

# 多孔質弾性体理論に基づく防波堤に作用する揚圧力の解析

京都大学工学部の間瀬 肇・酒井哲郎 五洋建設 西村喜弘 舞鶴高専 前野賀彦

## 1. まえがき

本研究は、Biotの圧密方程式を基礎式とし、混成堤のケーソンに作用する揚圧力および防波堤周辺の海底地盤内の変動間隙水圧分布を有限要素法により解析するものであり、捨石マウンドの剛性、透水性、波によるケーソンの動揺（ロッキング運動）が揚圧力に及ぼす影響について検討するものである。

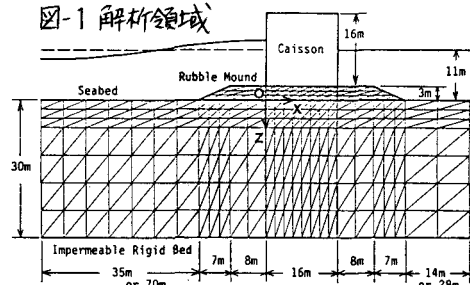
## 2. 解析に用いる基礎式および有限要素方程式

海底面に沿って波の伝播方向に  $x$  軸、海底面に鉛直下向きに  $z$  軸をとる。土粒子そのものは非圧縮性とし、間隙水は気泡の混入を考慮して圧縮性を有するものとする。慣性項と重力項を無視したBiotの圧密方程式は次のように表される。

$$G \left\{ \nabla^2 u + \frac{1}{1-2\nu} \frac{\partial(\nabla \cdot u)}{\partial x} \right\} - \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$G \left\{ \nabla^2 w + \frac{1}{1-2\nu} \frac{\partial(\nabla \cdot u)}{\partial z} \right\} - \frac{\partial p}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{k}{\rho g} \nabla^2 p - \frac{n}{\beta} \frac{\partial p}{\partial t} - \frac{\partial(\nabla \cdot u)}{\partial t} = 0 \quad (3)$$



ここで、 $u=(u,w)$  はつりあい状態からの土粒子の変位ベクトル、 $p$  は変動間隙水圧、 $G$  はせん断弾性係数、 $\nu$  はポアソン比、 $k$  は速度の次元を持つ透水係数、 $\rho$  と  $\beta$  はそれぞれ間隙水の密度と体積弾性係数、 $g$  は重力加速度、 $n$  は間隙率、 $\nabla$  は2次元の勾配ベクトル、 $t$  は時間である。式(1)～(3)に Galerkin法を適用して有限要素方程式を得る。適切な境界条件のもと、初期条件を与えて連立方程式を解いていけばよい。

## 3. 計算条件

解析に当たっては、防波堤は直線状に無限に続いており、波は防波堤に対して直角に入射し重複波が形成され、現象は2次元であると仮定する。海底地盤については平面ひずみ状態を仮定する。

図-1は、解析領域ならびに座標系を示したものである。捨石マウンドは波の場を乱さないものとし、またケーソンとマウンドとの間にはすべりはしないものとする。海底地盤（砂層）の下層部は不透水層とする。さらに、港内側には波はないものとする。入射波の波高  $H$  は2mとし、周期  $T$  は10秒および7秒の2種類とした。砂層の土質定数は、ポアソン比  $\nu$  を0.33、間隙率  $n$  を0.28、せん断弾性係数  $G$  を  $1.5 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ 、透水係数  $k$  を  $10^{-3} \text{ m/s}$  とし、水の体積弾性係数  $\beta$  を  $9.5 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ （飽和度95%の場合）とした。捨石マウンドのポアソン比  $\nu$  を0.40、間隙率  $n$  を0.25とし、せん断弾性係数  $G$  および透水係数  $k$  は大きいものから小さいものまで含むようにした。

## 4. 解析結果

(1) 揚圧力分布に及ぼす捨石マウンドの剛性および波の周期の影響は、マウンドの透水係数が大きい場合にはほとんどみられず、透水係数が小さい場合に若干みられる（図-2 参照）。

(2) 揚圧力分布に及ぼすケーソンのロッキングの影響は、捨石マウンドの透水係数が大きい場合にはほとんどみられないが、透水係数が小さい場合にはその影響が現れる。すなわち、ケーソンが静

Hajime MASE Tetsuo SAKAI Yoshihiro NISHIMURA Yoshihiko MAENO

止している場合およびケーソンのロッキングが小さい場合の揚圧力は凹型分布をなし、ケーソンのロッキングが大きくなると揚圧力はS字型の分布をする。

(3) 揚圧力に関しては、捨石マウンドの透水性の影響が重要である。マウンドの透水係数が大きい場合には揚圧力はほぼ三角形分布しており、前趾の揚圧力はケーソン前面の底部における波圧と等しい。マウンドの透水性が小さくなると、揚圧力分布は直線的ではなくなり、前趾の揚圧力はケーソン前面の底部に働く波圧に比べて小さく、また全揚圧力もマウンドの透水係数が大きい場合のそれに比べてかなり小さくなる（図-3 参照）。

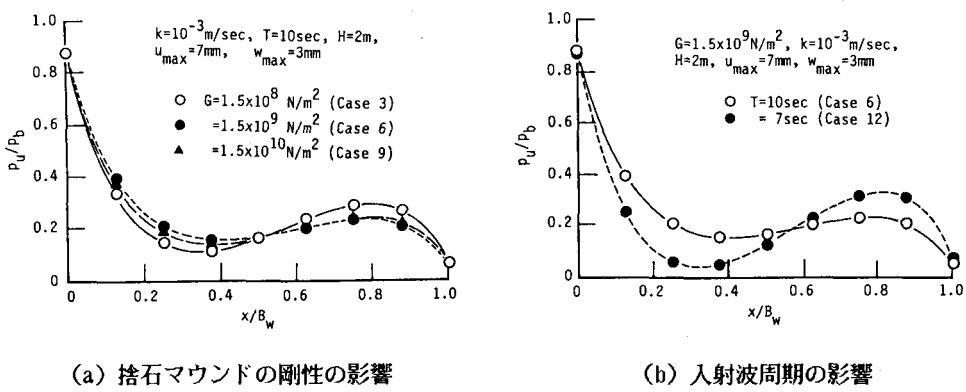


図-2 揚圧力分布に及ぼす捨石マウンドの剛性および入射波周期の影響

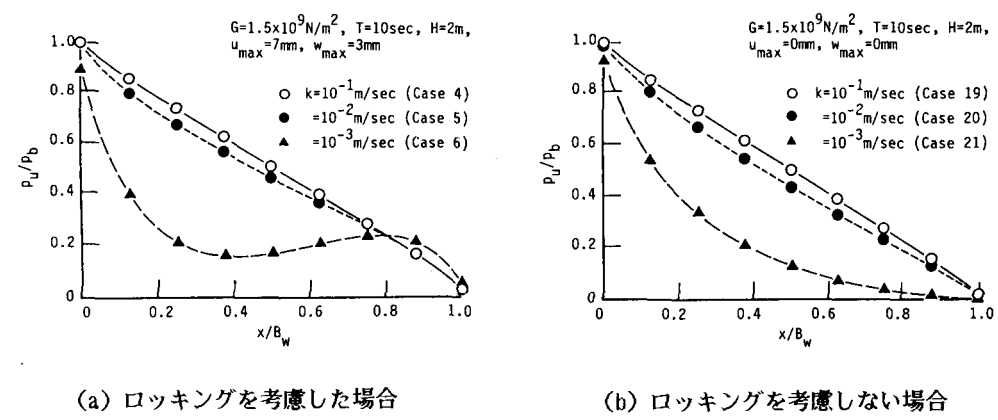


図-3 揚圧力分布に及ぼす捨石マウンドの透水性の影響