

積分方程式法によるトンネルの動的解析

京都大学工学部 正 員 小林昭一
 京都大学工学部 正 員 西村直志
 西松建設 正員 徳川和孝

1. はじめに

積分方程式法を用いた数値解析の例は今日までに数多く報告されているが、今回は高速 Fourier 変換 (FFT) を用いた半無限非定常動弾性解析の数値計算例を示した。

2. 非定常解析

一般に動弾性初期値、境界値問題は Fourier 変換により次の定常問題に帰着する。

$$\begin{cases} \Delta^* \hat{u} = -\rho \omega^2 \hat{u} \\ \hat{u}(x, \omega) = \bar{u}(x, \omega) & (x \in S_1) \\ \hat{t}(x, \omega) = \bar{t}(x, \omega) & (x \in S_2) \end{cases} \quad (1)$$

ここに u : 変位ベクトル, t : 応力ベクトル, また $\hat{}$ は次式で定義される Fourier 変換を表す。

$$\hat{x} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} x e^{i\omega t} dt$$

また「静止した過去」を仮定した。次に、特に入射波の変位 u_i を次の様に平面 S 波と仮定して Fourier 変換すれば

$$u_i(x, t) \equiv u_i(t - \frac{rx}{c_r}) = \varepsilon U_i(t - \frac{rx}{c_r})$$

$$\hat{u}_i(x, \omega) = \varepsilon e^{\frac{rx}{c_r} \omega} \hat{U}_i(\omega) \quad (\text{ただし } \varepsilon \cdot r = 0)$$

従って、非定常問題 (1) の解は $\hat{t} = 0$ の条件が与えられた場合には次の様な問題

$$\begin{cases} \Delta^* \hat{u} = -\rho \omega^2 \hat{u} \\ \hat{u}_i = \varepsilon e^{\frac{rx}{c_r} \omega} = \varepsilon e^{ik_r r \cdot x}, \quad \hat{t} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

の解に $\hat{U}_i(\omega)$ を掛けたもので与えられることがわかる。

また式 (2) の $\hat{u}$ を求めるために、積分方程式を使うが、解の表現として次式を用いる。

$$\hat{u} = \hat{u}_h + \int_{\partial D} \hat{U} t_R dS - \int_{\partial D} \hat{T} u_R dS \quad (3)$$

ここに $\hat{u}_h$ は平面入射波に対する半無限弾性体の定常応答, u_R, t_R は各々、反射変位ベクトル, 応力ベクトルである。 $\hat{u}_R = \hat{u} - \hat{u}_h$, $\hat{t}_R = \hat{t} - \hat{t}_h$ であり, $\hat{U}, \hat{T}$ は式 (2) の方程式系の基本解及び 2 重層の核である。

3. 数値解析法及び解析例

数値解析には次の手法を用いた。

- 1) 境界要素として 2 次のアイソパラメトリック要素を用いた。
- 2) Fourier 変換には FFT 法を用いた。また補間法を用いる事で定常解析の回数の減少を図った。

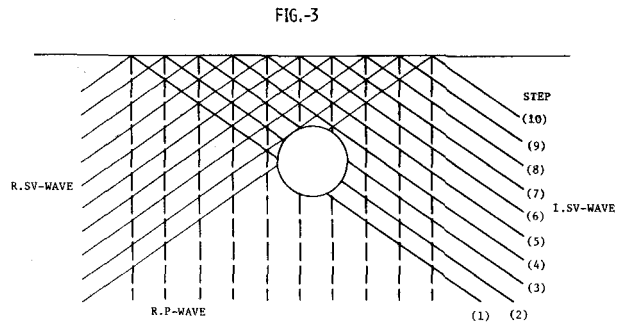
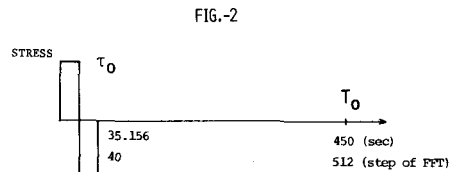
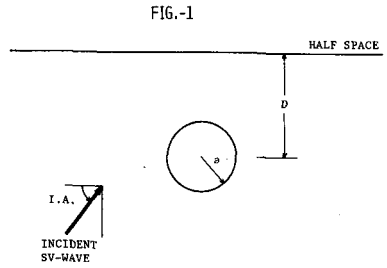
Shoichi KOBAYASHI Naoshi NISHIMURA Kazuhiko TOKUGAWA

3) 半無限境界は入射波長の2倍より短くならないように波長によって長さを変えた。

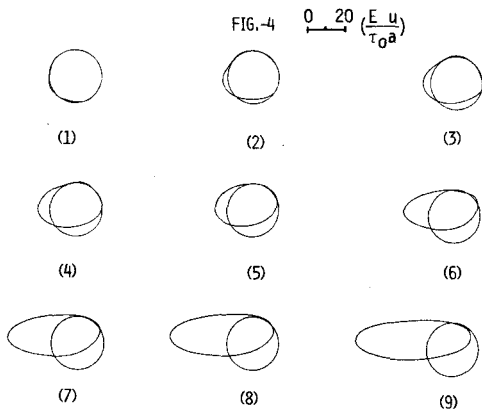
次に、半無限地盤表面近くでの円孔の非定常解析例を示す。FIG.-1の様なモデルを仮定した。

DATA: $\alpha = 1$, $D = 3$, $\nu = 0.25$, $C_T T_0 / 2\alpha = 142.3$ ここで ν はポアソン比, C_T はせん断波速度, T_0 は有限Fourier変換に用いる入射波の継続時間である。なお入射波は平面S波とした。また半無限弾性体の表面変位応答は入射角がCritical Angleの時に高いピークを示す事を考慮して、平面S波の入射角をこのCritical Angle ($= 54.74^\circ$)とした。FIG.-2に入射波の応力波形を示す。

以上のDATAに基づいて計算した結果を示す。各TIME-STEPにおける入射S波, 反射S波, 反射P波のWAVE-FRONTの位置を表わしたのが、FIG.-3である。そのFIG.-3の各STEPに対応する、円孔部分の変位と接線方向の応力を示したのがFIG.-4並びにFIG.-5である。この二つの図で各STEPごとに対応させて見ると、STEP(1)では入射S波が円孔の左下部分に到着し、変位、応力が表われ始めている。さらに時間を経過すると反射P波が円孔に到着し、その影響が卓越してくる様子が、変位図、応力図ともにSTEP(6)付近から見られる。なお詳細は当日発表する。



(変位の時間変化) ↓



↑ (各TIME-STEPにおけるWAVE-FRONTの位置)
↓ (応力の時間変化)

