

強震記録による深層地盤構造の推定とその応用

徳島大学工学部 正員 梶野 彰若
 徳島大学工学部 正員 沢田 勉

1. はじめに 近年、地震波に含まれる長周期成分が問題となってきている。この長周期成分は、やや深層の地盤条件の影響を受けるため、これを知る必要性が生じている。この深層の地盤条件を知る手段として、現在、深いボーリング調査に伴うPS検層や大規模な弾性探査法等がある。しかし、これらの方法は、多大な経費と労力を必要とする。本研究は、地表で得られた複数の強震記録のみから、深層の地盤条件を推定するものであり、いわゆる逆問題である。なお、解析において重複反射理論および最適化手法を用いることとした。

2. 用いた手法の概要 本研究は、建設基盤から地震基盤までの地盤構造を推定するものであり、建設基盤より上層は、標準貫入試験のデータより推定し、既知量とした。以下、本手法の概要をFig. 1を参考に説明する。地表で得られた強震記録は、基盤入射波特性に表層での増幅特性を加味したものである。この増幅度特性は、特性の異なる層の層厚、せん断波速度等によって変化し、各周波数における増幅度を示す周波数伝達関数であり、重複反射理論によって算出される。したがって、基盤入射波の加速度フーリエスペクトルが工学的に重要な周波数領域(0.1~10Hz)で一定と考えると、地表の記録のフーリエスペクトルと地盤の周波数伝達関数は、相似形となる。一

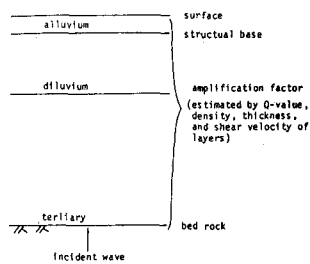


Fig. 1 Example of Model Layers

オ地質学によると、地震基盤から地表にかけて第3紀層、沖積層、沖積層が存在する。いま、建設基盤より上層を沖積層と考えると、地震基盤まで特性の異なる2層が存在することになる。ここでは、以上の情報をもとに次のような規準を考える。重複反射理論によれば、地盤の周波数伝達関数 $U(f)$ は、地盤特性値 $d_i, i=1, \dots, n$ の間数として表わされる。一オ、1観測点における複数の強震記録のスペクトルを $F_{si}(f), i=1, \dots, N$ とし、各記録の基盤入射波スペクトルレベルを一定値 $d_{n+i}, i=1, \dots, N$ と仮定する。これらの値を用い、最適化基準として周波数伝達関数と地表のスペクトルを入射波スペクトルレベル d_{n+i} で除いた値の残差平方和の各記録に対する合計の最小性を考える。これを定式化すると次式となり、これを解くことによって推定値が得られる。

$$S_e = \sum_{i=1}^N \{ F_{si}(f) / d_{n+i} - U(f) \}^2 = G(f; d_1, d_2, \dots, d_n, d_{n+1}, \dots, d_{n+N}) \rightarrow \text{minimize}$$

ところで、上式は非線形最適化問題であるので、これを解くために反復線形計画法(SLP法)を用い、最適な深層地盤構造を推定した。本研究の解析手法の詳細については、参考文献(1)を参照されたい。

3. 解析結果 本手法の妥当性の検討として、以下の事項について検討を加えた。この検討に用いた地点は、深層の地盤構造のわかっていないハ伊若考である。

1) 基盤入射波スペクトル一定の仮定の影響について
 この仮定の解析結果に与える影響を調べるために次の3ケースの解析を行い、その結果について考える。
 Case 1; 入射波スペクトルが対象とする周波数で一定
 Case 2; 入射波スペクトルが高周波数において増加
 Case 3; 入射波スペクトルが低周波数において減少
 なお、Case 2, Case 3の傾きは5%とした。各ケースにおける推定地盤構造をFig. 2に示す。この図は、推

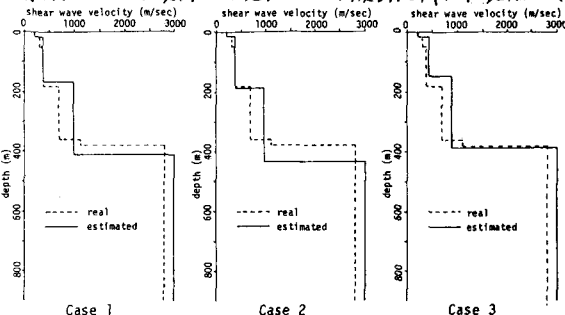


Fig. 2 Shear Velocity of Real and Estimated Subsurface

定した。せん断波速度の深さ方向の変化を示したものである。これらの3ケースの推定値(実線)を比較すると、各ケースとも実際の地盤構造(点線)とおおむね一致しており、各ケース間の推定値もおおむね一致している。これらのことより、基礎入射波のフーリエスペクトル一定の仮定は、解析結果に与える大きな影響を与えないことがわかる。したがって、以後、平均的な入射波スペクトルとして、周波数によらずスペクトル一定とする。

2) 深層地盤の推定に与えるQ値の影響について
 一般に、表層地盤の内部減衰特性に関しては、実測的結果も満足に得られておらず、深層の地盤構造が既知とされているハル港湾の地盤モデルにしても、モデル提案者によって、まちまちである。⁽²⁾⁽³⁾ したがって、ここでは本手法の解析結果に与えるQ値の影響について考える。重複反射理論によれば、Q値は伝送関数のレベルに大きく影響を与え、卓越周期などには与える影響を与えない。このことより、次の

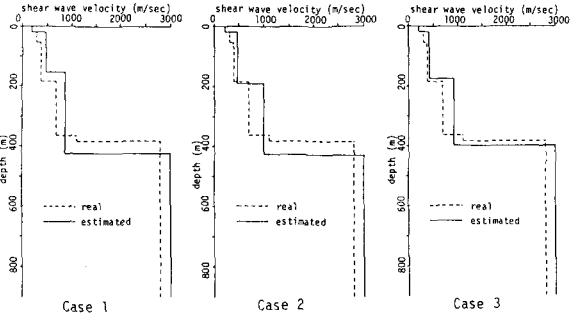


Fig. 3 Shear Velocity of Real and Estimated Subsurface

3ケースのようなQ値を与えた場合の推定値をもとにQ値の影響を考える。Case 1; $Q_{M1} = 10, Q_{M2} = 10$
 Case 2; $Q_{M1} = 10, Q_{M2} = 100$, Case 3; $Q_{M1} = 20, Q_{M2} = 100$ 二で、 Q_{M1}, Q_{M2} はそれぞれ第1, 第2中間層のQ値を示している。Fig. 3に各ケースにおけるせん断波速度、層厚の推定値を示す。これらの3ケースの推定値を比較するとおおむね一致しており、Q値の影響はほとんどないことがわかる。しかし、Q値の減少とともに伝送関数のレベルは低下する。したがって、本手法によって推定された地盤特性値を用いて逆に個々の記録の入射波を推定するにはレベルの面において現段階では、問題がある。ここでは、深層地盤構造の層厚とせん断波速度について考えることとし、 $Q_{M1} = 10, Q_{M2} = 100$ として以下の解析を進めるものとする。

3) 基礎深さ既知の場合の推定精度 二では、弾性波探査法や地質学的情報等によって基礎深さがわかっている場合の推定精度について考える。基礎深さが既知であるという条件を設けてハル港湾の深層地盤構造を推定した結果がFig. 4である。この図によると、層厚、せん断波速度、ともに実測の場合とほとんど変わらず、誤差にして5%に満たない。このように、基礎深さが既知の場合は、かなりの精度向上がみられ、このような場合に本手法を用いることは有効であると考えられる。最後に、他の地点(釧路港湾)の推定結果について述べる。Fig. 5は、実測によって得られている地盤構造までを模したものであり、点線が実測によるもので実線が今回推定した値である。両者の層厚、せん断波速度を比較するとほぼ一致していることがわかる。

4. おわりに 本研究では、地表で得られた複数の観測記録のみから基礎深さ以上の深層地盤構造の概略を推定する方法を提示し、二、三の計算例によって、その妥当性を検討した。その結果、本手法によって基礎深さ、各層の層厚、せん断波速度の概略を推定できることがわかった。しかし、内部減衰を示すQ値の推定に関しては、若干の問題が残っている。今後、二のQ値の推定について検討を加えてゆきたい。また、本研究で得られた結果をもとに従来のアテニュエーション式が改良できると考える。本研究で使用した強震記録は、京都大学工学部 後藤研究室所蔵のものである。記して謝意を表します。

参考文献 1) 桂野・沢田; 強震記録による深層地盤構造の概略推定について、第6回日本地震工学シンポジウム、pp.185-192, 1982年。 2) 太田; 地震工学への最適化法の適用、日本建築学会論文報告集、第229号、pp.35-41, 1975年。 3) 翠川・小林; 地震動の地震基礎からの入射波スペクトルの性質、日本建築学会論文報告集、第273号、pp.43-53, 1978年。

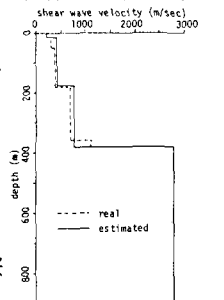


Fig. 4 Shear Velocity of Real and Estimated

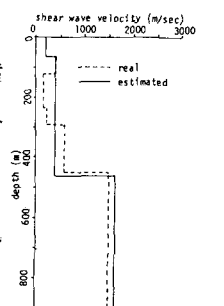


Fig. 5 Shear Velocity of Real and Estimated on Kushiro Harbour