

温度ひび割れ指数の簡易評価式の検討

住友大阪セメント（株） 正会員 ○鈴木 康範 齋藤 尚
法政大学 正会員 橘 夏海 溝淵 利明

1. はじめに

構造計画などの実務段階においては、マスコンクリートの温度応力解析を実施することなく環境条件や構造物形状、熱物性値や力学物性値を説明変数として温度ひび割れ指数を推定することは大変有用であり、そのため簡易評価式が JCI などから提案されている。本論文は、壁状構造物の簡易評価式の要因を変化させた 3 次元モデルを用いた有限要素法の解析結果に基づき、簡易評価式の精度を検証するとともに、精度向上のための検討結果を報告するものである。

2. 検討の概要

本論文では、JCI のマスコンクリートのひび割れ制御指針 2008¹⁾（以下、JCI 指針 2008）に掲載されている壁状構造物についての温度ひび割れ指数の簡易評価式（以下、JCI 簡易式）を検討対象とした。JCI 簡易式は約 210 の壁状構造物の貫通ひび割れを対象に、3 次元モデルを用いた有限要素法（以下、3 次元 FEM）解析結果から、できるだけ入力すべき条件を絞込んだ上で、その 3 次元 FEM 解析結果と同等となるように定められたものである。ただし、JCI 簡易式の各要因の適用範囲が限定されているので、各説明変数の影響度を評価してはならないとも記載されている。しかしながら、実務上各説明変数の影響度を求めたい場合もあり、それに対応できる簡易式である方がより好ましい。そこで、3 次元 FEM による壁状構造物の温度応力解析を行い、温度ひび割れ指数を算定し、JCI 簡易式の精度について検討した。この 3 次元 FEM では、壁の厚さを 1.0, 1.5, 2.5m、壁の長さ 10, 20, 40m、セメントの種類を普通セメント、高炉セメント B 種、中庸熱セメント、低熱セメントの 4 種類、単位セメント量を 280, 320, 360, 400kg/m³、および施工時期を冬期、秋期、夏期に系統立てて変化させた。また、施工場所、地盤の剛性、型枠の熱伝導率と型枠取外しまでの期間を変えたケースも加えており、合計 214 ケースを解析した。3 次元 FEM に用いた材料の設計用値および解析手法は JCI 指針 2008 に準拠した。

3. 簡易評価式の適用性

JCI 簡易式および 3 次元 FEM による温度ひび割れ指数の関係を図-1 に示す。JCI 簡易式による温度ひび割れ指数の推定精度は劣っているが、これは 3 次元 FEM において各要因を系統立てて変化させており、JCI 簡易式の元となった解析結果が少ない部分も含まれているためと推察される。

次に、全データを対象とせず解析条件のうち幾つかの要因を固定した上で説明変数が温度ひび割れ指数に及ぼす影響を求め、簡易評価式に用いる説明変数の選定が妥当であるかを検討した。ここでは説明関数のうち代表的なものとして、終局断熱温度上昇量、打込み温度、壁の長さ高さ比、壁のヤング係数と拘束体である地盤のヤング係数の比が温度ひび割れ指数に及ぼす影響を、図-2～図-5 に示す。これら

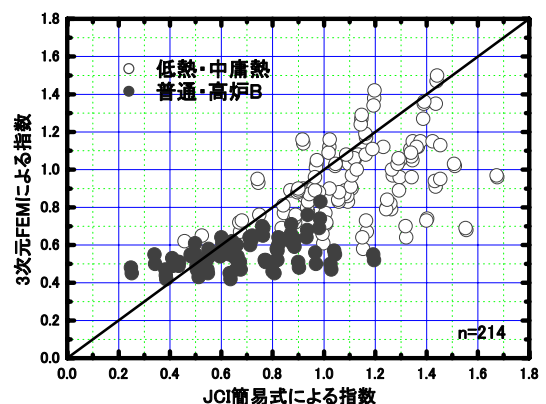


図-1 温度ひび割れ指数の推定値と解析値の比較

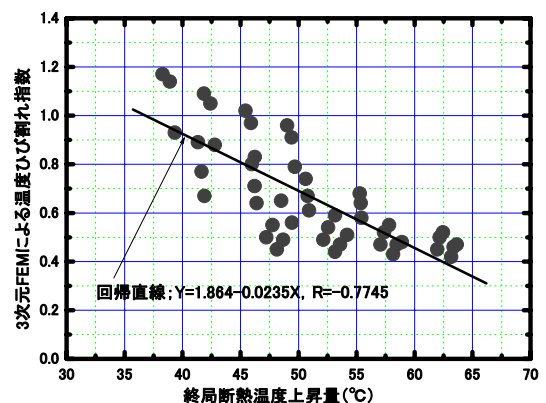


図-2 終局断熱温度上昇量と温度ひび割れ指数の関係 (L/H=10.0の場合)

キーワード マスコンクリート、温度ひび割れ指数、JCI 簡易式、3 次有限要素法

連絡先 〒274-8601 千葉県船橋市豊富町 585 番地 住友大阪セメント株式会社 TEL 047-457-3975

の図より, JCI 簡易式の説明関数は温度ひび割れ指数を有る程度単回帰できる上に, 従来から云われている説明関数が温度ひび割れ指数に及ぼす影響とも合致するものであり, 簡易式に用いる説明変数として妥当であることを確認できた. 従って, JCI 簡易式の精度を向上させるには, 説明関数をそのままとして3次元 FEM による温度ひび割れ指数を重回帰して, 係数を修正するのが妥当と思われる. JCI 指針 2008 における材料の設計用値において, 高炉セメント B 種の熱膨張係数を既往の測定結果に基づき他のポルトランドセメントの一般的な 10×10^{-6} より大きな 12×10^{-6} を標準としている. そこで, 説明関数に熱膨張係数を追加し, 今回の3次元 FEM 解析結果を重回帰し, 式 (1) を得て, その重回帰係数を用いて温度ひび割れ指数の推定を試みた. その結果は図-6 に示すとおりであり, 比較的良好な推定精度が得られている. したがって, 簡易式としては式 (1) に基づき推定値が全体に 0.15 小さくなるような補正を行った上で, 用いるのが適切と思われる.

$$I_{cr} = -0.0143T_a - 0.000727D - 0.0403Q_{\infty} + 0.236\alpha^{\beta} + 0.0594\log_{10}(H_R) + 0.279f_t - 0.299\log_{10}(L/H) + 0.125\log_{10}(E_c/E_R) + 0.0794Coef_{th} + 0.885 \quad (1)$$

ここで, T_a : 打込み温度($^{\circ}\text{C}$), D : 壁の厚さ(m), Q_{∞} : 終局断熱温度上昇量($^{\circ}\text{C}$), α^{β} : 上昇速度に関する定数, H_R : 放熱効果を表す値, f_t : 割裂引張強度(N/mm^2), L/H : 壁の長さ高さ比, E_c/E_R : コンクリートと地盤のヤング係数比, $Coef_{th}$: コンクリートの熱膨張係数($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)

4. まとめ

マスコンクリートの温度ひび割れ指数を推定する簡易式としては, JCI 指針 2008 が提案している重回帰式が適当であることを確認した. しかし, 重回帰係数は今回の3次元 FEM 解析による温度ひび割れ指数に基づき修正するのがより適切と思われる. なお, 今回の3次元 FEM 解析においても必ずしも全ての説明変数について満遍なく変化させていないので, その領域を含む3次元 FEM 解析結果の蓄積が簡易式の推定精度の向上には必要である.

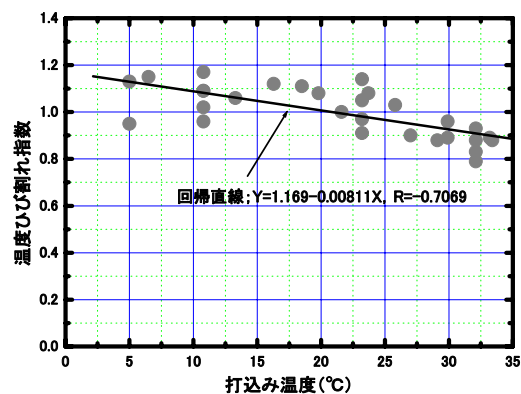


図-3 打込み温度と温度ひび割れ指数の関係 ($L/H=10$, 低熱セメントの場合)

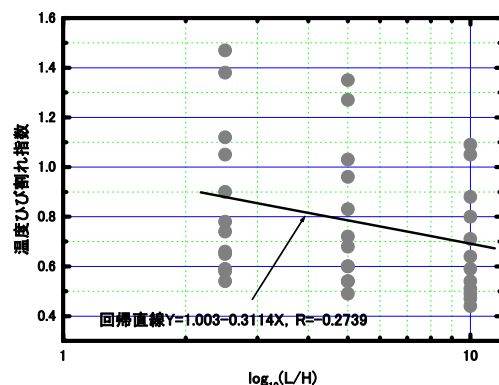


図-4 壁の長さ高さ比と温度ひび割れ指数の関係

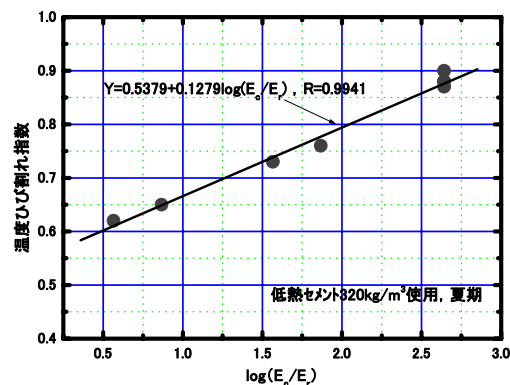


図-5 地盤剛性が温度ひび割れ指数に及ぼす影響

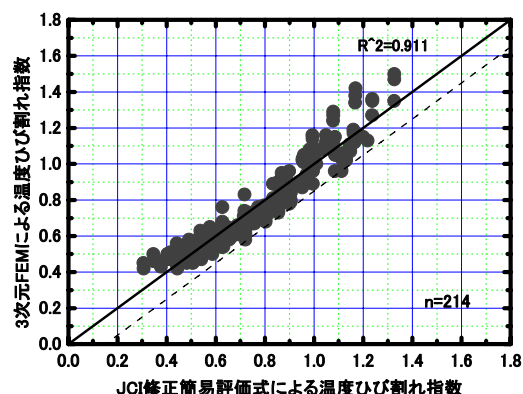


図-6 JCI修正簡易式の指数推定値と3次元FEM解析値の比較

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会: マスコンクリートの温度ひび割れ制御指針 2008, 2008