

3次元直接境界要素法による震源断層—不整形地盤系の応答解析

宮崎大学大学院 学生員 黒田拓士 宮崎大学工学部 正員 原田隆典 大学院 岡田洋輔

1. まえがき

構造物の耐震設計用入力地震動の選定においては、観測記録に基づく経験的方法に加えて、震源断層の破壊・地震波伝播という物理過程を模擬した理論的方法を援用して、地震動特性への理解を深めておかねばならない。そこで本研究では、運動学的断層モデルから放射される地震波と3次元直接境界要素法を組み合わせ、震源断層—不整形地盤系の応答解析法を開発し、その解析例を通して地震動特性の適切な評価方法を探ることを目的として研究を進めた。

2. 解析方法と解析モデルの概要

図-1に示すように半無限地盤中に鉛直横ずれ断層があり、その上に矩形の谷地盤が存在するような震源断層—不整形地盤モデルを用いて、解析方法の手順を説明する。

まず、無限媒体中の運動学的断層モデルから放射される地震波の振動数—波数領域における解析解（原田ら,1999）を波数領域でフーリエ変換し、各地点毎の地震波の複素変位フーリエスペクトルを求める。この複素変位フーリエスペクトルが、振動数領域の3次元直接境界要素法に基づき一定要素によって離散化した不整形地盤への入射変位波となる。数値解析では（原田ら,1999）で示された断層モデルを用いる。

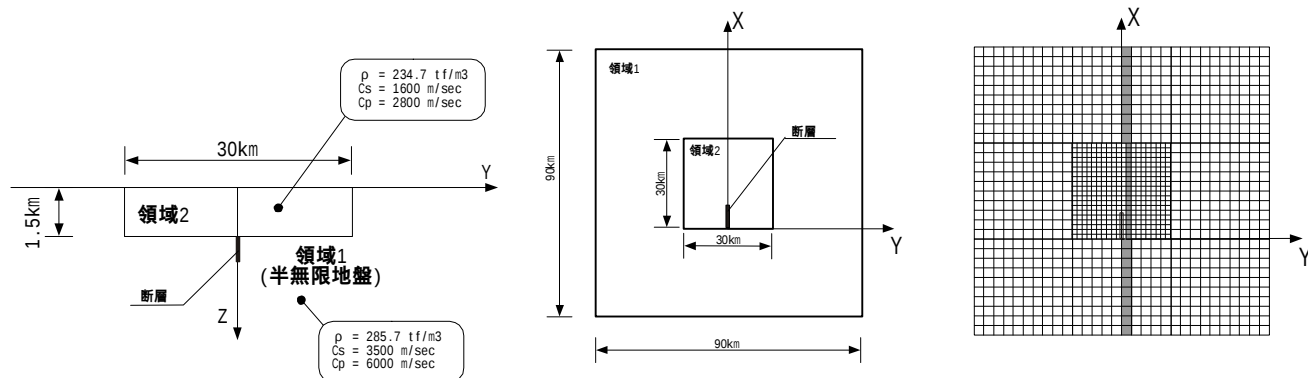


図-1 横ずれ断層—矩形谷モデル

次に、この入射変位波を半無限地盤である領域1の各要素に入射させ、矩形谷である領域2との変位と応力の適合条件並びに、領域1と2の地表面条件（応力が零）から各境界要素の未知変位と未知応力を求める。本研究では、地表面の不整形性等が取り扱い易い全無限媒質に対するグリーン関数を用いているので、地表面の応力が零という地表面条件が必要となる。最後に、地表面変位の複素フーリエスペクトルを振動数に関してフーリエ変換して、地表面各地点の変位時刻歴波形を求める。

3. 解析に用いた3次元直接境界要素法の検証

本研究で開発したプログラムの妥当性を検証するために既往の研究結果（Sanchez-Sesma,1989）と比較した。そのモデルと同じ半円形谷に単位振幅のSH調和平面波が30度の角度で入射するときの地表面の変位応答倍率を計算し、比較したものを図-2に示す。両者の良い一致が確認できる。

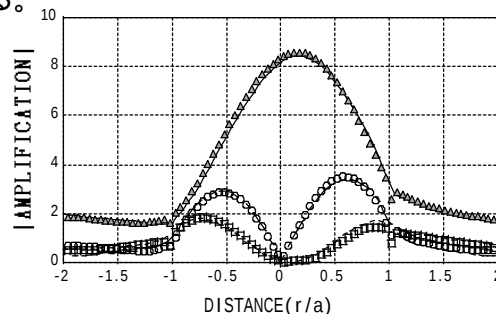


図-2 既往の研究結果(Sanchez-Sesma,1989)実線との比較 ($\eta=0.5$)

3次元不整形地盤、震源断層、直接境界要素法、地震動

原田隆典（〒889-2192 宮崎市学園木花台西 1-1, Tel 0985-58-7325, Fax.0985-58-7344）

4. 震源断層—矩形谷系の解析結果

解析結果として、先ず図-3a に y 方向の地表面変位に関する時刻歴波形の場所的（図 1 の灰色で塗りつぶされた要素）変化を示す。断層からの波の伝播の様子が分かり谷地盤での継続時間の延長化が顕著に表れている。次に地表面全要素の地表面変位ベクトルを時間毎に表すと図-3b のようになる。半無限地盤領域では、4 秒以降は永久変位となりベクトルの動きが止まるが、谷地盤領域では、4 秒以降も動き続ける。これは波が軟らかい地盤の領域内に閉じ込められて、反射を繰り返す現象の現れであると考えられる。また、波が渦を巻くように伝播している様子も観察される。

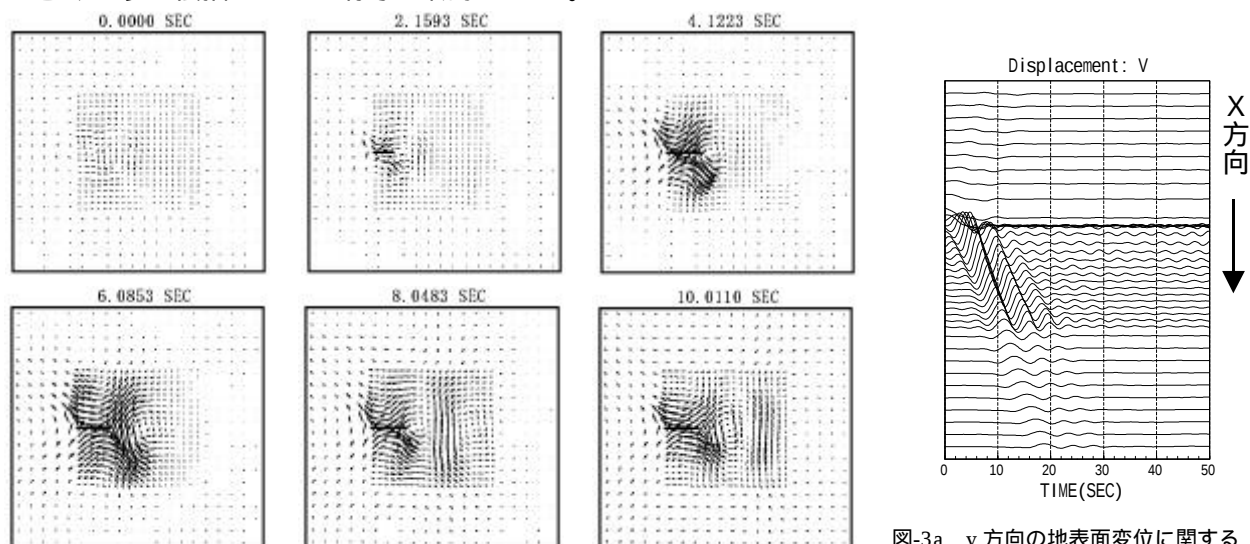


図-3b 地表面変位ベクトルの時間毎の表示 (0.0sec ~ 10.0sec)

図-3a y 方向の地表面変位に関する
時刻歴波形の場所的变化

5. 考察

地盤の境界と断層位置との関係によって地震動の分布特性が、どのくらい影響を受けるかを見るために、図-4 に示すように 3 通りの境界と断層の位置関係に対する応答結果を比較してみた。この応答結果では各要素の y 方向速度時刻歴波形の最大値を取り出し、地表面における分布を等高線で表した。その結果、断層の周辺に境界がない場合は、断層延長線上で速度が大きくなるが、断層が硬い地盤と軟らかい地盤の境界線的位置にあると、断層から軟らかい地盤の方向に 1~2 km の範囲にピークの帯びが現れた。これは兵庫県南部地震の帯状の被害をイメージさせるような現象であり、断層不整形地盤の位置関係が地震動の強さの空間分布に大きく関係することが示されたものと思われる。

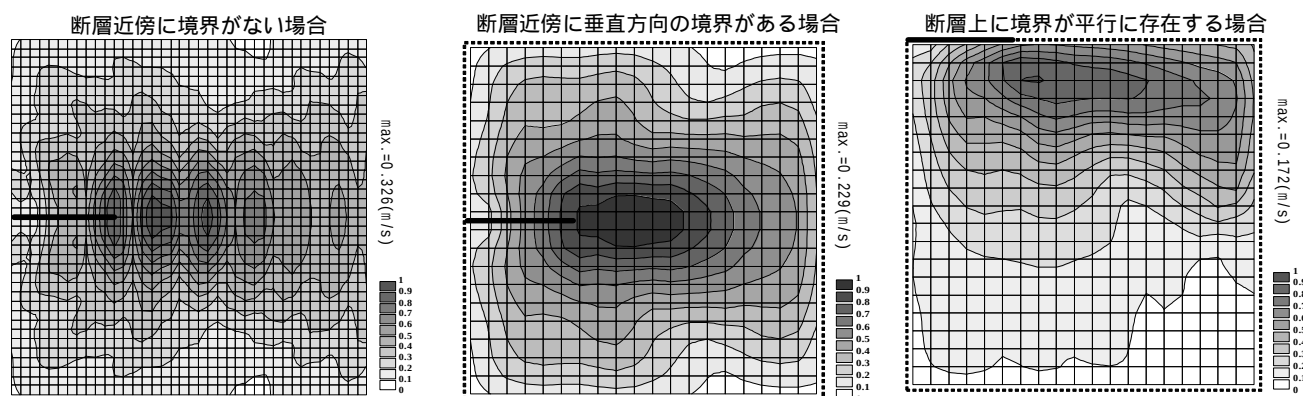


図-4 地盤の境界による断層近傍の y 方向最大速度分布への影響

参考文献

- Sanchez-Sesma, et al. (1989): Diffraction of elastic waves by three dimensional surface irregularities, part II, BSSA, Vol.79, pp.101-112.
- 原田隆典ら(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 No.612/I-46, pp.99-108.