

V-572

不確定因子を考慮したマスコンクリートのFEM温度応力解析

東京電機大学 大学院 学生員 ○藤本直也
西松建設(株) 技術研究所 正会員 潮田和司
東電設計(株) 耐震技術部 正会員 松島 学
東京電機大学 理工学部 正会員 松井邦人

1.はじめに

本研究は、不確定因子のマスコンクリートへの影響を調べるために、床板幅を計算の因子とし、FEM温度応力解析を用いて、温度応力がどのように変化するかを調べたものである。

2.コンクリート躯体の温度応力解析

図-1のような半無限の岩盤上に打設されたマスコンクリートを考える。熱源はコンクリート躯体の中にあり、セメントの水和反応により発生した熱は躯体に接する空気と岩盤に伝達する。解析ではマスコンクリートをFEMによりモデル化した。計算の因子は床板幅とし、 $B=2.0, 4.0, 8.0, 12.0$ および 20.0m とし、その他の因子は同じとした。温度応力に必要な各因子は既往の研究等を参考に表-1に示すように平均値、標準偏差および分布形状を設定した。一定値と仮定した因子は、図-1の中に示してある。また、固定温度境界面の岩盤温度を 15°C 、外気温を 20°C と設定した。計算はモンテカルロ法により、100個の乱数を発生させ計算を行った。著者らの一人の研究によれば、5%程度の危険確率は、100個程度の乱数で十分に精度良く求められることを示している。

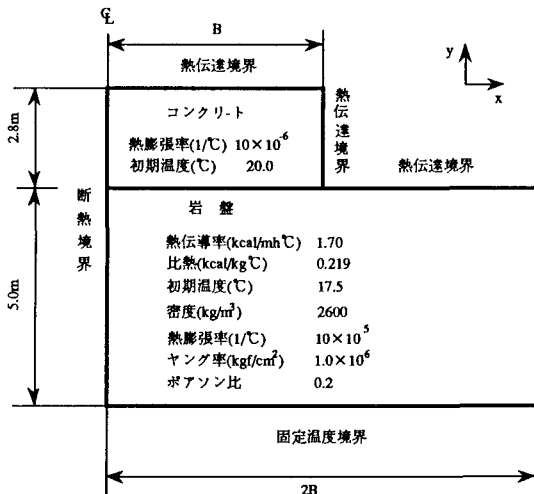


図-1 解析モデル

3.温度応力解析結果

図-2.a,bに床板幅が 4.0m および 12.0m の場合のコンクリート躯体の中央部の温度応力と時間の関係を示す。同図には、各時刻歴の平均値と標準偏差から求めた温度応力の95%信頼区間も合わせて示す。図に見られるように、温度応力のばらつきは時間にも影響することがわかる。次に、温度応力の計算結果を利用して、ひび割れの安全性の性能評価を行う。一般に、時間 t の温度ひび割れ指数 $I_{cr}(t)$ で表され、温度応力 $\sigma_t(t)$ とコンクリートの引張強度 $f_t(t)$ の関係から式(1)で表される。

$$I_{cr}(t) = \frac{f_t(t)}{\sigma_t(t)} \quad (1)$$

図-3に床板幅を横軸に、躯体中央部の温度応力($t=30\text{日}$)の平均値、標準偏差および温度ひび割れの発生確率の関係を示す。図に見られるように、温度応力の平均値は、コンクリート幅が小さいと小さく、大きくなるにつれて増加し、 8.0m 以上になると安定する。そのばらつきの指標である標準偏差も、床板幅が大きくなるにつれて増加するが、 8.0m 以上になると安定する。その結果、ひび割れ発生の確率 Pr は 8.0m で最大となり、その時 $Pr=45.7\%$ となる。このように、温度応力解析では、入力した因子のばらつきが同じでも、構造物の形状等の影響により、ばらつきも異なることがわかる。

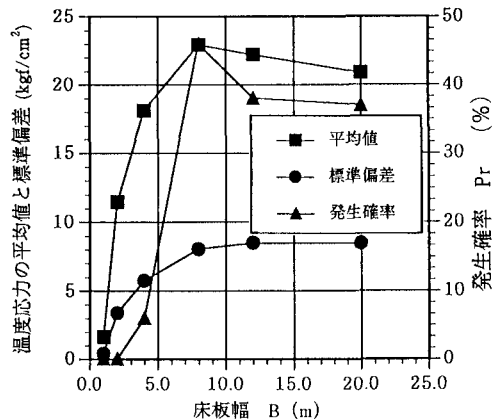


図-3 温度応力の平均値、標準偏差、発生確率（30日、中央部）

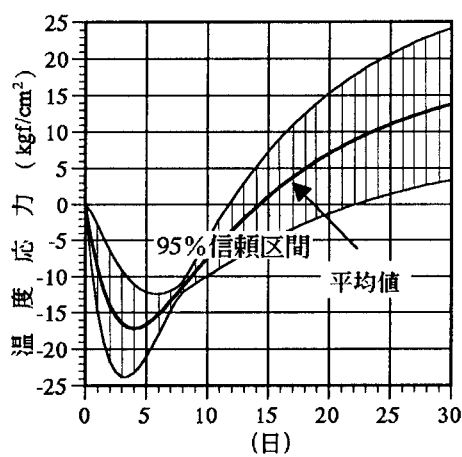


図-2.a 躯体中央部の温度応力と時間（B=4.0m）

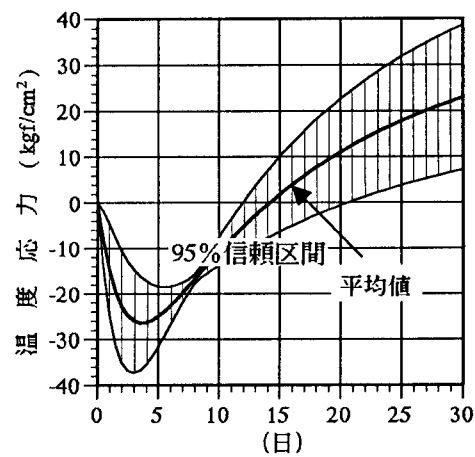


図-2.b 躯体中央部の温度応力と時間（B=8.0m）

表-1 温度応力の因子のモデル

	分布式	平均値	変動係数	分布形状	備考
熱伝達率 α_A	$\alpha_A = \bar{\alpha}_A (1 + e_\alpha^*)$	$\bar{\alpha}_A = 11.25 + 5.18V$ V: 風速	$e_\alpha^* = N(0.0, 0.037)$	N	風速 2.0m
熱伝導率 λ_c	$\lambda_c = \bar{\lambda}_c (1 + e_\lambda^*)$	$\bar{\lambda}_c = 2.066 - 0.00234T$ T: 温度	$e_\lambda^* = N(0.0, 0.120)$	N	温度 20.0℃
終局断熱温度 昇量 Q_∞	$Q_\infty = \bar{Q}_\infty (1 + e_Q^*)$	$\bar{Q}_\infty = 0.1108C + 8.81$ C: セメント量	$e_Q^* = N(0.0, 0.133)$	N	打ち込み温度 20℃ C=284kg/m³
温度上昇速度に 関する定数 γ	$\gamma = \bar{\gamma} (1 + e_\gamma^*)$	$\bar{\gamma} = 0.00415C - 0.271$ C: セメント量	$e_\gamma^* = N(0.0, 0.251)$	N	
断熱温度上昇式 $Q(t)$	—	$Q(t) = Q_\infty (1 - e^{-\gamma t})$ t: 材令0~30日	—	—	この式は、確 定量とする
比熱 C	$C = \bar{C} (1 + e_C^*)$	$\bar{C} = \frac{725}{\rho}$ ρ : 密度	$e_C^* = N(0.0, 0.040)$	N	密度 2312.0kg/m³
28日圧縮強度 $f_c(28)$	—	—	0.115	L	呼び強度 210kgf/cm²
91日圧縮強度 $f_c(91)$	$f_c(91) = \bar{f}_c(91) (1 + e_f^*)$	$\bar{f}_c(91) = f_c(28) \times A$ A=1.13	0.1	N	普通ポルトラ ンセメント
材令t日 の圧縮強度 $f_c(t)$	$f_c(t) = \bar{f}_c(t) (1 + e_{fc}^*)$	$\bar{f}_c(t) = \frac{1}{a + bt} \cdot f_c(91)$ a=4.5 b=0.95 t=材令0~30日	0.1	N	普通ポルトラ ンドセメント
ヤング率 $E_s(t)$	$E_s(t) = \bar{E}_s(t) (1 + e_E^*)$	$\bar{E}_s(t) = \psi(t) \times 1.5$ $\times 10^4 \sqrt{f_c(t)}$ t=材令0~30日	0.1	N	—
ボアソン比 ν	—	0.171	0.120	R	$\frac{1}{7} \sim \frac{1}{5}$ の範囲
引張強度 $f_A(t)$	$f_A(t) = \bar{f}_A(t) (1 + e_{fA}^*)$	$\bar{f}_A(t) = 1.4 \times \sqrt{f_c(t)}$ t=材令0~30日	0.115	N	圧縮強度と同 じ変動係数

分布形状・・・N：正規分布，L：対数正規分布，R：矩形分布

参考文献

1)松島学,松井邦人：採択個数から母集団の推定誤差に関する一考察,土木学会第47回年次学術講演会,I-525,pp.1224~1225,1993