

基盤段差が波動伝播特性に与える影響に関する研究

エッジ効果 基盤段差
レイリー波 分散曲線

正会員 山田芳人^{*1} 同 成田忠祥^{*2} 同 高橋広人^{*3}
同 福和伸夫^{*4} 同 飛田 潤^{*5}

1. はじめに

兵庫県南部地震時に発生した「震災の帶」は深部地盤構造の不整形性に起因するエッジ効果が原因であると言われている。これは神戸市域特有の現象ではなく、図1のように平野西端部で約2kmの基盤段差を有する濃尾平野においても同様の現象が起こる可能性が指摘されている¹⁾。このため愛知県では平成11年度より大規模な地下構造調査が行われており、地震基盤までの地盤物性や形状が明らかにされてきた。

実際には基盤段差に加えて局所的な窪みもあるが、ここでは濃尾平野の地下構造を、段差面を持つ2層地盤にモデル化し、2次元FEM解析を行うことで、基盤段差で生成される波面の特徴および增幅特性の基本的なメカニズムについて検討した。

2. 対象モデル概要

図2に示したモデルを対象に二次元FEM解析を行った。入力波として中心周期0.5秒のRicker波をSH、SV波場において鉛直下方入射した。FEM境界を下面是粘性境界、側面はエネルギー伝達境界とした。

3. 波動伝播特性

3.1 波動性状

図3、図4にSH波入射時、SV波入射時の0.2秒毎のスナップショットを示す。その際に確認できる波の模式図を図5に示す。SH波場において確認できる波は、

基盤段差の下部（堆積層左下）から同心円状に伝播する波
基盤側から堆積層側へ屈折して伝播する波（反射前）

基盤側から堆積層側へ屈折して伝播する波（反射後）

一方、SV波場において確認できる波は、上記、に加えて基盤地表面に波が達した時、基盤段差の上部（堆積層左上）から伝播する波、である。

3.2 地表面波形と理論走時曲線

SH波場、SV波場における中心周期0.5秒のRicker波鉛直入射時の地表面応答波形のペーストアップ及び～の波の走時曲線を図6に示す。走時曲線はスナップショットで現れていた波面に対応することが確認できる。

直達波と干渉している波は、SH波では基盤段差面の基盤側を伝播し、堆積層側へ屈折し伝播する波であると考えられる。SV波では、～の屈折波は、基盤段差付近ではペーストアップと走時曲線の対応が良いが、段差から離れるにつれて地表面の応答波形が減衰しているため、対応がとれていない。一方、基盤段差の上部から伝播する波は、堆積層を減衰せず伝播しており、別途検証した鉛直動においても同様に伝播している。よってSV波において直達波と干渉している波は基盤段差の上部から伝播する波であると考えられる。さらにこの波は、水平動、鉛直動とも0.5秒のRayleigh波速度(965m/s)で伝播すると考えた走時曲線と対応が良いことを考えると、この波が基盤段差の上部で生成されたRayleigh波であると考えられる。

3.3 最大応答値

図7に中心周期0.5・1・2・5秒のRicker波を入射した際の最大加速度分布を示す。SH波では周期に関わらず一定の位置で最大値を示す。この位置は3.2で検討した屈折波と直達波の干渉位置である。SV波では最大値を示す地点は周期の長い波ほど基盤段差から離れる傾向が見られた。これはSV波に

おいては最大応答が直達波とRayleigh波の干渉により起こるため、干渉位置が周期に依存していると考えられる。

3.4 直達波とRayleigh波の干渉

SV波における直達波とRayleigh波の干渉効果について検討する。図8に各モードにおけるRayleigh波の走時曲線及び直達波との干渉位置を示す。Rayleigh波速度は図9に示したRayleigh波の分散曲線から求めた。直達波とRayleigh波の走時が重なる位置が干渉位置となる（丸印）。図7において中心周期0.5秒の最大応答は2600m付近で生じている。図8のa)より中心周期0.5秒の場合、各モードの位相速度に差がないため、直達波と表面波の干渉位置は2600m付近で差異が見られず、よって図7の0.5秒の応答分布は各モードのピークに対応していると考えられる。また、中心周期1秒の最大応答は2600m、3200m、4000m付近でピークとなるが、図8のb)より2600mは基本モード及び高次1次モード、3200mは高次2次モード、4000mは高次3次モードにおけるRayleigh波と直達波の干渉によると考えられる。また、中心周期2秒の最大応答は3600m付近、中心周期5秒の最大応答は4000m付近で生じているが、それぞれ図8c), d)より高次1次モードにおけるRayleigh波と直達波の干渉が優勢であると考えられる。図10にRayleigh波のミディアムレスポンスを示す²⁾。基本モードが最も振幅が大きく、高次モードになるほど振幅は低くなっているが、直達波と表面波の位相特性が合わなければ基本モードにおいても増幅せず、位相が合えば高次モードにおいても増幅特性を示すと考えられる。以上の結果より、SV波入射では励起される表面波の高次モードまで考慮して増幅特性を考える必要があるという知見を得た。

3.5 基盤の傾斜による影響

図11に示す6つのモデルを対象に中心周期0.5、1、2秒のRicker波をSH波場において下方から鉛直入射した。図12に各モデルの最大加速度分布を示す。逆断層型であるmodel C・model Fを除いて入力周期による差は見られない。これはSH波においては、実体波同士の干渉により最大応答を示すためであると考えられ、3.3節で述べた考察と調和的である。図は省くがスナップショット等から、逆断層型モデルでは最大応答を示す干渉は直達波と逆断層面での直達波の反射により生じる波によって引き起こされているため、他のモデルとは干渉するメカニズムが異なっていることが原因であると考えられる。

4. 結論

本論では基盤段差による波動伝播性状への影響について検討してきた。SH波入射では実体波同士、SV波では実体波とRayleigh波の干渉効果が優勢であること、SV波ではRayleigh波の高次モードまで考慮して増幅特性を考える必要があること、また基盤形状により干渉のメカニズムが異なるという知見を得た。一方、モデルに表層を入れると表面波が卓越するという知見もあり³⁾、今後はより実際の地盤を意識したモデル化を行い検討する必要がある。

参考文献

- 1) 田中清和他：濃尾平野の深部不整形構造が地震動が增幅特性に及ぼす影響、第10回日本地震工学シンポジウム論文集第1分冊、pp863-868、1998。
- 2) 薩藤正徳・桜沢宏之：成層構造に対する反射率、表面波分散曲線の計算・レイリー波の計算、物理探査第46巻第4号、pp283-298。
- 3) 永野正行：不等間隔、不連続グリッドを併用した3次元差分法による2000年鳥取県西部地震時の神戸地域の強震動シミュレーション解析、学術講演梗概集B-2、pp177、2003。

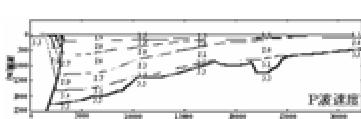


図.1 濃尾平野の地下構造断面



図.2 解析モデル概要

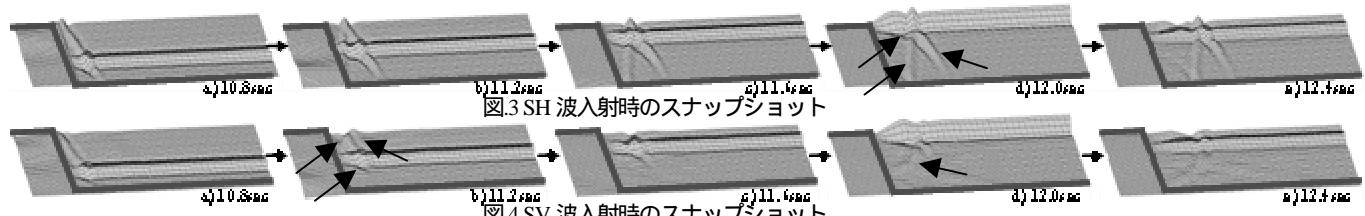


図.3 SH 波入射時のスナップショット
図.4 SV 波入射時のスナップショット



図.5 段差構造で生成される波の模式図

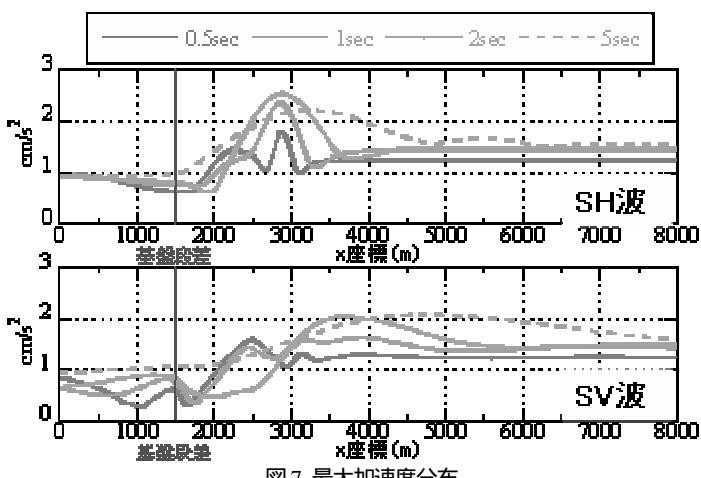


図.7 最大加速度分布

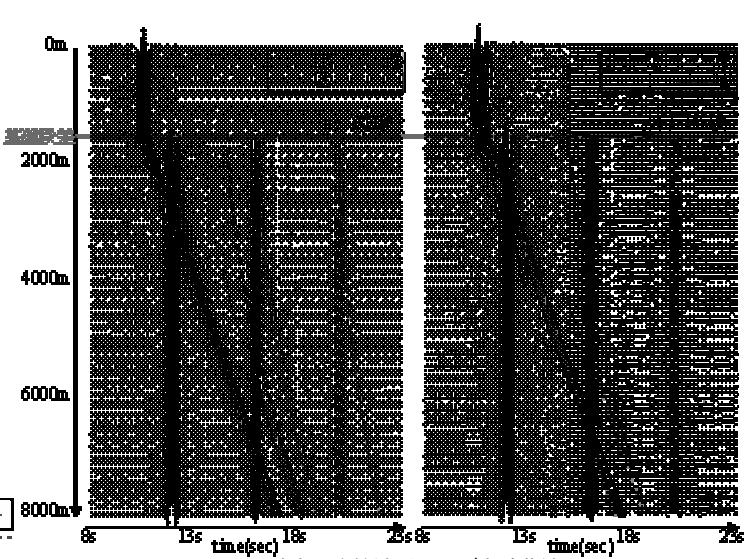
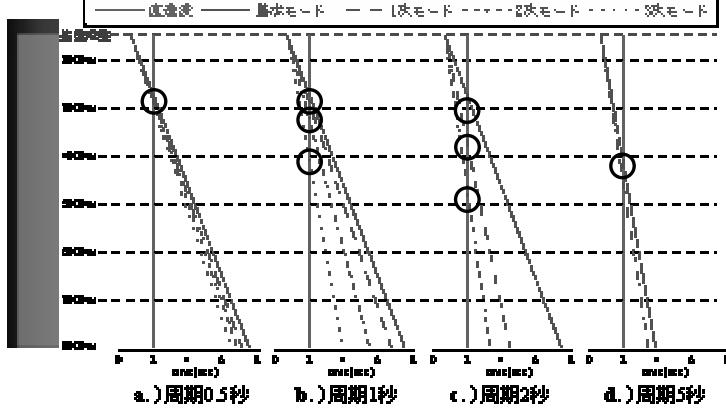


図.6 地表面応答波形、及び走時曲線



a.) 周期0.5秒 b.) 周期1秒 c.) 周期2秒 d.) 周期5秒

図.8 Rayleigh 波と直達波の干渉位置



図.9 分散曲線（位相速度）

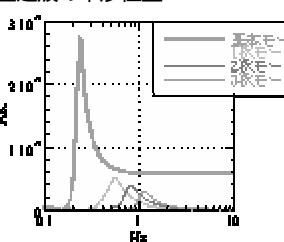


図.10 ミディアムレスポンス

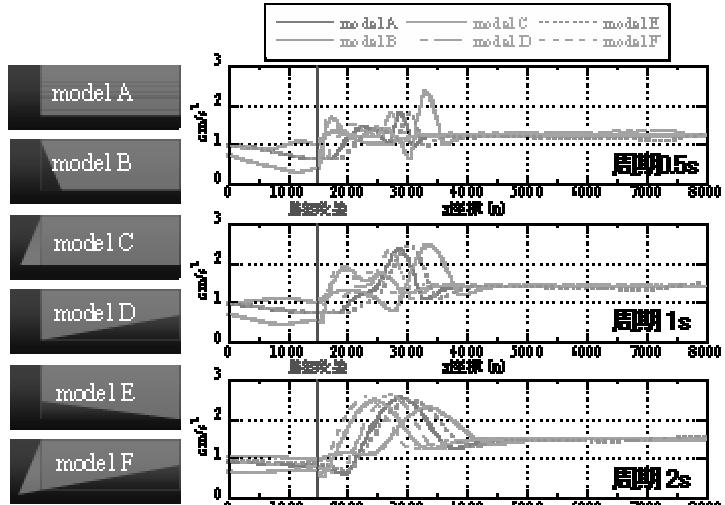


図.11 傾斜モデル

図.12 最大加速度分布（入力波周期別）

*1 名古屋大学大学院環境学研究科・修士（工）

*2 中部電力（株）・修士（工）

*3 応用地質（株）・修士（工）

*4 名古屋大学大学院環境学研究科 教授・工博

*5 名古屋大学大学院環境学研究科 助教授・工博

*1 Graduate Student, Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ.

*2 Chubu Electric Power Co., Inc., M.Eng.

*3 Oyo Corporation Co., Inc., M.Eng

*4 Prof., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.

*5 Assoc. Prof., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng