

◆特集：「ストック・メンテナンスの世紀」への対応◆

社会資本ストックの健全度評価・補修技術に関する 重点プロジェクト研究の概要

三木博史*

1. はじめに

土木研究所では、独立行政法人化した平成13年度から、社会的要請が高く重点的に実施すべき課題を14の重点プロジェクト研究として実施している。

社会資本ストックの健全度評価・補修技術に関する研究もその一つで、技術推進本部（先端技術、施工技術、構造物マネジメント技術の各チーム）、基礎道路技術研究グループ（舗装、トンネルの各チーム）、構造物研究グループ（橋梁構造、基礎の各チーム）、材料地盤研究グループ（新材料チーム）の計8チームが担当している。

本文は、その概要と中間成果について、プロジェクトグループを代表して報告するものである。

2. 研究の概要

2.1 研究の必要性

今後投資余力が減少していくなか、安全で快適な社会・経済活動を維持するには、これまでに蓄積された膨大な社会資本ストックを丈夫で長持ちさせるための以下のような技術開発が必要である。

- 1) 構造物の状態を的確かつ効率的に把握する健全度診断技術
- 2) 各種補修工法の選定法や効果を明らかにした補修技術
- 3) 安全で供用性の高い社会資本ストックの提供とその効率的活用に対するための戦略的維持管理手法

2.2 研究の目標

「構造物の健全度診断技術」として、鋼橋の劣化状況のモニタリング手法、橋梁基礎の健全度評価手法、非破壊検査を用いたコンクリート構造物の健全度診断手法、アースアンカーの健全度診断手法を開発する。

また、「構造物の補修技術」として、既設コン

クリート構造物の補修技術、既設舗装の低騒音・低振動性能の回復技術、既設トンネルの補修・補強技術、鋼橋塗替え処理（高度塗装）技術を開発する。

さらに、「構造物の戦略的維持管理手法」として、コンクリート構造物の維持管理支援システムの開発、橋梁マネジメントシステムの高度化、舗装マネジメントシステムの実用化を図る。

2.3 研究の効果

構造物の健全度診断技術、補修技術、戦略的維持管理手法の開発により、今後劣化が進行する膨大な量の社会資本ストックに対し、適切な時期に適切な補修を行うことによる構造物の延命化、更新時期の平準化、補修・更新費用の最小化、ライフサイクルコストの最小化等が図れ、安全で供用性の高い社会資本ストックの効率的活用に貢献できる。

具体的には、非破壊検査や各種モニタリング技術の活用により、構造物の健全度診断が効率的に行えるようになる。また、症状に応じた適切な補修技術が容易に選定できるようになり、現場での対応が迅速に行える。さらに、提案した構造物カルテやライフサイクルコスト算定方法等を用いた戦略的かつ効率的な構造物のマネジメントが可能になる。

2.4 個別課題の構成

本重点プロジェクト研究では、上記の目標を達成するため、以下に示す10の研究課題を設定している。

- ①鋼構造物の劣化状況のモニタリング手法に関する調査（平成12～15年度/橋梁構造チーム）
- ②橋梁などの下部構造の健全度評価手法に関する研究（平成13～16年度/基礎チーム）
- ③アースアンカーの健全度診断・補強方法に関する研究（平成14～17年度/施工技術チーム）
- ④既設コンクリート構造物の補修技術の開発（平成12～15年度/構造物マネジメントチーム）
- ⑤舗装の低騒音・低振動機能の回復に関する研究

Research on Evaluating the Soundness of Infrastructure Stock and Its Remedial Techniques

(平成12～14年度/舗装チーム)

- ⑥既設トンネルの補修・補強技術の開発 (平成12～16年度/トンネルチーム)
- ⑦コンクリート構造物の維持管理計画に関する研究 (平成12～15年度/構造物マネジメントチーム)
- ⑧鋼橋塗替え処理技術の高度化に関する研究 (平成13～17年度/先端技術チーム・新材料チーム)
- ⑨橋梁の健全度評価と維持管理システムの高度化に関する研究 (平成13～16年度/橋梁構造チーム)
- ⑩舗装マネジメントシステムの実用化に関する研究 (平成13～15年度/舗装チーム)

3. 構造物の健全度診断技術の開発

3.1 鋼構造物の劣化状況のモニタリング手法に関する調査

鋼構造物の劣化状況のモニタリング手法に関する調査においては、橋梁のモニタリングへの基礎検討として、実橋における長期計測を行い、橋梁各部の応力の時間変動と活荷重・温度変化の傾向との関係を把握した。

また、試験橋を対象として解析モデルを作成し、橋梁の実挙動を概ね再現可能なモデルを作成するとともに、各種変状の感度解析を行い、モニタリングの適用限界を明らかにした (図-1)。

さらに、これらの結果等を踏まえ、実務への適用の観点から、モニタリング技術の適用対象、活用方法等を整理し、とりまとめを行った。とくに、3次元FEM解析における変状感度分析の結果、限られた変状ケースであるが、変状による応力の変化量は概して小さく、変状を特定した上で局所的な応力集中箇所をねらった測定を行うか、橋梁全体に網羅的にセンサを設置しない限り、変状監視のためのモニタリングは実務的には難しいことが確認された。

3.2 橋梁などの下部構造の健全度評価に関する研究

橋梁などの下部構造の健全度評価に関する研究においては、洗掘を受けた基礎の耐力算定モデル

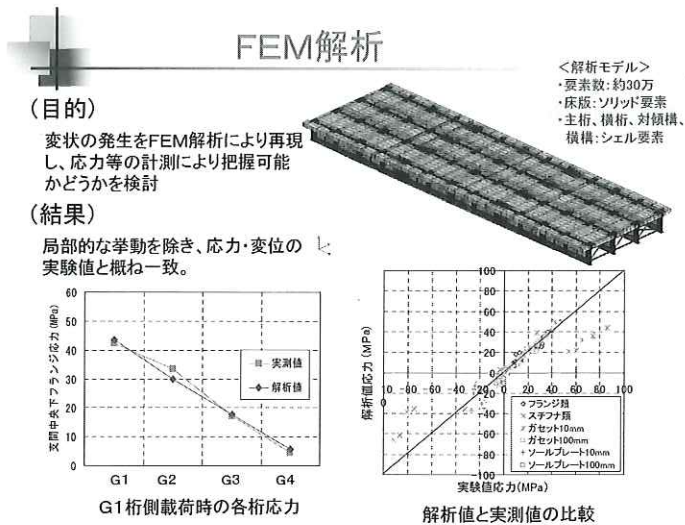


図-1 試験橋を対象として解析モデル

を提案し、各基礎形式の安全余裕度を検討した。その結果、基礎形式による安全余裕度の違いや、杭基礎であっても杭の種別によって安全余裕度が異なることがわかった。

また、洗掘の予測手法に関して、実際の洗掘データを基に洗掘推定式の検証を行った。

3.3 アースアンカーの健全度診断・補強方法に関する研究

アースアンカーの健全度診断・補強方法に関する研究においては、施工後長期間経過したアンカーの実際の状況について調査を行った。この結果、引張り材には損傷等の問題は確認されなかったが、頭部及びその背面において防食機能の低下が殆どのアンカーで確認された。このような問題は、他の現場の同様のアンカーでも予想されるので、アンカーの延命化を図るために補修・改良方法の実用性の検討を早急に行う必要がある。



図-2 アンカーの超音波探傷試験

また、超音波探傷試験に関して一連の基礎的試験を実施し、その適用性の目処を得た(図-2)。

4. 構造物の補修技術の開発

4.1 既設コンクリート構造物の補修技術の開発

既設コンクリート構造物の補修技術の開発においては、コンクリート構造物のひび割れへの樹脂注入や、劣化部分を取り除いてコンクリートを打ち直す断面補修技術について、その工法選定や施工性、補修結果に対する評価法を提案することを目標としている。

まず、ひび割れ補修工法については、鉄筋を有する試験体に人工的にひび割れを発生させ、このひび割れに対して各種のひび割れ補修工法を実施し、これによる鉄筋の腐食防止効果を測定することで、各種ひび割れ補修工法の特性と効果を明らかにした。そして、これをもとにひび割れ補修に関する工法選定手法の提案を行った。

具体的には、1) 塩分環境が厳しい場合は、低圧注入等のひび割れを完全に塞ぐ工法が良い、2) 0.2mm以下のひび割れに対しては塗布(浸透)も有効である、3) 表面被覆も有効であるがメンテナンスが重要である、4) 特に母材のW/Cが高い場合は表面被覆が必要である、といった知見を示した。

また、断面補修工法についても、次のような工法選定手法の提案を行った。

- 1) コテ塗りは小規模補修に適する。吹付けは合理的であるが、材料のロスが大きい。注入は、大規模補修に有利であるが、膨張材の混入が必要で、乾燥ひび割れに注意が必要である。
- 2) はつり面の下地処理には、プライマー処理が適する。
- 3) 乾燥ひび割れ防止には、膨張のピークからの収縮量の小さな材料を選定する必要がある。
- 4) 補修材はもとより、母材との接触面の耐久性照査が重要である。

4.2 舗装の低騒音・低振動機能の回復に関する研究

舗装の低騒音・低振動機能の回復に関する研究においては、舗装の騒音低減機能の回復手法の提案(図-3参照)と、表層・基層の更新による振動低減機能の回復技術の開発を目標としている。

これまで、現道で排水性舗装の清掃による機能回復作業および各種分析を行い、排水性舗装の配合により清掃効果が異なることや、路線により詰

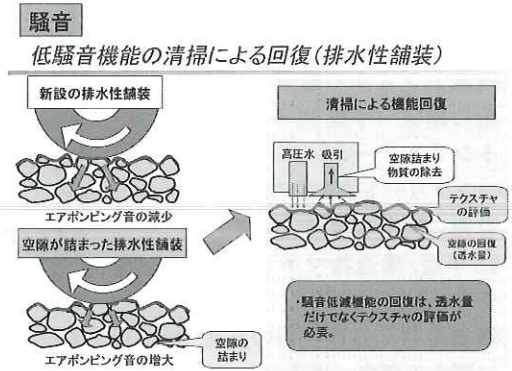


図-3 舗装の騒音低減機能の回復手法

まり物の特性が異なることを明らかにした。また、長期間清掃を行っていない排水性舗装においては、洗浄による機能回復はほとんど期待できず、高い機能回復効果を得るにはかなり早い時期に洗浄を行う必要があるといった知見が得られている。

4.3 既設トンネルの補修・補強技術の開発

既設トンネルの補修・補強技術の開発においては、コンクリート片はく落防止の一工法として用いられる鋼板接着工に対して、耐力の決まる力学的メカニズムを押抜き載荷試験(写真-1)により調べた。

また、全周に等荷重が作用して圧縮せん断破壊が発生した状態を模擬した覆工供試体に内面補強工として実施した内巻きコンクリート工の力学特性を、実大規模の覆工載荷試験(写真-2)により明らかにした。

なお、コンクリート片剥落防止工については、施工後の覆工表面でひび割れ観察が可能な工法を目指しており、1) 補強ネットと接着樹脂の組み合わせ、2) メッシュ状繊維シートと接着樹脂の

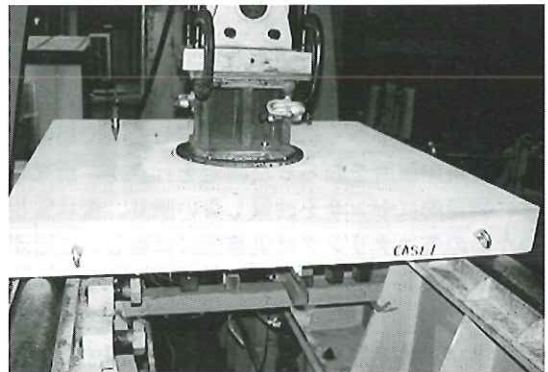


写真-1 トンネル覆工の押抜き載荷試験



写真-2 実大規模の覆工載荷試験

組み合わせを検討している。

また、覆工内面補強工としては、1) 繊維混入モルタルの内巻き、2) 繊維混入モルタルの吹付け+鋼板補強、3) 薄肉PCL版の内巻き、4) 繊維混入コンクリートの吹付けを検討の対象としている。

4.4 鋼橋の塗替え処理技術の高度化に関する研究

鋼橋の塗替え処理技術の高度化に関する研究においては、鋼橋の耐久性確保に不可欠な定期的な塗替え塗装の塗膜耐久性を左右する素地調整に着目し、塗装間隔の延長化と維持管理の効率化が図れる塗替え塗装時の素地調整技術の開発を目標としている。

これまで、塗膜の耐久性に影響を及ぼす素地調整の品質のうち、外観目視では取り扱うことが困難な付着塩分の処理について現況の鋼橋の付着塩分量について調査した。その結果、鋼橋の塗替えにおいて塗膜が劣化し錆の発生が見られる部分については、プラスト処理を行った後も付着塩分が残留し、許容付着塩分量を上回る可能性が大きいことを明らかにした。

また、複合サイクル試験 (JIS Z5621) の日数と塩分付着量との関係を導き出すことによって、現況の鋼橋に近い試験片を作成できるようにした。

5. 構造物の維持管理システムの開発

5.1 コンクリート構造物の維持管理計画に関する研究

コンクリート構造物の維持管理計画に関する研究では、非破壊試験を活用したコンクリート構造物の健全度診断技術と、これを用いた構造物群の維持管理計画策定手法の提案を目標としている。

研究項目は、①構造物の劣化実態の調査およびいくつかの実構造物に対する試行的な健全度診断、②鉄筋腐食度、かぶりコンクリートの品質、コン

クリート中の塩分量等に関する調査技術の改良、③ひび割れが鉄筋の腐食に与える影響の確認、④非破壊試験等を活用したコンクリート構造物の総合的な健全度診断技術手法のとりまとめ、および活用例の提示などである。

その結果、自然電位法による鋼材の腐食確率推定や反発度法によるコンクリート強度推定について、既存の調査法を改善するための知見が得られた。さらに、これらの成果を合わせて、合理的にコンクリート構造物の定期点検等を行うための「非破壊試験を用いた土木コンクリート構造物の健全度診断マニュアル」を発刊した。また、診断マニュアルやその支援ソフトを使用して、維持管理戦略を検討する例を示した。

なお、いくつかの個別の調査技術については、国土交通省の竣工時検査 (テストハンマーを用いた強度推定調査) や維持管理指針 (次期橋梁点検要領、現在作業中) に反映されるなど、有用な成果を得ることができた。

5.2 橋梁の健全度評価と維持管理システムの高度化に関する調査

橋梁の健全度評価と維持管理システムの高度化に関する調査においては、橋梁点検データを用いた劣化予測の考え方を整理するとともに、直轄工事事務所と連携し、管内の橋梁を対象として、各種補修補強対策のシナリオを与えた場合の補修費用と損傷度の将来推移に関するケーススタディを行った。

5.3 舗装マネジメントシステムの実用化に関する研究

舗装マネジメントシステムの実用化に関する研究では、1) 道路管理者、道路利用者、沿道住民などの視点からの舗装の管理目標の設定、2) ライフサイクルコストの算定方法の提案、3) 舗装の管理目標とライフサイクルコストを考慮した戦略的維持管理手法の提案を目標としている。

平成15年度は、最終年度として、道路管理者、道路利用者、沿道住民などの視点を考慮した舗装の管理目標及びライフサイクルコストについて、海外文献により管理目標の考え方を整理し、道路管理者、道路利用者等の視点からの管理目標の概念を明らかにするとともに、道路管理者、道路利用者等の視点を考慮したLCCの算定方法を提案し、マニュアルにとりまとめた。

ただし、舗装の管理目標とLCCを考慮した戦略的維持管理手法の提案のためには、具体的な管理

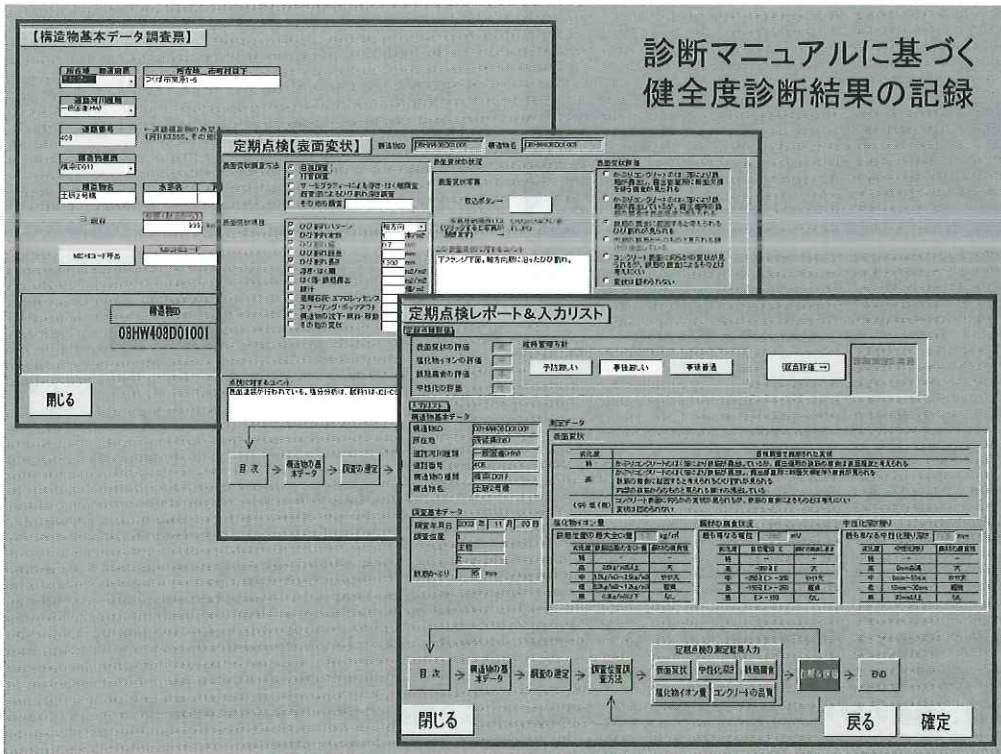


図-4 構造物カルテの例⑤

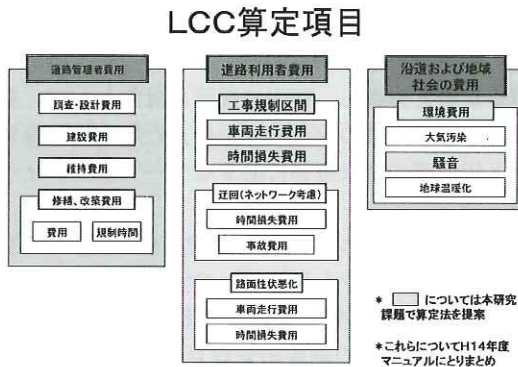


図-5 道路管理者、道路利用者等の視点を考慮したLCCの算定項目

目標値の設定や供用性曲線の精度向上等の課題が残された。

6. 今後の課題

6.1 構造物の健全度診断技術の開発

既に膨大なストックがある既設構造物を限られた予算の下で適切に維持管理していくためには、構造物の状態を的確かつ効率的に把握する健全度診断技術が不可欠である。

「鋼構造物の劣化状況のモニタリング手法」に

関しては、モニタリングで鋼道路橋の変状を捉えるには、実務的に課題が多く、腐食、疲労ともに変状の特徴、進行性から目視点検が優位にあるという結論が得られた。ただし、モニタリング技術の活用方法の例として、次のような場合が考えられるので、今後には本研究の成果を活かしていきたい。

- ・変状確認後の恒久対策までの進展性の監視
- ・応力計測による耐荷力評価、対策効果確認
- ・活荷重計測
- ・特定橋梁のリアルタイム震害監視
- ・目視不可の部位の状態把握（超音波探傷等）

次に、「橋梁などの下部構造の健全度評価」に関し、実際の洗掘データに基づいて検証した洗掘推定式をもとに、洗掘に対する安定度評価表の提案を行っていく予定である。

さらに、「アースアンカーの健全度診断・補強方法」については、今後、超音波探傷試験法の実現場での適用性の検証を行うとともに、健全性に問題があるアンカーの補修・補強方法や斜面全体を考慮した総合的な健全性評価と補修・補強方法の提案を行っていく予定である。

6.2 構造物の補修技術の開発

構造物の補修技術については、現在のところ各

種補修工法の選定法や効果についての指標がなく、現場では対応に苦慮している。

「既設コンクリート構造物の補修技術」に関しては、ひび割れへの樹脂注入や、劣化部分を取り除いてコンクリートを打ち直す断面補修技術について、工法選定手法の提案を行った。

「舗装の低騒音・低振動機能の回復」に関しては、清掃などによる舗装の騒音低減機能の回復技術ならびに補修などによる振動低減効果の付加技術について提案をとりまとめていく予定である。

さらに、「既設トンネルの補修・補強技術」については、コンクリート片はく落防止の一工法として用いられる鋼板接着工と、全周に等荷重が作用して圧縮せん断破壊が発生する場合における覆工の内面補強工としての内巻きコンクリート工の設計手法を開発するとともに、老朽化したトンネルの変状発生原因に応じた各種補修・補強工の設計手法を提案していく予定である。

また、「鋼橋の塗替え処理技術」においては、鋼橋の耐久性確保に不可欠な定期的な塗替え塗装の塗膜耐久性を左右する素地調整における付着塩分量の実態をふまえ、より確実な素地調整技術の提案と高耐久性塗料の開発を行っていく予定である。

6.3 構造物の維持管理システムの開発

「コンクリート構造物の維持管理計画」に関しては、非破壊試験を活用したコンクリート構造物の健全度診断技術と、これを用いた構造物群の維持管理計画策定手法をまとめた「非破壊試験を用いた土木コンクリート構造物の健全度診断マニュアル」やその支援ソフトの普及を図っていく予定である。

「橋梁の健全度評価と維持管理システム」に関しては、橋梁の損傷度と補修工法の選定の考え方等についてさらに検討を進め、橋梁マネジメントシステムの改良を行う予定である。

さらに、「舗装マネジメントシステムの実用化」に関しては、舗装の具体的な管理目標値の設定や、現場のデータ収集等を通じた供用性曲線の精度向上を図っていく必要がある。

7. おわりに

本研究は、平成17年度が最終年度であり、一部、既に現場で使われ始めている成果もあるが、ほとんどの成果はこれからその真価が問われることになる。

これから顕在化する社会資本ストック高齢化時代に備えて、本研究の成果がこれまでに蓄積された膨大な社会資本ストックを丈夫で長持ちさせるための技術として大いに活用されるよう、今後、成果の集大成と現場への普及を図っていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 独立行政法人土木研究所：平成15年度重点プロジェクト研究報告書、平成16年3月
- 2) 村越 潤、麓興一郎、高木伸也、次村英毅：部材応力のモニタリングによる鋼橋の状態監視に関する基礎検討、土木技術資料、Vol.45, No.8, 2003.8, pp.26-31
- 3) 石田雅博、野々村佳哲、福井次郎、大塚雅裕洗掘による道路橋基礎の被害実態とその対策、土木技術資料、Vol.45, No.8, 2003.8, pp.20-25
- 4) 片平 博、河野広隆：各種コンクリート用断面補修工法の施工性・付着性および耐久性に関する研究、土木技術資料、Vol.45, No.8, 2003.8, pp.32-37
- 5) 土木研究所、日本構造物診断技術協会：「非破壊試験を用いた土木コンクリート構造物の健全度診断マニュアル」、技報堂出版、2003.10
- 6) 箱石安彦、石村利明、真下英人：トンネル覆工コンクリートはく落防止工法、土木技術資料、Vol.46, No.12, 2004.12, pp.52-57
- 7) 箱石安彦、石村利明、真下英人：変状が生じたトンネルの内面補強工法、土木技術資料、Vol.46, No.12, 2004.12, pp.46-51
- 8) 谷口 聡、吉田 武：舗装データベースを用いた供用性曲線作成手法に関する研究、土木学会舗装工学論文集、第7巻、2003.12, pp.22-1~22-10
- 9) 藪 雅行、伊藤正秀：舗装マネジメントシステムの構築、土木技術資料、Vol.46, No.12, 2004.12, pp.28-33
- 10) 谷口 聡、伊藤正秀：舗装の管理目標—欧米諸国における実態を中心として—、土木技術資料、Vol.46, No.12, 2004.12, pp.34-39

三木博史*



独立行政法人土木研究所技術推進本部長、工博
Hiroshi Miki