

立命館大学理工学部大学院 ○学生員 北村弘和
立命館大学理工学部 正員 早川 清
同 上 正員 島山直隆

1. はじめに：地盤振動の間接的対策として、空溝と地中防振壁、地中防振柱列などによる遮断方法が、各様肉で定盤地盤における実験、室内における模型実験により検討されてきており、空溝については波長の肉係が強いことが知られている。しかしながら、空溝の角部のような媒体中に不連続性をもつような地盤モデルでは、この問題を波動問題として理論的に解析することは困難であると考えられる。ここでは地盤を半無限の2次元弾性体と仮定し、これを網目状に分割して質点系の振動モデルに置換し、若干の数値計算を行って空溝による振動伝搬の遮断効果および回折効果について検討するとともに、実験室内にゴムを組合せて作製した2次元の地盤模型により実験的検討を行ったこと、これらの結果について報告する。

2. 運動方程式および計算式

水平方向をx軸、上下方向をz軸とし、それぞれの変位をu, wとする。2次元弾性体の運動方程式は次のようになる。

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = (\lambda + 2\mu) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + (\lambda + \mu) \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial z} \quad (1)$$

$$\rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = (\lambda + 2\mu) \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + (\lambda + \mu) \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial z} \quad (2)$$

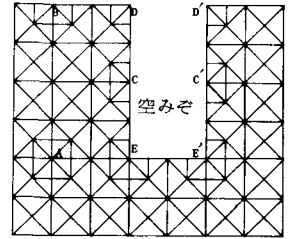


図-1 地盤の格子模型

ただし、 λ, μ は Lamé's const., ρ は density である。ここでは連続体の代りに規則正しく配列された質点系モデルに置換し、変位について階差式を適用するとともに、左辺の慣性項についても階差をとることとした。

地盤をx, z方向にそれぞれ等間隔に区分し、任意の点 $P_{i,j,k}$ 時刻tにおける変位を $u_{i,j,k}, w_{i,j,k}$ と表わす。この場合、図-1に示したような弾性体内の一一般的な点Aに因する階差式は次のようになる。

$$u_{i+1,j,k} = 2u_{i,j,k} - u_{i-1,j,k} + (V_p)^2 - (V_s)^2 / h^2 \cdot \tau^2 [u_{i,j,k+1} - 2u_{i,j,k} + u_{i,j,k-1}] \\ + (V_s)^2 \cdot \tau^2 / 2h^2 [u_{i,j,k+1} + u_{i,j,k-1} + u_{i,j+1,k-1} + u_{i,j-1,k-1} - 4u_{i,j,k} \\ + w_{i,j+1,k+1} - w_{i,j-1,k+1} - w_{i,j+1,k-1} + w_{i,j-1,k-1}] \quad (3)$$

$$w_{i+1,j,k} = 2w_{i,j,k} - w_{i-1,j,k} + \{ (V_p)^2 - (V_s)^2 \} \tau^2 / h^2 [w_{i,j,k+1} - 2w_{i,j,k} + w_{i,j,k-1}] \\ + (V_s)^2 \cdot \tau^2 / 2h^2 [w_{i,j+1,k+1} + w_{i,j-1,k+1} + w_{i,j+1,k-1} + w_{i,j-1,k-1} - 4w_{i,j,k} \\ + u_{i,j+1,k+1} - u_{i,j-1,k+1} - u_{i,j+1,k-1} + u_{i,j-1,k-1}] \quad (4)$$

ただし V_p : 縦波速度 (m/sec), V_s : 横波速度 (m/sec), h : 区分間隔 (m) である。同様の方で、B, C, C', D, D', E, E'を囲む網目部分には、面積に比例した質量を持たせ、かつ自由表面についてはバネ定数を半分にするとともに係数補正を行って階差式を求めた。更に、溝の片側から12 m離れた自由表面上の1点に、最大振幅1の正弦波状の入力を与え、幅4m、深さH ($H = 1/8 \lambda \sim 5/8 \lambda$, λ : 波長) を5段階に変えて、各計算条件による変位伝搬状況を求めた。この場合、波長の縦波速度は800 m/sec, 横波速度は400 m/sec, ポアソン比 $\nu = 1/3$ である。区分間隔は高さ方向、横方向ともに等間隔1mとし、入力波の周期を0.04 sec, 時間間隔は1周期を40等分した0.001 secの条件について2周期半までの計算を行った。

3. 結果の考察 (i) 波長の伝搬状況について：溝深さ8mの場合について、自由表面、溝深さの中央部分、溝の最深部分における数時間ごとの、波長の伝搬状況を図-2に示した。なお水平方向についても、便宜上、振幅を上下方向に示した。当然のことであるが、自由表面、溝深さの中央部分では、空溝による振動の遮断作

用により、溝の後側では著しく振幅が減少している。一方、溝の最深部分では0.06程度以後に回折波が到達するようである。iii)振動軽減効果について；溝深さの相違による振動軽減効果を知るために、溝のない時の振幅と溝設置後の振幅の比を縦軸に、横軸に波長と溝深さの比をとって両者の関係を、各地点の最大振幅について示したものが図-3、図-4である。地中部分では上下方向に比較して水平方向の振動軽減効果が大きい傾向にあるが、自由表面では溝深さと波長の比が0.25より小さい範囲では、水平方向の振幅比は上下方向より大きくなる傾向にあり、これよりH/λが小さくなるとともに、水平方向の軽減効果が極端に大きくなる様相にある。図中の実験値はゴムを格子状に結んで作製した2次元の地盤模型について、郵聖型加振装置（明石製作所製）、加速度計（Brüel & Kjær社製TYPE 8307）などを使用して定常波の加振実験を行って求めた値である。また、一点鎖線は国鉄による実験式として提案されているものを示してある。測定位置、加振位置、加振方法等の諸条件が異なっているが、必ずしも一様には比較出来ないが、国鉄の実験式は今回の数値計算結果より振幅比がかなり小さくなっている。また実験値はバフヤが大きいが、全体的傾向は国鉄の結果に近似していると思われる。iii)振動モードについて；図-5は溝深さ8m、時刻0.08secにおける空溝周辺部分の振動モード

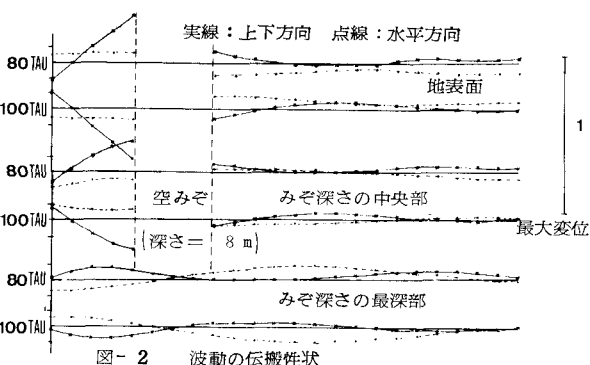


図-2 波動の伝搬性状

の代表例を示したものである。これより溝の後側への回折波の到達、および溝の側壁、自由表面におけるみかけの変位が大きくなることなどが知られる。

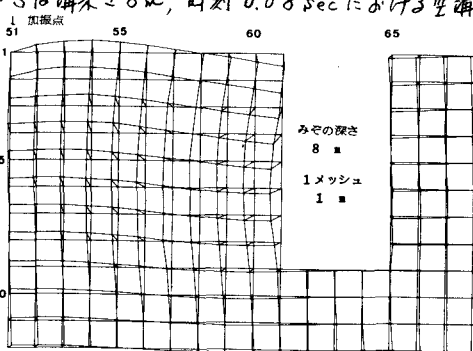


図-5 振動モードの一例

4. まとめ

空溝による地盤振動の遮断効果について2次元振動を取り扱い、階差法によって若干の数値計算を行った。これらの計算結果によると、振幅を半減するためには、溝の深さH=0.1~0.2λが良いということになるが、模型地盤による結果では従来より研究成果とほぼ同様に、振幅を半減するためにはH=0.3λ程度が適当と考えられる。この限りでは実験結果の方が安全側と考えられるが、今回の数値計算では空溝の形状を実際に施工可能程度の寸法以上にして結果を明確に生ずるようにしたこと、さらには実地盤の成層条件、地下水の影響を含めて検討する必要があると考えられる。本研究の遂行に際しては計算プログラムの作成に関してフジエンジニアリングの松藤氏に、結果の整理に関して昨年度の卒研生が協力を得た。ここに謝意を表しておきます。

(参考文献) 1) 佐藤泰夫, 弾性波動論 (岩波書店 1978)

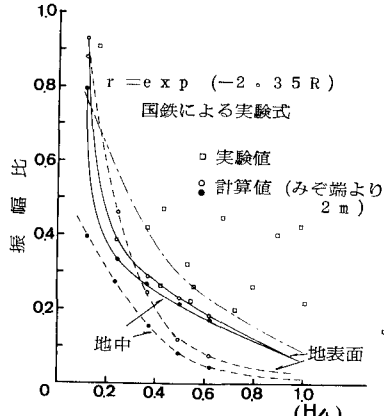


図-3 空みぞの振動減衰効果

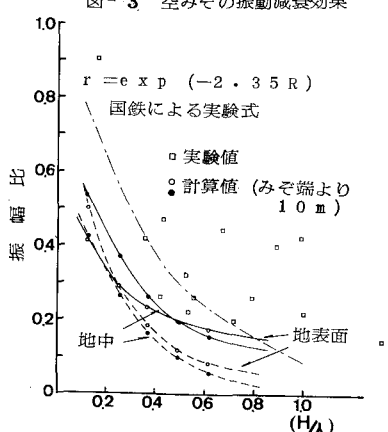


図-4 空みぞの振動減衰効果