

徳島大学工学部 正員 沢田 勉
高松組 安宅秀夫

1. まえがき 近年、断層モデルによる理論地震動を工学の分野にも応用しようとする研究がいくつかなされている。断層モデルの代表的なものとして、Haskellにより提案された矩形一様ずれモデル²⁾とAkiらにより提案されたBarrierモデル³⁾がある。前者は断層面の変位ずれに着目して地震動波形を説明するものであり、主に長周期地震波の解析に用いられる。これに対し後者は断層面の応力降下に着目して短周期成分の発現を図るために考案されたモデルである。これら両モデルによる理論地震動を工学的に用いる場合には、両者の適用性と差異を明確にしておく必要がある。本報告の目的は、両モデルの特徴と差異を明らかにすることである。

2. 理論地震動の作成方法 断層モデルにより理論地震動を作成するためには、まず震源場の条件を満足するように断層面を多数の要素断層に分割する。ただし、要素断層の形状は、HaskellモデルおよびBarrierモデルに対しそれぞれ矩形および円形である。断層面(長さ L 、幅 W)を $M \times N$ 等分すると、任意の (j, k) 要素から射出される要素変位波の n 方向成分 $u_{n,jk}(x, t)$ は次式で表される。

$$u_{n,jk}(x, t) = A \iint_S \dot{D}(x, d, t - r/\alpha) dS + B \iint_S \dot{D}(x, d, t - r/\beta) dS \quad (1)$$

ここで、 $A, B = P$ 波、 S 波の放射特性を表す係数、 x = 要素断層の座標、 d = 震源から要素断層までの距離、 r = 要素断層と観測点の距離、 $\alpha, \beta = P$ 波速度、 S 波速度、 x = 観測点の位置座標である。また、 $D(\cdot)$ は断層面のずれを表す変位時間関数である。式(1)に含まれる積分項 $I = \iint_S \dot{D} dS$ は要素変位波の形状を決定する関数であり、Haskellモデル、Barrierモデルにおいてそれぞれ次のようになる。

$$(a) \text{ Haskellモデル} \quad I = \ell w \{ D(t - d/V_R - r_0/c) - D(t - d/V_R - r_0/c - t_c) \} / t_c \quad (2)$$

ここで、 ℓ, w = 要素の寸法、 r_0 = 要素点と観測点の距離、 V_R = 破壊伝播速度、 $t_c = \ell(1 - V_R \cos \theta/c)/V_R$ は要素の長さ方向の走時差である。式(2)を式(1)に代入すると要素変位波が得られる。Fig. 1(a)は、変位関数 $D(\cdot)$ の立上り部を2次関数としたときの要素波の形状を変位、速度、加速度について示したものである。立上り部に2次関数を用いたのは、後述のBarrierモデルと同様に終端位相(Stopping phase)を生じさせるためである。図中の $a_{\max}, v_{\max}, d_{\max}$ および t_d は要素波の最大振幅および継続時間であり、次のようになる。ただし、 S 波のみを対象とし、 $t_c < t$ 、 t = 立上り時間、の場合について示す。

$$a_{\max} = 2BD_0 \ell w \delta(t - t_p) / t_c, \quad v_{\max} = 2BD_0 \ell w / t_c, \quad d_{\max} = BD_0 \ell w (2t - t_c) / t_c^2$$

$$t_d = t + t_c \quad (3) \quad \text{ここで、} D_0 = \text{平均ずれ量、} t_p \text{ は}$$

加速度波にデルタ関数が現われる時刻、 t = 立上り時間、である。

(b) Barrierモデル

$$I = \begin{cases} 2\pi K V_R \rho_0^2 y^2 / (1 - k^2)^2, & 0 < y < 1 - k \\ \pi K V_R \rho_0^2 \{ 1/k - y^2/k(1+k)^2 \}, & 1 - k < y < 1 + k \end{cases} \quad (4)$$

ここで、 $k = V_R \sin \theta / c$ 、 θ = 断層面に垂直な座標軸に対する観測点の方位角、 $y = V_R(t - r/c)/\rho_0$ 、 $K = 24\Delta\sigma^2 / 7\pi\mu$ 、 ρ_0 = 要素の半径、 $\Delta\sigma$ = 応力降下量、 μ = 媒質の弾性係数、である。Fig. 1(b)にBarrierモデルの要素波の形状を示す。要素波の最大振幅および継続時間は次のようになる。 $a_{\max} = 24BV_R^2\Delta\sigma^2\rho_0\delta(t - t_1)/7\mu k(1 - k)$ 、 $v_{\max} = 96BV_R^2\Delta\sigma^2\rho_0/7\mu(1 - k)(1 + k)$ 、 $d_{\max} = 48BV_R\Delta\sigma^2\rho_0^2/7\mu(1 + k)^2$ 、 $t_d = \rho_0(1 + k)/V_R$ (5) ここで、 t_1 は最初のデルタ関

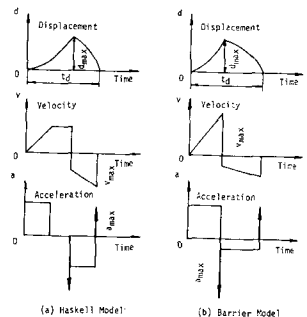


Fig.1 Element waves

数が現われる時刻である。以上のようにして得られる要素波を時間領域で重ね合わせることにより理論地震動が作成される。なお、このようにして得られる地震動の加速度波にはデルタ関数が現われるため、 A_{max} は上限振動数を設定したが、本報告では伝播経路のQ値を考慮することにより加速度波の振幅を有限にした。

3. 両モデルによる理論地震動の比較

比較の対象とした突地震動は1978年宮城県沖地震の宮古の記録を重複反射法により基盤まで戻した波形である (Fig. 2)。Haskell モデルおよび Barrier モデルによる理論地震動も比較する前に、要素波の特性について述べる。この地震の断層面を 50×20 等分したときの要素波の最大振幅および継続時間を式 (3)、式 (5) から求めると次のようになる。ただし、断層パラメータとしては、 $V_R = 3 \text{ km/s}$ 、 $\tau = 2.7 \text{ sec}$ 、 $\Delta\sigma = 70 \text{ Bar}$ 、 $\mu = 3.7 \times 10^{11} \text{ dyne/cm}^2$ 、を用い、方位係数Bおよび $S(\cdot)$ は省略した。また、Barrier モデルでは式 (5) に $4/\pi$ を乗じて最大振幅を求め、平均応力降下量と局所応力降下量を調整した。³⁾

	A_{max}	V_{max}	d_{max}	$t_d(\text{sec})$
Haskell モデル	0.52	0.52	0.051	2.8
Barrier モデル	0.58	0.58	0.015	0.43

これより、両モデルの A_{max} 、 V_{max} はほぼ等しいが、Barrier モデルはHaskell モデルに比べて変位振幅が小さくかつ継続時間が短いことがわかる。次に、破壊伝播速度 V_R を種々変化させ両モデルより理論地震動を作成し、最大振幅および全パワーを求め比較した。Fig. 3には、 V_R と加速度、速度、変位の最大振幅 (A_{max} 、 V_{max} 、 D_{max})、および全パワーの平方根の関係を示した。図より、両モデルの加速度振幅はほぼ等しいが、速度および変位振幅はBarrier モデルの方がかなり小さいことがわかる。これらを突地震動 (図中の一点鎖線) と比べると、加速度振幅は突地震動より小さいが、Haskell モデルの速度および変位振幅は突地震動のそれに近くなっている。Fig. 4および5には、理論地震動の波形と加速度フーリエスペクトルを示したが、突地震動と比べて継続時間が極端に短くなっている。

4. おわりに 解析結果より、Barrier モデルは速度および変位振幅も過小評価することになった。本解析で用いた震度記録は運輸省港湾技術研究所より公表された記録に対し文献4) による補正も施したものであることを付記して、関係者の方々に謝意を表します。

参考文献 (1) 山田,野田;土木学会論文集, No. 329, 1982. (2) Haskell; BSSA, Vol. 59, 1969. (3) Aki; BSSA, Vol. 73, No. 3, 1983. (4) 後藤, 亀田, 村戸, 今西;土木学会論文集, No. 277, 1978. (5) 土田, 倉田, 榎藤; 港湾技研資料, No. 80, 1969.

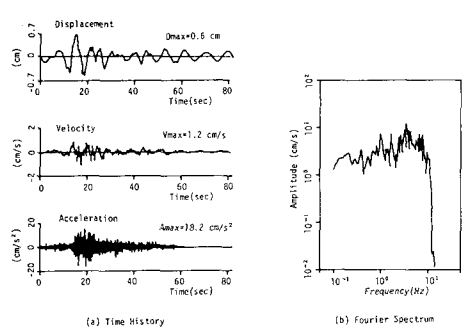


Fig.2 Observed Wave

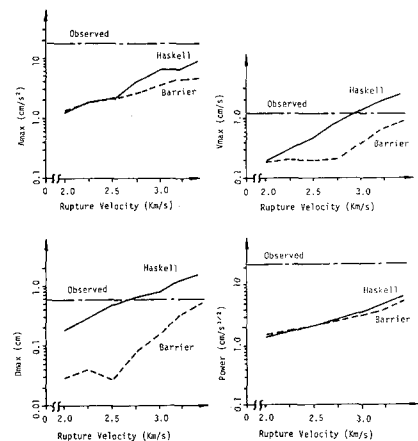


Fig.3 Relation between Rupture Velocity and Intensity Parameters of Theoretical Wave

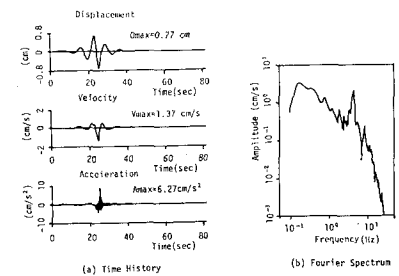


Fig.4 Theoretical Wave (Haskell Model)

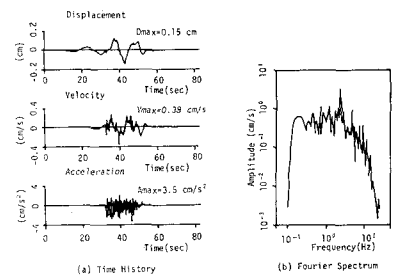


Fig.5 Theoretical Wave (Barrier Model)