



人工知能を用いた栈橋の残存耐力評価技術

※第24回国土技術開発賞(授賞式2022.8.3)の受賞技術全8件のうち、港湾関連技術をピックアップしました。

五洋建設株式会社 宇野 州彦

1. はじめに

高度経済成長期に数多くの社会基盤施設を整備したわが国では、現在その供用期間が50年を超える構造物も多く、適切な維持管理はより一層重要となってきている。一方で、港湾法の改正に伴い港湾施設の点検が義務化されたものの、特に民間では施設に不具合が生じてから対策を講じる「事後保全」のことが多い。維持管理の調査で得られる劣化度や性能低下度は、調査時点における施設の状態を表すものであり、供用継続の可否や補修補強を行うタイミングの合理的な判断指標はこれまで存在しなかった。そこで、港湾の栈橋を対象に、残存耐力から構造物の寿命を推定し、施設管理者が意思決定しやすい情報を提供できる技術を開発した。

2. 開発技術の概要

栈橋の残存耐力を評価するための手順を図1に示す。残存耐力を評価するためには梁の鉄筋の腐食程度を把握する必要があることから、まず梁下面のコンクリートを研り、鉄筋を表面に露出した上で鉄筋径を測定し鉄筋の腐食量を算定する。しかし、鉄筋腐食が想定される梁が多くなると、研り出すコンクリートの箇所や量が膨大となり現実的ではなくなる。また、部材のFEM解析を行う際には、鉄筋の腐食状態を模擬してモデル化する必要があり、単に鉄筋径を減少させたものをモデル化するのではなく、鉄筋が腐食する際の膨張圧等も考慮できる解析コードを用いることが望ましく、考慮可能な解析コードが限られることと高度な解析技術を要することとなる。これらのことから残存耐力評価を行うことは非常に困難であった。

そこで、まず一般定期点検から得られる劣化度a~dを用いて残存耐力を評価できる技術を開発した。劣化度から残存耐力を評

価できるようにするには、それぞれの劣化度から梁部材の骨格モデルを算定する必要があるため、各劣化度に応じた試験体を用いて構造実験を行った。構造実験により劣化度によって破壊形態が異なることや、耐力に違いがあることを明らかにした。またFEM解析も実施し、実験が再現可能であることも示した(図2)。さらに、腐食方法の違い(自然曝露環境と電食による腐食の違い)や寸法効果(実物梁と試験体寸法の違い)による影響も構造実験を行って検証し、これらの影響を考慮した骨格モデルを構築した。

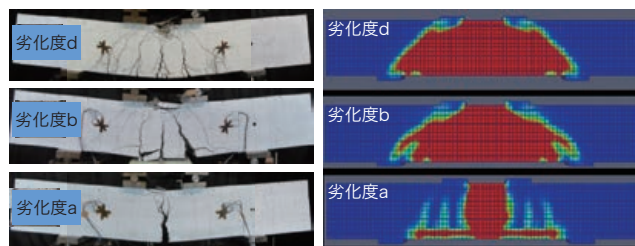


図2 実験・解析による劣化度と部材耐力の関係性の把握

以上により、梁の劣化度が分かれば残存耐力を評価することが可能となったが、栈橋全体系の構造解析は都度行う必要があることから、コストや時間の面で課題が残っていた。また、構造物の寿命を推定するために、点検診断時の残存耐力評価だけでなく、点検から年数が経過したときの残存耐力評価を複数年予測することが必要になることから、都度構造解析を実施するのは現実的ではなかった。

そこで、人工知能(AI)を用いて、構造解析を行うことなく残存耐力を評価できる技術を開発した(図3)。AIモデルの構築には、約2,000ケースの構造解析条件と構造解析結果の組み合わせを教師データとして用意しAIに学習させた。教師データの構造解析条件(説明変数)として、栈橋の種類や劣化度、外力をラ

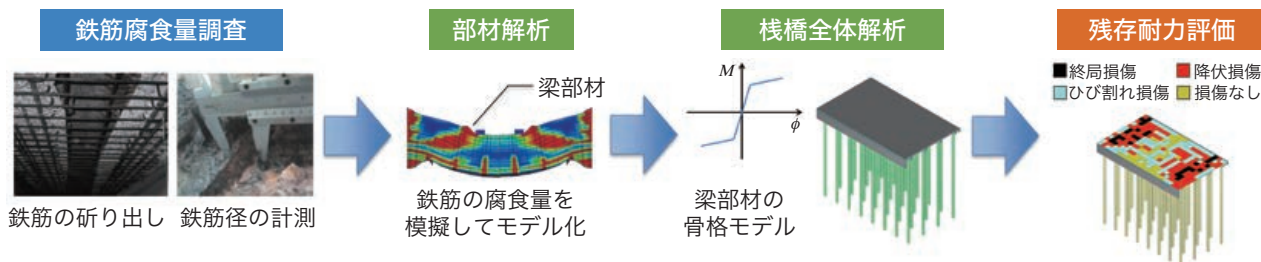


図1 栈橋の残存耐力を評価するための手順

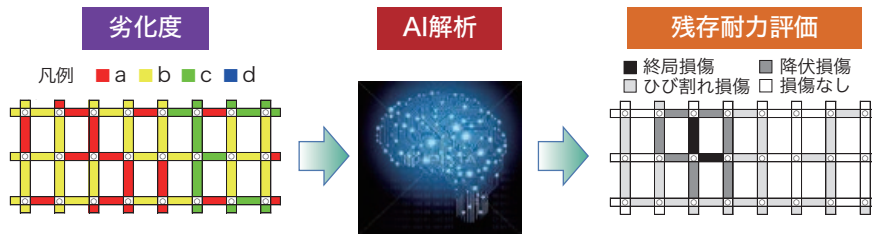


図3 AIを用いた栈橋の残存耐力評価

ンダムに組み合わせ、その組み合わせにおける構造解析結果を取得する。これを目的変数として、説明変数とセットにして教師データを作成した。

3. 開発技術の特徴

構築したAIモデルにより、劣化した栈橋Aおよび栈橋Bの残存耐力を予測した結果を図4に示す。この結果から、構築したAIモデルは構造解析結果と比較して高い精度で損傷を予測できることが分かる。さらに、400件の残存耐力評価を行い、予測精度の検証を行った。検証の結果、概ね80%以上の正解率で損傷予測が可能であることが分かった。以上のことから、精度の高いAIモデルを構築することができた。

本技術により、鉄筋の研り出し作業や部材のFEM解析、さらに栈橋全体系の構造解析を行うことなく、AIを用いて地震力等により損傷する具体的な梁部材とその損傷程度を即時に把握することが可能となった。

	栈橋A	栈橋B
劣化度		
構造解析結果 (正解)		
AI予測結果		
正解率	90.7%	86.2%

図4 劣化した栈橋の残存耐力評価と正解率

4. 開発技術の効果

3,000m²の栈橋を対象とした場合を例に、本技術の経済的効果を述べる。鉄筋の研り出し作業やその後の部材FEM解析、栈橋全体系の構造解析(残存耐力評価)を実施する場合は合計5.5~6.5ヶ月を要すると想定されるが、本技術を活用することで、一般定期点検と劣化度判定、AIによる残存耐力評価が合計0.6~1.1ヶ月で可能となる。残存耐力を算定するまでの期間を最大で約91%削減できることとなる。

また、マルコフ連鎖モデル等の劣化進行の確率モデルを本技術と併用することで、年数の経過による残存耐力の変化を把握することができるため、栈橋の供用継続が可能な期間を具体的に設定することができる。図5に、残存耐力評価の将来予測の事例を示す。この事例では、10年後に降伏損傷が生じる梁が出現することから、例えば10年以内に補修工事の計画を立案し早期に対応をとる等といったことが可能となる。直ちに補修が必要となるような損傷がいつ現れるのか、またどの梁に出現するのかを把握することができるため、部分補修を行う等の対応も可能となる。

5. おわりに

本技術は、施設管理者の方々から従前より問合せいただいた「点検調査結果については理解したが、結局この栈橋はいつまで使えるのか? 地震がきたら壊れるのか?」という懸念に対し、施設管理者が補修補強等の判断ができる指標が必要と考え、開発を始めたものである。劣化した栈橋の危険性を具体的に把握することで、施設管理者が積極的に維持管理に関わることとなり、予防保全型の維持管理へ転換が図られるものと考えている。本技術の活用により、合理的で計画的な維持管理が促進されることを祈念する次第である。

最後に本技術の開発や実栈橋への開発技術の適用にあたり、ご指導、ご支援をいただいた皆様に、謝意を表します。

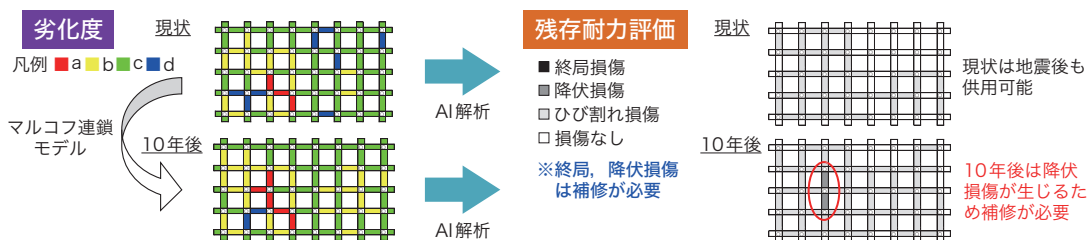


図5 残存耐力評価の将来予測事例