

再生粗骨材を用いたプレストレストコンクリート部材への適用性

(株)安部工業所 技術本部開発部 正会員 ○後藤 理博
 (株)安部工業所 技術本部開発部 正会員 林 啓司
 岐阜工業高等専門学校 環境都市工学科 教授 岩瀬 裕之
 岐阜工業高等専門学校 環境都市工学科 教授 島崎 磐

1. はじめに

廃コンクリートのリサイクルは、環境保全や資源の有効利用の観点から積極的に検討していく必要がある。現状では、解体コンクリートを破砕処理して得られた再生骨材は、そのほとんどが路盤材や非構造部材として利用されているにすぎない。そこで、筆者らはプレストレストコンクリート（以下 PC とする）工場から排出される設計基準強度が 50MPa のコンクリートを、ジョークラッシャーにて破砕しただけの吸水率の大きい再生粗骨材を用い、原コンクリートと強度が同程度のコンクリートの製造はもちろんのこと、PC 部材への適用を考慮して PC 部材の基礎的研究を行った¹⁾。その結果、再生粗骨材を気乾状態で用いて、現場配合で必要な補正水量を減量化することにより、同様の示方配合の普通骨材を用いたコンクリートと比較して、静弾性係数は小さくなるものの、圧縮強度や乾燥収縮、プレテンション PC 部材の定着長さ、およびクリープ収縮については同程度の性能を有することを示した。本報告では、PC はりを用いて、材齢 6 ヶ月時点で 2 点曲げ破壊試験を実施し、普通骨材を用いた場合と、再生粗骨材を用いた場合とで比較検討を行ったので報告する。

2. 実験概要

表-1 使用材料表

		密度(g/cm ³)	吸水率(%)	粗粒率
セメント	早強ポルトランドセメント	3.13		
細骨材	岐阜県揖斐川産川砂	2.57	1.16	2.90
普通粗骨材	岐阜県揖斐川産砂利	2.62	1.15	6.71
再生粗骨材	圧縮強度平均値 60.8MPa	2.31	5.70	6.73
混和剤	ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤			

2.1 使用材料

本実験に用いた使用材料は、表-1 に示すとおりである。なお、普通粗骨材は、通常コンクリートに使用する粗骨材であり、再生粗骨材は、圧縮強度が 55~66MPa の PC 工場から排出するテストピースをジョークラッシャーにて破砕したものである。

2.2 配合

表-2 にコンクリートの配合を示す。普通粗骨材については再生粗骨材のもとになったコンクリート(原コンクリート)と同一配合とし、表乾状態、気乾状態の再生粗骨材を用いたものについては、普通骨材と同等のスランプを得るために予備実験を実施し、その結果をもとに再生粗骨材を用いた場合の混和剤量および気乾状態の再生粗骨材を用いた場合の補正水量を決定した。気乾再生粗骨材の単位重量は、気乾再生粗骨材の含水率から求めた値とした。また、気乾再生粗骨材を示方配合通りに使用すると補正水量は、23kg/m³ 必要であるが、打設完了時点で普通骨材と同等のスランプとなるように 8kg/m³ 補正水量を減じた。

表-2 コンクリートの配合

使用粗骨材	水セメント比(%)	細骨材率(%)	単位重量(kg/m ³)					
			水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤	補正水量
表乾普通粗骨材	38.0	44.0	150	395	820	1056	2.60	0
表乾再生粗骨材	38.0	44.0	150	395	820	976	2.77	0
気乾再生粗骨材	38.0	44.0	150	395	820	953	4.74	15

粗骨材の最大骨材寸法は 20 mm 目標強度 プレストレス導入時 35MPa
 設計基準強度 材齢 28 日 50MPa

2.3 供試体および埋め込みゲージ

供試体寸法は、300×300×3,000 mmのプレテンションPCはり (図-1) と、乾燥収縮測定用として300×300×600 mmの角柱とした。供試体は3種類 (普通粗骨材 (以下普通骨材とする)、再生粗骨材の表乾状態 (以下表乾骨材とする)、気乾状態 (以下気乾骨材とする) の場合) の骨材につき各2体を製作した。PCはりには、プレストレス導入時の弾性変形とプレストレス導入後のコンクリート内部の収縮ひずみを、角柱供試体は脱型後の収縮ひずみ (以下乾燥収縮ひずみとする) の経時変化を測定した。また、同一コンクリートの圧縮強度および静弾性係数を測定するためにφ100×200 mmの円柱供試体を作製した。養生は、打設完了4時間後から16時間の蒸気養生を行い、21時間後に脱型し、脱型後は室内にて気中養生を行った。

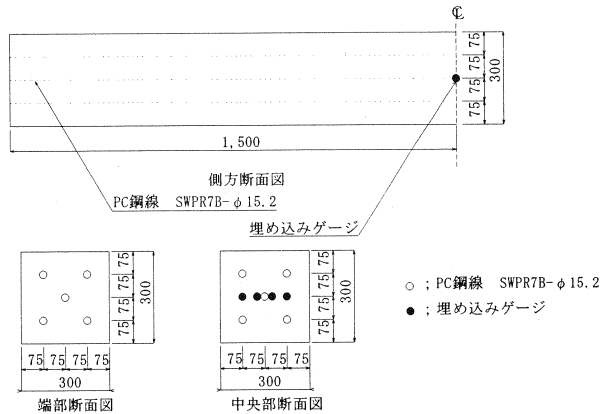


図-1 供試体形状およびゲージ位置図

2.4 載荷試験

PC はりの載荷試験の実施図および計測位置については図-2 に示す。図のように支点間距離2,700 mm, 等モーメントスパン300 mmの2点載荷で行った。

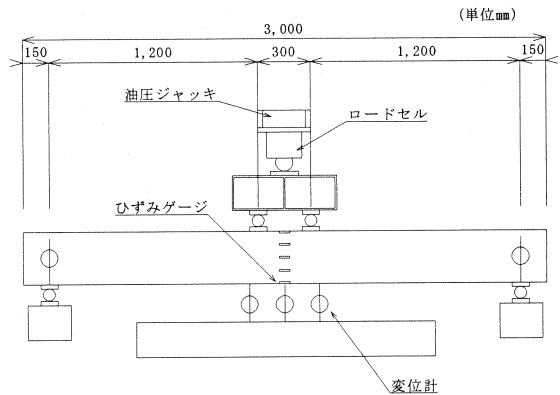


図-2 載荷試験装置

3. 実験結果および考察

3.1 コンクリートの圧縮強度および

静弾性係数

表-3 にコンクリートの圧縮強度、静弾性係数を示す。表より、型枠脱型時、および材齢28日で、プレストレス導入強度および設計基準強度を満足していることがわかる。特に再生骨材を気乾状態で用いた場合は、いずれの場合も普通骨材より大きい圧縮強度となっている。これは、練混ぜ時に骨材の補正水量を減らしているために見かけの水セメント比が小さくなっていることによるものと考えられる。また、材齢900日の標準養生を行った円柱供試体の場合でも再生骨材を用いたことによる

表-3 コンクリートの圧縮強度と静弾性係数

	骨材	脱型時	28日	182日	900日
圧縮強度(MPa)	普通骨材	43.0	61.7	67.4	67.5
	表乾骨材	46.6	63.5	64.1	76.4
	気乾骨材	55.2	67.2	70.0	78.4
静弾性係数 (GPa)	普通骨材	30.3	31.2	33.8	
	表乾骨材	27.3	29.4	31.1	
	気乾骨材	27.5	29.8	31.6	
割裂引張強度 (MPa)	普通骨材		4.45	4.82	
	表乾骨材		3.61	3.98	
	気乾骨材		4.29	4.35	

材齢900日の養生は標準養生

長期材齢の強度低下は見られなかった。よって、再生粗骨材の原コンクリートと同等の配合で、粗骨材を気乾状態で用いることにより、原コンクリートと同等以上の圧縮強度の発現性が期待できる。次に静弾性係数は、再生粗骨材を用いた場合、普通骨材を用いた場合より小さくなっている。これは、再生粗骨材にモルタル分が付着していることで再生粗骨材の密度が小さくなっており、それを用いた再生粗骨材コンクリートの

密度も小さくなっているためであると考え。割裂引張試験は表乾骨材を用いた場合が最も小さくなっているが、圧縮強度比で考慮すると、再生骨材を用いた場合、普通骨材を用いた場合よりも小さい値となっている。

3.2 収縮ひずみ

乾燥供試体中央に埋め込んだゲージにより測定したひずみは、気温等によるコンクリート温度の影響を受けるため、コンクリートの線膨張係数 $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ を用いて温度変形による補正を行った。温度補正を行った乾燥供試体の経過時間に伴う乾燥ひずみを図-3に、PCはり供試体の埋め込みひずみゲージから測定した収縮ひずみを図-4に、図-4から図-3のひずみ量を減じたクリープひずみを図-5に示す。図はいずれもPCはりが外気温の変化のみに影響され始めたプレストレス導入から約2日後を基準とした。図-3より乾燥ひずみは、表乾骨材使用の場合が最大で、気乾骨材、普通骨材使用の順に小さくなり、材齢約370日でほぼ一定となり、それぞれ約 430×10^{-6} と約 380×10^{-6} 、 330×10^{-6} を示した。図-4では、表乾骨材を用いた場合の収縮ひずみは普通骨材と気乾骨材を用いた場合より大きくなった。また、普通骨材と気乾骨材を用いた場合の収縮ひずみは各経過時間において同程度の値を示した。クリープひずみは、気乾骨材を用いた場合が最も小さくなり、普通骨材と表乾骨材はほぼ同程度のひずみ量となった。表-4にクリープ係数を示す。クリープ係数は設計値²⁾よりかなり小さくなっているが、これはプレストレス導入から2日後を基準としているためであると考えられる。

表-4 クリープ係数

骨材	クリープ係数
普通骨材	0.81
表乾骨材	0.74
気乾骨材	0.58

3.3 曲げ破壊試験

図-6に荷重-変位曲線を表-5に各荷重の値とその時の変位の関係を示す。変位は中央点の変位を示している。いずれの骨材を用いたはりも破壊形態は曲げ圧縮破壊であった。図より、いずれのはりもほぼ同様の傾向を示しているため、荷重載荷の際の挙動に差はないと考えられる。表-5より、ひび割れ発生荷重は再生骨材を用いたほうが若干小さい値となった。これは、プレストレス導入時の弾性変形により、プレストレス量の減少量が大いか若しくは、曲げ強度の影響によるものであると考えられる。破壊荷重については、気乾骨材が最も大きく、普通骨材、表乾骨材の順であった。これは、表-3に示した載荷時の圧縮強度と同じ順序であるため、圧縮強度の影響を受けていると考えられる。図-7各骨材のひび割れ図を示す。図よりいずれの骨材を用いた場合も差は見られなかった。

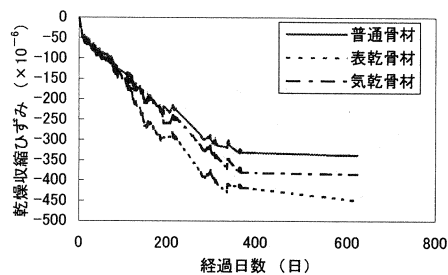


図-3 乾燥供試体収縮ひずみ

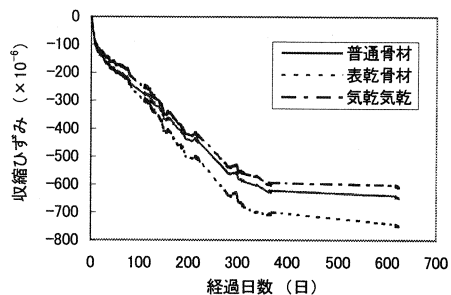


図-4 PCはり収縮ひずみ

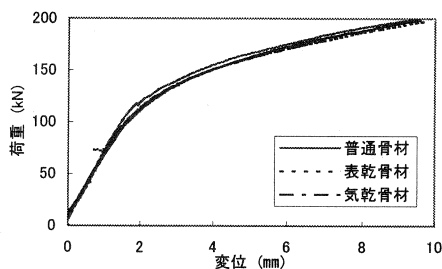
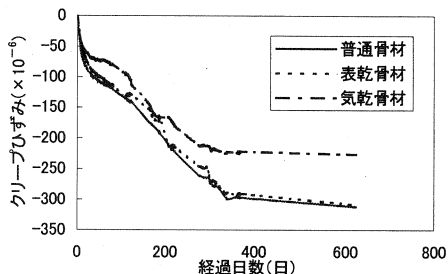


図-6 荷重-変位曲線

表-5 各荷重と変位

骨材	載荷時点	荷重(kN)	変位(mm)
普通骨材	ひび割れ発生時	109	2.3
	破壊時	236	19.8
表乾骨材	ひび割れ発生時	97	3.2
	破壊時	225	18.6
気乾骨材	ひび割れ発生時	99	3.1
	破壊時	247	21.3

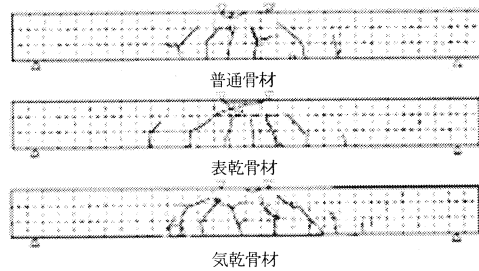


図-7 ひび割れ図

3. 4 曲げ強度およびプレストレス量

ひび割れ発生荷重が小さくなった原因として、再生骨材を用いた場合、静弾性係数が小さいため弾性変形が大きく、プレストレス力が普通骨材を用いた場合より減少することが考えられる。その減少量を、貼付けゲージや埋め込みゲージのひずみ量と、円柱供試体から求めた静弾性係数を用いて計算した結果、コンクリート応力で約 0.1MPa であり、このときの荷重として、約 0.6kN の荷重の減少量であった。このことより、弾性変形がひび割れ発生荷重に与える影響は小さいと考えられる。次に再生骨材を用いた場合、圧縮強度に対する割裂引張強度が小さくなっていてを受けて、曲げ強度の試験を行った。曲げ強度試験は JIS A 1106 コンクリートの曲げ強度試験方法³⁾にて行った。結果を表-6 に示す。なお、表中には PC はりの収縮ひずみから載荷試験時のプレストレス量を求め、載荷試験時のひび割れ発生荷重と求めたプレストレス量から、PC はりの曲げ強度も求めた。表より、表乾骨材を除いて、PC はりと同一断面の供試体から求めた曲げ強度と PC はりの載荷試験時の曲げ強度とは良い対比を示している。このことから、ひび割れ発生荷重が小さくなった原因として、曲げ強度が小さくなるためであると考えられる。

表-6 骨材別の曲げ強度

使用骨材	300 × 300 × 600	PC はり
普通骨材	6.77MPa	6.17MPa
表乾骨材	5.68MPa	4.92MPa
気乾骨材	5.40MPa	5.01MPa

よって、再生骨材を気乾状態で用い、補正水量を減らすことで、弾性変形や収縮ひずみによるプレストレス量の減少量は、普通骨材を用いた場合と同程度になると考えられる。

養生；蒸気養生後気中養生

4. まとめ

コンクリート打設時の施工性を考慮しランプ性能を同程度とすると、以下のようにまとめることができる。

- (1) 吸水率が大きい再生粗骨材を用いても原コンクリートが高強度ならば、高強度コンクリートの製造は可能である。
- (2) 再生粗骨材を気乾状態で用い補正水量を減らすことによって、圧縮強度の増加が見られる。
- (3) 再生粗骨材を気乾状態で用いることによって、PC はりの収縮ひずみは普通骨材と同程度であり、クリープ係数は小さくなった。
- (4) 再生骨材を用いても PC はりの荷重載荷時の挙動は、ひび割れ発生荷重以外に差が見られなかった。
- (5) 再生骨材を用いた場合、曲げ強度は小さくなる傾向にある。

以上のことから、再生骨材を気乾状態で用い補正水量を減らすことによって、再生骨材を用いた PC は可能であると考えられる。ただし、PC 構造物は重要構造物であることが多いため、今後耐久性試験についても実施する必要があると考える。

<参考・引用文献>

- 1) 後藤理博・林啓司・伊藤太平・島崎磐：再生粗骨材を用いたプレストレストコンクリート部材の基礎的研究，(社)プレストレストコンクリート技術協会，第11回プレストレストコンクリートシンポジウム，pp71～74,2001
- 2) (社)土木学会：[2002年制定]コンクリート標準示方書[構造性能照査編]，pp34,2002
- 3) (社)土木学会：[2002年制定]コンクリート標準示方書[規準編]JIS 規格編，pp291～293,2002