

阪神高速道路公団 正 員 ○奥西 史伸
神戸大学工学部 正 員 北村 泰寿

1 はじめに

地震計が設置されている地中の函型構造物に波動が入射する場合、換振器自体の特性および設置条件以外に、設置場所が観測波動の振動特性に影響を及ぼすことが考えられる。本研究では、全無限地盤中の構造物に波動が入射する場合、構造物が入力動に及ぼす影響を及ぼすかに注目した。時間領域境界要素法を用いて2, 3の入射波モデルに対し、波動の立ち上がり、振幅特性などがいかなる変化を生じるかについて検討を行ったものである。

2 解析手法の概要

2次元平面ひずみにおいて、等方均質の弾性体に対する Navier の運動方程式は次式のように与えられる。

$$\sigma_{kj,j}(q,t) + b_k(q,t) - \rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} u_k(q,t) = 0 \quad (1)$$

ここに、 σ は応力、 b は物体力、 u は変位、 ρ は密度である。

式(1)において、物体力を無視し、重み付き残差法を用いれば、つぎの境界積分方程式が導かれる。

$$c_{ki}(S)u_k^s(S,t) = \int_0^t \int_{\Gamma} \left\{ u_{ki}^*(Q,t;S,\tau) p_k^s(Q,\tau) - p_{ki}^*(Q,t;S,\tau) u_k^s(Q,\tau) \right\} d\Gamma(Q) d\tau \quad (2)$$

上式は散乱波動場に対する式で、入射波を含む全体波動場に対する境界積分方程式は次式となる。

$$c_{ki}(S)u_k^T(S,t) = \int_0^t \int_{\Gamma} \left\{ u_{ki}^*(Q,t;S,\tau) p_k^T(Q,\tau) - p_{ki}^*(Q,t;S,\tau) u_k^T(Q,\tau) \right\} d\Gamma(Q) d\tau + u_k^I(S,t) \quad (3)$$

ここに、 u^I は入射波、 u^T 、 p^T は全体波動場における境界変位、表面力である。

式(2)、(3)を構造物および地盤部に対して適用し、連続条件 $u_g^T = u_b^T$ 、 $p_g^T = -p_b^T$ を考慮すれば、連立した境界積分方程式が得られる。さらに、これらを離散化すれば、次式の連立一次方程式が導かれる。

$$[H_b^1] \{u_b^M\} = [G_b^1] \{p_b^M\} + \sum_{m=2}^M \{ [G_b^m] \{p_b^{M-m+1}\} - [H_b^m] \{u_b^{M-m+1}\} \} \quad (4)$$

$$[H_g^1] \{u_g^M\} = [G_g^1] \{p_g^M\} + \sum_{m=2}^M \{ [G_g^m] \{p_g^{M-m+1}\} - [H_g^m] \{u_g^{M-m+1}\} \} + \{u_g^I\} \quad (5)$$

ここに、上付き添字は各タイムステップでの諸量、下付き添字は各領域を表す。なお、 $[H]$ 、 $[G]$ マトリックスの詳細は省略する。

3 解析モデル

図-1 に示すように、全無限弾性体中に存在する函型構造物に鉛直下方から波動が入射する場合を考える。

計算条件として、地盤の密度を 2.0 tf/m^3 、せん断波速度を 150 m/s 、ポアソン比を $1/3$ 、構造物の密度を 2.0 tf/m^3 、せん断波速度を 2500 m/s 、ポアソン比を $1/3$ とする。また、入射波動には図-2 に示すリッカー波、衝撃的な波、ステップ波の3種類の波を用いる。

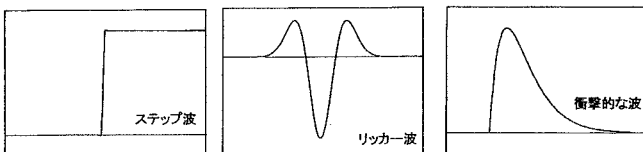


図-2 入射波形

4 計算結果とその考察

図-3～10 は、図-2 に示した3種類のS波およびP波が入射するとき、図-1 の観測点で得られる水平および鉛直変位を示したものである。なお、衝撃的な波では波の入射からピークまでの時間を 0.03 秒 とし、リッカー波の代表周波数は 10 Hz および 30 Hz とした。図-3、4 はステップS波の入射に対する水平変位、ステ

ステップP波の入射に対する鉛直変位を示したものである。図-5、6は、衝撃的な波について、S波入射に対する水平変位、P波入射に対する鉛直変位である。図-7、8は、代表周波数10Hzのリッカー波入射の場合で、S波に対する水平変位、P波に対する鉛直変位を示したものである。同様に、図-9、10は、代表周波数30Hzのリッカー波入射に対する水平、鉛直変位である。

まず、波動入射時における構造物の立ち上がり特性に注目すると、ステップ波入射の場合に応答の時間遅れが生じているが、他の入射波に対しては時間遅れが見られない。ここには図示していないが、入射波のフーリエスペクトルによれば、ステップ波は広い周波数成分を含むのに対して、他の入射波はステップ波が含むような高周波数成分を含んでいない。ステップ波入射の場合、構造物―地盤系で構成される振動系がローパスフィルターの役割を果たし、高周波数成分カットが応答の時間遅れに関係していると推察される。

つぎに、振幅特性については、図-3～8のグループと図-9、10のグループで傾向が異なる。図-3～8ではP波入射に対する構造物応答に振幅の減少が生じているのに対し、図-9、10ではS波入射に対する応答がP波入射に対するそれより小さくなっている。リッカー波30Hzについては、入射波の入力損失効果に関係しているものと考えられる。代表周波数30Hzに対して、S波の波長は構造物サイズより短い。このため、S波入射に対する応答変位の方がP波入射の場合より減少したものとみなされる。一方、衝撃的な波およびリッカー波10Hzについては、波長が構造物サイズより長いことから、波動の入射方向に対する構造物の剛性、構造物―地盤系の複素剛性等が関与する問題と思われる。また、広い周波数成分を含むステップ波については、上述の両方の現象が生じているものと考えられる。図-3～8の現象に対しては、今後さらに検討を加えたい。

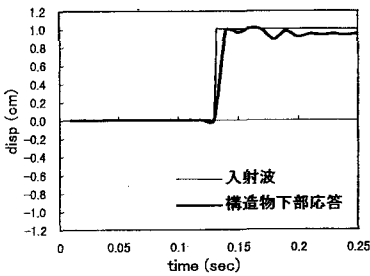


図-3 ステップS波-水平変位

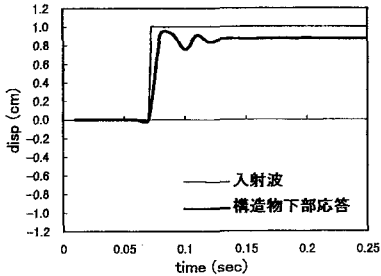


図-4 ステップP波-鉛直変位

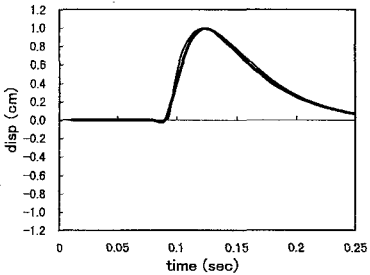


図-5 衝撃S波-水平変位

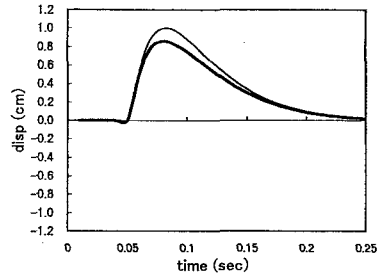


図-6 衝撃P波-鉛直変位

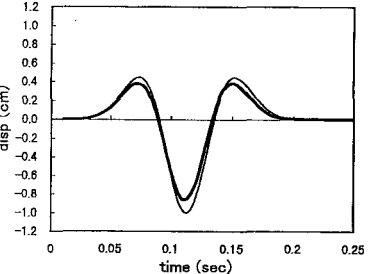


図-7 リッカーS波-水平変位
(10Hz)

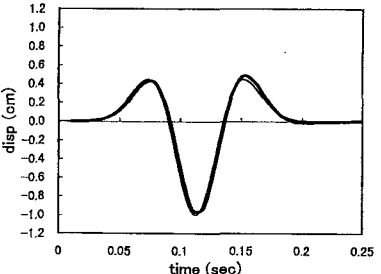


図-8 リッカーP波-鉛直変位
(10Hz)

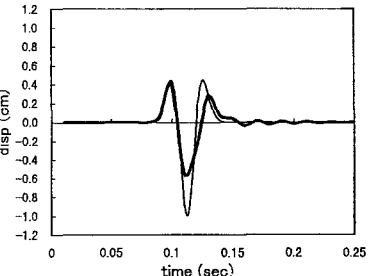


図-9 リッカーS波-水平変位
(30Hz)

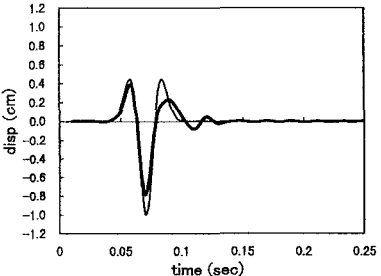


図-10 リッカーP波-鉛直変位
(30Hz)