

# 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

ROLLER COMPACTED CONCRETE BY THE USE OF CRUSHED BY-PRODUCT FROM THE CONCRETE

吉兼 亨\*・鯉江 利夫\*\*・松下 正美\*\*\*

by Tohru YOSHIKANE, Toshio KOIE  
and Masami MATSUSHITA

## 1. はじめに

建設工事に伴って発生するセメントコンクリート塊（以下、コンクリート塊とする。）は、1976年頃から再生クラッシャーランとして舗装の路盤<sup>1)</sup>に用いられてきたが、骨材資源の枯渇からさらに付加価値の高い再生利用技術の開発へのニーズが高まりつつある。その一つの方向として、セメントコンクリートに用いる再生粗骨材の生産が各所で試みられている。しかし、再生粗骨材の品質を高めるためには再生処理の段階で、粗骨材粒に付着するモルタル分を除去すればするほど再生粗骨材の生産歩留りは悪くなり、且つ5mm以下の細粒分は現状ではコンクリート用骨材として用いるには困難が多い。その他、モルタル分の付着は再生骨材の品質基準<sup>1)</sup>の面でも低品位のコンクリートにしか適用できない制約を受け、付加価値の向上にはつながらない。

このような背景から、当社では以前にコンクリート塊の有効利用を図り、コンクリート塊を破砕し5mm以上を再生粗骨材としてコンクリート用に、5mm以下の粉砕物を再生セメントに加工する再生技術<sup>2)</sup>を確立し、両者を用いた再生コンクリートにも数多くの実績を挙げてきたが、供給過剰の生コン市場にあっては再生セメント、再生コンクリートの生産供給の継続は容易ではなかった。

そこで、今回はより簡単なプロセスでコンクリートに再生できるよう、コンクリート塊を破砕したもの（以下、再生骨材とする。）の粒度分布が連続性を持っていることに着目し、破砕材の全量を使用することにより付加価値の高まる、転圧コンクリート（以下、RCCとする。）用骨材に利用した場合の適応性を検討した。

本報告は、再生骨材の物性、配合設計及び試験施工の結果をとりまとめ報告するものである。

## 2. RCC用骨材の生産

当社のアスファルトコンクリート用再生骨材、コンクリート再生クラッシャーラン及び再生粒調砕石を生産し

ている破砕プラントの工程を一部切替えてRCC用骨材を生産した。再生骨材を生産した関係分のフローを図-1、再生粗・細骨材の状態を写真-1に示す。

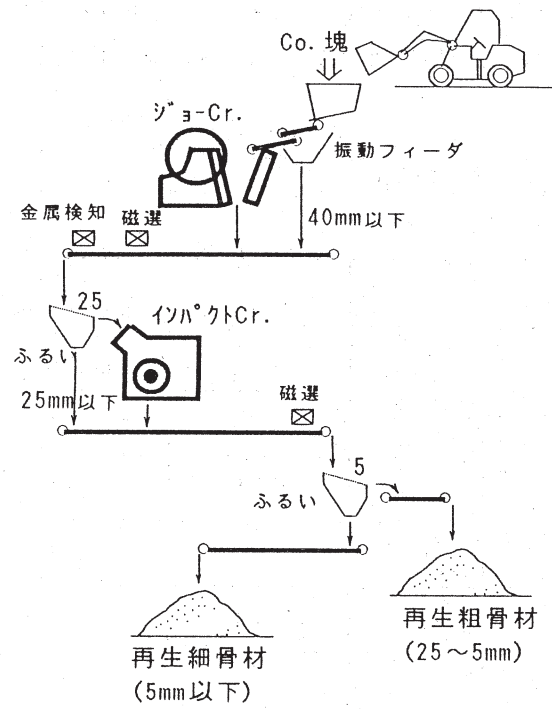


図-1 破砕工程フロー図

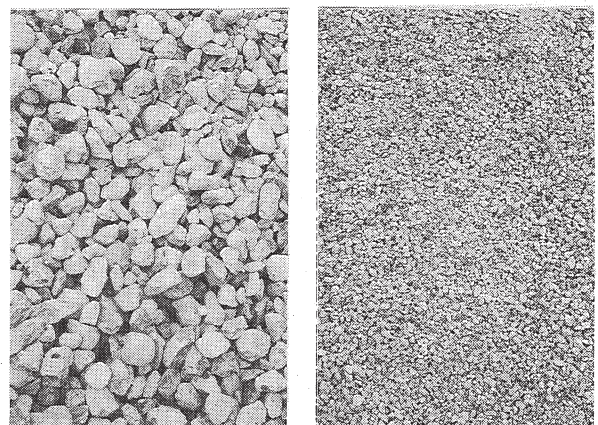


写真-1 再生骨材の状態

\*大有建設(株) 常務取締役 技術本部長兼中央研究所長  
(〒454 名古屋市 中川区 十番町6-12)

\*\* 同 中央研究所 主幹

\*\*\* 同 中央研究所 係長

今回の実験に用いたコンクリート塊は、主としてセメントコンクリート舗装の発生材で、RCCにはクラッシャーラン状の破砕材のみを骨材として全量用いたが、コンクリートの混合までの工程で材料の分離を防ぐため

に25~5mm(再生粗骨材)及び5~0mm(再生細骨材)の2種類に分級した。

### 3. 再生骨材の物性

再生骨材の物性は、特に粗骨材粒の表面に付着しているモルタル分の吸水率、比重に大きく影響を受ける。

再生骨材の日間変動を数日間に渡り調べた表-1の平均的物性値を見ると、再生骨材は普通のコンクリート用骨材に比べ比重が小さく、吸水率が高い。すり減り減量は舗装に用いる場合の基準値35%を満足しており、粒形判定実績率も碎石の基準値である55%超え、通常の砂岩碎石の一般的な値程度であった。また、再生粗骨材の塩酸法による付着モルタル量<sup>3)</sup>は30~40%となっていた。

表-1 再生骨材の物性

試験項目	20~5mm	5mm以下
絶乾比重	2.34 (2.25~2.40)	2.12 (2.05~2.20)
表乾比重	2.45 (2.40~2.55)	2.31 (2.25~2.40)
吸水率 (%)	4.92 (4.20~5.90)	8.94 (7.50~10.5)
単位容積質量 (kg/l)	1.38	1.30
実績率 (%)	59.0	61.3
粒形判定実績率 (%)	57.9	58.3
洗い損失 (%)	1.2	7.0
すり減り減量 (%)	25.9 (粒度区分:C)	-
モルタル付着量 [塩酸溶解法](%)	33.3 (30~40)	-

また、分級前の再生骨材の粒度を示す図-2によると、5mmふるい通過分において最大約20%の差が生じているが、再生粗・細骨材に分級して使用することにより、RCCとしての骨材全粒度の安定化が図れる。

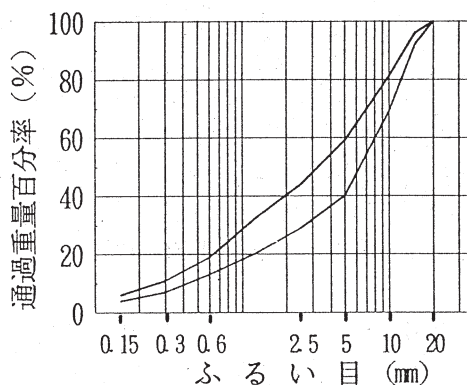


図-2 再生骨材の全粒度分布(粗・細連続粒度)

### 4. 再生骨材を用いたRCCの物性

RCCにおいて再生骨材を用いたものと普通骨材によるものとの物性比較を行った結果を以下に示す。

なお、最大粒径を20mmとし粒度の違いによる影響を受けないようにするため、普通骨材の全粒度を再生骨材の全粒度と近似するように調整した。使用した各々の骨材の物性値は、表-2に示す通りである。

表-2 使用骨材の物性値

骨材種	区分	比重	吸水率 (%)	粗粒率	粒形判定 実績率(%)
再生骨材	20~5mm	2.48	4.39	6.61	57.9
	5~0mm	2.37	7.60	2.79	-
普通骨材	碎石2005	2.65	0.65	6.63	59.8
	川砂	2.57	2.10	2.84	-

#### (1) 配合について

表-3に示すように再生骨材、普通骨材の最適締固め率の得られる細骨材率は、各々38%、40%と大きな違いはなく粒形による差は見られず、特に影響はないものといえる。ただし、同一締固め率を得るための単位水量は、再生骨材、普通骨材で各々110、105kg/m<sup>3</sup>となり5kg/m<sup>3</sup>程度再生骨材を用いた方が多くなる。これは、再生骨材中のモルタル分が混合時にすり減り、微粒分が多くなることや骨材粒表面の凹凸などの影響と思われる。RCC同様に再生骨材を全量使用する粒度で、舗装コンクリートとした場合は、普通骨材による舗装コンクリートと比較すると、同等のコンシステンシー(スランプ2.5cm)を得るには、再生骨材を用いた方は単位水量の増加が15kg/m<sup>3</sup>以上超える<sup>4)</sup>ことからすれば、RCCでの単位水量の増加は僅なものといえる。

表-3 再生骨材と普通骨材の配合比較

骨材種	細骨材率 (%)	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	修正VC値 (秒)	締固め率 (%)
再生骨材	40	105	65	95.3
		110	50	96.0
		115	45	97.0
普通骨材	38	100	70	95.0
		105	50	96.1
		110	35	97.7

#### (2) 強度特性について

再生骨材と普通骨材の水セメント比40%(同一コンシステンシー)における強度試験結果を表-4に示す。

表-4 強度試験結果

骨材種	W/C (%)	s/a (%)	W (kg/m <sup>3</sup> )	圧縮強度		曲げ強度	
				7日	28日	7日	28日
再生骨材	40	40	110	261	310	43	55
普通骨材	40	38	105	410	476	59	70

この結果から分るように、普通骨材を用いた場合に比べ圧縮及び曲げ強度とも同一水セメント比では若干低いものとなっている。

同様に、セメント水比と曲げ強度の関係を見た図-3からも、再生骨材はセメント量の増加に伴う強度の上昇率が小さいことが分る。

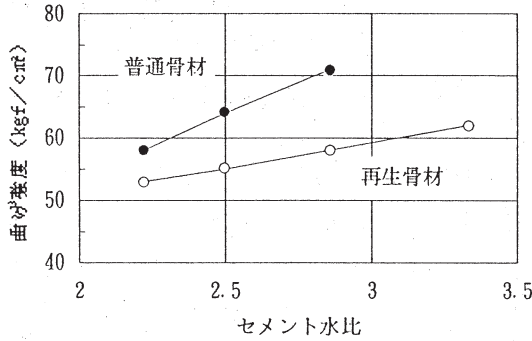


図-3 セメント水比と曲げ強度の関係

以上の結果から、普通骨材に比べると同一水セメント比では曲げ強度は若干劣るものの、35%以下の水セメント比であれば、設計基準強度45kgf/cm<sup>2</sup>に割増し強度及び割増し係数を加味した目標曲げ強度を得ることができ、舗装コンクリートとしての適用が可能である。

(3) 乾燥収縮について

RCCもコンクリートの乾燥収縮はひびわれの発生に影響を与えるため、収縮目地の設置及び目地間隔の検討などの対処が必要である。

JIS A 1129に準じて再生骨材を用いたコンクリートの長さ変化率を測定した図-4の結果を見ると、初期の変化は両者とも類似した傾向であるが、10日前後から徐々に再生骨材を用いた場合の収縮率が大きくなっていることが分る。しかし、通常の舗装コンクリートより小さいといえる。

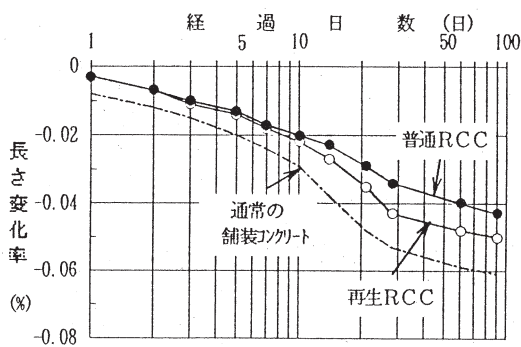


図-4 乾燥収縮測定結果

(4) 練り置き時間によるコンシステンシーの変化  
コンクリートは練上りから時間の経過に伴い、セメン

トの水和反応の進行及び水分の蒸発によりコンシステンシーが増加するため、施工性が変化する。特に単位水量の少いRCCにおいてはこの傾向が強く、それが原因で締固め不足による耐荷力の低下を引起すこともしばしば見受けられる。この傾向は経過時間に伴う修正VC値の変化を示す図-5からも明らかである。

ここで、再生骨材を用いたRCCの経過時間による修正VC値の変化が、普通骨材による場合に比べ、練上り時に同じコンシステンシーであったにも関わらず、短時間に増加する傾向が強い。これは、今回再生骨材の吸水率が高いことを考慮し、気乾状態の再生骨材に水を加え均一に混合後30~60分放置し、必要に応じてこの操作を繰返して再生骨材を表乾状態にしたのであるが、吸水時間が短かったためか一様になっていなかったのではないかとと思われる。このことから、再生骨材の使用に際しては十分なプレウェッティングを行わなければならないといえる。特に夏場での適用には注意を要する。

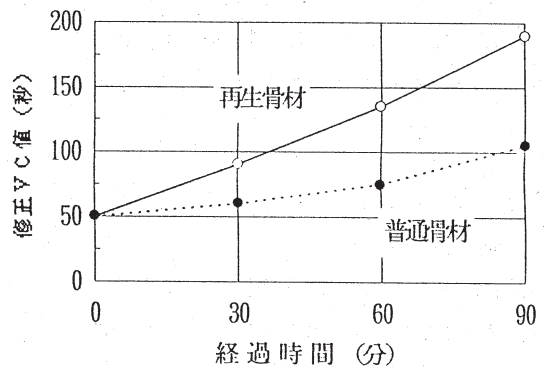


図-5 経過時間と修正VC値との関係

5. 再生骨材を用いたRCCPの試験施工

室内試験の結果を参考に、再生骨材の全量をRCCPに用いた場合の施工性及び耐久性などを検討する目的で、当社の生コン工場のアジテータトラックを始めとする各種資材の運搬路で試験施工を行った。以下に、配合設計及び施工状況などの結果を示す。

5.1. 再生骨材を用いたRCCの配合設計

配合設計は、日本道路協会の転圧コンクリート舗装技術指針(案)(以下、技術指針(案)とする。)に従った。但し、コンシステンシーの測定はマーシャル突固め試験と修正VC値試験を併用し、目標値も締固め度で96%以上、修正VC値で50±5秒とした。

配合設計の手順は、図-6のフローに準じて行き最適配合の決定をした。設計基準強度は、B交通を対象に材令28日の設計基準曲げ強度を45kgf/cm<sup>2</sup>とし、技術指針(案)の割増し強度8kgf/cm<sup>2</sup>、割増し係数1.09を用い配合強度を58kgf/cm<sup>2</sup>とした。

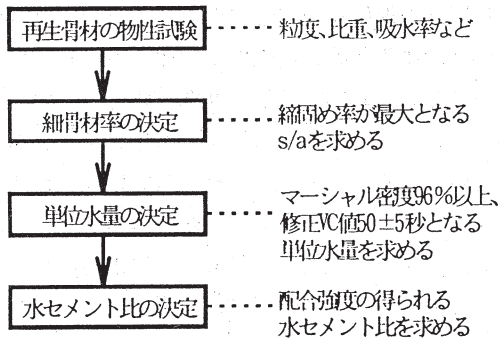


図-6 配合設計手順のフロー

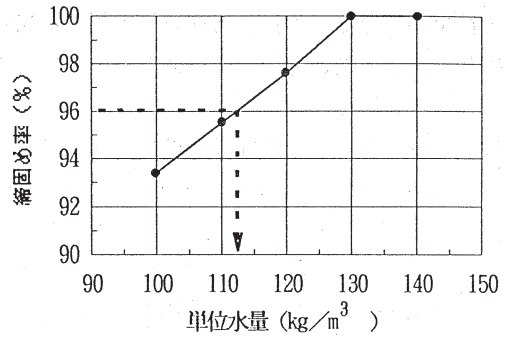


図-7 単位水量と縮固め率との関係

(1) 使用材料

配合設計に使用した再生骨材は、予め試験施工用にコンクリート塊を破碎し、大量にストックした箇所から代表的な骨材を採取したもので、再生粗骨材の物性は、表乾比重：2.54、吸水率：4.0%、実積率：59.0%、同様に再生細骨材では表乾比重：2.35、吸水率：7.7%、実積率：61.3%のものとした。なお、室内試験では普通骨材との比較のため、骨材の最大粒径は20mmとしたが、ここではより多くの再生利用を図ることから最大粒径を25mmとした。

また、セメントは普通ポルトランドセメント、混和剤はAE減水剤を使用した。

(2) 細骨材率の決定

最適縮固め率の得られる細骨材率を決定するために、細骨材率と縮固め率の関係を調べる。その際、単位水量及び単位セメント量を普通骨材を用いた場合の一般的な概略値として、単位水量を100kg/m³、単位セメント量を270kg/m³として行った。結果は、細骨材率40%で最も縮固め率が高くなっており、室内試験の結果とよく一致していることから、コンクリート塊の発生箇所や形態に関係なくほぼ一定した粒径及び粒度分布のものに破碎されているといえる。なお、実際の再生骨材の生産では粗・細骨材いずれかに余剰分が発生しないよう、クラッシュの破碎条件を調整することにより、粗・細骨材のバランスをとることができる。

(3) 単位水量の決定

最適縮固め率の得られる細骨材率40%で単位水量を100～140kg/m³の間で変化させ、マーシャル突固め試験により縮固め率を測定した結果、単位水量112kg/m³の時目標とする縮固め率96%が得られた。これも室内試験の結果と類似しているので、このことから再生骨材の粒度が安定していることがよく分る。

なお、試験施工に用いる再生RCCの単位水量は運搬時間及び天候によるコンシステンシーの変化を見込み115kg/m³とした。

(4) 水セメント比の決定

RCCを舗装版に適用する場合、設計基準強度45kgf/cm²とすると配合強度は58kgf/cm²となる。これを満足する水セメント比は、室内試験の結果同様35%となった。

以上の結果から、試験施工に用いるRCCの配合を表-5の通り決定した。

表-5 RCCの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m³)				AE 減水剤
		W	C	S	G	
35	40	115	330	696	1128	C×1.5%

5.2. 試験施工概要

設計断面は図-8の通りとし、幅員3.5m、延長30m、施工面積105m²を施工した。

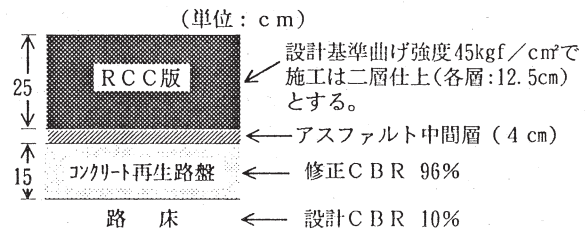


図-8 設計断面図

今回のRCCは、通常のアスファルトフィニッシャーを用いることから、密度不足を防止するために二層<sup>5)</sup>に

表-6 転圧条件

用途	機械の名称	転圧回数
初・二次転圧	振動ローラ (7t)	無振 2回
		有振 4回
仕上げ転圧	タイヤローラ (15t)	6回

分けて施工し、付着性確保の点から一層目の面上をショベルあるいはグレーダーで掻き荒した。転圧は、各層とも表-6に示す条件で行った。

6. 試験施工結果

6.1. RCCの物性

練上り直後のRCCの物性は、一層目、二層目共修正VC値で、45~50秒、マーシャル締固め密度で96.0~96.9%と何れも設計値に近いもので、状態も良好なものであった。また、施工時に採取した供試体の強度も表-7から分るように、ほぼ満足できるものとなっていた。

表-7 強度及び弾性係数試験結果

区分	曲げ強度		圧縮強度		弾性係数 (kg/cm <sup>2</sup> )	ポアソン 比
	7日	28日	7日	28日		
標準養生	47	52	161	243	305,000	0.20
現場空中	46	55	145	216	293,000	0.20

6.2. 施工結果

再生骨材を用いたRCCの敷均し性は良好で、転圧による高さ変化も図-9に示すように、一、二層目共類似した傾向であり、これを必要余盛高に換算すると26%程度に相当する。今回、敷均しに高締固め型アスファルトフィニッシャーを用いていないが、通常の施工機械によっても十分な締固め密度を得ることができたことから、総合的に見て施工性の点では特に損色のないものといえる。写真-2に施工状況、写真-3に完成後の路面状況を示す。

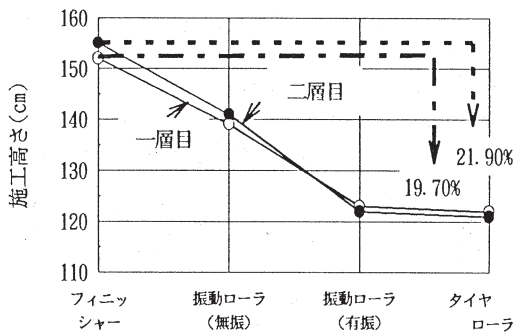


図-9 転圧による高さ変化



写真-2 施工状況



写真-3 完成路面状況

6.3. 施工後の路面調査結果

施工翌日に路面の平坦性を3mプロフィールメータにより測定した結果、標準偏差3.41mmと技術指針(案)に示される管理基準の3.0mmを満足することはできなかったが、これは施工延長距離が30mと短かったことによる影響と思われる。

また、すべり抵抗値はBPN(英国式ポータブルスキッドレジスタンステスターによる)で湿潤面の平均が84であり、コンクリート舗装の新設面と同程度の結果であった。

7. 静的載荷試験結果

施工1ヶ月後に自由縁部で5ton輪荷重による静的載荷試験を行った。

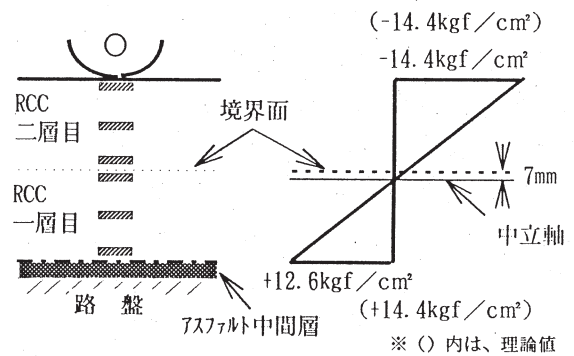


図-10 静的載荷試験結果

測定は縁部の断面に箔ゲージを貼付して、載荷時のひずみを測定し、表-7の現場空中における弾性係数から応力を算出した。

結果は、図-10に示すように、ほぼ二層目の境界面が中立軸となり、発生応力も理論値の14.4kgf/cm<sup>2</sup>に近似した値となっている。しかも、上面の圧縮応力から下面の引張応力まで連続した応力分布となっていることから、二層仕上げによっても一体化した構造を成し得たといえ

る。これは、写真-4に示す切り取り供試体の状況からもよく分る。

ただし、縁部の一部に締固め不足や界面に粗骨材粒が偏っている箇所が見受けられたので、 $s/a$ 、粉体量について検討を要すると考える。

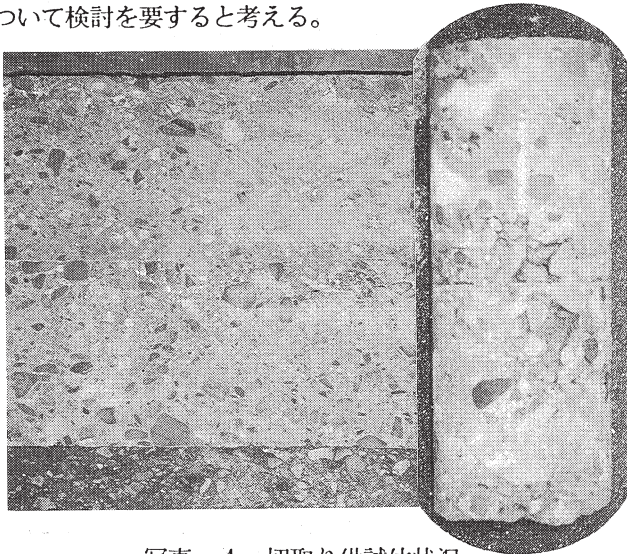


写真-4 切り取り供試体状況

## 7. まとめ

コンクリート塊の有効利用方法の一つとして、再生骨材をRCC用骨材に適用する試みを行った、その結果として次のことが分った。

(1) 骨材の全てに再生骨材を用いてもRCCとすることにより、通常の舗装コンクリートに用いた時のような単位水量の大幅な増加やワーカビリティに劣るといった問題が解消された。

(2) 再生骨材は前述のように、コンクリート骨材としては粗骨材のみの使用にほぼ限定されているが、RCC用としてなら粗・細骨材の全量を用いることができ、発生材を最大限に有効利用することが可能である。

(3) 再生骨材を用いたRCCは普通骨材による場合に比べ、強度が低いものの水セメント比を小さくすることにより対応できる。この場合、セメント量の増加はあるが、従来、粗骨材のみを使用していたことを考慮すると総体的にはコスト的にも有効な再利用方法といえる。

(4) 再生骨材は吸水率が大きいとため、RCCの時間経過に伴うコンシステンシーの変化が大きいことから、練り上り時の修正VC値を30秒あるいはマーシャル突固め密度を98%程度に設定するか、使用前に再生骨材を十分にプレウェットングするなどの工夫を必要とする。

(5) 施工性については、普通骨材と特に変ることはないが、今回二層仕上としたため一部に界面の不良箇所を見受けしたが、 $s/a$ の調整やフライアッシュの併用でも解決できそうであり、また、高締固め型アスファルトフィニッシャーで一層仕上げとすれば問題はないと考え

られる。

(6) 施工1ヶ月後に静的載荷試験を行った結果では、理論値に近い応力分布で一体化した構造となっていたが、路面のすり減り、ひびわれなど耐久的な問題については、今後の追跡調査により究明していく必要がある。

以上、今回の結果から再生骨材をRCCPに適用することの可能性を見出した。反面、未だ未解決な点も多く今後の課題としたい。また、破碎機の種類及び調整により、最適充填率の得られる粒度分布に破碎することも可能であるので、この点も加味し再生骨材をロスなく有効利用できる方法としての展開を図りたいと考える。

## [参考文献]

- 1) ・ T.yosikane : The Instances of Concrete Recycled for Base Course Material in Japan Reuse of Demolition Waste Prceedings of the Second International Symposium RILEM. p. p. 756 ~765  
 ・ 吉兼 亨 : コンクリート廃材の路盤材としての再利用、コンクリート工学、vol. 29、No. 7、July. 1996. p. p. 100など
- 2) 吉兼 亨 ほか : コンクリート廃棄物を用いた再生セメント及び再生コンクリート、第8回コンクリート工学年次講演会論文集、1986、p. p. 861~864
- 3) 山田 優 ほか : コンクリートがらからの骨材回収に関する研究、建設用原材料、vol. 2、No. 2、1993.
- 4) 吉兼 亨 : セメントコンクリート塊の高度化再生利用技術、建設用原材料、vol. 2、No. 2、1993.
- 5) ・ 住井孝紀ほか : 特殊大型車両専用道路への転圧コンクリート舗装の適用、舗装 (1990. 6)  
 ・ 熊倉正志ほか : D交通道路へ適用したRCCPの挙動、舗装 (1991. 11)