

## I - 7 道路橋の地震被害調査と被害予測への応用

日本構研情報(株) 正 員○古川 幸信 徳島大学大学院 学生員 永野 優子  
 徳島大学工学部 正 員 澤田 勉 徳島大学工学部 フェロー 平尾 潔

### 1. はじめに

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。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、被害報告書等をもとに、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。

### 2. 本研究の概要

本研究では、表-1 に示す様な調査対象の地震についての報告書<sup>1)</sup>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。また、この被害調査と損傷度判定法に基づいて、道路橋の被害状況を損傷度として設定した。ついで、これらより得られるデータをニューラルネットワークに通して、道路橋の地震被害予測システムを構築した。最後に、本予測システムの妥当性を 2, 3 の解析例により検証した。

### 3. 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道路橋の被害状況を定量的に評価するための損傷度を設定した。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)」<sup>3)</sup>を参考とし、地震被害後の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。

- 5 : 落橋・倒壊…落橋・倒壊した場合。(取り替え)
- 4 : 大被害……落橋等致命的な被害の可能性がある場合。(取り替え)
- 3 : 中被害……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)
- 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)
- 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。

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の損傷度評価を行い、ついで、それらのうち最大のものを道路橋の総合的な損傷度として用いた。

### 4. 道路橋の地震被害予測システムの構築と問題点

#### 4.1 システムの構造

地震被害予測では、道路橋の構造パラメータ(適用示方書、スパン、幅員、橋脚形式、橋軸方向)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形性があるため、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。なお、学習データは、調査橋梁 358 件中、比較的データが揃っている 243 件の事例を基に作成した。

#### 4.2 精度の検証

精度の検証では、学習に用いた入力データに対する予測値を算出した。ついで、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教師データと出力データ(予測値)の関係を検討した(図-2)。なお、この場合の標準偏差は 0.36 である。この図からも分かる様に、本予測システムには次の様な問題点がある。

学習データに用いた損傷度が 1 の時、その予測値を過大に評価する傾向がある。また、学習データに用いた損傷度が

表-1 調査対象地震

No.	地震名	発生日月日	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	32
4	十勝沖地震	1968.5.16	7.9	5
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	9
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

358橋

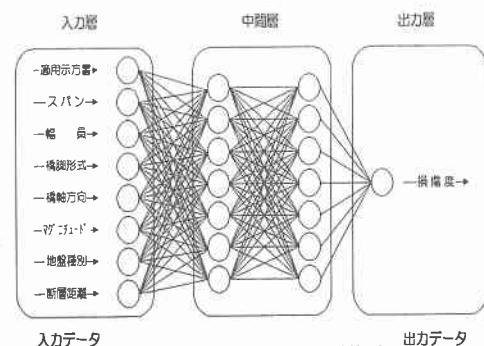


図-1 予測システムの構造

5 の時、その予測値を過小に評価する傾向がある。これらの傾向が現れた理由は、本予測システムでは、過去の地震被害に遭った道路橋を対象にネットワークを構築しているため“無被害のデータ”が欠落した不完全なデータであるためと考えられる。また、地震により落橋・倒壊した道路橋はほとんどなく、データ数が極めて少ないためであると考えられる。

### 5. 予測システムの改良

本節では、前述の問題点を解決するために、架空に無被害（損傷度 1）および大被害（損傷度 5）のデータを作成し、それらを学習データに追加することによって、予測システムの改良を試みる。

#### 5.1 架空データの作成

架空データは、日本道路協会発行の「道路橋示方書・耐震設計編」<sup>4)</sup>の地震時保有水平耐力法を用いて作成した。架空データの作成概要を図-3 に示す。まず、想定地震を決定し、保有水平耐力の計算に必要な詳細な情報を有する既存道路橋のデータを用いて、想定地震に対する応答加速度を求める。そして、得られた応答加速度から保有水平耐力法に基づいて各道路橋の慣性力を求める。同時に、既存道路橋データより降伏耐力等の保有水平耐力の計算を行う。最後に、ここで得られた慣性力と保有水平耐力を比較し、その大小関係より無被害および大被害のデータ（合計 110 橋）を作成した。

#### 5.2 予測システムの改良

図-1 で構築したネットワークに、前節で作成した架空データを学習データの一部として補充し、予測システムの改良を試みた。学習データには、過去の地震による道路橋の被害調査より得られるデータ 243 橋と新たに作成した架空データ 110 橋の合計 353 橋を用いた。これらのデータをニューラルネットワークに通して、再度、道路橋の地震被害予測システムの構築を試み、精度の検証を行った。

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教師データと出力データの関係を検討した（図-4）。図より、本予測システムの問題点であった教師データの予測値の偏りが、架空データを追加することにより若干ではあるが改善されることが分かる。なお、この場合の標準偏差は 0.48 となり改良前の 0.36 に比べて若干大きくなるが、予測値の偏りが小さいことから、本研究の予測システムとして用いることにした。次に、各パラメータと損傷度の予測値の関係を検討した。一例として、図-5 にマグニチュードと損傷度の関係を示す。図より、マグニチュードが大きくなる程、その被害も大きくなるという良好な結果を得ることができた。以上より、本研究で用いたネットワーク構造を被害予測に用いることは、十分可能であると考えられる。

### 6. 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道路橋の被害調査を行い、その調査結果を基に道路橋の被害状況を損傷度として評価した。また、以上より得られる情報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。ここで、本予測システムより得られる損傷度の予測値と入力パラメータの関係を検討した結果、本予測システムがほぼ妥当な予測を与えることを示した。今後は、本ネットワーク構造に用いた学習データとなる道路橋の被害に関する情報の質を高めることにより、さらに予測システムの精度の向上を図る必要がある。

### 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震害調査報告書，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) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，丸善(株)，1996. 12.
- 5) 菊池豊彦：入門ニューロコンピュータ，オーム社，1990.

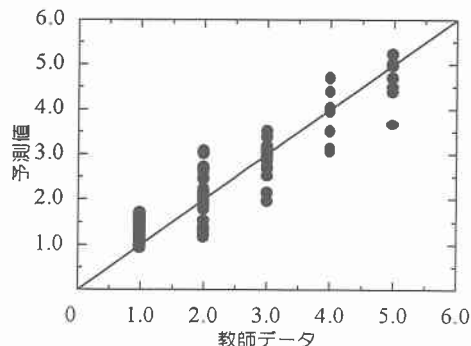


図-2 教師データと予測値の関係

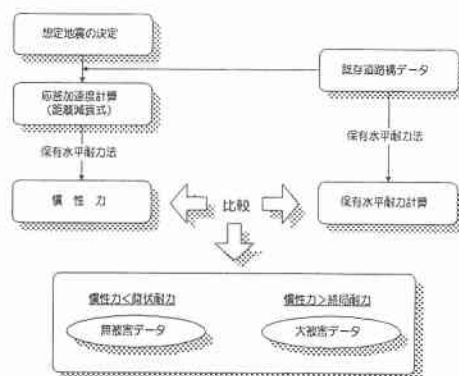


図-3 架空データの作成概要

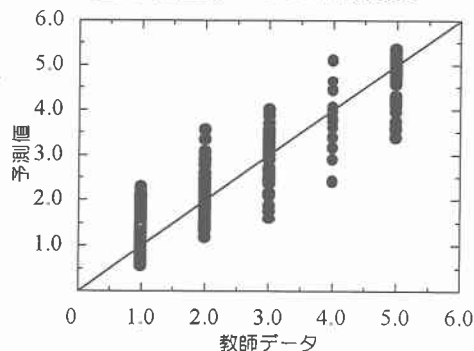


図-4 教師データと予測値の関係

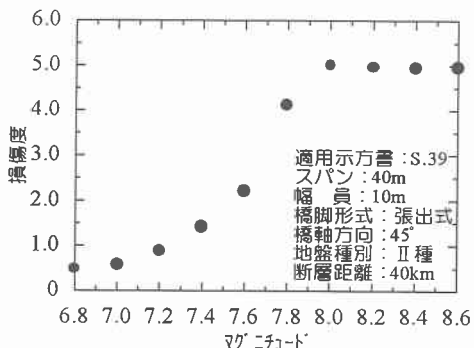


図-5 マグニチュードと損傷度の関係