

(V-15) 信頼性理論に基づいたマスコンクリートのFEM温度応力解析

東京電機大学 学生員 藤本直也
東電設計(株) 正会員 松島 学
東京電機大学 正生員 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の影響を調べるために、各因子の相関を考慮し、セメント量、床板幅、岩盤のヤング係数を計算の因子として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、示方書に記されている温度ひびわれ指数との比較をした。

2. 解析モデルの因子

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。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。解析では平面ひずみ問題とし、マスコンクリートをFEMによりモデル化した。計算の因子はセメント量250、300及び400kg/m³、床板幅B、躯体厚さH=1.5m、岩盤のヤング係数E_rとし、その他の因子は同じとした。温度応力解析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、標準偏差及び分布形状を設定し、相関を考慮して、コンクリートの諸係数は、28日圧縮強度を基準として求め、終局断熱温度上昇量、温度上昇速度に関する係数も相関を考慮して求めた。一定値と仮定した因子は、図-1の中に示してある。また、外気温を20℃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。

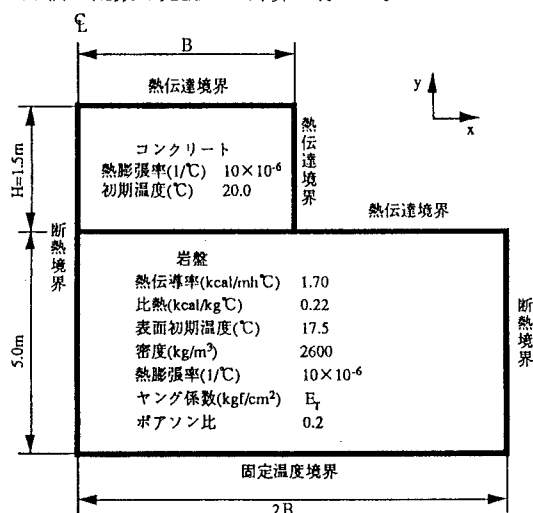


図-1 解析モデル

3. 温度応力解析結果

図-2.a, bにB/H、E_c/E_rを横軸に温度応力の平均値と変動係数の関係を示す。温度応力の平均値はB/Hが大きくなると増加し、E_c/E_rが大きくなると減少する傾向にある。変動係数は巨視的にみれば、ほぼ一定値をとっている。しかし、セメント量が大きくなると、そのばらつきも大きくなる傾向がある。

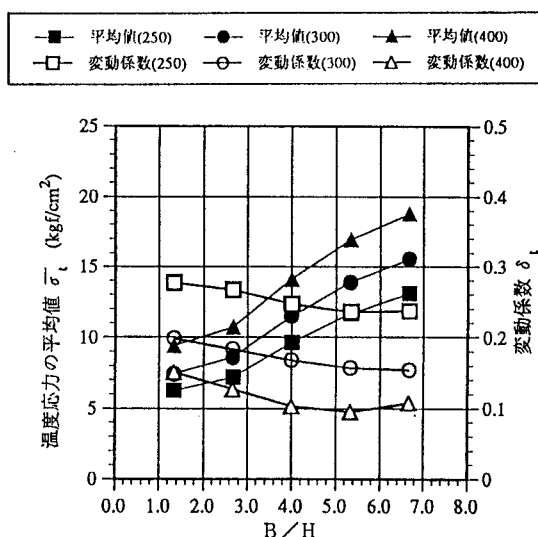


図-2.a 温度応力の平均値、変動係数 (60日, 中央部)

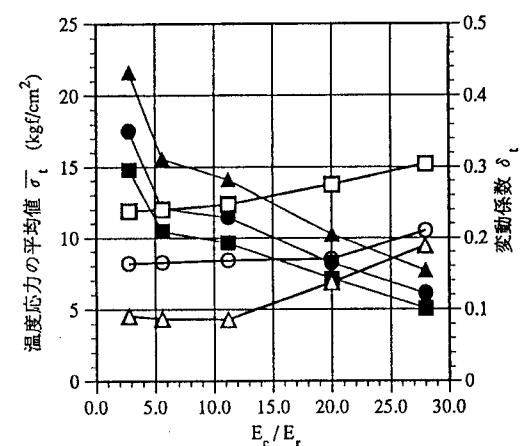


図-2.b 温度応力の平均値、変動係数 (60日, 中央部)

4. 信頼性理論に基づいたひびわれ発生確率

時間 t での温度ひびわれ発生の有無 $I_{\sigma}(t)$ は、温度応力 $\sigma_i(t)$ とコンクリートの引張強度 $f_i(t)$ の関係から式 (1) のように求められる。

$$I_{\sigma}^*(t) = f_i^*(t) / \sigma_i^*(t) < 1.0 \quad (1)$$

ここで、 $I_{\sigma}^*(t)$ が 1.0 以下の時にひびわれ発生を示す。ある時間 t のひびわれの発生確率 $P_{\sigma}(t)$ は式 (2) で求められる。

$$P_{\sigma}(t) = \int_0^{1.0} f_{\sigma}(I_{\sigma}(t)) dI_{\sigma} \quad (2)$$

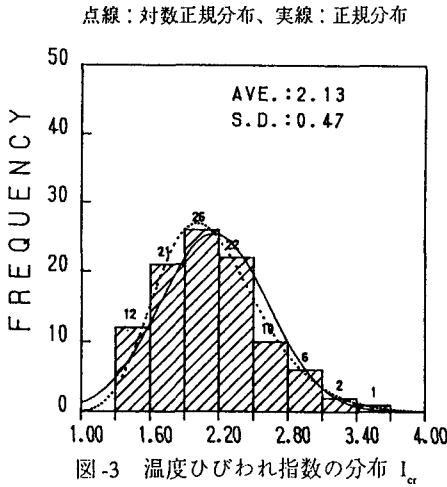


図-3に $I_{\sigma}^*(t)$ のヒストグラムを示す。同図には正規分布と対数正規分布の両方の分布も示す。図に見られるように対数正規分布によってより正確に近似できる。図-4に本解析から求められたひびわれ発生確率と温度ひびわれ指数の関係を示す方書に記されている温度ひびわれ指数と比較して示す。正規分布と仮定した計算は温度ひびわれ指数 1.5 で 6.6%、1.2 で 22.7% とほぼ同じ値をとっているが、実際は対数正規分布であり、ひびわれ発生確率は示方書より大きくなっている。

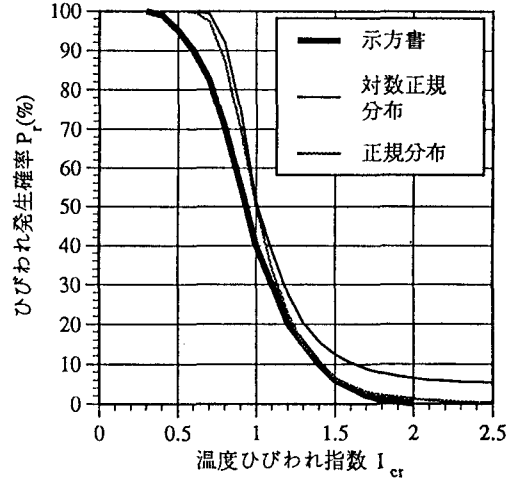


表-1 温度応力の因子のモデル

	分布式	平均値	変動関数	分布形状	備考
28日圧縮強度 $f_c(28)$	$f_c(28) = \bar{f}_c(28) (1 + e_{f_c(28)})$	$\bar{f}_c(28)$ 入力値	$e_{f_c(28)} = LN(0.0, 0.115)$	LN	普通ポルトランドセメント 水セメント比50(%)
91日圧縮強度 $f_c(91)$	$f_c(91) = \bar{f}_c(91) (1 + e_{f_c(91)})$	$\bar{f}_c(91) = 1.15 \times \bar{f}_c(28)$	$e_{f_c(91)} = R(0.0, 0.058)$	R	
材令 t 日の圧縮強度 $f_c(t)$	$f_c(t) = \bar{f}_c(t) (1 + e_{f_c(t)})$	$\bar{f}_c(t) = \frac{t}{a + b \cdot t} \bar{f}_c(91)$ t : 材令	$e_{f_c(t)} = LN(0.0, 0.115)$	LN	
引張強度 $f_t(t)$	$f_t(t) = \bar{f}_t(t) (1 + e_{f_t(t)})$	$\bar{f}_t(t) = 1.4 \sqrt{f_c(t)}$ t : 材令	$e_{f_t(t)} = N(0.0, 0.080)$	N	
ヤング係数 $E_c(t)$	$E_c(t) = \bar{E}_c(t) + e_{E_c(t)}$	$\bar{E}_c(t) = \psi(t) 1.5 \times 10^4 \sqrt{f_c(t)}$ t : 材令	$e_{E_c(t)} = N(0.0, 0.370 \times 10^{-3})$	N	—
ポアソン比 ν	—	0.171	$\nu = R(0.0, 0.080)$	R	1/7~1/5の範囲
終局断熱温度上昇量 Q_{∞}	$Q_{\infty} = \bar{Q}_{\infty} + e_{Q_{\infty}}$	$\bar{Q}_{\infty} = 0.1108 C + 8.86$ C : セメント量	$e_{Q_{\infty}} = N(0.0, 4.910)$	N	打込み温度 20(℃) $C=300(\text{kg/m}^3)$
温度上昇に関する係数 γ	$\gamma = \bar{\gamma} + e_{\gamma}$	$\bar{\gamma} = 0.00415 C - 0.271$ C : セメント量	$e_{\gamma} = N(0.0, 0.220)$	N	
熱伝達率 α	$\alpha = \bar{\alpha} + e_{\alpha}$	$\bar{\alpha} = 0.089 V + 4.01$ V : 風速	$e_{\alpha} = N(0.0, 1.210)$	N	風速5(m/s) 養生マット
熱伝導率 λ	$\lambda = \bar{\lambda} + e_{\lambda}$	$\bar{\lambda} = 2.066 - 0.00234 T$ T : 気温	$e_{\lambda} = N(0.0, 0.210)$	N	気温20(℃)
比熱 s	$s = \bar{s} (1 + e_s)$	$\bar{s} = \frac{725}{\rho}$ ρ : 密度	$e_s = N(0.0, 0.040)$	N	密度2.3(t/m ³)

分布形状・・・N：正規分布、LN：対数正規分布、R：矩形分布