

保有水平耐力法に基づく橋梁の 地震被害予測システムの構築

山本 直史¹・山村 猛²・沢田 勉³

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 工修 四国建設コンサルタント (〒770 徳島市佐古六番町5番29号)

³正会員 工博 徳島大学教授 (〒770 徳島市南常三島町2-1)

道路橋示方書・耐震設計編の保有水平耐力法を適用して橋脚の安全性を評価するには、橋梁に関する詳細な情報(設計書、詳細図、橋脚の着目区等)が必要であるが、このような要件を備えた橋梁の数は一般に少なく、大部分の橋梁では、適用示方書、上部工形式、下部工形式、スパン、幅員等の基礎的なデータしかないのが現状である。保有水平耐力法では、橋脚の保有水平耐力、固有周期および等価重量がわかれば橋脚の耐震安全性が照査できるので、これらを基礎的なデータから推定することが必要となる。本研究では、階層型ニューラルネットワークを用いて、橋梁に関する基礎データから橋脚の保有水平耐力、固有周期および等価重量を推定し、橋梁の地震被害を予測するシステムを構築した。

Key Words: earthquake damage of bridges, ultimate lateral strength of pier

1. はじめに

橋梁の地震被害は、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次的な被害を助長することから、橋梁は都市の震後復興においてもきわめて重要な構造物であるといえる。したがって、ある想定地震に対して、現存する橋梁の被害を予測することは、地域の地震防災を考えるうえで重要である。このような観点から、本研究では、橋脚の保有水平耐力法に基づく橋梁の地震被害予測システムの構築を行った。

2. 地震時保有水平耐力法の概要¹⁾

道路橋の耐震設計では、構造部材の強度を向上させると同時に変形性能を高めて橋全体系として地震に耐える構造系を目指す必要がある。このため、平成8年に作成された道路橋示方書・耐震設計編では、震度だけでなく地震時保有水平耐力法によっても橋梁の耐震設計を行うことが規定されている。橋梁の地震被害は下部工、とくに橋脚の耐震性に負うところが多い。したがって、橋脚の耐震性を確保することは、橋梁全体の被害を軽減するうえで重要である。

このような観点より、道路橋示方書・耐震設計編では、以下に述べる保有水平耐力法により橋脚の安全性を照査することが義務づけられている。

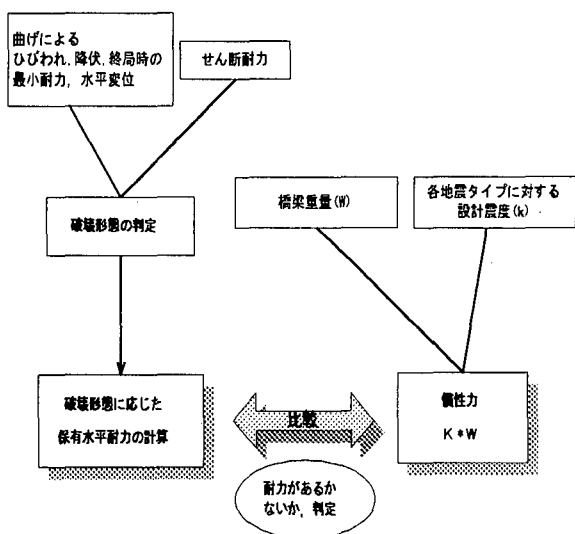
地震時保有水平耐力法では、次の2種類の地震動が考慮されている。

タイプⅠ：大正12年関東大震災における東京での地震動のように、発生頻度が低いプレート境界型巨大地震による地震動を想定したもの。大きな振幅が長時間繰り返して作用するタイプの地震動。

タイプⅡ：平成7年兵庫県南部地震のように、発生頻度がきわめて低い規模の大きな内陸直下型による地震動を想定したもの。

この2つのタイプの地震動について、原則として橋梁全体を1基の下部構造とそれが支持している上部構造部分を単位とする構造系に分割して解析を行う。図-1に、地震時保有水平耐力法の概略を示す。

この方法では、まず曲げによるひびわれ、降伏および終局時の最小耐力、水平変位による曲げ耐力を算出する。この曲げ耐力とせん断耐力の大小関係より、橋脚の破壊形態を判定し破壊形態に応じた保有水平耐力の計算をする。つぎに、橋梁の上部工重量、橋脚の重量、設計震度および橋梁の固有周期より慣性力を求め、先に求めた保有水平耐力との大小比較から、耐力の有無を判定する。



図—1 地震時保有水平耐力法のフローチャート

3. 保有水平耐力等の予測とその精度の検証

前述のように、道路橋示方書・耐震設計編¹⁾では、橋脚の耐震安全性を保有水平耐力法より照査する方法がとり入れられている。本研究でも、保有水平耐力法により橋脚の耐震安全性を照査し、既存橋梁の地震被害を予測する。

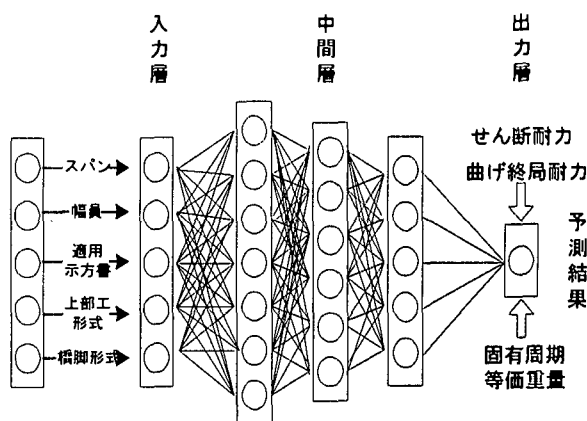
ただし、保有水平耐力法を適用して橋脚の安全性を評価するには橋梁に関する詳細な情報（設計書、詳細図、橋脚の配筋図等）が必要であるが、このような要件を備えた橋梁の数は一般に少なく（たとえば全橋梁の1/5程度）、大部分の橋梁では、スパン、幅員、適用示方書、上部工形式、下部工形式等の基礎的なデータしかないのが現状である。

ある地域における橋梁の地震被害予測では、なるべく多くの既存橋梁を対象とすることが必要となるので、基礎的なデータしか有しない大部分の橋梁の地震被害を何らかの方法により予測しなければならない。保有水平耐力法では、橋脚の保有水平耐力、固有周期および等価重量がわかれば橋脚の耐震安全性が照査できるので、これらを基礎的なデータから推定することが必要となる。本研究では、図—2に示すような階層型ニューラルネットワークを用いて、橋梁に関する基礎データ（入力データ）から橋脚の保有水平耐力、固有周期および等価重量を推定するシステムを構築した。このシステムの入力データは、スパン、幅員、適用示方書、上部工形式および橋脚形式である。

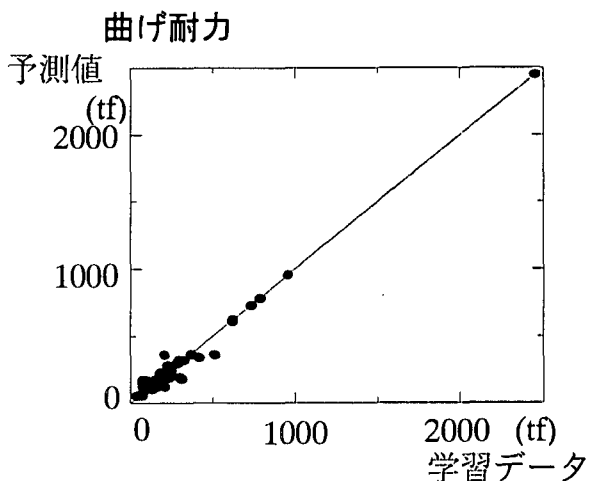
予測するパラメータは、上述の橋脚のせん断耐力、曲げ終局耐力、固有周期および等価重量であり、これらのパラメータはそれぞれ個別に予測される。予測システムの学習

では、詳細なデータを有する51基の橋脚の解析から得られた保有水平耐力、固有周期および等価重量を教師信号として用いた。

図—3は、学習させたネットワークの精度を検証するため、学習データと予測値の関係を表したグラフで、一例として橋脚の曲げ耐力を示している。図—3より、予測値は学習データとよく一致しており、本予測方法により保有水平耐力等の精度よい予測が可能であることわかる。



図—2 保有水平耐力等の予測方法



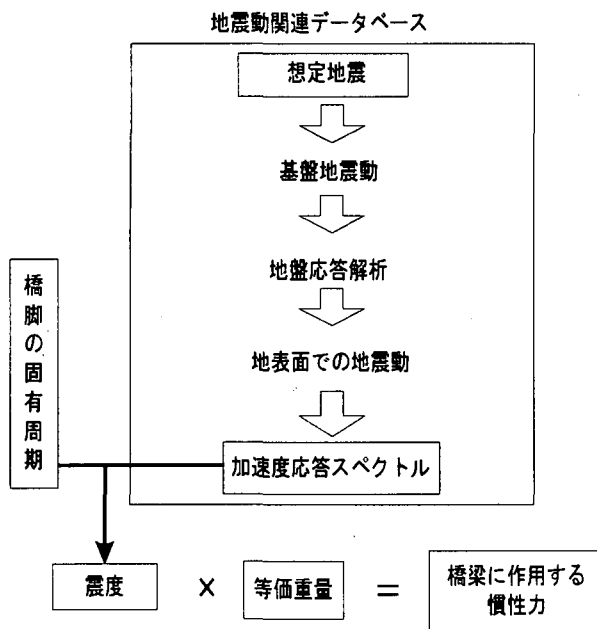
図—3 曲げ耐力の学習データと予測値の比較

4. 慣性力の算定方法

橋脚の地震被害予測においては、地震力としての慣性力を算出する必要がある。この慣性力の計算では、前節で構築した橋脚のパラメータのうち、橋脚の固有周期と等価重量（上部工重量+橋脚重量/2）の予測値が必要である。

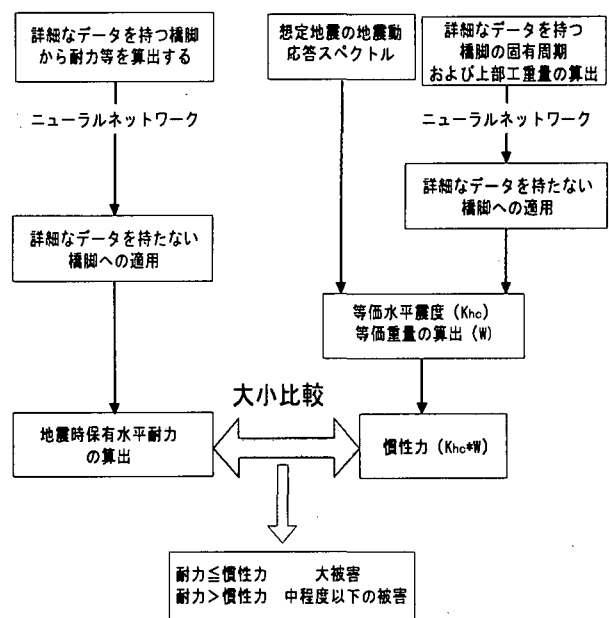
ただし、慣性力の算定に必要な加速度応答スペクトルは別途作成されているとする。

図—4は、橋脚に作用する慣性力の算出方法のフローチャートである。以下、このフローチャートに基づいて慣性力の算出方法を説明する。まず、地震被害予測では、対象となる想定地震による橋梁の架設地点での地震動から加速度応答スペクトルを作成する。次に、前節の予測方法より求められた橋脚の固有周期と上述の応答スペクトルから橋脚に作用する震度を求める。最後に、この震度と前節で予測した等価重量より、それぞれの想定地震における慣性力を算出する。



図—4 慣性力の算出方法

まず、詳細なデータをもつ橋脚の耐力等から構築したネットワークを用いて、詳細なデータをもたない橋梁の地震時保有水平耐力等を予測する。次に、詳細なデータをもつ橋脚の固有周期および等価重量より構築したネットワークを用いて、詳細なデータをもたない橋梁の固有周期および等価重量を予測する。次に、この予測された固有周期および上部工重量と、別に作成されている想定地震の地震動応答スペクトルより、慣性力を求め、最後に、上述の地震時保有水平耐力と慣性力の大小比較より、橋梁の地震被害予測をする。



図—5 橋梁の地震被害予測システム

5. 橋梁の地震被害予測システム

第3節で詳細なデータを持つ橋梁データから保有水平耐力法を用いて地震時保有水平耐力を求め、これをニューラルネットワークの学習データとした。そして、この構築したネットワークを用い詳細なデータを持たない橋脚の地震時保有水平耐力、固有周期および等価重量等を予測する。

このネットワークと前節で述べた慣性力の算定方法を結合して、図—5に示すような保有水平耐力法に基づく橋梁の被害予測システムを構築した。この被害予測システムは、大きく分けて、2つの部分からなる。その1つは、橋脚の保有水平耐力の予測であり、他は橋脚に作用する慣性力の予測である。

6. 橋梁の地震被害予測の適用例

前節の地震被害予測システムをいくつかの既存橋梁に適用した。対象とした橋梁は表—1に示す5橋である。橋梁の地震被害予測では、第3節に示した方法に基づき、スパン、幅員、適用示方書、上部工形式および橋脚形式を入力して、橋脚の保有水平耐力、固有周期および等価重量を推定し、それらを用いて第5節の地震被害予測システムより被害予測を行った。ただし、入力地震動としては、1854年の安政南海地震(M8.4)を対象とし、杉戸・亀田の方法²⁾により基盤加速度波形を作成した後、地盤応答解析³⁾を行い、地表面地震動を求めた。表—1に各橋梁の地震被害予測結果を示す。表中の×印は対象橋梁が大被害を受けることを示す。

表—1 既存橋梁の地震被害予測の適用例

	スパン (m)	幅員 (m)	適用示方書	上部工形式	橋脚形式	断層距離 (km)	地盤種別	判定
A橋	27.0	30.0	S39	単純 連続桁	壁式	53.8	3	○
B橋	30.4	11.7	S46	PC, RC桁	壁式	65.5	1	○
C橋	30.1	8.9	S46	PC, RC桁	張出し式	64.3	3	×
D橋	28.7	8.0	S31	鋼床版	張出し式	26.0	2	×
E橋	40.0	9.5	S31	単純 連続桁	ラーメン式	51.6	3	×

7. まとめ

本研究では、保有水平耐力法に基づく橋梁の被害予測システムの構築を行った。本研究の結果より、橋梁の被害を予測することは、ある程度可能であると考えられる。今後の課題としては、ニューラルネットワークは学習させるデータに大きく依存するので、より正確でより詳しい資料を入手し、教師データを増やすことが必要である。さらに、教師データの頻度をなるべく一様にする検討も必要であると考えられる。また、橋梁の損傷度評価について損傷の有無だけしか評価していないが、教師データが増え予測の精度が向上すれば、損傷度評価を数段階に分けることもできると考えられる。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説・V耐震設計編，1997.
- 2) Sugito, M. and Kameda, H.: Prediction of nonstationary earthquake motions on rock surface, Proc. of JSCE, structural Eng./Earthquake Eng., Vol. 2, No. 2, pp. 149-159, 1985.
- 3) 杉戸真太：周波数特性を考慮した等価ひずみによる地盤の地震応答解析法に関する一考察，土木学会論文集，1994. 6.
- 4) 菊池豊彦：入門ニューロコンピュータ，オーム社，1990.
- 5) 中野馨，飯沼一元，桐谷滋：ニューロコンピュータ，技術評論社，1989.
- 6) 馬場則夫，小島史男，小澤誠一：ニューラルネットの基礎と応用，共立出版，1994.
- 7) 日本道路協会：道路橋震災対策便覧（震災復旧編），日本道路協会編集，1988. 2.