

機械学習に基づく四国内橋梁上部工のひび割れ発生要因分析

香川大学 賛助会員 岡崎百合子 正会員 岡崎慎一郎
 埼玉大学大学院 正会員 浅本晋吾 愛媛大学大学院 正会員 全邦釘

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。点検項目に挙げられる損傷のうち、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い。本研究では、四国内内の2,187橋のコンクリート橋に関する過去11年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。

2. 学習に用いたデータの特徴

四国4県内の国が直轄する橋梁のうち、主桁もしくは床版がコンクリート製である橋梁の定期点検データを対象とした。図-1に橋梁群の位置および年降水量の分布を示す。四国では、降水量の相違が極めて特徴的であり、香川県が位置する瀬戸内海側では総じて降水量は少ない一方、高知県が位置する太平洋側では降水量が極めて多い。また、沿岸部に加え内陸部も比較的多いのが特徴的である。

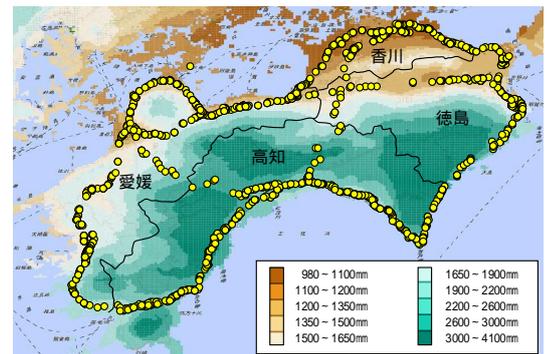


図-1 橋梁の位置と年降水量の分布

定期点検では、対象橋梁の各部材に対して径間ごとに細密に区切られた要素において、損傷種類とランクが記載される。本研究では、主桁および床版の「ひび割れ」の損傷ランク(1(劣化)~5(健全))を対象とし、支間長等の橋梁諸元、交通量等の外力に加え、前述の降水量や海岸線からの最小距離等の環境条件からモデル化することを試みた。

3. 機械学習アルゴリズムの選択

コンクリート工学で扱うデータの特徴は、構造、材料、曝露された環境等、従属変数は数多くなる点、一方で、説明変数となるひび割れ等は時間軸上には多く得られず、情報がスパースである点にある。したがって、従属変数の多さを勘案したうえで、時間軸上に稠密でもなく、等間隔でもないデータ群に適したアルゴリズムを選択する必要がある。本研究では、図-2に示す機械学習のアルゴリズムを用いて、本データ群の回帰に最も適したものを検討した。図-3に、本データ群の実測と回帰結果の一例を示す。本データは、図-3の左下に示すとおり、部材ごとに区切られた要素に対し、ひび割れ損傷ランクに加え、漏水の有無に関する情報が得られている。漏水が見られる要素では、ひび割れの進展が多く確認され、検討したアルゴリズム群のうち、ガウス過程回帰モデルが最もこうした挙動を再現できることを確認し、以降の検討に用いることとした。

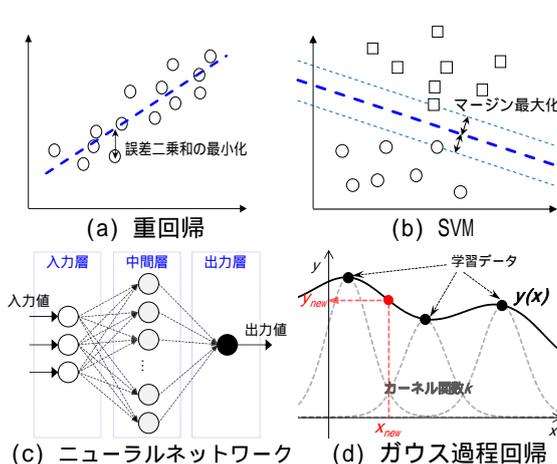


図-2 機械学習 各アルゴリズムの概念図

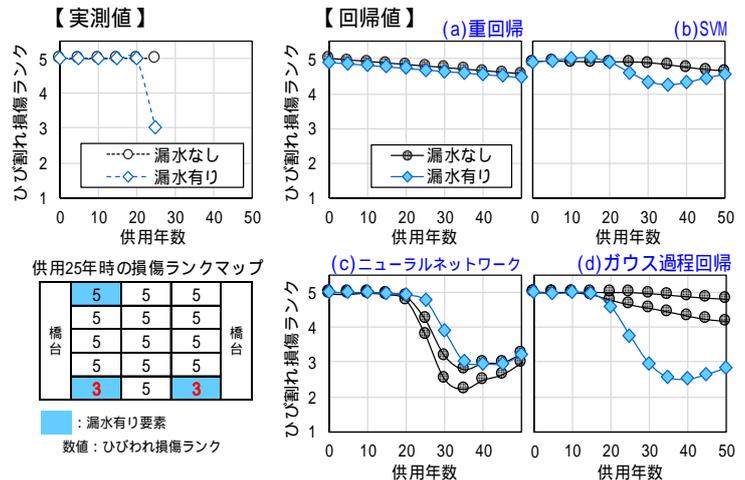


図-3 実測と各アルゴリズムを用いた回帰値の一例

4. ひび割れ進展に与える要因分析

回帰モデルを用いたパラメトリックスタディにより、ひび割れ発生に関する要因分析を行う。本稿では、2.で前述した、降水量の相違および海岸線からの距離といった、環境条件が橋梁の主桁および床版のひび割れ進展に与える影響について報告する。図-4に、主桁および床版の降水量別の、海岸線からの距離とひび割れ損傷ランクの関係を示す。降水量は、降水量の少ない香川の年降水量 1,100mm、降水量の多い高知の年降水量 2,700mm に加え、中間の 1,900mm の 3 ケースを示した。主桁においては、挙動が大きく異なると考えられる PC 構造と RC 構造で分離し、また、各グラフ内には、代表的な構造パラメータである支間長を色別に示す。なお、供用年数は 40 年とし、その他のパラメータは、本データ群の最頻値とした。

主桁において PC 構造の場合、海岸線からの距離によらず概ねひび割れ損傷は生じていない。これは、PC 構造の場合はそもそもひび割れを生じさせない機構となっているが、年降水量が少なく、海岸線に近い領域において支間長が 30~40m の橋に対しては、若干であるが、ひび割れの損傷が確認され、塩害の影響であると思われる。また、海岸線からの距離が 0m 付近の沿岸部ではランクが 5 と健全であり、海岸線からの距離の増加に伴ってランクが低下し、さらに海岸線からの距離が増加するとランクが回復する傾向が確認された。これは、海岸線近傍では塩害対策として耐久性設計が十分に施されている結果と考えられる。一方で、RC 構造の場合は、ひび割れランクの低下の挙動が PC 構造と比較して顕著である。特に支間長の増加と年降水量の増加に伴いランクの低下が著しい。また、PC 構造と同様に、沿岸部付近はさほどランクの低下が見られない傾向にあるが、年降水量が多い領域(2700mm)では、支間長が長くなるほど、沿岸部付近でもランクの低下が確認される。これは、多い降水が塩害を加速させたことが一因の可能性はあるが、調査が必要である。

床版では、主桁と同様に支間長の増加によりひび割れランクの低下が見られるが、年降水量および海岸線からの距離には大きな影響を受けていない。

5. 結論

実橋梁の点検結果を対象に、適切に選択された機械学習を行った結果、環境条件がひび割れに与える影響について把握できた。本モデルを基盤とした維持管理手法の高度化が期待される。

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。

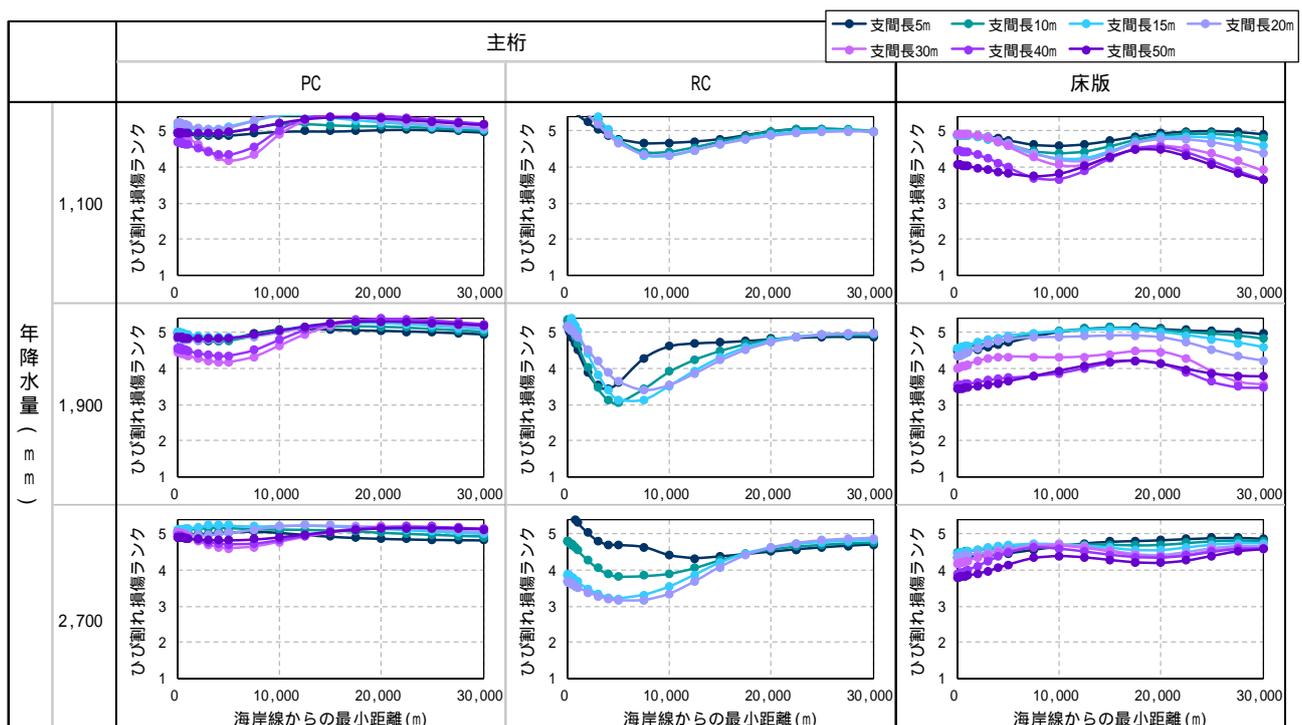


図-4 年降水量別 主桁および床版の海岸線からの最小距離とひび割れ損傷ランクの関係