

RC構造物の時間依存性挙動に関する基礎的研究

○東北大学 学 大塚 勝

東北大学 学 七澤 利明

東北大学 正 尾坂 芳夫

1. はじめに

現在、鉄道橋等にRCラーメン高架橋が多く用いられているが、その長大化に際しては、温度変化や乾燥収縮により生じる不静定応力の評価がネックになり、従来の弾性設計法では径間数およびブロック長が制限されている。実際には、リラクセーションによる応力緩和作用が働き、不静定応力は弾性設計法による計算値より小さくなることが知られている。不静定応力の評価の際、これらを適切に評価することが出来れば、ラーメン高架橋の長大化が可能になると思われる。そこで本研究では、乾燥収縮の予測式およびクリープ流れ則を考慮した有限要素解析手法を提案するとともに、この手法による解析値とボックスラーメン供試体の温度応力試験のデータとを比較することにより解析手法の有効性を検討した。

2. 解析手法

本解析は基本的に1要素当たり9節点ラグランジェ四辺形要素をもちいた有限要素解析であるが、時間依存性の不静定応力を解析するために以下に記す理論、手法を導入している。

○弾性係数は時間を変数とする単調増加関数とした。

$$E_c = 4.733 \times 10^4 \sqrt{\frac{300 \times \{\log(t-4)\}^{0.42} - 7}{9.8}} \quad (\text{kgf/cm}^2) \quad (1)$$

○乾燥収縮ひずみ量は前述の温度応力試験で得られた部材中心温度、恒温室の湿度、時間を変数として乾燥収縮の予測式(CEB¹⁾, ACI²⁾, BP³⁾)から値を求めた。更に、本解析のプログラムでは、温度変化を入力することにより、温度変化に依存したひずみ変化を考慮できる仕組みになっている。そこで乾燥収縮ひずみの値から、線膨張係数で割った値を温度変化と共にプログラム温度項に入力した。

○クリープ成分の取扱い、非線形連続体問題における通常の方法に従って、全ひずみ ε が弾性ひずみ成分 ε_e とクリープひずみ成分 ε_{cr} に分離できるものと仮定すれば、全ひずみ速度を次式で表すことができる。

$$\dot{\varepsilon} = \dot{\varepsilon}_e + \dot{\varepsilon}_{cr} \quad (2) \quad (A) \text{体}$$

なお、記号の上のドットは時間についての微分を表す。全応力の変化率は次式のように弾性ひずみ速度に依存する。

$$\dot{\sigma} = D \dot{\varepsilon}_e \quad (3)$$

ここで D は弾性マトリックスである。またクリープひずみ速度 $\dot{\varepsilon}_{cr}$ は次のように定義される⁴⁾。

$$\dot{\varepsilon}_{cr} = \frac{3}{2} A(t) \cdot \left(\frac{\sigma}{E} \right)^{N(t)} \varepsilon \quad (4) \quad (B) \text{体}$$

ここで、 $A(t)$ と $N(t)$ はそれぞれ時間 t の関数であり、初載荷からの経過日数の影響を受けるため阪田らの式⁵⁾を参考にして次のように定めた。

$$A(t) = a(t-t')^b \quad (5)$$

$$N(t) = c \{ \ln(t-t' + 1) \}^d \quad (6)$$

ここに a, b, c, d は定数であり、 t と t' はそれぞれ材令(日)と載荷開始材令(日)を表している。ここで ε_{ij} ($\varepsilon_{ii} = 0$)は有効応力と呼ばれるテンソルであり、

$$\varepsilon_{ij} = \sigma'_{ij} - \alpha_{ij} \quad (7)$$

で定義されている。ここで σ'_{ij} は偏差応力であり、 α_{ij} は偏差応力空間でのポテンシャル面の中心の移動

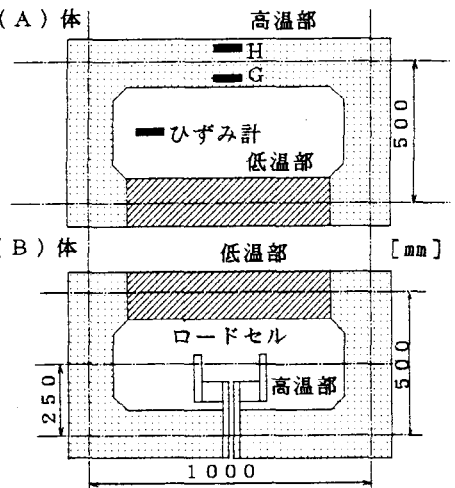


図-1 供試体の形状

を表す量で、その変化量 $\dot{\alpha}$ は、クリープひずみ速度 $\dot{\epsilon}_{cr}$ に比例するものと仮定した。

$$\dot{\alpha} = \frac{4}{9} k \dot{\epsilon}_{cr} \quad (8)$$

ここに k は定数である。式(5),(8)における係数 a, b, c, d, k は、ボックスラーメン供試体の温度応力試験と同時に行われたクリープ供試体および乾燥収縮供試体試験の結果を元に次のように決定した。

$$a=2.5 \times 10^{-3}, \quad b=-0.08, \quad c=1.8, \quad d=-0.09, \quad k=1.0 \times 10^5$$

さらに解析に用いられた材料特性は、ポアソン比 $\nu=0.23$ 、線膨張係数 $\alpha=9.0 \times 10^{-6}$ とした。

3. ボックスラーメンの温度応力実験

実験は図-1に示すように内的不静定なボックスラーメン供試体のひずみ挙動をほぼ同じ形状の静的なラーメン供試体に外力を与えて追跡することにより、不静定なボックスラーメン供試体に生じているはずの温度応力の挙動をとらえることを目的とした。初めに高温部分35℃、低温部分10℃の温度を与え、2週間保持する。次に全体を20℃として、2週間保持する。以上を1サイクルとして3サイクル繰り返した。

4. 解析結果および考察

図-2は供試体に生じる曲げモーメントの実験値と解析値を比較している。これを見るとCEB, BPはどちらも実験値をよく近似している。それに対しACIは他の2つよりもやや低くなる傾向にある。このように実験値と解析値がほぼ一致していることから、この実験に関する限りひび割れによる剛性低下の影響は無視できるほど小さいことがわかる。図-3、図-4は、それぞれ図-1におけるG点、H点におけるひずみの測定値と解析値とを比較したものである。CEBとBPに関して高温部の測点でややCEBが低くなっているが、低温部の測点では両者とも実験値によく適合している。一方、図-3、図-4においてACIは、実験値、他の予測値よりも低い値をとっているが、これはACIの予測式において温度の影響を考慮する項がないことに原因があるのではないかと思われる。また、上述の3つの予測式は、無筋コンクリートを対象としており、鉄筋による乾燥収縮量の拘束が起り得ると考えられるが、予測式に対して、実験値は鉄筋拘束の影響による低下を示していないことは予め確かめられている。

5. まとめ

本研究の最終目標はラーメン高架橋における不静定応力の明確化であり、今回は過去に行われたボックスラーメン供試体実験の解析にとどまったが、解析法としての有効性は確かめられたと思われる。

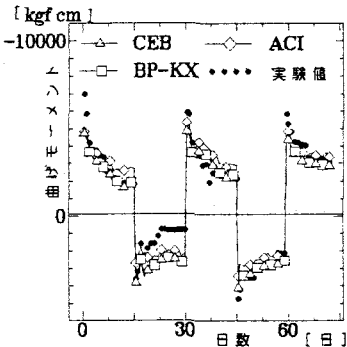


図-2 曲げモーメント

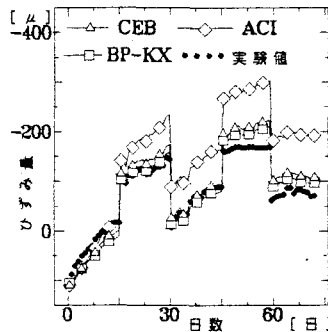


図-3 G点のひずみ

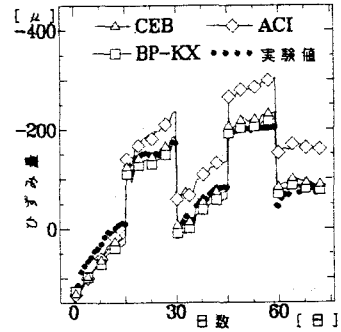


図-4 H点のひずみ

参考文献

- 1) H.S. Muller/H.K. Hilsdorf: Evaluation of the Time Dependent Behavior of Concrete, CEB Bulletin D'information No. 199, 1990
- 2) A.M. Neville/W.H. Dilger/J.J. Brooks: Creep of Plain and Structural Concrete
- 3) Z.P. Bazant/J.K. Kim/L. Panula: Improved Prediction Model for Time Dependent Deformations of Concrete; Part 1-Shrinkage, Materials and Structures 24, 1991
- 4) 日本材料学会編: 固体力学の基礎, 日刊工業新聞社, 1981
- 5) 阪田憲次・綾野克紀: 変動応力下におけるコンクリートのクリープの予測に関する研究, 土木学会論文集 No. 451, 1992.8