

論文 PC 枕木廃材を再生骨材として利用するための基礎研究

板谷 英克^{*1}・小玉 克己^{*2}・栗原 哲彦^{*3}

要旨：本研究では，原コンクリートとして比較的高品質な PC 枕木廃材を処理し再生粗骨材としてコンクリート用骨材に使用し，基礎的なコンクリートの性状を実験，考察することにより利用可能であるか検討した．再生粗骨材を普通骨材と混合使用することによりコンクリートの品質向上が計られることが確認された．また，再生骨材の 2 次処理を実施することで骨材の品質は向上するが，再生コンクリートの性状には骨材粒ごとの品質はあまり影響はなく使用骨材全体の品質で再生コンクリートの性質は決まることが確認された．

キーワード：再生粗骨材，RG 混入率，2 次処理，PC 枕木廃材

1. はじめに

コンクリート塊のリサイクルについては，ここ数年多くの実験・研究が行われている．破碎したコンクリートは，骨材として路盤材，埋め戻し材等に再利用されているのが現状であるが，近年のコンクリート塊の発生増加と骨材の不足という観点からさらなる利用法が必要である．コンクリート塊をコンクリート用骨材として利用することでこれらの問題を解決することが可能である．しかし，コンクリート塊から製造される再生骨材は，普通骨材と比較すると低品質な骨材である．そこで本研究では，原コンクリートに比較的高品質，高強度である PC 枕木廃材を用いて解体，破碎し再生粗骨材としてコンクリート用骨材に利用可能であるかを骨材の物理的性質及びコンクリートの諸性状から比較，検討した．

2. 使用骨材

2. 1 再生骨材

W/C=33%・最高温度 60℃の蒸気養生・製造時の材齢 28 日圧縮強度が 60N/mm²の PC 枕木廃材をジョークラッシャーにより解体，破碎し，ふるい分けし 5-20mm のものを再生粗骨

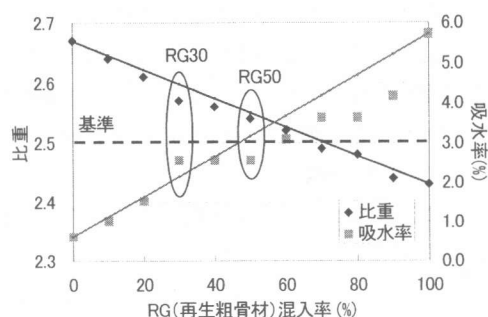


図-1 RG 混入率と比重・吸水率の関係

材 RG として使用した．

2. 2 普通骨材

比較用として普通粗骨材に八王子産砕石 NG，細骨材に相模原水系川砂を使用した．

2. 3 NG と RG の混合

全粗骨材量に対する RG の混入率と比重，吸水率の関係を求めた．(図-1)

今回，図-1 より普通粗骨材の示方書基準⁶⁾である比重 2.5 以上，吸水率 3.0%以下を満たす RG 混入率 50% (RG50) と 30% (RG30) の 2 種類を使用することとした．

2. 4 2 次処理した再生骨材

2. 1 で PC 枕木廃材をジョークラッシャーにより解体，破碎したもののうち 20mm 以上のものを使用し，ロサンゼルス試験機による 2 次

*1 武蔵工業大学 大学院 工学研究科 土木工学専攻 (正会員)

*2 武蔵工業大学 教授 工博 (正会員)

*3 武蔵工業大学 助手 工博 (正会員)

処理を実施した。得られた結果から破碎効率を以下の式(1)で求め、比重、吸水率との関係を図-2 示す。

$$\text{破碎効率(H)} = \frac{\text{鉄球の個数} \times \text{回転数}}{\text{試験前の骨材の質量}} \quad (1)$$

今回、図-2 より普通粗骨材の示方書基準⁶⁾を満たす、H=350 を与えたものを2次処理再生粗骨材(RG II)として使用した。

3. 使用骨材の物理的性質

使用する粗骨材について JIS の試験方法に準拠し表-1 に示す骨材試験を実施した。試験結果を表-2 に示す。表中の全国とは、全国の再生処理プラントで処理・製造された再生骨材の平均値⁷⁾である。粗骨材の粗粒率(F.M.)は、粒度調整を行い 6.60 と一定にした。(普通細骨材は比重=2.54, 吸水率=2.55%, F.M.2.98)

3. 1 骨材試験結果

表-2 より RG が NG より低品質であることが確認できる。しかし、RG は原コンクリートが高品質、高強度の PC 廃材である。そのため、解体、破碎したのみの状態であるにもかかわらず全国の処理プラントで処理・製造された再生骨材の性質と同様の品質である。処理を行っていないので、粒形が粗で原モルタルが多く付着しているため全国の平均値より実積率と単位容積質量は低い値を示している。また、RG50, RG30, RG II は、比重・吸水率共に普通粗骨材の示方書基準⁶⁾を満たしている。そのため、これらを粗骨材として使用した場合、RG 単体のコンクリートより高品質のコンクリートを作製できるものと予想される。

表-1 骨材試験方法

試験項目	試験方法
比重	JIS A 1110
吸水率	JIS A 1135
単位容積質量	JIS A 1104
実積率	
粗粒率	JIS A 1102
破碎値	B.S. 182
すりへり	JIS A 1121
安定性	JIS A 1122

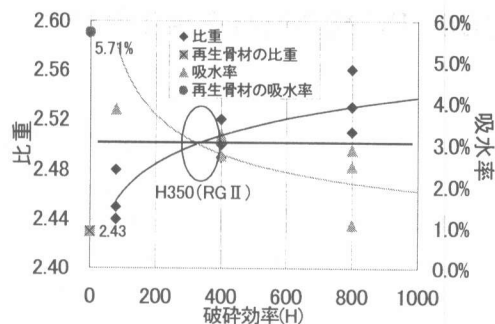


図-2 2次処理再生粗骨材と比重・吸水率の関係

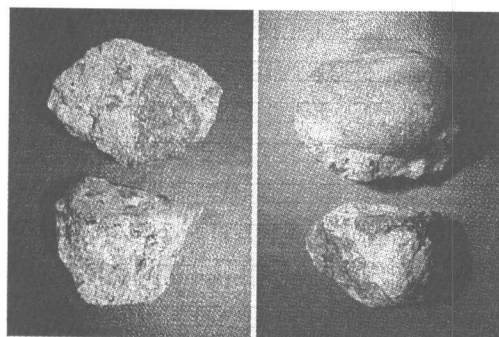


写真-1 骨材の形状 (左:RG, 右:RG II)

3. 2 骨材の形状

写真-1 に骨材の形状を示す。写真-1 の左が RG, 右が RG II である。写真-1 の RG は、ジョークラッシャーで破碎しただけの骨材なので角張り偏平で表面は粗い。また、原モルタルのみで構成されたものも多く見られた。しかし、ロサンゼルス試験機ですりへり処理した RG II は、RG に付着していた原モルタル分が減少し、角張った部分がすりへり、丸みを帯び、原骨材が露出しているものも多く見られた。原モルタルのみで構成されているものはあまり見られなかった。そのため、RG II は、フレッシュコンクリートの性状も改善されると予想される。

表-2 使用粗骨材の物理的性質試験結果

粗骨材		表乾比重	吸水率 (%)	単位容積質量 (kg/m ³)	実積率 (%)	破碎値 (%)	すりへり (%)	安定性 (%)
	NG	2.67	0.61	1578	59.1	10.2	13.4	7.6
	RG	2.43	4.60	1363	57.3	23.0	26.2	30.9
	RG50	2.54	2.56	1490	59.9	12.8	25.0	16.6
	RG30	2.57	2.40					
	RG II	2.52	3.10	1508	59.6			17.6
	全国	2.41	5.79	1463	62.4			

表-3 決定した配合（配合条件 W/C 55%・Gmax20mm・スランプ 15±2.5cm・空気量 5±1.5%）

配合	RG 混入率 (%)	s/a (%)	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	NS (kg/m ³)	G		混和剤		実測値		
						NG (kg/m ³)	RG (kg/m ³)	AE減水剤 (kg/m ³)	AE助剤 (kg/m ³)	Air (%)	Slump (cm)	単位容積 重量(t/m ³)
N100	0	46.9	187	340	793	929		0.85	0.03	5.2	15.0	2.33
R30	30					626	268			5.9	16.0	2.29
R50	50					433	433			5.1	13.9	2.28
R100	100		196	356	776		811	0.89	0.04	5.4	16.5	2.24
RⅡ			187	340	793		828	0.85	0.03	4.8	17.0	2.29

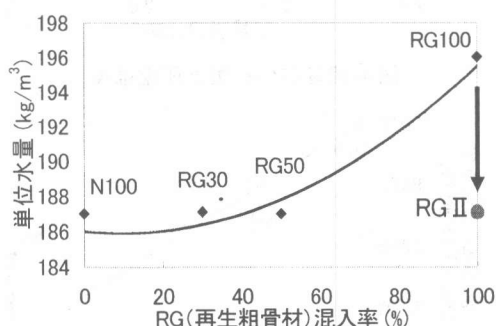


図-3 単位水量と RG 混入率の関係

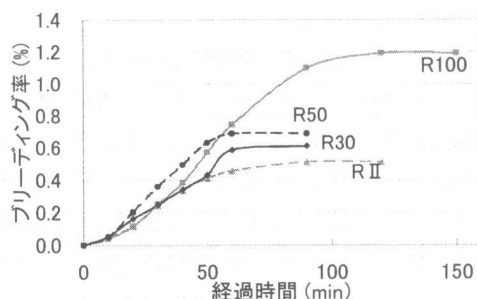


図-4 ブリーディング率と経過時間の関係

4. 配合

配合条件 W/C 55%・Gmax20mm・スランプ 15±2.5cm・空気量 5±1.5%のもと、NG・RG・RG50・RG30・RGⅡの各粗骨材を使用した配合を表-3 のように決定した。

5. フレッシュコンクリートの性質

練り混ぜ時に空気量・スランプ・単位容積重量・ブリーディング率の測定(JIS A 1101, 1128, 1116, 1123 に準拠)を実施した。

5. 1 空気量とスランプ

表-3 に実測空気量、スランプと単位容積重量の値を示す。測定時のコンクリートの状態は、どの配合においても流動性が良く材料分離の傾向は見られなかった。s/a は再生粗骨材の影響はなく、各配合共に 46.9%であった。単位容積重量は、RG が混入しているため N100 より低い値を示している。

図-3 に同様なコンシステンシーを得るために必要な単位水量と RG 混入率の関係を示す。R100 の単位水量は 196kg/m³ と他の配合より 5% 増加させなければ所要の条件を満たすことができなかった。それは、再生粗骨材は普通骨材に比べ粒形が悪いため単位水量が増加したものと

考えられる。RG 混入率が増加すると所要のコンシステンシーを得るために必要な単位水量を増加させなければならないことが確認できる。しかし、RG 混入率 50%以下であればフレッシュコンクリートに与える再生粗骨材の影響は少なく単位水量を増加させずに所要のコンシステンシーを得ることができると思われる。しかし、RG 混入率 50%以上になると急激にフレッシュコンクリートの性状が変化することが認められた。また、骨材の物理的性状が改善されている 2 次処理した再生骨材 RGⅡを使用することで RG 混入率 100%であっても R100 と比較して単位水量を 5%減少させることができ、N100 と同様な配合で所要のコンシステンシーを得ることができる。

5. 2 ブリーディング率

図-4 に RG 使用配合におけるブリーディング率と経過時間の関係を示す。再生粗骨材の混入率の増加に伴い (R30→R50→R100)、ブリーディング率が増加していることが確認できる。R100 は、他の配合より単位水量が多いためブリーディング率が約 2 倍となっている。また、RGⅡは R50 や R30 と違い骨材自体の品質が改善されているためブリーディング率が小さくな

っている。また、表-2 にある骨材の物理的性質試験結果より、吸水率の大きい順（R100→RⅡ→R50→R30）にブリーディング率が収束する経過時間は大きくなっていることが確認できる。このことから骨材の吸水率がブリーディング率に影響を及ぼし、低品質な骨材ほど収束する経過時間の増加・材料分離の傾向が見られることが確認された。

以上のことより再生粗骨材を使用したフレッシュコンクリートの性状は、普通粗骨材と混合使用し、RG 混入率を 30%以内に抑えるか、または、2 次処理を行うことにより再生粗骨材自体の品質を改善し使用することにより普通粗骨材を使用する場合と同様の配合で同等のワーカビティーを得られることが確認された。

6. 硬化コンクリートの性質

各配合のコンクリートの硬化後の性質を検討するために圧縮、曲げ、引張、静弾性係数、凍結融解試験（JIS A 1108, 1106, 1113, ASTM C469-65, C666 に準拠）を実施した。

6. 1 各種強度

図-5 に粗骨材の比重と圧縮強度の関係を示す。粗骨材の比重と圧縮強度が線形的に増加していることが確認できる。N100 と比較して再生粗骨材を使用したコンクリートの 7 日、28 日圧縮強度は、N100 より小さい値となっている。しかし、普通骨材と混合させた R30, R50 は、骨材の比重が増加した分、R100 より強度が増加した。2 次処理した再生粗骨材を使用した RⅡは R100 より高い強度は得られているが R50, R30 と同等な強度となっている。これは、強度が使用骨材全体の比重に依存し骨材粒自体の品質はあまり影響を受けないと思われる。そのため 2 次処理を実施し使用する粗骨材の比重を改善しても、また普通粗骨材と混合し比重を改善しても同等の結果となるものと考えられる。したがって、N100 と同様の強度を得るためには、使用する再生粗骨材の比重を同程度にしなければならない。

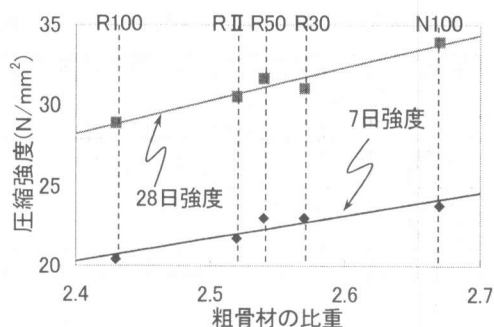


図-5 粗骨材の比重と圧縮強度

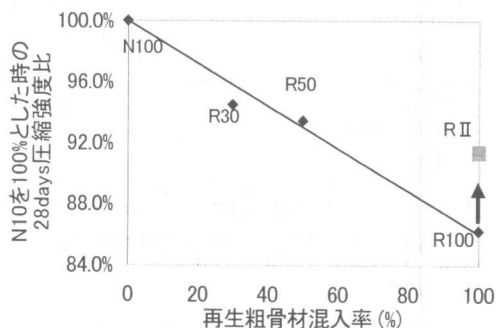


図-6 圧縮強度比と RG 混入率

表-4 各配合の引張強度・曲げ強度

	引張強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	引張/圧縮	曲げ/圧縮
N100	2.9	5.0	1/11	1/7
R100	2.5	4.6	1/11	1/6
R50	2.6	4.7	1/12	1/7
R30	2.8	4.3	1/11	1/7
RⅡ	2.3	4.3	1/12	1/7

図-6 に N100 を基準とする 28 日圧縮強度比と RG 混入率の関係を示す。RG 混入率の増加に反比例して線形的に強度が減少していることが確認できる。100%再生粗骨材を使用した場合、N100 に比べ強度は 15%程度減少した。しかし、2 次処理した再生粗骨材を使用することによって強度低下は 10%程度に抑えることができた。N100 に対して 90%の強度比を許容範囲とするなら R30・R50・RⅡの配合は、使用可能となる。

表-4 に引張強度・曲げ強度について示す。いずれのコンクリートにおいても、圧縮強度と同様に引張強度・曲げ強度共に N100 より小さな値となっている。しかし、それぞれの圧縮強度に対する比率は N100 と同等である。圧縮強度

と引張強度・曲げ強度の関係は再生粗骨材の影響は受けず普通コンクリートと同様の関係を示した。

6. 2 弾性係数

図-7に圧縮強度と静弾性係数の関係を示す。建築学会におけるコンクリートのヤング係数評価式⁴⁾を用いて単位容積重量を2.2, 2.3とした場合の値を図中に示した。今回、使用した配合では、再生コンクリートの単位容積重量は、およそ $2.2\sim 2.3\text{kg/m}^3$ でありヤング係数評価式の間に分布していることが確認された。再生粗骨材を使用したコンクリートにおいても普通コンクリートの圧縮強度とヤング係数と同様の関係を示し、この評価式ではほぼ正確に評価することができる。

図-8に静弾性係数と動弾性係数の関係を示す³⁾。静弾性係数 E_c /動弾性係数 $E_d=0.8, 0.9, 1.0$ の値を図中に示した。再生コンクリートの E_c/E_d は、ほぼ $0.8\sim 0.9$ の間に分布しており普通コンクリートと同様の関係であることが確認できた。 E_c/E_d の関係には、今回使用した再生粗骨材の影響はみられず、再生コンクリートの静弾性係数は動弾性係数を用いて非破壊的に推定することが可能である。

6. 3 凍結融解抵抗性

図-9に凍結融解試験結果を示す。どの配合においても相対動弾性係数は60%以上で300サイクルまで達した。しかし、粗骨材による相対動弾性係数の差は大きく耐久性を必要とする場合、R30以上とすることが必要であると確認された。

図-10に相対動弾性係数と質量減少率の関係を示す。R30とR50の質量減少率に差はないが、相対動弾性係数が25%近く減少している。これは、低品質粗骨材が一定量以上混入することによって骨材自体が損傷を受け相対動弾性係数の減少につながっていると考えられる。また、R100は再生粗骨材に付着している原モルタルが増加しコンクリートの体積に対するモルタルが占める割合が大きくなり、低品質の骨材が増

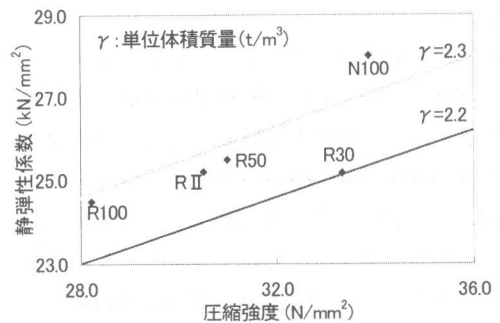


図-7 圧縮強度と静弾性係数の関係

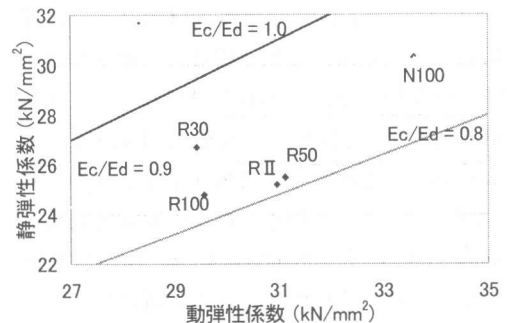


図-8 静弾性係数と動弾性係数の関係

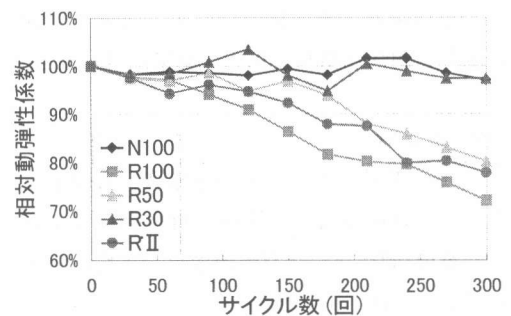


図-9 凍結融解試験結果

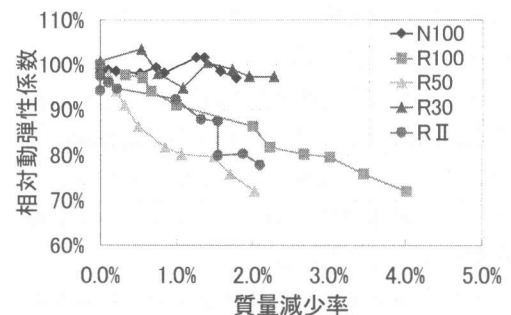


図-10 相対動弾性係数と質量減少率の関係

加するためスケーリング、ポップアウトが多く発生し質量減少率が増加したと考えられる。

よって、原モルタルを2次処理によって減少させ骨材粒自体の品質を改善したRⅡは質量減少率を2%に抑えることができているが低品質の骨材が多く含まれているため耐久性は80%弱に低下したものと考えられる。図-10よりR30であれば再生粗骨材の影響はあまりなく質量減少率・相対動弾性係数共にN100とほぼ同等の値を得ることができる。

図-11に耐久性指数と粗骨材の吸水率の関係を示す。耐久性指数と粗骨材の吸水率は、ほぼ線形的な関係にあると思われる。2次処理再生粗骨材を使用したRⅡは、R100より吸水率が改善された分、耐久性指数も改善されている。しかし、強度と比重の関係と同様にR30、R50より吸水率が悪い分、耐久性指数も劣る。耐久性指数は骨材の品質に影響を受け、2次処理を実施し骨材粒ごとの吸水率を改善しても、また普通骨材と混合させ使用骨材全体の吸水率を改善させても、吸水率が同程度なら耐久性指数も同様の結果が得られる。

7. まとめ

1) 高品質なコンクリートを解体、破碎した再生粗骨材の品質は、全国の再生処理プラントで処理・製造された再生粗骨材の平均的品質と同様の骨材が得られた。

2) 再生粗骨材をコンクリート用骨材として使用するにあたって、使用骨材全体の比重・吸水率から硬化後のコンクリートの性質を把握することができる。

3) 耐凍害性を考慮しない場合、2次処理を実施し、比重及び吸水率を普通粗骨材の示方書基準⁶⁾まで改善することで、普通コンクリートと同様のフレッシュコンクリートの性状を得ることができる。

4) 高品質な再生粗骨材をコンクリート用骨材として使用するにあたって普通粗骨材と混合させることが2次処理を実施するより有

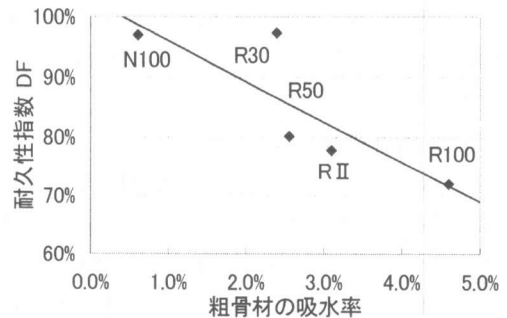


図-11 耐久性指数と吸水率

効な手段でありRG混入率30%以内であれば普通粗骨材を使用したコンクリートと同様の性状を得ることができる。

【参考文献】

- 1) 土木学会：「コンクリートと資源の有効利用」，コンクリート技術シリーズ29，1998
- 2) 原田 実：「コンクリートの解体と再生」，山海堂，1998
- 3) 山崎 順次・立松 和彦：「高品質再生骨材を用いたコンクリートの強度および耐凍害性」，日本コンクリート工学年次論文集，Vol.20, No.2, pp1093-1098，1998
- 4) 岩崎 登他：「廃品コンクリート電柱のリサイクル」，日本コンクリート工学，Vol.35，No.5，pp12-18，1997.5
- 5) 岡田 清他編：「改定新版 コンクリート工学ハンドブック」，朝倉書店，1981
- 6) 土木学会：「コンクリート標準示方書 施工編」，平成8年度版
- 7) 鍵本 広之・砂糖 道生：「再生骨材の回収に関する基礎研究」，土木学会第53回年次学術講演概要集，pp440-441，1998.10