

加熱を受けたコンクリートの破壊エネルギーと質量減少率の関係

東京都市大学大学院 学生会員○高地 透
東京都市大学 正会員 栗原哲彦

1. はじめに

加熱を受けたコンクリートの破壊エネルギーについては、B.Zhang ら¹⁾などにより研究がなされている。B.Zhang らは破壊エネルギーと質量減少率の関係性を示しているが、加熱範囲を 105～450℃と設定しており、それ以上の高温加熱を行っていない。そこで本研究では、既往の研究より高温で加熱を行い、破壊エネルギーと質量減少率の関係性を示すことを目的とした。

2. 実験概要

本実験では破壊エネルギーに影響を及ぼす成分を探るため 2 種類の配合により、普通コンクリートを作製し比較を行った。加熱後の破壊エネルギーと質量減少率を計測し、既往の研究との比較を行った。

2.1 試験体

本実験で使用した配合を表-1 に示す。100×100×400mm の角柱試験体(各シリーズ 6 体)と ϕ 50×100mm の円柱試験体(非加熱時圧縮試験用、各シリーズ 3 体)を作製した。作製後 14 日間水中養生を行い、その後各種試験を実施した。試験体は普通強度コンクリート(粗骨材の最大寸法 20mm)を用いて作製した。

2.2 加熱試験

加熱試験は、耐熱レンガで自作した加熱炉を用いて行った。加熱炉内の温度を確認するために加熱装置付近と炉内上部に K 型熱電対を設置し炉内温度を測定した。試験体は養生後切欠きを加えた状態で、この切欠き部分が下面になるように加熱炉内に設置した。加熱温度は、3 種類(770℃: H, 630℃: M, 500℃: L)を設定した(表-2 参照)。また、この時の加熱温度とは炉内下部の熱電対で測定した温度である(図-1 参照)。加熱時間は 3 時間とした。加熱終了後の冷却方法は自然冷却とし、加熱試験の翌日に載荷試験を実施した。

2.3 質量減少率の測定方法

加熱前と加熱後の試験体の質量を測定し、質量減少率の算出を行った。

2.4 荷重-CMOD 曲線測定試験方法²⁾

加熱試験終了後の試験体に対し JCI-S-001-2003 に従い試験体下部に切欠きを加え、3 点曲げ試験を実施した。CMOD(ひび割れ開口変位)はクリップゲージを使用し測定し、荷重-CMOD 曲線とした。

2.5 破壊エネルギー算出方法²⁾

測定した荷重-CMOD 曲線を用いてコンクリートの破壊エネルギーを JCI-S-001-2003 に従い算出した。

3. 実験結果

各試験における荷重-CMOD 曲線測定結果および試験結果から算出した各種パラメータを示す。

3.1 質量減少率

各シリーズの加熱前と加熱後に測定した試験体の質量から算出した質量減少率の平均値と加熱温度の関係を図-2 に示す。この結果から、各シリーズ共に加熱温度が上昇するに従い質量が減少していることが確認できた。また、630℃加熱から 770℃加熱にかけての質量減少率の上昇が大きく表れる結果となった。

表-1 示方配合

シリーズ	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)						圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
		C	W	S	G	Ad1	Ad2		
A	55	307	169	822	960	0.768	0.031	40.2	29.1
B		282	155	879	960	0.705	0.028	39.9	30.2

C: 早強ポルトランドセメント Ad1: AE減水剤 Ad2: 補助AE剤

表-2 加熱実験におけるシリーズ

温度	770℃	630℃	500℃
A	A-H	A-M	A-L
B	B-H	B-M	B-L

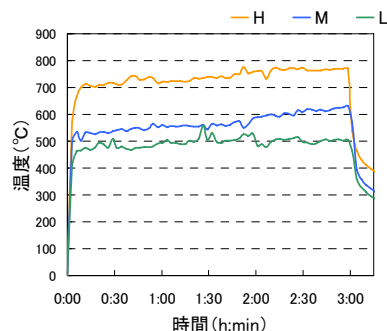


図-1 加熱曲線(下部熱電対)

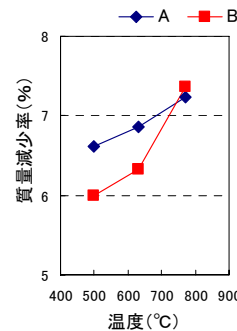


図-2 質量減少率

キーワード 破壊エネルギー, 荷重-CMOD 曲線, 質量減少率

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 都市工学科 栗原研究室 Tel 03-3703-3111 (内線 3242)

3.2 荷重-CMOD 曲線

A・B ごとにまとめた加熱後の荷重-CMOD 曲線の平均曲線を図-3, 4 に示す。各シリーズの最大荷重, 最大荷重時および試験体破断時の CMOD の平均値と計測値の変動係数を表-3 に示す。加熱温度が上昇するに従い, 最大荷重は減少し最大荷重時の CMOD は増加する傾向にあった。また A・B を比較すると, 加熱温度 770℃ の場合の A・B の最大荷重および両 CMOD に差異が認められている。これは, 770℃ の高温にさらされた際に, A が B に比べセメントペースト量が多いため水酸化カルシウムの熱分解量が多く, ペーストの脆弱化が大きかったためと考えられる。各変動係数については, 加熱温度が上昇するに従い, 増加する結果となった。

3.3 破壊エネルギー

実験により得られた荷重-CMOD 曲線の平均曲線から破壊エネルギーを算出した結果を表-4 に示し, 加熱温度と破壊エネルギーの関係を図-5 に示す。また, 質量減少率と破壊エネルギーの関係を図-6 に示し, B.Zhang らの試験結果との比較を行った。いずれのシリーズにおいても加熱温度あるいは質量減少率が上昇するに従い破壊エネルギーは減少する傾向にあった。しかし, 非加熱の場合と比較すると, 加熱されることによって破壊エネルギーは一旦上昇していることが分かる。この原因としては加熱時の発生したマイクロクラック等の影響が考えられる。また, 図-6 に示す本実験結果は B.Zhang らの結果の延長線上にプロットすることができ, 破壊エネルギーは質量減少率が 6% 以上の場合は直線的に減少することが分かった。しかし, 破壊エネルギーがどの程度まで直線的に減少するのかは, 本実験で明らかにすることができなかった。

4. 結論

本実験の結果から次の結論が言える。コンクリートの破壊エネルギーは加熱されることによって一旦は上昇するが, ある一定の質量減少率に達するとその後減少する。しかし, どの程度まで破壊エネルギーが直線的に減少し続けるかは本実験では分からなかった。

参考文献

- 1) B.Zhang and N.Bicanic: Fracture energy of high performance concrete at temperatures up to 450°C, Fracture Mechanics of Concrete Structures, pp.461-468, 2001
- 2) コンクリート工学協会: JCI 規準集, 2003

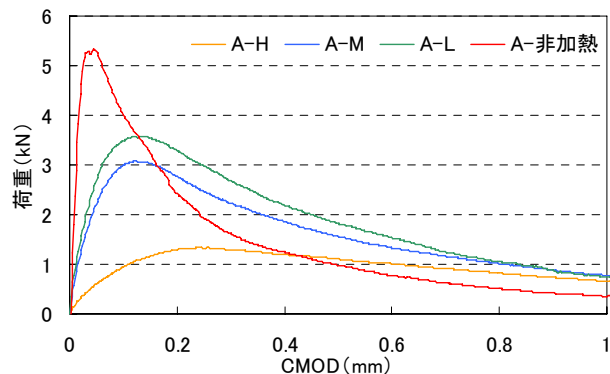


図-3 荷重-CMOD 曲線測定結果 (A)

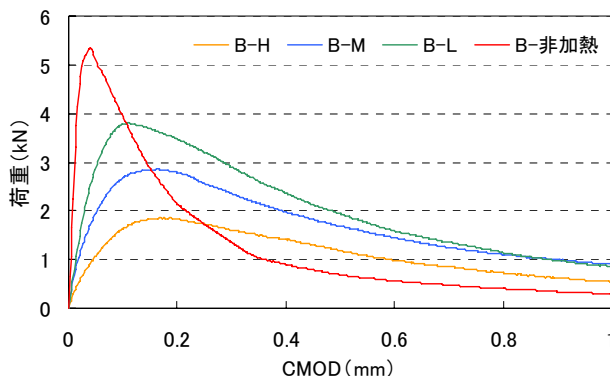


図-4 荷重-CMOD 曲線測定結果 (B)

表-3 荷重および CMOD まとめ

加熱温度 (°C)	シリーズ	最大荷重		最大荷重時CMOD		破断時 CMOD (mm)
		平均値 (kN)	変動係数 (%)	平均値 (mm)	変動係数 (%)	
770 (H)	A-H	1.33	31.2	0.242	37.8	3.898
	B-H	1.85	24.1	0.168	33.5	3.352
630 (M)	A-M	3.08	10.8	0.124	12.4	3.998
	B-M	2.86	10.1	0.164	13.8	3.998
500 (L)	A-L	3.58	5.42	0.124	4.57	3.692
	B-L	3.80	7.41	0.110	6.87	3.920

表-4 破壊エネルギー

算出結果

加熱温度 (°C)	シリーズ	破壊エネルギー (N/m)
770 (H)	A-H	224
	B-H	187
630 (M)	A-M	271
	B-M	310
500 (L)	A-L	289
	B-L	321
非加熱	A-O	198
	B-O	206

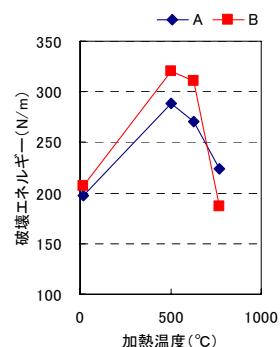


図-5 加熱温度と破壊エネルギーの関係

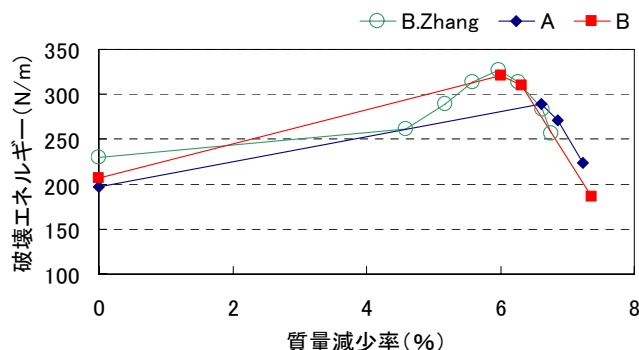


図-6 質量減少率と破壊エネルギーの関係