道路構造物の予防保全に向けた取組み

金澤文彦・星隈順一

1. はじめに

道路構造物の老朽化が進むなか、維持管理・更新コストを可能な限り抑制し持続的にインフラ機能を確保するためには、長寿命化を図るための予防保全型メンテナンスを推進していくことが重要である。

「第5次社会資本整備重点計画（令和3年5月閣議決定）」において、事後保全から予防保全型インフラメンテナンスへの本格転換が掲げられ、関連施策が推進されている。また、国土交通省インフラ分野のDX推進本部の方針に沿って、道路構造物メンテナンスにおいてもデータやデジタル技術を活用した業務変革が求められている。

一方で、国内の人口減少に伴うメンテナンス業務の担い手不足の問題が生じつつあるなか、特に地方公共団体において、技術者の量・質の不足が大きな問題となっており、技術面での支援が求められている。

そこで、土木研究所では、社会資本整備重点計画を支える技術開発として、令和4年度からの次期中長期計画の研究開発プログラム「構造物の予防保全型メンテナンスに資する技術開発」を検討しており、この概要について本報文で報告する。

2. 構造物の予防保全型メンテナンスに資する技術開発

構造物のメンテナンスサイクル（図-1）を円滑に回すためには、診断に必要な情報を確実に「点検」で取得し、根拠に基づく論理的な「診断」を行い、適切なタイミングで適切な「措置」を行う必要がある。

このうち診断は、医療における医者の役割と同様に重要であり、論理的な診断を行うために、高度な専門技術が必要である。診断がメンテナンスサイクルにおける司令塔として、信頼性の高い論理的な診断により予防保全が可能な段階を見極め構造物の長寿命化を図るなどの役割を果たすことが重要である。そのため、橋梁、トンネル等を対象に、次の1)～3)に示すメンテナンスサイクルの各段階における主要な技術的課題を解決して、その成果等も含め診断支援のためのエキスパートシステムを構築することとしている。特に地方公共団体の維持管理業務における実務技術者不足に役立つものと考えている。

1)適切な診断ができるように変状を的確かつ合理的に捉える点検技術の開発
2)損傷メカニズムに応じた各段階の状態評価と適切な措置方針を示す診断技術の開発
3)構造物の設置環境や施工上の制約条件などに対応した効果的な措置技術の開発

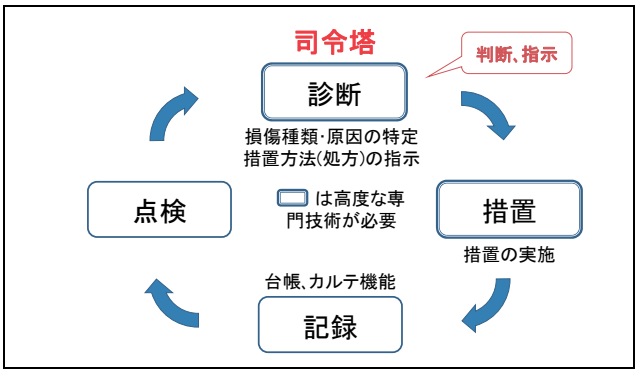

図-1　メンテナンスサイクル

以下の章では、特にメンテナンス技術の取組みが進んでいる橋梁分野の研究開発計画を紹介する。

3. 橋梁分野の研究開発計画

3.1 診断AIシステムの開発

メンテナンスサイクルを円滑に回すためには、診断の信頼性向上が必要となる。このため、土木研究所では予防保全に重点を置きつつ、予防保全段階及びそれよりも損傷が進んだ段階も含めて信頼性の高い診断が行われるよう、平成30年から官民共同研究を実施している。本研究では、熟練

Next Research Plan for Preventive Maintenance of Road Structures

診断技術者の診断における知識や思考方法を基にAIを活用した診断支援システム（診断AIシステム）の開発を進めている[1)]。

熟練診断技術者へのヒアリングを通じて、診断実務で行っている診断プロセスを明確にするとともに、判断する際に用いられている暗黙知も含めたノウハウを形式化した技術情報を橋梁の部材・損傷毎に総合的に整理している。この技術情報は、損傷のメカニズム、その進行度に応じて点検で取得すべき着目する情報、診断に必要な詳細調査、診断の決め手となる情報、措置の方針や工法例という一連のセット情報（以下「診断セット」という。）になっている。これらの情報を基に診断のフローチャートを作成し処理フローに沿って入力情報を処理するエキスパートシステムを開発し、診断結果の理由を第三者に説明可能なものとしている。現在開発しているシステムは、現地で橋の変状を確認する際に入力できるようタブレットPCに導入し、また、現地でも出力できるものとしている（図-2）。

図-2　診断結果出力画面の例

令和3年度中に、床版橋、桁橋、トラス橋を対象とする橋種の約9割をカバーした診断AIシステム（Ver.1.0）を構築し、令和4年度から本格的に試用を行い、実運用に向けた課題を見つけて改良を進め、令和6年度からの3巡目定期点検において実展開できるよう開発を進めるとともに、アーチ橋など特殊橋も加え、ほぼ全橋種をカバーするシステム改良・拡充を行う計画である。

3.2 上部構造の予防保全に資する技術開発

3.2.1 鋼橋上部構造

近年の国内外における鋼橋の腐食損傷による通行止めの実態を踏まえると、ケーブル及び定着部など外観のみでは内部状態を把握できない部材や鋼桁端部の横桁や対傾構等、狭隘部で変状の見逃しリスクの高い部材について、その変状を早期かつ確実に把握する点検手法と診断・措置技術の開発が求められている。

ケーブル及び定着部については、被覆により腐食防止が施されているがその内部の変状を早期に把握するために非破壊や微破壊により腐食や滞水等を把握する詳細調査手法の開発や、滞水しないように水抜き穴を設ける改良措置、水の浸入を防ぐ多重防御措置など長寿命化措置の開発を計画している。

また、道路橋定期点検では近接目視が基本とされており、点検車や足場等の資機材が必要となるが、図-3に示すように、小型UAVを活用して鋼橋の桁間狭隘部にも入り込み診断に活用できる近接画像を取得することで、これらの資機材を省略し点検コストを縮減することも求められている。鋼部材の防食機能劣化・腐食に対して、UAVの取得画像のみで近接目視による場合と同等の診断が可能か否かを判断するための考え方や画像からスクリーニングする手法、さらには、鋼部材の亀裂・破断を画像からAIにより抽出する手法などの開発を計画している。

図-3　小型UAVを活用して3次元画像を取得

近年、問題が顕在化しているRC床版の土砂化は、既往研究で、その劣化要因を地覆や施工目地等から侵入する床版上面の水分と考えられており、この分布を電磁波レーダにより検知する手法の開発を進めている[2)]。今後は、土砂化メカニズムの解明を進めるとともに、電磁波レーダによる点検技術を予防保全の段階が検知可能なレベルに向上

させ、進行度に応じた部分的な防水・止水対策、潜在的な劣化部位の回復手法などの開発を計画している。

3.2.2 コンクリート橋上部構造

コンクリート橋の予防保全の推進にあたり、表面のひび割れが生じるまで目視で気づくことができない塩害について、予防保全を可能とするための点検、診断、措置技術の開発が求められている。

塩害は、飛来塩のみならず近年は積雪寒冷地における凍結防止剤により、発生件数が比較的多く劣化速度も速く、再劣化も多数見られており、現状では対策が不十分である。予防保全のためには劣化の前兆を捉えることが必要であることから、コンクリート中の塩分濃度を効率的に調査して劣化が進行する前に状態を評価する必要がある。また、劣化が顕在化する前の予防保全に対応した措置方法を検討する必要がある。このため、図-4のような民間や理化学研究所[3]等で開発されている非破壊や微破壊によるコンクリート内部の塩分調査技術の適用性、調査方法等の検討、劣化状況の評価手法の検討、また、民間等が開発した各種塩害対策技術の効果検証、対策前の塩分除去を確認する技術の適用性検証を計画している。

図-4　塩分調査技術の例

3.3 上下部接合部（支承部）の予防保全に資する技術開発

橋の上部構造と下部構造を接続する構造部材である支承は、荷重を下部構造に伝達するとともに、上部構造に生じる変形を受け流す等の重要な役割を果たしている部材である。したがって、何らかの原因によって支承の機能が低下すると、支承本体の被害だけでなく、ソールプレート付近における鋼桁下フランジの疲労亀裂のように支承に取り付いている周辺の他の部材に重大な損傷を生じさせてしまう可能性もある。

一方、支承は狭隘部で閉鎖的な空間に設置されることが多く、また、その形式によっては機能を司っている重要な部位を直接目視することができない既設支承もある。そのため、経年に伴う支承の損傷メカニズムや支承に取り付いている他の部材への影響との相互関係については明らかにできていない。支承に取り付いている上部構造の部材に対する予防保全の観点からも、経年に伴う支承の損傷メカニズムを解明した上で、予防保全としての措置が可能な限界の状態を明らかにしていくことが重要である[4]。

このような課題に対して、まず、支承の経年劣化に伴う損傷メカニズムについては、支承の形式ごとに仮説を設定しながら、それが実現象に即しているかの検証を積み重ねる研究を行う必要がある。その上で、検証されたメカニズムを踏まえ、支承及び支承に取り付いている周辺の部材の予防保全型メンテナンスを実現するために着目するべき状態を工学的な指標により示すとともに、予防保全が可能な限界の状態に相当する特性値の提案を計画している。

また、狭隘な空間に設置されている支承やその取付け部周辺の部材の点検において、予防保全の措置が可能な損傷や変状の段階で適確に状態把握をすることも重要である。例えば、ソールプレート付近の下フランジに生じる疲労亀裂に対しては、外観変状として塗膜割れが生じていないかに着眼して点検する必要がある。このような診断に必要な情報を効率的に取得していくためには、図-3に示したような新しい点検支援技術の活用が期待される。そこで、支承や支承に取り付く部材の点検に適用していく観点から、点検支援技術に求める性能とその検証方法についても明確化していく計画をしている。

3.4 橋梁基礎の洗掘の予防保全に資する技術開発

近年各地で発生した豪雨では、道路橋の基礎の洗掘が生じ、その影響によって長期間の道路の通行止めや集落の孤立が発生した。基礎の洗掘が生じると、その下部構造自体が不安定となるだけでなく、下部構造の沈下や傾斜によって上部構造の部材にも損傷が波及し、機能回復に要する期間が長期化することがある。したがって、豪雨時においても橋の機能に影響が生じないようにするためには、洗掘という現象に対しても予防保全の観点から点検や措置を講じていくことが重要である[5]。

これまでの豪雨災害において、橋の機能に影響が生じた洗掘による被災事例を分析すると、基礎が洗掘されていくメカニズムは、橋脚周りや水衝部で生じる局所洗掘と、澪筋変化や河床変動による河床低下の2つに大別される。これまでにも、これらの現象を予測する手法に関する研究は行われているが、その予測には大きな不確実性が伴っており、予防保全の観点から実用的な対策として活用できる水準には至っていない。

このような背景から、基礎の洗掘に対する今後の研究の方向性としては、まず近年の被災事例を含めて豪雨時における河床低下のメカニズムを解明し、管理水準に応じた局所洗掘や河床低下の予測手法のメニューを整備する計画をしている。これらの予測にあたっては、河床高、周辺の護床工、澪筋等の状態把握が重要であり、その際には図-5に示すようなリモートセンシングの新しい技術の活用が期待される。そこで、基礎の洗掘を予測する上で必要なデータを取得する観点から、新しいリモートセンシング技術に求める性能とその検証方法を明確化し、ニーズにマッチした適材適所な技術が開発促進されるようにもしていきたい。

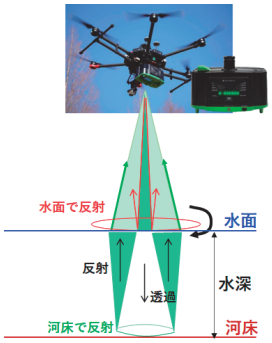

図-5 基礎の洗掘の予防保全への活用が期待される技術

また、予防保全としての対応が可能な限界の状態を明確にすることも重要である。その限界の状態を超えているかどうかで措置の方法も変わってくるが、予防保全型のメンテナンスサイクルを構築していくためには、その限界の状態となる前に措置を講じる必要があるためである。その上で、現在の状態と将来予測に応じて対策工法の選定やその組み合わせ方を示すべく、研究開発を計画している。

なお、橋梁基礎の洗掘への対策は、橋を管理している機関だけでなく、河川を管理している機関との連携が極めて重要となる。それぞれの機関が有しているデータを有機的に突き合わせることによって、Win-Winな維持管理が実現するように研究開発を進めていきたい。

4. おわりに

本報文では、土木研究所における構造物の予防保全型メンテナンスに資する研究開発の計画について、橋梁分野を対象として紹介した。ここに示したような取組み等を推進させ、道路橋の維持管理の質を向上させていくとともに、効率化や省力化にもつなげていきたいと考えている。

なお、橋梁の予防保全型メンテナンスに関連した構造物メンテナンス研究センター(CAESAR)における技術開発の最新情報は、毎年開催しているCAESAR講演会でも発信している。令和3年10月に開催された講演会の情報はCAESARのHPに講演動画と併せて掲載しているので[6]、そちらも参考にしていただければ幸いである。

参考文献

1) 澤田守、江口康平、石田雅博：道路橋の予防保全に向けた総合診断と診断AIシステムの研究開発、土木技術資料、第63巻、第10号、pp.8～11、2021.
2) 藤木裕二、岩谷裕太、田中良樹、石田雅博：RC床版の土砂化の予防保全に向けた技術開発、土木技術資料、第63巻、第10号、pp.20～23、2021.
3) 若林泰生ほか：小型中性子源RANSならびにカリフォルニウム線源を利用したコンクリート構造物の塩害に対する非破壊検査装置の開発、日本コンクリート工学会論文集、pp.202～209、2021.
4) 二宮智大、大住道生、金澤文彦：道路橋支承の維持・補修のAI化に求められること、防錆管理、Vol.64、No.9、pp.10～17、2020.
5) 堀内智司、中浦慎之介、行藤晋也、桐山孝晴：橋梁下部構造の予防保全に向けた診断技術の開発、土木技術資料、第63巻、第10号、pp.24～27、2021.
6) 土木研究所CAESAR：第14回CAESAR講演会、2021
https://www.pwri.go.jp/caesar/technical-information/caesar-meeting/lecture/lecture14.html

金澤文彦

土木研究所　道路構造物総括研究監（兼）構造物メンテナンス研究センター次長、博士（工学）
Dr. KANAZAWA Fumihiko

星隈順一

土木研究所構造物メンテナンス研究センター　橋梁構造研究グループ長、博士（工学）
Dr. HOSHIKUMA Jun-ichi