

## SFC と DF における地震動指標と構造性能指標の考察

武蔵工業大学大学院 学生会員 北本廣平  
 武蔵工業大学工学部 正会員 吉川弘道  
 (株)篠塚研究所 正会員 静岡俊郎

## 1.はじめに

地震損傷度曲線（Seismic Fragility Curve 以下、SFC）は、地震動の大きさを条件とした被害の発生確率を示し、構造物の耐震性能評価の基本情報となる。一方、Damage Function（以下、DF）は地震動の大きさに応じた損失率を求める関数である。両者とも被害事例や応答解析結果を用い、統計的に評価することができる。応答解析結果から評価する場合、損傷度を判定するための損傷区分毎のクライテリア<sup>1)</sup>が必要となるが、これらについてはさらに検討が必要だと思われる。

本報では、橋脚を対象とした地震被害の評価指標の検討と SFC、DF の推定に必要な損傷区分毎のクライテリアを非線形動的応答解析結果から考察するものである。なお解析では、兵庫県南部地震による高速道路網の被害情報、Department of Conservation-Strong Data Center（以下、DOC）<sup>2)</sup>において公開されている地震動情報を用いた。

## 2.解析概要

構造物は、地震動の大きさや特性により応答が異なる。そのため、対象道路網の橋脚に対し、影響する全ての地震動の組合せ解析が望ましいが、ここでは、対象橋脚を P92、入力地震波をカリフォルニア州強震記録の水平 594 成分として非線形動的応答解析を行った。

表 1 対象橋脚 P92 の P- $\delta$  特性

|            |          |   |       |      |    |
|------------|----------|---|-------|------|----|
| $\delta_c$ | 0.004955 | m | $P_c$ | 915  | kN |
| $\delta_y$ | 0.033996 | m | $P_y$ | 2500 | kN |
| $\delta_u$ | 0.119374 | m | $P_u$ | 3453 | kN |

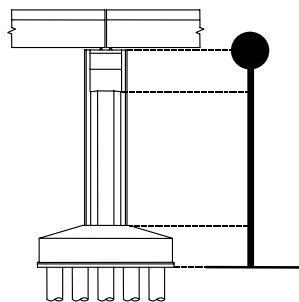


図 1 橋脚のモデル化

非線形動的応答解析は、対象橋脚(表 1)を橋軸方向にて 1 質点系にモデル化(図 1)し、入力は橋脚基部とした。非線形動的応答解析には入力として加速度波形を用いている。同地点に対して速度波形も観測されていることから、被害予測の地震動指標として地盤最大加速度 (PGA)、地盤最大速度 (PGV) を比較し、適合性を検討した。

## 3.解析結果

図 2 に縦軸に非線形動的応答解析による最大応答変位  $\delta$  を示し、横軸に PGA を用いた場合と、PGV に置換した場合を示した。両図には観測点の条件から地震動規模が大きいものがあるが、本報では解析結果全てを示した。また、損傷度指標と応答変位の関係を相関係数により示した。本報の解析条件(橋脚、地震動)のもとでは限定されるが PGA より PGV の方が最大応答変位とより明瞭な相関性が認められた。

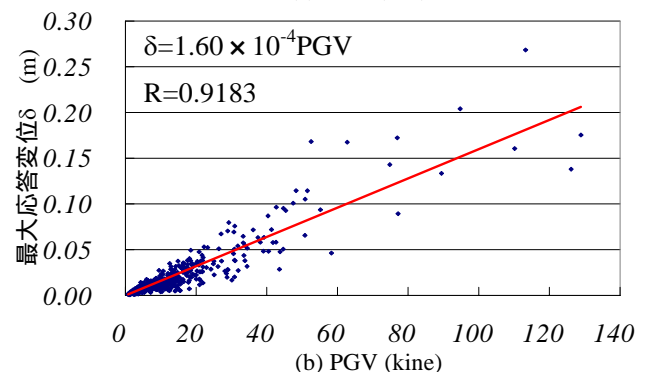
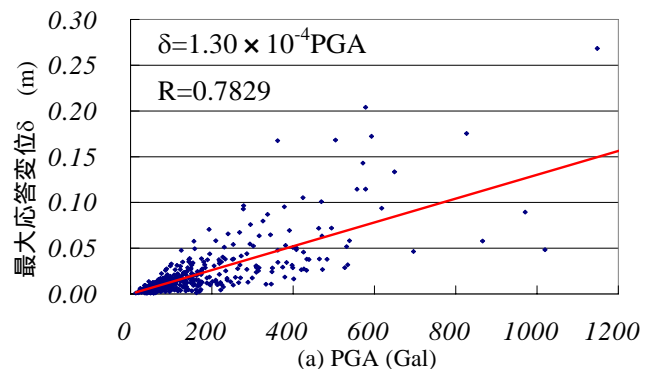


図 2 地震規模と最大応答変位

KeyWords : RC 単柱橋脚, 非線形動的応答解析, 損傷区分, 地震動指標, 構造性能指標

連絡先: 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1 丁目 28 番地 1 号 TEL:03-3703-3111(内線 3241) FAX:03-5707-1165

4. 損傷区分モデルの提案

損傷調査結果による橋脚の損傷区分と RC 単柱橋脚 317 本を用いて、損傷の基準データを作成した。損傷区分は詳細判定ではなく、写真による外観調査による応急復旧のための区分(表 2)を用いた<sup>3)</sup>。

表 2 損傷度判定の定義<sup>3)</sup>(外観調査)

| 損傷区分 | 定義   |
|------|--|
| As   | 崩壊・倒壊、損傷変形が著しく大きいもの                          |
| A    | 半倒壊、亀裂、座屈、鉄筋の破断等の損傷、変形の大きいもの                 |
| B    | 中破壊、鉄筋の一部の破断やはらみだし、部分的な被りコンクリートの剥離や亀裂が見られるもの |
| C    | 小破壊、ひびわれの発生や局部的な被りコンクリートの剥離がみられるもの           |
| D    | 損傷がないか、あっても耐力に影響のない極めて軽微なもの                  |

既往の研究<sup>1)</sup>による損傷区分から対応する損失率、応答塑性率を表 3(a)のように示した。また、損失率は建設費等を参考に仮定した。しかし、ここで示した応答塑性率、損失率は個々の橋脚が持つ変形性能等の特性を十分に反映していない。そこで、特性に応じて損傷区分が変動するモデルを提案する。今回は損傷調査結果と橋脚の断面諸元によりパラメータの平均値を算出した。表 3(b)に損傷区分に属する RC 単柱橋脚の構造特性の平均値を個々に算出した。保有靱性率(式 1)、耐力比 $v$ (式 2)、耐力と変位の面積(保有エネルギー量  $E$ )と本提案指標(式 4)を比較して、被害報告との適合性を比較検討した(表 3(b))。保有エネルギー量  $E$  は橋脚の骨格曲線を用いた。保有靱性率 $\mu$ と、本提案指標  $Q$  による損傷区分を図 4 に示した。保有靱性率や耐力比の単一指標からでも区分できるが、指標  $Q$  ではより明確に区分できる。

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y} \quad (1) \quad v = \frac{P_u}{P_y} \quad (2)$$

$$E = \text{骨格曲線の面積} \quad (3)$$

$$\frac{Q}{P_y \delta_y} = \frac{1}{2} (v - 1) (\mu - 1) \quad (4)$$

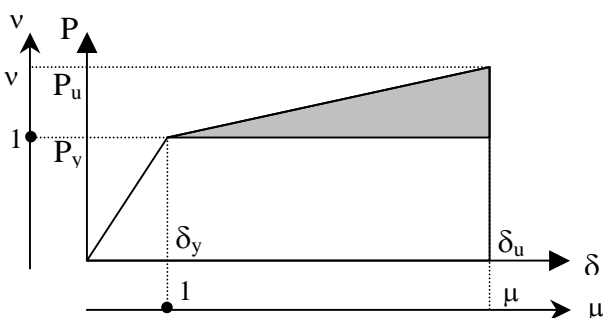
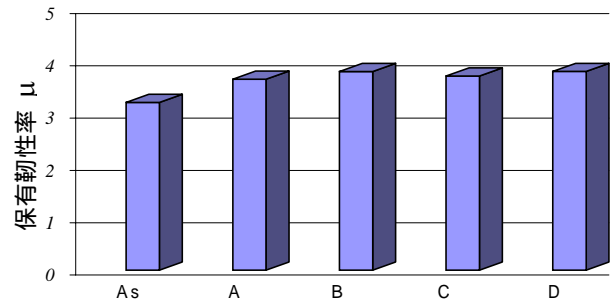


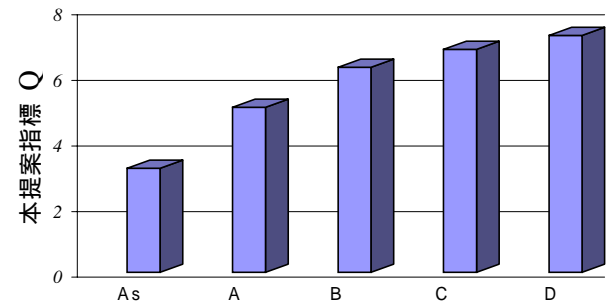
図 3 エネルギー量の定義

表 3 損傷区分 (a : 文献 1), b : 算定例)

| (a) 文献2)による区分 |         |     | (b) 各区分毎の構造性能指標(317橋脚)        |                   |      |       |
|---------------|---------|-----|-------------------------------|-------------------|------|-------|
| 損傷区分          | 応答塑性率   | 損失率 | $\mu (= \delta_u / \delta_y)$ | $v (= P_u / P_y)$ | $E$  | $Q$   |
| As            | 8.0~    | 1   | 3.29                          | 1.1654            | 42.9 | 3.173 |
| A             | 6.0~8.0 | 0.8 | 3.66                          | 1.3339            | 35.0 | 5.032 |
| B             | 4.0~6.0 | 0.5 | 3.81                          | 1.3895            | 35.8 | 6.252 |
| C             | 2.0~4.0 | 0.1 | 3.76                          | 1.4248            | 40.5 | 6.795 |
| D             | ~2.0    | 0   | 3.78                          | 1.4075            | 43.8 | 7.220 |



(a) 保有靱性率 $\mu$ による



(b) 本提案指標  $Q$  による区分

図 4 損傷区分毎の構造性能の推移

5. まとめ

本報では、解析的に求められた被害データから地震被害の指標として PGA より PGV の方が、相関係数が高く、被害を精度良く評価できるとの結果が得られた。しかし、これは両者の直線的関係の強さを示すものであり、一概に相関係数の高い PGV の方が被害を良く説明できるとは言いきれない。

構造性能指標として、損傷区分毎のクライテリアの本提案指標  $Q$  は損傷区分に沿い、明瞭な区分ができる結果が得られた。

参考文献

- 1) 庄司学, 藤野陽三, 安部雅人: 高架道路橋システムにおける地震時損傷配分の最適化の試み, 土木学会論文集, No.563/I-39, pp79-93, 1997.4
- 2) Department of Conservation-Strong Data Center, <http://docinet3.consrv.ca.gov/csmip/>
- 3) 阪神高速道路公団: 阪神高速道路 3 号神戸線 RC 橋脚の損傷分析中間報告書, 1997.3