

V-367

FEMによる3次元温度・応力・ひび割れ解析

～マスコンクリートの実大実験とその解析～

トータル インフォメーション サービス 正会員 船山 哲^{†1}
 トータル インフォメーション サービス 正会員 金刀督純^{†1}
 東京電力 技術研究所 正会員 増田和機
 武蔵工業大学 正会員 吉川弘道

1. はじめに

マスコンクリートの温度ひび割れは構造物の機能性および耐久性を低下させる要因となるため、ひび割れ対策を実施しなければならない。この様な温度応力問題には2次元FEM解析^{1) 2)}が用いられてきたが、実構造物では温度分布、ひび割れが3次的に分布するため、より詳細な検討を行う場合には3次元解析が有効である。

本研究ではマスコンクリートの実大実験を行い、3次元FEM解析結果と実験結果との比較検討を行った。

2. 概要

実験概要：図1に示すようにレキ地盤上にベースコンクリートを打設後、一辺2m、長さ10mの直方体の普通ポルトランドセメントを用いた無筋コンクリート試験体を打設した(図1)。これに、埋設ひずみ計、温度計等の測定機器を埋め込み、コンクリートの水和発熱による温度、ひずみ量の経時変化を測定した。測定器の位置は事前解析にて決定し、測定期間は打設後45日間とした。施工状況は3日目に型枠撤去を行い、ひび割れ発生を促進させる目的で8日目から散水を行っている。表1に強度試験結果を示し、表2脚注に断熱温度上昇試験結果の近似式を示す。

解析概要：図2に示すように、地盤、ベースコンクリート、試験体コンクリートをモデル化し、構造の対称性を考慮して4分の1を解析対象領域とした。温度解析においてコンクリート部、地盤部は3次元立体要素としてモデル化し、熱伝達境界は3次元表面境界要素を用いた。応力解析においてはコンクリート部、地盤部を8節点アイソパラメトリック立体要素としてモデル化を行った³⁾。熱的特性に関しては既往の研究結果より表2に示す値を用いた。力学特性は若材齢時より試験し示方書⁴⁾による近似式により回帰した(表3)。

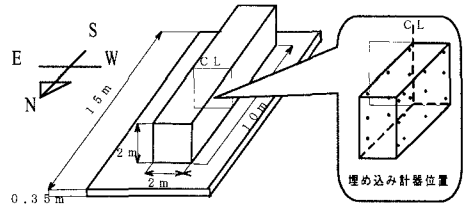


図1 試験体の配置と計測位置

表1 コンクリートの配合と強度試験結果

スラブ (cm)	空気量 (%)	W/c (%)	S/a (%)	単位量 (kgf/cm ³)	W	C	S	G
16.0	4.2	50.3	47.8	176	350	834	934	

	材令3日	5日	7日	14日
圧縮強度 (N/mm ²)	4.40	18.70	20.20	26.90
弾性係数 (×10 ⁴ N/mm ²)	1.52	1.75	1.83	2.00
引張強度 (N/mm ²)	1.15	1.74	1.91	2.34

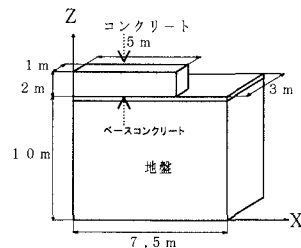


図2 対象構造の3次元モデル化

表2 熱特性値 (部は仮定値)

種類	初期温度 ℃	熱伝導率 kcal/mh℃	熱伝達率 kcal/mh℃	密度 kg/m ³	比熱 kcal/kg℃
試験体	30	2.2	材令依存	2279	0.32
ベース	30	2.2	材令依存	2279	0.32
地盤	線形補間*	1.5	10	1700	0.35

※：材令1～8日(1.2)、材令8～30日(1.4)、材令30～45(1.2)
 *：上面外気温の平均温度30℃～最下面地下水温度10℃の間を線形補間
 断熱温度上昇式： $Q(t) = 54.96(1 - \exp(-1.42t^{0.6}))$ ここで t :材令(日)
 上記曲線を0.15日で5℃までシフトして実験を近似。
 外気温：熱電対の実測値を用いた。

表3 力学特性値 (部は仮定値)

種類	圧縮強度 N/mm ²	引張強度 N/mm ²	弾性係数 ×10 ⁴ N/mm ²	ポアソン比	線膨張率 ×10 ⁻⁵ /℃
試験体	材令依存	材令依存	材令依存	0.167	1.0
ベース	—	2.80	—	0.167	1.0
地盤	—	—	0.50	0.200	1.0

※：試験体コンクリートの示方書式近似定数を以下に示す。
 $a:0.0155, b:0.0035, c:1.6, 91日圧縮強度:27.2N/mm^2$

キーワード：マスコンクリート、実大実験、3次元FEM解析、温度ひび割れ

※1連絡先：〒150-0021 渋谷区恵比寿西1-7-7 EBSビル4F

TEL：03-3476-7181

FAX：03-3476-7183

3. 実験および解析の考察

温度履歴：試験体中心線（図中CL線上）上部、中央部、下部の温度実測値と解析値を比較し、図3に示した。中央部では実測値が材齢40時間でピーク温度76.8℃（温度上昇46.8℃）となり、解析値が材齢48時間でピーク温度77.3℃（温度上昇47.3℃）となった。解析結果は、解析値と実測値の経時変化はほぼ同様に推移しており、良好な結果が得られた。

温度ひび割れ発生状況：図4に実測ひび割れを示す。ひび割れは表面のみ計測を行っている。また、これらのひび割れは6日目と21日目に観察した時に発生していたものである。ひび割れ解析結果を図5に示す。中央断面のひび割れは材齢14日目に発生した。ひび割れ本数の違いはあるが、解析結果は実験ととも同様なひび割れがみられ、妥当な解析結果といえる。

ひび割れ幅：温度ひび割れが最も顕著に見られた試験体中央部を貫通したひび割れに関して検討を行った。解析のひび割れ幅(W_{cr})は内部と露出面の2点を対象に式(1)を用いて算定を行った(図6)。

$$W_{cr} = l_c (\varepsilon_x - \varepsilon_{cr}) \dots\dots\dots (1)$$

l_c : X軸方向の要素長さ(mm)

ε_x : X軸方向の要素重心成分ひずみ

ε_{cr} : ひび割れ発生時の要素重心成分ひずみ

ひび割れ幅は試験体内部で約0.35mm、外部で約0.14mmの結果となった。これは、外部拘束応力に加えて、内部拘束成分の効果が内部では加算、外部では減算され、乖離したものと思われる。また、図中には示方書に示される最大ひび割れ幅を併記したが、これによると、無筋コンクリートであるにもかかわらずひび割れ幅はかなり小さい値に留まった。

4. まとめ

本研究では実大実験を行い、3次元FEM解析の有効性を検討し以下の結論を得た。

- ・ 散水等の環境条件による試験体の温度変化も、本手法では追跡できた。
- ・ ひび割れ状況の観測結果は限られるが、発生パターン、開口幅等、大略推定可能であると言える。
- ・ 本研究で対象とした広幅構造物の場合、外部拘束ひび割れでも内外で大きな差が認められた。

〈参考文献〉

- 1) マット基礎の温度ひび割れ指数の算定 (株) TOTAL INFORMATION SERVICE 社内報
- 2) 会田八重・吉川弘道・金刀督純：マスコンクリートのFEMシミュレーションとひび割れ発生確率，第52回土木学会年次講演会，pp. 284-285, 1997. 9.
- 3) 材料非線形汎用コードTOTAL-RC（理論マニュアル）（株）TOTAL INFORMATION SERVICE
- 4) コンクリート標準示方書（施工編）平成8年度版（社）土木学会

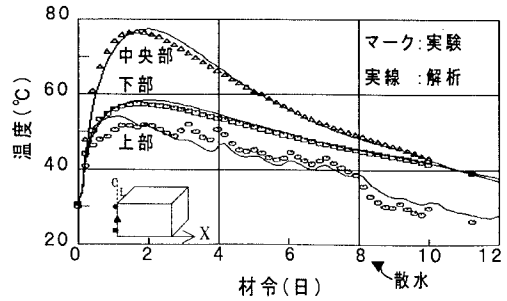


図3 実測と解析の温度履歴比較図

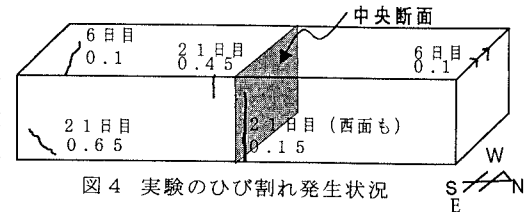


図4 実験のひび割れ発生状況

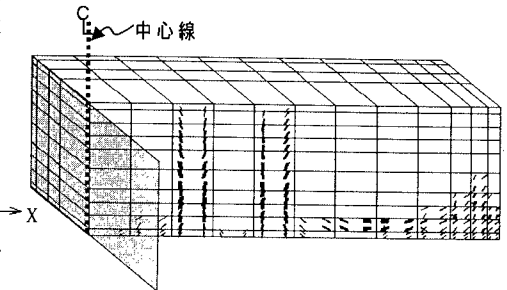


図5 ひび割れ解析結果（材齢21日）

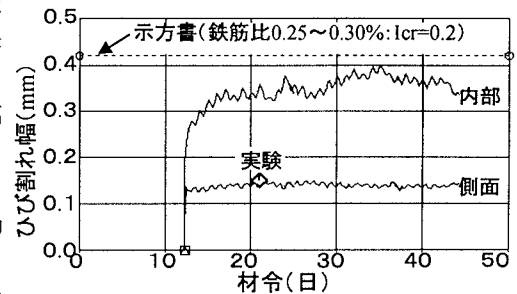


図6 構造中央のひび割れ幅