

清水建設(株) 正会員 小野 定

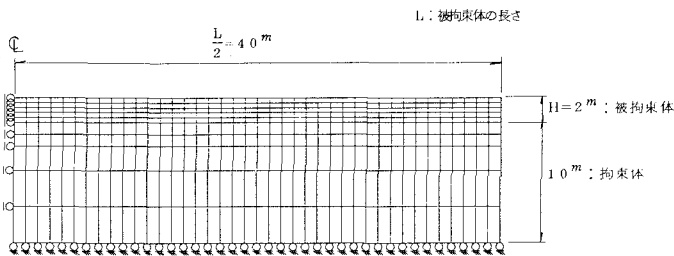
清水建設(株) 正会員 ○柳田泰仁

1. 目的

マスコンクリートの外部拘束による温度応力を簡易計算法により算定する場合、外部拘束度の評価が重要である。本報告は、FEMによるシミュレーションで外部拘束度について考察したものである。

2. FEMによる温度応力解析

FEM手法により温度応力解析を行った。解析は平面ひずみ状態における弾性解である。拘束体と被拘束体の長さが等しい場合(TYPE-A)と拘束体と被拘束体の長さが異なる場合(TYPE-B)を考慮した。

図-1 解析モデル図(TYPE-A, $L/H=40$)

(1) 解析モデルおよび境界条件

境界条件は拘束体の下辺で x , y 方向を固定, 中心断面で x 方向を固定した。例として, TYPE-A, Bで $L/H=40$ の場合の解析モデル図を図-1, 2に示す。

(2) 解析条件

温度応力を発生させる条件は, 被拘束体のみに 1°C の温度降下を与えた。

被拘束体の弾性係数 E_1 , 被拘束体および拘束体の線膨張係数 α_c, α_R はすべて1とした。また, 拘束体の弾性係数 E_2 は表-1中の E_1/E_2 の値を満足するように変化させた。ポアソン比は拘束体, 被拘束体ともに0である。

L/H および E_1/E_2 の組合せは表-1に示すようであり, 全解析ケース数は24である。

(3) 解析結果

被拘束体の中央鉛直断面の上面および下面の σ_x の比 $(\sigma_x)_u/(\sigma_x)_d$ と L/H の関係を図-3に示す。図から, $(\sigma_x)_u/(\sigma_x)_d$ は $L/H=10$ の時に $0.84 \sim 0.98$, $L/H=20$ ですべて1である。この結果から L/H が20程度以上になると, 拘束の影響はすべての位置で等しくなると考えられる。

また, 拘束体の中央鉛直断面における σ_x は拘束面から約5mぐらい下がった位置で $0 \sim 0.1$ となっており, この部分が拘束体の弾性変形による拘束緩和の影響範囲であると考えられる。

3. 外部拘束度算定図

外部拘束により発生する温度応力は次式で推定できると仮定する。 $(\sigma_i)_{\max} = RE_c \alpha_c \Delta T$ ① ここに, $(\sigma_i)_{\max}$: 最

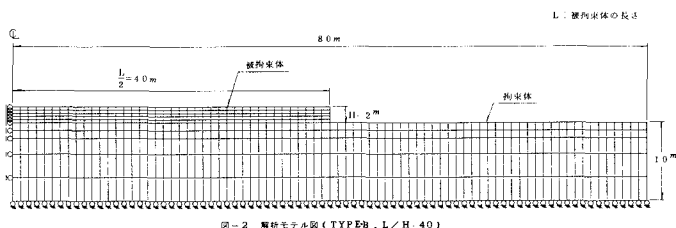
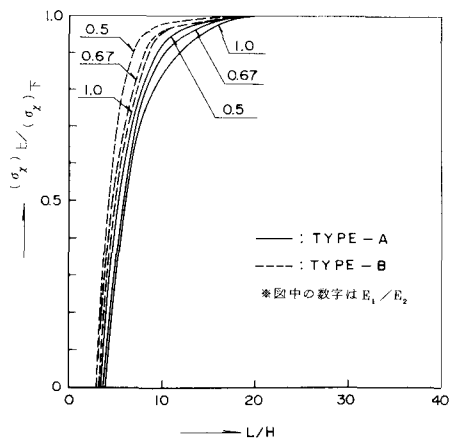
図-2 解析モデル図(TYPE-B, $L/H=40$)

表-1 解析因子

TYPE	A, B
L/H	3, 10, 20, 40
E_1/E_2	1.0, 0.67, 0.5

図-3 被拘束体の $(\sigma_x)_u/(\sigma_x)_d$ と L/H の関係

大主引張応力, R : 外部拘束度, E_c : コンクリートの弾性係数, α_c : コンクリートの線膨張係数, ΔT : 部材平均温度の変化量

①式において, $(\sigma_x)_{max} = \sigma_x$, $E_c = 1$, $\alpha_c = 1$, $\Delta T = 1$ とすれば, $\sigma_x = R$ となり, 先に求めた σ_x を用いて外部拘束度算定図を作成することができる。

図-4, 5 に TYPE-A, B それぞれの被拘束体下面における $\bar{R}_2$ ($= \frac{2}{L} \int_0^{\frac{L}{2}} \sigma_x(x, 0) dx$) の算定図を示す。

4. 既往の研究との比較検討

(1) 拘束体と被拘束体の長さが等しい場合 (TYPE-A)

図-6 に FEM で求めた中央断面の拘束面上の R , 拘束面上の $\bar{R}_2$ および森の式で与えられる R を示す。図から, 森の式は $L/H = 8$ の場合の $\bar{R}_2$ とほぼ一致していると思われる。また, L/H の変化に伴って外部拘束度もかなり変化していることから, 外部拘束度を評価する場合, L/H は重要な因子であると考えられる。

(2) 拘束体と被拘束体の長さが異なる場合 (TYPE-B)

図-7 に FEM で求めた R , $\bar{R}_1 (= \frac{1}{H} \int_0^H \sigma_x(0, y) dy)$, $\bar{R}_2$ と既往の研究の値を示す。図から, 中央断面の拘束面上の R は永山らの値とほぼ等しいか, 幾分大きめであると思われる。ACI の値 (中央断面の平均) は $\bar{R}_1$ と比較すると, L/H が小さい時には大きく, L/H が大きい時には小さいようである。その境目は L/H が約 5 ぐらいであると考えられる。Zanger & Bratz の値は $L/H = 10$ の場合の R , $\bar{R}_1$, $\bar{R}_2$ の平均的な値とほぼ同じであると考えられる。

以上, 既往の研究との比較検討を行った結果, 拘束体と被拘束体の長さが等しい場合, 森の式は L/H が 10 以下の範囲ではほぼ妥当な外部拘束度を与えるが, L/H が大きくなると外部拘束度を過小に評価する傾向が認められた。

また, 拘束体と被拘束体の長さが異なる場合には, 各算定法により数十パーセントの差が認められ, 傾向として L/H が大きくなると ACI の方法は外部拘束度を過小に評価している。

(参考文献)

- 1) 森忠次: 一辺が拘束された三角形ならびに四角形板の熱応力と拘束度について, 土木学会論文報告集第 89 号, 1963
- 2) 永山功, 外: コンクリートダム の温度応力解析について, 土木研究所資料第 1318 号, 1978
- 3) ACI 207 Committee: Effect of Restraint Volume Change and Reinforcement on Cracking of Massive Concrete, ACI, 1973

拘束体と被拘束体の長さが等しい場合 $\bar{R}_2 = \frac{2}{L} \int_0^{\frac{L}{2}} \sigma_x(x, 0) dx$

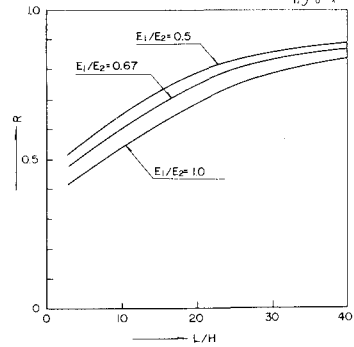


図-4 外部拘束度算定図

拘束体と被拘束体の長さが異なる場合 $\bar{R}_2 = \frac{2}{L} \int_0^{\frac{L}{2}} \sigma_x(x, 0) dx$

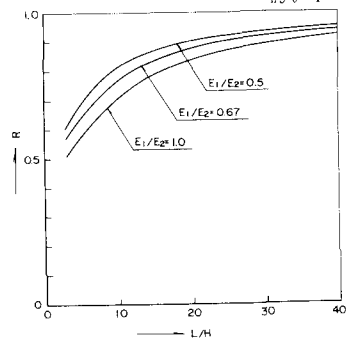


図-5 外部拘束度算定図

拘束体と被拘束体の長さが等しい場合

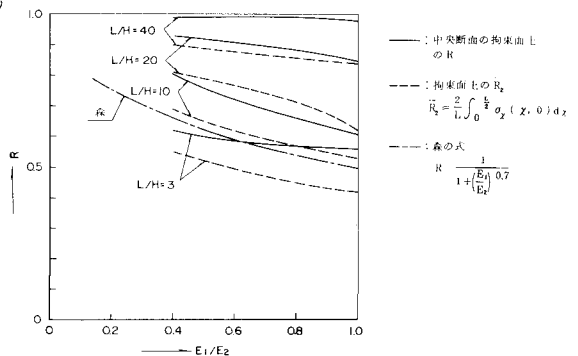


図-6 FEMと既往の研究の比較

拘束体と被拘束体の長さが異なる場合

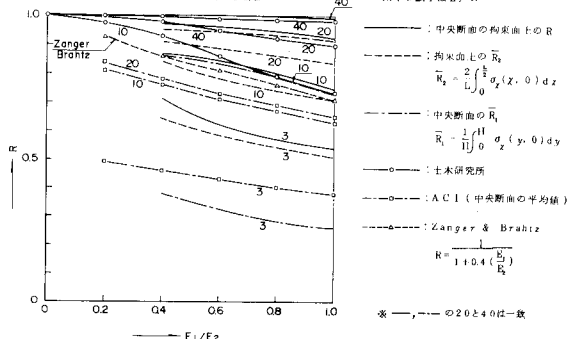


図-7 FEMと既往の研究の比較

図中の数字は L/H

* —, - - の 20 と 40 は一致