

社会インフラの長寿命・信頼性向上を目指した 更新・新設に関する研究開発

久保和幸

1. はじめに

我が国は諸外国と比較して脆弱な国土条件下にあり、これまでも安全・安心の確保や持続可能な地域社会の形成、経済成長を図るためにインフラ整備が進められてきた。こうしてストックされてきたインフラの老朽化が新たな課題として取り上げられ、点検・診断・措置・記録というメンテナンスサイクルの構築によるインフラの長寿命化が求められている。

措置については、予防保全により長寿命化した橋梁などのインフラもいずれは大規模な更新を行うこととなる。また、今後とも、安全・安心と持続可能な地域社会や経済成長にはインフラ整備は必要であり、その更新・新設時に、より長寿命で信頼性の高いインフラを実現する設計法や新材料・新工法の開発もまた必要である。

設計法や新材料・新工法の開発は土木技術にとって不変のテーマであるが、本研究開発プログラム（以下「本プログラム」という。）では、「より長寿命な構造物への更新・新設および施工から管理までのプロセスを通してインフラの信頼性を向上する技術の開発」を目的に、以下を研究開発目標として取り組むこととしている。なお、本プログラムは広く道路や河川など土木全般を対象としており、今後河川分野等からも新たな研究課題が加わることを想定している。

- ① 新たに解明した破損・損傷メカニズムに対応した構造物の更新・新設技術の開発
- ② 破損・損傷の実態を考慮した、より長寿命な構造物への更新・新設を実現する新材料・新工法の開発
- ③ 地質・地盤リスクに適切に対応し、更新・新設から管理までのプロセスを通してインフラの信頼性を向上する技術の開発

2. 研究開発プログラムの概要

以下、本プログラムで取り上げている研究開発目標ごとにその趣旨を紹介する。

①の「新たに解明した破損・損傷メカニズム」とは、従来の設計法では考慮していなかったが、これまでの供用実績等から、これを考慮することにより構造物の耐久性や信頼性が大きく向上することが期待される破損要因や損傷のメカニズムを指す。こうした新たなメカニズムを前提とした設計法や性能評価法を再構築することにより、より長寿命で信頼性の高いインフラの整備を目指すものである。例えば舗装に浸透する水は舗装の耐久性を低下させる要因としては認識されていたが、構造設計上は繰り返し荷重による疲労のみを対象とし、水による影響は排水施設や材料の工夫で対応することとしていた。この水の影響を構造設計の段階から考慮し、水の浸透を抑制する構造や水が浸透しても耐久性が低下しない材料を開発することで、より長寿命な舗装構造の提案を目指すものである。

②については、現場で発生している破損や損傷の実態を分析し、その原因を解消することでより長寿命で信頼性の高いインフラの整備を目指すものである。例えば鋼道路橋における代表的な破損は疲労亀裂であるが、その挙動を従来の2次元ではなく3次元で解析することで新たな設計法の構築を目指している。このテーマでは他にコンクリート構造物の施工直後の表層品質の向上や積雪寒冷地における融雪期の土工構造物の損傷発生メカニズムを取り上げることとしている。

③に関しては、平成28年11月に発生した博多駅前の道路陥没事故を契機に、土木工事において潜在的に存在する地質・地盤リスクを如何に扱うべきかが議論され、令和2年3月に国土交通省より「土木事業における地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン」¹⁾が公表された。ここでは、

調査・設計から施工さらに管理に至るすべてのプロセスの中で存在しうるリスクを明らかにし、経験豊富な技術者の暗黙知を明示知化した上で、これらを関係者で共有することにより地質・地盤に内在する不確実性を低減させるという考え方を提案している。この考え方に従い、道路斜面災害リスクの客観的評価手法や地質・地盤の不確実性を考慮した土工構造物等の効率的な更新・新設技術の提案を目指す。

以降、本研究プログラムにおける具体的な取り組みを前述した①から③の研究開発目標ごとに紹介する。

3. 新たに解明した破損・損傷メカニズムに対応した構造物の更新・新設技術の開発

2017年に「舗装点検要領」²⁾が国土交通省より通知され、全国の幹線道路において舗装の損傷状況について点検が行われることとなった。その結果、設計期間と比較して早期に修繕が必要（以下「早期劣化」という。）となる区間が多数発生しており、その要因が図-1に示すような舗装内に浸透した水による支持力の低下であることが明らかになってきた。そこで、舗装分野では「新たに解明した破損・損傷メカニズム」として舗装内に浸透した水による影響に着目し、従来の舗装構造の設計における前提を見直すことを考えている。今後、舗装の点検・診断のデータがさらに蓄積されれば、浸透水以外にも早期劣化要因が明らかになることも考えられ、早期劣化要因を特定できる既設舗装の性能評価手法を開発し、損傷に応じた断面設計・細部設計手法を開発することとしている。

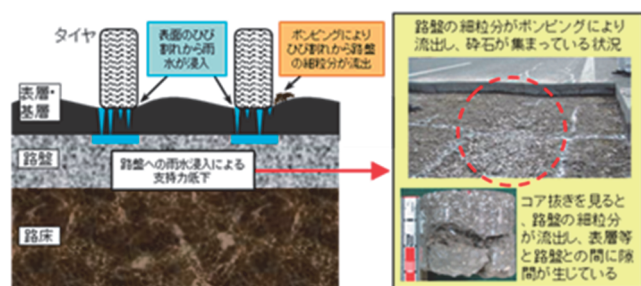


図-1 路盤の支持力低下による早期劣化のイメージ⁴⁾

補強土壁は、限られた用地において低廉で高い施工性を有する工法として道路擁壁の中でも広く適用されている。一方で、補強土壁には様々な材料や構造が用いられており、適正な技術開発を促

すためにも普遍的に性能を評価できる設計法が必要である。そこで、土工分野において「新たに解明した破損・損傷メカニズム」として着目しているのは補強土壁の多様なメカニズムによる損傷である。従来から土工分野で用いられてきた”円弧すべり”“の考え方では補強土壁に用いる補強材等の要求性能が十分に説明できないことから、これまでの点検・診断等の実績により蓄積された変状事例等（図-2参照）を考慮して多様なメカニズムによる損傷に基づく補強土壁の性能評価手法の開発を行うこととしている。また、性能評価手法の前提となる部材等の耐久性や変形に対応した構造細目など、より詳細で具体的な要求性能が明確になることで補強土壁自体の信頼性が向上するとともに、新材料・新工法の開発目標も明確となり技術開発の促進も期待される。

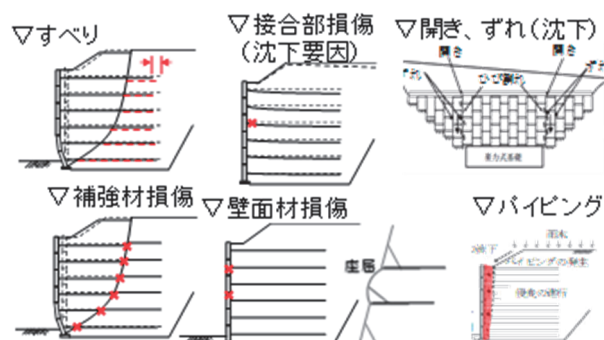


図-2 補強土壁の変状状態の例

下水道施設については、その老朽化が古くから下水道事業を実施してきた大都市のみならず中小の市町村でも深刻化しており、施設の更新や延命化に関する工事が増加している。これまで下水道施設の腐食原因としては硫化水素や硫酸などの強酸が挙げられ、耐硫酸性の防食技術が開発されてきたが、近年の実態調査により、耐硫酸性を有する塗膜であっても有機酸による腐食（写真-1を参照）が確認されることが分かった。そこで下水道分野において「新たに解明した破損・損傷メカニズム」として有機酸による腐食を取り上げ、有機酸による影響をはじめ、その他不具合発生個所の現地調査等を通じて、新たに考慮すべき劣



写真-1 有機酸による塗膜の劣化

化要因を特定し、これに対応する防食工法の設計手法を確立するとともに、合わせて既存管きょにおける更新工法の性能評価手法を開発することとしている。

4. 破損・損傷の実態を考慮した、より長寿命な構造物への更新・新設を実現する新材料・新工法の開発

橋梁分野における「破損・損傷の実態」としては、簡略化した構造解析（2次元解析）を用いた設計手法と3次元的な実挙動の乖離により生じると疑われる損傷に着目している。近年では解析技術が進歩し、構造物の挙動を3次元でモデル化し解析することが可能となっているため、解析技術を活用し橋の3次元的な挙動を考慮した、橋の長寿命に資する新設橋の設計手法や構造等の開発に関する研究を進める。鋼道路橋の疲労亀裂の多くは鋼桁橋で発生しており、鋼桁で発生している疲労亀裂で最も多いのは写真-2に示すように主桁と横桁・対傾構の接合部で発生する亀裂である。この疲労亀裂には床版や主桁の3次元的な変位挙動を、横桁や対傾構が拘束することで生じる局部的な応力集中が原因であるとされている³⁾。このような橋の3次元的な挙動に起因する損傷が生じないよう、解析技術を活用した橋の長寿命化に資する更新・新設技術の開発を進める予定である。

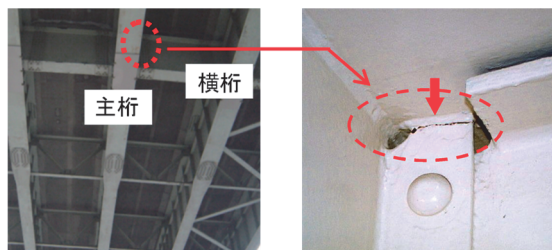


写真-2 鋼桁橋における主桁・横桁接合部の疲労亀裂の例

コンクリート構造物においては、施工時に生じる初期変状を解消することで表層品質の向上、耐久性向上を目指す。そのために、まず写真-3左のような表層品質の評価手法を提案するとともに、写真-3右のような確実な打ち込み・締固めを可能とする足場の工夫事例などの取組と耐久性向上効果の関係を明確化して、現場での表層品質の向上を支援する。また、北海道など広大な地域を一定数の生コンプラントでカバーするためには長距離運搬が必要となるが、運搬中の材料の品質低下が



写真-3 透気・透水による品質評価(左)と打ち込み・締固め時の足場の工夫による表層品質向上の取り組み事例(右)

懸念される。そこで、既存の対策について、表層品質へ影響を検証し生コンクリート長時間運搬時の表層品質確保方策を提案することとしている。

積雪寒冷地においては、融雪期に土工構造物に損傷が多発する傾向にあり、融雪期の損傷発生メカニズムとしては冬期の凍上や凍結に起因するのり面表層の劣化、融雪期における多量な融雪水の浸透に加え、凍土や堆雪による土工構造物内部からの排水の阻害などが考えられる。そこで、土工構造物に作用する積雪寒冷地特有の事象を明らかにし、融雪期に多発する損傷の防止、軽減を図る技術を開発するものである。まずは、積雪寒冷地における土工構造物の被災事例や防災カルテなどを収集し、FEM解析などによる再現解析を通じて損傷メカニズムを解明し、損傷モデルを構築する。当該モデルにより融雪期の弱点箇所を抽出し、当該箇所にも有効な対策手法を提案することとしている。写真-4にはジオグリッドを用いたのり面保護の試験施工の様子を示す。



写真-4 のり面保護の試験施工

5. 地質・地盤リスクに適切に対応し、更新・新設から管理までのプロセスを通してインフラの信頼性を向上する技術の開発

道路分野においては、国土交通省の「道路の耐災害性強化に向けた有識者会議」において、路線毎に斜面災害等の潜在的な脆弱性を連続的に評価し、保全箇所の優先順位を検討することが必要である、という旨の提言がなされており、そのためには限られた予算の中での効率的な道路整備・更新のための合理的で適切なリスクの評価と対応が

必要である。そこで、道路分野における「地質・地盤リスク」への対応として、道路斜面災害等を対象とし、近年のリモートセンシング技術の急速な発展により高精度化した地形情報や雨量情報、地質情報を駆使した面的かつ詳細な危険個所の把握手法を提案するとともに、過去の災害情報をもとに崩壊発生とその要因となる雨量、地形、地質等の指標との関係を分析し、その結果に基づいて。例えば図-3に示す崩壊発生確率の面的予測のような定量的手法を組み合わせることにより、潜在的な斜面災害リスクを面的に評価し、道路ネットワークのより効率的な整備・更新を実現することを目指す。

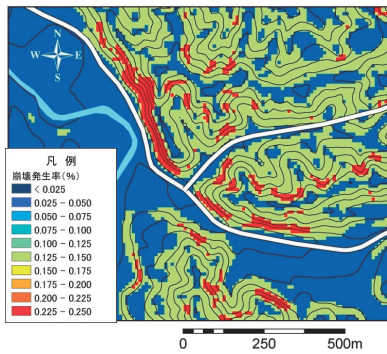


図-3 崩壊発生確率の面的予測例

土工構造物の構築にあたっては、まず地山の地質構成や土質区分を把握する必要があるが、これらは多くの場合不均質であり、施工前に正確に把握することは極めて困難である。従来は、これらの不確実性に対して余裕を持った設計を行い、それが初期コストの高騰につながるケースも多かった。そこで、「地質・地盤リスク」としては地山（地盤）の条件、施工に用いる材料の条件、施工条件等の不確実性を取り上げ、土工構造物等の信頼性向上、品質向上に資することを目的として、土工構造物等の調査・計画、設計、施工及び管理の各段階における地質・地盤リスクを考慮した具体的な評価手法・対応方法を提案することを目指す。まずは、土工構造物等の信頼性に影響を与えると考えられる地質・地盤リスクについて、過去の不具合事例等の情報を収集し、これをデータベース化することで、チェックリストの作成やリスク分析に活用できる、見逃しのない地質・地盤リスクの特定方法を提案する。ここで特定された地質・地盤リスクが各土工構造物の信頼性にどの程度影響を与えるのかを切土やアンカー工を対象として具体的に検証し、構造物ごとのリスク評価方法を提案する。さらに、例えばアンカー工に関して、施工時の各アンカーの緊張力をモニタリングすることで図-4に示すような段階的施工方法を

提案することで、土工構造物の信頼性を確保しつつ、より合理的な更新・新設を目指す。

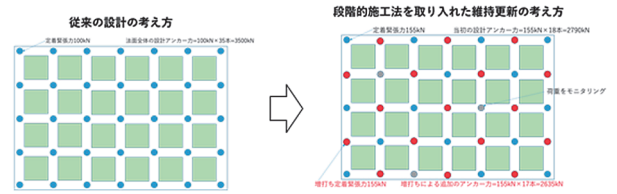


図-4 グラウンドアンカーの段階的施工方法の提案

6. おわりに

例えば舗装分野では技術基準類の性能規定化により、要求性能に基づいて自由な設計が行える環境自体はすでに整備されているが、点検・診断結果等を考慮すると、現行の標準的な設計法では想定していない要因で損傷している可能性も見えてきており、新たな損傷要因を考慮した要求性能を提案し、その対処方法としての更新・新設技術の開発を進めていく。また、道路土工分野においては、技術基準類の更なる性能規定化に取り組んでいる最中であり、本プログラムで取り上げている補強土壁やアンカー工等に関する研究成果は、性能規定化に向けて非常に有益なものとなることが期待される。

本プログラムを通じて様々な土木構造物の要求性能がさらに明らかになり、その成果が効率的なインフラ整備に貢献することを期待する。

参考文献

- 1) 国土交通省大臣官房技術調査課、国立研究開発法人土木研究所：土木事業における地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン、2020.3
- 2) 国土交通省道路局国道・防災課：舗装点検要領、2017.3
- 3) 日本道路協会：鋼道路橋疲労設計便覧、2020.9

久保和幸



土木研究所 道路技術研究
グループ長
KUBO Kazuyuki