

堆積地盤の不均質性が減衰特性に及ぼす影響

Effects of inhomogeneity of sedimentary layers on attenuation characteristics

佐藤 浩章[1], 東 貞成[2], 芝 良昭[2]

Sato Hiroaki[1], Sadanori Higashi[1], Yoshiaki Shiba[1]

[1] 電力中央研究所, [2] 電中研

[1] CRIEPI

鉛直アレー記録から求められる伝達関数の逆解析により減衰(Q 値)を求めると、地殻のような岩石物質と同様に堆積地盤でも地震波の散乱現象と考えられる Q 値の周波数依存性がみられることがよく知られている。また、減衰には熱的なエネルギー消費による内部減衰も存在し、地震波の減衰特性はこれらの和として表される (Richards and Menke, 1983)。堆積地盤の内部減衰については、これを地盤材料の履歴減衰と考えれば、サンプリングが可能な範囲で室内実験により情報を直接得ることができるが、散乱減衰については情報を得ることが難しい。しかしながら、地殻やリソスフェアを対象とした数多くの地震波の散乱に関する研究によれば、散乱減衰は地盤の不均質性を速度の揺らぎとして表現することにより解析的な評価ができることが知られている。そこで本研究では、実地盤のランダムな不均質性を考慮した数値解析による散乱減衰と鉛直アレー記録から得られる減衰特性との対応について検討することを目的として、サスペンション速度検層により 1mおきに S 波速度が得られている鉛直アレー観測地点を対象に検討を実施した。

対象としたのは第四紀層の堆積地盤である茨城県鹿島地点で、深さ 500mまでに地震計 9 台が設置されている。ただし、本研究では 1mおきの検層結果がある深さ 50m までの部分を対象とした。当地点ではこれまでに、鉛直アレー記録を用いた S 波速度、Q 値の推定がいくつか行われているが (例えば、佐藤・他, 2002)、今回再度推定を行った。Q 値の推定には、地震時の最大ひずみが 10^{-5} レベルの記録の Transverse 成分について、S 波初動部から 5 秒間のスペクトル比を平均したものを伝達関数とみなし、GA を用いて SH 波の鉛直入射を仮定した 1 次元解析により求めた。なお、対象周波数範囲は 1~20Hz、また GA による逆解析は最上部を分子に固定した 6 つのスペクトル比の同時逆解析で行った。1 次元モデル化は、S 波速度は土質柱状図を参考に層を分割し、Q 値は表層部分と後述する S 波速度の揺らぎをモデル化した部分の 2 つの区間に分けて推定を行った。

S 波速度の揺らぎのモデル化では、GL-10m までの S 波速度が大きくばらついていたため、それ以深の検層結果を対象として、堀家・他 (1991) と同様に S 波速度の揺らぎの自己相関関数を逆解析して相関距離 a と揺らぎの標準偏差 s を推定した。なお自己相関関数としては指数関数型を仮定した。不均質地盤モデルは 2 次元を考え、推定された深さ方向の相関距離 $a=0.8m$ を等方的とみなした指数関数型モデル、また水平方向の相関距離の影響を検討するため、二重指数関数型モデル (Roth and Korn, 1993) において水平方向の相関距離を $b=2, 5, 10m$ としたモデル、さらには b とした 1 次元モデルの 5 つのモデルを作成した。数値計算には、擬似スペクトル法と差分法のハイブリッド法を用い (Higashi and Sato, 2003)、グリッド間隔 0.25m の 2 次元 SH 波動場 (水平 64m、深さ 300m) に対して、周波数 6, 10, 14Hz の Ricker 波を平面波入力した。Q 値の推定は、モデルの水平方向の中心から $\pm 16m$ の領域の計算波形を、深さ方向に 10m 毎に出力し、出力領域の各水平グリッドにおけるみかけの Q 値を求めて平均した。

結果は、今回対象とした周波数では水平方向の相関距離の増大とともに Q^{-1} が大きくなる傾向がみられた。これは明瞭な変化がみられないとした堀家・竹内 (1993) の結果と若干異なるが、Roth and Korn (1993) による準等方的なモデルの 1 次散乱理論の値とはほぼ一致している。また Q^{-1} の周波数依存性については、各モデルとも依存性はみられるものの、高周波数になるほど Q^{-1} が大きくなり、鉛直アレーの逆解析結果による Q^{-1} とは逆の傾向となった。例えば、 b の場合は 10Hz 付近で両者が交差する結果となっている。このように、高周波数ほど Q^{-1} が大きくなる傾向は、同様に表層地盤の揺らぎを仮定したモデルによる Sato and Kawase (1992) の結果も同じであり、鉛直アレー結果とは矛盾する。堆積地盤の散乱減衰が 1 次散乱理論で説明できると仮定した場合、鉛直アレー結果との整合をとるためには、さらに大きな深さ方向の相関距離を考える必要がある。今回の結果は実際の検層データにもとづき相関距離を決定しており、誤差を考えても 1 次散乱理論で説明できるような大きな相関距離になるとは考え難い。堆積地盤の散乱減衰は、地盤物性の小さな揺らぎよりも、もっとスケールの大きな不均質性 (インピーダンス比の大きい境界面など) に支配されている可能性が考えられる。

謝辞 東工大の山中浩明助教授には原稿についてご意見頂きました。