1	1+1	ドム	1-
. I	14	ເລແ	l –

本文は、道路橋 RC 橋脚を対象とした地震リスク解析事 例を報告するものである.まず、対象とする RC 橋脚につ いて耐震性能を設定し、イベントツリー(Event Tree;以下, ET と略記する)により、リスク評価モデルを作成した.次 に、作成したリスク評価モデルに建設地点(東京/渋谷)の 地震危険度情報および RC 橋脚の耐震性能を取り込み、地 震リスクを評価した.

2. 対象 RC 橋脚の耐震性能と地震損傷モデル

2.1 耐震性能

対象とする橋脚の諸元と性能¹⁾を表1に示す.

表1 対象橋脚の構造諸元と耐震性能

断面幅×断面高	$5.0 \times 2.2(m^2)$
等価重量 W	8.027(MN)
せん断耐力Ps	7.142(MN)
曲げ耐力Pu	4.858(MN)
水平耐力 Pa	4.858(MN)
降伏変位 δy	35.1(mm)
終局変位 δu	250(mm)

2.2 地震損傷モデル

橋脚の被害要因と、それぞれの被害要因に対する損傷レベルを図1に示すイETのように設定し、被害形態を6に集約した.また、図1には被害形態に応じた橋脚の損失率(予想される被害額を全価値で除したもの)を示す.



凶「 対象情期の1 ハント」

3. 地震リスク評価結果

作成したリスク評価モデルに橋脚の耐震性能および地震 危険度情報を取り込むことで東京都渋谷に立地するRC橋脚 の地震リスクを評価する.ここではリスク情報として損失 期待値 NEL (Normal Expected Loss),予想最大損失 PML (Probable Maximum Loss)を算出する.

東京都市大学大学院	学生会員	〇高沢尚子
東京都市大学総合研究所	正会員	吉川弘道
株式会社篠塚研究所	正会員	静間俊郎

3.1 損失期待値

各損傷レベルに対して,対数正規累積分布関数に従うフ ラジリティ曲線を設定した² (中央値/部材解析値,対数標 準偏差/基礎とせん断破壊=0.6,曲げ破壊=0.4 とした).次に 一例として,最大加速度=600Galの場合のリスク解析を実行 し,図2に整理した.被害形態の発生確率は各損傷レベル の発生確率の積として求められ,被害形態に対応する地震 損失率とともに記してある.リスクはこの発生確率と地震 損失率の積で求められ,その総和が損失期待値である³⁾(こ の場合 0.334 となった).



図2 ET から求められる発生確率,損失率,リスク値

3.2 β分布近似と90%非超過確率

図1に示す ET において,被害形態は6つに集約されてお り、リスクは離散化された損傷確率関数として求められる. この確率関数について上下限を有する β 分布により連続確 率関数に近似した³⁾. 図2の場合(最大加速度=600Gal)を 図3にまとめ、両者を併記した.また、90%非超過値の地 震損失率がリスク分析には重要となり、その値は図3から、 β 分布で近似した場合 0.972、近似しない場合 0.957 で大き な乖離はなく、 β 分布関数による近似が妥当であることを示 唆するものである.



KeyWords;イベントツリー, NEL, PML, 地震ロス関数, 地震イベントリスクカーブ 連絡先:〒158-8586 東京都世田谷区等々力8-9-18 東京都市大学総合研究所 03-5760-0104(内線 221)

-480

3.3 地震ロス関数

以上の作業を様々な地震動の大きさ(ここでは、最大加 速度を 0~1000Gal)にて実施し、このときの NEL、 PML と最大加速度値の関係を表す関数を算出し、これを図 4 に 示した. この 2 曲線が地震ロス関数であり、単調増加連続 関数となる. なお、NEL は、損失の平均値であるのに対し、 PML は、ばらつきの大きさを反映した損失情報である. PML は地震リスクの数値情報として広く知られ、「対象施設の、 最大の損失をもたらすような地震が発生し、その場合の予想 最大損失額の 90%非超過確率に相当する損失額」と定義さ れている.



図4 NEL と PML に対する地震ロス関数

4. 地震イベントリスクカーブ

最後に,建設対象地点を東京渋谷に設定し,商用解析ソ フトにより,半径 100 km 全域とする,シナリオ地震の解析 を行った⁴⁾.解析の結果,影響する地震が 2195 個に及び, このうち上位 15 個を**表 2** に一覧化した.超過確率は各シナ リオ地震の年発生確率の累積であり,式(1)より求めること ができる³⁾.

 $Q_1 = P_1$

$$Q_i = 1 - (1 - P_i)(1 - Q_{i-1}) = 1 - \prod_{j=1}^{i} (1 - P_j)$$
(1)

ここで, i は当該敷地の工学的基盤面での最大加速度 PBA (Peak engineering Bedrock Acceleration) が大きい順に並べ直 したときの番号で, $P_i \ge Q_i$ はそれぞれ i 番目の地震の年発 生確率および超過確率である.

表2に示したシナリオ地震の超過確率を縦軸にとり、横 軸に対応する損失率のNELとPNLを取ると図5に示す関 数を描くことができる.この2曲線を地震イベントカーブ と呼ぶ.

表2 シナリオ地震(上位15個)の発生確率, PBA, NEL, PML

No	雪酒名	マグニ	在登生確率	思藉招温碑率	PRA	NEL	PMI
110.	100 any 10	チュード	ールエルー	未说起起唯干	1 DA	MEE	1.002
1	陸域で発生する地震のうち活断層が特定されていない場所 で発生する地震	6.5	2.516E-05	2.516E-05	535.5	0.284	0.924
2	陸域で発生する地震のうち活断層が特定されていない場所 で発生する地震	6.5	2.549E-05	5.065E-05	499.4	0.257	0.879
3	陸域で発生する地震のうち活断層が特定されていない場所 で発生する地震	6.5	2.549E-05	7.614E-05	392.7	0.179	0.658
4	陸域で発生する地震のうち活断層が特定されていない場所 で発生する地震	6.5	2.594E-05	1.021E-04	378.7	0.170	0.622
5	陸域で発生する地震のうち活断層が特定されていない場所 で発生する地震	6.5	2.561E-05	1.277E-04	374.8	0.167	0.612
6	陸域で発生する地震のうち活断層が特定されていない場所 で発生する地震	5.5	1.998E-04	3.275E-04	372.8	0.166	0.607
7	立川断層帯	7.4	4.513E-04	7.787E-04	363.6	0.160	0.583
8	陸域で発生する地震のうち活断層が特定されていない場所 で発生する地震	6.5	2.605E-05	8.047E-04	362.5	0.159	0.580
9	関東平野北西緑断層帯主部	8.0	1.202E-15	8.047E-04	357.7	0.156	0.567
10	相模トラフ沿いの地震-大正型関東地震	7.9	7.667E-07	8.055E-04	351.7	0.152	0.552
11	陸域で発生する地震のうち活断層が特定されていない場所 で発生する地震	5.5	2.025E-04	1.008E-03	333.3	0.140	0.504
12	相模トラフ沿いの地震-大正型関東地震以外の南関東で発 生するM7程度の地震[フィリピン海プレート上面の地震]	7.2	7.662E-05	1.084E-03	309.3	0.125	0.443
13	相模トラフ沿いの地震-大正型関東地震以外の南関東で発 生するM8程度の地震[フィリピン海プレート上面の地震]	7.2	7.662E-05	1.161E-03	304.0	0.122	0.430
14	相模トラフ沿いの地震-大正型関東地震以外の南関東で発 生するM9程度の地震[フィリピン海プレート上面の地震]	7.2	7.662E-05	1.237E-03	297.4	0.118	0.414
15	相模トラフ沿いの地震-大正型関東地震以外の南関東で発 生まるM088度の地震「スノリビン海ブ」	7.1	9.474E-05	1.332E-03	288.6	0.112	0.393



図5 NEL と PML に対する地震イベントカーブ

5. まとめ

RC 橋脚を対象とした当該敷地の地震危険度、橋脚固有の 耐震性能を反映させた地震リスク解析を行った.なお、今 回は、橋脚の物的損失のみを対象としている.

今後は、橋脚の耐震性能、建設地点を変えてシミュレー ションを行うとともに、複数の橋脚を対象としたシステム の機能停止を評価する予定である.

《参考文献》

 1)道路橋設信計算例委員会編:道路橋の設信計算例,pp69-82,2000.11
2) 青戸拡起:鉄筋コンクリート橋脚のフラジリティ曲線と地震ロス関数 に関する研究、コンクリート工学年次論文集 Vol30, No.3, pp43-48,2008
3) 中村孝明・宇賀田 健:地震リスクマネジメント,技報堂出版,p145, pp181-185,2009.1

4)構造計画研究所: ncomacast 地震リスク評価プログラム Ver. 3.01 本研究の一部は、平成 20/22 年度科学研究補助金「鉄道施設の地震リ スク解析とリスク転嫁策の研究:代表/吉川弘道」の助成にて実施した ものである.