

高強度人工骨材を用いた高強度コンクリートの破壊力学的特性

岐阜大学 学生員 渡辺 聡
 岐阜大学 正会員 内田 裕市
 岐阜大学 正会員 小澤満津雄
 岐阜大学 正会員 森本 博昭

1. まえがき

最近、火力発電所から発生する石炭灰の有効利用の一つとして、石炭灰を主原料とした高強度人工骨材が開発された。この骨材は、石炭灰を造粒・焼成した非発泡型の粗骨材であり、球状粒、軽量（絶乾比重1.8程度）、高強度（天然骨材と同等）等の特徴を有している。この種の骨材を用いたコンクリートの物性については、すでに幾つか報告されているが[1]、今回特に高強度コンクリートとした場合の破壊エネルギー、引張軟化曲線といった破壊力学的特性について実験を行ったのでその結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 コンクリート

本実験では粗骨材として碎石（Nシリーズ）と高強度人工骨材（Tシリーズ）の2種類の粗骨材を使用した高流動高強度コンクリートについて、破壊エネルギー試験を行い比較検討することとした。表-1に使用した粗骨材の性質を示し、表-2にコンクリートの配合を示す。セメントは低発熱ポルトランドセメンを使用した。粗骨材の最大寸法はともに20mmであり、碎石は茨城県岩瀬産のものを使用した。細骨材はともに静岡県小笠産の陸砂である。表-3にコンクリートの諸試験値を示す。

2.2 破壊エネルギー試験

破壊エネルギー試験は、切欠きはりの3点曲げ試験により行った。供試体は通常の曲げ強度試験用のものと同じ100×100×400mmとし、スパン中央に断面高さの1/2(50mm)まで切欠きを入れたものである。供試体は載荷試験直前まで20 水中養生とし、載荷は材齢53日で行った。供試体数は各シリーズとも5本である。

載荷には鋼製フレームに手動メカニカルジャッキを組み合わせた試験機を用いた。載荷スパンをはり高さの3倍（300mm）とし、水平方向の拘束を取り除くために両支点ともローラー支持とした。図-1に載荷試験の概略図を示す。計測項目は、荷重および切欠きの肩口開口変位（CMOD）の2項目とした。荷重は、容量10kNのロードセルジャッキに取り付けて計測し、CMODの検出にはクリップゲージ（感度1/2600mm）を用いた。また、載荷は荷重-CMOD曲線をX-Yレコーダに記録しながら原則として単調載荷で行い、最大荷重点以降急激に破壊が進行する場合には適時除荷・再載荷の操作を繰り返しながら供試体が完全に破断するまで行った。

表-1 粗骨材の性質

シリーズ	最大寸法 (mm)	絶乾質量 (g/cm ³)	表乾質量 (g/cm ³)	吸水率 (%)	単位容積質量 (kg/l)
N	20	2.61	2.63	0.81	1.54
T	20	1.81	1.85	2.23	1.14

表-2 コンクリートの配合

シリーズ	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				Ad.
			W	C	S	G	
N	31.0	47.0	173	558	743	861	5.91
T	34.0	43.0	171	502	702	655	3.51

表-3 コンクリートの諸試験値

シリーズ	スランブフロー			空気量 (%)	単位容積質量 (kg/m ³)	引張強度 (N/mm ²)		圧縮強度(N/mm ²)			破壊エネルギー (N/m)
	スランブフロー (cm)	50cmフロー (秒)	停止時間 (秒)			7日	28日	7日	28日	53日	
T	615	2.2	13.2	5.6	2110	3.0	5.1	52.0	84.1	90.8	62

キーワード：高強度人工骨材，破壊エネルギー，引張軟化曲線，高強度コンクリート

〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1 TEL058-293-2411 FAX058-230-1891 岐阜大学コンクリート工学研究室

破壊エネルギーは、試験で得られた荷重-CMOD曲線を荷重-載荷点変位曲線に変換して、RILEMの破壊エネルギー試験法[2]に準じて算定した。また、引張軟化曲線は試験で得られた荷重-CMOD曲線から多直線近似解析法[3]により求めた。

3. 試験結果

3.1 強度特性

NシリーズとTシリーズで水セメント比が異なるため、強度特性を直接比較することはできないが、表-3に示した通り、圧縮強度に対する引張強度の比率はNシリーズの方が大きくなっており、高強度人工骨材を用いた場合には、砕石を用いた場合に比べ圧縮強度に対する引張強度の発現が小さくなると考えられる。

図-2に切欠きはりの3点曲げ試験で得られた荷重-CMOD曲線を示す。図-2(a)に示す通り荷重-CMOD曲線の初期勾配はTシリーズの方がNシリーズより15%程度小さくなっており、圧縮強度の差を考慮したとしても高強度人工骨材を用いたコンクリートの弾性係数は砕石を用いた場合に比べ10%以上小さくなると考えられる。

3.2 破壊力学パラメータ

表-3に荷重-CMOD曲線から求めた破壊エネルギーを示す。Tシリーズの破壊エネルギーはNシリーズの約1/2となっており、非常に明確な差が生じた。なお、供試体の断面を観察したところ、Nシリーズは骨材が破断しているものが見られたが、Tシリーズでは骨材の界面に沿って破断していた。

図-3に荷重-CMOD曲線から多直線近似解析法により求めた引張軟化曲線を示す。引張軟化曲線全体の形状については、特に両シリーズ間で顕著な差は見られない。しかしながら、同一のひび割れ幅に対応する応力は、軟化開始直後からTシリーズはNシリーズに比べ小さくなっており、ひび割れ幅が0.005mm以上では1/2程度となっている。

以上のことより、高強度人工骨材を用いたコンクリートは砕石を用いたコンクリートに比べ、より脆性的になっているものと考えられる。

4. まとめ

高強度人工骨材と砕石を用いた高強度コンクリートについて破壊エネルギーと引張軟化曲線を求めた。その結果、高強度人工骨材を用いたコンクリートの破壊エネルギーは、砕石を用いた場合の約1/2程度となることがわかった。

[謝辞]

本実験で用いた供試体は(株)オーテックから提供していただきました。ここに記して感謝の意を表します。

[参考文献]

- [1]例えば、曾根徳明：石炭灰を主原料とした高強度人工骨材，コンクリート工学，Vol.36, No.12, pp.3-10, 1998.
- [2]RILEM Draft Recommendation (50-FMC): Determination of the Fracture Energy of Mortar and Concrete by means of Three-point Bending Tests on Notched Beams, Materials and Structures, Vol.18, No.106, pp.285-290, 1985.
- [3]コンクリート委員会寸法効果小委員会：コンクリートの寸法効果と引張軟化曲線，コンクリート技術シリーズ，土木学会，p.92，1997.

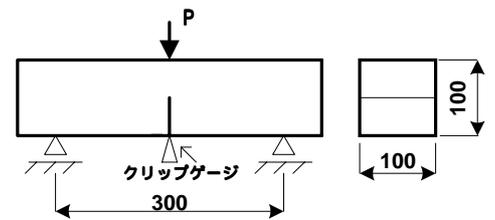
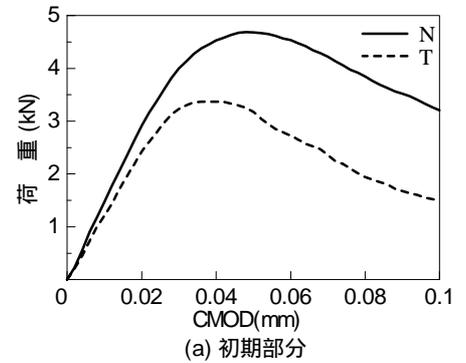
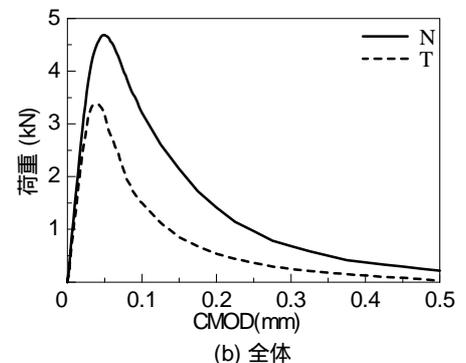


図-1 載荷試験の概略図



(a) 初期部分



(b) 全体

図-2 荷重 - CMOD 関係

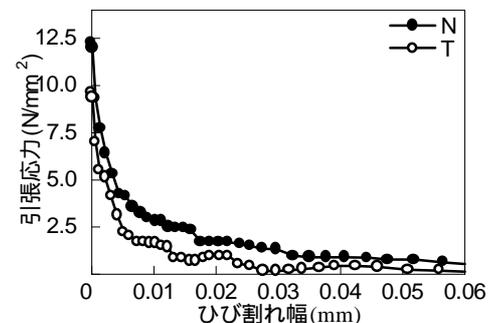


図-3 引張軟化曲線