

地震の水平動と上下動を利用した地盤の 動的物性定数の推定法に関する研究

金沢大学工学部 ○森下 智久
金沢大学工学部 正会員 池本 敏和
金沢大学工学部 正会員 北浦 勝

1. はじめに

構造物の耐震設計に直接的に関わっている地盤の動特性を評価する方法の一つに振動論がある。この方法によれば、地盤の動特性を表すパラメータが固有周期や減衰定数などと簡単になるため、解の見通しを得やすいという利点がある。一般に、地盤の地震応答解析では、減衰定数の推測が困難であるため、これを仮定している場合が多い。本研究では、地盤を線形1自由度系であると仮定できる場合を対象とし、地盤の水平方向の減衰定数を推定する手法を提案する。さらに、この手法を地震の上下動成分にも適用する。

2. 解析概要

本研究の目的は、ランニングスペクトルの概念を取り入れることにより、地震時における地盤の減衰定数の時間的変化を逆解析から推定することにある。ここでは、地盤を線形1自由度系モデルに置き換えている。ランニングスペクトルは、フーリエスペクトルの時間的変化を表しており、ある時間でどの振動数成分の地震波が卓越しているかを知る有効な手段となる。本研究では、基盤と地表面の2点において強震記録が得られている場合を考え、以下の手順で計算を行う。①基盤と地表面における強震記録のランニングスペクトルを計算し、フーリエ振幅の増幅率を各時間間隔ごとに計算する。このときスペクトルの平滑化を行う。バンド幅は、解析の目的や波形に応じた値に決める。②解析対象とする振動数領域（⑤における2乗和を計算する範囲）を設定する。③モデルの減衰定数を仮定する。④基盤で得られた強震記録を線形1自由度系モデルに入力して、地表面の応答を計算する。⑤計算された応答のランニングスペクトルと①で求めた地表面におけるランニングスペクトルの差の2乗和（これを評価関数とする）を求める。⑥③で仮定する値を変化させて③から⑤を繰り返す。⑦2乗和が最小となる減衰定数が求める値である。①～⑦より、各時間間隔における減衰定数が求められる。

以上の手順を地震の水平動成分に適用し、さらに上下動成分にも適用する。

3. 解析条件

本解析に用いた強震記録は、1987年千葉県東方沖地震（ $M=6.7$ ）の平面アレー観測記録¹⁾である。地震の水平動成分（NS成分）を図1に示す。本研究では、強震記録のランニングスペクトルの1区間を5.12秒とし、スペクトルの平滑化にParzenウィンドウを用いる。このときのバンド幅は、平滑化を行っていないスペクトルの情報を消さない程度の値とする。ここでは、平滑化前のフーリエスペクトルの面積に対する平滑化後の面積の比率が1.15を越えないようにバンド幅を決めた。このようにして求めたバンド幅はNS成分で1.0Hz、UD成分で0.8Hzである。解析対象とする振動数領域は、地表面におけるフーリエ振幅のピーク周辺である。NS成分では0.4Hzから9.0Hz、UD成分では1.0Hzから10.0Hzまでとした。方向成分によって対象領域が異なるのは、各区間における波形の特徴を捉えるためである。この領域を設定することは、適切な推定値を得るためには重要であると考えられる。

4. 解析結果

図1の計算波形は、逆解析から推定された減衰定数を用いて求めた地表面の応答加速度である。計算波形は線形1自由度系モデルの固有振動数を比較的強く評価しているため、低振動数成分が顕著に現れている。すなわち、観測波形に含まれている高振動数成分を十分に再現できていない。このことが最大加速度の値に影響しているものと考えられる。また、図2で地表面における観測波形と計算波形のフーリエスペクトルを示す。対象地盤の層厚が100mであったにもかかわらず、簡単な1自由度系モデルを用いて、フーリエスペクトルをこ

の程度まで一致させることができた。

推定された水平方向の減衰定数の時間的変化を図3に示す。地震波の振幅が大きくなるにつれて減衰定数は増加し、その後、振幅が減少するに伴って減衰定数も小さくなる傾向を示している。これは、観測波形に含まれていると考えられる地盤の非線形挙動によるひずみ依存性の現象を、推定値の結果が示しているものと考えられる。文献²⁾によると、減衰定数 h とせん断波速度 V_s との関係は式 (1) で表される。

$$h \approx 0.017 + 0.0002 V_s \quad (V_s: \text{m/s}) \quad (1)$$

式 (1) を用い、減衰定数の値を求めてみると、 $h=0.103$ となり、結果と比較すると妥当な推定値と言える。このときの V_s は式 (2) に示されている V_{av} を用いている。

$$T = 4H/V_{av} \quad , \quad V_{av} = \frac{1}{H} \sum_i V_i H_i \quad (2)$$

すなわち、 V_{av} は各層の波動速度 V_i を各層厚 H_i で重みをつけ、平均化したものである。 H は基盤と地表面間の表層地盤の厚さである。なお、式 (2) は多層地盤を等価な単層地盤に置換して、多層地盤の1次の固有周期 T を求める際に用いられる式である。

次に、上下動成分についても同様な解析を行った結果を図4および図5に示す。観測波形と計算波形のフーリエスペクトルは良い対応を示しているが、上下方向の減衰定数は多少大きめの値として推定されているように思われる。

5. おわりに

本研究では、簡単な線形1自由度系モデル、さらにランニングスペクトルを利用して、地震時における地盤の減衰定数の時間的変化を捉えることができた。今後は、さらに他の地盤についても同様な解析を行い、本研究で用いた推定方法の有効性を高めていく。また、推定値の信頼性を定量的に評価できる手法を考える予定である。

参考文献

- 1) (財) 震災予防協会強震動アレー観測記録データベース推進委員会、強震動アレー観測記録データベース、1992.
- 2) 土岐憲三：構造物の耐震解析、新体系土木工学 11、技報堂出版、1991.

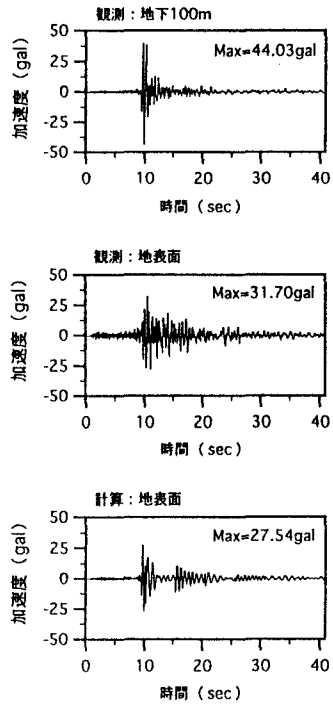


図1 加速度時刻歴 (NS成分)

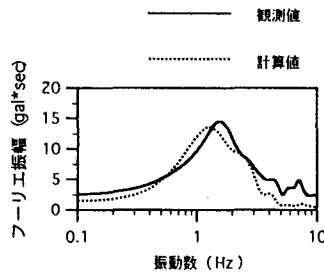


図2 フーリエスペクトル (地表面、NS成分)

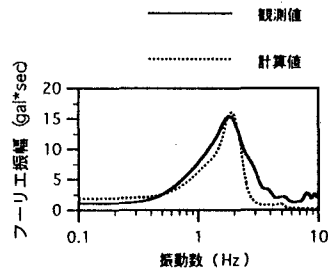


図4 フーリエスペクトル (地表面、UD成分)

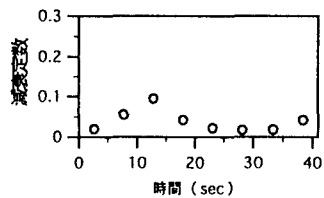


図3 減衰定数 (NS成分)

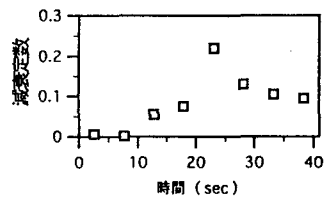


図5 減衰定数 (UD成分)