

13. 社会資本をより永く使うための維持・管理技術の開発と体系化に関する研究

研究期間：平成 23 年度～27 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：技術推進本部（先端技術）、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）、土工研究グループ（土工構造物）、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、寒地保全技術研究グループ（耐寒材料）

1. 研究の必要性

高度経済成長にあわせて加速度的に整備を進めてきた社会資本のストックが、今後、一斉に更新時期を迎えるが、国・地方の財政の逼迫やそれに伴う管理体制の制約等から、従来型の維持管理手法では更新すら容易でないと懸念されている。なかでも、構造物・設備等の重大損傷は人命の安全に直接的に関わることから、安全の確保のため、持続可能で戦略的な維持管理の推進が求められている。

これまでの技術開発においては、各種構造物・設備における損傷・変状に対する精度の高い調査点検技術やその結果に基づく適切な診断技術、合理的な補修・補強技術等の個別要素技術が開発されるとともに、それぞれを有機的に結合し戦略的にマネジメントするシステムが開発されてきた。しかし、今後のストックの高齢化、財政的な制約、安全確保等を踏まえた場合、構造物・設備に求められる管理水準を社会的な重要度等に応じて合理的・体系的に差別化していくことが求められ、こうした管理水準に応じたストックマネジメントを支える要素技術及びそれらを組み合わせたマネジメント技術の開発が求められる。

2. 研究の範囲と達成目標

本プロジェクト研究では、各種構造物・設備について、社会的な重要度等に対応する管理水準に応じた合理的な維持管理の各種要素技術（調査・点検、診断・評価、補修・補強）及びマネジメント技術の開発を行うことを研究の範囲とし、以下の達成目標を設定した。

- (1) 管理水準に応じた構造物の調査・点検手法の確立
 - ・ 土工構造物の破壊モードや進行過程、変形と限界状態の関係性の明確化に基づく健全度評価手法の提案
 - ・ 路面性状の効率的取得技術の提案
 - ・ トンネルの重要度等に応じた管理水準設定に関する技術の開発とそれに基づく点検手法の提案
 - ・ 冗長性の低い橋梁（トラス・アーチ・PC 橋）の崩壊メカニズムを踏まえた調査手法の提案
- (2) 構造物の健全度・安全性に関する診断・評価技術の確立
 - ・ 土工構造物の変形の進行に合わせた安全性・とるべき対応策に関する診断・評価技術の提案
 - ・ ダムの各種劣化・損傷機構の類型化及び安全性に及ぼす影響度を踏まえた劣化・損傷評価手法の提案
 - ・ 既設舗装の構造的健全度評価方法の提案
 - ・ トンネルの安全状態を簡易に診断する手法の提案
 - ・ 橋全体の構造的冗長性を踏まえた橋梁（トラス・アーチ・PC 橋）の耐荷性能、安全性評価手法の提案
- (3) 構造物の多様な管理水準・構造条件・損傷状態に応じた効率的な補修・補強技術の確立
 - ・ 土工構造物の壁面・前面パネルの補修・補強技術
 - ・ コンクリート構造物補修工法の基本的な考え方及び材料・施工管理標準等の提案
 - ・ コンクリート補修材料の国際規格制定の場への成果の提示
 - ・ 幹線道路におけるライフサイクルを見据えた維持修繕手法の提案
 - ・ 生活道路における簡略的な維持修繕手法の提案
 - ・ 道路橋桁端部の腐食環境改善、安全性や施工性に配慮した補修方法の提示

- (4) 構造物や機械設備における管理水準を考慮した社会的リスク評価技術と、これを活用したマネジメント技術の確立
- ・ 個別の土木機械設備の維持管理手法の提案
 - ・ 関係する複数土木機械設備のグルーピングによる維持管理手法の提案
 - ・ 土木機械設備の総合的維持管理計画の立案手法及びその実施体制モデル・運用技術の提案
 - ・ ダム管理技術者支援のための基本計測項目・箇所選定手法の提案
 - ・ 道路橋の損傷リスク及びリスク発生による影響評価手法の提案
 - ・ 橋梁管理システムへの組み入れを想定した道路橋リスク評価手法の提案

3. 個別課題の構成

本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) 土木機械設備のストックマネジメントに関する研究（平成 23～27 年度）
- (2) 擁壁等の土工構造物の管理水準を考慮した維持管理手法の開発に関する研究（平成 23～27 年度）
- (3) コンクリート構造物の長寿命化に向けた補修対策技術の確立（平成 23～27 年度）
- (4) ダムの長寿命化のためのダム本体維持管理技術に関する研究（平成 23～25 年度）
- (5) 既設舗装の長寿命化手法に関する研究（平成 23～27 年度）
- (6) 道路トンネルの合理的な点検・診断手法に関する研究（平成 23～26 年度）
- (7) 落橋等の重大事故を防止するための調査・診断技術に関する研究（平成 23～27 年度）
- (8) 道路橋桁端部における腐食対策に関する研究（平成 23～27 年度）
- (9) 橋梁のリスク評価手法に関する研究（平成 23～27 年度）

4. 研究の成果

本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、平成 23 年度に実施してきた研究と今後の課題について要約すると以下のとおりである。

(1) 管理水準に応じた構造物の調査・点検手法の確立

「擁壁等の土工構造物の管理水準を考慮した維持管理手法の開発に関する研究（土工構造物の破壊モードや進行過程、変形と限界状態の関係性の明確化に基づく健全度評価手法の提案）」においては、ジオテキスタイル補強土壁の傾斜模型実験により、破壊/変形モードおよび変状進行過程の解明等を行った。その結果、盛土材密度の違いにより壁面の変形モードが異なることを確認した。また、終局変位量は補強材長さの影響が大きいこと等を確認した。今後、盛土材のこぼれだしを対象とした変状進行過程の明確化や変状した強土壁が次の地震動の作用で限界状態を満足できるかどうかの明確化を行う。

「既設舗装の長寿命化手法に関する研究」においては、GIS を活用した位置特定技術や高精度カメラ、後付型車載加速度計など路面性状調査に活用しうる要素技術を収集・整理し、様々な手法・技術の活用を通じた効率的な路面性状取得技術の開発に関する共同研究を開始した。今後は共同研究を継続実施し、幹線道路から生活道路などそれぞれの道路の特性・管理水準に応じた効率的な路面性状調査手法を提案していくこととしている。

「道路トンネルの合理的な点検・診断手法に関する研究」においては、トンネルの重要度等に応じた管理水準設定に関する技術の開発とそれに基づく点検手法の提案を行うことを目標とし、その検討として覆工の材質劣化によって引き起こされることが多いき・はく落に対して、定量的に健全度を評価できると考えられる評価指標を抽出するとともに、実際のトンネルにおいて、変状の状況に関する観察・計測を行い、変状の進展に関するデータを収集し、はく落の観点から注目すべき変状現象区分を把握した。

「落橋等の重大事故を防止するための調査・診断手法に関する研究」においては、劣化損傷した橋梁部材を対象として調査・検査手法の検証を行った。腐食劣化を有する鋼トラス橋格点部を対象とした腐食量計測を実施し、腐食が進行しやすい箇所や腐食による減肉量について詳細な調査を実施した。また、塩害により劣化したポスト

テンション PC 桁を対象とした非破壊検査技術の適用性検証を行った。

(2) 構造物の健全度・安全性に関する診断・評価技術の確立

「ダム の 長 寿 命 化 の た め の ダ ム 本 体 維 持 管 理 技 術 に 関 す る 研 究」 にお いて は 劣 化 ・ 損 傷 機 構 の 類 型 化 に 向 け、コンクリートダムの劣化・損傷事象の発生傾向や発生原因について分析し、結果、現状ではダムの安全性を損なうものではないものの、クラックや漏水の発生が多いことがわかった。また、ダム堤体の安定性に影響を及ぼすおそれのある劣化（水平クラック、表面劣化が地震時のクラック進展特性に与える影響を数値解析的検討により把握した。また、堤体内部の劣化・損傷の検出手法の1つとして、常時微動計測の適用可能性について検討し、ダムの固有振動数は貯水位や気温により影響を受ける傾向があることを確認した。

「既設舗装の長寿命化手法に関する研究」においては、土圧計等各種計測機器を埋設した舗装の実大供試体を作製し繰り返し載荷実験を行った他、実道における既往のFWDたわみ量調査結果の逆解析による舗装各層の健全度調査を行った。この結果、繰り返し載荷に伴いアスコン層にはひび割れの発生に至らずとも疲労が蓄積する傾向があること、実道においても供用年数の経過と共に路盤の構造的健全度も低下する傾向があることを明らかにした。今後は同実験の継続実施等を通じ、舗装の構造的健全度の評価手法を提案していくこととしている。

「道路トンネルの合理的な点検・診断手法に関する研究」においては、トンネルの安全状態を簡易に診断する手法の提案を行うことを目標とし、トンネルの覆工に応力が発生しているかを簡易に判定し、致命的な損傷に至る可能性があるか否かを判断する手法の検討を行い、模型実験によりコンクリートに比較的高いレベルの圧縮ひずみが発生している状態を予測できる可能性があることが分かった。

「落橋等の重大事故を防止するための調査・診断手法に関する研究」においては、劣化が生じた橋梁部材の壊れ方や残存耐力力について把握するとともに耐力力を評価する手法の検討を行った。腐食劣化を有する鋼トラス橋の撤去部材を用いた載荷試験や腐食を考慮したFEM解析等を実施した。また、塩害により腐食したPC橋の撤去部材を用いた載荷試験を実施し、耐力力評価法について検討した。

(3) 構造物の多様な管理水準・構造条件・損傷状態に応じた効率的な補修・補強技術の確立

「コンクリート構造物の長寿命化に向けた補修対策技術の確立」においては、各補修工法における要求性能等に関する基本的な共通事項の整理を行うため、品質管理基準や試験法等の現状を調査し、検討項目の整理を行うとともに現地調査等による不具合事例や施工環境条件等の整理を行った。また、再劣化抑制のための室内試験、長期耐久性に与える影響を確認するための暴露試験や現地観測を開始した。今後は、要求性能など各種補修に共通する基本的考え方の素案作成、および試験・調査による耐久性の検証を行う。

さらに、ISO規格案（ISO16311の一次案）に関する意見照会（H23.9月）に対して、補修材の付着強度試験の試験方法や試験規格値、ひび割れ修復のコア充填率の測定方法や規格値について等、土研としての修正意見を提出した。今後は、ISO規格の確定に関して、今回の修正意見に伴う根拠資料の蓄積とそれに基づく品質評価方法の提案等を行い、国際規格制定の場へ意見や成果の提示を適宜行って行く予定である。

「既設舗装の長寿命化手法に関する研究」においては、道路統計年報における昭和30年度以降の舗装事業費について建設工事費デフレータを用いて整理を行った。その結果、市町村道の舗装新設事業費と舗装補修事業費に明確なピークが現れ、その間隔は概ね20年程度であった。今後は一度補修した箇所についても再補修のピークを迎えると考えられ、生活道路においてもより効率的な維持管理技術を開発していく必要性が高いことが分かった。今後は新たな表面処理工法など補修技術を収集整理し、生活道路における簡略的な維持管理技術に関する共同研究の実施等を通じ、ライフサイクルを見据えた維持修繕手法を提案していくこととしている。

「道路橋桁端部における腐食対策に関する研究」においては、塩害を受けたPC橋桁端部の調査・補修方法に関する基礎的検討として、定着体付近における削孔が周囲の応力状態と破壊性状に及ぼす影響を把握するため、実大コンクリート供試体を用いた載荷試験を実施した。その結果、円孔の位置によって、定着体付近の応力状態と破壊形態が大きく変化する状況を、コンクリート内部や円孔縁のひずみ測定により把握した。

(4) 構造物や機械設備における管理水準を考慮した社会的リスク評価技術と、これを活用したマネジメント技術の確立

「土木機械設備のストックマネジメントに関する研究」においては、個別の土木機械設備の維持管理手法として、ダム用ゲート設備の信頼性評価として FTA（故障木解析）による検討を行い、故障傾向の解析を行うとともに、複数施設を考慮した維持管理手法として、河川系土木機械設備を対象とした実在する排水機場とゲート設備群を含む複数施設を選定し、社会的影響度を評価するための要素モデルと水理・水文解析のソフトウェア作成に着手した。今後の課題としては、要素モデルの改良、氾濫原の解析、便益算定手法の検討などが必要である。

「ダムの長寿命化のためのダム本体維持管理技術に関する研究」においては、供用開始後長期間経過したダムにおいても計測を継続すべき箇所を選定の考え方について、重力式コンクリートダムを対象に検討し、堤体の規模・形状、基礎岩盤の条件、試験湛水時や過去の地震時の計測記録、大規模地震時の観測記録、大規模地震時の対応等の観点から計測を継続すべき箇所の例を抽出した。今後は、この考え方の実ダムの適用性を検証するため、いくつかのケーススタディを行う。

「橋梁のリスク評価手法に関する研究」においては、道路橋を構成する部材の損傷リスクを相対的・定量的に評価する手法とリスク発生による人命や社会への影響を定量的に評価する手法を検討し、橋梁管理体系に組み入れるリスク評価手法について提案することを目的としている。成果としては、先進事例である国外（英国）の道路橋リスク評価に関する事例及び国内での道路橋以外のリスク評価事例の収集・とりまとめを行い、我が国での道路橋リスク評価の参考となる知見をとりまとめた。例えば、国外事例である英国道路庁、ロンドン市では、損傷部材毎に発生確率、影響の程度を区分けし、リスク評価を行い、橋梁で一つのリスク値を算出し、橋単位での対策の優先順位付けを行っているなどの知見が得られた。

RESEARCH ON DEVELOPMENT AND ORGANIZATION OF MAINTENANCE TECHNOLOGY IN ORDER TO UTILIZE INFRASTRUCTURES FOR LONG DURATION

Research Period : FY2011-2015

Project Leader : Director of Bridge and Structural Engineering Research Group
KUWABARA Tetsuro

Research Group : Construction Technology Research Department (Advanced Technology)
Materials and Resources Research Group (Advanced Materials, Concrete and Metallic Materials)
Geology and Geotechnical Engineering Research Group (Construction Technology)
Hydraulic Engineering Research Group (Dam and Appurtenant Structures)
Road Technology Research Group (Pavement, Tunnel)
Bridge and Structural Engineering Research Group
Cold-Region Maintenance Engineering Research Group (Material)

Abstract : In the past development, independent elemental technologies of maintenance for damages and deteriorations of structures and facilities, such as high-precision survey and inspection, diagnosis based on them, and rational repair and reinforcement, were developed along with the development of strategic management systems that combine them in the organized manner. However, considering the aging stocks, financial restriction, securement of safety, and so forth, rational and organized differentiation of maintenance levels for structures and facilities depending on their social importance is required. And development of independent elemental technologies to support stocks based on their maintenance levels and management technologies which combine them is required. In order to achieve this, following research projects were conducted.

- 1) Research on the systematic technique of utilizing the existing machine plants effectively and attaining extension of life-span
- 2) Development of maintenance for earth structure with consideration for the control level
- 3) Establishment of repair technologies to prolong the service life of concrete structures
- 4) Maintenance technology for extension of lifespan of dams
- 5) A study on method for extension of life cycle about existing pavement
- 6) Research on methodology of rational inspection and diagnosis for road tunnel
- 7) Research on technology of survey and diagnosis in order to prevent catastrophic accident of bridges
- 8) Research on retrofitting for corroded girders around expansion joints
- 9) Research on the risk assessment of bridges

Key words : structures, facilities, maintenance, maintenance level