

CS-126

鉄筋コンクリート構造性能の時間軸上での照査に向けて

東京大学 学生会員 石田哲也
 アジア工科大学 正会員 岸 利治
 東京大学 正会員 前川宏一

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物の使用・安全性能は、外力及び環境に起因する力学的・化学的複合作用により時間軸上で変化する。設計段階において、構造物の要求性能を満足する最適解を求めるためには、誕生から供用終了の間で、逐次変動する鉄筋コンクリート構造の振る舞いを追跡する技術の確立が必要である。従来まで、時系列で変化する材料の品質と使用安全性能はその定量化にあたって別々に扱われる事が多かった。しかしながら、ひび割れに代表される材料の損傷・劣化は、物質移動抵抗性の低下させ、鉄筋腐食の促進等、構造性能に悪影響を及ぼす。同時に、構造体の機械的損傷の程度は、力学的境界条件と共に、材料自身の特性・品質に大きく依存する。本研究は、密接な相互連関を有する材料の品質変化と構造力学挙動の両者を組み合わせ、構造物の保有性能を時間軸上で任意の諸条件に対し、直接照査し得るシステムの構築が可能である事を、主として数値解析システムの点から論ずる。

2. 並行演算処理システム

鉄筋コンクリート構造体におけるひび割れの発生の有無は、力学的境界条件によって大きく左右される。同時に材料内部における化学反応過程、物質・エネルギー移動現象、材料の形成の程度にも影響を強く与える。発生したひび割れは、鉄筋腐食にとって不利な因子になる様に、腐食物質の物質移動抵抗性を低下させる。本研究では、この両者の事象の連関を、現実に即した形で数値解析によって追跡すべく、双方向並行演算処理システムの構築を行った（図-1）。

はじめに熱物理を司る **DuCOM**¹⁾によって、与えられた初期・環境条件より材料の諸物性が計算される。ステップ終了後、得られた細孔組織、強度、水和、温度、含水量、剛性等の各物性値は解析システムの共有領域に書き込まれる。その後、構造挙動を司る **COM3**²⁾は共有記憶領域から必要な情報を受け取り、応力解析を行う。ここで、構造部材のひび割れ発生の有無、塑性損傷等の機械的な材料情報を共有記憶領域に書き込む。この情報は、熱力学的モデルに対して、物質移動抵抗性低下等の材料特性の変化として再度戻される。以上の様に、提案する解析手法は、コンクリートの組織レベルの物性と、機械的な損傷の情報を相互にやりとりする双方向型の並行演算処理システムである。

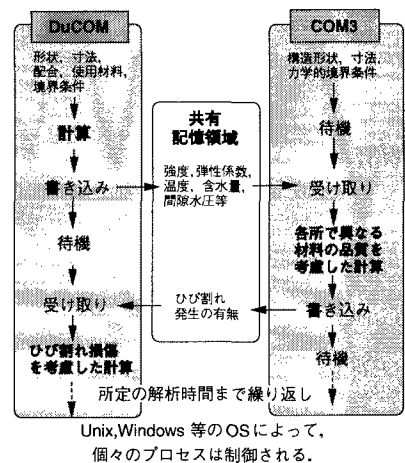


図-1 双方向並行演算処理システム

以上のように、提案する解析手法は、コンクリートの組織レベルの物性と、機械的な損傷の情報を相互にやりとりする双方向型の並行演算処理システムである。

3. 解析例

はじめに、本解析システムを用いた感度解析として、水分の逸散挙動に対する検討を行った。構造解析システム内におけるひび割れ判定に関しては、各ガウス点の引張主応力が、各点の水和度に応じた引張強度を越えた時点でひび割れが発生する事とした。ひび割れが発生した後の応力緩和現象に対しては、岡村ら³⁾により提案された引張剛性モデルを用いた。また、ひび割れ発生後の物質移動抵抗性に関して、水蒸気移動抵抗性と、液状水移動抵抗性の両方の値を、まず単純にひび割れ前の10倍になると仮定し、感度解析を行った。仮定した倍率自体は物理的な根拠を持つものではなく、極めて単純化して、システムの様態に論点をあてるものとしている。解析対象は、W/C=30%、骨材体積70%、中庸熱セメントを用いたコンクリートスラブ供試体を想定した。3日の封緘養生を施した後、相対湿度50%の外気に曝した。図-2に解析結果として、表面境界からの距離と、それぞれの位置にお

キーワード 構造性能、双方向並行演算、ひび割れ、物質移動

連絡先（〒113-8656 東京都文京区本郷7丁目3-1 電話 03-3812-2111 FAX 03-5802-2904）

る水分分布, 引張強度で正規化した部材内部の引張応力分布, 及び損傷状況を示している。比較のため, 応力解析を行わないで, 常にコンクリートに力学的損傷が入っていないとしたケースについても解析を行っている。結果に示されている通り, 主として乾燥収縮により, 表面近辺の要素からひび割れが発生し, 時間の経過と共に内部にひび割れが進展している傾向が見られる。また, 明らかにひび割れの発生に伴い, 水分の逸散量は大きくなる。

次に外荷重により損傷を受けた, RC 梁への塩化物イオンの侵入解析を行った。解析の対象となる RC 梁の要素モデル, 載荷条件を図-3 に示す。解析においては, An³⁾により提案された手法に基づき, 鉄筋の付着効果の影響を考慮し, 要素を鉄筋コンクリートゾーン (RC ゾーン) と無筋コンクリートゾーン (PL ゾーン) に区別し, 各々異なる軟化/硬化特性を適用した。配合に関しては, 普通セメントを用い, W/C45%, 骨材体積量 65% とした。7 日間の封緘養生の後, 変位制御で載荷を行うとの条件を与えた。載荷後, 梁下面を境界要素とした物質侵入解析を行った。境界条件として塩化物イオン濃度を 1.4(mol/l) と与え, 乾燥 (50% RH) に 7 日間, また湿潤 (95% RH) に 7 日間曝されるものとした。ひび割れ後の液状水移動抵抗性は, 前小節の解析同様 10 倍と極めて単純に仮定した。塩化物イオンの分布を図-4 に示す。梁供試体外側から 30, 及び 50cm の箇所をそれぞれ示す。いずれの解析結果もひび割れの発生によって, 健全部の場合と比較し, より多くの塩化物イオンが存在する事が解析によって認められる。ひび割れ損傷を受けた部位では液状水としての水分移動が容易となり, その中に溶存しているイオンが拡散と共に輸送されて, 内部深くに侵入していく過程が解析された。

4. まとめ

提案した双方向連成解析システムを用いる事によって, 従来別途扱われてきた鉄筋コンクリート構造物の構造挙動と材料の品質変化の相互依存性をそのまま表現する事が可能になった。個々の要素技術は多くの改良点が残されているが, 本手法の概念を用いる事で, 鉄筋コンクリート構造物の保有性能を時系列上で, 総合的に照査できる事を示した。

参考文献

- 1)前川ほか:セメントの水和発熱・水分移動・細孔組織形成の相互連関に関するシステムダイナミクス, セメントコンクリートの反応モデル解析に関するシンポジウム論文集, pp.45-52, 1996.
- 2)Maekawa ほか: Path-dependent three-dimensional constitutive laws of reinforced concrete - formation and experimental verifications, *Structural Engineering and Mechanics*, Vol.5, No.6, pp.743-754
- 3)An ほか: Numerical simulation of size effect in shear strength of RC beams, *Proceedings of JSCE*, No.564, V-35, pp.297-316, 1997.

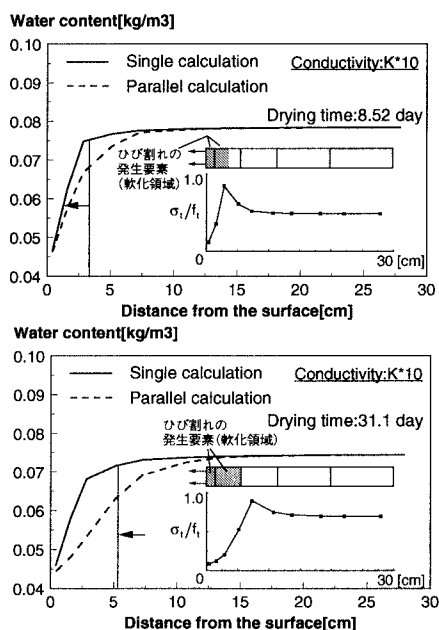


図-2 損傷下でのコンクリートの水分及び内部応力分布

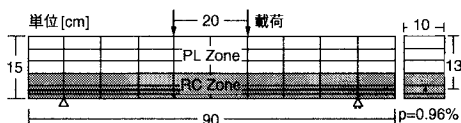


図-3 RC 梁の解析要素モデル及び載荷条件

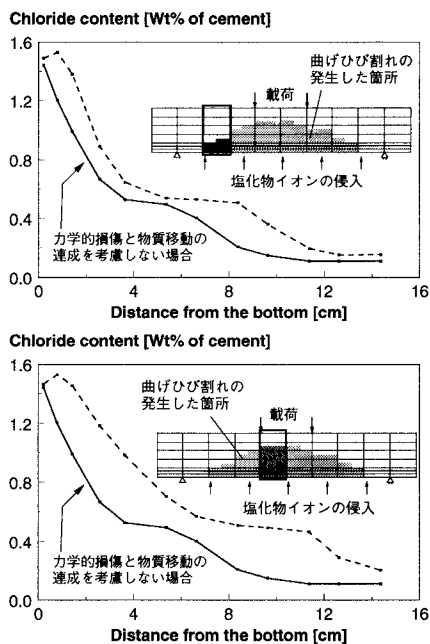


図-4 損傷を受けた梁への塩化物イオンの侵入