

RC 橋脚モデルの年間損傷期待値密度関数に関する考察

武蔵工業大学 学生会員 岩本 篤 青戸 拓起
正会員 吉川 弘道

1. はじめに

本研究は、確率論的損傷評価法による地震時の構造物性能照査の手順を例示するものである。これは図 1 のように、設定地点から決まる地震ハザード曲線と対象部材の動的性能から、年間損傷期待値が算定される。ここでは、設計応答スペクトルの設定、およびエネルギー一定則の成立、構造物特有の損傷率曲線の設定などを前提としている。

2. 解析概要

地震ハザード曲線 建設対象地点を設定し、歴史地震データと 5 種類の距離減衰式から、地震動タイプ I、タイプ II 別の地震ハザード曲線を作成した^[1]。

対象構造物の解析モデル 解析モデルとして一般的な都市内高速道路に用いる T 型 RC 橋脚を選定し、地震時保有水平耐力法^[2]により部材解析を行った。

損傷率曲線 部材解析より求めた橋脚モデルの固有周期における応答倍率を求めたうえで、基盤上での最大加速度 α （以下、最大基盤加速度 α ）を 0～1000gal まで 10gal 刻みに増加させ、加速度応答スペクトルから弾性応答加速度 CE を逐次算出した^[2]。さらに CE をもとにエネルギー一定則から、弾塑性応答変位 $\delta_{resp}(\alpha)$ を推定し、これを用いて最大基盤加速度 α に対する損傷率 $D(\alpha)$ を次式のように定義した^[3]。（ γ は進展係数とする）

$$D(\alpha) = \left(\frac{\delta_{resp}(\alpha) - \delta_y}{\delta_u - \delta_y} \right)^\gamma \quad \delta_y \leq \delta_{resp} \leq \delta_u$$

ただし $\delta_{resp}(\alpha) < \delta_y$ のとき $D(\alpha) = 0$ （健全）、また $\delta_u < \delta_{resp}(\alpha)$ のとき $D(\alpha) = 1.0$ （終局状態）とした。

年間損傷期待値 地震ハザード曲線から求める最大基盤加速度 α の年間超過確率を $PA(\alpha)$ すると、その確率密度 $p_A(\alpha)$ は次式から算定できる。

$$P_A(\alpha) = \int_{\alpha}^{\infty} p_A(\alpha) d\alpha \text{ より、}$$

$$p_A(\alpha) d\alpha = -dP_A(\alpha)$$

このときの条件付損傷率は $D(\alpha)$ であるから、年間損傷期待値密度 $ed(\alpha)$ 、および年間損傷期待値 ED を次式より算定した。

$$ed(\alpha) = D(\alpha) \cdot p_A(\alpha)$$

$$ED = \int_0^{1000} ed(\alpha) d\alpha = \int_0^{1000} D(\alpha) \cdot p_A(\alpha) d\alpha$$

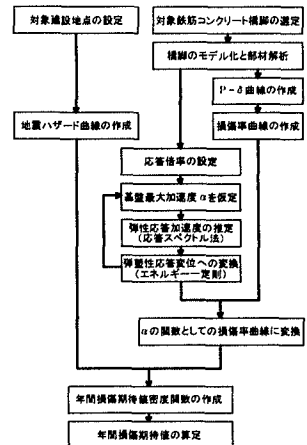


図1 解析フローチャート

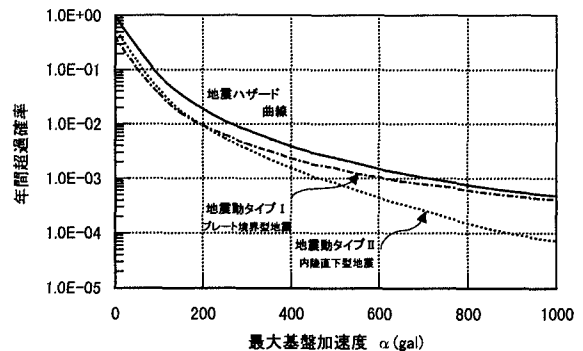


図2 地震ハザード曲線（関東南部A地点）

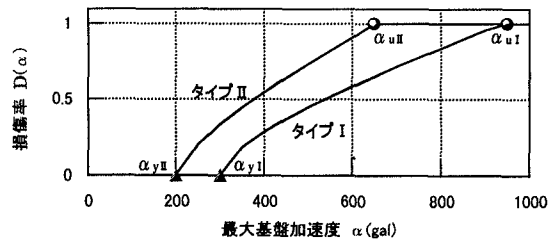


図3 損傷率曲線（T=0.6sec）

《キーワード》 地震ハザード曲線、損傷率曲線、年間損傷期待値密度、年間損傷期待値

《連絡先》 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 武蔵工業大学 工学部 土木工学科 コンクリート研究室

(TEL) 03-3703-3111 (内線) 3241 (FAX) 03-5707-1165

5. 解析結果および考察

本編で設定した地点(関東南部 A 地点)の地震ハザード曲線を図2に示す。

次に、部材解析結果による橋脚モデルの降伏点周期が $T_y=0.6\text{sec}$ であったことから、固有周期 $T=0.6\text{sec}$ における損傷率曲線 ($\gamma=0.5$) を図3に示す。ここではタイプⅠにより初期降伏が生じる最大基盤加速度(以後 α_{y1})、および終局状態に至る最大基盤加速度(α_{u1})は、共にタイプⅡによるそれよりも上回った。

同様に、固有周期 $T=0.6\text{sec}$ における年間損傷期待値密度関数を図4に示す。年間損傷期待値密度のピークはタイプⅠで $ed1(360)=4.3 \times 10^{-5}$ 、タイプⅡで $ed2(300)=9.6 \times 10^{-5}$ となった。特徴としてタイプⅡの発生確率が低いため、最大基盤加速度が $\alpha=470\text{gal}$ 以上になると、タイプⅠがタイプⅡの年間損傷期待値を上回ることが挙げられる。また、地盤最大加速度 $0 \sim 1000\text{gal}$ までの年間損傷期待値はタイプⅠで $ED1=0.126$ 、タイプⅡで $ED2=0.0216$ であった。

図5は地震動タイプⅠ、タイプⅡそれぞれの年間損傷期待値密度関数の第3軸として、橋脚モデルの固有周期 T を増加させ図示したものである。同図より固有周期 T の増加に伴い橋脚モデルの健全領域($\delta_{resp} < \delta_y$ より $D(\alpha)=0$ となる領域)が増大していることがわかる。

また、地震動タイプ別の年間損傷期待値-固有周期関係($0 \sim 800\text{gal}$)を示した図6より、固有周期 T が大きい場合($T \geq 0.8$)、地震動タイプⅠによる年間損傷期待値 $ED1$ がタイプⅡによる $ED2$ を上回っていることも確認され、設計加速度応答スペクトルに類似した形となった。

4. まとめ

- 地震ハザード曲線と損傷率曲線から、橋脚の年間損傷期待値が推定でき、定量的な評価が可能となる。
- 本設定地点では最大基盤加速度の高加速度領域において、タイプⅠの年間損傷期待値密度がタイプⅡのものよりも大きくなり、地震ハザード曲線の影響が反映された結果となった。
- 橋脚モデルの固有周期の増加に伴い、地震動 typeⅠ、typeⅡ共に年間損傷期待値が減少し、さらには $ED1$ と $ED2$ の大小関係も変化した。

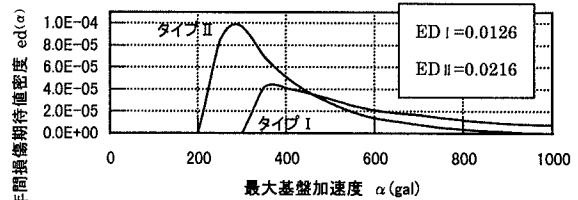


図4 年間損傷期待値密度関数($T=0.6\text{sec}$)

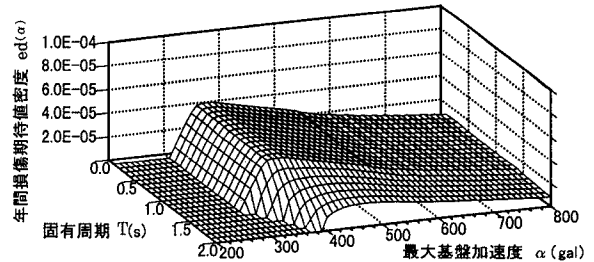


図5-a 年間損傷期待値密度関数-固有周期関係(タイプⅠ)

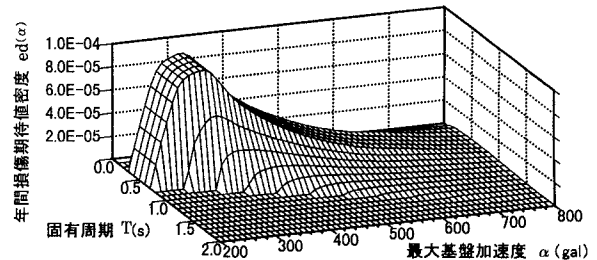


図5-b 年間損傷期待値密度関数-固有周期関係(タイプⅡ)

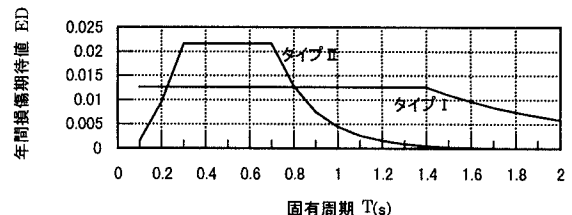


図6 年間損傷期待値-固有周期関係 ($0 \sim 800\text{gal}$)

《謝辞》 (株)住友建設 飯野 健一氏、(株)CRC 総合研究所 亀岡 裕行氏、青木琢磨氏には、地震ハザード曲線についての貴重な御助言を頂き、ここに深謝します。

《参考文献》 [1] (株)CRC 総合研究所:基盤加速度・地震危険度予測システム 概説書, 1998
[2] 日本道路協会:道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編, 1996.12
[3] CEB:RC FRAMES UNDER EARTHQUAKE LOADING, 1996