

排水性舗装発生材から回収した細粒状再生骨材の有効活用方法について

BENEFICIAL REUSE OF RECYCLED FINE AGGREGATE FROM WASTE DRAINAGE PAVEMENT

藤森章記*・佐野正典**・東山浩士***・山田 優****・荒木 誠*****

by Akinori FUJIMORI, Masanori SANO, Hiroshi HIGASHIYAMA, Masaru YAMADA and Makoto ARAKI

1. はじめに

排水性舗装は雨天時における交通車両の走行安全性の向上や車両騒音の低減等に効果的な舗装として評価され、高速道路や主要幹線道路では標準的な工法となりつつある。これらのことから、排水性舗装の施工実績は全国的に増加し、道路構造令においても、平成13年の改正により、排水性（透水性）舗装の積極的な採用が謳われている。

排水性舗装の本格的な普及は平成7年頃からであるため、初期に建設されたものの多くは大規模な修繕や打ち換えの時期を迎え始めている。加えて、近い将来に訪れる排水性舗装発生材の発生量の爆発的な増大を見据えると、早急な対応策の検討が必要である。

従来の密粒度舗装等からのアスファルト舗装発生材についてのリサイクル技術は、既に指針¹⁾が確立されており、ほぼ100%に近い再生利用率を達成している。排水性舗装の再生利用技術に関しても、各地で試験施工が実施されるなど、多くの取り組みがなされている²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾。しかし、従来の再生利用技術を適用するためには、高粘度バインダーの使用をはじめとする排水性舗装特有の性状に起因した多くの課題が残されており、本格的な運用には至っていない状況である。

これらの背景を踏まえて、新都市社会技術融合創造研究会「排水性舗装混合物のリサイクル技術の研究」プロジェクトでは、従来の再生利用技術と異なる方法によるリサイクル技術の開発に取り組んできた⁶⁾。これらは再生過程の相違により、摩砕式および加熱式の2種類に分類する。

摩砕による方法は、排水性舗装発生材（切削材）を

*奥村組土木興業（株）環境開発本部技術部第一技術課（〒552-0016 大阪市港区三先 1-11-18）、**近畿大学教授 理工学部社会環境工学科、***近畿大学講師 理工学部社会環境工学科、****大阪市立大学名誉教授、*****（財）道路保全技術センター近畿支部舗装課長

特殊な摩砕装置に投入し、湿潤状態の装置内で金属性の回転羽根と球体を用いて連続的に“すりもむ”ことにより、切削材の周囲に付着するバインダーを剥離するものである⁷⁾。加熱による方法は、排水性舗装発生材（切削材）と粉状あるいは粒状の添加材とを既存のアスファルト混合物製造用プラントを用いて加熱混合することにより、バインダーが薄膜状に付着した粗骨材を分離回収するものである。

これらのリサイクル技術により再生した粗骨材については、排水性混合物の全粗骨材をこの再生粗骨材で構成した再生排水性舗装に関する検討を重ね、国道43号線において試験施工を実施した⁸⁾。この結果、新規混合物と同等の施工性と初期性状を確認し、追跡調査を継続中である⁹⁾。一方で、骨材の再生過程で多量に副産される細粒状の再生材料の有効活用方法に関して検討を重ねてきた。

本報は、この加熱式による再生技術を用いて排水性舗装発生材から回収される細粒状の再生材料について、その性状を確認し、効果的な利用方法を検討したものである。

2. 排水性舗装発生材のリサイクル方法

加熱式による排水性舗装発生材（切削材）のリサイクル技術（以下、加熱式骨材再生技術）の概要は図-1に示すとおりである。

排水性舗装発生材中に粉状あるいは粒状の添加材を投入して160～180℃で加熱混合し、発生材中に含まれる高粘度バインダーをこの添加材に付着させることにより再生骨材（写真-1）を回収する。さらに、再生骨材を分級して、粒径5mm以上の粗骨材（以下、再生粗骨材（写真-2））と粒径5mm未満の細粒状骨材（以下、細粒アスファルト材（写真-3））の2種類の再生骨材に分離する。

加熱式骨材再生技術は、既存のアスファルト混合物製造用プラントに適用可能であり、プラントに特別な改造を施すことなく再生骨材を製造することができる¹⁰⁾。

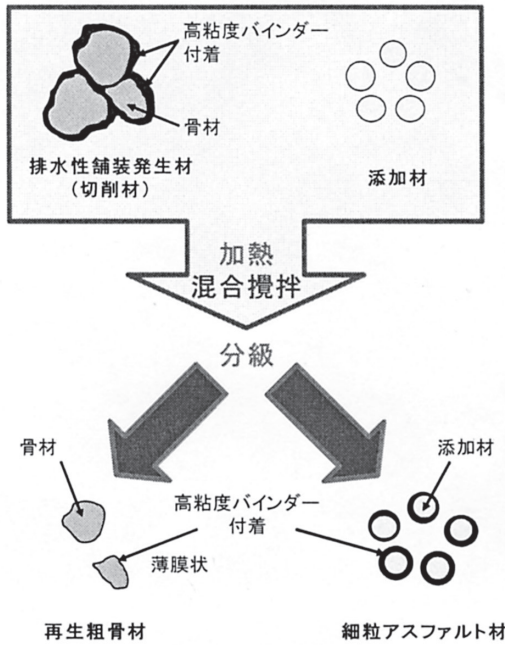


図-1 加熱式骨材再生技術

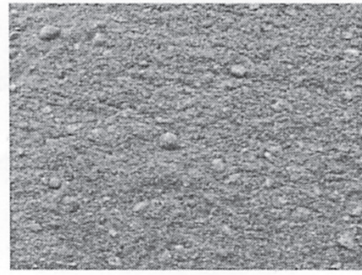


写真-1 再生骨材



写真-2 再生粗骨材



写真-3 細粒アスファルト材

3. 再生骨材の諸性状

3.1 概要

再生粗骨材および細粒アスファルト材は東亜道路工業(株)伊丹合材工場において、連続的な処理により製造した。主な製造工程は次のとおりである。

- ①排水性舗装発生材に砂状の添加材(高炉スラグ(水砕)、製品名:シンコーサンド)を1:1の重量比で加熱混合(160~180℃)する。
- ②混合攪拌して得られた再生骨材を5mm目のスクリーンで分級する。
- ③5mm以上を再生粗骨材、5mm未満を細粒アスファルト材として分離回収する。

3.2 再生粗骨材

回収した再生粗骨材の粒度分布およびアスファルト含有率は表-1に示すとおりであり、排水性舗装用の粗骨材として再利用可能な性状であると考えられる。

全ての粗骨材を再生粗骨材で構成した排水性混合物(以下、再生排水性混合物)の設計配合は、配合試験の結果から表-2に示すとおりとした。また、再生排水性混合物の物性試験の結果は表-3のとおりであり、全ての項目について新規混合物の目標値を満足することを確認した。

表-1 再生粗骨材の諸性状

粒度(mm)・加積通過率(%)								アスファルト含有率(%)	最大密度(g/cm ³)
19.0	13.2	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075		
100	96.2	6.0	4.1	3.8	3.6	2.8	1.9	0.82	2.672

表-2 再生排水性混合物の配合

材料名	配合比(%)	
	骨材配合	混合物配合
再生粗骨材	88	84.1
海砂	7	6.7
フィラー	5	4.8
ポリマー改質アスファルト	—	4.4 [5.09]
(植物繊維)	—	(0.1)

[]内は再生粗骨材に付着するアスファルト量を含めた値である

表-3 再生排水性混合物の諸性状

測定項目	測定値	目標値
見掛密度(g/cm ³)	2.004	—
空隙率(%)	19.7	20±0.5
安定度(kN)	6.44	3.43以上
フロー値(1/100cm)	34.3	20~40
残留安定度(%)	85.7	75以上
カンタプロ損失率(%)	6.4	20以下
透水係数(cm/sec)	1.841×10 ⁻¹	10 ⁻² 以下
動的安定度(回/mm)	8833	3000以上

3. 3 細粒アスファルト材

排水性舗装発生材（切削材）から再生粗骨材を再材料化する際、副産物として発生する細粒アスファルト材は、表-4のような粒度およびアスファルト含有率を示し、極めて貧配合のアスファルトモルタル状（砂系材料に少量のアスファルトを混合したような状態）で回収される。このため、適度な粘着性を有する砂質材料として、インターロッキングの敷砂、埋め戻し材等への活用が期待できる。さらに、この材料特性を活かした他方面への用途開発についても検討が必要である。

表-4 細粒アスファルト材の諸性状

粒度(mm) ・ 加積通過率(%)						アスファルト含有率(%)	最大密度(g/cm ³)	吸水率(%)
4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075			
100	91.4	41.5	22.9	12.8	8.2	3.20	2.400	0.67

4. 細粒アスファルト材の活用方法の検討

4. 1 砕石マスチック混合物への適用

(1) 概要

細粒アスファルト材は、優れた砂質性状を有し、非常に扱い易いことから、砕石マスチック混合物（SMA混合物）への検討を試みた。

(2) 使用材料

細粒アスファルト材は、本検討にのみ、表-5に示す大林道路(株)東条アスファルト混合所で製造したものを使用した。砕石マスチック混合物の骨材最大粒径は5mmとし、表-6の材料を用いた。粒度調整のため、粗骨材には7号砕石を追加したが、細骨材は細粒アスファルト材のみとした。バインダーにはストレートアスファルト60/80とポリマー改質アスファルトII型の2種類を用意した。

表-5 細粒アスファルト材の諸性状（東条）

粒度(mm) ・ 加積通過率(%)						アスファルト含有率(%)	最大密度(g/cm ³)
4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075		
100	92.4	45.3	25.5	15.4	10.1	3.43	2.619

表-6 使用材料

項目	材質
7号砕石	硬質砂岩
細粒アスファルト材	大林道路(株)東条混合所製
石粉	石灰石粉
アスファルト	ポリマー改質アスファルトII型
	ストレートアスファルト60/80
繊維	植物繊維

(3) 配合試験結果

SMA混合物の配合試験の結果から、配合および合成粒度は表-7、図-2に示すとおりに決定した。

目標空隙率を2.5%と設定すると、SMA混合物の最適アスファルト量はストレート、改質II型ともに7.5%となった。両バインダーを用いた混合物の物性試験結果は表-8のとおりである。

以上の結果から、次の事項を確認した。

- ①空隙率および骨材間隙率については、目標値を満足する結果が得られた。

表-7 SMA混合物の配合および合成粒度

項目		試験結果	規格値
配合(%)	7号砕石	61.0	—
	細粒アスファルト材	27.0	—
	石粉	12.0	—
	植物繊維	0.3	—
粒度(%)	13.2 mm	100.0	100
	4.75	92.6	90~100
	2.36	42.5	35~50
	0.6	24.8	—
	0.3	18.9	15~25
	0.15	15.5	—
	0.075	12.3	8~13

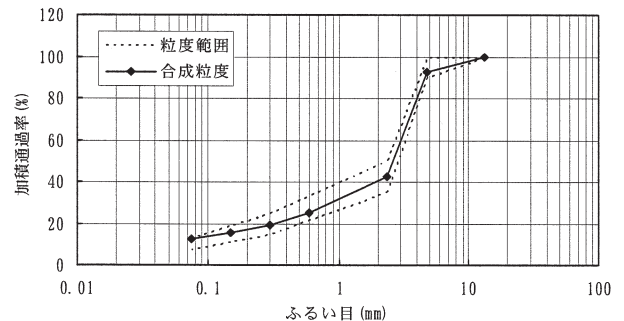


図-2 SMA混合物の粒度曲線

表-8 SMA混合物の物性試験結果

測定項目	改質II型	ストレート	目標値
最適アスファルト量(%)	7.5	7.5	—
密度(g/cm ³)	2.365	2.370	—
理論密度(g/cm ³)	2.426	2.430	—
空隙率(%)	2.5	2.5	2~3
骨材間隙率(%)	19.8	19.6	17以上
飽和度(%)	87.4	87.2	—
マーシャル安定度(kN)	10.61	9.23	6.0以上
フロー値(1/100cm)	39	36	—
残留安定度(%)	92.3	90.6	75以上
動的安定度(回/mm)	2,250	341	1,000以上

- ②マーシャル安定度および残留安定度ともに、目標値を十分に満足する値を示した。
- ③ストレートアスファルトを用いた配合の動的安定度は目標値を大きく下回った。
- ④改質Ⅱ型を用いた配合は、全ての項目において目標値を満足し、室内配合試験の範囲としては、碎石マスチック混合物として適用可能であると判断される。
- ⑤本検討結果と同様に、密粒度混合物等のアスファルト混合物へ適用する場合にも好ましい結果が得られると推察される。

4. 2 防草用材料への適用

(1) 概要

細粒アスファルト材に適量(10%程度)のセメントを添加することにより、常温施工が可能な舗装材料が製造できる¹¹⁾。この舗装材の道路中央分離帯等に用いる防草用材料(以下、防草舗装材)としての適用性を試験施工により検討した。

(2) 配合実験

試験施工に先立ち、防草用材料の圧縮強度の一般的な目安とされる 3.0 N/mm² 以上を満たす最少のセメント添加量を目標強度として、防草舗装材の室内配合実験を実施した。この結果から、表-9 に示す配合を決定した。

表-9 配合実験結果

配合比			曲げ強度 (28日)	圧縮強度 (28日)
細粒アスファルト材	普通セメント	水		
93	7	7	0.46 (N/mm ²)	3.05 (N/mm ²)

(3) 試験施工

配合実験の結果を基に、国道1号線(下り線529.9KP付近)において試験施工を実施した。施工断面は図-3に示すとおりであり、施工面積は15m²(延長50m、幅30cm、厚さ5cm)である。施工は図-4のフローに従って、夜間施工(2007年2月23~24日)を行った。

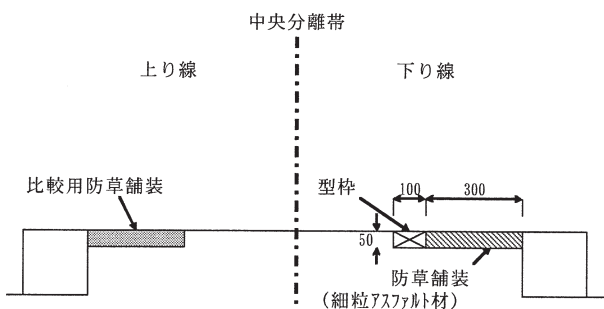


図-3 施工断面図

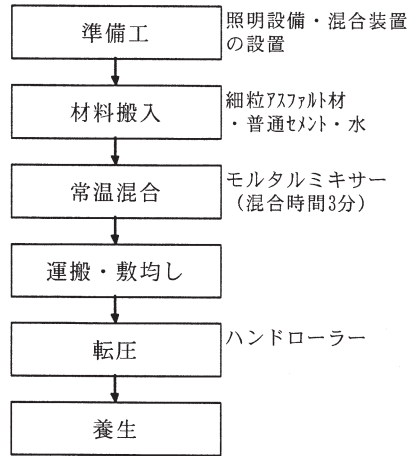


図-4 施工フロー

防草舗装材は常温で混練したが、軽い湿潤状態となり、写真-4のように人力で非常に扱い易い施工性を示す。施工完了直後の防草舗装材は、写真-5に示すように細粒アスファルト材に近い黒茶色の外観を呈すが、養生後は一般的なコンクリートと同色の灰色(写真-6参照)となるため、周囲の構造物(縁石等)と外観上の違和感を生じることはないといえる。



写真-4 施工状況



写真-5 施工完了

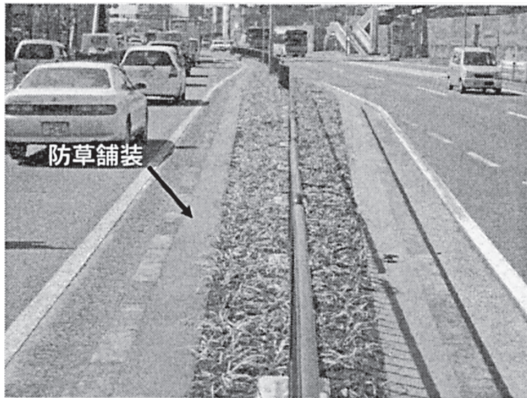


写真-6 完成写真

試験施工の結果から、防草舗装材は十分に実用可能な施工性を有することが確認された。また、防草舗装としての機能については、施工後4ヶ月経過した時点まで良好な状態を維持している。今後、夏季に向けて厳しい状況が予想されるが、追跡調査を継続し、経過を観察している。この結果については、機会を得て報告したい。

4. 3 セメントコンクリート用細骨材への適用

(1) 概要

海砂の採取規制地域の増加や中国産天然砂の輸出禁止等により、良質な細骨材の枯渇が懸念されている。代替の骨材としては砕砂や各種スラグの使用が推進されているが、生産性の問題も指摘され、細骨材の安定供給という面からは他の代替材料についても検討しておく必要がある。これらのことを背景に、細粒アスファルト材のモルタルおよびコンクリート用細骨材への適用を試みた。

(2) 使用材料

モルタルおよびコンクリートの供試体は、標準的な骨材（川砂、砕石）を使用したものと再生骨材を使用したものをそれぞれ作製した。使用材料は表-10に示すとおりであり、セメントは早強ポルトランドセメント、混和剤はAE減水剤（リグニンスルホン酸化合物、ポリオール複合体）とした。

表-10 使用材料

供試体種類		モルタル		コンクリート	
		M-N	M-R	C-N	C-R
セメント [C]	早強ポルトランドセメント	○	○	○	○
細骨材 [S]	川砂	○		○	
	細粒アスファルト材		○		○
粗骨材 [G]	砕石	△	△	○	
	再生粗骨材	△	△		○
混和剤	AE減水剤	○	○	○	○

(3) 強度特性

モルタルの強度特性を確認するため、圧縮強度および割裂引張強度試験（円柱供試体：φ50mm×100mm）、

曲げ強度試験（角柱供試体：40×40×160mm）を実施した。モルタル供試体の配合は表-11に示すとおりであり、水：セメント：細骨材=1：2：4（重量比）をW/C=50%における基本配合として、W/C=40%および60%については細骨材量を調整した。練り混ぜにはオムニ型ミキサを用いた。供試体は、打設直後から室内（温度23℃、相対湿度70%）で養生し、24時間後に脱型した。さらに、各強度試験実施まで6日間室内養生を継続した。

圧縮強度試験結果を図-5、割裂引張強度試験結果を図-6に示す。両図から、M-RはM-Nと比較して、圧縮強度が約40%、引張強度が約30%低い数値となり、細粒アスファルト材をモルタル用細骨材に使用する有意性を見出すことはできなかった。これに反して、曲げ強度については図-7のように両者とも同程度の値を示した。

表-11 モルタル配合

供試体	W/C (%)	単位質量 (kg/m ³)			
		W	C	S	混和剤
M-N	40	314	785	1127	7.9
	50	314	628	1256	6.3
	60	314	523	1344	5.2
M-R	40	303	758	1092	7.6
	50	303	606	1212	6.1
	60	303	505	1286	5.1

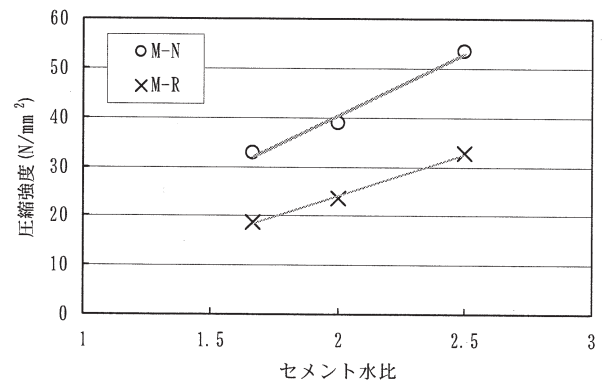


図-5 圧縮強度試験結果（モルタル）

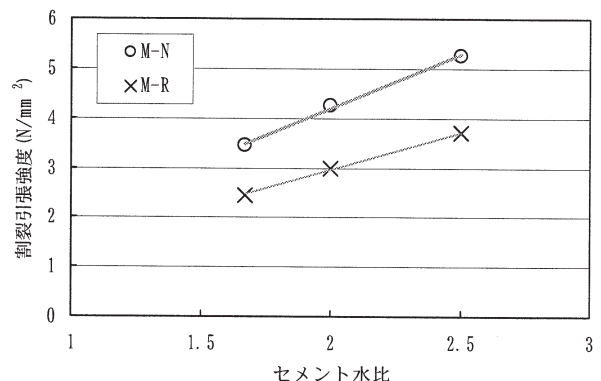


図-6 割裂引張強度試験結果（モルタル）

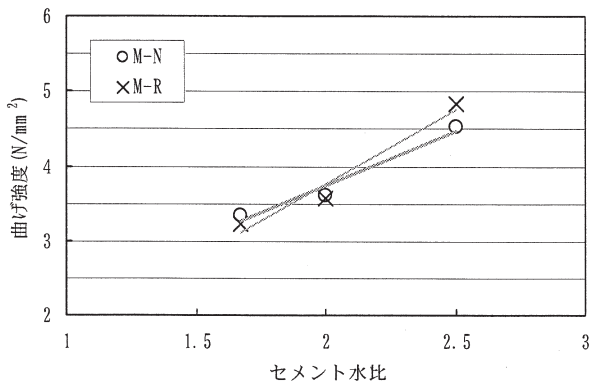


図-7 曲げ強度試験結果 (モルタル)

コンクリートに関しても、モルタルと同様に強度試験を行った。供試体寸法は、円柱供試体をφ100mm×200mm、角柱供試体を100×100×400mmとした。コンクリート供試体の配合は、目標スランプを8±2.5cm、目標空気量を4.5±1.5%と設定し、表-12のとおり決定した。練り混ぜには傾胴型重力式ミキサを用い、養生はモルタル供試体と同条件とした。

試験結果は、圧縮強度試験を図-8、割裂引張強度試験を図-9、曲げ強度試験を図-10に示す。全ての試験について、強度特性はモルタル供試体の場合と同様の傾向を示した。

表-12 コンクリート配合

供試体	W/C (%)	s/a (%)	単位質量 (kg/m³)				
			W	C	S	G	混和剤
C-N	40	52.5	203	521	790	744	5.2
	50	52.6	204	417	836	785	4.2
	60	52.7	205	348	868	811	3.5
C-R	40	52.5	203	521	732	719	5.2
	50	52.6	204	417	775	759	4.2
	60	52.7	205	348	804	784	3.5

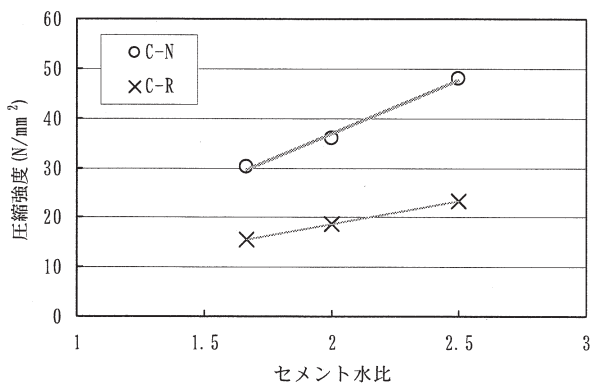


図-8 圧縮強度試験結果 (コンクリート)

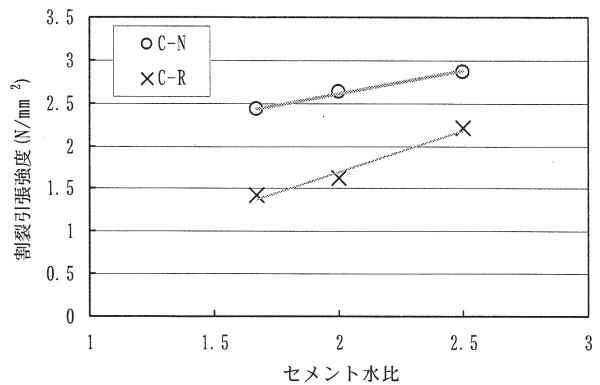


図-9 割裂引張強度試験結果 (コンクリート)

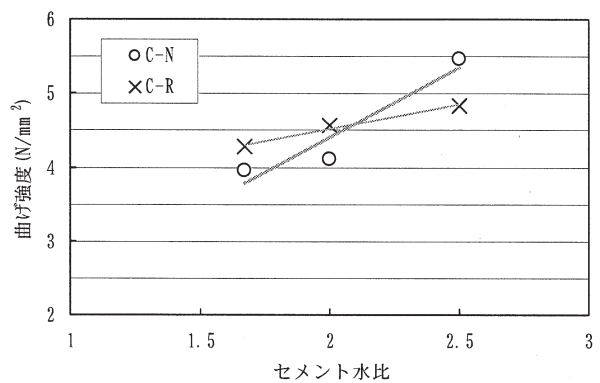


図-10 曲げ強度試験結果 (コンクリート)

以上の結果から、モルタルおよびコンクリートの細骨材に細粒アスファルト材を用いた場合、曲げ強度については強度低下が生じないことがわかった。また、細粒アスファルト材および再生粗骨材は、その骨材粒子の周りにアスファルトが膜状に付着する状態であることから、動的な曲げ疲労に関しては強度特性の改善効果を発揮する可能性が推察される。これらを用いたセメントコンクリートがアスファルト混合物の強度特性に近付くことを期待すると、コンポジット舗装の基層コンクリート等の細骨材への適用が有効であると考えられる。

5. まとめ

排水性舗装発生材 (切削材) から回収した細粒アスファルト材の有効活用方法を検討した結果、以下の知見が得られた。

- ①細粒アスファルト材のインターロッキングの敷砂や埋め戻し材等への適用性については、回収状態での使用が可能であると考えられる。
- ②細粒アスファルト材を用いて改質アスファルトII型をバインダーとした SMA 混合物は目標値を全て満足する物性を示した。

- ③防草舗装材への活用は、試験施工での施工性や機能性を確認した結果から、実用可能と判断される。
- ④セメントコンクリートの細骨材に用いた場合、圧縮強度および引張強度は通常の骨材使用時より低下した。しかし、曲げ強度に関しては同程度の値を維持しており、この特性を考慮して、コンポジット舗装の下層等への用途開発が期待できる。

本研究は、新都市社会技術融合創造研究会「排水性舗装混合物のリサイクル技術の研究」プロジェクト（プロジェクトリーダー：山田 優 大阪市立大学名誉教授）での研究成果をとりまとめたものである。今後は、さらに効果的な細粒アスファルト材の用途開発を推進して行く予定である。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：舗装再生便覧，2004.
- 2) 新田弘之，伊藤正秀：改質アスファルトのリサイクル技術に関する検討，土木技術資料，vol. 46，No. 1，pp. 44-49，2004.
- 3) 小長井彰祐，新田弘之，久保和幸，西崎到：排水性舗装発生材のリサイクル，土木技術資料，vol. 48，No. 7，pp. 24-29，2006.
- 4) 本松資朗，小沢光一，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，vol. 38，NO. 7，pp. 3-8，2003.
- 5) 神谷恵三：排水性混合物の再生利用への取組み，アスファルト，vol. 47，2004.
- 6) 佐野正典，山田優，加藤俊昌，辻森和美：排水性舗装発生材のリサイクルと骨材特性，舗装，vol. 40，NO. 10，pp. 12-16，2006.
- 7) 藤林省吾，木下考樹，森谷幸雄：摩砕機による排水性舗装発生材からの骨材回収，第27回日本道路会議論文集，2007.
- 8) 木下考樹，加藤俊昌，木戸一善：排水性舗装発生材の再生利用～再生排水性舗装の試験舗装～，第27回日本道路会議論文集，2007.
- 9) 鹿嶋久義，辻森和美，江崎耕太：排水性舗装発生材から回収した再生骨材を用いた試験施工の追跡調査結果，第27回日本道路会議論文集，2007.
- 10) 荒木誠，加藤俊昌，佐野正典，藤森章記：稼働アスファルトプラントを用いた排水性舗装発生材の再材料化，土木学会年次学術講演会講演概要集第5部，Vol. 62，2007.
- 11) 藤森章記，佐野正典：下水汚泥焼却灰をはじめとする微粉状産業副産物を活用した舗装材に関する検討，建設用原材料，vol. 13，NO. 1，pp. 24-29，2004.

(2007年3月受付 2007年10月受理)