

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、不確定性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、躯体厚さ、コンクリート及び岩盤のヤング率を計算の因子とし、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、ひびわれ発生確率を推定する一方法を示したものである。

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。計算の因子は床板幅 B 、コンクリート及び岩盤のヤング率 E_c 、 E_r 、躯体厚さ $H=1.5\text{ m}$ 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。

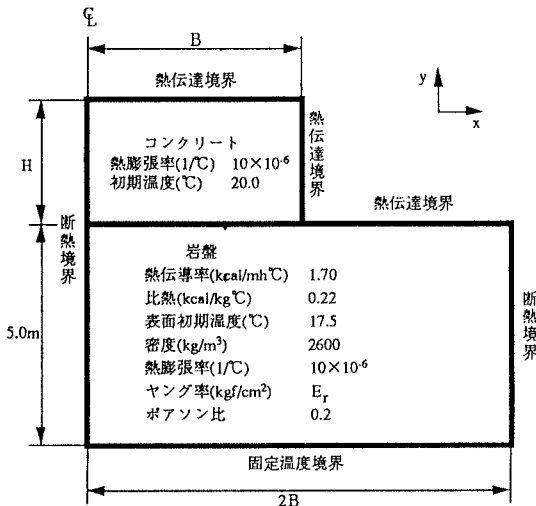


図-1 解析モデル

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標準偏差、変動係数の関係を示す。図に見られるように、温度応力の平均値は B/H が大きくなるにつれて増加、そのばらつきの指標である標準偏差も増加するが、変動係数は減少する。また温度応力の平均値及び標準偏差は E_c/E_r が大きくなるにつれ減少するが、変動係数は増加する。

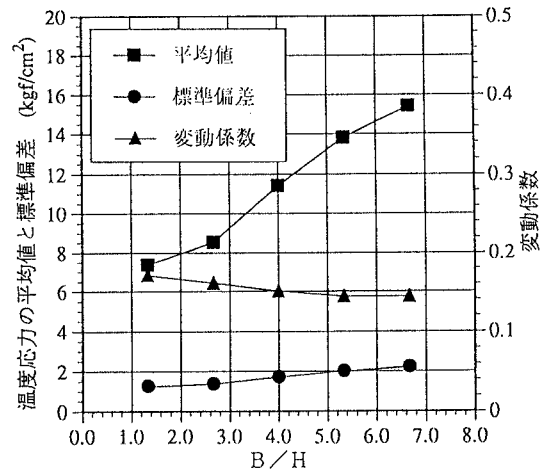


図-2.a 温度応力の平均値、標準偏差、変動係数（60日、中央部）

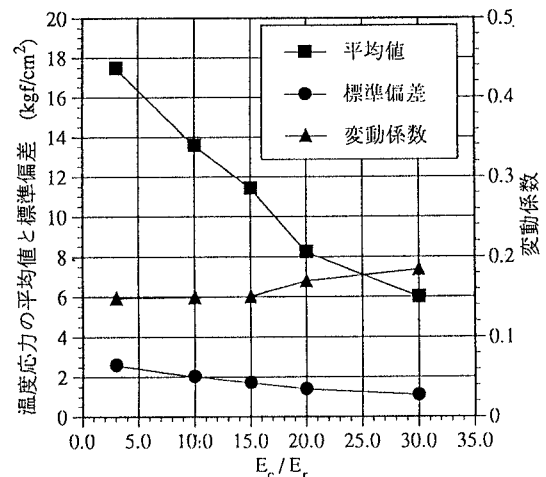


図-2.b 温度応力の平均値、標準偏差、変動係数（60日、中央部）

4. 安全性指標

安全性に関する性能関数 $I_{cr}(t)$ を温度応力 $\sigma_1(t)$ とコンクリートの引張強度 $f_t(t)$ の関係から(1)式で表す。

$$I_{cr}(t) = \frac{f_t(t)}{\sigma_1(t)} - 1.0 \quad (1)$$

従って、 $I_{cr}(t) < 0$ の時ひびわれ発生、 $I_{cr}(t) > 0$ の時にはひびわれが発生しないことを意味する。その発生確率の関係を図-3に示す。

さらに、安全性指標 β_{cr} は、(2)式で表せる。

$$\beta_{cr} = \frac{I_{cr}}{\sigma_1} \quad (2)$$

I_{cr} は性能関数の平均値、 σ_1 は $I_{cr}(t)$ の標準偏差であ

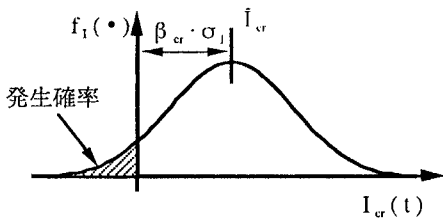


図-3 安全性の性能評価

る。図-4に E_c/E_r を横軸に、 B/H を縦軸に β_{cr} 値を 1.0~3.0 までの値を離散量で与えたコンタ図を示す。図に見られるように、 E_c/E_r が小さくなると β_{cr} の値が小さくなり、特に B/H が大きくなると顕著である。

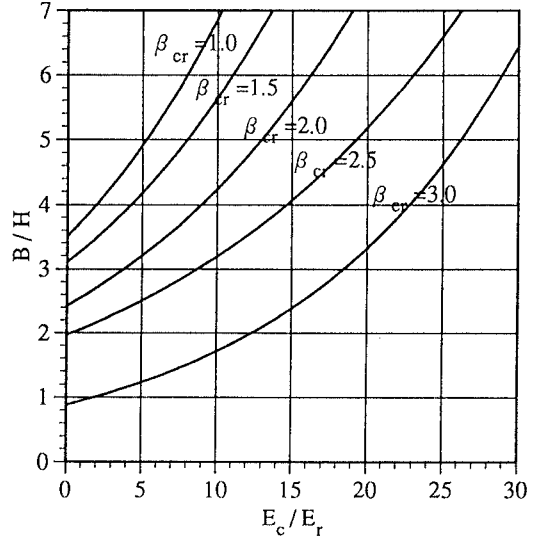


図-4 安全性指標

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
熱伝達率 α_A	$\alpha_A = \bar{\alpha}_A + e_{\alpha_A}$	$\bar{\alpha}_A = 0.089v + 4.01$ v : 風速	$e_{\alpha_A} = N(0.0, 1.210)$	N	風速5(m/s)程度 養生マット使用
熱伝導率 λ_c	$\lambda_c = \bar{\lambda}_c + e_{\lambda_c}$	$\bar{\lambda}_c = 2.10 - 0.00276T$ T : 気温	$e_{\lambda_c} = N(0.0, 0.210)$	N	気温20(℃)程度
終局断熱温度上昇量 Q_∞	$Q_\infty = \bar{Q}_\infty + e_{Q_\infty}$	$\bar{Q}_\infty = 0.111C + 8.95$ C : セメント量	$e_{Q_\infty} = N(0.0, 4.910)$	N	打込み温度20(℃) 単位セメント量 300(kg/m³)程度
温度上昇速度に関する定数 γ	$\gamma = \bar{\gamma} + e_\gamma$	$\bar{\gamma} = 0.0043C - 0.312$ C : セメント量	$e_\gamma = N(0.0, 0.220)$	N	
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2.3(t/m³)
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	$e_{f_{c(28)}} = LN(0.0, 0.115)$	L N	普通ポルトランドセメント
91日圧縮強度 $f_{c(91)}$	$f_{c(91)} = \bar{f}_{c(91)}(1 + e_{f_{c(91)}})$	$\bar{f}_{c(91)} = 1.15 \times \bar{f}_{c(28)}$	$e_{f_{c(91)}} = N(0.0, 0.115)$	N	普通ポルトランドセメント 水セメント比50(%)
材令 t 日の圧縮強度 $f_{c(t)}$	$f_{c(t)} = \bar{f}_{c(t)}(1 + e_{f_{c(t)}})$	$\bar{f}_{c(t)} = \frac{1}{4.5 + 0.95t} \bar{f}_{c(91)}$ t : 材令	$e_{f_{c(t)}} = N(0.0, 0.115)$	N	普通ポルトランドセメント 材令0~60日の範囲
ヤング率 $E_c(t)$	$E_c(t) = \bar{E}_c(t) + e_{E_c(t)}$	$\bar{E}_c(t) = 1.5 \times 10^4 \sqrt{f_{c(t)}}$ t : 材令	$e_{E_c(t)} = N(0.0, 0.370 \times 10^5)$	N	-
ポアソン比 ν	$\nu = R(0.0, 0.096)$	0.171	-	R	1/7~1/5の範囲
引張強度 $f_{t(t)}$	$f_{t(t)} = \bar{f}_{t(t)}(1 + e_{f_{t(t)}})$	$\bar{f}_{t(t)} = 1.4 \times \sqrt{f_{c(t)}}$ t : 材令	$e_{f_{t(t)}} = N(0.0, 0.080)$	N	普通ポルトランドセメント 材令0~60日の範囲

分布形状・・・N: 正規分布、L: 対数正規分布、R: 矩形分布