

エッジ効果
レイリー波

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

兵庫県南部地震時に発生した「震災の帯」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。

2. 対象モデル概要

3. 波動伝播特性

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、

3.2 地表面波形と理論走時曲線

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、 $\frac{V_p}{V_s}$ 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。

図7に中心周期 $0.5 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 5$ 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

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 8 c)、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。

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。

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。

1) 田中清和: 濃尾平野の深部不整形構造が地震動増幅特性に及ぼす影響, 第 10 回日本地震工学会シンポジウム論文集第 1 分冊, pp863-868, 1998.

2) 齋藤正徳・松沢弘志: 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 次元差分に対する 2000 年鳥取県西部地震時の神戸地区の強震動シミュレーション解析, 学術論文梗概集 B-2, pp177/2003.

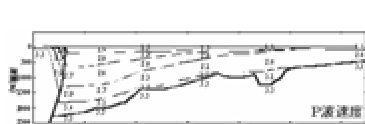
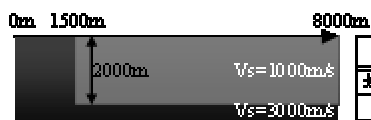


図1 濃尾平野の地下構造断面



地質	P波速度(m/s)	S波速度(m/s)	単位体積重量(t/m^3)	減衰定数(%)
堆積層	3000	1000	1.79	0.75
岩盤	5000	3000	2.21	0.25

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

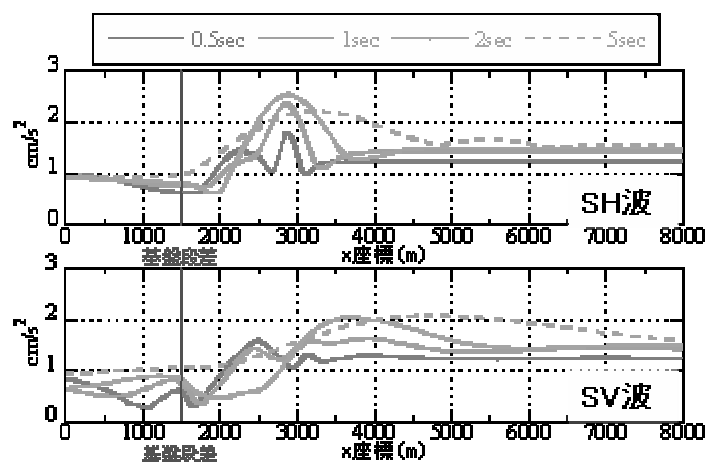


図7 最大加速度分布

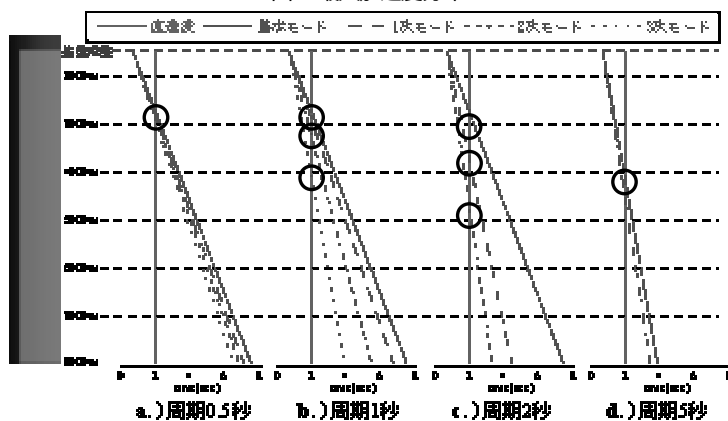


図8 Rayleigh 波と直達波の干渉位置

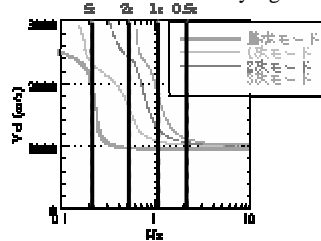


図9 分散曲線 (位相速度)

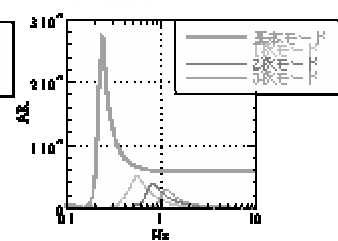


図10 ミディアムレスポンス

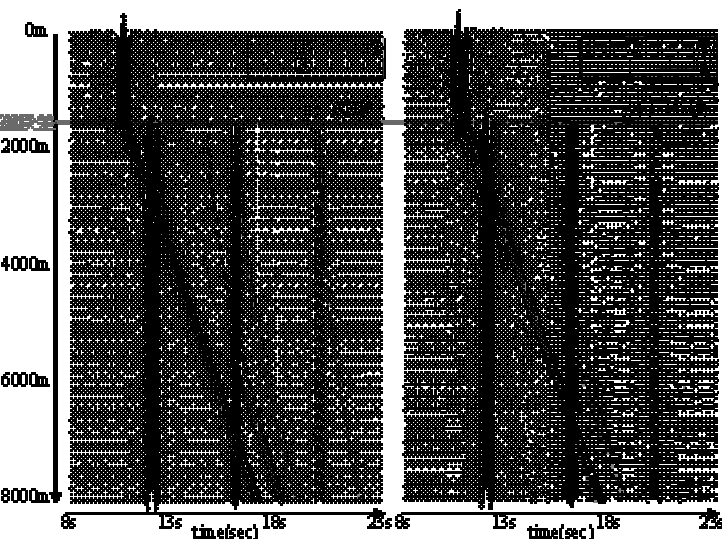


図6 地表面応答波形、及び走時曲線

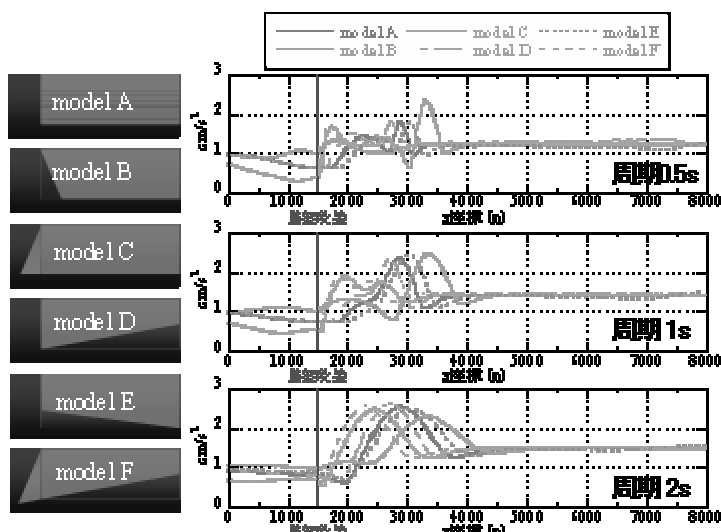


図11 傾斜モデル

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.