

「熱環境改善舗装に関する研究」報告書

田 神 一 美*

藤 原 栄 吾**

太田・A・春美***

結 論

1. 太陽直射下の熱環境改善舗装は、路面の輻射熱を一般舗装の約4割に減衰させる効果を発揮している。
2. 熱環境改善舗装は、その上で活動する人の体温上昇を抑え、熱中症予防に貢献することが示された。

1. 研究目的及び研究内容

輻射熱測定装置を用い熱環境改善舗装の輻射熱測定および解析を行う。

歩道や道路が舗装されることによる照り返しの増大は都市のヒートアイランド化の原因のひとつであり、スポーツ場面の熱中症の原因でもある。日射による舗装道路表面の照り返しを抑制できる舗装方法が各種開発されてきたが、これらを評価する指標として表面温度と気温が用いられている。舗装表面の温度は重要な指標ではあるが、高温環境における人体への輻射熱流入量を反映するわけではない。これを正確に測定する方法として人体輻射熱計（特願 2004-322045号）を考案し試作した装置を用いて舗装の照り返し評価を行う。

2. 研究方法と結果

1) 人体輻射熱計

健康・体力に問題の無い青年期以降の成人が熱中症を発症するに至る真の原因が熱源の存在であり、熱源から放射される赤外線であることは疑う余地は無い。しかし、同時に複数の熱源がある場合には、それらの何れが熱中症の真の原因であるかを特定することは困難な場合がある。人体輻射熱計（特願 2004-322045号）は、夏季の日中の環境下での屋外活動を想定して熱源の存在を探ることが出来る。

赤外線は可視光線とマイクロ波の間に挟まれた波長帯の電磁波（0.72～1,000 μm ）であり、熱源の温度が高いときには放射エネルギーのピークが短波長帯（近

赤外線（0.72～1.5 μm ）に移行し、逆に低いときには長波長帯（遠赤外線（5.6～1,000 μm ））に移行する。1.5～5.6 μm までの波長帯は中間赤外線とよばれている。従って、太陽直射の赤外線は近赤外線であり、人体（35～37 $^{\circ}\text{C}$ ）が発している赤外線は遠赤外線である。赤外線がエックス線やガンマ線と異なる点は、物質の透過性に乏しく、物質に吸収された際に全てのエネルギーが熱に変換される点である。従って赤外線には、同じ電磁波でありながら紫外線以下の高周波電磁波のようにヒトに対する発がん性などの激しい毒性は認められていない。

ある物体間で赤外線放射によるエネルギーの授受が行われているとき、その収支は、物体の温度と放射率によって決まるが、先にも述べた如く赤外線は広い波長帯を有することから、この全域を補足できる測定方法に課題があった。人体輻射熱計に用いたセンサーは、黒体近似（放射率0.95以上）に塗装された熱流センサーをヒートシンク（無限熱吸収体）に貼り付けたものであり、センサー表面で赤外線から変換された熱がヒートシンクに流れる量を検出している。従って、この方法で求める放射熱量は赤外線的全帯域をカバーしている。

一方、熱の流れは電磁波と異なる物理法則に支配され、熱流センサー表面の大部分の熱は伝導によってヒートシンクとの間で授受される。この流れを一元的に支配するのは熱流センサーとヒートシンクとの間の温度差である。人体輻射熱計に「人体」と冠した理由はここにあり、ヒートシンクは35 $^{\circ}\text{C}$ を常時維持するように設定されている。この35 $^{\circ}\text{C}$ は、運動して発汗中の人体の平均皮膚温を用いているので、この装置によって得られた値は、そのままで運動や作業をしている人体に授受された放射熱量と考えることが出来る。

2) 観測データの収集

ここで用いた観測データは、平成17年と18年の7月

* 筑波大学大学院人間総合科学研究科教授 ** 大林道路研究所研究員 *** 筑波大学大学院人間総合科学研究科体育科学専攻博士課程2年次生



と8月の晴天を選んで、東京都清瀬市の大林道路株式会社研究所構内ならびに茨城県つくば市の筑波大学内で採集したものをを用いた。

3) 解析法

アスコン舗装と打ち水ロードとの比較

先ず、アスコン舗装と打ち水ロードとの比較を行う

ために、1日の観測データの全てを時系列データとして、その変動をとらえ(図-1)、日射への被曝時間と日射の強さを勘案しながら、路面の舗装条件の比較が出来るデータを抽出した(図-2)。アスコンと打ち水舗装を比較したデータは図-1の440から570番目までの130組のデータについて精細な検討を行うこと

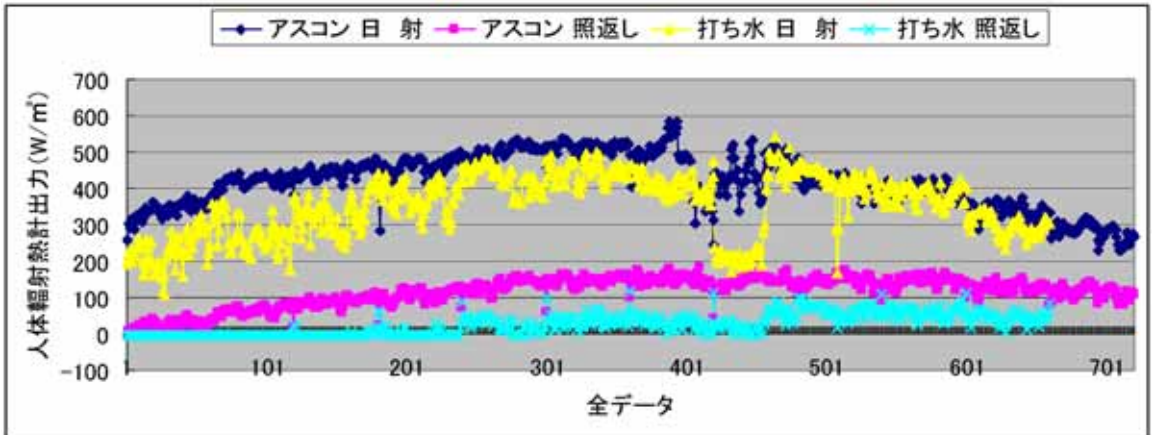


図-1 アスコン舗装と打ち水ロードの全データ

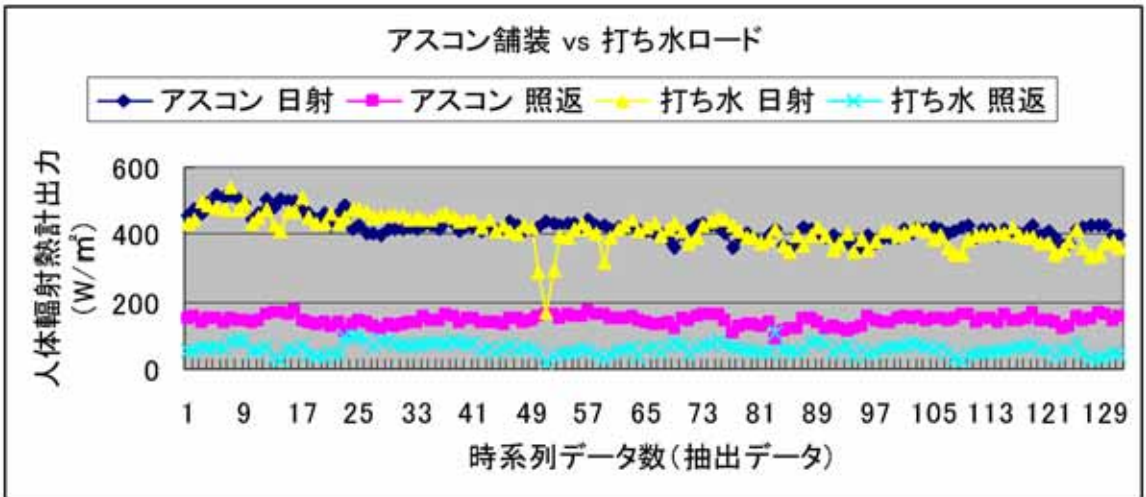


図-2 アスコン舗装と打ち水ロードの抽出データ

表-1 図-2のデータの統計量と平均値の差の検定結果

供試舗装		平均値	±標準偏差	標本数	検定(student t test)
日 射	アスコン	420.1	42.2	130	有意差なし(t=0.076)
	打ち水	410.9	53.4	130	
照り返し	アスコン	143.9	17.5	130	強度に有意(t=0.000)
	打ち水	59.6	14.4	130	

にした。

抽出した130組のデータの統計量と有意差検定の結果を表-1に示した。全データの中から十分な日射時間があり且つ日射の強さに差の無いデータを特に選び出しているのが、当然ながら日射量には差が無いという条件を確認した。照り返しの比較結果を見ると、アスコン舗装の照り返しは打ち水ロードの2.4倍に相当し、その差は統計的にも意味のあるものであった。

4) 炎天下の歩行運動実験

体力的に優れた中国、韓国、日本などのアジア人9名を被験者として、炎天下の隣接している二つ（土と人工芝）のグラウンド上で1時間の歩行運動（約6 km / 分）をそれぞれ1回ずつ行わせた。被験者には皮膚温6点（額、胸、上腕、前腕、大腿、下腿）と直腸温

用の計7本の温度計を装着して1分毎に連続測定、記録した。また、発汗によって失われる水分量（水分損失量）を10グラム精度の体重計を用いて運動の前後に測定し、運動中に飲んだ水の量を減じ、運動中の排泄量を加える方法で算出した（図-6）。屋外の実験では環境条件を厳密に調整することが出来ないで、同時に実験する被験者数を4名として、天候を厳選して、短期集中的に実験した。

皮膚温の測定値をそれぞれの皮膚面積に応じて案分平均して平均皮膚温を求め、平均皮膚温の0.2倍と直腸温の0.8倍を加えて平均体温を算出した。1時間の歩行運動中の平均体温の上昇度に身体の比熱（3.47）と体重（kg）とを乗じて蓄熱量（kj）を算出した（図-7）。

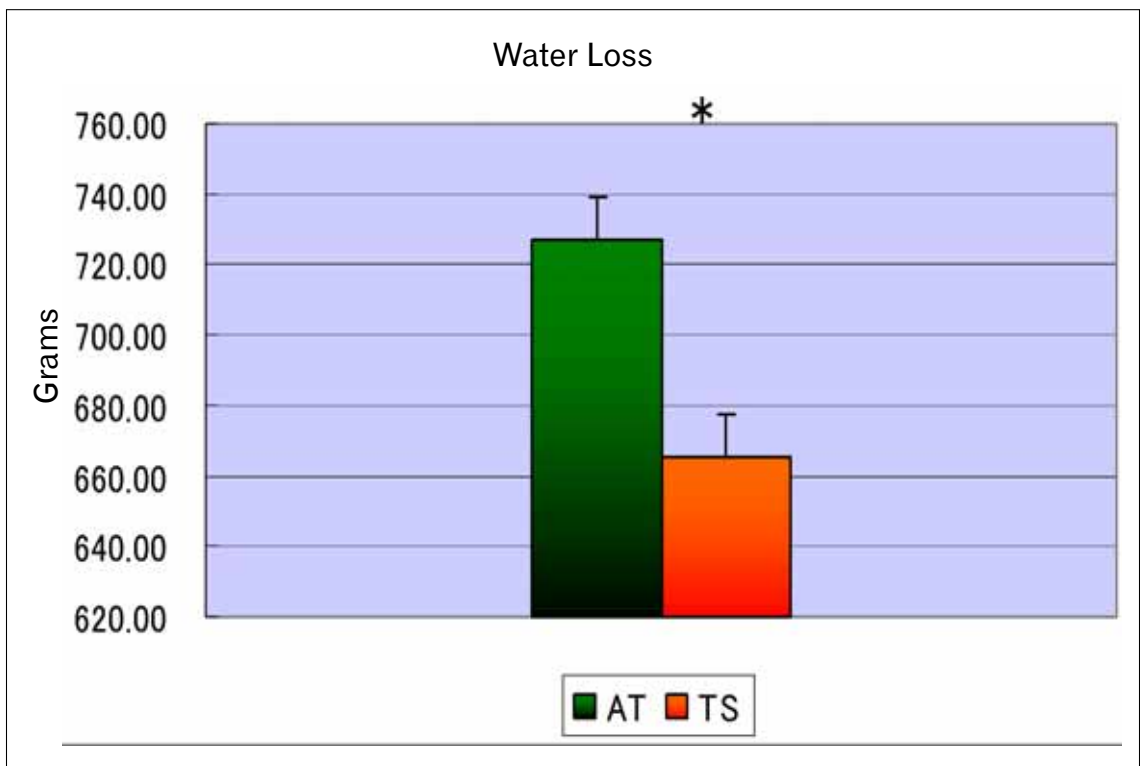


図-6 夏季の炎天下の歩行運動中の水分損失量 (n=9)

AT；人工芝グラウンド、TS；一般土壌グラウンド、

日本体育協会の「熱中症予防のための運動指針」では湿球黒球温度（WBGT）が指標として用いられている。この指標は全世界で使用され、わが国の労働衛生でも使われてきたが、蓄熱量との相関が認められていないなどの技術的な問題を有しているとの指摘を受けてきた。人体輻射熱計がこうした指摘に対して適切に対応できるか否かは、屋外スポーツマンと屋外労働者の熱中症予防への摘要に関わる重大な関心事である。この観点から解析した結果を図-8に示した。

3. 考 察

都市のヒートアイランド化への対応策として現状のコンクリートやアスファルト舗装技術の見直しが進められている。大林道路株式会社では、こうした動きに対して打ち水ロードTMと打ち水ターフTMで参入している。

ヒートアイランド現象を衛生学の視点から見ると、極めてマクロな視点からの都市気候の捉え方であり、

巨大都市の出現に連鎖して全地球規模の温暖化を視野に入れた捉え方に映る。衛生学では個々の生活の場に密着した技術と健康との関連性に主眼を置いた視点からよりよい対応を模索してゆく。従って、舗装技術の進展がヒトの健康に何をもたらすかが我々の課題であり、熱に起因する疾患である熱中症の予防と舗装技術

との関連性が目前の課題と考える。つまり、衛生学では「熱中症予防に有効な舗装技術が優れた技術である。」という価値基準に基づいて舗装技術を評価する。

太陽の直射は高温（6500°K）の放射であることから、エネルギーのピークが近赤外領域（約0.45μm）にあって人体に吸収される割合は低い。しかし、ひと

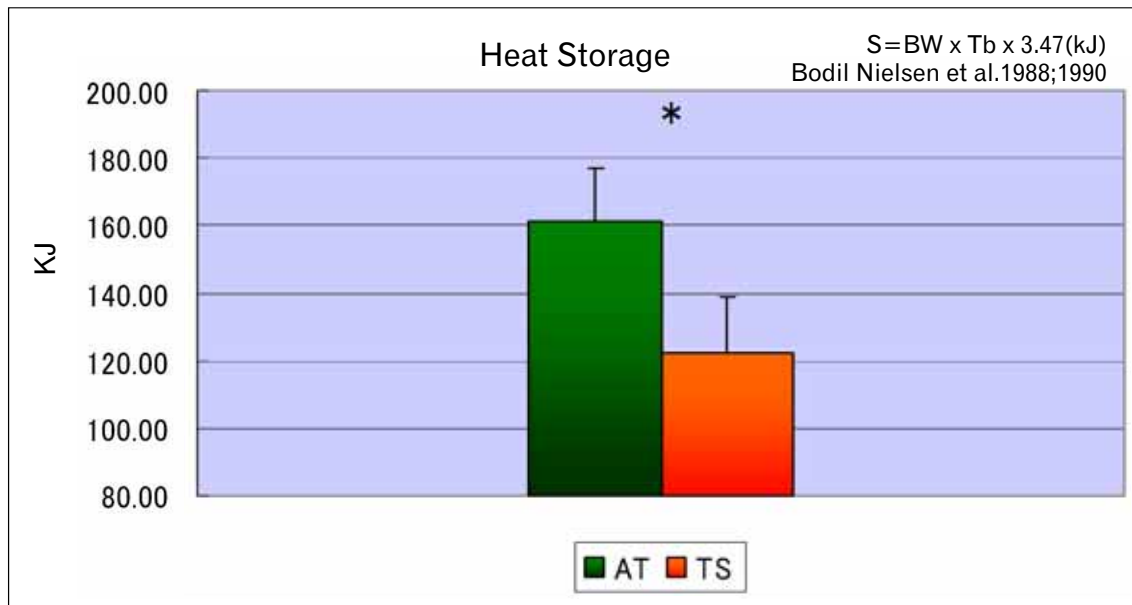


図-7 夏季の炎天下の歩行運動中の蓄熱量 (n=9)、
AT；人工芝グラウンド、TS；一般土壌グラウンド

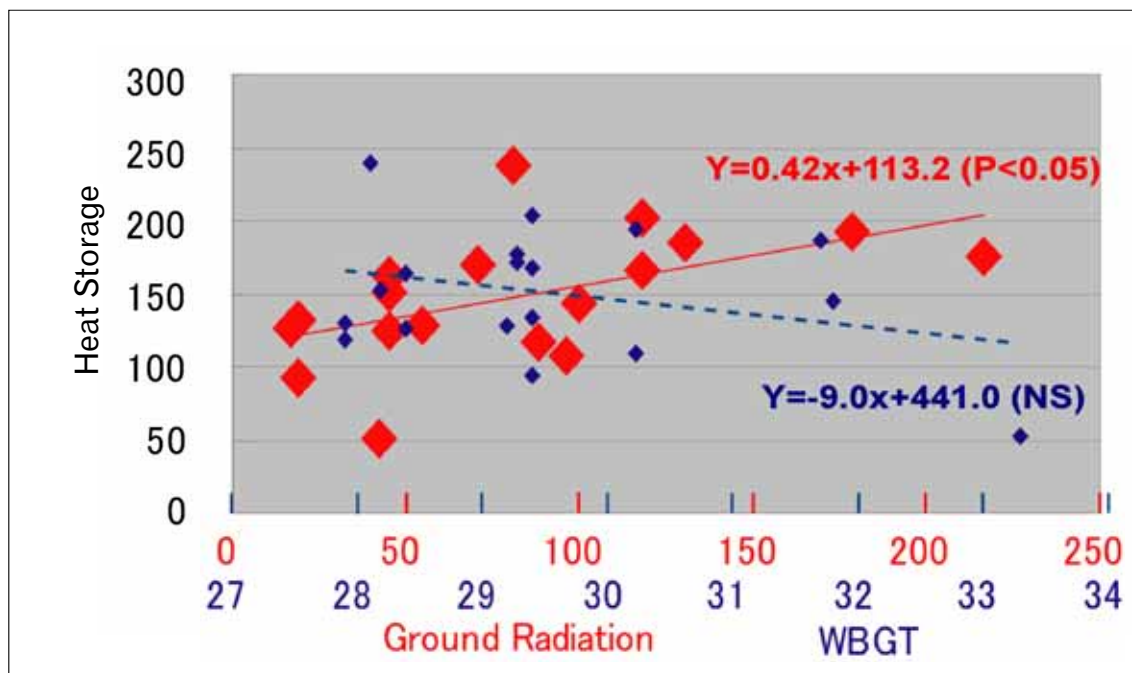


図-8 夏季の炎天下の歩行運動中の蓄熱量と人体放射熱計出力◆並びに蓄熱量とWBGT◆との相関分析の結果

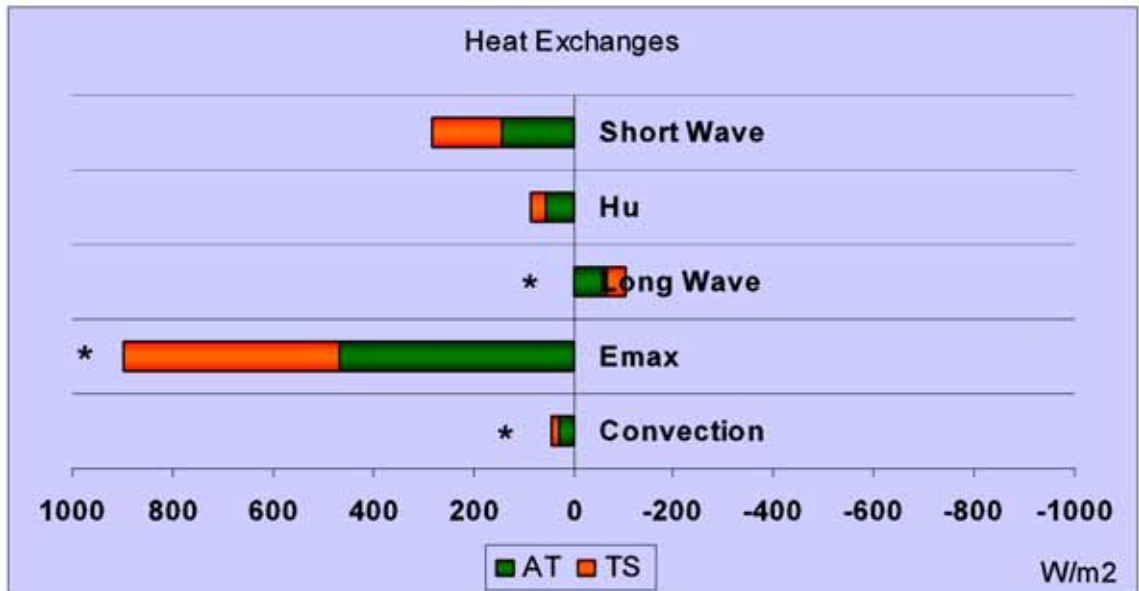


図-9 炎天下の歩行運動実験中の熱交換機転ごとの収支、上から近赤外線、全赤外線、遠赤外線、蒸散（発汗）、対流による収支を表している。AT；人工芝グラウンド、TS；通常土壌グラウンド

たび物体に照射されると近赤外線は、そこで熱に変換されて物体の温度を（土壌や舗装表面の場合には70℃程度まで）上昇させて二次的な赤外線（遠赤外線、約8.5μm）を放射する。身体に直接照射された日射も当然ながら熱に変換されるが、日中の高度が高い時間帯の日射は人体の投影面に照射されるので、立位の運動や作業であれば大きな熱負荷にはなり得ない。一方、グラウンドや舗装面などの地上から放射される遠赤外線は、人体への吸収効率がよく体表のほとんど全ての面に照射されて、住居以外にこれを遮る文化を持たない人類では、屋外活動中には地上輻射熱を避ける術を持たない。

屋外の太陽直射下で運動や作業をする人体の熱収支は、産熱量（代謝や運動による体熱産生と環境からの熱流入量の和）と放熱量（伝導、輻射、対流と蒸散）とがバランスする状態が健全な状態で、体温を上げることなく長時間にわたって活動を維持することが出来る。ところが、グラウンドでの運動実験から分かるように、日射量を変えずに人体輻射熱計で求めたグラウンドの輻射熱量を約2倍に増大させた場合では、これが環境熱流入量に加わるために蓄熱量を増大させる結果になっている。実験・研究災害を恐れるので運動負荷量や負荷時間を大きくすることが出来ないために、この実験では環境熱流入負荷が直腸温に反映されるには至らなかったが、発汗量に代表される体温調節系はこうした我々の実験条件にあっても既に応答を始めている。発汗量を増大させる身体の適応にもかかわらず、

実際にはこうした汗の増加分の大部分は身体から滴り落ちる「無効発汗」となって、身体冷却の役に立っていない。

以上の関係を熱交換の機転ごとにまとめた結果を図-9に示した。日射による身体への流入熱量を示すShort Waveと、日射と地上輻射を除いた輻射熱による身体への流入量を表すHuは共に、この実験環境下では十分に放熱されて相殺されていることを示している。Long Waveは、地上輻射が熱負荷になっていることを表し、しかもグラウンドの照り返しの影響を受けていることを示している。Emaxは、汗の蒸発潜熱による最大冷却量を表し、グラウンドの照り返しが大きいつきには増えることを示している。Convectionは、対流による放熱が小さいながらあって、これにもグラウンドの照り返しが影響していることを示している。炎天下の歩行運動実験中のLong Waveを除く全ての熱交換機転は、放熱に働いているが、Long Waveだけは身体に流入して入熱または熱負荷の状態にあることを示している。

つまり打ち水ターフ™や打ち水ロード™は、日射下の舗装表面温度を低く抑える技術であり、この技術によって舗装面上で活動する人々の体温を上昇させないように機能している。更にこの技術水準は、水の気化熱を利用する方式の上限にあると考えられる。

遮熱性舗装 I Rガードの試験施工とその評価

(埼玉県ヒートアイランド対策技術公開検証試験)

北岡善文*
藤原栄吾**

はじめに

近年、都市部を中心にヒートアイランド現象が社会問題となっている。これは、都市部では人口の集中や市街地の拡大に伴い緑化面積が減少し、熱循環の悪化が生じたことによるといわれている。その原因の中には都市の面積の約20%を占めるアスファルト舗装も挙げられ、夏季の路面温度上昇が要因のひとつとなっている。遮熱性舗装は、このような夏季における路面温度の上昇を抑制する目的で開発された工法で、最近実績を伸ばしている。

今回、埼玉県が公募したヒートアイランド対策技術公開検証試験に当社も応募し、遮熱性舗装 I Rガード(以下 I Rガード)の施工を行ったので、評価も含めて報告する。

1. 遮熱性舗装の概要

1-1 メカニズム

I Rガードの概念図を図-1に示す。

I Rガードの温度上昇抑制効果は、日射エネルギーの約半分を占める近赤外線を高反射して熱吸収を防ぐことで得られる。

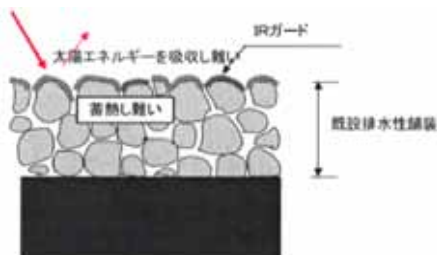


図-1 I Rガードの概念図

1-2 施工実績

遮熱性舗装技術研究会で取りまとめた遮熱性舗装の施工実績を図-2に示す。この研究会は平成15年5月

に設立され、平成18年6月現在、19の会社が所属している。

図-2に示すように遮熱性舗装は年間約4万m²の施工が行われている。

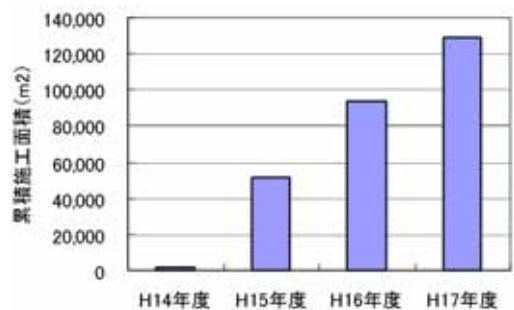


図-2 遮熱性舗装の累積施工実績

2. ヒートアイランド対策技術公開検証試験の公募概要

今回のヒートアイランド対策技術公開検証試験は、埼玉県環境部温暖化対策課が中心となり以下の内容で公募された。

- ・公募の目的：都市部におけるヒートアイランド現象の緩和に関する新しい技術を広く募集し、県庁舎敷地内において試験施工を実施する。また、その取り組み内容や効果を公表することにより、新技術の普及・促進を図る。
- ・公募技術の内容：公募する技術は以下の2つとし、公募資格や施工実績について制限を設けない。

(1) 遮熱性舗装

舗装の表面に遮熱性の塗料等を塗布することによって太陽光のうち、赤外線域を反射させることで舗装の蓄熱量を減少させる技術

(2) 主に歩道等に利用する技術

歩道や公園の散策路などに利用できる新技術とし、貯留槽一体型保水性舗装(保水期間が飛躍的に伸びる

*本店エンジニアリング部舗装グループ統括マネージャー

**技術研究所調査試験室主任研究員



技術)、その他ヒートアイランド現象の緩和に関する舗装技術

当社は遮熱性舗装 I R ガードで応募し採用された。最終的に遮熱性舗装が10工区 (16社)、歩道技術が6工法 (6社) が採用となった。

3. 塗料選定試験

今回の埼玉県ヒートアイランド対策技術公開検証試験に応募するに際し、より路面温度の低減効果があり、施工時の臭気も少ない塗料を求めた。そこで従来使用していた塗料1と新規に検討を始めた塗料2について室内評価試験を行った。

図-3および表-1に塗料1の室内照射試験結果と塗料2の室内照射試験結果を示す。塗料の明度はどちらもN-40である。

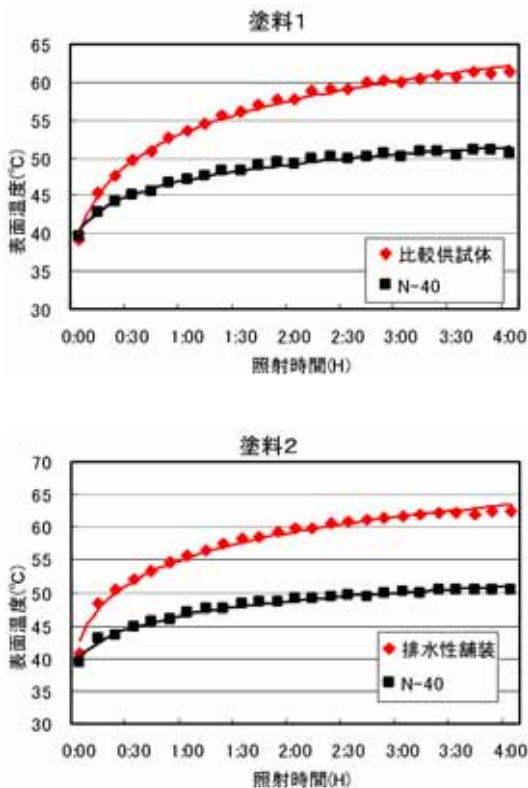


図-3 室内照射試験結果

表-1 室内照射試験結果

路面温度 (比較供試体) °C	塗料1 N-40		塗料2 N-40	
	路面温度 °C	差 °C	路面温度 °C	差 °C
50	43.7	6.3	43.9	6.1
55	45.8	9.2	46.5	8.5
60	50.4	9.6	49.1	10.9

図-3、表-1に示すように塗料2の路面温度低減効果は明度N-40で10°C以上あることが確認され、今回の公開検証試験にこの塗料を使用することとした。

4. ヒートアイランド対策技術公開検証試験

4-1 検証試験概要

遮熱性舗装の公開検証試験の場所は、写真-1に示すように埼玉県本庁舎南玄関前の駐車場で、既設舗装は透水性舗装である。1工区が2.3m×10mで10工区並列する形で施工することとなった。各工区には熱電対が設置され、施工完了後には路面温度を電光掲示板で表示し、一般市民が路面温度の状況を確認できるようになる。



写真-1 遮熱性舗装試験施工箇所

4-2 施工フロー

施工フローを図-4に示す。

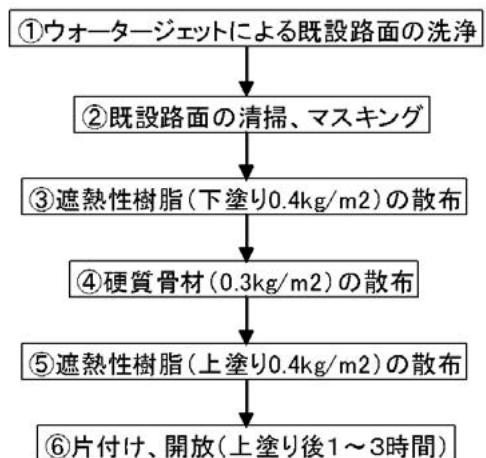


図-4 施工フロー

4-3 施工状況

施工状況を写真-2～写真-6に示す。



写真-2 施工前（清掃、マスキング終了時）



写真-5 施工完了



写真-3 遮熱性樹脂（下塗り）
および硬質骨材の散布



写真-6 路面状況



写真-4 遮熱性樹脂（上塗り）の散布

5. 路面温度上昇抑制効果

5-1 非接触温度計と赤外線カメラによる評価

IRガードの施工を平成17年8月2日に終え、8月10日に当社施工箇所および隣接する既設舗装の路面温度を測定した。測定は非接触温度計および赤外線カメラを使用した。

測定結果を表-2に、熱画像を写真-7に示す。

表-2に示すように既設路面温度が60℃を超える状況で10℃以上の路面温度低減効果が確認できた。

表-2 路面温度測定結果

	非接触温度計			赤外線カメラ
	10:30	11:30	12:00	11:00
既設温度(℃)	56.4	61.3	61.8	56.8
J工区温度(℃)	48.7	49.1	51.0	47.8
温度差(℃)	-7.7	-12.2	-10.8	-9.0

* J工区: 当社施工箇所

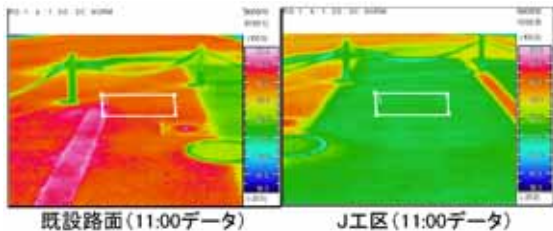


写真-7 熱画像測定結果

5-2 埼玉県による検証結果(中間報告より)

埼玉県では今回のヒートアイランド対策技術公開検証試験について平成18年10月に中間報告を公表している。検証の対象期間は8月6日から9月5日の1ヶ月間で、路面下1cmに埋設した熱電対から得た温度データに基づき解析している。この公開検証は平成20年度まで実施される予定である。

写真-8に遮熱性舗装工区全景および図-5に公表された路面温度測定結果を示す。

写真-8に示す遮熱性舗装全景で当社施工は右端のJ工区である。また、図-5より当社施工のJ工区の路面温度低減量は10.5℃(既設路面温度61.1℃)であり、当社の測定結果ともほぼ一致していた。

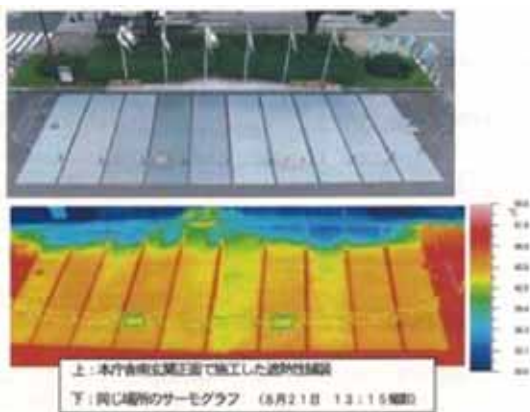


写真-8 遮熱性舗装試験工区全景

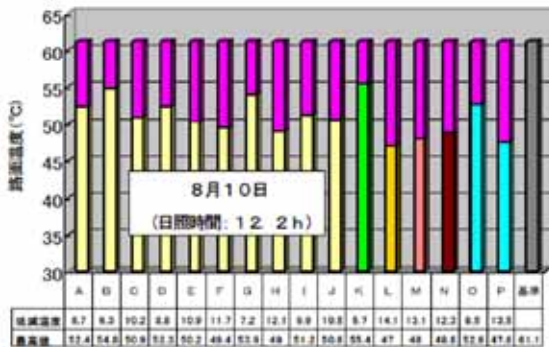


図-5 熱電対による路面温度測定結果

おわりに

今回、埼玉県公募のヒートアイランド対策技術公開検証試験に参加し、無事施工を終えることができた。後に埼玉県知事より感謝状をいただいた(写真-9)。遮熱性舗装も含め、熱環境を改善する舗装工法は、開発もない工法が多く、これからも改良が望まれているところである。今後も試験施工も含め、これら熱環境改善工法の普及に努めていきたいと考える。

最後に、今回の埼玉県ヒートアイランド対策公開検証試験に参加するにあたりご協力頂いた方々に感謝の意を表し、報告を終わりとす。

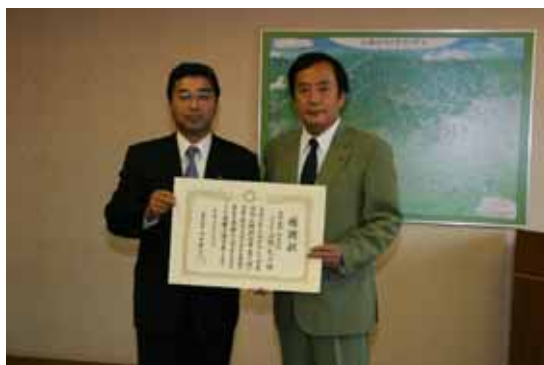


写真-9 埼玉県知事より感謝状をいただく
(左は当社埼玉営業所太細課長代理)

官舎構内舗装における遮熱性舗装‘IRガード’の施工例

石塚良一*
 小熊誠**
 藤原栄吾***

はじめに

近年、都市部のヒートアイランド現象が大きな社会問題となっている。当社においても熱環境対策工法として遮熱性舗装（IRガード）を開発している。

遮熱性舗装とは日射エネルギー量の約半分を占める近赤外線を反射することにより、舗装体内への蓄熱を防ぐものである。日中の路面温度の低減に加え、熱帯夜の軽減に効果を発揮するものである。

本報では中央官庁官舎構内で施工された、遮熱性舗装から、施工上、特に留意すべき項目を報告する。

1. 工事概要

1-1 施工概要

施工数量：舗装打替え、遮熱性舗装工 3,790m²
 特記仕様：

本工事の遮熱性舗装の特記仕様を表-1に示す。

表-1 遮熱性舗装の特記仕様（抜粋）

項目	仕様
色	・アスファルト舗装近似色
材種工法	・製造所の仕様による
遮熱性能	・路面温度の低減は、最高気温30℃日射のある条件で測定する。 ・日射量の多い11時～15時の間で、30分毎に接触型温度計にて測定する。 ・隣接する既設路面との同時刻における温度差の最大値が10℃以上とする。 ・測定は監督職員の立会いによる。
製造所	・性能等の確認できる資料を提出し監督職員の承認を受ける

使用塗料の決定は、試験成績書とともにサンプルに依った。これは、色合いを日本塗料工業協会の色番号で指定しても若干の差を生ずる場合があること、またアスコンに散布した場合に、塗料の色あいと相違が発生することがあるためである。色見本や色番号のみで塗料を決定することは避けるべきである。

* 技術研究所調査試験室

* 関東支店エンジニアリング部部长

*** 技術研究所調査試験室主任研究員

1-2 使用材料

表層混合物には再生密粒度アスコン(13)を使用した。IRガードに使用する遮熱塗料はメチルメタアクリレート（略称：MMA）を主成分とする反応性樹脂液に、遮熱塗料を配合したものをを用いた。（以後、遮熱樹脂という）なお、本工事で使用した遮熱塗料の色は灰色（N50）である。使用材料を表-2に示す。

表-2 使用材料

種別	品名	用途
プライマ	ASシーラ	付着性向上
MMA樹脂	下塗りA液	遮熱塗料入り
	下塗りB液	
セラミック粒	セラロードB粒	すべり止め材
MMA樹脂	上塗りA液	遮熱塗料入り
	上塗りB液	
硬化剤	BPO	B液と混合

1-3 使用機械

遮熱性舗装の施工で使用した主な機械を表-3に示す。

表-3 使用機械

施工機械	用途	数量
ハンドミキサー	樹脂混練	1台
2液混合樹脂散布機	遮熱塗材散布	2台
骨材散布機	すべり止め骨材散布	1台

2. 施工方法

2-1 施工フロー

既設舗装面への施工フローを図-1に、施工配置図を図-2に示す。また、施工状況を写真-1に示す。

1) 既設路面清掃

既設路面は砂やゴミを十分に取り除き、乾燥状態であることを確認する。路面が濡れている場合は十分乾燥させる必要がある。



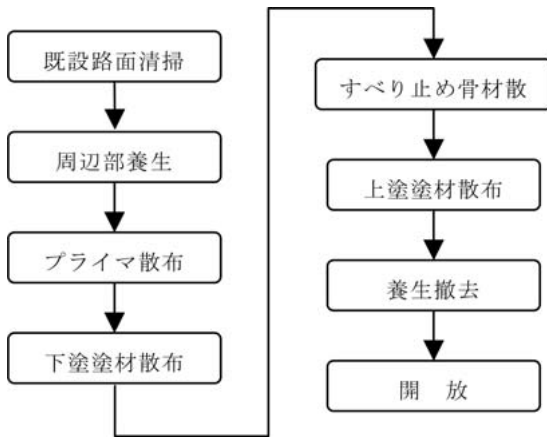


図-1 施工フロー図

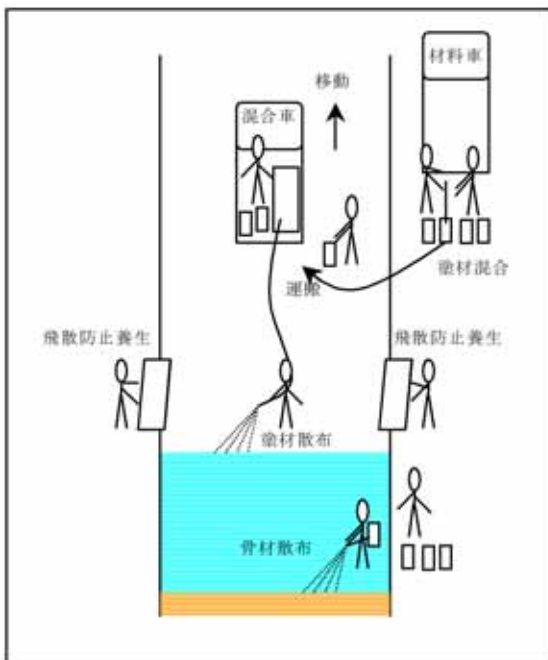


図-2 施工配置図



写真-1 下塗りと骨材散布の状況

2) 周辺部養生

周辺構造物や路面表示はマスキングを行い、飛散養生を行う。特に、第三者車両等は排除しておく必要がある。

3) プライマ散布

遮熱樹脂と既設路面の付着を良くするため、 0.1 kg/m^2 程度の量でプライマを散布する。散布には2液混合樹脂散布機を用いることができる。

4) 遮熱樹脂散布 (下塗り)

下塗りB液に硬化剤 (BPO) を混合し、ハンドミキサにて良く練り混ぜる。その後、A液とB液を作業車に取り付けられた2液混合樹脂散布機に投入し、路面へ 0.4 kg/m^2 程度の量で散布を行う。

5) すべり止め骨材散布

背負い型の骨材散布機に硬質骨材 (セラミック骨材) を投入し、 $0.2 \sim 0.7 \text{ kg/m}^2$ 程度の量で散布を行う。

6) 遮熱樹脂散布 (上塗り)

下塗り遮熱樹脂の硬化を確認した後、下塗りと同様の手順、量で上塗り散布を行う。

7) 養生撤去

上塗りの遮熱樹脂の硬化を確認した後、養生材の撤去、片付けを行い、交通開放する。

2-2 施工時の留意点

1) 既設路面の湿潤、降雨

MMA樹脂は硬化反応する際、水分の影響を受けると硬化不良を起す。硬化不良により、黄色い粉を噴いて変色する白華現象の発生や、耐久性の大幅な低下を招くので、既設路面が十分乾燥していることを確認した。また、樹脂の硬化中に降雨があると同様の現象が発生するので、気象予報に注意を払った。

2) 硬化剤 (BPO) の添加量

B液には、硬化剤を現場にて添加するが、添加量を決める際には十分注意が必要である。MMA樹脂は路面温度や気温に大きく影響を受けて、硬化速度が変化する。そこで、路面温度の測定を行い、施工業者や塗料メーカーと現地で打合せて添加量を5%とした。

路面温度と硬化剤添加率の関係を表-4に示す。

3) MMA樹脂特有の臭気

MMA樹脂は硬化反応中に特有の臭気が発生する。食品を扱う場所、商店街、あるいは空調設備の換気口周辺での作業には、留意が必要である。

2-3 工程管理

外構工事等における標準施工歩掛を表-5に示す。

ただし、供用中の2車線以上の車道で、規制を変えながら作業する場合は250～300m²/日となる。

表－4 路面温度と硬化剤添加率

路面温度範囲 (°C)	硬化剤添加率 (%)
-5～0	12～10
1～10	6～7
11～20	5
21～30	4
31～40	3
41～50	2

表－5 遮熱性舗装の標準施工歩掛

※1,000m ² /日 (養生～片付けまで)	
機械・労務	数 量
ハンドミキサ	1台
2液混合樹脂散布機	1台
骨材散布機	1台
作業員	7～8人

施工した駐車場は、供用中であった。したがって、駐車場面積約4,000m²の施工を、土曜および日曜日の2日間で完了させるため、樹脂散布機を2台使用した。さらに作業員を20人として1日2,000m²の施工を行った。

樹脂散布機を2台にすることにより、硬質骨材散布後、別の散布機で上塗りを行うことで施工性が向上した。また、作業員を増員することで、養生作業や片付け作業を速やかに行い、早期に開放できた。

2-4 品質管理

1) 硬化確認

硬質骨材を散布した後、または上塗りを施工した後、遮熱樹脂の硬化状況を確認する必要がある。確認はHBの鉛筆を用い、塗材の表面をなぞったときに、塗膜が剥がれず、線が引ければ次工程、または交通開放ができる。

2) 室内試験サンプル

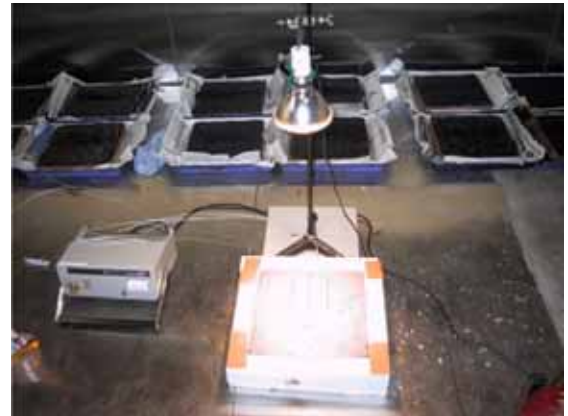
路面温度低減効果を確認するため、所定の方法により作製されたサンプル用供試体を施工当日までに準備しておいた。施工日に施工現場で遮熱樹脂の散布を行い、室内評価試験用サンプルを作製した。遮熱性舗装技術協会¹⁾では、このサンプルを用いた室内試験の温度低減効果の結果をもって品質保証することとしている。サンプル作製状況を写真－2に、室内評価試験状況を写真－3に示す。

3) 散布量

すべり止め硬質骨材や遮熱塗材の散布量の確認は、アルミ板を用いて行うことも可能であるが、本工事で



写真－2 サンプル作製状況



写真－3 室内試験状況

は空袋検収により確認を行った。

3. 温度低減効果

3-1 室内評価試験結果

技術研究所において実施した室内評価試験の結果を表－6に示す。

表－6 室内評価試験の結果

施工日	試験回数	供試体番号			
		N-50.1		N-50.2	
		路面温度	差	路面温度	差
3/4	1	48.7	11.3	49.1	10.9
	2	48.5	11.5	48.9	11.1
全体平均					11.2

※比較用密粒度アスコンの温度が60℃の時の値

3-2 現場評価試験結果

8月29日、路面温度の低減効果の確認試験を実施した。この日は最高気温が31℃(15:00現在)と、測定条件を満足する日であった。試験に用いた機材を表－7に示す。

表-7 測定資機材

資機材	用途	数量
データロガ	路面温度の自動記録	1台
熱電対	温度測定	6本
比較用供試体	密粒温度比較用	1枚
外気温度計	外気温度測定	1台

※熱電対は遮熱性舗装に3本、比較供試体に3本取り付けて、平均温度を求める。

測定の結果、14:30の時点（気温30.8℃）で既設路面に対して11.3℃の温度低減効果が得られた。

4. まとめ

以上に、遮熱性舗装（IRガード）を施工する際の留意事項について述べた。塗料メーカーにより温度低減

効果や施工性が若干異なるものの、基本的には同様の配慮が必要である。以下に特に重要な点をまとめる。

- ・遮熱樹脂硬化の際に水分の影響を絶対に与えてはならない。
- ・臭気には十分配慮する。

営業活動や施工の際は、これらの特性を理解してもらい、工程遅延や瑕疵のない施工をしてほしいと考えている。

<参考文献>

- 1) 遮熱性舗装技術研究会：遮熱性舗装の温度上昇抑制効果を評価する室内照射試験法の提案、舗装、pp14～19、(2005.3)

坂道における保水性舗装‘半浸透型ハイシールM’の施工例

高橋 政 市*
 藤原 栄 吾**
 小熊 誠***

はじめに

保水性舗装は、工法的には半たわみ性舗装と類似したもので、開粒度タイプのアスファルト混合物層（以下、母体アスコンと称す）の空隙中に保水機能を有したセメントミルク（以下、保水材と称す）を浸透させるものである。

セメントミルクは勾配に応じて流下する。このため、これまでの適用実績の多くは平坦部でのものであり、本施工箇所のように坂道での施工の例は少なかった。また、本工事の工区内には路線バスの運行経路にもなっている交差点があり、大型車のすえ切りによる骨材飛散も懸念された。

こうした厳しい立地条件では、保水材の流下を勘案した上で均一に充填する施工技術が要求されるとともに、局所的な補強など様々な創意工夫が求められた。

本稿は、当社の保水性舗装（以下、ハイシールMと称す）を坂道（縦断勾配3.0%～4.5%の車道）において施工した実績について報告するものである。

1. 施工概要

1-1 工事概要

当現場の工事概要は、以下のとおりである。

- ・性能要件発注方式
- ・路面切削工 全面切削 t=100mm 7460m²
- ・保水性舗装工 厚10cm、75%浸透 5962m²

1-2 工事箇所

本工事路線は、起点より北へ向かって上り勾配が始まり、途中滑り止め舗装を施した2箇所のカーブを経て、終点へ至る約500m、片側2車線の4種2級道路である。

2. 施工方法の検討

2-1 傾斜部対応型保水材の検討（室内試験）

3種類の保水材について、現地と同条件の環境（最大勾配4.5%）での室内注入試験を行った。

2-1-1 準備

①母体供試体 3枚 (30cm×30cm×10cm)

②保水材 3種類 ※基準フロー値=9～13

保水材Ⅰ：標準タイプ

鉱物質系微粉末+セメントミルク
 (フロー値9秒)

保水材Ⅱ：増粘タイプ (フロー値10秒)

増粘材を入れてフロー値を上げたもの

保水材Ⅲ：高保水タイプ (フロー値9秒)

保水に資する鉱物質の割合を多くし、少量の充填（例5cm）でも基準の保水量を確保できるもの

2-1-2 保水材注入試験

①保水材の充填率を75%、連続空隙率を20%と仮定して、所定量の保水材を計量する。

注入量=1350ml

(30×30×10×0.75×0.20)

②縦断勾配を4.5%の台の上に供試体を置き、勾配

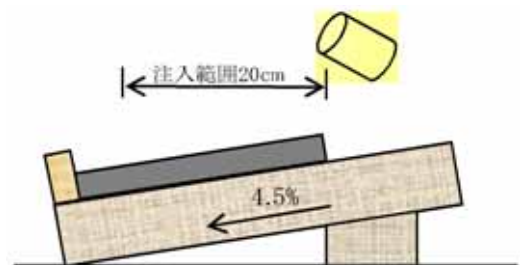


図-1 試験概要図

*関東支店茨城営業所工事主任

**技術研究所調査試験室主任研究員

***関東支店エンジニアリング部部长



上面から保水材を注入する。
 ※保水材は勾配上側端部から20cmまでの位置で注入
 (図-1参照)

2-1-3 保水材充填高さ測定

- ①勾配上側と下側の断面をカッターで切断して供試体の保水材充填高さの比較を行う。
- ②コアを採取して、最大保水量を測定する。

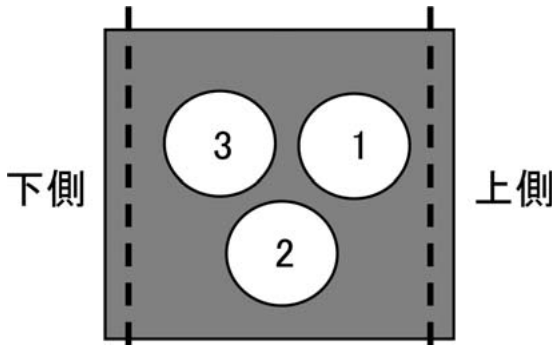


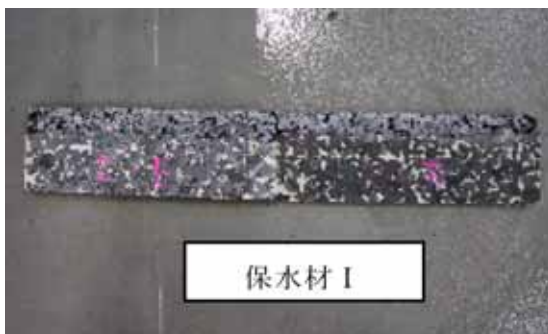
図-2 カッター切断およびコア採取位置

2-1-4 試験結果

- ①保水材高さ
- ②最大保水量

表-1 保水材充填高さ測定結果

保水材の種類	平均充填高さ (cm)		備考
	上側	下側	
保水材Ⅰ	7.10	7.65	
保水材Ⅱ	6.60	7.40	充填時表面流れあり
保水材Ⅲ	6.50	7.35	



2-1-5 まとめ

今回の室内試験結果を以下にまとめる。
 ・保水材の充填高さは供試体レベルでは勾配の影響を

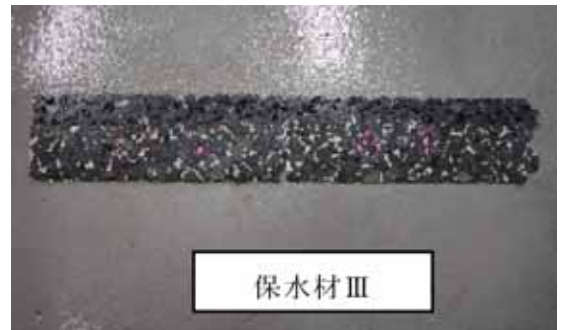
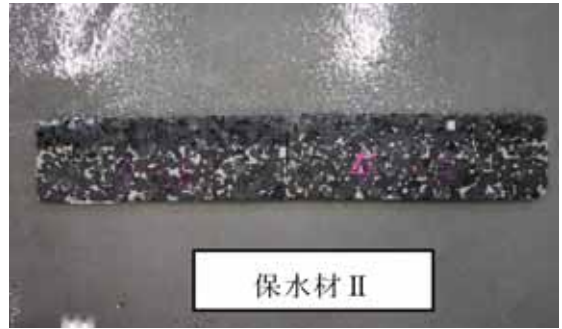


写真-1 保水材充填断面

表-2 最大保水量測定結果

保水材の種類	採取位置		
	1	2	3
保水材Ⅰ	7.6	7.2	6.8
保水材Ⅱ	7.8	7.6	6.8
保水材Ⅲ	9.1	8.3	7.7

※保水量は1㎡あたり

受ける。

- ・勾配の影響は、実際の勾配の約1/2程度である。
- ・フロー値は10秒でも浸透は可能。但しフロー値が大きすぎると、空隙に充填される前に表面を流れる恐れがある。
- ・保水量は、3種類とも満足する。

2-1-6 保水材の決定事項

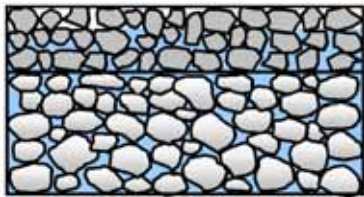
- ・保水材にはⅢを用いる。
- ・母体アスコンの連続空隙率は20%を目標とする。
- ・フロー値は10秒を目標とする。
 (30min. 以内)

2-2 舗装構造および母体アスコンの検討

2-2-1 舗装構造

図-3に示すとおり保水性舗装の設計厚(10cm)に対し、上層4cmを13mm Topとし、空隙率を23%目標

で連続空隙率20%とする。これは、交差点内はバスがハンドルを切っていくため舗装表面の骨材飛散を起こす危険性が考えられることから、最大粒径を13mmにして飛散抵抗性に配慮した。下層6cmを20mmTopとし、空隙率を25%目標で連続空隙率22%とする。これは、保水材（充填ミルク）の充填能力をアップさせることを考慮したものである。



上層 4cm
下層 6cm

図-3 舗装構造

2-3 保水性舗装部と（既設）密粒舗装部とのジョイント部に発生する余剰水の対策

本工事箇所、2箇所のカーブ（上り勾配4.5%）部においては交通安全対策として、滑り止め舗装を施すため密粒舗装とした。

このために集中降雨時には、密粒舗装部との施工境から浸透しなくなった水が越流してしまうために、歩行者や車両の安全な通行に支障をきたす（特に冬場では、凍結など）ことが懸念された。その対策として〔図-4〕のように保水性舗装と密粒舗装の間に（2m~4m）幅の排水層をもうけて、横引き集水管（スパイラルパイプ）を設置し、排水柵へ余剰雨水を導く工夫を行った。また、保水性舗装と排水層の間には、母体アスファルト打設後10mmのカッター目地を設けて、ブローンアスファルトを注入し、排水層への保水材（ミルク）の流れ込みを防ぐこととした。

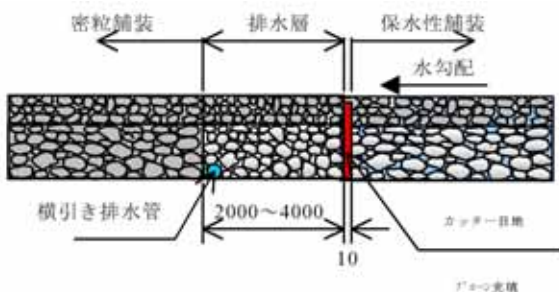


図-4 標準断面

以下、施工方法をⅠ～Ⅴ工区別に列記する。

上り線工事起点部。直近に排水柵がなく、かつ排水柵を設置することが困難であったため、次の既設柵の

所に排水柵を設けた。また、排水層と既設密粒部の区間は降雨後、蓄えられた水が流れ出すことを防止するため保水性ミルク全浸透（100%）で施工した。

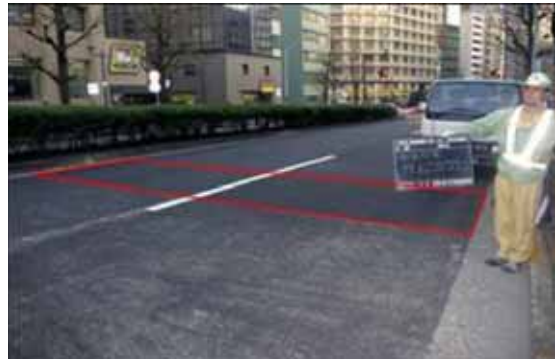


写真-2 Ⅰ工区

保水性舗装と滑り止め舗装のジョイント部に排水層を設け、集水管を滑り止め舗装部含めて直近の柵まで設置した。



写真-3 Ⅱ工区

既設密粒部とのジョイント部に排水層を設け、集水管を既設柵まで設置した。



写真-4 Ⅲ工区

保水性舗装と滑り止め舗装のジョイント部に排水層を設け既設柵まで集水管を設置した。



写真-5 IV工区

保水性舗装と滑り止め舗装のジョイント部に排水柵を設置し、集水管（縦断延長約15m）を接続した。



写真-6 V工区

おわりに

ヒートアイランド対策の一環として、今後さらに施工条件が異なる路線への保水性舗装の拡大が予想される。今回直面した急勾配、屈曲部の問題以外にも様々な条件的課題が潜在している可能性がある。条件にあった施工基準や経済性を考慮した場合、保水性舗装の施工についてまだまだ課題が残されていることから、少しでも今回の施工事例が参考になれば幸いである。

最後に、施工にあつて関係各位からご指導、ご協力をいただき、紙面をお借りして感謝の意を表します。

商店街におけるカラー保水性舗装 ‘ハイシールM’ の施工例

内田 真 就*
石 黒 修 一**

はじめに

近年、都市部における深刻な環境問題の1つとしてヒートアイランド現象が挙げられる。その大きな要因となっているのが、アスファルト舗装面による熱収支の変化である。アスファルト舗装面は地面とは異なり、雨水を速やかに排出するため、潜熱輸送（水分の気化熱）に伴う冷却作用が失われる傾向がある。熱せられたアスファルト舗装は、顕熱や輻射熱を発生し、雰囲気温度や歩行者等が感じる体感温度を上昇させ、不快感を増幅させる。

そういった環境への負荷を軽減させる工法の1つとして、保水性能を有する舗装体を構築し、失われた潜熱輸送を回復させる保水性舗装がある。

今回、母体カラーアスコンにカラー保水材を使用したカラー保水性舗装の施工を商店街の歩道で行ったので報告する。

1. 工事概要

当工事は、市街中心地の商店街通り整備事業の一環として発注されたカラー保水性舗装（ $t=5\text{ cm}$ 693 m^2 ）による打換工事である。

2. カラー保水性舗装の採用

本工事における保水性舗装（以下、ハイシールMと称す）は、工法的には半たわみ性舗装と類似したもので、開粒度タイプのアルファート混合物層（以下、母体アスコンと称す）の空隙中に保水機能を有したセメントミルク（以下、保水材と称す）を浸透させるものである。また、一般的には黒い開粒度タイプのアスコンにセメント色の保水材を充填することから、特に景観を考慮したものとはいえない。そこで、商店街の歩道という景観性を考慮する必要がある今回の施工では、景観性に優れたカラー保水性舗装（以下、カラーハイシールMと称す）が採用された。過去の事例から、黒

い一般の母体アスコンを使用したカラーハイシールM施工では色むらが生じ、本件には不相当であると判断された。よって、母体アスコンには脱色アスファルトを使用したカラーアスファルト混合物を使用することとした。なお、車両の乗入および舗装の耐久性を考えカラーアスファルトには改質Ⅱ型タイプが採用された。

色の選定については、サンプル供試体を数種類作成した上で、発注者および地元商店街と打合せを行って以下のように決定した。

- ・母体アスコン：脱色改質アスファルトⅡ型（ベージュ色）
- ・保水材：カラーハイシールM（黄色顔料1%）

なお、カラーハイシールMは、通常のハイシールMと比較して、充填後の色むらが目立ち易いため、保水材の充填時には、除水ローラを用い保水材の余剰分の除去を入念に行った。また保水材には、交通開放後の舗装面からはく離を抑えるために、強度面にも配慮したものを使用することとした。施工完了後の状況を写真-1に示す。



写真-1 施工完了

3. 施工

3-1 工事のフロー

工事の全体フローを図-1に示す。

*中部支店静岡営業所 **中部支店エンジニアリング部エンジニアリング課課長



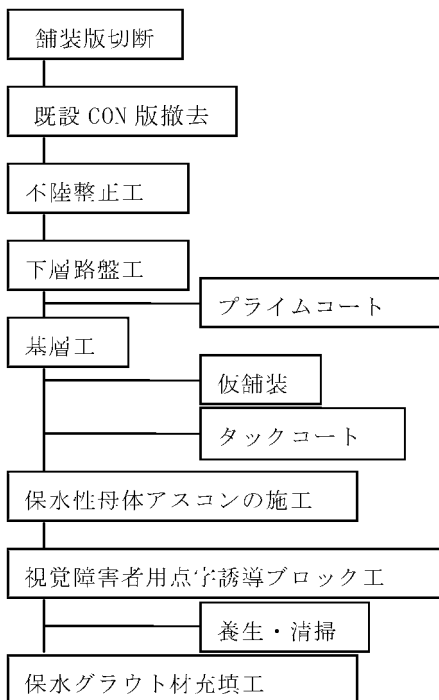


図-1 施工フロー

3-2 施工要領

保水性舗装の施工手順を図-2で詳細に示す。(実線部分)

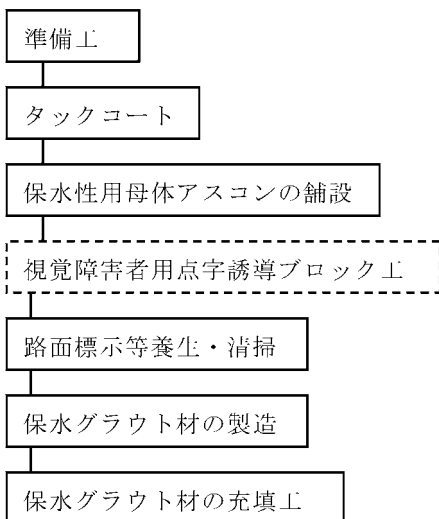


図-2 保水性舗装の詳細施工フロー

(1) 準備工

現場が駅前の商店街ということもあり、交通規制に関する制約が多く、日々の交通開放が必要であった。打換を一度基層の舗設までで1サイクルとし、現場を5分割した。そのため、保水性舗装用の母体アスコン

を舗設するまでに基層の状態で開催した。舗設前には基層舗装基面の汚れ、水分を十分に除去し母体アスコンの舗設を行った。

(2) タックコート

タックコートは、脱色乳剤を使用し、散布量は 0.43 l/m^2 とし、スプレーヤで均一になるように散布した。

(3) 保水性舗装用母体アスコンの施工

保水性舗装用母体アスコンは、改質Ⅱ型特殊開粒度カラーアスコンとし、ベージュ色にて施工した。母体アスコンは、表-1に示す目標値で配合設計を行った。

表-1 母体アスコンの目標値

試験項目		目標値	備考
マーシャル安定度試験	空隙率(%)	24%	
	マーシャル安定度(kN)	3以上	
	密度 (g/cm^3)	1.90以上	
	フロー値(1/100cm)	20~45	

母体アスコンの施工は、アスファルトフィニッシャー(ホイール型2.4~4.5m)を使用し、敷き均しを行った。転圧はコンパインドローラ(3~4t)にて、所定の締固め度が得られるよう十分に行った。母体アスコンの温度管理は下記の温度を目標に管理を行った。

到着温度 :155℃以上

敷均温度 :150℃以上

初期転圧温度 :130℃以上

舗設状況を写真-2に示す。



写真-2 舗設状況

(4) 路面標示等養生・清掃

保水材を浸透させた路面にレーンマーク等の路面標示を施工すると、保水材とともに路面標示等がはがれやすくなる。このため、路面標示は保水材充填の施工

前に行った。なお、保水材の充填時には、路面標示部分は、ガムテープ、養生材等でマスキングを行い、点字誘導ブロックにおいても養生を行った。

(5) 保水材の製造

保水材の製造は、あらかじめ袋詰め（ワンバック化）された材料に所定の水量を混合することにより行う。保水材の混合には、グラウトミキサーを使用した。

表－2 に保水材製造時の施工機械編成を示す。

表－2 保水材製造の施工機械編成

名称	台数	用途
グラウトミキサー	1台	保水材の混練り
発電機	1台	グラウトミキサー電源
ユニック(4t)	1台	グラウトミキサー、材料搭載
散水車(4t)	1台	混練り水の補給

充填前に保水材が硬化して充填不能になる恐れがあるため、保水材の製造は、充填準備が完了してから行った。

本件で用いた保水材の性状を表－3 に示す。

表－3 保水材の性状

試験項目	試験値 (タイプA)
フロート値 (Pロート) 秒	9.6
最大吸水率 %	42
圧縮強度 (7日養生) N/mm	14.2
単位体積あたり質量 t/m ³	1.51

保水材の製造については、ワンバック材と水を1：1（重量比）の割合で計量間違いがないよう混合した。混合時間は、ミキサー混合にて60秒間とした。

(6) 保水材充填工

充填作業に先立ち、当日施工予定の母体アスコンの表面を清掃し浮石および土等の付着物を撤去し、水分を完全に除去した。前日に雨が降った場合は、路面の状況を確認して、母体アスコン体内に水分が確認されれば作業を中止する。

充填前に、路面上に区割りのマーキングを行い、それを目安として面積当たりの使用量で充填量の確認を行いながら、製造と充填を連続的に行った。

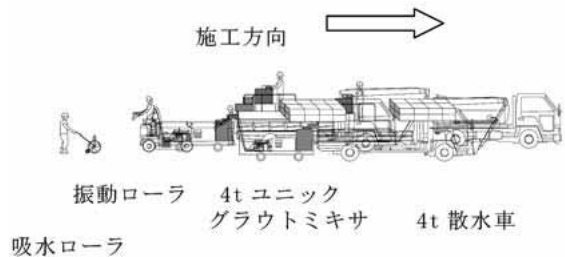
充填作業は、母体アスコンの表面に所定量の保水材を散布して、母体アスコン表面に滞留させながら、ゴムレーキ等で広げ、振動ローラ(4 t)により保水材を充填し、端部については、プレートにて充填を行った。

充填後、硬化前のタイミングで、母体アスコンの表

面に付着した保水グラウト材を吸水ローラにて取り除いた。

なお、養生は、交通開放までの時間は3時間を目安とし、表面の状態を確認してから交通開放をおこなった。

図－3 に施工機械編成を示す



図－3 施工機械編成図



写真－3 保水材充填状況

3-3 品質管理

(1) 品質管理項目

静岡市において、保水性舗装の施工が初めての発注であった。管理基準を設定し、表－4 に示す各項目を提案し、品質管理として実施した。

母体アスコンの管理については、通常の排水性舗装に準じて管理を実施し、保水性舗装としては、保水材および保水材充填後の複合体としての管理を実施した。

表－4 品質管理項目

工種	種別	試験区分	試験項目	試験方法	規格値	試験基準	試験成績等	
							による確認	
保水性舗装工	材料	必須	フロー試験	「舗装試験法」	9 ± 1 秒	施工時	○	
			最大吸水率試験	東京建築試験法	40%以上	施工後	○	
			圧縮強度試験	JIS R 5201 準拠	10N/mm ² 以上	施工後	○	
	現場	必須	すべり抵抗性試験	「舗装試験法」	40BPN以上	舗設直後	200m ² に1回	
			最大保水量		3.0kg/m ² 以上	現場作製供試体		
			吸水率試験					

(2) 結果

各項目の測定結果を表－5 に示す。

表-5 品質管理結果

試験項目	試験方法	規格値	測定値
フロー試験	「舗装試験法 便覧」	9 ± 1 秒	9.7秒
最大吸水率試験	東京都試験法	40%以上	46.70%
圧縮強度試験	JIS R 5201 準用	10N/mm ² 以上	10.2N/mm ²
すべり抵抗性試験	「舗装試験法 便覧」	40BPN以上	70BPN
最大保水量	吸水性能試験	3.0kg/m ² 以上	5.5kg/m ²

おわりに

今回の工事時の品質管理結果、出来形とも、良好な結果を得ることができた。

また、夏季における温度調査においても、良好な結果を得ることができた。

今後の課題としては、見栄えを良く施工するために施工手順等作業員の熟練度をより高めること、また、グラウトミキサ、吸水ローラ等の使用機械の洗浄についてよりスピーディに行える場所を事前に準備しておくことが考えられる。

共同住宅駐車場における下面給水型揚水性舗装 ‘打ち水ロード’の施工例

安 嶋 正 徳*
小 熊 誠**

はじめに

我国特に首都圏東京では、年々ヒートアイランド現象による気温の上昇が懸念されている。本稿は、東京都区内に建設された共同住宅の駐車スペースに、景観性の向上や環境保全効果を期待して下面給水型揚水性舗装『打ち水ロード』を提案し採用された施工事例を紹介するものである。

1. 工事概要

1-1 工事概要

打ち水ロード舗装・・・2,260m²

打ち水ロードは透水性能を有する。降雨は打ち水ロードを透過して基層に達する。晴天時の潜熱輸送に必要な水量に雨水を最大限に利用するためには、基層に密粒度アスコンを使用して路盤下へ浸透しないようにした方が有利である。一方、広い面積をカバーする舗装に雨水流出機能を持たせるためには基層を透水性舗装として、路盤下へ雨水を浸透させる方がよい。そこで、本現場においては駐車帯の基層は透水、車路部の基層は非透水構造とした。以下それぞれの詳細を示す。

1-2 舗装構造

(1) 駐車帯部

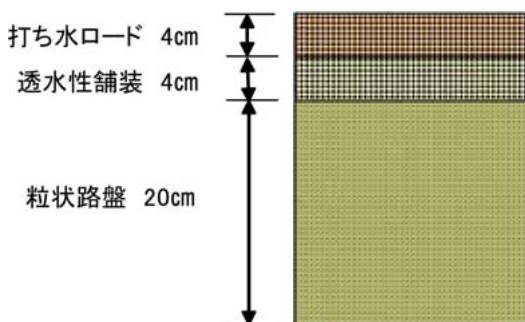


図-1 駐車帯部舗装断面図

駐車帯部の基層は、透水性アスコン(13)を使った透水性舗装とした。また、表層の打ち水ロードはカラーサンドを充填後表面に砂の飛散防止を目的として遮熱塗料(N-25)を撒布した。

(2) 車路部

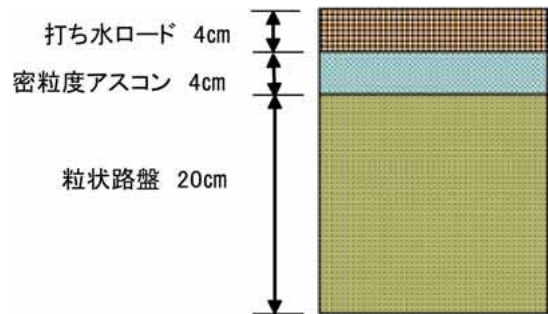


図-2 車路部舗装断面図

車路部は密粒度アスコンで構築することで水密性を持たせた。表層の打ち水ロードは、駐車帯同様、カラーサンドを充填後表面に砂の飛散防止を目的として遮熱塗料(N-25)を撒布した。打ち水の蒸散効果と遮熱塗料の遮熱効果の相乗効果を期待したものである。

2. 施工

2-1 施工手順

- ① 基層工
 - ・ 基層材料は、駐車帯には透水性アスコン(13)を車路部には再生密粒度アスコン(13)を使用した。
 - ・ 機械施工により平滑にかつ締め固めに注意し施工を行った。
- ② パイプ設置用削溝工
 - ・ U字溝用ブレードを使用し幅：40mm、深さ：30mmで勾配に注意して点滴パイプ設置用の溝切りを行った。

* 関東支店東京第3営業所

** 関東支店エンジニアリング部部长



U字型を採用したのはV字型ではクラックが入りやすく溝の清掃もし易い事が理由である。



写真-1 点滴パイプ用溝

③点滴パイプの配管工

- ・導水シートを溝の中に入れる。
- ・導水シートの中に点滴パイプを巻き込む。
- ・導水シートで巻いた点滴パイプの上に珪砂を充填する。
- ・点滴パイプの保護およびリフレクションクラック防止のためジオグリッド（高強度プラスチック製）を釘で設置・固定する。
- ・点滴パイプ設置後必ず導水試験を実施して水の流れを確認する。

④表層工（母体アスコン舗設）

- ・タックコートはPK-4を $0.4\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$ 程度をジオグリッドに付着しないように撒布した。
- ・表層材料は改質II型開粒度アスコン(13)($t=40$)とし、空隙率20～24%を目標に鉄輪で締め固めを行う。なお、タイヤローラは使用しない。

⑤流砂防止目地

- ・舗装体内に充填する細粒材（カラーサンド）が降雨等で流出しないように、舗装の横断勾配下流側には、成形目地材を設ける（樹脂・瀝青系）。

⑥揚水材充填工

- ・揚水材は毛細管現象による水の拡散、吸い上げ作用を目的とし、黒色カラーサンド（6号・7号のミックス）を使用する。
- ・揚水材の充填が不十分な場合、機能や舗装強度を満足できなくなるため、ゴム製のスムーサーで押し均すようにしてデッキブラシで入念に擦り込み、振動ローラやゴム板の装着してあるビブロプレートの振動で落とし込むように充填する。
- ・充填する際には、母体アスコンの温度が高かったり、



写真-2 導水シートの設置状況



写真-3 ジオグリッドの設置完了

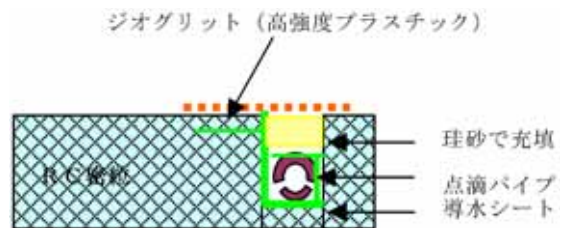


図-3 パイプ設置断面図

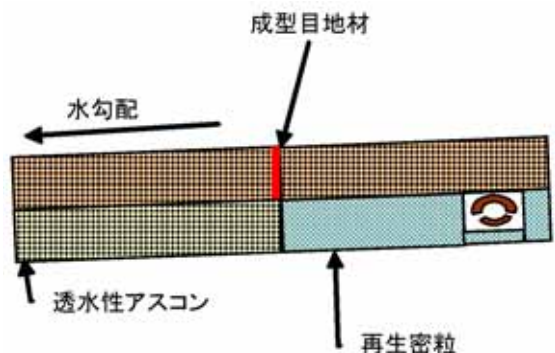


図-4 流砂防止目地断面図



写真-4 揚水材充填状況

湿っていたりすると充填しにくいので、べたつきがなく舗装表面が乾燥している時に行った。

⑦トップコート工

- ・トップコートは、揚水材の飛散防止および舗装表面の強化を目的としているが、今回はさらに充填骨材の色を黒色にしたため、舗装表面の温度上昇を抑えるために撒布するMMA樹脂に遮熱塗料(N-25)を用い、その散布量は $0.3\text{kg}/\text{m}^2$ とした。

3. 水収支シミュレート

3-1 概要

打ち水ロードへの給水には、建屋地下に雨水貯留槽を設置し貯留した雨水を利用することにより上水の利用量を削減し環境や経済性に配慮している。以下に水収支を計算する。

3-2 シミュレートの方法

気象庁の過去5年間の降水量データに基づき打ち水ロードの水収支を算出する。

3-3 解析期間

打ち水ロードの目的は、夏期における舗装路面の温度上昇を抑制することであるため、解析は梅雨明けより行い、真夏日が残る9月10日～20日を含む9月末までとした。

3-4 解析方法

雨水貯留槽に貯留する量は、貯留槽集水面積に降雨日の降水量を乗じて以下の式により求める。ただし、雨が降り始めてから30分後から貯留するため降雨初期30分間の雨量は貯留しない。その控除方法は当日の最大1時間あたり降雨量の半分を初期降雨として控除す

表-1 過去5年間の9月中の真夏日(℃)

9月	2005年	2004年	2003年	2002年	2001年
1日	31.3	32.1	25.2	32.3	29.3
2日	32.4	31.4	30	33.9	28.6
3日	32.1	30.8	33.4	33.7	25.9
4日	30.8	27	29	33.2	25.2
5日	25.4	24.1	30.8	29.6	26.7
6日	27.6	29.9	31.5	24.3	25.9
7日	29.9	31.7	27.6	25.3	25.7
8日	33.1	33.1	27	28.5	28.9
9日	26.5	30.3	32.3	26.5	29.9
10日	31	29.6	33.3	26.6	28.4
11日	31.4	26.2	33.2	30.7	27.8
12日	30.9	28.7	34.1	32.6	32.6
13日	32.8	29.8	34.3	25.7	25.8
14日	33	33.6	33.4	20.1	27.7
15日	28.6	25.9	32.4	21.3	30.4
16日	26.8	26.5	28.5	20.6	28.6
17日	28	30.9	31.2	22	27.8
18日	30.2	29	30.4	27.9	30.5
19日	30.8	30.7	31.8	26	29.7
20日	28.1	29.3	27.9	27.5	22.5
21日	27	32.4	17.7	27	21.7
22日	23.8	32.9	19.3	22.5	18.8
23日	28.5	25.4	22.1	23.5	21.7
24日	25.3	26.9	20.6	24.7	25.4
25日	22.5	27.4	19.6	26.2	25.9
26日	25.4	22.7	25.5	22.9	26.1
27日	22.4	20.5	26.7	19.7	27.1
28日	22.3	26	24.6	20.3	23.9
29日	24.5	24.4	25.8	27.8	21.6
30日	24.1	30.3	24.4	23.6	21.1

ることとした。

$$\text{貯留量} = (\text{当日の降雨量} - \text{当日の最大1時間当たり降水量} / 2) \times \text{集水面積} \times \text{流出係数}$$

- ・貯留量： m^3 (最大 62.2m^3 貯留できる)
- ・降水量：最大1時間当たり降水量： m (気象庁データを使用)

・集水面積： $1,927.9\text{m}^2$

・流出係数： 0.9

打ち水ロードの給水量は $4\text{L}/\text{m}^2$ である。給水対象面積は 960m^2 であるため、一日の使用量は、

$$\text{打ち水ロードにおける1日当たりの雨水使用量} = 4\text{L}/\text{m}^2 \times 960\text{m}^2 = 3.8\text{m}^3/\text{日}$$

上記貯留量と使用量を累積して水収支を計算する。

計算は梅雨明け日には貯留槽が雨水で満水であるため、解析開始時の貯留量を 62.2m^3 として解析を開始した。

また、降雨日は打ち水ロードへの給水はしないこととした。



表－2 過去5年間の月別降雨量と降雨日数
(日降水量1mm以上)

	6月		7月		8月		9月		合計	
	降雨量 (mm)	降雨日数 (日)	降雨量 (mm)	降雨日数 (日)	降雨量 (mm)	降雨日数 (日)	降雨量 (mm)	降雨日数 (日)	降雨量 (mm)	降雨日数 (日)
2005年	170.5	10	247.5	9	189.5	9	177.5	8	785	36
2004年	112.5	9	23.5	3	79.5	8	195	12	410.5	32
2003年	85	10	187.5	17	370	9	150	6	792.5	41
2002年	151.5	12	124	8	120	6	207	11	602.5	37
2001年	144.5	11	41.5	2	136.5	7	204	10	526.5	30

3-5 シミュレート結果

以下に各年の打ち水ロード給水日数、上水使用日数を示す。

表－3 過去5年間のシミュレーション結果

	7月			8月			9月		
	打ち水 ロード 給水日 (日)	上水 使用日 (日)	上水 使用量 (m ³)	打ち水 ロード 給水日 (日)	上水 使用日 (日)	上水 使用量 (m ³)	打ち水 ロード 給水日 (日)	上水 使用日 (日)	上水 使用量 (m ³)
2005年	11	0	0	21	0	0	20	0	0
2004年	17	0	0	20	2	5.1	18	0	0
2003年	0	0	0	18	0	0	23	0	0
2002年	10	0	0	24	0	0	17	0	0
2001年	27	6	20.5	23	13	42.3	20	0	0

表－3より最大19日分が上水を使用することとなる。それも、7、8月の2ヶ月である。

4. まとめ

4-1 『打ち水ロード』の性能管理基準

表－4 『打ち水ロード』の性能管理基準

性能管理項目	基準値	試験方法	備考
1 路面温度低減量	12℃以上	・試験法1)参照	・当社基準
2 最大保水量	3.0ℓ/m ² 以上	・試験法2)参照	・「保水性舗装(車道)設計・施工要領」(東京都建設局)準拠 ・但し、厚さ5cm、保水材充填率:100%の場合の基準値
3 すべり抵抗値	BPN60以上	・舗装試験法便覧「舗装路面のすべり抵抗の測定方法」(日本道路協会)準拠	・「保水性舗装(車道)設計・施工要領」(東京都建設局)準拠
4 浸透水量	300ml/15秒以上	・舗装性能評価法「浸透水量」(日本道路協会)	・舗装の構造に関する技術基準(国土交通省)準拠

4-2 路面温度低減量

路面低減温度は周辺のアスファルト舗装と比較して18℃程度の差を観測しており、今後、継続的に調査していく予定である。

4-3 最大保水量

最大保水量の測定結果は3.3ℓ/m²であり基準を満足していた。

4-4 すべり抵抗値

すべり抵抗値の測定結果は路面温度34.5℃でBPN 61.4と基準値を満足していた。

4-5 浸透水量(現場透水試験)

- ・車路部(基層:密粒):304.1cc/15sec
- ・駐車部(基層:透水性):398.1cc/15sec

おわりに

今回、駐車場という道路とはやや異なる場所に、雨水抑制機能も求めて複合的な打ち水ロードを適用した。供用後の状況は良好であり、今後、その機能の検証を続けていくこととなる。施工面の課題としてはトップコートに用いるMMA樹脂が高価なため、全体のコストを上げる要因となっており、より安価で作業性にも優れたエマルジョンタイプの樹脂の適用などを検討していく所存である。

共同住宅街における緑化舗装 ‘打ち水ペープ G’ の施工例

清水 正 則*

はじめに

東京の年平均気温は、過去100年で3.0℃の上昇が見られ、他の大都市の平均上昇気温2.4℃、中小規模の都市の平均上昇気温1℃に比べて大きな上昇である。

気温上昇の原因には、地球温暖化の影響もあるものの、ヒートアイランド現象の影響が、顕著に現れている。

ヒートアイランド現象は、環境への配慮が不十分だったこれまでの都市づくりの結果、生まれているものであり、残念ながら東京ではヒートアイランド現象の原因として挙げられているどの要素も改善に向かっているとは言えない現状にあり、今後も悪化していく強い恐れがある。ヒートアイランド現象を緩和する都市づくりは、そのまま、環境に対する負荷の少ない持続可能な都市づくりに通じる。今後、都市レベルから個々の建築物レベルまで、あらゆるレベルにおいて水や緑の蒸散効果を回復する被覆対策、人工排熱の抑制を目指す省エネルギー対策など、着実な取り組みが不可欠となる。

東京都では、平成15年3月に『ヒートアイランド対策取組方針』を取りまとめ、屋上緑化、保水性舗装等のヒートアイランド対策への取り組みが始まっている。今後においては、都で設定した『ヒートアイランド対策推進エリア』（都心エリア、新宿エリア、大崎・目黒エリアおよび品川駅周辺エリア）にて、集中的な対策の推進がなされることとされている。

このような背景の中、都区内の公務員宿舍の整備事業において、車道（4,130m²）には芝生舗装が、駐車場（6,418m²）には透水性インターロッキング舗装が採用されることとなった。

本稿は、自動灌水システムを備えた緑化舗装（以下、打ち水ペープGと称す）における施工の問題点、および工夫点の事例を報告するものである。

* 関東支店東京第1営業所工事長

1. 工事概要

・ 施工延べ面積：39,486m²

内訳：緑化舗装（打ち水ペープG）

（その他 透水性インターロッキング舗装
コンクリート舗装・ダスト舗装）

自動灌水設備および路床改良工事を含む

・ 作業条件

近隣協定のため、作業時間はAM8:30～PM5:30（重機作業含む）と規制された。

1-1 芝生舗装断面

図-1に打ち水ペープG舗装断面図を示す。

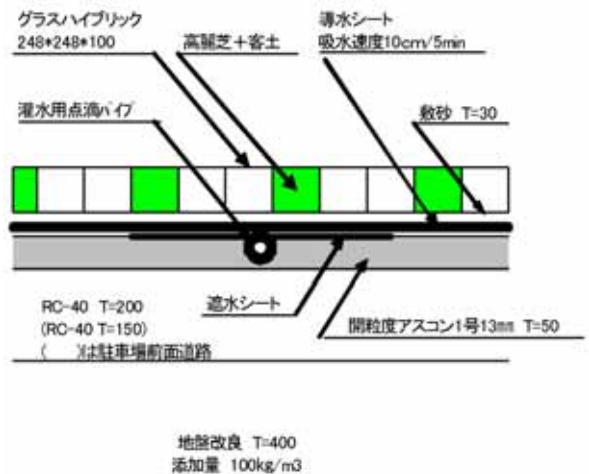


図-1 打ち水ペープG断面図

2. 自動灌水システム

2-1 自動灌水システム図

雨水利用自動灌水システムは、降雨を、屋上および外部雨水樹等で集水し、地下式雨水貯留槽に溜め、夕



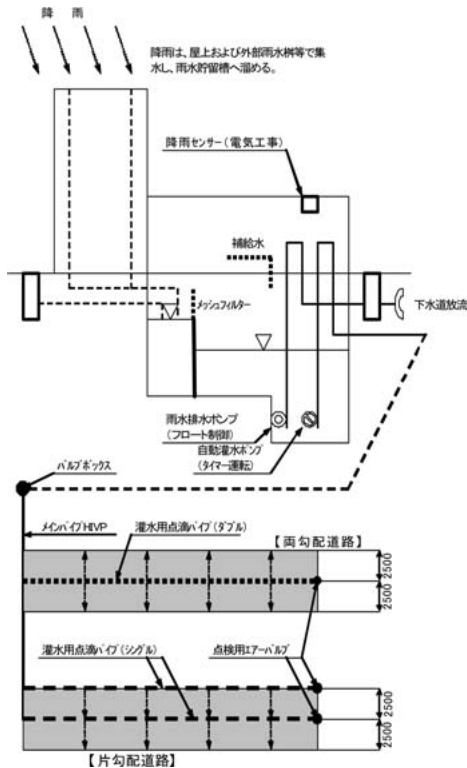


図-2 雨水利用 自動灌水システム図

イマーと降雨センサーの働きで、打ち水ペーグGに水を供給するものである。降雨量の少ないときは、雨水貯留槽内に設置されたフロート制御による電磁弁で上水を補給し、夏季必要な半日分の灌水量を常時貯留する。

自動灌水ポンプは、年間タイマーにて発停するものである。ただし、降雨センサーにより、雨天時には運転を停止させる。

2-2 給水計画

夏季の水面平均蒸発量 $4 \frac{\text{mm}}{\text{日}}$ を基本と考え、表-1のように給水計画をした。

表-1 給水計画

	導水対象面積	点滴パイプ延長	必要給水量	毎分流量	夏季灌水時間
	m ²	m	リットル	リットル	分
A棟	1,250	494	5,000	63	79
B・C棟	1,291	509	5,164	65	79
D棟	1,581	626	6,356	80	79

必要給水量: (導水対象面積) × (夏季1日当り給水量)

毎分流量: 1分当りの灌水量

(点滴パイプの延長) ÷ (点滴パイプの給水ピッチ) × (1穴の吐出し量/時) ÷ 60分

夏季灌水時間: 必要給水量を供給するための時間
(必要給水量) ÷ (毎分流量)

夏季1日当り給水量: $4 \frac{\text{mm}}{\text{日}}$
点滴パイプ給水穴ピッチ: 0.3m
1穴の吐出し量: $2.3 \frac{\text{リットル}}{\text{時}}$

表-2に、点滴パイプの仕様表を示す。

表-2 点滴パイプ仕様表

項目	規格
材質	低密度ポリエチレン
外径	17.0mm
厚み	1.2mm
適用水圧	0.05Mpa~0.4Mpa
吐出し口間隔	300mm
吐出し量	$2.3 \frac{\text{リットル}}{\text{時}}$

表-3に、灌水の年間スケジュールを示す。

表-3 灌水の年間スケジュール

期 間	灌水時間	灌水量	灌水開始時間
春 3月中旬 ~7月中旬	週に三回	$2 \frac{\text{リットル}}{\text{m}^2 \cdot \text{日}}$	9:00~
夏 7月中旬 ~9月中旬	毎日	$4 \frac{\text{リットル}}{\text{m}^2 \cdot \text{日}}$	6:30まで 18:00以降
秋 9月中旬 ~11月中旬	週に二回	$2 \frac{\text{リットル}}{\text{m}^2 \cdot \text{日}}$	9:00~
冬 11月中旬 ~3月中旬	週に一回	$2 \frac{\text{リットル}}{\text{m}^2 \cdot \text{日}}$	11:00~

この灌水システムは、毛細管現象を利用して、土壌に給水するもので、一度に多量の給水をするので、排水層から必要灌水が流出するので、給水と給水停止を交互に繰り返しながら、徐々に浸透させるようプログラミングするものである。構築当初においては、この地区の平均的な気候を考慮した初期設定とし、供用後の状態により逐次修正を加えることとなる。表-4に、春、夏、秋、冬ごとの、灌水設備運転時間初期設定を示す。今後、芝生の生育状態に応じて、開始・終了時間、給水時間、給水間隔等の設定変更を行う予定である。

表-4 灌水の季節別運転時間帯

春: 3月16日~7月20日

週三回運転(月・水・金曜日)

9:00~9:10	9:20~9:30	9:40~9:50	10:00~10:10
運転	運転	運転	運転

夏: 7月21日~9月20日

毎日運転

3:40~3:50	4:00~4:10	4:20~4:30	4:40~4:50	5:00~5:10
運転	運転	運転	運転	運転

5:20~5:30	5:40~5:50	6:00~6:10	6:20~6:30
運転	運転	運転	運転

秋: 9月21日~11月15日

週三回運転(月・水・金曜日)

9:00~9:10	9:20~9:30	9:40~9:50	10:00~10:10
運転	運転	運転	運転

冬: 11月16日~3月15日

週一回運転(月曜日)

11:00~11:10	11:20~11:30	11:40~11:50	12:00~12:10
運転	運転	運転	運転

表-5 導水シート仕様表

寸 法	W1.5m×L60m±3m
材 質	ポリエステル繊維
単 位 重 量	170g/m ² ±30g/m ²
揚 水 速 度	10cm/5min
揚 水 高 さ	20cm
使用可能温度範囲	0℃～60℃



写真-2 客土状況

3. 施工

3-1 施工フロー・施工状況



図-3 施工フローチャート

灌水用点滴パイプ・導水シート設置状況と、芝生舗装状況を写真-1, 2に示す。



写真-1 灌水用点滴パイプ設置状況

3-2 施工上の問題点

本件に取り組むにあたり、あらかじめ試験ヤードを構築するなどして以下の問題点を抽出した。

- ①施工中、広い工事区間の通行・資材の受渡しは著しく不合理となる。
- ②所定の深さに舗装を切断し、溝部の舗装をハツルという、従来の灌水用点滴パイプ溝築造では、手間が掛かり、仕上げ面が均一にならない。
- ③灌水用点滴パイプが、車道横断部で、タイヤに踏まれ破損する。
- ④導水シート施工後、通行止めに出来ない。
- ⑤工事の最盛期においては工事関係の大型車両が、完成間近になると住民の引越し関係の車両が、頻繁に緑化舗装上を走行する。
- ⑥樹脂系基盤の芝生保護材では、大型車両が通行できない。
- ⑦芝生に直接荷重が加わると、枯れてしまう。
- ⑧野芝は根が太く、施工性が悪い上に、葉が大きく車両走行によるダメージを受けやすい。

3-3 施工上の問題点の解消

前項3-2での問題点を、緑化舗装の構造も含めて施工主と協議し、以下のような変更と調整をした。

- ①関連工事（建築、設備、外構）間の打合せを綿密に行い、使用搬出入ゲート、時間、資材置場等の調整を徹底した。
- ②コンクリートカッターに融雪U型溝に用いる特殊な形状のブレードを使用して、工程の短縮と溝形状の均一化を実現した。
- ③灌水用点滴パイプの車道横断部には、インターロッキング舗装用の砂を敷き、厚ベニヤ（18mm）を使用して養生した。
- ④導水シートの飛散防止も兼ねて、車両のタイヤ通



行幅部に、厚ベニヤ（18mm）を敷き、養生した。

- ⑤⑥樹脂系基盤の芝生保護材を、大型車両通行可能な緑化インターロッキングブロックに構造変更し、工事中、および引渡し後の大型車両の通行を可能にした。
- ⑦緑化インターロッキングブロックの天端から、1cmほど芝生を低目に張ることで、芝生への負担を軽減した。
- ⑧比較的根が細いため施工性に優れ、かつ葉も細いので車両走行のダメージを葉先を分離するような形で抑える高麗芝を使用した。



写真-3 融雪溝切削用ブレード

4. まとめ

車道部は車の通行が主であり、徒歩時の足下への配慮が少なく済む。また、広い面積を占め、打ち水

ペープGの導入効果大きい。一般的には、車道に不向きな芝生を車道の舗装に必要な機能を確認しつつ適用するためには、多くの工夫を必要とした。その結果、打ち水ペープGは供用後、自動灌水システムの作動も含めて、良好な状態を保っている。



写真-4 打ち水ペープG

おわりに

打ち水ペープGは、ヒートアイランド対策や景観性に優れた舗装である。今回、車道や駐車場を適用可能範囲となったことで一層の汎用が期待される。今後は障害者が利用しやすい歩行ゾーンをよりうまく組み合わせるデザイン面での工夫も重要と考える。更に上質なヒートアイランド対策の提供を進めていく所存である。

皇居外苑広場における‘ハイドレーンN’の提案および施工

湊 拓 哉*

はじめに

ハイドレーンNは、周辺環境との調和を目的に開発された自然色排水性舗装であり、施工直後より粗骨材の地肌を表層面に露出させることで自然な風合いを提供できる舗装である。

本書は、皇居外苑広場におけるハイドレーンNの提案経緯および施工について報告するものである。

1. 受注の経緯

(1) ニーズ

皇居外苑広場（写真－1）は、以下の課題・ニーズがあった。



写真－1 皇居外苑広場

- ①皇居外苑広場の玉砂利は、障害者の車椅子での移動に対する負荷が大きくなり、車椅子を押す介護者に対する負担を大きくしている。
- ②高齢者にとって玉砂利上の歩行は、腰や膝への負担がより大きくなり、快適感を損なう。
- ③障害者や高齢者が歩きやすいような舗装を行いたいが、砂利の風合いはそのまま維持したい。

(2) 提案および工法の決定

施主に対し、上記課題・ニーズを踏まえた舗装とし

て、オークグラベル、オークバブル、ハイドレーンNと3種類の自然色舗装を提案し、比較説明を行った。事例として六本木ヒルズけやき坂通りや東大前歩道の施工写真および供試体を提示し、色、テクスチャ等の確認評価をいただいた。

その結果、歩きやすさ、皇居前広場の景観を考慮し、現在の皇居外苑広場に敷きつめられている玉砂利と同じ石を用いた自然色排水性舗装（ハイドレーンN）が採用されることとなった。

2. 工事概要

- ・施工場所 千代田区皇居外苑（皇居前砂利広場）
- ・主な工種 ハイドレーンN
- ・施工面積 1,349.2m²
- ・施工厚 5 cm

3. 施工方法

本工事は、①既設玉砂利の鋤取り ②床付け ③路床整正 ④路盤工 ⑤基層工 ⑥ハイドレーンNの舗設 の順で施工した。

このうちハイドレーンNの施工手順は、①自然色排水性舗装用混合物の製造 ②自然色排水性混合物の運搬 ③タックコート工 ④敷きならし ⑤締固め ⑥樹脂コートによる表面強化 ⑦ウォータージェットに



写真－2 着工前の状況

* 関東支店東京第1営業所





写真－3 既設玉砂利の鋤取り状況



写真－7 基層工



写真－4 床付け状況



写真－5 路床転圧状況



写真－6 路盤工

による表面研掃 である。

着工前の状況を写真－2に、既設玉砂利の鋤取り状況を写真－3に、床付け状況を写真－4に、路床転圧状況を写真－5に、路盤工を写真－6に、基層工を写真－7に示す。

4. ハイドレ－ンNの舗設

(1) 使用材料

本舗装に用いた自然色排水性混合物のバインダは、プレミックスタイプの脱色バインダⅡ型である。粗骨材は、皇居前広場に敷きつめられている砂利と同じもの（神奈川県足柄上郡中井町産）を使用した。

(2) 自然色排水性混合物の製造

骨材の搬入は、砂利採取時による品質のバラツキを考慮し、極力、短い期間で行った。プラントにおける骨材の貯蔵においては、異物の混入がないようにした。

混合物の製造にあたっては、ミキサ等の清掃を徹底するとともに、ウエットミキシングタイムを通常より長くした。(45秒)

温度管理に十分注意し、製造時の目標温度は以下とした。

バインダ温度：165～175℃

骨材温度：165～180℃

混合温度：160～175℃

(3) 自然色排水性混合物の運搬

ASフィニッシャが合材待ちしないようにダンプの手配を行うとともに、荷台の清掃を徹底した。シートは2重とし、運転手へ現場内搬入路の指示を徹底した。

(4) タックコート工

エンジンスプレーヤにより脱色乳剤を散布した。散布量は $0.4\frac{kg}{m^2}$ とし、均一に適量散布した。

(5) 敷きならし

事前に機械、器具の清掃を十分行うとともに、温度管理に十分注意した。敷きならし時の目標温度は以下とした。

敷きならし温度：150～165℃

人力による敷きならしは、仕上がり面の均一性を損なうため、極力行わないようにした。

写真－8 に敷きならし状況を示す。



写真－8 敷きならし状況

(6) 締固め

締固め時の目標温度は以下とした。

初期転圧温度：145～165℃

マカダムローラ、タイヤローラにて転圧し、ローラへの付着防止剤は水とし、重油、軽油その他オイル類は厳禁とした。

(7) 樹脂コート工

混合物養生完了後、特殊樹脂を散布した。散布量は、 $0.7\text{kg}/\text{m}^2$ とし、散布むらがないよう注意した。なお、写真－9 に樹脂コート工の状況を示す。



写真－9 樹脂コート工の状況

(8) ウォータージェット工

ウォータージェットの水压は147MPa、施工速度4m/分、1往復とし、色むらが生じないように十分注意した。供給水は水道水を利用し、供給は散水車にて行った。写真－10にウォータージェットによる研掃の状況を示す。



写真－10 ウォータージェットによる研掃の状況

(9) 施工上の創意工夫

① 舗装端の処理

当該舗装の周りには、玉砂利のため、角欠けを予防する意味で舗装端の角に45度の面取りを施した。

型枠の設置状況を写真－11、仕上がり状況を写真－12に示す。

② コーナ部の円弧上すり付け

二重橋前のT字路コーナ部において、両サイドに円弧上すり付けを行った。ちょっとした工夫で



写真－11 舗装端面取りの型枠の設置状況



写真－12 舗装端面取りの仕上がり状況





写真－13 コーナ部の円弧上すり付け



写真－14 完成後の状況

5. 仕上がり状況および評価

完成の状況を写真－14に示す。写真でも分かるように、完成後の舗装は、周辺環境とよくマッチし、厳かで質実な景観を形成している。

また、当該舗装により、車椅子で訪問する人の移動が楽になり、車椅子を押す介護者の負担を大きく軽減する効果が得られた。また、高齢者にとっても、玉砂利上を歩行による腰や膝への負担を軽減することができるようになった。

おわりに

ハイドレーンNは、周辺環境との調和を目的に開発された舗装である。

今回採用された皇居外苑広場のように、特定のコンセプトのもとで、意匠・景観へ配慮し、しかも供用の対象者の条件設定が広い場合にも最適な舗装として、今後も技術提案を積極的に行っていきたい。

高耐久グースアスファルトに関する室内試験

下 舘 鎮*
藤 田 義 憲**

はじめに

近年、鋼床版舗装の構成は、表層に高耐久アスファルト混合物、基層にグースアスファルト混合物を適用するのが一般的となっている。それは、グースアスファルト混合物に防水性とたわみ追従性を、高耐久アスファルト混合物に塑性変形抵抗性やすべり抵抗性をもたせるといった考え方に基づいている。

グースアスファルト混合物用のバインダには、施工性の改善や高温時の塑性変形抵抗性などを考慮し、ストレートアスファルト20~40(以下、ストアス20/40)にトリニダッドレイクアスファルト(以下、TLA)を75:25の割合で混合した硬質アスファルトを用いるのが一般的である。しかし、グースアスファルト混合物の塑性変形抵抗性は、高耐久アスファルト混合物に比べかなり小さい。そのため、温暖地域でかつ重交通路線における鋼床版舗装の耐久性を向上させるには、グースアスファルト混合物の塑性変形抵抗性を高めることが必要とされる。

そこで、塑性変形抵抗性の向上を目的として、硬質アスファルトやポリマー改質アスファルトⅡ型に特殊添加剤を添加した高耐久グースアスファルトについて検討を行った。本文は、この高耐久グースアスファルトの室内試験結果について報告するものである。

1. 使用材料

試験に使用した材料を表-1、2に示す。

2. 添加材の選定

グースアスファルト混合物用バインダの添加材には、良好な混合性と長時間の高温混合に起因する熱劣化による品質変状のないことが望まれる。

添加材の混合性と熱劣化による品質変状の有無を確認するため、240℃に加熱したストアス20/40に特殊添加剤を5%添加(内添加)したバインダの軟化点の時

間の変化を調べた。

表-1 使用骨材

		6号砕石	7号砕石	粗目砂	細目砂	石 粉
通過質量百分率	19.0mm	100.0				
	13.2mm	89.5	100.0			
	9.5mm	59.2	100.0	100.0	100.0	
	4.75mm	6.9	94.7	99.6	99.7	
	2.36mm	1.2	12.5	85.2	96.0	
	600μm		1.0	34.8	58.1	
	300μm			20.7	24.7	100.0
%	150μm			6.9	3.9	98.4
	75μm			1.0	1.3	80.9
	表 乾	2.663	2.652	2.612	2.582	
比重	かさ	2.640	2.621	2.590	2.517	
	見 掛	2.702	2.704	2.648	2.691	2.746
	吸水量 %	0.86	1.18	0.85	2.58	
製造所・産地	藤坂砕石工業株式会社 栃木工場		音坂砕石工業株式会社	初野建材工業株式会社	田政産業株式会社	

表-2 使用アスファルト

	ストアス20/40	TLA	シーロフレックスⅡ
針入度 (25℃) 1/10mm	29	2	65
軟化点 °C	59.0	96.5	65.0
密度 (15℃) g/cm ³	1.040	1.405	1.029
製造所・産地	昭和シェル石油株式会社	Torinidad Tobago	大林道路株式会社 関東シロ

粉体の添加材A、中粒状の添加材Bおよび小粒状の添加材Cを使用した試験結果は、図-1および以下に示すとおりである。

・添加材A

混合初期の軟化点は高いが、混合2時間以降では軟化点が急激に低下した。これは、添加材が粉体であるためアスファルトに溶解しやすいものの、長時間の混合によって添加材が分解したと思われる。

・添加材B

添加材の粒が大きいいためか、添加量の1/4程度が最後まで溶けずに残っていた。そのため混合初期の軟化点は最も低く、混合2時間以降も軟化点は高くならなかった。



・添加材C

混合初期から継続して軟化点が高く、混合5時間後も軟化点は大きく低下しなかった。

以上の結果から、良好な混合性と長時間の高温混合による品質低下の少ない添加材Cを選定した。

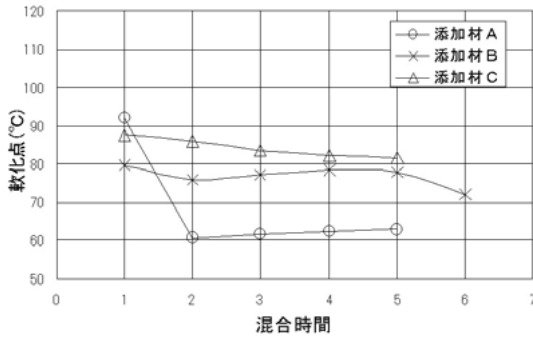


図-1 軟化点測定結果

表-3 振動締固め試験結果

	上限粒度			中央粒度			下限粒度		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
骨材配合率 %									
6号砕石	20	25	15	22	24	24	28	30	30
7号砕石	20	15	25	22	22	22	26	24	20
粗目砂	15	15	15	14	15	17	10	16	14
細目砂	15	15	15	14	12	10	8	0	6
石粉	30	30	30	28	27	27	28	30	30
通過質量百分率 %									
19.0mm	100	100	100	100	100	100	100	100	100
13.2mm	97.9	97.4	98.4	97.7	97.5	97.5	97.1	96.9	96.9
9.5mm	91.8	89.8	93.9	91.0	90.2	90.2	88.6	87.8	87.8
4.75mm	80.2	75.8	84.6	78.2	76.4	76.4	72.5	70.7	70.9
2.36mm	59.9	59.6	60.5	56.3	54.4	54.2	47.8	47.0	50.6
0.60mm	44.3	44.3	44.3	39.8	39.6	39.1	36.6	36.0	38.8
0.30mm	37.2	37.1	37.1	35.6	33.5	33.4	32.5	33.7	34.8
0.15mm	30.5	30.6	30.6	30.4	27.5	27.6	28.2	30.1	30.2
0.075mm	23.1	23.1	23.1	22.6	20.9	20.8	21.4	22.9	22.9
理論密度 g/cm ³	2.693	2.692	2.693	2.693	2.692	2.692	2.696	2.694	2.694
締固め密度 g/cm ³	2.181	2.186	2.184	2.203	2.214	2.197	2.189	2.190	2.190
骨材間隙率 %	19.0	18.8	18.9	18.2	17.8	18.4	18.8	18.7	18.7

表-4 設定アスファルト量

	中央粒度B	下限粒度B
骨材理論密度 g/cm ³	2.693	2.694
骨材締固め密度 g/cm ³	2.214	2.190
骨材間隙率 %	17.8	18.7
設定余剰アスファルト量 %	1.0	0.0
設定アスファルト量 %	8.6	8.6

表-5 粒度別混合物性状

	アスファルト量 %	添加材量 %	リュエル流動性 秒	糞入量 mm	動的安定度 回/mm	破断ひずみ ×10 ⁻¹
中央粒度B	8.6	5	29.0	0.60	500	14
		4	24.0	1.02	450	15
		3	21.0	1.21	350	12
下限粒度B	8.6	5	14.0	1.48	620	13
		4	7.6	1.39	460	9
規格(目標値)			3~20	1~4	600以上	8以上

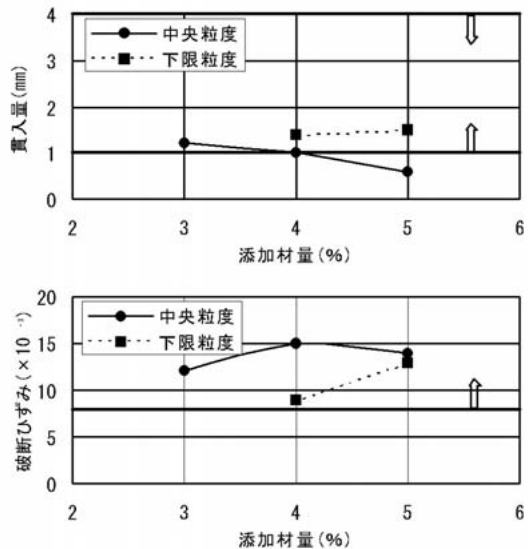
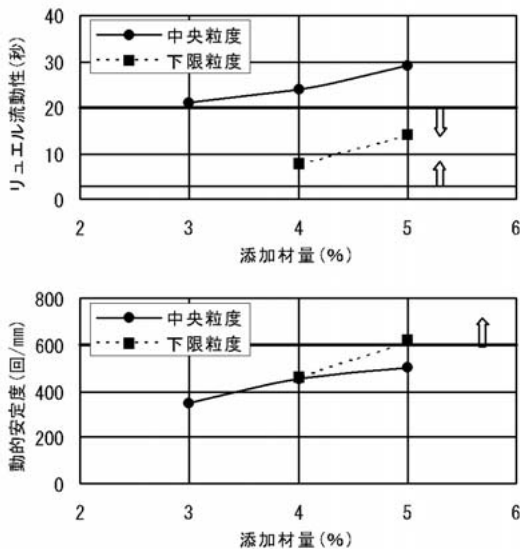


図-2 粒度別混合物性状

予備実験の結果では、下限粒度に比べ中央粒度のリユエル流動性が悪くなる傾向にあったので、粒度として中央粒度Bと下限粒度Bの2種類を選定し、混合物性状を比較検討することにした。

混合物の比較検討には、バインダとして硬質アスファルトに特殊添加剤を添加したもの(以下、高耐久グースI)を使用した。高耐久グースIの設定アスファルト量を表-4に示す。

混合物の性状試験結果を表-5、図-2に示す。

粒度別の混合物性状を比較すると、下限粒度のリユエル流動性は中央粒度に比べ良好な値となった。また、貫入量と動的安定度については下限粒度の方が、破断ひずみについては中央粒度の方が若干大きな値を示した。

粒度による混合物性状の大きな差異はリユエル流動性だけであり、その他の混合物性状についてはアスファルト量および添加材量を調整することで改善できると考えられる。したがって、骨材の粒度として、下限粒度Bを選定した。

4. フィラーの検討

グースアスファルト混合物では、フィラーの性質がその流動性に大きな影響を与える。

アスファルト量の変動に対し、混合物の流動性があまり変動しないフィラーは、粘着性の大きいものであり、グースアスファルト用としては、フロー勾配1.0以上がひとつの目安として提案されている²⁾。また、フロー値が大きいフィラーはアスファルト量が増えることから、35%以下が目安として提案されている²⁾。

そこで、表-6に示す生産地の異なる3種類の石灰石粉を用いて、フィラーの性状と高耐久グースIを用いた混合物性状との関係を調べた。

試験結果を表-7に示す。フィラーと混合物性状の関係は以下のとおりである。

【リユエル流動性】

フロー勾配が大きいほど、リユエル流動性は良くなる傾向がみられた。

【貫入量】

フロー値が大きいほど、貫入量は小さくなる傾向がみられた。

【動的安定度】

フロー勾配が大きいほど、動的安定度は大きくなる傾向がみられた。

【曲げひずみ】

フロー値やフロー勾配との相関はみられなかった。

以上の結果から、フィラーとして、フロー勾配が最も大きいフィラー①を選定した。

表-6 使用フィラーの性状

	フィラー①	フィラー②	フィラー③
生産地	栃木県栃木市	岐阜県大垣市	埼玉県飯能市
製造所	田政産業㈱	清水工業㈱	JFEミネル㈱
水分含有量 %	0.19	0.10	0.11
比重	2.746	2.711	2.732
粒度 (%)	600 μm	100	100
	300 μm	100	99.9
	150 μm	98.4	97.4
	75 μm	80.9	81.8

表-7 フィラー別混合物性状

	フロー値 %	フロー勾配	リユエル流動性 秒	貫入量 mm	動的安定度 回/mm	破断ひずみ ×10 ⁻³
フィラー①	27.8	1.0	14.0	1.48	620	13
フィラー②	28.3	0.7	21.0	1.19	550	10
フィラー③	25.8	0.6	19.8	2.04	470	12
規格(目標値)	35以下	1.0以上	20以下	1~4	600以上	8以上

5. 硬質アスファルトの代替バインダ

5-1 硬質アスファルトの課題

硬質アスファルトを用いたグースアスファルト混合物には、その製造において以下のような課題がある³⁾。

- ・ストアス20/40およびTLAの入手に時間がかかる。
- ・専用の特殊ケトルや攪拌装置が必要になる。
- ・TLAの小割作業が必要となる。

このような課題を解決するため、硬質アスファルトの代替としてポリマー改質アスファルトII型に特殊添加剤を添加したもの(以下、高耐久グースII)を検討することにした。

高耐久グースIIは、硬質アスファルトを使用しないため、混合温度を下げるができる。しかし、その反面、リユエル流動性の低下や長時間のクッキングにおける高耐久アスファルトの熱劣化による品質変状が懸念された。

そこで、高耐久グースIと高耐久グースIIを用いた場合の混合物性状と長時間のクッキングによる混合物性状の変化を調べた。

5-2 代替バインダの混合物性状

硬質アスファルトと高耐久グースを用いた混合物の性状試験結果を表-8と図-3に示す。

表-8 高耐久グースI、IIの混合物性状

	アスファルト量 %	添加材量 %	リユエル流動性		貫入量 mm	動的安定度 回/mm	破断ひずみ ×10 ⁻³
			温度℃	秒			
硬質アスファルト	8.0	-	240	17.5	0.65	270	15
	8.3			18.0	0.81	230	10
	8.6			5.5	1.31	190	12
高耐久グースI	8.6	5.0	240	14.0	1.48	620	13
	8.0			18.0	2.81	850	16
高耐久グースII	8.3	5.0	220	14.0	2.42	530	14
	8.5			12.0	2.07	440	17
規格(目標値)	-	-	-	20以下	1~4	600以上	8以上

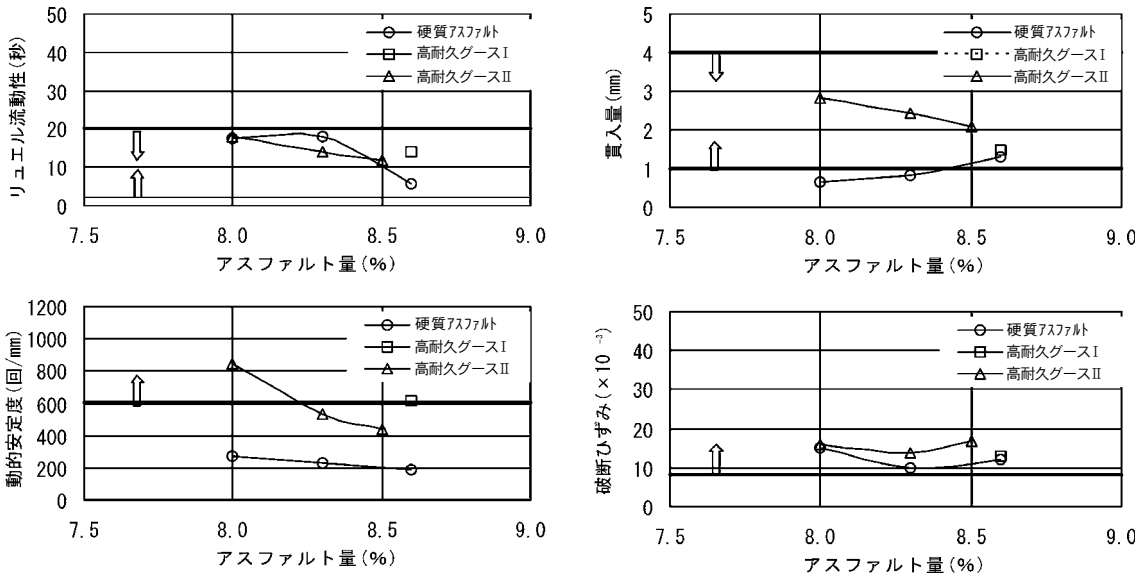


図-3 バインダ別混合物性状

高耐久グースIIを用いた混合物は、アスファルト量8.0%（設定余剰アスファルト量0.5%）で、すべての性状において規格（目標値）を満足する結果となった。また、硬質アスファルトでは、アスファルト量が増えると貫入量と動的安定度はともに小さくなるが、高耐久グースIIでは、動的安定度が大きくなる傾向を示した。

5-3 クッキング時間と混合物性状

グースアスファルト混合物は、プラント出荷温度が190℃～200℃で、施工温度は240℃程度である。したがって、混合物をプラントからクッカ車に投入し、所定のリュエル流動性が得られるまで加熱・攪拌（クッキング）を行う。

室内試験の場合も同様に、縦型ミキサを用いて190℃前後で混合し、室内クッカでクッキングを行う。クッキング速度は機械の性能上15℃/h～20℃/hであり、所定の温度に達するまで3～4時間のクッキング時間が必要となる。

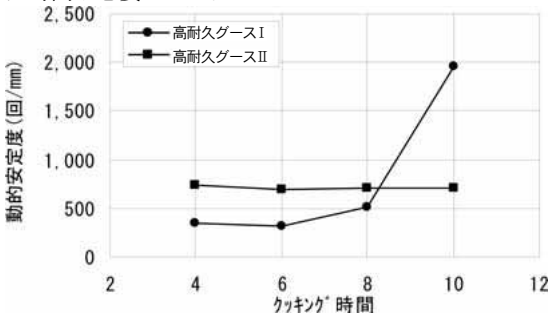


図-4 クッキング時間毎の動的安定度

クッキング時間による高耐久グース混合物の性状変化を評価するため、クッキング時間と動的安定度の関係を調べた。その結果を図-4に示す。

測定結果から、ストアスを使用した高耐久グースIは、6時間以上のクッキングでは劣化が懸念されることがわかった。一方、ポリマー改質アスファルトII型を使用した高耐久グースIIは、長時間のクッキングにも劣化することなく混合物性状を保持することがわかった。

まとめ

以下に、今回の試験結果をまとめる。

①骨材粒度

中央粒度より下限粒度の方が、混合物のリュエル流動性と動的安定度の両方をバランス良く向上させられる。

②フィラー

石粉のフロー値が低く、さらにフロー勾配が高いものが高耐久グースには適している。

③代替バインダ

高耐久グースIIを用いた混合物は、すべての性状において規格（目標値）を満足し、長時間のクッキングにも劣化しない。

おわりに

今回の試験では、高耐久グースIIの用いた混合物性状は満足できる結果が得られた。しかし、室内と現場では、混合物性状に最も影響する加熱・攪拌能力が異なるため、今後はプラント混合とクッカ車でのクッキ

ングによる混合物性状を把握する必要がある。

【参考文献】

- 1) 日瀝化学工業：アスファルト舗装講座Ⅲ、pp145～162(1972. 12)
- 2) 石川：フィラーの品質について、第9回日本道路
会議論文集、pp119～120(1969. 10)
- 3) 小笠：グースアスファルト混合物用バインダの代
替品、舗装技術の質疑応答第8巻、pp267～
271(2001. 10)



舗装のアセットマネジメント適用に関する一考案

藤原 栄吾*
藤田 義憲**

はじめに

近年、道路を資産（アセット）と捉え、損傷状況を把握して劣化予測を行い、費用対効果の高い修繕を行うことにより道路の資産価値を高める道路のアセットマネジメント手法が注目されている。本報告は、道路表面を覆う舗装へのアセットマネジメント適用を目指し、当社技術研究所の所在地の市道で実施した路面性状調査結果を用いて舗装の劣化予測を行い、補修時期と費用、補修効果について検証した結果を紹介するものである。

1. 路面性状調査

アセットマネジメント手法による舗装の維持管理を実現するには、舗装の損傷状況を正確に把握し、適切な劣化予測を行うことが不可欠である。そこで、路面性状測定装置を用いて舗装の種類と交通量区分がほぼ等しい代表的な路線を選定し、路面性状調査を実施した。調査項目を表-1に、測定装置を写真-1, 2に示す。

表-1 調査項目

	測定項目	測定延長	測定装置
調査①	平坦性	約 20km (上下線 10km)	路面性状測定車
	わだち掘れ深さ		
	ひび割れ率		
調査②	平坦性	60m (2 上区)	牽引式プロファイラ
	IRI		

表-1の調査①路線は、舗装の種類、交通量が同程度の区間から無作為に選定し、調査②は①の路線の中で平成17年度に補修を終えた箇所（No.1工区）と平成18年度に補修が予定されている箇所（No.2工区）の片側車線の延長60m区間を抽出した。なお、調査①では表-1の調査結果から20m間隔で供用性指標（PSI）と維持管理指標（MCI）を算出した。また、調査②では補修前後の路面性状の比較、今後の追跡調査



写真-1 路面性状測定車 (real)



写真-2 牽引式プロファイラ (MRP-2000)

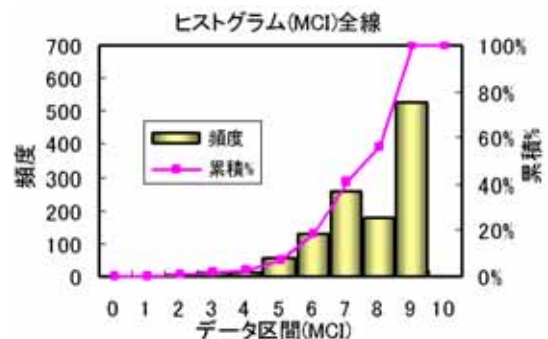


図-1 MCI分布

* 技術研究所調査試験室主任研究員 ** 技術研究所調査試験室室長



を実施する代表区間として、平坦性、国際ラフネス指標（IRI）の測定を行った。

(1) 調査①測定結果

調査路線のMCIおよびPSIの分布を図-1, 2に示す。また、MCIとPSIの関係を図-3に示す。図-3から、PSIとMCIの関係をみると、ほぼ $PSI \approx 0.5MCI$ の関係が成り立つことが判明した。

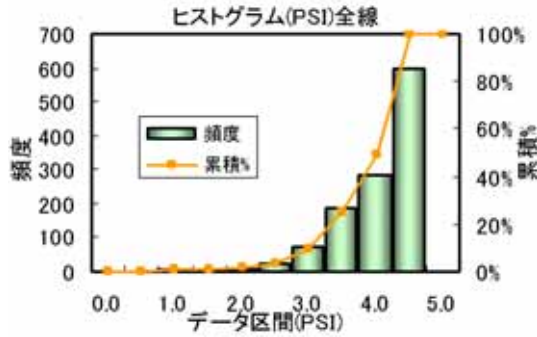


図-2 PSI分布

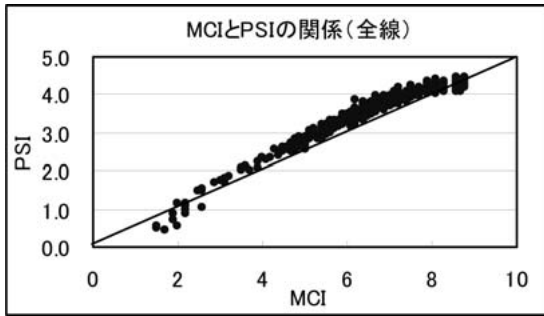


図-3 MCIとPSIの関係

(2) 調査②測定結果

牽引式プロファイラによる路面性状測定結果を表-2に示す。平坦性項目の括弧の数字は同区間の路面性状測定車の結果を表している。IRIの測定値は、測定延長が短く基底長を10mとしているため、路線全体のIRIを評価する上での信頼性は低い、経年劣化により平坦性が低下していると推測される。

表-2 牽引式プロファイラによる路面性状測定結果

調査工区	平坦性 σ (mm)	IRI (mm/m)	補修後 経過年数
No.1	1.9(2.1)	2.6	1
No.2	4.9(4.6)	5.9	11

2. 路面性状の劣化予測

路面の健全度を表す指標には、前述のPSIやMC

Iがあり、路線全体もしくは各路線単位のネットワークレベルで計画的に維持管理を行う際の維持修繕の優先順位、おおよその補修工法を選定するために利用されている。

ここでは、単独の式で算出可能なPSIを路面の健全度を表す指標として採用し、劣化予測を行う。そこで、まずPSIを表-3のようにランク化し、施工後の経過年数とランク比率を整理する。また、路面性状のランク推移について以下の条件を設ける。

- ・路面の劣化は、特定時点の路面性状にのみ依存し、それ以前の状態とは無関係である
- ・補修直後、舗装路面は最も高いランクへ移行する
- ・路面は補修されない限り低いランクへ移行する
- ・路面性状の劣化に伴うランクの移行は、1年間で最大1ランクとする

表-3 健全度のランク

ランク	PSIの範囲	健全度
1	4~5	高
2	3~4	中
3	2~3	
4	1~2	低
5	0~1	

表-4は、路面性状測定結果に推移確率モデルを適用し、1年間あたりにランク間で移行する確率を推定したものである。表-4のランク1に注目すると、ランク1の路面が1年後に同じランクに留まる割合は88.2%、ランク2へ移行する割合が11.8%であること

表-4 ランク間の推移確率

ランク	1	2	3	4	5
1	0.882	0.118	0	0	0
2	0	0.953	0.047	0	0
3	0	0	0.923	0.077	0
4	0	0	0	0.951	0.049
5	0	0	0	0	1

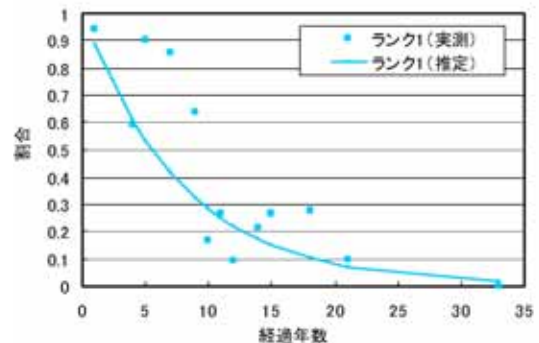


図-4 ランク比率の実測値と推定値（ランク1）



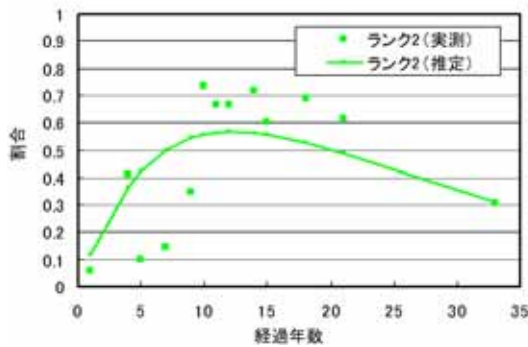


図-5 ランク比率の実測値と推定値（ランク2）

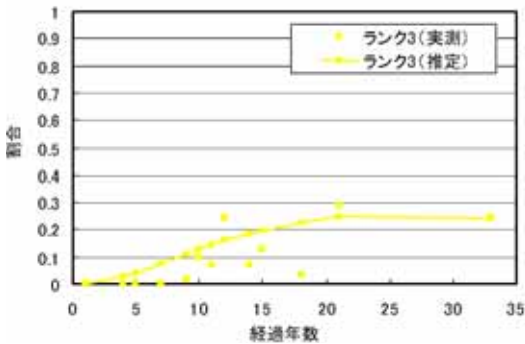


図-6 ランク比率の実測値と推定値（ランク3）

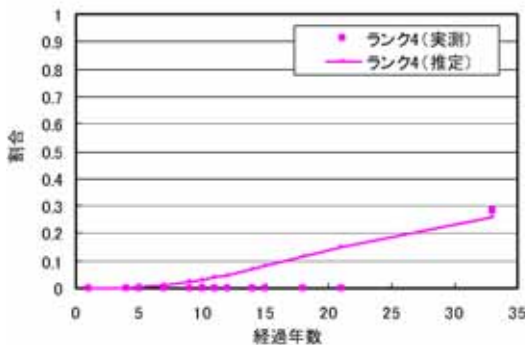


図-7 ランク比率の実測値と推定値（ランク4）

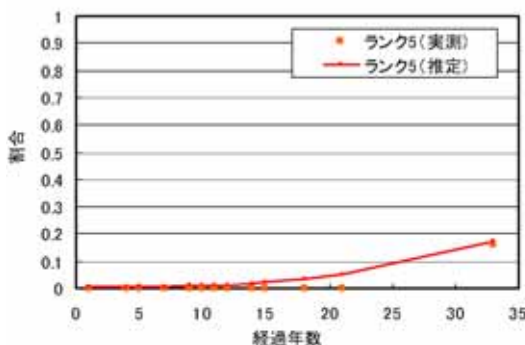


図-8 ランク比率の実測値と推定値（ランク5）

を示しており、他のランクの路面と比較して下位のランクへ移行する割合が高い。

図-4～8は、各ランク比率の実測値と表-4の推移確率から求めた推定値の関係を示している。実測値と推定値の関係をみると、ランク1, 2では幾分誤差を生じているが、実際の劣化状況に即した推定結果が得られている。一方、ランク3以下では推定誤差そのものは小さいものの、推定精度は低い。とりわけランク4以下の状態は、推定値で供用後約7年以降に目立ち始めるが、ランク4, 5の路面は現実にはほとんど存在しない。これは、舗装の維持管理において、局所的に損傷が見られる路面に対して表面処理等を施して劣化の進行を防いでいるためと考えられる。また、こうした表面処理区間の存在が、舗装の劣化予測において、劣化速度を現実よりも低く評価する傾向をもたらしている。

3. 補修時期とコストシミュレーション

舗装の破損を防ぎ、道路の資産としての価値を維持していくためには、舗装の定期的な補修が不可欠である。ここでは前章で求めた推移確率を用い、特定のランクで補修が行われた際のランク比率の変化と補修コストの試算を行う。

(1) 路線のランク比率の推移

路面性状測定結果から、測定した路線全体のランク比率を表-5に示す。

表-5 路線の各ランク比

ランク	比率
1	0.505
2	0.398
3	0.078
4	0.012
5	0.007

路線のランク比率の推移は、表-4の推移確率を用いて推定することができる。ランク1と2を例に計算方法を以下に示す。

1年後のランク1比率の予測値

$$=0.505 \times 0.882 = 0.445$$

1年後のランク2比率の予測値

$$=0.398 \times 0.953 + 0.505 \times 0.118 = 0.439$$

他のランクの比率の予測値も同様にもとめることが可能である。また、N年後のランク比率もN-1年後の比率を用いて導くことができる。経過年数とランク比率の関係を図-9に示す。

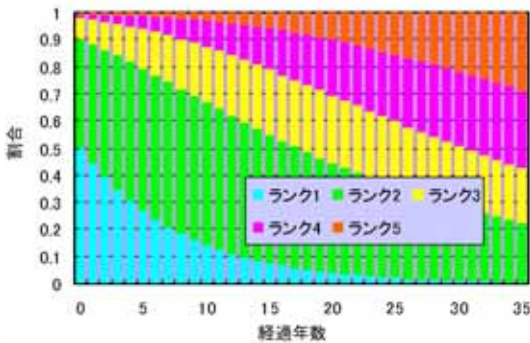


図-9 経過年数とランク比率の関係

図より、補修が行われない場合、なんらかの補修を必要とするランク3以上の路面が10年後で30%、20年後で55%、さらに30年後には75%にも達する。その結果、道路が提供するサービスの質の著しい低下や走行安定性が損なわれることが予想される。

(2) 補修を考慮したランク比率の推移

前節では、補修がまったく行われない場合の路面性状の劣化予測結果を示した。ここでは、あるランクの路面の中で、一定割合が補修される状況を考える。表-6は、ランク3、5の路面でそれぞれ45%と35%が

表-6 補修を考慮した推移確率

ランク	1	2	3	4	5
1	0.882	0.118	0	0	0
2	0	0.953	0.047	0	0
3	0.450	0	0.508	0.042	0
4	0	0	0	0.951	0.049
5	0.350	0	0	0	0.650

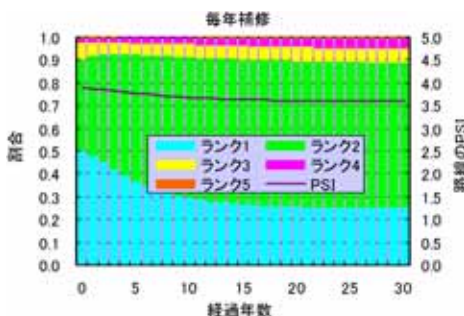


図-10 経過年数とランク比率の関係 (毎年補修)

補修される場合の推移確率を表している。また、図-10は、この補修条件における経過年数とランク比率の関係を示している。図中の路線のPSIは各ランクのPSIの範囲からPSIの平均値を求め、ランク比率との積の総和を導いたものである。図より、補修を必要としないランク(1, 2)と必要なランク(3, 4, 5)割合の変動が少なく、PSIもほぼ一定の水準で推移していることが分かる。

(3) 補修コストシミュレーション

舗装の維持修繕コストを抑えるため、一定期間、補修を実施しない状況を想定する。図-11は、10年間補修を実施せず、その後、表-6の割合で補修を行ったときのランク比率とPSIを、図-12は20年とした場合の比率とPSIを示している。

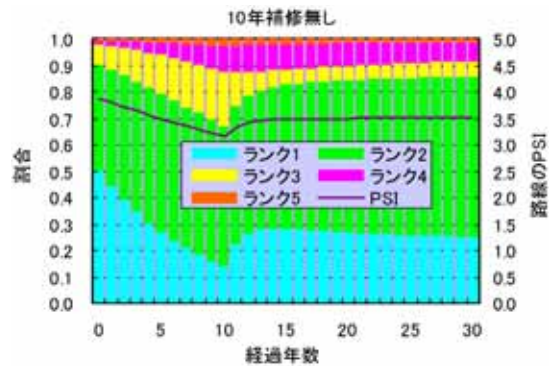


図-11 経過年数とランク比率の関係 (10年補修無し)

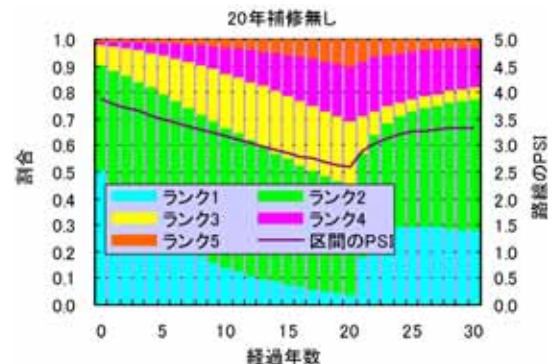


図-12 経過年数とランク比率の関係 (20年補修無し)

次に、補修コストを算出するため、各ランクの補修工法と費用を以下のように設定する。

(条件)

ランク3の補修：切削オーバーレイ

ランク5の補修：打ち換え

ランク5の補修費=ランク3の補修費の4倍

前記の条件で、毎年補修を実施したときの30年間の総補修費用を1としたとき、補修を10、20年実施しな

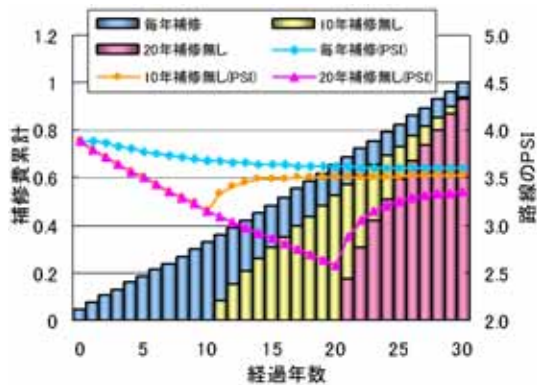


図-13 補修費用の比較

い場合の補修費用の関係を図-13に示す。

図-13より、補修を一定期間実施しない場合でも、最終的には毎年補修を行っている場合とほぼ同じ補修費が必要となる。また、補修を行わない間、PSIが著しく低下し、その後補修を行っても元の水準まで回復しない。したがって、一定割合で毎年補修を実施することが費用対効果の高い維持管理につながると思われる。

おわりに

本研究では、路面性状測定結果を用いて路面性状の劣化予測を行い、補修時期と費用対効果の試算を行った。今後は、データの蓄積により予測精度の向上を図り、予測結果の妥当性を検証する予定である。

車道透水性舗装の現状について

森 石 一 志*

はじめに

現在、環境は悪化の一途をたどり、特に地球温暖化によって地球規模で気候が大きく変動することが予測されている。1898年から2004年までの約100年間における気候の推移をみると、日本の年平均地上気温は約1.0℃上昇している。降水量の推移に関しても、年降水量が1898年から2004年までの約100年間において減少傾向にあるとともに、1960年頃から多雨の年と少雨の年との差が大きくなってきている¹⁾。

1980年代後半に導入された「排水性舗装」は、その名のとおり、路面排水の向上を目的に連続空隙を有する多孔質な構造を持つ。その機能として、降雨時のハイドロプレーニング現象の抑制、水はねの低減、視認性の向上に加えて、騒音低減効果も兼ね備えた舗装として現在も多く施工されている。しかし、排水性舗装は雨水が表層内部から排水溝へ流れるため、通常の舗装の雨水の流れと同様である。そのため、降水量が50mm/hの場合、すぐに側溝などの排水施設が溢れ、道路が冠水する問題が生じる。そこで、環境改善対策工法として透水性舗装が注目されている。

透水性舗装は1970年代初頭に実用化された。しかし、雨水の浸透により路体・路床あるいは粒状路盤の含水比が高くなることで支持力が低下し、耐久性を損ねることが懸念されている。そのため、車道への適用は少なく、歩道での適用が多い。しかし、平成16年に施行された特定都市河川浸水被害対策法により、「特定都市河川流域内における道路を含む一定規模以上の雨水浸透阻害行為については、流出水量の増加を原地盤と同じ程度に抑制すること」が義務づけられ、主要対策のひとつとして車道透水性舗装が注目され、軽交通から重交通の車道にも適用可能な技術の確立が急務となっている²⁾。

そこで本報文は、まず透水性舗装の機能性・特徴について述べる。続いて日本の透水性舗装の歴史、既往

の研究、現在までに実施されている主なプロジェクトを紹介する。最後に透水性舗装を車道に適用する場合の現状の課題について調査した結果を報告するものである。

1. 透水性舗装とは

1-1 舗装構造

図-1に示すように、密粒舗装は、雨水が舗装表面を通り、路肩の排水構造物に流れる。また、排水性舗装は、雨水がポーラスアスファルト混合物で形成された表層を流下し、その下層部の不透水層上を流れて排水する。しかし、透水性舗装は、アスファルト混合物層および路盤層を介して流下した雨水が路床へ浸透する構造を持つ。

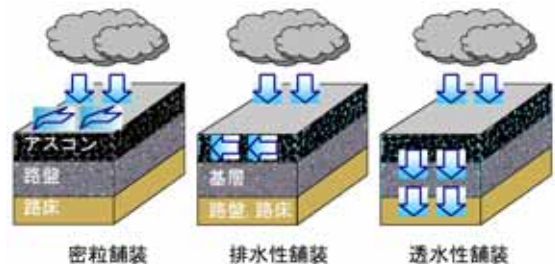


図-1 舗装構造

1-2 機能および特徴

車道透水性舗装の特徴は、以下に示す効果があると言われている³⁾。

- ・地下水の涵養
- ・下水道の負荷軽減と都市河川の氾濫防止
- ・公共水域の汚濁軽減
- ・植生等の地下生態の改善
- ・路面排水施設の軽減もしくは省略
- ・雨天時のすべり抵抗性の増大と歩行性の改善
- ・雨天時の乱反射による眩惑の軽減

*技術研究所開発研究室



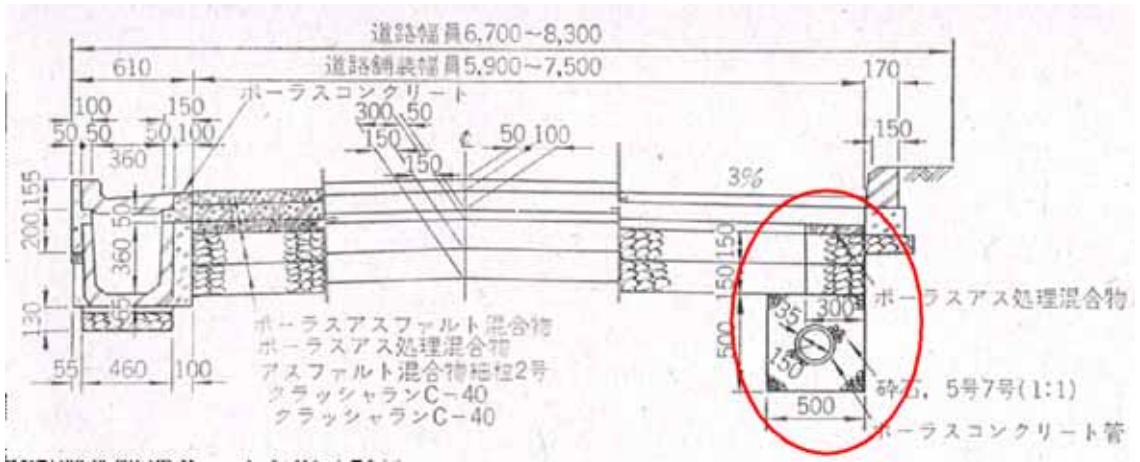


図-2 車道透水性舗装の構造図 (1977年)

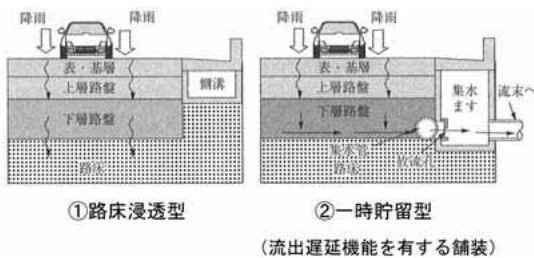


図-3 車道透水性舗装の構造図
(道路路面雨水処理マニュアル(案))

その他、上記に加えて排水性舗装と同様の以下の機能が期待される。

- ・タイヤ路面騒音の発生抑制
- ・雨天時における視認性の向上
- ・ハイドロプレーニング現象の軽減
- ・沿道への水はね防止

2. 日本における透水性舗装の歴史

日本における透水性舗装の歴史を以下に述べる。

(1) 1970年代

1974年に東京都が歩道透水性舗装として試験施工を始めた。

1977年に世田谷区が生活道路等の軽交通の車道に適用した。当時の車道および歩道透水性舗装のそれぞれの位置づけは、前者が雨水を一時的に舗装体に貯留させ、流出時間を延長し、舗装体を介して下水道等排水施設へ排水することを意図するものであった。後者は、洪水流量の減少、地下水の涵養、街路樹の保護育成を意図していた。また、図-2に示すように、路床に対する水の影響を考慮し、舗装全体を透水層とするのではなく、端部の30cmだけに透水層を設け、その下部にポラスコンクリート管が設けられたものであった¹⁾。

現在は、「道路路面雨水処理マニュアル(案)」において、図-3に示すように最終的な雨水処理の形態の違いから、透水性舗装の一般的な構造は大きく2つに大別している⁵⁾。

追跡調査に関しては、現場透水試験、路面の目視、平坦性、すべり抵抗性といった機能的な試験項目が実施されていた⁶⁾。同年に愛知県でも試験施工が実施されている。県の道路事業と自然環境保全との調和を目的とし、バス・ダンプトラックといった車両が通行する箇所であったこともあり、バインダーはポリマー改質アスファルトII型を採用している。環境保全を目的に施工され、通水性・通気性が重視されていたので、追跡調査は、現場透水試験、および切取供試体による空隙率の確認が実施された⁷⁾。

そういった中、1979年に(社)日本道路建設業協会より、「透水性舗装ハンドブック」が発刊された。その後、これに準拠して設計されるようになったが、適用範囲は歩道および生活道路など、軽交通の道路を中心とし、車道その他の舗装には、1日1方向当たりの大型交通量10台以上~55台未満という簡易舗装に相当する道路を対象としていた⁸⁾。

(2) 1980年代

1981年に、埼玉県で構内舗装に透水性舗装を適用し、雨水調整池として試験施工が行われた。さらに、透水性能を確認するためにテストボックスを作製し定量的に観察された。その結果、高い透水性能を得ることができた。しかし、路床部分にグレーチングを使用しており、路床とは異なる高い透水係数を有しているため、実際の透水性能とは異なっている⁹⁾。

また、透水性舗装ハンドブックの発刊によって、駐車場などの構内に多く適用されるようになった。

(3) 1990年代

1993年に「雨水の地下還元」、「地球の温暖化の低減」、「地球環境の保護」等を目的とし、国土交通省近畿地方整備局が重交通路線として我が国で初めて、一般国道に試験施工を実施した¹⁰⁾。追跡調査は切り取り供試体による空隙率および透水係数の確認、ひびわれ、現場透水試験、すべり抵抗性試験などの機能に関する試験だけでなく、支持力調査による構造に関する試験、その他、舗装体の温度、降雨時における舗装体水位、騒音測定など環境に関する試験を行い、供用後13年経過している現在も追跡調査が行われている。

1997年には、「よくわかる透水性舗装」が発刊された¹¹⁾。「透水性舗装ハンドブック」では車道の適用箇所が軽交通であったのに対して、1日1方向の大型交通量が100台未満という適用範囲になった。これによって、適用範囲が広がった。

(4) 2000年代

中部地方整備局・愛知県・(財)先端建設技術センターが、愛知万博に合わせて環境に配慮した舗装として、2000年に国道で試験施工を実施し、現在も追跡調査中である¹²⁾。これはプロジェクトとして後で詳述する。

近畿地方整備局・道路建設業協会関西支部・京都大学が、実路で測定が困難である水収支等について、試験ヤードを構築し測定を行っている¹³⁾。これについても、後のプロジェクトで詳述する。

その後、2005年に、(社)日本道路協会より、「環境改善を目指した舗装技術(2004年度版)」そして、(独)土木研究所より、「道路路面雨水処理マニュアル(案)」が発刊され、車道透水性舗装や浸透・貯留施設についての設計・施工の考え方が示された。

3. 既往の研究とプロジェクト

3-1 既往の研究

現在まで、官民学それぞれで透水性舗装の研究は実施されており、数多く報告されている。それらを屋外実験と室内実験と大別し、得られた結果をまとめる。

(1) 屋外実験

屋外実験は、実路・構内・構築されたヤードの3種類に大別される。実路および構内のデータは類似しているが、構築されたヤードは四方が拘束されており、実路においても、埋設管等の地中構造物の影響が考えられ、それぞれの相関性が問題である。

実路および構内での主な試験を表-1に示し、様々な実験結果から得られた所見を以下に示す。

・路床の支持力の低下は、ローム層および砂質層の双方で確認されていない。

- ・フィルター層の有無により支持力に変化が見られ、降雨後の支持力がフィルター層が無い場合は低下するが、有する場合は低下しない傾向にある。
- ・路盤材料の通水による支持力は、クラッシュランは大きく低下するが、再生クラッシュランは混入している廃材の種類に左右され、それはわずかに低下もしくは増加する。
- ・アスファルト混合物層は、交通荷重に適したバインダーを使用すれば、わだち掘れは発生しない。

表-1 主な試験項目

		種 別
主 な 試 験		現場透水量試験
		わだち掘れ量測定
		すべり抵抗性試験
		支持力測定
		熱収支
材 料 試 験	路 床	砂質
		ローム
	路 盤 層	クラッシュラン
		再生クラッシュラン
		透水性アスファルト安定処理
		粒度調整したクラッシュラン
	ア ス フ ア ル ト 混 合 物 層	ポーラスアスファルト混合物
		開粒度混合物(ストレートアスファルト)
		開粒度混合物(ポリマー改質アスファルトII型)
		開粒度混合物(ポリマー改質アスファルトH型)
		密粒舗装
		排水性舗装

(2) 室内実験

室内実験は、路床土の変形特性の検証が行われている。また、アスファルト混合物については、表層ではなく、上層路盤材に使用されるアスファルト安定処理(ATPM)の評価や材料の検討が行われている。特に多くの検討が実施されているのは粒状路盤材である。理由として、粒度によって透水性能が劣る場合がある。また、浸透水によって細粒分が移動し、骨材の噛み合わせが悪くなり、支持力が低下していく^{14)、15)}ということが懸念されているためである。

以下に様々な実験結果から得られた所見を示す。

- ・路床の耐久性は、路床土の違い、浸透水の有無、載荷荷重の大きさの違いの影響を受ける。
- ・路盤材の粒度は、通水による支持力および透水性能に影響を与える。
- ・路盤材は、締め固めの違いにより貯留能力が異なる。
- ・アスファルト安定処理路盤材に使用するバインダーは、はく離に対する抵抗性を考慮すると、耐流動性

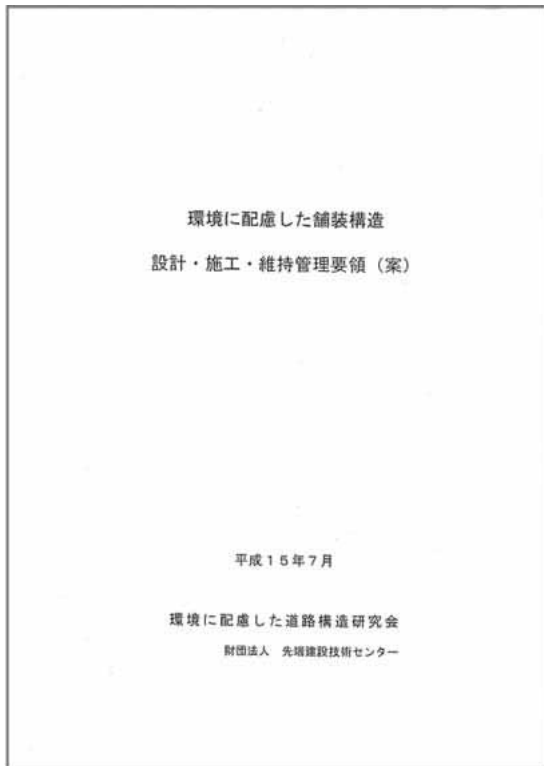


写真-1 「環境に配慮した舗装構造 設計・施工・維持管理要領（案）」（財）先端建設技術センター



写真-2 プロジェクトパンフレット
（新都市社会融合創造研究会）

を有するポリマー改質アスファルトⅡ型以上の性質を有するものを使用する。

3-2 主なプロジェクトとその成果

車道透水性舗装として近年に実施された主なプロジェクトの内容と成果について以下に述べる。

(1) 環境に配慮した道路構造の検討

（平成10年度～平成15年度）

（財）先端建設技術センターが中部地方整備局名古屋国道事務所に委託し、雨水浸透型道路構造の車道への適用の検討が、「環境に配慮した道路構造研究会（財団法人道路保全技術センター）」の指導・助言を受けて行われた。その中で、平成12年度に施工した試験舗装の3年間にわたる追跡調査結果に基づいて、雨水浸透型道路構造構築の指針となる「環境に配慮した舗装構造 設計・施工・維持管理要領（参考試案）」（以下、要領（試案））のとりまとめを行った。（写真-1）しかしながら、当該試験舗装が限定的な条件下のものであることや、調査（供用）期間が舗装設計期間（20年）に対し短期間であることを考慮すると、本要領（試案）は今後の雨水浸透型道路構造技術発展に寄与すべき資料として活用されることが望ましいとされ

た。そのため、試験舗装を中心とした6年間にわたる検討結果と要領（試案）との関わりを体系的かつ簡潔に整理したうえで、道路関係者にとって有用な公表用資料（環境に配慮した舗装構造 研究報告書）が作成された¹⁶⁾。その後、独立行政法人 土木研究所に引き継がれ「道路路面雨水処理マニュアル（案）」が作成された。

(2) 新都市社会技術融合創造研究会

（平成15年3月～平成19年3月）

「透水性舗装の現状把握およびその各種都市環境への影響評価手法の確立」をテーマに、社会資本の整備、維持・管理に関わる産・学・官の連携・協力による新しい技術の研究・普及等に関する事業を行うものである。プロジェクトの構成は、産（（社）日本道路協会 関西支部ほか）、学（京都大学工学研究科ほか）、官（国土交通省 近畿地方整備局）であり、近畿地方において実施された。（写真-2）

本プロジェクトは、ヒートアイランド対策や洪水対策などの都市環境改善に期待が寄せられている透水性舗装を、実際の道路での試験施工と実大実験施設で実験を行い、都市環境改善を定量的に評価することを研究目的としている。

調査は実路として我が国で最初に重交通道路で試験施工された国道24号和歌山バイパスや、国道163号などがある。また、実路では測定できない水収支等については国土交通省 近畿技術事務所内に構築した試験ヤードにて測定を行っている。研究成果は、全4回のセミナーで報告され¹⁷⁾、学会や刊行物等でも随時報告されている¹⁸⁾。

3-3 現状の課題

透水性舗装に関する文献から現状の課題を抽出すると以下のとおりである。

(1) 道路路面雨水処理マニュアル(案)からの課題

① 耐久性の問題

- ・重交通路線や路床が粘性土などの場合の耐久性
- ・埋設物周辺の空隙等の懸念
- ・材料や構造設計方法の確立

② 機能性の問題

- ・舗装全体の透水性能を評価する試験方法
- ・透水機能の持続性向上・回復技術の確立
- ・環境改善効果の確認方法の確立

(2) 屋外実験での課題

- ・路床土の種類は、砂質土・ロームの実験しか実施されていない。
- ・地下埋設物などの影響の有無が明確でない。
- ・凍結融解や凍上による影響の有無が明確でない。
- ・現場透水試験の結果から、表層からの透水能力の低下が確認されたが、実際に、どの層が原因しているかが不明確である。
- ・アスファルト混合物層の温度は、密粒舗装と比べて高くなるのか、もしくは低くなるかが不明確である。
- ・アスファルト混合物層の温度が、夏期と冬期で違いがあるかどうか不明確でない。
- ・測定方法、気象条件の違いにより、温度環境に寄与するかが不明確である。

(3) 室内実験での課題

- ・路床土は、種類の違いによる支持力、透水性能、貯留能力が明確でない。
- ・路盤材は、種類および粒度の違いによる支持力、透水性能、貯留能力が明確でない。
- ・アスファルト混合物は、懸念される空隙詰まり等のメカニズムの検証がされていない。

おわりに

現在、国土交通省をはじめ、各市町村においても車道透水性舗装の試験施工等が行われている。当社においても、市道の車道透水性舗装の調査業務を行っている。

写真-3は、雨水の浸透による路盤以下の軟弱化が懸念される透水性舗装の支持力を評価するために不可欠なFWDの測定状況である。同様に、写真-4に示すように、赤外線カメラで舗装表面を撮影し、熱画像で透水性舗装の温度特性の評価も行っている。

本文で述べた課題も含め、設計・計画から施工まで総合的な車道透水性舗装の技術を確立させることが急務であると考えられる。



写真-3 FWD測定状況
(上: 全景, 下: センサ部)



写真-4 熱画像撮影状況

【参考文献】

- 1) 国土交通省 土地・水資源局水資源部：平成17年版日本の水資源について～気候変動が水資源に与える影響～、2005.
- 2) (社)日本道路協会：環境改善を目指した舗装技術(2004年度版)、舗装委員会 環境・再生利用小委員会、2005. 3.
- 3) 奥平真誠：車道透水性舗装について、アスファルト合材、NO. 78、2006. 6.
- 4) 桜井正己、荒木美民：透水性舗装の車道への適用－世田谷区における施工例－、舗装、12-6、pp. 24-28、1977.
- 5) (独)土木研究所：道路路面雨水処理マニュアル(案)、山海堂、2005.
- 6) 桜井正己、荒木美民、西沢典夫：車道に施工した透水性舗装の追跡調査、舗装、19-2、pp. 14-17、1984.
- 7) 東清昭、田所治郎、塩梅猛：車道部における透水性舗装－愛知県の1例－、舗装、12-10、pp. 9-16、1977.
- 8) (社)日本道路建設業協会：透水性舗装ハンドブック、山海堂、1979.
- 9) 長島吉五郎、桑原正己：治水機能に寄与する透水性舗装－埼玉県本庄土木事務所の構内舗装－、舗装、17-9、pp. 22-25、1982.
- 10) 上山二郎、浦上康文：車道透水性舗装、道路、Vol. 636、pp. 24-28、1994.
- 11) 水と舗装を考える会編：よくわかる透水性舗装、山海堂、1997.
- 12) 川西寛、藤川則義：環境に配慮した舗装構造の技術開発－産業廃棄物を活用した、重交通に耐えうる全断面透水性舗装の構築－、舗装、36-2、pp. 4-9、2001.
- 13) 木下孝樹、和田実、西山哲、矢野隆夫：車道透水性舗装モデルの機能性評価－産・学・官の取組み－、舗装、41-5、pp. 5-9、2006.
- 14) 渡辺安彦、占部浩二、有賀公則：全断面車道透水性舗装における追跡調査の一事例、第25回日本道路会議、09051、2003.
- 15) 浅野耕司、長崎洋、中西弘光：車道透水性舗装に関する検討、第9回北陸道路舗装会議、pp. 147-150、2003.
- 16) (財)先端建設技術センターホームページ：<http://www.actec.or.jp/index.html>
- 17) 第2回新都市社会技術セミナー研究報告：www.kkr.mlit.go.jp/road/shintoshikenkyukai/pdf/data01_01pdf
- 18) 木下孝樹、和田実、西山哲：車道透水性舗装モデルの機能性評価～産・学・官の取組み～、第26回日本道路会議、12060、2005.

高速道路におけるハイブリッド舗装の施工例

木村潤一*
古川聡哉**
森石一志***

はじめに

ハイブリッド舗装とは、表面は高機能舗装と同等のきめ深さを、内部はSMAと同等の密実性・たわみ追従性という2つの機能を併せ持つ舗装である。NEXCOではトンネル内の舗装に従来採用してきた舗装構成（コンクリート舗装を基盤とし、中間層にSMA、表層に高機能舗装という2層構成のアスファルト舗装と組み合わせるコンポジットタイプ）の合理化を目的として採用を進めているものである。従来2層で施工していたアスファルト舗装を1層で施工することにより、約5割の建設費削減が期待でき、かつ、明かり部の排水性舗装との視覚的な連続性や、コンクリート床版上におけるたわみ追従性、および水密性が確保できる。本稿では、当社が施工した近畿自動車道（紀勢線）の新設工事におけるハイブリッド舗装の施工結果を報告するものである。

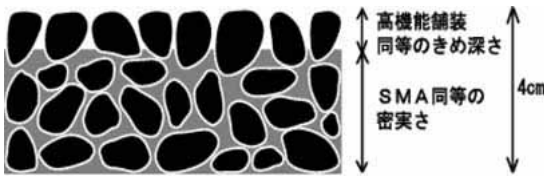


図-1 ハイブリッド舗装の概念

1. 室内配合設計

配合設計は、配合設計マニュアル(案)(旧JH)にもとづいて行った。配合設計フローを図-2に示す。

当混合物は、当社として初の施工実績となるものであり(平成17年12月現在)、当混合物特有の性状であるダレについて特に着目して配合を行った。

混合物のダレとは、混合物の運搬中に車両の振動によって材料分離を起こし、アスファルトモルタル(以後アスモル)が沈下する現象である。このアスモルが、

荷下ろしの際、ダンプの荷台に付着し、大量に残留したり、荷下ろしそのものが困難になったり、ダレた混合物を敷均すと部分的にアスモルが過剰となり、舗装表面にフラッシュが発生したりと様々な弊害を引き起こす。その反面、アスモルは、密実層を形成するために必要不可欠なものである。

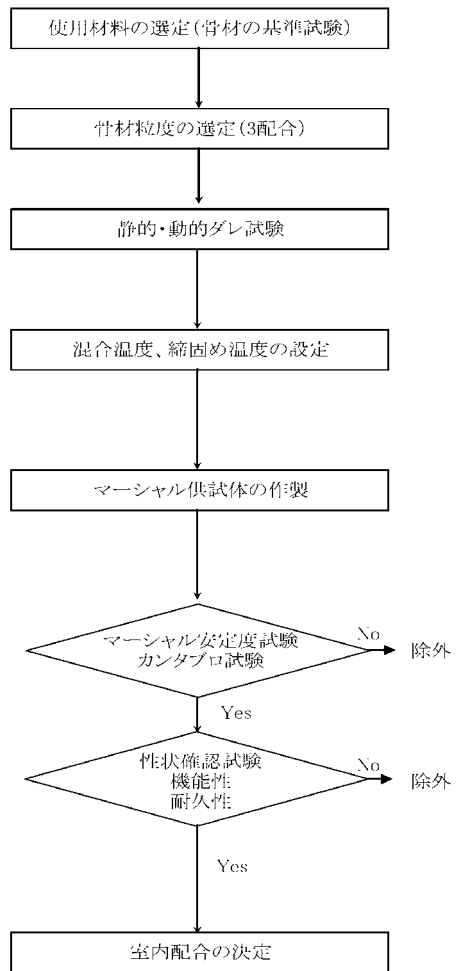


図-2 配合設計フロー図

* 中部支店尾張営業所 ** 中部支店東海北陸道飛騨工事事務所工事主任 *** 技術研究所開発研究室



そこで、ダレの性状に影響を及ぼす細目材について以下の3種類の組み合わせについて検討した。

- 配合① 細目砂+粗目砂
- 配合② 細目砂+スクリーニングス
- 配合③ 細目砂+7号碎石

その結果、配合③では、見掛密度と真空パック法の密度の基準を同時に満足するアスファルト量の共通範囲が得られず、室内配合の時点で除外した。

これに対して配合①と配合②では、スクリーニングスを使用した配合②の方がきめ深さが優れている結果となった。そこで、配合②を室内配合からの第1候補、配合①を第2候補とし、それ以降の性状確認試験については配合②について行った。その結果を表-1に示す。

表-1 室内配合結果

試験項目	試験結果		規格値
	配合①	配合②	
理論密度 (g/cm ³)	2.532	2.536	-
基準密度 (g/cm ³)	2.384	2.378	-
見掛	空隙率 (%)	2.7	2.8
	空隙率 (%)	5.8	6.3
真空法	VMA (%)	18.3	20.2%以下
	飽和度 (%)	68.3	66.7
安定度 (kN)	12.14	10.10	6以上
フロー (1/100cm)	36.3	38.2	-
安定度/フロー (S/F)	334.4	264.0	2,000~4,900
残留安定度 (%)	91.7	89.7	75以上
ノギス	密度 (g/cm ³)	2.373	2.367
	空隙率 (%)	6.3	6.7
新固め度 (%)	99.5	99.5	100±1
	MPD (mm)	1.2	1.9
透水係数 (cm/sec)	-	不透水	1×10 ⁻⁵ 以下
動的安定度 (回/mm)	-	6,000以上	3,000以上
曲げひずみ	-	1.01×10 ⁻²	1×10 ⁻² 以上
動的剥離率 (%)	-	1.4	5.0以下

2. 試験練り

室内配合とした配合②と予備的な位置づけとした配合①について、プラント実機にて試験練りを行った。今回は特にダレに着目したことから、通常の試験練りの試験項目に加え、下記の方法により、運搬中や、舗設後のダレ具合について検討した。

- ・実際に施工現場まで運搬し、実際の施工機械を用いて舗設し、荷下ろし後のダンプの荷台の状態や、転圧後の表面を目視観察する。
- ・写真-1に示すように、油紙を敷いたバットに混合



写真-1 バット法によるダレの比較

物を入れて運搬し、温度を十分さましてから抜き取り、裏面を目視観察する方法（仮にバット法と称す）で比較する。

その結果、配合①と配合②を比較すると、運搬中のダレは配合②の方が少なかった。また、わだち掘れに対する抵抗性、表面のきめ深さも配合②の方が良好であった。稜角に富むスクリーニングスを使用することにより、混合、運搬中のダレが少なく、転圧中に下層へうまく移動して密実層と表面のきめ深さを形成するという好結果を生んだものと考えられる。

以上、室内試験と試験練りの結果に基づき、配合②を採用することとした。決定した配合を表-2に、その合成粒度を表-3および図-3に示す。

表-2 配合割合

配合名	配合率(%)				合計
	6号碎石	細砂	スクリーニングス	石粉	
決定配合	77.5	6.5	5.0	11.0	100.0

表-3 合成粒度

項目		SCR・細砂	粒度範囲
通過質量百分率 (%)	19mm	100.0	100 ~ 100
	13.2mm	95.3	100 ~ 95
	9.5mm	70.7	-
	4.75mm	30.9	32 ~ 28
	2.36mm	25.3	25 ~ 20
	1.18mm	20.3	-
	0.6mm	18.0	20 ~ 18
	0.3mm	15.3	17 ~ 12
	0.15mm	12.6	13 ~ 10
	0.075mm	10.0	10 ~ 8

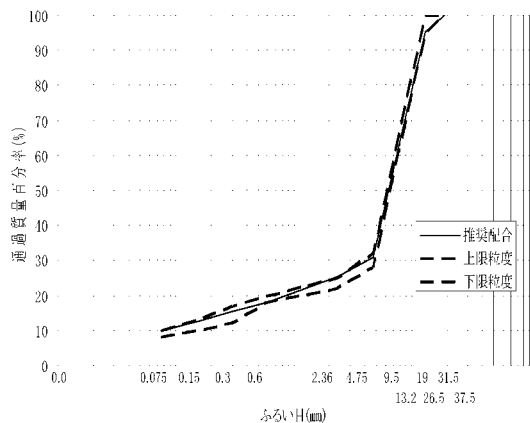


図-3 合成粒度

3. 試験施工

3-1 事前試験施工

ハイブリッド舗装の試験施工は、施工方法の影響が大きくなると予想されたため、先ず以下の目的で事前試験施工を実施した後に行うものとした。

①転圧機種の選定

- ・線圧の高いマカダムローラがアスモル分の沈下に有効であるため、主要転圧機種とするが、転圧温度、転圧回数はどれくらいが適正か
- ・タイヤローラは必要か否か

②トンネル内でのホットジョイントの施工

- ・高さ制限のあるトンネル内でダンプアップが完全に可能か

その結果は下記の通りであった。

- マカダムローラによる転圧は、なるべく高温のうちに10回程度は必要である。
- 初期転圧はフィニッシャ1台に対してマカダムローラを1台配置し、フィニッシャから離れないように転圧する。二次転圧は、さらにマカダムローラを1台配置し、初期転圧の不足分を補う。
- 仕上げ転圧はタイヤローラを使用し、マカダムローラのローラマークを消去する程度とする。高温での転圧または過転圧は、表面のきめ深さを失うこととなるので避ける。
- ダンプアップによる荷下ろしはほぼ完全に可能であるが、いくらか残留する分はプラントまで持ち帰り廃棄する。

3-2 試験施工

事前試験施工の結果を踏まえ選定した、試験施工の条件を表-4に示す。

表-4 試験施工条件

機種	工区				転圧温度	
	A工区	B工区	C工区			
転圧回数	初期	マカダムローラ	7	7	7	155℃以上
	二次	マカダムローラ	2	4	6	130℃以上
	仕上げ	15tタイヤローラ	3	3	3	90℃以上

試験施工では、CTメータによるきめ深さ(MPD)、抜き取りコアによる見掛密度および締固め度の測定を行った。また、舗設後の舗装版の裏面を確認した。その結果を表-5および写真-2に示す。

MPDについては、各工区とも基準値(1.2以上)を満足するものであった。しかしながら、初期転圧の時期が遅れた場合や、転圧回数が不足した場合には下層に密実層が形成されにくく(写真-2右)、また逆にタ

イヤローラによる仕上げ転圧時の温度が高かったり、回数が多かったりした場合は、きめ深さが得られない箇所もあった。

表-5 試験施工結果

項目	T区	A工区	B工区	C工区	基準値
きめ深さMPD(mm)		1.331	1.243	1.289	MPD≥1.2
見掛密度(g/cm3)		2.448	2.450	2.446	
締固め度(%)		99.4	99.4	99.1	96%以上

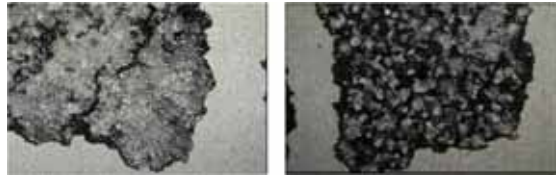


写真-2 舗装版裏面(左:正常、右:異常)

4. 本施工

試験施工の結果をふまえ、本施工はB工区の転圧編成を基準に決定した。本施工の施工条件を表-6に示す。

表-6 本施工条件

フ ラ ン ト	混合時間	Dry Mix Time		10 (sec)	
	温 度	Wet Mix Time		40 (sec)	
		骨材の加熱温度		180±10 (℃)	
		アスファルトの加熱温度		175±10 (℃)	
		混合物温度		175±10 (℃) 目標180℃	
	プラント廃棄限界温度		188℃以上、164℃以下		
現場廃棄限界温度		160℃未満			
混	常温骨材基準配合	6号砕石	スクリーンングス	細目砂	石粉
		7.7, 5	5, 0	6, 5	11, 0
合	加熱骨材基準配合	3B1N	2B1N	1B1N	ダスト
		69, 0	5, 5	14, 5	2, 0
物	現場配合程度	19, 0	13, 2	9, 5	4, 75
		2, 36	0, 6	0, 3	0, 15
施	現場配合程度	100, 0	96, 5	71, 5	30, 7
		25, 5	18, 1	14, 8	12, 7
方	アスファルト量	5, 5 (%)			
	転圧減	2, 0%			
法	余盛量	8mm (仕上がり厚t-10)			
	目標温度	概均し168℃±10	初期転圧180℃±10	二次転圧140℃±10	仕上げ転圧90℃±10
方	種類	初期転圧		二次転圧	
	機種	マカダムローラ		マカダムローラ	
法	回数	7回以上		4回程度	
	狭小部の施工	フレート、タンパによる転圧			
法	平坦性の確保	アウトボードスキーおよびセンサによる平坦性の管理			
	合材付着防止	ローラ : 転圧面に潤滑剤および付着防止剤の使用			
法	合材付着防止	連転ダンプ : 少量の付着防止剤等の塗布			
	すべり抵抗値	0, 25 (μ80)			

本施工では特に温度管理の重要性に留意し、プラントでの製造や出荷、舗設、転圧温度を専属の温度管理者により慎重に管理した。また、施工箇所がトンネル内であり、かつ時期が12月であったことから、舗設面のコンクリート表面の温度が10℃以下となり、敷均し直後に急激に温度低下することが懸念された。そのため、初期転圧はフィニッシャから極力離れないように、短いストロークでの早い転圧を心がけた。タイヤローラでの仕上げ転圧は、表面のきめ深さを維持するため、

目標転圧温度内の低い温度で、過転圧にならないように留意した。また、すべてのローラには、合材付着防止剤を使用し、特にマカダムローラは、表面の急激な温度低下を防止するため、水の過剰な噴霧をさけ、間欠散水にした。

平坦性について、コンクリート床版に直接舗設するため、下面の不陸の影響が懸念された。そのため、フィニッシャのセンサーガイドの取り方や、アジャストも慎重に行った。その結果、全体に良好な仕上がとなり、問題なく施工ができた。



写真-3 初期転圧状況



写真-4 表面仕上がり状況

5. まとめ

今回の施工で得られたハイブリッド舗装の配合時および施工時に有効と思われる留意点を下記に示す。

- ・配合時には、細骨材の組み合わせについて複数検討し、ダレの性状が最もよいものを選定する。

- ・試験練り時に、施工場所までの運搬距離等を考慮し、実際に運搬して性状を確認するとよい。
- ・線圧の高いマカダムローラが効果的であり、主要転圧機種とする。
- ・初期転圧はマカダムローラを、フィニッシャ1台に対して1台配置することを原則とし、なるべくフィニッシャから離れないように、短いストロークでより多くの回数を転圧する。
- ・二次転圧にもマカダムローラを使用し、やや長めのストロークで、初期転圧の補足と平坦性の確保を主目的とする。
- ・仕上げ転圧は、タイヤローラにて、マカダムローラのローラマークの消去を主目的とし、表面のきめ深さを失わないよう高温での転圧や過転圧は避ける。
- ・狭小部など、人力施工となる箇所はなるべく避ける。施工開始箇所や終了箇所では手早く転圧できるように心がける。

おわりに

今回はトンネル内での施工であったが、路盤以下への浸水による沈下の懸念がある土工部や橋梁上等でも、ハイブリッド舗装が有効ではないかと考えられる。

今回の施工では、本施工までに、事前試験練り、試験練り・試験施工、事前試験施工、試験施工という合計2回の試験練り、また3回にもおよぶ試験施工を行った。今後、同工種を施工するに当たって、本報告が少しでも参考になれば、これに勝る幸いはない。

最後に、今回の施工に当たって多大なるご指導とご協力を賜った、旧JH（現中日本高速道路株式会社）、当社技術研究所の関係各位に感謝の意を表する。

【参考文献】

- 1) 本松資朗，神谷恵三，高原健吾，松本大二郎：ハイブリッド舗装混合物の配合設計に関する研究，舗装工学論文集，Vol. 8，pp.125-136，土木学会，2003.12.
- 2) 洲崎健司，市尾暢彦：ハイブリッド舗装における現場管理のあり方について，第26回日本道路会議，12036，2005.10.
- 3) 中島裕寿，森石一志，古川聡哉：ハイブリッド舗装の施工事例について，平成18年度土木学会関西支部年次学術講演会，2006.6.

管渠更生工法(スーパー SPR工法)の施工事例

山口 潤 司*
吉川 智 英**

はじめに

管渠施設にあっては、長年の使用にも拘わらず何の損傷もなく立派に機能を果たしているものもある反面、クラックやジョイントのはずれ等の原因で冠水や道路陥没等の諸問題を引き起こしているものもある。したがって、これらの損傷施設を更生し、機能の回復を図ることが緊要な課題であり、経済的な更生工法の開発が効率的かつ、計画的な維持管理を可能とする。SPR工法はこのために開発された工法であり、老朽化し破損して機能の低下した管渠施設を、下水を止めずに水を流しながら施工ができ、新管と同等以上に更生させる工法である。

本報文は、φ2,180mmのスーパーSPR工法における裏込め注入方法についてとりまとめたものである。

1. スーパーSPR工法概要

スーパーSPR工法とは、自走式製管方式(図-1)でφ1,360mmを超える大口径円形において、既設管路

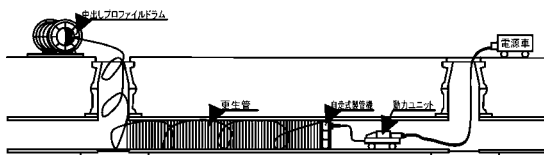


図-1 自走式製管方式

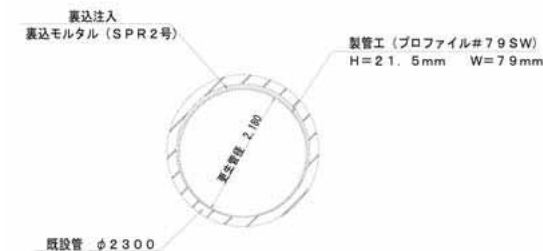


図-2 管渠断面図

内に硬質塩化ビニル材(リブブロックプロファイル)を螺旋状に嵌合(=はめ込み)しながら製管し、既設管路と更生管(製管した管)の間に特殊裏込め材(SPRモルタル)を充填して、既設管路と一体化した強固な複合管(図-2)として更生する工法である。

2. 工事概要

- 1) 工事条件：1級河川 河川敷内
- 2) 施工延長：L=194.22m
- 3) 工事内容：製管工 194m(2スパン)
裏込め注入工 78m³
マンホール改築工 1式
- 4) 施工時間：5時間

流域下水道であるため施工時間帯は、利用水位が下がる時間帯を選んで行った。

3. 裏込め注入時の異音発生に対する問題点

以前同様の条件下において、工事完了後裏込め注入の充填状況を検査するために打音検査を実施したところ、異音の発生する箇所(図-3)が見つかった事例があった。この事例では、空隙の大きい部分については無収縮モルタル、空隙の小さい部分についてはエポキシ系注入材を補足注入した。

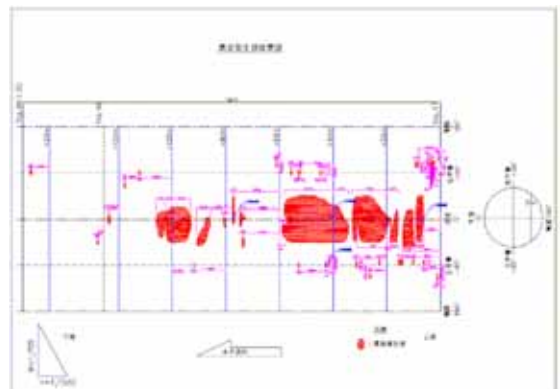


図-3 異音発生部展開図

* 大阪支店大阪北営業所 ** 大阪支店大阪北営業所工事主任



しかし、管の天頂部において特に空隙の認められないにもかかわらず異音を呈する箇所があった。

考えられる原因

① 既設管渠内面の遊離石灰や汚れ

施工スパンが長いと、洗浄が完了してから裏込め注入を行うまで長期間（約1ヶ月）を要し、そのため汚れ（油分など）が再度付着した可能性がある。

② 注入方法によるエア溜り

注入方法の概要を図-4に示す。

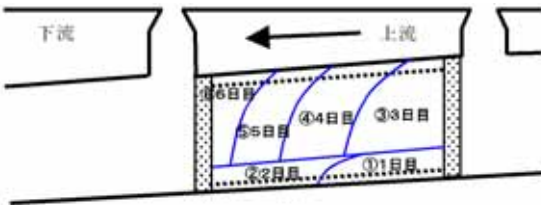


図-4 注入方法の概略図

図-4のように例えば4日目の注入で管頂部のエアが抜けきらない可能性があり、ほとんど圧力がかからないために、プロファイルとの付着が完全でなくなる可能性がある。

③ 支保材設置時の力によるプロファイルの変形

本施工は、図-5に示すような8点支保材を使用するが、仕上がりの精度を高めようとする結果、腹起し材を内面から押し当てる力が過剰となり、プロファイルが変形する可能性がある。

その後、支保材の解体によりプロファイルにかかっていた力が解放されプロファイルが元の形状に戻ろうとして変形しない裏込め材との間に隙間ができることが考えられる。

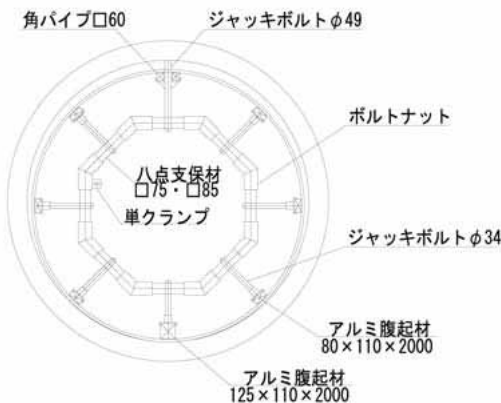


図-5 8点支保

以上のことを踏まえ、本施工は施工方法について以下の改善策を行い裏込め注入を行った。

4. 本施工

4-1 超高压水による洗浄

既設管内面に付着している遊離石灰などは通常の高圧洗浄では取りきれない可能性があるため、超高压洗浄を行った。また洗浄のノズル形状(写真-1)もローターノズルのような広範囲を洗浄できるものを使用した。

親綱を設置後洗浄したが、流速が速く足元が滑りやすいこともあり、最大圧力150kg/cm²で行った。これ以上圧力を上げると、洗浄者が後方に飛ばされ危険であったため、できうる範囲で入念に実施した。超高压洗浄だけで取りきれない場合は、ケレン棒、ワイヤブラシなどを使用し人力で丁寧に除去した。(写真-2)



仕様
 ●使用圧力：200kg/cm²
 ●直 径：φ30mm
 ●使用長さ：700mm
 ●噴射角度：25°

写真-1 スプレーガンランスローターノズル



写真-2 既設管渠洗浄状況

4-2 支保工兼浮上防止工の設置

支保工兼浮上防止工は注入時の変形を防止するため

に設置するが、本施工は支保工の張り過ぎによる解体時のモルタルとプロファイルの剥離を予防するため、更生管(製管した管)に過剰な力がかからないよう、支保の張り過ぎに留意した。(写真-3)



写真-3 支保工兼浮上防止工組立設置状況

4-3 裏込め注入

(1) 施工管理

当初は下流から注入する予定であった。下流から注入することで、人孔から注入場所までの距離が極端に長くなるなど、注入作業において問題がある場合を除き、図-6に示すように裏込め材が下流に流れようとするため早い段階で前日注入分との隙間が充填され、ある程度の圧力もかかるため既設管との付着も確保できると考える。しかしながら、流速が早く流量もあり、支保工解体後資材を上流へ運ぶことが困難である。また、既設管と更生管の隙間にゴミの混入が確認されたため、上流より注入しゴミを最下流で押し出す通常の施工方法(図-7)を選択した。

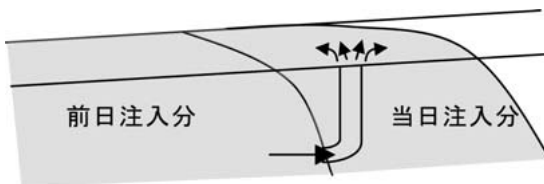


図-6 下流からの注入

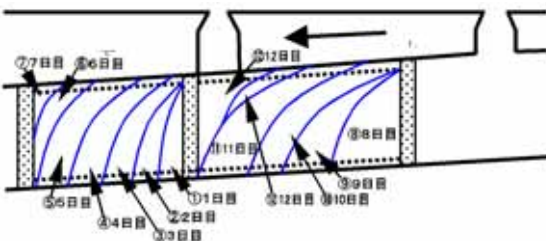


図-7 注入方法(注入順序)の概略図



写真-4 裏込め注入状況

(2) 品質管理

本施工は二月から三月にかけての作業であったため、外気温が5℃以下の時が多く、気温および材料の温度管理(表-1)に十分に留意し注入した。また、裏込め注入時、2インチのパキューマーにて更生管渠内よりモルタル吸引(写真-5)を行い、モルタルの誘導および注入位置の確認、希薄モルタルの除去を兼ねて行った。

表-1 温度管理項目

管理項目	本施工管理範囲
外気温度	-1℃ ~ 10℃
給水温度	26℃ ~ 36℃
S P R 2号モルタル混練温度	15℃ ~ 26℃
S P R 2号モルタル温度	2℃ ~ 9℃
S P R エマルジョン温度	1℃ ~ 8℃
※日本S P R 工法協会の推奨管理温度	
給水温度	30℃前後
S P R 2号モルタル混練温度	15℃前後



写真-5 モルタル吸引状況

5. 効果の検証

本施工での課題であった異音の発生を抑えることは、特に天頂部において大幅に解消でき、流速が速い条件下で改善された。

6. まとめ

施工過程・施工結果をもとにしたスーパーSPR工法の裏込め注入施工上の留意点は以下のとおりである。

(1) 洗浄方法の再検討

超高压洗浄でも既設管に付着している遊離石灰が、流速・流量があり足場の確保が困難なため、取りきれない可能性がある。こういった場合は、超高压洗浄後に別途作業として、ハツリ作業を行う必要があると思われる。

(2) 注入方法の改善

1 スパンの延長が長いので、1日で注入できる延長毎に製管時、仕切り（モルタルの壁）を入れ注入する。1日で満管にできる距離で注入する。

(3) モルタル速度の設定

モルタルの注入速度が速すぎると材料分離をおこす可能性があるので留意する。

(4) 温度管理

裏込めモルタルは、練り上がり温度により流動性が著しく変化するため、30分毎に練り上がり温度およびフロー値、比重値を測定し、その変化に注意して注入する。

おわりに

老朽化した管渠の更生工事は、年々増加するものと考えられる。現時点で下水を流しながら更生できる工法はSPR工法のみである。この工法が開発されて十数年経過するが、日本SPR工法協会にとっても、本現場のような大口径における流速・流量のある場での施工は、今後の課題である。我々現場にたずさわる者がSPR工法の内容をより理解し、特質等を把握してそれぞれ現場にあった施工方法を検討選択していく必要性を強く感じた。

海外道路視察団に参加して

松 谷 健 一*

はじめに

平成18年6月、(財)道路保全技術センター主催の海外道路調査団に参加する機会を得たので、その概要を報告する。

視察は中部ヨーロッパ（スイス、オーストリア、ハンガリー、スロバキア）の高速道路をバスの移動で、公式訪問3箇所を含め、ほぼ2週間の旅程だった。

視察団の総勢は22名で、保全センターから11名、残りは設計コンサルタント会社、ゼネコン、道路会社他からの参加11名で、舗装の専門家は少なく6人ほどであった。



図-1 訪問した国の位置図

1. 行程

平成18年5月29日、成田を出発し、約10時間でフランス・ドゴール空港に到着し、乗り換え便でスイス・チューリッヒ空港に到着した。

行程の概要は以下のとおり。

5/29成田（バリ経由）→

5/29～5/31スイス

チューリッヒを中心に国内の高速道路視察、および

公式訪問として国内の二つの会社を訪問→

6/1～6/5オーストリア

リヒテンシュタイン公国を經由し、インスブルックザルツブルグ、ウィーンと高速道路をバス移動し、山岳トンネル、および高速道路視察→

6/5～6/8ハンガリー

3箇所目の公式訪問として隣国スロバキアのトンネル工事現場の見学とハンガリー国内の橋梁、高速道路等の視察→

6/9帰国

1-1 公式訪問

今回の視察団では公式訪問として次の3箇所を回った。

①トンネル管理、研究施設「VSH HAGERBACH TEST GALLERY LTD」

この会社はスイスの地下開発関連企業グループ「AMBERG GROUP」の中核で、テストギャラリーである。ここでは実際のトンネルを利用して、各種の実験、研究などを行うと共にトンネル内を機械開発、火災実験、消防訓練、映画撮影等、世界中に貸し出すことも行っているとのことであった。



写真-1 テストギャラリー 入り口

* 東北支店副支店長



この実験用トンネルは現在のところ全長約5kmに達しており、特に驚いたのは実際のトンネルを使った火災実験と避難訓練の様子で、高熱による実物の鋼製支保工の異様なほどの変形など、トンネル火災の恐ろしさを改めて実感した。



写真-2 実験用トンネルの内部

②トンネル・ダム管理会社「ENGADENER KRAFTWERKE AG」

この会社が管理しているモンラシェラトンネルはスイスの国立公園内にある全長約4kmで、幅員は4mほどと狭く、信号による交互通行をさせる有料山岳トンネルであった。また、この道路はイタリア国境と接するLivigno湖（人造ダム）のダム管理道路ともなっており、トンネルとダム管理道路のコンクリート舗装の維持管理も行っている。



写真-3 モン・ラ・シェラ 有料トンネル内部

この地域は冬季にスキー客が多いことと、イタリア側に免税の町があるため、最大5,000台/日の交通量があり、通行収入で十分採算が合うとのことである。

当地は冬期間、 -20°C ほどになり、ダム管理道路の

コンクリート舗装の破損は激しく、補修に苦勞している。また、トンネルのコンクリート舗装は磨り減りのため、20年ごとに全面改修を行っているとのことだ。また冬期間のすべり止め対策として、砂（5mm程度の碎石）を散布するが、雪解け後の清掃費用が相当かかるそうだ。



写真-4 管理用道路 コンクリート破損状況



写真-5 管理用道路 滑り止用散布骨材



写真-6 管理用道路 概要の説明風景

③スロバキア高速道路トンネル現場

こはスロバキア共和国の首都、ブラチスラバ市周辺に計画されているヨーロッパ幹線道路網計画の一環の高速道路建設現場である。



写真-7 トンネル坑口

今回の訪問は日本のゼネコンが担当している NATM (New Austrian Tunnel Method) 工法によるトンネル(延長約1,400m×2本)で、工事はコンクリート舗装を含め、ほぼ完成していた。

現場の所長によると、トンネル上部に住宅、研究施設、動物園等があり、とくに振動、騒音に気がつくたとのこと。また当初設計と岩盤の強度がことなり、計画変更が数度あり、掘進量は最大90m/月であったそうだ。



写真-8 現場所長による概要説明

ヨーロッパのコンクリート舗装はほとんどがスリップフォーム工法で、当現場も例外ではない。コンクリートはCPC-7という規格、(強度300kg/cm² スランプ5~8cm)で、日本とは若干異なる。また目地間隔は5mで膨張目地は無いそうだ。この点も日本と

は異なるが、驚いたのはほうき目が縦断方向に入っていることであった。施工の間違いではと尋ねたが、あちらでは普通のようなのである。



写真-9 ほうき目が縦断方向

現場所長の話では、海外工事は為替レートの変動による収支変動が大きく、自分たちではどうしようもないこと、安全に対する考えは基本的に自己責任であり、管理者責任は日本ほど追及されないこと、等々、海外工事の興味深い話を得られた。

2. 各国の視察

2-1 スイス連邦(人口750万人面積4.1万km²)

スイスでは前述の2箇所の公式訪問のほか、主に高速道路を中心に視察を行った。スイスの面積は北海道の約半分、山岳地帯が多くを占めるが、高速道路は約1700kmと北海道の約3倍もの延長がある。

今回の視察で感じたのは、舗装自体は日本とあまり変わらず、あえて挙げれば排水性舗装がほとんど見られなかったことだ。

また、スイスからオーストリアの山岳地帯では縁石、



写真-10 ほとんどの縁石が自然石



ブロックなどは自然石が主で、コンクリート二次製品はほとんど見られなかった。近隣が山岳地帯で石材の採取が容易なせいとおもわれる。

2-2 オーストリア共和国（人口 820 万人 面積 8.4 万 km²）

オーストリアはアルプス山脈を西に東西に細長く、面積はほぼ北海道と同じで、随所に中世ヨーロッパの歴史を残し、ほとんどがドイツ語を話す。

スイスから高速道路上の国境を越え、オーストリアに入国したが、検問は厳しくなかった。またオーストリア国内でもザルツブルグからウイーンへの高速道路はいったんドイツに入りまたオーストリアに戻るルートで奇異に感じた。

オーストリアは高速道路延長が約1700kmで、東北地方の1200kmと比べ、格段整備されているとは言えないが、国の西半分がアルプス山脈にあり、NATM工法の発祥地で、高度なトンネル技術をもっている。

今回、NATM工法が初めて本格的に使われた最初のトンネルである、「アールベルク トンネル」を視察した。

このトンネルはチロル地方を貫く、アルプス高速道路のアールベルク峠にあり、1978年開通、全長14kmの世界3番目に長い道路トンネルである。

現地は豊かな緑と急峻な山々に囲まれ、30年前の難工事を伺わせないほど、スムーズな走行であった。

オーストリアの高速道路では一部、排水性舗装があったが、量的には非常に少なく、密粒系で補修されている部分もあった。またコンクリート舗装の平坦性はスリップフォーム工法が主流なためか非常に良い感じを受けたが、実際の施工現場が見られなかったのは残念である。

興味深い工法として市街地の歩道にグースアスファ



写真-11 1978年開通 アールベルグトンネルの入り口

ルトが使われている点である。

施工機材は樽とハンドローラーの簡素なもので、路盤紙らしきものを敷き、グースアスファルトをクッカーから小さな樽に受け、人力で敷き均していた。カラー、チップ材のバリエーションがあり、景観に留意している模様だ。



写真-12 歩道用グースの施工 クッカー車から木製樽に取る。



写真-13 路盤紙を敷き、コテで均す。



写真-14 ハンドローラーで仕上げ
(全員 ヘルメット無し)

2-3 ハンガリー共和国（人口 1000 万人面積 9.3 万 km²）

ハンガリーの土地はほぼ平坦で、ハンガリー平原と呼ばれる国土の中央を南北に流れるドナウ川によってほぼ 2 分されている。

第 2 次対戦後は東欧共産圏の一員となったが、それ以前は中世ヨーロッパの王朝と関係が深く、首都ブダペストは重厚な建築物、土木構造物が多い。中でも市内中心部のドナウ川にかかる「セーチェニくさり橋」は圧巻であった。



写真-15 セーチェニくさり橋



写真-16 セーチェニくさり橋の歩道部

この鉄製の 202m の橋は 19 世紀の中頃、セーチェニ伯爵がドナウ川の西側（ブダ地区）と東側（ペスト地区）を結ぶ最初の橋として、10 年の歳月と私財をつぎこんで完成させたもので、第 2 次大戦で破壊されたものを 1949 年に修復されたようだ。両側にライオンの石像が座っている、重厚荘厳な建造物で、150 年前の土木技術の高さに驚かされた。

ハンガリーの高速道路延長は約 700km で、東北地方に比しても整備率は低い。ヨーロッパでもドイツ、フランスなど西欧にくらべ、東欧はまだ社会資本整備は遅れているようだ。ただし舗装の破損状況は日本とほとんど変わらないと感じた。

3. まとめ

今回の視察で感じた、ヨーロッパと日本との違いは大まかに次のとおりであった。

3-1 高速道路網

ヨーロッパ（特に西欧）の高速道路網の充実に驚いた。道路の構造自体は日本と大差が無いが、利便性は遙かに西欧が勝っていた。

特に、国境という支障がありながら、スムーズな移動を可能にしているシステムには驚かされた。

また特筆すべきは通行料の安さである。通行料金は国によって異なるが、乗用車で無料から年間 3 万円前後だった。年間通行料を払ってステッカーを車に貼るのが一般的で、勿論トールゲートは無く、無賃走行は可能だが、見つかると罰金が高いようだ。

このシステムは高速道路だけでなく、地下鉄、鉄道なども同様に改札は無く、ほとんど検札には来ないようだが・・・。

国民の意識が高いのか、検札の費用対効果の問題か、どちらにしても日本では実現しないだろうと思った。

3-2 安全管理

今回の視察で強く感じたのは日本と外国での安全管理に対する基本的な考え方の相違である。一般に欧米人は自己責任を基準にしており、簡素なバリケード、ノーヘル、用途外使用など日本では、考えられない事を目のあたりにした。

3-3 歴史、宗教観

今回訪れたヨーロッパ諸国は古代より他国との戦乱、離合集散の歴史であったため、同一国内でも言語、宗教が異なるなど、日本では想像がつかない歴史背景があるようだ。



写真-17 簡素なバリケード



写真-18 支保工材をバックホウで釣って移動

その中でほとんどの町の中心的建造物は教会で、その壮大さは日本の神社仏閣を上回る。基本的には石づくりで、数十mを越えるような塔を見るにつけ、当時の土木建築技術の高さに驚かされた。

おわりに

今回のヨーロッパ視察は海外がハワイ以来初めての私にとって、毎日が驚きであった。特に外国での不慣



写真-19 ブダペスト マーチャーシー教会の80mの塔

れな慣習、通じない言葉、気がつかないマナー違反など、今、思い出しても冷や汗がでるようだ。改めて外国語の必要性を再認識した次第である。

最後に、ヨーロッパの道路視察という貴重な経験を与えてくれた会社に感謝すると共に、今回の旅行で得られた経験、知識を少しでも今後の業務、後輩の指導に生かしたいと心から思う次第である。

ベトナムにおけるアスファルト混合物の配合設計

菊池 正*

はじめに

ベトナム社会主義共和国（以下ベトナム）のハノイ市において、日本企業の建設JVによる大規模な橋梁工事が施工されている。アスファルトプラントの検査から本施工開始までの技術支援に2006年6月15日から7月15日の1ヶ月間従事する機会があり、現地で体験したアスファルトプラント事情や配合設計方法、舗装事情などを日本とベトナムの相違点をふまえて紹介する。

1. 概要

1-1 ベトナム社会主義共和国

ベトナムはインドシナ半島の東側海岸線に位置（図-1）し、日本からハノイまでは飛行機で約5時間の距離にある。飛行機の窓から見下ろすとどことなく日本の水田地域と似た風景を見る事が出来る。市街地のほとんどはアスファルト舗装が施されており、多くのバイクや車が縦横無尽に行き交っている。しかし至る所でクラックやポットホールによって舗装が壊れている状況が見受けられた。

気候は北部と南部では異なるが、ハノイ市のような北部は亜熱帯気候に属しており、従事した6月から7月は大変暑く40℃を超える日が何日もあった。また雨量が多くなる時期とかさなり、かつ湿度も高く不快指数が200を超えてしまう状況で、汗をかいても湿度が高いため服が乾かないので驚かされた。ベトナムのプロフィールを以下に示す。

面積：32万9,241km²（日本の約90%）

人口：約8,206万人（日本の約68%）

首都：ハノイ（人口約293万人）

言語：ベトナム語

宗教：仏教

通貨：ドン（1ドン≒0.007円）



図-1 ベトナム社会主義共和国地図

1-2 工事概要

ハノイ市内を流れる大河で紅河という名の河がある。その名前のおり鉄粉を多く含んだ紅い土が水に混ざってゆっくりと流れていた。今回従事した橋梁工事は紅河をザーラム地区とタインチ地区で結ぶための大規模な工事であった。工事概要と完成イメージを図-2に示す。



図-2 完成イメージ

* 中国支店福山アスファルト混合所



延長 :3,000m

舗装幅員：片側15m 全幅員30m

舗装面積：90,000m²

合材数量：約15,000 t

2. アスファルトプラント・配合設計

2-1 アスファルトプラント

アスファルトプラントはザーラム側の河岸に1基(78t/h)とタインチ側に現場から約20分程度の場所に1基(90t/h)と合計2基での体制であった。ザーラム側が韓国製(写真-1)とタインチ側はドイツ製のプラントで、どちらもストックヤード、コールドホッパーともに屋根はなく、また骨材のストックヤードは仕切りのない状態で山積みされた状態であった。

プラントの機能は基本的に日本と変わりはないが、ホットピンのふるい目のサイズが異なり、一番小さいサイズが日本では0~2.5mmに対してベトナムでは0~5mmと一回り大きいサイズであった。また石粉サイロがなく、人力で投入(写真-2)するのが一般的のようであった。



写真-1 ザーラム側アスファルトプラント



写真-2 人力による石粉の投入状況

2-2 材料

ハノイ市内で一般的な粗骨材の材質は石灰岩である。分類は0-5mm、5-15mm、10-20mm(写真-3)と3種類に分かれて納入されてくる。また細骨材は豊富にある川砂を用いているが20mmを超える玉石がいたる所に混ざっている状態で、加熱後のふるい分けでオーバーフローサイズ(写真-4)は処分されている。

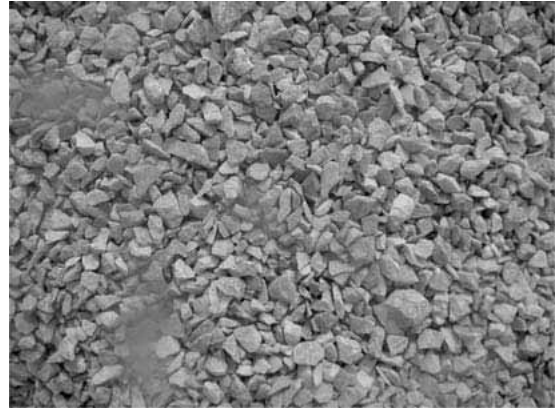


写真-3 粗骨材(石灰岩)



写真-4 オーバーフローした玉砂利

またバインダーに関しては日本で一般的に使用されているストレートアスファルト60~80に対して、ベトナムでは60~70という規格のやや針入度の硬いアスファルトを使用している。

2-3 試験室

試験器具としては最低限度必要なものはそろっているが、われわれの試験室ではほとんど見ることのない分銅を使ったばかり(写真-5)での計量作業や、人力によるマーシャル突固め作業(写真-6)であった。またアスファルトの抽出には遠心分離法を採用してい

るが、有機溶剤としてガソリンを使用してアスファルトを抽出させているのを聞いて驚かされた。

試験方法や試験項目はふるい目の違いを除いて基本的に同じである。しかし分銅を使って計量し、人力でマーシャル供試体を突固めるために試験にかかる時間と労力は日本の2～3倍を要する状況であった。



写真-5 分銅を使用した供試体計量状況



写真-6 人力による供試体作製状況

2-4 配合設計

今回使用した混合物はかつて日本の土木工学にも大きな影響を与えたアメリカの基準を採用しての配合設計であった。混合物名は「Grade C」という最大粒径が約13mmの混合物で、日本では「密粒度アスファルト混合物(13)」と粒度範囲が似ている混合物である。マーシャル安定度試験に対する基準値は安定度が9.00kN以上と高い基準になっている他は、ほとんど有意さは見受けられない。それぞれの混合物の粒度範囲、基準値を表-1に、合成粒度曲線を図-3に示す。

表-1 混合物の種類と粒度範囲・マーシャル基準値

混合物の種類	Grade C	密粒度混合物(13)
19mm	100 ~ 100	100 ~ 100
13.2mm ※1	— ~ —	95 ~ 100
12.5mm ※2	95 ~ 100	— ~ —
9.5mm	74 ~ 92	— ~ —
4.75mm	48 ~ 70	55 ~ 70
2.36mm	33 ~ 53	35 ~ 50
1.18mm	22 ~ 40	— ~ —
0.6mm	15 ~ 30	18 ~ 30
0.3mm	10 ~ 20	10 ~ 21
0.15mm ※1	— ~ —	6 ~ 16
0.075mm	4 ~ 9	4 ~ 8
突固め回数	回 75	50(75)
空隙率	% 3 ~ 5	3 ~ 6
飽和度	% 75 ~ 85	70 ~ 85
安定度	kN 9.00以上	4.90(7.35)以上
フロー値	1/100cm 25 ~ 40	20 ~ 40

※1：日本で採用されているふるい規格

※2：ベトナムで採用されているふるい規格

()内は1,000≦Tで突固め回数を75回とする場合の基準値

T：計画交通量(台/日・方向)

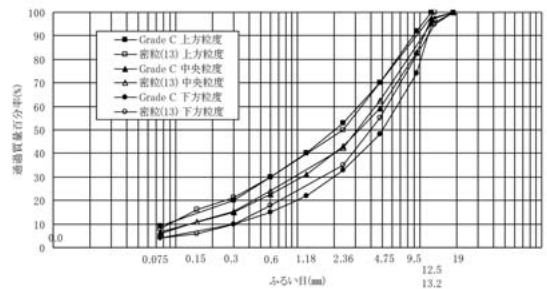


図-3 合成粒度曲線

3. 施工

3-1 施工機械・施工状況

施工機械はアスファルトフィニッシャ、ローラともに整っており、舗装するには十分に対応できる環境



写真-7 アスファルトフィニッシャおよびスキ-

である。今回は施主側の要望でもある平坦性の向上を目的として、アスファルトフィニッシャに9mのスキーによるセンサー（写真－7）を装着しての施工であった。締固め機械は初期転圧にマカダムローラ、二次転圧にタイヤローラ、仕上げ転圧に無振のタンデムローラを使用した。またスキーの装着には不確定な要素が多く、現場で車輪を回転式に変更したり、センサーの高さを調整したりと手間を要した。

3-2 施工状況

帰国予定の日にとにか本施工が開始された。施工厚さは基層4.1cm、表層3.0cmの7.1cmの舗装である。どちらも「Grade C」であるが、平坦性の向上を目的として2層施工とした。施工状況を写真－8に示す。



写真－8 敷きならし状況

4. まとめ

ベトナムの舗装技術はかつての日本と同じように他国の舗装基準を採用して自国の舗装基準を模索している途中であると思われた。ベトナム人は器用な人々が多く、現在さまざまな企業がベトナムへ進出しているのも理解ができた。

品質基準や出来形基準においては、アメリカの基準を採用しているために基準を満足する材料が入手できない状況や、マーシャル基準を満足することができない問題を克服すればより良い混合物になると思われる。

5. 生活環境について

1ヶ月間ハノイ市内の中心部にあるホテルでの生活であった。日本の気候と違うので、水分の補給や食事などはことのほか気を使った。ベトナムの料理は中華の影響を受けているが、脂っこくなく、辛味も少ないので比較的日本人には好まれると思われる。

休日は一人ではあったが、タクシーをつかまえてはハノイ市内の観光や世界遺産として有名なハロン湾（写真－9）へのツアーに参加する機会に恵まれた。最初は多くのバイクが走行する場所を横断するのまままならない筆者であったが、しだいにコツをつかんでしまった。



写真－9 ハロン湾にて

おわりに

日本へ帰国して改めて考えると、短いと思える充実した約1ヶ月であった。

今回初めて海外の工事に従事したことで日本では常識と思える試験方法や施工方法が、他国では通用しないことを教えて頂いた。また技術者として舗装の基本を教えることの楽しさや難しさも改めて体験させて頂いた。今後の人生に良い影響を与えてくれると思っています。

最後に多大なるご指導を頂いた大林・三井住友建設JVの皆様には厚く御礼申し上げます。

情報化施工技術の導入

浦 邊 寛*

はじめに

近年、国土交通省では、品質、コスト、安全、環境を含めた施工の合理化を図るために、設計データや現場データ等の電子情報を一元的に活用した情報化施工を推進しており、平成17～18年度には出来形管理の高度化等を目的とし「トータルステーションを用いた出来形管理」の試行工事を実施している。

一方、施工については、急速に舗装業界の中に情報化施工用機材が普及してきており、特に空港工事等の大規模工事において、施工量のアップ等にもその効果を発揮している。

当社も、関空Ⅱ期工事において、GPS対応の情報化施工用機材を搭載したモーターグレーダを導入するなど情報化施工を推進しているところである。

本文は、当社として、今後この技術を推進していくために、情報化施工に関する舗装業界の動向と、導入した情報化施工用機材について紹介する。

1. 情報化施工に関する舗装業界の動向

1-1 発注者の動向

国土交通省では、平成17～18年度に「トータルステーションを用いた出来形管理」の試行工事（舗装工）を10件実施（当社未受注）しており、平成19年度には本格導入される見込みである。

試行工事の概要としては、設計情報と出来形情報を三次元データ化し、長さ・幅・高さの出来形観測機能を持ったトータルステーションで測定と同時に設計値と出来形値の差を確認し、出来形の良否判定並びに、出来形の自動記録を行うものである。

現在、情報化施工管理要領は、道路土工に関してのみ国土交通省で作成されているが、来年度中には、舗装工について管理要領が作成される予定である。

1-2 同業他社の動向

同業他社では、関空Ⅱ期工事を契機に、敷きならし装置を3次元制御できる機材を搭載した、モーターグレーダ・ブルドーザ・アスファルトフィニッシャを、急速に導入しており、技術提案のひとつとして有効活用している。

対象工事としては、空港等の大規模工事、国土交通省の改良工事が対象となっているケースが多いが、数百m²規模の駐車場等民間工事について使用している業者もある。

一方、リース業界では、3次元制御機材以外に、2次元制御機材についても積極的に導入してきている。

2. 情報化施工システム

2-1 情報化施工システムの種類

今回は、情報化施工システムの機材メーカーとして、舗装業界の重機に最も使用されており、当社も導入したトプコン社のシステムについて説明する。

システムは、大別すると、トータルステーションを用いて重機の敷きならし装置を3次元制御する3D-MC TSシステムと、GPSとゾーンレーザーを併用し敷きならし装置を3次元制御する3D-MC mmGPSシステムの2種類になる。

2-2 3D-MC TSシステム

トータルステーションで追尾した位置（X、Y）情報をもとに、ソフトで計算された設計高さをトータルステーションのファンビームでグレーダに照射し、ブレードの高さを制御するシステムである。（図-1参照）

現システムは開発から10年以上経過した旧態化システムであるため、今年度中で販売をいったん中止し、来年度に新たな製品が販売される見通しである。

*本店工務部機械センター副所長





図-1 3D-MC TSシステム

2-3 3D-MC mmGPSシステム

衛星から位置情報を受信し、GPS基地局とゾーンレーザーから得た情報で位置と高さの補正を行い、事前に作成された設計データ(X, Y, H)に基づき、グレーダのブレードの高さを自動制御するシステムである。(図-2参照)

当社は、グレーダにこのシステムを搭載した、3D-MC グレーダシステムを昨年6月に導入した。

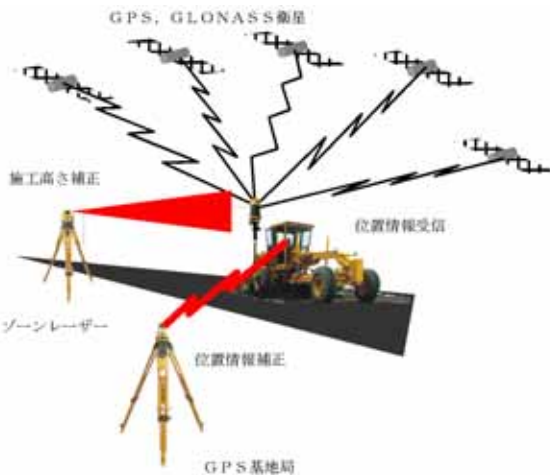


図-2 3D-MCトータルステーションシステム

3. 当社の施工事例

3-1 滑走路・誘導路新設工事

- (1) 工種および施工数量：
 - 上層路盤工・・・27,000m²
 - 路盤修正盛土工・・・15,000m³
- (2) 使用機械：モーターグレーダ3.7m級

3-2 洗機エプロン舗装工事

- (1) 工種および施工数量：
 - 下層路盤工・・・16,000m²
- (2) 使用機械：モーターグレーダ3.7m級

3-3 システム導入の効果

- (1) 仕上り精度：±1cm
熟練オペレーターを必要としない。
- (2) 安全性：検測作業が1人で行える。
- (3) 副産物的な効果：
測量技術が未熟な担当者でも検測キットで簡単に測量作業が行える。



写真-1 mmGPS グレーダシステム施工状況



写真-2 検測キットによる出来形測定状況

おわりに

国土交通省工事における、来年度からの情報化施工技術を用いた出来形管理の本格導入を踏まえると、情報化施工技術は、今後ますます舗装業界に普及していくものと思わる。

こういった状況の中、当社としては、今年に入ってIT施工WGを立ち上げて、生産性向上のための検討を進めており、その一環として、今年の4月中旬には、第1回目のIT施工研修会を予定している。機械センターとしても、機材のより効果的な運用技術を、今後重点的に検討していく予定である。

第V部門 ハイブリッド舗装の施工事例について

中日本高速道路(株) 松阪工事事務所 非会員 中島 裕寿
 大林道路(株) 技術研究所 正会員 ○森石 一志
 大林道路(株) 勢和舗装工事事務所 非会員 古川 聡哉

1. はじめに

ハイブリッド舗装とは、表面は高機能舗装と同等のきめ深さを、内部はSMAと同等の密実性・たわみ追従性という2つの機能を併せ持つ舗装である。旧日本道路公団で独自に開発されたもので、明かり部程の高い排水機能を要求されないトンネル内に適用が試みられている。したがって本舗装は、表層（高機能舗装）と中間層（SMA）で二層施工を行っていたものを一層での施工が可能になることより、約5割の建設費削減が期待できる¹⁾。本報告は、近畿自動車道（紀勢線）勢和舗装工事におけるハイブリッド舗装の施工結果を報告するものである。

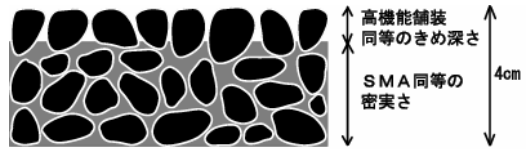


図-1 ハイブリッド舗装の概念

2. 配合設計

配合設計は、配合設計マニュアル(案)に基づいて行った。目標粒度および配合割合を表-1、-2、図-2に示す。今回は細骨材については細目砂と粗目砂、および細目砂とスクリーングスの2種類の組み合わせを比較検討した。試験練りの結果、粗目砂に比べスクリーングスを使用した配合の方が混合物のダレが少なかった。混合物のダレとは、混合物の運搬中に車の振動によって材料分離を起こし、アスファルトモルタル（以下、アスモル）が沈下し、ダンプアップの際に荷下ろしが困難になり、さらにそのダレた混合物を敷均すと部分的にアスモルが過多となりフラッシュ（高温時に過剰なアスファルト分が浮き出てくる現象）を起こす事象を言う。また稜角に富んだスクリーングスは、耐流動性に関しても粗目砂に比して優れていた。

表-1 目標合成粒度

7μ目 mm	19.0	13.2	9.5	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075
合成粒度	100	96.6	72.9	30.8	25.4	17.5	15	13	9.9
粒度範囲	100	100~95	-	32~28	25~20	20~18	17~12	13~10	10~8

表-2 配合割合

Su-C	3BIN	2BIN	1BIN	石粉	ダスト	改質Ⅱ型
配合比 %	69	5.5	14.5	9	2	5.5 (5.4)

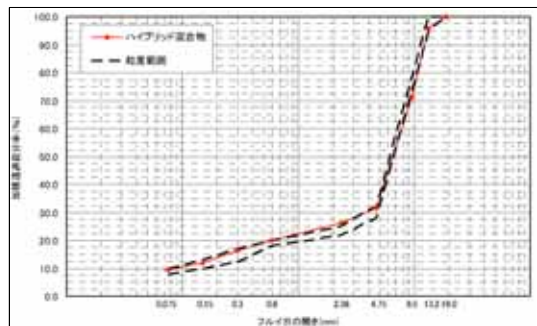


図-2 目標合成粒度

3. 試験施工

ハイブリッド舗装はアスモル分を沈下させ緻密層を形成させる舗装であるため、適切な温度（目標温度）における転圧回数が重要である。そこで試験施工では、試験練りで決定した配合の混合物で適切な各温度における転圧回数の検証を行った。また、荷下ろし時の混合物のダレの確認、および舗設後にCTメータによるきめ深さ（MPD）、抜取りコアによる見掛け密度および締固め度の測定を行った。それらの結果を表-3に示す。混合物のダレについては確認されなかった。MPDについては全工区において基準値（1.2以上）を満足するものであった。しかし、初期転圧の時期が遅れた場合や、転圧

表-3 転圧回数, MPD, 見掛け密度および締固め度

機種	工区	A工区	B工区	C工区	転圧温度	
		初期	マカダムローラー	7		7
転圧回数	二次	マカダムローラー	2	4	6	130°C以上
	仕上げ	15tタイヤローラー	3	3	3	90°C以上
キメ深さ (mm) (MPD ≥ 1.2)	平均 (OWP, BWP, IWP)	1.331	1.243	1.289	-	
見掛け密度 (g/cm ³)	"	2.448	2.450	2.446	-	
締固め度 (%)	"	99.4	99.4	99.1	-	



回数が少ない場合には下部に密実な層が生成されにくいという問題があり²⁾ (写真-1), また逆に転圧回数が多い場合にはMPDが小さくなる恐れがあることより, 本施工はB工区の転圧回数で実施することとした。

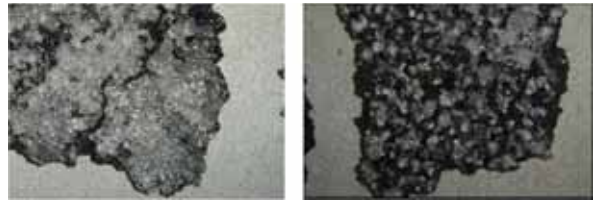


写真-1 舗装裏面緻密状況 (左: 正常, 右: 異常)

4. 本施工

試験練りおよび試験施工により決定した配合および舗設方法を表-4に示す。また, 施工概要は以下の通りである。

工 事 名 : 近畿自動車道 (紀勢線) 勢和舗装工事
 工 法 : ハイブリッド舗装 厚さ 4cm
 施工時期 : 平成 16 年 12 月 2 日, 3 日
 施工場所 : 2 日...色太トンネル, 3 日...神瀬トンネル
 施工規模 : 2 日...L=364.00m, A=3246.880m²
 3 日...L=730.84m, A=6505.951m²

表-4 本施工配合・施工条件

常温骨材基準配合	6号砕石		スクリーニングス		細目砂			石粉	
	77.5		5.0		6.5			11.0	
加熱骨材基準配合	3BIN		2BIN		1BIN		ダスト		石粉
	69.0		5.5		14.5		2.0		9.0
現場配合粒度	19.0	13.2	9.5	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075
	100.0	97.5	72.3	31.3	25.5	17.1	15.1	12.7	9.8
アスファルト量	5.5%								
転 圧 減	20%								
余 盛 量	8mm (仕上がり厚t=40)								
目 標 温 度	数均し 168°C±10		初期転圧 160°C±10		二次転圧 140°C±10		仕上転圧 90°C±10		
転 圧	種類	初期転圧			二次転圧		仕上転圧		
	機種	マカダムローラ			マカダムローラ		タイヤローラ(15t)		
	回数	7回以上			4回程度		3回程度		
狭小部の施工	プレート、タンバによる転圧								
平坦性の確保	アウトボードスキーおよびセンサによる平坦性の管理 ゲージによる厚みの管理								
合材付着防止	ローラ : 転圧面に間欠散水および付着防止剤の使用 運搬ダンプ : 少量の付着防止剤等の塗布								
すべり抵抗性	0.25(μ80)								

試験施工と同様, 転圧回数および転圧温度が重要であるため, 専属の温度管理者により非接触温度計で各転圧温度の管理を行った。また, 施工箇所がトンネル内で, かつ施工時期が 12 月であったこともあり, コンクリート舗装表面が 10°C 以下となり混合物の急速な温度低下が懸念された。よって, 初期転圧は写真-2のようにアスファルトフィニッシャの直後に行った。また, 仕上げ転圧で使用するタイヤローラについては, 通常の舗装においては混合物の締固めを行うことを目的としているが, ハイブリッド舗装ではマカダムローラの転圧の際に生じたローラマークを消すために行うことを目的とし, 目標転圧温度内でも極力低い温度 (約 90°C) で転圧を行うようにした。MPDについても表-5のような結果を得ることができた。



写真-2 舗設状況

5. まとめ

今回の施工で, 転圧方法および温度管理の重要性の確認ができた。特に, 緻密層形成に重要な初期転圧の時期および回数, また, ローラマーク消去に使用するタイヤローラの転圧温度を明確にした。

表-5 MPD測定結果

	OWP (mm)	BWP (mm)	IWP (mm)	平均 (mm)
1日目(L)	1.315	1.424	1.270	1.293
1日目(R)	1.347	1.310	1.396	1.372
2日目(L)	1.287	1.300	1.280	1.284
2日目(R)	1.457	1.443	1.479	1.468

さらに, 事前試験練り, 試験練り・試験施工, 事前試験施工, 試験施工という合計2回の試験練り, および合計3回にも及ぶ試験施工を行った。その結果, 規格を満足する舗装を施工することができた。



写真-3 仕上げ状況

【参考文献】

- 1)本松資朗, 神谷恵三, 高原健吾, 松本大二郎: ハイブリッド舗装混合物の配合設計に関する研究, 舗装工学論文集, Vol.8, pp.125-136, 土木学会, 2003.12.
- 2)洲崎健司, 市尾暢彦: ハイブリッド舗装における現場管理のあり方について, 第26回日本道路会議, 12036, 2005.10

ゴム粒子を用いた表面処理型凍結抑制舗装の改善と施工例

北海道渡島支庁 函館土木現業所 工藤 健一
 大林道路(株) 技術研究所 鈴木 徹
 大林道路(株) 技術研究所 ○森石 一志

1. はじめに

積雪寒冷地を中心として、冬期の車両走行の安全性と除雪作業の容易性から、凍結抑制舗装の技術開発が進められている。大林道路では、以前よりゴム粒子を使用した表面処理型凍結抑制舗装の改善・施工および追跡調査を行っている。¹⁾

本論文は、冬期のスリップ事故対策の一つとして物理系凍結抑制舗装に分類されるゴム粒子を使用した表面処理型凍結抑制舗装のその後の改善状況、および平成 17 年に北海道にて実施した施工事例について報告するものである。²⁾³⁾

2. 工法の概要

2. 1 特徴

ゴム粒子を用いた表面処理型凍結抑制舗装（以下、RAペーブとする）は、舗装路面にゴム粒子を多量に含んだアスファルトマスタック（以下、RAマスタックとする）を薄層で流し込むことを特徴としている。その構造を図-1に示す。

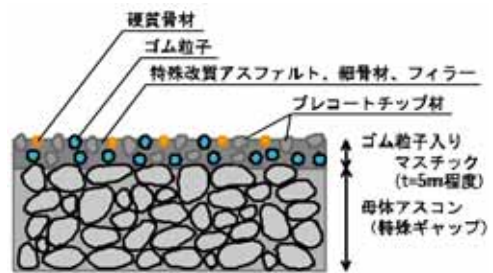


図-1 RAペーブ構造図

2. 2 機能

RAペーブの機能としては、以下に示すものがある。

- ①凍結抑制機能 ②騒音低減機能 ③弾性機能 ④遮水機能

また、ゴム粒子に他産業廃棄物を使用することで環境対策にも寄与する。

3. 工法の改善

現在までのRAペーブの施工にはいくつかの課題や問題点があった。そこで、以下に示す各項目において改善を行った。

3. 1 各項目における改善

(1) 材料

RAマスタックに使用する材料の改善については、雨天時のすべり抵抗性の向上を目的にプレコートチップ材を使用し、ローラ等の付着防止を目的に硬質骨材（エメリー）を使用した。

(2) 配合

過去の施工においてゴム粒子の混入量を少なくした場合、凍結抑制効果が不足し、また、その凍結抑制効果を向上させるために混入量を多くすると、雨天時のすべり抵抗性が低下するという課題があった。このことよりゴム粒子の混入率を 15～19%の間で変化させて検討した結果、総合的にバランスのとれた 17%とし、施工時の流動性の観点から F/A（フィラー/アスファルト）=2.0 を目標に配合設計を行った。その配合割合を表-1に示す。

表-1 配合割合（RAマスタック）

材 料	ゴム粒子	石粉	粗目砂	特殊As	合計
配合率(%)	17.2	44.9	15.5	22.4	100



(3) 施工方法

施工方法の改善は、以下に示すとおりである。

- ① 散布材接着力の向上：チップスプレッダ前方にヒータを設置
- ② 散布材の散布方法：硬質骨材を散布機にて散布

3. 2 室内評価試験

3. 1 (2) の配合を用いて、耐流動性および接着強度試験を行った。

(1) 耐流動性評価

耐流動性評価を確認するため、ロードホイールトラッキング試験を行った。ロードホイールトラッキング試験とは、トタン板上に置いた型枠内に試料を均一の厚さに流し込み、硬化後脱型し、それを写真-1 に示す試験機を使用して載荷圧力 330Kpa にて走行輪を 1,000 往復させてその幅の変位率を求めるというものである。その試験結果を表-2 に示す。変位率は目標値を満足していることから、耐流動性については問題ないものと判断できる。

(2) 接着強度試験

母体アスコンと R A マスチックの接着強度を確認するために、一面せん断強度試験を行った。試験方法はホイールトラッキング試験用供試体を 10cm×10cm に切断したものを母体アスコンとし、その上部に設置した円形鋼製型枠に試料を均一に流し込み、そのままの状態です0℃にて3時間養生する。その後、写真-2 に示す荷重測定装置により型枠にせん断力（載荷速度 10mm/分）を加えて最大荷重を測定し、せん断力を求めるものである。表-3 の試験結果に示すように目標値を満足していることから、接着強度についても問題ないものと判断できる。



写真-1 ロードホイールトラッキング試験機

表-2 ロードホイール試験結果

供試体 NO.	1	2	3
変位率 d_{1000} (%)	1.7	2.9	1.6
平均	2.1		
目標値	10以内		



写真-2 一面せん断試験

表-3 一面せん断試験結果

供試体 NO.	1	2	3
せん断強度(Mpa=N/mm ²)	2.64	2.55	2.58
平均	2.59		
目標値	1.00以上		
母体アスコン	特殊ギャップ		

4. 施工

4. 1 工事概要

工事概要について、以下に示す。

工 事 名：道道七飯大野線 R A ペーパー舗装工事

実施時期：平成 17 年 10 月 5 日・・・母体アスコン（切削オーバーレイ工）

平成 17 年 10 月 6 日・・・ R A マスチック

実施場所：北海道亀田郡七飯町（ J R 函館本線のアンダーパス）

実施規模：母体アスコン・・・面積：306m²＝幅員 3m × 延長 51m × 2 車線
厚さ：40mm

R A マスチック・・・面積：306m²＝幅員 3m × 延長 51m × 2 車線
厚さ：5mm

当現場はアンダーパスの出入口部分が一方は急勾配であることよりロードヒーティングが設置され、もう一方およびアンダーパス部分はロードヒーティングを設置していない。しかし、アンダーパス部分は圧雪された積雪やロードヒーティングによる雪解け水により路面が凍結し、スリップ事故が多発する箇所であった。そのような経緯のもとで本工法を採用するに至った。

4. 2 製造

RAマスタックの製造は通常のアスファルトプラントにて行い、クッカに積み込む。クッカ車の能力やRAマスタックの積み込み量により目標温度に達するまでの時間が変化するため、温度管理が重要である。試験施工においてそれらの温度を確認した結果、練落し時の温度は100℃程度で、約1時間程度のクッキングで目標とする180～190℃に達した。

4. 3 施工方法

RAペーパーの施工フローを図-2に示す。

母体アスコンはRAマスタックとの接着性および母体アスコンの耐久性を考慮し、特殊ギャップアスコンを使用した。その配合割合を表-4に示す。

RAマスタックは超薄層であるため、温度依存性が非常に高い。したがって温度管理が重要になってくる。そこで、試験施工の際に非接触温度計にて混合物の温度を測定し、それぞれの目標温度を表-5に示すように設定した。

4. 4 試験結果

(1) すべり抵抗性試験

RAマスタックのすべり抵抗性をDFテストによる動的摩擦係数の測定試験にて実施した結果を表-6に示す。どの測点においても0.4以上を示しており、良好なすべり抵抗性を確保している。

(2) ロードホイール試験

現場で作製した供試体を用いて、室内試験を行った結果を表-7に示す。配合設計時と同様に目標値を満足するものとなった。

(3) 一面せん断試験

せん断強度も同様に、目標値を満足するものであった結果を表-8に示す。

(4) 氷着強度試験

凍結抑制効果を確認する項目の一つとして氷着強度試験⁴⁾にて氷の剥がれやすさ（剥がれやすい＝氷着強度の値が小さい）を相対比較で確認した。氷着強度試験は、まず現場から採取した試料に水道水を

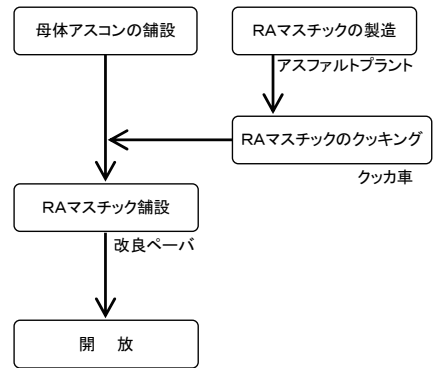


図-2 施工フロー図

表-4 母体アスコンの配合割合

粒度	配合割合 (%)					合計
	6号	粗目砂	細目砂	石粉	II型	
特殊ギャップ	61.8	12.8	11.9	8.5	5.0	100.0

表-5 目標温度管理

作業内容・測定箇所		目標温度(℃)
施工直前	クッカ内	165～185
敷均し	ペーパーのブレード前	130以上
初期転圧	マカダムローラ(3t級)	60～80
二次転圧	タイヤローラ(3t級)	55以下
再加熱	路面ヒータ後	170

表-6 動的摩擦係数

速度 (km/h)	動的摩擦係数(μ)
	平均
40	0.43
60	0.45

表-7 ロードホイール試験結果

供試体 NO.	1	2	3
変化率 d_{1000} (%)	3.8	4.5	5.6
平均	4.6		
目標値	10以内		

表-8 一面せん断試験結果

供試体 NO.	1	2	3
せん断強度(MPa)	2.61	2.23	2.58
平均	2.47		
目標値	1.00以上		
母体アスコン	特殊ギャップ		

含浸させた不織布および治具を載せ、試験温度（ $-3\sim-6^{\circ}\text{C}$ ）にて4時間養生する。その間、2kPaの圧力を加えておく。試験は、420gの鋼球を25cmの高さから自由落下を10回繰り返す。それから図-3および写真-3に示すように油圧式ジャッキによりハンドルを回転させて（60回転/分）治具を引き上げ、供試体と離れる際の最大強さを求めて氷着強度を求める。RAペーパーの抜き取りコアで行った氷着強度試験結果を図-4に示す。比較供試体としては隣接部分の細粒度ギャップアスコンおよびゴム粒子混入型のルビット混合物のコアも合わせて実施した。RAマスチックの氷着強度は、細粒度ギャップアスコンの半分以下であり、また、ゴム粒子混入型のルビット舗装よりも小さい値を示しており、大きな凍結抑制効果を有することが確認できた。

4. 5 供用後の状況

冬期供用状況を写真-4に示す。目視観察においては、RAマスチックのはく離現象や変形、ゴム粒子・チップ材の飛散等は確認されず、良好な表面性状を確保している。また、当施工箇所は、冬期のスリップ事故が多発する箇所であったが、施工後一冬を経過した現在（6ヶ月後）においても、スリップ事故等の発生は確認されておらず、本工法の凍結抑制機能が発揮しているものと思われる。

5. まとめ

今回は、RAマスチックの材料・配合・施工方法の改善を行い、決定した配合で室内評価試験を実施し、耐流動性・接着性が良好であることを確認した。そして、施工後においても、すべり抵抗性・凍結融解性能は良好であることが確認できた。

6. おわりに

今後もさらに追跡調査を行い、RAペーパーの有効性を検証していく予定である。

最後に、本工法の採用から施工に至り、ご協力を頂いた函館土木現業所の方々に深く感謝いたします。

【参考文献】

- 1) 黒澤，大橋，鈴木：表面処理型凍結抑制舗装の施工事例，第26回日本道路会議，2005.10
- 2) 稲葉，松崎，石川：ゴム粒子を用いた凍結抑制表面処理工法の試験施工，第7回北陸道路舗装会議技術報文集，1997.6
- 3) 大池，高橋，石川：ゴム粒子を用いた表面処理型凍結抑制舗装，第8回北陸道路舗装会議技術報文集，2000.6
- 4) 凍結抑制舗装技術研究会：凍結抑制舗装の評価手に関する検討，舗装，37-8，pp26-31，2002.8

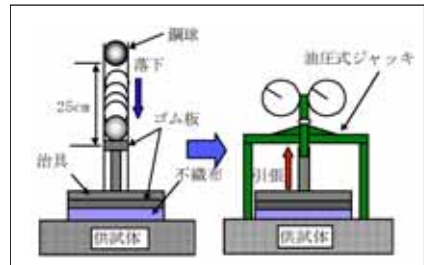


図-3 氷着強度試験概要

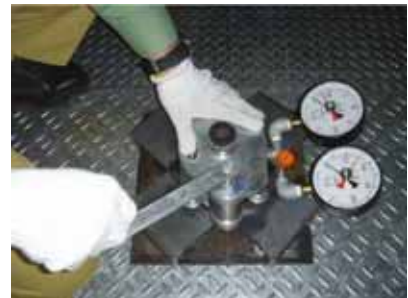


写真-3 氷着強度試験機

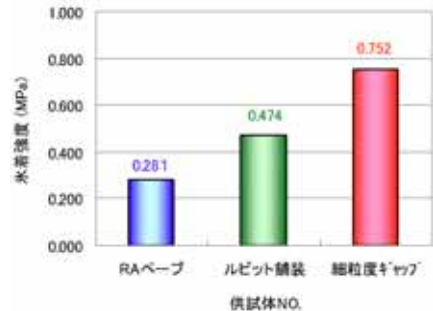


図-4 氷着強度試験結果



写真-4 供用後状況（冬期）

ゴム粒子を使用した表面処理型凍結抑制舗装の性状および施工事例

北海道渡島支庁 函館土木現業所 工藤 健一
 大林道路(株) 技術研究所 鈴木 徹
 大林道路(株) 技術研究所 ○森石 一志

1. はじめに

積雪寒冷地を中心として、冬期の車両走行の安全性と除雪作業の容易性から、凍結抑制舗装の技術開発が進められている。ゴム粒子を使用した表面処理型凍結抑制舗装は、以前から施工および追跡調査が実施されている。¹⁾

本文は、冬期のスリップ事故対策の一つとして物理系凍結抑制舗装に分類されるゴム粒子を使用した表面処理型凍結抑制舗装の性状および施工について述べるものである。

2. 特徴

ゴム粒子を使用した表面処理型凍結抑制舗装は、舗装路面にゴム粒子を多量に含んだアスファルトマスチック（以下、ゴム粒子入りマスチックとする）を薄層（ $t=5\text{mm}$ 程度）で流し込むことを特徴としている。その構造を図-1に示す。ゴム粒子表面処理型舗装は凍結抑制機能の他に、騒音低減機能・弾性機能・遮水機能も有しており、またゴム粒子に他産業廃棄物を使用することで環境対策にも寄与する。

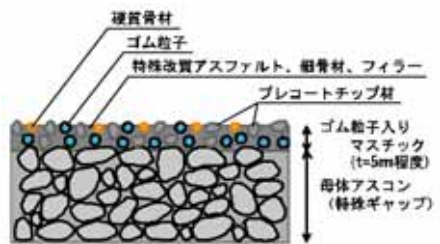


図-1 表面処理型凍結抑制舗装構造図

3. 室内評価試験

(1) ゴム粒子混入率の検討

表面処理型凍結抑制舗装はゴム粒子混入量の増加に伴い凍結抑制効果は向上するが、雨天時のすべり抵抗性が低下するという課題がこれまでの追跡調査から判明している。

また、本舗装は図-1に示すように供用後長期にわたるすべり抵抗性の確保のため、プレコートチップ材（以下、チップ材とする）を散布・圧入する。ゴム粒子混入量を多くするとチップ材の量が少なくなり、十分なすべり抵抗性が確保できず、一方、チップ材の量を多くするためゴム粒子混入量を少なくすると、十分な凍結抑制効果が発揮できない。したがって、ゴム粒子混入量とチップ材の量とのバランスが重要である。

本研究では、凍結抑制効果とすべり抵抗性の観点から、まず室内配合として最適なゴム粒子混入量を検討した。検討配合を表-1に示す。

DFテスタによる動的摩擦係数、および凍結抑制効果を確認する項目の一つとして氷着強度試験²⁾で氷の剥がれやすさ（剥がれやすい＝氷着強度の値が小さい）を相対比較で確認した結果を図-2、-3に示す。凍結抑制効果を発揮するためにゴム粒子混入量を多くし、かつ、すべり抵抗性を確保する配合として、ゴム粒子混入率17%を選定した。

(2) 実施配合の検討

現場では、雨天時のすべり抵抗性の向上を目的にチップ材をチップス

表-1 配合割合

ゴム粒子混入率	配合割合 (%)					F/A
	ゴム粒子	細目砂	石粉	特殊アスファルト	合計	
15%	15.0	46.3	15.5	23.2	100.0	2.00
17%	17.2	15.5	44.9	22.4	100.0	2.00
19%	19.4	43.4	15.5	21.7	100.0	2.00

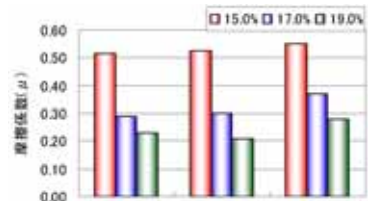


図-2 動的摩擦係数

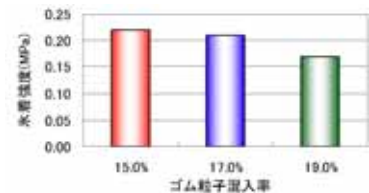


図-3 氷着強度試験結果

キーワード ゴム粒子、凍結抑制舗装、ゴム粒子入りマスチック、氷着強度試験

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 TEL0424-95-6800



ブレッダで散布し、ローラ等の付着防止を目的に散布機で硬質骨材を散布するため、まず、選定した混入率 17% にチップ材を散布・圧入し、散布量を 1.0, 1.2, 1.4kg/m² の 3 種類ですべり抵抗性を確認した。試験結果を図-4 に示す。試験は供用後を想定し、表面を磨き強制的に摩耗させたものと、摩耗させていないものを用いて行った。いずれの散布量においても十分なすべり抵抗性を発揮していることより、材料コスト等を考慮し 1.0 kg/m² とした。以上より決定した配合・散布量で実施工を行った。

4. 実施工

(1) 施工規模

施工場所は北海道の鉄道のアンダーパスで、施工規模は面積が 306m²、幅員 3m、延長 51m の 2 車線道路で、施工厚さは母体アスコンが 40mm、ゴム粒子入りマスチックが 5mm である。アンダーパスの出入口部分が一方は急勾配であることよりロードヒーティングが設置され、もう一方およびアンダーパス部分は設置していない。しかし、アンダーパス部分は圧雪された積雪やロードヒーティングによる雪解け水で路面が凍結し、スリップ事故が多発する箇所であったため、本工法を採用するに至った。

(2) 施工方法

母体アスコンはゴム粒子入りマスチックとの接着性および母体アスコンの耐久性を考慮し、特殊ギャップアスコンを使用した。その配合割合を表-2 に示す。ゴム粒子入りマスチックは超薄層であるため温度が変化しやすく、特に温度管理が重要である。

5. 性状確認試験

(1) すべり抵抗性試験

DF テスタで測定した動的摩擦係数の結果を図-5 に示す。どの測点においても 0.4 以上を示しており、良好なすべり抵抗性を確保している。

(2) 氷着強度試験

ゴム粒子表面処理型舗装の抜き取りコアで行った氷着強度試験結果を図-6 に示す。比較供試体としては隣接部分の細粒度ギャップアスコンおよびゴム粒子混入型混合物のコアも合わせて実施した。ゴム粒子入りマスチックの氷着強度は、細粒度ギャップアスコンの半分以下であり、また、ゴム粒子混入型混合物よりも小さい値を示しており、大きな凍抑制効果を有することが確認できた。

6. まとめ

今回は、ゴム粒子入りマスチックの配合検討を行い、決定した配合で施工し、すべり抵抗性・氷着強度が良好であることを確認した。また、写真-1 に示す施工後一冬を経過した現在（6 ヶ月後）においても、スリップ事故等の発生は確認されておらず、本工法の凍結抑制機能が発揮していると思われる。

7. おわりに

今後さらに追跡調査を行い、表面処理型凍結抑制舗装の有効性を検証していく予定である。

【参考文献】 1) 黒澤, 大橋, 鈴木: 表面処理型凍結抑制舗装の施工事例, 第 26 回日本道路会議, 2005.10

2) 凍結抑制舗装技術研究会: 凍結抑制舗装の評価手に関する検討, 舗装, 37-8, pp26-31, 2002.8

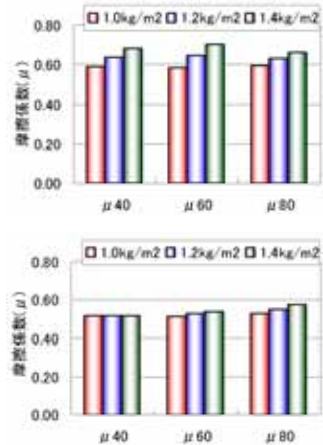


図-4 チップ材散布量の検討

(上: 摩耗していない, 下: 摩耗している)

表-2 母体アスコンの配合

粒度	配合割合 (%)					合計
	6号	粗目砂	細目砂	石粉	Ⅱ型	
特殊ギャップ	61.8	12.8	11.9	8.5	5.0	100.0

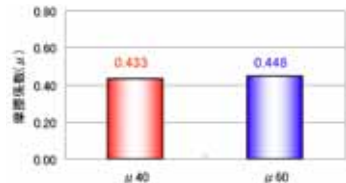


図-5 動的摩擦係数



図-6 氷着強度試験結果



写真-1 供用後状況 (冬期)

常温型路面補修材の開発と施工事例

大林道路（株）技術研究所 ○鈴木 徹

1 はじめに

アスファルト舗装の補修は、破損形態（わだち掘れ、ひび割れ、段差、ポットホール等）に応じて様々な補修材料・工法が適用され、その種類も加熱アスファルト混合物から常温型混合物まで豊富に存在する。この中で、省エネルギーおよびCO₂排出量削減に対応する材料、製造方法、工法が求められているが、破損の種類と補修工法の選定によって、また、応急・緊急補修か比較的長期的に機能させる補修かで耐久性を含めて使用する材料（構成）は異なる。路面の破損形状に至っては路面荒れ、段差、ひびわれが混在している箇所も多くみられる現状から、このような箇所を一つの材料で補修できる常温（硬化）型路面補修材の開発に取り組んできた。

本文は、開発した常温型路面補修材（以下常温補修材と称す）の性状と施工事例について報告するものである。

2 常温補修材の概要

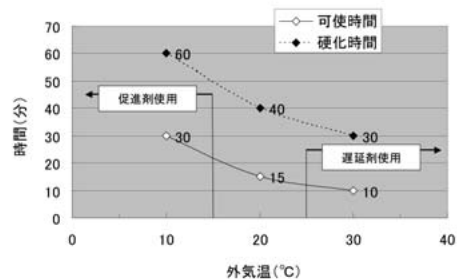
2.1 材料構成

常温補修材は「細骨材＋2液混合型特殊アスファルト乳剤＋水硬性無機材料＋水」から構成される。なお、特殊アスファルト乳剤は骨材種別に関わりなく良好に混合できるものであり、骨材の選定（岩種や産地）や前処理（プレコート等）が必要なく、例えばケイ砂、スクリーニングス、砕砂等の細骨材を使用することができる。混合されたものは非常に流動性に富んだスラリー状となるように配合し、ゴムレーキやコテ等で容易に敷きならし可能で転圧を必要としない流し込み可能な流動性を有する。P₁₄ ロート試験による流下時間は混合直後で6秒前後である。

2.2 硬化メカニズム

特殊アスファルト乳剤はアスファルト成分の主剤と反応型樹脂の硬化剤からなる。硬化剤は内在する水分とも一部反応し、その他の水分は水硬性無機材料と水和反応する。

可使時間と硬化時間の関係を図—1に示す。施工性を考慮して、可使時間・硬化時間を超早硬型や急硬性の領域より、ある程度穏やかになるように調整している。



図—1 可使時間と硬化時間の関係



3 混合物性状

本常温補修材は超薄層（ $t=5\text{mm}$ 程度）としての使用ならびに通常の補修厚（例えば $t=30\text{mm}$ ）にも使用できる。すなわち、老朽化して荒れた路面のリフレッシュや延命処置としての表面保護等としてのいわゆる表面処理的な適用とわだち掘れ部のレールパッチングや段差修正等の比較的厚みがある箇所への適用である。超薄層から通常厚の施工を同時に行える利便性も兼ね備えているものであり、薄層および通常厚を想定した混合物性状について以下に述べる。

3.1 接着性

既存舗装上へ敷きならした場合の接着性を一面せん断試験で評価した。これは、せん断強度が低いと、既存舗装との界面で、車両によって生じるせん断力によりずれる場合があり、これを調べるためである。一面せん断試験概要を図-2 に示す。試験は「道路橋鉄筋コンクリート床版 防水層設計・施工資料（社団法人日本道路協会）に準拠して行った。試験に使用した供試体は供試体作製後、24 時間気乾養生したものとした。

細骨材にケイ砂とスクリーングスのどちらを用いたものでも一面せん断強度は 1.5MPa と大きな値を示し、付着力は十分であると思われる。また、細骨材の種類が変わっても、せん断強度に影響しないこともいえる。

3.2 耐水耐久性

降雨等による滞水の影響を想定し、混合物自体の耐水性および界面の接着耐水性を評価した。超薄層とした場合の耐水性評価方法に確立したものがないため、ホイールトラッキング試験機を用いて現場を想定した水浸ホイールトラバース走行試験（以下水浸WT試験）を行った。その試験方法を図-3 に示す。試験は母体密粒度アスファルト混合物（ $t=5\text{cm}$ ）上に厚さ 5mm で敷きならした本常温補修材の表面以上に水浸させた状態でトラバース走行を 1 時間行い、混合物の剥離または崩壊を目視で観察した。水温は 20°C とし、試験準備として 1 日間の予備水浸養生を行った後、試験を行った。試験後の供試体状況例を写真-1 に示す。左側の耐水性が低いと思われる供試体は母体アスコンから剥離または崩壊した

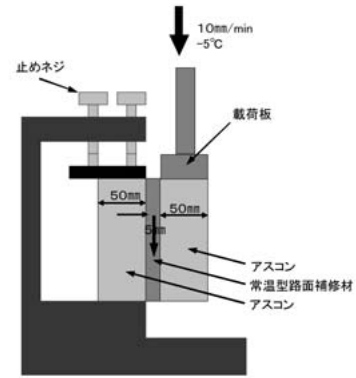


図-2 一面せん断試験

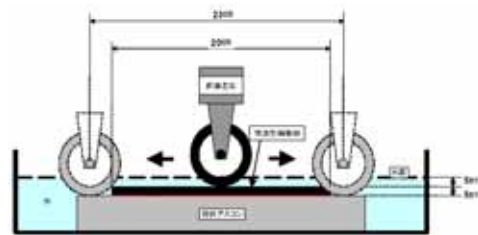


図-3 水浸WT試験



写真-1 水浸WT試験後状況

が、右側の本常温路面補修材については認められなかった。

3.3 耐摩耗性

耐摩耗性評価は、急硬性の改質アスファルト乳剤を用いた薄層工法である「マイクロサーフェシング」で行われているウェットトラック磨耗試験（ASTM D 3910 準拠）で行った。これは直径 255mm 程度の円盤状の供試体（写真—2 参照）を作製し、質量一定になった供試体を 25℃の恒温水槽に入れて、所定の時間の養生を行い（1時間もしくは6日間の2条件があるが、本報告では1時間養生で行った）、写真—3に示す耐圧ゴムホースが取り付けられた磨耗ヘッドを遊星運動させて磨耗させる試験である。写真—4に試験機を示す。図—4に、供試体厚 1mm、2mm、3mm および 5mm についての試験結果を示す。本条件で行った場合のマイクロサーフェシングにおける磨耗量の基準値は 540g/m² 以下であるが、厚さに関わらず、いずれもほぼ同量の磨耗量であり基準値を満足する。



写真—2 供試体



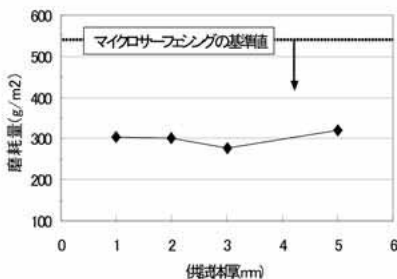
写真—3 磨耗ヘッド

3.4 その他一般的性状

通常の加熱アスファルト混合物の評価で行われている一般的性状を表—1に示す。供試体厚さはマーシャル安定度試験で 6.35cm、他の試験の供試体厚は 5cm である。パッチングや通常の舗装材料とした場合の性状確認として試験を行ったものである。表—1で示したとおり、本常温補修材は、通常の表層舗装厚（例えば 5cm）とした場合も、ストレートアスファルトやポリマー改質アスファルトを使用した加熱混合物と比較しても、良好な性状を有していることがわかる。また、曲げ強度試験からの破断ひずみ値からも、たわみ追従性を有しているものといえる。樹脂や水硬性無機材料を混入している材料ではあるが、アスファルト成分も含有しているためである。



写真—4 試験機



図—4 磨耗試験結果

表—1 一般的性状

項目	試験値 (代表値)
マーシャル安定度	(kN) 7
フロー値(1/100mm)	48
ホイールトラック試験動的安定度	DS(回/mm) 10000+
常温ホイールトラック試験動的安定度	DS(回/mm) 10000+
ラベルク離脱量	(cm ²) 0.3
曲げ強度	(MPa) 7.3
曲げ破断ひずみ	(cm/cm) 8×10 ⁻³

*全て試験結果表を参照

4. 施工事例

4. 1 混合

混合は写真—5 に示すように、材料を混合容器に投入し、電動式ハンドミキサー等の簡易混合機で2分程度攪拌するのみである。混合したものは写真—6 に示すように、補修箇所へ流し込み、コテやゴムレーキ等で均すのみで、転圧を必要としない。



写真—5 混合状況



写真—6 排出状況

4. 2 適用事例

本常温補修材は、供用性状のデータ蓄積と多様性を検証する目的で、車道のレールパッチングや、マンホール周りのクラックを伴った箇所の段差修正、凹凸部の激しい歩道のキメ改善補修、工場内の段差修正等で行っている。これらの状況一例を写真—7 に示す。現在、供用後1年近く経過した箇所もあるが、比較的良好的な状態を保っている。引き続き、追跡調査を行い、また、様々な箇所に適用を試みている。



写真—7 各所施工状況

5 まとめ

常温型混合物は、加熱混合物に比べてエネルギー消費量とCO₂排出量削減で大きなメリットがあり、環境負荷の低減が期待される。また、既存の舗装ストックには今まで以上の効率的な管理が要求されるようになっており、舗装の修繕または予防的維持を考える場合、環境負荷低減、施工性などの観点から常温型混合物への普及が期待される。

常温型混合物は、加熱混合物に比べてエネルギー消費量とCO₂排出量削減で大きなメリットがあり、環境負荷の低減が期待される。また、既存の舗装ストックには今まで以上の効率的な管理が要求されるようになっており、舗装の修繕または予防的維持を考える場合、環境負荷低減、施工性などの観点から常温型混合物への普及が期待される。

常温硬化型路面補修材スラリーパック



所属名：大林道路㈱

発表者：鈴木 徹

1 まえがき

舗装ストックの拡大に伴い、その維持補修を必要とする量も拡大の一途にある。補修材料の種類、補修工法は多岐にわたっており、舗装の補修は、破損形態（わだち掘れ、ひび割れ、段差、ポットホール等）に応じて様々な補修材料・工法が適用され、その種類も加熱アスファルト混合物から常温型混合物まで豊富に存在する。わだち掘れやポットホール、段差にはパッチング工法としての加熱または常温式の混合物タイプが、舗装表面の機能回復としては表面処理タイプの材料が、ひびわれ補修にはシール注入材などが使用されている様に、個々の破損形状に見合った材料が使用されている。路面の破損形状に至っては表面の荒れ、段差、ひびわれが混在している箇所も多くみられる現状から、このような箇所を一つの材料で補修できる材料の開発に取り組んできた。スラリーパックは各破損形状に適した材料である。また、周知のとおり、省資源、省エネルギーおよびCO₂排出量削減に貢献する材料、製造方法、工法が求められており、スラリーパックは常温硬化型であり環境にやさしい材料である。

2 スラリーパック

2. 1 材料構成

スラリーパックは「細骨材＋2液混合型特殊改質アスファルト乳剤＋無機系特殊混和材＋水」からなるスラリー状の常温混合物である。なお、特殊アスファルト改質アスファルト乳剤は骨材種別に関わりなく良好に混合できるものであり、骨材の選定（岩種や産地）や前処理（プレコート等）、調整が必要なく、ケイ砂、スクリーニングス、砕砂等の細骨材を使用することができる。なお、現在は、スラリーパックは各材料を1箱（1パック）に納めている形にしており、パック化の細骨材には、各サイズの混合ケイ砂をブレンドしたものを使用している。2セット/1パックの形としている。1セットの内容物の内訳を表―1、写真―1に示す。

表―1 1セット内容物

特殊改質As乳剤部		粉体部 ^{*)}	水	合計
主剤	硬化剤			
1.86kg	0.24kg	6.9kg	0.5kg	9.5kg

*)混合ケイ砂＋無機系特殊混和材





写真-1 スラリーパック内容物

2. 2 特徴および用途

スラリーパックの特徴は、以下に示すとおりである。

- ①材料をパック化しているので、混合容器（バケツ等）と混合機（ハンドミキサー）があれば、だれでも簡単に混合・製造することができる。
- ②流動性に富んだ材料であり、補修箇所に流し込み、コテやレーキで均すのみで、転圧を必要とせず、施工が簡単で短時間で終わる。
- ③ゼロすり付けが容易で、路面の凹凸を解消できるので、バリアフリー化につながる。
- ④既設舗装上に厚さ 5mm 以下の超薄層で施工できること、また、厚さ 3cm 程度のポットホールやくぼみ等の穴埋めにも対応でき、施工厚の範囲が広い。
- ⑤下地はアスファルト舗装、コンクリート舗装のどちらにも施工可能で、タックコートやプライマーを必要としない。
- ⑥常温混合・施工であり、省資源・省エネルギー、CO²排出量削減に貢献する。

以上の特徴を有しており、主な用途は以下のとおりである。

- ・荒れた路面、ひび割れ、段差の補修
- ・ポットホールのパッチング、レールパッチング
- ・表面保護

2. 3 標準的性状

スラリーパックの標準的性状を表-2に示す。

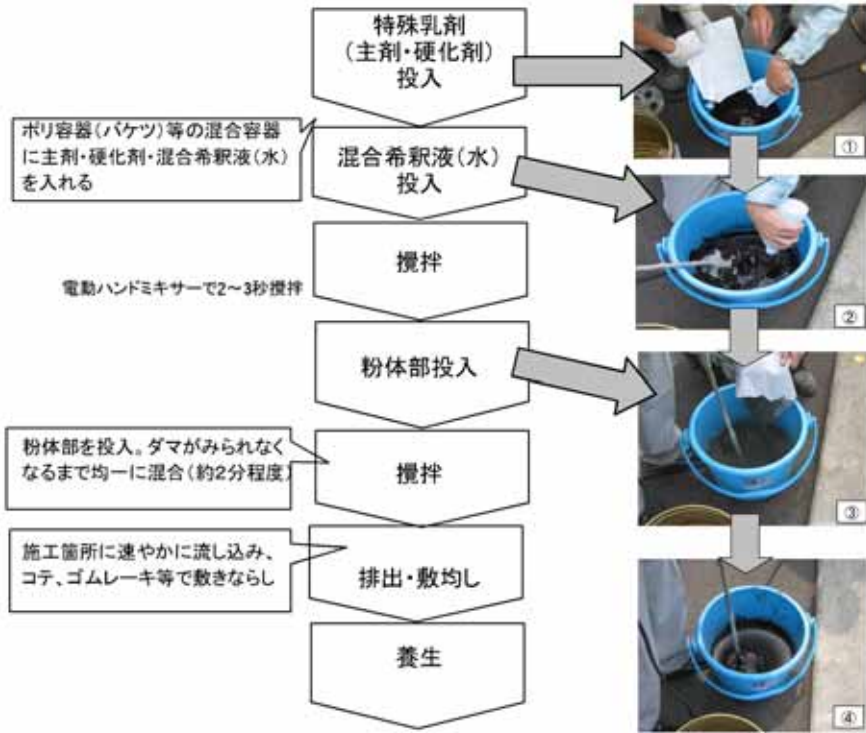
表-2 スラリーパックの標準的性状

項 目	単 位	試 験 値
可使時間(20℃)	分	10~15
J ₁₄ ロート流下時間(20℃)	秒	6前後
動的安定度 ¹⁾	回/mm	3,000以上
ラベリング磨耗量 ¹⁾	cm ²	0.7以下
湿潤磨耗量(25℃1時間水浸)	g/m ²	300以下
一面せん断強度(-5℃)	MPa	1以上
曲げ破断ひずみ(-20℃)	cm/cm	6×10 ⁻³ 以上

1)下地密粒度アスコン4cm上にスラリーパック1cm厚の供試体で行った。

3. 施工方法

一連の作業（混合）手順を図—1に示す。



図—1 作業手順

なお、施工は混合したスラリーパックを写真—2のように施工箇所に流し込み、写真—3に示すように、コテやゴムレーキ等で表面を敷きならすだけである。



写真—2 混合物排出状況



写真—3 敷きならし状況

4 適用事例

スラリーパットの補修は、これまで、車道のレールパッチングや表面保護舗装、マンホール周りのクラックを伴った箇所の段差修正、凹凸部の激しい歩道のキメ改善補修、構内舗装の段差修正等を行っている。これらの状況一例を写真—4に示す。現在、供用後1年近く経過した箇所があり、良好な状態を保っている。



写真—4 各所適用事例

5 あとがき

常温型混合物は、加熱混合物に比べてエネルギー消費量とCO₂排出量削減で大きなメリットがあり、環境負荷の低減が期待される。また、既存の舗装ストックには今まで以上の効率的な管理が要求されるようになっており、舗装の修繕または予防的維持を考える場合、環境負荷低減、施工性などの観点から常温型混合物への普及が期待される。

道建協 第14回 舗装技術に関する懸賞論文

佳作

小粒径薄層排水性舗装の
街路への適用

大林道路(株) 技術研究所 鈴木 徹
 // 石川 洋
 大林道路(株) エンジニアリング部 光谷 修平

1 はじめに

今日、国、自治体とも、合理化に向け、建設事業費や維持修繕事業費の縮減に取り組んでいる。一方、過去に整備された多くの道路（舗装）が老朽化してきており、今後、維持修繕更新の必要性が増加するものと予想される。このような情勢の中、各道路施設の将来の劣化状況を想定し、限られた財源の中で、適切な維持修繕計画を算定し、実施することが求められている¹⁾。

一方、わが国では、急速な高齢化が進み、「ノーマライゼーション」や「ユニバーサルデザイン」の考え方が広まっており、すべての人が安全・安心して生活できるよう、自宅から交通機関、街中まで一貫したバリアフリー環境を整備する重要性が唱えられている²⁾。このような背景のもと、すべての国民に最も身近な「生活道路」の維持修繕は重要な課題である。生活道路に限らず道路全般の維持修繕事業は、道路利用者の安全、円滑かつ快適な交通を確保し、沿道環境を保全するため、適切な維持管理を行って、路面の機能保持に努める必要がある。

維持修繕は、常に路面の状態を把握し、必要な時期に適切な補修を行うことが肝心である。また、効果的な維持修繕方法の選定が最も重要となる。先に述べたとおり、経済性、環境保全、道路利用者満足度の向上（ニーズ）を踏まえた維持修繕工法に取り組み、適切な工法を提案していくことは道路建設に携わるものとしての責務である。

我々はこれらのことを踏まえて、経済性、環境保全および補修後に機能を付加した舗装として、生活道路の維持修繕工法に小粒径薄層排水性舗装を提案し、これまで約1万m²の施工を行っている。

生活道路の補修工法として、小粒径薄層排水性舗装の有効性を唱え、実際の施工から得られた知見を述べるものである。

2 小粒径薄層排水性舗装

2.1 工法提案

道路維持修繕要項³⁾においては、破損の分類別維持修繕工法ならびに従来の経験などを総合的に判断して行うとされている。また、昨今、舗装材料の開発・検討も盛んに行われており、補修方法（例えば、パッチング、オーバーレイ等々）と舗装材料の組み合わせで、最も適切な維持修繕工法を提案することができる。そこで図-1に

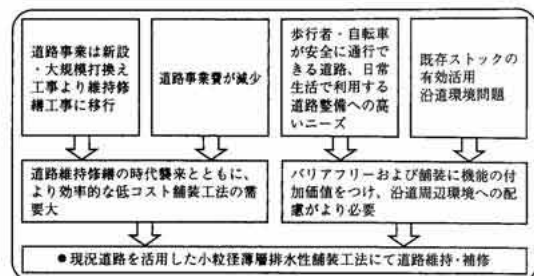


図-1 小粒径薄層排水性舗装工法の提案



示す考えのもと、生活道路の整備・維持について、小粒径薄層排水性舗装工法の提案を行っている。

(社)日本道路建設業協会の資料⁹⁾をみると、道路事業費は平成14年度でピーク時の約7割に減少し、舗装比率は低下傾向がほぼ横ばいとなっている。また、平成4年までは舗装費の内訳として新設費の割合が大きいものの、それ以降は修繕費の割合が大きく、新設費と修繕費は逆転傾向となっている。このことから、道路事業費の減少と維持修繕の増加傾向を考えた場合、維持修繕工法として「低コスト舗装工法」が重要なキーワードとなる。

さらに、道路は利用するユーザーの本当のニーズに応えなければならない。特に生活道路は日常生活に最も身近であるため、特に歩行者・自転車が安全に通行できることを優先に考えなければならない。また、歩行者・自転車を優先的に考えた整備においても、単に整備するだけではなく、沿道環境保全に努め、また、可能ならば低コストで資産価値を回復向上するような工法が求められる。このような考えのもと、バリアフリー化、多機能化、景観向上および経済性の観点から、小粒径薄層排水性舗装工法が推奨できる。

2.2 工法概要

図-2、図-3に小粒径薄層排水性舗装工法の概念図を示す。

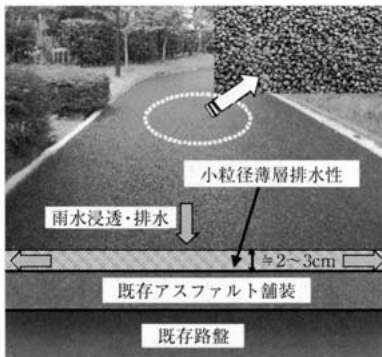


図-2 小粒径薄層排水性舗装工法の概念図①

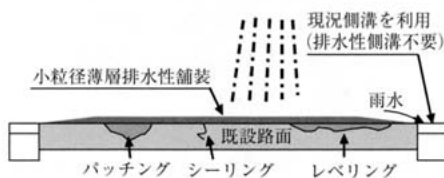


図-3 小粒径薄層排水性舗装工法の概念図②

小粒径薄層排水性舗装工法は既存のアスファルト舗装上に、骨材最大寸法7mmまたは8mmを使用した排水性舗装を厚さ2~3cmでオーバーレイを施すものである。薄層オーバーレイであり、小粒径骨材使用のため、擦りつけやすく既存の排水施設をそのまま使用することができる。

2.3 配合および性状

配合設計および配合に関しては、排水性舗装技術指針(案)に準じて行い、目標とする空隙率を確保し、機能、耐久性を満足する配合としている。したがって、ケースによって耐久性を重視した場合は、高耐久型バインダーを使用する場合もある。そこで写真-1に示す粒径8~5mmまたは7~5mmの骨材を標準仕様としている。

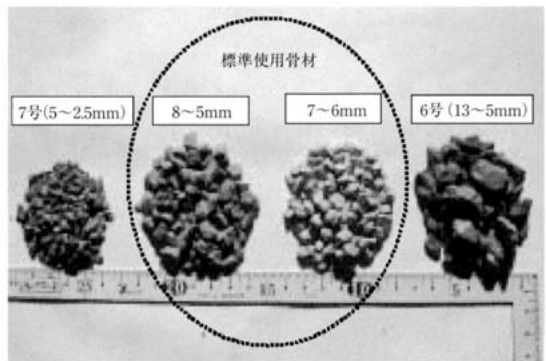


写真-1 標準使用骨材

また、8~5mmまたは7~5mmサイズの骨材を使用することで、小粒径骨材が醸し出す肌理の美しさが発現し、景観向上に結びつく他、一般の13~5mmサイズの骨材を使用する場合よりも凹凸が少なく、歩きやすい。さらに5~2.5mmサイズの骨材を使用する場合よりも透水性能を確保しやすい。

薄層排水性舗装に関しては、これまでに10~5mm、13~8mm、8~5mmの骨材を使用した事例¹⁰⁾も報告されており、また、分級によるコスト高も指摘されている。したがって、例えば舗装厚を半減することによって使用合材量は1/2になるため、施工単価もそれに見合う程度に安価になるとは言い難いものの、後述する経済性、環境保全および資産価値の向上の観点から総合的に判断すれば、小粒径骨材を用いた薄層排水性舗装のオーバーレイ工法は生活道路の補修工法として非常に有効なものとして判断することができる。

2.4 小粒径薄層排水性舗装工法によるメリット

小粒径薄層排水性オーバーレイ工法を適用することによって、以下に示すメリットがもたらされる。

① 経済性

- ・切削工程が省略でき、アス殻が大規模に発生しないため、廃材処分費用が抑えられる。また、切削工程省略の分、工期短縮につながる。
- ・薄層であるため、混合物費が抑えられる。
- ・小粒径骨材による薄層構造のため、すりつけが容易で、既存排水溝をそのまま活用でき、新たに排水側溝を設ける必要がない。

② 環境保全

- ・切削時に伴う騒音、粉塵、振動がない。また、切削オーバーレイ、打換え工事より工事期間が短く、交通規制が少なくなる。
- ・排水機能を有しているため、雨水浸透により水溜まりを解消でき、歩行者、自転車、車両運転者にやさしい。
- ・車両騒音低減効果で静かになる。
- ・小粒径骨材が並ぶことによって、キメが改善され、景観性向上となる。また、路面の凹凸が少なく歩きやすくなり、バリアフリー化につながる。

③ 資産価値の回復向上

- ・状況に応じて、高精度改質アスファルトを使用することで、耐久性を確保できる。
- ・オーバーレイを施すことで、疲労破壊輪数が増加し、劣化した舗装寿命を延命することができる。

以上のメリットを有すると考え、これらを5つのポイントにまとめたものを図-4に示す。

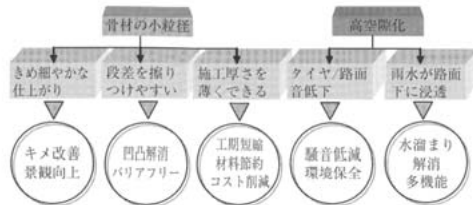


図-4 小粒径薄層排水性舗装工法の5ポイント

図-4の5ポイントの理念のもと道路管理者または住民に理解の上、展開を図っている。

(1) 経済性

図-5は切削オーバーレイと各タイプの小粒径薄層排水性オーバーレイ工法のイニシャルコストの比較であ

る。なお、ここでは、純粋に舗設に掛かるコストとして付帯工事などのコストは含んでいない。図中のNo.1～No.5の内訳を表-1に示す。

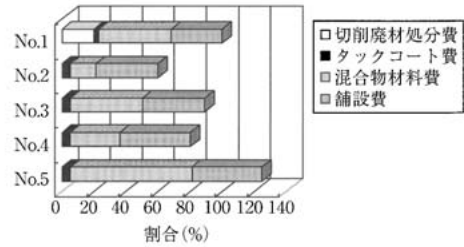


図-5 経済性の比較

表-1 費用対効果

No.	切削	厚さ (cm)	材料費
1	有	5	1.0倍
2	無	2	1.0倍
3	無	2	2.5倍
4	無	3	1.0倍
5	無	3	2.5倍

既存の舗装を5cm切削して、切削面に5cmの排水性舗装を舗設した場合 (No.1) のイニシャルコストを100%とした場合、同一の混合物を単純に2cmでオーバーレイした場合 (No.2)、切削廃材処分費が掛からず、また、2cmの混合物量で済むため、約40%のコスト削減が望まれる。また、高耐久化を図るため、例えば高耐久型高精度改質バインダーを使用した場合や、先に述べた8～5mm砕石のように小粒径骨材の分級として砕石単価が増加したことを勘案して混合物材料費を2.5倍した場合 (No.3) においても2cm厚の薄層とすることで、約10%コスト削減できる。さらにNo.4のように、No.1と同一混合物とすると3cm厚で行っても約20%のコスト削減となる。No.5のように混合物材料費が2.5倍とし、舗装厚3cmとするとNo.1よりコスト高となる。

したがって、この点を分岐点として、さらにすべてがオーバーレイで対処できるとは限らないので、既存舗装の状態を把握し、オーバーレイで対処できるならば、小粒径薄層排水性舗装オーバーレイが推奨できる。

以上のように小粒径薄層排水性混合物をオーバーレイすることで、切削オーバーレイ (5cm) と比較して最大40%のイニシャルコスト削減になる。

表-2は、実際に施工を行ったコスト面の比較事例である。

STUDY ON APPLICABILITY OF WATER-FEED-TYPE

WET BLOCK PAVEMENT TO ROADWAYS

Ryoichi Ishizuka, Eigo Fujiwara, Hiroyuki Akagawa,

Technical Research Institute, Obayashi Road Corporation, 4-640 Shimokiyoto, Kiyose, Tokyo
204-0011 Japan.

Tel:+81-42-495-6800.Fax:+81-42-495-6801.E-mail:Ryouichi-Ishizuka@obayashi-road.co.jp
Technical Research Institute, Obayashi Road Corporation, 4-640 Shimokiyoto, Kiyose, Tokyo
204-0011 Japan.

Tel:+81-42-495-6800.Fax:+81-42-495-6801.E-mail:eigo-fujiwara@obayashi-road.co.jp
Technical Research Institute, Obayashi Corporation, 4-640 Shimokiyoto, Kiyose, Tokyo 204-8558
Japan.

Tel:+81-42-495-1279.Fax:+81-42-495-1260.E-mail:akagawa.hiroyuki@obayashi.co.jp

ABSTRACT

Many countries are making efforts to mitigate the heat island effect, which is a global problem. Some corporations in Japan are putting their energies into research and development of new types of pavement as measures to cope with heated environments; as a result, water-retentive asphalt pavement and interlocking block pavement are being adopted more frequently today. In hot environments, however, road surface temperatures may not be kept reduced if water supply depends only on natural rain. While asphalt pavement is prevalent in Japan, interlocking block pavement, which is mainly used for sidewalks, construction exteriors, and parks, is not yet much used for roadways and parking areas.

As a measure to cope with heated environments, the authors have been proposing a water-feed-type wet block pavement system, which ensures retention of wet condition at all times even in a hot environment by embedding a water supply system in the structure of water-retentive block pavement. This system consists of a feed pipe, water guide sheet, rainfall sensor, and control panel. In fine weather, the system feeds water according to the setting, and the water transported on the guide sheet is supplied to water-retentive blocks by capillary action through cushion sand. This allows the system to provide evaporative cooling even in fine weather and to keep pavement surface temperatures at as low as 25 degrees C in the summer. The system thus improves the amenity of pedestrians in parks, sidewalks, and other areas and contributes to the mitigation of the heat island effect. When applying the system to roadways, however, occurrence of unevenness in blocks is concerned because the water supplied to the lower block surfaces may cause outflow of cushion sand through the block joints.



The present study experimentally investigates the effects of water supply on the structural durability of the pavement system and proposes an optimal cross section of the structure.

1. INTRODUCTION

Water-retentive pavement having the capability to store water inside the pavement structure is recently gaining popularity in Japan as a means of mitigating the heat island effect. This type of pavement has been constructed in Japan at a rate of about 100,000 m² per year since 2003. The water stored in the pavement structure evaporates from the pavement surface, so that the surface temperature is reduced by evaporative cooling. As a type of such pavement structure, interlocking blocks with a water retention capability have recently been made by a number of manufacturers in Japan. However, the water retained in this type of pavement structure would evaporate completely in about one to three days under the hot summer sunshine, so that the evaporative cooling effect would not be maintained.

The present study adopts a water-feed-type wet block pavement system, which ensures retention of wet condition at all times even in a hot environment by embedding a water supply mechanism in the water-retentive block pavement structure. The study experimentally investigates the effects of water supply on the performance and structural durability of the system when applied to roadways and proposes an optimal cross section of the structure.

2. OUTLINE OF CONTINUOUS WATER-FEED-TYPE BLOCK PAVEMENT SYSTEM

The system has a water conveyance sheet, which is to spread the water supplied from the feed pipe efficiently. On the sheet are cushion sand and interlocking blocks having good water retentivity. The amount of water supplied is controlled with a timer and a rainfall sensor, so that an appropriate amount of water is automatically supplied to the water-retentive blocks. Other than service water, treated waste water and rainwater collected in a storage tank can be used for the supply of water. The system suppresses road surface temperatures at all times through evaporative cooling even in hot weather of a few consecutive days for improving amenity and reducing environmental loads.

A schematic view of the system is given in Figure 1.

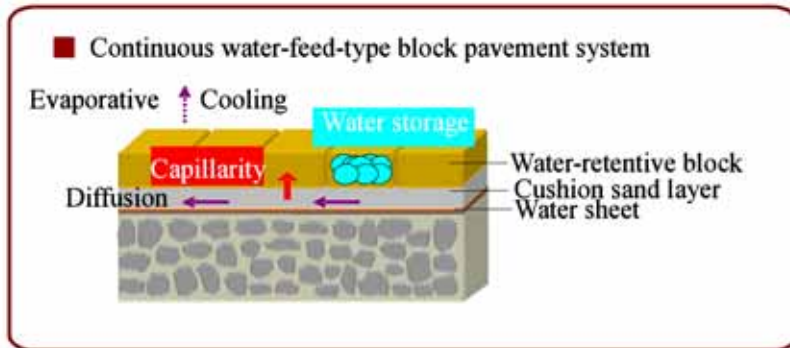


Figure 1. Schematic drawing of continuous water-feed-type block pavement system

- Water retentive blocks: Each block, with dimensions of 100 mm x 200 mm x 60 mm, has high water retentivity and can contain as much as 150 kg/m³ or more (JIPEA standard) water in it.
- Cushion sand: It mainly consists of river sand and pit sand and sustains the blocks.
- Water sheet: It has high water spreading ability, so that the water supplied from the feed pipe is quickly spread throughout the sheet.
- Feed pipe: It supplies water to the water sheet evenly through discharge holes arranged at regular intervals.

3. EFFECTS OF CUSHION SAND ON PERFORMANCE AND STRUCTURAL DURABILITY OF SYSTEM

Because the properties of cushion sand may affect the performance and structural durability of the system significantly, the effects of the capillarity of cushion sand and repeated traffic loads on the flatness of the arrayed blocks were investigated in this study.

3.1 Test materials

The following five types of cushion sand were used for the experiment; their physical properties and grading are shown in Tables 1 and 2, respectively.

- Fine sand: Because river sand of good quality is hard to collect in Japan, washed pit sand, which is being used as aggregate for asphalt concrete, was adopted in this study.
- Garnet: Pale pink debris of a garnet gemstone from India. It is very hard, dense, and costly.
- Kashima silica sand: Widely used and commercially distributed in Japan as a joint filler between interlocking blocks and for sandblasting.
- Crushed stone S-5(5-2.5mm): This material, made from hard stone in Japan, is commonly used as aggregate for asphalt concrete.
- Crushed stone-sand: This material, made from hard sandstone in Japan, is commonly used as aggregate for cement concrete and asphalt concrete. It is widely available at low cost.

Table 1. Physical properties of cushion sand

Type of sand	Fine sand	Garnet	Silica sand	S-5	Stone sand
Surface-dried specific gravity	2.61	4.10	1.5*1	2.66	2.61
Water absorption (%)	3.51	-	-	0.64	0.85
Resistance to crushing (%)*2	1.3	0.0	0.2	-	0.6

*1 Bulk specific gravity

*2 Tested according to JIPEA-TM-2

Table 2. Grading of cushion sand

Type of sand	Fine sand	Garnet	Silica sand	S-5	Stone sand
Sieve	Passing (%)				
4.75mm	99.7	100	100	86.2	99.6
2.36	98.9	100	100	1.6	85.2
0.6	91.4	59.2	50.9	0.3	34.8
0.3	54.0	15.9	3.1	0.3	20.6
0.15	7.2	0.1	0.1	0.3	6.8
0.075	1.9	0	0	0.3	0.9

Because of its low price and wide availability, the stone sand was selected as a material to investigating the effect of different grading. The sand was sorted by removing the factions that passing 600 μm and retaining 75 μm .

3.2 Capillarity test of cushion sand

The pavement system has cushion sand between the water sheet and water-retentive blocks. The cushion sand is required to have the ability to lead the water spread by the sheet quickly and appropriately to the blocks through capillary action. In this test, a water sheet was attached to the bottom of an acrylic tube with a diameter of 18 mm, and the tube was placed in a vessel that was filled with water to a depth of about 1 mm. Capillary height in the tube was then measured with the scale displayed on the tube. To facilitate the measurement, the cushion sand was absolutely dried, and jigging was carried out five times after dispensing a certain amount of sand into the tube.

A view of the capillarity measurement is shown in Figure 2.

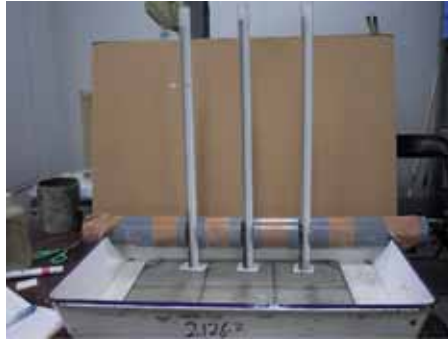


Figure 2. Measurement of Capillary height

3.3 Dynamic wheel loading test

When the pavement system is applied to roadways, the blocks may become uneven or loose and the flatness of the pavement surface may not be maintained because the repeated dynamic loading of vehicles could cause the following phenomena:

- The repetitive dynamic loading squeezes water out of the cushion sand and causes ejection of both the water and sand through the joints.
- Sand particles are further pulverized by the repetitive dynamic loading.

Dynamic wheel loading test on a specimen of the pavement was performed, and displacement of the block pavement surface with time was measured. The details of the test specimen using the aluminum form are shown in Figure 3.

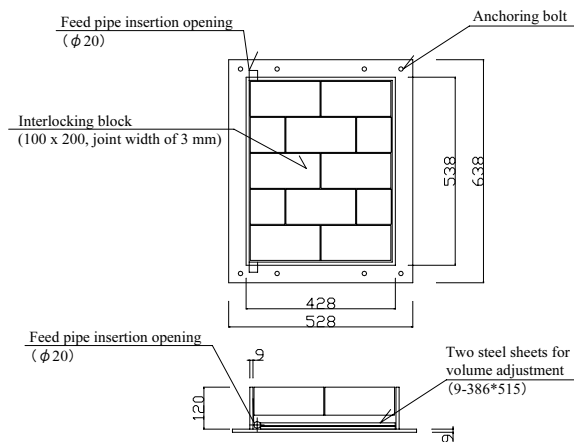


Figure 3. Detailed drawing of specimen for dynamic wheel loading test

3.3.1 Texture and block type

Straight-type blocks and a stretcher bond block pattern, the most common pattern in Japan, were used for evaluate the effect of cushion sand.

3.3.2 Thickness of cushion sand layer

In Japan, the thickness of cushion sand layer is generally in the range of 2 to 3 cm. A thickness of 2 cm was adopted in this test in view of enhancement of capillarity and application to roadways.

3.3.3 Joint filler

The joints, having a width of 3 mm, were filled with Kashima silica sand. The grading of the silica sand is shown in Table 2.

3.3.4 Amount of water supply

To evaluate the effect of water supplied to the system, the maximum amount of water was contained in the water-retentive blocks and 5 kg/m² of water was supplied to the feed pipe during the test. For each test specimen, 1.9 kg of water was supplied to the blocks and 1.54 kg of water was supplied to the water sheet.



Figure 4. Supplying water to blocks



Figure 5. Supplying water to feed pipe

3.3.5 Loading conditions

Assuming that the wheel load of a typical heavy vehicle is 49 kN, the contact pressure of the tire was set to 540 kN/m². This is a standard load typically used in Japan for designing roads structure.

3.3.6 Number of wheels passing

In Japan, roads are classified into seven groups based on the daily traffic of large vehicles, and the number of wheels treading on the road to cause fatigue failure is referenced for a design period of 10 years. The dynamic wheel loading test assumed three levels of traffic:

- less than 15 vehicles
- at least 15 vehicles and less than 40 vehicles
- at least 40 vehicles and less than 100 vehicles

The test was conducted by assuming 1500, 7000, and 30,000 wheels treading the pavement for the above levels, respectively. A test machine complying with ISSA TB-109 was used.

A view of the dynamic wheel loading test is shown in Figure 6. Only the central wheel in the figure was used for the test.



Figure 6. Dynamic wheel loading test

3.3.7 Displacement measurement

Settlement was measured with a digital indicator at locations shown in Figure 7 before the test and after the passage of 1500, 7000, and 30,000 wheels.

A view of displacement measurement is shown in Figure 8.

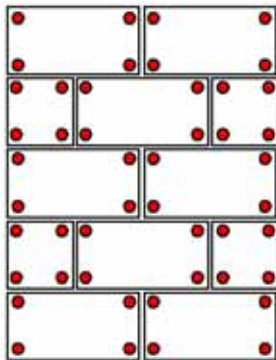


Figure 7. Locations of displacement measurement

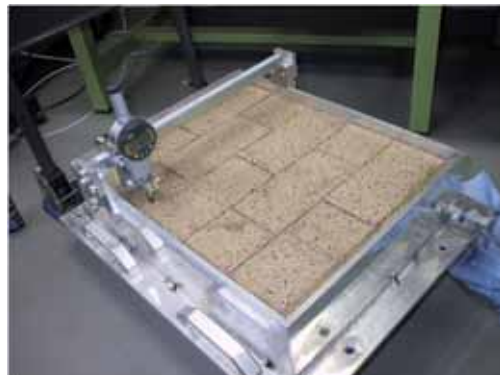


Figure 8. Displacement measurement

4. TEST RESULTS AND DISCUSSION

4.1 Capillarity of cushion sand

The results of the capillarity test of cushion sand are shown in Figures 9 and 10.

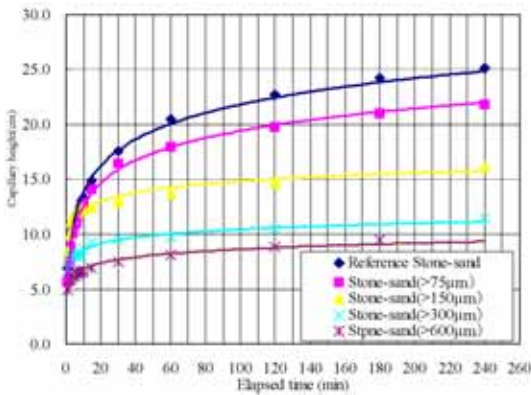


Figure 9. Results of capillarity test of Stone-sand

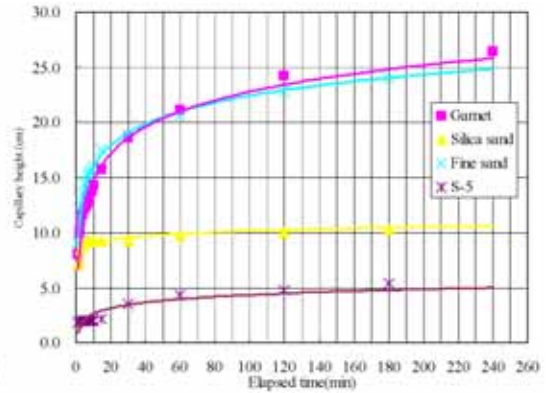


Figure 10. Results of capillarity test of crushed sand

The test results indicate that capillary height is proportional to the natural logarithm (Ln) of time. The results of calculation using a regression equation, or Equation (1), are listed in Table 3 for the different types of cushion sand.

$$y = a \ln(X) + b \text{ -----(1)}$$

where: y = capillary height (cm)
X = time (min)

Even in the case of S-5, in which capillary action was slowest, the water level rose to 3 cm, corresponding to the thickness of cushion sand layer, at an elapsed time of 20 min.

Table 3. Results of regression analysis for capillary height

Type of sand	a	b	Correlation coefficient(R2)
S-5	0.75	0.91	0.831
Garnet	3.48	6.74	0.984
Silica sand	0.50	7.89	0.792
Fine sand	2.79	9.55	0.997
Reference Stone-sand	3.47	5.82	0.993
Stone-sand(>75µm)	2.95	5.82	0.998
Stone-sand(>150µm)	1.13	9.59	0.927
Stone-sand(>300µm)	0.80	6.79	0.966
Stone-sand(>600µm)	0.80	4.99	0.979

The test results shown in Figure 4 indicate that capillarity becomes less prominent when grading becomes narrower for the same type of stone sand. The uniformity coefficient U_c , which corresponds to the slope of the grading curve of each type of cushion sand, was then obtained from Equation (2). Because the capillarity of cushion sand may be greatly influenced by its porosity, the

void ratio of each type of cushion sand was calculated from Equation (3).

The results of the calculation and the measured levels of capillary height at an elapsed time of 120 min are listed in Table 4.

$$U_c = D_{60} / D_{10} \text{ -----(2)}$$

where: D_{60} = particle size for 60% passing by mass

D_{10} = particle size for 10% passing by mass

$$e = (1 - V_s') / V_s \text{ -----(3)}$$

where: V_s' = unit weight after jiggling

V_s = specific gravity (absolute dry condition)

Table 4. Calculation results

Type of sand	Uniformity coefficient, U_c	Void ratio, e	Capillary height at 120 min (cm)
S-5	1.46	0.935	4.80
Garnet	2.50	0.690	24.20
Silica sand	2.29	0.506	10.00
Fine sand	1.50	0.767	22.80
Reference Stone-sand	7.14	0.513	22.70
Stone-sand(>75 μ m)	6.94	0.614	19.70
Stone-sand(>150 μ m)	5.60	0.622	14.60
Stone-sand(>300 μ m)	4.57	0.730	10.50
Stone-sand(>600 μ m)	2.50	0.804	8.90

The calculation results indicate that there is a linear relationship between porosity and uniformity coefficient (Figure 11) and there is a high correlation between uniformity coefficient and capillary height (Figure 12).

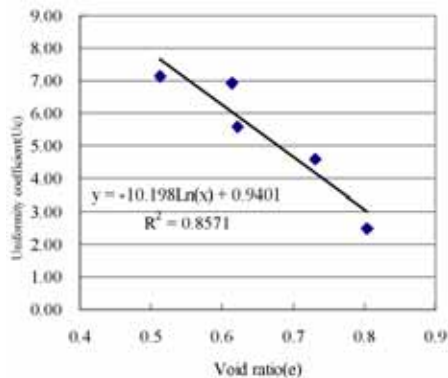


Figure 11. Relationship between void ratio and uniformity coefficient

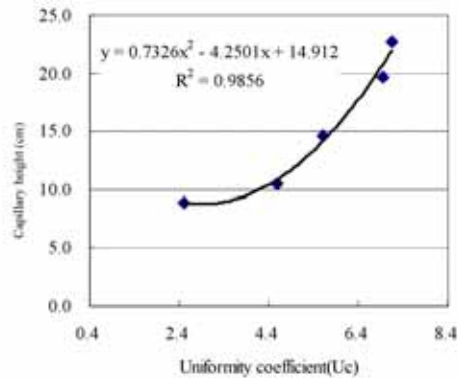


Figure 12. Relationship between uniformity coefficient and capillary height

However, these relationships do not hold true when the type of sand is changed. This implies that the speed of capillary action and the amount of capillary height vary with differences in the shape (angularity) and water absorption of sand particles even if void ratio and uniformity coefficient remain the same.

4.2 Dynamic wheel loading test

The test results for each type of cushion sand are shown in Table 5 and Figures 13 and 14.

The stone sands resulted in smaller values of maximum settlement and maximum offset than the other types of cushion sand. In the crushed sands and the fine sand, the maximum settlement values were less than 2 mm and the maximum offset values were less than 3 mm after the passage of 30,000 wheels. In the other types of cushion sand, however, the maximum offset values exceeded 5 mm, which is the reference value for maintenance set by Japanese standards (red values in Table 5). In the fraction of stone sand grains greater than 600 μm , little increase in the values of maximum settlement and maximum offset was observed after the passage of 7000 wheels (blue values in Table 5).

Table 5. Maximum settlement and maximum offset for different numbers of wheels passing pavement

Type of sand	Number of wheels					
	1500	7000	30000	1500	7000	30000
	Maximum settlement (mm)			Maximum offset (mm)		
S-5	-1.11	-1.42	-3.74	2.40	2.91	7.01
Garnet	-1.43	-2.53	-3.24	1.56	3.13	6.07
Silica sand	-0.77	-1.22	-2.24	1.17	2.34	5.08
Fine sand	-1.15	-1.34	-1.75	0.96	1.57	2.86
Reference Stone-sand	-1.11	-1.54	-1.90	1.33	2.12	2.47
Stone-sand(>75 μm)	-0.97	-1.11	-1.33	0.73	0.96	1.14
Stone-sand(>150 μm)	-1.10	-1.22	-1.46	1.31	1.73	2.05
Stone-sand(>300 μm)	-0.87	-0.96	-1.03	1.44	1.87	2.13
Stone-sand(>600 μm)	-0.62	-0.80	-0.80	0.80	1.24	1.37

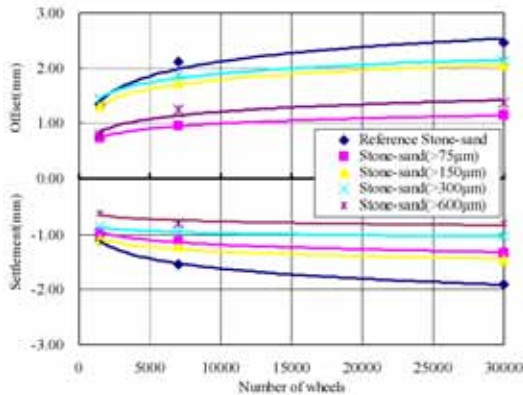


Figure 13. Settlement and offset values for crushed sands

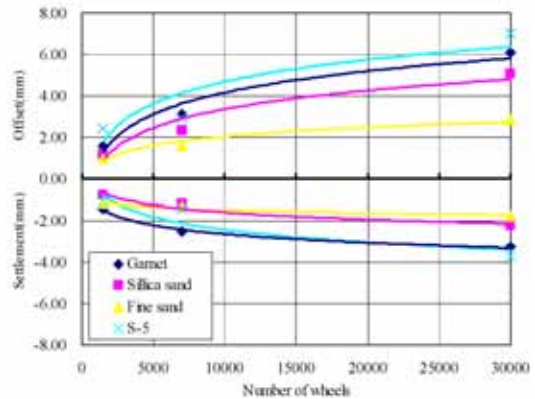


Figure 14. Settlement and offset values for garnet and other types of sand

It was considered that further crushing of cushion sand into finer grains might influence settlement. On the contrary, the garnet sand showed greater settlement than the other types of cushion sand, which should be less resistant to further crushing. It is thus considered that the supply of water made the size and shape (angularity) of grains are more influential than further crushing.

5. CONCLUSIONS

The structural durability of the water-feed-type wet block pavement system was evaluated by capillarity and dynamic wheel loading tests using different types of cushion sand, and the following findings were obtained:

- When the thickness of cushion sand layer is in the range of 2 to 3 cm, water is supplied to the blocks by capillary action within 20 min for all the grading studied.
- For the same type of cushion sand, water is more quickly supplied to the blocks by capillary action when void ratio is smaller and uniformity coefficient is larger.
- The structural durability of the system is improved by using stone sand for cushion sand.
- The durability of the system varies with different types of cushion sand because of differences in grain shape and other factors, even when void ratio and uniformity coefficient remain the same.
- By removing the fraction of sand grains smaller than 600 µm, settlement can be reduced to 1 mm or less, and settlement and offset after the passage of 7000 wheels can be suppressed completely.

- By removing the fraction of sand grains smaller than 600 μm , offset can be reduced but capillary action is suppressed compared with the other types of sand.

6. FUTURE CHALLENGES

The structural durability of the pavement system was evaluated and discussed in this study by using a small-scale laboratory test setting. The actual use of the system on a road is expected to be influenced by rainfall, vehicle speed, vehicle direction, and other factors. Outdoor trial construction should be done in the future for further evaluation and verification. When using treated cushion sand, precision and easiness of construction should also be evaluated in detail.

7. REFERENCES

- Akagawa and Komiya, 2000. Experimental study on pavement system with continuous wet surface. J. Archit. Plann. Environ. Eng., AIJ, No.530 p. 79
- Hata, et al. Effect of quality of sand cushion layer on performance of interlocking block pavement. The 20th Japan Road Conference, p. 798
- Ishige et al., 1995. Some discussion on roadbed structure and underlying sand of interlocking block pavement. The 50th Annual Conference of the Japan Society of Civil Engineers, p. 542
- Ishige et al., 1996. Discussion on dispersion of load on interlocking block pavement. Hoso, 31-6 p. 16
- Japan Interlocking Block Pavement Engineering Association, 2000. Design and work procedures
- Japan Road Association, 2006. Pavement design and work guidelines
- Kobayashi, et al., 2003. Interlocking block pavement for roadways using garnet. The 25th Japan Road Conference, 09132
- Yaginuma et al. Functional damage to interlocking block pavement. The 20th Japan Road Conference, p. 800

8. STANDARDS AND TEST METHODS

- JIPEA-TM-2 : Japan Interlocking Block Pavement Engineering Association, Resistance of Cushion sand to Crushed Damage
- ISSA TB-109 : International Slurry Surfacing Association, Multilayer Loaded Wheel Test Vertical and Lateral Displacement at Ambient



排水性舗装発生材を使用した再生密粒度アスファルト混合物の供用2年後の追跡調査結果について

(社) 日本アスファルト合材協会
 技術委員会 再生合材部会
 稲葉 行則
 貫井 武

要旨：排水性舗装発生材のプラント再生舗装工法の確立を目指して、実道の排水性混合物と改質粗粒度アスファルト混合物からなる混合切削材を破碎分級した混合再生骨材を使用した再生密粒度アスファルト混合物の試験施工を実施した。その結果、混合物の製造性などに若干課題を残すものの、一般再生混合物とほぼ同等の混合物性状や仕上がり状態が得られた。本報告は、この試験施工の概要および供用2年後の追跡調査について紹介する。

キーワード：舗装発生材、排水性舗装、排水性舗装発生材、試験施工、再生密粒度アスファルト混合物、混合切削材、混合再生骨材、供用性、追跡調査

1. はじめに

近年、排水性舗装はその普及に伴い、ストックは増大し、維持修繕の時期を迎えている。排水性舗装発生材は、すでに再資源化施設に持ち込まれつつあり、排水性舗装発生材の再生利用の技術開発は必要不可欠となっている。

(社)日本アスファルト合材協会（以下、日合協）では、排水性舗装発生材の再生利用技術について、平成14年度から東京都と日合協とで共同して検討¹⁾を行ってきたが、「再生改質アスファルト混合物検討委員会」の審議を経て、平成16年3月に東京都第六建設事務所発注の路面補修工事（6の14・低騒音再生舗装）において「排水性舗装発生材を使用した再生密粒度アスファルト混合物の試験施工」²⁾が実施された。

本報告は、上記試験施工の概要および供用2年後の追跡調査結果をとりまとめたものである。

2. 試験施工の概要

2-1 試験施工の目的

試験施工は、排水性舗装発生材の汎用的なプラント再生舗装工法の確立を目指して、実道の排水性混合物（ $t=5\text{cm}$ ）と改質粗粒度アスファ

ルト混合物（ $t=5\text{cm}$ ）からなる混合切削材を13～0mmに破碎分級した混合再生骨材（以下、混合再骨）および従来の一般再生骨材13～0mm（以下、一般再骨）を使用した再生密粒度アスファルト混合物の製造性・施工性・路面性状・供用性等を検証することを目的とした。

ここでいう汎用的なプラント再生舗装工法とは、一般発生材、改質発生材および排水性発生材を組み合わせて得られた再生骨材を配合し、一般再生用添加剤で針入度調整した再生密粒度アスファルト混合物のように、汎用性や費用対効果を考慮した基本的な方針に基づいている（図-1参照）。

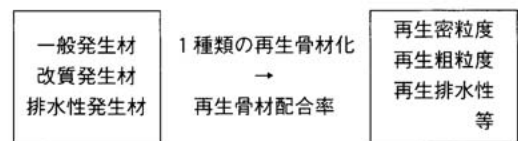


図-1 排水性舗装発生材を使用したプラント再生方法の今回の基本的な方針

2-2 施工概要

- (1) 実施年月日（表層混合物）
平成16年3月6日（土）、8日（月）夜間
- (2) 施工場所
東京都足立区足立三丁目地内、特例都道千住新宿町線（第467号）



(3) 再生混合物の種類

試験施工に使用した再生密粒度アスファルト混合物の種類を表-1に示す。

表-1 使用再生混合物の種類

配合名	再生骨材(%)		新材(%)	再生用添加剤添加量(%)	再生アスファルト針入度(1/10mm)
	混合再骨	一般再骨			
配合1	60	—	40	13.5	51
配合2	60	—	40	7.1	40
配合3	20	40	40	8.8	54
配合4(一般再生)	—	60	40	6.4	55

配合1：混合再骨が最も多い配合で、再生アスファルトの目標針入度を50として再生用添加剤を添加した混合物。

配合2：混合再骨が最も多い配合で、再生アスファルトの針入度を40として再生用添加剤を添加した混合物。

配合3：混合再骨の発生割合を考慮した配合の混合物。

配合4：東京圏内における一般再生混合物(標準)。

(4) 施工規模および工区割り

施工延長は1工区あたり55~100m、幅員は片側2.5mの上下線で、「配合1」~「配合4」を図-1に示すように工区割りした。

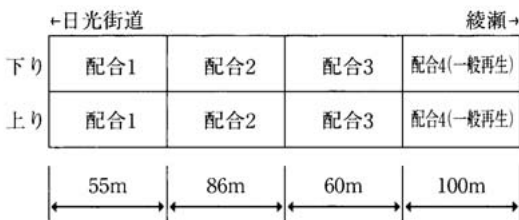


図-1 試験施工工区割り

(5) 施工断面

試験施工個所の舗装断面は図-2に示すとおりであり、表・基層の打換え工事において、表層混合物を変化させた。なお、当該路線の設計交通量は、B交通である。

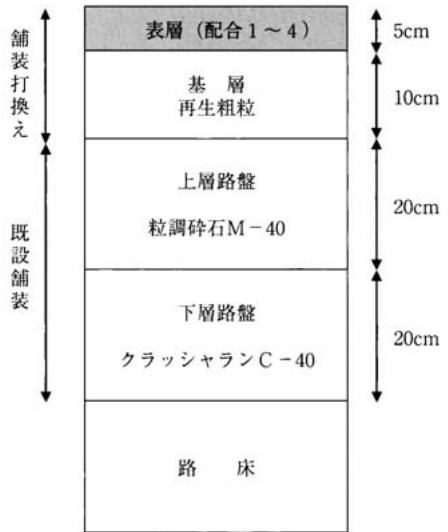


図-2 舗装断面

(6) アスファルト混合物の製造工場

(株)NIPPOコーポレーション戸田工場(埼玉県戸田市)

表-2 プラントの仕様

製造会社名	形式	公称能力	再生方式
(株)新潟鉄工所	NP4000	240t/h	併設加熱方式

2-3 使用材料

試験施工に使用した材料を表-3に、再生骨材の性状試験結果を表-4に示す。なお、混合再骨は、東京都世田谷区若林地内の環状七号線の14年度路面補修工事で発生した供用後5年程度経過した切削発生材を原料としたものである。

表-3 使用材料

材料名	製造会社名	材質
砕石6号	東京石灰工業(株)	硬質砂岩
砕石7号		
砕砂		
細砂	三信建材(株)	洗い砂
石粉	有恒鉱業(株)	石灰岩
一般再骨	(株)NIPPOコーポレーション戸田工場	一般アスファルト舗装
混合再骨	(株)NIPPOコーポレーション戸田工場	排水性+改質粗粒発生材
ストレートアスファルト	新日本石油(株)	ストレート40~60
再生用添加剤	新日本石油(株)	RDEC(石油潤滑油系)

表－4 再生骨材の性状試験結果

再生骨材名		混合再骨	一般再骨
As量	%	4.60	4.86
通過質量百分率%	19.0mm	100	100
	13.2mm	98.0	98.6
	4.75mm	55.3	65.7
	2.36mm	36.9	46.7
	600μm	21.3	28.2
	300μm	16.4	21.2
	150μm	9.3	11.7
	75μm	5.9	7.9
針入度	1/10mm	17	29
軟化点	℃	66.5	56.0
最大密度	g/cm ³	2.512	2.503

表－4に示すように、排水性混合物と改質粗粒度アスファルト混合物からなる混合再骨は、一般再骨に比べ粒度が粗く、また針入度は20を下回っている。

2－4 使用混合物

試験施工に使用した再生密粒度アスファルト混合物の配合設定結果を表－5に示す。

表－5 配合設定結果

項 目	配合1	配合2	配合3	配合4	
骨材配合率 (%)	混合再骨	60	60	20	—
	一般再骨	—	—	40	60
	新材	40	40	40	40
再生用添加材添加量 (%)	13.5	7.1	8.8	6.4	
設定アスファルト量 (%)	5.6	5.8	5.4	5.3	
密度 (g/cm ³)	2.373	2.366	2.383	2.385	
空隙率 (%)	3.9	4.0	3.8	3.9	
飽和度 (%)	76.6	76.7	76.4	75.6	
マーシャル安定度 (kN)	18.6	22.5	17.4	16.9	
フロー値 (1/100cm)	33	33	34	35	
再生アスファルト針入度 (1/10mm)	51	40	54	55	

2－5 再生混合物の製造

試験施工に使用した再生混合物の製造条件を表－6に示す。「配合1～3」の混合物出荷温度は、①排水性舗装発生材が含まれていること、②施工時期が冬季であることを考慮し、一般再生混合物の「配合4」よりも15℃高い、175℃に設定した。

表－6 混合物の製造条件

項 目	配合1、配合2 配合3	配合4 (一般再生)
再生骨材温度 (℃)	170	140
新骨材温度 (℃)	260	240
混合時間	ドライ(秒)	15
	ウェット(秒)	45
目標排出温度 (℃)	175	160

再生ドライヤーでの混合再骨の所要温度確保が難しいなどの課題はあったが、上記した製造条件により製造した結果、各再生混合物は、目標とした混合物温度を確保でき、団粒も認められなかった。

2－6 施工

試験施工に使用した施工機械は、通常の舗装に用いられる一般的なものとした。

施工は、1日目に「配合1」および「配合2」を、2日目に「配合3」および「配合4」を実施した。施工当日の施工中の気温は1日目が3～4℃程度、2日目が5～9℃程度と気温が低い状態での施工となった。施工状況を写真－1に示す。



写真－1 表層施工状況

施工性の確認を行うため、現場担当者および作業従事者等に対してアンケート調査を実施した。その結果、「配合1」および「配合2」については、敷きならし時のスコップ作業やレーキ作業が「配合4（一般再生混合物）」に比べ、「やや重い」という回答が多く、混合物の作業性に関する課題があげられた。しかし、アスファルトフィニッシャーによる敷きならしや転圧作業については、一般再生混合物と大差ない結果となり、機械施工については大きな課題は認められなかった。

切り取り供試体の締固め度および厚さを図－3に示す。各配合とも99%以上の締固め度が得られており、十分な締固めがなされていた。

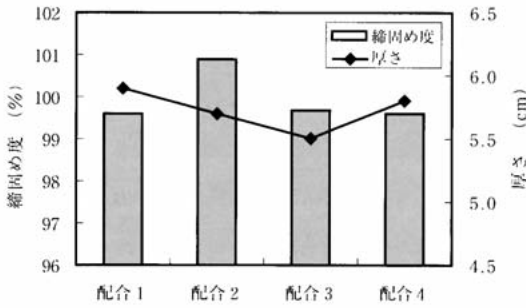


図-3 切り取り供試体の締固め度および厚さ

3. 追跡調査結果

3-1 追跡調査の概要

(1) 調査年月日

供用1年後：平成17年5月24、25日（夜間）

供用2年後：平成18年5月17日（夜間）

(2) 調査項目および頻度

調査項目および頻度を表-9に示す。

表-9 調査項目および頻度

調査項目	測定方法	測定頻度
わだち掘れ量	横断プロフィールメータ	10測線/工区
平坦性	3mプロフィールメータ	4測線/工区
ひび割れ率	目視による方法	全面/工区
すべり抵抗	BPN・DF	2点/工区
路面のきめ深さ	MTM	4測線/工区

3-2 調査結果

(1) 路面のわだち掘れ量測定結果

横断形状の測定結果から各工区のわだち掘れ量を平均した結果を図-4に示す。

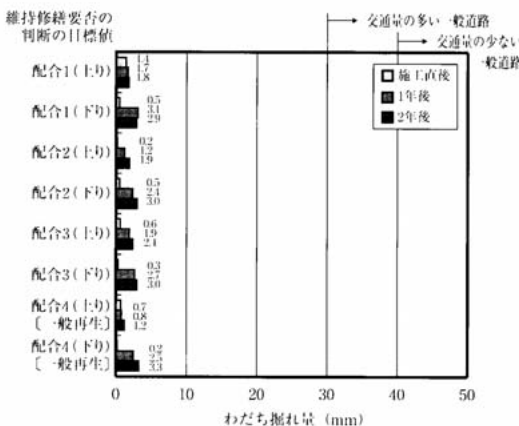


図-4 路面のわだち掘れ量測定結果

わだち掘れ量は、供用年数が増すほど増加する傾向を示しているが、施工直後からの各工区平均わだち掘れ量の増加は1.4~2.2mmであり、工区間の顕著な差は認められない。

(2) 平坦性測定結果

路面の平坦性測定結果を図-5に示す。

標準偏差の経時変化量は、配合1から配合3については、若干ばらつきがあるものの少量である。これに対し、配合4（一般再生）の経時変化量が最も大きい。工区に信号機を伴う交差点があり、車両の停止や発進等の影響も考えられる。なお、施工1年後から2年後にかけての変化量は各工区とも0.2mm程度であり、収束の傾向にあると見られる。

なお、本データは本来であれば控除すべきマンホール部や交差点内部等の個所もすべて含んだ値であり、この影響により各工区間の標準偏差には差異が生じている。

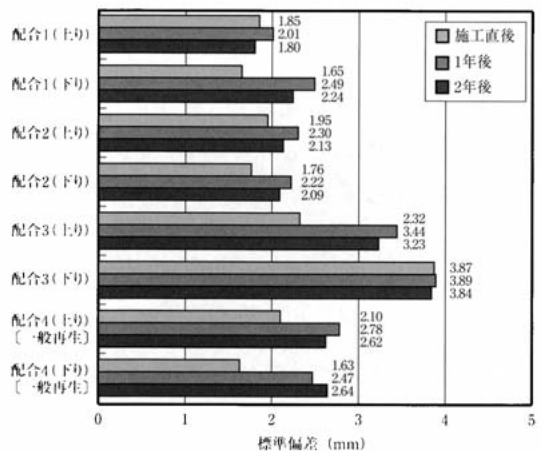


図-5 平坦性測定結果 (OWP)

(3) ひび割れ測定結果

路面のひび割れ測定結果は、各工区とも供用2年間が経過した現在でも、ひび割れの発生は認められない。また、配合1および配合2の左車線に施工直後より発生した微小な数個（3~4個）のピンホールにも変化は認められなかった。参考として、供用2年後の配合2の供用状況および路面性状を写真-2および写真-3に示す。



(4) すべり抵抗測定結果

湿潤路面のBPN測定結果を図-6に、動的摩擦係数の測定結果を図-7に示す。

BPNは、供用2年後の現在も各工区で57~60の範囲にあり、施工直後とほぼ変わらない値となっており、一般に申し分ないすべり抵抗性を保っていることが示された。また、各工区のすべり抵抗性にも差は認められない。

動的摩擦係数(40km/hr)は、供用2年後の現在も各工区で0.57~0.59 μ の範囲にあり、施工直後とほぼ変わらない値となっており、十分なすべり抵抗性を保っていることが示された。また、各工区のすべり抵抗性にも差は認められない。

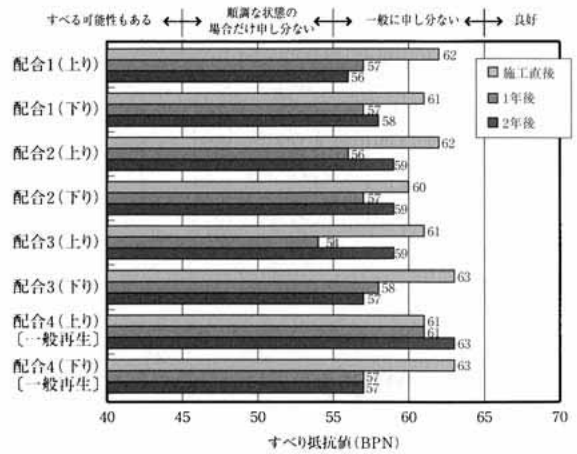


図-6 BPN測定結果 (OWP)

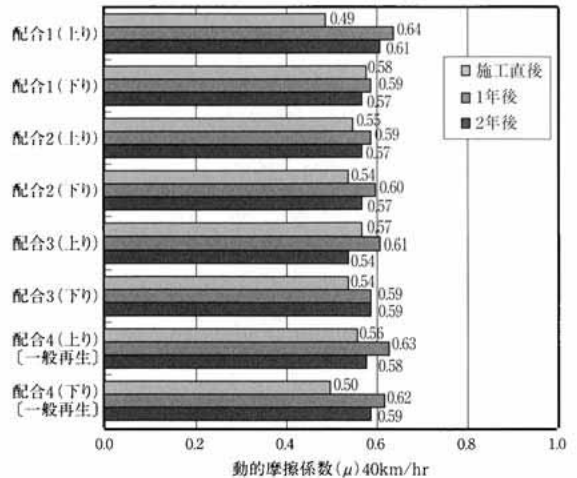


図-7 DFテスターによるすべり抵抗測定結果 (OWP)

(5) 路面のきめ深さ測定結果

路面のきめ深さ測定結果を、図-8に示す。

きめ深さは、供用2年後の各工区で0.26~0.33mmの範囲にあり、配合4が最もきめが浅いが、施工直後からの変化量は、各工区とも0.05mm程度であり、各工区の差は認められない。

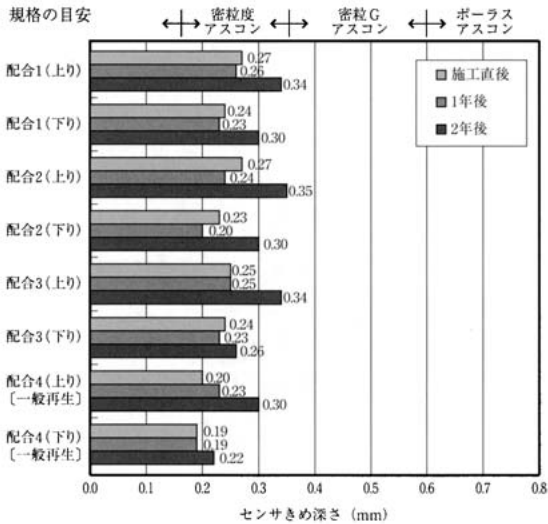


図-8 路面のきめ深さ測定結果 (OWP)

(6) 維持管理指数 (MCI) の比較

各工区の平たん性、わだち掘れ量、ひび割れ率を使用し、維持管理指数 (MCI) を (1) 式により算出した結果を図-9に、評価区分を表-10に示す。

維持管理指数は、何れの工区もAランクで良好な路面状態を維持しており、供用2年後の時点では各工区の供用性に違いは認められない。

$$MCI = 10 - 1.48C^{0.3} - 0.29D^{0.7} - 0.47\sigma^{0.2} \quad (1)$$

ここに、 σ : 平たん性 (mm)
 C : ひび割れ率 (%)
 D : わだち掘れ深さの平均 (cm)

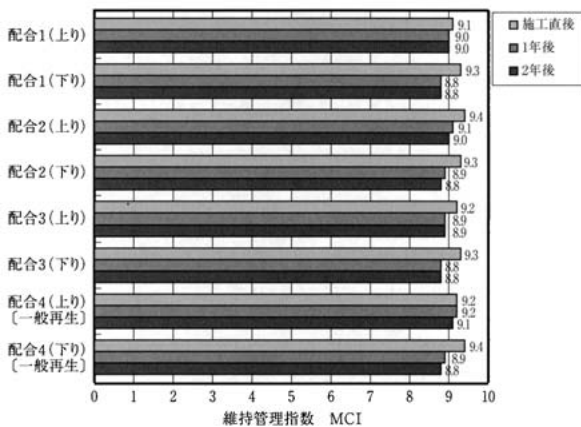


図-9 供用2年間のMCIの変化

表-10 MCIにおける評価区分 (参考)

MCI	ランク	内容
10	A	全く欠陥が認められない
8	B	幾分欠陥があるが、良好とみなされる
6	C	欠陥は多いが修繕を要しない
4	D	簡単な維持修繕を要する
2	E	大規模な修繕を要する

4. おわりに

今回の試験施工においては、排水性混合物と改質粗粒度アスファルト混合物の混合切削発生材を破碎分級した混合再生骨材を配合した各種の再生密粒度アスファルト混合物は、混合物の製造性などに若干の課題を残すものの、一般再生骨材を用いた再生密粒度アスファルト混合物とほぼ同等の混合物性状や仕上がり状態が得られた。

また、供用2年後の追跡調査結果からも、一般再生密粒度アスファルト混合物と供用性に差異のないことが確認され、現時点では一般発生材、改質発生材および排水性発生材を組み合わせ得られた再生骨材を使用したことによる供用性への影響は認められなかった。

以上のことより、今後は長期供用性評価や製造性等の課題解決が必要とはなるが、排水性舗装発生材の汎用的なプラント再生舗装工法確立への可能性が見出されたものと考えられる。

【参考文献】

- 1) 貫井 武：排水性混合物発生材の再生技術の検討、アスファルト合材No.70、2004.4
- 2) 稲葉行則、貫井 武：排水性舗装発生材を使用した再生密粒度アスコンの試験施工について、アスファルト合材No.72、2004.10