

多層地盤の粘弾性波動応答について

広島大学工学部 正員 佐藤 誠
日立造船(株) 正員 ○ 嶋 宗和

1. まえがき 平行多層地盤に対する調和SV波の伝播解析については、既に筆者らが地盤が弾性体であるという仮定で解析を行っており、卓越周期の決定には十分な結果が得られたものの、それに対応する応答倍率の絶対値は非常に大きく、これをそのまま耐震設計に取り入れることは合理的でない。そこで、実地盤に適用できるように地盤の粘性を考慮した応答解析が必要である。

平行多層地盤のSV波応答については、既に W.Silva¹⁾によって入射基盤が弾性体である場合についての解析が行われている。そこで本解析では非均質波動の特性を調べ、新たに入射基盤を含む全層が粘弾性体である場合の応答解析を行い、弾性解析および W.Silva が行った解析との比較を行った。

2. 解析地盤 解析の対象とした地盤は、文献2)に掲載されている地盤例とし、その基盤に均質平面SV波が任意の角度で入射するものとした。減衰特性を表す Q^{-1} 値は振動数に依存せず、横波に対する Q^{-1} 値(Q_s^{-1})は各層内の横波速度から定め、 $0 \leq Q_s^{-1} \leq 0.5$ とした。また縦波に対する Q^{-1} 値(Q_p^{-1})は $Q_p^{-1} = 0.2Q_s^{-1}$ と仮定した。

3. 粘弾性体中の平面波 図-1は半無限粘弾性媒体に均質平面SV波が任意の角度で入射した場合の、反射P波の伝播ベクトルPと減衰ベクトルAのベクトル先端の軌跡を示したものであり、数字は入射角を表す。

CASE I は $Q_p^{-1} > Q_s^{-1}$ 、CASE II は $Q_p^{-1} < Q_s^{-1}$ である。

CASE I の場合は、入射角 $\theta_s = 42.9^\circ$ で反射P波の伝播角が $\theta_p = 90^\circ$ (臨界角)となりPはx軸に平行となる。また $\theta_s > 42.9^\circ$ では $\theta_p > 90^\circ$ となりそのときAはほぼz軸の正方向を向く。

CASE II の場合は、全ての θ_s に対して $\theta_p < 90^\circ$ であり、Pがx軸と平行になるような臨界角は存在しない。またPとAのなす角 γ_p (減衰角)は常に負であり、 θ_s が増加すると $\gamma_p \rightarrow -90^\circ$ となりAはz軸の負方向を向く。これはz軸の正方向に向かって波の振幅が大きくなることを意味する。地盤の減衰特性は一般に $Q_p^{-1} < Q_s^{-1}$ と考えられているので CASE II に示されているように全ての θ_s に対してPがx軸に平行となる臨界角は存在しない。

4. 周波数応答倍率 図-2は2種地盤L6)の基盤に均質SV波が $\theta_s = 30^\circ$ で入射した場合の地表における水平動と上下動の周波数応答倍率を ω^* に対して示したものである。ここで $\omega^* = 2\pi d_2 / \Lambda_2$ で d_2 、 Λ_2 は第2層の層厚と波長である。補助軸に周波数 f をとった。

図-2のL6)の水平動から f が大きくなる程弾性解析と粘弾性解析の応答倍率の差が大きくなり、 $f = 40\text{Hz}$ 付近では粘弾性解析の結果は弾性解析の結果の1/5程度

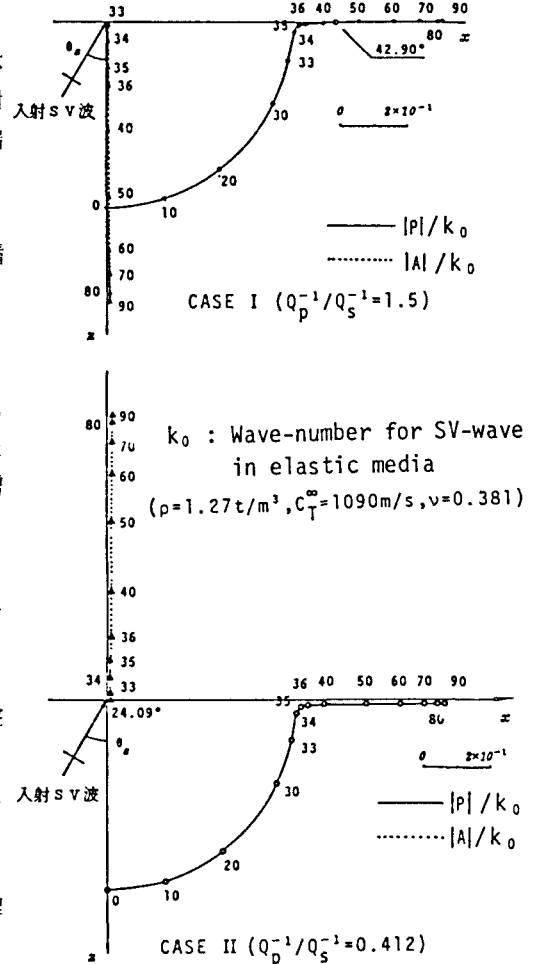


図-1 伝播ベクトルと減衰ベクトルの軌跡

になる。これは値の定義が1 cycle 当りのエネルギーの減少量であり、 f が大きいほど応答の減衰が大きいためである。また上下動に対しては基盤が弾性体であるとした粘弾性解析では、応答倍率が2以下と小さくあまり問題にならない。

しかし、基盤を含む全層が粘弾性体であるとした場合、 $Q_s^{-1}=0.12$ では水平動で $f=30\text{Hz}$ 付近、上下動で $f=10\text{Hz}$ および 30Hz 付近において弾性解析よりも高い応答を示す。これは透過波のAが z 軸の正方向を向くためと考えられる。

さらに $Q_s^{-1}=0.36$ とすると水平動および上下動の応答倍率は解析した範囲内の f に対して2以下となり、 Q^{-1} 値の違いが応答倍率に大きく影響することが分かる。

図-3は3種地盤のL9)の地盤に均質SV波が $\theta_s=0^\circ$ で入射した場合の水平動の周波数応答倍率である。

L9)は弾性解析において第2次固有周波数(f_{x2})に対応する応答倍率が卓越する場合であるが、粘弾性解析においても Q^{-1} 値によっては依然として f_{x2} に対応する応答倍率が卓越する例である。

図-4は実地盤の表層部を等価な単一層に置換し、基盤と表層の2層地盤としての波動インピーダンス比 $\chi = (\rho_B c_B) / (\rho_C c_C)$ を変化させた場合の $\theta_s=0^\circ$ の弾性解析の f_{x1} に対応する応答倍率 u_{x1}^{el} と粘弾性解析の f_{xn} ($n=1,2$)に対応する応答倍率 u_{xn} 、との比 u_{xn} / u_{x1}^{el} ($n=1,2$)を Q_s^{-1} 値に対して示したものである。

この図より、全ての χ に対して u_{xn} / u_{x1}^{el} は Q_s^{-1} 値の増加とともに指数関数的に減少するが、 χ によってその程度が異なることが分かる。また Q^{-1} 値の定義から明らかなように、それぞれの χ について f_{x1} に対応する比 u_{x1} / u_{x1}^{el} の方が f_{x2} に対応する u_{x2} / u_{x1}^{el} よりも大きい。たとえば $\chi=5.0$

で $Q_s^{-1}=0.5$ の場合、前者は0.35、後者は0.13となる。

参考文献

1) SILVA, W: Body waves in layered anelastic solid, BSSA, 66, 1539~1554, 1976.

2) 道路橋示方書 V, 耐震設計編

図-4 各コントラストにおける u_{xn}/u_{x1}^{el}

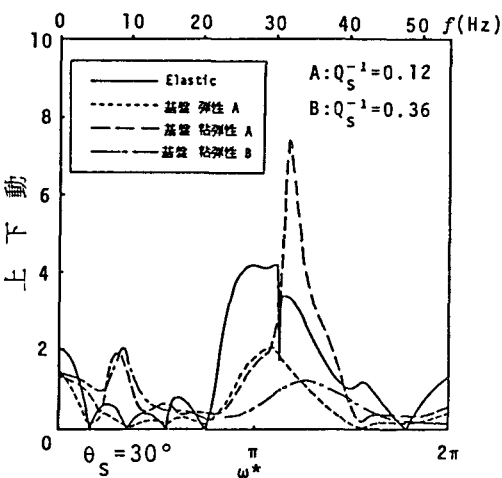
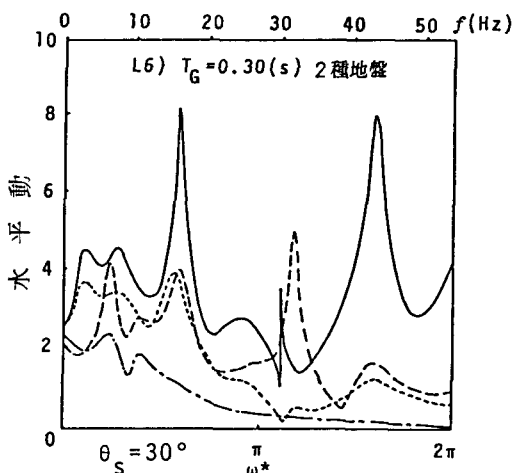


図-2 周波数応答倍率 L6)

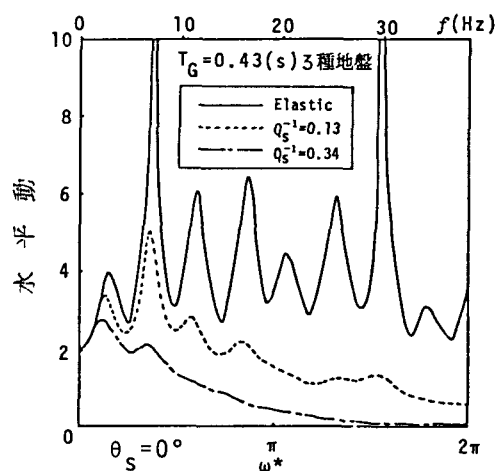


図-3 周波数応答倍率 L9)