

マスコンクリート構造物に発生する内部応力について

京都大学工学部 正員 丹羽義次
日本電信電話公社 正員 〇和田隆之

[1] まえがき

マスコンクリート構造物においては、セメントの水和発熱・内部の温度変化などに伴うコンクリートの体積変化や材令に依存した弾性係数・クリープにより固有応力が発生する。従来の固有応力解析では、温度上昇時の圧縮を無視し、かつクリープの効果を考慮した換算弾性係数を用いるなどの近似が行なわれていることが多い。著者は材令に依存する粘弾性の構成式を用いてFEMによりマスコンクリート構造物に発生する固有応力の解析を行ってきた。¹⁾²⁾ 本報告はこのような研究の一環として、基礎地盤上に建設されたマス構造物に発生する固有応力の大きさ・変動を調べ、それに対する温度制御の効果について考察を加えたものである。この研究が最終目標としていることは発生応力を人工的に制御することの可能性について検討することである。

[2] 解析方法の概略

解析に用いたモデルは次のように仮定した。

(1) マスコンクリートは水和過程で発熱する熱伝導体であるとする。

(2) コンクリートは等方等質な粘弾性体であるとし、弾性係数及びクリープ特性は材令に依存する。時間に依存するクリープ構成式は一般に、

$$E_{ij}(t) = \int_0^t J_{ij,ke}(t, \tau) \frac{\partial \sigma_{ij}(\tau)}{\partial \tau} d\tau + \alpha \theta \delta_{ij} \quad \text{----- ①}$$

と表わされる。クリープ関数が次の型で示されるモデルを用いれば構成式も数値計算に適した形に表わすことができる。

$$J(t, \tau) = \frac{1}{E^*} \left\{ A(\tau) + \sum_n B_n(\tau) [1 - \exp(-\lambda_n(t - \tau))] \right\} \quad \text{----- ②}$$

ポアソン比が一定で時間区間 $(t, t + \Delta t)$ で応力が線形変化すると仮定すると、 Δt 間での応力増分は

$$\Delta \sigma_{ij} = E^* C_{ij,ke} (\Delta \epsilon_{ke} - \Delta \epsilon_{ke}^0) \quad \text{----- ③}$$

とかける。ここで $C_{ij,ke}$ はポアソン比の関数で、

$$1/E^* = \frac{1}{\Delta t} \int_t^{t+\Delta t} J(t+\Delta t, \tau) d\tau \quad \text{----- ④}$$

$$\Delta \epsilon_{ke}^0 = \alpha \Delta \theta \delta_{ke} + \sum_n g_{ke}^{(n)}(t) \{1 - \exp(-\lambda_n \Delta t)\} \quad \text{----- ⑤}$$

$$g_{ke}^{(n)}(t + \Delta t) = g_{ke}^{(n)}(t) \cdot \exp(-\lambda_n \Delta t) + \Delta g_{ke}^{(n)} \quad (\alpha = 1, 2, \dots, n)$$

$$g_{ke}^{(n)}(0) = 0, \quad \Delta g_{ke}^{(n)} = \int_t^{t+\Delta t} \frac{\partial g_{ke}^{(n)}(t)}{\partial t} \frac{B(t)}{E_0} \exp[-\lambda_n(t + \Delta t - \tau)] d\tau \quad \text{----- ⑥}$$

⑥式によって逐次 $g_{ke}^{(n)}(t)$ を求めていけばよい。Fig.1 はこの方法を用いてコンクリートのクリープから求めた応力緩和応答である。

[3] 基礎上に建設されたマスコンクリート構造物の解析例

Fig.2 に示すような基礎上に建設されたマス構造物を対象とし、構造物内部の温度分布と発生応力の分布を求める。基礎は剛体であるとし、2次元平面ひずみ問題として取り扱う。

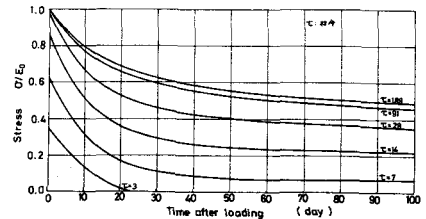


Fig.1 応力緩和応答

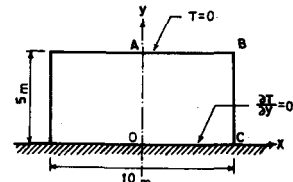


Fig.2 解析モデル

Fig.3はOA線上の温度分布, Fig.4は断面OAでの直応力(σ_x)分布の経時的変動を示したものである。添字は経過日数を表す。内部温度は水和熱によって短期間で急激に上昇し、20日後には断熱温度上昇(30℃)の95%にも達するが、熱が逸散するには長期間を要することがわかる。固有応力は温度上昇期には表面で引張、内部で圧縮であり、冷却期にはそれが逆転して表面で圧縮応力、内部で引張応力となる。Fig.5に最終安定状態で内部に存在する固有応力の分布を示す。なお基礎は剛体であるとしたので基礎付近ではかなり大きな引張応力が生じているが、実際の基礎岩盤では拘束はもう少し小さいから応力も小さいものになるであろう。

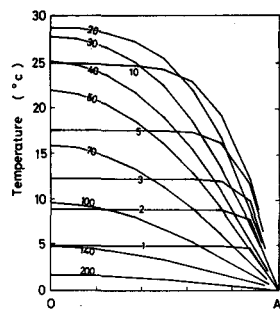


Fig. 3 温度分布の変動

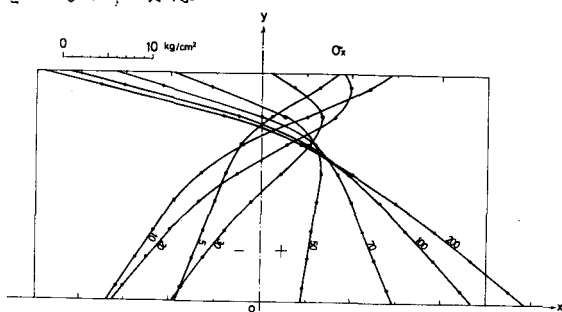


Fig. 4 固有応力分布の変動

[4] 人工的な温度制御の解析例

アレフーリングを対象として上記の構造物の初期温度を人工的に調節した場合に、それが固有応力に与える影響を示したのがFig.6である。200日後での固有応力の大きさは初期温度を低くすることでかなり抑制されることがわかる。また、パイプクーリングを対象として、初めの30日間ポイントクーリングを行った場合に、応力に与える影響を示したのがFig.7である。ポイントクーリングモデルは構造物内部のいくつかの点で熱吸収を行なうモデルである。内部で熱吸収を行ない最高温度上昇を抑制する温度制御法は、表面および基礎付近で生じる引張応力を共に小さくする効果があり、非常に有用である。さらに、積極的に、望ましい応力状態にするために人工的に応力制御を行なうことの可能性も有している。

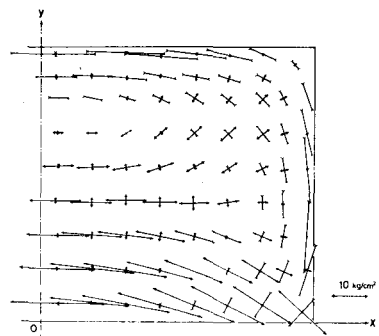


Fig. 5 最終安定状態での固有応力分布

参考文献 1) 丹羽・堀井・和田 第32回土木学会年次学術講演集 1-74
2) 和田隆之 京都大学修士論文, 昭和53年3月

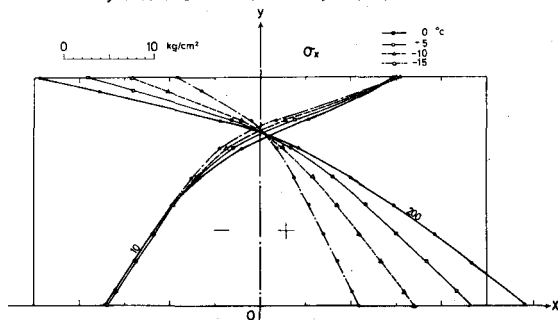


Fig. 6 初期温度を変えた場合の固有応力

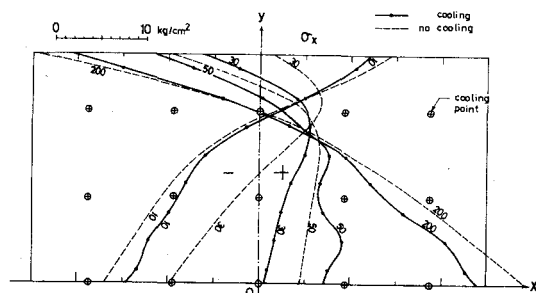


Fig. 7 ポイントクーリングを行なった場合の固有応力