

京都大学工学部 正 ○野田 茂

京都大学工学部 正 山田 善一

1. まえがき 近年、地震学の知見を活用した断層モデルによって地震動記録のシンセシスを工学的にも試みる手法が提示されつつあり、今後の地震被害予測に果す役割は大きい。本研究は、震源過程を適用して地下平行層構造内で励起された理論地震動（震央法線方向のSH水平波）を評価し、その結果を従来提唱されてきた地盤震動のM-Δ統計回帰式と比較することを試みている。地震断層の鉛直Dip成分とStrike成分が各々独立に卓越するくいちがい生起の地動への寄与を求め、点震源理論から得られる波形特性と地震動パラメーター（最大速度と最大加速度）のアテニュエーション特性を検討し、さらに震源パラメーターの地動に与える影響を調べた。幾何減衰と伝播減衰の効果は無視して計算している。

2. 解析手法 Hudson¹⁾とHaskell²⁾の波数理論を適用して、水平地下構造の任意深さの震源における断層のくいちがい励起されたSH波を理論的に計算する。Fig. 1に示す地下構造の物性値（P波速度 α 、S波速度 β 、密度 ρ 、層厚 h ）と座標系を考える。点震源Qに作用したパルスによる地面上の点Sにおける θ 方向の震央距離 r での地動は、最終的に、

$$\frac{d^n}{dt^n} u_\theta(r, \theta, 0, t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \sum_{i=1}^2 \hat{U}_{\theta_i}(r, \omega) \cdot R_i(I, P, \theta) \right\} \cdot e^{i\omega t} d\omega \quad (1)$$

としてまとめられる。ただし、

$$\hat{U}_{\theta_1} = S_n(\omega) \cdot \int_0^\infty dk \left[(L_{21} - L_{11}) \{ k J_0(kr) - J_1(kr)/r \} / (4\pi\beta_m^2 F_L) \right] \quad (2)$$

$$\hat{U}_{\theta_2} = S_n(\omega) \cdot \int_0^\infty dk \left[(L_{22} - L_{12}) k \{ k J_1(kr) - 2J_2(kr)/r \} / (4\pi\beta_m^2 F_L) \right] \quad (3)$$

ここで、 n は微分を示す添字、 R_i は主圧力軸 P と主張力軸 I および θ から決定される項、 k と ω は波数と周波数、 $J_m(\cdot)$ はBessel関数、 L_{ij} と F_L は媒質の物性・ $h_F \cdot k \cdot \omega$ などから決まる特性関数である。 $S_n(\omega)$ はくいちがい時間関数から求められる震源スペクトルであり、ダブル・カップルにおけるモーメント関数で説明できる。ここでは、Fig. 2に示すくいちがい速度と加速度波形の関数を採用し、立ち上り時間 $\tau = 4\tau$ を規定するパラメーター τ を導入している。 M_0 は断層面の平均的な地震モーメントである。 $\hat{U}_{\theta_i}$ の各項はDip-slipとStrike-slipの成分を意味し、式(1)は両成分の混合で地動が表示されることと調和的である。

3. 数値計算結果および考察 完全な鉛直右横ずれ断層と鉛直縦ずれ断層からの波動（以後strike成分、dip成分）を $\theta = 0^\circ$ で検討するために、 I と P の値を選んだ。地下構造モデルは、Table 1に示すように地表に厚さ2kmの軟弱層と深さ40kmにMoho面を含んでいる。半無限等方媒質（ $\alpha = 6.0 \text{ km/sec}$, $\beta = 3.55 \text{ km/sec}$, $\rho = 2.89 \text{ g/cm}^3$ ）の結果も併記して考察する。地震の規模は $M_0 = 1.023 \times 10^{26} \text{ dyn}\cdot\text{cm}$ （Gellerによれば $M_s = 7.0$ ）を想定し、 V_{red} の値には 4.50 km/sec を採用した。

Fig. 3は震央距離 $\Delta = 50 \text{ km}$ におけるdip成分の波形の震源深さ h_F による影響の一例であり、Fig. 4は最大速度の結果である。同図から半無限解のdip成分は $\Delta = 8 \sim 15 \text{ km}$ で交錯しており、それよりも遠距離で深発地震ほど地動は大きい。

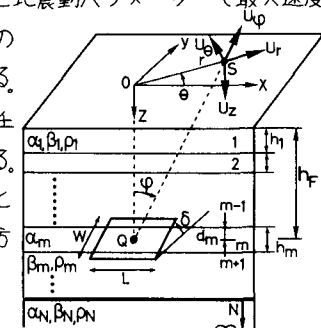


Fig. 1 Coordinate System and Crustal Properties

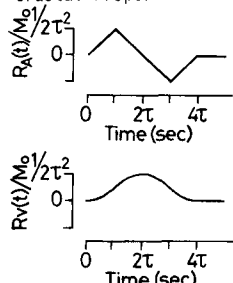
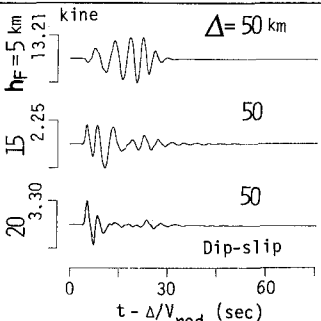


Fig. 2 Dislocation Functions

Layer	h (km)	α (km/sec)	β (km/sec)	ρ (gr/cm ³)
1	2	3.15	1.81	2.00
2	7	6.10	3.52	2.69
3	15	6.40	3.69	2.78
4	16	6.80	3.92	2.90
5	∞	7.80	4.50	3.20

Fig. 3 Influence of h_F on Velocity Wave Motions ($\tau = 1.0 \text{ sec}$)

一方 strike 成分における h_F の影響は $\Delta \approx 50 \text{ km}$ 以上で頭打ちの傾向にあり、距離変化による停留点は h_F の増大とともに大きくなるが振幅レベルは低下している。浅発地震 ($h_F = 5 \text{ km}$) の結果は両成分とも Δ^{-1} 、半無限解の dip 成分で Δ^{-2} 、strike 成分で Δ^{-1} の曲線を呈すが、これは地表付近の局所的な軟弱層に依存している。近距離 ($\Delta < 10 \text{ km}$) では dip 成分の、それより大なる Δ で strike 成分の強度が大きい。約 70 km 以上で表面波励起によって半無限解の結果よりも大きくなり、特にこの傾向は dip 成分で著しい。

震源パラメーター τ の影響を検討したのが Fig. 5 である。地盤条件の相違は strike 成分で $\Delta \approx 150 \text{ km}$ 以上、dip 成分では $30 \sim 75 \text{ km}$ 以上で現われる。strike 成分は $\Delta = 20 \text{ km}$ で最も優勢であり、その前後で両成分の地動の相対的な大きさが逆転している。strike 成分は dip 成分ほど距離に対する振幅強度変化に敏感でなく、比較的単純な半無限地下構造を用いても 1 次近似的に算出可能である。前述の h_F の感度分析の結果と同様に、半無限中の点震源による地動の距離減衰は反射・屈折波の複雑な影響を受けないのでなめらかな曲線群を呈す。 Δ が大きいと入射角が臨界角以上の反射波の到着による地動への卓越の貢献を dip 成分で強く受けるのは、Fig. 4(a) と全く同じ傾向である。Fig. 6 にはこの dip 成分の τ による $\Delta = 50 \text{ km}$ での速度波形の効果を例示した。

地震危険度解析の重要因子である地震荷重設定の有用なデータを提供するために、既往の地震強度パラメーターの統計回帰式の代表例との比較を、最大速度と最大加速度について各々 Fig. 5 と Fig. 7 に示した。最大加速度に与える h_F の効果は Fig. 4 の結果に比べて小さく、周波数の小さい地震動ほど距離による減衰がわずかに小さい結果を得ている。強震記録のデータセットの相違によって $\Delta \approx 40 \text{ km}$ 以上で、後藤らの結果は主に米国西海岸の地震に基づく他の推定最大値よりも大きい。Trifunac の結果はデータの取り扱いと予測に問題を残していることがわかる。本結果は Robinson の断層震源理論に基づく Mohammadi らの予測の平均像に類似しており、震源の指標を明確に与えている。San Andreas 断層に代表される横すべりの地震生起を反映して、経験式と本結果の strike 成分の差が小さいのは妥当であろう。上記点震源基本要素法の議論は、さらに断層面全体の Multiple shock に活用できよう。

References 1) Hudson, J.A.: A quantitative evaluation of seismic signals at teleseismic distances, Geophys. J. R. astr. Soc., Vol. 18, pp. 233-249, pp. 353-370, 1969. 2) Haskell, N.A.: Radiation pattern of surface waves from point sources in a multi-layered medium, BSSA, Vol. 54, No. 1, pp. 377-393, 1964.

