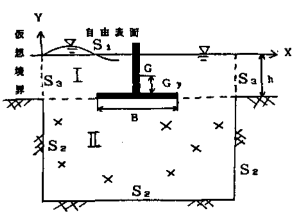
軟弱地盤上構造物に働く波力特性について

熊本大学　工学部　正会員　滝川　清
正会員　田渕　幹修
学生員　○古城　和人

1.はじめに　沿岸海域の開発ならびに防災を目的として、多種多様な沿岸構造物の計画・設置が行われているが、ことに近年、砂層やヘドロ層等の軟弱地盤上を設置の対象とした沿岸構造物が注目されつつある。本研究は、この様な軟弱層上に設置された構造物（防波堤）の安全性の検討の一環として、作用する波力特性について調べるものである。このような沿岸構造物に作用する波力を検討する場合、波－地盤－構造物の相互作用問題として取扱うことが重要であり、本研究では、軟弱層を線形の抵抗を有する透過層とし、波圧成分が流体場－地盤を通じて連続であることに注目し、これに有限要素法[1]を適用して各領域を区分することなく、この相互作用問題を、解析するものである。



図—1　解析領域

2.基礎式　図－1に示す二次元の領域で、静水面に座標原点をおき水平にx軸、鉛直上向きにy軸をとり、周波数$\sigma(=2\pi/T)$の入射波による流体の運動を考える。境界S_1, S_2, S_3で囲まれた領域を、空隙率$\varepsilon_j\ (j=1,2)$の異なる透過性領域I、IIに区分する。各領域内での流体の運動は、流速に比例した線形の抵抗を受けるとして、その係数をμ_j（透水係数をkとすると$\mu=g/k$に相当する）とすると、運動は速度ポテンシャル$\Phi_j=\phi_j(x,y)e^{i\sigma t}$をもち、各領域内部での連続の式、および運動の式は次のように表現できる。

$$\partial^2\Phi_j/\partial x^2+\partial^2\Phi_j/\partial y^2=0 \qquad ①$$

$$1/gV_j(\partial\Phi_j/\partial t+\mu_jV_j\Phi_j)+P_j/\rho g+y=0 \qquad ②$$

ここに$1/V_j=1/\varepsilon_j(1+(1-\varepsilon_j)C_{mj})$　C_{mj}：付加質量係数

また、境界条件は以下に示すようになる。

$$S_1:\ \eta_j=-1/gV_j(\partial\Phi_j/\partial t+\mu_jV_j\Phi_j)\ \text{および}\ \partial\eta_j/\partial t=\partial\Phi_j/\partial y \qquad ③$$

$$S_2:\ \partial\Phi_j/\partial n=0\quad (n:\text{外向き法線方向余弦}) \qquad ④$$

$$S_3:\ \partial\Phi_j/\partial n=\partial\Phi_0/\partial n\quad (j=1) \qquad ⑤$$

一方、各領域の境界面では、領域I、IIで次のようになる。

$$\partial\Phi_1/\partial n=\partial\Phi_2/\partial n$$

$$\mathbb{H}\equiv P/\rho g+y=-1/gV_1(\partial\Phi_1/\partial t+\mu_1V_1\Phi_1)=-1/gV_2(\partial\Phi_2/\partial t+\mu_2V_2\Phi_2) \qquad ⑥$$

これは mass-flux および energy flux を規定するものである。以上、解析としては、式⑥の条件の下に式①～⑤を解く事になるが、ϕを未知量として直接解析すると、各領域ごとにこれを解く必要が生じる。そこで、各領域を通じて波圧成分$\mathbb{H}$が連続であることに注目して、以下のように考える。すなわち、運動の周期性を考えて$\mathbb{H}=He^{i\sigma t}$とすると式⑥より

$$\phi_j=-\beta_jH \qquad \beta_j=gV_j/(i\sigma+\mu_jV_j) \qquad ⑦$$

このHを用いると、各条件式は

$$\left.\begin{aligned}&\partial/\partial x(\beta_j\,\partial H/\partial x)+\partial/\partial y(\beta_j\,\partial H/\partial y)=0\\&S_1:\ i\sigma H|_{y=0}=-\beta_j\,\partial H/\partial y|_{y=0}\\&S_2:\ -\beta_j\,\partial H/\partial n=0\\&S_3:\ \beta_j\,\partial H/\partial n=\beta_j\,\partial H_0/\partial n\quad (H_0=-\tfrac{1}{\beta_j}\phi_0)\end{aligned}\right\} \qquad ⑧$$

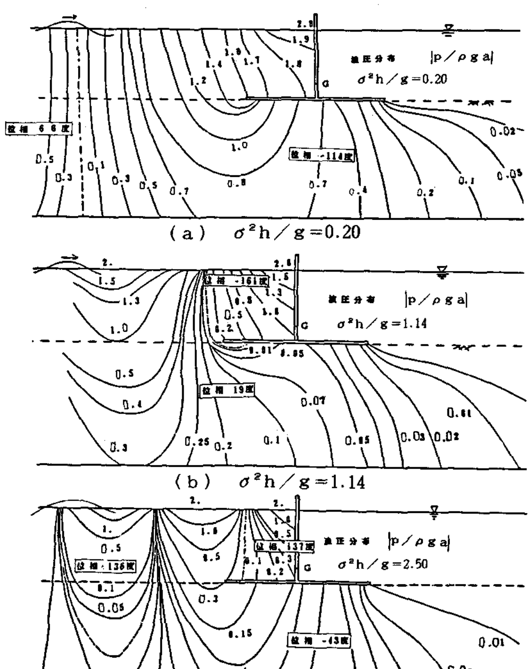
となる。ただし、領域が流体のみの場合には、$\varepsilon_j=1$、$\mu_j=0$とすればよい。　解析としては、式⑧の境界値問題を考える入射波に対し解析するが、このF.E.M解析手法の詳細は、文献(1)を参照されたい。

3.計算結果　計算に際して、地盤は、透水係数$k=3\times10^{6}\,cm/s$、空隙率$\varepsilon=0.6$の均一とした。また地盤上構造物は図－1に示している様に、逆T形の着底式形状を対象とし、底部の水平板長$B/h=2.0$とし、重心は底盤より$G_y/R=0.22$上方の位置にあるとした。

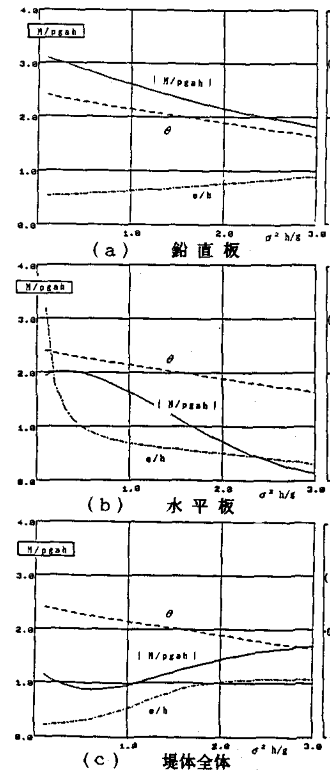
図－2の各図は入射波の周期$\sigma^2h/g=0.2,\ 1.14,\ 2.50$での最大波圧$|P/\rho ga|$および位相角$\theta$の分布を示したものである。堤体の鉛直板によって入射波は完全に反射され、重複波が形成されるが重複波のnodeの位置は、短周期の入射波になるほど堤体に近づき、図2-(c)に示すように、底板上に出現するになる。波圧の位相角は、重複波の場合$|P|\fallingdotseq0$を境界として、πだけ変化する。この為、位相の変化点が底板上に出現する場合には、同一板上で、圧力の方向が逆転することになり、その

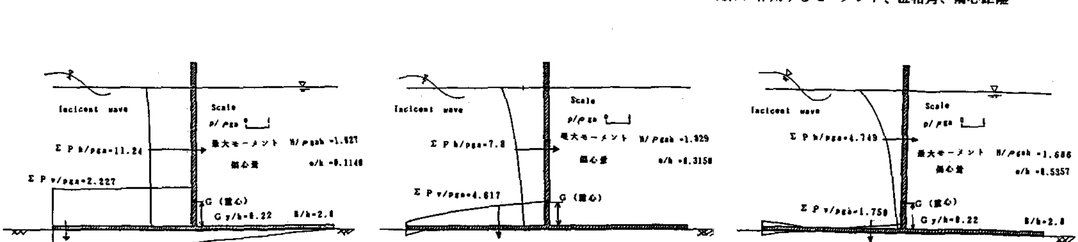
分布形状に顕著な相違を生ずる。　図-3は堤体に作用するモーメントが最大の位相の時、堤体回りの波圧の分布を図示したもので、入射波は図-2の各図に対応している。図中$\Sigma P_h/\rho ga$、$\Sigma P_v/\rho ga$は鉛直板、および下部水平板に作用する水平合力、鉛直合力を意味し矢印はそれらの作用位置を示している。水平板に作用する波圧分布は、顕著にnodeの位置の影響を受け、短周期波では波圧が小さく、その分布は特異な形状となる。　図-4は、堤体に作用する最大モーメント$|M/\rho gah|$，位相角θおよび作用合力の偏心距離e/hの周期特性を、鉛直板、水平板、堤体全体について示した。鉛直板では、短周期波になるほど、モーメントは、小さくなり、偏心距離は大となるが、底部水平板の場合、短周期波になるほどnodeの影響でモーメントは著しく小さくなり、偏心距離も小となる。

4.おわりに　堤体形状および地盤状態に対し1ケースの波圧特性を示したが、他のケースの結果については、講演時に発表の予定である。また、今回の計算では、地盤を剛体として、その弾性変形等を考慮していないが、今後これらを考慮し、間隙圧の波圧特性等、軟弱層上構造物に関する研究を進める必要がある。



(a)　σ²h／g=0.20
(b)　σ²h／g=1.14
(c)　σ²h／g=2.50
図－2　波圧分布と位相角分布


(a)　鉛直板
(b)　水平板
(c)　堤体全体
図－4　堤体に作用するモーメント、位相角、偏心距離



(a)　σ²h／g=0.20　(b)　σ²h／g=1.14　(c)　σ²h／g=2.50
図－3　モーメント最大時の波圧分布（p／ρga）

〈参考文献〉
1)滝川清、田渕幹修：有限要素法による波動解析について(3)　昭和53年度西部支部研究発表会　pp241-242