

舗装用骨材資源の有効利用について

山田 優
(大阪市立大学名誉教授)

1. はじめに

“石川や浜の真砂は尽きるとも世に盗人の種は尽きまじ”と、石川五右衛門が詠ったとされる。砂は天然に無尽蔵にあるものの代表であった。しかし、その砂がなくて困っている地域がある。

近畿地方、特に阪神地区では、もともと天然砂に恵まれず、舗装のアスファルト合材に用いる砂を海砂に頼ってきた。その海砂も、採取できる所が次第になくなり、今では遠く九州から運ばれている。それも、いつ採取禁止になるか分からない不安な状況にある。さらに遠く中国からの天然砂も、すでに輸出禁止になっている。

そこで、道路整備に不可欠な砂の供給を、遠方や海外に頼らず地元で調達する努力をするべきと考え、産学官による共同研究を開始した。

見渡せば、近畿には、まだ採石山はある。鉄鋼業が盛んで、スラグが生産されている。ごみや下水汚泥の溶融も行われている。舗装材のリサイクルも可能である。ダムには未利用の土砂が溜まっている。それら近畿にある骨材資源を有効利用し、舗装用砂の自給率を上げようというものである。

これは、新都市社会技術融合創造研究会（会長：大西有三 京都大学副学長）における共同研究プロジェクトの1つである。同研究会は、道路など社会基盤施設の整備、維持、管理に関する新しい技術の研究・普及等を産学官が連携・協力して行うため2002年度に設立された

研究予定期間は2008年度から2010年度の3年間、プロジェクトリーダーを筆者が務めるが、参加メンバー等については、研究会のホームページ (<http://www.kkr.mlit.go.jp/road/shintoshikenkyukai/index.html>) を参照いただきたい。

以下、研究の背景と目的、具体的課題と現在までの取り組み状況について紹介する。

2. 近畿の舗装用骨材の現状

産業技術総合研究所の調査報告書¹⁾に、近畿地方の骨材資源について次のような記述がある。

砂利資源：九頭竜川や近江盆地の河川などの中～下流部、京都府の城陽周辺の丘陵地を除けば、ごく小規模な川砂利・陸砂利が点在するのみであり、砂利資源に乏し

い。

砕石資源：大局的には砕石資源は極めて豊富である。しかし、これらの多くは山間部にあり、必ずしも容易に利用できるわけではない。

この記述が裏付けるように、アスファルト合材プラントに対するアンケート²⁾で、粗骨材となる砕石は入手が難しいという回答が特に多い地域は見られなかったが、細骨材となる砂では、関西、中国、四国地区で入手が難しい、特に関西では粗砂、細砂ともに入手が難しいという結果が出ている。

図1に、2005年度、近畿各府県のアスファルト合材プラントにおける砂の使用状況³⁾を示す。調査対象となったアスファルト合材プラントは94工場である。これらのプラントで年間、合計160～170万ト、1工場当たり平均1.7～1.8万トの砂を使用している。砂の種類は天然砂である川砂、海砂および山砂、そして各種人工砂であるが、海砂の使用割合が圧倒的に大きい。近畿地方全体で39%、近畿で砂使用量が最も多い大阪府で62%、次いで多い兵庫県で54%である。

以前は瀬戸内海の手砂であったが、現在では瀬戸内海での採取はできなくなり、遠く九州から運ばれてくる海砂を使用している。九州での海砂採取も禁止になれば、深刻な事態となる。わずかに使用してきた山砂、川砂も、今以上の供給増は期待できない。

そこで、産学官連携プロジェクト「舗装用骨材資源の有効利用に関する研究」が実施されることとなった。

3. 近畿における砂不足対策案と課題

(1) リサイクルの増進

舗装の修繕や打換え工事で発生するアスファルト塊を解砕して再生骨材とし、再びアスファルト混合物に利用するリサイクルは、すでに行われている。舗装で使用するアスファルト混合物の量は最近、道路工事予算の縮小から減少しているが、全混合物中に占める再生骨材の割合は増加し続けている。アスファルト塊を解砕して製造する再生骨材は、新規アスファルト混合物と同様、砕石、砂、石粉、アスファルトを含んだものであり、これらすべてを供給することになる。このリサイクルを今後さらに増進させていく必要がある。

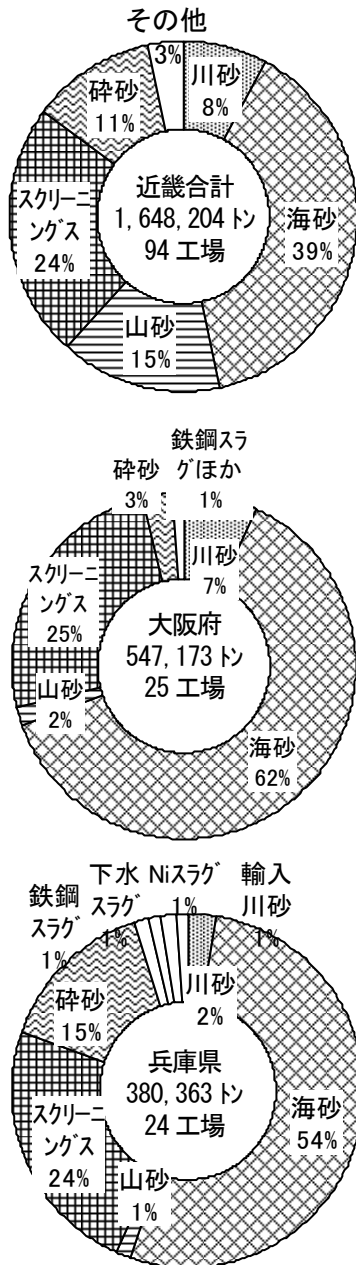


図1 近畿地方のアスファルト合材プラントにおける砂の使用状況 (2005年度分)

しかし、そのために解決すべき課題がある。それは、最近多くなっている排水性舗装の切削で生じる高粘度ポリマー改質アスファルト含有アスファルト塊のリサイクルである。これまでの研究⁴⁾で、このアスファルト塊中に残存する碎石については分離・回収して再生粗骨材として再利用することが可能になったが、その残りについては再利用方法が確立していない。そこには砂分が多く含まれており、これをアスファルト混合物用細骨材として利用する方法を検討しなければならない。

(2) 砕砂の利用

砕砂は、碎石と同様、全国的な生産が可能で、すでにコンクリート用細骨材として使用されている。これまで使用してきた中国からの天然砂が輸出禁止になったことから、増産が期待される。当然、アスファルト合材プラントでも使用可能と考えられる。

しかし、合材プラントでは砕砂よりもスクリーニングスの使用量のほうが多い。それは、砕砂の価格が高いためであろう。砕砂は、碎石をさらに細かく砕くことにより製造されることから、当然ながら製造コストが高い。さらに、製造の際に粉が多く発生し、その粉(碎石粉)の処理に費用を要する。スクリーニングスは、粒径2.5mm以上の碎石を製造した際のふるい下(残物)であるから、比較的安価である。ただし、粉をかなりの割合で含むため、使用量には限度がある。使用量を増やすには、粉の除去が必要である。

そこで、碎石粉の有効利用が必要で、用途としてアスファルト混合物のフィラーやコンクリート用混和材などが考えられるものの、期待どおりには進んでいない。アスファルト混合物のフィラーには、石灰岩を粉砕した石粉を使用するのが一般的である。石灰岩以外の岩石の粉を使用すると混合物の品質にどのような影響を及ぼすのかについては、必ずしも明確になっていない。碎石粉と同様、フィラーとしての利用が期待される粉に下水汚泥焼却灰などもあり、粉の性質が混合物の品質に及ぼす影響、フィラーとして使用するための基準等を明らかにする必要がある。

(3) 副産物の活用

舗装用骨材としての活用が期待される副産物として、鉄鋼スラグ等、金属の精錬で生成するスラグ、都市ごみや下水汚泥の溶融処理で生成するスラグ、コンクリート塊や廃陶磁器、廃ガラス等の破碎物、ダムや河川等の浚渫土砂などがある。これらの中には、すでに舗装用骨材以外の用途に利用され、リサイクル率の高いものもある。それらについては、舗装用骨材としての適用性ととも、利用用途の変更についても検討しなければならない。

たとえば、鉄鋼スラグは骨材として利用できるものが多いと予想するが、これまで地盤改良・港湾土木材や路盤材等の多くの用途で利用されてきた。そのため、リサイクル率は高い。しかし、現状の用途では今後の需要に不安もあることから、骨材としての利用率を高めることも検討すべきである。

コンクリート構造物の解体等で排出されるコンクリート塊も、100%近いリサイクル率となっている。しかし、利用用途のほとんどは路盤材等である。コンクリート用再生骨材のJISが制定されたが、骨材としての利用は進

んでいない。公共工事での利用推進策として、舗装での利用が期待される。

都市ごみの溶融スラグについては、道路用ならびにコンクリート用骨材としてのJISが制定され、今後、利用が進むことが期待されている。ごみを高価な設備で処理した結果、産出するものであるから、有害物質の溶出などについての安全性が確認されれば、積極的に有効利用しなければならない。

近畿では現在、多くのダムが機能しているが、供用後年数が経ち、ダム湖やその上流に大量の土砂が堆積していて、それらを浚渫することが必要になっている。骨材として利用可能とみられる砂利、砂を多く含んでおり、利用方法の検討が望まれる。

なお、道路ではアスファルト舗装がほとんどであるが、今後はコンクリート舗装も採用すべきである。コンクリート舗装を採用することにより、利用可能な骨材資源の範囲が拡張する。たとえば、コンクリート再生骨材や碎石粉を用いた転圧コンクリート舗装などが研究されている。ダム堆積土砂を骨材にしたコンクリート舗装をダムの近くの道路で施工することも検討に値する。

さらに、以上挙げた人工骨材、再生骨材は、それぞれ天然骨材とは違った特徴を持ち、また品質変動なども予想される。それらの確認とともに、アスファルト合材プラントにおける品質管理方法の確立も必要である。

4. 具体的課題への取り組み状況

(1) 排水性舗装・環境舗装のリサイクル

排水性舗装などで使用している高粘度ポリマー改質アスファルト混合物のリサイクルのため、当プロジェクトで採用している再生混合物の製造方法を図2に示す。

図中、実線の矢印のみで示す過程が従来の方法である。この従来の方法では、高粘度ポリマー改質アスファルト

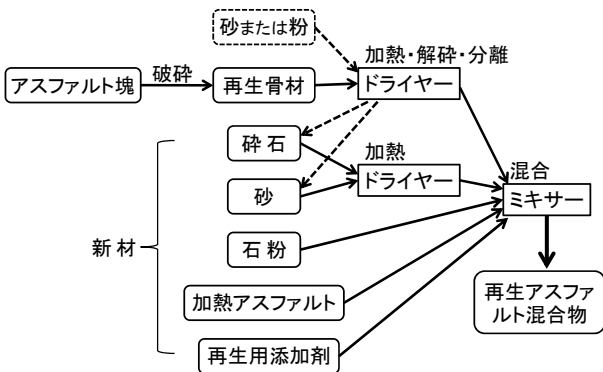


図2 加熱式骨材再生による再生アスファルト混合物の製造方法

を含む再生骨材の場合、ドライヤーで加熱しにくく、アスファルトを十分に溶融させることができない。また、切削で除去したアスファルト塊の場合は、切削時に粗骨材が砕かれて細粒分が多くなっているため、排水性舗装などに用いるポーラスアスファルト混合物の骨材として不適当な粒度になっている。

そこで、再生骨材を砂または粉とともにドライヤーで加熱混合すると、再生骨材中のアスファルトが砂や粉に吸着する。そのため、再生骨材のアスファルト量が減少するとともに、骨材粒子は解きほぐされ、粗骨材のみをふるい分けて回収することができる。

図3は、この加熱式再生処理により排水性舗装切削材から骨材を回収した例である。アスファルト量が4.5%程度の切削材と水砕スラグ砂を等量ずつドライヤーに入れて加熱混合すると、アスファルト量1%程度の再生粗骨材とアスファルト量3%程度の細粒分に分けることができた。

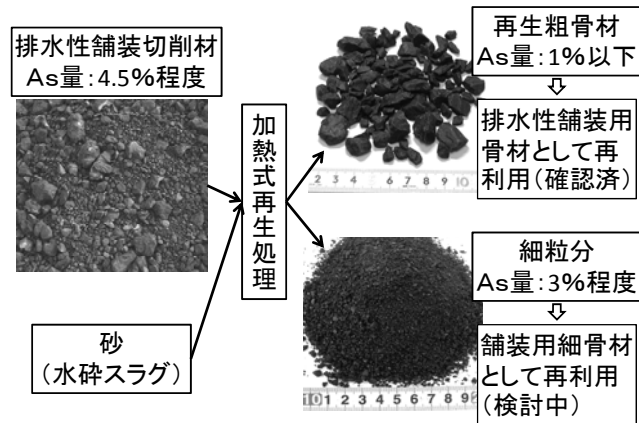


図3 排水性舗装切削材のリサイクル実験例

前者の再生粗骨材は、排水性舗装のポーラスアスファルト混合物用骨材として新材と同様に利用できることを確認している⁴⁾。後者の細粒分を舗装用細骨材として再利用することについて、本プロジェクトで検討中である。排水性舗装の表層に再生粗骨材を、基層の密粒度または粗粒度アスファルト混合物に再生粗骨材と細粒分を使用できればと考えている。

(2) 鉄鋼スラグのアスファルト混合物用骨材としての適用性

鉄鋼スラグのうち、細骨材として利用しやすいのは水砕スラグである。高炉スラグの急冷処理割合を上げれば、水砕スラグの生産量を増やすことができる。しかし、今後予想される路盤材等、土木材の用途の需要低下を考えると、現在もつばらその用途に利用している転炉スラグ

のアスファルト混合物用骨材としての適用が優先されるべきである。

そこで当プロジェクトでは、転炉スラグ破砕物の粗骨材分を排水性舗装等のポーラスアスファルト混合物用骨材、残りの細骨材分と高炉水砕スラグを各種アスファルト混合物用細骨材に適用することを検討している。

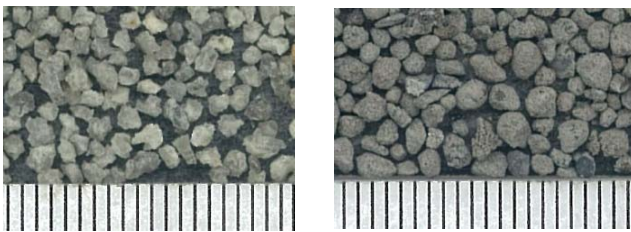
すでに、転炉スラグ粗骨材の排水性舗装への適用については、大阪府道で試験施工を実施して検討中である⁵⁾。

高炉水砕スラグの密粒度アスファルト混合物用細骨材への適用についても、一連の室内試験を終え、製鉄所構内舗装で試験施工を実施した⁶⁾。

さらに、転炉スラグ細骨材を全骨材質量の10%、高炉水砕スラグを30%使用した密粒度改質アスファルト混合物の試験施工を国道28号線の表層で実施した⁷⁾。

水砕スラグ砂のほうは、見掛密度が 2.7g/cm^3 程度、吸水率が1~2%程度で天然砂と大きくは変わらないが、粒子は角張った形状をしている。また、転炉スラグ砂のほうは、見掛密度が $3.2\sim 3.6\text{g/cm}^3$ 程度、吸水率が4~5%程度で、天然砂に比べて高密度で高吸水率である。形状については、天然砂に比べて丸みを呈している。それぞれの外観を図4に示す。

そうした特徴がアスファルト混合物の品質にどのように影響するかが検討されねばならない。



(a) 水砕スラグ砂 (b) 転炉スラグ砂
図4 鉄鋼スラグ細骨材の外観 (1.2~2.4mm粒径)

(3) 溶融スラグのアスファルト混合物用骨材としての適用性

当面の検討に、今後も阪神地区で設置が予定されているシャフト炉式ガス化溶融炉で製造されるごみ溶融スラグを使用することとし、兵庫県たつの市の揖龍クリーンセンターで試料を調達した。

まず、有害物質の溶出量・含有量がJIS基準に合格すること、また見掛密度と吸水率の変動がそれぞれ $2.80\sim 2.88\text{g/cm}^3$ と $0.2\sim 0.9\%$ で許容できる範囲であることを確認した。

図5は、この溶融スラグ砂を細骨材として使用した密粒度アスファルト混合物のマーシャル安定度と動的安定

度の試験例である。いずれも、スラグの使用量を増やすと低下するが、低下量は許容できる範囲内である。

国道28号線の試験舗装⁷⁾では、密粒度改質アスファルト混合物に全骨材質量の20%を使用し、マーシャル安定度は11.8kN、動的安定度4500回/mmであった。

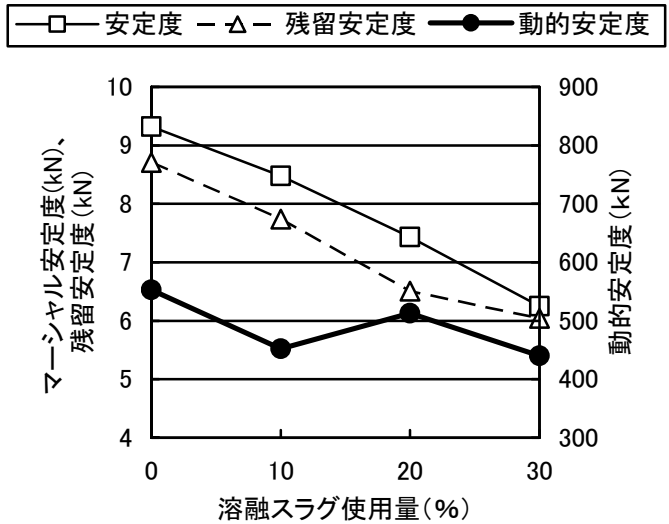


図5 溶融スラグ使用密粒度アスファルト混合物のマーシャル安定度と動的安定度の試験例

(4) コンクリート再生細骨材のアスファルト混合物への適用性

コンクリート塊を破砕して製造する再生骨材は、セメント水和物を含み、吸水率が普通骨材に比べてかなり高くなる。そのためセメント水和物分を少なくする処理が施されるが、再生細骨材に対してはその処理が難しい。

そこで再生細骨材を、一般に行われているように再生粗骨材をふるい分けた残りから得るのではなく、コンクリート塊のすべてを5mm以下に破砕して製造することとした。この製造方法により、吸水率を少し低くすることができるが、普通骨材に比べて高い吸水率がアスファルト混合物の安定度等にどう影響するかが注目点である。

ビルの解体で発生した良質なコンクリート塊をロールクラッシャーで1次破砕した後、インパクトクラッシャーで2次破砕してコンクリート再生細骨材試料を製造した。その性状を、実験に用いた他の細骨材、スクリーニングスと天然砂と比べ表1に示す。

図6に、コンクリート再生細骨材使用密粒度アスファルト混合物の最適アスファルト量、マーシャル安定度および動的安定度の試験例を示す。最適アスファルト量は、コンクリート再生細骨材を5%および10%使用することにより、それぞれ0.2%および0.4%増加したが、吸水率

表1 コンクリート再生細骨材の性状

項目	コンクリート再生細骨材	スクリーニングス	天然砂(川砂)
表乾密度 (g/cm ³)	2.284	2.607	2.586
かさ密度 (g/cm ³)	2.090	2.552	2.547
見掛密度 (g/cm ³)	2.617	2.700	2.649
吸水率 (%)	9.63	2.15	1.51
通過質量百分率 (%)	13.2mm	100.0	100.0
	4.75mm	99.9	100.0
	2.36mm	83.8	91.3
	0.6mm	41.4	44.9
	0.3mm	22.4	29.6
	0.15mm	13.0	20.7
	0.075mm	7.8	15.7

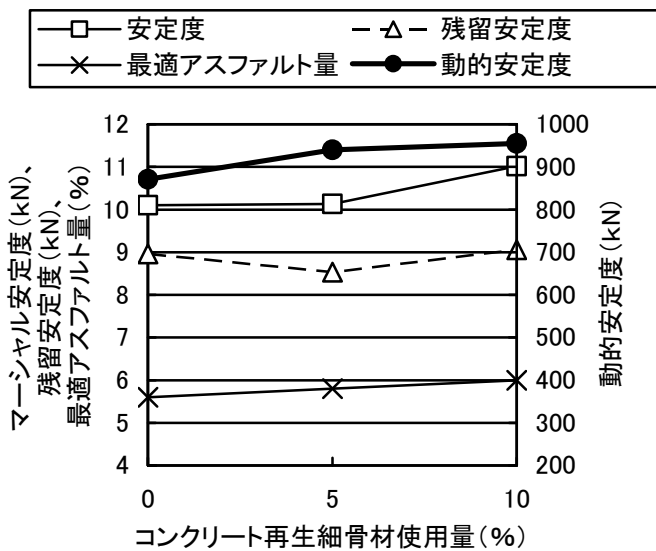


図6 コンクリート再生細骨材使用密粒度アスファルト混合物の試験例

から予想するほどには増加しなかった。また、マーシャル安定度、動的安定度とも、増加傾向を示した。

なお、国道28号線の試験舗装⁷⁾では、密粒度改質アスファルト混合物に全骨材質量の10%を使用し、マーシャル安定度は11.2kN、動的安定度は7900回/mmであった。

(5) ダム堆砂のアスファルト混合物用骨材としての適用性

淀川水系には大小多くのダムがあるが、その中で奈良県北東部、木津川上流部にある室生ダムおよび布目ダムの堆砂を試料にして検討を始めることとした。両ダムに

は、それぞれ年間4万m³および2万m³程度の土砂が堆積し、うち40%程度が粒径0.075mm以上の砂分と推定される。

表2に、両ダムで採取した堆砂の試験例を合材プラントで使用中の細骨材であるスクリーニングスと山砂の試験結果とともに示す⁸⁾。堆砂はいずれも、スクリーニングスや山砂と比べ、見掛密度は同程度であるが、吸水率が少し高く、表乾密度やかさ密度が小さい。

表3に、ダムに近い合材プラントで通常使用の13mm密粒度アスファルトの配合で、山砂の代わりにダム堆砂を使用したときのマーシャル安定度と動的安定度の試験結果を示す。最適アスファルト量は少し多くなり、動的安定度は低くなったが、許容できる範囲の変化といえる。

表2 ダム堆砂の試験例

項目	室生ダム堆砂	布目ダム堆砂	スクリーニングス	山砂
表乾密度 (g/cm ³)	2.549	2.557	2.606	2.557
かさ密度 (g/cm ³)	2.475	2.483	2.557	2.513
見掛密度 (g/cm ³)	2.673	2.681	2.690	2.629
吸水率 (%)	2.99	2.97	1.95	1.77
通過質量百分率 (%)	13.2mm	100.0	100.0	100.0
	4.75mm	100.0	99.0	100.0
	2.36mm	83.7	96.6	97.7
	0.6mm	28.8	58.3	44.6
	0.3mm	6.2	29.2	31.6
	0.15mm	1.6	13.1	15.1
	0.075mm	0.9	6.5	10.6

表3 ダム堆砂使用密粒度アスファルト混合物の試験例

配合割合 (%)	配合の種類 (使用細骨材の違い)	通常配合	室生ダム堆砂使用	布目ダム堆砂使用
	配合割合 (%)	6号砕石	38.0	35.5
7号砕石		21.0	20.0	21.0
スクリーニングス		10.0	12.0	10.0
山砂		26.0	—	—
室生ダム堆砂		—	27.0	—
布目ダム堆砂		—	—	27.0
	石粉	5.0	5.5	4.0
	最適アスファルト量 (%)	5.7	6.0	6.0
	安定度 (kN)	10.15	8.99	10.39
	残留安定度 (%)	82.3	84.4	83.6
	動的安定度 (回/mm)	900	606	643

なお、ダムには砂分以外に泥分も多く堆積している。それらも舗装工事で利用できればと考え、改良して路床材や路盤材に適用することも検討している⁹⁾。

(6) 砕石粉のアスファルト混合物用フィラーとしての適用性

近畿地方のアスファルト合材プラント 94 工場において、砂の全使用量は 2007 年度で約 150 万トである。それを将来、砕砂の増産で賄うとしたときに、砕石粉の発生増は、その 10%程度として、15 万ト程度である。アスファルト混合物用フィラーとしての石灰石粉の使用量も 15 万ト程度であるので、もし砕石粉がフィラーとして使用可能であれば、砕砂の増産に伴って発生する砕石粉のほとんどを活用できることになる。

表 4 は、近畿にある砕石プラントのうち 9 工場から現状発生している砕石粉 12 試料を集め、フィラーとしての品質確認試験を行った結果である。石灰石粉のほか、合材プラントで回収されてフィラーの一部として使用されているダストの試験結果も示している。

砕石粉 12 試料のうち、すべての項目で基準に適合し

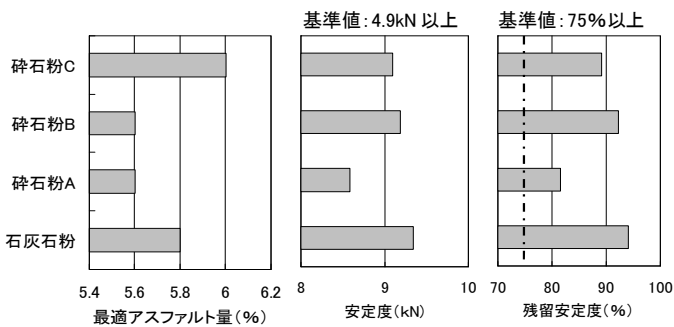


図 7 砕石粉使用密粒度アスファルト混合物のマーシャル試験結果例

たのは 1 試料のみであった。しかし、不適合となった項目は、ほとんどの場合、水分と粒度であり、各砕石プラントで容易に改善可能と考えられる。吸水膨張率が基準値を超えるものが 1 試料あったが、それもわずかな超過であり、大きな問題ではない。

現在、アスファルト混合物の強度等の試験を順次実施し、砕石粉使用の影響を検討中であるが、マーシャル安定度試験結果の例を図 7 に示す。

(7) 下水汚泥焼却灰のアスファルト混合物用フィラーとしての適用性

下水の処理により発生する汚泥の大部分は、焼却処理される。その結果発生する焼却灰は、砕石粉と同様、無機質の微粒子であることから、アスファルト混合物用フィラーとしての利用が期待されている。

本プロジェクトでは、兵庫東流域下水汚泥広域処理場で年間約 8000 トン発生している焼却灰について、フィラーとしての適用性を検討することとした。

まず、重金属等の有害物質の溶出について安全なことを確認する必要がある。それを確認後、焼却灰を使用したアスファルト混合物の各種試験を実施する予定である。

(8) コンクリート舗装の普及と再生骨材・砕石粉の有効利用

現在、トンネル内以外の道路でコンクリート舗装が採用されることは稀である。採用されるためには、まずコンクリート舗装の短所とされる「養生のための交通止め」の問題等を解消しなければならない。比較的、早期交通開放が可能な舗装工法としては、転圧コンクリート舗装、プレキャスト版またはブロックによる舗装がある。

また道路はすでに、ほとんどがアスファルト混合物で舗装されていて、舗装工事は、その表層あるいは基層までを切削してオーバーレイする補修が主になっている。

表 4 砕石粉の品質確認試験結果

試料 No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	回収ダスト	石灰石粉	基準	
比重	2.654	2.652	2.665	2.716	2.722	2.743	2.675	2.686	2.712	2.709	2.717	2.721	2.654	2.713	2.60 以上	
水分 (%)	4.4	1.0	0.4	1.2	0.1	1.1	1.1	1.7	0.8	1.7	1.5	1.2	0.2	0.1	1.0 以下	
百分率 (%) 通過質量	0.6mm	96.5	99.8	100.0	99.6	99.5	97.9	95.0	100.0	99.9	100.0	95.0	97.4	100.0	100.0	100
	0.15	81.7	89.0	99.7	96.4	96.9	71.1	71.4	99.9	99.8	93.3	80.5	90.2	85.8	98.5	90 以上
	0.075	57.2	62.5	96.8	82.0	82.3	39.5	54.7	96.6	99.6	78.2	68.6	79.0	62.6	86.6	70 以上
塑性指数	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	4 以下	
フロー試験 (%)	29.3	28.6	31.6	33.0	33.4	25.2	27.7	39.2	39.1	31.6	28.9	33.7	32.9	25.2	50 以下	
吸水膨張率 (%)	2.8	2.7	0.0	0.7	2.4	2.6	2.5	0.4	1.8	0.5	2.8	3.4	0.0	0.0	3 以下	
剥離試験	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	1/4 以下	

注) 表中、下線部分は基準に不適合を示す。

そのような時代に、コンクリートによる舗装をどのような形で適用するかが課題である。それへの対応としてホワイトトッピング工法が検討されている。

さらに、最近の道路では排水性舗装が一般的となり、低騒音化やヒートアイランド対策など、環境配慮型の舗装が求められている。コンクリート舗装の場合でも、そうした配慮が望まれる。

そこで本プロジェクトでは、コンクリート再生骨材や砕石粉などを使用した転圧コンクリート舗装、透水性コンクリート舗装の普及について検討することとした。

再生骨材を用いた転圧コンクリート舗装については、**図8**に示すとおり小面積ながら施工実績¹⁰⁾があり、16年過ぎた現在も供用されている。また、セメントペーストの粘性を調整するために砕石粉を用いる透水性コンクリート舗装についての研究も行われている¹¹⁾。



図8 再生骨材使用転圧コンクリート舗装例



図9 国道28号線での試験舗装 (2009年2月)

5. おわりに

本プロジェクトでは、室内実験による研究結果を実証するため、順次、試験施工をお願いしている。1年目の2008年度には、まず転圧スラグ砂、溶融スラグ砂およびコンクリート再生細骨材を用いた密粒度改質アスファルト混合物舗装の試験施工が行われた (**図9**)⁷⁾。

それらの追跡調査結果も含め、プロジェクト終了後に改めて研究成果を報告する機会があればと考えている。ご協力、ご意見等をいただければ幸甚である。

参考文献

- 1) 産業技術総合研究所 地圏資源循環研究部門：平成17年度骨材資源調査報告書 ー中部・近畿地方各都道府県の骨材資源ー, 2006.
- 2) 海老澤秀治・向後憲一・坂本浩行：アスファルトプラントアンケート調査による混合物用骨材の実態, 舗装, Vol. 42, No. 8, pp. 3-11, 2007.
- 3) 日本アスファルト合材協会近畿地区連絡協議会調査資料, 2007.
- 4) 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」プロジェクト報告書, 2008.
- 5) 清水章：鉄鋼スラグを用いた排水性舗装の追跡調査と今後の取り組み, 舗装, Vol. 44, No. 7, pp. 16-20, 2009.
- 6) 藤井基高・浜崎拓司・江籠洋和・人見信男：鉄鋼副産物のアスファルト混合物への活用検討, 舗装, Vol. 43, No. 10, pp. 18-22, 2008.
- 7) 福田誠：新しい細骨材資源の活用による密粒度アスファルト試験舗装について, 近畿地方整備局研究発表会論文集, 施工・安全管理対策部門 No. 03, 2009.
- 8) 鈴木徹・藤村顕司・佐野正典・田村俊之：アスファルト混合物に使用する細骨材資源としてのダム堆砂について, 土木学会年次学術講演会講演集, V-362, 2009.
- 9) 鍋島益弘・山本達也・中島宏幸・山田優：ダム堆砂 (ヘドロ部) の下層路盤材等への活用について, 土木学会年次学術講演会講演集, II-029, 2009.
- 10) 吉兼亨・鯉江利夫・松下正美：コンクリート副産物の破砕材を用いた転圧コンクリート, 建設用原材料, Vol. 3, No. 2, pp. 21-26, 1993.
- 11) 麓隆行, 柏木光一：粗骨材粒子径が砕石粉を用いた舗装用透水性コンクリートの性状に及ぼす影響, セメント・コンクリート論文集, No. 62, pp. 269-276, 2008.