

I-624

中間に低速度層が介在する水平三層構造地盤の地震時応答に関する振動実験

電源開発株式会社 正員 有賀義明

1 まえがき

地盤の中を地下下方から地表に向かって伝搬する地震動の伝搬特性は、地盤の波動インピーダンスにより支配的な影響を受けると考えられる。例えば、図-1に示したように、硬い地盤の間に軟い地盤が介在するような水平三層構造地盤を想定した場合、地震動の加速度振幅は、波動インピーダンスの大きい地盤（硬い地盤）から波動インピーダンスの小さい地盤（軟い地盤）へ伝搬する時は増幅し、波動インピーダンスの小さい地盤（軟い地盤）から波動インピーダンスの大きい地盤（硬い地盤）へ伝搬する時は減衰するものと推察される。これまでに実施した、重複反射理論による波動伝搬解析、二次元有限要素法による動的解析では、こうした現象が、起り得る可能性があるとの結論を得ている。本報では、中間部に波動インピーダンスの小さな地盤を介在させた水平三層構造地盤モデルを用いて実施した振動実験の結果を紹介する。

2 振動実験による検討

2.1 実験モデル セン断土槽の中に、高さ 1.0m、幅 1.0m、長さ 1.5mの地盤モデルを作成し振動実験を行った。図-2に示したように、地盤モデルは理想化した水平三層構造としており、上部層と下部層には層厚 0.3mの川砂（相模川産）を、中間層には層厚 0.4mの海性粘土（九州産）を使用した。振動実験に用いた砂層および粘土層の主な物性は表-1に示すとおりである。

2.2 実験方法 使用した振動台の性能概要を表-2に示す。入力地震動は、軽水炉改良標準化耐震設計小委員会提示の標準地震動の中から、図-3に示した低地震地帯用S2地震動（M6.5, △7.2km、位相 Cholame Shandon）を選び、最大加速度値を 50gal、150gal、300galに規準化して入力とした。加振方向は、セン断土槽の長手水平方向とした。なお、加速度計の配置は、図-2に示したとおりである。

2.3 実験結果 『砂層＝粘土層＝砂層』により構成された水平三層構造地盤内の最大加速度の深度分布に関する振動実験結果を図-4に示す。入力地震動の最大加速度を 50galとした場合、最大加速度の深度分布は、全体として増幅傾向を示す結果となったが、150galおよび300galとした場合は、地震動が中間層である粘土層から上部層の砂層へと伝搬する際に減衰傾向を示す結果となった。

3 二次元有限要素法による比較解析

3.1 解析方法 二次元有限要素法により振動実験の数値解析を実施した。解析領域は実験モデルと同様に、高さ 1.0m、幅 1.5mとし、メッシュ分割は深さ方向20分割、水平方向10分割とした。境界条件は下方剛基盤、側方粘性境界とし、解析用地盤物性値には、表-1の数値をそのまま使用した。解析コードには“FLUSH”を用いて、等価線形解析を実施した。非線形特性は、動的変形試験の結果である図-5により評価した。

3.2 解析結果 試験から得られた地盤物性値をそのまま用いて行った解析の結果を図-6に示す。図より理解できるように、解析結果と実験結果は、定性的に同様の傾向を示した。

4 あとがき

理想化した水平三層構造地盤モデルを用いて、波動インピーダンスの小さい地盤が波動インピーダンスの大きい地盤の間に介在する場合の地震動の加速度分布特性について振動実験を行ったところ、地盤内を伝搬するセン断波の最大加速度は、波動インピーダンスの小さい地盤から波動インピーダンスの大きい地盤へとする際に減衰することがあることを確認することができた。この結果は、波動インピーダンスの小さい地盤の表層を、波動インピーダンスの大きい地盤材料で人工的に被覆すれば、地表面位置での加速度を低減させることが可能であることを示唆するものと考察された。なお、ここで紹介した結果は、「実体波、1Hz～30Hzの短周期領域、加速度」に着目した場合である。このような現象は、地震動の種類・周波数特性、地盤の層厚・波動インピーダンス比、対象とする評価量（加速度、変位、歪み、応力）等に大きく依存するため、例えば、「表面波、長周期、変位」を想定した場合には、全く異なった結果になる点について留意すべきである。

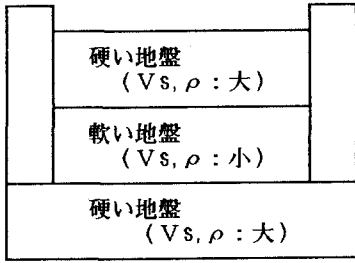


図-1 『硬＝軟＝硬』の水平三層構造地盤の概念

表-1 振動実験に用いた地盤材料

層	地盤材料	粒 度 (mm)	湿潤密度 (t/m ³)	S波速度 (m/s)
上部層	川砂	0.42~2.0	1.85	63
中間層	海性粘土	~0.48	1.69	15
下部層	川砂	0.42~2.0	1.85	71

表-2 振動台の性能概要

項 目	内 容
基本仕様	35ton三次元振動台
振動台寸法	4.5m × 4.5m
周波数範囲	DC ~ 50 Hz
入力波形	ランダム波
最大加速度	最大積載時：水平 1.5G 上下 1.0G
駆動方式	電気-油圧サーボ方式

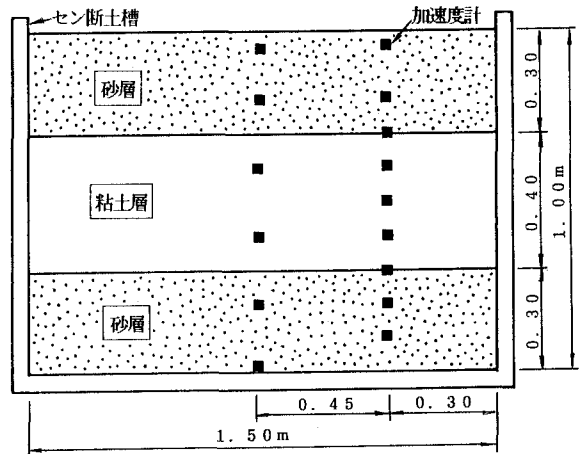


図-2 振動実験の地盤モデル

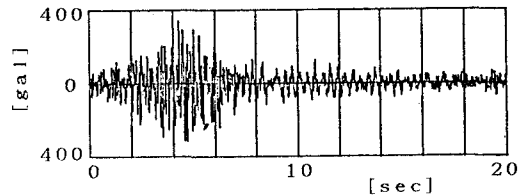


図-3 振動実験用入力地震動

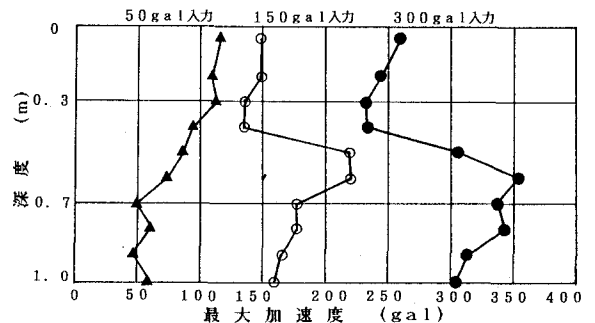


図-4 振動実験結果（最大加速度の深度分布）

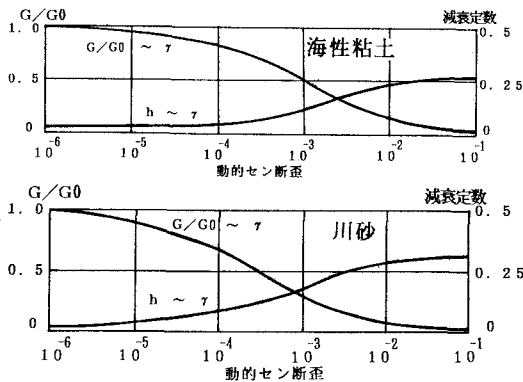


図-5 実験地盤材料の非線形特性

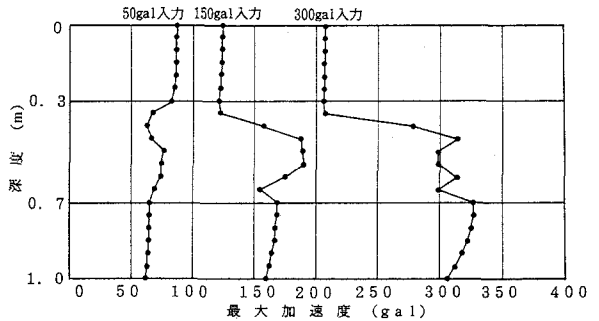


図-6 数値解析結果（最大加速度の深度分布）

【参考文献】 1)有賀義明：地下に低速度層が介在する地盤の地震動伝播特性、土木学会第44回年次学術講演会 I-473、p996~997、1988.10. 2)有賀義明：軟弱地盤を利用した免震効果の可能性について、第20回地震工学研究発表会、(56)、p221~224、1989.7