

1. はじめに

本研究では、下面を加熱された角柱供試体（100×100×400mm）の加熱冷却後の曲げ強度算定について解析を行った。また、解析に用いる基本データとして必要となる加熱を受けた際の内部温度の変化や破壊力学パラメータについて実験を行った。

2. 解析概要

解析プログラムのフローチャートを図-1に示す。

3. 解析における基本データ

本解析において必要となるデータとして、受熱温度の他に時間経過における内部温度の推移および温度ごとの応力-ひずみ曲線が必要となってくる。この基本データの内、受熱温度ごとの圧縮強度は豊田らの式<sup>1)</sup>（式1）を用い算出し、圧縮強度時ひずみはEuro-code 提案値から算出した式（式2）を用いた。また、弾性係数はEuro-code 式<sup>2)</sup>（式3）を用いて算出した。引張強度はコンクリート標準示方書の式<sup>3)</sup>を用いて算出した。引張軟化曲線は1/4モデルを用いることとした。また、この際に必要となる破壊エネルギーおよび内部温度の推移については実験で得たデータを用いることとした。

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

$\sigma_{cu-R.T}$ : 常温時の圧縮強度  
 $T$ : 温度

$$\varepsilon_{cu-T} = 0.0247 \cdot e^{0.0037 \cdot T} \quad (2)$$

$$\sigma = \sigma_{cu-T} \cdot \left[ \left( \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{cu-T}} \right) \cdot \left[ \frac{3}{2 + \left( \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{cu-T}} \right)^3} \right] \right] \quad (3)$$

4. 実験概要

4.1 試験体

本実験で用いた試験体の配合を表-1に示す。各試験に対して300℃と850℃の2種類の加熱パターンで行い、加熱時間は3時間とし、常温時の圧縮試験および曲げ試験も同時に実施した。

4.2 加熱方法

加熱はガスバーナで行い、加熱温度が目標の温度に達しているかを確認するために、試験体下面から5mm下方に離れた位置にシーラ熱電対を設置した。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、試験体側面に耐火断熱材を巻いた。

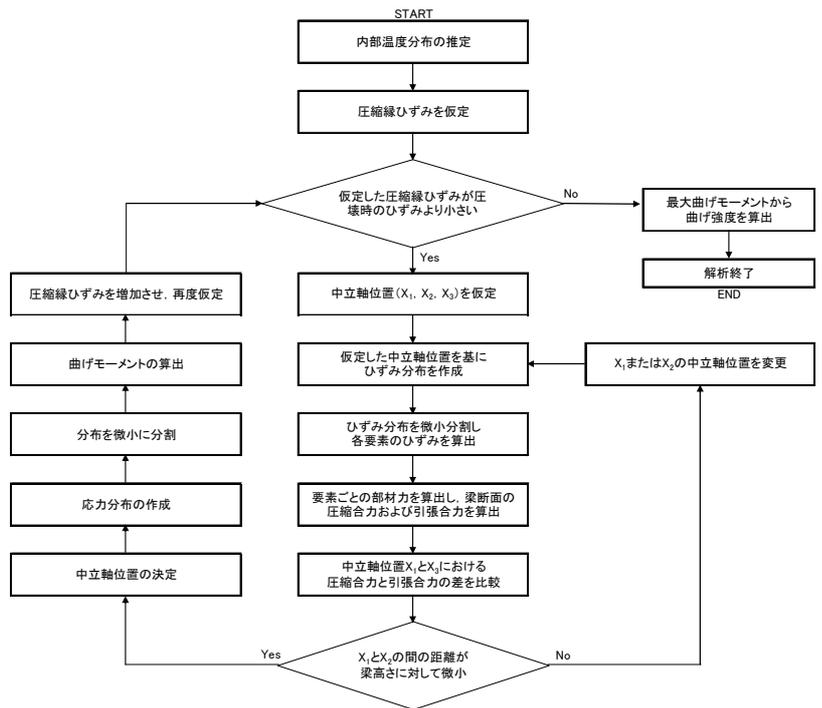


図-1 解析フローチャート

表-1 示方配合

W/C (%)	Air (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					
			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: 15mm

減水剤: ポゾリスNo.70 補助AE剤: 303A (5A)

### 4.3 加熱後のコンクリートの曲げ強度試験

各温度共 3 体の角柱試験体を用いて試験を行った。加熱した翌日に JIS-A-1106<sup>4)</sup> に準じて曲げ試験を行った。

### 4.4 内部温度測定

内部温度測定用試験体として 図-2 に示す配置で試験体内部に熱電対を設置した。

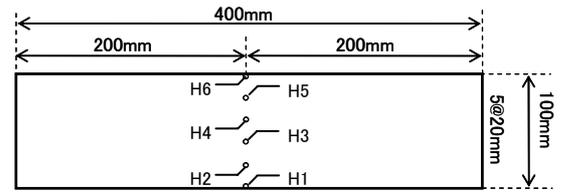


図-2 熱電対設置位置

### 4.5 熱を受けたコンクリートの破壊力学パラメータの推定

破壊力学パラメータを算出するために必要となる荷重と CMOD (ひび割れ肩口開口変位) は、JCI-S-001-2003<sup>5)</sup> に基づき試験し、測定を行った。試験は試験体を 5 体使用し、加熱した翌日に試験体下面に切欠きを作製し、3 点曲げ試験を行った。実験で得た測定データを基に破壊エネルギーを算出した。

## 5. 実験結果

各温度の内部温度測定結果の平均値を 図-3, 4 に示す。曲げ強度試験の結果を 図-5 に示す。測定した荷重-CMOD 曲線を 図-6 に示し、結果から求めた破壊エネルギーおよび引張強度の算出結果を表-2 に示す。

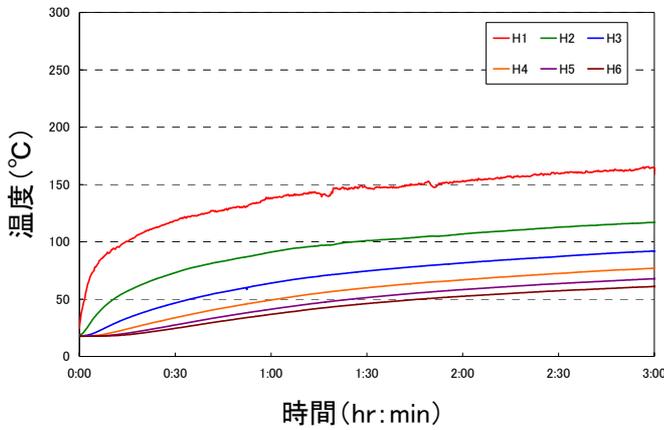


図-3 内部温度測定結果 (300°C)

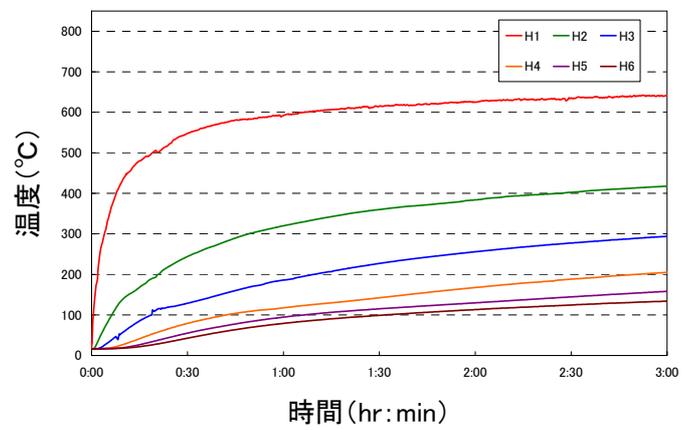


図-4 内部温度測定結果 (850°C)

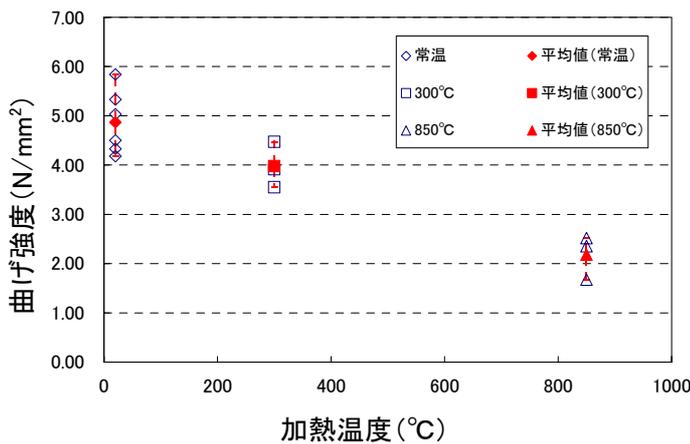


図-5 加熱温度による曲げ強度の変化

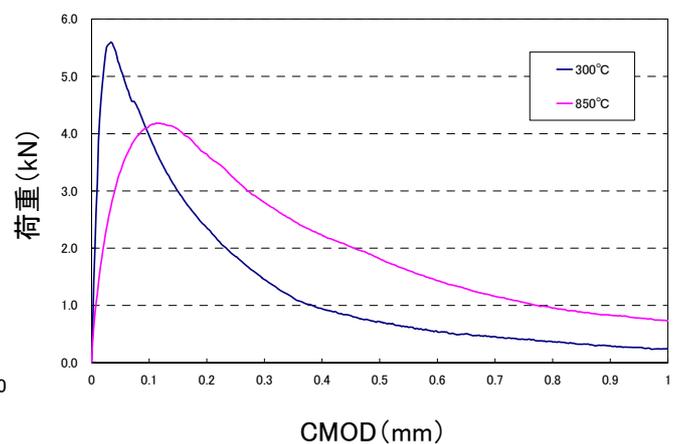


図-6 荷重-CMOD 曲線 (平均曲線)

表-2 算出した破壊エネルギーおよび引張強度

加熱温度	破壊エネルギー (N/mm)	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )
常温	0.091	3.12
300°C	0.167	2.56
850°C	0.273	0.78

## 6. 解析結果

### 6.1 M-φ曲線

解析から算出した M-φ 曲線を図-7, 8に示す. また, 最大曲げモーメントから算出した各時間における曲げ強度を表-3に示す. 300°C加熱において, 全ての加熱時間の曲線が非加熱(加熱時間 0:00の時)の状態よりも高い値を示した. 850°C加熱は時間が経過するに連れて最大曲げモーメントが低下していく結果となった.

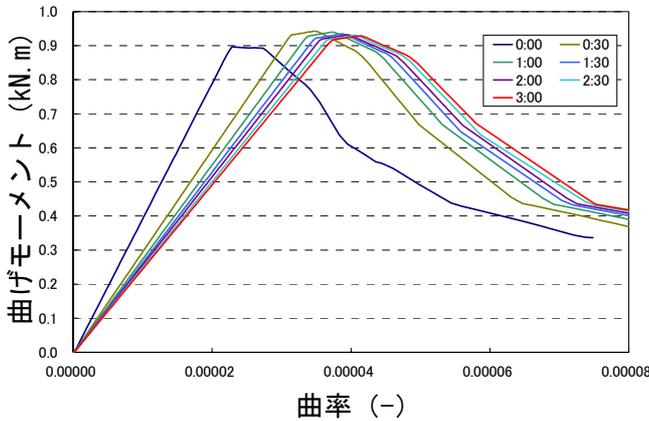


図-7 M-φ曲線 (300°C加熱)

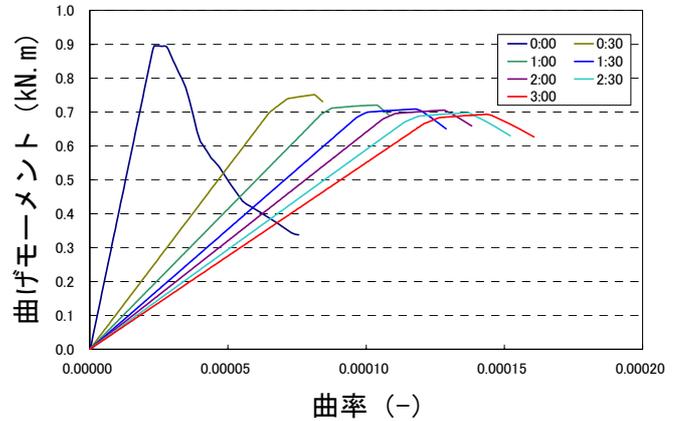


図-8 M-φ曲線 (850°C加熱)

表-3 経過時間と曲げ強度の関係

時間 (hr:min)	300°C		850°C	
	曲げ強度 (N/mm <sup>2</sup> )	強度残存率 (%)	曲げ強度 (N/mm <sup>2</sup> )	強度残存率 (%)
0:00	5.38	100.0	5.38	100.0
0:30	5.66	105.2	4.51	83.9
1:00	5.64	104.8	4.32	80.4
1:30	5.61	104.3	4.25	79.1
2:00	5.59	103.9	4.24	78.8
2:30	5.59	103.8	4.19	77.9
3:00	5.57	103.6	4.16	77.4

### 6.2 実験値との比較

前項で算出した曲げ強度と実験値の比較を行った結果, 図-9のようになった. 解析値と実験値の誤差が加熱温度が上がるに連れて大きくなる結果となった. 常温時は解析値が実験値の平均の約 1.1 倍, 300°Cの時は約 1.4 倍, 850°Cの時は約 1.9 倍となった.

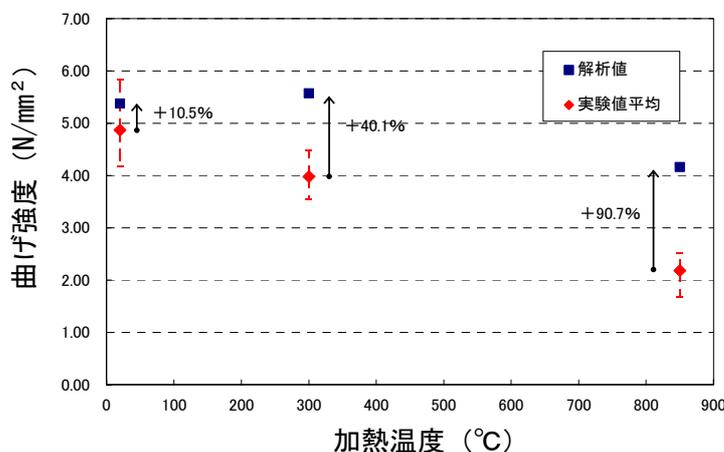


図-9 解析値と実験値の比較

### 6.3 中立軸位置

各加熱温度における時間経過における最大曲げモーメント時の応力分布および中立軸位置の変動を図-10, 11 に示す。300℃加熱に比べ、850℃加熱の変動が大きい理由としては、時間経過における内部温度の変化が大きいことが関係している。

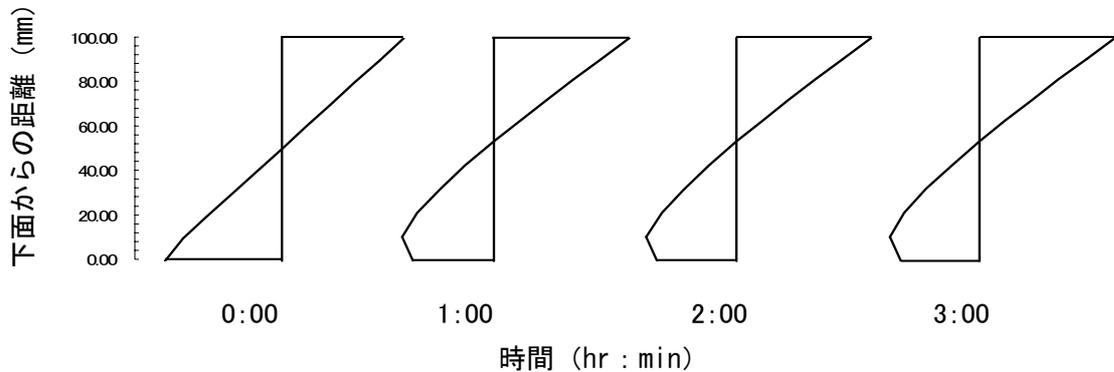


図-10 加熱時間による応力分布および中立軸位置の変化 (300℃加熱)

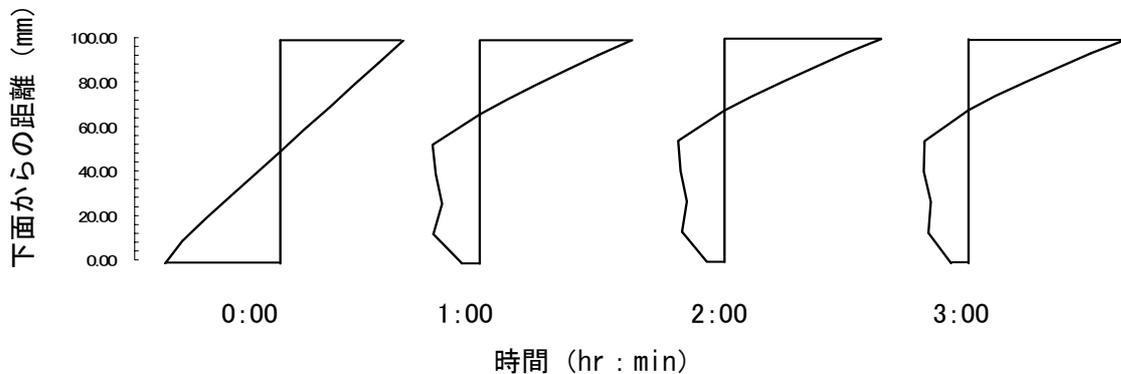


図-11 加熱時間による応力分布および中立軸位置の変化 (850℃加熱)

### 7. まとめ

- ・内部温度の測定結果から、加熱時間と内部温度の変化の関係が明らかとなった。
- ・加熱後の曲げ強度結果から、非加熱時の強度に比べ加熱後の強度が低下していることが明らかとなった。また、加熱温度が高いほど、強度低下率が高いことが分かった。
- ・荷重—CMOD 曲線測定結果を基に算出した破壊力学パラメータから、加熱温度が高いほど破壊エネルギーが高い値を示した。
- ・300℃加熱の解析において、非加熱の曲げ強度に比べ加熱後の曲げ強度が高い値を示した。
- ・850℃加熱の解析において、加熱時間が経過するに連れて曲げ強度が低下してきた。
- ・実験結果と比較した結果、加熱温度が上がるに連れて誤差が大きくなる結果となった。

### 8. 今後の課題

解析プログラムの正確性を高める必要があると共に今回解析を行った加熱温度以外の温度についても行う必要がある。また、300℃加熱の解析結果において加熱後の強度が上がった理由について検証する必要がある。

<参考文献>

- 1) 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（その 1. 低常温度下における高温圧縮試験），日本建築学会構造工学論文集 Vol.49B, p.374, 2003.3
- 2) Commission of European Communities Eurocode No 4 ; Design of composite structural Fire design, April 1994
- 3) 土木学会；コンクリート標準示方書[設計編]，2007
- 4) 土木学会；コンクリート標準示方書[規準編]，2005
- 5) コンクリート工学協会；JCI 規準集，2003