

ニューラルネットワークシュミレータによる鋼橋の支承選定システム

関西大学工学部 正 会 員 三上市蔵
関西大学大学院 学生会員 神戸和仁
阪神高速道路公団 正 会 員 吉川 紀

東洋情報システム 正 会 員 田中成典
関西大学工学部 学生会員 平田卓也

1. まえがき

鋼橋の設計において、支承選定は平面形に対する支承の配置、橋梁形式、支間長、支承に作用する荷重、支承における移動や回転の方向などを考慮した上で行う必要があり、高度な知識を持った専門家の判断に委ねられる。

著者らは、初・中級技術者が専門家の知識を有効利用できるような、支承選定に関するエキスパートシステムの構築を目指しているが、一般に認められている支承選定知識^{1) 2)}は、それほど多くはない。そこで、ニューラルネットワークシステムが断片的な知識を有効利用するのに適している点に注目して、パソコンソフトウェアRHINEを用いて鋼橋の支承選定のためのエキスパートシステムを構築してきた。³⁾しかし、システムを構築するための学習時間に長大な時間を要するという問題がある。

本研究では、パソコン上で高速学習が可能であるニューロボードを用いた富士通製のソフトウェアニューラルネットワークシュミレータ(NEUROSIM/L™)を利用して、鋼道路橋の支承選定システムを再構築することにした。

2. 学習アルゴリズム

NEUROSIM/L™の学習アルゴリズム⁴⁾としては、誤差伝播学習法(Error Back Propagation)を採用している。高速な学習を実現するため、ユニット間の結合の重みの変化量を2次の振動系として取り扱っている。重みの変化量は学習係数の値に依存している。学習係数には、重みの変化量が大きくなる ε 、誤差の振動を減衰させる α 、学習に強制振動を与えて誤差の極小値から脱出させる β がある。学習を効率よく行わせるためには、適切な学習係数の値を決める必要がある。

3. 支承選定システム

3.1 支承選定の知識

鋼橋の支承は、水平方向に固定されているが回転が拘束されないような機能をもった固定支承と、水平方向移動と回転を円滑に行わせる機能をもった可動支承とに大別できる。支承選定にあたっては反力の規模や橋梁の持つ特性を考慮する必要がある。^{1) 2)}そこで、選定条件を支承構造を決定する要因である鉛直反力、移動方向と回転方向を、橋梁の特性を考慮するための支間長、桁形式、上部構造形式と平面形にする。基本設計で決定されたこれら諸条件を入力して、一地点の支承を選定するシステムの構築を行う。

入力層と出力層の項目を図-1のように決定した。このうち、入力層については表-1に示すように定義する。支間長は道路橋示方書に準じて、最大200mまでとし、0~200mを[0, 1]に正規化した。鉛直反力は最大1000tfまでとし、0~1000tfを[0, 1]に正規化した。ここで、支承の種類①~⑪ごとの適用可能な支間長と鉛直反力の範囲を表現するために、学習データには、支間長と鉛直反力のそれぞれを下限、中間、

上限の対で3つのデータを与えることにした。

移動と回転は、一方向のみ、少なくとも一方向、全方向に分類した。移動と回転の条件は、絶対否定が取り入れられるように[-1, 1]で与える。また、桁形式、上部構造形式、平面形は[0, 1]で与え、学習データには、使用適の場合に1、使用要検討の場合に0.5、使用不適の場合に0を与えることにした。

上記の定義に基づいて、固定支承と可動支承について学習データを作成した。固定支承の学習データを表-2に示す。1支承当たり学習データは、支間長と鉛直反力の入力により、3つのデータから与えられる。11種の支承を対象としているので、全学習データは33ケースになる。

入 力 層

出 力 層

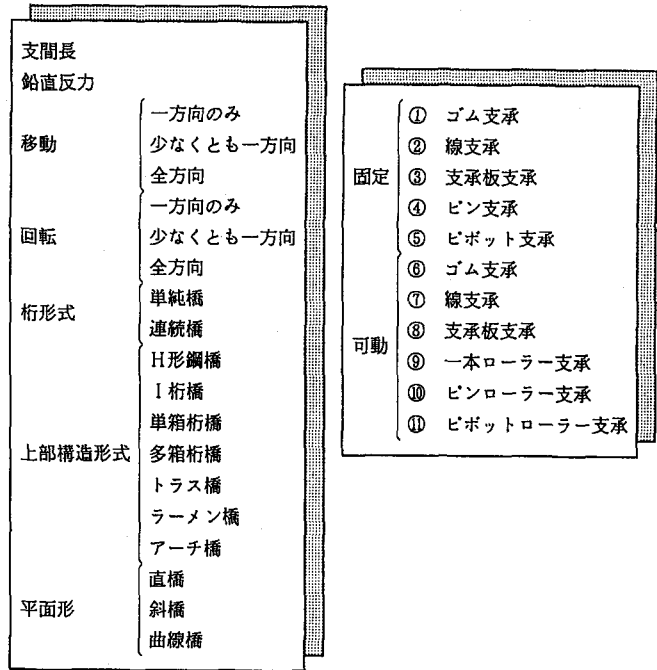


図-1 入力層と出力層

3.2 ネットワークモデル

ネットワークモデルには階層型ネットワークを採用し、過去の経験³⁾から中間層を2層とした4層のネットワークモデルを採用した。図-1に決定したように、入力層のユニット数は20、出力層のユニット数は11である。中間層のユニット数の決定³⁾は、試行錯誤的な方法を用い、第一中間層のユニット数を14、第二中間層のユニット数を11とした。

3.3 学習方法と学習係数

推論結果の精度を向上させるため、学習方法の選定、学

習係数の決定⁴⁾について検討した。学習方法、学習係数の値はケーススタディにより決定され、既設の金田一大橋⁵⁾の固定側の支承を用いる。実際に採用された固定支承は、図-1の⑤ビボット支承である。入力条件は、支間長62m、鉛直反力 $R = 0$ tf(不明)、移動なし、回転は全方向、二箱桁連続曲線橋である。

表-1 入力層の定義

入力層	定 義		値
支間長(m)	最大200mまでとする。		[0, 1]
鉛直反力(tf)	支承に作用する正反力を示し、最大1000tfまでとする。		[0, 1]
移動	移動方向を一方向、全方向で分類する。		——
	一方向のみ	一方向のみ移動を許す。	[-1, 1]
	少なくとも一方向	少なくとも一方向は移動する。	[-1, 1]
	全方向	全方向の移動を許す。	[-1, 1]
回転	回転方向を一方向、全方向で分類する。		——
	一方向のみ	一方向のみ回転を許す。	[-1, 1]
	少なくとも一方向	少なくとも一方向は回転する。	[-1, 1]
	全方向	全方向の回転を許す。	[-1, 1]
桁形式	単純桁、連続桁に分類する。		[0, 1]
上部構造形式	7種の上部構造形式に分類する。		[0, 1]
平面形	直橋、斜橋、曲線橋に分類する。		[0, 1]

表-2 固定支承の学習データ

		入 力 層														出 力 層													
支間長	鉛直反力	移 動		回 転		桁形式		上部構造形式							平面形			固定支承					可動支承						
		一方向	少なくとも一方向	一方向	少なくとも一方向	全方向	単純桁	連続桁	H形鋼橋	I桁橋	単箱桁橋	多箱桁橋	トラス橋	ラーメン橋	アーチ橋	直橋	斜橋	曲線橋	①ゴム	②線	③支承板	④ピン	⑤ピボット	⑥ゴム	⑦線	⑧支承板	⑨一本ローラー	⑩ピンローラー	⑪ピボットローラー
0.050	0.050																												
0.125	0.125	-1	-1	-1	1	1	1	0	1	0.5	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.200	0.200																												
0.050	0.050																												
0.088	0.075	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.125	0.100																												
0.100	0.050																												
0.163	0.175	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0.225	0.300																												
0.150	0.100																												
0.575	0.550	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	0.5	0	1	1	0.5	1	0	1	1	0.5	0.5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
1.000	1.000																												
0.200	0.100																												
0.600	0.550	-1	-1	-1	1	1	1	1	0	0	0.5	1	0.5	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
1.000	1.000																												

学習方法としては、次の3種が選択できるが、精度と速度が変わる。

- ・通常学習：全学習データに対して順次学習を行う方法。
- ・補習学習：全学習データに対して順次学習を行うが、誤差が許容範囲内に収まったデータは学習データから除き、残りの学習データのみを学習する方法。
- ・追記学習：学習データを複数のブロックに分類し、ブロックごとの学習を行う方法。

3種の学習比較を行った結果を図-2に示す。ただし、学習係数はデフォルト値の $\varepsilon=5.0$ 、 $\alpha=0.4$ 、 $\beta=0$ である。学習の終了条件となる許容誤差は0.2に設定する。横軸に出力層である支承の種類、縦軸に出力値をとった。⑤固定ピボット支承の出力値は追記学習の場合が最も低く、また、固定支承の選定であるにもかかわらず、⑪の可動支承が選定されている。通常学習と補習学習の場合は同じような出力値が得られた。学習の収束速度は補習学習の方が速かったので、以後の検討では、学習方法として補習学習を採用した。

次に、学習係数の値 ε 、 α 、 β を検討する。⑤ピボット支承の出力値を基に ε 、 α 、 β をパラメトリック解析をした後、最終的に図-3の結果を得た。図中の実線の場合の推論結果の精度が最も良い。したがって、学習係数は $\varepsilon=4.0$ 、 $\alpha=1.4$ 、 $\beta=-0.75$ に設定することにした。

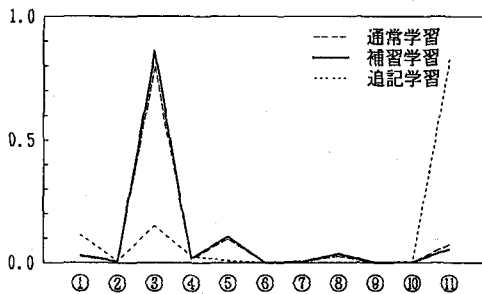


図-2 学習方法による比較 (R=0)

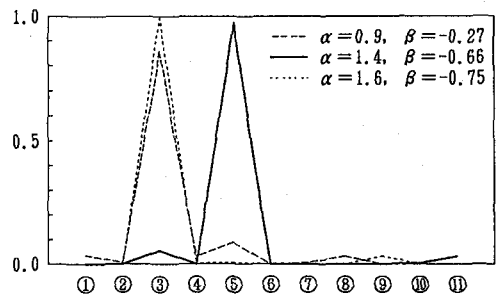


図-3 学習係数による比較 ($\varepsilon=4.0$)

4. システムの評価

本システムは、一点の固定および可動支承を選定するシステムである。したがって、橋梁の全体の支承選定を行う場合には、橋梁の有する支点数だけシステムの選定作業を繰り返す必要がある。

既設の金田一大橋,⁵⁾ 天台山橋,⁶⁾ 第1武庫川橋梁⁷⁾の3橋梁に本システムを適用して支承選定を行ってみた。選定条件、実橋の支承および選定結果を表-3に示す。ただし、金田一大橋の鉛直反力は0とする。固定側・可動側とも実橋の支承が高い値で選定されており、本システムの推論結果が妥当であることがわかる。

表-3 システム評価

橋梁名	金田一大橋		天台山橋		第1武庫川橋梁	
固定・可動	固定側	可動側	固定側	可動側	固定側	可動側
支間長(m)	20 62m		18m		20 75m	
鉛直反力(t)	不 明		約50t		約600t	
移動方向	——	全方向	——	全方向	——	一方向のみ
回転方向	全方向		全方向		全方向	
桁形式	連続桁		単純桁		連続桁	
上部構造形式	二箱桁橋		二箱桁橋		トラス橋	
平面形	曲線橋		曲線橋		曲線橋	
実橋の支承	ピボット支承	支承板支承	支承板支承	支承板支承	ピボット支承	ピボットローラー支承
選定結果 (出力値)	ピボット支承 [0.973]	支承板支承 [0.995]	支承板支承 [0.790] ピボット支承 [0.682]	支承板支承 [0.996]	ピボット支承 [0.969]	ピボットローラー支承 [0.962]

5. あとがき

本研究では、富士通製のソフトウェアNEUROSIM/L™を用いて鋼橋の支承選定システムを構築した。支承選定の知識は、文献1)2)から獲得した。高速学習が可能なニューロボード(メモリ4MB)を利用したため、学習速度が増し、システム構築が短時間で行えるようになった。また、システムの精度を向上させるために、学習方法、学習係数の値はケーススタディによって決定した。

本システムを用いて、実橋に対して選定を行い、システムの妥当性が検証された。なお、パソコンはFMR70HL1(主メモリ4MB)を用いた。

参 考 文 献

- 1) 日本道路協会：道路橋支承便覧，1973.4.
- 2) 日本橋梁建設協会：鋼橋支承設計の手引き，1984.4.
- 3) 三上市蔵・田中成典・神戸和仁・吉川紀：鋼橋における支承選定ニューラルネットワークシステム，第47回土木学会年次学術講演会，1992.9.
- 4) NEUROSIM/L™使用者の手引，富士通㈱，1990.
- 5) 佐藤幹雄・長澤紘司：金田一大橋の設計と施工，橋梁，Vol.20，No.9，pp.28-36，1984.9.
- 6) 松浦晃司・田淵明・近藤英生・佐久間章：川尻3号橋(天台山橋)の設計と施工，橋梁，Vol.21，No.7，pp.38-46，1985.7.
- 7) 村田清満・井口満雄：第1武庫川橋梁の設計・製作・施工，橋梁，Vol.21，No.11，pp.40-46，1985.11.