

地震断層理論に基づく震源近傍での地盤変形の定量的な評価

京都大学工学部 正員 山田 善一

京都大学工学部 正員 野田 茂

運輸省 正員 ○久脇 崇

1. まえがき わが国ではこれまでに99の地震記録が得られているが、工学的に最も関心の高い震央距離の短い巨大地震動の記録は非常に少ない。このような地震動のパラメーターについては外挿によって推定しているのが現状である。そこで本研究では、近年地震学の分野において発達してきた断層震源モデルを用いて1979年Imperial Valley地震時の震源近傍における地盤変動の推定を行ない、Array観測記録との比較検討を行なった。

2. 点震源から励起されたSH波動 本研究では特にSH波に着目し、理論地震動の計算を行なった。前論文で用いた波数積分法を適用すれば、99層地盤中の点震源によって励起されるSH波の速度スペクトル $\dot{U}_0$ は次式で表わされる。

$$\dot{U}_0(r, \theta, \omega) = S_v(\omega) \sum_{n=0}^{\infty} \int_0^{\infty} dk \left\{ \left(\frac{g_0^{nc}}{F_1} \sin n\theta - \frac{g_0^{ns}}{F_1} \cos n\theta \right) k J_n(kr) / F_1 - \frac{n}{r} \left(\frac{g_0^{nc}}{F_1} \sin n\theta - \frac{g_0^{ns}}{F_1} \cos n\theta \right) J_n(kr) / F_1 \right\} \quad (1)$$

ここに r, θ, z, ω, k は各々震央距離、方位角、地盤深さ、振動数、波数である。また、 g_0^{nc}, g_0^{ns}, F_1 は震源の深さや物性値およびダブルカップルの働く方向によって決まる特性関数、 $J_n(\cdot)$ はベッセル関数である。震源スペクトル $S_v(\omega)$ としては、前論文¹⁾と同様の式を用いた。

3. 物動震源モデル 断層震源は通常ある破壊速度をもって破壊が進行する物動震源とみなせる場合が多い。この現象は一種のドップラー効果をひきおこし、特に観測点が断層近傍にある場合には無視できないものである。そこで断層面全体を $N \times N$ 個の矩形要素に分割し、各要素の中心にある点震源から励起される波動を時間軸上でずらして重ね合わせる物動震源モデルを考えた。ここでは発震点から断層のすべての方向へ等しい速度で同心円状に破壊が伝播する一様な円状破壊伝播を仮定し、全要素の断層パラメーターは等しくした。発震点から要素 (i, j) へ破壊が伝播するまでの時間遅れを τ_{ij} 、各要素からみた観測点の方向を θ_{ij} とするとき、観測点の x, y 方向の速度波形 $\dot{u}_x(t), \dot{u}_y(t)$ は次式で与えられる。

$$\begin{cases} \dot{u}_x(t) \\ \dot{u}_y(t) \end{cases} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \sum_{i,j} \dot{U}_{0ij}(\omega) \cdot \exp(-i\omega \tau_{ij}) \begin{cases} \sin \theta_{ij} \\ \cos \theta_{ij} \end{cases} \cdot \exp(i\omega t) d\omega \quad i: \text{虚数単位} \quad (2)$$

また、上式は破壊が不規則な面状破壊にも応用できる。

4. Scaling lawによる断層パラメーターの決定 物動性震源を考慮する際に断層全体をいくつかの要素に分割した。各要素の断層パラメーターを決定するためには各パラメーター間の相似則を検討する必要がある。村松・入倉²⁾は、41個の地震動に最近の日本の地震データを加えて、式(3)による相似則を提案している。ただし、添字の a は各要素のパラメーターを示す。

$$\frac{L}{L_a} = \frac{W}{W_a} = \left(\frac{M_0}{M_{0a}} \right)^{1/3} = \text{const.} \approx \pi \quad (3)$$

上式によって要素の長さ L 、幅 W と地震モーメント M_0 について相似則を考慮した。

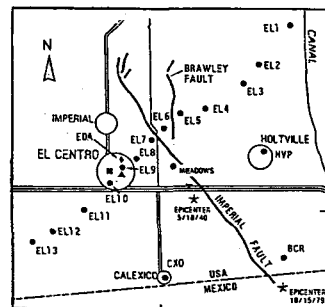


図-1 Imperial ValleyのArray観測地点

1979年 Imperial Valley 地震では $L=35\text{ km}$, $W=10\text{ km}$
 $M_0=5.0 \times 10^{25}\text{ dyne-cm}$, 震源深さ 10.5 km と推定され、
 ほぼ完全な垂直右横ずれ断層であった。本計算
 例では 3×3 ($n=3$) の要素に分割したので、 $L_a=11.7\text{ km}$
 $W_a=3.3\text{ km}$, $M_{0a}=1.85 \times 10^{24}\text{ dyne-cm}$ となる。また、rise
 time では 4.0 sec 、破壊伝播速度 v_f は 2.5 km/sec とした。

5. 計算結果および Array 観測との比較・考察

図-1 は Imperial Valley 付近の Array 観測の配置図である。地下構造は Olson, Apse³⁾ によって離散化されたものをを用いた。図-2 には本計算結果と実測波形を EL3 と EL6 地点で比較した。SH 波の最も卓越する断層直角方向 $N230^\circ E$ 成分の速度・変位波形と最大値を示している。モデルが単純なわりに良い結果が得られている。特に断層のごく近傍で良く一致しているが、これは断層近傍の $N230^\circ E$ 成分が SH 波に大きく支配されているためである。断層から離れた地点では計算波形のピークが実測波形と比べて遅れて到着している。これは実際の M_0 分布が断層面上で一様でなく、他のパラメーターも不規則なことに起因すると思われる。図-3 は速度・変位の最大値分布を実測値と比較したものである。計算値は断層を境にほぼ対称となっているが、実測値は非対称である。この原因としては実際の断層がやや傾斜していること、地下構造が不均一なことが考えられる。同図には Hartzell と Helmburger⁴⁾ が逆問題によって推定した断層の食い違い分布から計算した変位分布も併記した。この地震は局部的に大きな3つのくい違いによる

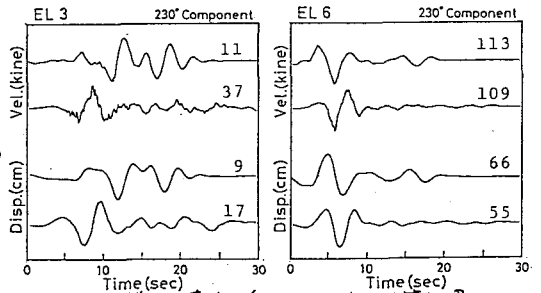


図-2 一様破壊伝播モデルによる計算結果
(上: 計算, 下: 実測)

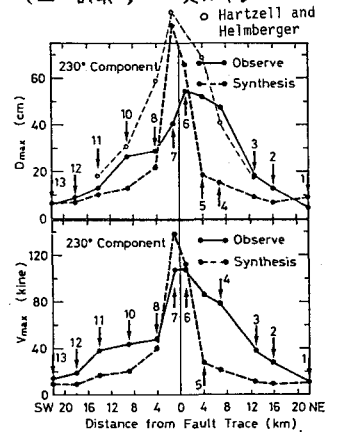


図-3 変位・速度の最大値分布

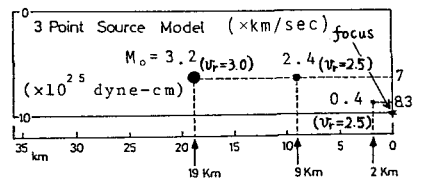


図-4 3点震源モデル

ことがわかってるので、次に図-4 に示すような点震源モデルを考えた。図-5 が計算結果である。図-2 と比べて波形の改善が見られる。

6. 結論 (1) 簡単な拘動性震源によって理論波形を求めた結果、断層近傍の速度・変位成分については比較的良く実測波形を再現できた。とくに断層のごく近傍で Array 観測とよく一致した。

(2) 波形の再現にあたり、rise time および地震モーメント分布の影響がとくに大きいことがわかった。

参考文献 1) 山田・野田; 土木学会論文報告集, 第323号, 1982年7月。 2) 村松・入倉; 自然災害科学, Vol. 1, No. 1, 1982。 3) Olson, A. H., and Apse, R. J.: BSSA, Vol. 72, No. 6, 1982。 4) Hartzell, S., and Helmburger, D. V.: BSSA, Vol. 72, No. 2, 1982。

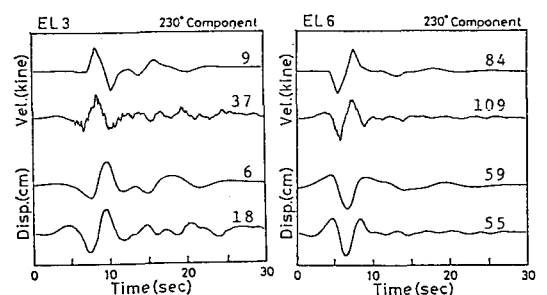


図-5 3点震源モデルの計算結果
(上: 計算, 下: 実測)