

# 単一の RC 道路橋脚を対象にした地震リスク評価

学生氏名 石川 雄嗣

指導教員 吉川 弘道 中村 孝明

## 1.はじめに

近年、構造物に対して地震リスク評価が行われているが、その多くは建築構造物で、土木構造物では評価例が少なく、特に地震リスクを踏まえた設計というものは無い。土木構造物の一つである道路橋脚は公益性が高く、地震災害時には、ユーザーの生命、機能停止による社会的影響など、被害は広範囲に及ぶ。このため、民間資本と比べ、高い安全性が要求される。現在の道路橋示方書では地震リスク評価を設計段階では考慮していないが、将来的にはリスク規範の設計が行われるようになることが予想される。そこで、本論では構造、強度が異なる橋脚を設計し、それらに対し地震リスク評価を行った。

## 2.解析概要

地震リスク評価を行うため、道路橋示方書(以下、道示書)を基に橋脚を設計し、それらの脆弱性情報を得るために各損傷度の耐力を基盤最大加速度へ変換した。この基盤最大加速度から地震動の条件付損傷発生確率を地震損傷度曲線、NEL・PML を地震ロス関数で算定し、マルチイベントモデルと地震ロス関数を組み合わせてイベントリスクカーブ、年間損失期待値を作成、算定した。年間損失期待値はイベントリスクカーブの面積に相当し、構造物が持つ地震リスクの大きさを総合的に表している。地震リスク評価フローを図1に示す。

本解析では橋軸直角方向のみを対象に、橋の重要度を  $B$ 、地盤種別を  $S$ 、地震動タイプを  $T$  として構造と強度が異なる 6 本の橋脚を地震時保有水平耐力法<sup>1)</sup>により設計を行った。また、対象橋脚は曲げ破壊先行となるよう設計し、被害形態を曲げ破壊に限定し、その損傷度のみを検討した。

対象地点は新宿区、神戸市の 2 都市を設定した。対象橋

脚の構造諸元を表 1、損失率の設定を表 2 に示す。

表 1 に示してある設計強度とは、設計荷重と橋脚の耐力との比を取り、式(1)のように表わしたものである。

$$\rho = \frac{P_y}{k_{hc}W} \quad (1)$$

$\rho$ : 設計強度  $k_{hc}$ : 設計水平震度  
 $W$ : 等価重量  $P_y$ : 地震時保有耐力

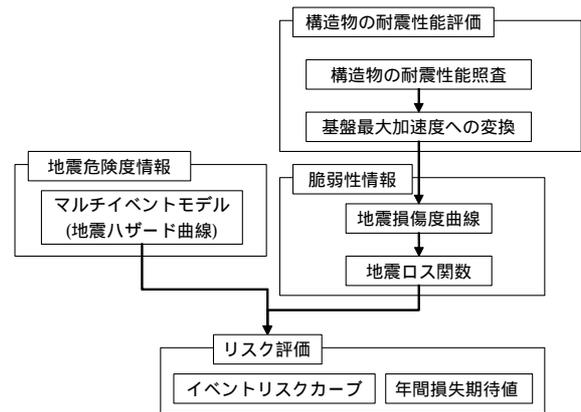


図 1 地震リスク評価フロー

表 1 構造諸元

橋脚種類	ラーメン橋脚			単柱T型橋脚		
	R1	R2	R3	S1	S2	S3
設計強度	0.83	1.0	1.25	0.83	1.0	1.25
初期降伏(kN)	$P_{y0}$ 2696	2962	3466	2094	2572	2981
降伏耐力(kN)	$P_y$ 3566	3568	4343	3139	3889	4423
降伏変位(mm)	$y$ 46.37	44.88	38.73	81.40	74.30	55.20
終局変位(mm)	$u$ 275.7	393.7	378.1	324.9	296.2	281.7
等価重量(kN)	$W$ 6747	6816	6973	4792	4932	5186

表 2 損失率の設定

損傷度	軽微	小被害	中被害	大被害	倒壊
損失率	0.05	0.1	0.2	0.5	1.0

## 3.解析結果および考察

### 3.1 建設地点のリスク評価

新宿区および神戸市における 6 橋脚のイベントリスクカーブを図 2、イベントリスクカーブから算定した 6 橋脚の各年間累積発生確率(再現期間では 50,500,1000 年)の損失率を図 3、6 橋脚の年間損失期待値を表 3 に示す。

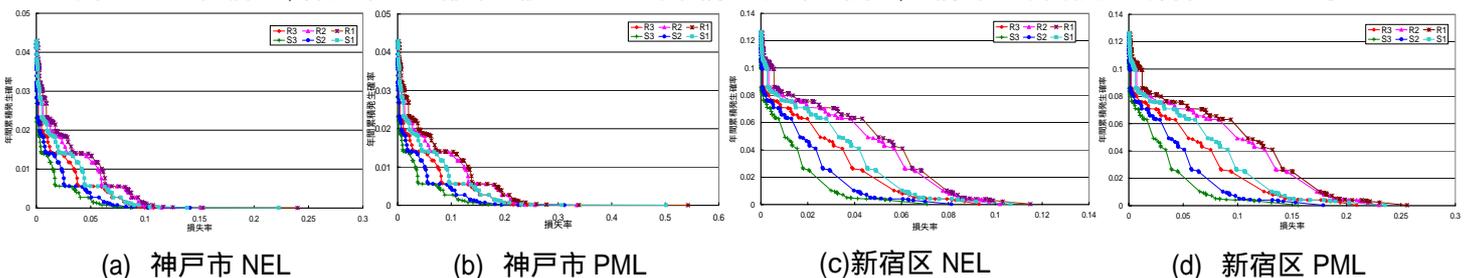


図 2 イベントリスクカーブ

Key words: 地震リスク評価, イベントリスクカーブ, 年間損失期待値, PML

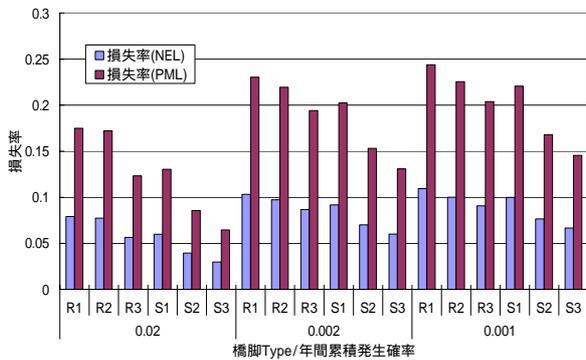


図3 新宿区における構造物別損失率

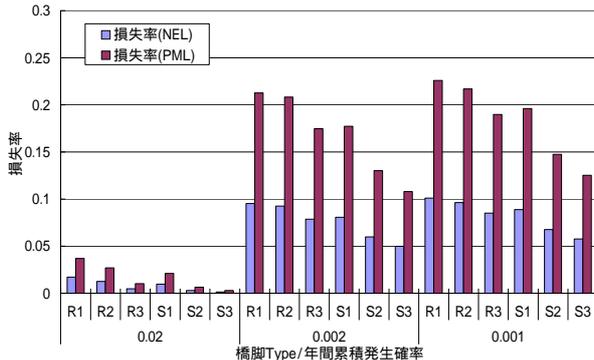


図4 神戸市における構造物別損失率

表3 年間損失期待値

	年間損失期待値(×10 <sup>3</sup> )					
	R1	R2	R3	S1	S2	S3
新宿区	4.72	4.31	2.70	3.30	1.87	1.30
神戸市	1.33	1.19	0.776	0.942	0.555	0.404

図3、図4から、新宿区では地震動が高発生確率なため、再現期間が50年の場合でも損失率が大いだが、神戸市では地震動は低発生確率なため、損失率は小さい。しかし、再現期間が500年、1000年と大きくなるにつれ、神戸市は急激に損失率が大きくなり新宿区との差が小さくなっている。この事から新宿区では高発生確率であるので頻繁に起こる地震に備え降伏耐力が大きい構造物、神戸市では低発生確率・高損失であるので巨大地震に備え、高靱性の構造物が適していると考えられる。

### 3.2 橋脚のリスク評価

不動産証券化においては、再現期間475年相当の地震が発生した時のPMLを地震リスクの指標として見ており、この指標から被害を表4ように予想している。

表4 PMLから予想される危険度と被害<sup>2)</sup>

PML(%)	危険度	予想される被害
0~10	極めて低い	軽微な構造体の被害
10~20	低い	局部的な構造体の被害
20~30	中位	中破の可能性が高い
30~60	高い	大破の可能性が高い
60~	非常に高い	倒壊の可能性が高い

PML値が20%を超えると不動産を原資とした債券の格付けが低下する。再現期間475年は、「建築物の供用期間、50年間で10%を超える確率で発生する地震」<sup>3)</sup>からきたものである。土木構造物にはこのような明確なリスク評価の定義が無く、再現期間の定義を参考に橋脚の供用期間を100年として再現期間を決定すると、再現期間は約1000年(累積発生確率0.001)となる。この再現期間のPMLで橋脚を評価すると、図3、図4から新宿区ではS2、S3以外、神戸市ではS2、S3、R3以外は損失率が0.2を超えている。S1、R1に関しては設計基準を満たしていないので損失率が0.2を越えても問題はない。しかし、新宿区では設計基準を満たしているR2、R3、神戸市ではR2のPMLが0.2を越え、設計基準を満たしていないS1のPMLは0.2以下であった。ここで、神戸市におけるR2、S1の再現期間1000年のPMLに注目する。

設計基準を満たしたラーメン橋脚R2より、設計基準を満たしていない単柱橋脚S1が耐震性は優れていると言えるが、構造物の使用ができなくなると予想される中被害の耐力はR2が721gal、S1が543galであり、巨大地震に対しては設計基準を満たしたR2が有利である。これは、ラーメン橋脚の高靱性の特性を構造物補正係数で反映し、降伏耐力を低く設計できることが起因している。降伏耐力が低く、高靱性な構造物は倒壊などの甚大な被害は無いものの、降伏しやすいために小規模の被害が発生する確率が高く、維持管理費が高額になる事が予想される。また、年間損失期待値は一年間あたりの地震による損失であるので、この事は表3からも確認することができる。

以上より、再現期間で見るPMLは不動産証券化における地震リスク指標であり、耐震性から見た安全性と見解が合致するとは限らないので、年間損失期待値、地震ロス関数等の指標でリスクの詳細を確認する必要がある。

### 4. 結論

本解析により以下の知見が得られた。

- 再現期間から見たPMLは不動産証券化における地震リスク指標であるので、耐震性からみた安全性と見解が一致するとは限らない。
- 長期的な視点で見ると、現行の設計では非常に高い靱性を持つ構造物は維持管理費が高額になり経済的に不利になる場合がある

【参考文献】

- 1) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書 耐震設計編
- 2) 野村不動産 HP: <http://www.nomura-re.co.jp/>
- 3) JSCA HP: <http://www.jsca.or.jp/index.html>