

データ駆動型アプローチによる四国内橋梁のひび割れ発生・進展の要因分析

香川大学 岡崎百合子 正会員 ○岡崎慎一郎
 愛媛大学大学院 正会員 全邦釘 大窪和明
 埼玉大学大学院 正会員 浅本晋吾

1. 研究背景と目的

橋梁の維持管理では、定期点検により総合的に橋梁の損傷の程度を評価し、補修の要否を決定する。点検項目のうち、コンクリートのひび割れは重要な指標であるが、その進展挙動は、橋梁の構造形式や車両の通行量、環境条件等、複数の要因に支配されており、挙動メカニズムには未解明な点が多い。本研究では、四国内のコンクリート橋に関する既存の定期点検データを用いて、機械学習により主桁および床版のひび割れの進展挙動をデータ駆動型でモデル化し、進展挙動に及ぼす要因分析を行うものである。



図-1 対象橋梁の位置

2. 分析に用いたデータ

図-1 に示すとおり、四国内で国が直轄する橋梁のうち、主桁もしくは床版にコンクリートを用いた 1,925 橋を対象とし、H17～ 27 年の 11 ヶ年の定期点検のデータを使用した。この点検データより、床版・主桁を径間毎に分割した要素に対し、ひび割れに加え、漏水・滞水など 14 種の損傷と、それらの損傷に対して低い方から a~e とした劣化ランク（本研究では 5~1 の数値に変換）を取得し、さらに、橋長や幅員等の橋梁諸元、交通量・大型車両混入率といった交通データも使用した。また、環境データとして、標高、年降水量・年平均気温、海岸線までの距離を取得した。

3. 機械学習による回帰モデルの構築¹⁾

3. 1 概要

機械学習は、分類と回帰に大別される。本研究では、橋梁諸元・交通データ・環境データに加え、供用年数等を入力値（予測子）、それらに対するひび割れ損傷ランクを出力値（応答）として、回帰モデルを構築した。回帰において、 M 個の予測子から成る一般的な線形モデルは、入力ベクトル x 、 M 次元の重みベクトル w 、基底関数 $\phi(x)$ により、 $y(x) = w^T \phi(x)$ と表される。今回は、 x の任意の 2 つのベクトルの類似度から $\phi(x)$ に相当する関数 $k(x_i, x_j)$ を設定するカーネルモデル（ノンパラメトリックなデータ駆動型アプローチ）を採用した。

3. 2 予測子の選択

予測子は過学習防止の観点から少ないほうが良いため、逐次特徴選択により表-1 に示すパラメータ全てを予測子に用いたモデルと同等の説明力を持つ、最小の予測子セットを決定した。なお、選択基準は 5 分割交差検定の RMSE（平均二乗誤差）とした。図-2 に予測子の数と RMSE の関係を示す。主桁では予測子数が 10 において RMSE が収束しており、その際の予測子は、説明力の強い順に「海岸線までの距離」「供用年数」「支間長」「全幅員」「湧水の有無」「年降水量」「上部構造示方書年代」「大型混入率」「標高」

表-1 予測子一覧

区分	予測子						
	橋梁諸元	橋長	支間長	全幅員	床版厚※	構造形式(橋種)	総径間数
設計条件	塩分対策区分	設計活荷重	設計震度	示方書年代(上部構造)			
打設条件	材料	打設場所					
荷重条件	交通量	大型混入率					
環境要因	漏水有無	海岸線までの距離	標高	年降水量	年平均気温		
その他	供用年数	完成年度					

※ 主桁では、床板厚を含まない

キーワード 機械学習, 橋梁, 劣化, ひび割れ進展

連絡先 〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20 香川大学工学部 TEL 087-864-2152

「材料」となった。床版についても「海岸線までの距離」が最も説明力が強く、四国内ではこの項目がひび割れ発生と進展に強い影響を与えていることが示唆された。

3. 3 回帰モデルの精度検証

主桁を対象に、予測子数 10 の回帰モデルの精度検証を行った。また、予測子数 1 のモデルと予測子数 20 のモデルについても比較検証を実施した。この 3 つの回帰モデルについて、ひび割れ損傷ランクの実測値と再代入回帰モデル値との差のヒストグラムを図-3 に示す。なお、使用したデータ数 24307 のうち、ひび割れランクが 5 (健全) であるデータ数は 93% であって、いずれのモデルであってもひび割れランク 5 に対する回帰は概ね再現できているため、本図はランク 5 を除いた 1749 のデータとした。予測子数 1 のモデルでは、モデル値と実測の差が「1~2」を中心に分布しているのに対し、予測子数 10 のモデルでは、「0~1」を中心とした分布になっており、再代入時の誤差が全体的に小さくなっている。また、予測子数 20 のモデルでは、予測子数 10 のモデルと概ね同じの分布になっており、予測子数 10 のモデルで十分な回帰の精度を有することが確認できる。

4. 海岸線までの距離がひび割れ損傷に与える影響

四国内の橋梁に対しては、「海岸線までの距離」がひび割れに対する説明力が最も強く、橋梁が位置する地域の特性が劣化に与える影響が大きい。そこで、構築した主桁の回帰モデルを用いて、「海岸線までの距離」がひび割れ損傷ランクに与える影響を分析した。まず、図-4 に実測における「海岸線までの距離」とひび割れ損傷ランクの関係を示す。図のデータは橋梁諸元等だけでなく、各橋梁で点検時の供用年数が異なる。そこで、供用年数の相違の影響を排除するため、回帰モデルを用いて各橋梁の供用年数を 40 年に揃えたものを図-5 に示す。海岸線付近では、ひび割れ損傷ランクは広く分布し、供用年数以外の予測子の影響が大きく残るが、海岸線からの距離の増加に伴いひび割れ損傷ランクは 5 に収束する傾向にあった。

5. 結論

実橋梁の点検結果を対象に、データ駆動型の機械学習を行った結果、四国のコンクリート橋梁では、ひび割れの発生・進展に対して「海岸線までの距離」が最も説明力が高いことが確認された。今後、個々の予測子がひび割れ損傷に与える影響を詳細検討し、地域特性が劣化に与える影響を検討したい。

謝辞 本研究で用いたデータは国土交通省四国地方整備局より提供を受けた。また、SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術、JSPS 科研費若手研究 (A) (17H04932) により実施した。ここに謝意を記す。

参考文献 1) C・M・Bishop : パターン認識と機械学習 (上) (下), 丸善, 2012

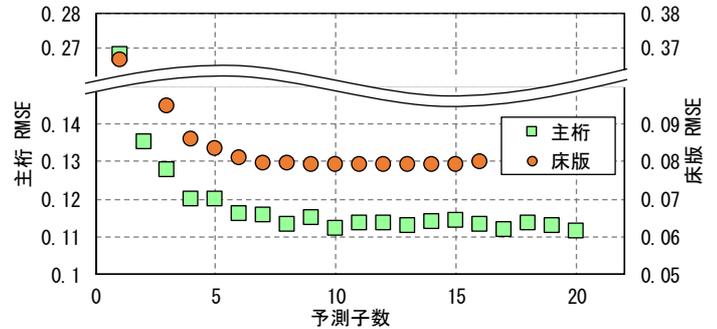


図-2 予測子数と RMSE の関係

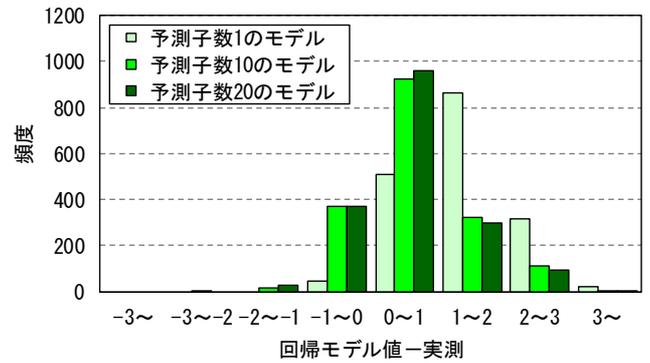


図-3 回帰モデル値と実測値との差分 (主桁)

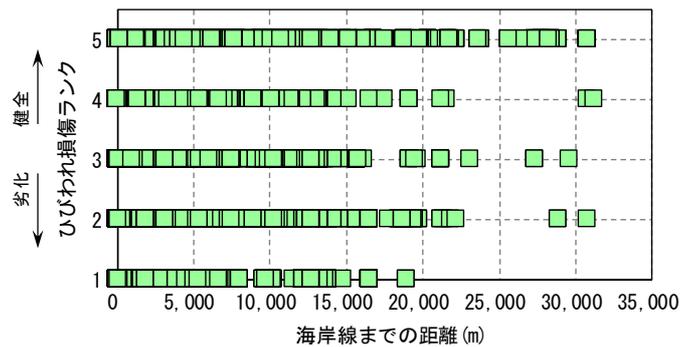


図-4 海岸線までの距離とひび割れランク (実測値)

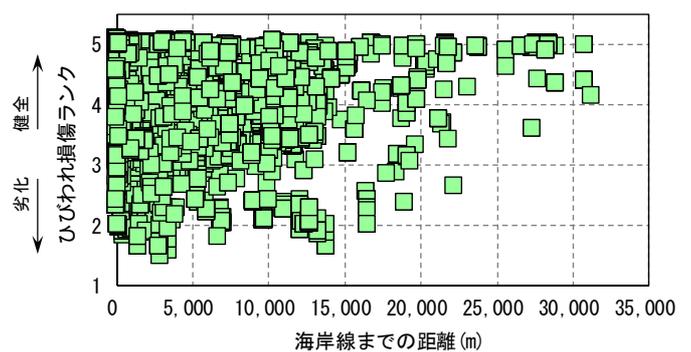


図-5 海岸線までの距離とひび割れランク (回帰)