

I - B 524

断層近傍の地震動および相対変位地震動の特性

(株)クボタ建設(元宮崎大学大学院前期博士課程学生)
宮崎大学工学部正員 黒川 丈史
正員 原田 隆典

1. まえがき 1995年兵庫県南部地震(M7.2)による1G近くの大加速度を持つ長周期(1-2秒)パルスの揺れに多くの技術者が驚かされたように、このような揺れに関する概略的知識はこれまでの耐震工学の分野では乏しかった。本研究では、内陸地震の典型的横ずれ断層を想定した運動学的断層モデルから求められる合成波形により断層近傍の速度波形並びに、従来全く観測記録のない地盤歪み、傾き、回転などの相対変位地震動の特性について調べる。

2. 断層モデルと相対変位地震動の定義 断層長さ方向に x 軸を取った直交座標系での地震波動場の解析解を用いて¹⁾、表-1のような震源断層パラメーターを持つ地表面に垂直な横ずれ断層近傍の地震動と相対変位地震動を計算した。断層破壊は断層の端から一様に断層長さ方向に2.2km/sの速度で伝わるとした。地盤条件としては、半無限地盤中にある横ずれ断層の上に、厚さ1.5kmの表層地盤を考えている。地盤の物性値は；表層地盤のP波とS波速度および密度とQ値=2.8, 1.6km/sおよび2.3t/m³, 150, 半無限地盤のP波とS波速度および密度とQ値=6.0, 3.5km/sおよび2.8t/m³, 400, を仮定している。図-1は断層近傍の地表面観測点(計算点)と垂直な横ずれ断層の地表面への投影位置(AからLの所)並びに、断層破壊方向を示している。

本研究で計算した地表面上の相対変位地震動の定義は、以下のようなものである。

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x} (x \text{ 軸方向の軸歪み}), \gamma_y = \frac{\partial v}{\partial x} (y \text{ 軸方向の単純せん断歪み}), \omega_y = \frac{\partial w}{\partial x} (y \text{ 軸回りの傾き}) \quad (1a)$$

$$\gamma_x = \frac{\partial u}{\partial y} (x \text{ 軸方向の単純せん断歪み}), \varepsilon_{yy} = \frac{\partial v}{\partial y} (y \text{ 軸方向の軸歪み}), \omega_x = \frac{\partial w}{\partial y} (x \text{ 軸回りの傾き}) \quad (1b)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{1}{2}(\gamma_x + \gamma_y) (xy \text{ 平面のせん断歪み}), \omega_z = \frac{1}{2}(\gamma_y - \gamma_x) (z \text{ 軸回りの回転}), \varepsilon_D = \frac{1}{2}(\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy}) (xy \text{ 平面の粗密歪み}) \quad (1c)$$

上式の相対変位地震動は、線形弾性理論においてよく知られてので説明は省略するが、これらのうち ω_z はSH波のみによるせん断歪み、 ε_D はP-SV波による軸歪み、にそれぞれ対応するという事を注釈しておく。

3. 地震動速度波形と相対変位地震動の計算例 図-2は、地表面での速度の水平2成分の合成波形の最大値とその震動方向をプロットしたものである。図-2の実線は大振幅のパルスの波形が現れた大体の領域を示している(全波形は省略するが、図-4の波形を参照)²⁾。この図より、横ずれ断層近傍では断層直交方向の震動が卓越し、断層中央から破壊進行方向の終端にかけて大振幅のパルスの波形が現れ、断層からの距離とともに急激に振幅が小さくなる事がわかる。実線の内側と外側では、最大値の震動方向が逆転している。

図-3は、速度波形3成分および、2節の相対変位地震動波形9成分の各観測点での最大値の分布を示す。ただし、これら全ては断層の平均すべり量 D で基準化した値であり、さらに相対変位地震動は、これを 10^5 倍した値である。図-3の上段に示す速度波形の3成分の最大値分布から、繰り返しになるが、断層直交方向の速度振幅が圧倒的に大きく、断層方向と鉛直方向の速度振幅はその1/3程度である事がわかる。また、断層近傍の等振幅線が密になっており、断層から離れると速度振幅が急激に小さくなる事がわかる(図-2も参照)。一方、図-3の上から2段、3段、4段に示す相対変位地震動の等振幅線は、上段の速度振幅のものに比べると、あまり密になっておらず、断層から遠くにまで振幅が減少せずに伝わっているようである。ここで注目のことは、上段と2段に示す速度波形と変位波形の x 軸方向の微分で定義される $(\partial u/\partial x, \partial v/\partial x, \partial w/\partial x)$ の最大値分布がよく似ていることである。事実、図は省略するが、速度波形を断層破壊速度 $V_r=2.2\text{km/s}$ で割り、符号を逆転した波形は、変位波形の x 軸方向の微分から決まる相対変位地震動波形とほとんど一致している。また、 $(\partial u/\partial x)$ $(\partial w/\partial x)$ の最大値は、断層から2km程度離れた地域で生じていることも特徴である。さらに、図-3の下段に示す ω_z の最大値は2.6で ε_D の最大値0.6に比べ圧倒的に大きいため、2節で述べたようなことより、この計算例における地表面地震動ではSH波が支配的である事がわかる。

図-4は、図-1の白丸で示す断層破壊終了付近の9地点における速度波形3成分並びに、回転地震動波形3

成分 ($\omega_x, \omega_y, \omega_z$) 波形をプロットしたものである。この図から、速度波形や回転地震動波形は狭い領域内（約1.5km四方）でもかなり違っていることがわかる。このような速度波形や回転地震動波形が構造物の応答にどのように影響するのかについては、今後検討しなければならない。

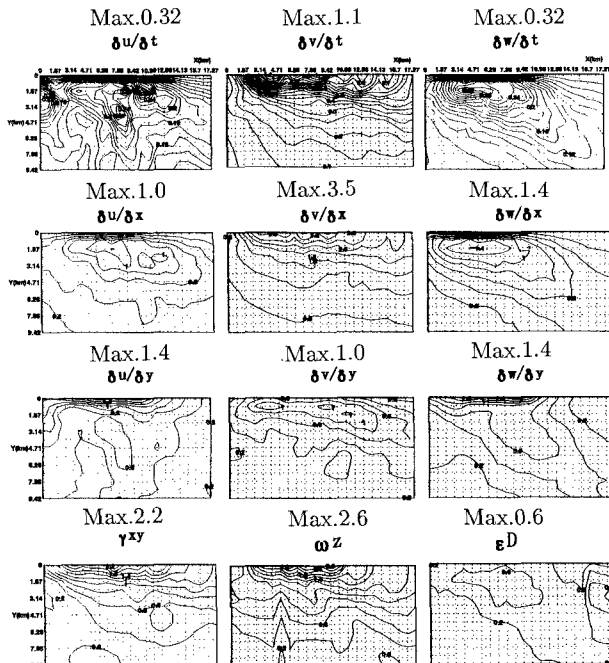
4.まとめ 本研究のまとめは、以下のようである。（1）横ずれ断層近傍では、断層直交方向の速度波形が卓越し、断層中央から破壊終了付近の断層最短距離にして約2.5kmの狭い領域に大振幅の長周期パルスの波形が現れる。（2）断層直交方向の振幅は、断層上で最も大きい、その振幅に比べると1/3程度となる断層方向と鉛直方向の振幅は、断層上では小さく断層から1から2km離れた領域で最大となる。（3）横ずれ断層近傍の地震動は、ほぼ断層の破壊速度で断層軸方向に伝播している。（4）地震動3成分並びに、従来全く観測記録が存在しない相対変位地震動9成分がどのように構造物や地中構造物の地震応答に影響するのか関しては、今後検討しなければならない。

参考文献 1) 原田隆典ほか(1999), 3次元直交座標系における波動場の解析解とその地震動波形作成への応用, 土木学会論文集, No.612/I-46, pp.99-108. 2) 原田隆典ほか(1998), 断層近傍の地震動特性と地盤増幅特性, 第10回日本地震工学シンポジウム論文集, 建築学会, Vol.1, pp.845-850.

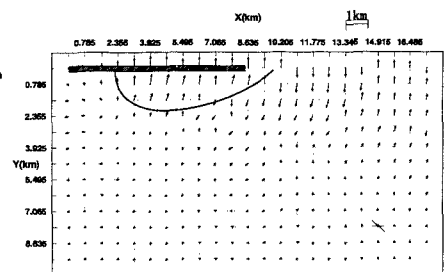
表－1 計算で用いた震源断層パラメータ

Seismic moment	$M_0 = 2.23 \times 10^{17} \text{ N} \cdot \text{m}$ ($2.23 \times 10^{24} \text{ dyne} \cdot \text{cm}$)
Rise Time	$\tau = 0.3 \text{ s}$
Length of Fault	$L = 8500 \text{ m}$
Width of Fault	$W = 8500 \text{ m}$
Velocity of Rupture	$v_r = 2200 \text{ m/s}$
Depth of Upper Fault	$z_{ao} = 0 \text{ m}$
Strike Angle	$\phi = 0^\circ$
Dip Angle	$\delta = 90^\circ$
Slip Angle	$\lambda = 0^\circ$

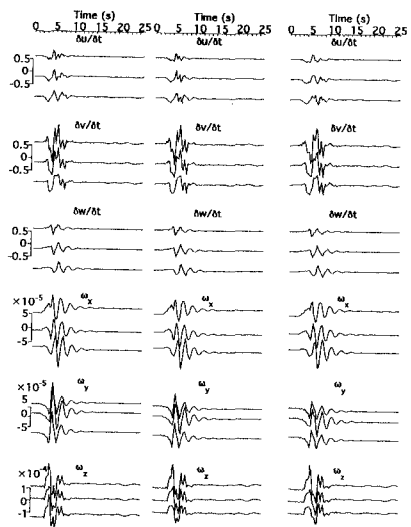
図－1 地表面観測点（計算点）と横ずれ断層投影位置



図－3 速度3成分および相対変位地震動9成分の最大値分布



図－2 水平2成分の合成速度波形の最大値とその方向の分布



図－4 図－1の白丸地点の速度3成分および回転地震動3成分波形