

碎石スラッジ固化物の 道路材料としての利用

西 元 央^{※1)} 山 田 優^{※2)}

1. はじめに

近年、天然骨材に代わり碎石・碎砂が積極的に活用されている。これらの製造に伴い、産業廃棄物となる碎石スラッジと呼ばれる泥土が多量に発生している。その発生量は、原石の性状、脱水機の性能等により異なるが、碎石生産量の2~3%、碎砂の生産量の20数%程度とされている。この碎石スラッジは、脱水ケーキ状で排出され多大な処分費を費やして処分される場合もあるが、ほとんどが自社内投棄（場内堆積）されているのが現状である。今後さらに、海砂の採取禁止などで天然砂の採取制限による碎砂の需要が伸び、また排水性舗装や低騒音舗装などの高級舗装の需要増大で舗装用骨材においても粒度、粒形を厳しく指定することが多くなり、碎石スラッジの発生量は増加すると予想される。それゆえ、碎石スラッジの有効利用は骨材業界における喫緊の重要課題である。

以下、碎石スラッジのリサイクル促進のための有効利用策として、セメントを用いて固化物にし、道路材料として利用することについて検討した。

2. 碎石スラッジの建設資源としての 有効利用策

碎石スラッジを建設資源として利用する場合、いくつかの用途が考えられる。以前、日本碎石協会では石灰等で安定処理して、クラッシャランあるいは再生クラッシャランに混合し、水硬性複合路盤材として利用することを提案した¹⁾。また、石灰やセメントなどの添加材を用いて安定処理して土砂状に再生し、盛土材や埋戻し材など土砂として利用することも可能である。しかし、土砂の利用や建設発生土の搬出状況から土砂状に再生しても

建設工事に利用されることは難しい。平成14年度の調査²⁾によると、建設工事現場内に搬入される土砂は約1億3000万m³、そのうち新材（購入土）は約40%の5200万m³で、利用土砂に占める建設発生土の割合は60%である。国土交通省では、平成17年度までに新規の土砂利用量に対する新材の利用率を20%まで下げる目標を掲げている³⁾。一方、建設現場から場外に搬出される建設発生土は約2億4500万m³で、約7400万m³が土砂として利用された。土砂利用量と建設発生土の場外搬出量を見ればわかるように、新材を全く使用せず、すべて建設発生土を利用したとしても、11,500万m³の建設発生土が残ることになる。このように土砂として利用されるべき建設発生土が多量に余っている状況において、土砂程度に再生しても有価物になり難く、廃棄物の枠から抜け出せない。そのため、利用用途が限定される。

碎石スラッジのリサイクルを促進させるためには、碎石スラッジの再生物が有償売却できるよう、例えば固化材を用いて粒状物に改良し、路盤材などの碎石代替材として利用するなど、土砂よりも高度なりサイクルが必要である。また、その材料の特徴を活かした用途へ適用すべきであると考えられる。

3. 碎石スラッジ固化物の路盤への利 用の検討

碎石スラッジをセメントで固化した後に破碎してクラッシャランC-30の粒度に相当する碎石状の粒状物（図1、泥土固化碎石と呼ぶ）を作製し、路盤への利用を検討した。泥土固化碎石の作製には、すでに稼働している泥土リサイクルプラントを使用した。このプラントでは、泥土にセメント系固化材とポリマー混合剤を混合し、押出し成型して養生固化した後、クラッシャで破碎して碎石状の泥土固化物を作製している。

※1) 住友大阪セメント(株)(元大阪市立大学大学院 工学研究科 助手)

※2) 正会員 理事 都市リサイクル工学研究所 代表 (大阪市立大学 名誉教授)

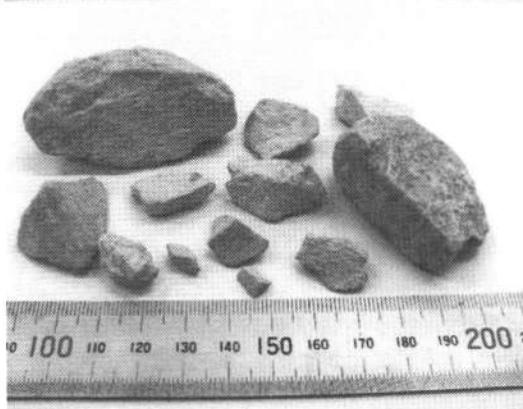


図1 作製した泥土固化碎石

碎石スラッジを原料に作製した泥土固化碎石の路盤材としての各種試験結果を表1に示す。セメント量13%で路盤材の品質規格を満足した。泥土固化碎石は従来材料である碎石のように固くないので、交通荷重を受けて再泥化する可能性があることから、突固め試験とホイールトラッキング試験を行い、再泥化を検討した⁴⁾。図2の(a)に示すとおり、セメント量13%の泥土固化碎石は品質規格を満足したが、細粒分を多く含む土に見られるような過転圧現象が起こった。一方、同図の(b)に示すとおり、セメント量20%の泥土固化碎石では、含水比が高い場合に突固め回数が増えててもセメント量13%の場合に生じたCBRの低下はなかった。そこで、粒径19mm以上の泥土固化碎石を粉碎して塑性指数を調べた。表2に示すとおり、

セメント量13%では、塑性指数が増加したことから、こね返されて再泥化したと考えられる。路盤へ利用できる泥土固化碎石にするためには、セメント量は13%では不十分であり、20%程度必要であるといえる。ただし、図3に示すとおり、供試体を水浸させた条件下における繰返し載荷による変形量が大きいため、路盤層が滲水することが少ない箇所への適用に限定されるだろう。

ところで、路盤へ利用できる固

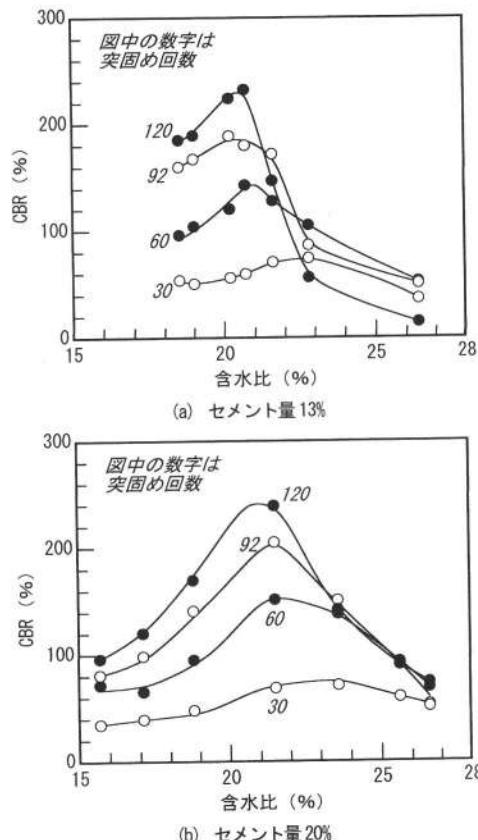


図2 各突固め回数における CBR と突固め含水比の関係

表1 泥土固化碎石の各種試験結果

セメント量 試験項目	8%	13%	20%	市販の タグヤイラン	路盤材として の品質規格
見かけ密度 (g/cm ³)	1.78	1.83	1.89	2.68	—
吸水率 (%)	19.0	18.3	17.7	1.8	—
塑性指数 PI	15	NP	NP	4	<4 (上層路盤) <6 (下層路盤)
*一軸圧縮強さ (MPa)	5.36	8.86	15.0	—	—
すり減り減量 (%)	45.4	31.7	24.2	16.3	<50
最適含水比 (%)	20.6	21.0	22.1	5.0	—
最大乾燥密度 (g/cm ³)	1.694	1.665	1.619	2.340	—
修正 CBR (%)	48.5	128.0	138.0	84.0	>80 (上層路盤) >30 (下層路盤)
透水係数(cm/sec)	3.6×10^{-5}	7.2×10^{-4}	4.1×10^{-3}	7.0×10^{-3}	—

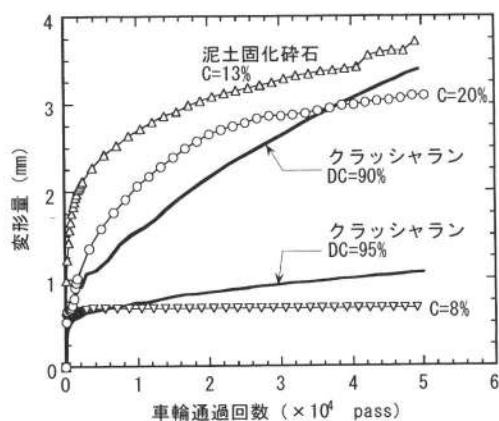
*押出し成型物から採取したコアの試験値

化物を製造するためには、品質管理の点から定置式プラントが望ましいが、碎石スラッジの発生現場に合わせて設置場所を変えるほうが経済的なことが多い。すでに、それを考えて、現場内でも泥土を処理できる可搬式の粒状化装置が開発されている⁵⁾。この粒状化装置では、セメントと混合して攪拌しながら直接粒状化する。そこで、

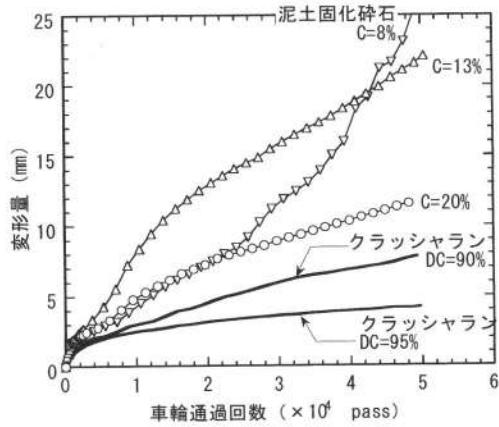
この装置を用いた碎石スラッジの粒状化実験を行った⁶⁾。フィルタープレス脱水した碎石スラッジのように含水比が低く、流動性が低い場合では粒状化できないが、加水して含水比を上げると粒状化可能である。ただし、表3に示すとおり、泥土固化碎石と同等の粒子硬度にするためにはセメント量が多く必要である⁷⁾。

表2 粒径19mm以上の粗粒子を粉碎した425 μm ふるい通過分の塑性指数

セメント量 (%)	13	20
作製した泥土固化碎石の425 μm ふるい通過分の塑性指数	NP	NP
粒径19mm以上の粗粒子を粉碎した425 μm ふるい通過分の塑性指数	9.6	NP



(a) 非水浸条件



(b) 全水浸条件

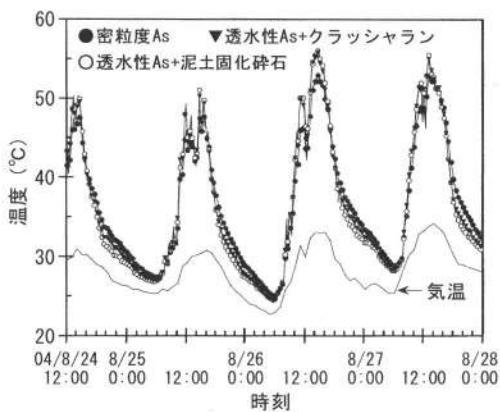
図3 ホイールトラッキング試験における変形量と車輪通過回数の関係

表3 泥土固化碎石および粒状化装置による固化物の作製のための配合と強度

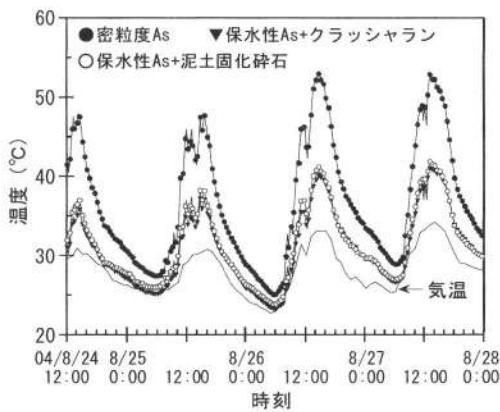
セメント固化物		強度					
種類	配合		*一軸圧縮強さ (MPa)	圧壊強度 (N)	すり減り減量 (%)	破碎値 (%)	修正CBR (%)
	スラッジ含水比	セメント量					
泥土固化碎石	23%	8%	5.36	134.0	45.4	29.5	48.5
		13%	8.86	198.7	31.7	16.2	128.0
		20%	15.0	302.8	24.2	15.1	138.0
粒状化装置による固化物	70%	24%	4.54	148.3	37.0	52.1	105.0
		26%	5.10	142.1	37.0	31.3	103.5
		40%	9.00	194.3	36.7	45.6	68.5

*粒状化装置による固化物では作製直後に締固めた供試体の試験値

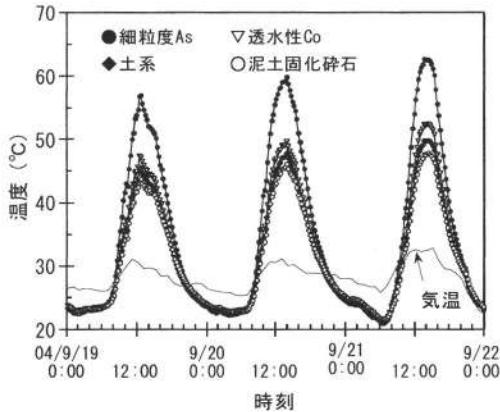
4. 碎石スラッジ固化物の保水性舗装への利用の検討



(a) 泥土固化碎石を路盤に使用した透水性舗装



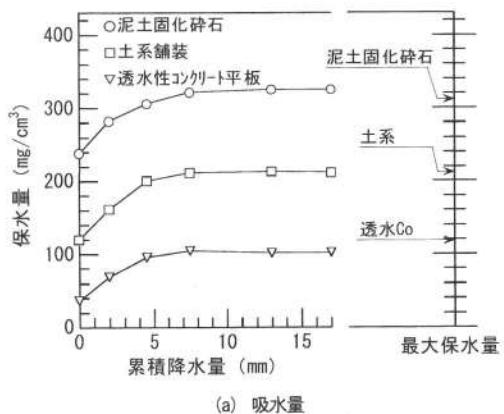
(b) 泥土固化碎石を路盤に使用した保水性舗装



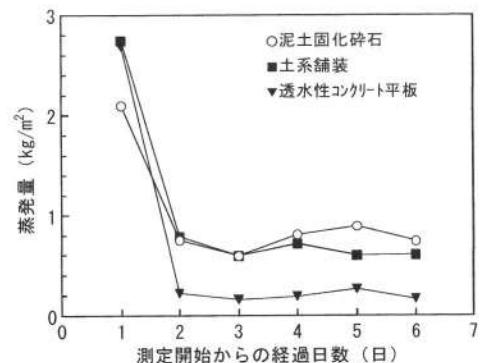
(c) 泥土固化碎石を表層に使用した舗装

図4 泥土固化碎石を使用した各種舗装の路面温度の時刻変化

泥土固化碎石は、表1に示したとおり、吸水・保水性に優れ、締めた層はクラッシャランと同等の透水性をもっている。これらの特徴を活かした用途への利用が碎石スラッジリサイクルの促進につながると予想される。その用途として、路面温度の上昇抑制を目的とする保水性能を有する舗装への適用が期待される。そこで、透水性舗装および開粒度アスコンの空隙にセメント系保水材を充填した保水性舗装の路盤と、表層に泥土固化碎石を適用し、その効果を検討した⁸⁾。図4(a)、(b)に示すとおり、泥土固化碎石を路盤に適用した場合では、各種表層材料の路面温度は従来の路盤材料である碎石と比較してほとんど差ではなく、路面温度の上昇抑制効果が期待できない。表層に適用した舗装では、図4(c)、図5



(a) 吸水量



(b) 蒸発量

図5 泥土固化碎石を表層に使用した舗装の吸水と蒸発量

に示すとおり、吸水・保水性能、蒸発性能および路面温度はマサ土をセメント安定処理した土系舗装と同等以上であり、表層への適用が効果的である。

泥土固化碎石を車道の表層へ適用することは強度的に難しいが、歩道や、公園内の道路や広場などの歩道舗装表層であれば適用可能であると予想される。そこで、泥土固化碎石による表層材料と従来の歩道舗装の表層材料の歩道舗装材としての性能を比較し、適用性を検討した^{9), 10)}。転圧だけでは泥土固化碎石の粒子同士が結合しないので、セメントで安定処理した。各種表層材料の諸性能を表4に示す。泥土固化碎石を使用した表層材料は、概ねマサ土をセメント安定処理した土系舗装と同等の性能を有している。一方、泥土固化碎石による表層材料には土系舗装同様に表面の摩耗が懸念される。ホイールトラッキング試験を改良した摩耗試験では、図6に示すとおり、表層材料を作製するためのセメント量が8%以上で土系舗装よりも高い耐摩耗性を有する結果を示した。表層に使用しても顕著な摩耗は起こらないと考えられ、適用可能であるといえる。

5. おわりに

以上、碎石スラッジのリサイクル促進のための有効利用策として、碎石スラッジ固化物の道路材料としての利

表4 従来の表層材料と泥土固化碎石を使用した表層材料の諸物性

表層材料	性能項目	BPN	GB 係数 (%)	SB 係数 (%)	透水係数 (cm/sec)
細粒度アスファルト混合物	63	75	9	—	
透水性アスファルト混合物	74	68	2	—	
歩道用コンクリート平板	66	73	23	—	
透水性コンクリート平板	74	70	14	—	
セメント安定処理マサ土	65	63	<1	3.7×10^{-7}	
泥土 固化 碎石	*セメント量 2%	77	56	<1	1.3×10^{-2}
	4%	75	60	<1	1.8×10^{-2}
	6%	77	64	<1	1.1×10^{-2}
	8%	75	69	<1	7.7×10^{-3}
	10%	75	73	<1	5.6×10^{-3}

*表層材料作製のためのセメント量

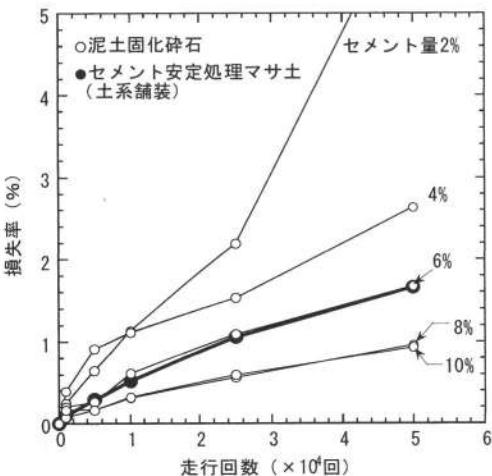


図6 摩耗試験における損失率と車輪通過回数の関係

用を検討した。室内試験の結果では、碎石スラッジ固化物を路盤や歩道舗装の表層へ利用可能であることを示した。さらに道路材料として実用するためには、実物レベルでの施工性や耐久性の検証が必要である。

なお、これらの研究は、筆者らが大阪市立大学で実施したものである。

最後に、実験に供した碎石スラッジの収集にご協力い

ただいた(株)大阪碎石工業所ならびにそれを原
料として泥土固化碎石
の作製にご協力いただ
いた大阪ベントナイト
事業協同組合の関係各
位に心より感謝申し上
げます。

参考文献

- 1) 日本碎石協会: 水硬性複合路盤材の材料規格・製造マニュアル・配合設計法、1999。
- 2) 建設副産物リサイクル広報推進会

- 議：総合建設副産物対策平成16年度版、2004。
- 3) 国土交通省：建設発生土等の有効利用に関する行動計画の策定について、2003。
 - 4) 西 元央、山田 優：泥土固化砕石の路盤への適用性に関する研究、建設用原材料、vol. 13, No.1, pp. 6-12, 2004.
 - 5) 鈴木健夫、植田 満、藤川克巳、伊藤章治：高含水比粘性土の粒状化処理について、第4回地盤改良シンポジウム発表論文集、pp. 209-216, 2000。
 - 6) 西 元央、山田 優、鈴木健夫、圓川憲夫：碎石スラッジの粒状化処理実験と粒状物の土質特性、第5回地盤改良シンポジウム論文集、pp. 175-180, 2002。
 - 7) 西 元央、山田 優：固化材による泥土の粒状化方法と粒状物の土質性状の関係について、第49回地盤工学シンポジウム論文集、pp. 99-104, 2004。
 - 8) 藤井和洋、西 元央、山田 優：泥土固化砕石を使用した環境配慮型舗装の路面温度について、第26回日本道路会議論文集 (CD-ROM)、No.12069, 2005。
 - 9) 西 元央、藤井和洋、吉村範久、山田 優：碎石スラッジを原料とした粒状物の保水性・透水性歩道舗装材としての適用に関する研究、建設用原材料、Vol. 14, No.1, 2005。
 - 10) 西 元央、藤井和洋、山田 優：泥土固化砕石を使用した歩道舗装材の性能について、第26回日本道路会議論文集 (CD-ROM)、No.12144, 2005。

Use of Cement-stabilized Crushed Stone Sludge to Pavement Material

Motohiro NISHI
Masaru YAMADA