することが予想され、できる限りの工程短縮方策を検討する必要があった。そこで、既設床版の状態を非破壊で調査でき

る、橋面舗装・床版上部非破壊調査システム「床版キャッチャー」を採用した。床版キャッチャーでは非破壊によって、表-1に示す項目が調査可能となる。

床版キャッチャーを用いたことによって、事前に床版の損傷状態を確認でき、補修計画を立案することができた。その結果、舗装切削後スムーズに次工程へ移行することができた。

表-1 床版キャッチャーの調査可能項目

床版キャッチャーの調査可能項目	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート床版上面の損傷状況 ・舗装と鋼床版の境界の状態 ・アスコン厚さの推定 ・鉄筋かぶり厚の推定 など
-----------------	--

4-2 既設防水層の完全撤去

橋面舗装補修工事における既設防水層の撤去作業は、最も重要な工程の一つである。既設防水層が残存していた場合、新たに施工する防水工のプライマーによって、既設防水材がカットバック(軟化)し、供用後早期に舗装の破損につながる。また、既設防水層の撤去をバックホウのみで行うと、バケットの衝撃で床版にマイクロクラックが生じ、床版自体の耐久性の低下につながる。

搭乗式スクレーパ(写真-7参照)は、本体機械の先端に平ノミが装着してあり、走行しながら衝撃を与えることなく、かつ確実に防水層をはぎ取ることができる。

この搭乗式スクレーパを用いたことによって、床版を損傷することなく、限なく既設防水層を全面はぎ取ることができた。



写真-8 搭乗式スクレーパ

4-3 アスファルト廃材の過積載防止

アスファルト舗装の修繕工事において、アスファルト廃材の過積載は、コンプライアンス遵守において最重要課題である。当該工事では、スケールダンプ(写真-9参照)を活用することで当該課題を解決することができた。

スケールダンプは、積載重量が車外に表示されるシステムで、廃材積み込み作業中にリアルタイムで重量が確認できる。

このスケールダンプを用いることによって過積載を防止し、ダンプの積載能力を最大限に活用することができた。



写真-9 スケールダンプ

4-4 床版水分量の適正管理

橋面舗装工事において、防水工における床版の水分量を適正に管理することは、防水層の品質を確保するうえで重要となる。

当該工事では、防水工施工中の降雨を絶対に避けるため、高精度で詳細な位置情報および天気情報が入手可能な総合気象GISプラットフォーム「amatellus」を用いて、当日の防水工の施工可否の判断を行った。

その結果、未然に防水施工中の降雨を防止でき、床版水分量を5%以下(目標値10%以下)とすることができた。

5. おわりに

当該工事は、場所の異なる複数の橋梁の舗装補修工事であった。事前協議・準備に多くの労力を費やしたが、綿密な計画と課題に対する対応策を具体的に立案した結果、施工時には大きなトラブルもなく、スムーズに施工を行うことができた。また、各段階における品質確認検査においても良好な結果を得ることができ、無事工期内に竣工することができた。本文が、今後の同様工事において参考になれば幸いです。

最後に、当該工事を施工するにあたり、多大な協力をいただいた協力業者、東京第一営業所、および関東支店工事部の関係者に対し、感謝の意を表します。

駅乗降場(ホーム)床アスファルト舗装の施工事例

長山 祐利*
吉川 武弘**

1. はじめに

北陸新幹線は現在、群馬県の高崎駅から石川県の金沢駅までが開通・営業しており、金沢駅から西側に延伸する金沢・敦賀間は2012年に着工し2023年度末に開業予定である。

金沢・敦賀間に新設される加賀温泉駅は、温泉郷の風情と城下町の歴史を感じさせることに配慮してコンコースには加賀の赤瓦を採用し、柱には県産木材を使用している。この加賀温泉駅は、地元住民のほか、都心部からの観光客が利用することが期待されており、駅全体に利用者の多様性への配慮や利便性、および安全性が求められた。

本文は、利用者の安全性に特に配慮して施工に臨んだ、新幹線駅ホームにおける狭小部アスファルト舗装の施工内容について報告するものである。

2. 工事概要

工事概要を以下に示す。

工事名：北陸新幹線 加賀温泉駅新築
乗降場(ホーム)床アスファルト舗装
施工期間：令和4年3月10日～4月28日
発注者：(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構
元請：大林・名工・宮地JV
工事場所：石川県加賀市作見町11-1
工事位置：図-1参照



図-1 工事位置(Yahoo!地図に加筆)

3. 駅乗降場(ホーム)床アスファルト舗装

3-1 概要

(1) 舗装標準断面

舗装標準断面を図-2に示す。

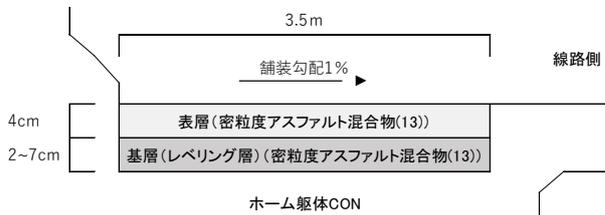


図-2 舗装標準断面図(当初設計)

(2) 施工数量

施工数量を表-1に示す。

表-1 施工数量

工種	仕様	施工箇所	数量(m ²)
表層工	密粒度アスファルト混合物(13) t=4cm	2工区上り	397
		2工区下り	397
		3工区上り	446
		3工区下り	446
基層工 (レベリング層)	密粒度アスファルト混合物(13) t=2~7cm	2工区上り	397
		2工区下り	397
		3工区上り	446
		3工区下り	446

(3) 主要機械

主要機械を表-2に示す。

表-2 主要機械

使用機械名	規格	形式名	台数	摘要
バックホウ	0.4m ³ 級	PC128US-11	1	低騒音型 排ガス3次規制対応
クローラダンプ	0.9t級	CD10R	1	排ガス2次規制対応
クローラダンプ	2t級	CD20R	1~2	排ガス2次規制対応
アスファルト フィニッシャ	0.8~1.4m級	HA14C	1	低騒音型 排ガス3次規制対応
振動ローラ	コンバインド式 1.5t級	TW250	1	低騒音型 排ガス2次規制対応
振動ローラ	ハンドガイド式 1t級	HS67ST	1	低騒音型
振動コンパクト	60kg級	PC63	1~2	

(4) 品質管理基準および要求性能

品質管理基準を表-3に示す。当該現場では表-3に示すように厚さと仕上がり面の外観のみが規定されていた。しかしながら、駅ホームではたびたび車いす利用者が舗装勾配によって線路に転落する事故が見受けられることや、視覚障害者が舗装の段差に躓くなどの懸念がある。このことから、駅ホーム上で事故が発生した場合の当社の過失リスクを最大限回避するため、所定の舗装勾配の厳守、および段差ゼロを含めた平坦性確保が求められた。

*北信越支店北陸営業所工事主任 **同所所長

表-3 品質管理基準

項目	目標値	基準値	測定方法
舗装厚さ	±7mm	-10mm	水系・スケールで計測
表層面の仕上がり 出来栄	平たんであること 緻密であること	-	目視による

3-2 施工手順

施工フローを図-3に示す。

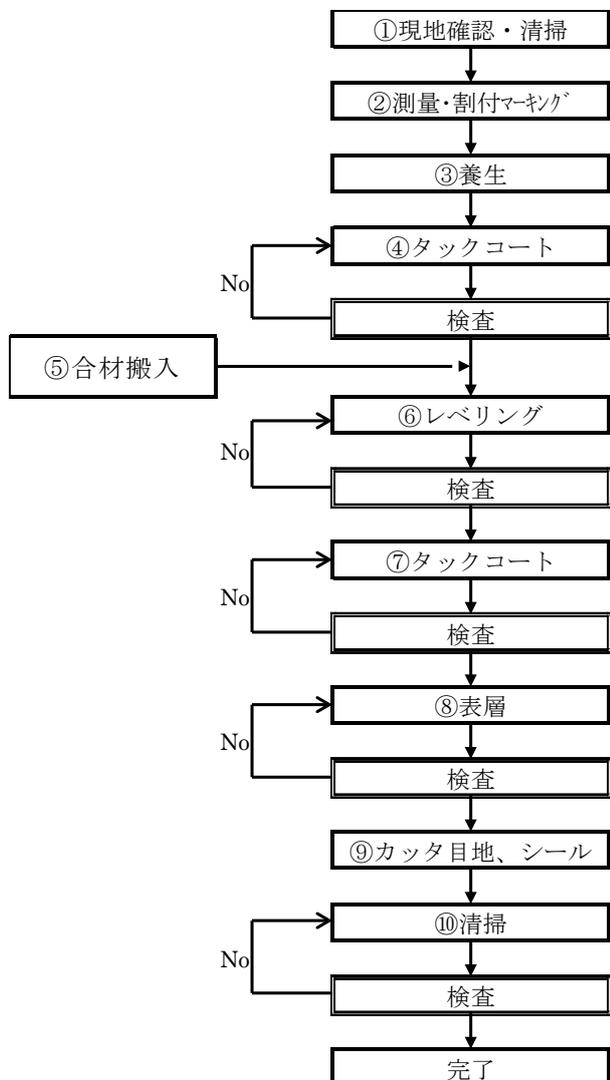


図-3 施工フロー

4. 課題・問題点とその対応策

4-1 合材運搬・搬入方法の検討

当該現場は2階の新幹線ホームでの施工であり、通常のダンプトラックによる合材運搬・搬入ができないので、合材運搬・搬入をいかに効率よくするかが課題であった。

(1) 運搬機械・搬入方法の検討

2階ホームエリアは3つの工区に分かれ、2工区、3工区がアスファルト舗装工区であった。2工区、3工区へ続く通路は、固定柵用のベースプレートが設置されており、通行可能幅員としては1300mmと非常に狭い状況であった。当初計画していた2tキャリア

ダンプでは車幅が1500mmあり通行できないことから、車幅1000mmの1tキャリアダンプでの合材運搬に変更した。

施工場所への合材運搬は、大型ダンプによって屋外へ搬入された合材を容量1m³の生コンホップに移し換えてクレーン車でホップを吊り上げ、2階へ荷揚げした。その後、ホップから1tキャリアダンプに積み換えて施工場所へ運搬した(写真-1参照)。2階への進入路は1.5mの高低差があったので、単管と木製足場板で仮設通路(写真-2参照)を設置した。

日施工数量と2階の運搬距離(最長300m)を考慮し、1tキャリアダンプを2台使用することとしてタイムスケジュールを設定し、プラントと合材出荷時間の調整を行った。キャリアダンプのすれ違いには窓側の柱と柱の間の空間を利用した。



写真-1 キャリアダンプによる合材搬入



写真-2 高低差解消用仮設通路

(2) 実施内容の効果

上記の検討方法を実施することでスムーズに合材搬入ができ、予定どおりの進捗となった。

4-2 施工機械の検討

駅ホームのアスファルト舗装は、視覚障害者や車いす利用者が快適かつ安全に歩行・走行できるように、なるべく凹凸をなくした平たんて緻密な舗装で

なければならぬので、平坦性の確保と締固め度の確保が課題であった。

(1) 使用機械の検討

一般的に上層階かつ狭小部の舗装の場合、主に人力敷きならしとなる場合が多いが、当該現場ではできる限り平坦性を向上させるため、表層の施工にはアスファルトフィニッシャを使用した。その際、通路最小幅1300mmを通れるように車幅1300mmのアスファルトフィニッシャのバンパを外し、車幅を1200mmに変更して使用した。

施工箇所の舗装幅員は3.5mであったが、窓側には柱、線路側には固定柵用のベースプレートがあるので、両側を先行して人力施工し、中央部0.7~1.3mではアスファルトフィニッシャを使用して敷きならした(写真-3参照)。

両側の転圧には1tのハンドガイド式振動ローラを使用し、中央部の転圧には搭乗式の1.5tコンバインドローラを使用した(写真-4参照)。

両側的人力施工の際には、型枠の高さを10mごとに水糸で合わせ、平坦性の向上を図った。

なお、施工機械の搬入はクレーンで行った。



写真-3 アスファルトフィニッシャによる施工



写真-4 コンバインドローラによる転圧

(2) 使用合材の変更

当初設計では、表基層とも密粒度アスファルト混合物(13)の仕様であった。現場の施工条件を考慮した結果、駅ホームに求められる平坦で緻密なアスファルト舗装を構築することが難しいと判断し、細粒度アスファルト混合物(13F)への変更協議を行い採用された。

(3) レベリング層の施工

現場は、コンクリートスラブ上の舗装であり、舗装勾配の影響でアスファルト舗装厚さが6cmから11cmの範囲で変化する状況であった。

そこで、表層厚さを4cmに統一して、2cmから7cmの厚さのレベリング層を設けることとした。なお、レベリング層は人力施工とした(写真-5参照)。



写真-5 レベリング層の施工

(4) 実施内容の効果

上記(1)~(3)の検討内容を実施することで、ホームの利用者が主に通行する中央部は、平坦で緻密な舗装を構築することができた。また、人力施工部についても十分満足する出来栄であった。

4-3 床EXPジョイントの段差解消方法の検討

現場には、高さ6cmから11cmの床EXPジョイントがあり、合材運搬や施工機械の走行に支障をきたすとともに、床EXPジョイントを損傷する可能性もあるので、堅固な養生方法を検討する必要がある。

(1) 床EXPジョイントの養生方法

床EXPジョイントの養生には、図-4に示すように、ジョイント前後に片側延長60cmまで20cmごとに高さ5cmずつ、最大15cmまで高くなるように幅10cm、高さ5cmの木製型枠を敷き詰めて側面を連結固定した。床EXPジョイント直上には、厚さ12mmのベニヤ板を設置して前後の木製型枠に木ネジで固定した。

床EXPジョイントは各施工場所に2~3箇所あったことから、各施工場所で転用できるように比較的簡易で堅固な構造とした。

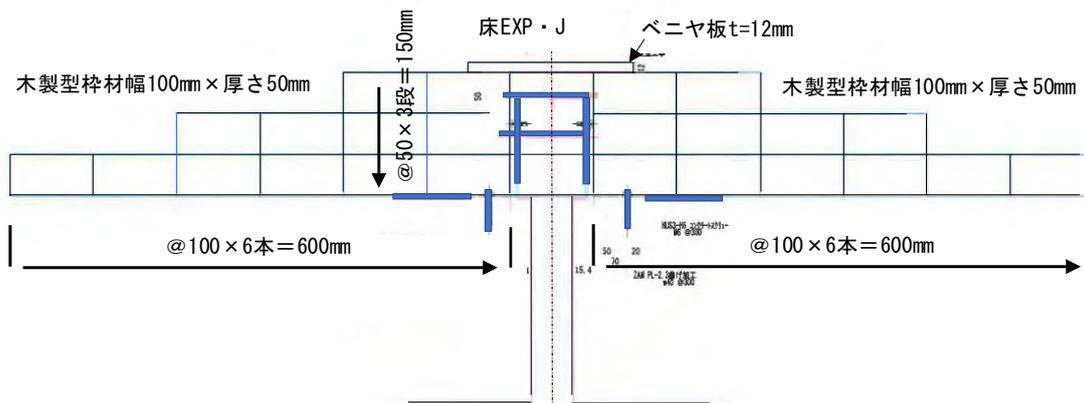


図-4 床EXPジョイント養生図(断面図)

(2) 実施内容の効果

上記の措置を行うことで、合材運搬や施工機械の走行もスムーズに行うことができ、舗装の施工によって床EXPジョイントを損傷することもなかった。

5. 品質管理結果

当該現場における品質管理の結果を以下に示す。

- ・ 舗装厚さは、目標値 $\pm 7\text{mm}$ に対し、実測 $\pm 5\text{mm}$ であった。
- ・ 施工継目の段差は、全箇所 $\pm 0.5\text{mm}$ であった。
- ・ 舗装勾配は各ステップ1箇所測定した結果、すべて $1 \pm 0.1\%$ であった。
- ・ 舗装表面の緻密さは、施主から高評価を得ることができた。

6. おわりに

当該現場は、駅2階のホーム舗装という、現場環境、および要求性能ともに特殊な条件での施工であり、仕様書の基準以外の出来栄えにも最大限配慮することが求められた。

関係者の協力によって、使用材料、施工方法、および施工手順を詳細、かつ具体的に計画することで、施工時には大きなトラブルもなく、予定どおり工事を進捗することができ、工期内に竣工を迎えることができた。

最後に、当該工事を施工するにあたり、多大な協力をいただいた元請業者、協力業者、および北陸営業所の関係者に対し感謝の意を表します。



写真-6 駅ホーム舗装完了全景(左: 2工区、右: 3工区)

横浜横須賀道路逗子インターチェンジにおける災害復旧事例

海老原 雅彦*

1. はじめに

令和3年7月2日からの連続豪雨によって、横浜横須賀道路の逗子インターチェンジ(図-1)では、翌日3日の午前8時に法面崩壊による土砂災害が発生した。通行中の車両1台が流出した土砂に巻き込まれたが、運転手は軽症であった。

流出した土砂を部分的に取り除き、4日夜には緊急車両用通行路のみを確保したが、現場は流出した土砂で通行止めが必要な状態であった。

本文では、この災害による暫定ランプ復旧工事について報告する。



写真-1 岩盤すべり面(土砂撤去後)



図-1 位置図



写真-2 法面崩壊による道路付帯施設の破壊状況

2. 法面崩壊の現状把握

2-1 法面崩壊の原因

復旧するにあたり、当該災害の根本的な原因の把握することによって、復旧計画を策定する必要があった。

今回崩落した法面は、泥岩と砂岩が交互に分布しており、その上に土砂を盛られた地質構造となっていた。豪雨によって岩石と土砂の界面上の地下水位が上昇し、法面が不安定になったのが、今回の崩壊の原因であった(写真-1)。

2-2 現状の把握

災害発生後の状況は、土砂が7,000m³ほど流出し、ガードレール、標識、照明、排水構造物等の道路付帯施設が破壊されていた(写真-2)。

初めに着手しなければならない流出した土砂の撤去についても、通行路を確保しながら、施工中の更なる土砂崩壊への安全対策を検討し、1か月以上はかかることが把握できた。

2-3 暫定開放計画

崩壊の原因が法面の地質構造上であるので、法面復旧には、法枠ブロック等の恒久的な対策工事が必要であった。その施工に何か月もかかり、工事をするためには、施工ヤードが必要であった。しかしながら、周辺住民の安全・利用を考慮すると、早期の開放が望まれた。

そのため、法面工事が継続的に行えるような工事ヤードを確保しつつ、走行車線を確保できる切回し道路によって、暫定的に開放する計画が必要とされた。また、流出した土砂を撤去し、その切回し道路をどの程度まで復旧し、施工するかなどの計画が必要であった。

*関東支店横浜営業所工事長

3. ランプ切回し計画の検討

3-1 切回しルート計画

発注者と元請によって切回しルート(図-2)が計画され、当社はランプ復旧工事(道路)の詳細の施工計画、工程計画等を行った。

暫定Fランプを旧FランプとHランプ間に切り回す計画であったが、図-3に示すように、盛土を構築した上に道路を築造する施工であること、また高低差7mの盛土法面の施工が必要とされた。

当該災害の原因分析によって、現状の法面が岩であり、その上の盛土法面もすべりやすいことが懸念された。また、切土、段切り切土、盛土、道路築造、および法面整形と多段階の作業や狭小な作業エリアの悪条件が加わり、目標の9月末の開放に間に合わせるためには、昼夜連続の施工が必要となった。

蛇籠ブロックを使用することによって、法面のすべりへの対応も検討したが、軟岩の切土施工にブレーカを必要とするので、夜間作業が制限され、さらに工程が満足できない状況であった。加えて、ランプの平面・縦断線形がきつく、道路構造令を満足できない箇所もあり、本復旧まで1年以上かかる予定であり、切回し道路の線形を見直す必要があった。

3-2 変更切回しルート計画

前述の切回し道路の線形を検討した結果、暫定Fランプが旧Hランプに合流する位置については高低差が少ない料金所に近い箇所とした。また、供用車道の幅員が確保できなかったため、暫定供用後の施工ヤードについては必要最小限とし、残りの分を切回し道路にスペースにあてた。特にFランプ、GランプおよびEランプの合流箇所と分流箇所において、施工ヤードを狭め、既存のゼブラ帯を使用することによって、シフト幅も含め2.5車線相当分を確保した。これによって、高低差がある箇所での土工等の施工がなくなり、工程も1か月程度短縮できた。

暫定開放後の道路線形も良く、平面線形および縦断線形ともに道路構造令の暫定道路の規格に満足した切回しルート計画ができ、詳細計画にのぞむことができた。

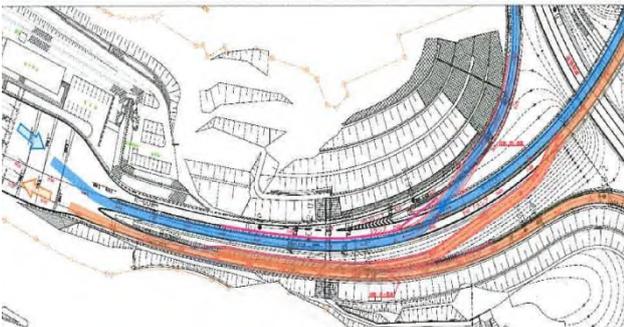


図-2 暫定開放計画(平面図)

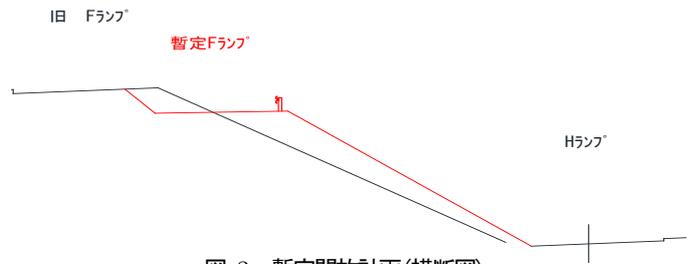


図-3 暫定開放計画(横断面)



図-4 暫定開放計画(現地写真)

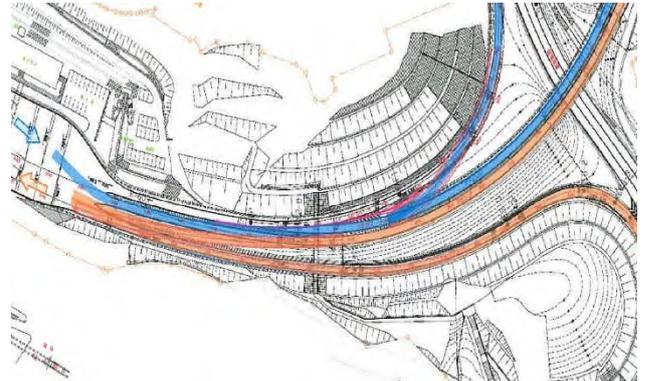


図-5 変更開放計画(平面図)

Fランプ STA1+60

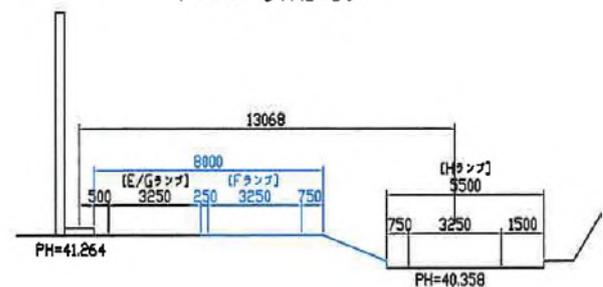


図-6 変更開放計画(断面図)

3-3 施工計画

他社の法面の土砂撤去作業の施工工程を考慮しながら、暫定道路の工程表を作成し、幾度の打ち合わせによってマスター工程表が完成した(図-7)。

発注者・元請から9月末の開通が厳守であったが、法面の土砂撤去作業と当社の切回し道路工事が上下作業となり、安全確保ができない日も発生した。しかし、土砂搬出が最優先とのことで、一部夜間工事によって切回し道路工事を行う詳細計画を立てた。

函館空港維持修繕工事における除雪工

富沢 卓馬*
 貝森 貴行*
 太田 正和**

1. はじめに

当該工事は、2020年に東京航空局発注「函館空港土木施設維持修繕工事」を施工完了後に、2021年度から北海道内7空港の管理・運営をすることになった北海道エアポート(株)以下、HAP)から継続受注している空港維持修繕工事である。

函館空港は市街地から約9km離れた津軽海峡沿いの標高34mの丘の上にあり、東西方向に向けて3,000mの滑走路と平行誘導路を有している。(図-1)

空港は空港利用者の往来があるターミナル区域と航空機運航のための制限区域がある。制限区域内には、航空機運用のための施設としてエプロン、離着陸のための滑走路、およびエプロンと滑走路を繋ぐ誘導路と取付誘導路があり、各施設には管理用道路として保安道路、チェック道路、および場周道路が接続している。

主な現場は制限区域内であるが、航空機の誘導・指示を行うための灯火施設と無線施設の維持工事や空港ターミナル側の維持工事も行っている。

夏期に排水溝清掃工、舗装面清掃工、巡回工、草刈工、標識維持工、および緊急補修工を行い、冬期に除雪工といった流れになっている。

冬期除雪は、滑走路、誘導路内の航空灯火(以下、灯器)、および計器着陸装置(ILS)といった航空機運

航上最重要な部分に隣接する作業が多くなり、作業時における接触事故等があった場合、国内外の航空機運航に多大な影響が及ぶので、施工上の安全管理は特に重要な項目である。

本文は、その安全を含めた除雪工の施工管理についてとりまとめたものである。

2. 施工準備

2-1 スノーポールの設置

除雪工は雪が降り出す前に場周道路、チェック道路、および保安道路に1mと2mの赤白ポールを立て、積雪後でも舗装部分や道路脇にある空港構造物を明示し、安全に除雪作業を行える環境を準備する。

チェック道路は航空機に最も近い位置にあるので、1mの赤白ポールを使い、航空機運航に支障がないように配慮する。

2-2 走行訓練

空港で使用している除雪機械は大型で特殊なものであり、雪が降ってから唐突に運転させるのは危険なことから、走行訓練を行っている。

確保できる作業員の調整によって、除雪車両の操作が初めての人もいるので、操作方法と除雪車両同士の連携方法を確認し、走行中の注意事項の指導を行い、実際に滑走路や誘導路を走行させ、車両感覚を習得させる。

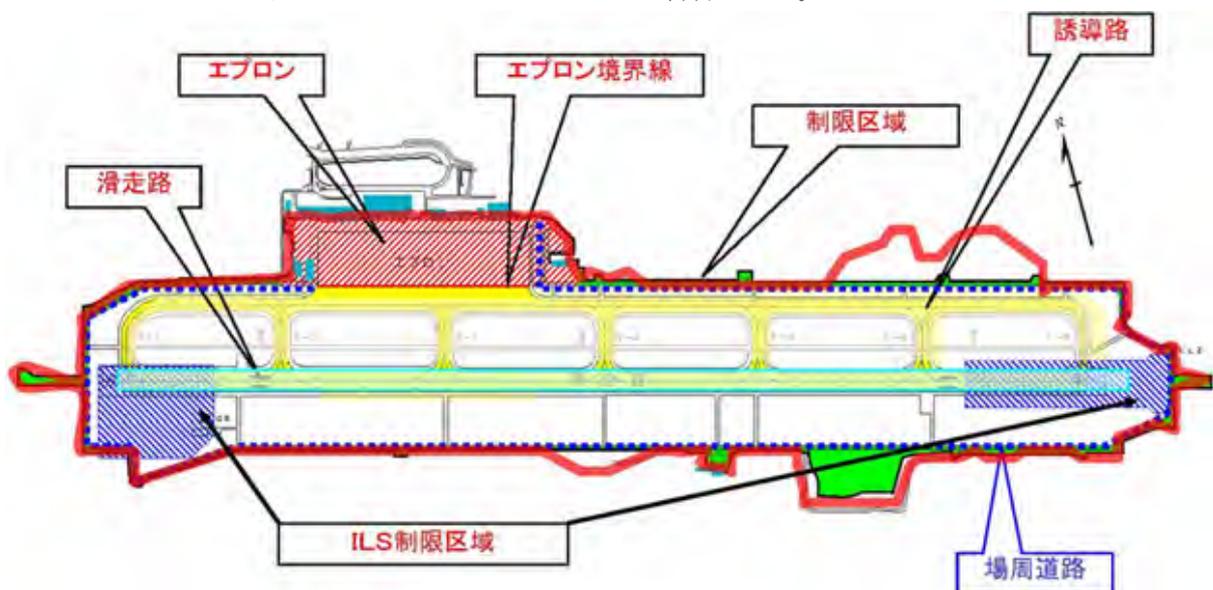


図-1 函館空港制限区域

*北海道支店函館営業所 **同所工事長

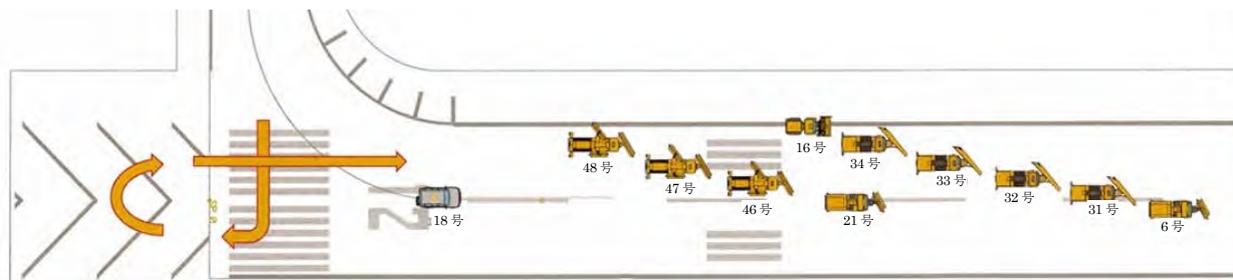


図-2 滑走路の除雪隊列

車庫入れの練習から始め、操縦者全員が慣れるまでに行い、除雪車両の車幅とオーバーハングやブレードの動き等に慣れてもらう。その後、実際の除雪隊形になって走行し、無線を使って車間距離や走行列を調節する。

走行訓練を行うことによって、操縦者の技量がわかり、隊列における配置の変更など、最終的な調節を行える。(図-2)

3. 除雪フローと使用機械

3-1 除雪の施工フロー

運航時間内(7:30~20:30)の除雪作業では、航空管制官から進入の許可を得てから制限区域内に進入する。

除雪は、滑走路のすべり抵抗値の調査も兼ねて1時間ほど与えられ、航空機の離発着までの間に行う。除雪箇所は積雪量によって指示があり、除雪の進具合では、追加で除雪箇所を増やすという流れになる。

最後に滑走路のすべり抵抗値を調査している間に誘導路のP2と呼ばれる部分で待機し、再除雪の有無を確認する。再除雪が無ければ全車帰庫を指示し、帰庫後、帰庫完了を伝え除雪完了となる。

運行時間外の除雪作業では、基本的に全面除雪とし、運航開始前の7時までには終了させる必要がある。除雪開始前に航空灯火の点灯を確認した後で、除雪箇所の優先順位の指示に従って除雪を行う。

また、函館空港では、住宅地から近い箇所の施工には、5時から6時までの時間制限があるので、その時間以外に進入しないように徹底しなければならない。

除雪完了後の流れは運航時間内と同じである¹⁾。

3-2 スーパー

最も使用され、1cm程度の積雪でも招集されることがある車両で、高性能スーパー3台、および高速スーパー3台で隊列を作り走行し、エプロン、滑走路、および誘導路の除雪に使用される。

高速スーパーは前ブラシのみ装備されていて、高性能スーパーは前ブラシの他に左右にもブラシ

が装備されている。(写真-1)

エプロンには、スポットラインと呼ばれる航空機を誘導するためのラインが引いてあり、各車両で除雪を行う。

滑走路と誘導路では、センターラインから山側と海側に分け、センターラインからショルダーラインに向けて高速スーパー、高性能スーパーの順に走行する。

最後に各取付誘導路の除雪を行い、終わり次第、P2で待機する。



写真-1 高性能スーパー

3-3 プラウ・ロータリー

プラウ・ロータリーは、スーパーのみでは押し出し切れないほどの積雪の多い場合に走行させる車両であり、プラウは氷板処理を行う際にも使用する。(写真-2)



写真-2 プラウ

除雪箇所はエプロン、滑走路、および誘導路であり、積雪が多い場合のエプロン除雪の際は、プラウ

でターミナル側から海側に向けて雪を順に押し出し、雪山をロータリーで飛ばすという流れになる。

滑走路と誘導路の除雪では、スノーパーと同様、センターラインから順にショルダーラインに向けて雪山を作り、ロータリーで緑地帯に向けて飛ばす。

(写真-3)

積雪量や雪質によっては、プラウで雪を押している最中に、雪の重さで灯器を倒してしまう場合や、ショルダーライン上に大きな雪山ができて灯器が隠れてしまい、ロータリーで灯器に接触してしまう恐れがあるので、雪質や積雪量によって、雪山を大きくしすぎないように指示を出す必要がある。



写真-3 ロータリー

3-4 凍結防止剤散布車

路面の凍結が起きて、滑走路がすべりやすくなっている場合に、指示があれば使用する車両である。主に滑走路で使用するが、エプロンと誘導路でも路面状況に応じて使用することがある。(写真-4)



写真-4 凍結防止剤散布車

3-5 ショベル

ショベルは場周道路、保安道路、チェック道路などの作業車用の道路や吹溜りの除去、ターミナル区域の駐車場や道路の除雪に使用される。空港構造物周りの除雪を行うので、運転時には細心の注意を払う必要がある車両である。(写真-5)

3-6 人力除雪

主にターミナル区域の除雪を行うが、滑走路、誘導路の灯器が雪で隠れてしまい、除雪車両が入れなくなった場合にショルダーラインの除雪を行う。



写真-5 ショベル

ショルダーラインの除雪は除雪車両の往来の中で行うので、大変危険である。無線で除雪車両に人力除雪が入ることの連絡周知と、人力除雪作業員が散開して作業を行なわないように細心の注意が必要である。

4. 当社職員

4-1 連絡

当社担当職員は、HAP運用担当者から除雪開始時間と範囲を指示され、除雪協力会社担当者に連絡を入れる。

除雪作業員が揃い次第、HAP運用担当者に伝え、車両点検と無線チェック後再度連絡する。除雪開始と同時にHAP運用担当者から最終決定した除雪範囲と作業時間が伝えられ、それを除雪作業員全員に指示する。

除雪車両が隊列を組んでいる間に、着工前写真などの事前準備を済ませ、除雪車両が発進後、後ろを追うように除雪後の状況と、車両の位置が灯器に寄りすぎているか、車両同士の距離が適切かを確認し状況に合わせて、無線で各除雪車両に指示する。

4-2 意識

滑走路と誘導路は隊列を組んでいるので、お互いの位置や状況を把握しやすい。しかし、エプロンや取付誘導路は各除雪車両で行うので、把握しきれず、向かう場所を見失い、携帯電話で確認するということが起きやすい。

当社担当職員が除雪作業の完了していない箇所をあらかじめ把握しておけば、作業員からの除雪完了の無線と同時に次に向かう場所を指示することができる。

また、完了無線が無くても、次に除雪する場所を指示できるので、刻々と変化する除雪状況の進捗に対して、除雪車両の動きと進捗予測を常に意識しながら指示する必要がある。

5. 函館空港の気象(降雪量・気温・風速)

函館空港の周辺の降雪は、12月中旬から3月初旬

まで続く。路面は日の出前に急激に気温が低下するので、運航開始時間の少し前に凍結防止剤散布の指示が出たこともあった。

気温はそれほど低くはないが、風が強く、体感的にはとても寒く、防寒対策に万全を期す必要があった。

表-1は過去2年間の函館空港における気象データである。(気温・風速は降雪日平均)



写真-6 滑走路除雪状況(高速スノーパー)

6. 現場配慮事項

制限区域内の機械除雪は、灯器に近寄らないことを徹底し、手の空いた当社職員で危険な一部の灯器周りだけ除雪するなど、接触による灯器破損事故防止に努めた。

除雪監督者と写真撮影担当者を2班作り、昼夜交代で除雪作業を行い、体力面でも余裕を持たせ、不眠による判断力の低下や居眠り運転を防止した。

コロナ渦であったので、除雪作業員の待機場所を分散させ、蔓延防止とクラスター発生防止を徹底した。

万が一除雪関係者にコロナ発症者が発生しても濃厚接触者として抜けてしまう作業員がないよう分散を徹底した。

7. 最後に

除雪初年度は空港特有の条件のもと降雪、積雪状態の視界が悪いなかでの除雪ということで当社職員および協力会社作業員ともに慣れるまで灯器破損事故が発生した。2年目の除雪作業は経験による作業フローと管理するポイントが明確になったので、灯器破損事故は激減した。

最後に本施工に際し、ご支援、ご協力を頂いた全ての関係者に感謝の意を表す。

【参考文献】

- 1) 国土交通省航空局：空港土木工事共通仕様書、付録-4、V除雪作業方法等、令和2年4月

表-1 函館空港気象データ

項目	12月		1月		2月		3月	
	2020年	2021年	2021年	2022年	2021年	2022年	2021年	2022年
月間降雪日数 (日)	15	9	20	18	17	17	4	8
月間降雪率 (%)	48	29	65	58	61	61	13	27
日最大降雪量 (cm/日)	9	8	12	13	15	11	5	10
日平均気温 (°C)	-4.4	-3.5	-4.0	-2.9	-3.1	-1.9	1.2	0.7
日最低気温 (°C)	-8.5	-7.6	-8.8	-7.5	-7.0	-5.8	-1.8	-3.3
平均風速 (m/s)	4.6	5.1	5.0	4.1	6.1	56.0	4.5	4.2
最大平均風速 (m/s)	6.6	8.9	12.6	7.5	14.1	131.0	6.1	6.9

夜間通行止めによる中空床版の補修事例

宮崎 耀平*
松葉 将揮**

1. はじめに

中空床版は、高架橋の橋梁形式の一つで床版部分に多数設置された鋼製円筒型枠(以下、ボイド管)によって床版内部に空洞を有する構造の床版である。これによって桁の自重が低減され、さらに桁高を抑えられることで景観性にも優れた構造であり、経済性にも優れている。このような中空床版桁を用いた橋梁は、高速道路のみならず国道や県道においても多くの施工実績がある。

本文では、3日間の夜間通行止めで実施した中空床版の補修における課題とその解決策を報告する。

2. 工事概要

工事名：福崎高速道路事務所管内舗装補修工事
 工事区間：中国自動車道 佐用IC～吉川IC
 施工箇所：福崎第一IC高架橋
 発注者：西日本高速道路株式会社(NEXCO西日本)
 工期：令和3年6月9日～令和4年10月31日
 主要工種：切削オーバーレイ 36,397m²
 床版補修・防水 10,105m²



図-1 中空床版補修施工箇所(福崎第一IC高架橋)

3. 中空床版の補修に至った経緯

近年、中空床版橋において床版コンクリートの抜け落ちや路面陥没が発生する事例がある。これは、床版コンクリート打設時のボイド管の浮上りによる管上部の床版コンクリートの厚さ不足や、過去の舗装補修工事の切削によって床版コンクリートが繰返し削られたことが原因であると考えられている。

NEXCO西日本インフラ長寿命化計画の策定によるライフサイクル延長の一環から、当該路線におい

て発注者による床版調査の多配列地中探査レーダ検査が実施された。その結果、当工事区間内の福崎第一IC高架橋において発注者の規定値である床版厚さ100mmに対し79～89mmと規定値を満足していないことが判明した。

このような背景から当社は舗装工事の他、追加の工事として中空床版補修の施工を行うこととなった。

4. 施工内容

4-1 施工箇所

施工箇所は図-1に示すとおり本線から福崎IC出口への減速レーンに位置しているため、床版補修を車線規制で行うことは困難であった。そこで、当初からの予定であった夜間通行止め3日間の舗装工事期間中に合わせ床版補修工事を実施した。なお、通行止めは夜間のみであるため、日々の施工終了後の昼間は交通開放するという条件であった。夜間の10時間という限られた時間内の補修工事であることから、表-1に示す日毎の工程から目標を定め臨んだ。

表-1 日毎の工程表

1日目		2日目		3日目	
夜間	昼間	夜間	昼間	夜間	
20時～6時	6時～20時	20時～6時	6時～20時	20時～6時	
切削		切削		切削	
床版劣化部撤去		中空床版補修		防水	
仮舗装		仮舗装		基層・表層	
	交通開放		交通開放	工事終了	

4-2 施工フロー

施工の流れを図-2に示す。

(1) 1日目の主な施工内容

既設舗装の切削を行い、既設床版面を全て露出させた段階で、発注者による詳細な床版検査によって実床版厚さを測定した。図-3に示すとおり、想定されていた舗装表面からの測定値と実床版面からの測定値では差異があったものの、中空床版のボイド管の上部コンクリートを撤去する範囲を現地において決定し、既設床版表面の老朽化(はく離化)した箇所をウォータージェットによって除去し、中空床版上部の口開けをした。

中空床版の補修時間まではタイムスケジュール上、困難であり、上部開口部には鉄板を敷き、この鉄板

*大阪支店兵庫営業所 **同所工事主任

上に直接、仮舗装を行い交通開放した。

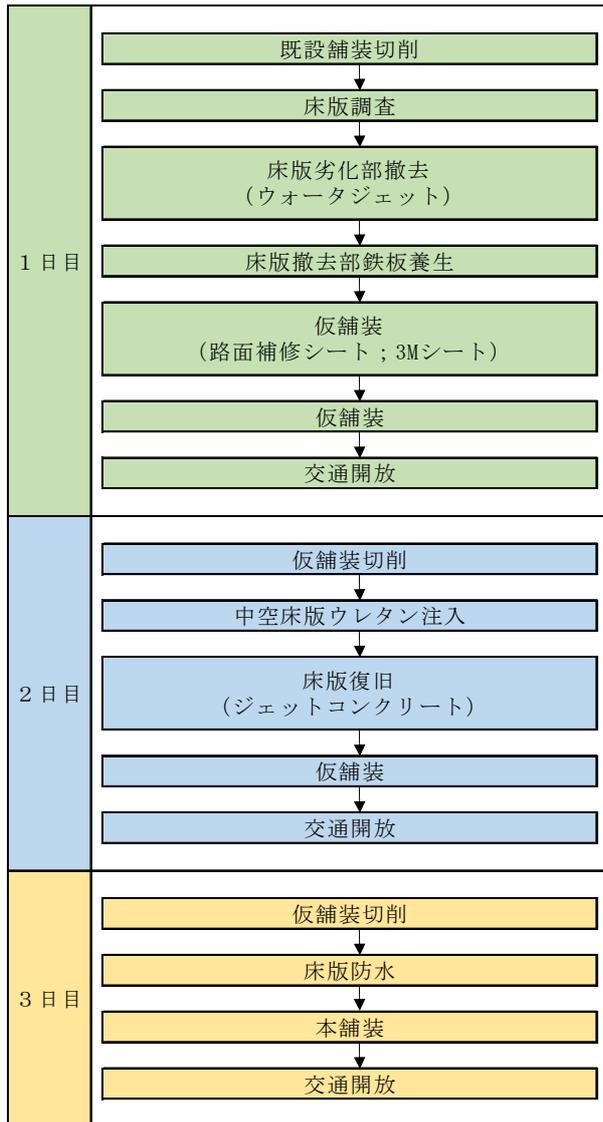


図-2 施工の流れ

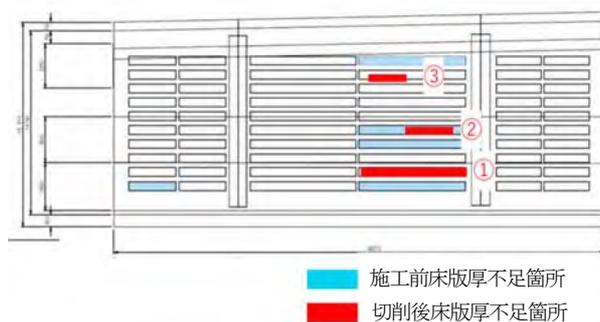


図-3 中空床版補修箇所範囲

(2) 2日目の主な施工内容

2日目の施工では、まず前日の仮舗装の切削ならびに敷き鉄板を撤去し中空床版の開口部を露出させる。

次に、写真-1、2に示すとおりボイド管の上部開口からウレタンの注入充填を行い、ジェットコンクリートを打設し床版の復旧を行った。

中空床版の補修および床版の復旧には時間を費や

し、床版防水および本舗装の施工は困難であることから、仮舗装まで施工して交通開放した。



写真-1 ウレタン注入状況



写真-2 ジェットコンクリート打設状況

(3) 3日目の主な施工内容

2日目の仮舗装を切削し、床版防水および本舗装を施工した後、交通開放となりすべての施工が完了となる。

5. 日々の交通開放における課題と解決策

工事による交通開放の遅延や交通開放後の不具合は絶対に発生してはならない。そこで、3日間の工程の課題を抽出して解決策を検討した。

5-1 鉄板上の舗装損傷の課題と解決策

(1) 課題

1日目の交通開放時に仮舗装が破損しないかが課題であった。これは、1日目の作業終了時に床版撤去後の開口部に敷設した鉄板上に仮舗装を行い、このまま交通開放を行うことによって、敷き鉄板の「たわみ」によって舗装に「ひび割れ」などの破損が発生しないかということである。

(2) 解決策

①鉄板のたわみ量の低減対策

ボイド管上部の開口部養生として写真-3のように敷き鉄板を設置するが、この鉄板自体の強度を「仮設構造物工指針」に基づいて、大型車の自動車荷重（輪荷重）を条件に鉄板のたわみ計算を検討した。なお、敷き鉄板厚さは22mmと25mmで検討した。

計算の結果、厚さ25mmの敷き鉄板のたわみ量は1.31mmで安全であると判断し、発注者の了承を得ることができ、厚さ25mmの敷き鉄板を使用した。



写真-3 鉄板敷設状況

②仮舗装の破損防止対策

仮舗装は敷き鉄板上に舗装しているのので、写真-4に示すとおり舗装した表面に柔軟性・耐久性のある合成ゴムをベースにした貼付式路面補修シート(3Mシート、NETIS:TH-120006-A)を敷設することで舗装の破損防止対策とした。

このシート表面にはすべり止め効果があり、安全であると判断し、発注者の了承を得ることができ、シートを使用した。



写真-4 路面補修シート施工状況

③補修施工班の待機

交通開放後の仮舗装の破損に備え、直ちに補修できるよう施工班を編成し、翌日の通行止め再開まで緊急時には早急に到着できるよう協力会社に待機し

てもらった。

(3)結果

2日目作業開始前まで多くの車両が走行したと思われるが、仮舗装の破損や不具合は目認されず、無事に供用できた。

5-2 中空床版補修の課題と解決策

中空床版の補修手順は、浮き上がったボイド管部の床版を適切な厚さで復旧するために、ボイド管の上部に新たな床版コンクリートを打設する。その際、ボイド管内へ打設したコンクリートの流入を防止するため、図-4に示すとおりボイド管内に埋設型枠として発泡ウレタンを注入充填する。

ウレタンは30kg/m³と軽量素材で、床版の自重の増加がコンクリートなど他の充填材より少ない。また、将来的な雨水の流入も抑制でき、中空床版ボイド管へのウレタン注入は、橋梁の長寿命化が期待できる工法である。

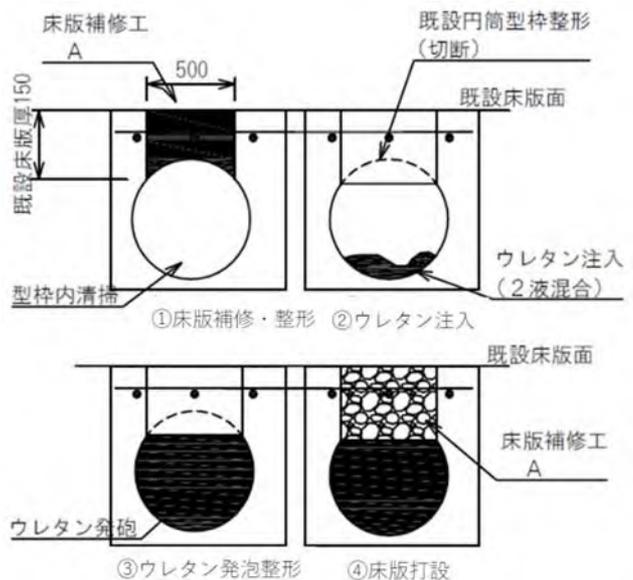


図-4 ボイド管施工ステップ図

(1)課題

ウレタン注入時の過度な膨張を抑制することが課題であった。ウレタンは膨張する性質があり、ボイド管内にウレタンを注入すると、膨張したウレタンが管の上部より高くなり、床版が断面欠損を起こし規定厚さを確保できなくなるという懸念があった。

(2)解決策

膨張したウレタンがボイド管の上部より高くないようにするため、ボイド管上の開口部に蓋をして強制的に膨張を押さえ込む方法を考えた。

押し込み蓋は、事前の試験施工では木製型枠としたが、ウレタンの充填状況が確認できなかったため、充填状況を「見える化」するため、透明アクリル板とフラットバーに改善した。さらに、フラットバー

には数カ所に削孔穴を設け、ウレタン注入時に噴出が確認できれば充填されたと判断することとした。

図-5に示すとおり、フラットバーを所定の床版厚さを確保できるよう番線で吊るし、フラットバー上のアクリル板は配筋を反力としてジャッキで緊張する方法によって施工に臨んだ。

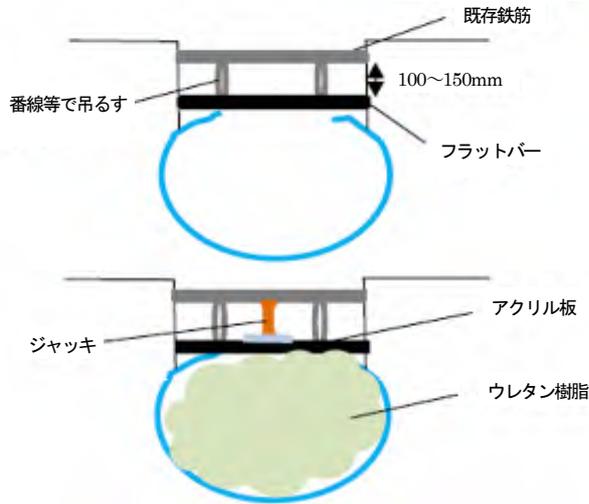


図-5 ウレタン注入概要図



写真-5 押さえ型枠設置状況

(3) 結果

ウレタン注入中は、床版厚さを確保するよう常に押さえ型枠の挙動を注視し、型枠が浮き上がってきたらジャッキの加圧を調整しながら修正し、慎重に

施工を行った。その結果、ウレタン注入箇所すべてで所定の床版厚さを確保することができた。

6. 今後の課題

中空床版補修の数量は切削後、床版を露出させ高精度な調査をしなければ明確にならない部分がある。

限られた時間内での資機材の調達や施工を行うには、あらかじめ補修数量を明らかにする手法が必要であると感じた。

7. まとめ

通行止め最終日の3日目は、前日までに補修を行った中空床版を切削で削ることのないよう、あらかじめ測定した床版高さをもとに慎重に切削を行った。

補修した床版に異常の無いことを確認した後、従来どおりの施工で床版防水と舗装を行い施工は終了し、規制時間内で無事交通開放することができた。

当該施工では、限られた時間内で中空床版内にウレタンを注入し、床版の自重を増加させることなく橋梁の健全性を回復させることができたと考えられる。

8. おわりに

夜間閉鎖で日々交通開放での中空床版補修は前例がなく、日毎のタイムスケジュールにおいても複数の代替え工程を作成し、いかなる事態が発生しても対応できるよう準備した。その結果、発注不具合や事故がなく本施工を完了できた。

今後、中空床版の補修は、橋梁の供用年数の増加に伴い増えていくものと考えられる。発注者においても、様々な補修方法が考案され試行されているところである。

この報文が、今後、少しでも既存技術の改良改善および新技術の研究・開発の参考になれば幸いである。

最後に、本施工にあたりご協力いただいた協力会社や本支店の関係各位に感謝の意を表します。

高速道路におけるコンクリート舗装版補修の施工事例

住本 和朗*
熊谷 宏**
野村 簾***

1. はじめに

東北自動車道の矢板・白河間の48.1kmは、1974年にコンクリート舗装を高速道路上で初めて施工した区間として全線が開通した。この区間は、切土区間が比較的長く、橋梁やボックスカルバートなどの横断構造物が少ない構造で、コンクリート舗装に適した区間であった。

開通から40年以上経過した現在、その区間のほとんどがコンクリート舗装上にアスファルト舗装が施工されたコンポジット舗装となっている。

コンポジット舗装は、高い耐久性によってメンテナンスコストを下げ、快適な走行性と修繕の容易さによって利便性を向上させ、ライフサイクルコストの縮減が可能となる舗装である。

しかしながら、長期供用したコンクリート舗装版は、外的要因などによって疲労・劣化し目地の応力伝達能力が弱まり、表層のアスファルト舗装の損傷に繋がる。

目地の応力伝達能力が低下した場合、一般的には局部打換えによって、目地部のコンクリート版を更新する方法が採用されることが多いが、その場合、交通開放までに時間を要する。そのため、NEXCOでは、既存の目地金物(ダウエルバー)を残置したまま、新たにその上部に目地金物を設置し、即日交通開放が可能な目地改良工を採用している。

本文は、東北自動車道矢板ICから白河ICまでの約47kmの上下線のコンポジット舗装で実施したコンクリート舗装版の目地改良工の施工と、その他の舗装工事における創意工夫の事例について報告するものである。

2. 工事概要

工事概要を以下に示す。

工事名：東北自動車道那須管内舗装補修工事
路線名：東北自動車道
工事場所：東北自動車道矢板IC～白河IC上下線
工期：令和3年6月2日～令和5年1月22日
発注者：東日本高速道路株式会社東北支社
工事位置：図-1参照



図-1 工事位置(Yahoo!地図に加筆)

3. 目地改良工

3-1 概要

(1) 標準断面

標準断面を図-1に示す。

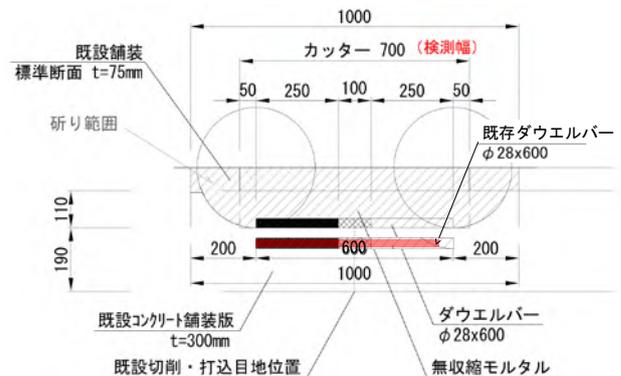


図-1 標準断面(目地改良工)

(2) 施工数量

施工数量を表-1に示す。

表-1 施工数量

施工箇所 (IC間)		コンクリート舗装版補修工		
		目地改良工A1 (箇所)	目地改良工A2 (箇所)	目地改良工B1 (箇所)
自	至			
矢板	矢板北	54	1	2
矢板北	西那須野	18	1	1
黒磯板室	那須	18	0	0
那須	那須高原	67	4	2
那須高原	白河	108	35	0
合	計	265	41	5

A1：収縮目地、走行車線 A2：収縮目地、追越車線 B1：膨張目地、走行車線

*東北支店栃木営業所工事主任 **同所工事主任 ***同所

(3) タイムスケジュール

タイムスケジュールは、先行カッター切断の有無によって、2パターンとした(図-3参照)。

	先行カッター無し	先行カッター有り
昼間規制時間(6:00~18:00)	作業時間(7:00~17:00) ... 4箇所施工	5箇所施工
昼夜間規制時間(12:00~24:00)	作業時間(13:00~23:00) ... 4箇所施工	5箇所施工
夜間規制時間(20:00~翌6:00)	作業時間(21:00~翌5:00) ... 2箇所施工	3箇所施工

※先行カッターが無しの場合

作業内容	先行カッター無し																					
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	12	13	14	15	16	17	18	19
安全ミーティング	■																					
本線規制		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
工事用車両搬入			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
位置出し・マーキング				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
カッター切断					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
As、Co取壊し						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
ダウエルバー設置							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
無収縮モルタル充填								■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
養生									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
工事用車両撤去																						
規制撤去																						

※先行カッターが有りの場合

作業内容	先行カッター有り																					
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	12	13	14	15	16	17	18	19
安全ミーティング	■																					
本線規制		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
工事用車両搬入			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
位置出し・マーキング				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
カッター切断					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
As、Co取壊し						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
ダウエルバー設置							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
無収縮モルタル充填								■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
養生									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
工事用車両撤去																						
規制撤去																						

図-3 タイムスケジュール

3-2 施工手順

施工手順を以下に示す。

①施工場所のマーキング

規定の寸法ピッチでダウエルバー埋設箇所をマーキングする(図-4参照)。

目地が無く、ダウエルバー埋設箇所が不明の場合、レーザー墨出機を利用して位置の確認を行う。

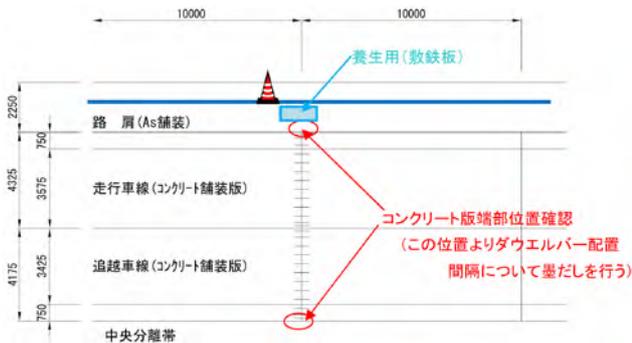


図-4 標準平面図

②切断工

マーキング後、ロードカッターでダウエルバー設置箇所を切断する(写真-1参照)。ロードカッターは、バキューム式を使用し、汚濁水が流れ出るのを防止する。切断深さはコンクリート天端から深さ120mmで切り、切断幅は1,000mmとする。

同一規制内でカッター切断箇所がある場合は、先行して切断を行う。

③As、Co舗装版の取壊し

大型電動ブレーカを使用して既設舗装版を取り壊す(写真-1参照)。取壊し底部は、平ノミを使用して、極力平坦に仕上げる。研り作業中は飛散防護ネットを使用し、作業員は防護メガネを着用する。



写真-1 カッター切断(左)、舗装版撤去(右)

④目地清掃工

既設舗装版の撤去後、掃除機・ウエス等を使用して目地部の清掃を十分に行う(写真-2参照)。

⑤ダウエルバーの設置

底部に調整モルタルを水平に敷きならし(図-5参照)、ダウエルバー(写真-2、3参照)を中央に設置する。

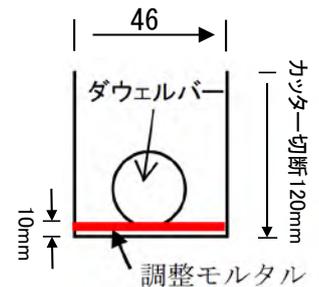


図-5 埋設部断面図



写真-2 撤去部清掃完了(左)、ダウエルバー(右)

⑥超速硬モルタルの打設

ダウエルバー設置後、既設アスファルト舗装表面まで超速硬モルタルを打設する(写真-3、4参照)。



写真-3 ダウエルバー設置(左)、モルタル混合(右)



写真-4 モルタル打設(左)、モルタル打設完了(右)

⑦養生(強度の確認)

超速硬モルタルの最終バッチで供試体を作製し、ポータブル圧縮試験機で圧縮強度を測定する。

圧縮試験の強度(24N/mm²以上)を確認後、交通開放する。

⑧片付け・清掃

作業完了後、施工箇所を清掃を行い、研り作業したAsやCoの破片が飛散していないか確認する。

3-3 品質管理

品質管理項目を表-2に示す。

表-2 品質管理項目

項目 種別	試験項目	試験方法	試験 頻度	規格値
超速硬 モルタル	交通開放 圧縮強度	JIS R 5201	施工毎	24N/mm ² 以上
	流動性	J14ロート	1回/日	8±2秒
	練上がり温度	温度計による	1回/日	標準・暑中 15~35°C 寒中 5~20°C

3-4 出来形管理

出来形管理は、既設アスファルトおよびコンクリート版を撤去後、ダウエルバー設置断面を計測した。

出来形管理項目を表-3に、出来形管理位置を図-5、6に示す。

表-3 出来形管理項目

測定項目	規格値	測定頻度
幅 (a)	設計値以上	全箇所
高さ (b)	±20mm	2点/箇所*
長さ (c)	設計値以上	全箇所
設置間隔 (d)	±20mm	全箇所

*ダウエルバー設置箇所の両端

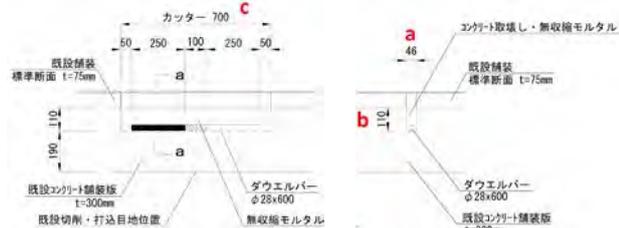


図-5 出来形管理位置図(a、b、c)

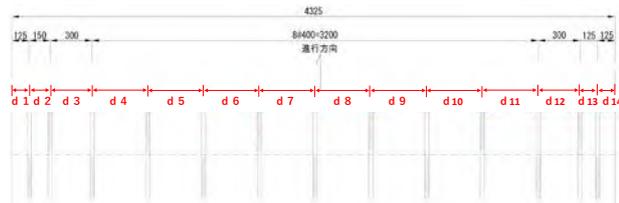


図-6 出来形管理位置図(d)

3-5 課題・問題点および解決策

(1) 舗装切断時の汚濁水の処理

舗装切断時に発生する汚濁水の処理方法が課題であった。この汚濁水については、現場内に設置した水タンクに一時貯留し、作業終了後に西那須野ICに設置した簡易濁水処理システム「ミニちんでんくん」によって汚泥と水に分離した。その後、汚泥は含水比調整した後に産業廃棄物として処分し、水はpH中和処理装置で中和してから排水溝へ放流した。

(2) 交通開放圧縮強度の確認

当該工法で使用する超速硬モルタルの交通開放圧縮強度は24N/mm²以上である。日々、交通開放のため、施工後直ちに圧縮強度を確認する必要があった。

この圧縮強度を確認する方法として、①施工箇所で簡易に実施できるシュミットハンマーによるものと②現場で供試体を作製しポータブル圧縮試験機による方法とを比較検討した。

シュミットハンマーによる方法では、モルタル打設箇所の幅が約50mmと狭いので、既設舗装の影響によって正確に強度を測定できない可能性があった。このため、ポータブル圧縮試験機による方法を採用した。

施工当日の最終バッチに製造したモルタルで供試体(φ50×h100mm)を作製し圧縮強度を確認した(写真-5参照)。その結果、最終バッチ施工後2時間で24N/mm²以上を確認でき、所定の時間内に無事交通開放することができた。

一例として、4月の圧縮試験結果を表-4に示す。



写真-5 ポータブル圧縮試験機による圧縮試験

表-4 超速硬モルタル圧縮試験結果(4月)

施工日	4/11	4/12	4/13	4/18	4/19	
外気温 (°C)	26.0	26.0	25.5	18.0	18.0	
水温 (°C)	26.0	25.5	25.5	18.5	17.5	
圧縮強度 (N/mm ²)	材令1h	24.1	24.1	26.0	15.3	17.1
	材令2h	30.3	28.8	31.0	25.3	29.6
交通開放	24.0以上					

4. 那須高原 SA の半たわみ性舗装

4-1 概要

那須高原SAの駐車マスの半たわみ性舗装は、施工範囲が駐車マス6箇所、およびスルーレーンが6箇所の計12箇所(12ステップ)に分かれており、各箇所でも母体アスコンの舗設1日、翌日セメントミルクの注入という工程で、夜間は交通開放しなければならなかった。なお、施工厚さについては、10cm切削後に半たわみ性舗装用混合物(20)を1層で施工するものであった。

4-2 課題・問題点およびその解決策

(1) 母体アスファルト混合物種別の変更

前術したように、母体アスファルト混合物施工後に交通開放しなければならなかったため、使用バイндаを当初設計のストレートアスファルトからポリマー改質アスファルトH型へ変更した。その結果、大型車駐車場でも最も懸念される骨材飛散抵抗性および耐流動性を向上することができ、未然に損傷を防止することができた。

(2) セメントミルクの流出防止

舗装の厚さが10cmであり、セメントミルク注入の際、施工継目から隣接箇所にセメントミルクが流出する懸念が生じたので、施工継目に事前にカッター切断を行い、そこに薄ベニヤを挿入して堰止め措置を行った。

これによって隣接箇所に流出することなく、施工

継目部の充填を確実に行うことができた。なお、施工継目は駐車区画ラインに合わせた。

(3) 新設半たわみ性舗装の角欠け防止

当該現場では、駐車マスの半たわみ性舗装を施工後、スルーレーンの切削オーバーレイ(高機能舗装Ⅱ型)を行う工程であった。この切削時に、駐車マスの半たわみ性舗装に角欠けが生じる懸念があった。角欠けした場合、その部分から高機能舗装Ⅱ型の骨材飛散が生じる可能性がある。

そこで、切削前に駐車マスとの縁切りとして、カッター切断を行った。その結果、駐車マスの半たわみ性舗装の角欠けを防止し、供用後の骨材飛散のリスクを大幅に低減することができた。

5. おわりに

当該工事は、2022年7月現在においてまだ施工中である。コンクリート舗装版補修工は全数量の約4/5を終えたところであるが、完了した箇所は良好な供用性状を有している。また、半たわみ性舗装についても、ひび割れや初期わだち掘れもなく、良好な路面性状を有している。

引き続き、安全や品質確保を最優先し、全工期を終えるまで、緊張感を持って取り組む所存である。

本文が、同様の施工内容の参考になれば幸いである。施工にあたり、多大な協力をいただいた協力業者、関東支店、および栃木営業所の関係者に対し感謝の意を表します。



写真-6 半たわみ性舗装完了全景

気泡混合土工法の施工事例

杉石 遥*

1. はじめに

2021年10月、一般国道18号線における歩道改良工事の歩道部の拡張工事の一環として、気泡混合土工法(Formed Cement Banking Method、以下FCB工法)の施工を行った。

本文は、狭小部における気泡混合土工法の実施例について報告するものである。

2. 工事概要

- ・工 事 名：R2国道18号牟礼駅入口交差点改良他工事
- ・工事場所：長野県上水内郡飯綱町大字普光寺地先
- ・工 期：2021年4月1日～2022年3月31日
- ・発 注 者：国土交通省関東地方整備局
長野国道事務所
- ・工事内容：軽量盛土工 138m³ほか

3. FCB工法の特長

軽量盛土工法は、一般的な盛土材料である土砂の3/4～1/100程度の密度の軽量な盛土材を用いる工法で、軽量な盛土材を用いることによって、土圧・底面への荷重の軽減を図ることができる。

軽量盛土工法の一つであるFCB工法は、セメント、骨材(砂質土)、水、および空気(気泡、写真-1)から構成される気泡混合軽量土を盛土材として用いる工法で、軽量性、流動性、自立性など、気泡混合軽量土の特長を活かし、軟弱地盤上の荷重軽減、橋台背面の土圧軽減等や、通常の土では施工が困難な場所

における盛土が可能な軽量盛土工法である。また、軽量であり側圧が小さくなることから、土留が容易で、流動性が高いため、狭小部への施工にも用いることができる。



写真-1 FCB工法に用いる気泡 (FCB研究会ホームページ)

4. FCB工法採用に至った経緯

現地が軟弱地盤であることから、当初工法はEPS工法(Expanded Poly-Styrol construction method、発泡スチロール土木工法)であった。

また、受注前での設計コンサルタントの照査成果の段階では、開放部についてはより経済的なコマ基礎工法+重力式擁壁、および狭小部はEPS工法の折衷案であった。

現地調査を行った際、既設のNTT埋設管の位置関係や車道掘削時の影響範囲、および最小要求底面幅の観点からFCB工法を採用するに至った。

工法を決定するうえでの要求性能と各工法の比較を表-1に示す。

表-1 要求性能と各工法の比較

工法	要求性能			最小底面幅	そ の 他
	鉛直支持力		一軸圧縮強さ 1kN/m ² 以上		
	通常時 38.93kN	地震時 25.43kN			
EPS工法	○	○	○	×	NTT埋設が支障となり、狭小部では最小底面幅2mを確保できない。 掘削時にNTT埋設に近接する。民家入のスラブ撤去の際に支保工が必要。
コマ基礎 + EPS工法	○	○	○	×	NTT埋設が支障となり、狭小部では最小底面幅2mを確保できない。 掘削時にNTT埋設に近接する。民家入のスラブ撤去の際に支保工が必要。 短い区間での伝面の変化を伴う。
FCB工法	○	○	○	○	最小底面幅1mを確保できる。 上記二種類の工法と比較し、掘削時の国道への影響範囲が小さい。先行充填を行うので、スラブ撤去の際には通常のカッターでの切断、揚重撤去が可能。 充填の際、狭小部に対し優位。

*関東支店群馬営業所

5. 施工

5-1 施工の流れ

FCB工法の施工フローを図-1に示す。

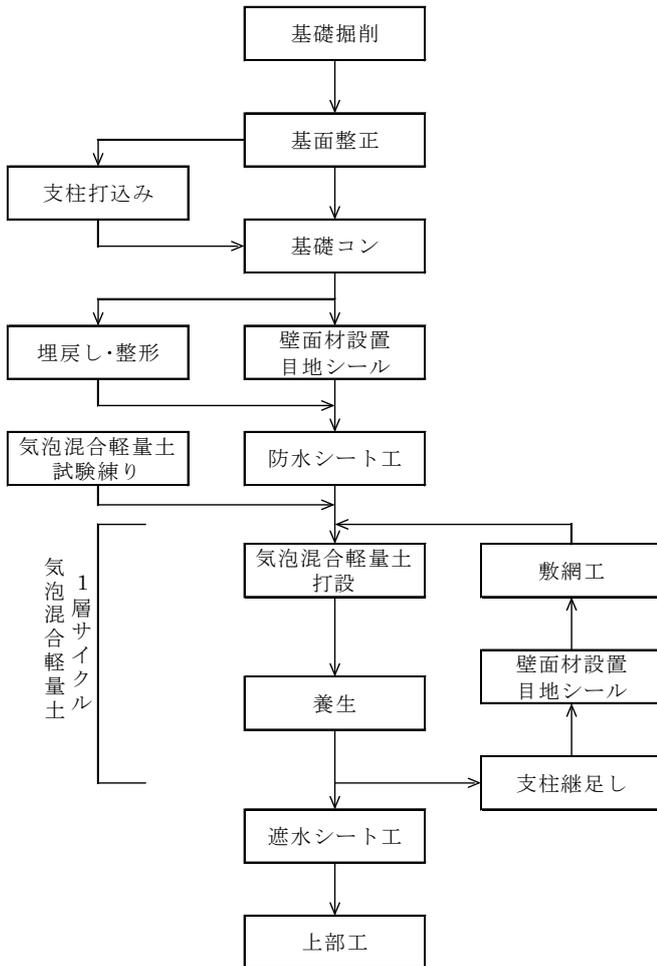


図-1 FCB工法の施工フロー

5-2 プラントの仮設

気泡を製造し、土と混合するためのプラントを写真-2に、プラントの諸元を表-2示す。

表-2 プラントの諸元

項目	能力	備考
フォームクリーター	プラントB	
気泡発生装置	発砲ノズル付き	
発電機	200V 75KVA	
コンプレッサ	25HP	
流量計	200A-80、900l/min	
組立水槽	4m ³	
水中ポンプ	2吋	
圧送ホース	2吋	

5-3 基礎工～支柱建込～残存型枠設置

当該工事でFCB工法を適用する工区は、国道と小段になっているA工区(写真-3)、民家の乗入れ口の地下空間となっているB工区(写真-4)、B工区と同様ではあるがより狭小なC工区(写真-5)から構成される。

残存型枠用の支柱建込は、A工区およびB工区は、従来工法であるコンポジットデルタ3工法(写真-6および図-2)を、C工区は狭小であり従来工法の適用が困難であったので、当社で検討し提案した小型H鋼支柱間にコンポジットパネルを落とし込む工法(写真-7および図-3)を採用した。



写真-3 A工区着工前



写真-2 プラント



写真-4 B工区着工前



写真-5 C工区着工前



写真-7 残存型枠(当社提案工法)

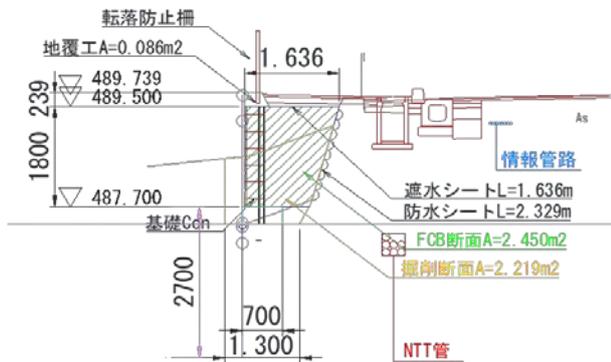


図-2 横断面図(コンポジットデルタ 3 工法)



写真-6 残存型枠(コンポジットデルタ 3 工法)

5-4 遮水マットおよび遮水シートの設置

軽量発泡盛土は水分に弱いので、周囲から水分が侵入することを防止するための遮水マットと遮水シートを設置した。

遮水マットの設置状況を写真-8に、遮水シートの設置状況を写真-9に示す。



写真-8 遮水マット設置状況



写真-9 遮水シート設置状況

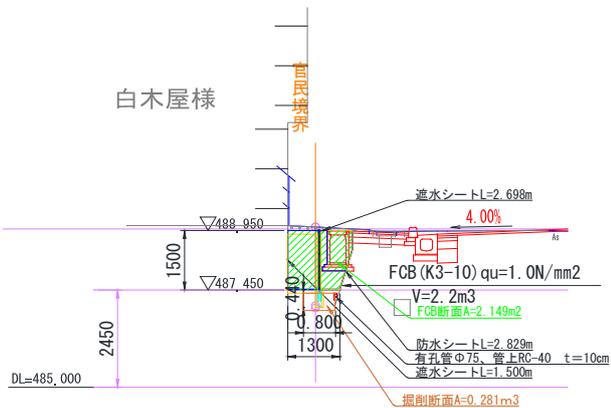


図-3 横断面図(当社提案工法)

5-5 軽量発泡盛土打設～天端遮水シート設置

各層、巻出し厚40～50cmで軽量発砲盛土を打設した(写真-10)。打設後、天端からの雨水の浸入を防止する措置として、遮水シートの設置を行った(写真-11)。



写真-10 軽量発泡盛土打設状況



写真-11 天端遮水シート設置状況

6. 品質管理

FCB工法の品質管理項目と方法を表-3に、フロー試験の状況を写真-12に、一軸圧縮試験の状況を写真-13に示す。

表-3 FCB工法の品質管理項目

管理項目	管理方法	頻度	管理基準
湿潤密度 (生比重)	重量測定法	2回/日 (AM・PM)	$\pm 0.1\text{g}/\text{cm}^3$
空気量	JHS 313	2回/日 (AM・PM)	$\pm 5\%$
フロー値	JHS 313	2回/日 (AM・PM)	180 \pm 20mm
塩化物含有量	JIS A 1144	1回/週 (AM・PM)	600g/m ³ 以下
圧縮強度	(作製) JHS117 (試験) JIS A 1216	1回/日 供試体5個	$q_u28 \geq q_{uk}$ および $q_u7 \geq 1/2q_{uk}$

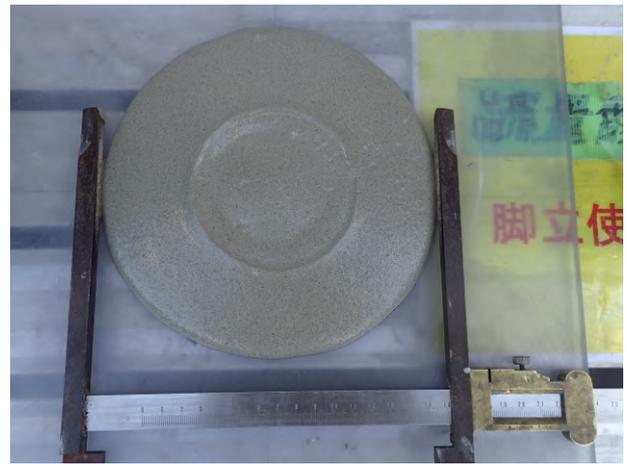


写真-12 フロー試験状況



写真-13 一軸圧縮試験状況

7. おわりに

FCB工法は、本来の大規模な基礎工や超狭小部の施工、および2m以下の底面部での施工の際は高い流動性や基礎工が人力施工で可能な点で有効である。

しかし、施工費用については、他の工法を上回ることが欠点である。そのため、今回のような安全性や特殊な条件が重なり、その性能を有効に発揮できた。



写真-14 完成全景

JR 近接箇所における軟弱地盤上の盛土の施工事例

梅枝 生起*

1. はじめに

国土交通省発注の道路改良工事において、JR軌道に近接する軟弱地盤沼地部で、盛土(盛土荷重載荷工法)が設計されていた。この工法は盛土後に圧密沈下を促進させ、収束後、次工程に移るものであり、経済性を考慮して採用されたものと考えられた。しかし、設計コンサルタントの圧密沈下解析結果によると、盛土施工後、圧密度90%に至るまでの日数が321日必要であるうえ、施工時にはJR軌道や国道の地盤沈下に伴う変状が懸念された。

上記工法は、圧密沈下の収束を前提とするので、日々路面の点検・補修を行う必要があり、路面沈下による交通事故も懸念された。また、当該現場では車線切替を2回行い、境界構造物と歩道の構築を施工する必要があったので、この沼地部へ盛土後すぐに仮舗装を施工し、車道として供用する必要があった。

本文では、この軟弱地盤への盛土に別工法を提案し、JR軌道や国道に影響を及ぼすことなく施工した内容について報告する。

2. 工事概要

工事概要は、以下に示すとおりである。

工事名：令和3年度 国道33号日下地区舗装外工事

工事場所：高知県高岡郡日高村

発注者：国土交通省四国地方整備局

土佐国道事務所

工事内容：道路改良工事

- ・土工事)掘削工750m³、路体・路床盛土1,230m³、法面整形210m²
- ・地盤改良工)路床安定処理120m²、置換工630m³
- ・擁壁工)プレキャスト擁壁168m
- ・石・ブロック積工)大型ブロック積238m²
- ・排水構造物工)側溝工1,457m、管渠工60m、集水柵工16基
- ・舗装工)本線車道舗装1,581m²、歩道舗装2,297m²切削オーバーレイ5,200m²
- ・縁石工)1,258m

工事施工範囲を図-1、断面図を図-2に示す。

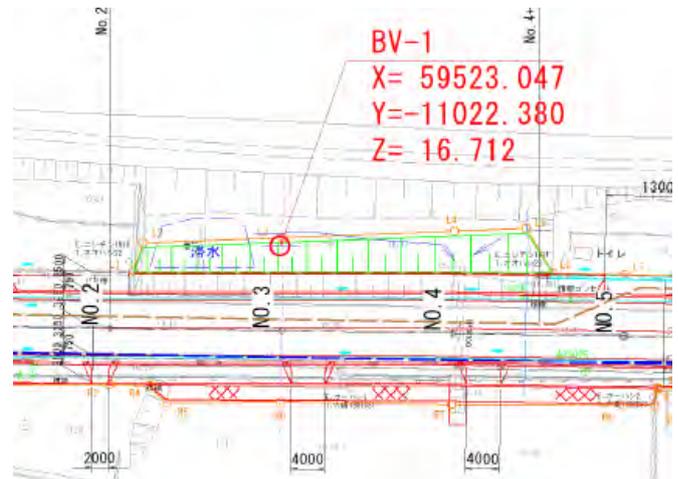


図-1 工事施工範囲(施工区間平面図)

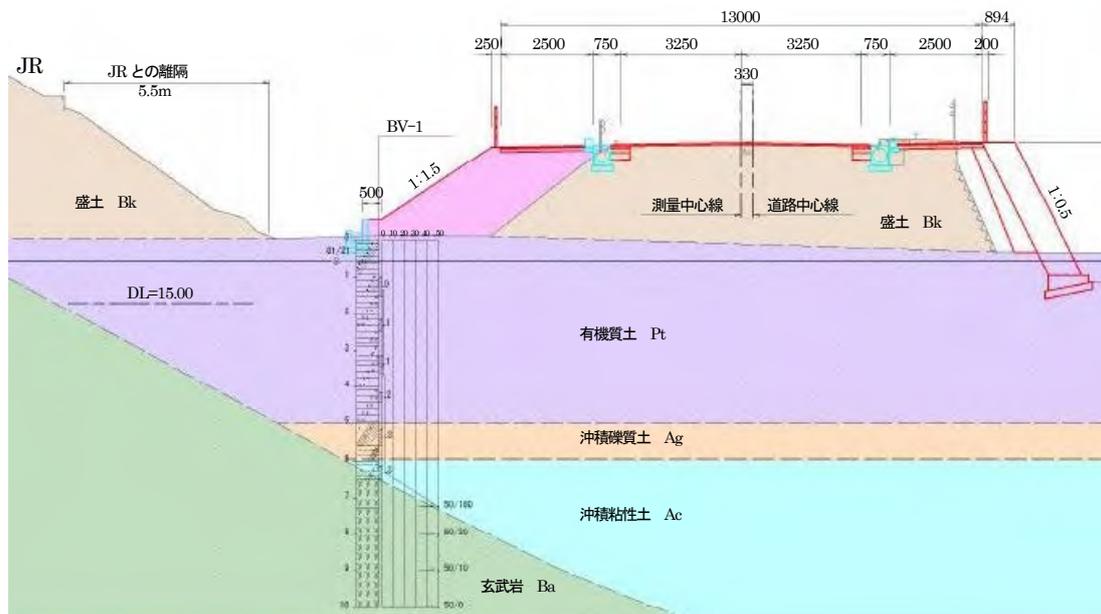


図-2 断面図

*四国支店高知営業所工事主任

3. 盛土の検討

3-1 現場条件

- ・施工盛土幅：約3.5m ・盛土高さ：約2.5m
- ・施工延長：約60m
(施工数量も少なく狭小で施工ヤードの確保が困難)
- ・国道の規制は夜間のみ可能
- ・隣接施設：JR軌道(軌道芯から7.5m付近)
- ・地表面から約6.5m付近までは、N値1~3の有機質土、粘性土が堆積している(表-1参照)。

表-1 標準貫入試験結果

深度(m)	地層区分	記号	10cm毎の打撃回数(回)			実測N値	採用N値
			0	0	0		
1.00 ~ 1.50	有機質土層	Pt	0	0	0	0	-
2.15 ~ 2.50			1	0	0	1	1
3.15 ~ 3.60			1	0	0	1	1
4.15 ~ 4.45			1	1	0	2	2
5.15 ~ 5.60	沖積操質土層	Ag	1	1	1	3	2
6.15 ~ 6.50	沖積粘性土層	Ac	0	1	2	3	3
7.15 ~ 7.33	強風化玄武岩	Ba	20	30/8	0	50	83
8.00 ~ 8.03	玄武岩	Ba	50/3	0	0	50/3	500
9.00 ~ 9.01			50/1	0	0	50/1	1500
10.00 ~ 10.00			50	0	0	0	買入不能

3-2 工法検討

前記の現場条件を踏まえ、以下の工法を抽出した。

①表層混合処理工法

- ・概要：生石灰・セメント系固化材などで改良し、トラフィカビリティの確保と支持力の増加を図る。
- ・メリット：JR側への影響は少ない。
- ・デメリット：国道の沈下が懸念される。3mの改良が必要となるので、バックホウによる混合は作業性が悪い。多量の固化材を使用するので、周辺環境への影響がある。

②矢板工法

- ・概要：国道側に矢板を打込み地盤の縁を切ることで、すべり破壊を防止する。
- ・メリット：国道への影響がほぼでない。
- ・デメリット：夜間片側交互通行規制が必要で、工事費が莫大となり、JR側の沈下も懸念される。

③軽量盛土工法(EPS工法)

- ・概要：発泡スチロールを用いた超軽量盛土をすることで土圧の低減を図る。

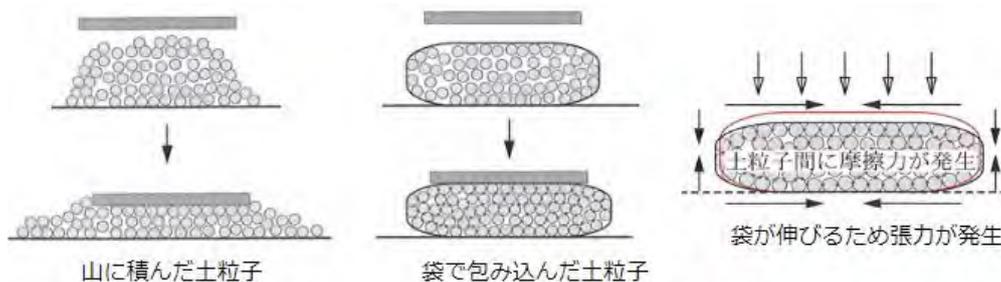


図-4 基本的な強度原理

- ・メリット：施工性に優れる。土圧が少ないので、地盤の変形が少ない。
- ・デメリット：沼地で浮力の影響が懸念される。タバコのポイ捨てなどによる火災発生の可能性がある。材料調達に時間を要し、材料費も高額となる。

④D・Box工法

- ・概要：透水性を有する特殊な土のう袋に定量の砕石を詰めたものを敷設し、地盤補強を図る。
- ・メリット：特殊な機械、技能を必要としない。周辺環境への影響がまったく出ない。振動低減、液状化防止などが期待できる。施工翌日から次工程に移ることができる。
- ・デメリット：土のうを作成するヤードが必要となる。施工現場までの運搬が必要となる。材料費が高い。施工実績が少ない。

上記工法で検討を行い(表-2参照)、当該現場ではD・Box工法を発注者に提案して承諾された。

表-2 工法比較表

	表層混合処理工法	矢板工法	軽量盛土工法	D・Box工法(採用)
施工性	×	×	△	○
環境影響	×	○	○	○
周辺地盤	×	×	○	○
工期	△	×	○	○
経済性	△	×	×	△
総合判断	△	×	○	◎

4. D・Box工法の概要・施工について

4-1 D・Boxの原理

袋に土を入れてから荷重を加えると、袋が扁平し伸ばされるので、袋全体に張力が発生する。その結果、土の粒子が内側に押し付けられ、土粒子間に摩擦力が生じ、この張力を付加応力として発生した粒子間の摩擦力という『のり』がD・Boxの基本的な原理である(図-4参照)。

4-2 振動低減のメカニズム

外部から振動が入力されると、ごく微量であるがD・Boxに変形が生じる。この時、内部の固化している粒子が動こうとするので、更なる摩擦力が発生する。振動エネルギーを摩擦エネルギーに変換することで、外部からの振動を弱める効果が得られる。

4-3 内部拘束効果

D・Boxには、中詰め材を内部から拘束し、耐圧強度や振動低減効果を増大する機能がある。これによって、地盤反力のない極めて軟弱な地盤に設置しても、強度を発揮することができる。

4-4 D・Boxの地盤検討・設計フロー

地盤検討を行う場合、土質データおよび構造物等が明確でなければならない。

- ・原位置試験：標準貫入試験、スウェーデン式サウンディング試験、土質区(粘性土、砂質土、礫質土等)
- ・土質試験：単位体積重量、粘着力、せん断抵抗角、変形係数、ポアソン比
- ・構造物：形状、鉛直・水平荷重、偏芯量、地盤反力

以上のデータを材料業者に提供し、解析を実施した結果、加圧貫入完了後の沈下量は、11.71cmであった。この段階で約90%以上の浅層圧密沈下を収束させることができた。

設計フローを図-4に示す。

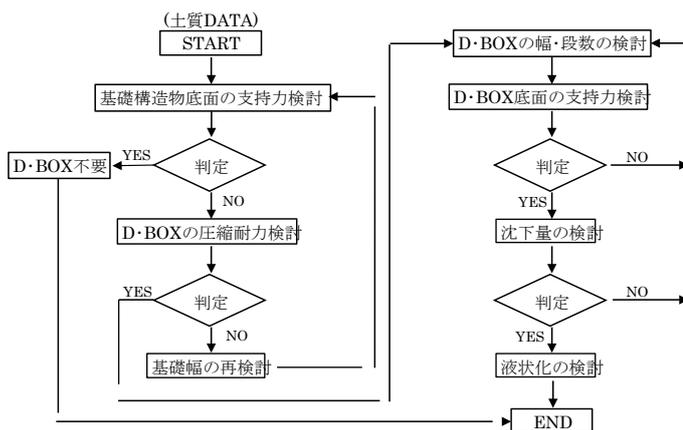


図-4 設計フロー

5. 施工方法(LS-100)

5-1 使用資機材

- ・バックホウ：0.25m³、1.7t吊り
(D・Box重量0.5t/袋)
- ・ダンプトラック：4t車
(製作場所からの小運搬に使用)
- ・ランマ：60～80kg
(当該現場では搭乗式4t振動ローラを使用)
- ・前後進振動コンパクタ
(当該現場では搭乗式4t振動ローラを使用)
- ・製作用型枠：100cm×100cm×26cm
- ・鉄板：5×10(1524mm×3048mm)
- ・単管パイプ：L=1.2～1.5m
(D・Box吊りフック貫通用)
- ・透水シート：ポリプロピレン
引張強度1.85kN/5cm以上
- ・中詰め材：投入量0.25m³/袋
(当該現場では単粒砕石20-30mmを使用)

5-2 施工の流れ・施工方法

①測量・資材・機材の準備

施工場所で製作ヤードが確保できない場合は、別途、施工ヤードが必要となる。

②掘削・床付け

解析結果から求められた貫入量を見込んで、上げ越しに設定する。過度の排水は避ける。

当該現場は、沼地であり機械が進入できず、盛土区間であったので、床付け高さの設定は行わなかった。

③D・Boxの製作(初日は技術指導を受ける)

- ・製作用型枠組立

型枠内高は、D・Box規格寸法+10mmとする。コーナー部の型枠接合は、ビスやボルト止めし、強固に接合する。側面は変形しないよう鋼材、鋼管等で補強する。型枠底面は水平面に設置される条件で省略できる。

表-3 中詰め材の選定

本設工事	単粒：20-30mm	軟弱地盤、超軟弱地盤、地下水位のある地盤
本設工事、仮設工事	C40-10、C40	本設工事：C40-10、仮設工事：C40(細粒分・砂分を除く)
仮設工事	RC40(再生砕石)	セメント分、鉄くず、泥分(粘土)、細粒分(ゼロ分)等を含まない
	【適切な単粒材およびC40材】	【適切なRC40材】
		
		【使用してはならない砕石】
		
中詰め砕石の粒度		細粒分・砂分が多く不合格

※仮設工事であっても、軟弱地盤、超軟弱地盤、地下水位のある地盤では、単粒：20-30mmミックスが望ましい。



専用型枠内に D・Box をセット



砕石投入(2~3層)



型枠天端まで投入



D・Box の中蓋を閉じる



D・Box の上蓋を閉じる



吊りフック～脱型

写真-1 D・Box の製作

④D・Boxの敷設

- ・敷設位置を確認し、順次D・Boxを先行して任意数量を並べる。
- ・敷き並べた順番にバックホウの背面で加圧する。

- ・バックホウに続き、ランマで締め固める。袋中心から渦巻き状に1~2周で袋の生地を伸ばすように締め固める。
- ・透水シートを敷設する(噴泥防止用)シートの重ね幅は、25cm程度とする。



写真-2 敷設状況



写真-3 バックホウによる加圧状況



写真-4 ランマによる締め固め状況



写真-5 敷設完了



写真-6 透水シート敷設状況



写真-7 施工状況

⑤平板載荷試験

D・Box上に構造物を構築する場合は、平板載荷試験を実施する。当該現場では盛土であったので、敷設直後に盛土を行いながらD・Boxの敷設も並行して施工した。

6. まとめ

今回、D・Box工法を採用したことで、JR軌道への影響も与えることなく、盛土施工後の沈下量も想定範囲内であった。

周辺環境に影響を及ぼさず、かつ、一度の施工で複数の効果(地耐力向上、振動低減、液状化低減等)をもたらすD・Box工法のコストパフォーマンスの高さは注目に値する。



写真-8 完成写真

トンネル中央排水工の施工事例

有馬 正光*
大森 大介**

1. はじめに

三遠道路は国道474号三遠南信自動車道の一部を構成するもので、沿線地域の交流促進、連携強化、高速サービスの提供、災害に強い道路網の構築、地域医療サービスの向上を目的とした事業である。

当該工事区間は、鳳来峡IC～東栄IC区間内の3号トンネル(延長3.6km)の内、約900mであった。当該区間の地下排水工事が未施工であり、発注者から当該工事においてすべて施工したいとの要望があった。

本文は、トンネルの中央排水工の施工事例について報告するものである。

2. 工事概要

- ・工事名：令和2年度三遠道路3号
トンネル東栄地区舗装工事
- ・工事場所：愛知県北設楽郡東栄町三輪
- ・発注者：国土交通省中部地方整備局
浜松河川国道事務所
- ・工期：令和3年5月10日～令和4年3月18日
- ・工事内容：連続鉄筋コンクリート舗装 8,160m²
その他一式

3. トンネル中央排水の概要

3-1 トンネル中央排水概要

トンネル湧水処理は、中央排水方式による地下排水工を標準とし、湧水の有無に関わらず全区間に設置する計画であった。材質は、高密度ポリエチレン管(有孔管)を用いるものであった。

インバートのある区間は、原則としてインバート上部に設置するものとし、インバート施工時に湧水が多い場合は、インバート下部に排水工を設けることを検討した。

中央排水工の勾配は路面の勾配に合わせることを原則とし、最小0.3%とした。また、埋戻し土は単粒砕石(S-30)とした。

3-2 トンネル中央排水掘削工法変更協議の概要

中央排水の施工において、通常のブレイカ併用による掘削では、工期内に舗装を完了させることが困難であった。そのため、様々な工法を比較検討した(表-1参照)。その結果、トレンチャーと呼ばれる溝掘削専用の機械を用いた「トレンチャー工法」を提案し、発注者と協議を行った。

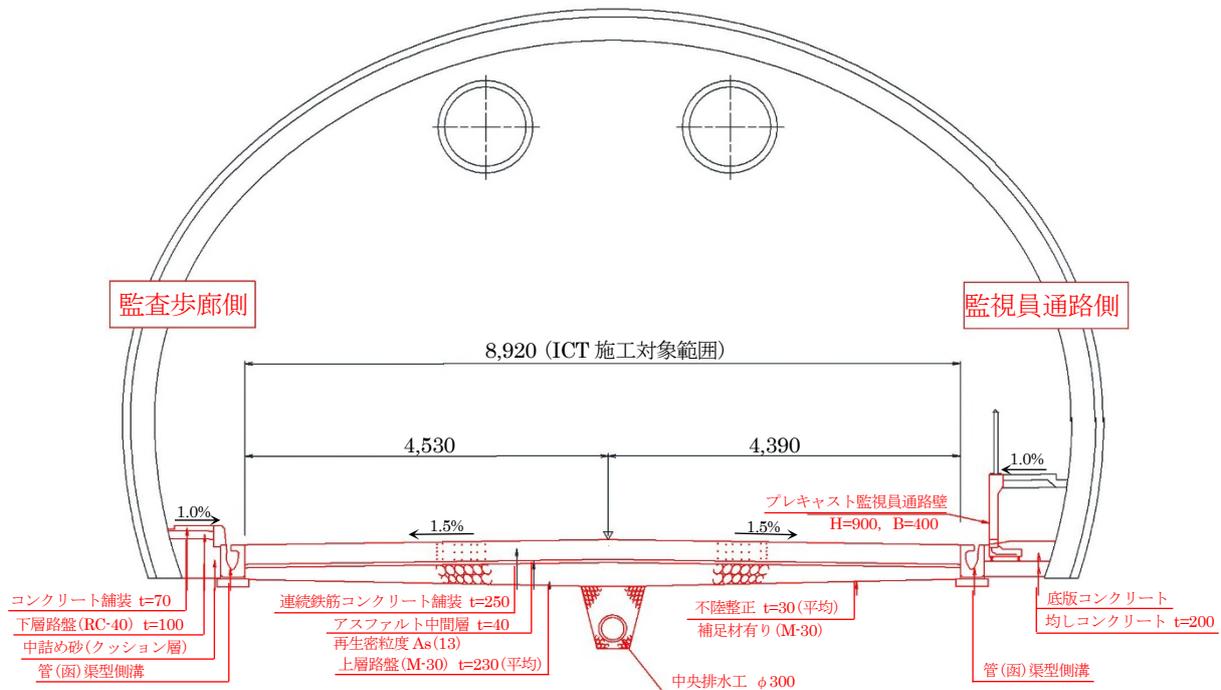


図-1 標準横断面図(イメージ)

*中部支店浜松営業所工事主任 **同所工事長

表-1 工法比較検討表

工法		①	②	③	④	⑤
		発破工法	割岩機工法	静的発破剤	ブレーカ工法	トレンチャー工法
概要		穿孔した孔に火薬を装填し、その爆発によって岩石を破砕する工法	穿孔装置で孔を開け、その孔に油圧クサビを挿入し、岩盤を割岩する工法	穿孔した孔に薬剤を充填し、膨張圧によって岩石を破砕する工法	バックホウに油圧ブレーカを取付た、無発破工法では一般的な破砕工法	トレンチャーと呼ばれ、溝掘削に特化した重機を用いて必要最小限の溝を掘削する工法
一般的な使用機材		・クローラドリル(穿孔) ・火薬類 ・ブレーカ(二次破砕)	・クローラドリル(穿孔) ・火薬類 ・ビッガー	・クローラドリル(穿孔) ・膨張剤(薬剤) ・ブレーカ(二次破砕)	・ブレーカ	・トレンチャー
検討事項	作業性 (概算施工量) ※岩種・深さ 条件による	火薬の取扱いに注意が必要で、有資格者(発破技士)による作業となる (50m ³ /日)	自由面を作り、穿孔して割岩していくので、作業に時間を要する (30m ³ /日)	火薬類に比べ取扱いは容易だが、一般的に薬剤充填後10時間程度の反応時間を要する (30m ³ /日)	岩質によって施工性は変動するが、他の工法よりも遅い (20m ³ /日)	必要最小限の掘削幅で施工でき、施工ロスが少ない (70m ³ /日)
	小規模掘削 (狭小)	溝状での発破は困難で、掘削影響範囲が大きくなる可能性がある	自由面が少なく、割岩効率がよくない。掘削深さが浅い溝状の割岩で、選考作業に時間を要する	溝状での発破は困難で、掘削影響範囲が大きくなる可能性がある	狭小部の岩粉砕には適しているが、掘削面が広くなり、施工ロスが大きい	溝掘削専用の重機である
	二次破砕	発破後は、他工法による二次発破粉砕が必要となる	穿孔感覚にもよるが、割岩した岩はブレーカ工法等によって小割する必要がある	膨張剤の効果によって発生したクラックに沿って二次破砕を行う必要がある	他工法による二次破砕の必要はなし	二次破砕の必要はなし
	安全性	火薬の取扱いに注意が必要。発破時・二次破砕時に破片の飛散の可能性がある	重機の近接作業とビッカーを穿孔へ挿入する際の手元作業を有する	二次破砕時に発生する破片の飛散の可能性はある	破砕した破片の飛散の可能性はある	掘削から積込みまでをトレンチャーで行うので、重機の近接作業は少ない
	周辺環境 (騒音・振動)	発破時の振動および騒音と、二次破砕時に粉塵・騒音が懸念される	ビッカーはほぼ無音であるが、二次破砕時の粉塵・騒音が懸念される	薬剤発破は無音であるが、二次破砕で粉塵・騒音が懸念される	連続的な騒音と粉塵が懸念される	重機の数も少なく、施工時の振動は少ない
	費用	特殊機械、資材はなく安価である	施工編成が他機種となる	膨張剤が高価で、二次破砕用の重機も必要となる	一般的な重機およびアタッチメントの組み合わせで施工が可能である	特殊機械で、使用損料および消耗品(ビット)が高価である
評点		5	9	6	11	14

また、トレンチャー工法で施工を行う場合、当初設計断面では施工が不可能であるので、施工断面についても変更協議を行った。(図-2)

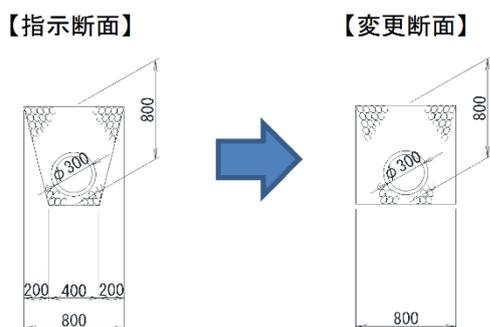


図-2 変更断面図

3-3 トンネル中央排水変更工法概要

中央排水変更工法について以下に示す。

- (1) 使用機械：硬質地盤対応溝堀機「トレンチャー」
- (2) 日当たり施工量：約80m/日(想定)
- (3) 適用範囲：インバート無し区間(L=1,585m)
- (4) トレンチャー工法のメリット
 - ① 在来工法で苦手とする岩盤(1枚岩・砂岩)などに対し、掘削能力に秀でる。
 - ② 管敷設に要する掘削量(断面・m³)を必要最小限に抑えることが可能である。

- ③ 掘削量が最小限であり、その後の管敷設に拘わる碎石など埋戻し材料が軽減できる。
- ④ 既設構造物に配慮する必要がある場合、火薬を使用しないので、安全である。
- ⑤ 在来工法を比較して、高周波の騒音ならびに振動が出にくい。
- ⑥ トレンチャーの機種を選定することによって、トレンチャー付属のベルトコンベアによる掘削ズリを直接ダンプに積込できるので、バックホウ積込みによる接触事故の懸念がない。



写真-1 使用機械「トレンチャー」

4. 中央排水の施工

4-1 施工フロー

中央排水施工順序を以下に示す。

(1) 機械搬入・組立

本体・部材をトレーラによって搬入し、25tラフタークレーンによって組立てる。(写真-2)

(2) 準備工

掘削箇所に水糸・スプレーでマーキングをする。

(3) 掘削

トレンチャーによって所定の深さまで掘削を行う。掘削土はL側に仮置きする。粉塵・騒音対策として、防塵マスク・耳栓を着用し施工を行う。また、ジェットファンを設置し空気の循環を図った。(写真-3)

(4) 配管

フィルター層を所定の厚さで敷ならし、高密度ポリエチレン管を敷設する。(写真-4)

(5) 埋戻し

配管の接続がされていることを確認し、単粒砕石に埋め戻す。

(6) 機械解体・搬出

25tラフタークレーンによって機械分解し搬出する。

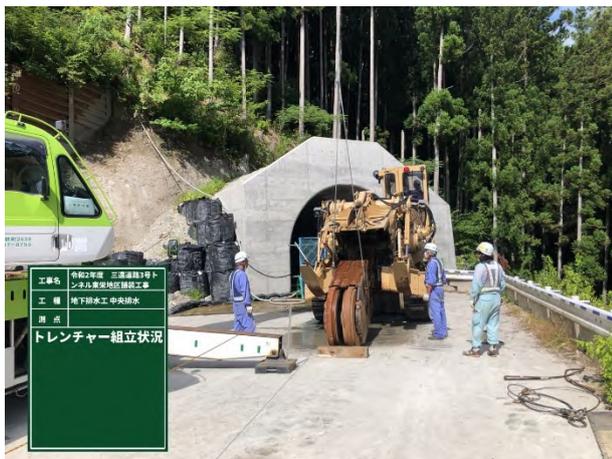


写真-2 機械組立状況



写真-3 掘削状況



写真-4 配管状況

4-2 課題と解決策

(1) 掘削作業にともなう粉塵発生

トレンチャー工法で施工を行うと粉塵が発生し、他作業の作業環境が悪化する。粉塵については、完全に抑制することが不可能なことから、中央排水の施工時間を夜間作業(施工時間18:00～翌6:00)とすることを発注者と協議し変更した。(写真-5)



写真-5 坑内粉塵状況

(2) 岩質変化に伴う施工量低下

岩盤が非常に硬質で、進捗が想定より大幅に低下した。そのため、シュミット式ハンマー試験・簡易弾性波試験を実施し、発注者に土(岩)質の変化に伴う段階確認を立会で行い、歩掛変更の了承を得ることができた。(写真-6)

(3) 掘削にともなう濁水の発生

当該工事施工範囲の湧水等は、トンネル両端に施工された素掘り側溝によって排水処理されている。掘削作業によって濁水が発生し、既存中央排水管へ土砂が流出し、堆積することや河川への濁水流出が懸念された。そのため、発注者と協議して、簡易濁水処理施設を設置し、河川への濁水流出防止に努めた。(写真-7)



写真-6 掘削断面



写真-7 簡易汚水処理施設

5. まとめ

今回のように工程に大きな影響を与える追加工種については、発注者にも同様の認識を持ってもらう必要がある。そのために現場条件等の変化があれば、その都度、発注者と協議して、工程の遅れ等を防がなければならない。

当該工事は、中央排水の施工と他作業の同時進行であり、日々の作業調整を綿密に行った。その結果、他工種作業については、中央排水の施工の影響をほぼ受けることなく施工でき、舗装工程も遅らせることなく工事を完了できた。(写真-8)

また、発注者からも高い評価をいただくとともに優良工事施工者と優良工事技術者として、監理技術者が表彰されることが現場従事者一同、大変うれしく思う。

6. おわりに

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、当該工事にご協力いただいた関係各位に感謝の意を表したい。



写真-8 完成写真

社 外 発 表

プラントミックスタイプのRC床版用改質グースアスファルト混合物の開発

大林道路（株）技術研究所 正会員 ○上地 俊孝
 同上 正会員 滝井 陵太
 本店 技術部 正会員 下館 鎮

1. はじめに

RC床版の高性能塗膜系床版防水と同等の防水性を有しつつ、道路規制上の制約を緩和した工法としてRC床版用改質グースアスファルト混合物¹⁾が開発されて以降、他の機関でも同様の混合物が開発されている。しかし、既存の技術はいずれも専用改質アスファルトを使用したプレミックスタイプの技術であり、プラントミックスタイプの技術は見うけられない。一方で、ポリマーで改質したグースアスファルト混合物はクッキング時間の経過とともに“アスファルトの劣化”と“ポリマーの劣化”、“ポリマーの分散”が同時進行する複雑な形態であり、またクッキング時の実機製造環境を室内で再現することが難しいことから、場合によっては配合設計から実機製造で混合物性状が低下する事例がある。このような事例に対して、プラントミックスタイプの技術は、ポリマー添加量の増減で容易に品質の調整が可能であり、合材工場レベルでより幅広く実機製造品の品質を担保できるメリットがある。

本報では、筆者らがこれまで研究開発してきたプラントミックスタイプの改質グースアスファルト混合物（以下、従来改質グース）²⁾をRC床版に適用できるよう、通常トレードオフの関係である“施工温度の低減”と“耐流動性の改善”の両方に取り組んだ結果を報告する。

2. 開発コンセプト

開発する混合物（以下、開発混合物）の目標性状を表-1に示す。開発混合物は従来改質グース同様、一般グレードのポリマー改質アスファルトII型をベースアスファルトとし、プラントミックスで改質することとした。

3. 開発フロー

開発フローを図-1に示す。従来改質グースの性状は、220°Cのリュエル流動性（以下、リュエル）が15秒、動的安定度（以下、DS）が600回/mm程度である。今回設定した目標性状を満足するためには、従来改質グースのリュエルとDSを併せて向上する必要がある。以下に開発フローの詳細を示す。なお、開発フロー①②ではリュエルが15秒となる温度（施工温度）を評価指標として用いた。

① 従来改質グースから総バインダ量*1・ポリマー量*2を変更し、リュエルとDSの関係が向上する配合を検討した。

*1 “総バインダ量”は混合物に対する（アスファルト+ポリマー）の質量分率

*2 “ポリマー量”は総バインダ量に対するポリマーの質量分率

② 仮配合でポリマーの種類を再検討し、従来のポリマーよりリュエルとDSの関係が良好なポリマーを選定した。

③ 決定したポリマーでアスファルト量・ポリマー量を追加検討し、2配合を室内決定配合とした。

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

4. 骨材配合割合の設定と使用ポリマー

従来改質グースを配合設計し、標準粒度範囲の下方粒度を骨材配合に採用した。合成粒度曲線を図-2に示す。また、目標性状を満足すべく、従来グースとは別の耐熱性に優れた新たなポリマー3種類(A~C)についても検討した。

キーワード 改質グースアスファルト、プラントミックス、RC床版

連絡先 〒204-0021 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 FAX 042-495-6801

表-1 開発混合物の目標性状

試験名	試験方法	目標値
リュエル流動性試験	舗装調査・試験法便覧 C002	3~20秒 (混合物温度180°C)
ホイールトラッキング試験	舗装調査・試験法便覧 B003	1,000回/mm以上

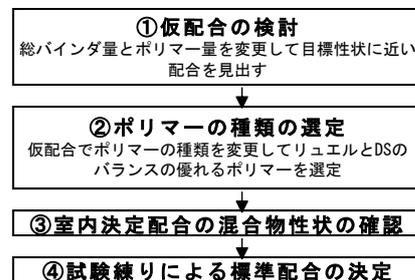


図-1 開発フロー

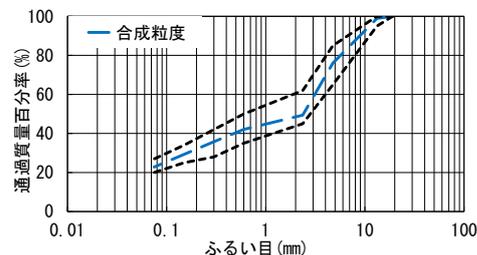


図-2 合成粒度曲線

5. 実験結果と考察

5.1 仮配合の検討

仮配合の検討結果を図-3 に示す。従来改質グース（総バインダ量 8.3%,ポリマー量 5.0%）から総バインダ量とポリマー量を共に増やすことでリュエル,DS の関係性が良好になり目標性状に近づくことを確認した。このため、次の「5.2 ポリマー種の選定」で使用する仮配合を総バインダ量 12.1%,ポリマー量 11.1%とした。

5.2 ポリマーの種類の選定

仮配合でポリマーの種類を検討した結果を図-4 に示す。リュエル,DS の関係性が良好な順にポリマーA,従来品,ポリマーB,ポリマーC（DS 測定不可）であった。このため、ポリマーA を採用した。

5.3 室内決定配合の混合物性状

ポリマーA で総バインダ量,ポリマー量を追加検討し目標の性状値を最低限満足する「配合①」（総バインダ量 11.5%,ポリマー量 14.0%）と、目標性状を大きく上回る「配合②」（総バインダ量 12.0%,ポリマー量 16.0%）を室内決定配合とした。配合①,②の混合物性状を表-2 に示す。

5.4 試験練りによる標準配合の決定

室内決定配合について試験練りを実施した。試験練りでは実機製造時の混合物性状および、クッキング時間の経過に伴う性状の変化を確認した。クッカ車のクッキング設定温度は、高温時のリュエルを得るため 190℃とし、クッキング 0.5・1.0・3.0・5.0 時間でサンプリングした。

試験練り混合物の性状試験結果を表-3 に示す。リュエルは配合①, ②共に目標値を満足していた。一方で室内配合と比較すると配合①は値が小さくなり、配合②はわずかに値が大きくなった。DS は配合①,②共に室内検討時と比べ 30%程度低下しており、配合①は目標値を満足せず、配合②は満足していた。曲げ破断ひずみについては鋼床版グースの目標値（ 8.0×10^{-3} 以上）をどちらも満足しており、曲げ特性に問題は無いといえる。以上の結果から配合②がすべての目標性状を満足していることから、配合②を本混合物の標準配合とした。

クッキング時間と DS の関係を図-5 に示す。0.5~5.0 時間で DS がほぼ一定であり、クッキング 5 時間までは性状が安定していることが分かった。また、リュエルについてもクッキング 1.0~5.0 時間で変化は見られなかった。

6. まとめ

今回の検討により、目標とする性状を有する耐久性に優れたプラントミックス型改質グースアスファルト混合物を開発した。今後は、製造方法の違い(室内と実機)による DS 低下の解明と対策の検討,防水性関連項目の評価,試験施工による施工性の検討を実施し、技術の確立を目指す所存である。

【参考文献】

- 1) 田中敏弘, 鎌田修, 丸山陽, 床版防水性能を有する橋面舗装の開発, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), 2016, 72 巻, 3 号, p. I_69-I_75
- 2) 菅野善次郎, 下館鎮, 今村教雄他, 改質グースアスファルト混合物の性状と施工事例, 舗装, 2016-03, 51(3), 14-18

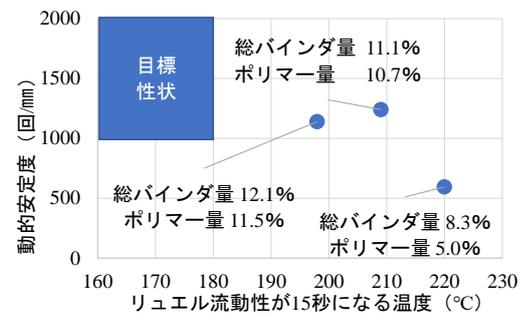


図-3 配合別のリュエルと DS

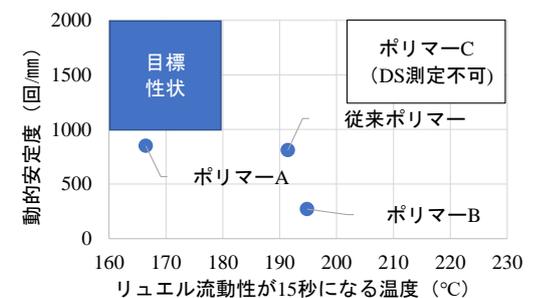


図-4 ポリマー別のリュエルと DS

表-2 室内決定配合の混合物性状

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

表-3 試験練り混合物の性状試験結果

水準	クッキング時間 (h)	リュエル流動性		動的安定度 (回/mm)	曲げ破断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	
		温度 (°C)	流動性 (秒)			
配合①	試験練り	3	180	9.0	881	9.7
	室内配合	2	180	16.3	1230	-
配合②	試験練り	3	180	11.4	1110	11.2
	室内配合	2	180	9.1	1640	13.9
目標値		-	180	3~20	1000以上	-

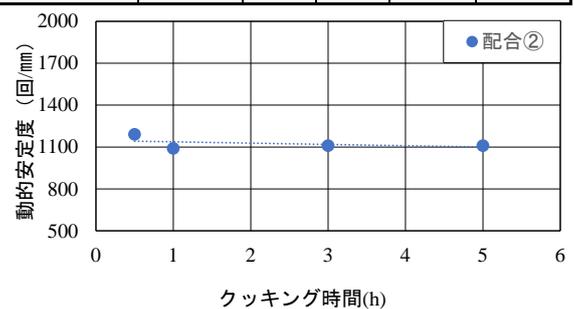


図-5 クッキング時間と DS の関係

環境に配慮した土系舗装材の開発

大林道路(株) 正会員 古谷野 拓 ○
 大林道路(株) 正会員 藤井秀夫 ○
 足利大学 正会員 中村 航 ○
 奈良女子大学 根本哲夫

1. はじめに

高耐久かつ環境にやさしい土系舗装を目標にその研究・開発を行い、試験施工によりその性能を評価した。高耐久の評価は車両通行可能な強度を持つものとした。環境にやさしいとは、セメントや樹脂などを使用せず、舗装撤去粉砕後の土が、環境省の定める土壤環境基準(環境庁告示第46号)を満足するものとした。

2. 固化材と添加剤の決定

(1) 固化材と助剤の決定

セメントを使用せず強度向上が期待できる固化材を、既往の論文¹⁾を参考に検討した。土は茨城県産の真砂土を使用した。検討した固化材に強度向上を期待して助剤を加え、各配合の一軸供試体を作製した。

混合物は、土と固化材、助剤を1分30秒間空練りし、目標スランプフロー値5.5cm程度になるまで加水しながら、3分30秒間混練するという手順で製造した。混合物をφ50mm×H100mmの鋼製型枠に充填し、室温20°C、湿度60%の条件下で4日間気中養生し、その後3日間水浸養生した。強度試験結果を表-1に示す。強度は、表乾状態の供試体を土の一軸圧縮試験(JIS A 1216)で評価した。

試験結果から、固化材に酸化マグネシウム(MgO)、助剤に塩化マグネシウム(MgCl₂)を用いた場合に高い強度が確認できた。

(2) 添加剤の決定

(1)で選定した組み合わせは、目標とする強度は満足したものの耐水性に問題があることがわかった。

耐水性を改善させる方法として、焼石膏やリンを添加することで改善するとの報告²⁾がある。そこで、添加剤として、表-2のものを評価した。なお、残留強度は、水浸後の一軸圧縮強度を水浸前の強度で割ったものである。供試体の作製方法は(1)と同様である。

その結果、選定添加剤を用いた供試体で、残留強度が大きく、耐水性改善が見られた。

したがって、配合は、酸化マグネシウム、塩化マグネシウム、選定添加剤を用いたものに決定した。

表-1 検討固化材と強度試験結果

固化材	助剤	固化材+助剤* (土に外割)(%)	一軸圧縮強度 (N/mm ²)
MgO	MgCl ₂	10	水浸崩壊
		22	14.2
		32	39.4
MgO	リン酸塩	40	1.9
消石灰	-	8	0.3
消石灰	カゼイン	12	0.5
水硬性石灰	-	8	0.2
水硬性石灰	カゼイン	15	0.5
MgO	-	8	0.3
MgO	カゼイン	15	1.2

※乾燥土に対して外割

表-2 添加剤と残留強度

添加剤	用途	添加量* ¹ (%)	残留強度* ² (%)
なし	-	なし	57
過リン酸石灰	肥料	20	78
		30	86
		50	73
焼石膏	建築	20	52
水硬性石灰	左官	10	48
二酸化ケイ素	ガラス	10	70
選定添加剤	食品	3	67
		5	113
		10	86
比較添加剤 A	食品	3	57
		5	76
		10	73
比較添加剤 B	食品	5	84
		5	5
比較添加剤 C	食品	5	5
		10	10

※1 添加量：酸化マグネシウムに対して外割

※2 残留強度=(水浸後の強度) / (水浸前の強度)

キーワード 土系舗装, 高耐久, 車両対応, 酸化マグネシウム, 真砂土

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) 高強度化

母材に骨材として7号砕石を混ぜ入れ、高強度化の検討を行った。検討した配合と試験結果を表-3に示す。強度はコンクリート曲げ強度試験方法(JIS A 1106)で評価した。結果としては、固化材の配合量が多い供試体の方が高い強度が発現した。また、真砂土のみの配合よりも骨材を混ぜた配合の方がより高い強度が発現した。したがって、高強度化は母材への骨材の投入及び固化材の配合量の増加で実現可能であると判断した。

(4) 環境評価

前述した通り、セメントや樹脂等が不使用であり、固化材、助剤、添加剤から六価クロムや有害な化学物質の溶出はなく、『環境庁告示第46号溶出量試験(28項目)』で土壌環境基準を満足した材料であると分かった。

表-3 配合表及び曲げ強度試験結果

母材	真砂土(%)	100	100	70	70	70
	骨材(%)	0	0	30	30	30
固化材+助剤+添加剤(母材に外割)(%)		16.5	22.8	10.4	16.5	22.8
曲げ強度 [*] (N/mm ²)		1.4	3.7	1.4	3.4	6.7

※目標値：コンクリートの曲げ強度 2.5N/mm²

3. 試験施工

室内試験の結果を基に、試験施工による実証性評価を行った。平面図を図-1、現場試験及び強度試験の結果を表-4に示す。強度試験は7日間現場養生した供試体を自然乾燥状態で実施した。

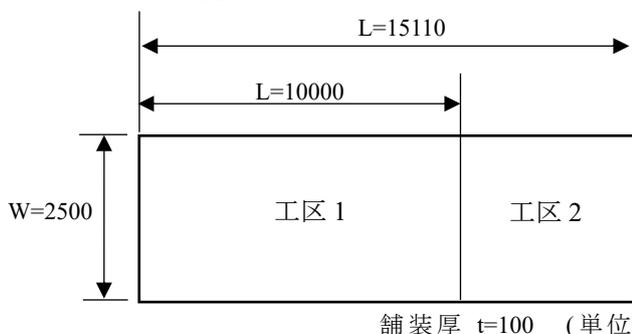


図-1 平面図

表-4 現場試験及び強度試験結果

工区	工区 1	工区 2 [*]
固化材+添加剤(母材に外割)(%)	16.5	22.8
スランプ(cm)	5.0	5.0
曲げ強度(N/mm ²)	4.3	—
FWD (D ₀ μm)	903.5	2290
一軸圧縮強度(N/mm ²)	18.2	—

※ 工区 2 の曲げ、一軸データは欠損

混合物は、前述の**2.固化材と添加剤の決定**における混合物の製造と同様に製造した。施工状況を写真-1、施工完了の状況を写真-2に示す。

打設後、人が乗れる程度の硬化までに5日を要した。室内試験では、恒温室(20°C60%、1日)養生で曲げ強度 3.4N/mm²程度の強度の発現を確認しており、施工時の現場の気温が 5±5°C程度の低温であったことが硬化に影響を及ぼしたと考えられる。

今後の課題として、硬化時間の短縮方法を検討する必要がある。

4. まとめ

車両対応可能な強度を持つ、高強度の土系舗装が製造できた。今回の試験施工の結果から、現場での施工が十分に可能であり、意匠的にも様々な検討可能性が存在することが確認できた。

参考文献

- 1) 戸建住宅の組積耐力壁に用いる非焼成ブロックの材料・調合および製造条件に関する検討
- 2) 海水マグネシアによるマグネシアセメントの研究
- 3) Yanni Tan・Yong Liu・Lian Grover 「Effect of phosphoric acid on the properties of magnesium oxychloride cement as a biomaterial」 Cement and Concrete Research,56(2014)69-74



写真 1 施工状況



写真 2 施工完了

高耐久舗装発生材を使用した再生アスファルト混合物の性状

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

1. はじめに

限られた財政制約の中で、公共事業のコスト縮減や維持管理による効率化が求められており、その一環としてアスファルト舗装の高機能化による舗装の延命・長寿命化が望まれている。このような社会情勢の中、耐流動性や耐油性に優れた高耐久型のアスファルト混合物（以下、高耐久アスコン）は、物流センターやコンテナヤードなどの交通条件の厳しい路線に適した混合物として需要が高まってきている。一方で、高耐久アスコンを舗設・撤去後の舗装発生材（以下、高耐久舗装発生材）は、再生骨材として再生アスファルト混合物（以下、再生アスコン）への再利用が不可欠である。しかしながら、強度向上を目的として特殊添加材を混入していることから、再生アスコンに適用した場合に物性にどのような影響を与えるかわかっていない。そこで本報では、高耐久舗装発生材を再生骨材とした場合においても、再生アスコンとして再生利用可能であるかを検討したので報告する。

2. 高耐久アスコンの概要

2.1 特徴

高耐久アスコンの代表性状値を表-1 に、特徴を以下に示す。

- ・ポリマー改質アスファルトⅡ型を使用した密粒度アスファルト混合物（以下、改質Ⅱ型アスコン）と比較し耐流動性および耐油性に優れた混合物である。
- ・アスファルト合材工場で製造可能な混合物である。
- ・一般的なアスファルト舗装用の機械編成で施工可能な混合物である。

2.2 配合

(1) ベースとなる混合物

高耐久アスコンは、改質Ⅱ型アスコンに内割で特殊添加材を 10% 添加した混合物である。

(2) 特殊添加材

特殊添加材の概要を表-2 に、外観を写真-1 に示す。本特殊添加材は熱可塑性樹脂の一種であり、プラントミックスで使用する。

3. 試験概要

3.1 試験手順

試験手順を図-1 に示す。特殊添加材を混合し高耐久アスコンを作製した。その後、針入度 20 に達する期間まで熱風循環乾燥炉にて任意の時間加熱劣化させることで、高耐久アスコンの再生骨材を作製した。具体的には、試験法便覧 B020「締め固めないアスファルト混合物の室内熱劣化試料の作製方法」に準拠し、熱風循環乾燥炉にて 110℃、130 時間加熱劣化させた。

キーワード 長寿命化, リサイクル, 高耐久アスファルト混合物

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

表-1 高耐久アスコンの代表性状

試験項目		試験値	
		改質Ⅱ型アスコン	高耐久アスコン
マーシャル特性値	空隙率 (%)	3.5	2.3
	安定度 (kN)	13.3	18.9
	フロー値 (1/100cm)	21	24
耐油性	残留安定度 (%)	93.4	104.1
	油浸後質量損失率 (%)	6.0	0.5
耐流動性	油浸後残留安定度 (%)	46.8	82.0
	動的安定度 (回/mm)	7,000	21,000
たわみ追従性	破断時の曲げひずみ ($\times 10^{-3}$)	2.7	2.6

表-2 特殊添加材の概要

項目	性状
形状	粉末状(1mm程度)
色	白色
密度	0.970g/cm ³



写真-1 特殊添加材の外観

得られた高耐久アスコンの再生骨材を 50%含む再生密粒度アスファルト混合物（以下、高耐久再生アスコン）を、舗装再生便覧に準拠し針入度法で配合設計した。次に、高耐久再生アスコンとストレートアスファルト 60-80 を使用して製造した密粒度アスファルト混合物（以下、新規アスコン）の性状を比較した。なお、再生骨材配合率は全国平均である 50%を採用した¹⁾。

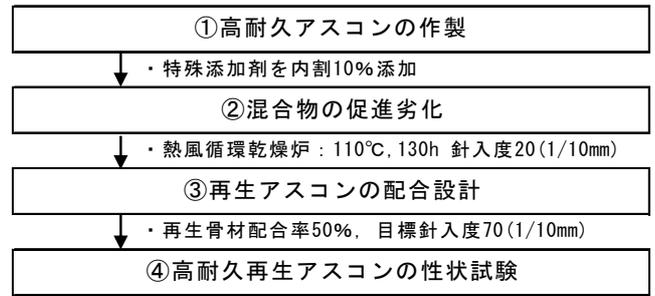


図-1 試験手順

3.2 粒度とアスファルト量

高耐久舗装発生材の抽出粒度を表-3 に、高耐久再生アスコンの合成粒度を表-4 に、旧アスファルト量を表-5 に示す。高耐久舗装発生材は抽出を行うことが可能であり、特殊添加剤は骨材側に残ることを確認した。高耐久舗装発生材を 50%含む高耐久再生アスコンを、粒度範囲を満足するよう設計した。

表-3 高耐久舗装発生材の抽出粒度

ふるい目 (mm)	通過質量百分率 (%)							
	19	13.2	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075
抽出粒度 (%)	100.0	98.3	62.4	42.4	25.5	12.5	8.1	5.8

表-4 高耐久再生アスコンの合成粒度

ふるい目 (mm)	通過質量百分率 (%)							
	19	13.2	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075
合成粒度 (%)	100.0	98.5	65.3	44.1	26.6	12.9	8.2	6.2
粒度範囲	100	100~95	70~55	50~35	30~18	21~10	16~6	8~4

表-5 旧アスファルト量

項目	試験値
旧アスファルト量 (%)	4.25
針入度 (1/10mm)	20

4. 試験結果および考察

4.1 マーシャル特性値

高耐久再生アスコンと新規アスコンのマーシャル特性値を表-6 に示す。マーシャル特性値は、再生アスコンの規格値を満足することを確認した。また、新規アスコンと比較して同等以上の試験値であった。

表-6 マーシャル特性値

試験項目	試験値	規格値		
			高耐久再生アスコン	新規アスコン
アスファルト量 (%)	5.2	5.4	-	
マーシャル特性値	空隙率 (%)	3.6	3.6	3~6
	安定度 (kN)	11.3	9.6	4.9以上
	フロー値 (1/100cm)	24	26	20~40
	残留安定度 (%)	88.5	84.8	75.0以上

4.2 耐流動性

高耐久再生アスコンと新規アスコンの動的安定度の結果を図-2 に示す。高耐久再生アスコンの耐流動性は、新規アスコンと比較し同等以上の試験値であることを確認した。

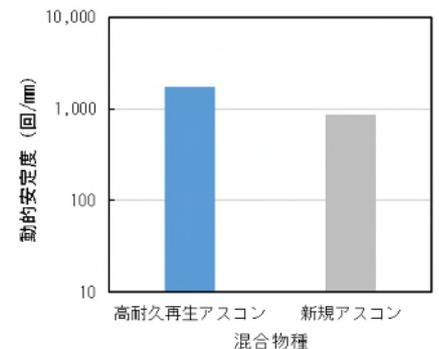


図-2 動的安定度

4.3 たわみ追従性

高耐久再生アスコンと新規アスコンの曲げ試験結果を図-3 に示す。高耐久再生アスコンの破断時の曲げひずみは、新規アスコンと同等であることを確認した。

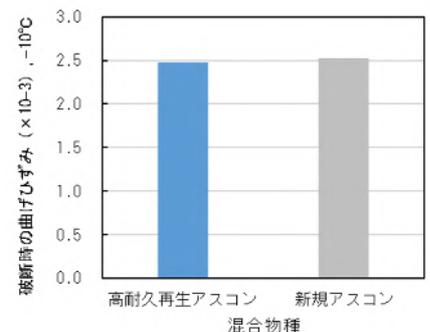


図-3 破断時の曲げひずみ

5. まとめ

高耐久舗装発生材を 50%含む高耐久再生アスコンは、従来の再生骨材を使用した場合と遜色なく配合設計することが可能であった。また、高耐久再生アスコンは、舗装再生便覧が定める再生アスコンの規格値を満足する混合物性状となることを確認した。さらに、高温時の耐流動性や低温時のたわみ追従性については、新規アスコンと比較し同等以上の性能を有することを確認した。今後は、高耐久アスコンを舗設し、供用後の劣化した舗装発生材について、再生アスコンとして再生利用可能であるか検討する所存である。

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）

中和反応型の弱加熱混合物に関する再生利用の検討

社 外 発 表

大林道路株式会社 技術研究所 正会員 ○新堀 詩織
同上 正会員 上地 俊孝

1. 背景

災害時の広域的かつ安定的な材料供給や、アスファルト合材プラントの統廃合による材料供給の空白地域の発生に備えて広域安定供給可能なアスファルト舗装技術が求められている¹⁾。国土交通省でも、上記技術の求める性能や性能確認方法を整備するために新たな舗装技術を公募するなど、社会的需要が高まっている。筆者らもかねてから、80°Cで敷きならしが可能で、水を散布して転圧することで強度を発現する中和反応型混合物の開発に取り組んでいる(以下、開発品)。

一方で、アスファルト混合物の製造において、再生加熱アスファルト混合物(以下、再生混合物)の比率は平成30年時点で約75%に達しており²⁾、開発品も供用後、再生骨材として利用される可能性が高い。このため、開発品のようにバインダとしてアスファルト以外の材料を使用した場合、現行の再生技術への適用の可否や再生混合物の性状にどのような影響を及ぼすかを確認することは重要である。本検討では、再生混合物に開発品由来の再生骨材を一部使用したときの適用性の検討と基本性状への影響を確認した。

2. 開発品の概要

開発品は、中温域(80°C)で施工できることが特徴の、水硬化型の混合物である。骨材粒度やバインダ量は密粒度アスファルト混合物(13)(以下、密粒混合物)を基にしており、バインダとしてアスファルトと潤滑性固化剤、セメントを含んでいる。開発品は水を散布することでアルカリ性になり、潤滑性固化剤が中和反応を開始して強度が発現する。また潤滑性固化剤は混合物中のバインダ粘度を下げ、中温域での施工性を改善する効果がある。表-1に開発品の基本性状を示す。開発品は、密粒混合物の基本性状を十分に満足するものである。

表-1 開発品の性状

	開発品	基準値
空隙率 [%]	3.6	3~6
飽和度 [%]	77.9	70~85
マーシャル安定度 [kN]	10.9	4.9以上
フロー値 [1/10mm]	28	20~40
曲げ破断時のひずみ [$\times 10^{-3}$]	2.7	-

表-2 試験項目

試験項目	試験温度	試験方法
マーシャル供試体の密度	-	舗装調査・試験法便覧B008-1
マーシャル安定度試験	60°C	舗装調査・試験法便覧B001
ホイールトラッキング試験	60°C	舗装調査・試験法便覧B003
曲げ試験	-10°C	舗装調査・試験法便覧B005
圧裂試験	20°C	舗装調査・試験法便覧B006

3. 検討方法

3-1 検討概要

本検討では再生密粒度アスファルト混合物(13)(以下、再生密粒)中の再生骨材の一部を開発品由来の再生骨材に置き換えて供試体を作製し、各種性状を確認した。通常の再生骨材は、関東地方の発生材を使用し、開発品由来の再生骨材は、開発品を室内で熱劣化させて作製した(以下、劣化開発品)。再生密粒の再生骨材配合率は50%で、劣化開発品の置き換え割合は0, 30, 60%とした。なお本検討では、再生骨材の劣化開発品への置き換えは、重量比による単純置き換えとしている。表-2に試験項目の一覧を示す。

3-2 開発品の室内熱劣化試料の作製

開発品を実験室内で製造し、十分に散水してから50°C、72時間養生して硬化させた。その後、舗装調査・試験法便覧のB020「締め固めないアスファルト混合物の室内熱劣化試料の作製方法」に従って室内熱劣化試料を作製した。劣化条件は、一般的なアスファルトの針入度が70から20になる条件を参考にして、110°C、70時間とした³⁾。

キーワード 弱加熱混合物, 中和反応, 再生骨材, リサイクル

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 FAX 042-495-6801

4. 試験結果

4-1 マーシャル特性値

表-3にマーシャル特性値の一覧を示す。再生骨材中の劣化開発品割合を増やすと、空隙率が大きくなる傾向にあった。空隙率の増加にともない飽和度も低下し、劣化開発品割合が60%のとき飽和度は基準値の下限に近接した。一方、再生骨材中の劣化開発品割合に関わらず、安定度とフロー値はほとんど一定であった。

表-3 マーシャル特性値

劣化開発品割合 [%]	0	30	60
空隙率 [%]	3.5	4.5	5.0
飽和度 [%]	77.8	73.1	71.0
マーシャル安定度 [kN]	12.0	10.4	11.1
フロー値 [1/10mm]	28	28	29

4-2 動的安定度

図-1にホイールトラッキング試験における動的安定度を示す。動的安定度は劣化開発品割合によって異なるものの、相関は認められず、ほとんど一定であった。動的安定度は再生骨材中の劣化開発品割合に影響を受けないと分かった。

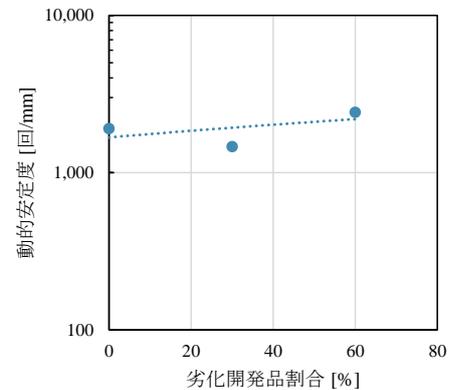


図-1 動的安定度

4-3 曲げ試験

図-2に各水準の曲げ試験結果を示す。曲げ強度は、劣化開発品割合の増加に伴って低下していた。劣化開発品割合0%と60%を比較すると、曲げ強度が2.6 MPa低下していた。また破断時のひずみは劣化開発品割合の上昇に伴ってわずかに低下していた。劣化開発品の混入によって、曲げ強度は低下したものの、舗装のひび割れやすさに影響する、たわみ追従性にはほとんど影響しないと考える。

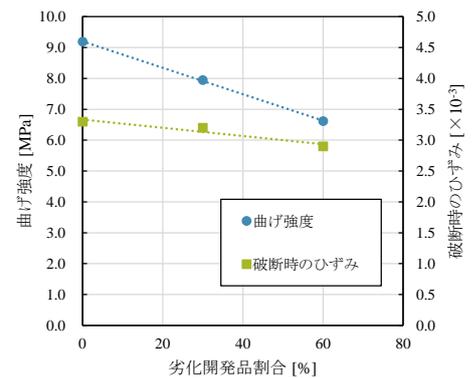


図-2 曲げ試験(-10°C)

4-4 圧裂試験

図-3に各水準の圧裂試験結果を示す。圧裂強度と圧裂係数は、劣化開発品割合が大きくなるのに従って、わずかに低下していた。

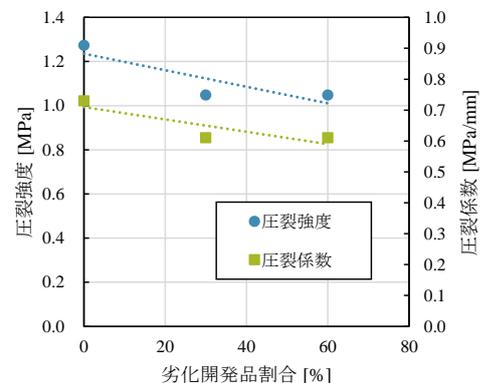


図-3 圧裂試験(20°C)

5. まとめ

再生密粒中の再生骨材の一部を劣化開発品に置き換えても、混合物性状に大きく影響しないと分かった。ただし、再生骨材中の劣化開発品割合が大きくなると空隙率が増加し、曲げ強度が低下した。開発品の再生骨材としての適用性をさらに検討する必要がある。

6. 今後の検討事項

本検討では、供試体を作製するとき、再生骨材と劣化開発品の粒度や旧アスファルト量の差を考慮せずに、単純に重量比で置き換えていた。今後は粒度や旧アスファルト量を各水準で揃えるなど、より検討条件を精査し、再生骨材中の劣化開発品の許容割合を検討する予定である。

【参考文献】

- 国土交通省：“令和2年度に取り組む技術テーマについて”，<https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/dourogijutsu/pdf02/03.pdf>, 2020.
(2022年3月31日参照)
- 国土交通省：“道路に係る建設資材関係資料・データ”，<https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/douroshezai/pdf03/10.pdf>, 2020.
(2022年3月31日参照)
- 日本道路協会：舗装調査・試験法便覧(平成31年版)〔第3分冊〕, p.191, 2019.

社 外 発 表

土のうの繰返し平板載荷試験 その2：真砂土を用いた土のう複合体

大林道路株式会社 正会員 ○丸尾 繁
 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

人件費が安く、砕石や重機類の調達が難しい発展途上国では、現地の土砂を土のう化して人力で道路を構築する工法が用いられている¹⁾。土砂は含水比が過多でなければ、土のう化すると側方変形が拘束されて耐荷力が増加し、法部も安定することで、路体・路盤としての性能を十分確保できるためである。土のうは我が国でも、水害時の仮堤防や震災時の法面復旧等の仮設に活用されている他、振動低減効果も確認されている²⁾。土のうは、土のう袋に土砂をスコップで入れて締固めるだけで道路を構築できる環境負荷が極めて小さい工法であり、規模によってはコスト面でも合理的な方法となり得る。

本研究では、土のうを塊として荷重を分散することで載荷性能向上を図った道路舗装の構造設計方法を検討している。本稿では、土のうを水平・鉛直に積み重ねた、複合体の繰返し平板載荷試験結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 使用材料と実験方法

使用材料の緒元を表-1に、実験の手順を写真-1に示す。以下、載荷試験を行うまでの各手順の詳細を列記する。

- ① 中詰め材および土のう袋は別報³⁾に示す真砂土を使用し、最適含水比になるように加水してパン型ミキサで攪拌した。

表-1 使用材料の緒元

土のう袋	寸 法	縦横 620mm × 480mm
	材 質	ポリエチレン製
	引 張 強 度	9KN/m
中詰め材	土 質	砂質土
	産 地	大阪府
	最 適 含 水 比	10%



①加水、攪拌



②計量



③敷き並べ



④転圧



⑤間詰め



⑥載荷試験

写真-1 実験の手順

- ② 20 kg/袋となるよう質量を計量して袋詰めした後、土のう袋の紐を縛り中詰め材から指2本分の余裕がある位置で3周締めきつく結んだ。
- ③ 1.8 m×1.8 m×0.3 mの鋼製型枠に土のうを3段敷き並べた。土のうの配置は、土のうを縦横上下の向きを揃える直積み配置(図-1)と、縦の列の向きを交互に反転させ4つの土のうの中央を基準に敷き並べ、段の上下で千鳥に積む千鳥積み配置(図-2)とした。
- ④ 段毎に厚さ80 mmの土のう高さになるまでプレートコンパクタによって転圧した。
- ⑤ 土のう同士に生じる隙間は、各段の転圧終了時に中詰め材を充填して木槌等で突き固めた。

キーワード 土のう, 舗装, 平板載荷試験

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

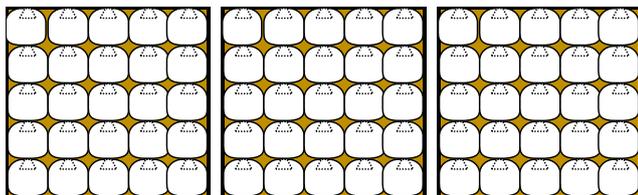


図-1 直積み配置 (左から1段目, 2段目, 3段目)

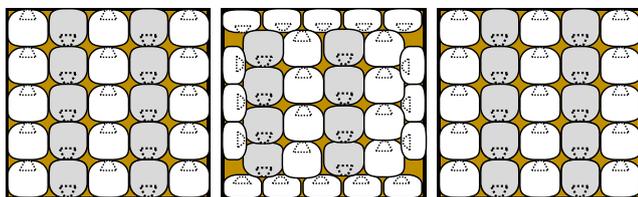


図-2 直積み配置 (左から1段目, 2段目, 3段目)

3. 実験結果

別報³⁾と同様の方法で平板載荷試験を行った。載荷位置は①土のう中央, ②土のう4つの中央, の2種類で実施した。載荷圧力-軸ひずみ関係を図-3~図-4に, 土のうを使用しない土路盤の結果を図-5(a)に示す。

載荷圧 800 kPa の3回載荷後のひずみに着目すると, 土路盤は2.8%であった。直積み(載荷位置①, ②)で2.9%, 千鳥積み(載荷位置①)で3.2%, 千鳥積み(載荷位置②)で2.1%と全ケースで大差ないが, 1回載荷から3回載荷後までの変化は千鳥積み配置が大きい。

3回載荷後の載荷圧力-ひずみの関係から一次近似式 $y=ax+b$ を導出した例を図-5(b)に, 各結果の近似式を表-2に示す。係数 a が大きいほど土のう複合体の剛性が高く載荷性能が良好と考えられる。千鳥積み配置の変化が大きく, 3回目になると土路盤や直積み配置よりも載荷性能が優れていることがわかる。

最終的な軸ひずみへの積み方の影響が有意でなかった理由は, 締め固め特性の良い真砂土を最適含水比で締め固めたために中詰め自体の強度・剛性が高かったこと, 鋼製型枠が十分広くないために拘束力が作用したこと, が挙げられる。

4. 結論

最終的に得られる土のう複合体の軸ひずみに対して, 土のうの積み方による影響は比較的小さいが, 千鳥積みは, 載荷回数による土のうの載荷性能の変化が大きい。一方, 中詰め材を最適含水比に調整したこと, 鋼製型枠による境界条件が試験結果に影響を及ぼした可能性もある。今後, 中詰め材の種類や含水比などの条件を工夫し, データを集積していく所存である。

参考文献

- 1) 福林ら: 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) 松岡ら: 「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) 赤木ら: 土のうの繰返し平板載荷試験 その1: 中詰め材を変化させた土のう単体, 第57回地盤工学研究発表会, 2022 (投稿済)

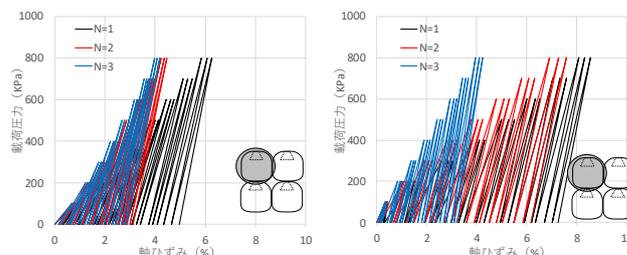


図-3 載荷圧力-軸ひずみ関係: a) 直積み(載荷位置①), b) 千鳥(載荷位置①)

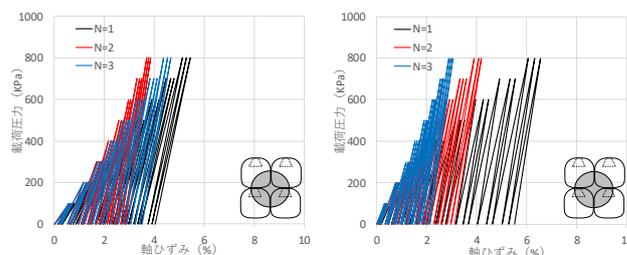


図-4 載荷圧力-軸ひずみ関係: a) 直積み(載荷位置②), b) 千鳥(載荷位置②)

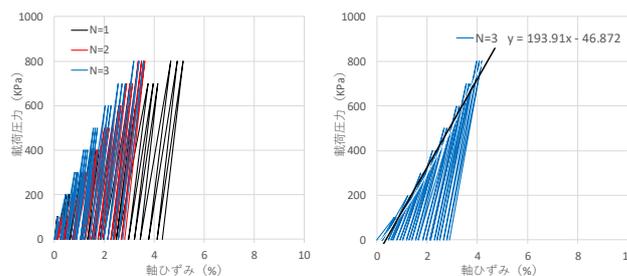


図-5 載荷圧力-軸ひずみ関係: a) 土路盤, b) 図-3に対する一次近似式の算定例

表-2 繰返し平板載荷試験結果(一次近似式)

条件	回数	直積み配置	千鳥積み配置	土路盤
土のう中央	N=1	$y = 131.2x - 34.3$	$y = 103.5x - 41.3$	$y = 148.5x - 91.7$
	N=2	$y = 183.2x - 47.7$	$y = 123.5x - 81.3$	$y = 218.7x - 16.7$
	N=3	$y = 193.9x - 46.9$	$y = 238.7x - 41.3$	$y = 221.7x - 71.1$
土のう4個の中央	N=1	$y = 153.4x - 21.7$	$y = 119.4x - 75.9$	
	N=2	$y = 180.2x - 20.2$	$y = 192.2x - 33.2$	
	N=3	$y = 218.6x - 62.4$	$y = 269.1x - 16.6$	

床版上面増厚工法用超速硬型超高性能繊維補強コンクリートの現場適用事例

大林道路株式会社 正会員 ○富山裕司 正会員 相本正幸
株式会社大林組 正会員 富井孝喜 正会員 青木峻二

1. はじめに

道路橋のコンクリート床版（以下、RC床版という）補修・補強として、鋼繊維を添加した超速硬性のコンクリート（Steel Fiber Reinforced Concrete：以下SFRCという）による上面増厚工法が実施されているが、SFRCと既設床版との一体化不足による再劣化や上部工の荷重増加などの課題があったため今回既設床版の耐荷性能や疲労耐久性の向上を目的とした床版増厚用の超高性能繊維補強セメント系複合材料（Ultra-High Performance Fiber Reinforced Cement-based Composite：以下本UHPFRCという）を開発し、試験的に実橋に適用した事例を紹介する。

UHPFRCは、通常のコンクリートと比較して、極めて高強度かつ緻密であるため、有害因子の浸入やひび割れ等の劣化を防止する性能を有する材料である。しかし超低水セメント比であるため、分散効果の高い減水剤の使用により、流動性が極めて高く、道路勾配のある面では勾配に合わせて成形が難しい材料である。さらに、交通開放までの極めて短い時間で所定強度が発現しないことが課題であった。そこで筆者らは、今回、硬化時間を精度よくコントロールすることで良好な施工性を確保し、品質も安定しているUHPFRCを開発した。

2. 配合

超速硬型のUHPFRCの配合を表-1に示す。5℃から40℃の環境温度で試験練りを実施し、設定した外気温ごとに高性能減水剤と遅延剤の添加量を設定して、橋面の勾配変化にも対応できるフローを管理した。

表-1 UHPFRCの配合

W/P (%)	単位量(kg/m ³)					添加量(kg/m ³)	
	W	P	S	SP ^{※1}	HA ^{※2}	SF	CR
15.8	210	1327	837	8~30	140	157	4~10

※1：練混ぜ水を含む ※2：Pを含む 使用材料は「超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針（案）」²⁾に準拠したもの

3. 工事概要

今回対象としたRC床版は、昭和40年代に建設された後、平成12年にSFRCによる大規模な床版上面増厚が行われたものである。しかし、その後も経年劣化（交通荷重、雨水の浸透等）により床版上面増厚の変状に起因する舗装路面のポットホールが頻繁に発生し、さらに床版下面の変状も顕在化してコンクリート片が剥落する事象が発生した。2019年に、対象RC床版における上面の打音調査を行った結果、既設床版全面に浮き（上面増厚床版と既設床版との界面）などの劣化が確認された。路肩を含む第1走行車線の3連1径間において、試験的にUHPFRC(536.7 m²)を適用することになった（図-1）。施工は、舗装切削研掃、劣化部除去・充填、UHPFRCによる床版増厚の順に行った。

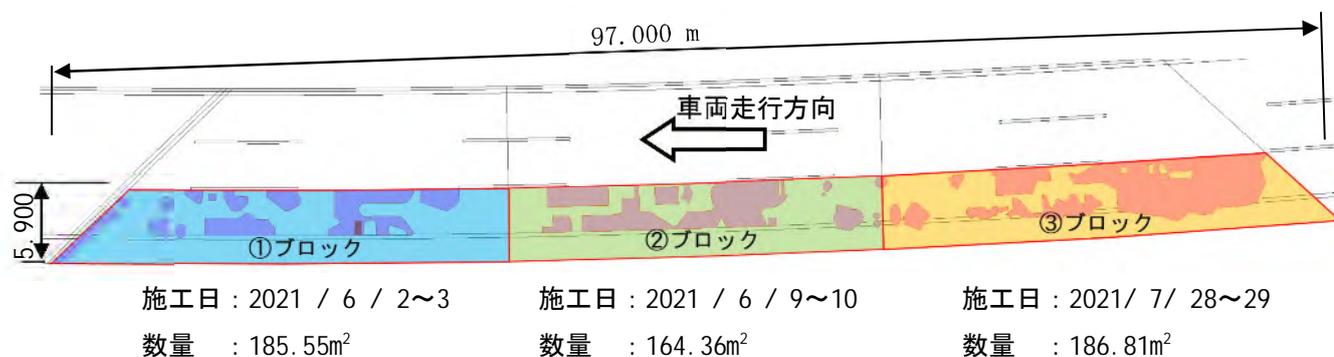


図-1 施工平面図

キーワード 大規模更新工事、床版補修・補強、上面増厚工法、UHPFRC

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 (株)大林組 生産技術本部 リニューアル技術部 TEL03-5769-1332

4. 製造および施工目地

練混ぜ装置(写真-1)や発電機等は車上プラントとし、プレミックス材料は予め0.5 m³に計量したフレコンパックを現場に搬入し、ユニック車のクレーンで吊り込める範囲に配置した。混練り時間は20分程度であるが、超速硬材料であるためバッチ毎のミキサー洗浄が必要となり、1バッチあたりの製造サイクルは30~40分程度になった。一方、流動性が30分程度で低下が開始するため、バッチ量に合わせて施工目地を設けた。

施工目地部の処理には、「速硬化型2液混合エポキシ樹脂系接着剤」を鉛直打ち継ぎ面に塗布した。

5. 施工方法

舗装撤去後にRC床版上面の打音調査を行った。調査で判定した浮きや剥離等の劣化部は、人力はつりにてすべて撤去し、先行してUHPFRCにて断面修復(穴埋め・充填)した。今回の施工箇所は横断勾配が5%あり、隣接車線の交通振動の影響を受けるため、増厚部の材料の変形が懸念された。UHPFRCは打込み厚さの違いにより表面部の変形性能が変化するため、打設厚さを均一化して、表面の変形を防止した。

今回の施工箇所は、一車線規制の狭隘な作業帯であったことから材料運搬には手押し車を使用した。締固めには電動振動コテと大型スクリード(写真-2)を使用した。打込み順序は、事前の施工試験結果により打込み時の変形性状を考慮して、勾配の高い方から低い方に向けて打設した。特に施工ブロックの外周部には電動振動コテにて入念に締固めを行った。仕上げの養生材には、アスファルト舗装との接着性を阻害しない仕上げ助剤を使用し、打設直後からアスファルト舗装までの間にはシート養生を行い、表面の乾燥を防止した。アスファルト舗装前に表面観察を行ったが、ひび割れが確認されず良好な状態であった。

6. フレッシュ性状

増厚部も含めた混練り直後のUHPFRCのフロー値は220mm程度と安定していた(図-3)。また、高性能減水剤や遅延剤の添加量の調整により、外気温によらず、混練り完了から30分程度までは、振動コテで締固め・仕上げができる性状であった。

今回の施工方法では、混練り完了から打設・仕上げ完了までの施工時間は、各ブロックとも10分程度であった。直射日光を受ける時間帯でフローの低下が若干早くなる傾向ではあったが、施工への影響もなく順調に施工が完了した(写真-3)。

7. 強度試験結果

現場でテストピースを採取して圧縮強度を確認した。圧縮強度試験結果を図4に示す。材齢3時間で24N/mm²以上、材齢7日で約100N/mm²の強度を発現し、さらに、材齢28日で140N/mm²となり目標強度(130N/mm²)を確保した。コンクリートとの付着強度についても、施工箇所での建研式付着強度試験の結果、材齢3時間で1.0N/mm²以上となることを確認した。

8. まとめ

超速硬型UHPFRCの現場適用事例から以下のことが確認された。

- ・ 供用中の高速道路上において、車線規制内で施工を完了できた。
- ・ 外気温に合わせた配合の調整により、施工に適したフレッシュ性状を管理できた。

参考文献: 富井他: 床版上面増厚工法用超速硬型超高性能繊維補強コンクリートの配合設計, 土木学会年次論文集, 2022



写真-1 車上プラント配置状況



写真-2 大型エンジンスクリード使用



写真-3 施工完了全景

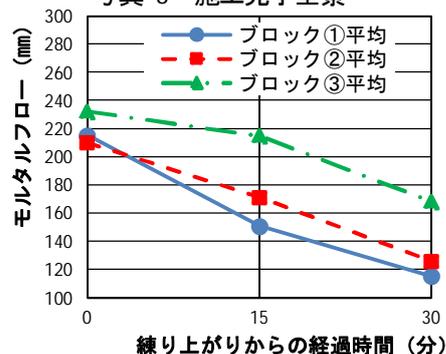


図-2 モルタルフロー経時変化

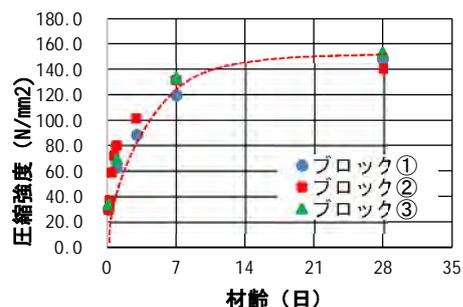


図-3 圧縮強度試験結果

中和反応型常温混合物の供用初期における破損と低温作業性の改善

○大林道路（株）技術研究所 上地 俊孝

同 上 新堀 詩織

同 上 東本 崇

1. はじめに

道路管理における維持修繕の重要性が高まる一方で、その予算には限りがあることから耐久性の高い舗装用補修材料に対する期待が高まっている。それに応えて、国内でも各機関から従前のパッチング材の耐久性とは一線を画す、中和反応型常温混合物が開発・上市されてきた。中和反応型常温混合物は、施工時に水を散布することで硬化反応を開始し早期に高い強度を発現するパッチング材料である。筆者らも「高耐久で再破損率の低い常温混合物」をコンセプトに製品化を進めてきた¹⁾。

本報では、上記製品について上市後に顧客や道路管理者から得られた声を参考に従来製品の課題を改善した結果を報告する。今回着目した主な課題は供用初期の飛散と、低温における作業性である。特に「供用初期に再破損が発生した事例では主に表面が飛散している」といった意見に対して、その破損形態や状況を参考に、室内で再現できるような評価方法を検討した。また改善品を国内および国外の中和反応型常温混合物の性状と比較評価した。特に、海外品は日本に先行して中和タイプを開発した国の製品を選定した。

2. 検討課題と評価対象

中和反応型常温混合物を上市後、筆者らは利用者や顧客に積極的なヒアリングを実施し従来製品の課題を整理してきた。ヒアリングでは主に耐久性や使用時の作業性について調査したが、従来製品は他製品と比較しても概ね良好な結果であった。ただし、破損事例の傾向として「供用初期に再破損が発生した事例では、流動による変形は少なく主に表面の飛散が多い」といった特徴がみられた。また作業性については、寒冷地などでの使用も視野に入れた氷点下付近でのほぐし易さの向上を求められた。

このような現状の課題への対応として下記①②の性状の評価方法について検討し、バインダ成分の種類や混合物配合を再考することで試作した改善品を評価した。

- ① 供用初期における補修表面の飛散抵抗性
- ② 低温（-10℃）での作業性

3. 評価方法の選定

3.1. 飛散抵抗性の評価方法

飛散抵抗性を改善するにあたり、その発生原因を考察し評価方法を選定した。加熱アスファルト混合物では飛散の主な要因はアスファルト混合物の脆化点以下におけるタイヤチェーンなどの衝撃作用によるものである。このため、加熱アスファルト混合物の飛散抵抗性の評価では低温での脆性破壊の程度を評価する目的でラベリング試験やカンタプロ試験が実施されている。しかしながら既報¹⁾にもあるように、従来製品は-10℃の曲げひずみが加熱アスファルト混合物と比べても高いことが特徴であり、-10℃におけるカンタプロ損失率も1.0%程度と非常に優れた水準である。このことから、従来製品の現場における飛散は低温域における脆性破壊による飛散ではなく、温度上昇にともなうバイン

ダの凝集力・把握力不足による飛散が支配的と考え、供用状況の各温度域におけるカンタブロ試験とラベリング試験を実施し、飛散抵抗性の評価を試みた。

評価試験条件の概要を表-1 に示す。ヒアリングにおいて比較的初期に発生する破損形態であったことから、カンタブロ試験、ラベリング試験ともに硬化養生条件は、20℃で48時間とした。試験は舗装調査・試験法便覧に準拠し、カンタブロ試験のドラム回転数は150回転とした。

3.2. 低温における作業性の評価方法

本製品はアスファルトと骨材に加え、アスファルトを常温以下の温度でも取り扱えるよう可塑剤となる成分が含まれている。この可塑剤成分がより低い温度でも流動性を確保できれば、低温でもほぐし易い合材となり得る。そこで、JIS K 2269-1987「原油及び石油製品の流動点並びに石油製品曇り点試験方法」を参考にし、より簡易的な方法で従来製品と改善品の可塑剤の流動性を比較評価した。試験状況を写真-1 に、試験概要を表-2 に、適用した評価基準を表-3 に示す。また、混合物の作業性の評価として既往の研究²⁾を参考に20℃と-10℃における貫入抵抗値を測定した。

表-1 飛散抵抗性 評価試験条件

カンタブロ試験 舗装調査試験法便覧B010	硬化養生条件	20℃で48時間
	試験温度	-10、5、20℃
ラベリング試験 舗装調査試験法便覧B002	ドラム回転数	150回転
	硬化養生条件	20℃で48時間
	試験温度	-10、20、40℃



写真-1 流動性評価状況

表-2 可塑剤の流動性 評価方法

試験手順	①容器に試料を入れて熱電対（試料温度測定用）をセット ②試料温度が20℃になるまで養生 ③試料温度を評価開始温度の15.0℃まで下げる ④15.0℃から2.5℃刻みで-15.0℃まで試料温度を下げる ⑤各評価温度における流動性を目視観察（評価基準により点数化）
評価温度	15.0℃～-15.0℃(2.5℃刻み)
試験容器	250mLねじ蓋つき透明ボトル
試料量	50g

表-3 可塑剤の流動性 評価基準

流動性評価基準	
1	一切流動しない
2	容器を傾けると少し遅れて流動する、壁面に膜がしっかりと残る。
3	容器を傾けると少し遅れて流動する、壁面に薄く膜が残る。
4	容器を傾けると瞬時に流動するが、壁面に薄く膜が残る。
5	容器を傾けると瞬時に流動し、壁面に液体が残らない

4. 評価試験結果

4.1. 飛散抵抗性の評価試験結果

ラベリング試験結果を図-1 に示す。従来製品は試験温度-10℃、20℃と比較的低い温度ではすり減り量が7cm²未満と良好な結果であったが、試験温度40℃では試験開始10分程度で供試体が完全に破壊され、試験の継続が不可能であった。このように、低温～常温付近のラベリング試験結果が良好であるのに対し、40℃と高温の条件下では衝撃作用による破壊が顕著になるといった結果は、先述の「従来製品の現場における飛散は低温域における脆性破壊による飛散ではなく、温度上昇にともなうバインダの凝集力・把握力不足による飛散が支配的」といった推察を支持するものと考えられる。つまり、40℃のラベリング試験におけるすり減り量を低減することで、従来製品の現場における飛散抵抗性を改善できる可能性が高いと考えられる。一方で改善品は-10℃、20℃におけるすり減り量が従来製品と同程

度であり、40℃でも破壊するほどではなくバインダの凝集力・把握力不足による飛散抵抗性を改善できていた。

-10℃～20℃で実施したカンタブロ試験結果を図-2 に示す。従来製品はラベリング試験同様に試験温度の上昇とともにカンタブロ損失率が増加したのに対し改良品は低下した。このように、カンタブロ試験の結果からも従来製品は低温域での衝撃作用による脆性破壊には強いが、温度の上昇ともなう飛散には弱いことが再現できた。更なる精査が必要ではあるが、ラベリング試験より簡易な試験として20℃のカンタブロ試験でも温度上昇ともなう飛散への抵抗性を評価可能と考える。

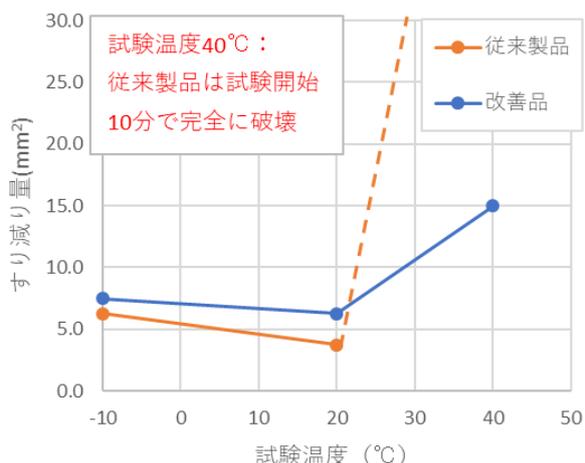


図-1 ラベリング試験結果

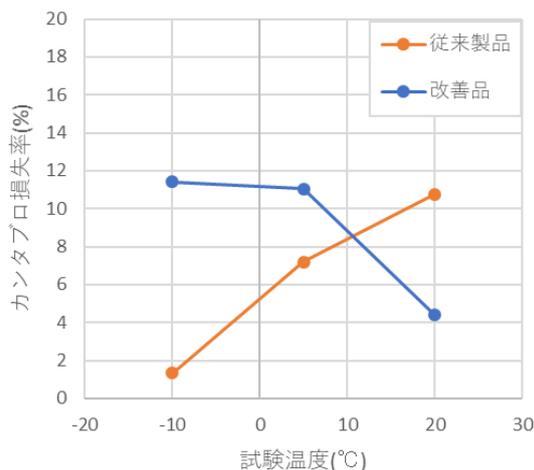


図-2 カンタブロ試験結果

4.2. 低温における作業性の評価試験結果

可塑剤の流動性評価試験結果を図-3 に示す。従来製品、改善品ともに温度の低下ともなう流動性は低下した。改善品は従来製品に比べて-10℃以上での流動性が常に高く、また-10℃においても容器を傾けると瞬時に流動する高い流動性を有していた。以上のことから、可塑剤の流動性を従来製品から高いレベルで改善できたといえる。このため、混合物においても低温作業性の向上が期待できる。

貫入抵抗値による混合物の作業性評価試験結果を表-4 に示す。改善品は従来製品に比べて20℃、-10℃ともに貫入抵抗値が低く、作業性が向上していた。特に低温における貫入抵抗値が大幅に改善されており、実際に-10℃において袋から出す際のほぐれ易さについても改善品は良好であった。

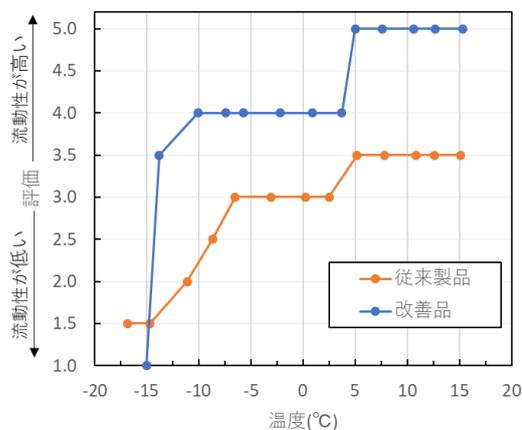


図-3 可塑剤の流動性評価試験結果

表-4 貫入抵抗値による作業性評価結果

	従来製品	改善品
20℃貫入抵抗値 (N)	64.5	48.5
-10℃貫入抵抗値 (N)	113.6	73.7

5. 改善品と同等品の性状比較

5.1. 評価方法

改善品の性状を確認するため、市販の中和反応型常温混合物の性状と比較評価した。比較対象は国内で販売されている国内品 A、B と、日本に先駆けて中和反応型常温混合物を開発した国で販売されている海外品 A を選定した。海外品 A については国内品との比較のために選定した。

評価項目を表-5 に示す。高温時の性状としてホイールトラッキング試験、低温時の性状としてカンタブロ試験（-10℃）と曲げ試験（-10℃）、施工直後の耐久性として常温ホイールトラッキング試験を実施した。また、混合物の作業性の評価として貫入抵抗値による方法を実施した。

表-5 評価項目

試験項目	試験方法	硬化養生条件	試験温度
作業性評価	貫入抵抗値による方法 ²⁾	-	-10℃
		-	20℃
ホイールトラッキング試験	舗装調査・試験法便覧B003	20℃で7日間	60℃
曲げ試験	舗装調査・試験法便覧B005		-10℃
カンタブロ試験	舗装調査・試験法便覧B010 *ただし、ドラム回転数は150回		-10℃
常温ホイールトラッキング試験	東京都土木材料仕様書	作製直後	20℃

5.2. 評価結果

評価結果一覧を表-6 に示す。国内品で比較すると、以下のような特徴があった。

- ・ 改善品は高温時の変形抵抗性と施工直後の耐久性が他製品に比べると若干劣るが、低温時の性状や作業性に優位性があった。
- ・ 国内品 A は強度発現の速さに特徴があり、施工直後の耐久性が極めて高かった。
- ・ 国内品 B は作業性と高温時の変形抵抗性に優位性があった。
- ・ 製品毎の特色はみられるもののいずれも良好な結果であった。

これらの性状は同じ製品でも工場や製造ロットの違いによっても前後することが考えられる。しかしながら、改善品の性状は他の国内品と比較しても遜色なく、高い水準であることを確認した。

海外品には、日本より早く中和反応型常温混合物が開発された国の製品を選定したが、高温時の変形抵抗性は国内品に比べて低く、その他の性状も特段国内品に対する優位性を見いだせなかった。

表-6 評価結果一覧

評価項目	試験方法	評価指標	改善品	国内品A	国内品B	海外品A
作業性	20℃作業性試験	貫入抵抗値 [N]	47.1	58.2	45.7	47.9
	-10℃作業性試験	[N]	75.8	98.1	68.7	88.1
高温時の変形抵抗性	60℃CWT試験	動的安定度 [回/mm]	3,436	7,875	15,750	488
低温時の性状	-10℃曲げ試験	曲げ強度 [MPa]	6.008	3.658	4.986	5.153
		曲げ破断時のひずみ [$\times 10^{-3}$]	4.0	2.9	2.4	3.2
	-10℃カンタブロ試験	カンタブロ損失率 [%]	6.8	23.5	19.1	11.9
施工直後の耐久性	常温WT試験	20 mm沈下時の走行回数 [回]	2,520以上	2,520以上	2,520以上	-
		2,520回走行後の変位 [mm]	9.70	0.44	2.08	-

6. おわりに

中和反応型常温混合物について、現場での破損状況と混合物の性状の特徴から室内評価方法を選定し、“供用初期における飛散抵抗性”と“低温時の作業性”の改善を試みた。本改善品は既に製造・販売を始めておりヒアリングによる課題の収集も始めている。しかし、現在のところ初期における飛散や低温時の作業性について大きな課題は挙がっておらず、改善は成功したと考えている。今後も利用者の声や意見に応える形で本製品の改良・改善を続けていく所存である。

1) 上地俊孝ほか：硬化機構に着目した全天候型常温混合物の開発，舗装，pp. 31-35，2019. 07

2) 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.

耐流動性と耐油性に優れた高耐久アスファルト混合物の開発

大林道路（株）技術研究所 ○小林 靖明
 大林道路（株）技術研究所 上地 俊孝
 大林道路（株）技術研究所 東本 崇

1. はじめに

少子高齢化・人口減少により社会資本整備費の抑制が求められる中、(公社)日本道路協会の「今後の取り組み—新時代の舗装技術に挑戦する¹⁾」やNEXCOの「長寿命化に資する次世代舗装技術の一般公募²⁾」にみられるように、舗装の長寿命化が社会的要請となっている。また、物流の増加やドライバー不足によって車両の大型化が進んでおり、工場や物流センターなどの重荷重車両が走行・駐停車する施設の舗装においても、より高耐久な舗装が求められている。

工場や物流センターなどの構内舗装においては、通常、ポリマー改質アスファルトを使用したアスファルト舗装や半たわみ性舗装が適用されている。しかし、前者においては、後者と比較して耐流動性や耐油性が劣り、後者においては、工種が増える、交通開放までの養生時間が長いといった課題がある。

そこで、筆者らは、これらの課題を解決するために、耐流動性および耐油性に優れた高耐久アスファルト混合物（以下、高耐久アスコン）について開発を行い、現在、工法化にまで至っている。本文では、開発した高耐久アスコンについて、各混合物との比較結果について述べるとともに、物流センターで適用した施工事例について紹介する。

2. 高耐久アスコンの概要

2-1 特徴

高耐久アスコンの特徴を以下に示す。

- ・ポリマー改質アスファルト混合物よりも耐流動性および耐油性に優れた混合物である。
- ・アスファルト合材工場で製造可能な混合物である。
- ・一般的なアスファルト舗装で使用する機械編成で施工可能な混合物である。

2-2 配合

(1) ベースとなる混合物

高耐久アスコンは、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（以下、改質II型アスコン）に特殊添加剤を添加した混合物である。各アスファルト混合所出荷している改質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）添加することで高い耐久性を付与することができる。

(2) 特殊添加剤

特殊添加剤の概要を表-1に、外観を写真-1に示す。本特殊添加剤は熱可塑性樹脂の一種であり、プラントミックスで使用する。

表-1 特殊添加剤の概要

項目	性状
形状	粉末状(1mm程度)
色	白色
密度	0.93g/cm ³



写真-1 特殊添加剤の外観

3. 高耐久アスコンの混合物性状

3-1 各混合物との比較概要

高耐久アスコンについて、工場や物流センターなどの構内舗装に適用されている改質II型アスコン、半たわみ性舗装との混合物性状の比較を行った。

3-2 試験項目

試験項目を表-2に示す。各混合物との比較は、耐流動性、耐油性、静荷重抵抗性、骨材飛散抵抗性といった種々の耐久性により評価した。

3-3 試験結果

各混合物の性状試験結果を図-1~4に、耐油性試験後の供試体外観を写真-2に示す。図-1より、動的安定度は、高耐久アスコンが15,750回/mm、改質II型アスコンは6,300回/mmであった。図-2より、耐油性は、高耐久アスコンの油浸漬後質量損失率は0.4%、改質II型アスコンは5.2%であった。写真-2より、耐油性試験後の供試体は、改質II型アスコンはアスファルトモルタルが剥脱しているのに対し、高耐久アスコンでは原型を保っていた。図-3より、静荷重による変位は、試験後24時間で高耐久アスコンが0.47mm、改質II型アスコンは1.90mmであった。図-4より、ねじりによる骨材飛散量は、高耐久アスコンが10.0gであったのに対し、改質II型アスコンは58.6gであった。

これらの結果から、高耐久アスコンは、改質II型アスコンよりも高い耐流動性、耐油性、静荷重抵抗性、骨材飛散抵抗性を有することが確認できた。半たわみ性舗装の各性能は、高耐久アスコンと比較し同程度以上であった。しかし、施工コストや手間の面では、半たわみ性舗装よりも高耐久アスコンの方に優位性があると考えられる。

表-2 試験項目

評価する性能	試験項目	測定項目	試験方法等
耐流動性	ホイールトラック試験	動的安定度 [回/mm]	舗装調査・試験法便覧 B003
耐油性 ³⁾	油浸漬試験*1	油浸漬後質量損失率*2 [%]	油浸漬前後の供試体質量を測定
静荷重抵抗性	静荷重試験 (60℃)	静荷重による変位 [mm]	混合物の静荷重に対する耐久性を測定
骨材飛散抵抗性	ねじり骨材飛散試験 (供試体旋回タイプ)	ねじり骨材飛散量 [g]	舗装調査・試験法便覧 B021

*1 マーシャル試験用供試体を灯油に48時間浸漬後、20℃で12時間以上乾燥養生

*2 油浸漬後質量損失率 [%] = $\frac{\text{油浸漬前供試体質量 [g]} - \text{油浸漬後供試体質量 [g]}}{\text{油浸漬前供試体質量 [g]}} \times 100$



写真-2 耐油性試験後の供試体外観

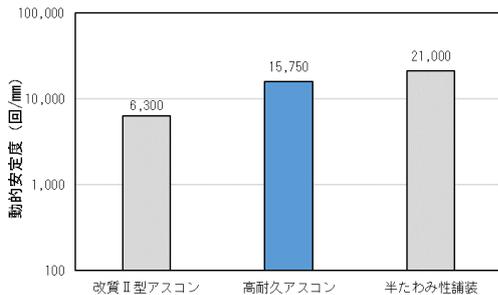


図-1 各混合物の動的安定度の結果

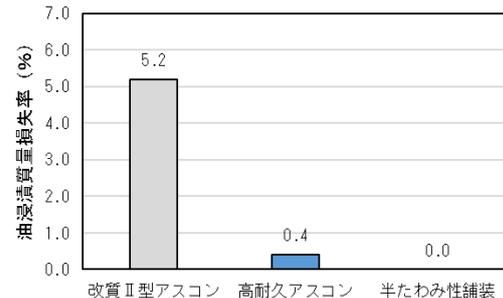


図-2 各混合物の油浸漬後質量損失率の結果

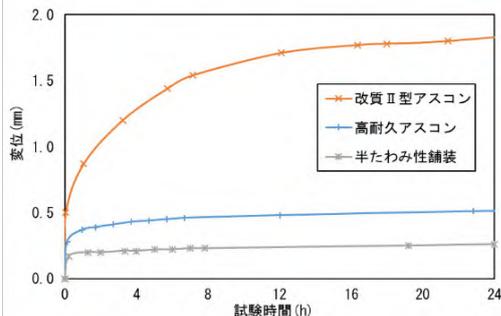


図-3 各混合物の静荷重による変位の結果

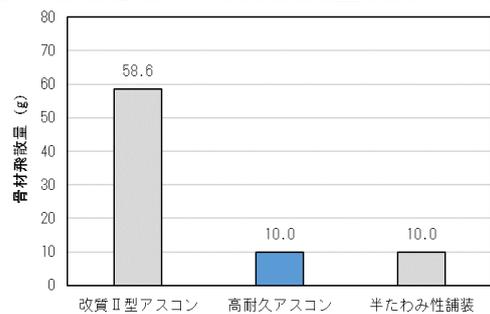


図-4 各混合物のねじりによる骨材飛散量の結果

4. 試験施工

4-1 試験施工概要

高耐久アスコンの施工性および供用性を確認するため、当社構内で試験施工を実施した。なお、比較工区として改質II型アスコンと半たわみ性舗装を施工した。基層(改質II型粗粒度アスファルト混合物)を施工した上に、タックコート(PK-4)を散布して、各工区を舗設した。試験施工概要を表-3、試験施工ヤードを図-5に示す。

表-3 試験施工概要

項目	内容
施工場所	当社合材工場構内
施工時期	2019年9月
施工内容	高耐久アスコン: 100m ² 改質II型アスコン: 50m ² 半たわみ性舗装: 50m ²
施工機械	敷きならし: アスファルトフィニッシャー 初期転圧: マカダムローラ 二次転圧: タイヤローラ

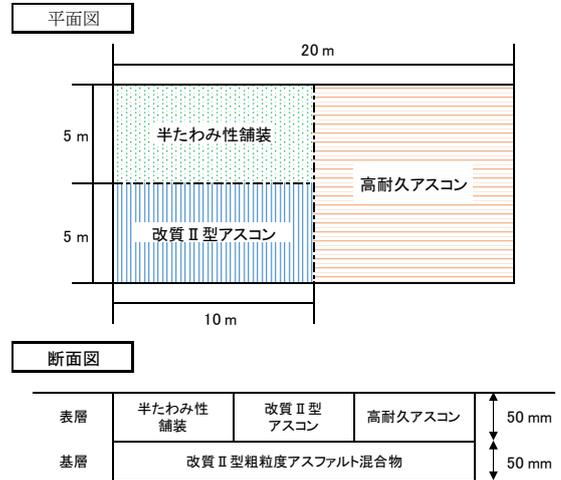


図-5 試験施工ヤード

4-2 試験施工

試験施工状況を写真-3に、試験施工箇所全景を写真-4に示す。一般的な改質II型アスコンと同様に、各工区の敷きならし温度は $165\pm 10^{\circ}\text{C}$ 、初期転圧温度は $160\pm 5^{\circ}\text{C}$ を目標とした。施工の際、作業員から、スコップやレーキで高耐久アスコンを取り扱ったときの感覚が、改質II型アスコンより若干重いとの評価があった。しかし、施工時の締固め度は、高耐久アスコンで97.9%、改質II型アスコンで98.2%と、ほとんど変わらなかった。人力施工による狭小箇所の施工には、検討の余地がある一方、機械施工であれば、改質II型アスコンと同様に施工できると判断した。試験施工後のDFTによるすべり抵抗性とCTメータによる路面のきめ深さの測定結果を表-4に示す。すべり抵抗性は測定速度を40km/hとし、測定の結果得られる動的摩擦係数で評価した。きめ深さの評価は、路面の粗さの評価値である平均プロファイル深さ(以下、MPD)で評価を行った。高耐久アスコンのすべり抵抗性は、施工直後から施工後1年まで動的摩擦係数が低下せず、改質II型アスコンや半たわみ性舗装と同程度であった。高耐久アスコンのきめ深さは、改質II型アスコンと比較して初期のMPD値は大きかったが、増加の傾向は小さかった。これらの結果から、高耐久アスコンは、供用後についても経年変化による舗装状況の低下が見られず良好と言える。



写真-3 試験施工状況



写真-4 試験施工箇所全景

表-4 測定結果まとめ

試験項目		期間	高耐久アスコン	改質Ⅱ型アスコン	半たわみ性舗装
試験機器	評価値				
DFT	動的摩擦係数 (40km/h)	施工直後	0.41	0.50	0.47
		施工後3か月	0.49	0.46	0.49
		施工後1年	0.47	0.46	0.46
CTメータ	MPD	施工直後	0.50	0.36	0.55
		施工後3か月	0.53	0.53	0.63
		施工後1年	0.67	0.67	0.74

5. 物流センター工事における施工事例

物流センターで実施した高耐久アスコンの施工概要を表-5に示す。施工機械編成は、試験施工時と同様である。施工状況を写真-5に、施工直後の路面状況を写真-6に示す。施工については、問題なく行え、仕上がり状況についても良好であった。

表-5 施工概要

項目	内容
施工場所	物流センター
施工時期	2021年1月
施工内容	高耐久アスコン:2,200m ²
施工機械	敷きならし:アスファルトフィニッシャ 初期転圧:マカダムローラ 二次転圧:タイヤローラ



写真-5 施工状況



写真-6 施工直後の路面状況

6. まとめ

改質Ⅱ型アスコンに特殊添加剤を加えることで、高い耐流動性、耐油性、静荷重抵抗性、骨材飛散抵抗性を付与した高耐久アスコンを開発した。また、試験施工では、一定の施工性を保持した混合物を製造できることを確認した。最後に、本工法を今後も物流センターや重交通路線等に適用していくことで、長期的なコスト低減と持続可能性の向上につながれば幸甚である。

【参考文献】

- 1) 日本道路協会：舗装委員会における今後の取り組み方針－新時代の舗装技術に挑戦する
https://www.road.or.jp/technique/pdf/hosou_chuk-an.pdf (2021.12.1 閲覧)
- 2) NEXCO 中日本 HP、
https://www.c-nexco.co.jp/corporate/pressroom/news_release/4626.html (2020.2.25 閲覧)
- 3) 杉山ほか：高安定性アスファルト混合物の耐油性評価方法と施工事例について、平成24年度近畿地方整備局研究発表会、新技術・新工法部門 (2012)