

RBR および CBR を用いたコンクリート橋劣化要因の推定方法の提案

JIP テクノサイエンス（株） 正会員 今野 将顕 山口大学工学部 フェロー会員 宮本 文穂
山口大学工学部 正会員 中村 秀明

1. はじめに

橋梁点検業務の中核である「定期点検」を行った後には、一般的に「目視点検結果による橋梁の総合的評価や診断」、「診断結果による詳細調査の必要性の判定」という業務が行われる。点検作業はマニュアルを設定することで、比較的経験の浅い技術者でも行うことが可能である。しかし、診断などの作業は橋梁に関する豊富な知識や経験が必要であり、目視点検では確認できない内部劣化や、今後の劣化を予測した対策の選定といった維持管理業務を行うことになる。さらに、専門技術者の評価・診断といった作業は慎重に行う必要があるため、多大な労力と時間を要する。一方、今後維持管理対象となる橋梁数が増加すると、対応する専門技術者が不足することが考えられる。そこで本研究では、専門技術者の労力軽減、または比較的経験の浅い技術者でも診断を可能とし、橋梁維持管理業務を支援することを目的とする、コンクリート橋における劣化要因を推定するシステムを開発する。

2. 劣化要因推定システムの概要

劣化要因推定システムとは、コンクリート橋の劣化に関する専門知識を利用して推論を行い、劣化要因推定に関して、専門家と同等の能力をもつ知的問題解決を行うものである。この問題を解決する方法として、一般的に、専門家の経験的知識をルール形式で表現し、与えられた問題に対してルールを適用することで推論を行うルールベース推論（Rule-Based Reasoning : RBR）と、事例データベースに対して課題に類似した過去の事例を検索しその検索結果を課題に適合するように修正して、新たな解を導き出し、問題解決を行う事例ベース推論（Case-Based Reasoning : CBR）がある。RBR および CBR はそれぞれ、知識獲得が困難であり、獲得したルールのみで評価するので柔軟性に乏しくなること、事例数の不足により、解空間を完全にカバーできず、最適解の導出が保証できないこと、などの短所を有している。従って本研究では、両者の短所を補うために、専門家の有する知識および事例データの両者を用いることにより、現在、発生している劣化の要因を推定し、維持管理技術者の診断を支援する。本システムの対象はコンクリート橋における鉄筋コンクリート床版および主桁とし、劣

化の要因は、「繰り返し荷重」、「持続荷重」、「乾燥収縮」、「塩害」、「凍害」、「化学的侵食」、「アルカリ骨材反応」、「中性化」、「品質不良」、「施工不良」、「排水不良」、「構造形式不良」と定義する。

3. RBR による劣化要因推定

(1) 推論方法

劣化要因の推定を行うためには、劣化要因を推定するためのルールが必要である。文献1)では、橋梁の劣化要因と変状の関係の研究報告²⁾より、ルールを if-then 形式で表すプロダクションルールを用いている。さらに、推論方法に因果ネットワークを用いている。しかし、ここでは、要因→劣化現象、劣化現象→要因の方向に関係なく、ネットワークの構築が行われている。一方、現実には、構造物に何らかの劣化の要因が存在し、その要因により構造物の劣化が顕在化するというプロセスを経る。従って、図-1 に示すように、劣化現象から要因までの階層的なプロセスで推論を行うことが、より現実のプロセスに近く、専門家の思考にも合致する推論になると考えられる。従って本研究では、後向き推論を用いて要因から劣化現象に向かって推論を行い、各要因の確信度の算出を行うこととした。

(2) 推論対象

一般的に、点検データは各部材の部材番号ごとに記録されるものである。例えば、主桁の場合は、1 径間内の 1 主桁ごとに部材番号を割り振り、個々に点検データを記録する。ここで、本研究では、この部材番号が割り振られる部材を「部材要素」、主桁、床版などを「部材」と定義する。このようなことから、推論を部材要素ごとに行い、部材要

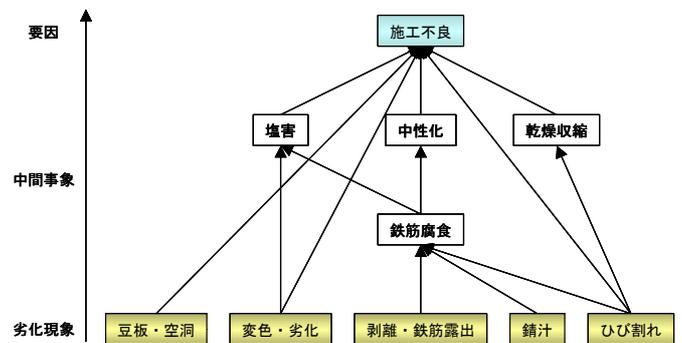


図-1 「施工不良」に関する推論プロセスの例

キーワード ルールベース推論，事例ベース推論，劣化要因，橋梁維持管理

連絡先 〒135-0016 東京都江東区東陽 2-4-24 TEL 03-5690-3201 FAX 03-5690-3227

素ごとに得られた各要因の確信度の最大値を部材における要因の確信度として算出する。

4. CBR による劣化要因推定

(1) 類似度の算出方法

CBR における最も重要な課題は、事例間の類似性をどのように定義するかである。つまり、問題となっている点検結果と事例間の類似性をどのように決定するかに相当する。

本研究では、以下の手順により事例間の類似度の算出を行う。

Step 1: 主桁、床版ともに、外側または内側に属するもの同士を比較対象部材要素とする。

Step 2: ひび割れ、剥離・鉄筋露出、豆板・空洞などの各損傷における、事例間の一致度を算出する。ひび割れの場合は、パターンが一致しているもの同士を比較対象とする。

Step 3: Step 2 より算出された、各損傷の一致度より、次式を用いて損傷の類似度を算出する。

$$r_{m,j_p,j_c} = \frac{\sum_{d=1}^D a_{m,j_p,j_c,d}}{\sum_{d=1}^D g(d)} \quad (1)$$

$$g(d) = \begin{cases} 0 & (\text{損傷}d\text{が点検および事例データにない場合}) \\ 1 & (\text{上記以外}) \end{cases}$$

ここで、 D ：損傷の種類数、 j_p ：点検データ側部材要素を表す添え字、 j_c ：事例データ側部材要素を表す添え字、 $a_{m,j_p,j_c,d}$ ：部材 m の部材要素 j_p 、部材要素 j_c における損傷 d の一致度、 r_{m,j_p,j_c} ：部材 m の部材要素 j_p 、部材要素 j_c における一致度とする。

Step 4: 全ての比較対象部材における類似度の算出が終了していなければ、Step 2～3 を繰り返し行う。

Step 5: 全ての比較対象部材における類似度の最大値より、点検データ側対象部材要素における類似度として算出する。

Step 6: 全ての点検データ側対象部材における類似度の算出が終了していなければ、Step 2～5 を繰り返し行う。

Step 7: 全ての点検データ側対象部材要素における類似度の最大値より、主桁または床版における類似度を算出する。

(2) 各事例における確信度の算出

各事例データが必ずしも真の解を導出しているとは限らないが、(1) より算出された類似度だけで各事例を評価してしまうと、事例ごとのデータの信頼性を同一として扱うことになってしまう。従って、各事例に信頼度という指標を設定し、これをもとに各事例の確信度を次式より算出する。

$$CF_{C_{m,k}} = R_{m,k} \times c_k \quad (2)$$

ここで、 c_k ：事例 k における信頼度 (0～1)、 $R_{m,k}$ ：事例 k における部材 m の類似度、 $CF_{C_{m,k}}$ ：事例 k における部材 m

の確信度とする。

5. 計算例

一例として主桁に、ひび割れ、豆板・空洞、錆汁および剥離・鉄筋露出が発生している損傷事例に対して、RBR および CBR を行った。「中性化」における劣化要因推定の結果出力画面を図-2 に示す。この事例では、RBR の結果は 0.36、CBR の結果は 0.50 であり、それぞれ、「低い可能性がある」、「可能性がある」に位置付けられる。この両者の結果より、劣化の原因は、「中性化の可能性はある」という結果になる。ここで、RBR、CBR の結果からの評価方法は、各々の推定結果の差が 1 ランクまたは同一であれば、高い方のランクを推定結果として採用する。一方、推定結果の差が 2 ランク以上であれば、高い方のランクから 1 つ下のランクに位置付け、RBR または CBR からは最適解を導出できなかったことを意味し、ユーザー側でも検討する必要があることを示している。

6. まとめ

本研究では、RBR および CBR を用いて、コンクリート橋の劣化の要因を推定する方法を提案した。これにより、専門技術者の労力軽減、または比較的経験の浅い技術者でもコンクリート橋の診断を可能とし、橋梁維持管理業務を支援することが可能となると考えられる。さらに維持管理業務の効率化を図るために、本手法により得られたコンクリート橋の劣化要因の確信度を用いて、詳細点検方法の選定支援が可能となる。

参考文献

- 1) 河村圭, 宮本文穂, 中村秀明, 小野正樹: Bridge Management System (BMS) における維持管理対策選定システムの開発, 土木学会論文集, No.658/VI-48, pp.121-139, 2000.9.
- 2) 例えば, 建設省土木研究所材料施工部: コンクリート構造物の健全度診断技術の開発に関する共同研究報告書, 共同研究報告書, 整理番号 195 号, 1998.3.

CBR\RBR	IV	III	II	I
IV	x	△	▲	●
III	△	△	○	●
II	▲	○	○	◎
I	●	●	◎	◎

◎: 高い可能性がある
○: 可能性がある
●: 可能性があるが検討の必要あり
△: 低い可能性がある
▲: 低い可能性があるが検討の必要あり
x: 可能性ほとんどない

I: 高い可能性がある (0.7 ≤ CF ≤ 1.0)
II: 可能性がある (0.5 ≤ CF < 0.7)
III: 低い可能性がある (0.2 ≤ CF < 0.5)
IV: 可能性ほとんどない (0.0 ≤ CF < 0.2)

図-2 RBR と CBR の結果出力画面