

## 重力式海洋構造物-地盤系の動的応答解析

東海大学海洋学部 正員 〇川上 哲太郎

東海大学海洋学部 正員 北原 道弘

## 1. はじめに

重力式海洋構造物など海底地盤に設置された構造物に対し、地震動あるいは波浪などの外力が作用した場合、その動的挙動を解明することは、工学上重要な課題である。

本研究は、この種の問題に対する一つのアプローチとして、海底地盤と構造物を異質の弾性体と仮定し、積分方程式法を用いて、地盤-構造物-流体系における動的相互作用問題の解析を行ったものである。

## 2. 解析手法

解析対象とする領域を Fig. 1 のように定義する。本研究では、海底地盤(領域Ⅲ)は、等方均質な半無限弾性体、構造物(領域Ⅱ)は、海底地盤とは異質な弾性体と仮定し、流体(領域Ⅰ,Ⅰ',Ⅰ'')は、非圧縮性完全流体として解析を行った。

領域Ⅱ、Ⅲの弾性体および領域Ⅰ,Ⅰ',Ⅰ'の流体に対する基礎式は、定常状態において次のようになる。

$$\mu \Delta u + (\lambda + \mu) \nabla \nabla \cdot u + \rho \omega^2 u = 0 \quad (\text{弾性体}) \quad (1)$$

$$\Delta \Phi = 0 \quad (\text{流体}) \quad (2)$$

ここに、 $u$  は変位ベクトル、 $\lambda, \mu, \rho$  は Lamé 定数、密度、 $\omega$  は角振動数である。また、 $\Phi$  は速

度ポテンシャル、 $\Delta$  は Laplacian、 $\nabla$  は gradient を表す。

地盤、構造物、流体の相互作用問題を解析するためには、各領域の接続を行わなければならない。本解析法では、弾性体と流体( $\partial D_4, \partial D_5$ )および弾性体と弾性体( $\partial D_6$ )が接触する共通の境界上において、次式で示される連続条件を導入し各領域の接続を行った。

$$\begin{cases} t_q = -n_q p = n_f i_f \omega_f \Phi & (3.a) \\ -i \omega_q u_q \cdot n_q = V \cdot n_q = -(V \Phi) \cdot n_f & (3.b) \end{cases} \quad \text{on } \partial D_4$$

$$\begin{cases} t_s = -n_s p = n_f i_f \omega_f \Phi & (4.a) \\ -i \omega_s u_s \cdot n_s = V \cdot n_s = -(V \Phi) \cdot n_f & (4.b) \end{cases} \quad \text{on } \partial D_5$$

$$\begin{cases} u_q = u_s & (5.a) \\ t_q = -t_s & (5.b) \end{cases} \quad \text{on } \partial D_6$$

ここで、添字  $q, s, f$  はそれぞれ、地盤、構造物、流体に対応するものであることを示す。また、 $\Phi$  は表面力、 $n$  は外向単位法線ベクトル、 $p$  は流体圧、 $V$  は速度ベクトルを表す。

次に、各領域に対する積分表現を示す。本解析法では、Green 公式を用いた直接法により、境界積分方程式への変換を行う。領域Ⅲ、領域Ⅱの境界上の変位に関する積分表現および、領域Ⅰの境界上の速度ポテンシャルに関する積分表現は、各々次のようになる。

$$\begin{aligned} C_0 u_q(x) &= u_q^i(x) + \int_{\partial D} U(x, y; \omega) \cdot \{ \tilde{T}^q u_q(y) \} dS_y \\ &\quad - \int_{\partial D} \{ \tilde{T}^q U(x, y; \omega) \} \cdot u_q(y) dS_y \quad (6) \\ &\quad x \in \partial D_4 \cup \partial D_5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_0 u_s(x) &= \int_{\partial D} U(x, y; \omega) \cdot \{ \tilde{T}^s u_s(y) \} dS_y \\ &\quad - \int_{\partial D} \{ \tilde{T}^s U(x, y; \omega) \} \cdot u_s(y) dS_y \quad (7) \\ &\quad x \in \partial D_5 \cup \partial D_6 \end{aligned}$$

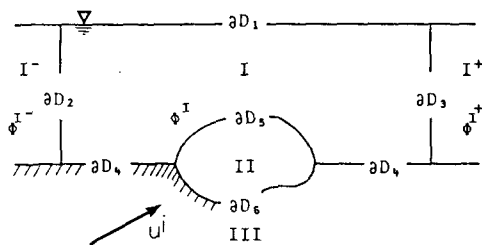


Fig. 1 Soil-structure-fluid coupling model

$$C_d^* \Phi(x) = \int_{\partial D} \{ G(x, y) (\partial \Phi(y) / \partial n) \} dS_y \\ - \int_{\partial D} \{ (\partial G(x, y) / \partial n) \Phi(y) \} dS_y \quad (8)$$

$$x \in \partial D_1 \cup \partial D_2 \cup \partial D_3 \cup \partial D_4 \cup \partial D_5$$

ここに、 $U$ 、 $G$ は基本解を表わし、 $\psi(x)$ は入射波、 $C_d^*$ 、 $C_d^*$ は2重層ポテンシャルのfree termの係数である。基本解 $U$ 、 $G$ は次のようになる。

$$U = \frac{i}{2\pi} [H_0^{(2)}(k_L r)] \mathbf{1} + \frac{1}{8\pi} \nabla \nabla [H_0^{(2)}(k_L r) - H_0^{(2)}(k_L r)] \quad (9)$$

$$G = \frac{1}{8\pi} \log \frac{1}{r} \quad (10)$$

ここで、 $r = |x - y|$ 、 $k_L = \omega / c_L$ は横波波数、 $k_L = \omega / c_L$ は縦波波数、 $H_0^{(2)}(\cdot)$ は第1種0次のハンケル関数である。

したがって問題は、(6)、(7)、(8)式および連続条件(3.a)~(5.b)式から得られる境界積分方程式系を所要の境界条件のもとで解くことに帰着される。本解析では、境界積分方程式系を2次のアイソパラメトリック要素を用いて離散化し、境界上の変位、表面力および速度ポテンシャルを未知量とする連立一次方程式に変換し、解析を行った。

### 3. 数値計算例

Fig. 2に示すようなモデルについて、弾性波を入射させ、海底地盤および構造物の変位を算定した。本計算例では、構造物および海底地盤のせん断弾性係数の比 $\mu_s / \mu_g = 100.0$ 、密度比 $\rho_s / \rho_g = 1.0$ 、Poisson比 $\nu_s = 0.17$ 、 $\nu_g = 0.45$ として計算を行った。

Fig. 3は、P波を入射角度 $\theta = 0^\circ$ で入射させた場合の変位を示したものである。入射波波数 $ak_T = 0.1$ の時、海底地盤上での変位は、ほぼ一樣に入射波振幅の2倍であることが判る。又、 $ak_T = 1.0$ の場合、入射波波長とほぼ等しい、波長で散乱波の影響が現れている。Fig. 4は、S波( $\theta = 0^\circ$ )を入射させた場合の変位を示したものである。構造物周辺の変位は、入射波波数が小さいと大きく、その影響の遠方までおよんでいる。尚、数値計算の詳細は当日会場にて発表する。

参考文献) 川上哲太郎、北原道弘：地盤-構造物-流体系における動的相互作用問題への積分方程式法の応用、境界要素法論文集第3巻、境界要素法研究会、P115-136、1986

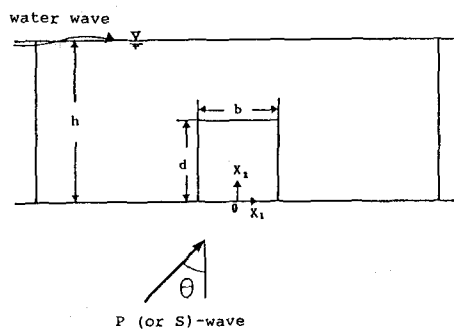


Fig. 2 Numerical model

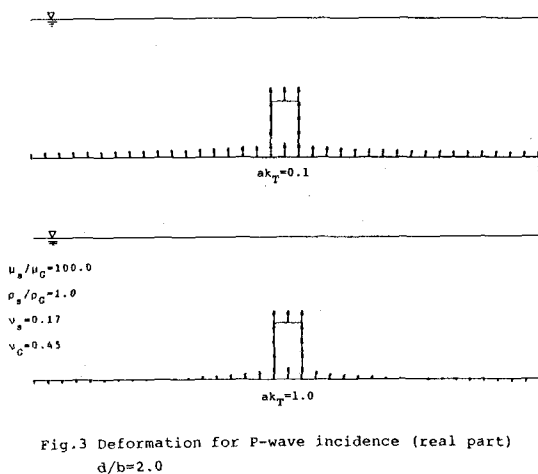


Fig. 3 Deformation for P-wave incidence (real part)  
 $d/b = 2.0$

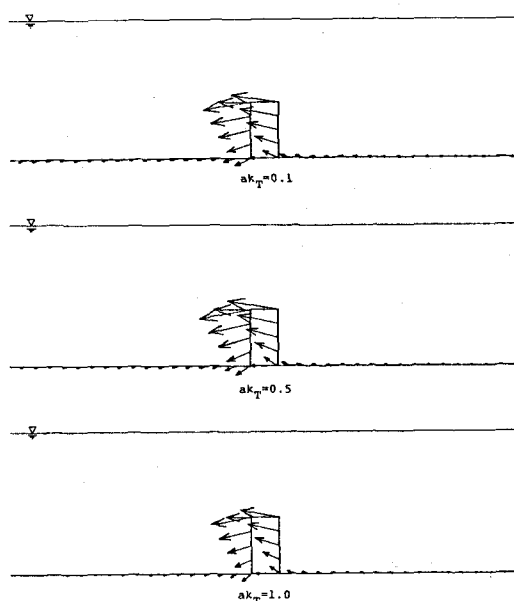


Fig. 4 Deformation for S-wave incidence (real part)  
 $d/b = 2.0$