

論文 再生骨材を使用した転圧コンクリート舗装 (RCCP) 用コンクリートの基礎性状

成岡 正祥*1・佐藤 道生*2

要旨: 再生骨材の有効利用用途を拡大するため、吸水率の大きい再生骨材を細骨材、粗骨材に使用して RCCP 用コンクリートを作製し、フレッシュ性状、曲げ強度、乾燥収縮について実験を実施した。作製したコンクリートは、コンシステンシーの経時変化が大きくなったが、再生骨材を湿潤状態にすることにより経時変化は小さくなった。また、原コンクリートのペースト部分が弱点となるため曲げ強度は原コンクリート以上にならないが、適用箇所を選定や設計上の配慮をすることにより、乾燥収縮量が少ないという特徴をもつ RCCP 用コンクリートに吸水率の大きい骨材を適用することができる。

キーワード: 再生骨材, 転圧コンクリート舗装 (RCCP), 経時変化

1. はじめに

高度経済成長期の建設物は経年化が進行しており、今後、建て替えなどによる建設廃棄物が大量に発生する可能性がある。また、廃棄物処分場の適地は減少しているため、建設廃棄物の再資源化が急務であり、様々な方面で有効利用の試みがなされている。

解体コンクリートに関しては再資源化率が高いが、路盤材としての用途がほとんどであり、今後の公共工事の縮減と解体コンクリートの発生量増大を想定すると、路盤材以外の有効利用用途を広げることが必要である。このような状況下、解体コンクリートをコンクリート用骨材として再利用するために再生骨材の JIS が整備され、利用先の構造物に見合った品質が規定されている。

解体コンクリートの有効利用を更に進めるためには、高度な処理をして原コンクリートの骨材同様な高品質の再生骨材を使用するばかりでなく、処理に手間をかけず、コストの小さい再生骨材の適用先を広げて利用量を増やすことが必要である。

本研究では、通常であれば均しコンクリートに使用するような再生化に手間をかけない再生骨材を細骨材、粗骨材に使用して転圧コンクリート舗装（以下「RCCP」とする）用コンクリートを作製し、基礎性状の評価を行なうこととした。

2. 実験概要

実験は再生骨材を RCCP 用コンクリートに使用し、配合条件とフレッシュ性状を確認するとともに舗装コンクリートに必要な曲げ強度の測定を行なった。

また、吸水率の大きい再生骨材を使用しているためコ

ンシステンシーの経時変化、乾燥収縮率の測定も行なうこととした。

2.1 使用材料

使用材料を表-1 に示す。骨材は粗骨材、細骨材ともに再生骨材を使用した。

表-1 使用材料

材料	記号	種類
セメント	C	普通ポルトランドセメント
水	W	上水道水
細骨材	S	再生骨材
粗骨材	G	再生骨材
フライアッシュ	F	JISII種
AE 減水剤	AE	リグニンスルホン酸化合物
高性能 AE 減水剤	SP	ポリカルボン酸化合物

表-2 再生骨材の品質

原コンクリート	粒径 (mm)	表乾比重 (g/cm ³)	吸水率 (%)	微粒分量 (%)
建屋基礎 Gmax 20mm	5 以下	2.23	12.85	4.89
	5~20	2.42	6.36	0.73
	20~40	2.41	5.73	0.34
護岸 上部工 Gmax 40mm	5 以下	2.17	13.79	3.74
	5~20	2.44	6.04	0.64
	20~40	2.40	6.92	0.29
JIS 再生骨材 L	5 以下	—	13 以下	10 以下
	5~20	—	7 以下	2 以下

*1 電源開発 (株) 技術開発センター茅ヶ崎研究所土木材料研究室 工修 (正会員)

*2 電源開発 (株) 技術開発センター茅ヶ崎研究所土木材料研究室リーダー 工修 (正会員)

2.2 再生骨材の品質

再生骨材は2種類の原コンクリートをそれぞれ自走式破砕機にて破砕し、40mm以上の骨材を取り除いた後、5mm篩いで細骨材と粗骨材に分けた。再生骨材の品質試験結果を表-2、細骨材の粒度分布を図-1、粗骨材の粒度分布を図-2に示す。図-1、2中に示した点線はJISの再生骨材Lに規定された粒度範囲である。

品質試験結果より今回使用した再生骨材は吸水率が大きく、JISの再生骨材Lに近い品質であることがわかる。図-1、2をみると細骨材は再生骨材Lの粒度範囲内に入っているが、粗骨材では粒径の小さいものが多い。

2.3 配合

実験に使用した配合を表-3に示す。骨材は細骨材、粗骨材ともに再生骨材を使用し、有効利用量を増やすため再生骨材の粗骨材最大寸法を40mmとした。また、骨材は全て表乾状態に調整して試験を行なった。

いずれの配合も施工時間を考慮して練りあがり直後に修正VC値で15秒前後となるように事前の試験により単位水量を調整した。

配合No.1~No.4は骨材に建屋基礎からの再生骨材を使用し、AE減水剤を用いた配合である。発生した再生骨材をなるべく多量に使用するために、破砕後、篩い分けをしていない状態の再生骨材の5mm以下の割合を細骨材率とした。配合No.1からNo.4まで水結合材比を変えて曲げ強度との関係を確認した。

配合No.5~No.7は骨材に護岸上部工からの再生骨材を使用し、高性能AE減水剤により水結合材比を低減した配合である。細骨材率は事前試験により高い締固め率が得られ、かつ単位水量の最も少なくなる最適細骨材率を選定した。配合No.5からNo.7まで水結合材比を変えて曲げ強度との関係を確認した。

原コンクリートは昭和30年代および50年代に施工されたものであることからアルカリ骨材反応について不明であること、また吸水率の大きい再生骨材のアルカリ

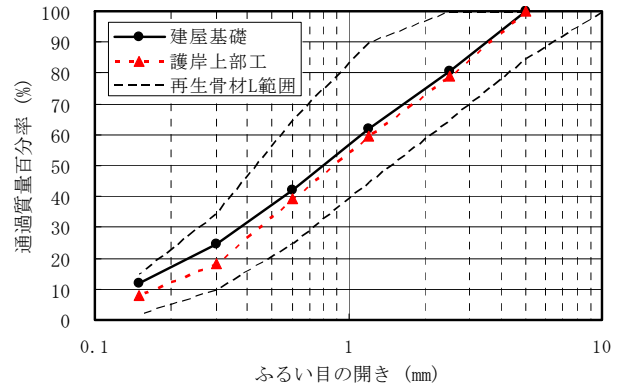


図-1 再生骨材（細骨材）の粒度分布

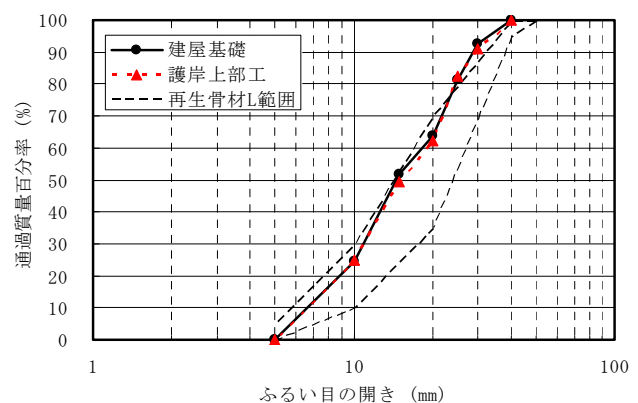


図-2 再生骨材（粗骨材）の粒度分布

表-4 測定項目および測定方法

測定項目	測定方法
VC試験	JSCE-F 507-1999
締固め率	VC試験終了後の試験体、曲げ供試体で締固め率を測定
コンシステンシーの経時変化	練り上がりから15分おきに修正VC値を測定
曲げ強度試験	JIS A 1106-1999
乾燥収縮試験	JIS A 1129

表-3 配合

配合No.	使用骨材	F/(C+F) (%)	C+F (kg/m³)	W/(C+F) (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³)						混和剤	
						W	C	F	S	G1 40-20	G2 20-05	AE	SP
1	建屋基礎	25	300	41.7	42.9	125	225	75	772	374	653	0.750	—
2		25	330	37.9	42.9	125	248	83	762	369	644	0.825	—
3		25	360	34.7	42.9	125	270	90	751	364	636	0.900	—
4		25	390	32.1	42.9	125	293	98	741	359	627	0.975	—
5	護岸上部工	20	350	30	38	105	280	70	637	510	649	—	3.15
6		20	389	27	38	105	311	78	626	501	638	—	3.50
7		20	438	24	38	105	350	88	612	491	624	—	3.94

骨材反応性試験の適用性については十分な知見がないため、フライアッシュ混合率を 20%以上とすることとした。

2.4 測定項目および測定方法

測定項目および測定方法を表-4 に示す。

コンシステンシーの測定は VC 試験を実施し、修正 VC 値で評価した。VC 試験終了後の試験体を使用して締固め率を測定した。

また、吸水率の大きな再生骨材を使用したことにより、コンシステンシーの経時変化が大きくなったため、配合 No.1 と配合 No.5 で修正 VC 値の経時変化の測定を行った。

粗骨材最大寸法が 40mm であるため、曲げ強度試験では 15×15×53cm の供試体を作製し、20℃噴霧状態にて材齢 7, 28, 91 日まで養生した後、試験を実施した。なお、供試体作成時に締固め率の測定も行なった。

乾燥収縮試験の供試体はウェットスクリーニングを行ない 20mm 以上の骨材を除去し、10×10×40cm の大きさに作製した。この供試体を 20℃噴霧状態にて 28 日間養生した後、20℃、湿度 60%の環境で 7, 28, 56, 91 日経過後の長さ変化率を測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 フレッシュ性状

(1) 修正 VC 値、締固め率

表-5 に各配合の単位結合材量、単位水量、フレッシュ性状を示す。

配合 No.1~No.4 は単位水量が 125kg、No.5~No.7 は 105kg とそれぞれ一定で、結合材量が大きく変化している。このときの修正 VC 値と締固め率は配合 No.1~No.4 ではほぼ一定であった。これに対し、配合 No.5~No.7 は結合材量が多くなるにしたがい、修正 VC 値は大きくなり、締固め率は小さくなっている。これは単位水量 125kg 程度であれば粉体量が増加してもコンシステンシーに大きな変動はないが（鈍感な配合）、高性能 AE 減水剤を使用して単位水量を 105kg に減じた場合には単位水量に対して粉体が多いため、締固めにくくなり締固め率の低下やコンシステンシーの低下が現れる（敏感な配合）。

(2) コンシステンシーの経時変化

吸水率の大きな再生骨材を使用しているため、配合 No.1 と配合 No.5 で修正 VC 値の経時変化を測定した。また、配合 No.5 では湿潤状態にした再生骨材を使用したケースでも試験を行ない、表面水量を単位水量から差し引いた配合でコンクリートを製造し、経時変化を比較した。結果を図-3 に示す。

配合 No.5 と配合 No.5 粗骨材のみ湿潤状態にした経過

表-5 フレッシュ性状（目標修正 VC 値 15 秒）

配合 No.	結合材量 (kg/m ³)	単位水量 (kg/m ³)	修正 VC 値 (秒)	締固め率 (%)
1	300	125	12.0	98.5
2	330		12.3	97.9
3	360		17.2	98.0
4	390		12.4	97.0
5	350	105	13.8	98.0
6	389		15.6	96.6
7	438		21.8	95.8

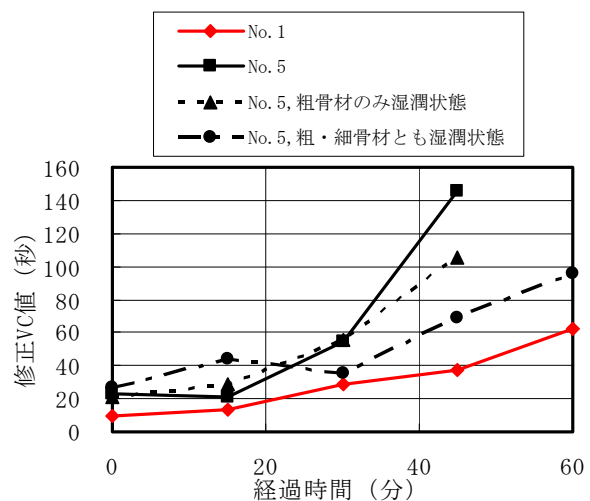


図-3 コンシステンシーの経時変化

時間 60 分での測定では修正 VC 値が大きくなったため測定を途中で打ち切った。

配合 No.5 の 3 種類の結果を比較すると、湿潤状態にした骨材が増えるほどコンシステンシーの経時変化は少なくなっていることがわかる。これは表乾状態とみなしていた骨材が気乾状態であった可能性があり、練り終わった後に徐々に骨材に吸収され、修正 VC 値が大きくなると考えられる。

吸水率の大きい再生骨材を使用するときは吸水率の変動が大きく、通常の管理では表乾状態を保つことが難しいため、骨材を湿潤状態にすればより安定的に骨材の管理ができる。

配合 No.1 と配合 No.5 を比較すると配合 No.5 の方は急激に修正 VC 値が大きくなっている。配合 No.5 は高性能 AE 減水剤を使用して単位水量を減じているため、骨材の吸水により減少する水量の割合が相対的に大きくなり、より敏感に修正 VC 値に反映されたと考えられる。

3.2 硬化性状

(1) 曲げ強度

図-4 に曲げ強度試験結果を示す。建屋基礎の再生骨

材・AE 剤を使用したシリーズが配合 No.1～No.4、護岸上部工の再生骨材・高性能 AE 減水剤を使用したシリーズが配合 No.5～No.7 である。

若干のばらつきはあるが、各シリーズでみると材齢が経過するほど、また、結合材水比が大きくなるほど曲げ強度は大きくなっている。

しかし、配合 No. 1～No.4 のシリーズより配合 No.5～No.7 のシリーズの方の結合材水比が大きいかかわらず、強度は大きくなっていない。

この原因を探るため、曲げ強度試験後の供試体の破断面を観察したところ、再生骨材中の原コンクリートペースト部分で破断していることが分かった（写真-1 の円内）。配合 No.1～No.4 と配合 No.5～No.7 は原コンクリートの性質の違う再生骨材を使用しているため、シリーズの違う配合では曲げ強度と結合材水比が線形関係にならなかったものと推測される。

確認のため配合 No.5～No.7 に使用した再生骨材の原コンクリートのコアが残っていたため、圧縮強度を測定したところ、 19.8N/mm^2 であった。一般に曲げ強度は圧縮強度の $1/5\sim 1/8$ であり、原コンクリートの曲げ強度は 4N/mm^2 程度と推測できる。よって再生骨材中の原コンクリートのペースト部分が弱点となるため、結合材水比を増加しても曲げ強度が増加しないと考えられる。

また、RCCP 用コンクリートは締固め率によっても曲げ強度に影響がでることから、締固め率の確認を行なった。曲げ試験に用いた供試体の締固め率を表-6 に示す。配合 No.1～No.4 の締固め率は全て 97%以上となっており安定している。一方、配合 No.5～No.7 は結合材水比が大きくなるにしたがい締固め率は小さくなっている。これは「3.1 フレッシュ性状」でも記したように、単位水量に対して粉体が多くなり、締固めが難しくなっているためと思われる。図-4 で配合 No.5～No.7 の結合材水比の増加に対して曲げ強度の増加が小さいのは締固め率が下がっていることも要因として考えられる。

数字上の締固め率が、どの程度かを目視で確認するため、試験終了後の供試体をコア抜きして内部を確認したところ目視では顕著な締固め不足は見られなかった（写真-2）。

以上より、再生骨材中の原コンクリートペースト部分が弱点となり破断すること、結合材水比を大きくしても強度の増加が小さいことなどを考慮すると吸水率の大きい再生骨材を使用した RCCP 用コンクリートの曲げ強度は $4\sim 4.5\text{N/mm}^2$ が限度と考えられる。実際の供用を考慮すると、舗装設計便覧¹⁾などで要求するコンクリート版として必要な設計基準曲げ強度 4.4N/mm^2 を満たすことは難しい。したがって、重荷重の通行のない箇所に適用する、版厚を大きくするなどの対策が必要となる。

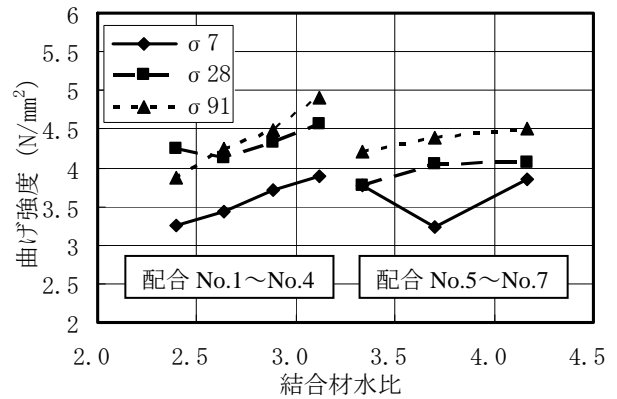


図-4 曲げ試験結果



写真-1 曲げ試験供試体破断面

表-6 締固め率

配合 No.	粉体水比 (C+F)/W	締固め率		
		材齢 7 日	材齢 28 日	材齢 91 日
1	2.398	97.6	97.6	98.2
2	2.639	97.1	97.5	97.7
3	2.882	97.2	98.1	97.9
4	3.115	97.0	98.3	98.5
5	3.333	97.2	97.2	97.6
6	3.704	96.9	96.9	97.3
7	4.167	95.8	96.4	95.7

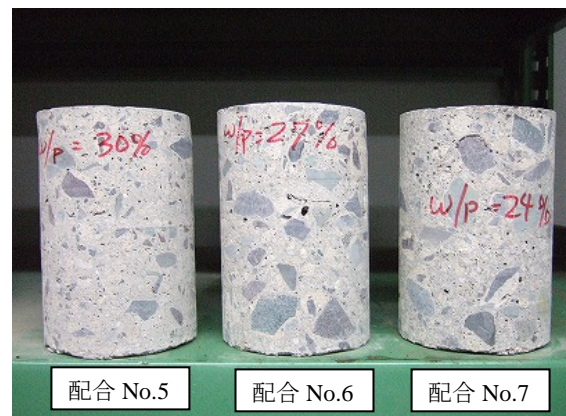


写真-2 曲げ試験供試体から抜いたコア

(2) 乾燥収縮

RCCP 用コンクリートは単位水量が少ないため、一般的に乾燥収縮量は小さいが、吸水率の大きい再生骨材を使用しているため乾燥収縮量の測定を行なった。図-5は配合 No.1~No.4 の長さ変化率と同じ再生骨材を使用した単位水量 163kg, スランプ 10cm のコンクリートの長さ変化率である。

配合 No.1~No. 4 は単位水量 125kg と一般のコンクリートよりも単位水量が少ないにもかかわらず、長さ変化率は 0.1% 近くあり、20mm 以上の骨材をウェットスクリーニングしたことを考慮しても、吸水率の小さい骨材を使用したときと比較すると乾燥収縮量は大きい。

しかし、同じ再生骨材を使用した単位水量 163kg, スランプ 10cm のコンクリートと比較すると乾燥収縮量は小さく、吸水率の大きい再生骨材を RCCP 用コンクリートに適用する際の利点の一つになると言える。

4. まとめ

本研究では JIS 規格の再生骨材 L に近く、吸水率の大きい再生骨材を RCCP 用コンクリートに適用して基礎性状の評価を行なった結果、以下の知見を得られた。

- (1) 高性能 AE 減水剤を使用すれば、同じコンシステンシー（練り上がり直後）を得るために必要な単位水量を 20kg 程度減ずることができる。
- (2) 吸水率の大きな再生骨材は水分管理が難しくコンシステンシーの経時変化が大きくなるが、骨材を湿潤状態にすることで、施工場所への運搬時間を短くすることができれば RCCP 用コンクリートとして利用できる可能性がある。
- (3) 結合材水比を上げて再生骨材以外のペースト分の強度を上げて、再生骨材に含まれている原コンクリートのペースト分が弱点となり破断するため、原コンクリートの曲げ強度以上にすることは困難である。
- (4) 曲げ強度は 4~4.5N/mm² が限度であり、舗装設計便覧などで要求する設計基準曲げ強度 4.4N/mm² を満たすことは難しい。しかし、適用箇所の選定や設計上の配慮を行なえば、骨材の再生化に手間をかけなくても利用できる見通しが得られた。

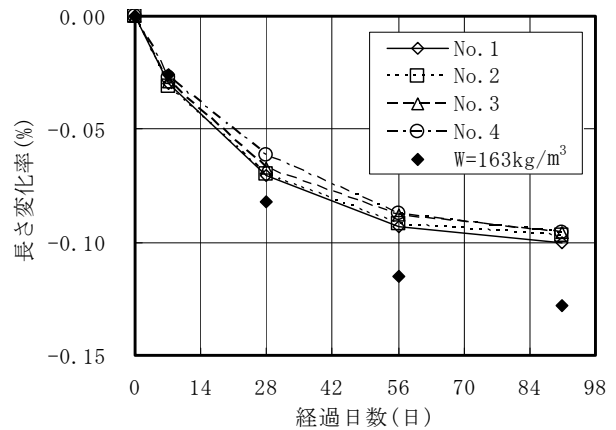


図-5 長さ変化率

- (5) RCCP 用コンクリートは単位水量が少ないため、一般のコンクリートより乾燥収縮が小さく、これは吸水率の大きい再生骨材を使用する際の利点となり得る。

今回の研究ではフレッシュ性状や硬化性状のうち、曲げ強度と乾燥収縮量について検討してきた。しかし、RCCP 用コンクリートに必要なとされる性能はその他にも摩擦抵抗性や平坦性等が挙げられる。今後はこういった面からも吸水率の大きい再生骨材の RCCP 用コンクリートへの適用性を検討していかなければならない。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：舗装設計便覧，2006.2
- 2) 土木学会コンクリート委員会電力施設解体コンクリート利用検討小委員会：電力施設解体コンクリートを用いた再生骨材コンクリートの設計施工指針（案），(社)土木学会，2005.5
- 3) 野口 貴文，小山 明男，鈴木 康範：再生骨材コンクリートに関する JIS 規格，コンクリート工学，Vol.45, No.7, pp5-12, 2007.7
- 4) (社)セメント協会 RCCP 専門委員会：転圧コンクリート舗装 (RCCP) 文献調査報告書，(社)セメント協会，1989.3
- 5) 安藤 豊，佃 美伸，中丸 貢，児玉 孝喜：転圧コンクリート舗装 (RCCP) の普及に向けて，コンクリートテクノ，Vol.26, No.9, 2007.9

