

データ駆動形アプローチによる香川県内橋梁の劣化予測モデルの構築

香川大学 賛助会員 ○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、ひび割れは重要な指標であるが、実橋梁での進展挙動を追跡した例は少なく、現状でその予測は難しいと考えられる。本研究では、香川県内の 264 橋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わ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と回帰モデルの構築を行うものである。

2. 分析に用いたデータ

2. 1 使用データの概要

香川県内で国が直轄する 347 橋の橋梁のうち、主桁もしくは床版にコンクリートを用いた 264 橋を対象とし、H17 年~27 年の 11 ヶ年の定期点検のデータを使用した。図-1 に対象橋梁の位置を示す。点検では、橋梁の各部材に対し、径間毎に要素が区切られ、表-1 に示す 14 種の損傷と、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）が要素毎に記載されている。橋梁の緒元である橋長や幅員等の橋梁諸元、交通量・大型混入率のデータ等も得られている。

2. 2 ひび割れの進展挙動

本研究では、コンクリートの劣化の代表的な因子であるひび割れに焦点を当てる。図-2 に、ある橋梁の 1 径間におけるひび割れ損傷のランクデータをマップ化したものを、図-3 に損傷ランクの経時変化を示す。同径間であってもひび割れ損傷ランクの低下は一樣ではないことが確認できる。

3. 機械学習による回帰モデルの構築¹⁾

機械学習は、分類と回帰に大別される。本研究では、橋梁諸元や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。 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。予測子は過学習防止の観点から少ないほうが良いため、橋梁諸元に関するパラメータと、表-1 に示す漏水・滞水等を含めたパラメータを用いて、逐次特徴選択により最小の予測子セットを決定した。なお、選択基準は 10 分割交差検定の RMSE（平均二乗誤差）とした。その結果、主桁では RMSE が最小となる予測子数は 9 であり、予測力の強い順に

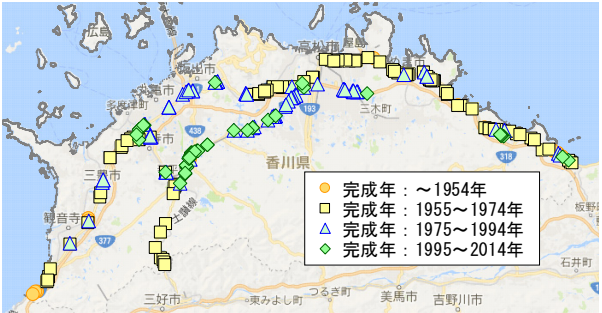


図-1 対象橋梁の位置

表-1 損傷の種類

ひび割れ	床版ひび割れ	剥離・鉄筋露出	漏水・遊離石灰
抜け落ち	補修・補強材の損傷	うき	遊間の異常
定着部の異常	変色・劣化	漏水・滞水	異常な音・振動
異常なたわみ	変形・欠損		

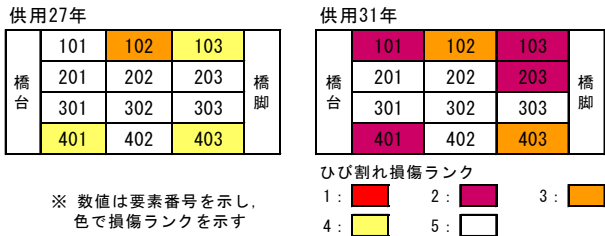


図-2 要素番号と損傷マップの一例（主桁）

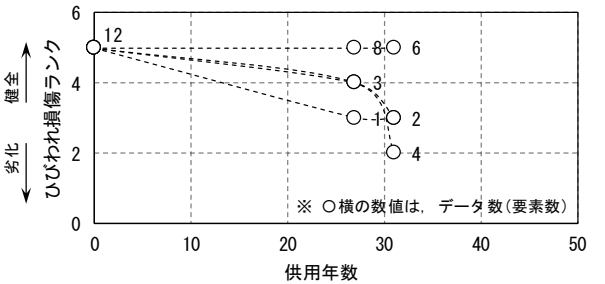


図-3 ひび割れ損傷の点検データ一例（主桁）

「橋長」「供用年数」「構造形式」「漏水の有無」「示方書年代」「剥離・鉄筋露出の有無」「材料」「支間長」「塩害対策区分」となった。「漏水の有無」という水の影響が、ひび割れ発生と進展に強い影響を与えており、床版でも概ね同様の傾向であった。

3. 検討結果

3. 1 回帰モデルの精度検証

回帰モデルの精度検証を行う。ひび割れランクの実測値と、再代入時回帰モデル値の差をとった値のヒストグラムのうち、主桁の結果を図-4に示す。実測とモデルとの差が±1以内に収まっており、回帰モデルの精度は概ね妥当であったと考えている。床版も同様であった。

3. 2 回帰モデルを用いたひび割れ進展挙動の予測

回帰モデルによる時間軸上の内挿と外挿結果と点検結果との比較を行う。ここで、予測子のうち、比較的対策を取りやすい「漏水の有無」に着目し、水がひび割れ進展に与える影響を検討する。図-5にひび割れ進展挙動の一例を示す。回帰モデル値は「水有り」の場合は「水なし」の場合と比較してひび割れ損傷ランクの低下速度が大きく、供用27年から31年の間に発生した、水有り要素でのひび割れ損傷の急激な進行を再現できている。

3. 3 ひび割れ進展に与える水の影響

図-6に、県内全橋を対象とした場合での、供用40年時のひび割れランクに与える水の影響度をヒストグラム化したものを示す。ここで水の影響度とは、任意の経過年次におけるひび割れ損傷ランクの回帰値において、「水なし」の条件から「水有り」の条件の差分を取ったものである。ひび割れ損傷ランクへの水の影響度は、主桁、床版ともに概ね正の値をとっており、十分に水の影響が確認できる。また、水の影響度の平均値を、供用年数20年から50年までプロットしたものを図-7に示す。供用年数の経過に伴い、水の影響度は増加し、50年で主桁、床版ともに、概ね0.40となった。水の存在によるひび割れ進展の影響が大きいことが確認された。

4. 結論

実橋梁の点検結果を対象に、結果データ駆動型の機械学習を行った結果、漏水・滞水などの水がひび割れの進展に強い影響を与えることが確認された。水の存在で塩化物イオンの浸透が促進したり、塩害環境でなくとも、水の侵入で鉄筋腐食が進行する事例もあり²⁾、水の侵入をできる限り抑制する維持管理が求められる。

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、および、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

2) 松田芳範：構造物調査によるコンクリート変状の実態把握と耐久性関連技術/規定の包括的な改善, 東京大学博士論文, 2012

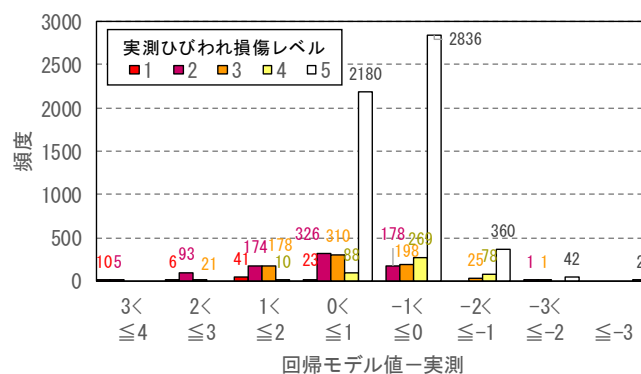


図-4 回帰モデルと実測値の差分 (主桁)

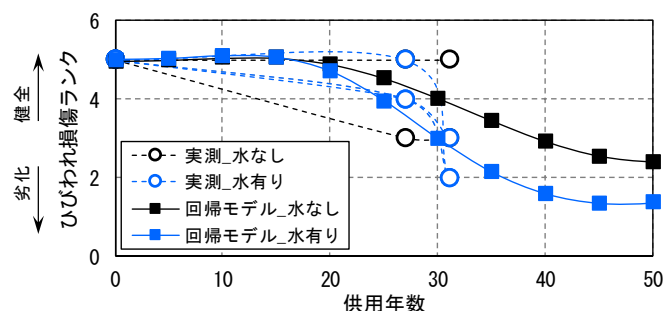


図-5 ひび割れ損傷の実測と回帰の一例 (主桁)

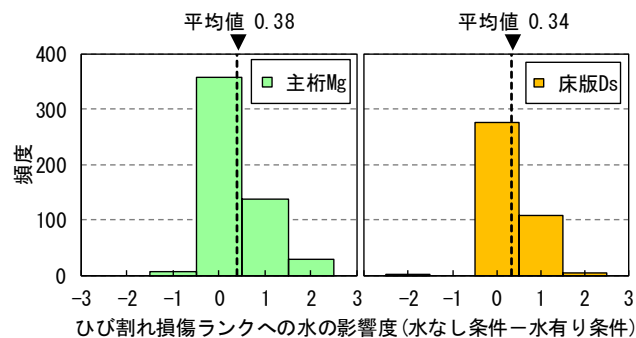


図-6 水の影響度の頻度分布 (供用40年)

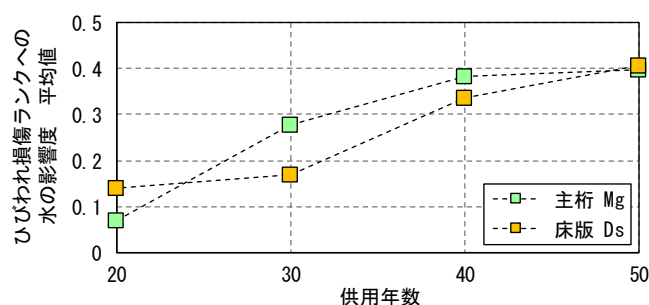


図-7 水の影響度の経時変化 (回帰モデル)