

1.はじめに

鉄道は日本における主要な交通手段であり、RC ラーメン高架橋は都市部に多く用いられる鉄道施設として重要な役割を担っている。このような鉄道高架橋が地震により損傷し、列車の運行が不能となった場合、事業者にとって極めて大きな損失が発生する。1995年に発生した阪神淡路大震災以降、世の中で地震リスクに対する関心が高まったと共に、既存構造物への耐震補強も多く施された。現在、巨大地震の発生が懸念される中、古い耐震基準によって建設された既存の構造物の耐震性能を把握することが急務になっていると共に、地震リスクを把握することも重要視されるようになってきている。そこで本研究では、RC ラーメン高架橋を対象に、兵庫県南部地震以前の設計基準で建設された構造物(平成8年版準拠構造物)と現行の耐震設計で建設された構造物(平成16年版準拠構造物)を用いて、図1に示す地震リスク評価フローを基に地震リスク評価を行った。

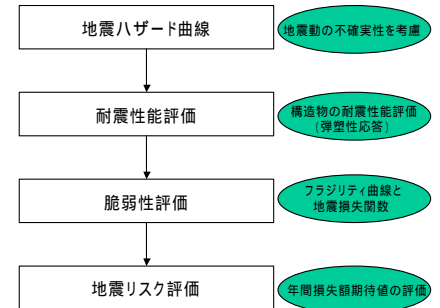


図1 評価フロー

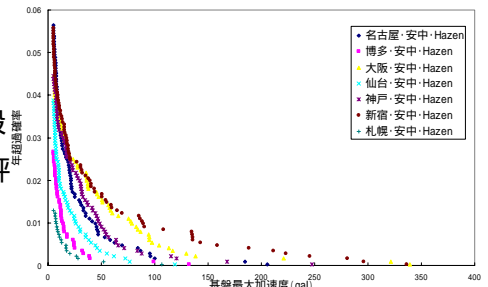


図2 地震ハザード曲線

2.解析概要

平成8年版と平成16年版の準拠構造物の地震リスク評価を行うために、地震危険度情報として解析ソフト SeleS for Windows(構造計画研究所)を使用して日本全国の主要都市の地震ハザード曲線(図2)を算出し、次に解析ソフト SNAP(TESS)でプッシュオーバー解析されたP-曲線の算出結果を基に損傷イベント毎の変位の設定、降伏水平震度と降伏変位を算出する。さらに、地震ハザード曲線のプロット値の各基盤最大加速度を神田らによって定式化された基盤最大加速度と構造物の平均応答スペクトル値の関係式を用いて構造物の弾性最大応答加速度と、エネルギー一定則に基づいて弾塑性最大応答変位を算出する。これらの算出結果を基に損失額と不通日数に関する脆弱性評価、地震ロス関数と年超過確率を算出して年超過確率を算出する。

3.解析結果および考察

3.1 地震ハザード曲線

解析ソフト SeleS for Windows(構造計画研究所)を使用するに当たって解析条件として距離減衰式を安中式、被害対象年代を416~2001年、マグニチュード5.0以上と設定し、日本全国の主要都市の地震ハザード曲線を算出した(図2)。算出結果から新宿が他の都市と比較して基盤最大加速度に対する年超過確率が一番大きい値を示していることが読み取れる。これは関東周辺の断層数が多いことや軟弱地盤である関東ローム層の影響で震源からの震度の増幅率が高いこと、過去に巨大地震である関東大震災が発生していること、地震頻度が多いことが原因として考えられる。

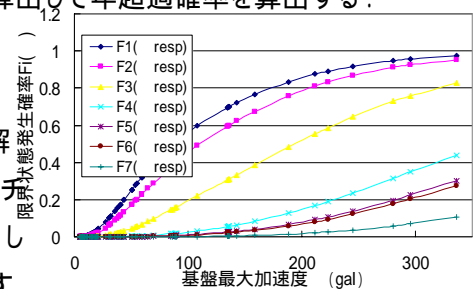


図3・a 平成8年版

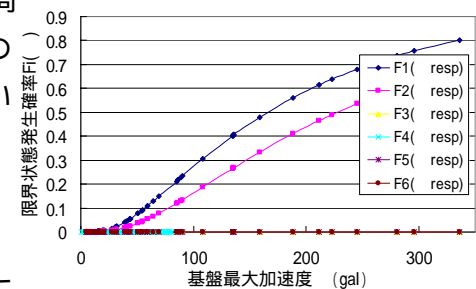


図3・b 平成16年版

3.2 脆弱性評価

3.2.1 限界状態発生確率

地震ハザードの情報として、一番危険とみなされる新宿の算出結果を基にして限界状態発生確率(図2)を算出した。算出結果から、平成8年版(図3・a)は損傷レベルが大きくなり始める損傷イベント F3(resp)が基盤最大加速度 100gal 付近で既に確率の増加具合が大

きくなっているのに対して、平成 16 年版(図 3・b)は基盤最大加速度 300gal に到達しても、確率が 0 の値に近い値である。さらには、損傷イベント数が平成 8 年版準拠構造物が 7 イベントに対して、平成 16 年版は損傷イベントが 6 イベントであることが解かる。この要因としては、部材の横梁が影響していると考えられ、平成 8 年版は横梁の損傷レベルの進み具合が早く、平成 16 年版は横梁の損傷レベルが最大の損傷イベントに達しても損傷レベル 1 であることが考えられる。

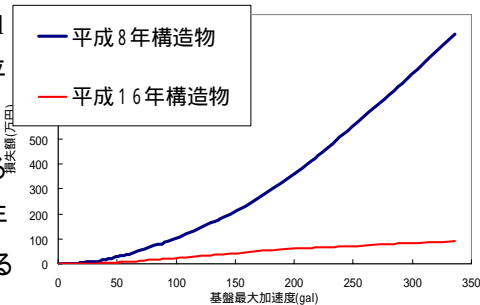


図4 地震ロス関数

3.2.2 地震ロス関数

損失額の地震ロス関数は、部材の損傷レベル毎の補修費と、平成 8 年版と平成 16 年版毎の限界状態発生確率を基に算出される損傷レベル発生確率を組み合わせることで損失額の平均値(C_{NEL})を算出した。算出結果から平成 8 年版は基盤最大加速度が 100gal 付近から C_{NEL} の増加傾向が大きくなっているのに対し、平成 16 年版は基盤最大加速度が 350gal 付近まで増加しても C_{NEL} が約 100 万円まで緩やかに上昇する結果となった。これは、横梁の補修費が他の部材と比較して高額である事が影響していることと、先述した横梁の損傷レベルの進み方が影響していると考えられる。不通日数の地震ロス関数は、不通日数を算出する為に、各部材に関する補修日数と、準備期間(2 日)、走行安全性検査機関(1 日)の合計とし、鉄道標準の構造物の耐震性能の基準に基づいた補修を行う場合の列車運休要否判定⁵⁾と図 5 に示す最短補修日数算定用アローダイアグラム⁵⁾に従い不通日数を求める。この平成 8 年と平成 16 年版の不通日数の算出結果と平成 8 年と平成 16 年版毎の損傷レベル発生確率を組み合わせ、 C_{NEL} を算出した。算出結果から、平成 8 年版は 150gal 付近で増加傾向が大きくなっているのに対し、平成 16 年版では 0 日付近から増加しないことが分かった。このことは平成 16 年版の限界状態発生確率で損傷イベント 3 の確率が 0 付近で増加しないことが影響していると考えられる。

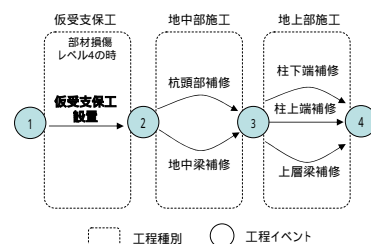


図5 アローダイアグラム

不通日数によるユーザー損失額を 1 日当たりの平均利用者数と平均乗車賃を 10 万人と 200 円と仮定して算出し、補修費とユーザー損失額の合計から地震ロス関数と式(1)によって損失額の年超過確率を算出し、損失額の年超過確率(図 6)を作成した。算出結果から平成 16 年版は平成 8 年版に比べ、損失額が小さい段階で年超過確率が約 0 という値を示していることが解かった。さらに、この算出結果は年間の損失額の期待値にも影響し総合的な損失額が平成 16 年版の方が微小な額で留めることを明白に示すことが出来た。

3.3 損失額の年超過確率

不通日数によるユーザー損失額を 1 日当たりの平均利用者数と平均乗車賃を 10 万人と 200 円と仮定して算出し、補修費とユーザー損失額の合計から地震ロス関数と式(1)によって損失額の年超過確率を算出し、損失額の年超過確率(図 6)を作成した。算出結果から平成 16 年版は平成 8 年版に比べ、損失額が小さい段階で年超過確率が約 0 という値を示していることが解かった。さらに、この算出結果は年間の損失額の期待値にも影響し総合的な損失額が平成 16 年版の方が微小な額で留めることを明白に示すことが出来た。

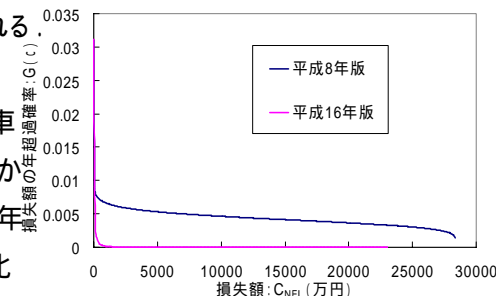


図6 損失額の年超過確率

$$G(c) = \int_0^{\infty} p(\alpha_m) \cdot R(c | \alpha_m) \quad (1)$$

$G(c)$: 年超過確率

$p(\alpha_m)$: 地震発生確率

$R(c | \alpha_m)$: 損失額発生確率

4. 結論

今回の研究により、日本全国の地震ハザード曲線を比較することが出来、新宿においての平成 8 年版と平成 16 年版の準拠構造物の地震リスク評価の違いを定量的に示すことが出来た。さらには、部材の損傷レベルの進み具合と補修費が及ぼす影響が大きく、算出結果から横梁が特に影響していることがわかった。今後に残す課題としては、線路方向の解析や、耐震補強費も含めた分析をすることが必要だと考えられる。

[参考文献]

- 1)大滝健, 服部尚道, 前田欣昌, 野口聡, 吉川弘道: 鉄道ラーメン高架橋の地震リスク解析と損傷期待値の算定, 応用力学論文集 vol.9, 2006.8
- 2)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, 平成 13 年度 武蔵工業大学修士学位論文
- 3)玉井真一, 笹谷輝勝, 渡辺忠朋: コンクリート構造物の耐震性能照査
- 4)日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針(案)・同解説, 1997.7
- 5)大滝健, 服部尚道, 前田欣昌, 野口聡, 吉川弘道: RC ラーメン高架橋の地震損傷イベント解析と地震損失評価, 構造工学論文集 vol.53A, 2007.3