

道路橋の地震被害調査と被害予測への応用

古川 幸信¹・ 沢田 勉²・ 平尾 潔³・ 成行 義文⁴

¹学生員 徳島大学大学院 工学研究科 (〒770 徳島市南常三島町 2-1)

²正会員 工博 徳島大学教授 工学部建設工学科 (〒770 徳島市南常三島町 2-1)

³フェロー 工博 徳島大学教授 工学部建設工学科 (〒770 徳島市南常三島町 2-1)

⁴正会員 工博 徳島大学助教授 工学部建設工学科 (〒770 徳島市南常三島町 2-1)

地震による道路橋の被害は、被災地への救援物資などの輸送に大きな影響を及ぼし、その結果として、2次的な被害の拡大を助長する。道路橋は、都市の震後復興においても極めて重要な構造物であるといえる。したがって、地震による道路橋の損傷度等を予め推定することができれば、都市の震災対策計画を策定する上で大変有用であると考えられる。以上の様なことより、本研究では、既設道路橋の地震時損傷度の推定法を導くための基礎的研究として、まず、文献等をもとに、過去の主要な 12 個の地震による道路橋の被害調査を行い、それらの調査結果とニューラルネットワークを用いて、道路橋の地震被害予測システムを構築した。

Key Words : Earthquake Damage of Bridges, Neural Network, Evaluation of Damage Degree

1. はじめに

我が国は、環太平洋地震帯に属する世界有数の地震国であり、現在に至るまで数多くの地震被害を経験してきた。特に、平成 7 年に発生した兵庫県南部地震での甚大な被害は我々の記憶にも新しく、今後もこれらの大地震の洗礼を受けることは免れないだろう。

特に、地震による道路橋の被害は、被災地への救援物資などの輸送に大きな影響を及ぼし、その結果として、2次的な被害の拡大を助長する。道路橋は、都市の震後復興においても極めて重要な構造物であるといえる。したがって、地震による道路橋の損傷度等を予め推定することができれば、都市の震災対策計画を策定する上で大変有用であると考えられる。

そこで、本研究では、過去我々が経験した地震被害についての被害調査報告書¹⁾等をもとに、戦後の代表的な 12 個の地震による道路橋の被害調査を行い、それらの調査結果とニューラルネットワークを用いて、道路橋の地震被害予測システムを構築した。

2. 本研究の概要

本研究では、表-1 に示すような比較的地震規模が大きく、また、橋梁の被害が顕著である 12 地震を調査対象と

した。まず、この調査対象の地震についての報告書¹⁾等を用いて道路橋の被害調査を行い、その結果を予め作成しておいた橋梁震害調査表に記入した。調査対象橋梁の数は全部で 354 橋である(表-1)。ついで、この調査表をもとに、『損傷度判定』を行い、損傷度を決定した。また、これらより得られたデータとニューラルネットワークを用いて、『道路橋の地震被害予測システム』を構築した。

表-1 調査対象地震

No.	地震名	発生年月日	M	橋梁数
1	南海地震	1946. 12. 21	8. 0	2
2	福井地震	1948. 6. 28	7. 1	21
3	新潟地震	1964. 6. 16	7. 5	31
4	十勝沖地震	1968. 5. 16	7. 9	4
5	伊豆半島沖地震	1974. 5. 9	6. 9	2
6	宮城県沖地震	1978. 6. 12	7. 4	98
7	日本海中部地震	1983. 5. 26	7. 7	30
8	釧路沖地震	1993. 1. 15	7. 8	9
9	北海道南西沖地震	1993. 7. 12	7. 8	7
10	北海道東方沖地震	1994. 10. 9	8. 1	9
11	三陸はるか沖地震	1994. 12. 28	7. 5	14
12	兵庫県南部地震	1995. 1. 17	7. 2	127

3. 橋梁震害調査表

概要で述べた各地震についての報告書¹⁾等を用い、橋梁の被害状況を調査した。しかし、報告書により被害の表示方法が異なるため、この被害状況を統一する必要が生じた。そこで、宮城県土木部道路建設課発行の「1978年6月宮城県沖地震による橋梁震害調査報告書」¹⁾を参考に橋梁震害調査表を作成した。この調査表に、各橋梁の構造諸元（上部構造諸元・下部構造諸元等）、地震諸元（地盤条件・マグニチュード・断層距離）、震害の程度および被害部分と変状を記入した。また、この表の作成により、各パラメータや被害状況を統一して表すことが可能となった。

4. 損傷度判定法

橋梁震害調査表に記入された情報から、地震により被害を受けた橋梁の被害状況を定量的に評価するためのシステム（損傷度評価システム）を構築した。損傷度を判定するにあたり、日本道路協会発行の「道路震災対策便覧（震災復旧編）」³⁾を参考とし、耐荷力に関する損傷度を以下のように5ランクに分類した。なお、各ランク中の括弧内の数字（1～5）は、本研究での損傷度を表す指標である。

- As(5)：落橋・倒壊…落橋・倒壊した場合。
（取り替え）
- A(4)：大被害……耐荷力の低下に著しい影響のある損傷を生じており、落橋等致命的な被害の可能性がある場合。（取り替え）
- B(3)：中被害……耐荷力の低下に影響のある損傷であるが、余震、活荷重等による被害の進行がなければ、当面の利用が可能な場合。
（補強）
- C(2)：小被害……短期間には耐荷力の低下に影響のない場合。（補修）
- D(1)：被害なし……耐荷力に関して特に異常が認められない場合。

橋梁震害調査表の「被害部分と変状」のデータから上述の基準に従って損傷度を評価した。この際、まず、上部構造、支承および橋脚の各構造部分ごとの損傷度評価を行い、ついで、それらのうち最大のものを橋梁の総合的な損傷度として用いた。

5. 橋梁の地震被害予測システムの構築

1) システムの構造

地震被害予測では、橋梁の構造パラメータ（適用示方書、スパン、橋脚形式）および地震パラメータ（マグニチュード、地盤種別、断層距離）から損傷度を予測するという方法をとる。ところが、上述の各パラメータと損傷度の関係には強い非線型性があるため、予測システムを構築する際にはそれに適した方法を用いることが必要となる。本研究では、このような手法として有効なニューラルネットワークを用いた。

本研究では、ニューラルネットワークの学習データとして、各パラメータを図-1に示すネットワークに入力し、それに対応する損傷度を出力するような階層型ネットワークを構築した。ネットワークの構造としては、入力層1（6ユニット）、中間層2（8×8ユニット）および出力層1（1ユニット）の計4層からなるネットワークを採用した。入力パラメータのうち、適用示方書、橋脚形式および地盤種別については、入力を簡略化するために表-2(a)～(c)に示すようなコードを用いて入力した。また、スパンと断層距離については対数表示し、マグニチュードについてはそのままの値を入力した。

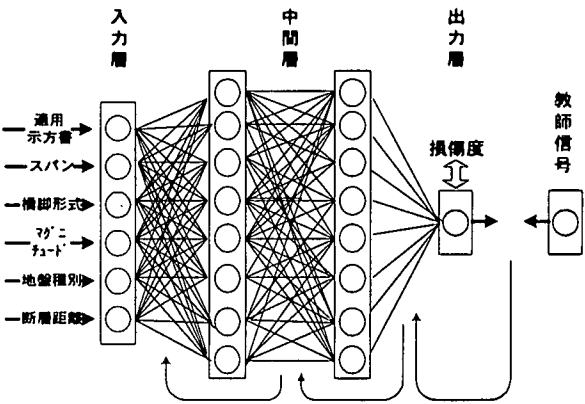


図-1 予測システムの構造

表-2(a) 適用示方書のコード表

適用示方書	
1	大正15年道路構造に関する細則案
2	昭和14年鋼道路橋設計示方書案
3	昭和31年鋼道路橋設計示方書
4	昭和39年鋼道路橋設計示方書
5	昭和46年道路橋耐震設計指針
6	昭和55年道路橋示方書
7	平成2年道路橋示方書

表-2(b) 橋脚形式のコード表 表-2(c) 地盤種別のコード表

	橋脚形式		地盤種別
1	弱い形式	1	1種地盤
2	柱式	2	2種地盤
3	張出式	3	3種地盤
4	ラーメン式		
5	壁式		
6	橋脚なし		
7	強い形式		

2) 架空データの作成

本研究では、入力値と、それに対する出力値を一組の学習データとして調査橋梁 354 件中、比較的データが揃っている 250 件の事例を基に学習データを作成した。

しかし、この学習データは、「無被害の橋梁」の情報に欠落した不完全なデータであるため、無被害のデータを架空に作成し、学習データの補完を行った。補完データの諸元は、次の通りである。

マグニチュードが 7.0～8.5（刻み幅：0.5）の地震において、最大速度が 5kine 以下と予想される地点（1～3 種地盤）での中間的な強さを持つ橋脚形式（張出式）の橋梁を、「損傷なし」（損傷度＝0）とし、合計 12 個の架空データを加えた。なお、最大速度の予測では、次に示す福島による距離減衰式を用いた。

Rock の場合

$$\log V_{\max} = 0.86M_j - \log(R + 0.0013 \cdot 10^{0.59M_j}) - 0.0029R - 3.07$$

Soil の場合

$$\log V_{\max} = 0.81M_j - \log(R + 0.00067 \cdot 10^{0.64M_j}) - 0.003R - 2.48$$

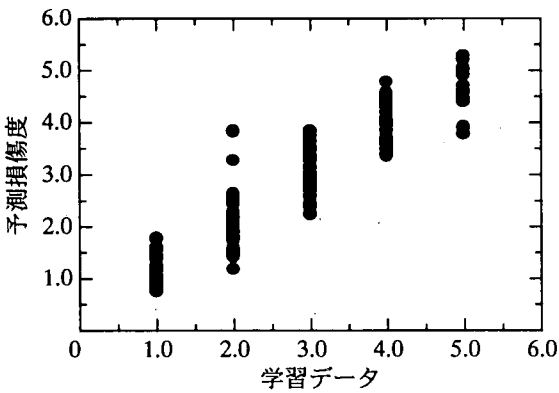


図-2 学習データと予測値の関係

6. 予測システムの特性

前節で構築した階層型ネットワークに 262 個の学習データを入力し、橋梁の地震被害予測システムを構築した。学習回数は 1500 回である。

まず、構築したネットワークの精度を確認するために、ネットワークに用いた学習データと出力データ（予測値）の関係を検討した。図-2 に学習データと予測値の関係を示す。図より、この予測システムでは、ばらつきが若干大きいことが分かる。なお、標準偏差は 0.35 となった。

次に、各パラメータと予測値の関係を検討した。図-3 ～5 は、構造パラメータ（適用示方書、スパンおよび橋脚形式）と予測値の関係を示す。また、図-6～8 は、地震パラメータ（マグニチュード、地盤種別および断層距離）と予測値の関係を示す。

これらの図より、各パラメータと橋梁の地震被害との関係が把握できる。

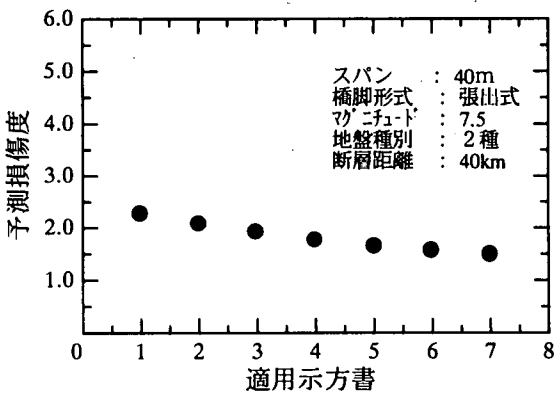


図-3 適用示方書と予測値の関係

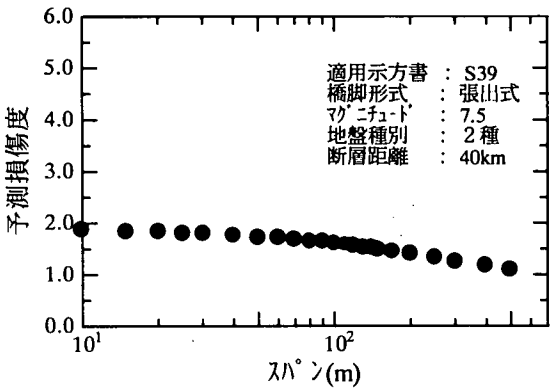


図-4 スパンと予測値の関係

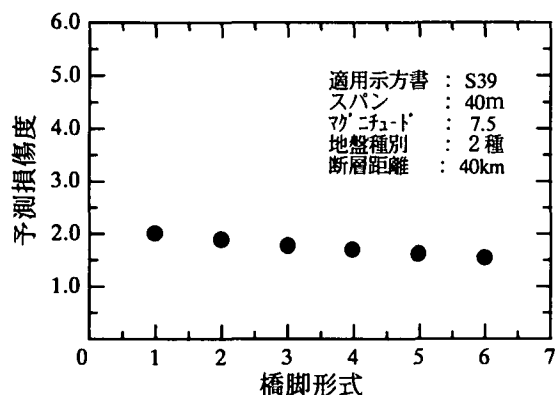


図-5 橋脚形式と予測値の関係

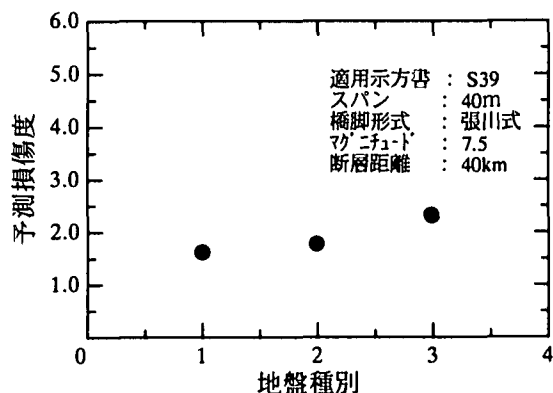


図-7 地盤種別と予測値の関係

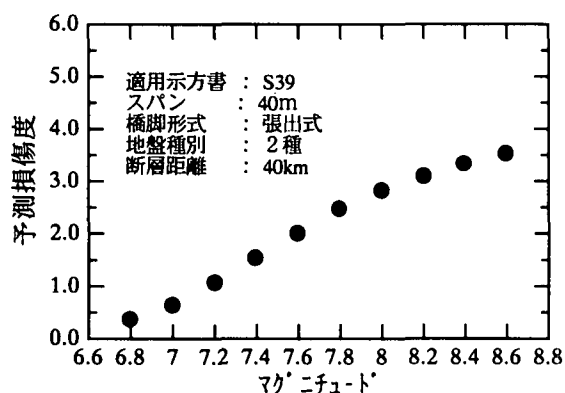


図-6 マグニチュードと予測値の関係

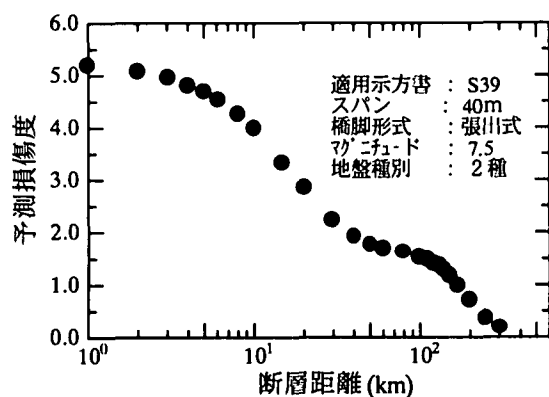


図-8 断層距離と予測値の関係

7. あとがき

本研究では、兵庫県南部地震を含む12の被害地震を対象とした橋梁の被害調査結果をもとに被害橋梁の損傷度評価を目的とした『損傷度評価システム』を構築した。また、この評価システムより得られた損傷度を用い『橋梁地震被害予測システム』を構築した。今後は、さらにデータの充実をはかるとともに、この予測システムの精度を向上させ、既存橋梁の地震被害予測を試みる予定である。

参考文献

- 1) 宮城県土木部道路建設課：1978年6月宮城県沖地震による橋梁被害調査報告書，1978.10.
- 2) 阪神・淡路大震災調査報告集委員会：阪神・淡路大震災調査報告 土木構造物の被害-橋梁-，1996.12.
- 3) 日本道路協会：道路震災対策便覧（震災復旧編），日本道路協会編集，1988.2.
- 4) 山村 猛：GISによる橋梁の地震被害予測システムの構築，徳島大学大学院 修士論文，1997.2.
- 5) 佐藤良輔：日本の地震断層パラメータ・ハンドブック，鹿島出版会，1995.3.
- 6) 菊池豊彦：入門ニューロコンピュータ，オーム社，1990.
- 7) 福島美光：地震波の発生・伝播の理論を背景とした入力地震動の経験的予測，東京工業大学 学位論文，1994.