

[22] 再生骨材の舗装コンクリート用骨材としての適用性

正会員 ○鳥居和之（金沢大学工学部）
 正会員 川村満紀（金沢大学複合材料応用研究センター）
 正会員 竹本邦夫（金沢大学複合材料応用研究センター）
 正会員 榎場重正（金沢大学工学部）

1. まえがき

建設工事にともない発生するコンクリート廃材は、年間400～500万 m^3 程度と推定されているが、コンクリート廃材が産業廃棄物に指定されてからは大都市周辺においてこれら廃棄物に対する適切な処分地を確保することが次第に困難な状態になっている。コンクリート廃材の有効利用については、コンクリート廃材をクラッシャーにより破碎して、コンクリート再生骨材として利用することが提案されている¹⁾。

再生骨材コンクリートとしては、建築コンクリートの解体時に得られたコンクリート廃材を対称とし、比較的低品質の建築用コンクリートに適用することを目的としたものが多いようである。道路舗装コンクリート廃材より得られた再生骨材は、通常の建築コンクリート再生骨材と比較して骨材としての強度および耐久性の点で良好であることが明らかにされている²⁾。実際、アメリカおよびヨーロッパの諸国では、耐用年数に達した舗装コンクリートを現地で破碎処理し、粒形の良いものは舗装版および路肩部分のコンクリート用骨材として、粒形の劣るものは路盤材料および盛上材料へ活用する方式が実施されている³⁾。

本研究は、再生骨材の舗装コンクリート用骨材としての適用性を検討することを目的としており、2種類の再生骨材（舗装および建築コンクリート廃材より得られたもの）および天然骨材をそれぞれ使用した舗装用コンクリートのワーカビリティ、圧縮、圧裂引張および曲げ強度、乾燥収縮特性、凍結融解に対する抵抗性および曲げ疲労特性について実験的検討を加えたものである。

2. 実験概要

2-1. 使用材料およびコンクリートの配合

本研究に使用した舗装コンクリート再生骨材および建築コンクリート再生骨材は、それぞれ道路舗装の解体時に得られたコンクリート塊（圧縮強度 $43.0\text{kg}/\text{cm}^2$ 、水セメント比 43% 、単位セメント量 $340\text{kg}/\text{m}^3$ ）および低層建築構造物の壁体コンクリート塊（圧縮強度および配合不明、プラスター等の壁材が一部付着）を骨材最大寸法が25mm程度となるようにジョークラッシャーの開き目を調整し、破碎したものである。天然骨材としては早月川産の川砂および砕石を使用した。使用骨材の物理的諸性質は表-1に示すとおりである。舗装再生骨材は付着

表-1 使用骨材の物理的諸性質

	細骨材			粗骨材		
	川砂	舗装	建築	砕石	舗装	建築
表乾比重	2.67	2.38	2.31	2.69	2.45	2.42
吸水率(%)	1.3	7.8	10.9	0.8	5.4	5.9
単位容重(kg/l)	1.66	1.41	1.25	1.64	1.40	1.27
実積率(%)	62.2	59.3	53.9	61.0	56.9	52.4
すりへり減量(%)	—	—	—	20.0	24.5	29.5
安定性試験(%)	8.5	14.3	13.1	4.2	31.1	42.6
BS破砕値(%)	—	—	—	17.1	24.4	29.2
粗粒率	2.73	4.06	3.23	7.13	6.92	6.94
モルタル付着量(%)	—	—	—	—	35.7	59.0

モルタル量が少なく、原骨材と付着モルタルとの付着性とも良好なために、建築再生骨材と比較して骨材としての強度および耐久性が優れている（写真-1参照）。また、使用セメントは普通ポルトランドセメントであり、混和剤は市販のAE剤（ビンゾールレジン）

表-2 コンクリートの配合とフレッシュコンクリートの性質

細・粗骨材の組合せ	単位量 (kg/m^3)				AE剤量 (%)	空気量 (%)	スランプ (cm)	V.B.値 (秒)
	水	セメント	細骨材	粗骨材				
川砂-砕石	134	320	737	1205	0.04	4.4	2.0	2.2
川砂-再生(舗装)	151	360	737	1026	0.04	5.0	2.0	2.2
川砂-再生(建築)	147	350	846	932	0.04	4.5	2.0	3.1
再生-再生(舗装)	151	360	832	845	0.06	3.4	0.5	103
再生-再生(建築)	151	360	774	870	0.06	3.2	0.5	96

を使用した。

コンクリートの配合設計は、セメントコンクリート舗装要綱に従って目標スランブおよびV.B.値をそれぞれ2cmおよび30秒と決め、水セメントは42%と一定した。配合設計の基準となる単位粗骨材容積は0.730であり、使用した細骨材のF.M.値により単位粗骨材容積の補正を行った(川砂使用:0.735、舗装再生細骨材使用:0.606、建築再生細骨材使用:0.686)。舗装用コンクリートの配合およびフレッシュコンクリートの性質は表-2に示すとおりである。

2-2. 実験方法

(1) 圧縮、圧裂引張および曲げ強度試験

圧縮および圧裂引張強度用供試体は直径10cm、高さ20cmの円柱体である。曲げ強度用供試体は10×10×40cmの角柱であり、オートグラフを使用して3等分点載荷により曲げ強度を測定した。

(2) 乾燥収縮試験

供試体は10×10×40cmの角柱であり、脱型後材令7日まで水中養生を行った後に、恒温恒湿室内(温度:20℃、湿度:55%)においてJISA1129(コンパレータ法)により、供試体の長さ変化および重量変化を測定した。

(3) 凍結融解試験

供試体は10×10×40cmの角柱であり、脱型後材令14日まで水中養生を行った後に、ASTM C666-75(A法)に従って凍結融解試験を実施した。

(4) 曲げ疲労試験

供試体は10×10×40cmの角柱であり、脱型後材令90日まで水中養生した後に、試験室内にて1~2ヶ月間放置したものを疲労試験に使用した。サーボバルサーを使用した疲労試験における繰返し載荷速度は5サイクルであり、荷重波形は正弦波である。応力条件は下限応力比を静的曲げ強度(各打設日ごとの平均値を採用した)に対する割合で10%と一定にし、上限応力比を変化させた。打ち切り繰返し数は100万回であり、順序統計理論に従って打ち切りデータの処理を行った。

3. 実験結果および考察

3-1. フレッシュコンクリートの性質

再生骨材は骨材の粒子形状が角ばっているために、川砂-再生粗骨材を使用した舗装用コンクリートでは所定



写真-1 再生骨材の粒子形状

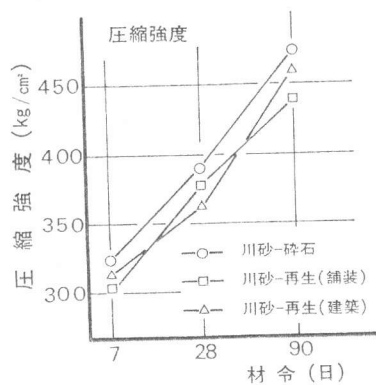


図-1 再生骨材コンクリートの圧縮強度と材令の関係

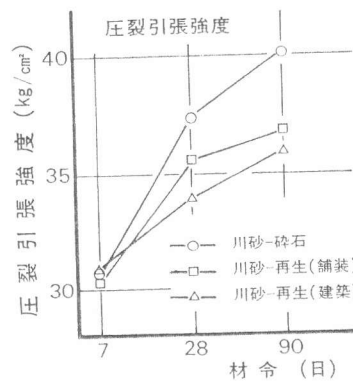


図-2 再生骨材コンクリートの圧裂引張強度と材令の関係

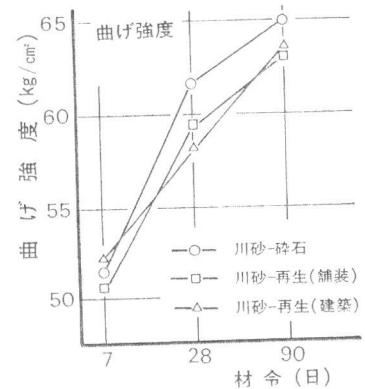


図-3 再生骨材コンクリートの曲げ強度と材令との関係

のスランプおよびV.B.値を得るためには川砂-碎石の場合よりも単位水量を10~15%程度増加する必要がある。とくに、再生細骨材-再生粗骨材を使用した舗装用コンクリートでは単位水量をある程度増加させてもワーカビリティはほとんど改善されず、AE剤による空気連行性も川砂-碎石および川砂-再生粗骨材の組合せと比較してかなり小さい(表-2参照)。

3-2. 強度特性

図-1、2および3は再生骨材コンクリートの圧縮、圧裂引張および曲げ強度と材令の関係を示したものである。川砂-再生粗骨材を使用した舗装用コンクリートでは、川砂-碎石の場合と比較して圧縮、圧裂引張および曲げの各強度が5%程度低下するが、舗装および建築再生骨材を使用したコンクリート間において強度の差異は認められない。舗装用コンクリートに再生骨材を適用した場合には、通常の建築用コンクリートに適用した場合よりも再生骨材自身の物理的性状がコンクリートの強度に及ぼす影響は小さくなるようである。

3-3. 乾燥収縮特性

図-4および5は再生骨材コンクリートの乾燥収縮率および逸散水量と材令の関係を示したものである。舗装用コンクリートの乾燥収縮率は、川砂-碎石、川砂-再生粗骨材、再生細骨材-再生粗骨材の順に増大する。再生骨材コンクリートは、ワーカビリティの改善のために単位水量が増加すること、および骨材自身の弾性係数が小さいために収縮に対する拘束効果が低下することなどの理由により乾燥収縮量が増大するものと考えられる。また、再生細骨材-再生粗骨材を使用した舗装用コンクリートの収縮量が著しいのは、単位粗骨材容積の減少によってモルタル量が増加したことも1つの原因と考えられる。

3-4. 凍結融解に対する抵抗性

図-6および7は再生骨材コンクリートの凍結融解試験における相対動弾性係数比および重量損失率と凍結融解サイクル数の関係を示したものである。川砂-碎石および川砂-舗装再生粗骨材を使用したコンクリートは凍結融解の繰返しにともなう動弾性係数の低下がほとんどみられず、凍結融解に対する抵抗性がかなり優れている。

一方、川砂-建築再生粗骨材を使用したコンクリートは凍結融解の繰返しにともない動弾性係数が低下し、270サイクルにおいて供試体の崩壊が認められた。また、再生細骨材-再生粗骨材を使用した場合には凍結融解に対する抵抗性がかなり小さく、舗装再生骨材を使用したもので210サイクル、建築再生骨材を使用したもので120

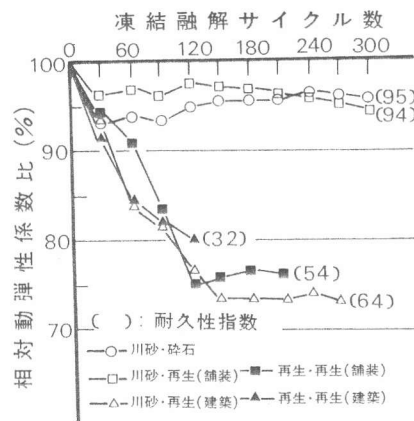


図-6 凍結融解試験における相対動弾性係数比と凍結融解サイクル数の関係

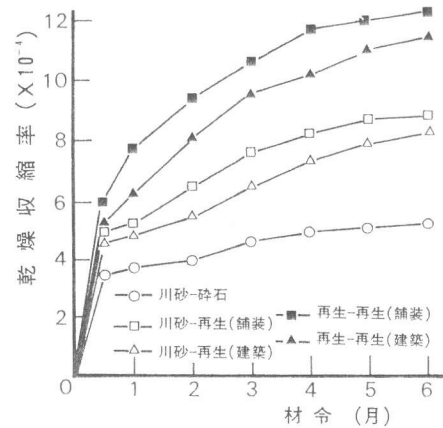


図-4. 再生骨材コンクリートの乾燥収縮率と材令の関係

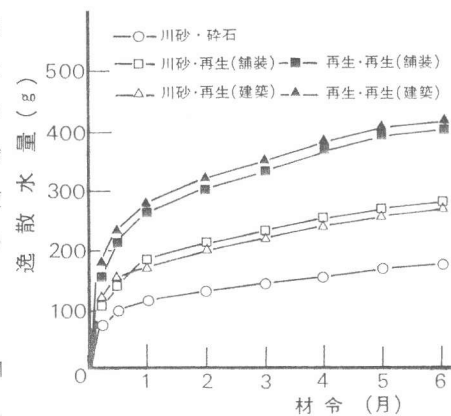


図-5 再生骨材コンクリートの逸散水量と材令の関係

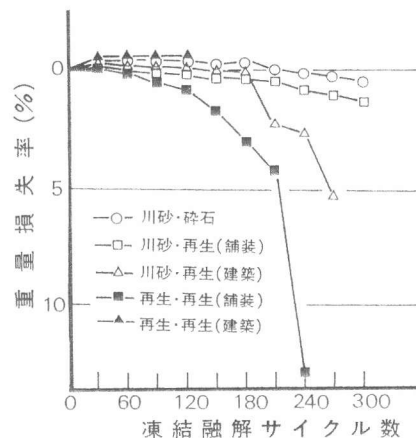


図-7 凍結融解試験における重量損失率と凍結融解サイクル数の関係

サイクルにおいてそれぞれ崩壊した。舗装および建築再生骨材を使用した舗装用コンクリートの凍結融解に対する抵抗性の相違は、再生骨材自身の耐久性の優劣と密接な関係があり、建築再生骨材を使用したコンクリートの破断面には凍結融解の線返しによって再生骨材の付着モルタル部分の脆弱化や再生骨材中の原骨材と付着モルタルとの剥離が多く観察された。

3-5. 曲げ疲労特性

川砂-舗装再生粗骨材を使用したコンクリートの曲げ疲労試験結果は川砂-砕石の場合よりも大きなバラツキを示すが、生存確率(P)と疲労寿命(N)を対数正規確率紙上にプロットすると図-8に示すようにほぼ直線となり、舗装用コンクリートの曲げ疲労寿命は対数正規分布に従うことが認められた。図-9は再生骨材コンクリートの曲げ疲労試験における応力比と平均疲労寿命の関係を示したものである。川砂-舗装再生粗骨材を使用した舗装用コンクリートのS-Nの関係を最小2乗法で近似すると $\log \bar{N} = 23.4 - 21.6 S$ となり、疲労強度(200万回)を外挿によって求めると78%になる。この値はこれまでに報告されている天然骨材を使用したコンクリートの曲げ疲労強度を上回っている^{6,7)}。疲労破壊したコンクリート破断面の観察より、天然骨材コンクリートでは粗骨材とセメントペーストとの界面において破壊しているものが多いのに対して、再生骨材コンクリートでは再生粗骨材とセメントペースト間の付着が良好なために再生骨材中の付着モルタル部分において疲労破壊が生じており、両者において破壊性状の相違が認められた(写真-2参照)。コンクリートの疲労破壊は骨材とセメントペースト間の付着の破壊により進展するので、再生骨材コンクリートの曲げ疲労特性が比較的優れているのは再生骨材とセメントペースト間の付着性状が良好なことによるものと考えられる⁷⁾。

4. 結 論

本実験で使用した範囲の道路舗装コンクリート廃材より作製された再生骨材は、骨材としての物理的性状も比較的優れており、川砂-再生粗骨材の組合せで使用した場合には川砂-砕石を使用したものと比較してコンクリートの強度および耐久性の点で大きな差違が認められないことから、舗装コンクリート用骨材としての適用が十分可能であると考えられる。

参考文献

- 1) 建築廃棄物処理再利用委員会、コンクリート工学、Vol.16、No.7、1978.
- 2) W. A. Yrjanon, Proc. 2nd Int. Conf. on Concrete Pavement Design, 1981.
- 3) 川村満紀、鳥居和之ほか、材料、Vol.32、No.353、1983.
- 4) 伊吹山四郎、国分隆一ほか、第2回コンクリート工学講演論文集、1980.
- 5) 日本道路協会、セメントコンクリート舗装要綱
- 6) J. W. Murdock and C. E. Kesler, J. Am. Concrete Inst. Vol. 30、No.2、1957.
- 7) C. E. Kesler (成岡、都築訳)、コンクリートジャーナル、Vol.9、No.12、1971.

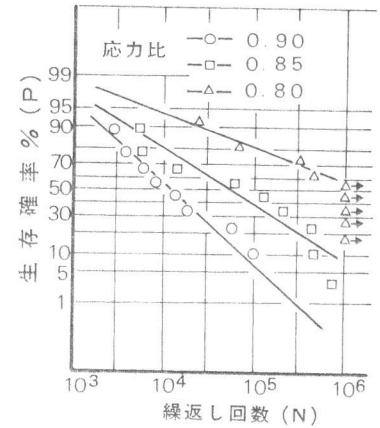


図-8 再生骨材コンクリート(舗装)の生存確率と繰返し回数との関係

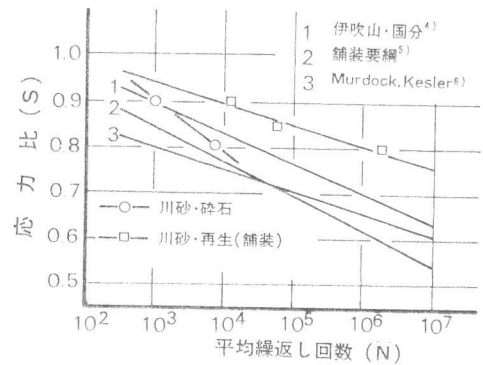


図-9 再生骨材コンクリートの応力比と平均繰返し回数との関係

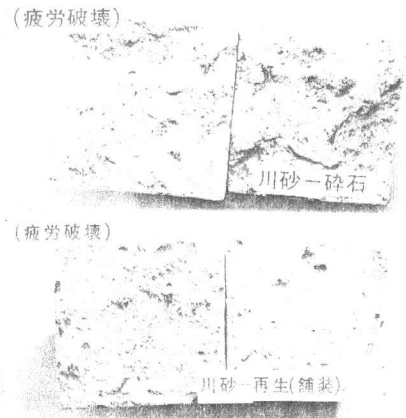


写真-2 疲労破壊した供試体の破断面