

工学的基盤における非定常地震動予測モデル

京都大学工学部 正員 後藤尚男 杉戸真太 亀田弘行  
 日本道路公団 正員 有藤 宏

1.はじめに 本研究は耐震工学上重要な工学的地震基盤に着目し、非定常パワースペクトルを用いた基盤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盤はS波速度700~800m/s程度の層の上面とし、解放基盤を考えた。この条件を満足する強震記録として露頭岩盤上の記録および、地表又は地中で得られた記録から重複反射理論によって想定される基盤の地震動を推定したものを含めて、基盤における地震動のデータベースを作成した。このデータベースは全91成分で、内訳は地表記録より推定(7成分)、地中記録より推定(8成分)、基盤と同等と考えられる露頭岩盤上の記録(6成分)である。

2.工学的基盤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、地中の記録より基盤の地震動を推定した。土の非線形性を表わすモデルとしてHardin, Drnevich<sup>1)</sup>のモデルを用いた。この等価剛性、等価減衰定数を決定する有効いずみ $\epsilon_e$ の決定には継続時間の影響をとり入れたモデルを提案した<sup>2)</sup>。このモデルを示せば

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

$\epsilon_{max}$ ; 最大いずみ,  $T_m$ ; 平均的な継続時間(本解析データの相乗平均より6.9秒)

$T_d$ ; Vanmarcke and Lai<sup>3)</sup>による継続時間(=7.5× $P_t/A_p^2$ :  $P_t$ (トルクパワー),  $A_p$ (最大加速度))

これより有効いずみは継続時間により最大いずみの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、日本鋼管により、川崎市で行なわれた地表、地中の同時観測記録<sup>4)</sup>と比較した。地下50mでと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。良い一致を示している。地表の記録より基盤動を推定する際に表面波が含まれている記録は後藤ら<sup>5)</sup>による表面波の分離法を適用した後に基盤動を推定した。

3.基盤における地震動予測 文献6)で非定常パワースペクトルを用いた沖決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盤におけるモデルを作成した(EMP-Bモデル)。非定常性を有する模擬地震波 $s(t)$ も以下のように表わす。

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

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

$\Delta W$ ; 円振動数のまごみ幅,  $m$ ; 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。

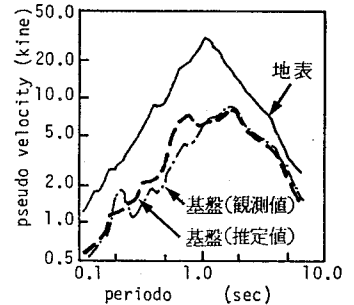


図1 同時記録と推定地震動の比較

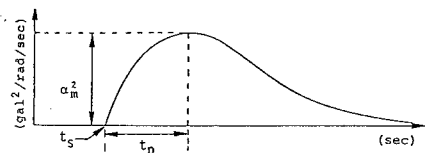


図2 非定常パワースペクトルのモデル

Hisao GOTO Masata SUGITO Hiroyuki KAMEDA Hiroshi SAITO

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

$d_m(t)$ : 強度パラメータ  
 $t_p(t)$ : 継続時間パラメータ  
 $t_s(t)$ : 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  $\Delta$  により次式で回帰分析する。

$$\begin{aligned} \log_{10} \widehat{d}_m(t) &= B_0(t) + B_1(t) \cdot M - B_2(t) \cdot \log_{10}(\Delta + 30) \\ \log_{10} \widehat{t}_p(t) &= P_0(t) + P_1(t) \cdot M + P_2(t) \cdot \log_{10}(\Delta + 30) \\ \widehat{t}_s(t) &= S_0(t) + S_1(t) \cdot \Delta \end{aligned} \quad (4)$$

強度パラメータ  $\widehat{d}_m(t)$  の係数  $B_0, B_1, B_2$  について図3に示す。これより基盤動の強度は、マグニチュードにより振幅数によらず一様に増減され、高振幅数成分ほど距離減衰をうけやすいことわかる。以上(2), (3), (4)式により任意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、例を図4に示す。

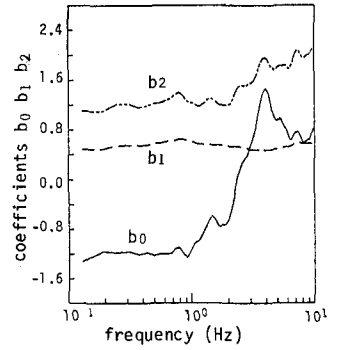


図3  $\widehat{d}_m(t)$  の回帰係数

#### 4. 大規模断層破壊による地震動の予測モデル

断層の広がり、破壊方向が特に地震動に影響すると考えられる。そこで大規模断層による地震動予測モデルを提案した。大規模地震を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の要素波を持つ小断層に分割し、この小断層が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。重ね合わせ個数  $N_g$  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

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

この手法を1968年十勝沖地震(ハブ)に適用し、再現を行なった(図6)。また基盤レベルの地震動を重複反射理論により地表の地震動として再現し、実記録(表面波成分除去)と比較した(図7)。

**謝辞** 日本鋼管技術研究所大石博、関口宏両氏より貴重な同時記録を提供して頂いた。ここに深謝の意を表す。

**参考文献** 1) Hardin, Drnevich, ASCE, Vol. 98, SM6, 7, 1972  
 2) 青藤宏, 震源工学論文, 1984, 3) Vanmarcke and Lai, BSSA Vol. 70, 1980, 4) 大石, 関口, JWCEE, 5) 後藤, 柳, 相川, 自然災害シンポジウム, 1983, 6) 亀田, 杉野, 浅利, JWCEE, 1980

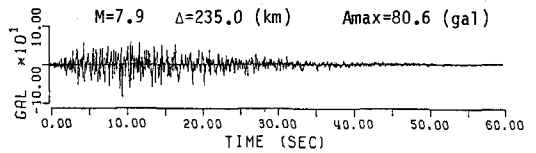


図4 非定常地震動のシミュレーション

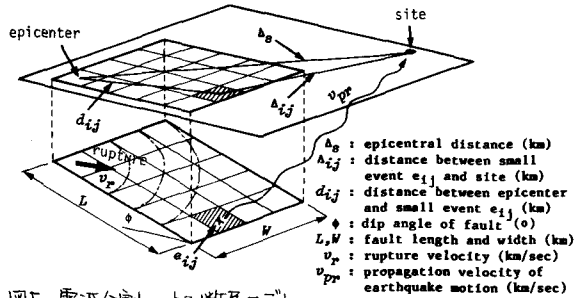


図5 震源分割による断層モデル

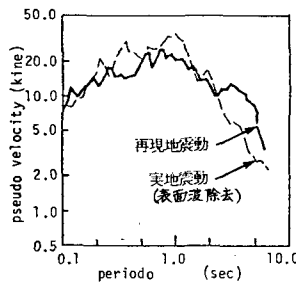


図6 実地震動と再現地震動の比較 (基盤レベル)

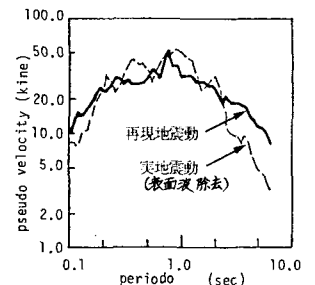


図7 実地震動と再現地震動の比較 (地表レベル)