

日本道路公団 正員 有藤 宏
 京都大学工学部 正員 杉戸 真木
 京都大学工学部 正員 亀田 弘行

1. はじめに 本研究は耐震工学上重要な工学的地震基礎に着目し、非定常パワースペクトルを用いた基礎の非定常地震動の統計的予測モデルを提案する。本研究で設定した基礎はS波速度700~800 m/s程度の層の上面とし、その上に層を持たない解放基礎を考えた。この条件を満足する記録として露頭岩盤上の記録があるが、統計解析上データ不足するので、沖洪積地盤の地表又は地中で得られた記録から推定される基礎の地震動を、重複反射理論により推定し用いた。この基礎の地震動のデータベースは全7成分で、内訳は地表記録より推定(27成分)、地中記録より推定(8成分)、基礎と同等と考えられる露頭岩盤上の記録(6成分)である。

2. 工学的基礎における地震動の推定 等価線形化手法による重複反射理論を用いて、地表、地中の記録より基礎の地震動を推定した。工学的非線形性を表わすモデルとしてHardin, Drnevich¹⁾のモデルを用いた。重複反射理論を用いた地盤の応答解析としてSHAKE²⁾があるが、等価剛性、等価減衰定数を決定する有効ひずみ γ_e は最大ひずみ γ_{max} のみで決定されている。本研究では地盤の劣化には最大ひずみだけでなく、ひずみの繰返し効果も影響を与えることを考え、継続時間の影響をとり入れたモデルを提案した³⁾。このモデルを示せば

$$\gamma_e = \gamma_{max} \times 0.6 \times (T_d / T_m)^{0.1} \quad (1)$$

T_d ; Vanmarcke and Lai⁴⁾による継続時間 $(=7.5 \times R/A_p^2)$, R (トータルパワー), A_p (最大加速度)

T_m ; 平均的継続時間(本解析データの相乗平均より6.9秒)

これより有効ひずみは継続時間により最大ひずみの0.5~0.7倍程度になる。本手法の妥当性を検討するために日本鋼管によ、三川断りで行われた地表、地中の同時観測記録⁵⁾と比較した。地下50mで得られた実記録と地表の記録より上述の手法で地下50mの地震動を推定したものとを比較した。この結果を応答スペクトルで図1に示す。観測値と推定値が良い一致を示すことがわかる。以上のような検討の後に05成分について基礎動を推定したが、その際、初期微動部はカットし、表面波の含まれている地表記録は後藤⁶⁾による表面波の分離法を適用して後に基礎動を推定した。

3. 基礎における地震動予測 文献⁷⁾で非定常パワースペクトルを用いた沖洪積地盤における非定常地震動の統計的予測モデルを提案しているが、上記のデータに基づき基礎におけるモデルを作成した(MMP-Bモデル)。非定常性を有する模擬地震波 $x(t)$ を以下のように表わす。

$$x(t) = \sum_{k=1}^m \sqrt{2G_x(t, \omega_k)} \Delta\omega \cos(\omega_k t + \phi_k) \quad (2)$$

$G_x(t, \omega_k)$; 非定常パワースペクトル, ω_k ; 円振動数

$\Delta\omega$; 円振動数のまがみ幅, m ; 振動数の個数

ここで非定常パワースペクトル $G_x(t, \omega_k)$ を(3)式、図2に示す。

$$\begin{aligned} \sqrt{G_x(t, \omega)} &= \sqrt{G_x(t, 2\pi f)} \\ &= \begin{cases} 0 & ; t \leq t_s \\ \frac{d_m(f)\{t - t_s(f)\}}{t_p(f)} \exp\left\{1 - \frac{t - t_s(f)}{t_p(f)}\right\} & ; t_s < t \end{cases} \quad (3) \end{aligned}$$

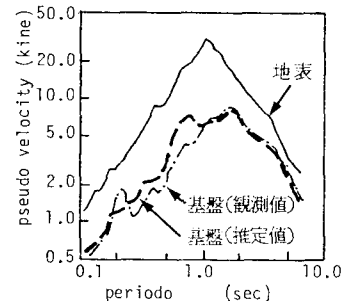


図1. 同時記録と推定地震動の比較
(千葉県中部地震, X成分)

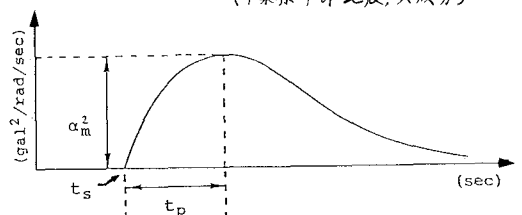


図2. 非定常パワースペクトルのモデル

$\alpha_m(f)$; 強度パラメータ, $t_p(f)$; 継続時間パラメータ, $t_s(f)$; 立ち上がり時刻
このモデルパラメータをマグニチュード M , 震央距離 Δ により次式で回帰分析する。

$$\begin{aligned}\log_{10} \hat{\alpha}_m(f) &= B_0(f) + B_1(f) \cdot M - B_2(f) \cdot \log_{10}(\Delta + 30) \\ \log_{10} \hat{t}_p(f) &= P_0(f) + P_1(f) \cdot M + P_2(f) \cdot \log_{10}(\Delta + 30) \\ \hat{\tau}_s(f) &= S_0(f) + S_1(f) \cdot \Delta\end{aligned}$$

強度パラメータ $\hat{\alpha}_m(f)$ の係数 B_0, B_1, B_2 について図3に示す。これより基礎動の強度はマグニチュードによらず一様に増減され、高振動数域からは距離減衰をうけやすいことわかる。以上(2), (3), (4)式により仕様のマグニチュードと震央距離の非定常地震動が求められ、その例を図4に示す。

4. 大規模断層破壊による地震動の予測モデル 大規模地震とは断層の広がり、破壊方向等が特に地震動に影響すると思われる。そこで先のEMP-Bモデルを発展させ大規模断層による地震動予測モデルを提案した。大規模断層を2次元の震源分割モデル(図5)によりEMP-Bモデルの重ね合わせで推定する。すなわち、大規模断層をマグニチュード6の要素波と中小断層に分割し、断層破壊の円状に進行し小断層の順に破壊したとして非定常パワースペクトルの要素波を重ねる。小断層の分割数 N_g は非定常パワースペクトルの平方根の面積比を表わし、わが国における12の地震データより次式で得られる。

$$N_g = 5.117 \times 10^{-12} \times M_0^{0.455} \quad (M_0: \text{地震モーメント}) \quad (5)$$

(5)式に全振動数域についてであるが、振動数域でこの N_g が多少異なるのでそれを補正して重ね合わせる。この手法を1988年十勝沖地震(ハブ)に適用し再現を行なった(図6, 表1)。また基礎レベルの地震動から重複反射理論により地表の地震動を推定し、実記録(表面波成分除去)と比較した(図7, 表1)。両者良好一致を示す。

謝辞 日本鋼管技術研究所、大石・関口両氏より貴重な同時記録を、また運輸省港湾技術、工田・野田・倉田各氏より最新の強震記録と提供して頂いた。

参考文献 1) Hardin, Drnevich, ASCE, Vol. 98, SM6.7, 1972
2) Schnabel, Lysmer, Seed, ERRC-72-12, 1972, 3) 青藤 宏, 断層工学論文, 1984, 4) Vanmarcke, Lai, BSSA, Vol. 70, 1980
5) 大石, 関口, JWCEE, 6) 後藤, 杉戸, 本間, 自然災害シンポジウム, 1983, 7) 堀田, 杉戸, 浅村, JWCEE, 1980

表1 最大地震動の比較

	基礎レベル		地表レベル	
	実地震動	再現地震動	実地震動	再現地震動
A_{max} (gal)	181.4	151.1	237.8	255.6
V_{max} (kine)	14.2	8.5	23.1	15.1
D_{max} (cm)	1.7	2.3	3.0	3.5

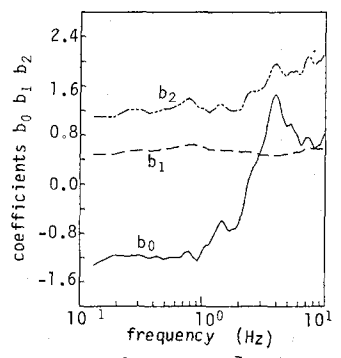


図3. $\hat{\alpha}_m(f)$ の回帰係数

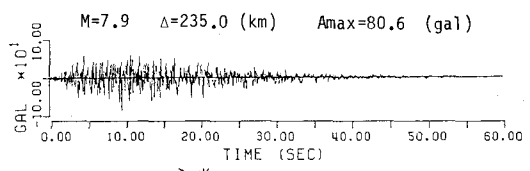


図4. 非定常地震動のシミュレーション

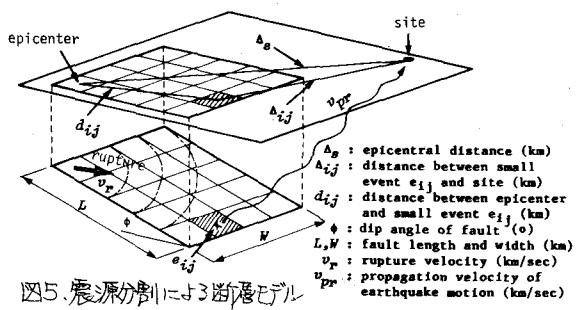


図5. 震源分割による断層モデル

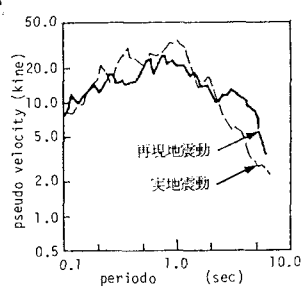


図6. 実地震動と再現地震動の比較 (基礎レベル)

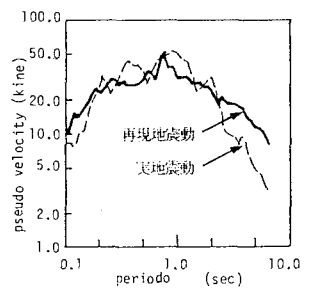


図7. 実地震動と再現地震動の比較 (地表レベル)