

V-212 モデレートプレストレス導入による温度ひびわれ 制御効果の評価に関する検討

〓熊谷組原子力開発室 正員 伊藤 洋
 〓熊谷組原子力開発室 正員 〇坂口 雄彦
 〓熊谷組原子力開発室 正員 清水 昭男

1. はじめに

マスコンクリート構造物の温度ひびわれ制御対策の一つとして、著者らはモデレートプレストレス導入による制御工法を提案し、現場実験でもその効果を確認している。¹⁾併せて、その効果の定量評価に当たってはACIの鉄筋によるひびわれ制御式を基調にした評価法を導いたが、断面内の空間温度分布や内部拘束応力などの影響を考慮していないなどいくつかの問題点を残していた。

本報告は、こういった背景から、基本的にはACI法に基づくが、昨今JCIにより開発されたコンベンションプレイン法(CPM)の考え方を導入してひびわれ制御効果の評価式を検討・提案するものである。

2. ひびわれ発生直前のコンクリート応力の推定

ひびわれ判定およびひびわれ制御評価に当たって、まずひびわれ発生時のコンクリート応力分布を知る必要がある。この推定は、CPMの考え方を基本として、²⁾図-1に示すようなモデルを考えることとする。これは、拘束体上に長さL、幅B、高さhの鉄筋コンクリート壁が打設され、同時に壁内部にはモデレートプレストレス(MPと称す)が導入されるとしたものである。これより、材令tにおける中央断面の応力分布 $\sigma_t(x, y)$ は次のように表すことができる。

$$\sigma_t(x, y) = \sigma_{it}(x, y) + \sigma_{rt}(x, y) - \sigma_{pt}(x, y) - \sigma_{st} \quad (1)$$

ここに、 $\sigma_{it}(x, y) = \sigma_{it-1}(x, y) + E(t) \{ \alpha \Delta T(x, y) - \Delta \bar{\epsilon} - \Delta \phi(y-h/2) \}$: 内部拘束応力,

$\sigma_{rt}(x, y) = \sigma_{rt-1}(x, y) + R_{nt}E(t)\Delta \bar{\epsilon} + R_{mt}E(t)\Delta \phi(y-h/2)$: 外部拘束応力,

$\sigma_{pt}(x, y) = R_{nt}P_{pt}/A + R_{mt}M_{pt}(y-h/2)/I$: MPによる拘束応力,

σ_{st} : 鉄筋による拘束応力である。ここで、 $E(t)$: コンクリートの弾性係数, α : コンクリートの熱膨張率, ΔT : 温度変化量, $\Delta \bar{\epsilon}$, $\Delta \phi$: 自由な軸, 曲げ変形増分, R_n, R_m : ピーク前の軸, 曲げ拘束係数, P_{pt} : MP力, A : 断面積, M_{pt} : MPによるモーメント, I : 断面2次モーメント, である。ただし、 σ_{st} については不明な点が多くここでは $\sigma_{st} = 0$ とみなすこととする。

式(1)の σ_t よりひびわれ発生の判定と、次の3.で用いる断面内 σ_t の空間分布を得ることができる。

3. ひびわれ制御効果の評価

ここでは、2.で求めた応力がコンクリートの引張強度 f'_t を上廻ってひびわれが発生した時のMP導入によるひびわれ幅制御効果の評価法について検討する。評価式の誘導に当たっては、ひびわれの対象となるコンクリート壁下面($y=0$)でのモーメントの釣り合いを考えるACIの鉄筋によるひびわれ制御の考え方を基本とし、また問題をできるだけ単純化するため一度発生したひびわれは躯体の全高まで成長すると仮定する。図-2は、図-1に示した構造物にひびわれ間隔 $2L'$ の貫通ひびわれが発生した時をモデル化したものであり、ひびわれ間隔 L' となる躯体の鉄筋応力はこの状態でのモーメントの釣り合いを考えることにより算定できる。³⁾ここで、ひびわれ間隔 L' (m)は次式による。

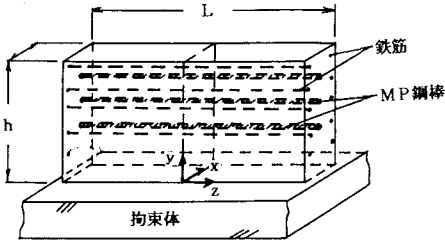


図-1 ひびわれ発生前のモデル

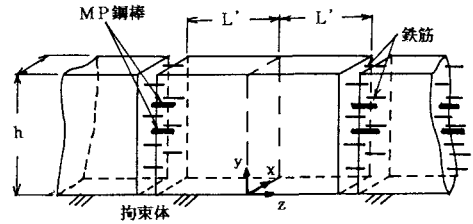


図-2 ひびわれ発生後のモデル

$$L' = W_{\max} \times 10^{-3} / 1.5 (\sigma_{t\max} - f_t') / E(t) \quad (2)$$

ここに、 $W_{\max}$ ：許容最大ひびわれ幅(mm)である。

モーメントの釣り合いは、躯体長さLのときのx軸まわりの全拘束モーメントをM、 L/h が $2L'/h$ となった時の中央断面におけるx軸まわりの拘束モーメントを M' 、鉄筋による拘束モーメントを M_r 、MPによる抵抗モーメントを M_p とすると以下のように表される。

$$M' + M_r - M_p = M \quad (3)$$

$$M = \int A_f \sigma_t(x, y) y dA \quad (4) \quad M' = \int A_f \sigma_t'(x, y) y dA \quad (5)$$

$$M_r = \sum_{i=1}^n A_s f_{si} y_{si} \quad (6) \quad M_p = \sum_{j=1}^m P_{pj} y_{pj} \quad (7)$$

$$\text{ここに、} \sigma_t'(x, y) = \sigma_{lt}(x, y) + \sigma'_{rt}(x, y) \quad (8)$$

$$\sigma'_{rt}(x, y) = \sigma'_{rt-1}(x, y) + R'_{nt} E(t) \Delta \bar{\epsilon} + R_{nt} E(t) \Delta \phi (y-h/2) \quad (9)$$

であり、 A_f ：ひびわれ部の断面積、 A_s ：鉄筋の断面積、 f_{si} ：鉄筋応力、 y_{si} ：鉄筋iのy座標、 n ：鉄筋の本数、 P_{pj} ：鋼棒jのプレストレス力、 y_{pj} ：鋼棒jのy座標、 m ：鋼棒の本数、 R'_N, R'_M ： $L/h = 2L'/h$ の時の軸、曲げ拘束係数、である。

ここで、 f_{si} は便宜上高さ y_{si} における平均的なコンクリート応力 $\sigma_{\bar{\epsilon}}(x, y_{si})$ に比例すると仮定すると、比例定数 β として次式のように示される。

$$f_{si} = \beta \sigma_{\bar{\epsilon}}(x, y_{si}) \quad (10)$$

また、MP鋼棒にも鉄筋と同様ひびわれ発生により付加応力 $f_{pj} = \beta' \sigma_{\bar{\epsilon}}(x, y_{pj})$ が発生するが、鋼棒1本当たりのプレストレス力5~10tに対して、 $f_{pj} A_p \approx 0.2t$ （例えば、 $\beta' = 1$ 、 $\sigma_{\bar{\epsilon}} = 30 \text{ kg/cm}^2$ 、 $A_p = 6.16 \text{ cm}^2$ 、鋼棒断面積（φ28）とした場合）であるから、ここでは無視することとする。

f_{si} とひびわれ幅 w の関係は次式による³⁾。

$$f_{si} = w \times 10^6 / 10.85 (d_c D)^{1/3} \quad (11)$$

ここに、 d_c ：鉄筋中心までのかぶり、 D ：鉄筋を取り囲むコンクリートの有効面積（ $2d_c \times$ 鉄筋間隔）である。結局、式(3)～式(9)よりプレストレス力 P_p を決めれば β が求まり、式(10)から f_{si} が得られ、ついで式(11)よりひびわれ幅 w の高さ方向の分布を推定することができる。

参考文献

- 1) 清水他：モデルートプレストレス導入による温度ひびわれ防止効果について、第7回コンクリート工学年次講演会論文集、1985。
- 2) 田辺忠顕：マスコンクリートの温度応力制御技術の現状、土木学会論文集、第372号、1986。
- 3) ACI207委員会報告：マッシブなコンクリートのひびわれに対する拘束、体積変化および鉄筋の影響、コンクリート工学、vol.13, No.2～4, 1975。