

## ハザードカーブに基づく非正常模擬地震動の発生

京都大学工学部 正員 亀田 弘行  
 京都大学大学院 学生員 ○能島 暢昌

1. まえがき 重要構造物の耐震性検討においては、時刻歴応答による動的解析を必要とする場合が多いが、そのための入力地震動の選定法には解決すべき問題が多い。耐震安全性評価の観点からは、地震危険度解析の概念を有効に取り入れることが望ましく、本研究はこのような観点から実施したものである。まず地震動強度を年平均発生率 $p_0$ から定め、継続時間、卓越振動数、スペクトルの形状パラメータは $p_0$ によって規定される地震群に対する条件付期待値として求めることとする。これにより任意の $p_0$ に対して模擬地震動を発生させる方法を開発した。ここでは基盤地震動と、地盤条件を用いてこれを変換して得られる地表面地震動の両者を論ずる。

2. 地震動予測モデル 入力地震動用の地震動予測モデルとして、本研究では、有理関数を用いた工学的基盤における振幅変調型地震動予測モデル<sup>1)</sup> (EMP-IBRA)を用いる。このモデルは、強度パラメータ (peak R.M.S. 加速度)  $\gamma$  (gal), およびパワー最大となる時刻 $t_m$  (sec), 卓越振動数 $f_p$  (Hz), スペクトルの形状を表わす $\beta_0$ により定義されている。以上4つのモデルパラメータを与えることにより得られる、工学的基盤における非正常スペクトルを、変換係数 $\beta_r$ <sup>2)</sup>により地表に変換すると、地表面地震動の非正常スペクトルが得られる。 $\beta_r$ は、地表面下15~20mの地盤の軟弱さを表わす地盤パラメータ $S_n$ , 工学的基盤までの表面層厚 $dp$  (m), スペクトルの振動数軸上での強度を表わすパラメータ $\alpha_m(f)$ より、 $\beta_r(f; \alpha_m(f), S_n, dp)$ と表わされ、地盤の振動数特性・非線形特性を満たす係数である。

3. 危険度解析によるモデルパラメータの算出 上に述べたパラメータについてはマグニチュード $m$ , 震央距離 $r$ による回帰モデル $\hat{\gamma}(m, r)$ ,  $\hat{t}_m(m, r)$ ,  $\hat{f}_p(m, r)$ ,  $\hat{\beta}_0(m, r)$ が得られている<sup>1)</sup>。以後これらの回帰モデルを用いた解析を行なう。まず、年平均発生率 $p_0$ と $\gamma$ の関係を表わすハザードカーブから $\gamma$ を決定する。 $p_0$ と $\gamma$ の関係は次式のように表わされる。

$$p_0 = \sum_K \nu_K \cdot q_K(\gamma) \quad \text{-----}(1)$$

ただし、添字 $K$ は解析対象地点に影響を及ぼす地域を分割した震源域 $K$ を表わし、 $\nu_K$ は震源域 $K$ での年平均地震発生回数、 $q_K(\gamma)$ は震源域 $K$ に1回の地震が生起した時に、解析対象地点で地震動強度 $\Gamma$ が $\gamma$ を超過する確率であり、次式で計算される。

$$q_K(\gamma) = \int_{M_{Lk}}^{M_{Uk}} \int_{R_{Lk}}^{R_{Uk}} P(\Gamma > \gamma | m, r) f_{rK}(r) dr \cdot f_{mK}(m) dm \quad \text{-----(2)}$$

ここに $M_U$ と $M_L$ は考慮するマグニチュードの上限と下限、 $R_U$ と $R_L$ は震央距離の上限と下限、 $f_r(r)$ ,  $f_m(m)$ は震央距離 $r$ , マグニチュード $m$ の確率密度関数である。式(1)よりハザードカーブが得られると、再現期間 $T_r = 1/p_0$ を設定すれば、これに対応

Hiroyuki KAMEDA, Nobuoto NOJIMA

する  $\gamma$  の推定値  $\gamma_0$  が得られる。次に  $t_m$  については  $\Gamma > \gamma_0$  となる地震という条件下での条件付期待値  $\bar{t}_m$  を次式より求める。

$$\bar{t}_m = \sum_K (\nu_K \cdot \bar{t}_{mK}) / \nu_* \quad \text{-----}(3)$$

ここに、 $\nu_*$  は、 $q_K(\gamma_0) \approx 0$  となる様な震源域  $K$  についての  $\nu_K$  の総和であり、また  $\bar{t}_{mK}$  は次式で計算される。

$$\bar{t}_{mK} = \frac{\int \frac{M_{LK}}{M_{LK}} \int \frac{R_{LK}}{R_{LK}} \bar{t}_m(m, r) P(\Gamma > \gamma_0 | m, r) f_{rK}(r) dr \cdot f_{mK}(m) dm}{q_K(\gamma_0)} \quad \text{----}(4)$$

$f_P, \beta_9$  についても、同様に条件付期待値  $\bar{f}_P, \bar{\beta}_9$  が求められる。またマグニチュード、震央距離の条件付期待値  $\bar{m}, \bar{r}$  も同じように得ることができる。

#### 4. 東京・大阪に対する適用例

東京・大阪周辺の過去の地震資料を参考にすることにより<sup>2) 3)</sup>、地震危険度解析および模擬地震動の発生を試みた。図-1 にアテニュエーション式のバラツキを表わす変動係数  $\delta_r = 0.0, 0.20, 0.427$  の3例のハザードカーブを示す。バラツキを大きくとるほど危険度が高くなることわかる。 $\delta_r = 0.427$  のハザードカーブにおいて  $T_r = 100$  年として求めた  $\gamma_0$  と式(3)による条件付期待値  $\bar{t}_m, \bar{f}_P, \bar{\beta}_9$  から工学的基盤における非定常スペクトルが求まり、これを  $S_n = 0.2, d_p = 50$  m (これは標準的な地盤と考えられる) として  $\beta_9$  を用いて地表に変換して得られた加速度波形を図-2 に示す。東京では  $A_{max} = 578.5$  gal, 大阪では  $A_{max} = 251.4$  gal と大きな差があり、周辺の地震発生状況の違いが現われている。

参考文献 1) 亀田, 杉戸, 上田: 非定常地震動のスペクトル特性に関する有理関数型モデル, 土木学会関西支部年次学術講演会, 昭61.5.

2) 建設省土木研究所: 確率手法に基づく動的解析用入力地震動波形の設定法, 土研資料第1992号, 昭和58.3. 3) 阪神高速道路公団・総合技術コンサルタント: 地震荷重の検討, 設計荷重委員会作業部会 資料No.3-4号, 昭和60.10.

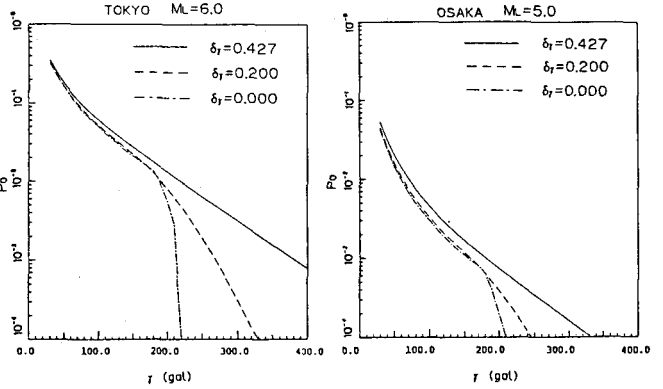


図-1 peak R.M.S. 加速度  $\gamma$  のハザードカーブ

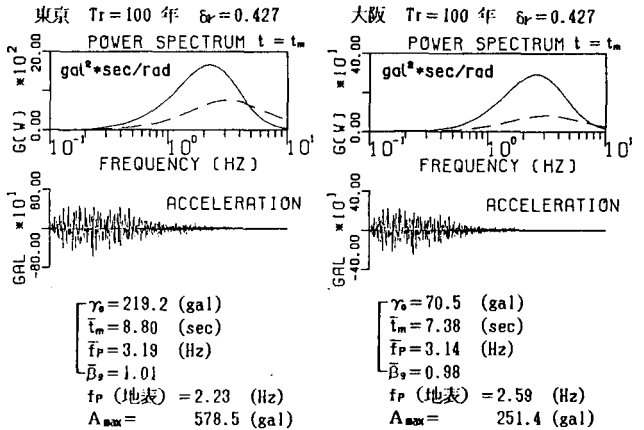


図-2  $T_r = 100$  年の非定常パワースペクトルと地表における加速度波形 (-----工学的基盤 ————地表)