

名古屋大学工学部 正員 工博 足立 昭平  
 大阪大学工学部 正員 工博 榎木 亨  
 ○ 名古屋大学大学院 学生員 庄野 博文

## 1. 緒言

近年、海岸堤防の前面には堤脚部の洗掘防御と消波の目的で、各種の異形ブロックが用いられており、その消波ブロックの沈下、散乱の問題が海岸防御の維持の面から重要な研究課題となつてきている。とくに富山県下新川海岸では沈下、散乱現象が著るしく、毎年ブロックを補充しなければならない状態である。その対策に各種消波ブロックを採用しているが、本研究は沈下、散乱現象の大きな原因が堤防前面の洗掘にもとづくものとして、第21回年次学術講演会において著者らは、図-1に示すようにブロックのかわりにガラス玉(空隙率40%一定)の中詰した場合の法先の洗掘深さについて、法先水深、法面勾配、波の特性との関係を波の反射率との関連のもとに明らかにした。本論文はその継続研究であつて、砂の移動と構造物による波の反射の挙動との結びつきにおいて、底部の砂移動量の距離にともなう変化の割合が最大の場所で洗掘深さが最大になるという最大洗掘地点を明らかにした。さらに、洗掘深さおよび洗掘長さの両方を加味した洗掘量に関して、底部に沿う砂の移動量の変化から考察をすすめて、関係する無次元量を誘導し、波の反射との相関性を論議した。

## 2. 理論的考察

部分重複波による底面の horizontal Velocity は岸博士によると(1)式で与えられる。

$$U_b = \frac{g_b}{\omega} (a-b) \cdot \text{sech } kh \cdot \sin(\omega t - kx) - \frac{g_b}{\omega} (2b) \text{sech } kh \cdot \cos \omega t \cdot \sin kx \quad (1)$$

$$a = \text{入射波高の } 1/2 \quad b = \text{反射波高の } 1/2 \quad \omega = 2\pi/T \quad k = 2\pi/L$$

一方、単位時間の流砂量を  $g_b$  として、Kalinske-Brown型の河川の流砂量公式が適用できるものとする、

$$\frac{g_b}{U_d} = \left( \frac{U_*^2}{(\frac{\sigma}{\rho} - 1) g d} \right)^m \quad (2)$$

$U_b$  と  $U_d$  の関係が  $d_{amb}$  によってあらわされた層流境界層と仮定した場合の関係を参照し、 $m=1.5$  とすると、

$$\left( \frac{U_b}{U_d} \right)^2 = \sqrt{\frac{\omega}{\nu}} A \frac{\sin^2 \omega t}{\sin(\omega t + \frac{\pi}{4})} \quad \text{ここに、} \nu = \text{渦動粘性係数(一定とする)} \quad (3)$$

$$A = \frac{H}{2} \cdot \frac{1}{\sin 2\pi h/L}$$

$$g_b = \pm \frac{U_*^2}{(\frac{\sigma}{\rho} - 1)^{1/3} g^{1/3} d^{2/3}} \quad \left( \begin{array}{l} + : U_b > 0 \\ - : U_b < 0 \end{array} \right) \quad (4)$$

一方、砂の連続方程式は(5)式で表わされる

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \frac{\partial g_b}{\partial x} = 0 \quad \text{あるいは} \quad Z - Z_0 = - \frac{1}{1-\lambda} \frac{\partial}{\partial x} \int g_b dt \quad (5)$$

$\lambda$ : 砂の空隙率

(5)式において、水深 $h$ が時間の関数となるから右辺の積分値は0でなく、考察の便宜上から、この右辺の積分値を絶対移動量の平均値 $|g_0|$ でおきかえてみれば、次式のように書き換えてさしつかえなからう。

$$Z-Z_0 \propto \frac{1}{\omega} |g_0| T \quad (6)$$

$$\text{したがって、洗掘される巾を } l, \text{ 洗掘深さを } h_0 \text{ とすると } |g_0| \propto h_0 l / T \quad (7)$$

と考えることができよう。

$$\begin{aligned} |g_0| &= \frac{1}{T} \int_0^T g_0 dt \\ (3 \times 4) \text{式より} &= \frac{1}{\left(\frac{\sigma}{\rho}-1\right)^{1/2} g^{1/2} a^{3/2}} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{\frac{\omega}{g}} A}\right)^2 \left(\frac{gka}{\omega} \operatorname{sech} kh\right)^6 \cdot \left\{ \frac{1}{2}(1-r)^2 \cos^2 kx - 3(1-r)^2(1+r)^2 \cos^2 kx \sin^2 kx \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{2}(1+r)^2 \sin^2 kx - 2(1-r)^2(1+r) \cos^2 kx \cdot \sin kx + 6(1-r)(1+r)^2 \cos kx \cdot \sin^2 kx \right\} \\ &= \frac{1}{\left(\frac{\sigma}{\rho}-1\right)^{1/2} g^{1/2} a^{3/2}} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{\frac{\omega}{g}} A}\right)^2 \left(\frac{gka}{\omega} \operatorname{sech} kh\right)^6 \cdot \{f_1(r, kx)\} \end{aligned} \quad (8)$$

ここに  $r = b/a$

であるから結局(8)式は次式のような無次元量の関係式として表わすこともできよう。

$$\frac{h_0}{H} \frac{l}{L} \propto \frac{C}{\sqrt{ga}} \cdot \left(\frac{C}{gH}\right)^3 \left(\frac{\sigma}{\rho}-1\right)^{-1/2} \cdot \frac{TV}{H^2} \cdot \tanh^2 kh \cdot \operatorname{sech}^2 kh \cdot f_1(r, kx) \quad (9)$$

(9)式より洗掘量は  $C/\sqrt{ga}$  であらわされる粒径に関するFr数、 $C/gH$  で表わされる波に関するFr数、 $T^2/H^2$  であらわされるRe数も支配的要素であることがわかるであろう。

また、 $g_0$ の距離にともなう変化の割合が最大の場所で最大となることが推定されるので、最大洗掘地点 $x_m$ は  $\partial g_0 / \partial x = 0$  より求めることができる。したがって(8)式より、

$$\begin{aligned} &-\frac{1}{2}(1-r)^2 \cos^2 kx_m (1-4 \sin^2 kx_m) - \frac{3}{2}(1-r)^2(1+r)^2 (1-8 \sin^2 kx_m \cos^2 kx_m) - \frac{1}{2}(1+r)^2 \sin^2 kx_m (4 \cos^2 kx_m - 1) \\ &- (1-r)^2(1+r) \sin kx_m \cos kx_m (3-8 \cos^2 kx_m) + 6(1-r)(1+r)^2 \sin kx_m \cos kx_m (3-4 \sin^2 kx_m) \\ &= f_2(r, kx_m) = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

(10)式より、洗掘地点の無次元量 $kx_m$ は反射率 $r$ の関数となることがわかるであろう。

### 3. 実験およびその結果

実験は長さ25m、巾70cm、深さ1mの水槽を用いて、堤防法面を図-1に示すような1/5勾配の海底から始まる場合に $\alpha$ を20°、30°、45°、60°、 $h$ を2cm、4cm、6cmと変化させて行なった。

実験波は表-1に示す。底質粒径は $d_{50} = 0.4 \text{ mm}$ で一定とした。堤防前面は $\phi 12 \text{ mm}$ の孔と対称的にあけた木製(空隙率30%)で背面は不透水の木製である。地形変化の測定は著者の以前の実験で約60分で平衡状態に達するので超音波精密測深記録装置を用いて、0分、5分後、10分後、25分後、35分後、45分後、60分後を測定し、洗掘深さと洗

表-1 実験波

| NO | T(sec) | $H_0(\text{cm})$ | $H/L_0$ |
|----|--------|------------------|---------|
| 1  | 1.31   | 8.0              | 0.03    |
| 2  | 1.6    | 8.0              | 0.02    |
| 3  | 1.8    | 8.0              | 0.015   |

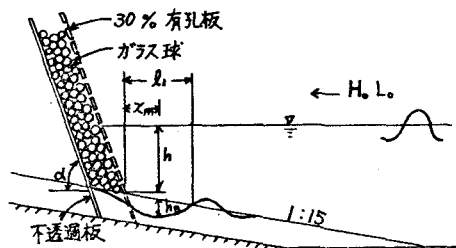


図-1 実験装置

掘長さを求めた。波高は5cm間隔に設置した24ヶの抵抗線式水位計で記録し、その各点の波高を用いて、Healyの部分重複波理論で反射率を求めた。

図-2は反射率と最大洗掘地点の関係

を示したものである。測定結果はかなりのばらつきを示すが、(10)式からもうなづけるように、反射率 $r$ は最大洗掘地点 $X_m$ の重要な要素であることがわかるであろう。このことから本年度の年次講演会でのべたように、洗掘深さが反射率との相関において考察したものと同じような考え方が裏づけられる。

図-3は反射率 $r$ と洗掘量の相関を示したものである。(9)式の実験値の整理にあたって、波速 $C$ は砕波後には孤立波の波速に近似できるということから、

$C = \sqrt{g(h+H)}$  を使い、砕波後の波高 $H$ については、著者の一人が第9回海岸工学講演会において発表した実験曲線から求めるのが妥当と考えられる。またはは法先水源を用いた。

#### 4. 結論

理論式の定性的な傾向についての吟味はまだ未了であるが、以上図-2、図-3に見られるように反射率 $r$ と洗掘現象の間に密接な関係のあることを示すことができた。反射率の推算になお不明な点がある。

あるので、この結果からただちに堤防前面の洗掘を予知することはできないが、今後反射率の推算法についての研究をすすめたいと考えている。

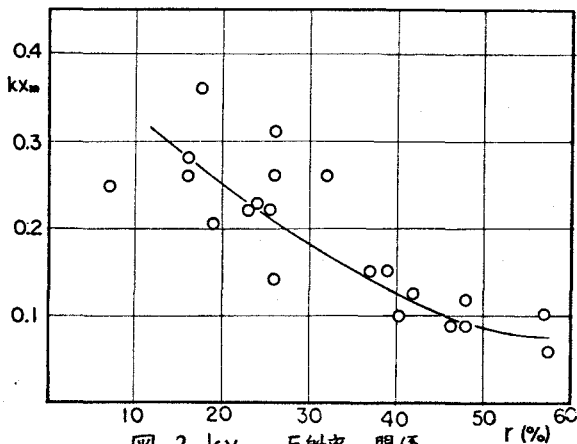


図-2  $kX_m$ と反射率の関係

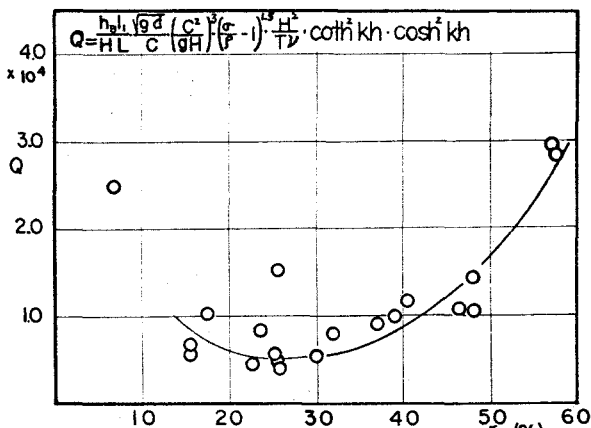


図-3 反射率 $r$ と $Q$ の関係