

AIを活用した橋梁維持管理の効率化に関する研究(1)

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 30～令 3

担当チーム：橋梁構造研究グループ

研究担当者：石田雅博、澤田守、藤木裕二
小野健太

【要旨】

近年、社会インフラの老朽化が進む一方で、維持管理コストの増加や橋梁に関する専門知識を持った熟練技術者の減少などの問題が顕在化している。そのため、橋梁の維持管理の信頼性向上に資する点検・診断の支援技術の開発が求められている。その中で、橋梁の診断を支援する技術として AI 技術のうちのエキスパートシステムに着目し、熟練技術者の診断ロジックをシステム化するとともに、部材・損傷ごとに劣化のメカニズムと現状がどの状態にあるのかを表示可能な診断支援技術の検討を進め、令和 3 年度までの成果を「橋梁診断支援 AI システム Ver.1.0」として開発した。

キーワード：道路橋、維持管理、定期点検、エキスパートシステム

1. はじめに

道路橋の老朽化が進みメンテナンスの重要性が高まる中、平成 26 年に橋長 2.0m 以上の道路橋は地方公共体が管理するものも含めて 5 年に 1 度の定期点検が義務化され、既に 2 巡目の点検が行われているところである。修繕等措置の実施状況については道路メンテナンス年報¹⁾で公表されており、損傷が進行した健全性 III 又は IV と区分された橋の修繕が優先して進められており、健全性 II の予防保全段階にある橋の措置率はまだ低いのが現状である。一方、今後、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していくためには、予防保全型メンテナンスへの移行は不可欠である。

また、国内の人口減少に伴うメンテナンスの担い手不足や、特に地方公共団体では既に技術者不足の問題が生じている。国土交通省地方整備局では道路メンテナンス会議の開催など、地方公共団体の人不足・技術力不足への対策に取り組んでいるが、メンテナンスの質を確保した中で合理化を図っていくことが求められる。

そのため、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を含めて、信頼性の高い診断が行われるよう、本研究では「AI を活用した道路橋メンテナンス効率化に関する共同研究」(以下、「AI 共同研究」という。)を実施した。この AI 共同研究は 3 つのグループに分かれており、その 1 つである診断 AI 開発グループにおいて、熟練診断技術者の診

断における知識や思考方法をフローチャート化した診断のロジックを作成し、それを順次システム化した。現時点において診断支援が可能な症例は限定されているものの、当該症例であれば、橋種の約 9 割が適用可能な橋梁診断支援 AI システム Ver.1.0 を令和 3 年度までに開発した²⁾。

2. 熟練技術者の診断プロセスの明確化

2.1 診断の基本プロセス

システムを構築するにあたって、診断技術者の診断プロセスやロジックをシステムが認識できる情報として明確化する必要がある。そこで、AI 共同研究に参加している熟練した診断技術者へヒアリングを行い、知見や診断時の思考プロセスを集約した。橋に生じる損傷は何らかの原因があり、損傷が発生して進行し、その結果、様々な変状が現れる。道路橋の点検、診断、措置では、図-1 に示す通り変状を見つけて記録し、損傷と原因を特定したうえで診断し、原因の除去を含めて補修補強を行うことが基本となる。損傷が進行すると損傷原因の除去が困難となることが多くなるため、早めに原因除去を含めた措置を行い、橋の長寿命化を図ることが重要となる。道路橋定期点検要領³⁾(以下、「点検要領」という。)において予防保全段階は、道路橋の機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態と定義されている。本稿では、道路橋の機能に支障が出る前の対策のみに限らず、早い段階で損傷の原因を除去し元の健全な状

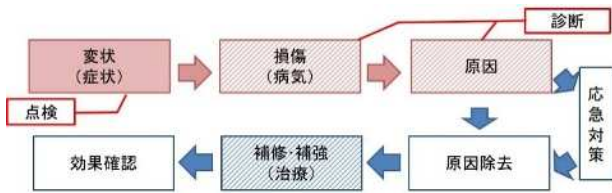


図-1 点検・診断・措置の基本的なプロセス

態に戻すこと等によりライフサイクルコストの低減や長寿命化を図る対策を「予防保全」としている。また、「診断」の用語は、メンテナンスサイクルの次のステップである措置に進むための判断であることから措置方法(処方)の所見を示すことを含めた意味で用いている。

診断は、点検で得られた様々な情報に基づき、総合的に判断する行為である。その中で、信頼性を確保するためには、論理的なプロセスにより判断することも重要となる。図-2 に論理的な診断の基本的なプロセスを示す。診断を行う際には、まず、対象橋梁の諸元や架橋環境条件、補修履歴、過去の点検記録等の情報を確認し、その後、点検で確認された変状から橋に生じている可能性のある損傷やその原因を考えられる限り列挙する。損傷や原因を特定又は絞り込みを行ううえで、情報が不足する場合は詳細調査を行い、この情報を含めて多種の情報を照らし合わせて矛盾がないように特定する。その際、必ずしも一つに特定する必要はなく、完全に否定できない選択肢は消去しないことが重要である。また、損傷や原因を特定又は絞り込みを行った後に、メカニズムに対応した措置の方針を選択していくこととなる。点検要領において措置は、必要に応じて実施する調査結果に基づき、道路橋の機能や耐久性などの維持や回復を目的に、監視や対策を行うことを指す。本研究でも同じ意味で「措置」を用いているが、具体的措置内容を決定する前に、損傷の状況に応じた措置の方針を設定することになっている。措置の方法の種類及び定義を表-1 に示す。この方針に基づき、架橋環境条件、交通規制などの施工が可能な時期や期間、それら条件から定まる施工等における制約条件等、各種の条件に基づき、効果が発揮される具体的な措置方法を選択していくことになり、このような論理的なプロセスで検討することが重要となる。

2.2 診断セット

メンテナンスサイクルを確実かつ円滑に実施していくためには、前述のとおり橋に生じる損傷のメカニズムを明らかにし、そのメカニズムに応じて、点検で何をどの精度で検知し、何を根拠に健全性等の診断を行

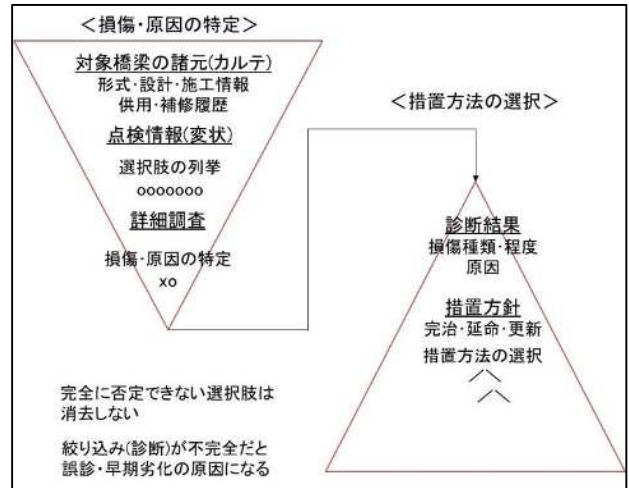


図-2 熟練診断技術者の基本プロセス

表-1 本システムにおける措置の方針の定義

措置の方針	定義
長寿命化	損傷の原因除去や、完全な処置により元の状態に復帰させる。なお、損傷が生じていない段階で将来的に損傷となることが予想される場合に原因を除去することも含む
延命	損傷の原因の完全な除去は難しく、補修などを行うことで損傷の進行をコントロールする
危機管理	損傷進行の確実なコントロールができない状態で、モニタリング等を行いながら供用し、早期に対策する
緊急措置	通行規制や緊急的な補修等を直ちに行う

表-2 診断セットの構成

項目	内容
損傷のメカニズム	何が原因で、どのように進行、終局的にどうなるのか図とともに解説した情報
点検における着目点	損傷の進行程度を特定するために必要な、点検で着目する変状およびその検知方法に関する情報
詳細調査	診断に必要な情報を取得するための詳細調査
診断の決め手となる情報	損傷及び原因、損傷のメカニズムの進行程度を特定する決め手となる情報 損傷の進行程度に応じた措置方針判断の決め手となる情報
措置方針	長寿命化、延命、危機管理、緊急措置の区分
工法例	措置の方針に応じた対策の例

い、どのような措置の方針とするべきかなど、一連で整理することが重要となる。橋に生じる損傷のメカニズムと点検で取得すべき情報・診断の決め手となる情報・工法例の一連のセット情報を「診断セット」と称して、この体系的な整理をした。診断セットを構成する項目の概要を表-2 に示す。

点検要領では、具体的措置方法について検討することは定期点検の範囲では想定していないものの、診断セットでは、措置方針や工法例についても整理しており、診断に必要な詳細調査では、措置方法(処方)を示すために必要な調査も含めている。AI に学習させる

表-3 本システムの対象部材と損傷種類

対象部材	損傷種類
RC 床版	疲労
	土砂化
	飛来塩分による塩害
	海砂による塩害
床版橋	外来塩による塩害
	内在塩による塩害
	ASR
	凍害
	土砂化
	連結桁固有の変状
	中空床版橋の滞水
	中空床版橋ボイド管浮き上がりによる陥没
	製作・施工不良に分類される特徴的な変状
	防水・排水工不良に分類される特徴的な変状
	他部材の損傷が床板橋に及ぼす影響
ポステン PC 桁	外来塩による塩害
	製作・施工不良に分類される特徴的な変状
	防水・排水工不良に分類される特徴的な変状
プレテン PCT 桁	外来塩による塩害
	製作・施工不良に分類される特徴的な変状
	防水・排水工不良に分類される特徴的な変状
RCT 桁	外来塩による塩害
	製作・施工不良に分類される特徴的な変状
	防水・排水工不良に分類される特徴的な変状
RC 中実床版橋	外来塩による塩害
	製作・施工不良に分類される特徴的な変状
	防水・排水工不良に分類される特徴的な変状
	防水・排水工不良に分類される特徴的な変状
鋼桁	腐食
	疲労
	遅れ破壊
鋼トラス桁	腐食
	疲労
橋台・橋脚	飛来塩分による塩害
	凍結防止剤による塩害
	内在塩による塩害
	ASR
	凍害

対象部材	損傷種類
基礎	洗掘
	地滑り
	側方流動
	その他の損傷
支承	オゾン劣化
	腐食
	凍害
	交通振動
	遊間調整ミス・設置ミス
	モルタルの充填不良
	縁端距離不足
	下部構造の移動に起因する損傷
伸縮装置	腐食
	疲労、摩耗
	走行繰返しによる隙間の形成
	止水材の劣化・損傷
	地震、側方移動
	構造に起因する損傷
排水装置	腐食
	凍結割れ
	疲労
	ゴム、プラスチックの劣化
	伸縮異常 排水不良

ために、橋に生じる全ての損傷・劣化メカニズムを整理する必要があるが、解明ができていない場合にはデータから仮説を立て、診断セットをまとめている。AI 共同研究に参加する複数の熟練技術者と議論を行い、構造形式毎に生じやすい変状等の経験に基づく暗黙知も含め診断セットに反映している。

令和3年度までに、表-3 に示す部材および損傷種類の診断セットを作成している。損傷種類は、例えば RC 床版の土砂化であれば、さらに細かく「輪荷重による土砂化」「凍害による土砂化」「凍結防止剤による土砂化」「ASR による土砂化」という形で要因毎に作成しており、それらまで合わせると、203 種類となり、そのほとんどをシステムに実装した。

3. 橋梁診断支援 AI システムの開発

3.1 橋梁診断支援 AI システムの概要

橋梁診断支援 AI システムは、診断結果の理由を第三者に説明可能なものとするために、診断セットをも

と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とした。システム処理の流れを図-3に示す。台帳データ(橋梁形式、供用年、設計基準、交通量等)、今回の点検データ(所見、損傷が疑われる部材、部位、変状等)、カルテデータ(前回までの所見、補修履歴等)などの情報からデータを入力し、舗装の抜落ち等の直ちに措置が必要な変状の有無などから緊急対策の必要性を判断した後、疑いのある損傷候補を複数抽出する。そして、システムが損傷を特定するために必要な追加情報を提案し、必要に応じて管理者が詳細調査を実施する。ここまでで得られた情報をもとに損傷及び原因を特定するとともに、損傷の進行度(状態)の推定及び損傷の進展性の推定を行った後、措置方針を含めた診断結果を出力し、措置の実施内容等をカルテに保存する。これら処理の分岐条件は診断セットが基となっている。供用中の道路橋に生じる損傷や影響因子、さらには変状の種類やパターンは多岐にわたり、生じうる症例の全てを網羅することは難しい。本研究では、多く発生が報告されている症例から順にシステムに取り込んでおり、システムで対応できないものも存在する。システムは、一般的な症例に対する案を提示し、また、不明なものは不明と提示し、最終的には人が判断するという使い方を想定している。

図-4、図-5にシステムの画面の例を示す。このシステムが提案する診断・措置方針の中では、診断セットに示す損傷及び原因ごとの状態の進行過程を図解したものと、損傷及び原因の特定の根拠についても提示されるため、システム利用者は診断に至った理由を把握することが可能である。システムは、システムをインストールしたタブレット型PCを直接現場に持ち込み、その場でタブレットに表示される項目を確認しながら入力できるように構築した(写真-1)。

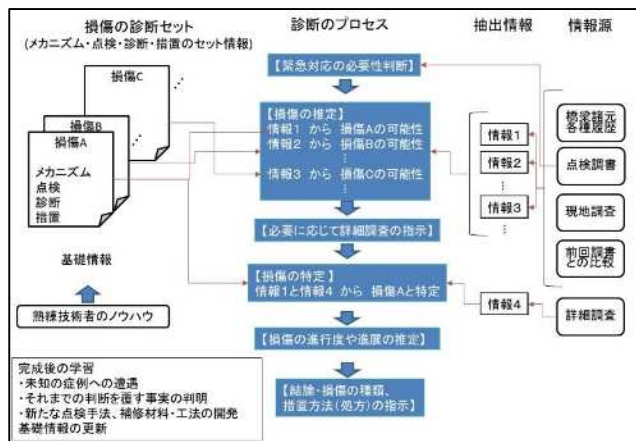


図-3 本システムにおける処理の流れ



図-4 損傷進行度推定画面の例



図-5 診断結果出力画面の例



写真-1 橋梁診断支援AIシステム Ver. 1.0

3.2 橋梁診断支援 AI システムの機能要件

橋梁診断支援 AI システムの普及イメージを図-6 に示す。このシステムの将来的な普及イメージとしては、開発した橋梁診断支援 AI システム（ここでは、「診断 AI コアシステム」という）を民間企業等へ提供して、その民間企業等が診断 AI コアシステムに対して独自機能を付加し、利便性や使用性等を向上させた独自の橋梁診断支援 AI システム（ここでは、「診断 AI 民間システム」という）を開発及び販売して、システムを世の中に普及させていくことを想定している。当然、民間企業等へ提供する際には、診断 AI コアシステムのコアとなる部分（診断ロジックの条件分岐フロー部分など）を改変してはいけないものとし、例えば、プログラム言語を変える際には、条件分岐フローが正確に機能するか証明することなどの一定の制約を課すことで診断結果の信頼性を確保する必要がある。

今回開発した診断 AI コアシステムをベースに民間企業等が診断 AI 民間システムを開発する場合に、最低限備えるべき機能要件を設定し、診断 AI 民間システムを利用した際の診断の信頼性を確保することを目的に、診断 AI コアシステムの機能要件書（案）を作成することを考えている。

機能要件書（案）の構成は、大きく3つに分けることを想定している。1つ目は、「システムの概要」である。ここでは、システムの動作環境、活用の全体イメージ、システムのユースケース、対象部材と損傷種類、システムの機能構成、ソースデータの提供、開発システムのセキュリティに関して記載する予定である。2つ目は、「システムの機能」である。各システムの基本機能と関連するデータテーブルを記載する予定である。3つ目は、「システムの画面遷移図」である。本書に基づき、民間システムが開発され、広く普及されるように、システムの改良を続けていくことを想定している。

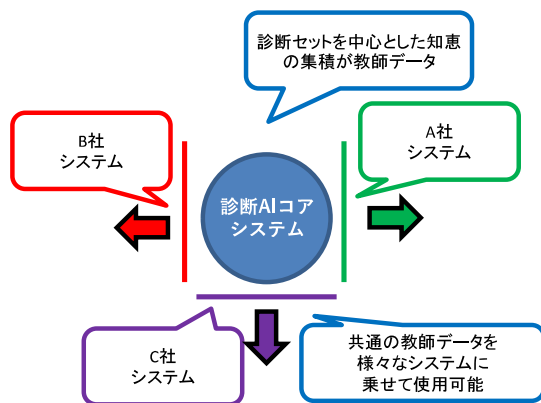


図-6 システム普及イメージ

3.3 今後の開発予定

令和3年度までに、橋種の約9割を対象とする橋梁診断支援 AI システム Ver.1.0 を開発した。令和4年度から点検調書を活用したシステムのロジックの妥当性の実証や、実際の橋梁を対象としたシステムの使用性の検証などを行い、実運用に向けたシステムの改良を進めることで、令和6年度からの全国的な展開を目指す。

4. まとめ

本研究では、AI を活用することで橋梁の診断業務の信頼性向上を図ることを目的として、熟練診断技術者の診断プロセスを明確化するとともに、適切な診断のために重要な損傷メカニズムに応じた点検・診断・措置のセット情報を診断セットと称して作成し、それに基づき、出力結果の根拠を説明可能な橋梁診断支援 AI システム Ver.1.0 を開発した。現段階では、対応可能な症例が限定されているため、システムの出力結果の検証や使用性の検証を行いながら、順次システムを改良、拡張していく予定である。今後、本システムを実務に適用し、普及していくことで地方公共団体を中心とした現場実務を支援していきたい。

謝辞

本研究は、「AI を活用した道路橋メンテナンス効率化に関する共同研究」の成果の一部である。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局：道路メンテナンス年報、pp.44-45、2020.9
- 2) 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、2021.10
- 3) 国土交通省道路局：道路橋定期点検要領、2019.2

STUDY TO PERFORM THE MAINTENANCE OF THE BRIDGE EFFECTIVELY BY UTILIZING AI (1)

Research Period: FY2018-2021

Research Team: Bridge and Structural Engineering Research Group

Author: ISHIDA Masahiro

SAWADA Mamoru

FUJIKI Yuji

ONO Kenta

Abstract: In recent years, while deterioration of social infrastructure advances, problems such as an increase of maintenance costs and a decrease of experienced engineers with the technical knowledge about the bridge maintenance have become apparent. Therefore, a diagnostic support technology (bridge diagnosis support AI system), which learned a diagnosis logic of experienced engineers and deterioration mechanism of the damage of the material, have been developed to support diagnostic work of the bridge.

Keywords: road bridge, maintenance, periodic inspection, expert system