

多層地盤上の構造物に働く波力特性解析

熊本大学工学部

正会員 滝川 清・田淵 幹修

学生員 ○執行聖二・池田 伸

1. はじめに 近年、海岸構造物の設置条件が多様化し、ことに砂層やヘドロ層等の軟弱地盤上への構造物の設置に関する技術的課題が提起されている。本研究は、このような軟弱地盤上に設置された構造物の安全性検討の一環として、作用する波力特性について調べるものである。軟弱な海底地盤上の構造物に働く波力特性を調べる場合には、波-地盤-構造物系の相互作用問題として取り扱うことが重要であるが、これに関する十分な解析例は見受けられない様である。これに関する手法について、すでに著者等は、波圧が流体域を通じ連続であることに注目して、これをF.E.M解析する手法を示したが、本報告では、さらに地盤の圧縮性を考慮した解析を行い、間隙圧の発生等に関する検討を加えたものである。

2. 解析方法 右図に示す2次元領域において、周波数 $\sigma (=2\pi/T)$ の入射波による流体の運動を考える。いま説明のため、解析領域を地盤定数(空隙率 ε 、圧縮率 α_s 、透水係数 k)の異なる領域に区分して考える。各領域内での流体運動は周期的で流体運動は速度ポテンシャル $\Phi_j = \phi_j(x, y)e^{i\sigma t}$ を有し、土粒子空隙部の圧縮性を考慮した連続式および運動方程式は次式で示される。

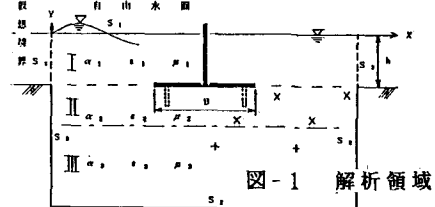


図-1 解析領域

$$\nabla^2 \phi_j = \varepsilon_j (\alpha_w + \alpha_{sj} (1 - \varepsilon_j) / \varepsilon_j) \partial p_i / \partial t \quad \cdots \textcircled{1} \quad \alpha_w : \text{水の圧縮率}$$

$$(\partial \phi_j / \partial t + \mu_j V_j \phi_j) g V_j + p_i / \rho g y = 0 \quad \cdots \textcircled{2} \quad \alpha_{sj} : \text{土粒子の圧縮率}$$

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

また両式から p_i を消去すると2階の波動方程式が得られるが、これが地盤ごとに異なった伝播速度を有しかつ減衰する波動を意味することがわかる。各条件式は以下に示すようになる。

$$\begin{aligned} \text{自由表面 } S_1 : \eta_j &= -(\partial \phi_j / \partial t + \mu_j V_j \phi_j) / g V_j \quad \text{および} \quad \partial \eta_j / \partial t = \partial \phi_j / \partial y \\ \text{不透過領域 } S_2 : \partial \phi_j / \partial n &= 0, \quad \text{仮想境界 } S_3 : \partial \phi_j / \partial n = \partial \phi_0 / \partial n \end{aligned} \quad \textcircled{3}$$

また、各領域ごとの境界面では、例えば $j=1, 2$ の境界面上で

$$\partial \phi_1 / \partial n = \partial \phi_2 / \partial n \quad \text{および} \quad H = p_j / \rho g y = (\partial \phi_j / \partial t + \mu_j V_j \phi_j) / g V_j \quad j=1, 2 \quad \textcircled{4}$$

すなわち、mass-flux および energy-flux の連続を満たす必要がある。

以上、解析としては④の境界条件の下に①~③式を解くことになるが、 Φ を未知量として直接解析すると、これが不連続であるために各領域ごとにこれを解く必要が生じる。ここでは、④式の波圧成分 H が全領域を通じて連続であることに注目し、④式を各条件式に代入し、得られる式解を H に関する境界値問題として、F.E.Mを適用しこれを解析する。この解析手法の詳細は文献2)を参照されたい。尚、領域が流体である場合には、各式中で $\varepsilon=1, \mu=0$ とすればよく、他の場合と全く同様に取り扱うことができる。

3. 解析結果 解析の対象とした地盤上構造物は、図-1に示す逆T字型の着定式構造で底面幅 $B/h=2.0$ である。また解析に際しての地盤定数は、粘性土の場合、透水係数 $k=3.0 \times 10^{-1} \text{ cm/s}$, $\varepsilon=0.6$ とし、砂質土では $k=0.1 \text{ cm/s}$, $\varepsilon=0.3$ としている。図-2は、地盤を均一な粘性土とし、圧縮性を考慮しない場合($\alpha_s=0$)の波圧分布 $|p/\rho g a|$ および位相角分布を示したものである。入射波の無次元周波数 $\sigma^2 h/g=1.14$ の場合を図示しているが、長周期の場合ほど底盤下部への波圧の侵入度合が大となり、位相も波と同位相で伝播される。また、均一地盤であるため、地盤内の波圧伝播速度の変化は、この場合 μ のみに支配されるので、均一地盤で相対的に k の影響は出現せず、他の種類(砂質土)であっても、その分布状態は同様となり、分布特性は波の周期で決定されることになる。図-3は均一地盤ではあるが、土粒子空隙部の圧縮性を考慮した場合の、図-2と同様のものである。(a)は粘性土($\alpha_s=2.5 \times 10^{-1} \text{ cm}^2/\text{kg}$)、(b)は砂質土($\alpha_s=2.5 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{kg}$)である。この場合、圧縮性のために、地盤内の伝播速度が急激に減少し、構造物底面下部への波圧の侵入度合も著しく小さくなり、地盤内の波圧分布特性は入射波周期と α_s とが支配的となる。図-4は、図-3 (b)に示した砂質土地盤内の波圧分布を各時間位相ごとに図示したものであり、地盤内部での間隙圧の特徴ある変動が計算されている。

4. おわりに 海底地盤が均一な場合の波圧分布のF.E.M解析結果を示したが、地盤定数の異なる多層地盤の場合には、各地盤内で波圧の伝播速度が異なり、波圧分布は波の周期、圧縮率 α_s 、さらに地盤厚 d に支配され、またさらに複雑な分布形状となる。これらの詳細に関しては講演時に発表の予定である。

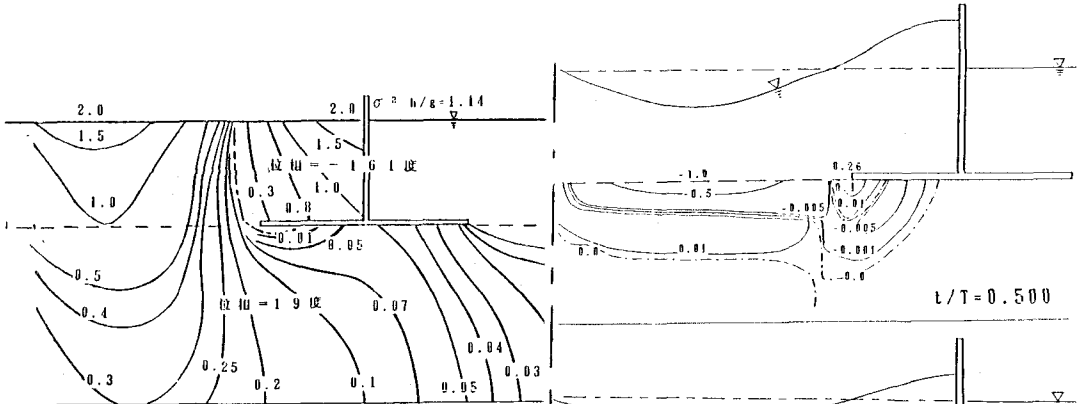


図-2 土構造の圧縮性を考慮しない場合(粘性土)

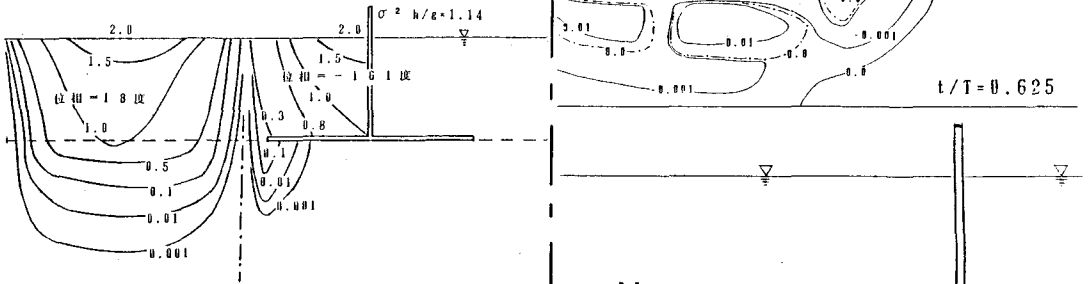


図-3 (a) 土構造の圧縮性を考慮した場合(粘性土)

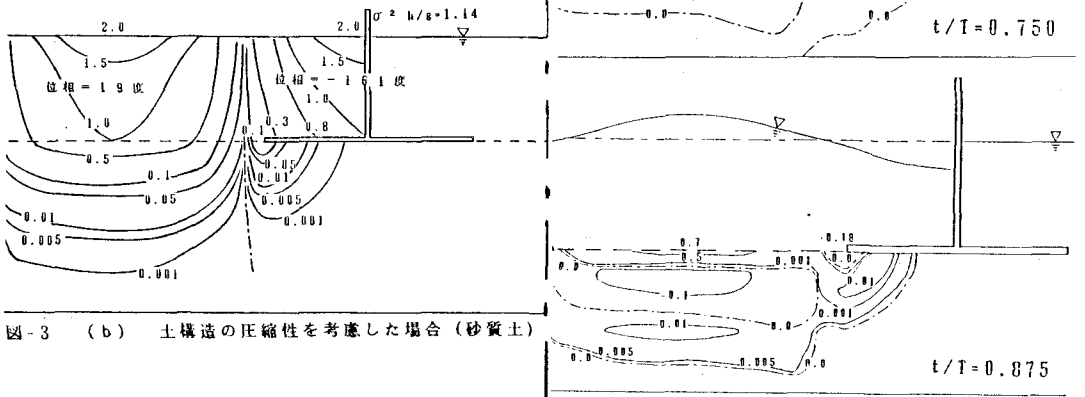


図-3 (b) 土構造の圧縮性を考慮した場合(砂質土)

図-4 波圧分布の時間変化 (砂質土)

- 参考文献 1) 滝川 清, 田淵 幹修, 古城和人 「軟弱地盤上構造物に働く波力特性について」
昭和61年度 西部支部研究発表会
2) 滝川 清, 田淵 幹修 「有限要素法による波動解析について」
昭和53年度 西部支部研究発表会