

地方自治体における橋梁の維持の状況と投資効果に関する調査検討

土木学会論文集F 66 3 p351 2010.7

稲垣 他

各自治体の橋梁維持の現状と投資効果に関するアンケート調査を行なった。

結果、自治体によって、橋梁データの保存や電子化、橋梁マネージメントなどの把握状況にバラつきがある事が判明した。
又、維持管理の投資効果について、橋梁の健全度は単位面積あたりの補修補強工事費用との間で相関が見られ、投資の有効性が示される。

アンケート調査

過去の橋梁への投資状況

自治体予算はほぼ一定の中、橋梁維持管理は増加していない。
橋梁予算の割合が減少傾向。

データの収集方法および保存方法の状況

日常点検は自治体職員
定期点検は外注
問題が生じた時の点検は外注
竣工完成直後の初期点検を行っている自治体は非常に少ない。
臨時点検は、自治体と外注

点検要領を有する自治体は、多くが、国土交通省 橋梁点検要領(案)による。
日常点検や定期点検など実施頻度の高い点検では、多くの自治体が独自の要領。

橋長、幅などの諸元は、ほとんどの自治体が所有。
点検結果データや補修履歴データは、ほぼ半数しか保存していない。
図面データをCADなどの電子データではほとんど保存していない。

橋梁マネージメントシステムの整備状況

ほとんどの自治体が橋梁データベースの整備に着手。
点検要領の整備について、80～100%との回答が多かった。
優先順位決定手法、健全度の評価方法、点検要因の育成などコア部は、半数の自治体が未着手。
大半の自治体が、ストックマネージメントには着手しているが未整備

ヒアリング調査

データ保存状況

諸元データはほとんどの自治体で所有。
市レベルでは架設年次を把握していない等、劣化予測が困難等。
点検データは9/11の自治体で保存。
自治体間で、点検基準が異なる、点検者間の差など。
補修履歴データは、少数の自治体で保存。
劣化曲線算出のための項目(工種、規模、年次、費用)を全て電子化している自治体はない。

点検結果の解析

過去の補修補強投資と健全度の相関検討

2自治体での比較

橋梁面積当たり12倍の投資をした自治体のほうが健全。維持管理の有効性が示される。
架設年、環境、維持管理法を解析に反映する事などが課題。

複数の自治体間での比較

面積当たりの予算が高いほど、補修を必要としていない。

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

道路橋の安全管理の司令塔

センターの使命

臨床研究

健全性評価、補修・補強対策、フォローアップ などの問題解決

技術の集積と発信

新技術の検証、標準化、基準化

技術者教育

「荒廃する日本」にしないための研究

橋梁に関する臨床研究に挑戦

検査技術・維持管理システム

健全性の予測・評価・診断技術

疲労度や損傷のメカニズム・挙動解明、

部材の損傷と橋全体への影響

最適対策判断

補修・補強など対策技術

臨床研究へのフィードバック、維持管理しやすい橋への誘導

「災害脆弱国家・日本」としないための研究

大地震に対する総合的対策技術を開発・結集

耐震性の高度診断・評価技術

補強対策技術

震災経験のフィードバック

耐震性の高い橋への誘導

地震後の早期点検・機能回復技術

求める性能の提示、評価と基準化

信頼性に基づき安全係数や制限値を設定する設計体系を実現するための研究

要求性能を評価するための評価技術の確立のための研究

開発実績:

床版の疲労耐久性を検証するための輪荷重走行試験機による標準試験法

橋脚柱の地震時変形性能を評価するための標準試験法

国際的な情報収集と連携

日米会議、米国連邦道路庁 (FHWA)、ドイツ連邦道路研究所 (BAST)、JICA

Multi-scale Modelling of Concrete Performance Interated Material and Structural Mechanics

Journal of Advanced Concrete Technology Vol1 No2 2003 p91
K.Maekawa et al

10⁻¹⁰メートル～10⁻⁶メートルスケールのセメントペイストのポア構造から10⁻³メートル～10⁰メートルスケールのコンクリート在の機械的性質やクラックまでの統合的計算システムを構築、鉄筋コンクリートの寿命までの強度計算を提案。

ここでは、セメントの水和過程や塩素などのイオンの輸送や反応、鉄筋の腐食モデルなど、劣化要因となる素過程を組み込み およそ100個の非線形基本式の連立解を解きながらの、時間展開を求めることのできる連成問題として構築。

又、ここで、クラックの発生やクラックの伝播、それにより引き起こされる化学反応や残存強度のモデル化計算を統合的に含みながら構築、損傷した構造物の使用可否や耐用設計、長期維持管理を念頭にした。

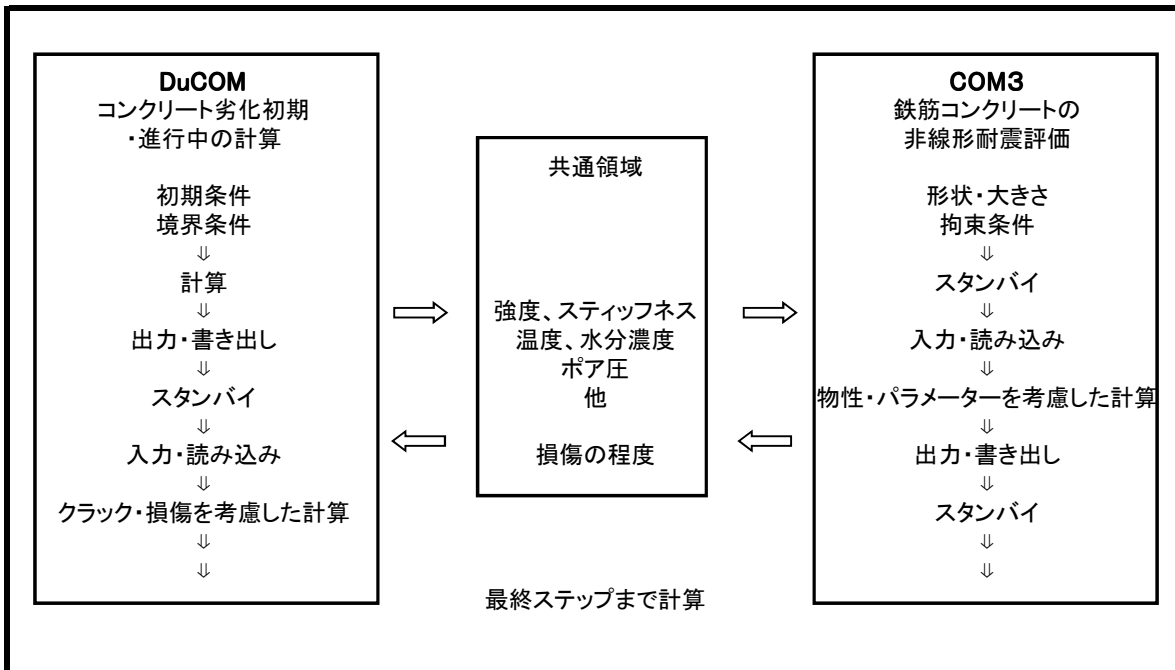
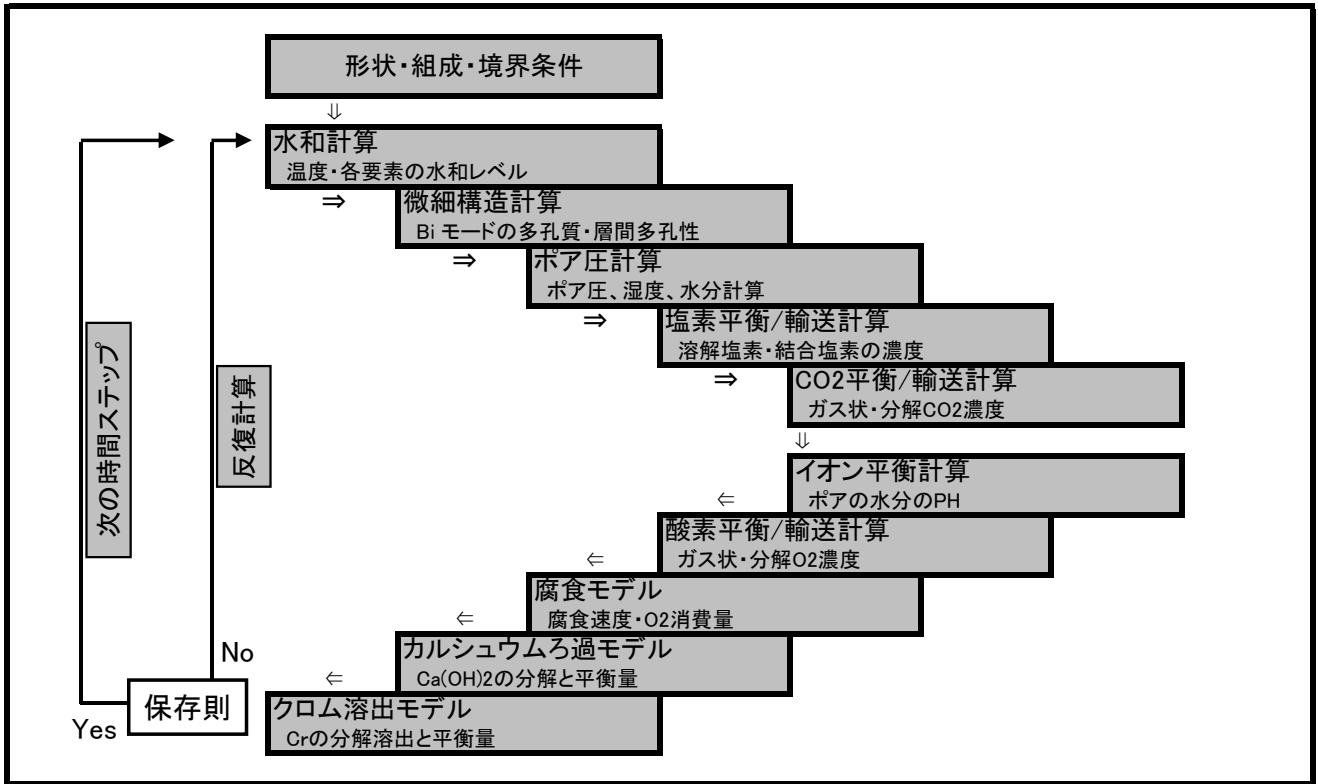
コンピューター計算は、FEM ガラーキン法によりコーディング、地盤や微生物活動、電場 他の計算への拡張を容易にしている。

マルチスケールモデリング

モデリング項目	スケール
セメントペイストのポア構造のモデル	10 ⁻¹⁰ ～10 ⁻⁶ メートル
水分の移動・輸送 と 平衡状態 …更に、セメントの微細層構造の層間の水分挙動について解明調査・検討を進めている。	10 ⁻¹⁰ ～10 ⁻⁶ メートル
塩素イオンの移動・輸送 と 平衡状態	10 ⁻⁸ ～10 ⁻⁶ メートル
CO ₂ イオンの移動・輸送 と 炭化 …将来的に、塩素を含めた反応式の定式化を進める。	10 ⁻⁹ ～10 ⁻⁶ メートル
酸素の移動・輸送 と マイクロセル腐食モデル …将来的に、他のイオンを含めた腐食の解明調査・検討が必要。	10 ⁻⁹ ～10 ⁻⁶ メートル
カルシウム移動・輸送 と リーチング	10 ⁻⁹ ～10 ⁻⁶ メートル
クラック前の若いコンクリート	10 ⁻⁶ ～10 ⁻² メートル
コンクリートのマイクロクラックのモデリング	10 ⁻³ ～10 ⁰ メートル

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
…将来的に、詳細調査・検討を進める。
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
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



道路橋の計画的管理に関する調査研究－橋梁マネジメントシステム(BMS)－

アセットマネジメント手法

<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0523pdf/ks052305.pdf>

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>

システム開発目標

マイクロ／マクロのマネージメント。
目視が主体の点検データの限界。
損傷状態が正確に把握できない、マイクロ管理には必要な精度は得られていない。
管理計画の策定
BMSの定量的・客観的評価＋専門化知見と総合評価が欠かせない。

システムの基本構成と流れ

橋梁の現状把握データー 緒元、保守履歴、点検データなどの入力データ。
健全度 予測などの結果から、更新・補修の優先度付け。
定期点検の損傷個所のリスト
未対策橋梁の抽出リスト
短期計画支援機能
中長期計画支援
補修シナリオ ライフサイクルコスト予測

BMSの構成要素および機能

構成要素	内容機能
入力データ	
道路管理データベース	緒元： 橋梁名、建設年、橋長、床板厚、、、塩害区分、大型交通量 補修データ：部材毎の補修年、内容
橋梁点検データベース	定期点検データ： 点検年、損傷種類、程度 他 カルテ： 劣化要因、対策区分の判定。
進捗管理データベース	三大損傷管理リスト 耐震補強状況リスト
塩害時定点検データ	塩害特定点検データ： かぶり 塩化物イオン量試験
BMS本体機能	
健全度評価	点検結果から損傷程度を健全度ランク 定量的な評価値に変換。
劣化予測	劣化要因毎に劣化予測モデルから健全度評価、将来劣化を予測。
補修時期・工事費計算	点検結果、劣化予測に元づく補修時期・工事費用を算出。 結果より短期計画支援ツールにフィードバック。
短期計画支援	
損傷個所の抽出	対象劣化要因以外で、損傷区分がE1、E2、C、S、Mの部材をスパン毎に抽出。
短期計画支援ツール	優先橋梁抽出支援 予算要求支援 予防保全率算定支援
中長期計画支援 (未整備)	中長期計画支援ツール 補修シナリオ毎の中長期費用計算。

健全度予測

健全度予測、補修工法、時期設定を支援。

健全度 劣化予測は、下記参照。

<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0523pdf/ks052307.pdf>

健全度予測の対象劣化要因

対象部材の選定

健全度の定義

劣化予測方法

定量的指数：塩化物イオン濃度、疲労度、錆発生率、健全度指数。

定期点検の要素毎、損傷種類毎に目視点検の定性的な区分 損傷程度から変換。

将来健全度

補修工事費算出

短期計画支援ツール

健全度劣化予測

<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0523pdf/ks052307.pdf>

コンクリートの塩害の劣化予測

健全度

劣化予測モデル

潜伏期の予測

進展期の予測

加速期・劣化期の予測

劣化予測モデルの模式図

現状健全度に対する定量的な値の特定

将来健全度の評価フロー

経過年、目視点検結果に基づく将来健全度予測評価

特定点検結果に基づく将来健全度評価

劣化モデルをそのまま用いて、将来の塩化物イオン量又は鋼材体積減少率を算定。

点検時の健全度を加速期の初めと仮定し、加速期以降の劣化予測モデルをシフト、将来の鋼材体積減少率を算定。

鋼材体積減少率を0.00、又は0.02と仮定し、劣化予測モデルをシフト、将来の鋼材体積減少率を算定。

特定点検結果より得られたデータを用いて補正した劣化予測モデルにより現状健全度を算定。

劣化予測モデルの検証

検証方法

検証結果

実際の経過年数と予測年数の比較

潜伏期における発錆有無の予測結果と実損傷の比較

今後の課題

RC床板の疲労に対する劣化予測

健全度

劣化予測モデル

疲労損傷度の算出

疲労破壊に至る繰り返し回数

繰り返し回数

劣化予測モデルの模式図

現状健全度に対する定量的な値の特定

将来健全度の評価フロー

劣化予測モデルをそのまま用いて、経過年より将来健全度を算出。

定期点検結果から得られたデータを持ちて点検時健全度を一致させた後、将来健全度を算定。

劣化予測モデルの検証

検証方法

分析パラメーターの設定

架設年

床板厚
床板支間
大型車交通量
検証対象橋梁
分析結果
架設年
床板厚
大型車交通量
床板支間
今後の課題
鋼部材の塗装劣化・腐食の劣化予測
健全度
劣化予測モデル
さび発生面積が、0.03%に達するt1年
さび発生面積が、0.3%に達するt2年
さび発生面積が、5%に達するt3年
現状健全度に対する定量的な値の特定
将来健全度の評価フロー
劣化モデルの設定根拠
定期点検結果の分析
対象データの検討
点検データの分析結果
推定耐久年数
期待耐用年数
塗り替え実績調査結果
定期対策・定期交換を行なう部材
健全度
劣化予測
交換時期
支承
伸縮装置

橋梁管理スキームと劣化評価

	国/自治体の橋梁管理システム	橋梁管理者	CAESAR	弊社提案
概観	体系枠組みの策定と管理 体系のフロー設定	橋梁管理実務	道路橋の安全管理の司令塔	国や自治体の橋梁管理実態の調査 ツールとしてのシミュレーションの提案 提供
調査	点検健全度や健全度係数算出式 設定 点検・点検データベース設定 健全度評価基準設定	点検データ データベース	適用性を調査したい技術・使用構築の諸元・調査条件 民間提案技術の把握 調査実施技術の選定	
劣化評価	維持管理区分の判定基準 管理橋梁のデータベース構築 撤去時の解剖調査 →データ蓄積	橋梁データ	実橋などでの非破壊検査などの手法の適用性調査	
シミュレーション	点検健全度や健全度係数算出式 設定 BMS本体機能として下記の様に設定 専門家等の知見による定量的・総合評価(BMS) 学識経験者の知見による予測(青森県) 点検結果蓄積による劣化予測式(大阪府)	国や自治体指定のツール	民間提案技術の把握 調査実施技術の選定 民間との共同研究による新技術開発	Aからメートルレベルの計算、腐食過程やクラック伝播を 下記の様にシミュレーション。 自治体への必要データへの電子化への対応 地域の特異な要求への対応
維持管理	投資分析 維持管理計画策定 短期・中長期支援	維持管理データ	民間提案技術の把握 調査実施技術の選定 民間との共同研究による新技術開発	

国交省BMS劣化予測 -BMS本体機能- 要約

コンクリートの塩害の劣化予測
劣化予測モデル
潜伏期、進展期、加速・劣化期の予測。劣化予測モデルの模式図。
現状健全度に対する定量的な値の特定
将来健全度の評価フロー
経過年、目視点検結果に基づく将来健全度予測評価
劣化予測モデルの検証
実際の経過年数と予測年数の比較、潜伏期における発錆有無の予測結果と実損傷の比較

RC床板の疲労に対する劣化予測
劣化予測モデル
疲労損傷度の算出、疲労破壊に至る繰返し回数。劣化予測モデルの模式図。
現状健全度に対する定量的な値の特定
将来健全度の評価フロー
劣化予測モデルをそのまま用いて、経過年より将来健全度を算出。
定期点検結果から得られたデータを持ちて点検時健全度を一致させた後、将来健全度を算定。
劣化予測モデルの検証
検証対象橋梁
分析結果
築設年、床板厚、床板支間、大型車交通量

鋼部材の養分劣化・腐食の劣化予測

劣化予測モデル
さび発生面積の成長速度による区分。
現状健全度に対する定量的な値の特定
将来健全度の評価フロー
劣化モデルの設定根拠
定期点検結果の分析
対象データの検討
点検データの分析結果
推定耐久年数
期待耐用年数
塗り替え実績調査結果

弊社提案 DuCom基本のシミュレーション 要約

マルチスケールモデルリング
モデルリング項目
スケール
10⁻¹⁰~10⁻⁹メートル
10⁻¹⁰~10⁻⁶メートル
セメントベイスのボア構造のモデル
水分の移動・輸送と平衡状態
…更に、セメントの微細腐蝕の腐蝕の水分挙動について解明調査・検討を進めている。
塩素イオンの移動・輸送と平衡状態
10⁻⁹~10⁻⁶メートル
CO2イオンの移動・輸送と炭化
10⁻⁹~10⁻⁶メートル
…将来的に、塩素を含めた反応式の定式化を進める。
酸素の移動・輸送とマイクロセル腐食モデル
10⁻⁹~10⁻⁶メートル
…将来的に、他のイオンを含めた腐食の解明調査・検討が必要。
カルシウムの移動・輸送とリーチング
10⁻⁹~10⁻⁶メートル
クラック前の若いコンクリート
10⁻⁹~10⁻²メートル
…トライアルモデルとして、コンクリートの微細構造や弾塑性/粘塑性の機械的モデルを提案。
コンクリートのマイクロクラックのモデルリング
10⁻³~10⁻⁹メートル
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
…将来的に、詳細調査・検討を進める。
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ブリング
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

今回提案のシミュレーションでは、橋梁劣化について、コンクリートの微細構造での水分や腐食原因物質の粗過程を取り込んだ、オングストロムからメートルレベルの計算です。ここではクラック伝播モデル計算しながら、数十年のライフサイクルをカバーするものです。

高度経済成長期に建設した大型構造物の劣化が、社会問題となっております。ここでは、経済的効率性の重視から、維持管理まで配慮が行き届かなかったという現実があります。本提案書では、国や各自治体の橋梁の維持管理の現状からその問題点を、抽出、統合的な橋梁管理のためのシミュレーションの構築を提案します。

国土交通省や地方自治体のBMSでは、橋梁の維持管理の枠組みを設定し、管理フローや各評価基準、中長期の取り組みや投資効果について規定しておりますが、評価方法については断片形なもので、専門化の知見や総合評価が必要との記述はあるものの、具体的で詳細な劣化評価手法は提示されていません。又、自治体によっても、橋梁諸元や補修履歴のデータの保存や電子化、橋梁マネージメントなどの把握状況にバラつきがみられます。その中でも、橋梁の健全度は単位面積あたりの補修補強工事費用との間では相関が見られ、適切な補修補強により、健全度を保つ事は明らかです。この様に、最適な評価と投資で国土強靱化へ向けた取り組みが急がれます。

上に述べた様に、既存の維持管理マニュアルには、劣化原因について特定のものに対応したものしかなく、断片的なものです。又 経験則を数値化する手法が主なものです。本提案では、この様な状況の中、今後の拡張性を考慮し、粗過程の実証・吟味に立脚させた汎用性のあるシミュレーションツールの構築を提案します。

参照資料リスト

- 1) 地方自治体における橋梁の維持の状況と投資効果に関する調査検討
土木学会論文集F 66 3 p351 2010.7
稲垣 他
- 2) Multi-scale Modelling of Concrete Performance Interated Material and Structural Mechanics
Journal of Advanced Concrete Technology Vol1 No2 2003 p91
K.Maekawa et al
- 3) 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
- 4) 道路橋の計画的管理に関する調査研究 ー橋梁マネジメントシステム(BMS)ー
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0523pdf/ks052307.pdf>