

V-418

マスコンクリートの温度応力問題に関する外部拘束作用

～地盤とのすべりを考慮したFEMシミュレーション～

川田建設 正会員 渡邊 佳
 トータル・インフォメーション・サービス 正会員 金刀 督純
 武蔵工業大学工学部 正会員 吉川 弘道

1. はじめに

温度応力によるひび割れは、コンクリート内の温度差のみから発生する内部拘束応力と、コンクリートの自由な熱変形が外部的に拘束されるために発生する外部拘束応力とによってもたらされる。このような温度応力の予測は実験によって求めるには多くの労力を要するため、有限要素法(FEM)などの数値解析手法を用いることが多い。その際コンクリートが受ける外部拘束作用をどのように考えるかが極めて重要となる。本研究は、FEM解析により求めた温度応力を内部拘束、外部拘束応力とに分離し、外部拘束作用の効果を明らかにするとともに、それに伴うひび割れを再現することを目的とする。

2. 温度応力解析の概要

(1)解析条件と解析モデル 図-1に示すような地盤上に打設された基礎コンクリートを用いて、材令100日までの二次元FEM温度解析および温度応力解析を行った。外気温、コンクリートの打込み温度はともに20℃で、地盤は表面温度が20℃、基部温度が15℃の線形分布とした。また、コンクリートの強度および弾性係数は材令に従い変化するものとした。

外部拘束応力算定のため解析モデルは、表-1のように地盤の弾性係数 E_r を変化させた3つの拘束パラメータを設定した。さらにBモデルは、地盤とのすべりを考慮するためのボンド要素を挿入し、その界面せん断応力-ひずみ関係において、図-2のように界面せん断破壊強度 f_s を変化させた3つのパラメータを設定して各々の応力解析を行った。

(2)外部拘束係数の定義 外部拘束は、軸方向拘束と曲げ方向拘束とに分けられ、それぞれ軸拘束係数 R_N 、曲げ拘束係数 R_M と定義される。応力解析で求めた各パラメータ毎のコンクリート中央断面の温度応力を用いて、まずAモデルの温度応力からCモデルの内部拘束による温度応力を差し引

いて完全外部拘束応力を求め、そのときの断面力 N_0 、 M_0 を算定する。同様の方法により3つのBモデルにおいても外部拘束応力および断面力 N 、 M を算定する。これらの断面力より外部拘束係数 R_N 、 R_M はそれぞれ次式によって定義される。

$$R_N = N/N_0 \quad \dots (1) \quad R_M = M/M_0 \quad \dots (2)$$

3. 外部拘束作用の効果

図-3に応力解析の結果から求めた $L/H=10$ 、 $f_s=\infty$ の場合の材令と外部拘束応力の関係を示す。曲げ方向拘束に比べ軸方向拘束による影響が極めて大きいことが読み取れる。 $L/H=10$ で $f_s=18\text{kgf/cm}^2$ 、 $f_s=15\text{kgf/cm}^2$ の場合も同様に軸方向拘束による影

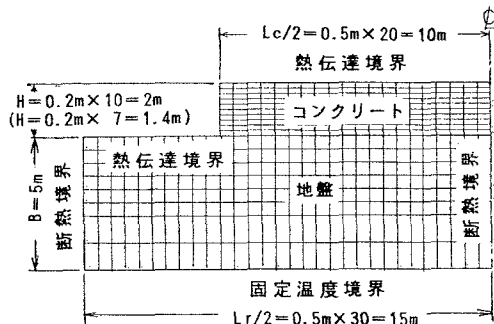


図-1 解析モデル

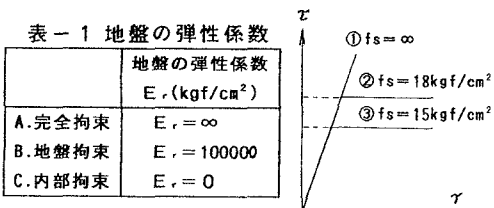


図-2 界面のせん断応力-ひずみ

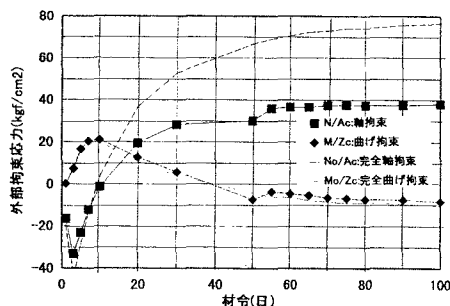


図-3 外部拘束応力と材令の関係

響が大きかった。図-4は $L/H=10$ の時の R_N と材令の関係を示したものであるが、図中の JCI¹⁾ による値は地盤とのすべりを考慮しない解析モデルの結果で $R_N=0.67$ である。初期材令で R_N の変動が見られるが、材令20日からほぼ一定で、 $f_s=\infty$ のとき $R_N=0.5$ 、 $f_s=18\text{kgf/cm}^2$ のとき $R_N=0.32$ 、 $f_s=15\text{kgf/cm}^2$ のとき $R_N=0.25$ 程度であった。

また L/H と R_N の関係を図-5に示し、図中には JCI による値を併記した。 L/H が大きくなるに従って R_N も増加することがわかる。また $L/H=14.3$ ($H=1.4$) の場合のほうが $L/H=10$ ($H=2$) の場合よりも f_s の違いによる R_N の変化が小さいこともいえる。

4. 温度応力によるひび割れ解析

(1) 温度ひび割れの再現 $L/H=10$ 、 $f_s=15\text{kgf/cm}^2$ の時のコンクリートのひび割れを図-6に示す。左上部のひび割れは温度上昇時の材令2日目で発生し、中央部のひび割れは材令40日目で発生しその後貫通した。温度解析の結果、コンクリートの中央断面の最高温度は材令3日で 65.69°C （相対温度上昇量 45.69°C ）であり、材令40日ごろには打込み温度の 20°C 近くに落ち着いていた。また前述のように外部拘束応力が材令後半に増加していることなどから、中央部の貫通ひび割れは外部拘束効果により発生したものと考えられる。

(2) 温度ひび割れ指数とひび割れ幅 まず、ひび割れ発生 の安全度を次式のひび割れ指数 I_{cr} により表すことができる。 $I_{cr} = ft(t)/\sigma_x \dots (3)$

ここで、 $ft(t)$ ：引張強度 (kgf/cm^2)， σ_x ：FEM による（ひび割れを考慮しない）引張応力 (kgf/cm^2)

次に、 W_{cr} =ひび割れひずみ×要素幅により、ひび割れ幅 W_{cr} を求めた。図-7に解析結果より求めた各材令における温度ひび割れ指数およびひび割れ幅の関係を示す。 $I_{cr}=1.0$ となった材令20日ごろひび割れが発生し、材令の進行とともにひび割れ幅も緩やかに拡大している。

4. まとめ

本研究結果より、温度応力によってコンクリートが受ける外部拘束効果は曲げ方向拘束より軸方向拘束による影響が極めて高いこと、またコンクリート温度が降下し落ち着いた材令40日ごろに発生した貫通ひび割れは外部拘束効果による影響が大きいことなどが明らかとなった。さらにその外部拘束効果は、界面のせん断破壊強度の違いにかなり左右され、その影響が軸方向拘束の程度につながるといえる。また論文で同定した R_N は地盤とのすべりを考慮したため JCI による値より小さい値となった。

参考文献 1) マスコンクリートの温度応力研究委員会報告書、日本コンクリート工学協会、p71～p79、1985. 11

2) マスコンクリート技術の現状と動向、コンクリート技術シリーズ No. 8、1994

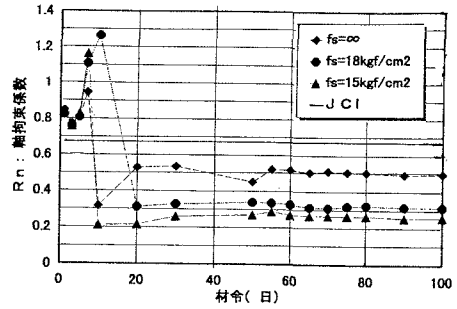


図-4 軸拘束係数 R_N と材令の関係

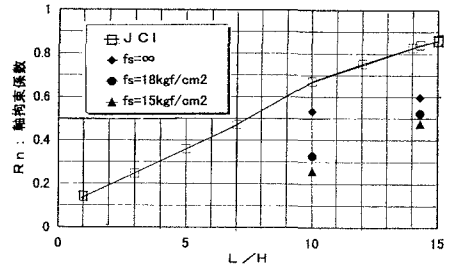


図-5 軸拘束係数 R_N と L/H の関係

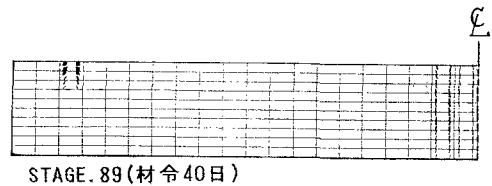


図-6 コンクリートのひび割れ

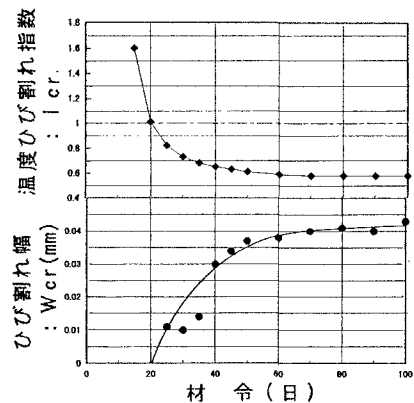


図-7 温度ひび割れ指数とひび割れ幅