

事例ベース推論を用いたコンクリート橋の劣化要因推定方法の提案

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

目視点検を行った後の診断作業においては、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などを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予想される。このような背景のもと、著者らは、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している¹⁾。本研究では、劣化要因推定の推論の一部である、事例ベース推論（Case-Based Reasoning : CBR）を用いた推論方法について提案を行う。

2. 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、事例データの構造を諸元項目、損傷項目などで表される階層構造とし、これを用いて事例間の類似度を算出する。主桁の事例データ構造を図-1に、類似度の算出手順を以下に示す。

【Step 1】架設年度の類似度を算出

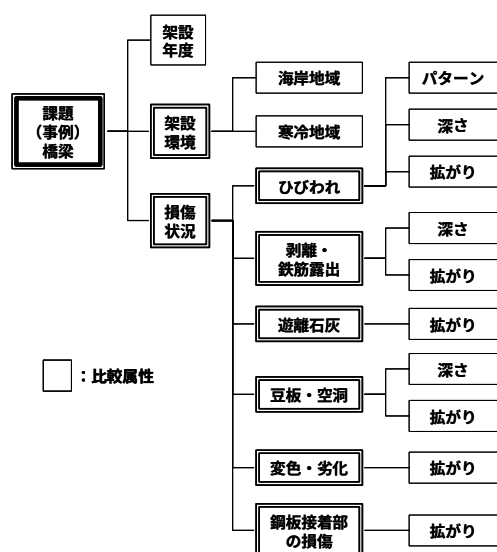


図-1 主桁の事例データ構造

課題と事例データの架設年を比較し、その差が一定年数以内であるか否かによって、架設年度の類似度を算出する。

$$R_{y,p,k} = \begin{cases} 0 & (|P_y - k_y| > Yd) \\ 0.5 & (Yd/2 < |P_y - k_y| \leq Yd) \\ 1 & (|P_y - k_y| \leq Yd/2) \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 $R_{y,p,k}$ ：課題と事例 k の架設年度類似度、 P_y ：課題の架設年度（西暦）、 k_y ：事例 k の架設年度（西暦）、 Yd ：基準年数とする。

【Step 2】架設環境の類似度を算出

架設環境には「海岸地域」「寒冷地域」などの属性がある。各属性に対し、該当する場合に1、該当しない場合に0を代入し、次式を用いて課題と事例データの架設環境の類似度を算出する。

$$R_{E,p,k} = \sum_{b=1}^B \frac{(1 - |P_{E,b} - k_{E,b}|)}{B} \quad (2)$$

ここで、 $R_{E,p,k}$ ：課題と事例 k の架設環境類似度、 b ：架設環境の属性を表す添え字、 $P_{E,b}$ ：課題の架設環境属性 b の値、 $k_{E,b}$ ：事例 k の架設環境属性 b の値、 B ：架設環境の属性数とする。

【Step 3】比較対象部材要素の決定

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 4】比較対象部材要素の損傷類似度の算出

本研究では、損傷類似度の算出方法として、「均等分割」、「ファジィ積集合」、「ファジィ集合重心距離」の3通りの指標を用いる。各指標の算出方法を以下に示す。

均等分割

まず、課題と事例データの各損傷属性の値を0から1に属性数分を均等に割り振り、次式により課題と事例データ間の各損傷における一致度を算出する。

$$C_{P_j, k_i, pt} = \sum_{a=1}^A [1 - |d_{P_j, pt, a} - d_{k_i, pt, a}|] \quad (3)$$

ここで $C_{P_j, k_i, pt}$ ： P_j と k_i との損傷 pt の一致度、 pt ：損傷種類を表す添え字、 a ：損傷属性を表す添え字、 A ：損傷属性数、 $d_{P_j, pt, a}$ ：課題の部材要素 P_j における損傷 pt の属性 a の値、 $d_{k_i, pt, a}$ ：事例 k の部材要素 k_i における損傷 pt の属性 a の値とする。

次に、算出された損傷一致度をもとに、表-1から損傷別

キーワード 事例ベース推論, ファジィ, 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

類似度を算出する。さらに、算出された損傷別類似度を平均することにより、比較対象部材要素の損傷類似度を算出する。

ファジィ積集合

損傷属性を図-2に示すようなファジィ集合と仮定し、ファジィ和集合と積集合の面積の比率より属性間の一致度を算出する。次に、算出された損傷属性ごとの一致度を平均し、損傷別類似度を算出する。さらに、算出された損傷別類似度を加重平均して比較対象部材要素の損傷類似度を算出する。

ファジィ集合重心距離

損傷属性を図-2に示すようなファジィ集合と仮定し、ファジィ集合重心距離を用いて損傷属性間の一致度を算出する。次に、算出された損傷属性ごとの一致度を平均し、損傷別類似度を算出する。さらに、算出された損傷別類似度を加重平均して比較対象部材要素の損傷類似度を算出する。

【Step 5】比較対象部材の損傷類似度を算出

比較対象部材要素の損傷類似度をもとに、次式により比較対象部材の損傷類似度を算出する。

$$R_{D,P,k} = \sum_{j=1}^J \left[\left\{ \left(\sum_{i=1}^I R_{P_j,k_i} \right) / I \right\} \right] / J$$
 (4)

ここで、 $R_{D,P,k}$ ：課題と事例 k の損傷類似度、 P_j ：課題の部材要素 j を表す添え字、 k_i ：事例 k の部材要素 i を表す添え字、 R_{P_j,k_i} ： P_j と k_i の損傷類似度、 J ：課題の部材要素数、 I ：事例データの部材要素数とする。

【Step 6】類似度を算出

Step 1～5 までで算出した架設年度類似度、架設環境類似度、損傷類似度をもとに、次式により類似度を算出する。

$$R_{m,k} = \sum_i (R_{i,P,k} \times W_i)$$
 (5)

ここで、 $R_{m,k}$ ：事例 k における部材 m の類似度、 W_i ：各

項目の重みとする。

(2) 各事例における確信度の算出

(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。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ので、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 CF を次式より算出する。

$$CF_{C_{m,k}} = R_{m,k} \times c_k$$
 (6)

ここで、 c_k ：事例 k における信頼度(0～1)、 $CF_{C_{m,k}}$ ：事例 k における部材 m の確信度とする。

3. 計算例

一例として1968年に架設されたRC-T桁橋の主桁の損傷を課題ケースとして推論を行う。この計算対象橋梁は、主桁に、ひび割れ、豆板・空洞、剥離・鉄筋露出が発生しており、詳細点検の結果から塩害と診断された橋梁である。

本研究で提案した類似度算出方法を用いた計算結果を表-2に示す。「均等分割」、「ファジィ積集合」、「ファジィ集合重心距離」を用いた推論方法の何れにおいても、塩害事例の確信度が高く算出されたことから、本研究で提案する推論方法の有効性は高いと推察される。

4. まとめ

本研究では、CBRを用いた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) 今野将顕, 宮本文穂, 中村秀明: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, 第58回年次学術講演会, 土木学会, VI-201, pp.401-402, 2003.9.

表-1 損傷一致度と損傷類似度の関係

	一致度				
	0	0.5	1	1.5	2
損傷属性数 1	1/2	-	1	-	-
損傷属性数 2	1/3	-	2/3	-	1
ひびわれ	1/5	2/5	3/5	4/5	1

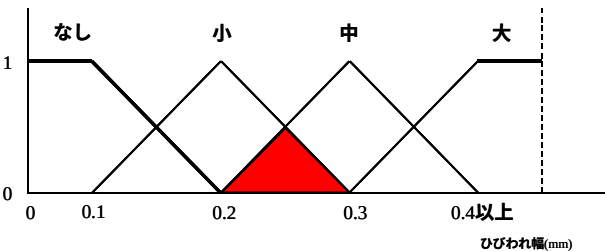


図-2 ひび割れ幅の一致度算出例

表-2 CBRによる劣化要因推定の結果

橋梁名	劣化要因	確信度		
		均等分割	ファジィ積集合	ファジィ重心距離
ON橋	塩害	0.889	0.967	0.977
SU橋	塩害	0.792	0.924	0.935
MA橋	中性化	0.665	0.781	0.809
SA橋	中性化	0.659	0.777	0.793
KO橋	塩害	0.564	0.634	0.646
FU橋	乾燥収縮	0.430	0.606	0.615
NA橋	中性化	0.378	0.459	0.474
OO橋	中性化	0.317	0.431	0.446
TA橋	中性化	0.317	0.424	0.443
A0橋	中性化	0.286	0.415	0.426