年間損失期待値による鉄筋コンクリート橋脚の耐震性能評価

武蔵工業大学大学院 学生会員 ○石井 輝尚
武蔵工業大学 正会員 吉川 弘道
(株)篠塚研究所 正会員 中村 孝明

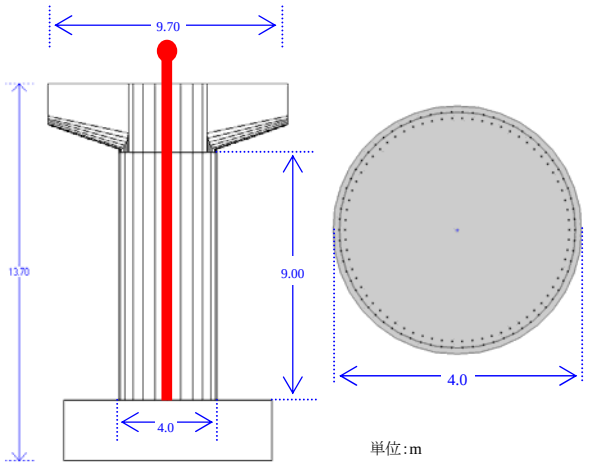
1. はじめに

地域性を考慮した地震リスク評価は，現行の設計法と乖離したものではなく，その延長として，身近な技術の応用と集結により具体化できるものである.兵庫県南部地震を振り返ってみると多くの橋脚が倒壊し，様々な方面に対し多大な損失および影響をもたらした．そこで本文では，鉄筋コンクリート橋脚を地震時保有水平耐力法により 100 本（L2 タイプⅡ地震動を満足する橋脚と満足しない橋脚合わせて）設計し，それらの橋脚の耐震性能を，地震リスク評価の基本情報の 1 つである年間損失期待値によって評価した．

2. 解析概要

(1) 解析対象

図 1 に示す円形断面を有する鉄筋コンクリート単柱橋脚を解析対象とする．なお，L2 タイプⅡ地震動に対して，道示Ⅴ[1]の地震時保有水平耐力法を満足する橋脚，満足しない橋脚を合わせて 100 本，橋脚諸元は**図 1** に示したものとすべて同じという条件のもと，主鉄筋量(比)を変えることによって設計し，解析対象とした．**表1**に 100 本の橋脚のデータを示す．



(a) 概観図　　(b) 断面図

図 1 解析対象諸元

(2) 解析方法

評価対象地点を東京都新宿区とし，地震危険度情報の評価期間を 2006 年 1 月より 1 年間として評価を行った．その地震危険度評価の結果を**図 2** に示す．年間損失期待値 AEL(Annual Expected Loss)は，このマルチイベントモデルと橋脚の脆弱性情報である地震ロス関数 [2)3)4)]を組み合わせ，地震動の条件付きを解除した地震イベントリスクカーブの面積の総和(**式 1**)によって算出することが出来る．

$$AEL=\sum_{allα_i} R(\alpha_i)P_X(\alpha_i) \qquad (1)$$

ここで，$P_X(\alpha_i)$はシナリオ地震の一年当たりの発生確率，$R(\alpha_i)$はシナリオ地震 α_i に対しての NEL(Normal Expected Loss)である．また，年間損失期待値に対する橋脚のパラメータは主鉄筋比 p(p=0.219~1.027%)と**式2**に示す設計強度ξとして評価した．

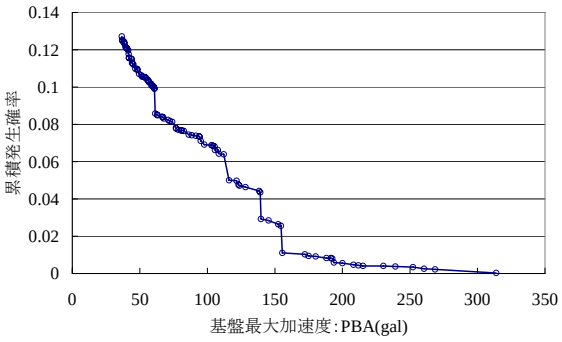


図 2 マルチイベントモデル(新宿区)

$$\xi = \frac{P_y}{k_{hc}W} \qquad (2)$$

P_y(kN)は橋脚の地震時保有水平耐力，k_{hc} は L2 タイプⅡ地震動の設計水平震度，W(kN)は橋脚の等価重量である．ここで，設計強度 ξ とは地震時保有水平耐力 P_y を L2 タイプⅡ地震動の地震荷重 $k_{hc}W$ によって除したものであり，ξ≧1.0 ならば L2 タイプⅡ地震動に対して満足していることとなり，ξ<1.0 ならば L2 タイプⅡ地震動に対して満足しない橋脚と言うことができる．

key words:年間損失期待値，地震リスク評価，設計強度，鉄筋コンクリート橋脚
連絡先:〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 TEL.03-3703-3111 武蔵工業大学工学部都市工学科構造材料工学研究室

3. 評価結果と考察

まず，**表 1** の検討ケースに示した 100 本の橋脚の主鉄筋比 p と設計強度 ξ の関係を**図3**に示す．当然のことながら，主鉄筋比 p と設計強度 ξ は正の相関関係にある．その相関係数は R=0.92，重相関係数は R^2=0.85 であった．

次に，**表1**の検討ケース一覧に示した 100 本の橋脚に対して，新宿区における地震リスク評価を行い，年間損失期待値を算出した．**図4**に主鉄筋比 p と年間損失期待値 AEL の関係を示した．相関係数は R=-0.93，重相関係数は R^2=0.87 であった．データを指数近似し，以下の式が得られた．

$$AEL = 0.016\exp(-3.25p) \qquad (3)$$

図5に設計強度ξと年間損失期待値 AEL の関係を示す．相関係数は R=-0.91，重相関係数は R^2=0.83 であった．データを指数近似し，以下の式が得られた．

$$AEL = 0.039\exp(-4.94\xi) \qquad (4)$$

以上の結果から，主鉄筋比 p や設計強度ξと年間損失期待値 AEL には明瞭な負の相関関係が確認できた．ただし，特に**図5**では算出した 100 個のデータ群は，多少のばらつきがあり，同じ設計強度に対して，異なる AEL となり，データ群の中には大小関係が逆転するデータも見られる．従って，p やξと AEL には明瞭な相関性がみられるものの，必ずしも連動しないことがある．特に，建設地点の地震情報(マルチイベントモデル)が，直接反映されることも特徴である．また，**図5**から明らかなように ξ ≧1(設計要件を満足する)と ξ <1(満足しない)とは，設計照査では可/不可に分離されるのに対して，地震リスク評価における年間損失期待値は，連続的に変化し，設計要件は関係せず，地震損傷の期待値を直接的・数値的に算出するものと考えられる．従って，異なる複数の構造物の耐震補強戦略，リスクファイナンスの適用に際して，本研究で用いた地震リスク評価の方がより適しており，数値的に明快な地震リスク情報を付与することが出来る．

4. まとめ

橋脚の耐震性能に関して，主鉄筋比 p および設計強度ξと年間損失期待値 AEL との関係を示した．これは，将来の地域性を考慮した耐震設計指針に対して貢献できるものであり，納税者である国民に対して，橋脚の耐震性能を分かりやすく説明するこができる 1 つの指標である．さらに，ある特定のシナリオ地震(例えば，関東地震や東海地震)に対しての損失期待値および予想最大損失値を算出し，同様の手順を踏み，それらの関係を明らかにすることで，年間損失期待値では表せない情報を補完することが出来ると考えている．

【参考文献】
1) 社)日本道路協会:道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編，丸善出版株式会社，2002.
2) 宇賀田健:シナリオ地震による全国の地震危険度評価，日本建築学会構造系論文集，No.541，pp.95-104，2001.
3) 遠藤昭彦:鉄筋コンクリート橋脚に対する地震リスク評価手法の適用，武蔵工業大学修士論文，2002.3
4) 星谷勝，中村孝明:構造物の地震リスクマネジメント，山海堂，2002

表1 検討ケース一覧

Case No.	鉄筋比 p(%)	設計強度 ξ	Case No.	鉄筋比 p(%)	設計強度 ξ
1	0.219	0.81	51	0.515	0.94
2	0.219	0.82	52	0.515	0.97
3	0.228	0.82	53	0.535	1.04
4	0.228	0.81	54	0.535	1.07
5	0.295	0.84	55	0.539	0.94
6	0.295	0.84	56	0.539	0.96
7	0.296	0.84	57	0.539	0.98
8	0.296	0.97	58	0.539	1.00
9	0.296	0.85	59	0.541	1.05
10	0.296	0.95	60	0.541	1.05
11	0.300	0.82	61	0.581	1.06
12	0.300	0.85	62	0.581	1.09
13	0.303	0.83	63	0.591	1.05
14	0.303	0.84	64	0.591	1.09
15	0.328	0.85	65	0.600	1.00
16	0.328	0.86	66	0.600	1.03
17	0.345	0.85	67	0.606	0.98
18	0.345	0.87	68	0.606	1.01
19	0.367	0.87	69	0.606	0.98
20	0.367	0.89	70	0.606	1.03
21	0.371	0.86	71	0.632	1.09
22	0.371	0.88	72	0.632	1.12
23	0.372	0.86	73	0.639	1.10
24	0.372	0.88	74	0.639	1.13
25	0.387	0.99	75	0.642	0.99
26	0.387	0.99	76	0.642	1.04
27	0.397	0.88	77	0.661	1.01
28	0.397	0.90	78	0.661	1.03
29	0.405	0.89	79	0.661	1.06
30	0.405	0.91	80	0.661	1.10
31	0.412	0.88	81	0.661	1.06
32	0.412	0.91	82	0.683	1.11
33	0.438	0.90	83	0.683	1.15
34	0.438	0.93	84	0.684	1.11
35	0.444	0.99	85	0.684	1.15
36	0.444	1.00	86	0.710	1.03
37	0.447	0.89	87	0.710	1.05
38	0.447	0.91	88	0.710	1.08
39	0.447	0.92	89	0.710	1.09
40	0.447	0.93	90	0.774	1.16
41	0.463	0.92	91	0.774	1.21
42	0.463	0.95	92	0.786	1.15
43	0.464	0.91	93	0.786	1.17
44	0.464	0.93	94	0.786	1.20
45	0.491	1.02	95	0.786	1.21
46	0.491	1.07	96	0.878	1.21
47	0.497	0.93	97	0.878	1.21
48	0.497	0.96	98	0.878	1.21
49	0.515	0.93	99	0.950	1.19
50	0.515	0.96	100	1.027	1.19

*コンクリートの圧縮強度:f'_c=30.0N/mm²
鉄筋の降伏強度:f_y=295N/mm²

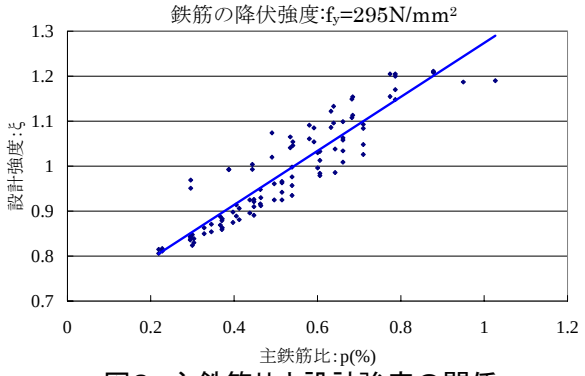


図3 主鉄筋比と設計強度の関係

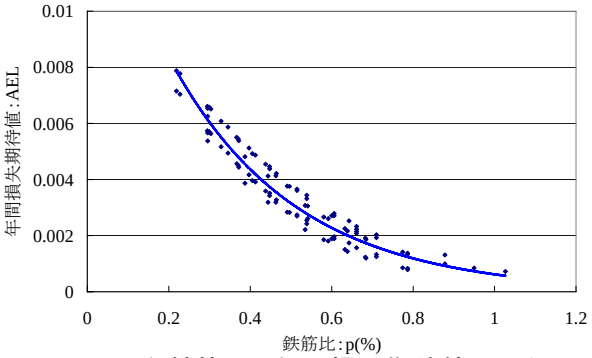


図4 主鉄筋比と年間損失期待値の関係

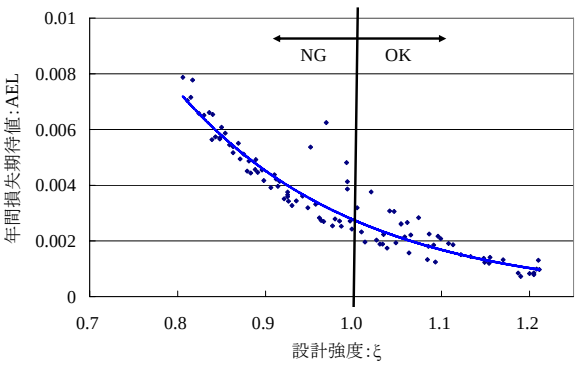


図5 設計強度と年間損失期待値の関係