

# 塩害劣化を受けるコンクリート構造物の確率論的な劣化予測に関する研究動向

コンクリート工学 Vol47 No3 2009.3 p66

網野

## 確率論的モデルを用いた予測手法の種類

### 一次信頼性評価法

#### モンテカルロシミュレーション

…かぶりや表面塩化物イオン濃度、塩化物イオンの拡散係数、鉄筋の腐食発生限界塩化物イオン濃度他、塩害劣化要因の不確定性を統計的に表現、拡散など理論的モデルで腐食発生確率を推定。

#### マルコフ連鎖モデル

…構造物の調査を実施、全部材あるいは劣化した部材数の割合を把握し、その割合から劣化度の遷移確率(劣化要因の不確定性を含)を設定、構造物の劣化状態の推移を予測。

## 一次信頼性評価法による劣化予測例

## モンテカルロ法による劣化予測例

## マルコフ連鎖モデルによる劣化予測例

実際の構造物の劣化状態から予測、確率論的モデルの中で最も信頼性が高いと考えている。  
(独)港湾空港技術研究所からの塩害調査結果を利用しながらの本モデル予測法の提案。

# 表層コンクリートの品質と中性化進行に関する解析的検討

日本建築学界構造系論文集 vol75 No649 2010.3 p499

李 他

表層コンクリート/内部コンクリート、表層セメント/コンクリート構造での中性化進行モデルと計算。  
未中性化/中性化界面、CO<sub>2</sub>の拡散とCa(OH)<sub>2</sub>との反応。

## 解析対象

モルタル/コンクリート や セメント系材料/コンクリート。  
コンクリート表層と内部との組織が異なっている場合。粗密度：内>外、外>内

## モルタル/コンクリート や セメント系材料/コンクリート

仕上げモルタルの中性化が進行している期間。  
仕上げモルタルの中性化が完了し、内部の中性化が進行している期間。

## コンクリート表層と内部との組織が異なっている場合

表層コンクリートの中性化が進行している期間。  
表層コンクリートの中性化が完了し、内部の中性化が進行している期間。

## 数値計算例

モルタル/コンクリート の場合。  
コンクリート表面が改質されている場合。

Multi-Scale Modelling of Structural Concrete      DuCOM  
Taylor&Francis  
K.Maekawa et al

Multi-scale Modelling of Concrete Performance      Interated Material and Structural Mechanics  
Journal of Advanced Concrete Technology Vol1 No2 2003 p91  
K.Maekawa et al

コンクリート構造物の長期性能評価      -材料劣化の予測モデル-  
コンクリート工学 Vol50 N011 2012.11 p1057  
長期性能シミュレーションソフト作成委員会

鉄道高架橋のRC高欄の変状調査とその劣化予測  
コンクリート工学 Vol47 N08 2009.8 p16  
曾我部 他

表層コンクリートの品質と中性化進行に関する解析的検討  
日本建築学界構造系論文集 vol75 No649 2010.3 p499  
李 他

塩害劣化を受けるコンクリート構造物の確率論的な劣化予測に関する研究動向  
コンクリート工学 Vol47 No3 2009.3 p66  
網野

## 検討2

橋梁マネジメントシステム(BMS)の基本構成

<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0523pdf/ks052306.pdf>

構造物に対する非破壊検査技術

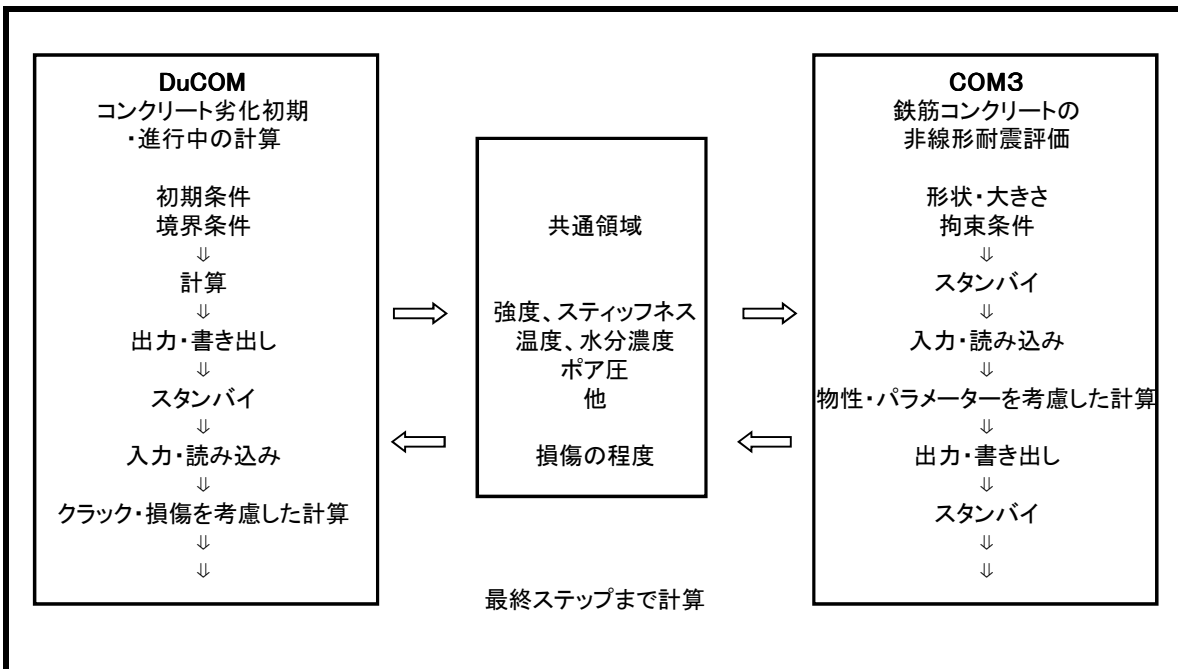
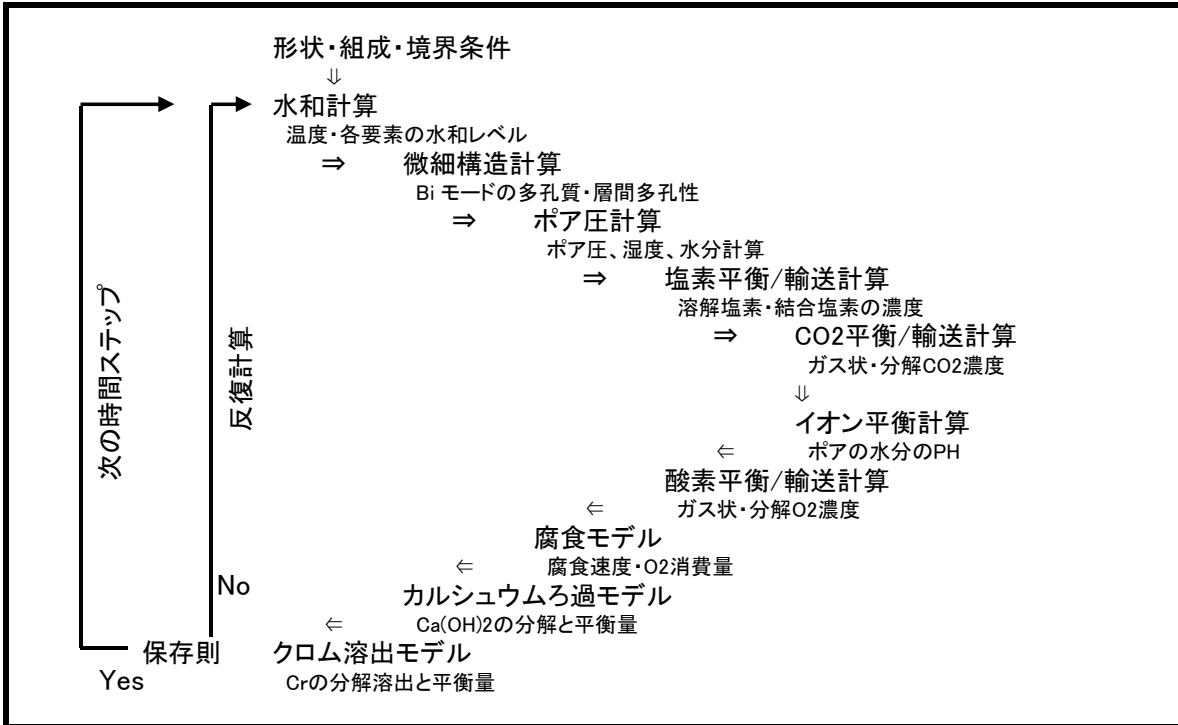
木村嘉富 (独)土木研究所 構造物メンテナンス研究センター

CAESAR Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research  
(独)土木研究所 構造物メンテナンス研究センター

# Multi-Scale Modelling of Structural Concrete DuCOM

Taylor&Francis  
K.Maekawa et al

## 基本計算スキーム



## マルチスケールモデリング

- セメントペーストのポア構造のモデル  $10^{-10} \sim 10^{-6}$  m
- 水分の移動・輸送 と 平衡状態  $10^{-10} \sim 10^{-6}$  m
- 塩素イオンの移動・輸送 と 平衡状態  $10^{-8} \sim 10^{-6}$  m
- CO<sub>2</sub>イオンの移動・輸送 と 炭化  $10^{-9} \sim 10^{-6}$  m
- 酸素の移動・輸送 と マイクロセル腐食モデル  $10^{-9} \sim 10^{-6}$  m
- カルシウムイオンの移動・輸送 と 過飽和  $10^{-9} \sim 10^{-6}$  m
- セメントの水和の機械的性質とコンクリート  $10^{-6} \sim 10^{-2}$  m
- コンクリート材の機械的性質とクラック  $10^{-3} \sim 10^{-0}$  m

## 数値計算シミュレーション

- 水分の透過と再水和
- 乾燥-湿潤サイクルの中でのコンクリート中の塩素の輸送
- コンクリート中の炭化
- 炭化と塩素腐食の同時進行
- クラックありのコンクリートの水分分布
- 体積変化によるせん断応力と軸力のカプリング  
クラックと応力伝播
- 腐食によるクラック発生と残り構造強度
- 乾燥による梁の経時歪み
- 実際の応用  $10^0 \sim 10^{+2}$  m
- 耐震性評価
- 損傷構造物の使用可否とリスク評価
- 耐用設計と残り寿命

# 鉄道高架橋のRC高欄の変状調査とその劣化予測

コンクリート工学 Vol47 N08 2009.8 p16

曾我部 他

調査対象

調査方法

劣化予測方法

|      |              |
|------|--------------|
| 中性化  | 進展期<br>加速期前期 |
| 内的塩害 | 進展期<br>加速期前期 |
| 複合劣化 | 進展期<br>加速期前期 |

劣化予測による変状率は、モンテカルロシミュレーションから算出。  
鉄筋のかぶりや初期塩化物イオン濃度、中性化深さ  
…それぞれ正規分布と仮定。  
乱数で3000個の組み合わせを発生検討。  
各変数の平均値や変動係数は実測値に基づき設定。

現地調査結果

- 個々の高欄の劣化状況
- 線区全体の劣化状況
  - 変状原因の区分/推定
  - 鉄筋はつり出し/腐食速度の確認
- 支配的な劣化因子の推定
- 劣化予測

現地調査で鉄道高架橋の、かぶりや中性化、初期塩化物イオン濃度に関するデータ取得。

↓

劣化要因が、中性化と内的塩害であることを確認。変状率に支配的な因子がかぶりである事を見出した。

↓

モンテカルロシミュレーションにより、はく離 はく落に関する変状率を予測。今後の推定。

↓

モンテカルロシミュレーションにより、鉄筋の腐食速度を逆算。維持管理標準での腐食速度と比較。

腐食速度が維持管理基準を超えるものはない。

腐食速度が維持管理基準の50%以下のものは70%程度である事が判明。

# コンクリート構造物の長期性能評価 -材料劣化の予測モデル-

コンクリート工学 Vol50 N011 2012.11 p1057  
長期性能シミュレーションソフト作成委員会

## 塩分浸透モデル

空隙構造  
塩分の固定化

## 中性化反応モデル

CO<sub>2</sub>消費を考慮したモデル

## 鉄筋腐食モデル

発錆条件

塩分浸透  
中性化  
腐食速度

宮里モデル  
松林モデル  
温湿度補正  
腐食ひび割れ発生条件

## 凍害モデル

仕上げと補修

表面被覆モデル

中性化  
塩分浸透

含浸処理モデル

断面修復モデル

補修計画