

京都大学工学部 正 員 丹羽 義次  
 京都大学工学部 正 員 廣瀬 壮一  
 ○京都大学大学院 学生員 西岡 巖

## 1 はじめに

地震列島と呼ばれる日本において、地震波が地盤に与える影響を知ることは、防災上、都市計画、又、耐震設計上にも重要な意義のあることである。ここで震源が遠距離にある場合は、入射波を平面波として近似でき、数多くの解析がなされているが、近距離地震を考えた場合は、入射波は平面波とはならず、発震機構から考えた球面波を考える必要がある。また従来の近距離地震動の解析は、半無限均質、あるいは夕層地盤についてなされているにすぎず、その結果は高周波領域においては、実際の地震動特性と必ずしも一致していない。これは地表面を半無限境界と仮定したことによると考えられ、その意味においても不整形地震に対する解析を行なう必要性が生じると思われる。このような背景の下に本研究においては、地震の発震機構とその伝播経路を考慮した不整形地震の地表面における近距離地震動特性を、積分方程式法を用いて、周波数領域並びに時間領域において解析するものである。

## 2 周波数領域における解析

積分方程式の定式化 まずFig.1に示すような等方均質な線形弾性体である外部領域 $D_e$ に、地震波が入射した場合の積分方程式は、周波数領域において次式のように定式化できる。 $\frac{1}{2}U^I(\mathbf{x}) = U^I(\mathbf{x}) + \int_{\partial D_e} G(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \mathbf{T}(\mathbf{y}) - \mathbf{T}(\mathbf{y}, \mathbf{x}) U^I(\mathbf{y}) dS_{\mathbf{y}} \quad (\mathbf{y} \in \partial D_e) \quad \dots\dots ①$

ここで $U^I$ は、入射波による変位 $U^I$ と境界があるために生じる散乱波による変位との和Fig.1 境界 $\partial D_e$ と外部領域 $D_e$ を表わし、 $\mathbf{T}$ は $U^I$ による応力ベクトルを表わす。又、 $G$ ,  $\mathbf{T}$ はそれぞれ一重層及び二重層核を表わす。上式を用いることにより、入射波による変位を与えれば、境界条件  $U^I(\mathbf{x}) = P(\mathbf{x}) \quad (\mathbf{x} \in \partial D_e)$ ,  $\mathbf{T}(\mathbf{x}) = Q(\mathbf{x}) \quad (\mathbf{x} \in \partial D_e)$  の下で、未知量の変位 $U^I(\mathbf{x}) \quad (\mathbf{x} \in D_e)$ , 及び応力ベクトル $\mathbf{T}(\mathbf{x}) \quad (\mathbf{x} \in D_e)$  を求めることができる。但し $\partial D_e$ 及び $\partial D_e$ はそれぞれ、変位及び応力ベクトルの与えられている境界であり、 $\partial D_e \cup \partial D_e = \partial D_e$  である。

2) 入射波の評価 地震の発震機構としては一般に、dislocation と呼ばれる変位の不連続が生じるmodelが考えられる。本研究では近距離地震動を調べるために、dislocationがある一点において生じるpoint dislocation model 及びdislocation がある面において連続して生じるmoving dislocation model を用い、これにより、起こる変位を①式の $U^I$ とみなして、地表面上での変位を求めるものである。まず無限弾性体 $D_e$ 内に断面 $\Sigma$ があると、応力の不連続は無いと仮定する。断面 $\Sigma$ においての変位の不連続を $[U(\mathbf{x})]$ として表わすと、 $U^I(\mathbf{x})$ は周波数領域において、 $U^I(\mathbf{x}) = \int_{\Sigma} \mathbf{T}(\mathbf{y}, \mathbf{x}) [U(\mathbf{y})] dS_{\mathbf{y}} \quad \dots\dots ②$  として表わせる。従って②式により、無限弾性体中の断面 $\Sigma$ 上の変位の不連続 $[U(\mathbf{x})]$ が生じた時の任意の点における変位 $U^I(\mathbf{x})$ を、周波数領域において評価することができる。

(a) point dislocation model point dislocation model は一般性を失わずに、Fig.2のように断面 $\Sigma$ が原点にあるものとし、 $X_1$ 軸と $\theta$ の角度をなすものとする。最終的な変位の不連続を $aU$ とし、立ち上がり時間関数にHeaviside関数を用いると、 $[U(\mathbf{x})]$ は、 $[U(\mathbf{x})] = aU \delta(\mathbf{x}) \cdot Q(V.P. \pm \pi \delta(\mathbf{x})) \quad \dots\dots ③$  として表わせる。ここでは $\delta$ はDiracのデルタ、V.P.は主値、 $\mathbf{Q}$ は変位の不連続方向の単位ベクトルを表わす。せん断破壊によるdislocationの場合の $\mathbf{Q}$ は断面に平行、引張り破壊によるdislocationの場合の $\mathbf{Q}$ は、断面と垂直となる。

(b) moving dislocation model moving dislocation model は、断面を $N$ 個の小要素に分割して、各要素内におけるpoint dislocationの重ね合わせと等価なものと考えることができる。そこで本研究においては、Fig.3に示す

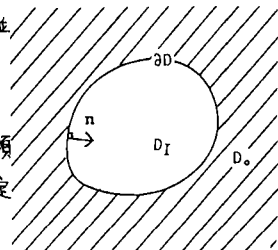
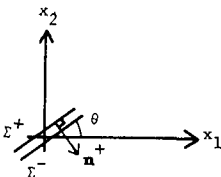


Fig.2 断面 $\Sigma$ 上における変位不連続ベクトル $\mathbf{Q}$



ように、断層面を平面とし、一定の大きさ $aU$ の変位の不連続が $\theta$ 方向に長さ $a$ だけ、一定速度 $v$ で進行していくと仮定する。但し立ち上がり時間関数をHeaviside関数とする。 $n$ 個目のpoint dislocationの起こる位置ベクトルを $x^e$ 、原点からの距離を $d^n$ として表わすと、 $[U(u)] = \sum_{e=1}^N aU \cdot \delta(x-x^e) e^{i\frac{e\omega}{v}} (v \cdot P \frac{\omega}{\omega_0} + \pi \delta(\omega)) \dots \textcircled{4}$  として表わせる。

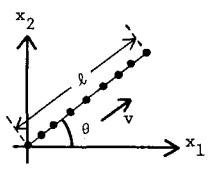


Fig. 3 point dislocationの重ね合わせによる moving dislocation model

3 時間領域における解析

式④より、前節で述べた入射波が到達した時の、周波数領域における境界面上での変位を求めることができる。そこでその解析結果を、FFTを用いて逆フーリエ変換することにより、時間領域における変位、即ち非定常解を求めることができる。

4 数値解析例

数値解析を行うにあたり、考え得るパラメーターに次のようなものがある。即ち解析領域(時間及び周波数)、不整形の形状、破壊速度、破壊方向、断層面の位置及び長さ、破壊形式(point及びmoving dislocation)、破壊機構(せん断及び引張り破壊)、地盤条件、方位の立ち上がり関数などである。ここでは不整形の形状及び、破壊方向に注目し、考察することにする。そこで、せん断破壊によるmoving dislocation model

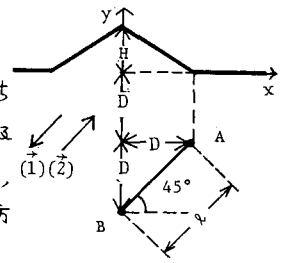


Fig. 4 解析モデル

の周波数領域における数値解析例を示し、地盤の形状としてFig.4のようなmodelを考える。破壊速度は横波速度の0.5倍、ポアソン比は0.25、波数は10.0Dとした。ここで不整形の影響を考えるためにFig.5, Fig.6は $H=0.0$ 、Fig.7は $H=0.4D$ とし、破壊方向の影響を考えるためにFig.5は $\vec{v}$ 方向、Fig.6, Fig.7は $\vec{v}$ 方向とする。グラフは、横軸にx座標をDで無次元化したもの、縦軸に地表面上での垂直及び水平方向の変位をと、たものである。まずFig.5とFig.6を比較すれば、変位は破壊の進行方向側で大きく表われており、特に破壊方向線上の点では大きな変位を示すことがわかる。これはFig.8に示すmoving dislocationのradiation patternからわかるように、破壊の進行方向側において大きな影響を与えるためである。特に10.0Dという高周波領域においては、Fig.8(b)に示すP波の影響が卓越するのである。次にFig.6とFig.7を比較すると、横軸が正の領域、即ち山の右側においては不整形の影響はほとんど見られないが、左側においては影響が大きく表われていることがわかる。その他のパラメーターが地表面上の変位に及ぼす影響及び、時間領域における解析結果については、当日詳細に発表する。

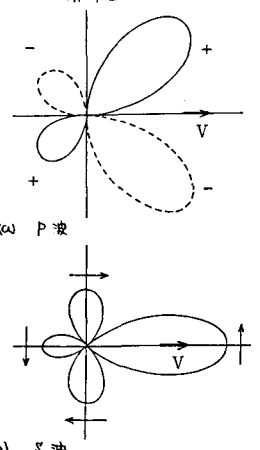


Fig. 8 radiation Pattern

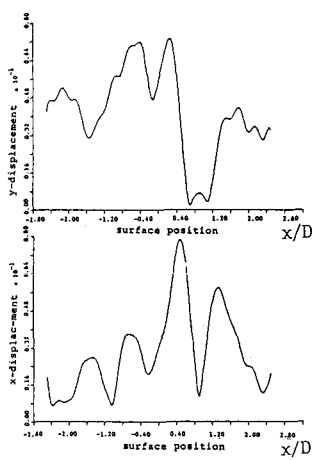


Fig. 5  $\vec{v}$ 方向で山のないmodelの変位図

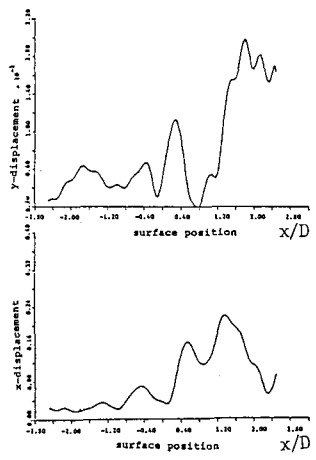


Fig. 6  $\vec{v}$ 方向で山のないmodelの変位図

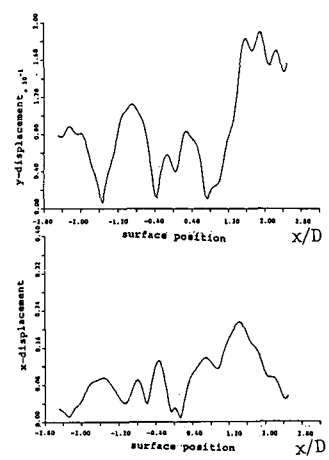


Fig. 7  $\vec{v}$ 方向で山のあるmodelの変位図