

熊谷組技術研究所 正会員 粕田 金一, 鈴木 猛康, 田中 港

1. はじめに

鉛直アレー地震観測の実測波形を利用して地盤の速度構造、Q値を推定する試みが、いくつか行われてきているが、筆者らは、宮城県柴田町船岡地区に設置した地震観測システム"KASSEM"の鉛直アレーの観測記録に対して、沢田らによって提案されている改良SLP法¹⁾を適用し、表層地盤の妥当な物性値を同定することができた。²⁾ 本報告は、これに続いて、大きさの異なる4地震の観測記録を用い、同定解析の結果得られた表層地盤のS波速度を比較することにより、表層地盤の非線形性について考察を行ったものである。

2. 解析用地震波と検討方法

解析に用いた地震波は、宮城県柴田町船岡地区に設置した地震観測システム"KASSEM"のセンターアレーを構成するH12地点（ボーリング調査結果は前報2)を参照）において、4つの地震の際に観測されたものであり、その諸元を表1に示す。このうちEvent 1, 2 は地表で30gal を越える最大加速度を示すM=6クラスのEvent であるのに対して、Event 3, 4 は地表で10gal 前後、M=4クラスの比較的小さなEvent である。

検討方法は、各観測地震波について鉛直アレーのH2 (GL-58m 軟岩層内) に対するH1 (GL-2m) の伝達関数を求め、同定解析の目標スペクトルとした。伝達関数は、バンド幅0.4 HzのParzen Window により平滑化したそれぞれのフーリエスペクトルの比として算定し、さらに水平NS成分とEW成分の平均値をとって同定解析に用いた。データ個数は、同定解析における振動数間隔と一致させるため、16384(時間間隔0.005 秒)とし、Event 1, 2 ではS波の到達時刻より81.92 秒間、Event 3, 4 では全収録時間が30秒程度であることからS波の到達から収録終了までのデータの前後にゼロを付加した。

図1に4 Event に対応する伝達関数およびPS検層の速度構造から求めた伝達関数を示す。PS検層の伝達関数は観測記録の伝達関数のピークの振動数はとらえているものの、その振幅に関しては観測値を十分に模擬しているとはいえないことがわかる。また、Event 1, 2 の伝達関数はEvent 3, 4 に比べ、若干ではあるが低振動数側へのシフトがみられ、表層地盤のせん断剛性の低下による影響と考えられる。

表1 地震波の諸元とH1地点の最大加速度

Event	地震発生日	マグニチュード	Max. Acc. (NS)	Max. Acc. (NS)
1	1985. 8. 12	6.4	35.5 (gal)	33.2 (gal)
2	1987. 2. 06	6.7	66.6 (gal)	60.7 (gal)
3	1986. 5. 05	4.9	7.3 (gal)	6.7 (gal)
4	1987. 3. 01	4.7	8.0 (gal)	11.3 (gal)

3. S波速度構造の同定と解析結果^{1), 2)}

S波速度構造の同定は、S波の鉛直入射を仮定し、目標とする伝達関数に適合する各層のS波速度を最適手法を用いて推定した。地層はボーリング柱状図とN値分布を参考に表層地盤を20層に分割した。各層のS波速度の初期値はPS検層の結果を用いた。また、減衰については、Q値の振動数依存性を考慮し、振動数fに対して次式で与えた。

$$Q = Q_0 \cdot f^p \quad \text{..... (1)}$$

本研究では、S波速度の同定に重点をおくため、(1)式の定数Q₀およびpは、すべての層でQ₀=9, p=0.35の一定値とし、減衰に関する同定は行っていない。これらの定数は、Event 1に関する同定解析において、Q₀およびpのパラメタデイにより決定した。

以上の同定解析を4つのEventの伝達関数を目標スペクトルとしてそれぞれ実施した。その結果得られた伝達関数を図2に示す。図1と図2を比較すると、Event 3, 4については、目標スペクトルの高次振動成分が滑らかでないためEvent 1, 2に比べて多少同定の精度が悪いものの、10Hzまでの5つのピークをよく再現している。

図3に同定されたS波速度構造を示す。図中に1点鎖線で示されているのが、PS検層結果である。同定されたS波速度は各Eventごとにばらつきを示しているが、それについて考察を加えるために、各層ごとに最大のS波速度として同定されたEventに対する他のEventのS波速度比として(2)式により剛性低下率を算定した。その結果、最大で50%程度の剛性低下を示している層・Eventもあるが、平均的には0.8から0.9

程度の剛性低下がみられた。表2に示すように、表層地盤の剛性低下の1つの指標として表層の全層厚44.5 m の平均剛性低下率を各Event について求めた結果、Event 1, 2 では約0.8, Event 3, 4 では約0.9 となり、マグニチュード、最大加速度の大きなEvent では大きな剛性低下を示すことが数値的に確認できた。なお、最大S波速度と同定されたEvent についても多少剛性は低下しているはずであるから、実際の剛性低下率はもう少し大きいものと考えられる。

$$(\text{Event } i \text{ のせん断剛性}) / (\text{最大せん断剛性}) = (\text{Event } i \text{ のS波速度})^2 / (\text{最大S波速度})^2 \quad \cdots (2)$$

また、同定された速度構造に対して各Event のH2の観測波を入力波として行った一次元波動論による応答解析結果から得られる表層地盤の最大せん断ひずみは、Event 1, 2 では、0.005～0.02%であり、Event 3, 4 では、0.001～0.004 %程度の値である。この値を原位置の不攪乱試料の動的変形試験から得られたG/G₀～γ曲線と比較すると、図4に示すように同定結果の方が剛性低下をやや大きめに見積もっているものの、室内試験結果と十分に整合性のとれた関係を示している。

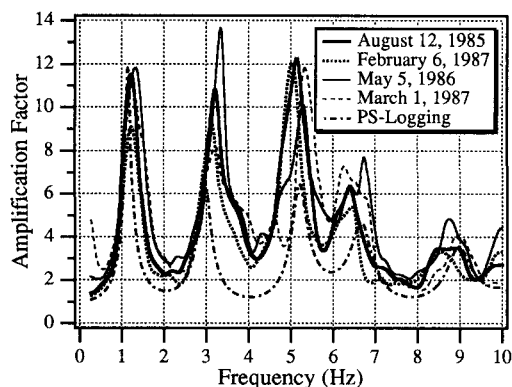


図1 観測地震波およびPS検層による伝達関数

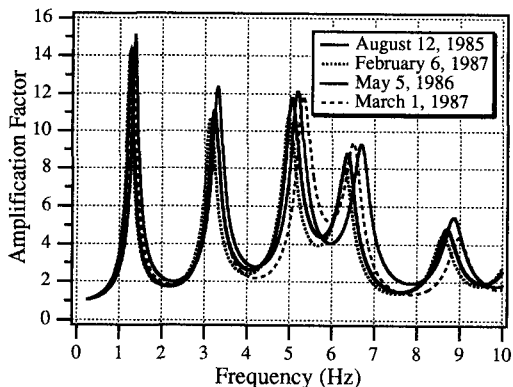


図2 同定された伝達関数

表2 各Event の表層地盤(44.5m) の平均剛性低下

Event	1985. 8. 12	1987. 2. 06	1987. 3. 01	1986. 5. 05
剛性低下	0.833	0.818	0.909	0.915

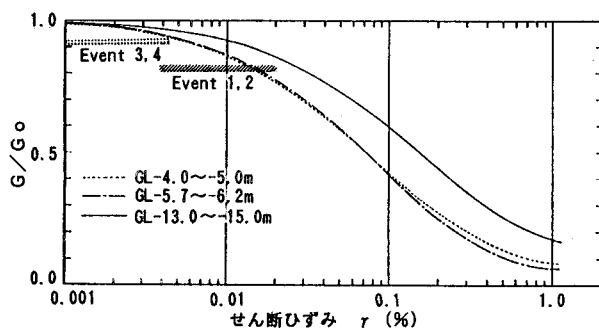


図4 室内試験および同定解析から得られた剛性低下

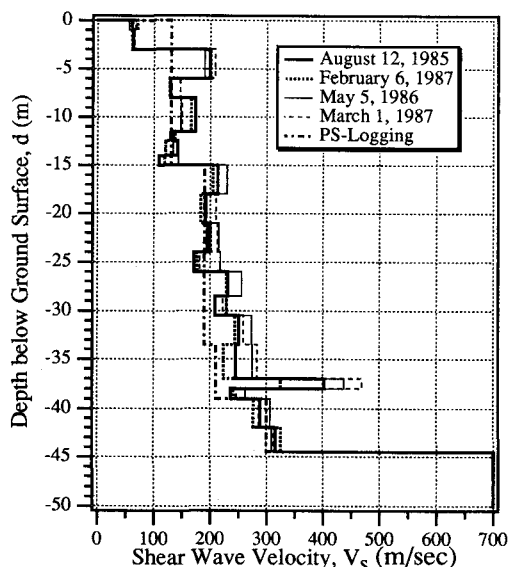


図3 同定されたS波速度構造

4. 結論

S波速度の同定解析を大きさの異なる4地震について実施し、剛性の低下率を算定した。その結果、地表加速度の大きなEvent では剛性の低下が大きいことが確認された。また、表層地盤の室内試験結果と同定解析結果から推定したG/G₀～γ関係は、よく一致していることも確かめられた。

参考文献1) 沢田他, 土木学会論文集, Vol. I-19, No. 446, 1992. 2) 鈴木他, 土木学会第49回年講, 1994.