

1.はじめに

地震大国である日本では、大規模な地震が頻繁に起きており、地震により大きな被害を受けてきた。1995年の阪神淡路大震災以降、世の中にリスクという言葉が認知されるようになった<sup>1)</sup>。近年は国民にも地震に対する関心が高まってきており、税金によって建てられる建造物の耐震性能などの情報を知る権利を持ち、その際に地震リスク評価は、とても説明しやすい指標になる。本研究の地震リスク評価は、既存橋脚やこれから設計して建設される橋脚に対しても適用できる評価方法である。また、この評価方法は建設サイト別に行えるもので利便性のあるものだと確信している。現在の道路橋示方書は地震リスク評価を考慮していないが、橋脚を設計するにあたって地震リスクを考慮することで建設サイトの地震特性に即した設計ができると考えられる。そこで、図1に示す地震リスク評価フロー<sup>2)</sup>を基にRC橋脚を設計し、地震リスクアセスメントを行うことを本研究の目的とする。

2.解析概要

橋脚の建設地点を東京都新宿区とし、解析ソフト(RC下部工の設計計算 Ver.3)を使用して、柱の断面形状及び寸法は一定とし、主鉄筋比を変化させて単柱橋脚を設計し、得られた橋脚の保有性能(表1)よりP-d曲線(図2)を作成する。また、脆弱性評価を行うため弾塑性応答耐力を基盤最大加速度に変換する<sup>3)4)</sup>。各損傷度については表2の通り定義する。基盤最大加速度から地震損傷度曲線<sup>5)</sup>(図3)、地震ロス関数<sup>6)</sup>(図4)を算定し、マルチイベントモデル(図5)と地震ロス関数を組み合わせてイベントリスクカーブ(図6)を作成し年間損失期待値(図7)を算出する。サイトの地震危険度情報の結果である年間損失期待値はイベントリスクカーブの面積に相当する。さらに、年間損失期待値と橋脚の設計強度の関係を表した図(図8)を作成し考察する。尚、設計強度の算出には式(1)を用いる。

3.解析結果および考察

3.1 脆弱性情報評価

表1に示す橋脚の保有性能よりP-d曲線を作成した。本論では、道路橋示方書で規定されている設計基準強度を満足しない( $\gamma = 0.8$ )、設計基準をぎりぎり満足する( $\gamma = 1.0$ )、設計基準を上回る( $\gamma = 1.2$ )の橋脚のP-d曲線(図2)を作成した。設計条件の違いにより設計強度の高い橋脚が設計強度の低い橋脚よりも耐力が小さくなる場合もある。これは、道路橋示方書では靱性が考慮された設計がなされているからである。次に、表2に示した損傷度の定義より地震損傷度曲線、地震ロス関数

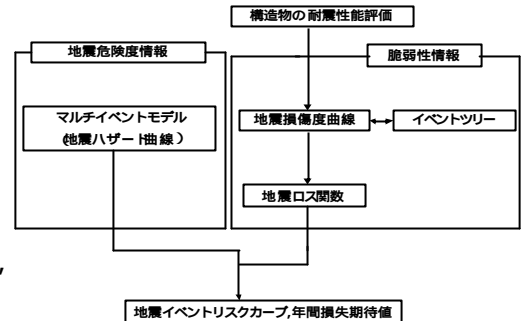


図1 地震リスク評価フロー

表1 橋脚の保有性能

橋脚タイプ	単柱T型橋脚						
設計強度	?	0.82	0.84	1.01	1.02	1.19	1.21
初期降伏耐力(kN)	$P_{y0}$	1709	1913	2846	2443	3750	3520
降伏耐力(kN)	$P_v$	2203	2503	3992	3340	5418	4935
降伏変位(m)	$d_v$	0.0251	0.0289	0.0403	0.0364	0.046	0.0354
終局変位(m)	$d_t$	0.2639	0.2522	0.2045	0.2676	0.1809	0.1961
等価重量(kN)	$W$	5734	5734	5734	5734	5734	6087
許容塑性率	$\mu_a$	7.344	6.147	3.716	5.236	2.953	4.023
判定	-	NG	NG	OK	OK	OK	OK

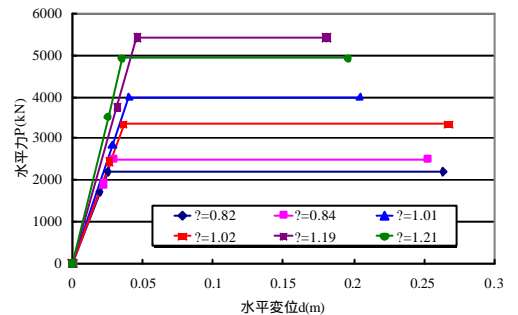


図2 P-d 曲線

$$r = \frac{P_y}{k_{hc} W} \quad (1) \quad \begin{matrix} \text{設計強度} & k_{hc} & \text{設計水平震度} \\ W & \text{等価重量} & P_y & \text{地震時保有耐力} \end{matrix}$$

表2 損傷度の定義<sup>2)</sup>

損傷度	損傷度の限界状態	損失率
無被害	-	0
軽微	初期降伏耐力: $d_{v0}$	0.05
小被害	降伏: $d_v$	0.1
中被害	最大応答塑性率時の残留変位: $d_R + d_v$	0.2
大被害	耐震性能2時の許容塑性率時の応答変位: $d_b$	0.5
倒壊	終局: $d_t$	1

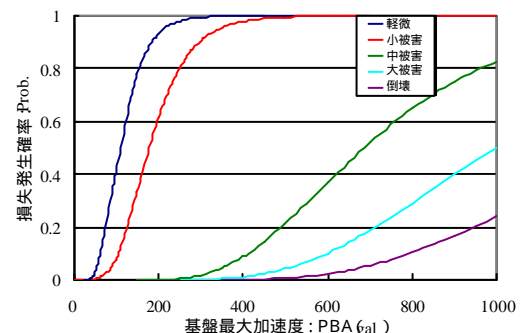


図3 地震損傷度曲線

を作成した。スペースの都合により設計強度  $\gamma=1.02$  の橋脚のみを一例として図3, 図4に示した。地震損傷度曲線では, 地震動の大きさが100~200galで軽微, 小被害の発生確率が大きくなっていることが分かる。しかし, 中被害以降は300gal~500galから発生しはじめている。これと平行して, 地震ロス関数では400gal~500galから曲線が急激に伸びていることが分かる。脆弱性情報は, 設計強度の違いにより異なる曲線が得られ, リスク評価を行う上で重要な指標になると考えている。

### 3.2 イベントリスクカーブと年間損失期待値

評価の対象地域を東京都新宿区とし, ポートフォリオ地震リスク評価システムP-srapにより, 地震危険度情報のマルチイベントモデルを算出した。特徴としては100gal~150galの地震発生確率が急激に高くなっていることが読み取れる。前述の地震ロス関数とマルチイベントモデルを組み合わせ, 加速度の条件付を解除することによって, 地震イベントリスクカーブ(図6)を作成した。この地震イベントリスクカーブの面積を算出すると年間損失期待値が0.0038となった。土木構造物の場合, 基準となる年間損失期待値が無く, 一つの指標では地震リスク評価が行えないため, 多数橋脚を設計し, 様々な設計強度の橋脚の年間損失期待値を算出することで, ある設計強度でのおおよその年間損失期待値を推測することができ, その上で, どこまでのリスクを受容するかを決定することが望ましい。図7は図2の6橋脚の設計強度に対する年間損失期待値を示した図である。必ずしも設計強度が大きい程年間損失期待値が小さくなるということではないが, 概ね設計強度の大小とAELの大小は反比例している。これを踏まえて, 図8に示す年間損失期待値と設計強度の関係を表すグラフは, 設計した全ての橋脚100本に対する年間損失期待値をプロットし, 最小2乗法により指数近似し, 予測式を算出した(式②)。この予測式を用いることで, 効率良く東京都新宿区的设计強度に対するおおよその年間損失期待値を推定できる。また, グラフの相関係数Rを求めた。相関係数 $R=-0.91$ , 重相関係数 $R^2=0.83$ という結果になり, 予測式としては信頼性の高いものだと考えている。

$$AEL = 0.3859e^{-4.9419r} \quad (2) \quad \begin{array}{l} AEL: \text{年間損失期待値} \\ r: \text{設計強度} \end{array}$$

### 4. 結論

橋脚に対する地震リスク評価を東京都新宿区において実施した。橋脚100本に対するAELを算出して予測式を導くことができた。脆弱性情報, 地震危険度情報を総合し判断すると, 東京都新宿区では, 靱性より高耐力を考慮した設計が望ましいと考えられる。

式(2)を求めたことで, 今後, 東京都新宿区地震リスクアセスメントの評価指標の1つである, 年間損失期待値を算出する際に有効である。今後の橋脚設計に活用できることを期待している。

#### 参考文献

- 1 星谷勝, 中村孝明, 構造物の地震リスクマネジメントリスクを定量的に分析し, 損失を抑える手法とは, 山海堂, 2004
- 2 石井輝尚, 石川悠輔, 単柱橋脚とラーメン橋脚の地震リスク評価, 武蔵工業大学卒業論文, 2006
- 3 佐藤一郎, 平川隼生, 神田順, 活断層を考慮した地震危険度解析と脆弱性評価への応用, 第10回日本地震工学シンポジウム, 1998
- 4 辻野去人, 日本道路協会, 道路橋示方書, 同解説, 耐震構造編, 平成14年3月
- 5 中村孝明, 長沼俊彦, 静岡俊郎, 篠塚正伸, 統計解析による道路橋脚の地震時損傷確率に関する研究, 第10回日本地震工学シンポジウム, 1998
- 6 宇賀田健, シナリオ地震による日本全国の地震危険度評価, 日本建築学会構造系論文集, 2001

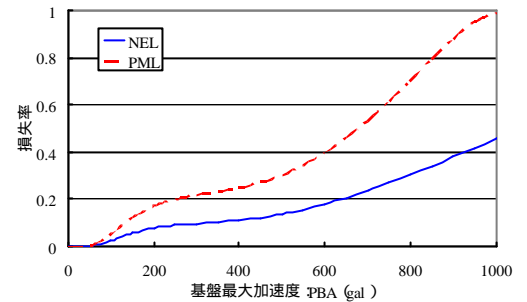


図4 地震ロス関数

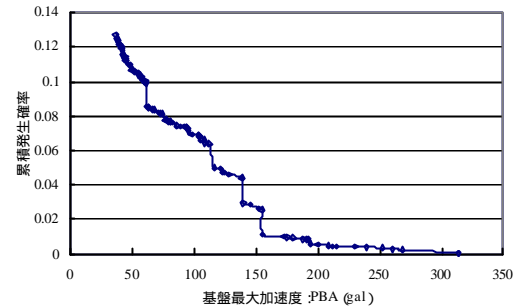


図5 マルチイベントモデル

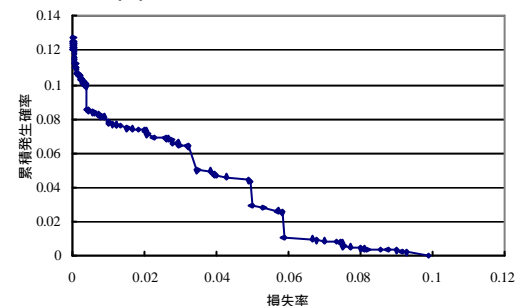


図6 地震イベントリスクカーブ

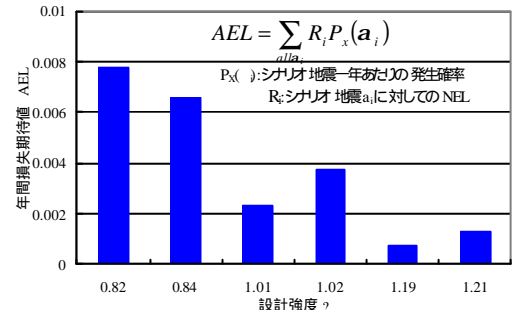


図7 年間損失期待値

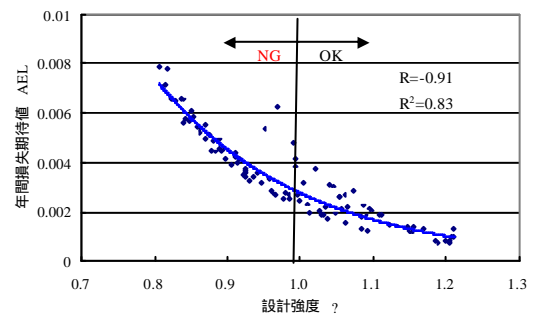


図8 設計強度と年間損失期待値