

武蔵工業大学 学生会員 梶屋 和大

同上 学生会員 岩本 篤

同上 正会員 吉川 弘道

## 1. はじめに

構造物の供用期間内に発生する可能性のある地震動強度に対する耐震性能の定量的評価を行うためには再現期間別に解析を行うことが重要であると考えられる。そこで、地震ハザード曲線<sup>1)</sup>に時系列モデルを導入することにより、再現期間  $T$  と供用期間  $t$  の関係を整理し、供用期間  $t$  と供用期間内超過確率  $P$  をパラメータとした解析を行う。さらにモンテカルロシミュレーションを用いて RC 橋脚に対する被災度予測を例示する。

## 2. 解析概要

本解析は神戸市市庁舎付近の建設地点からのデータを用いたタイプ 1・タイプ 2 ごとの地震ハザード曲線(図 1. (a))と時系列モデルにより作成した  $t$ - $T$  関係(図 1. (b))の両者の比較から地盤最大加速度(以下 P.G.A.)の推定を行う。その手法は供用期間  $t$  と供用期間内発生確率  $P$  の仮定から(本解析では  $t=50$  年, 75 年, 100 年  $P=0.01, 0.1, 0.632$  とする。)再現期間  $T$  を決定し、地震ハザード曲線のグラフとの比較からタイプ 1・タイプ 2 別にそれぞれ再現期間に対する P.G.A.を推定するものである。結果を表 1 に記す。

時系列モデルは再現期間  $T$ ・供用期間  $t$ ・供用期間内発生確率  $P$  の 3 者の関係を表すために(1)式(供用期間内発生確率算定式<sup>2)</sup>)を用いる。

$$P = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^t \quad \cdots (1)$$

以上のデータを基に、P.G.A.と構造物の加速度応答倍率を変数としたモンテカルロシミュレーションを実行する。

P.G.A.は各供用期間に対する平均値  $\mu$ 、標準偏差  $\sigma$  をそれぞれ表 1 の値を参照に対数正規分布に従って乱数を  $10^4$  case 発生させた。加速度応答倍率はタイプ 1・タイプ 2 別に模擬地震動を作成し、応答スペクトルよりそれぞれタイプ 1 を  $\mu=2.018$ ,  $\sigma=0.0563$  タイプ 2 を  $\mu=2.853$ ,  $\sigma=0.0937$  とし正規分布に従った乱数を  $10^4$  case 発生させ解析を行った。

発生させた各乱数を用い、P.G.A.に加速度応答倍率を乗じ、弾性応答最大加速度  $Acc$  を求め、弾塑性応答評価式(2)式より弾塑性最大応答変位  $\delta_{resp}$ (応答塑性率  $\mu_{resp} = \delta_{resp} / \delta_y$ )を算定した。

なお、対象となる構造物は RC 丸単柱式橋脚を選定し、その部材解析結果を表 2 に示す。

**Key words:** RC 橋脚, 地震ハザード曲線, 再現期間, 供用期間, 供用期間内超過確率

連絡先: 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 TEL:03-3703-3111(内線 3241) FAX:03-5707-2125

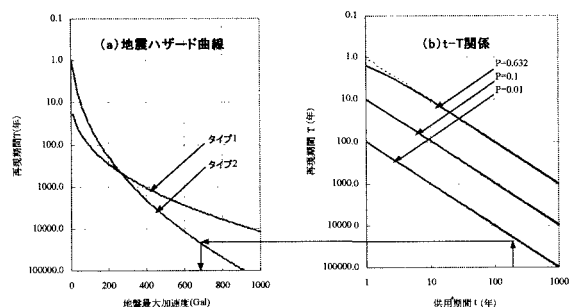


図 1. P.G.A.の推定

表 1. 算定結果

(a)タイプ 1

| 供用期間内発生確率    | P=0.632 |       |       | P=0.1 |       |       | P=0.01 |       |       |
|--------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| 供用期間(年)      | 50年     | 75年   | 100年  | 50年   | 75年   | 100年  | 50年    | 75年   | 100年  |
| 再現期間(年)      | 51      | 76    | 101   | 475   | 712   | 950   | 4975   | 7463  | 9950  |
| 地盤最大加速度(Gal) | 120     | 140   | 157   | 270   | 300   | 330   | 500    | 540   | 580   |
| 標準偏差         | 4.662   | 4.817 | 4.931 | 5.473 | 5.579 | 5.674 | 6.090  | 6.167 | 6.238 |

(b)タイプ 2

| 供用期間内発生確率    | P=0.632 |       |       | P=0.1 |       |       | P=0.01 |       |       |
|--------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| 供用期間(年)      | 50年     | 75年   | 100年  | 50年   | 75年   | 100年  | 50年    | 75年   | 100年  |
| 再現期間(年)      | 51      | 76    | 101   | 475   | 712   | 950   | 4975   | 7463  | 9950  |
| 地盤最大加速度(Gal) | 50      | 70    | 96    | 270   | 330   | 380   | 750    | 870   | 940   |
| 標準偏差         | 3.787   | 4.123 | 4.439 | 5.473 | 5.674 | 5.815 | 6.495  | 6.643 | 6.721 |

表 2. 部材解析結果

|                       |       |                           |       |
|-----------------------|-------|---------------------------|-------|
| ひび割れ耐力 $P_c(MN)$      | 0.9   | 許容塑性率(タイプ1) $\mu_{a1}$    | 1.808 |
| ひび割れ変位 $\delta_c(cm)$ | 0.63  | 許容塑性率(タイプ2) $\mu_{a2}$    | 2.616 |
| 降伏水平耐力 $P_y(MN)$      | 2.58  | 許容変位(タイプ1) $\delta_a(cm)$ | 6.473 |
| 降伏変位 $\delta_y(cm)$   | 3.58  | 許容変位(タイプ2) $\delta_a(cm)$ | 9.367 |
| 終局水平耐力 $P_u(MN)$      | 3.73  | 等価固有周期 $TEQ(s)$           | 0.63  |
| 終局変位 $\delta_u(cm)$   | 12.26 | 等価設計水平変位 $khe$            | 0.83  |
| せん断耐力 $P_s(MN)$       | 5.58  | 上部工重量 $W_u(MN)$           | 6.11  |
| 保有水平耐力 $P_a(MN)$      | 3.36  | 橋脚重量 $W_p(MN)$            | 5.05  |
| 質量 $m(t)$             | 89.87 | 等価重量 $W(MN)$              | 8.63  |

$$R = \frac{C_e}{C_y} = \frac{Acc}{g} \cdot \frac{P_y}{W} \quad R = 1 + 0.67(\mu_{resp} - 1) \frac{T}{T_0} \quad \cdots(2)$$

$R$ :荷重低減係数,  $g$ :重力加速度,  $\mu_{resp}$ :最大応答塑性率,

$T$ :固有周期,  $T_0$ :弾性応答スペクトルが最大となる固有周期

ここで,  $\delta_y, \delta_a, \delta_u$  の3変数を完全相関とした.  $\delta_y$  に対して  $\mu=3.58, \sigma=0.5$  としてばらつきを持たせ,  $\delta_a, \delta_u$  に関しては,  $\delta_y$  の比率から値を算定した. 性能関数  $Z$  として次式を設定した.

$$\text{降伏: } Z_y = \frac{\delta_{resp}}{\delta_y} - 1 \quad \text{許容: } Z_a = \frac{\delta_{resp}}{\delta_a} - 1 \quad \text{破壊: } Z_u = \frac{\delta_{resp}}{\delta_u} - 1 \quad \cdots(3)$$

#### 4. 解析結果と考察

表1での算定結果の P.G.A.・加速度応答倍率を入力としてモンテカルロシミュレーションを行った結果の被災度予測をタイプ1・タイプ2別, 供用期間内発生確率別に図2に記す.

ここで,  $\delta_{resp} < \delta_y$  を Fully Operational,  $\delta_y < \delta_{resp} < \delta_a$  を Operational,  $\delta_a < \delta_{resp} < \delta_u$  を Life Safe,  $\delta_u < \delta_{resp}$  を Near Collapse と定義し被災度に応じて分類する<sup>3)</sup>.

供用期間別に比較してみると供用期間が大きいくほど, 発生確率が低いほど被災度が大きくなるのが確認できる. タイプ1・タイプ2別に比較してみると, 地震ハザード曲線の影響を受けていることから, タイプ1に対しては P.G.A. の増加と共に被災度も徐々に大きくなっている. それに対してタイプ2は  $P=0.632$  のとき, ほぼ Fully Operational・Operational の確率を占めているのに対して,  $P=0.01$  の時になると Near Collapse がほとんどを占めており, 極端な増加を見せていることがわかる.

以上より, 発生確率別の被災度の違いからもタイプ1・タイプ2の特性の違いを確認することができた.

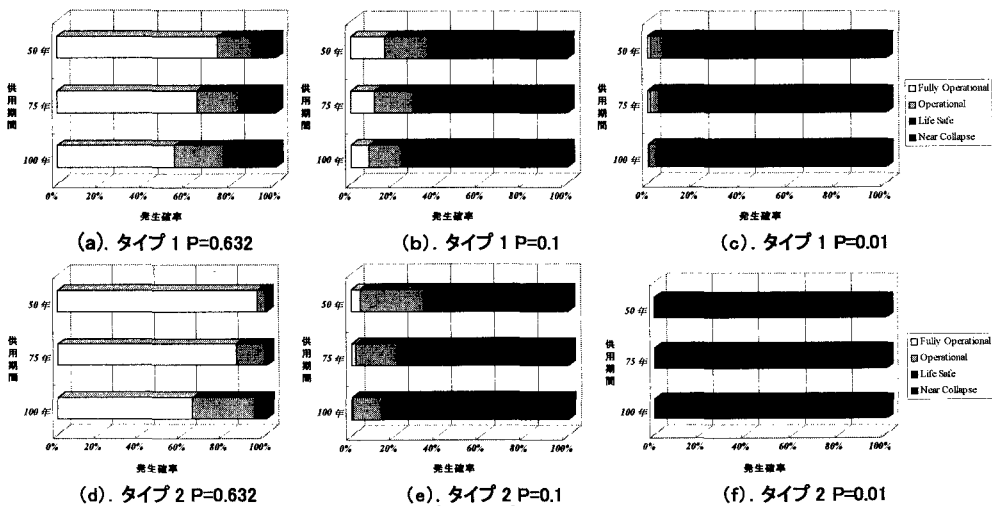


図2. タイプ1・タイプ2別被災度予測

#### 5. まとめ

本解析システムを用いて, 各供用期間・各供用期間内発生確率に対して簡易的な被災度予測を行うことができた.

本解析手法は建設地点・構造物の部材強度等の諸条件を変えることによって様々な構造物ならびに発生確率・供用期間に対する被災度予測を立てることができる簡便なものであることが確認できた.

#### 【参考文献】

- 1) 富田・古田:確率論的地震ハザード曲線を用いた耐震性能評価, 平成10年度武蔵工業大学卒業論文, 1999
- 2) 土木学会:コンクリート標準示方書[平成8年制定]耐震設計編, 土木学会, 1996, 7
- 3) VISION2000 Performance Based Seismic Engineering of Buildings, SEAOC, April, 1995