

基層改善も考慮した高機能舗装の再生技術の開発

東 滋夫¹・坂本康文²・田中敏弘³・大井明⁴・神谷恵三⁵

¹ 正会員 鹿島道路株式会社 技術研究所 (〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1)

E-mail: higashi@kajimaroad.co.jp

² 正会員 鹿島道路株式会社 技術研究所 (〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1)

³ 正会員 中日本高速道路株式会社 東京支社 八王子工事事務所 (〒192-0907 東京都八王子市長沼町 1305-3)

⁴ 正会員 株式会社高速道路総合技術研究所 (〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1)

⁵ 正会員 株式会社高速道路総合技術研究所 (〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1)

高機能舗装は近い将来、一気に更新期を迎えるものと推察され、再生技術の確立が急務である。しかし、現状では高機能混合物への再生骨材の混入率は30%程度が限界とされているうえ、5mm以下の再生骨材の多くは再利用されず廃棄されている。一方、高機能舗装下の基層混合物においては離損傷が散見されることから、既設基層混合物の耐久性の改善が同時に求められている。そこで本研究では、上記のような課題の解決を目指し、再生骨材の高混入率化と再生骨材 5～0mm の再利用方法について検討するとともに、既設基層混合物の耐久性改善も同時に行う再生技術の検討を行った。その結果、高機能混合物の再生に関しては、再生骨材混入率が80%程度まで高められる可能性を示し、5mm以下の再生骨材は基層再生時の補足材として用いることにより再利用を可能とした。

Key Words : porous asphalt pavement, hot in-place recycling, plant recycling, recycling agent

1. はじめに

高速道路における高機能（ポーラスアスファルト）舗装は路面湿潤時の走行安全性の向上を目的に1998年に本格的に導入され、現在では高速道路会社（以下、NEXCOという）が運営する高速道路の表層の標準工種となっている。以来、全国の高速道路において高機能舗装化が鋭意進められ、2008年現在で高速道路の表層全体の約70%が高機能舗装となっている。

このような急速な高機能舗装化の進展に加え、初期に施工された高機能舗装においては、導入から10年以上が経過しており、舗装の機能低下とともに老化も進んでいることから、近い将来、多くの高機能舗装が一気に更新期を迎えるものと推察される。高機能舗装の補修工法は、これまで新規混合物による切削オーバーレイ工法が一般的であったが、循環型社会の形成のためには高機能舗装の再生技術の開発が大きな社会責務となっている。しかし、過去に実施された検討では、高機能混合物への再生骨材13～5mmの混入率は30%程度が限界とされているうえ、分級した再生骨材のうち粒径5～0mmの再生骨材は再生加熱ドライヤー内における高粘度改質アスファルトモルタル分の付着が懸念されることから、その多くが再利用されずに廃棄されていることなど、大きな技術的課題が残されている^{1) 2) 3)}。

一方、高機能舗装は雨水を基層上面に滞留・流下させることから、高機能舗装下の基層混合物のはく離に起因した局所的な側方流動といった損傷が、供用後の比較的早期から散見されるようになってきており、基層混合物の耐久性の改善が同時に求められている^{4) 5)}。

そこで本研究では、上記のような課題の解決を目指し、再生骨材の高混入率化と再生骨材 5～0mm の再利用方法について検討するとともに、既設基層混合物の耐久性改善も同時に行う再生技術の検討を行った。室内配合設計、回転式舗装試験機による耐久性試験、NEXCO 管理事務所構内における試験施工を実施した結果、高機能混合物の再生に関して、本研究で用いた再生用バインダは、再生骨材 13～5mm の配合率を 80%程度とした場合でも新規高機能混合物と遜色のない性状まで回復可能であることを確認した。また、5mm以下の再生骨材はクッカー車を用いた緩速加熱、緩速混合により、再生加熱ドライヤーで問題となった攪拌羽根への付着を抑制し、路上再生工法による基層再生時の補足材として用いることにより再利用を可能とした。

以上の検討の結果、再生骨材 13～5mm の高混入率化と 5mm以下の再生骨材の再利用方法ならびに表基層同時再生技術に関して実用化の可能性が見出せたことから、これらの研究成果について以下に報告する。



写真-1 高機能舗装の局部流動の例

2. 再生に関する基本方針

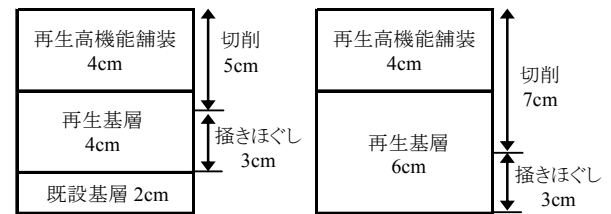
前述したとおり、高機能舗装は従来の表層工である密粒度混合物と異なり、雨水を基層上面に滞留・流下させることから、基層は水に曝されることになり、その結果、写真-1に示すような基層混合物のはく離に起因する高機能舗装の局部的な流動わだち掘れなどの損傷が顕在化している⁵⁾。また、基層混合物のはく離は基層表面部から発生し、徐々に下層へと進展していくことが知られている⁶⁾。

このような高機能舗装の損傷状況や社会的要請等に鑑み、再生工法に関する基本方針を以下のように定めた。

- 1) 高機能舗装下の基層混合物の損傷が見受けられる箇所に適用し、高機能表層のみならず基層混合物の再生も目指す。
- 2) 再生後の表層は高速道路の標準工種である高機能混合物とする。ただし、空隙率は17%以上として検討する。
- 3) 再生資源の有効活用の観点から、現地発生材の再利用率（再利用率した発生材の質量/発生材の全質量×100）は、可能な限り高くなるようにする。
- 4) 再生後の高機能混合物および基層混合物の性能は、それぞれ新規混合物と同等以上とする。
- 5) 車両等の走行安全性の観点から、再生前後で表層の基準高は変化させない（嵩上げは行わない）。

3. 工法の概要

以上の基本方針を踏まえ、表層の高機能混合物にはプラント再生工法を、また、基層混合物には発生材の再利用率を高めるため、リミックス方式による路上再生工法を適用することを基本とした。また、既設舗装の切削発生材を5mm以上と5～0mmの粒径に分級し、5mm以上については表層の高機能混合物の再生骨材として、また、従来は廃棄されることが多かった5～0mmについては基



〔切削パターンⅠ〕

〔切削パターンⅡ〕

図-1 再生後の断面と切削パターン

層再生時の補足材として再利用することとした。

具体的な再生方法は以下に示すとおりである。

- 1) 図-1に再生後の断面を示す。まず既設の高機能舗装（4cm）と基層の一部分（1cmまたは3cm）を切削し、当該工事専用に仮設した再生アスファルトプラント（以下、サテライトプラントという）へ運搬する。切削パターンⅠは既設基層混合物の損傷が表面から比較的浅い場合を、また、切削パターンⅡは損傷が全層に及んでいる場合を想定して設定したものである。ここで、基層の一部まで余剰に切削する理由は、既設基層の路上再生時に5～0mmの補足材が入る余裕を残すためである。
- 2) サテライトプラントに運搬された切削材を、振動スクリーンで粒径5mm以上と5～0mmに分級する。
- 3) 分級した5～0mmの再生骨材は、既設基層をリミックス工法により再生する際の補足材として、また、5mm以上の再生骨材はサテライトプラントにて再生高機能混合物を製造する際の再生骨材として用いる。なお、表基層の施工は1日の工事規制時間内に完了し交通開放する。

ここで、サテライトプラントは、当該工事専用に仮設するものであるため、大量出荷が可能となるとともに、どのような現地状況においても適切な材料管理が可能となる。これは、多種のアスファルト混合物を同時に扱っている定置式プラントでは達成することができない、サテライトプラントの大きなメリットであり、このことにより高い再生率を持って現地発生材を現地に戻すという基本コンセプトを達成し得るものと考えられる。

4. 試料採取

(1) 概要

検討に先立ち、室内配合設計および回転式舗装試験機による耐久性試験等の供試体作製に必要な試料を、供用中の高速道路の高機能舗装区間より採取した。

採取方法の概要は以下に示すとおりである。

- 1) 採取場所：館山自動車道 上り線 走行車線
(61.12KP～61.49KP)

表-1 採取試料のアスファルト性状

採取試料の種類	表層(高機能混合物)			基層(加熱掻きほぐし)		
	採取試料		(参考) [*] 一般性状例	採取試料		(参考) ^{**} 一般性状例
	5mm以上	5~0mm		5mm以上	5~0mm	
抽出後の性状						
旧アスファルト量 %	3.9	6.5	—	5.1	—	—
針入度 1/10mm	23	35	50	20	64	—
軟化点 ℃	73.5	70.0	97.5	62.0	50	—
針度(15℃) cm	15	9	85	8	150+	—
曲げ仕事量(-20℃) ×10 ⁻³ MPa	24.1	41.2	115	—	—	—

^{*}高粘度改質アスファルトの例 ^{**}ストレートアスファルト 60~80 の例

表-2 再生基層混合物の要求性能と評価基準

要求性能	試験項目 (試験方法)	評価基準
流動抵抗性 (60℃)	ホイール トラッキング試験 (舗装調査・試験法便覧 B003)	動的安定度 ≥1,000回/mm
はく離抵抗性	水浸ホイール トラッキング試験 (NEXCO試験法 244 2005)	はく離面積率 ≤5%
	修正ロットマン試験 (AASHTO T283)	はく離抵抗性に 問題がないこと
不透水性	加圧透水試験 (舗装調査・試験法便覧B017T)	新規混合物 と同等以上 [*]

^{*}不透水性は、はく離抵抗性に問題がないことを確認した上で、新規基層混合物と同等以上と設定した。

- 2) 採取期日：平成20年2月8日
- 3) 供用年数：12年7ヶ月(表基層とも平成7年7月供用開始)
- 4) 採取方法
 - ・路面切削機にて、高機能混合物と基層混合物をそれぞれ単独で切削して、表層、基層の試料を採取した。
 - ・基層再生用の試料は路上再生を模擬し、表層切削後の既設基層面を路面ヒータ車にて加熱し、路上再生機（リミキサ）にて掻きほぐして採取した。
 - ・別途、既設表基層混合物の密度を確認するために、切り取り供試体を採取した。
 - ・切削パターンⅠ、Ⅱに対する試料調整は、机上計算により厚さの比に応じて表基層材を合成することで行った。

(2) 採取試料の性状

上記のようにして採取した試料についてふるい分け試験、ソックスレー抽出試験、アブソン回収試験および切り取り供試体の密度試験を実施した。ここではそのうち、表層の高機能混合物単体、ならびに加熱・掻きほぐした基層混合物の回収後のアスファルト性状を表-1に示す。

表-1より、採取した表基層材とも一般的な性状値と比較して旧アスファルトの劣化が進んでいることがわかる。

5. 再生基層混合物に関する検討

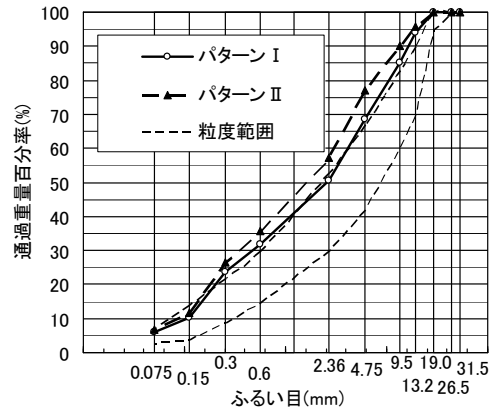


図-2 再生基層混合物の粒度曲線

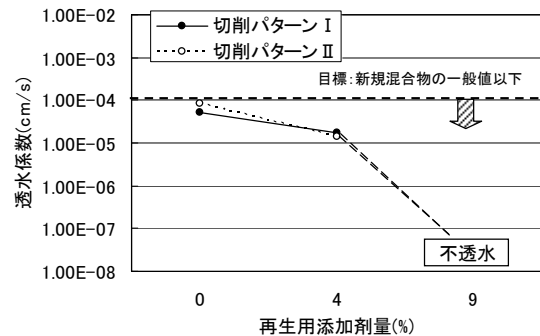


図-3 加圧透水試験結果

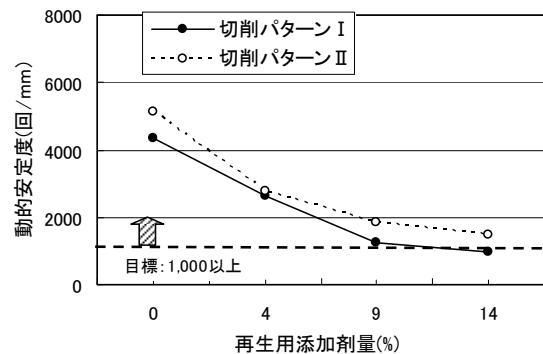


図-4 ホイールトラッキング試験結果

(1) 要求性能と試験項目

再生基層混合物に対する要求性能、試験項目および評価基準は、NEXCO 規格に準拠して表-2 に示すとおり設定した。なお、はく離抵抗性試験である修正ロットマン試験は NEXCO 規格にはないが、比較検討のために実施したものである。また、基層混合物の不透水性能に関する NEXCO 規格はないため、はく離抵抗性に問題がないことを確認した上で、新規基層混合物と同等以上と設定した。

(2) 路上再生工法を想定した配合設計

基層混合物の配合設計は路上再生工法を想定し、既設基層混合物の加熱・掻きほぐし材と切削パターンⅠまたはⅡに合致するよう合成した表層切削材を分級した 5~0mm の再生骨材およびアスファルト系の再生用添加剤を混合し、マーシャル供試体を作製することにより実施した。再生基層混合物の骨材粒度曲線を図-2 に示す。

切削パターンⅠ、Ⅱとも再生骨材 5～0mm を補足材として使用しているため、骨材粒度は細粒側にシフトし標準粒度範囲から逸脱している。しかしながら、本研究における再生基層混合物の要求品質として不透水性の改善を目指していることから、粒度が細粒側にシフトすることは不透水性能の改善に寄与するものと考え、標準粒度範囲からの逸脱は許容するものとした。なお、締固め温度は現場施工を念頭に置いて 110℃とし⁷⁾、突固め回数は 75 回とした。図-3、4 に混合物性状の一例を示す。図-3 より、再生用添加剤量の増加に伴い不透水性能は向上する傾向にある。また図-4 より、動的安定度は再生用添加剤量の増加に伴い低下する傾向にあるが、9%添加までであれば目標値を満足できることがわかった。このような結果となった理由は、透水係数、動的安定度とも再生用添加材量を含めた総バインダ量との関連性が深いためであると考えられる。なお、水浸ホイールトラッキング試験ならびに修正ロットマン試験を実施した結果、これらの再生基層混合物は離抵抗性に問題がないことを確認している。

路上再生工法の場合、再生混合物の混合時間はリミキサの施工速度に依存し、通常は中央プラント混合方式に比べて短くなる。そのため、過去の経験からも再生用添加剤の添加量は混合性の観点から必要最小限にとどめることが望ましく、図-3、図-4 の結果も考慮して添加量は 4%が適量と判断した。

6. 再生高機能混合物に関する検討

(1) 要求性能と試験項目

再生高機能混合物に対する要求性能、試験項目および評価基準は、表-3に示すとおり設定した。

(2) 再生用バインダ

再生高機能混合物に使用する再生用バインダは、既報にて開発した再生用バインダBとした^{8) 9)}。再生用バインダBは、混合物性状を回復させるためにアスファルテン量とポリマー量を適度に調整したものであり、高粘度改質アスファルトを含む再生骨材であっても、その混入率が 50～80%の範囲であれば、新規混合物と同等以上の性能が確保できることを既報にて確認している。なお、既報と同様、最適アスファルト量は新規高機能混合物と同じアスファルト量 (4.9%) とし、旧アスファルトの不足分を再生用バインダで補うこととした。

(3) 検討配合

切削パターンⅠ、Ⅱのそれぞれについて、再生骨材混入率を表-4のとおり設定し、室内検討を行った。なお、比較のため新規高機能混合物についても試験を実施して

表-3 再生高機能混合物の要求性能と評価基準

要求性能	試験項目 (試験方法)	評価指標	試験条件	評価基準
低温領域における飛散抵抗性	低温カンタブロ試験 (舗装調査・試験法便覧 B010)	カンタブロ損失率 (%)	試験温度 0℃	新規混合物と同等以上
高温領域における飛散抵抗性	回転ホイールトラッキング試験 (ソリッドタイヤ使用) (舗装性能評価法別冊 1-3準拠)	変位量 (mm)	試験温度 60℃ 載荷荷重 686N	
高温領域における流動抵抗性	ホイールトラッキング試験 (舗装調査・試験法便覧 B003)	動的安定度 (回/mm)	試験温度 60℃ 載荷荷重 686N	
低温領域におけるひび割れ抵抗性	曲げ試験 (舗装調査・試験法便覧 B005)	曲げ破断ひずみ	試験温度 -10℃ 載荷速度 50mm/min	

表-4 再生高機能混合物の検討配合

切削パターン	再生骨材混入率 (%)					
	50	60	70	80	90	100
Ⅰ		○	○	○	○	○
Ⅱ	○	○	○	(○)	(○)	(○)

※○が試験を行った配合であることを示す。ただし、(○)は空隙率のみを測定。

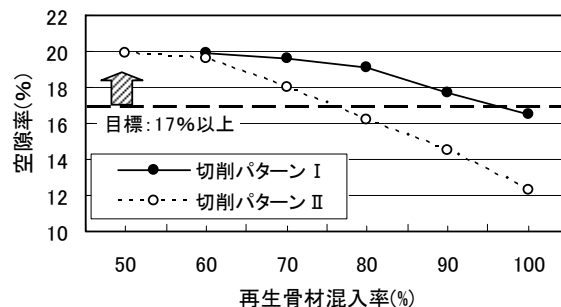


図-5 再生骨材混入率と空隙率

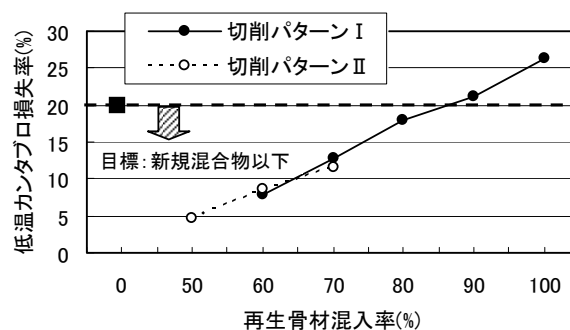


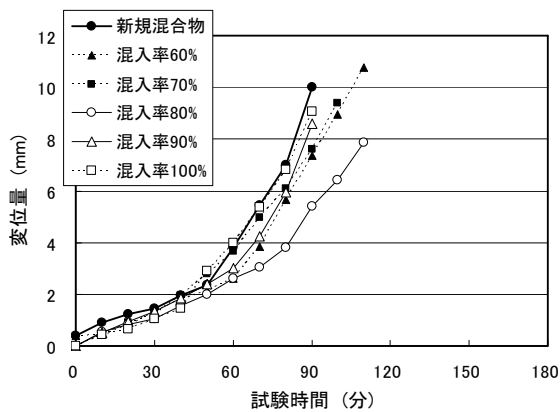
図-6 低温カンタブロ試験結果 (0℃)

いる。

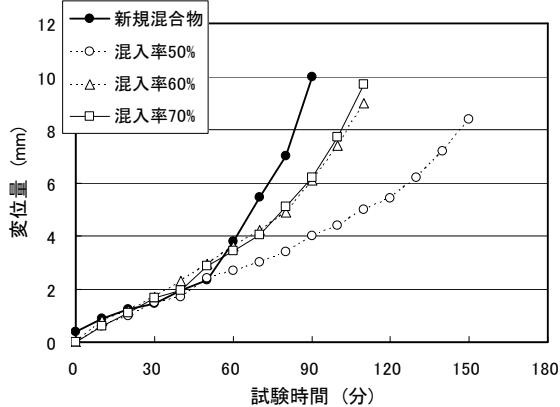
(4) 試験結果

a) 空隙率

各配合における空隙率の測定結果を図-5に示す。この結果、空隙率が17%以上となるための再生骨材混入率の上限は、切削パターンⅠで90%、切削パターンⅡで70%であることが分かった。なお、同一再生骨材混入率で比較すると切削パターンⅡの方が空隙率が小さくなっている。この理由は、切削パターンⅠよりも切削パターンⅡの方が基層切削材が多く混入しているため、抽出後の骨



a) 切削パターン I



b) 切削パターン II

図-7 回転ホイールトラッキング試験結果

材粒度が細くなったことが主な要因であると考えられる。

b) 低温カンタブロ試験結果

0℃における低温カンタブロ試験結果を図-6 に示す。カンタブロ損失率はいずれの切削パターンにおいても、再生骨材混入率の増加に伴い上昇する傾向を示した。本試験の結果より、新規混合物のカンタブロ損失率 20.1% と同等以上の骨材飛散抵抗性を有する再生骨材混入率の上限は、切削パターン I で 80%、切削パターン II では 70% であることが確認できた。

c) 回転ホイールトラッキング試験結果

各切削パターンにおける回転ホイールトラッキング試験結果を図-7a), b) に示す。変位量が 10mm に達するまでの時間は、いずれの切削パターンにおいてもすべての再生骨材混入率において新規混合物よりも長くなっていることから、十分な骨材飛散抵抗性を有していることが確認できた。これは、開発した再生用バインダに含まれるポリマー分が骨材飛散を抑えた結果であると考えられる。

d) ホイールトラッキング試験結果

ホイールトラッキング試験結果を図-8 に示す。この結果から、いずれの切削パターンともにすべての再生骨材混入率において、新規混合物の動的安定度 5,250 回/mm と同等以上の耐流動性を有していることが確認された。再

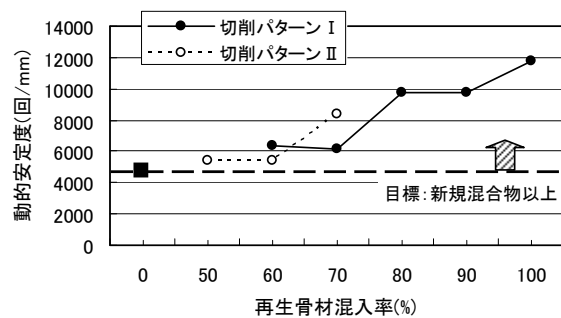


図-8 ホイールトラッキング試験結果

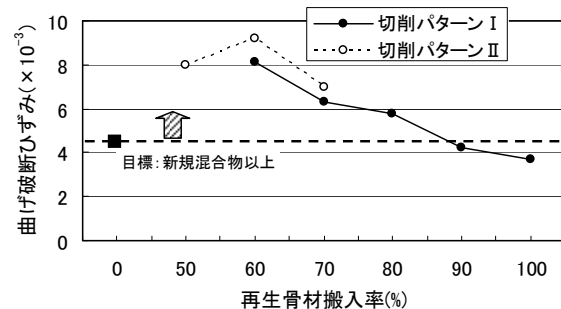


図-9 曲げ破断ひずみの結果 (-10℃)

表-5 室内試験結果一覧

要求性能	評価指標	要求性能を満足する再生骨材混入率	
		切削パターン I	切削パターン II [*]
空隙率 17%以上	空隙率	90%	70%
低温領域における飛散抵抗性	カンタブロ損失率	80%	70%
高温領域における飛散抵抗性	変位量	100%	70%
高温領域における流動抵抗性	動的安定度	100%	70%
低温領域におけるひび割れ抵抗性	曲げ破断ひずみ	80%	70%

^{*}切削パターン II の再生骨材混入率 80% 以上については、空隙率が 17% 未満となるため、試験は実施していない。

生骨材混入率が高いほど動的安定度が大きくなる傾向を示しているが、その理由として再生骨材混入率が高くなるにしたがい再生用バインダの添加量が少なくなるため、再生骨材中に含まれる旧高粘度改質アスファルトの性状の回復具合、特にアスファルテン分の減少効果が薄れた可能性があると考えられる。

e) 曲げ試験結果

各切削パターンにおける再生骨材混入率と曲げ破断ひずみの関係を図-9 に示す。この結果より、概して再生骨材混入率の増加に伴い曲げ破断ひずみは低下する傾向を示す。この理由は、上記 d) と同様のことが考えられる。本試験の結果より、新規混合物の曲げ破断ひずみ 4.5×10^{-3} と同等以上のひび割れ抵抗性を有する再生骨材混入率の上限は、パターン I で 80%、パターン II では 70% であることが確認できた。

表-6 回転式舗装試験機の走行条件

試験概要	基層のはく離試験	流動試験
軌道	内軌道	外軌道
タイヤの種類	大型ラジアル・ダブル	大型ラジアル・シングル
載荷重 ton	5	2.5
走行速度 km/h	60	80
走行輪数	90万輪	100万輪
目標温度(路面下2.5cm)℃	50	45~55
シフト mm	0	±100
散水条件	走行前散水(滞水)	なし

f) 室内試験結果のまとめ

室内試験結果の一覧を表-5に示す。この結果から、空隙率17%以上を確保し、かつ表-3に示した要求性能をすべて満足する再生骨材混入率の上限は、切削パターンⅠで80%、切削パターンⅡで70%であることが分かった。

7. 回転式舗装試験機による評価

(1) 試験概要

再生高機能混合物と再生基層混合物の耐久性を確認するため、回転式舗装試験機による耐久性試験を実施した。

再生高機能混合物の配合は、室内検討で良好な結果が得られたものを選定することとし、切削パターンⅠについては再生骨材混入率60%と80%、切削パターンⅡについては70%とした。また、基層混合物については、図-2に示したそれぞれの切削パターンに相当する粒度となるよう配合したものを用いた。

回転式舗装試験機の試験条件は表-6に示すとおりであり、内軌道で基層のはく離促進試験を、外軌道で流動試験を実施した。なお、比較のため、表基層とも新規混合物を用いた供試体についても同時に試験を実施している。

(2) 試験結果

a) 基層混合物のはく離試験

再生基層混合物のはく離抵抗性を評価する方法は、90万輪走行させた供試体の軌道部から、水浸ホイールトラッキング試験に準じ300mm×300mmのブロックを切り出し、はく離面積率を算出した。その結果、いずれの切削パターンとも再生基層混合物はすべての再生骨材混入率においてははく離面積率が0%であったのに対し、新規基層混合物では平均5.2%のはく離面積率であった。再生基層混合物の方がはく離が生じにくいという結果となった要因として、再生基層混合物に用いられている5~0mmの再生骨材には高粘度改質アスファルトが含まれていること、および総バインダ量が新規混合物よりも多くなっていることなどが考えられる。

b) 基層混合物の加圧透水試験

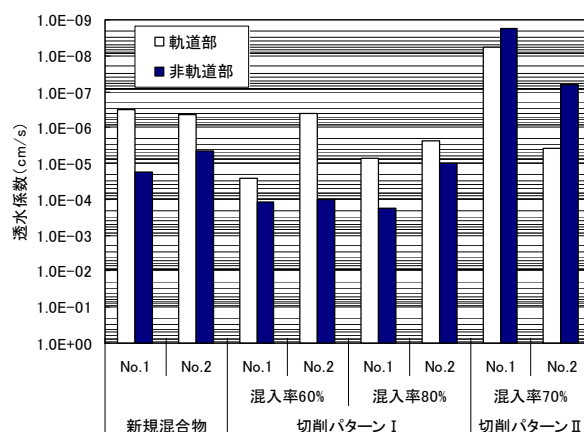


図-10 加圧透水試験結果

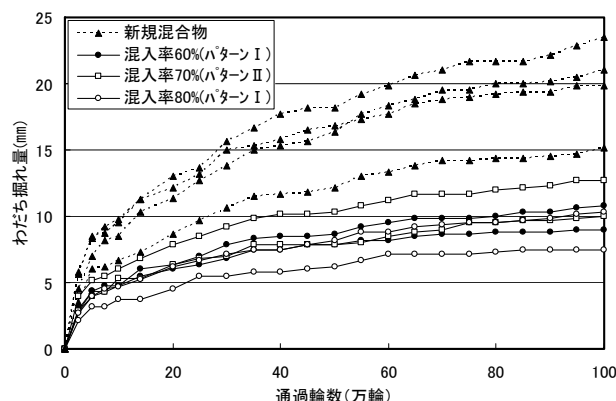


図-11 流動試験結果

回転式舗装試験機の供試体の内軌道部および非軌道部より、それぞれ3個の切取供試体（φ10cm）を採取し、高機能表層部分を取り除いた基層部分のみについて加圧透水試験を行った。試験結果を図-10に示す。ばらつきはあるものの、再生基層混合物は、新規基層混合物とほぼ同程度の透水係数が得られている。特に切削パターンⅡの再生基層混合物はより不透水性に優れているという結果が得られた。これは切削パターンⅠよりもⅡの方が補足材として用いている5~0mm再生骨材の配合率が高いため、粒度が細粒側となったこと、および5~0mm再生骨材に含まれている旧アスファルト量が多いことから、混合物全体としての総バインダ量が高くなっていることが要因として挙げられる。

c) 流動試験

回転式舗装試験機を100万輪走行させることにより、表層と基層を合わせた混合物（以下、表基層混合物という）の耐流動性の確認を行った。試験結果を図-11に示す。今回試験を実施した3種類の再生表基層混合物に発生するわだち掘れは、すべての供試体において新規表基層混合物より小さくなっており、最終の100万輪走行後の値では、約1/2となっている。このことより、再生表基層混合物は、新規表基層混合物に比べ耐流動性に優れているという結果が得られた。この理由として、図-8に示し

表-7 試験施工の選定配合

混合物種別	選定配合	
再生基層混合物	補足材(5～0mm再生材)の厚さ	10mm相当
	既設基層の掻きほぐし厚さ	30mm
	再生用添加剤	既設基層混合物のAs量に対して4%
再生高機能混合物	13～5mm再生材の配合比	70% (骨材重量比)
	新規骨材の配合比	30% (骨材重量比)
	総バインダー量 (再生用バインダー含む)	4.9%

たように表層の動的安定度が新規高機能混合物よりも再生高機能混合物の方が大きいことが影響しているものと考えられる。

8. 試験施工

(1) 試験施工概要

前章までの検討で、当該方法による表基層同時再生は可能であると判断し、試験施工を実施することとした。

本試験施工は表層のみならず基層までを対象とした再生工法の施工性および仕上がり路面の性状等を確認することを目的としたものである。なお、本研究で検討対象としているサテライトプラントは費用的な制約があり、今回は設置していない。そこで、現場の近くに設置するというサテライトプラントの条件に合致するよう、実際に出荷する定置式プラントから約2kmの距離にある東北自動車道・加須管理事務所構内の高機能舗装区間を試験施工場所として選定した。

(2) 試験施工配合

前章までの検討で用いた再生骨材と試験施工箇所の混合物は異なることから、試験施工を行う約1ヶ月前に試験施工箇所の既設舗装から、切削パターンIで切削材を採取し、5mmふるいによる分級を行った。そして、前章までの検討と同様に、分級後の5～0mm再生材は再生基層混合物用の補足材として使用するものとし、13～5mmについては再生高機能混合物用の再生骨材として使用するものとして、再度、配合設計を実施した。表-7に決定した再生基層混合物および再生高機能混合物の配合を示す。なお、試験施工における切削パターンをI、再生高機能混合物の再生骨材混入率を70%とした理由は、再生高機能混合物の空隙率を出来る限り20%に近づけることを目標としたためである。

(3) 5～0mm再生骨材の加熱実験

既設基層の路上再生時に補足材として用いる5～0mmの再生骨材には高粘度改質アスファルトが含まれていることから、ストレートアスファルトを用いた混合物から製造した再生骨材に比べ、アスファルトモルタル分の粘

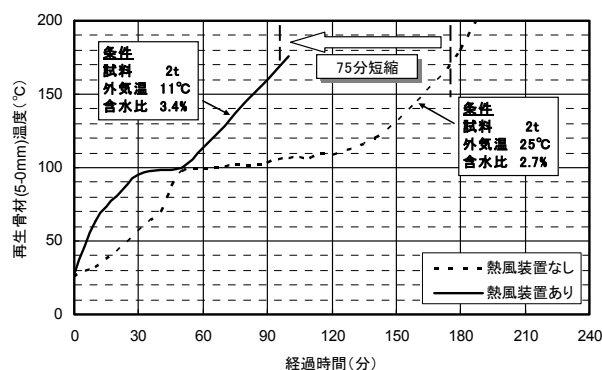


図-12 5～0mm再生骨材の加熱実験結果



写真-2 熱風加熱バーナーと排風機

性が高くなる。そのため、これを内部温度が1,000℃にも達する再生加熱ドライヤーで一気に加熱すると、ドライヤー内や攪拌羽根等に付着が生じることが報告されており^{2) 3)}、さらに、再生骨材中の旧高粘度改質アスファルトの劣化やカーボンボールの発生に繋がること懸念される。

そこで、上記の課題を解決するためには、ドライヤーのような直火による急速加熱ではなく、間接加熱による緩速加熱が望ましいと考え、試験施工に先立って通常はグースアスファルトで使用されるクッカー車¹⁰⁾を利用して加熱実験を実施した。また、クッカー車の攪拌羽根の回転速度は非常に遅く、遠心力で混合物を周辺へ追いやることもなく、混合物全体を攪拌できるため、クッカー車内での付着やカーボンボールの発生も抑制できると考えられる。

加熱実験において、まず、通常状態のクッカー車に5～0mm再生骨材を2トン投入し加熱を行ったところ、図-12の破線で示すように、混合物温度が100℃付近となったところから横ばいになり、目標とした170℃に達するまでの時間は175分と長時間を要した。この理由は、5～0mm再生骨材中に含まれる水分が完全に蒸発し、大気中に放散されるまで温度上昇が妨げられたためと考えられた。そこで、写真-2に示すように、クッカー車の上部に熱風加熱バーナーと排風機を設置し、蒸気を強制的に排出させるような工夫を施し、再度昇温実験を実施した。その結果、5～0mm再生骨材の温度が170℃に到達するまでに要する時間は100分まで短縮することができた(図-12実線)。

なお、混合物の排出後にクッカー車内を観察したとこ

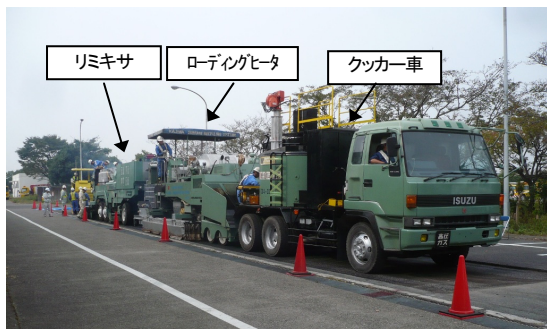


写真-3 既設基層混合物の再生状況

表-8 再生基層混合物の性状

試験時期	マーシャル安定度 (kN)	残留安定度 (%)	透水係数 (cm/s)	動的安定度 (回/mm)
試験施工時	6.7	90	5.2×10^{-6}	1,120
配合設計時	7.1	86	4.7×10^{-6}	1,160



写真-4 高機能混合物の敷均し状況

ろ、クッカー車内や攪拌羽根への混合物の付着やカーボンボールの発生も認められなかった。

以上の結果から、本方法により5～0mm再生骨材の加熱方法に関し、技術的な可能性は示せた。しかし、実用化のためには更なる時間短縮とクッカー車一台当りに投入する混合物質量の増量を図る必要があると考える。これらについては今後の課題としたい。

(4) 試験施工結果

a) 再生基層工の施工状況および混合物性状

写真-3に既設基層混合物の路上再生状況を示す。舗設は5～0mmの再生骨材の加熱・混合・運搬にクッカー車を用いたリミックス方式で行い、良好な施工性を有していることを確認した。また、表-8に示すとおり試験施工時の再生基層混合物は、配合設計時とほぼ同様の性状が得られた。

b) 再生高機能舗装工の施工状況および混合物性状

写真-4に再生高機能混合物の敷均し状況を示す。再生高機能混合物の舗設についても、良好な施工性を有していることを確認した。また、配合設計時と試験施工時の再生高機能混合物の性状は表-9に示すとおりであり、

表-9 再生高機能混合物の性状

試験時期	空隙率 (%)	低温カンタロ損失率 (%)	動的安定度 (回/mm)	曲げ破断ひずみ (mm/mm)
試験施工時	20.5	13.1	5,490	7.6
配合設計時	19.1	9.6	6,300	9.1

表-10 施工後の路面性能試験結果

測点	400cc流下時間 (秒)	すべり摩擦係数 (μ80)
No.0+5m	4.7	0.41
No.0+15m	4.9	0.40
目標値	6以下	0.25以上



写真-5 再生高機能混合物の仕上がり路面

試験施工で得られた性状は、配合設計時とほぼ同様の性状を示した。

c) 施工後の路面性状

試験施工後に実施した現場透水試験およびDF テスターによるすべり抵抗性試験の結果を表-10に示す。この結果より、400cc流下時間、すべり摩擦係数ともすべての測点において目標値を満足しており、施工した再生高機能混合物が良好な路面性状を有していることが確認された。

また、再生高機能混合物の仕上がり路面は、写真-5に示すとおり新規高機能混合物と遜色のないキメが得られていることを確認した。

9. まとめ

本研究の結果をまとめると、以下のとおりである。

- 1) 既設基層混合物の再生にはリミックス方式による路上再生工法を適用し、5～0mmの再生骨材を基層再生時の補足材として使用することで、新規基層混合物と同等以上の性能まで回復することを、室内試験ならびに回転式舗装試験機を用いた耐久性試験により確認した。
- 2) 基層再生時の補足材として用いる5～0mmの再生骨材は、クッカー車で緩速加熱・緩速混合することで、攪拌羽へのアスファルトモルタル分の付着とカーボン

ボール化を抑制することができた。また、クッカー車を用いることで舗設時の補足材の温度管理も容易に行うことができた。しかし、実用化を図るためには、混合物の温度上昇の更なる時間短縮とクッカー車一台当りに投入する再生骨材の増量が必要である。

- 3) 今回の検討では、再生高機能混合物は切削パターンⅠでは再生骨材混入率が80%まで、切削パターンⅡでは70%までであれば、良好な再生が可能であることを、室内試験ならびに回転式舗装試験機を用いた耐久性試験により確認した。ただし、使用する再生骨材の性状により配合可能な最大混入率は異なってくると考えられることから、現場ごとに配合設計を行い、混入率を決定する必要がある。
- 4) 試験施工の結果から、再生基層混合物および再生高機能混合物とも良好な混合物性状と施工性が得られていることを確認した。

10. おわりに

今回の研究により、再生基層混合物ならびに再生高機能混合物は、それぞれ新規混合物と遜色のない性状まで再生可能であり、また、試験施工の結果から、これらの再生混合物は良好な施工性を有していることが確認できた。このことから、今回開発を行った再生工法は技術的に可能であり、前述したクッカー車の課題とサテライトプラントの設置に関わる課題がクリアできれば実用化も可能であると考えている。

発生材の再利用率に関しては、再生高機能混合物および再生基層混合物を合わせて最終的に80%以上となったことから、本工法は循環型社会への貢献にも寄与できるものと考えている。今後は、実際に供用されている高速道路において試験施工を実施し、今回検討した再生工法によって補修された再生基層混合物および再生高機能混

合物の耐久性等について、長期的に追跡調査を行っていく必要があると考えている。

謝辞：試験施工場所として加須管理事務所内トラックヤードを提供して頂いたNEXCO 東日本本社、関東支社並びに加須管理事務所の関係各位に心より謝意を表する。

参考文献

- 1) 本松資朗, 小澤光一, 高橋光彦, 向後憲一: 高機能舗装のプラント再生に関する検討, 舗装, 38-7, pp.3-8, 2003.
- 2) 武本敏男, 峰岸順一, 鈴木勲: 再生した特殊開粒度アスファルト混合物の試験施工, 東京都土木技術研究所年報, PP.289~292, 2003
- 3) 松本大二郎, 川村和将, 高橋光彦, 大河内宝, 白戸孝治: 高機能舗装混合物のプラント再生に関する検討, 土木学会舗装工学論文集 第9巻, pp.125-132, 2004.
- 4) 東滋夫, 篠塚政則, 坂本健次, 金井利浩: アスファルト混合物のはく離抵抗性評価方法に関する研究, 道路建設, No.672, 2004.
- 5) 川村和将, 神谷恵三: NEXCO における舗装補修の現状と課題, アスファルト, Vol.50 No.222, 2007.
- 6) 本松資朗, 神谷恵三, 松本大二郎, 山田優: 既設基層混合物のはく離抵抗性の評価方法に関する研究, 土木学会舗装工学論文集 第9巻, pp.73-79, 2004.
- 7) (社) 日本道路協会, 舗装再生便覧, pp.63-64, 2004.
- 8) 西島克治, 東滋夫, 綿谷茂, 羽入昭吉, 稲宗治: 再生骨材混入率を高めたポーラスアスファルト舗装の再生技術に関する研究, 土木学会舗装工学論文集 第12巻, pp.141-147, 2007.
- 9) 東滋夫, 西島克治, 町田栄一, 菅野幸浩, 保刈昭仁, 稲宗治: ポーラスアスファルト舗装のプラント再生技術に関する研究, 道路建設, No.715, 2009.
- 10) 福川光男: 舗装技術者のための建設機械の知識, 舗装, 44-1, pp.35-40, 2009.

DEVELOPMENT OF THE RECYCLING SYSTEM FOR POROUS ASPHALT PAVEMENT INCLUDING BINDER COURSE MIXTURE

Shigeo HIGASHI, Yasufumi SAKAMOTO, Toshihiro TANAKA,
Akira OI and Keizo KAMIYA

In Japanese expressways, porous asphalt pavement is increasingly constructed every year. Early constructed sections have been in service for over 10 years and will soon require replacement. Thus, technologies for recycling of porous asphalt pavement should be urgently established. On the other hand, the distress of partial flow or rutting caused by stripping of aggregate of binder course mixture have been often observed recently. From such a background, the authors have examined the technologies for recycling not only surface course but also binder course for these three years. As a result of this study, the satisfactory recycling system are established by applying the plant recycling method for the porous asphalt pavement and hot in-place recycling method for binder course mixture.