

I-379

知識洗練歴を考慮したコンクリート橋診断エキスパートシステムの信頼性の向上

大 林 組 正会員○木下和哉 神戸大学大学院 学生員 中川正樹
 栗本鐵工所 正会員 串田守可 神戸大学工学部 正会員 森川英典
 神戸大学工学部 正会員 宮本文穂

1. まえがき 従来より、著者らが開発を進めてきた「コンクリート橋診断エキスパートシステム(以下、現システム)」¹⁾はニューラルネットワークによる推論機構を適用しているため、「教師データ」を与えることで容易に知識洗練を行うことが可能となったが、さらに実用化を目指していくために不可欠と考えられるのは、システムによる診断結果の信頼性向上であると考えられる。そこで本研究では、診断結果の信頼性を大きく左右する知識ベースの質(知識洗練歴)に着目し、信頼性の高い診断結果を得るために知識ベースを最適なレベルにまで洗練する手法を検討することを目的とするものである。

2. 診断結果の信頼性を表す指標の設定 現システムでは診断結果がどの程度正しいか、あるいは知識洗練後、どれほど結果の信頼性が向上したかを表す指標として「平均健全度」、「ヒック位置」、「FUZZINESS」といった個々の値に着目している²⁾。しかし、システムが出力する5段階の診断結果は、そのsub goalの損傷状態を表す帰属度関数に準ずるものであるといえるため、新たにファジ理論²⁾の考え方を応用した総合的な指標を提案した。すなわち、教師データと診断結果の2つのファジ集合 A_1, A_2 が、それぞれ帰属度関数 $\mu_{A_1}(x), \mu_{A_2}(x)$ が対応するものとし、またその重心がそれぞれ G_{A_1}, G_{A_2} で表される場合、両者の一致度 A を次式で表すものである。

$$A(A_1, A_2) = \frac{\sum_x \{\min\{\mu_{A_1}(x), \mu_{A_2}(x)\}\}}{\max_x \{\sum_x \mu_{A_1}(x)\}, \sum_x \mu_{A_2}(x)\}} \times \frac{\min\{G_{A_1}, G_{A_2}\}}{\max\{G_{A_1}, G_{A_2}\}} \quad (1)$$

以上のようにして定義した一致している程度を示す新たな指標(A)の設定は、知識洗練前後の診断結果がどの程度教師データに一致しているかを定量的に把握する上で有効な方法であるといえる。

3. 知識洗練歴の違いによる診断結果の変化 現システムで行う知識洗練は、各診断対象橋梁に対するそれぞれの「教師データ」を用いて行うため、いわば各状況ごとに断片的な知識ベースの洗練を行っているにすぎず、ある特定の橋梁で知識ベースの洗練を行った後、他の橋梁の耐用性診断を行った場合、その診断結果は過去の知識洗練歴に大きな影響を受けているといえる。図1、図2に

「損傷が進んだ橋梁」と「比較的健全な橋梁」を対象として、異なる知識洗練歴を持つ知識ベースで診断した結果の内、下位sub goal(『主桁施工状態』)と上位sub goal(『主桁耐久性』)³⁾の平均健全度の変化を示す。ここでcase0~case4は知識ベースの洗練歴を受けた橋梁の状態を示すものであり(表1参照)、case0は全く知識ベースの洗練を行っていないものを示

表1 各caseの知識洗練歴

case	case0	case1	case2	case3	case4	Data
知識洗練を受けた橋梁の状態	—	損傷が著しい	普通	比較的健全	case1 case3	教師データ

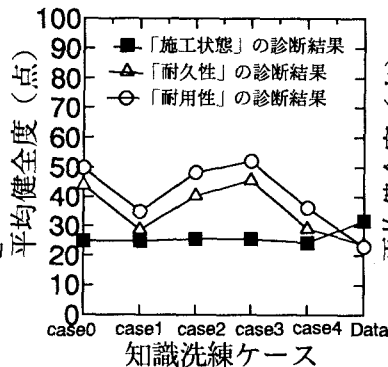


図1 損傷が進んだ橋梁の平均健全度の変化

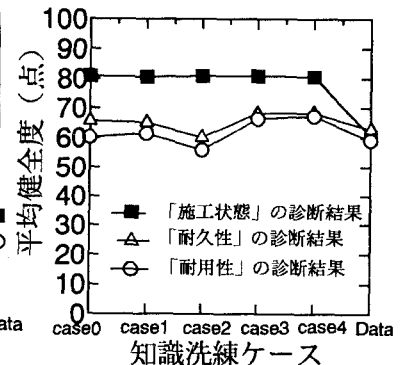


図2 比較的健全な橋梁の平均健全度の変化

す。図1、図2の『施工状態』を見ると診断結果は知識ベースの洗練歴にかかわらず、比較的教師データに類似した妥当な結果を出力しているのがわかる。しかし、『耐久性』、『耐性』の診断結果は知識ベースの質に大きな影響を受けており、場合によっては知識ベースを洗練することで、逆に診断結果と教師データとの妥当性が悪化することもあることがわかる。以上のことから、橋梁の診断は、知識ベースの質つまり知識洗練歴が非常に重要であり、ある特定の橋梁に関する知識洗練のみでは、その後の診断結果が特定橋梁の大きな影響を受けるため、事前にいくつかの教師データがある場合は、あらかじめ複数の橋梁に関する知識で知識ベースの洗練を行っておくことで、信頼度の高い診断結果を得ることができると考えられる。

4. 現システムの既存橋梁への適用

表2 システムによる各caseの診断結果の一例

ここでは、現システムを兵庫県内の既存橋梁（橋齢38年の4主桁を有する1径間RC単純橋）の耐用性診断に適用し、特に知識洗練歴を考慮した上で診断結果の妥当性について検証を行う。表2に一例としてシステムの『主桁施工状態』、『主桁耐久性』の診断結果を示す。表2でA

	知識洗練歴	平均健全度	danger	slightly danger	moderate	slightly safe	safe	Fuzziness	A (一致度)
主桁施工状態	case0	42.5	0.036	0.416	0.470	0.044	0.033	0.286	86.98
	case1	44.1	0.020	0.376	0.493	0.090	0.018	0.257	81.98
	case2	42.5	0.025	0.377	0.556	0.032	0.009	0.200	88.43
	case3	41.6	0.042	0.405	0.489	0.059	0.005	0.262	89.52
	教師データ	40.5	0.000	0.473	0.529	0.000	0.000	0.188	—
主桁耐久性	case0	55.5	0.005	0.292	0.144	0.542	0.018	0.212	86.71
	case1	57.0	0.004	0.255	0.144	0.578	0.019	0.182	83.09
	case2	37.6	0.017	0.697	0.182	0.097	0.007	0.108	58.89
	case3	55.3	0.005	0.297	0.146	0.533	0.019	0.219	87.32
	教師データ	55.2	0.000	0.222	0.331	0.411	0.036	0.358	—

（一致度）は、0～100までの数値で示され、100が教師データと診断結果が完全に一致する場合である。また、各caseは表3に示す知識洗練歴（知識ベース）での診断結果を示している。まず、下位sub goalである『施工状態』の診断結果を見ると、いずれも一致度を表す指標Aの値は80ポイント（以下pと略記する）を超え、教師データとかなり一致した妥当な結果が得られていることがわかる。また各caseごとにみると、知識洗練歴のないcase0においても指標Aは86.98pとかなり信頼性のある診断結果を出力しているといえる。しかし、事前にcase2の知識洗練を行うことで、指標Aの値は88.43pへと上昇した。これは、本橋の主桁の一部に豆板が発生していたことから損傷の進んだ橋梁での知識が有効に動員された結果であるといえる。さらにcase3では指標Aが89.52pへとcase2よりさらに上昇し、4つの洗練caseの中で最も大きな値となっている。

一方、『耐久性』の診断結果は、下位sub goalに比べてAの値にばらつきがみられ、特にcase2では58.89pと他のcaseに比べてかなり低い値となっている。これは、損傷の進んだ橋梁の知識のみを与えたためであるといえる。しかし、複数の知識洗練歴を与えたcase3での診断結果のAの値は87.32pとかなり高く、妥当な結果であるといえる（図3参照）。以上のことから、case3、すなわち知識ベースに健全な橋梁と損傷の著しい橋梁の2つのタイプの知識洗練歴を与えた場合、概ね、最も診断結果に対する信頼性が高いことが本橋においても確認できた。

5. まとめ ①診断結果と正解値（教師データ）との一致度を示す新たな指標Aを設定した。②知識ベースの洗練歴が診断結果に与える影響を検証するとともに、それを考慮した上で既存橋梁に適用した。その結果、診断結果の信頼性は複数の知識洗練を行うことで徐々に向上していくことを確認した。

【参考文献】1)宮本他：コンクリート橋診断ニューロフuzzyエキスパートシステムの開発，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.15，No.2，1993。2)水本：Fuzzy理論とその応用，サイエンス社，1988.2。3)宮本他：フuzzyを利用した知識更新と橋梁診断エキスパートシステムの実用化，建設工学研究所「研究報告」第33号，pp.23-65，1991.12。

表3 各caseの知識洗練状況

case	case0	case1	case2	case3	Data
知識洗練を受けた橋梁の状態	—	比較的健全	損傷が著しい	case1 + case2	教師データ

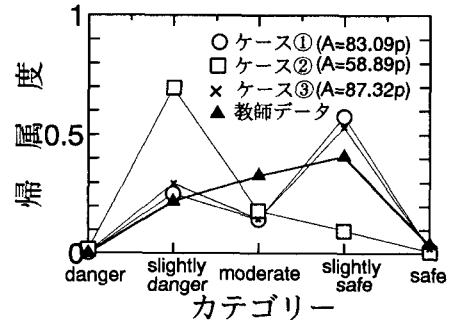


図3 各caseでの『耐久性』の診断結果の変化