

捨石護岸背後の埋立土砂吸い出し機構に関する一考察

名古屋大学大学院 正 会 員 許 東秀

名古屋大学大学院 学生会員 ○ 中村 友昭

名古屋大学大学院 正 会 員 水谷 法美

名古屋大学大学院 フェロー 岩田好一朗

1. はじめに：近年，人工海浜の護岸背後にある埋立土砂の吸い出しに注目が集まっている．吸い出し現象は波や流れに起因すると考えられ，現在までにケーソン型防波護岸を対象とした研究がいくつか行われている（例えば高橋ら，1996）．著者ら（2002）は捨石傾斜護岸背後の埋立土砂の吸い出しに関する水理模型より，護岸幅と入射波長の比や水深等が埋立土砂の吸い出しに及ぼす影響を検討し，吸い出しは入射波長に対する護岸幅に大きく支配されることを見出した．しかし，傾斜護岸を対象にしたため水深の変化とともに護岸幅も変動し，護岸幅だけの影響を議論するには少し問題があった．そこで本研究では，直立型の捨石護岸を対象に埋立土砂の吸い出しに関する実験を行い，波による埋立土砂の吸い出しに及ぼす護岸幅の影響について考究する．また新たに，波・捨石護岸・土砂の相互作用が解析できる数値モデルを提案し，水理模型実験との比較よりモデルの検証を行うと共に捨石護岸内および埋立土砂内の流速場と埋立土砂の吸い出しの関係を解明することを目的とする．

2. 実験概要と数値解析モデル：長さ 30m，幅 0.7m，高さ 0.9m の 2 次元造波水路内に，平均粒径 30mm の直立型捨石護岸と平均粒径 0.45mm の埋立土砂を設置して水理模型実験を行った（図-1 参照）．作用波は規則波とし，入射波周期 T を 5 種類，入射波高 H_i を 2 種類，護岸幅 B を 2 種類変化させた．実験を 2 段階に分けて実施した．まず捨石護岸と埋立土砂の間に目の細かい金網を設置することにより埋立土砂の動きを止め，静水状態から造波して護岸周辺の水位変動と間隙水圧変動を容量式水位計 2 台，地下水位計 3 台および間隙水圧計 5 台を用いて計測した（図-1 参照）．次に，入射条件や護岸幅による吸い出し発生の有無や吸い出し過程を調べるため，各入射波条件に対して波作用時間を 30 分とし，ビデオ撮影と共に吸い出しの確認を行った．数値解析モデルで用いる方程式は，Hur ら（2003）の支配方程式に線形抵抗力を付け加えることにより，埋立土砂内での層流抵抗を考慮できるようにしたものである．修正した運動方程式だけを示すと次のようになる．

$$\gamma_v \frac{\partial u}{\partial t} + \gamma_x u \frac{\partial u}{\partial x} + \gamma_z w \frac{\partial u}{\partial z} = -\gamma_v \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} - M_x - R_x - \gamma_v \frac{v}{K_p} \gamma_x u + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \gamma_x \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_z \tau_{zx}}{\partial z} \right) \quad (1)$$

$$\gamma_v \frac{\partial u}{\partial t} + \gamma_x u \frac{\partial u}{\partial x} + \gamma_z w \frac{\partial u}{\partial z} = -\gamma_v \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} - \gamma_v g - M_x - R_x - \gamma_v \frac{v}{K_p} \gamma_x w + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \gamma_x \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_z \tau_{zx}}{\partial z} \right) - \frac{2v}{3} \frac{\partial q}{\partial z} - \beta w \quad (2)$$

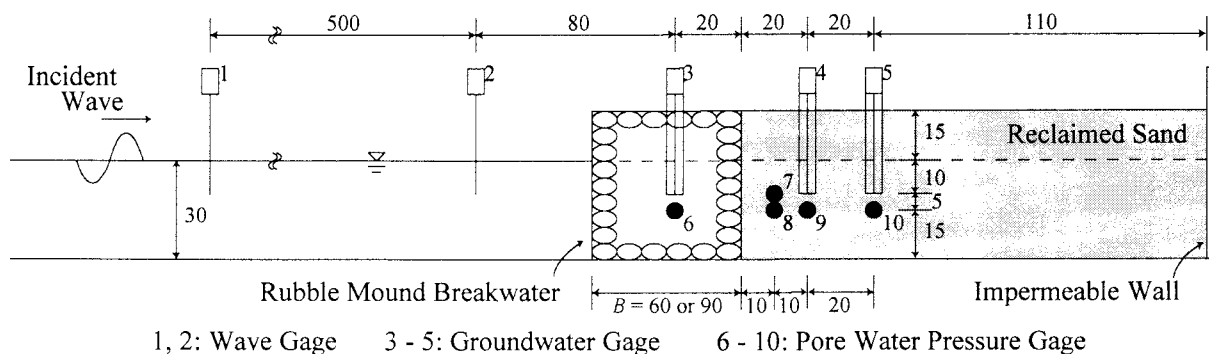


図-1 捨石護岸模型の概略図と計測装置の設置位置（単位：cm）

ここで、 γ_s は体積空隙率、 γ_x と γ_z は面積空隙率、 ν は水の動粘性係数、 K_p は透水係数である。透水係数 K_p は Kozeny-Carman の式 (Bear, 1972) を使って推定した。

3. 実験結果：図-2 は波形勾配 H_i/L および護岸幅と波長の比 B/L が吸い出しに与える影響を示したものである。図より、波形勾配 H_i/L が 0.04 以下の場合に吸い出しが発生することが分かる。これは傾斜護岸の場合に著者ら (2003) が確認したものと同一傾向である。さらに、同図からは B/L が 0.5 を下回るような状況下では吸い出しが起こるという護岸幅 B の影響も確認できる。

4. 計算結果と考察：図-3 は、護岸及び埋立土砂内部の間隙水圧の時間変動を示してあり、 $T=1.7$ s, $H_i=5.0$ cm, $B=60.0$ cm の場合である。また、○と実線はそれぞれ実験値と計算値を示す。同図より計算結果は実験値を若干過小評価しているものの、実験値と同じように護岸内部から埋立土砂内部に移動すると共に間隙水圧が減衰して行く現象を良く再現していることが確認できる。そこで、この数値モデルを用いて、吸い出しに直接影響を与える護岸と埋立土砂の境界付近の内部流速場を示したものが図-4 であり、同図 (a)と(b)はそれぞれ吸い出しが発生しなかった場合と発生した場合の平均流速分布を表す。これらの図から、(a)の場合は入射波が護岸内部で殆ど減衰し埋立土砂への影響が少ない反面、(b)の場合は入射波の影響が埋立土砂の内部まで及ぼすことによって埋立土砂内に冲向きの流れが生じていることが確認できる。したがって、波エネルギーを護岸内部で効率的に減衰させことは吸い出し防止を考える上で有効であると推察される。

5. 結論：捨石護岸背後の埋立土砂吸い出しに及ぼす入射波と護岸幅の影響を確認できた。また、数値解析モデルにより吸い出し機構の一面を考究することができた。紙面の都合上これ以上書けないが、詳細な結果については講演時に発表する。

参考文献：1) 高橋重雄ら (1996) : 護岸の吸い出しに関する水理模型実験, 港研報告, 第 35 巻, 第 2 号, pp.3-63. 2) Bear, J. (1972): Dynamics of fluids in porous media, American Elsevier, 764p. 3) Hur, D.S. and Mizutani, N. (2003): Numerical estimation of the wave forces acting on a three-dimensional body on submerged breakwater, Coast. Eng., 47, pp.329-345. 4) 許 東秀ら(2003) : 捨石傾斜護岸背後の埋立土砂吸い出し機構に関する考察, 年次学会.

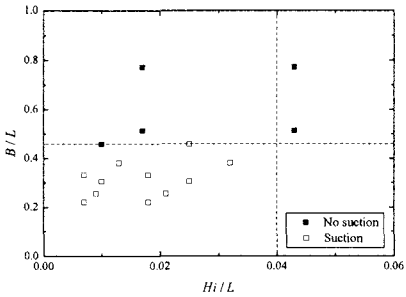


図-2 吸い出しに与える H_i/L と B/L の影響

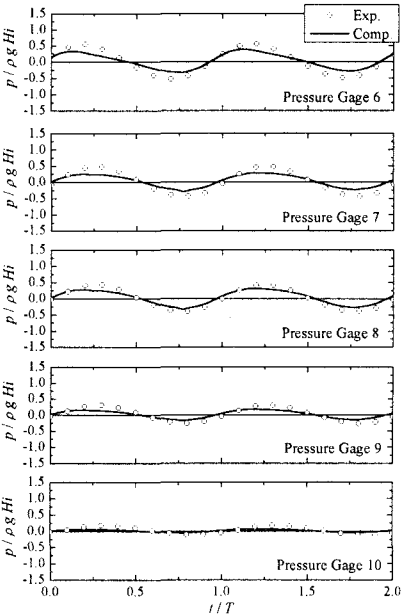
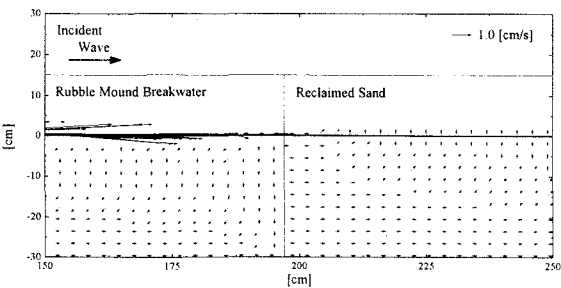
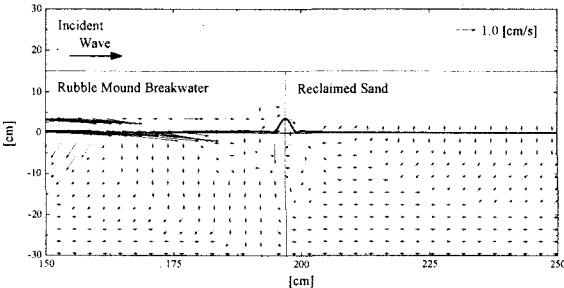


図-3 間隙水圧の時間変動
($H_i/L=0.018$, $B/L=0.221$)



(a) $H_i/L=0.017$, $B/L=0.514$



(b) $H_i/L=0.018$, $B/L=0.221$

図-4 護岸と埋立土砂の境界付近の平均流速分布