

再生粗骨材の品質がエコセメントコンクリートの破壊力学特性に及ぼす影響

東京工業大学大学院 学生会員 ○野間 康隆
 東京工業大学大学院 フェロー 二羽 淳一郎
 太平洋セメント(株) 正会員 河野 克哉
 太平洋セメント(株) 正会員 中沢 聡

1. はじめに

最近では、資源の有効利用を図る目的で、都市ごみ焼却灰や下水汚泥などの廃棄物を主原料としたエコセメントや、解体コンクリートから製造した再生骨材などがコンクリート材料として実用化されている。本研究では、このようなコンクリートとしてエコセメントと再生粗骨材を組み合わせた場合に着目し、再生粗骨材の品質ならびに絶対容積がコンクリートの破壊力学特性に与える影響について検討した。

2. 実験概要

(1) 使用材料・配合条件

使用材料を表 - 1 に示す。W/C は 50%、単位水量 $170 \text{ } \ell / \text{m}^3$ で一定とし、スランプならびに空気量は、それぞれ $18 \pm 2.5 \text{ cm}$ 、 $4.5 \pm 1.5\%$ となるように混和剤の添加量で調整した。再生粗骨材には品質が異なる 2 種類、すなわち、解体コンクリートを破砕してモルタルが付着した状態の粗骨材(以下、LRA)、ならびにスクリー式磨砕装置にて骨材同士の摩擦により LRA の付着モルタルを除去した粗骨材(以下、HRA)とした。再生粗骨材の絶対容積はいずれの品質の場合も $350 \ell / \text{m}^3$ 、 $400 \ell / \text{m}^3$ の 2 水準とした。なお、コンクリート供試体は、材齢 14 日間水中養生(20)を行った。

(2) 試験方法

図 - 1 に示す RILEM の推奨する切欠きはりの 3 点曲

表 - 1 使用材料

使用材料		記号	物性または成分
セメント	エコセメント	EC	密度 3.17 g/cm^3 比表面積 $4260 \text{ cm}^2/\text{g}$
粗骨材	青梅産砕石	CS	最大寸法 20mm, 表乾密度 $2.64 \text{ kg/}\ell$, 吸水率 0.63%
	高品質再生骨材	HRA	最大寸法 20mm, 表乾密度 $2.57 \text{ kg/}\ell$, 吸水率 2.31%
	低品質再生骨材	LRA	最大寸法 20mm, 表乾密度 $2.38 \text{ kg/}\ell$, 吸水率 9.16%
細骨材	小櫃産陸砂	S	表乾密度 $2.60 \text{ kg/}\ell$ 吸水率 1.57%

げ試験を行い、得られた荷重 - たわみ曲線で囲まれた面積をリガメント部の面積で除し、供試体自重等を補正した式から破壊エネルギー G_F を求めた。一般にコンクリートの破壊エネルギーには圧縮強度が関与しており、CEB-FIP Model Code 1990¹⁾では圧縮強度の関数として与えられている。これを参考にして破壊エネルギー G_F から圧縮強度の影響を補正した値 G_{F0} を次式により求めた。

$$G_{F0} = G_F \left(f'_c / f_{cm0} \right)^{-0.7} \quad (1)$$

ここで、 f'_c : コンクリートの圧縮強度(N/mm^2)、 f_{cm0} : 定数(10 N/mm^2)。また、引張軟化曲線の推定には多直線近似解析法²⁾を用いた。

3. 結果および考察

(1) 強度特性

表 - 2 は各コンクリートの強度特性を示したものである。粗骨材絶対容積 $350 \ell / \text{m}^3$ の場合、圧縮強度は HRA ならびに LRA のいずれの再生骨材を用いたコンクリートにおいても普通砕石を用いた場合とほぼ同等であった。引張強度および弾性係数に関しては、HRA を用いた場合、普通コンクリートと同等であったものの、LRA を使用した場合に低下する傾向が見られた。これは、LRA の表面に付着するモルタルが多いことに起因していると考えられ、既往の研究と一致した³⁾。一方、粗骨材絶対容積を $400 \ell / \text{m}^3$ に増加させることで、HRA を用いたコンクリートの圧縮強度、引張強度ならびに弾性係数は、粗骨材絶対容積 $350 \ell / \text{m}^3$ の場合よりも増加したものの、LRA を用いたコンクリートではいずれも

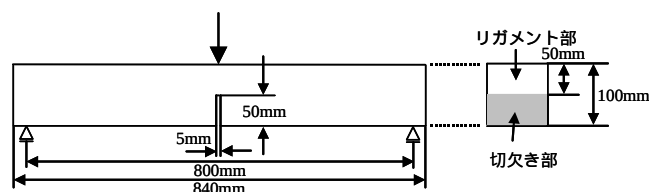


図 - 1 切欠きはりの 3 点曲げ試験

キーワード：エコセメント、再生粗骨材、破壊エネルギー、引張軟化曲線

連絡先 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1-M1-17 TEL03-5734-2584 FAX03-5734-3577

減少した。これは、粗骨材絶対容積の増加に伴って脆弱な付着モルタルが増加したことに起因したものと思われる。

(2) 破壊力学特性

表 - 3 に 3 点曲げ試験で得られた G_F および G_{F0} を示す。粗骨材絶対容積 $350\ell / \text{m}^3$ の場合、HRA および LRA を用いたコンクリートの G_F および G_{F0} には大きな差がなく、CS を用いた場合と比べていずれも 20%程度小さくなっている。これは、HRA の粗骨材粒子は製造工程で丸みを帯びた形状となること、ならびに LRA の粗骨材粒子表面には付着モルタルが多いことによるものと考えられる。一方、粗骨材絶対容積 $400\ell / \text{m}^3$ の場合は、絶対容積 $350\ell / \text{m}^3$ の場合と比較して、HRA および LRA のいずれを用いた場合も G_F および G_{F0} は減少し、骨材品質の違いによる変化は小さい傾向となった。しかし、HRA を絶対容積 $400\ell / \text{m}^3$ にて用いた場合は、圧縮強度が大きいことで、LRA の場合よりも G_{F0} は小さくなっている。図 - 2 に曲げ試験により得られた荷重 - たわみ曲線を示す。HRA を用いたコンクリートの場合、粗骨材絶対容積 $350\ell / \text{m}^3$ に比べて $400\ell / \text{m}^3$ の場合の方がピーク荷重は高くなり、ピーク後に急激な荷重低下を生じ、破断時のたわみも小さくなった。LRA を使用した場合には、ピーク荷重は粗骨材絶対容積によらず同等となるものの、破断時のたわみは粗骨材絶対容積 $400\ell / \text{m}^3$ の方が小さい傾向を示した。再生粗骨材の絶対容積を増加させることで脆性的な破壊が生じやすくなり、高品質処理を施した再生骨材では、その傾向が顕著となることがわかった。図 - 3 は図 - 2 に示した荷重 - たわみ曲線から推定された引張軟化曲線を示したものである。HRA および LRA いずれの場合も粗骨材絶対容積が多い方が軟化開始からの結合応力の低下が急激である。特に HRA を絶対容積 $400\ell / \text{m}^3$ にて用いた場合には結合応力の低下が著しく、ひび割れ面で保持される伝達応力も小さくなる。これは、HRA のように摩擦により付着モルタルを除去した再生粗骨材は丸みを帯びた形状となり、ひび割れ面における粗骨材の噛み合わせ作用が小さいことによるものと考えられる。また、LRA を用いた場合、曲げ供試体の破断面を観察すると、再生粗骨材の表面に付着したモルタル部で破壊を生じていることも確認できた。

4. まとめ

1) コンクリートの圧縮強度、引張強度ならびに弾性係

表 - 2 強度特性

W/C (%)	骨材種類	粗骨材絶対容積 (ℓ / m^3)	圧縮強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)
50	CS	350	29.9	1.97	27.4
		350	30.5	1.95	28.7
		400	35.8	2.57	32.4
	LRA	350	30.5	1.85	23.7
		400	28.4	1.78	22.8

表 - 3 破壊力学特性

W/C (%)	骨材種類	粗骨材絶対容積 (ℓ / m^3)	G_F (N/m)	G_{F0} (N/m)
50	CS	350	104.5	49.4
		400	86.1	40.1
	HRA	350	70.5	29.1
		400	86.5	39.9
	LRA	350	86.5	39.9
		400	70.7	34.0

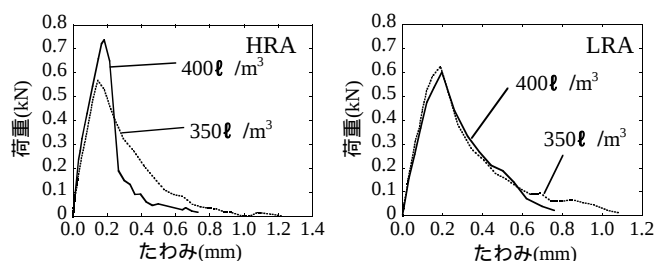


図 - 2 荷重 - たわみ曲線

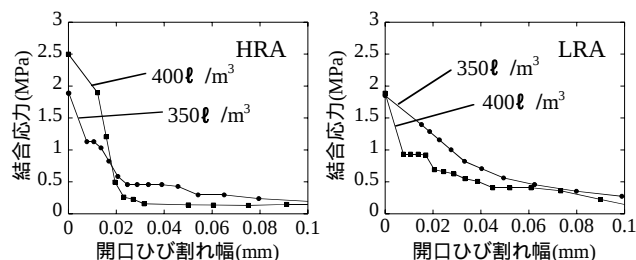


図 - 3 引張軟化曲線

数は、付着モルタルの少ない高品質な再生粗骨材を用いた場合は、再生粗骨材絶対容積が増加するほど大きくなるものの、付着モルタルの多い低品質な再生粗骨材を用いた場合には、再生粗骨材絶対容積が増加するほど小さくなる。

2) コンクリートの破壊エネルギーならびに引張軟化曲線などの破壊力学特性は、再生粗骨材の品質によらず絶対容積の増加に伴って低下する傾向にある。特に摩擦により付着モルタルを除去した丸みを帯びた再生粗骨材の場合には、その傾向が顕著になりやすい。

参考文献

- 1) CEB/FIP Model Code 1990, Bulletin d'Information, No.213/214, 1993
- 2) 栗原哲彦ほか：多直線近似による引張軟化曲線の推定と短繊維補強コンクリートの曲げ破壊性状，土木学会論文集，No.532/V-30，pp.119-129，1996.2
- 3) 例えば，江本幸雄ほか：再生骨材の品質および再生骨材コンクリートの性状に関する研究，土木学会第 46 回年次学術講演会，Vol.46，pp.562-563，1991.9