

橋梁構造物劣化要因推定システムの推論手法の改良

山口大学大学院 学生会員○西尾貴史 山口大学大学院 学生会員 岩崎裕二
山口大学工学部 正会員 中村秀明 宮本文穂

1. はじめに

コンクリート構造物の維持管理が重要となってきた。著者らは、橋梁に対する効果的な維持管理対策を提案することを目的に、観測された変状から、劣化の原因である劣化要因を推定するシステム「劣化要因推定システム」の構築を行ってきた¹⁾。本研究では、推論精度の向上のため、推論手法の改良を行った。

2. 劣化要因推定システムの概要

橋梁の維持管理では専門技術者の評価・診断といった作業が重要であり、専門技術者は多大な時間と労力を要する。今後、維持管理対象となる橋梁が増えるに従い、維持管理業務を行う専門技術者の不足が懸念される。そこで点検時に見られた損傷から対象橋梁に発生していると思われる劣化要因を推定することを目的として、劣化要因推定システムは開発された²⁾。

3. プロダクションルールによる劣化要因の推定

推論手法には確信度付きのプロダクションルール (if A then B: A を前件部, B を後件部と呼ぶ。) が用いられている。確信度付きのプロダクションルールでは、前件部が真のとき後件部の信頼できる度合を確信度という数値で表現している。これによりルールや事実の「確からしさ」を数値の大きさに表現することが可能となった。以下にその例を示す。

(例) if 「床版ひび割れ (点検で確認された事象)」
then 「漏水・滞水」 (ルールの確信度 0.4)

また、前件部から後件部の事象の確信度を求めるには、(前件部の事象の確信度) × (ルールの確信度) によって求めている。

4. 推論手法の改良

本研究では、既存システムの推論精度の向上を目的に、推論手法の改良を行った。専門技術者との話し合いによって、専門技術者の推論方法は、複数の事象情報を用いて、一つの劣化要因に絞り込んでいる。これに対して、従来の劣化要因推定システムは前向き推論を行い、単純に可能性のある事象だけを導き出している。このような単純に可能性のある事象だけを追っていく 1 対 1 対応のプロダクションルールでは、専門家の推論を模倣するのは困難であると思われる。そこで本研究では、1 対 1 対応のプロダクションルールを用いて前向き推論を行っている推論部を、柔軟で効果的な推論が期待できる双方向推論に改良し、専門技術者の推論結果ならびに旧シ

ステムの出力結果との比較を行うことによってその有効性を確認する。

5. 双方向推論の処理フロー

本研究における双方向推論の流れを図 1 に示す (以降、前向き推論を行う劣化要因システムを旧システム、双方向推論を行う劣化要因推定システムを本システムと呼ぶ)。

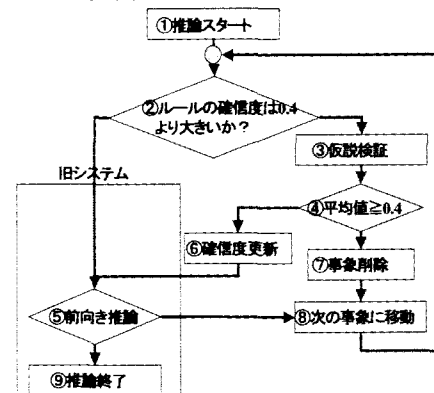


図1 本推論の処理フロー

①推論スタート

「損傷あり」と入力された事象に対して推論を開始する。

②ルールの確信度は 0.4 より大きいのか?

旧システムと同様にプロダクションルールを用いて前向き推論を行い、そこから推論する際に用いられるルールの確信度の値が 0.4 よりも大きければそのまま推論の対象 (⑤前向き推論に移動) にする。また、0.4 以下なら仮説検証の対象 (③仮説検証に移動) とする。つまり閾値としてルールの確信度を用いる。

③仮説検証

②によってルールの確信度が 0.4 以下となった事象に対して仮説検証が行われる。

④平均値 ≥ 0.4

①の推論によって導き出された事象に対して、今まで用いていたルールを逆に利用し、その事象の確信度の平均を閾値に設定し、0.4 以上なら真と判断され前向き推論の対象とする。0.4 未満なら偽と判断され、その事象を削除する。

⑤前向き推論

ルールの確信度が 0.4 より大きかった事象、または仮説検証によって真と判断されたものに対して旧システムと同様にプロダクションルールを用いて前向き推論を行う。

⑥確信度更新

ルールの確信度を④で求めた平均値に更新する。

⑦事象削除

仮説検証で偽と判定された事象は削除される。

⑧次の事象に移動

1つの事象の推論、または仮説検証が終了すると次の事象に移動する。

⑨推論終了

すべての事象に対して推論が行われると推論が終了し、本システムによって推論された劣化要因が出力される。

6. 推論結果の検証

専門技術者が床版の変状図から推定した劣化要因と、旧システムの出力結果ならびに本システムの出力結果を比較し、本システムがどの程度専門技術者の推論結果に近づいたか検証を行う。専門技術者の推論は、システムと同じ条件（変状図の情報のみ）で行った。つまり、橋梁の諸元データ、環境データ、試験データ、写真などは推論には用いていない。図2に専門技術者が推論に用いた変状図を示す。また表1に専門家の推論結果を示し、図3および図4に旧システム、本システムの推論結果を示す。

専門技術者が橋梁の実データから推論した劣化要因は、荷重と施工不良である。旧システムと本システムの施工不良に注目すると、旧システムの確信度は0.4であり、本システムの確信度は0.65である。また、専門技術者がありえないと推論している「塩害」に注目すると、本システムの出力結果の方が旧システムの出力結果よりも小さくなっている。この2点から本システムは旧システムよりも、より専門技術者の推論結果に近づいたと言える。

しかし、システムの出力は専門技術者の推論結果に近づいたが、推論した経路（履歴）が同じかとい

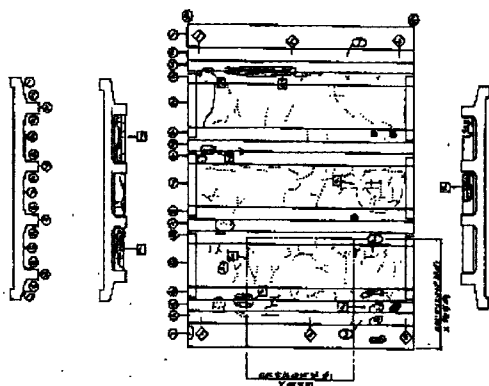


図2 橋梁の床版の変状図

表1 専門技術者の推論結果

見られた変状	推論した劣化要因	コメント
床版ひび割れ	荷重(繰り返し荷重、走行荷重)	腐食がなく、鉄筋の腐食がないことから塩害・凍害は考えられない。ひび割れ形状から、アルカリ骨材反応ではない。橋軸方向のハンチ部ひび割れは、車輪位置の荷重の影響による。曲げせん断を受けやすい。
床版ひび割れ	構造(走行位置)	荷重の繰り返しによって、一方から三方方向ひび割れへ進展したもの、しかも剛性の变化する橋梁端部に発生している。
床版ひび割れ 豆板・空洞	荷重(繰り返し荷重、力学的要因(疲労)) 施工不良(締め固め不良)	変状箇所が少なく、部分的である。

ID	劣化部位	事象	確信度	付加情報
1	床版	床版ひび割れ	1	
2	床版	路面ひび割れ	1	
3	床版	豆板・空洞	1	
4	床版	漏水・湧水	0.4	
5	床版	剥離・露筋	0.4	
6	床版	鉄筋腐食	0.6	
7	床版	鉄筋腐食	0.4	
8	床版	荷重などの力学的要因	0.6	
9	床版	施工不良によるもの	0.4	
10	床版	設計不良によるもの	0.4	
11	床版	凍害	0.4	
12	床版	アルカリ骨材反応	0.4	
13	床版	乾燥収縮	0.4	
14	床版	予期しない外力(事故)	0.7	
15	床版	基礎条件の変化	0.4	
16	床版	鉄筋量不足による	0.4	
17	床版	運搬石灰	0.24	
18	床版	排水機能不足	0.24	
19	床版	錆汁	0.24	
20	床版	塩害	0.24	
21	床版	中性化	0.08	
22	床版	変色・劣化	0.24	
23	床版	ポツポツ	0.16	
24	床版	材料不良によるもの	0.16	
25	床版	ゲル状の流出物	0.36	
26	床版	欠損	0.42	
27	床版	予期しない外力	0.08	
28	床版	排水管の詰まりま	0.144	
29	床版	コゲなどの堆積物	0.032	

図3 旧システムの推論結果

ID	劣化部位	事象	確信度	付加情報
1	床版	床版ひび割れ	1	
2	床版	路面ひび割れ	1	
3	床版	豆板・空洞	1	
4	床版	漏水・湧水	0.5	
5	床版	剥離・露筋	0.4	
6	床版	鉄筋腐食	0.6	
7	床版	荷重などの力学的要因	0.6	
8	床版	施工不良によるもの	0.66	
9	床版	設計不良によるもの	0.4	
10	床版	凍害	0.4	
11	床版	アルカリ骨材反応	0.4	
12	床版	予期しない外力(事故)	0.7	
13	床版	基礎条件の変化	0.3	
14	床版	排水機能不足	0.3	
15	床版	鉄筋腐食	0.36	
16	床版	変色・劣化	0.39	
17	床版	乾燥収縮	0.39	
18	床版	ゲル状の流出物	0.36	
19	床版	欠損	0.42	
20	床版	排水管の詰まりま	0.18	
21	床版	錆汁	0.216	
22	床版	塩害	0.216	

図4 本システムの推論結果

うと全く同じとは言えない。そのため、因果ネットワーク以外に専門技術者の意見をシステムに組み込む方法を検討する必要がある。また、より専門技術者の推論結果に近づくために、仮説検証の方法をさらに検討する必要がある。

7. まとめ

- ① システムの推論部を前向き推論から、双方向推論に改良することによって、専門技術者の推論結果に近づくことができた。
- ② 履歴の比較を行う事によって、“仮説生成と検証”という意思決定パターンが可能となり、より人間らしい推論が可能となった。
- ③ システムの出力は専門技術者の推論結果に近づいたが、推論した経路（履歴）が同じかという点から本システムは旧システムよりも、より専門技術者の推論結果に近づいたと言える。

【参考文献】1) 河井佳: Bridge Management System(BMS)の開発および実用化に関する研究 山口大学博士論文, 2000.3 2) 岩崎裕二: RC 橋梁における劣化要因推定システムの再構築 山口大学卒業論文, 2002.2