

# 歴史地震データに基づく免震構造物の耐震信頼性解析法に関する基礎的研究

バブコック日立(株) 正会員○河村幸太郎  
 広島工業大学工学部 正会員 中山 隆弘  
 広島工業大学大学院 学生員 松尾 哲央

## 1. はじめに

地震動に対する構造物の信頼性解析手法としては解析的方法<sup>1)</sup>及びシミュレーションによる方法が考えられるが、本研究は後者の方法による免震構造物の耐震信頼性評価を行うための基礎的研究である。今回は地震危険度解析によって広島市中心部の地震ハザード曲線を求めることに主眼を置いた。本報告ではその結果を示し、さらに、ある再現期間に対する地震動モデルと同地点の地盤データを用いて簡単な免震振動系の応答解析を行った結果について報告する。

## 2. 地震危険度解析

前述したように本研究は注目地点を広島市の中心部とし、この地点における地震動を推定するために地震発生がポアソン過程に従うとするCornell流の地震危険度解析<sup>2)</sup>を行った。図-1は注目地点を中心とした半径約350 km圏内の歴史地震の震央分布と区分した地震域を示したものである。本研究では歴史地震データとして宇津の資料<sup>3)</sup>を用い、距離減衰式として道路橋示方書 I 種地盤の式を注目地点下の基礎面上の最大加速度を与える式

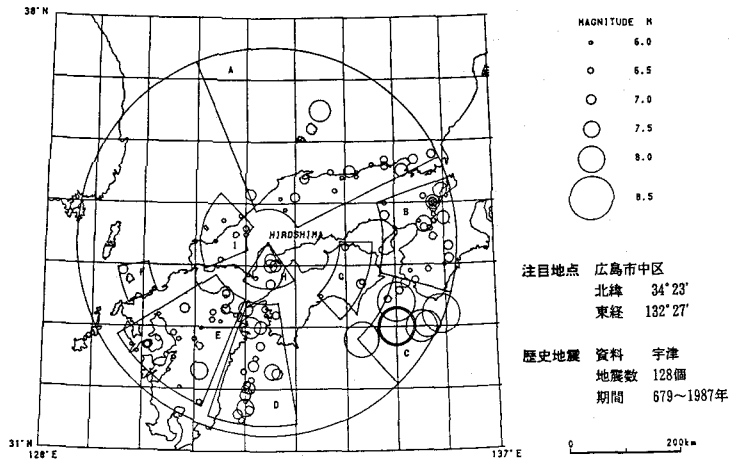


図-1 歴史地震の震央分布と地震域

として用い、解析を行った。解析手順を簡単に説明すると、まず歴史地震データを回帰分析することにより式(1)に示すようなGutenberg-Richter式に当てはめる。

$$\log_{10} n(m) = a - b(m - m_0) \quad (1)$$

ここで、 $n(m)$  はマグニチュードが  $m$  を越える地震の数、 $a, b$  は定数、 $m_0$  は工学的にみて構造物に被害を及ぼす最低のマグニチュードである。次に、注目地点の最大加速度  $Y$  が任意の値  $y$  以上となる確率を式(2)より求める。

$$P[Y \geq y] = \sum_{r=r_e}^{r_u} \{1 - F_M(m)\} f_R(r) \Delta r \quad (2)$$

$$F_M(m) = \frac{1 - \exp[-\beta(m - m_0)]}{1 - \exp[-\beta(m_1 - m_0)]} \quad (3)$$

$r_u, r_e$  は注目地点から地震域までの最大、最小距離、 $f_R(r)$  は距離  $r$  の密度関数、 $\beta = b \ln 10$ 、 $m_1$  は最大マグニチュードである。そして式(2)の確率事象がポアソン

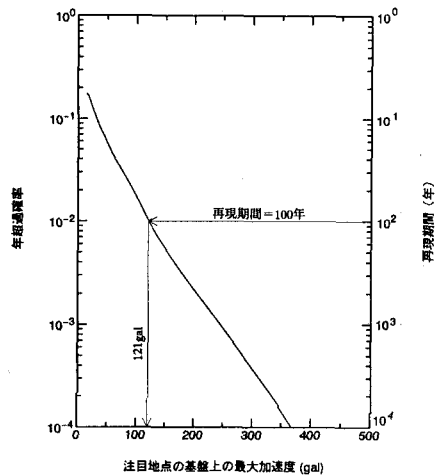


図-2 広島中心部の地震ハザード曲線

過程に従うとし、1年間に注目地点の最大加速度 $Y_{max}$ が $y$ 以上となる確率を次式より算出する。

$$P[Y_{max} \geq y] = 1 - \exp(-\nu P[Y \geq y]) \quad (4)$$

ここで、 $\nu$ は年平均地震発生率である。上記の方法で解析を行った結果(地震ハザード曲線)を図-2に示す。

### 3. 表層地盤の応答解析

ハザード曲線より再現期間100年に対する注目地点下の基盤の最大加速度の期待値は121galとなる。この値とシミュレーション法によって求めたホワイトノイズ波形より図-3に示すような基盤面上の地震波形を作成した。この地震波を図-5に示す地盤の質点系解析モデルへと入力し、直接積分法による線形応答解析を行った。減衰については、モード減衰定数を1次、2次ともに0.05と仮定し、レーリー型減衰に従うとした。これより各層の最大応答加速度は図-5の右欄に示すようになる。また、地表面上の加速度波形は図-4のようなになる。これらの結果より広島中心部の表層地盤の増幅倍率は約2.1であると考えられる。

### 4. 免震構造物の地震応答解析

解析モデルとして図-6(a)に示すような第1層目を免震層とする3質点せん断形モデルを取りあげた。免震装置の復元力特性は図-6(b)に示すとおりである。応答解析手法としてはこの復元力特性を時間毎に評価して運動方程式を解いていく直接積分法を用いた。図-7は図-6のモデルに対して免震層がある場合と無い場合との応答値の比較を行ったものである。この図より免震層がある場合にはその応答加速度値が非免震のそれと比べ1/2以下となり地震力の低減効果を読み取れる。

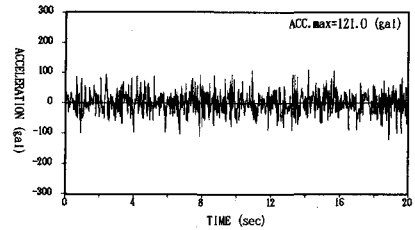


図-3 基盤面の地震波形

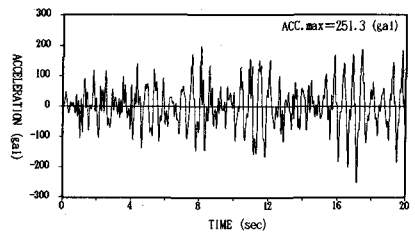


図-4 地表面の地震波形

深度 (m)	土質名	層位体積重量 (t/m <sup>3</sup> )	せん断減速度 (m/s)	せん断剛性 (t/m <sup>2</sup> )	せん断型質点系モデル	最大加速度 (gal)					
						50	100	150	200	250	
▽ 2.3	砂	1.7	130	2392	$k_2$						251.3
			210	7650	$k_3$						232.4
8.6	粘性土	1.4	160	3657	$k_4$						165.2
15.7	砂	2.0	160	5224	$k_5$						227.9
18.8			160	4702	$k_6$						175.5
19.5	粘性土	1.8	160	4702	$k_7$						162.5
22.0	砂	1.9	160	4952	$k_8$						121.0
	基礎	2.1	450	37800							

図-5 注目地点の地盤構成と解析モデル及び解析結果 (地盤データは文献(4)より引用)

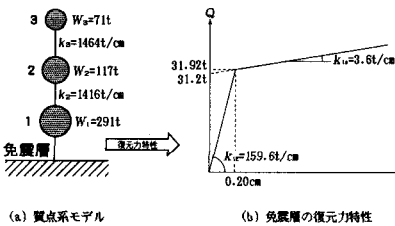


図-6 免震構造物の解析モデル

### 謝辞

今回、地震危険度解析の地震域の設定を行うに際して東京大学地震研究所三浦勝美先生には有益なご助言を戴いた。また、地震危険度解析の理論に関して京都大学防災研究所能島暢呂先生には貴重なご助言を戴いた。両先生に深く謝意を表します。

[参考文献]

- 1)例えば、シュエラー：構造物の安全性と信頼性、丸善、1984
- 2)Cornell:Engineering Seismic Risk Analysis, B. S. S. A., vol. 58, No. 5, pp. 1583~1606, 1968
- 3)宇津：世界の被害地震の表、1990
- 4)岩田・古川・野口・三浦：1905年芸予地震による広島地域の地震動の推定(その2)、第43回土木学会中国四国支部研究発表会講演要集

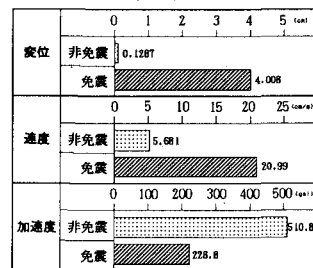


図-7 最大応答値の比較(免震対非免震)