

東京大学大学院 学生員 吉永 剛

東京大学工学部 正会員 下村 匠

1. はじめに

型枠内への自己充填性能を有するハイパフォーマンスコンクリートが開発され、実構造物中のコンクリートの品質が、施工の良否によることなく、コンクリートの使用材料、配合と養生条件により実質的に決定されることとなった。このことは、適切な予測手法を用いて、耐久性に関わる構造物の種々の挙動を事前に評価し、合理的な耐久性設計を行う可能性が大きく開かれたことを意味する。その基礎となるべく、本研究では、著者らが提案したコンクリートの乾燥収縮モデル¹⁾を有限要素解析プログラムに組み込むことにより、構造物の乾燥収縮ひびわれ危険度に対する数値評価システムの開発を行った。

2. 数値評価システムの概要

本研究において開発した数値評価システムの概要を図1に示す。システムを中心をなす乾燥収縮挙動予測プログラムは、コンクリート中の水分移動解析と収縮応力解析を行う部分より構成されており、いずれもコンクリート構造物の温度ひびわれ予測のために開発された3次元熱伝導・熱応力有限要素解析プログラム²⁾をベースとしている。乾燥収縮に関するコンクリートの特性を表す材料モデルとして、コンクリートの細孔組織構造に基づく水分移動モデルと体積変化モデル¹⁾、一軸拘束収縮試験より得た有効弾性係数とひびわれ発生時の応力³⁾を用いた。

3. スラブ供試体を用いた乾燥収縮予測プログラムの検証

(1) 実験方法

モルタルを用いて作製したスラブ供試体（図2）の乾燥収縮挙動を測定し、乾燥収縮予測プログラムの検証を行った。モルタルの配合は水セメント体積比0.8と1.0の2種類とした。供試体は打設後1日で脱型し、約1週間水中養生した。水中より取り出した供試体はゴム系接着剤を用い、コーティングを施すことにより乾燥面と非乾燥面を設けた（図2）。乾燥面の数は1面あるいは2面とし、気温約 $10\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度約 $35\pm 5\%$ の室内において乾燥を行った。供試体の重量と両面のひずみの経時変化を測定し、ひずみの測定は基長9cmのペーパーゲージにより行った。また、材料パラメータの同定を行うために $4\times 4\times 16\text{cm}$ の角柱供試体を同時に作製し、同条件のもとで乾燥収縮試験を行った。

(2) 解析方法

要素は8節点アイソパラメトリック直方体要素を採用した。スラブ供試体の要素分割の方法を図3に示す。時間の離散化はクランクニコルソン法を採用した。計算時間間隔は不等分割とし、乾燥初期には小さく、その後徐々に大きくとった。計算結果として、各部分の含水量、ひずみ、応力が経時的に得られる。これらより供試体の逸散水量、平均ひずみ、曲率（そり）を求め実験結果と比較した。

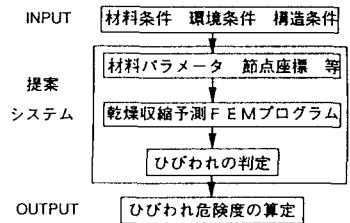


図1 数値評価システムの概要

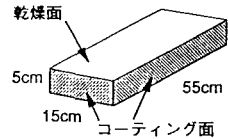


図2 スラブ供試体の形状・寸法

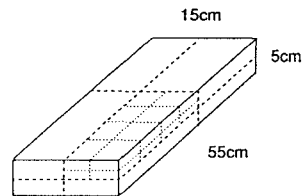


図3 スラブ供試体の解析における要素分割

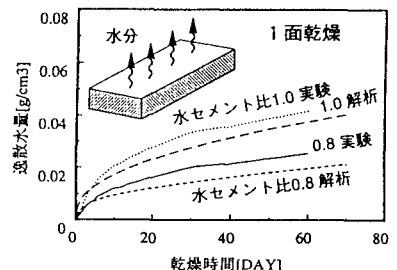


図4 乾燥時間と逸散水量の関係

(3) 実験結果と解析結果

図4～図6に乾燥時間と逸散水量の関係、乾燥時間と平均ひずみの関係、乾燥時間と曲率の実験結果と解析結果を重ねて示す。計算に用いた材料パラメータの値は、同時に作製した角柱供試体の乾燥収縮挙動より逆解析により定めた。

逸散水量、平均ひずみに関しては、水セメント比の違いを含めて、解析結果は実験結果の傾向をほぼ妥当に再現し得ているが、曲率については両者のオーダーが等しい程度に過ぎないことがわかる。他の挙動に比べ曲率の予測精度が低い原因は明らかではないが、一軸拘束収縮試験より導出した平均応力-平均ひずみ関係を、局所的な材料特性としてそのまま応力解析に適用したことが理由のひとつであると考察している。

個々の材料モデルは現段階において完全なものでなく、より忠実に材料の挙動を記述し得るものへと今後発展させなければならない。しかし、構造レベルの挙動という観点から個々の材料モデルの問題点を明らかにする手段を持ち得た意義は大きいと考えている。

4. 構造物の乾燥収縮ひびわれ危険度の評価

提案手法を用いて、実構造物の乾燥収縮ひびわれ危険度の評価を行った。ひびわれ危険度の評価は、一軸拘束収縮試験の結果を参考に定めたひびわれ強度を、計算された部材断面の平均応力の最大値で除することにより算出したひびわれ指数を指標とした。各材料パラメータは使用材料、配合、養生条件から推定される値を用いた。

図7は対象構造物に高速道路橋の高欄を選び、計算されたひびわれ指数の経時変化を示したものである。部材厚さを25cmから20cmにすることよりも、コンクリートの水セメント比を34%から49%にすることの方がひびわれ危険度を増大させるという結果が得られた。これはひびわれ強度の低下の影響が大きく現れたためである。続いて、早期に脱枠を行った場合を想定し、部材表層部において組織の粗い層が存在すると仮定した解析を行った。ひびわれ強度は同一とするなど簡略化された条件のもとで得られた結果ではあるが、早期に脱枠を行った場合には、十分に養生を行った場合に比べ、ひびわれ危険度が大きくなるという結果となった。

今後は個々の材料モデルの改良と、システム全体の精度向上の双方を進めてゆく予定である。

参考文献

- 1) 下村 匠・小沢一雅・前川宏一：細孔容積分布密度関数に基づくコンクリートの乾燥収縮モデル，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 15，No. 1，pp. 435-440，1993. 6
- 2) 原田修輔・前川宏一・辻 幸和・岡村 甫：温度依存性を有するセメントの水和発熱過程と熱伝導との連成を考慮した非線形温度解析，土木学会論文集，No. 426，pp. 167-176，1991. 2
- 3) 西田德行・福留和人・下村 匠：コンクリートの単位水量と乾燥収縮ひびわれ抵抗性，土木学会第47回年次学術講演会講演概要集第5部，pp. 946-947，1992. 9

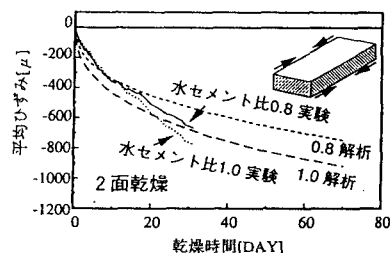


図5 乾燥時間と平均ひずみの関係

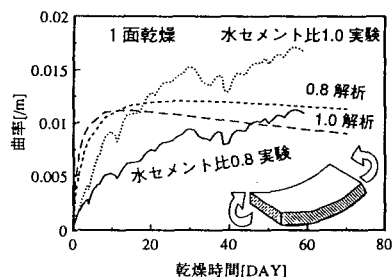


図6 乾燥時間と曲率の関係

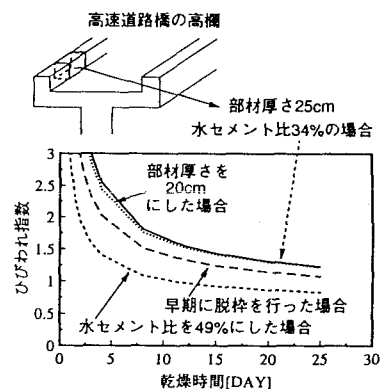


図7 高欄のひびわれ指数の経時変化