

I-A 396

ニューラル・ファジィ・ネットワークを用いた環境の違いによる
塗装劣化の予測手法の提案

大阪大学大学院	学生員	有馬 博人
大阪大学工学部	フェロー	松井 繁之
関西大学総合情報学部	正会員	田中 成典
日本工業試験所	正会員	出口 恒宣

1.はじめに

架設当初には予測し得なかった荷重・環境の変化が道路施設にさまざまな劣化損傷をもたらしている。特に、わが国の高度成長期にあたる時期に建設された橋梁については、設計の不備や定期的な維持管理のため、種々の劣化損傷が多く発生した。このため近年維持管理業務は年々増加しており、一方、点検員不足や費用の増大などから、新たな合理的なシステムを確立することが急務な課題となっている。この様な問題に対処する方法として橋梁の維持管理システム(Bridge Management System)に関する研究が盛んに行われ始めている。

そこで本研究では、橋梁の様々な損傷の中でも環境特性が支配的であると思われる塗装劣化に着目し、塗装劣化の進展に関与していると思われる環境因子を選出した。そして、点検結果とその環境因子および塗装経過年数の関連性をニューラル・ファジィ・ネットワークを用いて分析し、塗装損傷予測手法を確立するための検証をおこなった。

2.ニューラル・ファジィ・ネットワーク

ニューラル・ファジィ・ネットワークとは、ファジィ推論におけるファジィ入力、ルール、ファジィ出力を階層ニューラルネットワークでそれぞれ構造化したものであり、概念図を図-1に示す。この構築されたネットワークを学習させることによってメンバーシップ関数の形状が変化し、より精度の高い推論結果を得ることができる。

3.環境因子の選出

環境因子のデータチャートを表-1に示す。環境因子としては、橋梁全体に影響を及ぼす因子、部分的に影響を及ぼす因子に分類した。さらに、部分的に影響を及ぼす因子は、対象物自身に関するものと、対象物周辺に関するものとに分類している。また、環境因子による劣化予測から、将来の点検優先順位を決定するためには、橋梁の位置を特定しなければならないので、環境因子の他に位置特定因子を設定した。

4.学習データの作成

学習データを作成するに当たって、大阪南港に位置するK大橋の箱桁内部の点検結果を使用した。K大橋は三径間連続斜張橋で、供用開始後約20年経過しており、箱桁内部の塗装劣化が著しい。点検結果は変状区分として、「塗装剥離」・「発錆・腐食」・「断面減少」・「変形・破損」・「その他」に分類されており、リブで囲まれた領域毎(パネル)に評価されている。

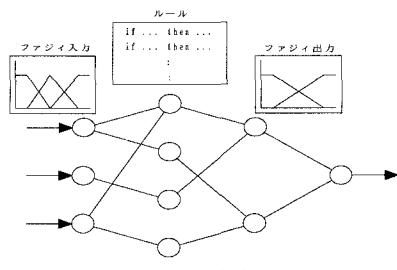


図-1 概念図

表-1 環境因子のデータチャート

環境因子	全体系		交通量(多・少) 架設位置(海上・陸上) 断面形式(I型・箱型) 面方向1(内・外) 面方向2(水平・垂直) 日照(有・無) 風雨(有・無) 塗装(新規・塗替) 温潤状態(乾燥・温潤)	
	対象物自身	対象物周辺		
位置特定因子	橋軸直角方向			
	橋軸方向			
	上下方向			

表-2 変状区分の重み

健全	0
塗装剥離	1
発錆・腐食	3
断面減少	6

今回のデータは箱桁内部の上下フランジに限定されているので、環境因子としては、「面方向2」・「伸縮継手の有無」・「ボルト継手の有無」・「上方漏水の有無」・「排水管の有無」のみを使用した。「上方漏水の有無」については、下フランジに対して、上フランジの塗装劣化・主塔部・ケーブルの定着部が存在する場合、「上方漏水あり」とした。

環境因子によって分類した集団に代表値を与えるため、塗装劣化の進行状況を点検結果の変状区分と同じ、「塗装剥離」・「発錆・腐食」・「断面減少」とし、環境因子により分類されたそれぞれの集団において、変状区分毎のパネル数を表-2に示す重みを乗じて平均することにより、その集団の評価値とした。分類結果及び評価値を表-3に示す。

5. 劣化曲線の仮定

今回使用した点検結果は表-3に示すように1年度分しかないので、経過年数を考慮することができない。そこで、変状区分で傾きが変わらるような、式①の3本の直線を基本劣化曲線として仮定した。そしてこの曲線を時間軸に対して引き延ばし、実際の評価値と合わせた時の曲線をその評価値がたどる曲線とした(図-2)。そして、経過年数毎(5年毎)の評価値を求めた。ただし、経過年数は塗替間隔等を考慮して最大30年とした。

$$y = 0.25x \quad (0 \leq y \leq 1) \cdots \cdots \text{①}$$

$$y = 1.00x - 3.00 \quad (1 \leq y \leq 3)$$

$$y = 0.75x - 1.50 \quad (3 \leq y \leq 6)$$

表-3 K大橋箱桁内部の分類結果					
面方向2	排水管漏水	ボルト継手	伸縮継手	上方漏水	評価値
上フランジ				○	0.01601
〃				○	1.57955
〃		○		○	1.67647
〃					0.08538
下フランジ					1.96160
〃				○	4.09548
〃			○		5.50000
〃		○	○	○	5.68750
〃	○				2.51258
〃	○			○	2.72222
〃	○				3.17987
〃	○			○	4.80000
〃	○		○		4.33333
〃	○		○	○	5.14286
〃	○	○			3.65722
〃	○	○			4.28571

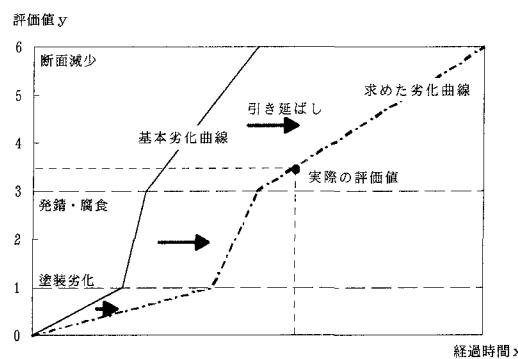


図-2 劣化曲線の当てはめ

6. システムの検証

以上のような仮定を基にして、環境因子・塗装経過年数をファジィ入力、それらに対する評価値をファジィ出力としネットワークにより学習をおこなった。ここで、システム自体は入出力ともにメンバーシップ関数を定義しているが、環境因子は「ある」・「なし」のようなスイッチの働きをしているので、「0」か「1」しか取り得ない。また経過年数は0～1の範囲になるように正規化した。ルールについては、今回は点検結果を基に作成した。学習方法はバックプロパゲーション法でおこない、平均自乗誤差が0.1以内、または学習回数が5万回を超えた時点で学習を終了させた。その結果、相関係数0.98という高い相関を得ることができた(表-4)。

表-4 検証結果の一例 （「下フランジ」、「排水管有り」の場合）		
経過年数	実際値	学習値
0年	0.0000	0.0507
5年	0.3900	0.5529
10年	0.7800	1.2127
15年	1.6799	2.1050
20年	3.1799	3.7516
25年	4.3498	4.9380
30年	5.5198	5.6647

7. あとがき

塗装劣化に対する補修は、下地鋼材が腐食にまで至らない限り全てが塗替塗装である。よって学習データ内における時間を、供用開始からの年数ではなく塗替塗装後の経過年数とすれば、ある年数範囲内で点検結果が蓄積されることになり、学習精度の向上が期待される。そのことにより、仮定した劣化曲線の修正がおこなわれ、また評価値の推定が可能となるので将来を見据えた点検の優先順位を決定できる。また、再塗装を実施しなければならない限界の評価値を設定しておけば、その目標値に達するまでに、事前に何らかの対処を施すことが可能となる。

謝辞 本研究を遂行するにあたり、点検資料を提供して頂いた港湾維持管理委員会の皆様に、紙面を借りて謝意を表します。