

京都大学工学部
京都大学防災研究所
京都大学防災研究所

学生員 ○河村 雄一
正会員 後藤 浩之
正会員 澤田 純男

1. はじめに

構造物の耐震性を議論する場合、直下の地盤構造を把握することは重要である。既存の方法では、浅層の地盤構造はボーリング調査や速度検層によって把握できるが、大深度になると技術的・コスト的な面から容易ではない。また、地盤振動特性として地盤の内部減衰を定量的に把握することも重要であるが、先に述べた調査によって内部減衰の値を求めることは容易でない。そのため、地盤の振動特性を調べることを目的として、鉛直アレー観測や水平アレー観測によって、観測された地震波形を説明できるように地盤をモデル化し、内部減衰を求めてきた。ところが、地盤のモデル化をした後に内部減衰を求めるために、その精度が悪かった。そこで、本研究では、後藤ら¹⁾によって提案された NED (Normalized Energy Density) を用いて、地盤をモデル化することをせずに地盤の内部減衰の値を推定した。

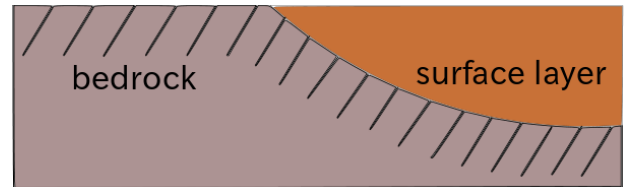


図1 基盤と表層の関係

2. NED (Normalized Energy Density)

NED について説明する。第1層の上昇波の複素振幅を $A_1(\omega)$ 、基盤に入射する波の複素振幅を $A_0(\omega)$ 、その比のパワーを $P_1(\omega)$ とする。このパワーを周波数方向に平均化したものに、地盤のインピーダンス $\rho\beta$ を掛けた物理量 $\rho\beta\langle P \rangle$ を NED と定義する。図2のような2層モデルでは、

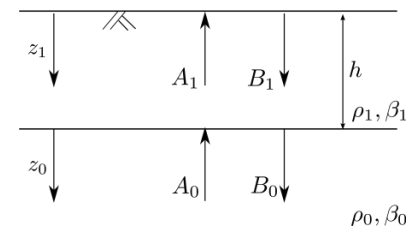


図2 2層地盤モデル

表層の NED と基盤の NED は解析的に等しいことが証明されている。次に図3のような n 層の表層と基盤からなる水平多層構造の場合においても、3層系、4層系および10層系で NED は表層と基盤で等しくなり、深さ方向に関係なく一定値をとることがわかった。このため多層系においても層に関わらず NED は等しいと結論付けられている。

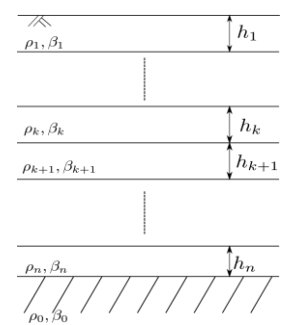


図3 6層地盤モデル

3. 解析結果

後藤ら¹⁾の提案した NED は地盤の内部減衰がない場合に保存されるが、実際の問題に適用するためには内部減衰の影響を考慮する必要がある。そこで減衰定数 h を用いた方法、 Q 値を用いた方法、基盤から地表面までの S 波の伝播時間 T と Q 値によって計算される物理量 T/Q を用いる方法の計3パターンによって内部減衰を導入した。

図4、図5に示したように、内部減衰が大きくなると表層の NED は小さくなることがわかった。また、減衰定数 h を用いた場合よりも Q 値を用いた場合の方が若干ばらつきが小さくなっていることが分かる。

しかし、いずれの場合もばらつき方に大きな差はない．これは減衰定数 h や Q 値が1周期あたりのエネルギーの減少量に対応するパラメータであり，伝播時間を考慮する必要があるからだと推測される．そこで地震波の伝播時間 T を考慮した物理量 T/Q を用いて整理することにした．すると図6のように Q 値が小さくなるとばらつきが大きくなるが，平均的には

$$\frac{\rho_1 \beta_1 \langle P_1 \rangle}{\rho_0 \beta_0} = f(T/Q) = \frac{1}{(20-0.1)} \int_{0.1}^{20} \exp(-2\pi f T/Q) df \quad (1)$$

の線上にのることがわかる．よって，表層と基盤の NED の比によって地盤の内部減衰の大きさに関連する物理量 T/Q を求められることがわかった．

4. 樫原地区地盤の内部減衰の推定

以上に示した手法を京都市樫原地区に適用することにした．樫原地区は 1995 年兵庫県南部地震の際，局地的な被害を受けた場所である．一方，樫原地区から 1 km ほど離れた地点に京大桂キャンパスが位置しており固い地盤上に位置していることが知られている．樫原地区には関西地震観測研究協議会による KTG 地震観測点が，桂キャンパスには KTR 地震観測点が設置されている．そこで，KTG 観測点と KTR 観測点の記録から樫原地区の地盤の内部減衰を求めることとした．2009 年に観測された KTR, KTG 観測点の波形記録を用いて KTR 観測点を岩盤と仮定した場合の KTG 観測点の伝達関数を推定し，観測した地震から得られた伝達関数を用いて表層と基盤の NED の比を計算した．なお，今回は地盤のパラメータは伝達関数によって推定した地盤モデルの値を用いている．

NED の比を式(1)に代入すると， $T/Q=0.081$ と求められた．これは図7に示される通り，ランダムに生成した6層のモデルによって計算される値のおおよそ平均に位置する．

すなわち，NED は対象観測点と岩盤観測点それぞれの最表層のインピーダンスと伝達関数のみから計算できることから，地盤モデルを同定することなく内部減衰の値を推定できる可能性がある．

参考文献

- 1) 後藤浩之，平井俊之，澤田純男：水平多層地盤を鉛直に伝播する波に関する保存量，第 13 回日本地震工学シンポジウム，pp.3587-3592，2010．

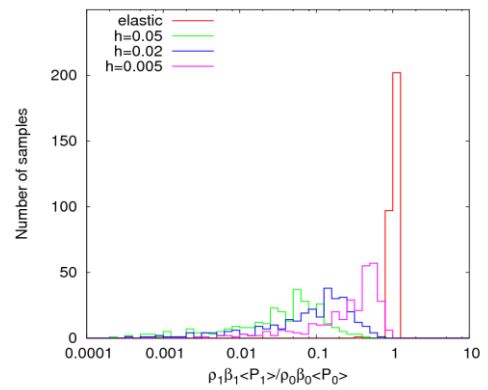


図4 減衰定数 h による導入

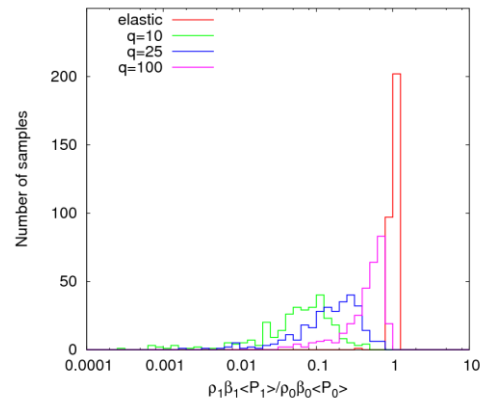


図5 Q 値による導入

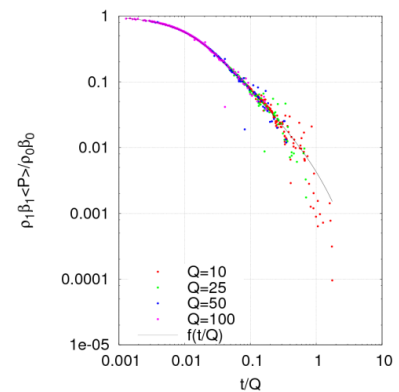


図6 2層系における表層と基盤の NED の比と T/Q のグラフ

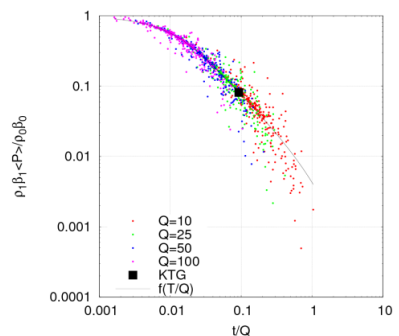


図7 6層系における表層と基盤の NED の比と T/Q のグラフ