

不整形地盤の近距離地震動特性に関する考察

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があることである。ここで震源が遠距離にある場合は、入射地震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、入射地震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、あるいは多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盤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盤の地表面における近距離地震動特性を、積分方程式法により解析するものである。

2 積分方程式法による定式化

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_0 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。

$$\frac{1}{2} U^T(\gamma) = U^T(\gamma) + \int_{\partial D} G(\gamma, x) \cdot t^T(x) - \bar{T}^T(\gamma, x) \cdot U^T(x) dS_x \quad (\gamma \in \partial D) \quad \text{--- (1)}$$

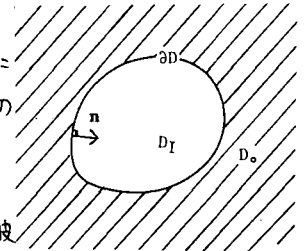
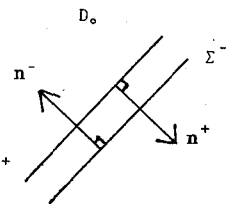
ここで U^T は、入射波による変位 U^T と境界があるために生じる散乱波による変位との和を表わし、 t^T は U^T による応力ベクトルを表わす。Fig.1 境界 ∂D と外部領域 D_0
 又、 G 、 $\bar{T}$ はそれぞれ一重層及び二重層核を表わす。上式を用いることにより、入射波による変位を与えれば、境界条件 $U^T(x) = P(x) \quad (x \in \partial D_u)$ 、 $t^T(x) = Q(x) \quad (x \in \partial D_t)$ の下で、未知量の変位 $U^T(x) \quad (x \in \partial D_t)$ 及び応力ベクトル $t^T(x) \quad (x \in \partial D_u)$ を求めることができる。但し ∂D_u 及び ∂D_t 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る。

3 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、 Σ^+ 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^T とみなして地表面上での変位をFig.2 断層面 Σ

求めるものである。まずFig.2のような無限弾性体 D_0 内に断層面 Σ があると、応力の不連続は無いと仮定する。断層面においての変位の不連続を $[U(x)]$ として表わすと、 U^T は周波

Fig.1 境界 ∂D と外部領域 D_0 Fig.2 断層面 Σ

数領域において、 $U^i(y) = \int_{-\infty}^{\infty} \hat{u}^i(x, y) \cdot [\hat{U}(w)] dw$ として表わされる。

上式により、無限弾性体中の断層面 Σ 上に変位の不連続 $[U]$ が生じた時の任意の点における変位 $U^i(y)$ を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.3のように断層面 Σ が原点にあるものとし、 x_1 軸と θ の角度をなすものとする。最終的な変位の不連続を ΔU 、立ち上がり時間関数を Heaviside 関数を用いると、 $[U(w)] = \Delta U \cdot \delta(w) \cdot \Omega(v.P \frac{z}{w} + \pi \delta(w))$ として表わ

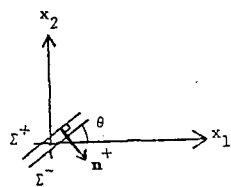


Fig. 3 断層面 Σ における単位方向ベクトル $n^\pm$

せる。ここでは δ はDiracのデルタ、 $v.P$ は主値、 Ω 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 Ω は断層面 Σ と平行、引張り破壊によるdislocationの Ω は垂直となる。

b) moving dislocation model moving dislocation modelは断層面を 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.4に示すように、断層面 Σ を平面とし、一定の大きさ ΔU の変位の不連続が θ 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はHeaviside関数とする。 i 個目のpoint dislocationの起こる位置ベクトルを x^i 、原点からの距離を x として表わすと、

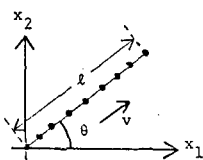


Fig. 4 Point dislocationの重ね合わせによるmoving dislocation

$[U(w)] = \sum_{i=0}^N \Delta U \cdot \delta(x - x^i) e^{i \frac{v}{w} (v.P \frac{z}{w} + \pi \delta(w))} \Omega$ として表わせる。

4 数値解析例

ここでは、せん断破壊によるmoving dislocation modelの数値解析例を示すこととし、地盤の形状としてFig.5のようなmodelを考える。Fig.6はFig.5解析モデル

$H=0.0$ 、Fig.7は $H=0.4D$ であり、共に破壊速度は横波速度の0.5倍、破壊方向は矢印方向、ポアソン比は0.25、波数は10.0Dのmodelの解析結果であり、横軸は x 座標を D で無次元化したもの、縦軸は x 軸及び

y 軸方向の変位をと、たものである。ここでFig.6とFig.7を比較すれば、横軸が正の領域即ち山の右側においては、不整形性の影響はほとんど見られないが、左側においては、影響が大きく現われていることがわかる。破壊速度、破壊方向などが及ぼす影響については、当日詳細に発表する。

<参考文献>

①Burridge and Knopoff, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 54, pp. 1875-1888, 1964.

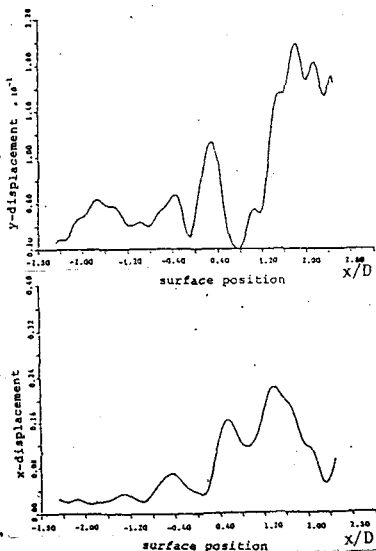


Fig. 6 山のないmodelの変位図

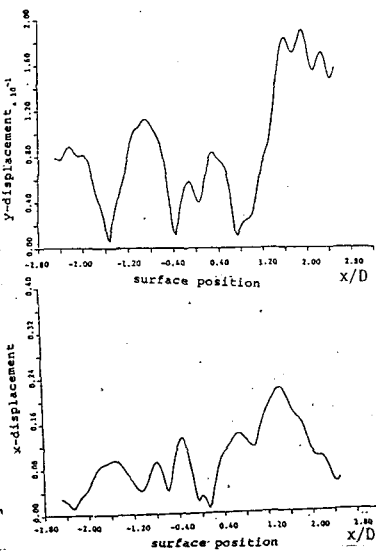


Fig. 7 山のあるmodelの変位図