加熱を受けたコンクリートの破壊力学パラメータ

武蔵工業大学　学生会員　○高地　透，羽原和也
武蔵工業大学　正会員　栗原哲彦

１．はじめに

近年，あらゆる状況下におけるコンクリートの力学特性について研究されてきている．加熱を受けたコンクリートの性状についても例外ではなく，多くの研究がなされている．しかし，加熱を受けたコンクリートの性状についての基礎データは未だ少なく，特に，コンクリートの破壊力学パラメータについて言及した研究は殆どなされていない．その為，本研究では加熱を受けた際のコンクリートの破壊力学パラメータについての実験を行った．また実験値と 1/4 モデル [1] との比較を行った．

２．試験概要

2.1 試験条件

加熱温度を 300℃と 850℃の 2 種類とし，加熱時間は 3 時間とし，加熱した翌日に圧縮試験および JCI-S-001-2003[2] に準じた 3 点曲げ試験を行った．

2.2 試験体

本研究では，**表-1** の配合で普通コンクリートを作製した．各温度に対し 5 体の角柱（100×100×400 ㎜）を使用し，常温時の圧縮試験体として円柱（φ100×200 ㎜）を 3 体使用した．養生は水中養生を 21 日間実施した．

2.3 加熱方法

加熱は，**図-1** に示す加熱装置で行い，試験体下面の温度が目標の温度まで達しているかを確認するために，下面から 5 ㎜下方に離れた位置にシース熱電対を設置した．また，加えた熱が試験体内部を伝わり，側面から放出するのを防ぐために，試験体側面に断熱材を巻いた．

2.4 荷重-CMOD 曲線測定方法

加熱した翌日に試験体に切欠きを作製し, 3 点曲げ試験を行った．その際の荷重と CMOD（ひび割れ肩口開口変位）を測定した．CMOD はクリップゲージを用いて測定した．

３．解析概要

3.1 破壊エネルギー

加熱温度の破壊エネルギーを JCI-S-001-2003 に従い算出した．また，常温時の破壊エネルギーについてはコンクリート標準示方書の式 [1] を用いて算出した．

3.2 引張軟化曲線

引張軟化曲線は内田による解析プログラムを用いて算出し, 算出した引張軟化曲線と 1/4 モデルとの比較を行った．1/4 モデルを作成する際に必要な引張強度は豊田らの式(1) [3] から算出した圧縮強度から，コンクリート標準示方書の式 [1] を用いて引張強度を算出した．

$$\sigma_{cu\cdot T} = \sigma_{cu\cdot R\cdot T}\cdot\left[0.5\cos\left\{\pi\cdot\sin\left(\pi\cdot T/3000\right)\right\}+0.5\right] \quad (1)$$

$\sigma_{cu\cdot T}$: 加熱後の圧縮強度　$\sigma_{cu\cdot R\cdot T}$: 加熱前の圧縮強度

T : 加熱温度

４．試験結果および考察

4.1 加熱曲線

本実験でのシース熱電対の測定結果を温度ごとに平均したものを**図-2** に示す．

表-1　示方配合

W/C (%)	Air (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³) W	C	S	G	減水剤	補助AE剤
50	4.5	49.7	182	363	851	877	0.908	0.00363

C：早強ポルトランドセメント　骨材最大寸法：15㎜
減水剤：ポゾリスNo.70　補助AE剤：303A（5A）

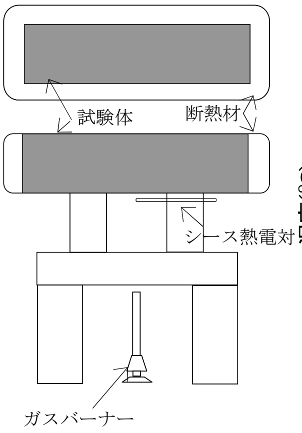


図-1　試験装置

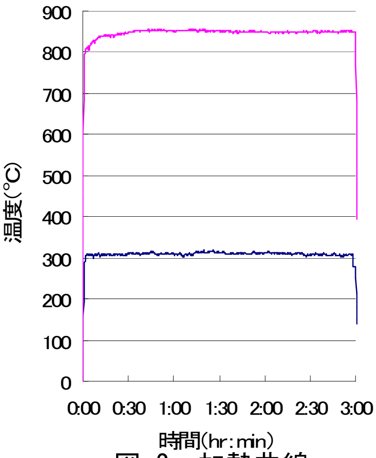


図-2　加熱曲線

キーワード　加熱，荷重-CMOD，破壊エネルギー，引張軟化曲線，
連絡先　〒158-8557　東京都世田谷区玉堤 1-28-1　武蔵工業大学　都市工学科　栗原研究室　Tel　03-3703-3111（内線 3242）

4.2 圧縮試験

常温時の圧縮試験結果を**表-2** に示す．

4.3 荷重-CMOD 曲線

図-3 に試験から得た各温度の荷重-CMOD 曲線の平均曲線を示す．300℃加熱に比べ 850℃加熱は最大荷重に達するまでの変位が大きいことが分かる．

4.4 破壊エネルギー

平均の荷重-CMOD 曲線から破壊エネルギー算出した．算出した破壊エネルギーおよび**式(1)**から算出した各温度の引張強度を**表-3** に示す．

この値から加熱温度が高い程破壊エネルギーが大きくなる一方，引張強度が低くなっていることがわかる．このことは，荷重-CMOD 曲線測定において，加熱温度が上がるに連れて試験体破断時の変位が大きくなっていることが影響している．

4.5 引張軟化曲線

平均の荷重-CMOD 曲線から各加熱温度における引張軟化曲線を推定した． 解析から得た引張軟化曲線と 1/4 モデルを**図-4** に示す．

解析結果と 1/4 モデルを比較すると，300℃加熱に比べ 850℃加熱は解析結果との誤差が多く見られる．このことは，加熱された際に発生する材料特性の変化が大きいことが原因に挙げられる．また各加熱温度共に解析結果に比べ 1/4 モデルで用いた引張強度が大きく低くなった．その理由としては，コンクリート標準示方書の引張強度算出式では，安全側に強度が算出されてしまうためであると考えられる．

5. まとめ

解析結果と 1/4 モデルに多少の誤差はあったものの，各加熱温度共にある程度の近い軌道を示した．このことから，豊田らの式を用いた強度の引張軟化曲線への適用が可能であるといえる．しかし，引張強度の算出法についてさらに検討していかなくてはならない．また，今回の破壊力学パラメータを用いて，加熱を受けたコンクリートの曲げ強度についても研究を進めていく．

参考文献

1) 土木学会：コンクリート標準示方書[設計編]，2007

2) コンクリート工学協会：JCI 規準集，2003

3) 豊田康二他：火災加熱を受ける超高強度コンクリートの力学特性に関する実験的研究，日本建築学会構造工学論文集 Vol.49B，p.374，2003.3

表-2　圧縮強度試験結果（非加熱試験体）

種類	圧縮強度(N/mm^2) No.	圧縮強度 平均	弾性係数(kN/mm^2) No.	弾性係数 平均
300℃用	50.0	47.4	29.3	30.9
	42.5		33.0	
	49.6		30.3	
850℃用	52.6	52.7	29.7	30.3
	52.0		29.3	
	53.5		31.8	

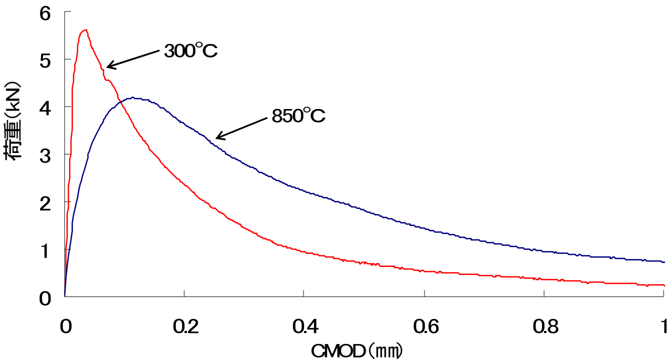
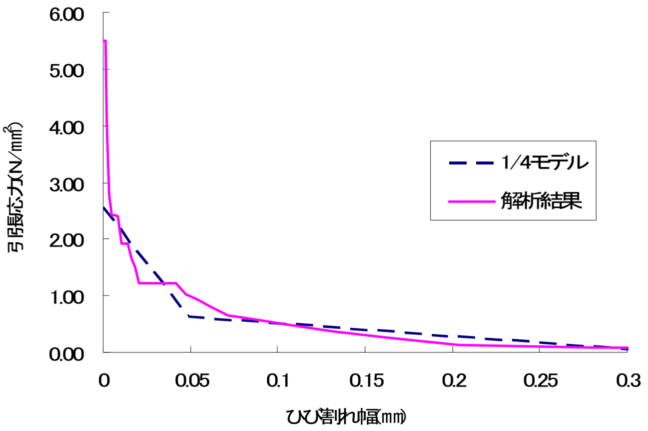


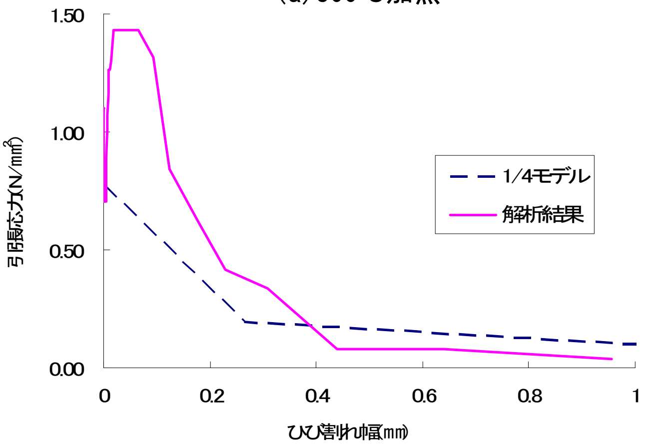
図-3　荷重-CMOD 曲線（平均曲線）

表-3　算出した破壊力学パラメータ

加熱温度	破壊エネルギー (N/mm)	引張強度 (N/mm^2)
常温	0.091	3.12
300℃	0.167	2.56
850℃	0.273	0.78



(a) 300℃加熱



(b) 850℃加熱

図-4　引張軟化曲線