

RC 構造物の地震被害と地震動特性との関連性

東北大学 学生員 ○井林 康
 東北大学 正会員 鈴木基行
 東北大学 正会員 藤原 稔

1. はじめに

近年、わが国では平成7年1月の兵庫県南部地震を代表とする数々の地震被害を受けている。その地震被害の調査より、同程度の最大加速度の地震動でも構造物の被害には大きな隔たりが存在することがあらためて問題になっている。また、地震動の特性から簡便に構造物の被害を推定する方法が求められていることも踏まえ、本研究では土木構造物の被害と相関の高い地震動や構造物それぞれの特性値は何であるかを検討し、それぞれの代表値から、地震による構造物の被害を推定できる地震被害算定指標の構築を行った。

2. 解析手法

(1) 解析対象構造物

解析対象としたのはRCの単柱橋脚であり、平成2年道路橋示方書¹⁾および復旧仕様²⁾（復旧仕様）によって新設されたもの、および補強の設計を行ったもの、合計10橋脚である。これらはせん断スパン比が2.80から5.26のものであった。

(2) 本研究で用いる弾塑性応答解析モデル

弾塑性応答解析は、1質点系モデルを用い、Newmarkの β 法を用いた逐次積分法によって行った。用いた荷重-変位曲線のスケルトンカーブは、軸方向鉄筋からの引き抜けによる回転変位も考慮に入れた。履歴法則は、曲げについては基本的に武田モデル、せん断についてはコンクリートの繰返し一面せん断実験結果を修正して用いた。

(3) 実地震波形

解析に用いた実地震波は宮城県沖、釧路沖、兵庫県南部など6地震のべ20加速度波形で、それらの最大加速度は192～817[gal]である。速度や変位波形は加速度波形を積分して作成し、積分の際に生じる誤差は変位を4次多項式で近似することによって補正した。

(4) 損傷指標

構造物の被害程度を表す指標として、ここでは広く用いられている塑性率 μ および次式で示されるParkの損傷指標 DI ³⁾を用いた。

$$DI = \frac{\delta_M}{\delta_u} + \frac{\beta}{Q_y \delta_u} \int dE \quad \dots\dots\dots (1)$$

Parkの損傷指標を用いた理由としては、比較的広く用いられていること、および表-1のように損傷程度との対応がつけやすいことがあげられる。

表-1 Parkの損傷指標と損傷程度との関係

Parkの損傷度	損傷の程度
0～0.1	わずかな損傷 - まばらなひびわれ
0.1～0.2	軽微な損傷 - 小さなひびわれ
0.2～0.4	中程度の被害 - ひびわれ・剥離
0.4～1.0	大被害 - 圧壊・鉄筋の座屈
1.0～	崩壊 - 全体的、部分的崩壊

表-2 塑性率と地震動特性値との相関 ($N=200$)

	相関係数
$\mu \sim$ スペクトル強度 SI	0.715
最大速度 V	0.632
最大加速度 A	0.626
...	...

3. 地震動および構造物の特性値

(1) 地震動の特性値

地震動そのものの特性値として、最大加速度(A)、最大速度(V)、最大変位(D)、地震動の卓越周期を、および既往の研究で提案されている地震動指標として A/V 、 AD/V^2 、Housnerのスペクトル強度（速度応答スペクトルを周期0.1から2.5秒まで積分したもの）、加速度パワー（地震動加速度を継続時間にわたって積分したもの）を検討した。

これらの指標計8種類と構造物の被害程度との関係を検討した。結果を表-2に示す。これより、スペクトル強度(SI)がもっとも相関が高いことが判明した。

本研究で対象としているRC橋脚に対して最適化するため、 SI の積分範囲の上限と下限を様々に変化させた。その結果、積分区間0.1から1.5秒とした場合が塑性率、Parkの損傷指標ともに最も相関が高いことが判明した。その場合のスペクトル強度（以下 SI_{15} ）を地震動特性の代表値として用いることにした。

(2) 構造物の特性値

構造物特性の代表値としては、固有周期、曲げ耐力、せん断耐力、曲げせん断耐力比、じん性率の5種類を考えた。ここで、固有周期は道路橋示方書¹⁾によるもの、曲げ耐力、せん断耐力はコンクリート標準示方書⁴⁾によるもの、じん性率は阪神大震災被害調査WGによる式⁵⁾である。

相関を調べた結果、表-3のようになり、曲げせん断

表-3 塑性率と構造物特性との相関 ($N=200$)

$\mu \sim$	相関係数
曲げせん断耐力比	-0.165
せん断耐力	-0.124
じん性率	-0.090
...	...

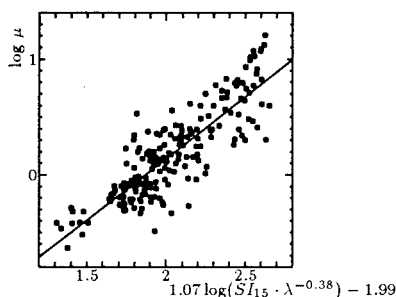


図-1 SI_{15} 、 λ および μ の関係

耐力比がもっとも相関が高いことが判明した。ここで用いている曲げせん断耐力比 λ は次式で表される。

$$\lambda = \frac{V_y \cdot a}{M_u} \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 V_y ：部材のせん断耐力、 a ：せん断スパン、 M_u ：部材の曲げ耐力である。この指標は、地震応答解析中のせん断補強筋の降伏点を比較的良好に表しうるので、よりよく耐震性を判断する指標であるということが言える。そのため塑性率との相関はそれほど高くないものの、この曲げせん断耐力比を構造物特性の代表値として用いることにした。

4. 地震被害算定指標

以上より、塑性率、ParkのDIそれぞれについて、回帰式を求めたのが次式である (r ：相関係数)。図-1に塑性率の場合を図示する。

$$\log \mu = 1.07 \log(SI_{15} \cdot \lambda^{-0.38}) - 1.99, \quad r = 0.852 \quad (3)$$

$$\log DI = 1.27 \log(SI_{15} \cdot \lambda^{-0.46}) - 3.41, \quad r = 0.788 \quad (4)$$

5. 被害指標による実被害の検証

兵庫県南部地震により被害を受けた、阪神高速道路-神P138橋脚は $\lambda = 0.512$ であり、実際の被害は崩壊であった。地震波としてJR鷹取NS($SI_{15} = 337.15$)を考え、被害指標によって損傷程度を算定すると、 $\mu=6.807$ 、 $DI=0.933$ となり、Parkの損傷区分によると「大被害-圧壊・座屈」となり、実際の被害とよく対応していることがわかる。

6. 被害指標の応用

Katayama⁶⁾はわが国のいくつかの都市についてある期間に来るであろう地震動の加速度スペクトルを表す一様リスクスペクトルを調べている。一例を図-2に示

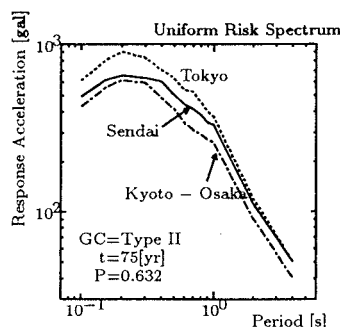


図-2 一様リスクスペクトル

表-4 各都市における損傷度の期待値

	鋼板補強前	鋼板補強後
仙台	0.145	0.060
東京	0.179	0.074
京都-大阪	0.108	0.044
	H2示方書	復旧仕様
仙台	0.124	0.092
東京	0.153	0.113
京都-大阪	0.092	0.068

す。これと地震被害算定指標とにより、ある期間内の構造物の損傷度の期待値が算定できる。各都市におけるII種地盤かつ期間75年に対するParkのDIの期待値の設計法による比較を行った。結果を表-4に示す。鋼板補強の有無およびH2示方書と復旧仕様による比較はそれぞれの設計法によりこのような違いが出るのがわかる。このように想定する再現期間の地震動に対する損傷度の期待値が算定可能となる。

7. まとめ

1) 構造物に被害を与える地震動特性の代表値として SI の積分区間を $0.1 \sim 1.5[s]$ とした SI_{15} が、および構造物特性の代表値として曲げせん断耐力比 λ が適している。

2) 地震波と構造物それぞれの1つの代表値から地震時の構造物の被害を予測する簡便な地震被害算定指標を構築し、この指標の応用例を示した。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書 (V耐震設計編)・同解説。丸善、平成2年。
- 2) 日本道路協会：「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」の準用に関する参考資料 (案)、平成7年6月。
- 3) Young-Ji Park and Alfredo H.-S. Ang. : Mechanistic seismic damage model for reinforced concrete. *Journal of Structural Engineering*, Vol. 111, No. 4, April 1985.
- 4) 土木学会：コンクリート標準示方書 [設計編]。土木学会、平成8年。
- 5) 土木学会コンクリート委員会阪神大震災調査研究特別委員会：阪神淡路大震災被害分析と靱性率評価式。土木学会、平成8年9月。
- 6) 土木学会：地震動・動的物性、動的解析と耐震設計第1巻。技報堂出版、1989年。