

II-367 一様流中での波と底泥の相互干渉

徳島大学工学部 正員 中野 晋

1. まえがき

河口や浅海部での底泥の移動現象には、波と底泥の相互干渉による波高減衰や底泥運動が重大な影響を及ぼすことが予想される。またこうしたところでは河川流や潮流と波とが共存していることが多く、波と底泥の相互干渉の計算では必要に応じて流れも考慮しなくてはならない。この研究は流れのない場合を対象として提案している粘性流体多層モデルによる波と底泥の相互干渉計算手法¹⁾を一樣な流れが存在する場に拡張したものである。

2. 基礎式

粘性流体多層モデルでは Dalrymple & Liu²⁾と同様、水層、底泥層ともに粘性流体として解析したが、今回は水層を非粘性とし、底泥層のみ多層の粘性流体として取り扱った。このとき基礎式は水層(第1層)、底泥層(第2~n層)それぞれ次のようである。なおz軸は水面から上向きにとるものとする。流れは一樣で鉛直方向に一定で $U = U_0$ で表されるものとする。

$$\frac{\partial \hat{u}_i}{\partial t} + U_0 \frac{\partial \hat{u}_i}{\partial x} = - \frac{1}{\rho_i} \frac{\partial \hat{p}_i}{\partial x} \quad (1)$$

$$\frac{\partial \hat{w}_i}{\partial t} + U_0 \frac{\partial \hat{w}_i}{\partial x} = - \frac{1}{\rho_i} \frac{\partial \hat{p}_i}{\partial z} \quad (2)$$

$$\frac{\partial \hat{u}_i}{\partial t} = - \frac{1}{\rho_i} \frac{\partial \hat{p}_i}{\partial x} + \nu_i \left(\frac{\partial^2 \hat{u}_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \hat{u}_i}{\partial z^2} \right) \quad (3)$$

$$\frac{\partial \hat{w}_i}{\partial t} = - \frac{1}{\rho_i} \frac{\partial \hat{p}_i}{\partial z} + \nu_i \left(\frac{\partial^2 \hat{w}_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \hat{w}_i}{\partial z^2} \right) \quad (4)$$

$$\frac{\partial \hat{u}_i}{\partial x} + \frac{\partial \hat{w}_i}{\partial z} = 0 \quad (5)$$

(なお式(3)、(4)では i は 2 ~ n、式(5)では 1 ~ n)

また境界条件は水面 ($z = \eta_1$) で

$$\frac{\partial \eta_1}{\partial t} + U_0 \frac{\partial \eta_1}{\partial x} = \hat{w}_1, \quad \hat{p}_1 = 0 \quad (6), (7)$$

水と底泥の境界 ($z = -h_1 + \eta_2$) で

$$\frac{\partial \eta_2}{\partial t} = \hat{w}_1, \quad \hat{w}_1 = \hat{w}_2 \quad (8), (9)$$

$$\hat{p}_1 = \hat{p}_2 - 2\rho_2 \nu_2 \frac{\partial \hat{w}_2}{\partial z} \quad (10)$$

底泥内の各層 ($i \sim i+1$) 間の境界 ($z = -\sum_{j=1}^i h_j$) で

$$\frac{\partial \eta_{i+1}}{\partial t} = \hat{w}_i, \quad \hat{u}_i = \hat{u}_{i+1}, \quad \hat{w}_i = \hat{w}_{i+1} \quad (11) \sim (13)$$

$$\begin{aligned} \hat{p}_i - 2\rho_i \nu_i \frac{\partial \hat{w}_i}{\partial z} - \rho_i g \eta_{i+1} &= \hat{p}_{i+1} \\ -2\rho_{i+1} \nu_{i+1} \frac{\partial \hat{w}_{i+1}}{\partial z} - \rho_{i+1} g \eta_{i+1} & \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \rho_i \nu_i \left(\frac{\partial \hat{u}_i}{\partial z} + \frac{\partial \hat{w}_i}{\partial x} \right) \\ = \rho_{i+1} \nu_{i+1} \left(\frac{\partial \hat{u}_{i+1}}{\partial z} + \frac{\partial \hat{w}_{i+1}}{\partial x} \right) \end{aligned} \quad (15)$$

底面 ($z = -\sum_{j=1}^n h_j$) で
 $\hat{u}_n = 0, \quad \hat{w}_n = 0$ 。 (16), (17)

水層に $\hat{u}_i = -\partial \psi / \partial z$ 、 $\hat{w}_i = \partial \psi / \partial x$ の流れ関数 ψ を導入する。また $\psi = \phi(z) \exp(ik(x-Ct))$ 、水面波を $\eta_1 = a_1 \exp(ik(x-Ct))$ とすると、式(1)、(2)は

$$\phi'' - k^2 \phi = 0 \quad (18)$$

となる。水面での境界条件式(6)、(7)より

$$\phi = a_1 (U_0 - C) \left\{ \cosh kz + \frac{g}{k(U_0 - C)^2} \sinh kz \right\} \quad (19)$$

ここで $k (= k_r + i k_i)$ は波数、 C は波速である。式(8)から底泥波 a_2 は次式で与えられる。

$$a_2 = - \frac{a_1}{C} (U_0 - C) \left\{ \cosh kh_1 - \frac{g}{k(U_0 - C)^2} \sinh kh_1 \right\} \quad (20)$$

底泥層については文献1)と同様、 $\hat{u}_i$ 、 $\hat{w}_i$ 、 $\hat{p}_i$ を

$$\left. \begin{aligned} \hat{u}_i &= u_i(z) \exp(ik(x-Ct)) \\ \hat{w}_i &= w_i(z) \exp(ik(x-Ct)) \\ \hat{p}_i &= P_i(z) \exp(ik(x-Ct)) \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

と仮定して求めた解の係数および波数 k を上記境界条件式を用いて求めた。底泥は一般に非ニュートン流体であり、運動状況によって粘度が変化するため、運動状況に応じた粘度(相当粘度)の鉛直分布も収束計算で求めている。

3. 計算結果と考察

計算条件は文献1)の実験条件に合わせて、初期波高4.0cm、周期1.05s、水深30cm、底泥厚さ20cm、含水比200%のカオリナイト泥とし、底泥層は3層に分割した。

なお、水面変位は $\eta_1 = a_1 \exp(-k_1 x) \exp(ik_1(x - Ct))$ であり、 k_1 は波高減衰率を表す。したがって計算で得られた波数 k の虚部から波高減衰率を求めた。さらに底泥層の側壁での粘性逸散も境界層近似で考慮して波高減衰率を計算している。

図-1 は波高減衰率と波長の流れによる変化について計算結果と実測値を比較したものである。なおこの図で実測値の流速 $\bar{U}$ は断面平均流速で、正は波に対して順方向の流れを表している。波高減衰率では実測値、計算値とも大きな順流ほど波高減衰率は小さくなっているが、その値は実測値の方がかなり大きくなっており、量的にはあまり一致していない。これに対し波長は計算値がやや大きめではあるが、ほとんど一致している。

図-2 は底泥波高と底泥内圧力変動の計算結果と実測値を比較したものである。それぞれその位置での水面波高で無次元化して示している。底泥波高と水面波高の比は流れが変化してもあまり大きく変化せず、このケースでは実測値が0.14~0.22、計算値が0.20~0.23と比較的近い値を示す。これに対し、底泥内圧力変動の全振幅と水面波高の比は両者とも順流ほど大きくなる傾向があり定性的には一致しているが、実測値が計算値よりも5割程度大きくなっている。

両図において図中に示した横棒付きの記号は水層も粘性流体として扱った場合の流れなしの計算値¹⁾である。これと非粘性として扱った今回の計算での $\bar{U} = 0$ cm/s についての値はほとんど一致しており、今回の計算では底泥表面での水平流速や接線応力を連続させていないが、これらの影響は相互干渉の計算の中では小さいと考えられる。

4. あとがき

最も計算が容易である一様流れについて、流れの中での波と底泥の相互干渉を計算した。計算結果は定性的には実験結果をよく説明できたが、波高減衰率や底泥運動量などは実測値と量的には一致しなかった。この原因は計算結果が未だ十分明らかになっていない底泥の流動特性にかなり支配されていること、底泥層内での静止領域を考慮していないこと、流れの流速分布の影響を無視していることや底泥表面近くを乱流境界層として扱っていないなどである。今後こうした問題点を解決できるようにさらに検討する予定である。

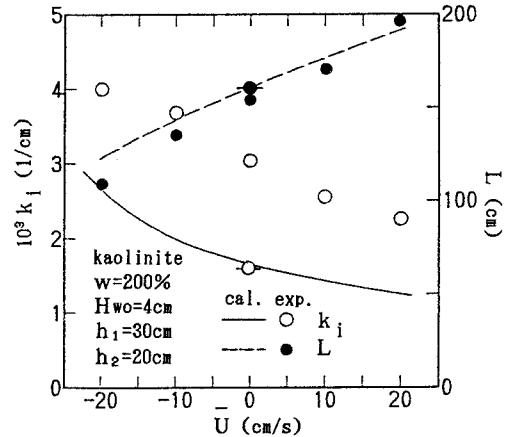


図-1 波高減衰率と波長の流れによる変化

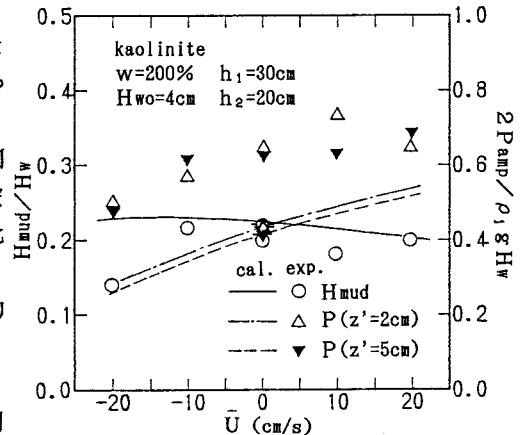


図-2 底泥波高と底泥内圧力変動全振幅
流れによる変化

〔参考文献〕1)中野・鶴谷・鷹濱(1987): 波と底泥の相互干渉による波高減衰と底泥の流動について、港研報告、Vol.26-2、pp.171-212。2)Dalrymple, A.R. & P.L.F.Liu(1978): Waves over soft muds: a two-layer fluid model, J.Phys.Oceanogr., Vol.8, pp.1121-1131。3) Hsiao & Shemdin(1980): Interaction of ocean waves with a soft bottom, J.Phys.Oceanogr., Vol.10, pp.605-610。4) Kato, H.(1974): Calculation of the wave speed for a logarithmic drift current, 港研報告、Vol.13-4、pp.3-32。