

複数の RC 橋脚からなる直列系道路橋を対象とした地震リスク評価

学生氏名 石井 輝尚

指導教員 吉川 弘道 中村 孝明

1.はじめに

日本は地震大国であることから、今後ますます地震リスク評価のニーズは増加していくと考えられる。建築分野においては早くから地震リスクの概念が導入されておりビジネスとして確立し評価指標が整備されているが、土木分野ではまだ評価例が少なく評価指標が整備されていないのが現状である。現在の道路橋示方書では地震リスク評価が考慮されていないためリスク評価を行って設計された橋脚はないが、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。本論では、単一 RC 橋脚から高速道路を想定した複数 RC 橋脚の道路橋へ対象を拡張してリスク評価を行った。

2.複数橋脚の考え方

本論では直列系の道路橋脚を対象としている。直列系は、どれか1箇所でも破壊に至った場合、そのシステムが破壊されることになる。このことから、直列系道路橋は冗長性を持たない最弱リンクシステム(weakest link system)でありこの点を十分考慮してシステムとしての安全性を考えることが重要である。不通発生確率は各橋脚の被害事象が独立事象の場合は式(1)、被害事象が完全相関の場合は式(2)で算定する。

$$P(E_i|\alpha) = 1 - \prod_{i=1}^n \{1 - P(A_i|\alpha)\}; i=1 \sim n \quad (1)$$

$$P(E_i|\alpha) = \max P(A_i|\alpha); i=1 \sim n \quad (2)$$

$P(E_i|\alpha)$: 不通発生確率 $P(A_i|\alpha)$: i 番目の橋脚の不通発生確率

3.対象構造物

本論では道路橋示方書・同解説¹⁾に準じて、橋の重要度をB、地盤種別を種地盤、地震動タイプをタイプ地震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設計法によりラーメン橋脚および単柱橋脚の設計を行った。対象橋脚の構造諸元を表1に示す。ここで、表1に示した設計強度とは、設計荷重と橋脚の耐力との比を取り、式(3)のように表したものである。

$$\rho = \frac{P_y}{k_{hc}W} \quad (3)$$

k_{hc} : 設計水平震度, W : 等価重量
 P_y : 橋脚の地震時保有水平耐力

表 1 橋脚諸元

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)	δ_y 46.37	44.88	38.73	81.40	74.30	55.20
終局変位(mm)	δ_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

4.解析概要

本論では、橋軸直角方向のみを評価対象とし、被害形態を曲げ破壊型のみに限定した。表1の橋脚諸元を基に、構造物の脆弱性情報である地震損傷度曲線、地震ロス関数(図2)を算出し、地震危険度情報であるマルチイベントモデル(図3)を新宿区と神戸市を対象として算出した。地震ロス関数とマルチイベントモデルを組み合わせることによりイベントリスクカーブ(図4)、年間期待機能停止日数(表3)を算出しリスク評価を行う。なお、年間期待機能停止日数はイベントリスクカーブを積分することによって算出する。地震リスクの評価フローを図1、複数橋脚に関しては、橋脚本数を同性能の橋脚10本、地震動を完全相関、橋脚の被害事象を独立事象として扱うこととし、複数橋脚において1本でも中被害以上の損傷が発生した場合に不通になるとした。各損傷度における機能停止日数を表2に示す。

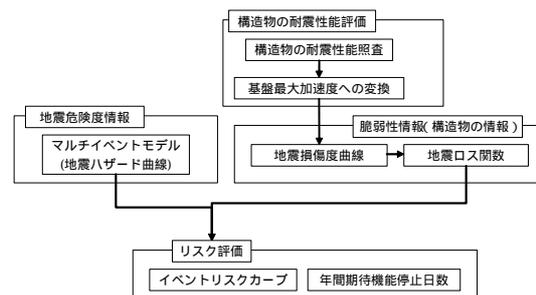


図 1 地震リスクの評価フロー

表 2 各損傷度の機能停止日数²⁾

損傷度	軽微	小被害	中被害	大被害	倒壊
機能停止日数	0	0	10	90	360

5.結果と考察

5.1 解析結果

新宿区および神戸市を評価の対象地点としたが、最大停止日数は新宿区で 30 日弱、神戸市で 200 日強となった。しかし、各累積発生確率(再現期間)(図 5)で見た場合

は新宿区が神戸市を大きく上回り、イベントカーブ全体で見ても危険性は新宿区の方が高いと言える。

5.2 考察

本論では、複数橋脚 10 本がすべて同じ性能とし、地震動を完全相関、システム橋脚の被害事象を完全独立事象として扱い検討を行った。そのため、橋脚本数の増加に伴い不通発生確率および期待機能停止日数は増加した。複数橋脚の被害事象を完全相関として扱った場合は、橋脚本数を無限に増加させても式(2)からもわかるとおり、1 本の場合と同じ結果になる。ただし、実際の道路橋は地震動、システム橋脚の被害事象ともに相関があり相関を考慮した場合は、独立事象として扱った場合と完全相関として扱った場合の間に真の結果が得られると推測できる。このことから、実際の橋脚では不通発生確率および期待機能停止期間は橋脚の本数に大きく影響を受けると推測できる。したがって、地震リスクを考慮していない道路橋示方書は橋脚の本数に関する何らかの補正的処置が組み込まれても良いのではないかと考えられる。また、本論で算出した機能停止日数は期待値であることから、実際はこの値よりも長期化する可能性もある。

単一橋脚の地震リスク評価では、単柱橋脚の方がラーメン橋脚よりも損失率は低くなっているが、実際の被害事例ではラーメン橋脚が倒壊した事例は単柱橋脚と比べ少なく、道路橋下の構築物への 2 次的被害を考慮すれば単柱橋脚を多用するべきだとは、一概に言うことはできない。実際、R3 橋脚と S3 橋脚を比較すれば、R3 橋脚は S3 橋脚よりも年間期待機能停止日数(表 3)は短くなることからラーメン橋脚の方が有利となる場合も生じる。したがって、直列系道路橋の特性、安全性、社会的影響等を考慮すれば、設計強度の高い R3 および S3 の橋脚を選択すべきであると考えられる。

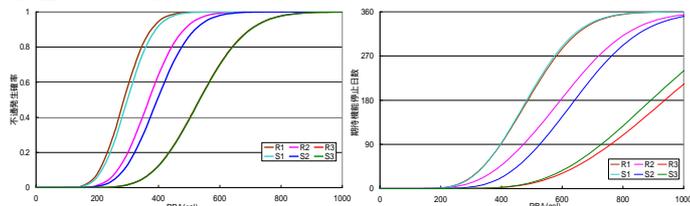


図 2 構造物の脆弱性情報(橋脚本数 10 本)

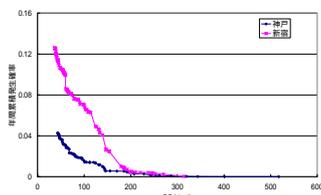


図 3 マルチイベントモデル(地震危険度情報)

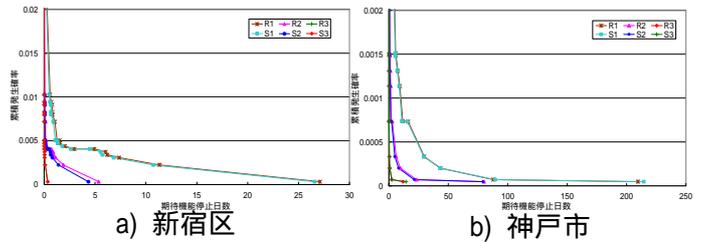


図 4 イベントリスクカーブ(橋脚本数 10 本)

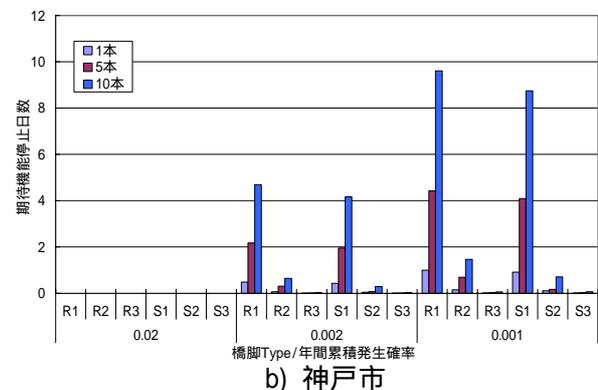
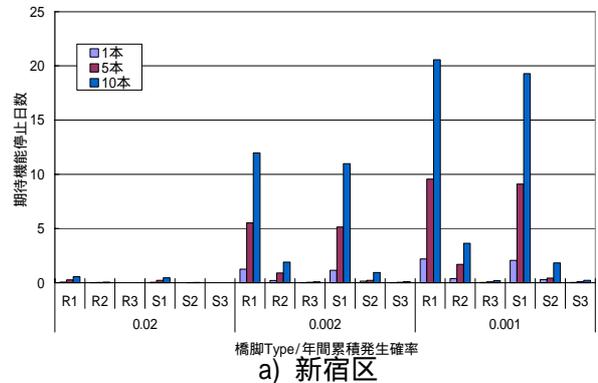


図 5 各年間累積発生確率における期待機能停止日数

表 3 年間期待機能停止日数(橋脚本数 10 本)

	年間期待機能停止日数($\times 10^{-2}$ 日)					
	R1	R2	R3	S1	S2	S3
新宿区	5.27	0.82	0.04	4.86	0.60	0.04
神戸市	4.30	0.97	0.09	4.15	0.83	0.11

6.まとめ

本解析により、以下の知見が得られた。

- 各橋脚の被害事象を完全相関としない場合、不通発生確率および期待機能停止期間は橋脚の本数にかなり影響を受ける(本数の増加に伴い不通発生確率および期待機能停止期間も増加する)。

- 設計強度の高い R3 橋脚および S3 橋脚を選択することにより、年間期待機能停止期間は他の 4 橋脚と比べて著しく低下することから、R3 橋脚および S3 橋脚の安全性が非常に高いことがわかった。

【参考文献】

- 1) 社団法人 日本道路協会: 道路示方書・同解説 耐震設計編, 丸善出版, 2002.3
- 2) 社団法人 日本道路協会: 道路震災対策便覧震災復旧編, 丸善出版, 2002.7
- 3) 静岡俊郎, 中村孝明: 地震被害の相関を考慮した広域地震リスク評価モデルの適用性の検討 JCOSSAR2000. 論文集, pp.245-248.