

10. 道路構造物の維持管理技術の高度化に関する研究

研究期間 : 平成 18 年度～22 年度
 プロジェクトリーダー : 橋梁構造研究グループ長 桑原 徹郎
 研究担当グループ : 材料資源研究グループ (新材料、基礎材料)、地質・地盤研究グループ (施工技術)、道路技術研究グループ (舗装、トンネル)、橋梁構造研究グループ

1. 研究の必要性

国土交通省が所管する膨大な道路構造物を効率的に維持管理していくためには、損傷・変状に対する客観性・信頼性の高い調査点検技術、調査点検結果に基づく適切な診断技術、合理的な補修・補強技術の各要素技術を開発するとともに、それぞれを有機的に結合し、戦略的にマネジメントしていくシステムを構築する必要がある。

前中期計画までの研究において、個々の要素技術については、一応の成果を上げつつある。しかし、多様な現場条件に対応した維持管理を実施していくためには、さらに多くの要素技術を開発する必要がある。また、これらの要素技術を有機的に結合するシステムについて、これまでの検討は十分ではない。

2. 研究の範囲と達成目標

本重点プロジェクト研究では、道路構造物の維持管理技術について、緊急度の高い要素技術を開発するとともに、補修・補強の要否の判断、優先順位付け等の作業を支援するアセットマネジメントの概念に基づくシステムについて検討することを研究の範囲とし、以下の達成目標を設定した。

- (1) 新設構造物設計法の開発
 - ・土構造物の排水施設の設計法
- (2) 調査・点検手法の開発
 - ・土構造物の排水性能の調査技術
 - ・コンクリート中塩分調査箇所選定手法
 - ・トンネル変状原因推定法
- (3) 診断・評価技術の開発
 - ・既設コンクリート道路橋の耐荷性能評価手法
 - ・橋全体系の耐荷性能を考慮した状態評価手法
 - ・道路橋診断・対策事例ナレッジDBの構築
- (4) 補修・補強技術の開発
 - ・土構造物排水機能回復技術
 - ・コンクリート中の塩分除去技術
 - ・コンクリート補修補強材料耐久性評価技術
 - ・鋼橋防食工の補修技術
 - ・鋼床版補修補強技術
- (5) マネジメント技術の開発
 - ・舗装管理目標設定手法
 - ・舗装維持修繕手法
 - ・トンネル変状対策工選定手法

3. 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、以下に示す研究課題を設定した。

- (1) 土構造物の排水性能向上技術に関する研究（平成 18～21 年度）
- (2) 塩害を受けるコンクリート構造物の脱塩による補修方法に関する研究（平成 17～19 年度）
- (3) 被覆系コンクリート補修補強材料の耐久性に関する研究（平成 17～21 年度）
- (4) 鋼橋防食工の補修に関する研究（平成 18～22 年度）
- (5) 既設鋼床版の疲労耐久性向上技術に関する研究（平成 16～20 年度）
- (6) 舗装の管理目標設定手法に関する研究（平成 17～21 年度）
- (7) 効率的な舗装の維持修繕手法に関する研究（平成 18～22 年度）
- (8) 既設トンネルの変状対策工の選定手法に関する研究（平成 17～19 年度）
- (9) 既設コンクリート道路橋の健全性評価に関する研究（平成 20～22 年度）
- (10) 既設鋼橋の致命的な損傷を防ぐための状態評価技術に関する研究（平成 20～22 年度）
- (11) 道路橋の診断・対策事例ナレッジDBの構築に関する研究（平成 20～22 年度）

4. 研究の成果

本重点プロジェクト研究の個別課題の成果は、以下の個別論文に示すとおりである。なお、「2. 研究の範囲と達成目標」に示した達成目標に関して要約すると以下のとおりである。

(1) 新設構造物設計法の開発

予見される条件変化により、安全率が低下し、対策工が必要となることを避けるため、予め対策工を実施する設計法を提案した。

「土構造物の排水性能向上技術に関する研究」においては、土構造物の排水施設の設計法の提案について、被災事例の多い傾斜地盤上に腹付け盛土を新設する場合を想定し、土槽実験により盛土内に排水ブランケットを敷設することによる水位低下の効果を確認した。これをもとに、盛土高・盛土内水位（地山からの湧水供給）・盛土材の土質条件をパラメータとして、排水ブランケットの効果に関する円弧すべり法による安定計算を行った。その結果、盛土底部にブランケットを敷設しておくことによって、水位上昇した場合であっても、安全率の低下が緩和される効果が定量的に把握できるようになった。

(2) 調査・点検手法の開発

構造物の変状を把握するために必要な調査項目を提案するとともに、その調査項目の直接的な測定と、間接的な推定方法を提案した。

「土構造物の排水性能向上技術に関する研究」においては、土構造物の排水性能の調査技術の開発について、既設盛土の盛土内水位を把握するための非破壊探査技術の適用性を検討した結果、観測孔による水位モニタリングと同等の精度ないし確実性のある探査技術がないことがわかった。そのため、現地踏査でわかった湧水等の痕跡から盛土内水位を推察し、すべり安定性の早見表を参照しながら概略検討を行い、安定性に懸念がある場合には水位モニタリングを実施し、対策として水平排水パイプ打設のみで有効か、その他の対策の併用が必要かの判断を行う手法を提案した。

「塩害を受けるコンクリート構造物の脱塩による補修方法に関する研究」においては、コンクリート中塩分調査箇所選定手法について、電気化学的脱塩を行う際に、電流密度分布の解析結果から補修効果を得られる範囲を明らかにする解析手法を開発した。また、骨材のアルカリシリカ反応性の試験などについての知見を取りまとめた。これらを整理して、脱塩の適用性を検討するために行う事前の塩分調査手法をとりまとめた。

「既設トンネルの変状対策工の選定手法に関する研究」においては、定期点検・調査データから変状の発生原因を推定する手法を提案することを目標としている。本研究により、現場の技術者が点検・調査結果から得られたひび割れパターン、トンネルの条件（施工法、地質、気象条件等）、ひび割れの特徴（進行性の有無、貫通の程度、性状、集中度等）を組み合わせることでひび割れの発生原因を特定するためのチャート（案）を作成し、対策に緊急性を要する外力によるトンネル変状とそれ以外の材質劣化等によるトンネル変状とを見分けることを可能にした。

(3) 診断・評価技術の開発

調査結果から健全度または変状度を診断する手法および、現地試験に基づく、または、解析に基づく健全度評価の手法を提案した。また、実務における健全度評価についての判断記録のデータベース化に取り組んだ。

「既設コンクリート道路橋の健全性評価に関する研究」においては、損傷の生じた材料の機械的性質の把握を目標とし、塩害を受けて撤去された PC 橋から採取した PC 鋼材を用いて断面形状の計測、引張試験、疲労試験を実施した。その結果、断面の欠損状態を評価することで残存耐力を適切に評価できること、腐食量の小さい範囲では疲労が深刻となる可能性は低いことが分かった。また、損傷状況等に応じた既設コンクリート道路橋の耐荷性能評価手法の提案を目標とし、鋼材腐食の生じた PC はり部材のせん断耐荷性能、同じく RC はり部材の曲げ耐荷性能を確認する載荷試験を実施した。その結果、鋼材腐食の生じた PC はり部材では鋼材の腐食状況から斜めひび割れ発生までの残存せん断耐荷力を、同じく RC はり部材では鋼材の質量減少率と曲げ耐荷力の減少の関係を推定できることが分かった。

「既設鋼橋の致命的な損傷を防ぐための状態評価技術に関する研究」においては、既設鋼橋の耐荷性能評価手法について、道路管理者の協力を得て、長期供用され劣化損傷の見られる鋼トラス橋および鋼 I 桁橋を対象とした現地載荷試験を行い、全体挙動を把握するとともに、既設橋の耐荷性能を評価するための構造解析におけるモデル化の方法を提案した。また、鋼トラス橋の主構部材（斜材及び格点部）を対象に、腐食状況調査および FEM 解析により、構造的弱点となり得る部位を明らかにするとともに、腐食を模擬したパラメータ解析を行い、斜材及び格点部の残存耐荷力を概略推定する方法を提示した。さらに、一主構部材が破断した場合の全体挙動への影響解析を行い、橋全体系の耐荷性能を表現するための一手法を提示した。

「道路橋の診断・対策事例ナレッジDBの構築に関する研究」においては、橋梁維持管理の合理化等を資するナレッジデータベースを開発・運用し、継続的に知見を体系化・普遍化・高度化する仕組みの構築を目的としている。成果としては、既往の技術相談事例での対応、国外の事例、研究開発や基準類への反映例等を分析・整理し、要求される事項を明らかにした上で、症例・診断に係る知見の蓄積・分析に基づくナレッジデータベースを開発した。また、蓄積された知見のうち、速やかに道路管理者間で共有すべき情報について、国土交通省で実施する橋梁担当者会議、雑誌（土木技術資料「現場で学ぶメンテナンス」シリーズ等）などの媒体を通じて周知する仕組み、道路橋示方書をはじめとする基準類の策定・改訂や、研究開発への反映につながる仕組み及び過去の技術相談事例に対するフォローアップにより、処置の効果を検証し、今後の改善に反映できる仕組みを整えた。

(4) 補修・補強技術の開発

多様な道路構造物の変状に応じた補修・補強技術を提案し、その適用性や耐久性に関する評価を行った。

「土構造物の排水性能向上技術に関する研究」においては、土構造物排水機能回復技術の開発について、被災事例の多い傾斜地盤上の既設の腹付け盛土を想定し、土槽実験により盛土内に水平排水パイプを打設することによる水位低下の効果を確認した。これをもとに、盛土高・盛土内水位（地山からの湧水供給）・盛土材の土質条件をパラメータとして、水平排水パイプの打設効果に関する円弧すべり法による安定計算を行った。その結果、水位上昇した場合であっても、水平排水パイプを打設することによって、安全率の低下が緩和される効果が定量的に把握できるようになった。

「塩害を受けるコンクリート構造物の脱塩による補修方法に関する研究」においては、コンクリート中の塩分除去技術について、塩害を受けた鉄筋コンクリート部材の効率的な補修方法として期待される電気化学的脱塩について、民間企業・大学との共同研究を行い、電気化学的脱塩の適用性を検討するための事前調査方法、施工時の品質管理手法、施工後の補修効果の確認手法などを整理し、「電気化学的脱塩工法による補修ガイドライン(案)」としてとりまとめた。

「被覆系コンクリート補修補強材料の耐久性に関する研究」においては、開発されている様々な工法の合理的な選定のために必要なライフサイクルを通じたコスト評価の基本となる、適用環境に応じた耐久性に関する基礎資料を得るとともに耐久性評価手法をまとめることを目標とした。塩害及び ASR 対策用表面被覆材、連続繊維シート補強材、表面浸透性保護材等の材料・工法について、これまでに実施してきた長期暴露供試体や補修構造物の調査結果から、各種被覆系工法の供用環境ごとの適用性や耐久性に関する情報を整理した。さらに、被覆材の

補修効果に大きな影響を与える施工時の温湿度環境について、養生および塗布条件を変化させた材料試験を行い接着強度等への影響を評価し、被覆材の信頼性向上のための施工環境評価手法の基礎資料を得た。これらの調査・試験結果に基づいて、耐久性向上を目指した被覆材の選定法、施工条件、品質評価法をとりまとめた。

「鋼橋防食工の補修に関する研究」においては、耐候性鋼橋梁（90 橋）、塗装で補修された耐候性軀橋梁（4 橋）、塗装で補修された溶融亜鉛めっき橋梁（3 橋）、金属溶射を適用した橋梁（2 橋）、金属溶射で補修された橋梁（1 橋）を調査した。また、耐候性鋼材、溶融めっき、金属溶射が異常劣化した場合、劣化程度による最適な補修方法（素地調整程度、素地調整方法、補修塗装系、金属溶射など）を明らかにするため、これら防食法を施し劣化させた試験片などを、その劣化程度に応じて素地調整程度と素地調整方法を組み合わせ、塗装および金属溶射で補修した試験片を作成して厳しい腐食環境の沖縄と山間部の朝霧で暴露試験を行った。さらに異常腐食した耐候性鋼の塗装による補修のための素地調整方法と素地調整による付着塩分量の除去程度などについて検討した。これらの調査・試験結果に基づいて、各種防食工（耐候性鋼材、溶融亜鉛めっき、金属溶射）の適応環境条件の見直しと塗装による補修方法の提案を行った。

「既設鋼床版の疲労耐久性向上技術に関する研究」においては、デッキプレートとUリブ間の溶接部のき裂など、鋼床版溶接部に顕在化している疲労損傷に対して、損傷原因の解明と補修・補強工法の提案を行った。具体的には、損傷事例の調査、鋼床版構造のFEM解析及び輪荷重走行疲労試験によって、き裂発生メカニズム解明、影響因子の分析を行うとともに、鋼繊維補強コンクリート（SFRC）舗装や当て板補強等による耐久性向上策を提案し、各補修・補強工法による応力軽減・疲労耐久性向上の効果について検証を行った。得られた成果は技術資料としてとりまとめるとともに、SFRC舗装による補強工法に関しては設計・施工マニュアル（案）を提示した。

(5) マネジメント技術の開発

調査点検により得られた結果をもとに、変状や損傷の程度を評価し、管理目標に応じた対策工法の選定を行うマネジメント技術を提案した。

「舗装の管理目標設定手法に関する研究」においては、管理目標設定の技術的根拠を明らかにするとともに、実情に応じた舗装の管理目標値の設定手法をとりまとめることを目的としている。本研究については、舗装の管理目標の概念、設定の手順等管理目標設定にあたっての考え方をとりまとめるとともに、ユーザーサービスの視点から管理目標を設定するにあたっては道路管理者が提供する走行速度に関するサービスレベルや道路利用者の満足度レベル等を踏まえて設定することが可能であること、及び舗装の構造的健全度との関係ではひび割れが最も関連が高いことを明らかにしその関連性に着目してひび割れに関する新たな指標を提案した。

「効率的な舗装の維持修繕手法に関する研究」においては、維持工法も含めた効率的な維持修繕手法を提案することを目標としている。本研究については、シール工法に関して用いられるシール材の品質規格（案）を提案した他、路面に亀甲状のひび割れが発生するほど劣化が進行する前に実施した方が好ましいこと、シール工法実施時の施工上の留意事項等を取りまとめ、また劣化が進行した場合はクラックカットシール工法の適用も考えられることを明らかにした。パッチング工法に関しては、求める性能に応じて使用材料の選定に配慮すべきことや特に夏季を中心に施工後に日常管理上注意が必要なことを明らかにした。また、乳剤を用いた表面処理工法は軽交通道路を対象にその適用が考えられること、切削オーバーレイ工法を行う場合は、事前に基層の状況を確認した上で施工範囲を決定した方が好ましいことを明らかにした。さらに、排水性舗装維持修繕工法に関して、基層の状態の確認が重要であること等を明らかにした。これらの成果をとりまとめ、維持工法も含めた効率的な維持修繕手法や排水性舗装の維持修繕手法を提案した。

「既設トンネルの変状対策工の選定手法に関する研究」においては、トンネル覆工の対策工の種類と規模を変状状態に応じて選定する方法を提案することを目標としている。本研究により、覆工コンクリートにひび割れ、うき等が発生している場合のコンクリート片の落下を防止するはく落対策工について、設計の考え方、概ねの適用範囲等を取りまとめ、はく落規模に応じたはく落対策工の選定を可能にした。また、トンネルに土圧などの外力が作用している場合の覆工の耐荷力の向上等を目的とする外力対策工について、対策工の効果および適用の考え方をとりまとめ、トンネルに作用している外力の種類に応じた対策工の選定を可能にした。

RESEARCH ON ADVANCEMENT OF MAINTENANCE TECHNOLOGY FOR HIGHWAY STRUCTURES

Abstract : Now with the decreasing funds available for new infrastructure because of the falling birthrate and aging society, we need to carry out rational repair and reinforcement that is based on the result of the precision inspection and diagnosis done on damaged highway structures which support our life and economic activities. However, because there are many highway structures under various conditions, we are being asked to make more advances in maintenance technology. To develop the maintenance technology, the following research projects were conducted:

- 1) Improvement of drainage system for road embankments and retaining walls;
- 2) Research on the desalination method for concrete structures deteriorated by salt attack;
- 3) Research on durability of coating system for concrete repair and reinforcement materials;
- 4) A study on repair of steel bridge anti-corrosion methods;
- 5) Research on improvement of fatigue durability for existing orthotropic steel decks
- 6) A study on institution of rational pavement management index;
- 7) A study on maintenance mending technique of efficient pavement;
- 8) Study on selection method for countermeasures against deformation in existing tunnel;
- 9) Study on load-carrying capacity of existing concrete bridges;
- 10) Research on evaluation technique for preventing from fatal damage of existing steel bridges; and
- 11) Developing The Knowledge Database of Structural Diagnosis, Prognosis, and Rehabilitation for Damaged Highway Bridges.

Key words : maintenance, bridge, earth structure, tunnel, pavement, management