

イベントを考慮した交通基盤施設のライフサイクル評価に関する研究

名古屋大学大学院工学研究科

学生会員

和田 光永

名古屋大学理工科学総合研究センター

フェロー会員

伊藤 義人

1. 研究の目的

ライフサイクルコスト（LCC）やライフサイクルアセスメント（LCA）といった考え方は、新技術やライフサイクルにおける意思決定を評価する手法として、最近では特にその重要性が認識されている。一方、交通基盤施設のライフサイクルを考えた場合、地震や台風などのイベント的に発生する事象により被害を受ける可能性がある。そこで、本研究では鋼製単柱橋脚を対象とし、イベント的事象の中でも特に影響が大きいと考えられる地震を取り上げ、ライフサイクル評価に及ぼす地震の影響を明らかにする。

2. 地震リスク評価の流れ

地震による損失は、地震による被害発生確率に被害に伴う損失値を乗じた期待値で表される地震リスクで評価する。また、図-1に示すように、被害発生確率は地震発生確率 $H(a)$ と損傷発生確率 $P(D/a)$ （ある規模の地震が発生した場合、所定の損傷が発生する確率）の積により求める。地震発生確率 $H(a)$ は地震動強度と年超過確率との関係を表したハザード曲線で評価し、損傷発生確率 $P(D/a)$ は地震応答解析の結果に基づく損傷度曲線により評価する。本研究では、土木学会地震工学委員会・レベル2地震動研究小委員会で検討されたハザード曲線¹⁾を引用する。

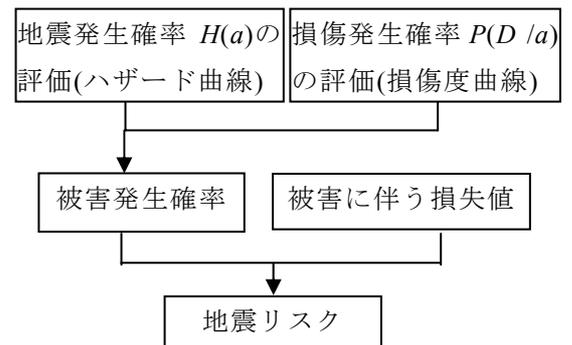


図-1 地震リスク評価の流れ

3. 損傷度曲線の作成

(1) 橋脚の地震応答解析

損傷度曲線を求めるために動的応答解析を行う。解析は鋼製単柱橋脚を1質点・1自由度でモデル化し、基礎固定と考えて行う。対象橋脚は、震度法によりⅡ種地盤上の橋脚として1次設計されたコンクリート無充填の補剛箱型断面橋脚であり、固有周期が0.38～1.41秒の15橋脚を対象とした。橋脚の復元力特性としては2パラメータモデル²⁾を用い、減衰定数 h は0.02とした。入力地震動は、現行の道路橋示方書に規定されているレベル2地震動の標準加速度応答スペクトルに適合するように調整された地震動を用いた。Ⅱ種地盤に関するレベル2・タイプⅠとタイプⅡの地震動それぞれ3波づつ計6波を使用し、幅広い地震動強度に対する応答結果を得るため、各地震波の最大加速度を100～1000galまで100gal刻みで調整して解析を行った。

以上のような解析条件により、鋼製単柱橋脚に関して計900の地震応答解析を行い、最大応答変位 δ_{\max} を得た。この最大応答変位 δ_{\max} を以下に示す残留変位推定式³⁾に代入することにより、残留変位 δ_R を算出した。これらの推定式は、ハイブリッド地震応答実験の結果より得られた推定式で、式(1)は、実験結果の平均値を取るように推定された式（平均値の式）で、式(2)は推定式による残留変位の値が実験結果の値を上回るように推定された式（下界値の式）である。各推定式を用いて残留変位を算出した結果を図-2に示す。

$$\text{平均値式：} \quad \frac{\delta_R}{\delta_y} = 3.37 \tan \left\{ 0.0879 \left(\frac{\delta_{\max}}{\delta_y} - 1 \right) \right\} \quad (1)$$

$$\text{下界値式：} \quad \frac{\delta_R}{\delta_y} = \tan \left(0.208 \frac{\delta_{\max}}{\delta_y} - 1.46 \right) + 2.7 \quad (2)$$

キーワード：LCC, LCA, ハザード曲線, 損傷度曲線, ユーザーコスト

連絡先：〒464-8603 名古屋市中種区不老町 TEL：052-789-3733, FAX：052-789-3734

(2) 解析結果に基づく損傷度曲線の作成

本研究では橋脚の損傷度の評価を、残留変位を橋脚高さで割った値 (δ_R/h) で行うこととする。損傷度の区分は、文献4)を参考にし、表-1に示すような A_S , A, B, C, Dの5つで定義した。

損傷度曲線は、図-2において各最大加速度上に分布する δ_R/h が対数正規分布に従うと仮定して損傷度曲線を求める。各加速度上に対数正規分布に従って分布する δ_R/h に対して、 δ_R/h が1/100を超過する確率、1/150を超過する確率、1/300を超過する確率をそれぞれ求め、それらを結んだ曲線を損傷度曲線とする。

このようにして損傷度曲線を描いたのが図-3である。例えば δ_R/h が1/100の曲線は、 δ_R/h が1/100を超過する確率を示す。実線は下界値式を用いた場合の損傷度曲線を、破線は平均値式を用いた場合の損傷度曲線をそれぞれ表している。

4. 評価結果

検討対象とする橋脚は、都市部のII種地盤上に設置されている鋼製単柱橋脚を想定している。供用期間を100年として行ったライフサイクルコスト(LCC)とライフサイクルCO₂排出量(LCCO₂)の評価結果を図-4に示す。コストに関しては、割引率を2%として評価を行った。各損傷度の損失コスト及びCO₂は、実務者に対するヒアリング等により実状に近い平均的な値を設定した。図-4は、新設時のコスト及びCO₂排出を100とした相対的な値(unit)で表しており、残留変位推定式に平均値式と下界値式を用いた場合について示した。図-4からわかるように、コスト、CO₂排出ともに同様の傾向を示しているが、コストに関して見てみると、LCCに占める地震リスクの割合は平均値の式で約3.4%、下界値の式で約12.4%という結果となった。

5. まとめ

今回対象とした橋脚モデルはコンクリート無充填の単柱式橋脚であるため、他の形式に比べて橋脚全体の残留変位が発生しやすい。したがって、ラーメン橋脚、コンクリート充填橋脚、免震構造等を考えた場合、地震リスクの影響はさらに小さくなると思われる。今回の結果より、構造物の直接的な被害のみを考慮した場合、ライフサイクル評価に対する地震の影響は小さいと言える。

参考文献: 1) 土木学会地震工学委員会・レベル2地震動研究小委員会: レベル2地震動研究小委員会の活動成果報告書, 2000. 2) 鈴木森晶, 宇佐美勉, 寺田昌弘, 伊藤努, 才塚邦宏: 箱型断面鋼製橋脚の復元力モデルと弾塑性地震応答解析, 土木学会論文集, No.549/I-37, pp.191-204, 1996. 3) 土木学会鋼構造委員会: 鋼構造物の耐震解析用ベンチマークと耐震設計法の高度化, 2000. 4) 土木学会鋼構造委員会・構造新技術小委員会・耐震設計研究WG: 鋼橋の耐震設計指針案と耐震設計のための新技術, 1996.

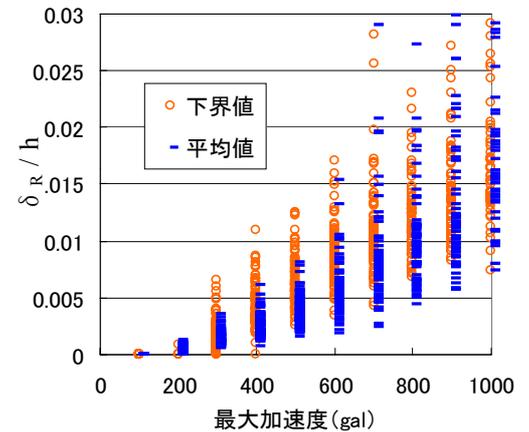


図-2 各最大加速度に対する残留変

表-1 許容損傷度の分類と復旧方法

損傷度	δ_R/h	想定した被災状況
A_S	1/100以上	崩壊とみなされる程度の損傷
A	1/100以下	復旧に2ヶ月程度かかる損傷
B	1/150以下	復旧に2週間程度かかる損傷
C	1/300以下	数日以内の補修で復旧可能
D	1/1000以下	損傷がほとんどない

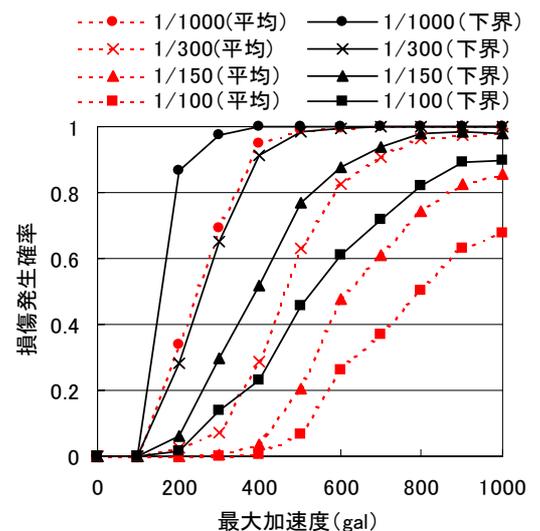


図-3 地震応答解析に基づく損傷度曲線

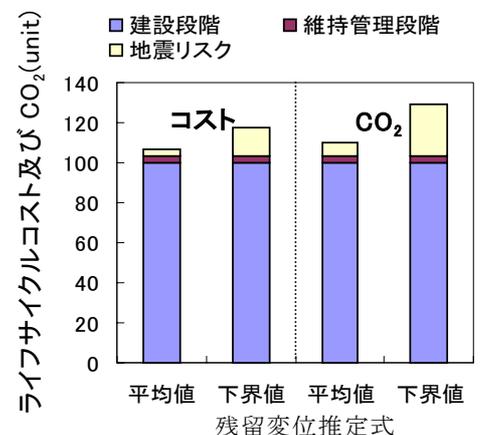


図-4 ライフサイクル評価の結果