

電力中央研究所      正会員 金津 努   正会員 青柳征夫  
正会員 遠藤達巳  
大成建設土木設計部   正会員 大嶋匡博

1 まえがき

著者らは、高温下における鉄筋コンクリート(RC)部材の力学的性状を解明するため、実験、解析の両面より研究を進めている。既に、鉄筋とコンクリートの材料物性の昇温に伴う変化や両者の熱膨張係数差が、RC部材の曲げ変形状に影響を与えることを明らかにした。<sup>1)2)</sup> 熱膨張係数差に起因する鉄筋とコンクリートの内部ひずみに関しては、その評価方法を示し、おおよその値を推定した。<sup>3)</sup>

本報告は、内部ひずみの曲げモーメントの載荷に伴う解放の影響を考慮した、モーメントー曲率関係を評価する一方法を提案したものである。

2 基本的な考え方

変形状を評価するための基本式には、  
常温下で実績のあるACI基準式を用いた。  
高温下においては、右の3項目の取扱いを検討した。

- ① 材料物性の温度依存性
- ② 内部応力がひびわれの発生に及ぼす影響
- ③ 載荷に伴う内部応力の解放

2.1 材料物性の温度依存性

表1に示すように、常温から500℃までの温度領域において、当所および他の研究機関の既往の研究成果に基づく推定値、または、実際に強度試験体を作製して高温下で実験を行った結果を用いた。

2.2 内部応力がひびわれの発生に及ぼす影響

表 1 コンクリートと鉄筋の物性値

鉄筋とコンクリートの熱膨張係数差に起因して、コンクリートには引張応力が生ずる。従って、高温下ではモーメントを作用させる以前に、コンクリートはある引張応力状態となっている。ACI基準では、平均剛性を評価する際に、初ひびわれ発生荷重を用いており、高温下の場合には、モーメント載荷前の応力状態を考慮した初ひびわれ荷重を評価する必要がある。ここでは、熱膨張係数差に起因する内部応力を、載荷モーメントと等価な換算荷重(M<sub>o</sub>)として評価し、モーメント載荷以前にM<sub>o</sub>が作用しているものとした。M<sub>o</sub>は、自由変形時に生ずる曲率(本研究は単鉄筋RC部材を対象)を基に次式で評価した。

$$M_o = M_{cr} \cdot \phi / \phi_{cr} \quad \dots \text{常温} \leq T \leq T_{cr}$$
$$M_o = M_{cr} \quad \dots T_{cr} < T$$

ここで、M<sub>cr</sub>；慣用の曲げ計算によるひびわれ発生モーメント、 $\phi$ ；検討温度でのRC部材の自由変形曲率、 $\phi_{cr}$ ；ひびわれ発生時の自由変形曲率、T<sub>cr</sub>；ひびわれ発生温度、T；検討温度

2.3 載荷に伴う内部応力の解放

(i) 潜在曲率( $\Delta \phi$ )；熱膨張係数差に起因する内部応力により、RC部材は昇温に伴って曲率を生じひびわ

| 試験体    | 温度条件(℃) | As<br>(cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{cu}$<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | $E_c$<br>× 10 <sup>4</sup><br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{bu}$<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{tu}$<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | $E_s$<br>× 10 <sup>4</sup><br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{sy}$<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|--------|---------|--------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| N-B    | 常温      | 3.972                    | 516                                     | 3.48                                                 | 62.7                                    | 39.0                                    | 2.07                                                 | 4000                                    |
| II-100 | 常温      | 3.097                    | 472                                     | 3.45                                                 | 55.8                                    | 34.9                                    | 2.07                                                 | 4000                                    |
|        | 100     |                          | * 470                                   | * 2.34                                               | * 56.0                                  | * 34.3                                  | * 2.06                                               | 3950                                    |
| II-200 | 常温      | 3.163                    | 492                                     | 3.67                                                 | 51.2                                    | 38.2                                    | 2.07                                                 | 4000                                    |
|        | 200     |                          | * 490                                   | * 2.03                                               | * 50.0                                  | * 35.0                                  | * 2.01                                               | 3850                                    |
| II-300 | 常温      | 3.972                    | 465                                     | 3.59                                                 | 44.2                                    | 32.4                                    | 2.07                                                 | 4000                                    |
|        | 300     |                          | * 450                                   | * 1.88                                               | * 34.3                                  | * 26.1                                  | * 1.93                                               | 2900                                    |
| II-400 | 常温      | 3.972                    | 459                                     | 3.52                                                 | 48.4                                    | 35.2                                    | 2.07                                                 | 4000                                    |
|        | 400     |                          | 363                                     | 1.68                                                 | 49.2                                    | 27.7                                    | 1.81                                                 | 2700                                    |
| II-500 | 常温      | 3.972                    | 384                                     | 3.28                                                 | 41.8                                    | 35.4                                    | 2.07                                                 | 4000                                    |
|        | 500     |                          | 220                                     | 0.79                                                 | 27.5                                    | 21.7                                    | 1.66                                                 | 2400                                    |

\*：既往の試験結果からの推定値 As；鉄筋の総断面積  $\sigma_{cu}$ ；圧縮強度  $\sigma_{bu}$ ；曲げ強度  $\sigma_{tu}$ ；割裂引張強度  $E_c$ 、 $E_s$ ；コンクリートおよび鉄筋の弾性係数  $\sigma_{sy}$ ；鉄筋の降伏点

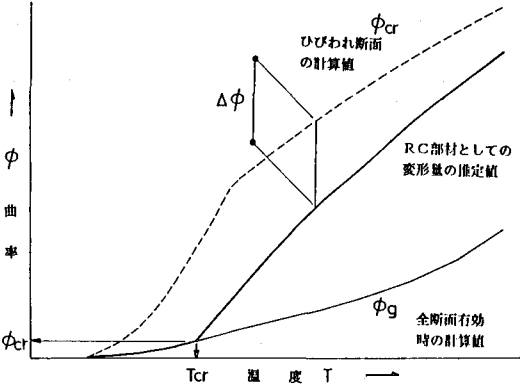


図 1 潜在曲率の模式図

れが発生する。モーメント・荷重前の状態は、ひびわれ断面では内部応力はほとんど解放されているが、ひびわれ間断面では解放されるべき内部応力が残っている。これを曲率として換算したものが図1に示す潜在曲率である。ここでは、 $\Delta \phi$  として、コンクリートの引張限界ひずみを  $100 \times 10^{-6}$  と仮定して計算したひびわれ断面における曲率と、昇温に伴う自由変形曲率の推定値との差を採った。100℃、200℃、300℃、400℃および 500℃の温度条件で、 $\Delta \phi$  はそれぞれ  $3.7 \times 10^{-6}/\text{cm}$ 、 $21.9 \times 10^{-6}/\text{cm}$ 、 $17.9 \times 10^{-6}/\text{cm}$ 、 $13.6 \times 10^{-6}/\text{cm}$  および  $9.7 \times 10^{-6}/\text{cm}$  であった。

(ii) 潜在曲率の解放；(i)で述べた  $\Delta \phi$  は、載荷モーメントが大きくなるに従って徐々に解放され、鉄筋の降伏時点ですべて解放されるものとした。従って、 $\Delta \phi$  を考慮した高温下のRC部材のひびわれ断面剛性([ $E_c \cdot I_{cr,h}$ ])は次式で算定するものとした(図2参照)

$$[E_c \cdot I_{cr,h}] = [E_c \cdot I_{cr}] \cdot \phi_y / (\phi_y + \Delta \phi)$$

ここで、 $\phi_y$ ；物性の温度依存性のみ考慮したひびわれ断面剛性[ $E_c \cdot I_{cr}$ ]に基づく部材降伏時曲率

## 2.4 平均剛性の評価

以上より、平均剛性評価式は次式で表わされる。

$$\begin{aligned} \text{常温} \quad [E \cdot I]_{\text{ave}} &= E_c [I_g \cdot (M_{cr}/M)^3 \\ &\quad + I_{cr} \cdot \{1 - (M_{cr}/M)^3\}] \\ \text{高温} \quad [E \cdot I]_{\text{ave}} &= E_c [I_g \cdot (M_{cr}/(M+M_o))^3 \\ &\quad + I_{cr,h} \cdot \{1 - (M_{cr}/(M+M_o))^3\}] \end{aligned}$$

## 3 結果と考察

図3～図4は、実験結果と計算結果を比較したものである。図中には、材料物性の温度依存性のみ考慮してACI基準を用いた計算結果も示した。200℃の荷重段階の低い領域で計算値の方が剛性をかなり低く見積る以外は、全般的に良好な評価を与えている。載荷に伴って解放される内部ひずみは、200℃付近が最も大きく<sup>3)</sup>  $\Delta \phi$  を考慮する影響が顕著に現われているが、500℃の場合には、昇温過程で内部ひびわれが発生して内部ひずみを解放するため、 $\Delta \phi$  の影響は200℃の場合に比較して小さい。

## 4 まとめ

高温下特有の現象を考慮した剛性評価方法は、本実験範囲では、概ね妥当な結果を与えるようである。今後、軸力および鉄筋量が相違するRC部材の実験を行い、本評価式の適用性の検証を行う予定である。

## 【参考文献】

- 1) 金津他；100℃を超える高温下におけるコンクリートの強度性状、電力中央研究所報告 No.384022
- 2) 金津他；高温下における鉄筋コンクリート部材の力学的性状、第7回JCI年次講演会論文集、1985.6
- 3) 大嶋他；昇温に伴う鉄筋コンクリート部材の内部ひずみの評価、第40回JSCE年次講演会概要集、1985.9

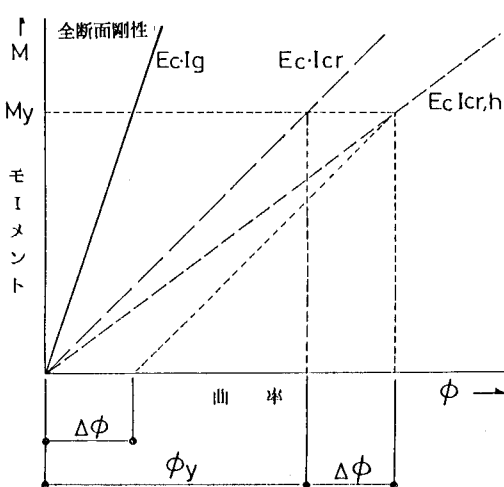


図2 【 $E_c \cdot I_{cr,h}$ 】の模式図

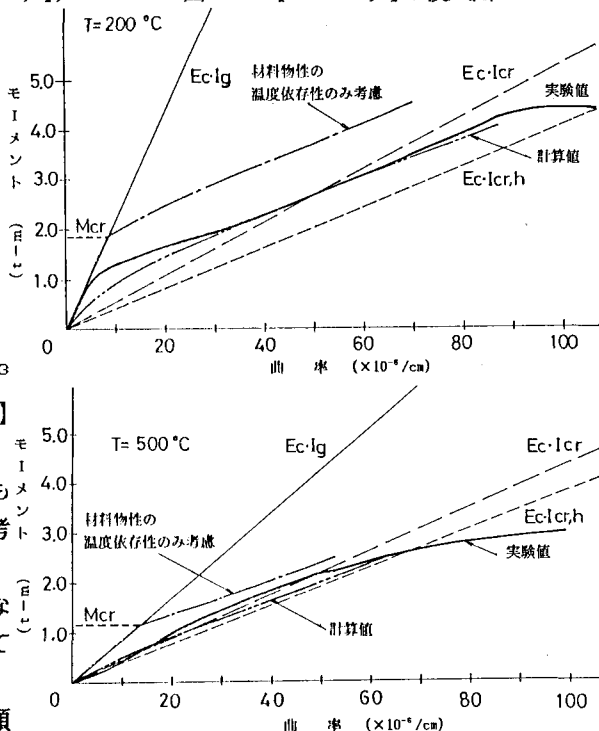


図3～4 モーメントー曲率関係の比較

図3～4 モーメントー曲率関係の比較