

免震支承を有する橋脚の構造信頼性評価に関する基礎的研究

広島工業大学工学部

正会員 ○中山 隆弘

パプ日立エンジニアリング（株）

土井 崇裕

1. はじめに

構造物の設計コードもいずれ国際標準化される可能性が高い¹⁾。その場合、技術者には、限界状態設計法よりもさらに構造物の信頼性の概念に対する認識が要求される。本研究は、これまであまり行われていない免震鉄筋コンクリート橋脚の耐震信頼性解析を動的信頼性理論²⁾によって行うための基礎的資料を得ることを目的として行われた。

2. 解析方法

図1は同構造物に対する動的信頼性解析のおおよその流れを示している。本研究では、この中、①地震危険度解析、②模擬地震波の作成、③等価剛性・等価減衰定数の確率特性に対する検討を行った。中でも今回は、橋脚が建設される地点において発生が予測される模擬地震動に対する免震支承の等価剛性および等価減衰定数の確率特性を把握することに主たる目的を置いた。ここでは、ひとつのケース・スタディの結果について述べる。

①地震危険度解析

本研究では、広島市の中心部を想定して、表1に示す解析条件をもとに Cornell の提案した手法³⁾を用いて地震危険度解析を行った。結果を図2に示す。

②模擬地震波の作成⁴⁾

定常的な模擬地震波は次式で与えられる三角級数モデルによりシミュレートできる。

$$x(t) = \sum_{k=1}^N a_k \sin(\omega_k \cdot t + \phi_k) \quad (1)$$

式中、 a_k は平均値0、標準偏差 σ_k の正規確率変数で、 $k=1, 2, \dots, n$ に対して互いに独立である。また、 ϕ_k は a_k に独立な、0から 2π の一樣乱数であり、 $k=1, 2, \dots, n$ に対して互いに独立である。なお σ_k は $\sigma_k^2 = 4 \cdot S(\omega_k) \cdot \Delta\omega$ で与えられる。ここに、 $\Delta\omega = (\omega_u - \omega_l)/N$ 、 $\omega_k = \omega_l + (k-1/2) \cdot \Delta\omega$ であり、 ω_u 、 ω_l は地震波に含まれる円振動数 ω の上下限值、 $S(\omega)$ は地震動のパワースペクトル密度関数（今回

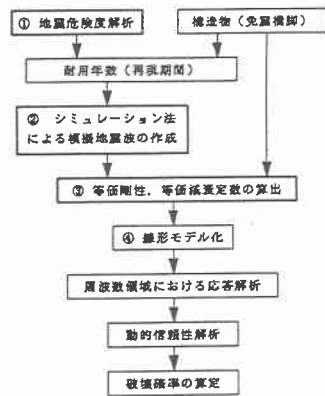


図1 研究手順

表1 地震危険度解析の条件

注目地点	広島市中区国泰寺
地盤種別	II種地盤
影響範囲	注目地点中心 350km
距離減衰式	川島・相沢・高橋によるもの
歴史地震資料	文献名 宇津の世界の被害地震の表 679年～1987年 <M6以上> 地震個数 (128個/影響範囲)

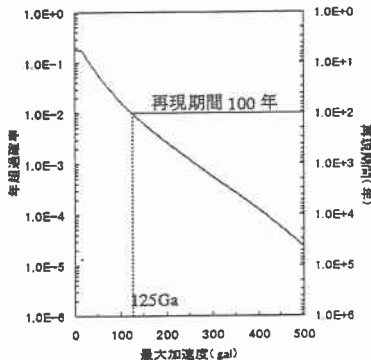


図2 注目地点のハザード曲線

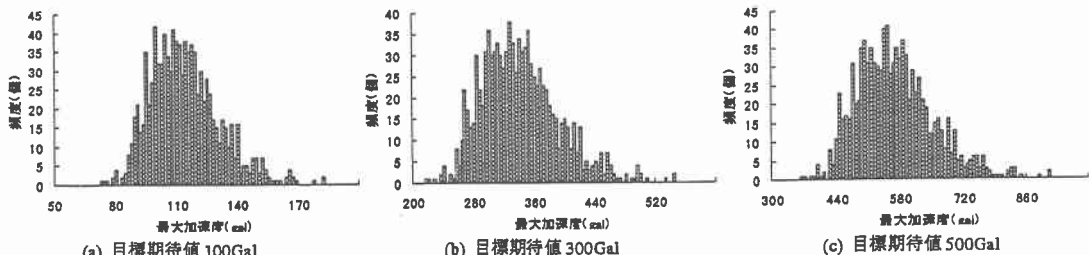


図3 模擬地震動の最大加速度のヒストグラム

は金井・多治見の式を用いた。)である。

模擬地震波の最大期待加速度は再現期間によって異なるが、今回は、地表面における最大加速度の期待値がほぼ 100, 300, 500Gal になるように地震動スペクトルを設定し、それぞれ 1000 波の地震波を作成した。因みに、地盤の固有円振動数は 11.7(rad/sec), 減衰定数は 0.2 とした。シミュレーションの結果を図 3 に示す。

③免震支承の等価剛性および等価減衰定数の確率特性^{5) 6)}

今回、解析対象としたのは、『建設省 道路橋の免震設計法マニュアル(案)平成 4 年』の参考資料』に記載されている免震橋脚(図 4(b))である。この橋脚に図 3 に示す各々 1000 波の模擬地震波を作用させ、非線形振動解析によって各地震波に対する免震支承の等価剛性および等価減衰定数を算出した。得られたそれらの頻度分布を図 5~図 10 に示す。

これらの図より、等価剛性については、地震の最大期待加速度が 100Gal 程度と小さいときには、ほぼ正規分布していることが理解できる。しかし、地震の最大期待加速度が大きくなるにつれて、そのピークが小さいほうに移動しながら、対数正規分布に近い頻度分布が得られた。一方、等価減衰定数は、等価剛性のときと同様にピーク値は最大期待加速度の増大と共に、小さい値に移行している。また、100gal 程度の弱い地震に対しては、0.28 以上の値は現れていない。300gal 程度の地震の母集団についても、その結果は同様である。ともかく、両パラメータは、このように最大期待地震動の大きさに大きく影響を受けることが分かる。

5. おわりに

今回の研究では、地震に対する RC 橋脚の免震支承の等価剛性と等価減衰定数を算定するための一連の解析プログラムを作成し、ケース・スタディによって、ある母集団に從う地震に対するそれらの頻度分布のおおその特徴について把握できた。今後は、より多くのケースを想定した解析を行って、この問題に対する一般性のある結論を引き出す必要がある。そして、それを利用した動的信頼性解析システムを構築したいと考えている。

【参考文献】1) 例えば、General principles on reliability for structures, ISO/FDIS2394(FINAL DRAFT), 1998. 2) 中山 隆弘：不規則変動荷重を受ける構造物の初通過破壊確率に関する研究、大阪大学学位論文、1985 年。3) Cornell.C.A : Engineering seismic risk analysis, Bull.Seism.Soc.Am., Vol.58, No.5, 1968, pp.1583~1606. 4) 星谷勝：確率論手法による振動解析, 鹿島出版会, 1974 年, pp.45~66, pp.225. 5) 建設省：道路橋の免震設計法マニュアル(案), 1992 年。6) 社団法人 日本道路協会：道路橋示方書(v 耐震設計編)・同解説, 1996.年。

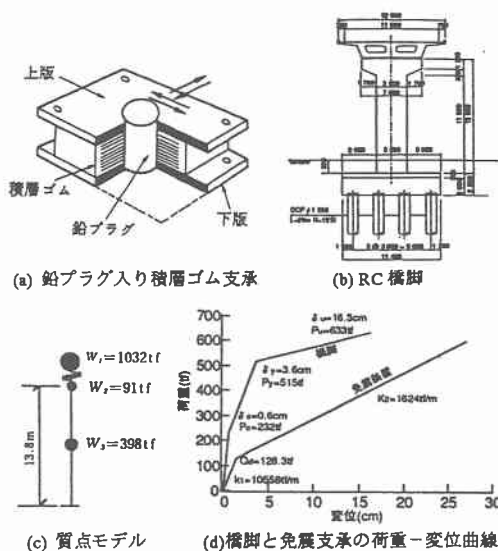


図 4 解析モデル

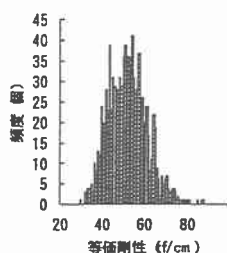


図 5 100Gal 程度の場合

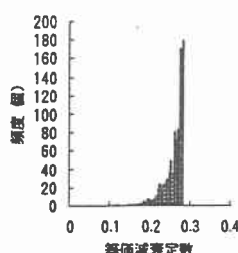


図 6 100Gal 程度の場合

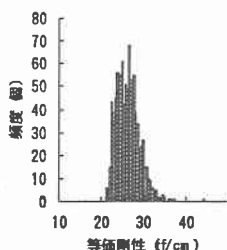


図 7 300Gal 程度の場合

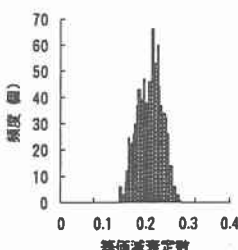


図 8 300Gal 程度の場合

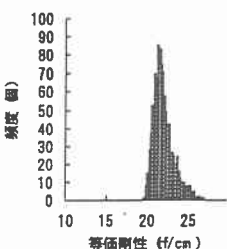


図 9 500Gal 程度の場合

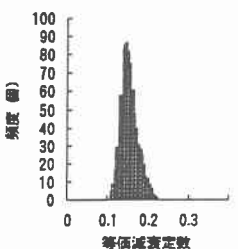


図 10 500Gal 程度の場合