

格子等価連続体モデル LECOM を使用した鉄筋拘束試験体の解析

オリエンタル白石(株)	正会員	○原 健悟
オリエンタル白石(株)	正会員	齋藤 幸治
名城大学	正会員	石川 靖晃
中部大学	正会員	伊藤 睦

1. 目的

近年、収縮に起因したひび割れに対する意識が高まり、収縮予測式の改定や収縮を低減する様々な取り組みがなされている。本報告は、実構造物において収縮に起因するひび割れが発生するか否かを検討する前段として、コンクリートの乾燥による自由収縮ひずみおよび鉄筋拘束試験体の実測値と解析値を比較検討したものである。解析は、簡便で収斂性の良い構成則である格子等価連続体モデル；Lattice Equivalent Continuum Model（以下、LECOM とする）¹⁾を使用し、温度との連成を考慮したコンクリートの湿気移動解析および初期応力を考慮した鉄筋拘束試験体のひび割れ挙動を解析することを目的とした。

2. 解析手法の概要

研究で使用した本解析ソフトは FEM 温度解析、FEM 湿気移動解析、FEM 応力解析コードの3つで構成されている。解析全体のイメージを図-1 に示す。各コードのいずれの解析においても、コンクリート打ち込み、プレストレス導入、型枠、支保工の設置、取り外し、再設置などを適切に数値モデル化できる。

手順としては、これらを考慮した境界条件とし、非定常熱伝導方程式理論に基づいた FEM 温度解析を行い、全節点の温度履歴を算出する。次に温度履歴を入力データとして FEM 湿気移動解析を実施し、全節点の相対湿度履歴を計算する。湿気移動解析は森本ら²⁾によって構築された湿気移動解析理論によるものである。

その後、初期応力として温度および相対湿度履歴や既知外力・変位履歴を基に FEM 応力解析を実施し、変位、ひずみ、応力などを計算する。応力解析は、従来、初期応力解析と完全に独立していたが、本解析では、初期応力解析と耐荷力解析を連成させている。

3. 乾燥収縮ひずみ成分のモデル化

乾燥収縮を考慮した解析手法は基本的に2つに大別される。ひとつは、簡易的に乾燥収縮ひずみを部材に一律に与える方法である。もうひとつは、水分移動に関する拡散方程式を解くことにより部材内部の水分量分布を推定し、その情報を基に乾燥収縮ひずみを求める方法である。この方法を用いた場合、乾燥収縮による内部拘束の効果が考慮されるが、若材齢時からひび割れが生じる解析解をとる傾向となっていた。その理由は、硬化時コンクリートの乾燥収縮ひずみ評価式を若材齢コンクリートにそのまま適用していたためである。

表面張力説によれば、乾燥収縮は空隙間水に生じるメニスカスの量に大きく依存し、メニスカスの量は、比表面積に大きく依存する。

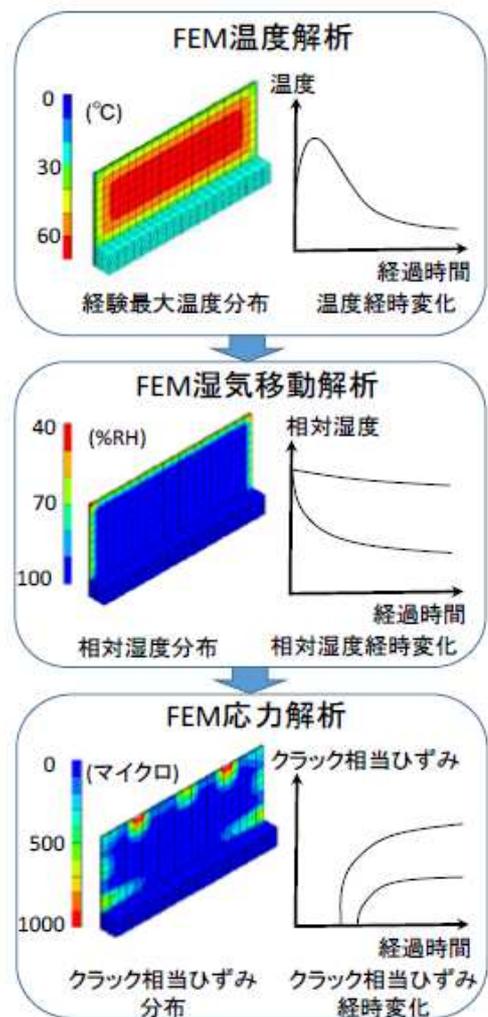


図-1 解析コードのイメージ

キーワード 格子等価連続体モデル, 乾燥収縮, 鉄筋拘束

連絡先 〒321-4367 栃木県真岡市鬼怒ヶ丘5 オリエンタル白石(株)技術研究所 TEL0285-83-7921

比表面積は水和の程度にも多く依存することから、乾燥収縮にも大きく依存することになる。岡田ら³⁾は、水和の程度の変化は圧縮強度比の変化とみなすことで、コンクリートの乾燥収縮ひずみ増分を次式でモデル化している。

$$\Delta \epsilon_{sh}(t) = \alpha(t) \cdot \Delta \epsilon_{sh,\infty} \quad (1)$$

ここで、 $\Delta \epsilon_{sh}(t)$ は時間 t における乾燥収縮ひずみ増分である。 $\alpha(t)$ は圧縮強度比の関数で表現される係数であり、 $\alpha(t)$ の値は、時間が 0 のときは、0 であり、時間が無限大のときは、1 となる。は硬化コンクリートの乾燥収縮ひずみ増分であり、相対湿度の関数である。

4. 解析と試験結果の比較

乾燥収縮（自由収縮ひずみ）試験では供試体長さ変化を測定し、収縮ひずみを 1 年間測定している。100×100×400mm の乾燥収縮試験結果と本モデルの比較検討の一例を以下に紹介する。

試験体は、材齢 1 日で脱型し、水中養生後に材齢 7 日から乾燥を開始している。使用セメントは普通ポルトランドセメントであり、単位水量および単位セメント量はそれぞれ 165kg/m³、337kg/m³ である。外気温は 20℃一定であり、周囲相対湿度は 60%一定である。鉄筋拘束試験体は、D25 の鉄筋を配置し、鉄筋とコンクリートとの付着を切るため外径 32、内径 25mm、長さ 100mm の塩ビ管を配置している。なお、ひび割れが集中するよう中央部に切り欠きを設けている。実際には 1m の試験体であるが鉄筋とコンクリートは塩ビ管の無いところ完全付着としたため、乾燥収縮試験体と同じ解析メッシュとしている。解析メッシュを図-2 示す。解析メッシュは 1/8 対称モデルを表している。収縮ひずみの経時変化の実測値および圧縮強度比を考慮した解析値の比較を図-3 に示す。図には、 $\alpha(t)$ が常に 1 のケースも併せて示している。これらの比較結果は、 $\alpha(t)$ を強度発現に応じて適切に設定すれば、練混ぜ直後から硬化に至るまでの乾燥収縮挙動を統一的に表現できる可能性があることを示唆している。

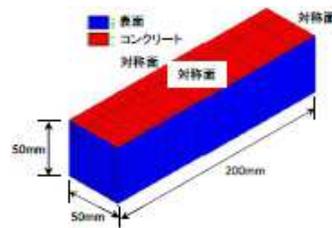


図-2 乾燥収縮試験の解析メッシュ

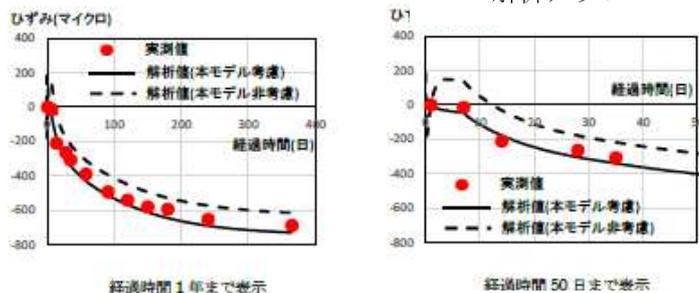


図-3 乾燥収縮試験体の結果

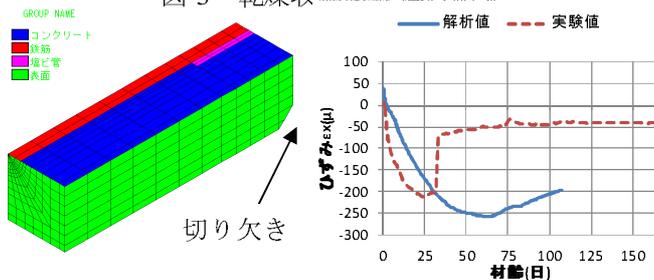


図-4 鉄筋拘束試験体の結果

鉄筋拘束試験体は、ひび割れが生じると鉄筋ひずみが開放される試験であるが、図-4 に示すように解析値は実験値の傾向を捉えているが、精度の向上が必要な段階であり、引き続き検討し、その結果を公表したいと考えている。

5. まとめ

本論から以下のことが明らかとなった。

- (1) 圧縮強度比を適切に評価することにより、練混ぜ直後から硬化に至るまでの乾燥収縮を予測することが可能である。
- (2) 鉄筋拘束下の試験体はその傾向を捉えることができるが精度の向上が必要な段階である。

参考文献

1)石川靖晃, 伊藤睦, 荒畑智志, 河合真樹, 原健悟: コンクリート構造物建設シミュレータの開発, コンクリート工学, Vol.53, No.2, pp172-180, 2015
 2)箆橋忍, 秦泳, 小澤満津雄, 森本博昭: 温度との連成を考慮したコンクリートの湿気移動解析, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.2, pp685-690, 2001
 3)岡田崇宏, 石川靖晃: 材齢極初期におけるコンクリートの乾燥収縮挙動の解析, 第 22 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム, プレストレストコンクリート工学会, pp.65-70, 2013