

京都大学防災研究所 正員 佐藤忠信

京都大学防災研究所 正員 土岐憲三

1. まえがき

地盤中で伝播する波動を遮断する目的で、地盤中に地中壁を設ける試みが行われるようになってきたが、地中壁の寸法、形式などを決定するためのデータはほとんど現場実験や模型実験によっていた。¹⁾対象となる地盤の構成は地域ごとに複雑な様相を示すが、既存の実験結果から地中壁の効果を定量的に推定することは困難であり大規模な地中壁を設ける場合にはかなりの予備実験が必要になるものと考えられる。一方、地盤を弾性体と考えた解析的研究が行えれば、以上のような問題点を克服できるものと考えられるが、動的弾性学の問題は境界形状が複雑になると、その解が簡単に求められなくなるため、これまで、層構造を有する表層地盤内に設けられた地中壁の解析に用いられた例は極めて少ない。本研究では、波動論的な観点に立脚しながら、地中壁-地盤系を有限要素化することにより解析的な困難さを取り除き、地中壁の材料特性による波動の遮断効果について考察を加える。地盤中で伝播する波動としてはうづ波、入射角を有する一様な SH 波ならびに点状震源から放射される SH 型の波動を考える。したがって、数値解析における変位は、紙面垂直方向の成分しか考えない。

2. 解析手法の概略

図-1 に示すように、水平な成層地盤 Ω_B に構造物を含む領域 Ω_A が存在している場合を考えると、 Ω_A の部分を有限要素化した場合の運動方程式は次のようになる。²⁾

$$\left(-\omega^2 \begin{bmatrix} M_s & M_c \\ M_c^T & M_A \end{bmatrix} + i\omega \begin{bmatrix} C_s + C_s^* & C_c \\ C_c^T & C_A \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_s + K_s^* & K_c \\ K_c^T & K_A \end{bmatrix} \right) \begin{Bmatrix} \delta_s \\ \delta_A \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_s \\ F_A \end{Bmatrix} \quad (1)$$

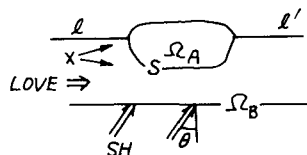


図-1 解析領域

ここに、 S の添字の付いた変数は仮想境界上の節点に関するものであり、 A の添字は構造物の存在する領域内の節点に関するものである。また * 印の付いた変数は仮想境界上の境界条件から導入されるもので、これは仮想境界を固定した場合の運動方程式ではゼロとなる。 $K_s^* + i\omega C_s^*$ は仮想境界上の複素剛性マトリックスであり、これは仮想境界上で成立する積分方程式を離散化することによって求められる。³⁾ いま $l-l'$ を地表面とする仮想の成層地盤を考え、仮想地盤内に入射波動が伝播するとした場合の S 面上の節点変位ならびに力のベクトルを $\{d\}$ 、 $\{f\}$ とすれば $\{F_s\}$ は次式で与えられる。

$$\{F_s\} = -\{f\} + [K_s^* + i\omega C_s^*] \{d\} \quad (2)$$

3. 地中壁による波動の遮断

図-2 に示すような地中壁のモデルを考え、地中壁の材質が変わることによって、波動の遮断効果がどの程度変化するかを明らかにする。図-3, 4, 5 は表層の共振振動数 1.25 Hz における地表面の変位応答倍率を、地中壁からの距離に対してプロットしたものである。図-3 は地中壁の剛性がゼロ、すなわち、地盤中に自立した溝が設けられた場合に相当している。

図-4 は地中壁の材質のせん断波速度が 800 m/sec 、単位体積重量が 2.0 t/m^3 、図-5 は材質をコンクリートに想定した

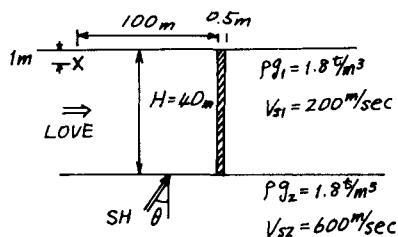


図-2 地中壁のモデル

場合のものであって、そのセリ断波速度は 1600 m/sec 、単位体積重量は 2.3 t/m^3 である。

図-3より、一様なSH波が入射角 0° で入射した場合の応答倍率は左右対称で、溝の位置で最大値を取る事が判明する。また、入射角が大きくなると溝左側の応答倍率が右側の応答倍率より大きくなるが、ここに取り扱った領域内では溝の位置で最大値を取る。また同図には地表面における振幅が2になるように正規化したうづ波の基本モードの波を左から入射した場合の応答倍率も示してあるが、これは入射角が $60^\circ \sim 90^\circ$ の一様なSH波が入射する場合の応答特性と良く似てゐる。応答倍率が溝の位置で最大になるのは、溝切りによって地盤の拘束が解除されるためであり、地震時の地盤の安定性を考慮すると、溝を剛性の高い材料で充填しておかなければならないことが明らかとなる。

以上の観点から、地中壁として周囲の地盤よりも8倍あるいは16倍剛性の高い材料からなるものを考え、上述と同じ解析を行った。図-4と図-5から、地表面の応答倍率は地中壁近傍で極端に小さくなること(地盤のみの場合には入射角 $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ に対応する地表面の応答倍率はそれぞれ $6.67, 5.84, 3.47, 2.0$ となる)、入射角 0° の場合には左右対称になっていること、入射角が大きくなるにつれて、地中壁左方の応答倍率が大きくなることなどがわかる。また、入射角 30° の場合には入射角 0° のものより若干ではあるが、地中壁左方の応答倍率が大きくなる。これは地中深く根入れされた構造物の場合には、鉛直下方から入射する一様なSH波動による応答解析だけでは、地盤-構造物系の震動特性を十分に把握できなくなる場合のあることを示唆している。

図-6は図-2のX印点に単位SH型点震源が存在する場合の地中壁近傍の地表面の変位応答を示したものである。地中壁によって、波動のエネルギーがかなりの割合で遮断されることわかる。この場合にも溝を掘った後、剛性の高い材料で溝を充填しておく方が、その効果の大きいことが判明する。

以上の解析は周波数を表層地盤の1次固有振動数 1.25 Hz に限定して行ったが、周波数によって波動の遮断効果かどのように変化するか、また、地震波などが伝播する場合に、その波形がどのように変化するかなどについては講義時に述べる。^{存在}以上の解析を行うに当たり、いずれの場合も周波数 0.1 Hz での応答計算を行って、その値がほぼ2.0になることを確認し解析手法の精度に関する検証を行ったことを付記する。

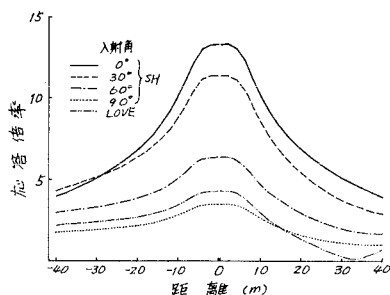


図-3 地表面の応答倍率(地中壁の剛性ゼロ)

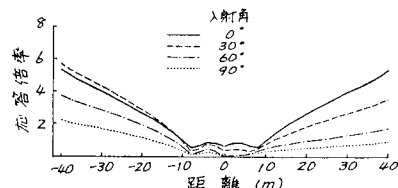


図-4 地表面の応答倍率(地中壁の剛性 $V_0=800 \text{ m/s}$)

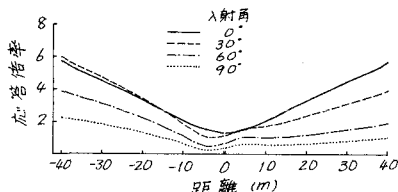


図-5 地表面の応答倍率(地中壁の剛性 $V_0=1600 \text{ m/s}$)

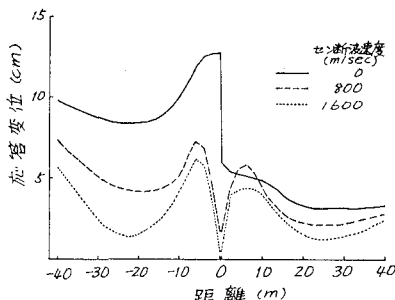


図-6 点震源に対する波動の遮断効果

参考文献

- 1) Woods R. D. : Screening of Surface Waves in Soils, Proc. ASCE, SM4, pp.951-979, 1968.
- 2) 土岐憲三・佐藤忠信 : 複雑な地下構造を有する地盤の震動特性, 第27回応用力学連合講演会講演論文集, pp.113-114, 1977.
- 3) Toki K. & Sato T. : Seismic Response Analysis of Surface Layer with Irregular Boundaries, Preprints 6 WCEE, pp.2-81-86, 1977.