

## 簡易温度応力評価法に関する基礎的検討

法政大学大学院 学生会員 ○小俣 貴洋

法政大学 フェロー会員 満木 泰郎

法政大学 正会員 溝渕 利明

## 1. はじめに

セメントの水和熱に起因する温度応力によって生じる温度ひび割れは、構造物の構造形式、境界条件、材料、配合、施工、気象条件等の影響を受ける。温度ひび割れ発生の可能性を事前に検討する場合には、セメントの水和発熱特性やコンクリートの熱特性、力学特性、外気温などの温度応力解析に必要な値を入力し、解析を行う。しかしながら、入力条件の設定や解析モデルの選定、要素分割など煩雑な手順を踏む必要があり、解析業務に経験豊富な技術者でないと効率的かつ的確に検討業務を行うことが難しいのが現状である。このような事前解析において、詳細な解析を行う前に概略の評価を与えることができれば、検討業務の効率化だけでなく解析業務に対して経験の浅い技術者に対しても、ひび割れ発生の可能性の評価を比較的簡便に行っていくことが可能となる。

本検討では、温度ひび割れ発生の可能性を簡便に評価できるシステムの構築を目的として、温度ひび割れ発生に大きな影響を与える要因とひび割れ指数(ある材齢での引張強度( $\text{N/mm}^2$ )と対象部位での最大引張応力( $\text{N/mm}^2$ )との比)との関係を求めて、簡便な評価法を提案するものである。本報文では、温度ひび割れ発生に大きな影響を与える要因のうち、コンクリート配合、打込み温度、打込み後の温度変化に影響を与える外気温の変化に着目した簡便なひび割れ評価法の検討を行った結果についてとりまとめたものである。

## 2. 検討方法

## 2.1 コンクリート配合の実態調査

本検討では、温度ひび割れ発生に大きな影響を与える要因の一つであるコンクリート配合について、実情に沿ったデータを収集することを目的として、東海地方のレディーミクストコンクリート工場約 360 工場に同一配合条件を提示して、配合報告書の提供を依頼し、100 近い工場から回答を得た。

## 2.2 解析方法

コンクリートの配合調査結果と配合報告書の提供のあった工場近郊で同一条件のコンクリート構造物を施工した場合を想定して、工場所在地近くのアメダスデータを用いて、会社別の外気温・打込み温度を算出した。本検討で解析対象としたのは、前述した配合報告書の提供があった 92 のレディーミクストコンクリート工場とし、その近郊を建設場所と想定した。解析対象とした構造物は、壁状構造物、スラブ状構造物および柱状構造物である。各構造物の形状・寸法や解析条件は、日本コンクリート工学協会“マスコンクリートのひび割れ制御に関する研究委員会”報告書に従った。本報文では、柱状構造物についてのみ記載する。解析モデルを図-1に示す。解析は、温度・応力とも 3 次元有限要素法を用いて行い、解析パラメータとしては、打込み時期(2 月、5 月、8 月、11 月)とした。

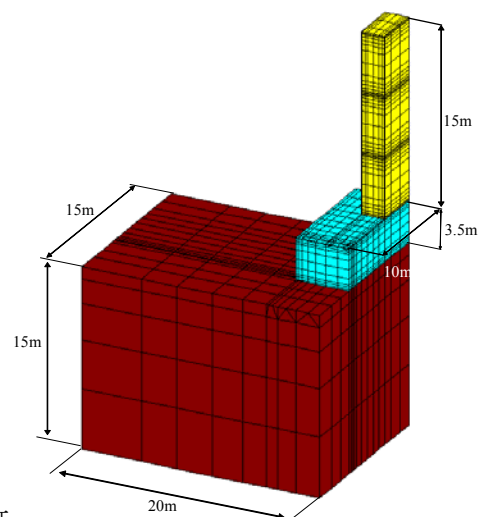


図-1 解析モデル（柱状構造物）

## 2.3 温度ひび割れ簡易評価法

得られた解析結果を基に、単位セメント量、打込み温度、水セメント比、リフト高さ、外気温変化の解析条件を説明変数として重回帰分析を行い、解析を実施しなくてもひび割れ指数を推定するための評価式の算定を行った。

キーワード：温度応力、地域特性、環境条件、簡易評価法、マスコンクリート

連絡先：〒184-8584 東京都小金井市梶野町 3-7-2 Tel 042-387-6286

### 3. 解析結果

部材中央部の温度は、コンクリート打込み後 1 ヶ月以内で外気温とほぼ同様の温度となり、最小ひび割れ指数に達する時期もほぼ同様の時期となることから、本検討ではコンクリート打込み後 1 ヶ月までの最小ひび割れ指数と最小ひび割れ指数に達した時点での発生応力を最大引張応力として評価することとした。解析結果の評価位置は、各リフトの中央断面内の中央部とした。

柱状構造物の最大引張応力および最小ひび割れ指数を目的変数とし、単位セメント量、打込み温度、水セメント比、外気温変化を説明変数として重回帰分析を行った。ここで、外気温変化とは、打込み時の外気温と打込み後 1 ヶ月での外気温との差異である。最大引張応力に対する重回帰式を以下に示すとともに、重回帰分析結果と解析結果との関係を図-2 に示す。重相関係数は 0.83 であり比較的高い相関関係となった。

$$\sigma_t = 0.0081C - 0.00646W/C + 0.0192T_c + 0.0440\Delta T - 0.0502L - 0.363$$

ここで、 $\sigma_t$ : 最大引張応力(N/mm<sup>2</sup>)、W/C: 水セメント比(%),  $T_c$ : 打込み温度(°C),  $\Delta T$ : 外気温変化(°C), L: リフト高さ(m)である。図-2 から、解析値と重回帰式による推定値はほぼ比例関係にあり、構造物の形状やセメントの種別は限定されるが、単位セメント量や打込み温度、外気温、リフト高さの変化に対して温度応力解析を実施しなくても最大引張応力を比較的高い精度で推定することが可能と考えられる。

次に、最小ひび割れ指数に対する重回帰式を以下に示すとともに、重回帰分析結果と解析結果との関係を図-3 に示す。重相関係数は 0.77 であり若干低い相関関係となった。

$$I_r = -0.0111C - 0.000263W/C - 0.0251T_c - 0.0844\Delta T - 0.763L - 5.03$$

ここで、 $I_r$ : 最小ひび割れ指数である。解析値と推定値は一致している部分も多いが、乖離している部分も多い。上記の推定式に関して、影響を与えている要因については現時点では不明であり、今後検討していく必要がある。

### 4. まとめ

本検討では、東海地方における環境条件や配合条件を基に実施した温度応力解析結果により、各条件と最大引張応力や最小ひび割れ指数の関係について簡易評価式の算定を行った。説明変数としては、配合条件、環境条件、外気温変化、リフト高さなどの物性値を用いて算定を行った。外気温変化やリフト高さを説明変数に加えることによって、より精度の高い評価式を作成することができた。しかし、温度ひび割れに関わる要因は非常に多くあることから、今回の推定式は極限られた条件の基で適用が可能なものである。今後は、今回検討していない構造物の形状や養生条件、使用骨材の影響、自己収縮ひずみ、打ち継間隔など、温度ひび割れに影響を与えるといわれている要因についても検討を行う必要があると考えている。今後、さらにデータの蓄積を行うことによって、適用範囲が広く、精度の高い簡易評価式を作成することが可能になると思われる。

#### <参考文献>

- 1) 気象業務支援センター：気象データベース・アメダス(CD-ROM), ウェザートーイ, 2005
- 2) 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートのひび割れ制御に関する研究委員会 報告書, 2006.06
- 3) 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008, 2008.11

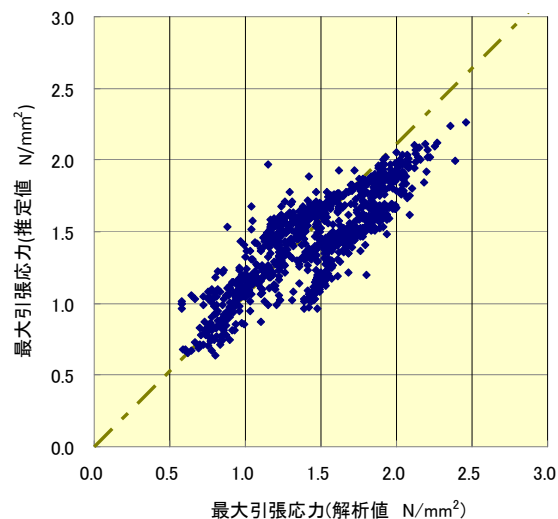


図-2 最大引張応力の比較

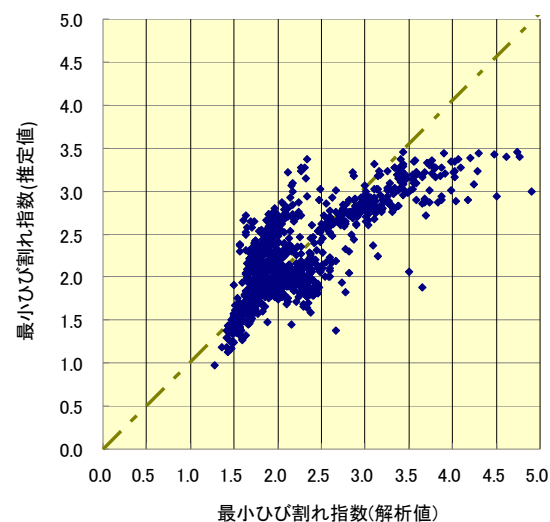


図-3 最小ひび割れ指数の比較