

I - B 287

断層近傍の強震動特性と地盤増幅特性の考察

宮崎大学工学部
 日本工営株式会社
 宮崎大学大学院前期博士課程学生

正員 原田 隆典
 正員 大角 恒雄
 学生員黒川 丈史

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地震動特性と表層地盤の増幅特性を検討し、断層近傍という言葉に対する定量的距離について考察した。

2. 運動学的断層モデルによる地震波動場の定式化と検証の概要

本研究では、図1に示すように断層長さ方向にx軸を取った直交座標系での地震波動場の解析解を求めた。断層上端の深さを z_{so} 、断層面の深さ方向への傾き角(dip angle)を δ とし、図1にType1、Type2と示すように断層長さ方向に一樣な破壊速度 v_r で破壊する2つの断層破壊伝播のタイプと、Type3、Type4と示す断層幅方向に一樣な破壊伝播をするタイプの合計4つの断層破壊伝播形式を想定した。断層面のすべり方向は、図1の手前側の断層面が断層長さ軸から半時計回りに取った方向 λ (slip directional angle)に $D/2$ すべり、奥側の断層面が λ と逆向きに $D/2$ すべるものとした。ここに、 D は断層面の両側でのすべり量(不連続変位量)である。本研究では、断層のすべり時間関数は、立ち上がり時間(rise time) τ を持つ傾斜関数を用いた。

3重フーリエ変換を用いて振動数-波数領域 $(\omega-\kappa)$ における地震波動場の解析解を導いた。解析解は無限地盤および半無限地盤に対して求めた。表層地盤の影響は、図2のような水平成層地盤を仮定して、次式の剛性方程式を解いて求めた。

$$K(\kappa, \omega)u_0(\kappa, \omega) = q(\kappa, \omega) \quad (1)$$

ここに、 $\kappa = \sqrt{\kappa_x^2 + \kappa_y^2}$ である。

地表の任意地点 $x = (x, y)$ の変位時刻歴 $u(x, z_0, t)$ は、次式の3重フーリエ変換によって計算した。

$$u(x, z_0, t) = \frac{1}{8\pi^3} \iiint u(\kappa, z_0, \omega) e^{i[\kappa \cdot x - \omega t]} d\kappa d\omega \quad (2)$$

上式の3重フーリエ変換は、次式のように振動数-波数領域を離散化した離散化フーリエ変換とFFTにより効率的に実行した。

$$\Delta\omega = \frac{\omega_{max}}{N_\omega}, \Delta\kappa_x = \frac{\kappa_{xmax}}{N_\kappa}, \Delta\kappa_y = \frac{\kappa_{ymax}}{N_\kappa}, \Delta t = \frac{2\pi}{2\omega_{max}}, \Delta x = \frac{2\pi}{2\kappa_{xmax}}, \Delta y = \frac{2\pi}{2\kappa_{ymax}} \quad (3)$$

以上の定式化と解析解および計算プログラムの検証のために、無限地盤中の長方形断層がx軸方向に一樣な破壊をした時の断層面上の断層中央点の変位波形を計算し、Madariaga(1978)の厳密解と比較した。また半無限地盤や表層地盤の地表面変位波形についても既存の数値計算例と比較して本研究の定式化や解析解および計算プログラムの確認をした。

3. 断層近傍の強震動特性並びに地盤増幅特性

(1). 断層近傍の強震動特性

断層近傍の強震動特性の把握を目的として、表1aに示すような断層パラメータを有する横ずれ断層を用いて図3に示す地表面観測点における速度波形を計算した。地盤構造としては、断層を含む半無限地盤上に1層の表層地盤を考慮した。表層地盤の厚さ=1.5(km)、表層のP波速度=2.8(km/s)、S波速度=1.6(km/s)、密度=2.3(t/m³)、Q値=150、半無限地盤のP波速度=6.0(km/s)、S波速度=3.5(km/s)、密度=2.8(t/m³)、Q値=400を仮定した。表1bは、離散化パラメータを示す。断層からの最短距離によってどのように減衰するかをプロットすると図4のようになる。この図には、その他の成分 $\dot{u}(t)/D$ 、 $\dot{w}(t)/D$ の距離減衰もプロットしている。

(2). 断層近傍の地盤増幅特性

次に断層近傍の地盤増幅特性を把握することを目的に、表層地盤（厚さ1.5km）が存在する場合と、存在しない場合（半無限地盤表面）の2つの地盤構造を想定し、各場合毎に図3に示す地表面観測点の速度波形を計算した。各観測点毎に表層地盤と半無限地盤における地表面最大速度の比をとり、これを地盤増幅率とした。図8はこの地盤増幅率と断層からの最短距離の関係を各成分毎にプロットしたものである。最短距離約2.5kmまでの増幅率は0.2-5.6の間にあり各成分毎に大きくばらついている。しかし最短距離が2.5kmよりも遠くの観測点では、各成分毎にほぼ一定の値に収束している。したがって最短距離約2.5kmよりも断層に近い領域では、地盤増幅率が地盤特性のみならず断層破壊伝播特性に強く影響されているものと解釈できる。

5. まとめ

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地震動特性と表層地盤の増幅特性を検討し、断層近傍という言葉に対する定量的距離について考察した。その結果、断層から最短距離約2.5kmの領域内では大加速度を持つ長周期パルスの揺れが出現する可能性が高いこと並びに、断層近傍における表層地盤の増幅特性は断層の破壊伝播特性の作用によりかなり複雑であることがわかった。これらの結果は横ずれ断層を想定した特定の大きさの断層モデルから得られたものであるもので一般化するまでには至っていない。今後、どの程度の距離の領域を断層近傍というのかについての検討が必要である。

参考文献

- 1)Madariaga, R. (1978), The dynamic field of Haskell's rectangular dislocation fault model, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 68, pp.869-887.
- 2)Ohsumi,T., Harada,T., and Okukura,H. (1998), Analytical solutions of wave fields in 3-dimensional Cartesian coordinate and their application to synthesis of seismic ground motions, *Journal of Structural Mechanics and Earthquake Engineering*,JSCE (submitted).

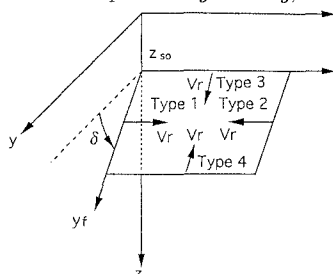


Fig.1 座標軸と断層破壊伝播方向の4タイプ

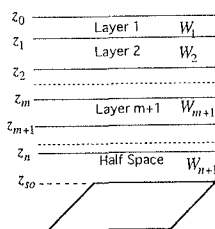


Fig.2 断層を含む半無限地盤上の水平成層地盤

表1a 断層パラメータ

Seismic Moment	$M_0 = 2.230 \times 10^{10} \text{ N} \cdot \text{m}$ ($2.230 \times 10^{24} \text{ dyne} \cdot \text{cm}$)
Rise Time of the Ramp Function	$\tau = 0.3 \text{ sec}$
Length of Fault	$L = 8500 \text{ m}$
Width of Fault	$W = 8500 \text{ m}$
Velocity of Rupture	$v_r = 2200 \text{ m/sec}$
Depth of Upper Edge of Fault	$z_{so} = 0 \text{ m}$
Strike Angle	$\phi = 0^\circ$
Dip Angle	$\delta = 90^\circ$
Slip Angle	$\lambda = 0^\circ$
Slip Type	Type i

表1b 離散化パラメータ

Cutoff frequency $\omega_{\max}(\text{rad/sec})$	12.0
Cutoff x-wavenumber $\kappa_{x\max}(\text{rad/m})$	$\pm 4.0 \times 10^{-3}$
Cutoff y-wavenumber $\kappa_{y\max}(\text{rad/m})$	$\pm 4.0 \times 10^{-3}$
N_ω	256
N_κ	256
$\Delta t(\text{sec})$	0.262
$\Delta x(\text{m})$	785
$\Delta y(\text{m})$	785

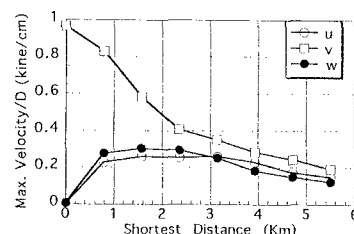


Fig.4 各成分毎の最大速度の距離減衰特性

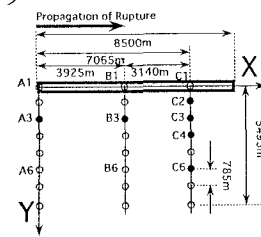


Fig.3 断層と地表面観測点の座標

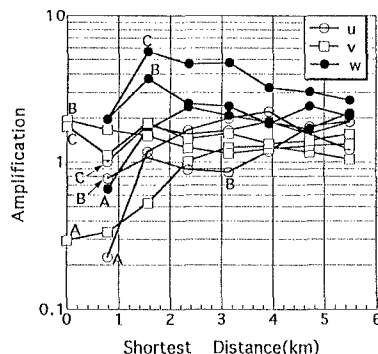


Fig.5 地盤増幅率と断層最短距離