

徳島大学工学部 正員 ○植野 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波が注目されるようになり、それとともなう、深層の地盤構造を知る必要性が生じてきた。本報告は、地表で得られた複数の強震記録のみから深層の地盤構造を推定する方法を提案するとともに、その妥当性について考えるものである。解析方法は、文献(1)と同様に重複反射理論および、最適化手法によるものとした。以下、本報告で用いた手法および、その妥当性について述べる。

2. 用いた手法の概要 地表で得られた強震記録の加速度フーリエスペクトルと地盤構造より定まる周波数伝達関数の形状の相似性に着目し、建設基盤から地震基盤までの深層地盤構造を推定する。その際、建設基盤から地震基盤までを2層で近似することとし、各層の層厚、せん断波速度を推定することとした。重複反射理論によると、地盤の周波数伝達関数 $U(f)$ は、地盤特性値 $d_i, i=1, \dots, n$ の関数として表わされる。ここに、地盤特性値とは、各層の層厚、せん断波速度などである。いま、1観測点における複数の強震記録のフーリエスペクトルを $F_{si}(f), i=1, \dots, N$ とし、その地点の基盤入射波スペクトルレベルを一定値 $d_{m+i}, i=1, \dots, N$ と仮定する。これらより、最適化基準として、周波数伝達関数と地表のフーリエスペクトルを入射波スペクトルレベル d_{m+i} で除いた値の残差平方和の各記録に対する総和の最小化を考えると次式を得る。これを解くことによって深層地盤構造が推定される。なお、次章の解析手法の詳細は、文献(1)を参照されたい。

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

3. 解析結果 本手法の妥当性を以下の事項について検討した。検討に用いた地点は、深層の地盤構造が実測によって推定されている八戸港である。

1) 基盤入射波スペクトルの振幅が一定の仮定が本手法の解析結果に与える影響について 入射波スペクトル振幅が一定という仮定が解析結果に及ぼす影響を調べるため、次の3ケースを考えた。

Case 1; 入射波スペクトル振幅を対象とする周波数領域(0.1~10 Hz)で一定とする。 Case 2; 入射波

スペクトル振幅を高周波になるにつれて直線的に増加させる。 Case 3; 入射波スペクトル振幅を高周波になるにつれて直線的に減少させる。なお、Case 2, Case 3の直線の傾きは5%とした。各ケースにおける推定地盤構造をFig. 1に示す。この図は推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3ケースの推定値(実線)と比較すると各ケースとも実測による地盤構造(点線)とほぼ一致しており、各ケース間の推定値の一致はよい。以上のことから、入射波スペクトル振幅が若干変化しても解析結果にほとんど影響のないことがわかる。したがって、入射波スペクトル振幅は、対象とする周波数領域で一定とすることとした。

2) 深層地盤構造の推定結果に与えるQ値の影響について 一般に、地盤の内部減衰特性(Q値)に関してはその値を推定することは困難であり、深層の地盤構造が既知とされている八戸港においても、モデル提案者によってかなり異なる値が得られている^{23,27)}。ここでは、Q値が解析結果に与える影響について考える。重複反射理論によると、Q値は伝達関数のレベルに大きく影響を与え、卓越周期などにはほぼ影響を与えない。このことより、次の3ケースの解析結果とともに、Q値の影響について考える。 Case 1; $Q_{M1}=10, Q_{M2}=10$ Case 2;

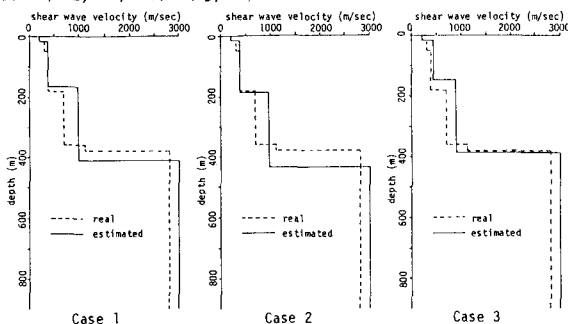


Fig. 1 Shear Velocity of Real and Estimated Subsurface

$Q_{M1} = 10, Q_{M2} = 100, \text{Case 3}; Q_{M1} = 20, Q_{M2} = 100$ 二で、 Q_{M1}, Q_{M2} はそれぞれ第1, 第2中間層のQ値である。Fig. 2には各ケースにおける層厚、せん断波速度の推定値を示した。これら3ケースの推定値(実線)と比較するとおおむね一致しており、Q値の影響が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播関数のレベルも低下するため、二で推定した特性値を用いて基盤入射波を算出するには、若干の問題が残っている。

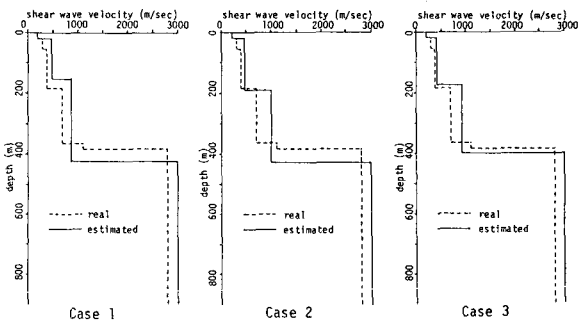


Fig. 2 Shear Velocity of Real and Estimated Subsurface

3) 基盤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によって基盤深さがわかっている場合の推定精度について考える。基盤深さが既知であるという条件を設けて、江戸老考の深層地盤構造を推定した結果がFig. 3である。この図によると層厚、せん断波速度はともに実測によるものとほとんど変わらず、その誤差は5%に満たない。したがって、基盤深さが既知の場合には、本手法を用いることはかなり有効である。

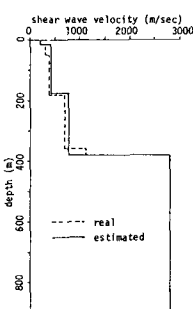


Fig. 3 Shear Velocity of Real and Estimated

4) 国内の2, 3の地点の深層地盤構造の推定 二では、国内の2, 3の観測点における深層地盤構造の推定値を示すとともに、その妥当性について考える。まず、ある程度深層の地盤構造が既知である釧路老考の推定値について述べる。Fig. 4は釧路老考の地盤構造を描いたものであり、点線が実測によるもの、実線が本手法によって推定した値である。両者の層厚、せん断波速度を比較するとおおむね一致していることがわかる。次に、鹿島、鹿島事務所、鹿島造函に本手法を適用した結果について述べる。これらの観測点はただだか数100 mしか離れておらず深部には共通の層が存在していると考えられる。Fig. 5に各観測点における層厚、せん断波速度の推定値を示した。これらの図によると、各観測点の第1, 第2中間層のせん断波速度はほぼ一致しており、20%前後の差違がみられる程度である。また、特に近い地点(鹿島事務所と鹿島造函)では、ただだか10%程度の差にすぎず、両者の第2中間層の層厚にしても5%強の差がある程度である。これらの結果は近接した地点では深層部において共通の地質の層が存在することを示唆している。以上の解析結果より、本手法の妥当性が検討できたと考える。

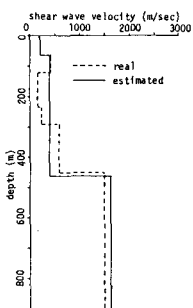


Fig. 4 Shear Velocity of Real and Estimated on Kushiro Harbour

4. おわりに 本報告では、地表で得られた複数の強震記録のみから弾性基盤以深の深層の地盤構造の概略を推定する方法を提示し、2, 3の計算例によって、その妥当性を検討した。その結果、本手法は基盤深さ、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値については、若干の問題が残っており、今後の検討課題となった。本研究で使った強震記録は、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。

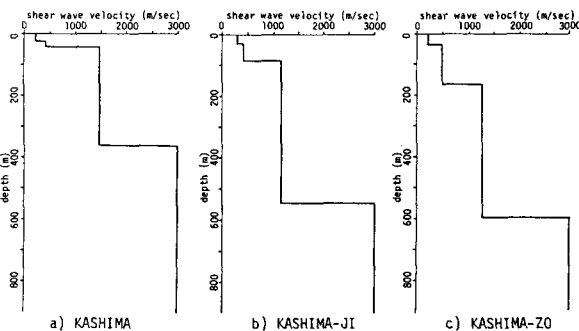


Fig. 5 Shear Velocity of Estimated Subsurface

参考文献 1) 植野・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、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 3) 翠川・小林; 地震動の地盤基盤からの入射波スペクトルの性質、建築論文集、第273号 4) 神山; 強震記録の波動論的考察、第31回年講、1976年