

I-A 397 コンクリート橋診断エキスパートシステムの実橋への適用と補修・補強の判定

山口大学大学院 学生会員 ○山本秀夫

山口大学工学部 正会員 宮本文穂

山口大学大学院（栗本鉄工所） 正会員 串田守可

山口大学大学院 学生会員 河村 圭

1. まえがき

コンクリート橋は長い間メンテナンス・フリーであると考えられてきたが、近年様々な要因による劣化、損傷が問題となり、合理的な維持管理が必要となってきた。橋梁の維持管理の基本フローである「調査」→「診断」→「補修・補強」のうち、系統的な維持管理を実行するためには、特に「診断」が重要となるが、その主要部分の多くは少数の経験豊富な専門家に委ねられているのが現状である。このような現状に対処できる技術に「エキスパートシステム」の適用がある。これは、専門家の持つ知識、経験といったものをコンピュータ内に知識ベースとして移植し、専門家と同程度の診断を行わせるものである。本研究は、従来より著者らが開発を進めてきた、橋梁の維持管理に携わる専門家の知識、経験を導入し、橋梁の点検結果、橋梁台帳などのデータから既存橋梁の耐用性診断が可能な「コンクリート橋診断エキスパートシステム」（以下、本システムと略記する）を利用し、これに実橋データを入力した耐用性診断結果とそれに基づく補修・補強の判定結果の検証を行ったものである。

2. 本システムの概要

本システムでは、ニューラルネットワークと双方向連想記憶を組み合わせた推論機構を構築し、コンクリート橋の維持管理に携わる専門家の知識をニューラルネットの結合重みとして導入することによってファジィ推論を可能とするとともに、知識更新機能を付加している。本システムに診断対象橋梁の橋梁諸元、環境条件、交通量、各ひび割れの状態などといった定量的、定性的なデータが入力されると、各診断項目ごとに推論機構により診断されたdanger～safeの5段階評価の耐用性診断結果が出力される¹⁾。また、それを基にして補修・補強部位、工法に関する推論結果が得られる²⁾。

3. 既存橋梁への適用

表1 診断対象橋梁の概要と損傷状態

橋 梁 名	N 橋	Y 橋	F 橋
所 在 地	山口県厚狭郡橋町	山口県厚狭郡橋町	山口県宇部市二俣瀬
架設年（橋齢）	昭和38年（33年）	昭和10年（61年）	昭和33年（38年）
橋梁形式	3径間RC単純T桁橋	単径間RC単純T桁橋	3径間RC連続ゲルバー桁橋
橋長／幅員	42.00m／4.00m	11.0m／4.10m	67.00m／7.55m
主桁損傷状態	「鉄筋腐食ひび割れ（10.0mm）」 「曲げひび割れ（0.3mm）」 「遊離石灰」 「コンクリートの欠落」	「鉄筋腐食ひび割れ（0.4mm）」 「曲げひび割れ（0.05mm）」 「遊離石灰」 「コンクリートの欠落」	「曲げひび割れ（0.1mm）」
荷重状態	あまり厳しくない	あまり厳しくない	厳しい
目視による 損傷程度	大	中～大	小

3.1 診断対象橋梁の概要

診断対象橋梁は山口県内に架設されている3橋梁とし、事前目視点検を行った。表1にその概要および損傷状況をまとめて示す。

3.2 耐用性診断結果の検証

上述3橋に対する本システムによる主桁に関する診断結果の一例を表2にまとめる。表中の平均健全度は5段階評価を非ファジィ化したものであり、帰属度関数の重心値を用いている。

表2より、「Y橋」については『主桁耐荷性』に比べて『主桁耐久性』の方が評価が悪く、逆に「F橋」については『主桁耐荷性』に比べ『主桁耐荷性』の方が評価が悪くなっており、目視による2橋の荷重状態および損傷状態

表2 本システムによる3橋に対する診断結果（主桁）

橋梁名	診断項目	平均健全度	danger	slightly danger	moderate	slightly safe	safe
N橋	鉄筋の腐食ひび割れ	56.0	0.268	0.117	0.017	0.245	0.354
	主桁耐荷性	63.3	0.003	0.070	0.359	0.396	0.172
	主桁耐久性	55.6	0.008	0.267	0.175	0.535	0.015
	主桁耐用性	59.4	0.018	0.137	0.268	0.508	0.068
Y橋	鉄筋の腐食ひび割れ	27.6	0.211	0.724	0.049	0.007	0.009
	主桁耐荷性	58.9	0.014	0.177	0.310	0.345	0.153
	主桁耐久性	31.6	0.102	0.767	0.093	0.026	0.013
	主桁耐用性	41.9	0.059	0.525	0.209	0.176	0.032
F橋	鉄筋の腐食ひび割れ	86.3	0.000	0.000	0.000	0.185	0.815
	主桁耐荷性	57.3	0.005	0.202	0.455	0.096	0.242
	主桁耐久性	67.6	0.002	0.087	0.063	0.729	0.120
	主桁耐用性	61.3	0.017	0.125	0.253	0.492	0.114

と良い対応を示している。また「Y橋」および「F橋」の『主桁耐用性』の平均健全度がそれぞれ41.9点と61.3点となっており、目視点検結果から推測された結果とほぼ対応しているといえる。しかし、目視点検からは「Y橋」以上に主桁の損傷が著しかった「N橋」においては『主桁耐用性』の平均健全度が59.4点であり、比較的健全であると予想された「F橋」の状態に近い評価が得られており、矛盾した診断結果が得られていることになる。これは、本システムの推論機構がニューラルネットワークにより構成されており、知識ベースはこのニューラルネットワークの結合の重みで表現されているが、その知識ベース構築の際、ひび割れ幅を1.0mmを越えるものについて学習しなかったため、10.0mmというひび割れ幅が入力された場合でも『主桁耐用性』の評価に影響する『鉄筋の腐食ひび割れ』および『主桁耐久性』の診断結果が比較的良好であると評価されたことによると思われる。

3.3 補修・補強判定結果の検証

上述3橋の本システムによる主桁の補修・補強に関する診断結果の一例を表3に、また、補修・補強処置判定結果の一例を表4、表5にまとめる。これらより、「F橋」では主桁曲げひび割れが少し発生していたために『主桁ひび割れ』の項目で「追跡調査が必要」を支持しているほかは「現在のところ補修・補強の必要性なし」もしくは「全く問題なし」を支持している。また、コンクリートの欠落が至るところでみられた「Y橋」では

表3 3橋に対する補修・補強に関する診断結果（主桁）

橋梁名	判定項目	State I	State II	State III	State IV	State V
N橋	主桁ひび割れ	0.216	0.380	0.284	0.102	0.019
	主桁断面欠損	0.132	0.401	0.338	0.111	0.019
	ひび割れ箇所の全体的損傷	0.202	0.487	0.251	0.056	0.004
	断面欠損箇所の全体的損傷	0.169	0.439	0.312	0.075	0.004
	主桁曲げ剛性	0.255	0.457	0.184	0.078	0.027
Y橋	主桁せん断剛性	0.255	0.457	0.184	0.078	0.027
	主桁ひび割れ	0.177	0.587	0.204	0.032	0.000
	主桁断面欠損	0.358	0.457	0.157	0.027	0.000
	ひび割れ箇所の全体的損傷	0.059	0.250	0.233	0.337	0.121
	断面欠損箇所の全体的損傷	0.100	0.222	0.205	0.344	0.129
F橋	主桁曲げ剛性	0.022	0.076	0.204	0.494	0.204
	主桁せん断剛性	0.022	0.076	0.204	0.494	0.204
	主桁ひび割れ	0.018	0.161	0.579	0.209	0.034
	主桁断面欠損	0.000	0.000	0.059	0.405	0.526
	ひび割れ箇所の全体的損傷	0.010	0.095	0.360	0.401	0.133

State I:「早急に補修・補強が必要」 State II:「補修・補強が必要」 State III:「追跡調査が必要」
State IV:「現在のところ補修・補強の必要性なし」 State V:「全く問題なし」

で「補修・補強が必要」を支持しており、一方、「Y橋」以上に損傷の著しかった「N橋」ではすべての項目で「補修・補強が必要」を支持している。そしてこれから判断される主桁の補修処置判定結果（表4）は、「N橋」については

表4 3橋の補修処置判定結果（主桁）

橋梁名	ひび割れ・断面欠損部とも補修	ひび割れの補修	断面欠損部の補修	追跡調査	特に問題なし
N橋	0.327	0.286	0.157	0.207	0.023
Y橋	0.086	0.167	0.211	0.254	0.281
F橋	0.003	0.072	0.363	0.033	0.528

表5 3橋の補強処置判定結果（主桁）

橋梁名	曲げおよびせん断補強	曲げ補強	せん断補強	追跡調査	特に問題なし
N橋	0.467	0.220	0.073	0.213	0.027
Y橋	0.006	0.083	0.257	0.060	0.595
F橋	0.006	0.083	0.257	0.060	0.595

『ひび割れ・断面欠損部とも補修』を、「Y橋」および「F橋」については『特に問題なし』を最も大きく支持している。しかし、「Y橋」については『追跡調査』、『断面欠損部の補修』に対する支持も比較的大きく、補修の必要性を少なからず促しているといえる。また、主桁の補強処置判定結果（表5）をみると、「N橋」については『曲げおよびせん断補強』を大きく支持しており、明らかに補強対策が必要であることを示している。「Y橋」および「F橋」については『特に問題なし』を大きく支持しており、今のところ補強対策は特に必要ないといえる。

4. まとめ

本研究の成果を以下にまとめる。

①耐用性診断結果は目視点検の状況と比較して、荷重状態および損傷程度と対応する妥当な結果が得られおり、その有効性は高いといえる。しかし、知識ベースの構築の際の学習データが不十分で、未学習データ入力時の診断結果の有効性は保証できないため、今後幅広い学習が要求される。

②補修・補強に関する診断結果は、橋梁の損傷程度を反映したほぼ妥当な結果が得られているといえる。

参考文献

1) 山本秀夫、宮本文穂、河村圭：コンクリート橋診断ニューロ・ファジィエキスパートシステムの実用化、平成8年度土木学会中国支部年講、1996.5. 2) 古川正典：知識更新機能を有するコンクリート橋管理支援システムの実用化に関する研究、神戸大学大学院工学研究科修士論文、1992.2.