

海岸堤防基部の洗掘機構に関する研究 (その 1)

榎 木 亨*

1. 緒 言

わが国の海岸線において海岸浸食の防止, 海岸波浪, 高潮の内陸部への侵入防止を目的とした海岸構造物のうち, もっとも多用されているのが海岸堤防といえよう。この海岸堤防に関する研究課題のうち, その有効高さに関する研究はすでに数多くの研究が行なわれ, その成果も種々の場合について発表されている。これに対して堤防の維持の面においてももっとも考慮されなければならない堤脚部の洗掘については, 従来ほとんど行なわれていなかったといっても過言ではなからう。

しかしながら, 近年海岸堤防築造にともなう前浜部の消失により堤防堤脚部の洗掘が問題としてとりあげられるようになり, またこの洗掘防御と消波の目的で消失した前浜部に異形ブロックが設置される場合が多くなって, この異形ブロックの洗掘にともなう沈下散乱をいかにとめるかという実際的な問題が生じている 箇所が多い。

著者は以前に鉛直不透過堤の脚部の洗掘の実験を行ない, 時間経過にともなう洗掘過程に 4 つの型があることを示し, また次元解析により最大洗掘深さおよび最大洗掘深さの生じる堤防位置について明らかにした¹⁾。また透過性の傾斜堤における脚部の洗掘についても, 堤防の設置水深, のり面角度, のり面の空けき率などの洗掘を支配する要素が波の反射率によってあらわされることを明らかにした後, 洗掘深さと反射率の関係を求めて, 洗掘深さを少なくするためには反射率を小さくするような条件にしなければならないことを明らかにした。そしてさらにこの結果から, 洗掘を少なくするための合理的堤防断面としての複合断面を推定した²⁾。しかしながら, これらの研究においては外力とその結果とを結びつけたにとどまって, 洗掘機構については何ら考察がすすめられていない。

本研究は, このような構造物前面の洗掘現象を, 堤防前面の波を部分重複波と仮定し, その波による海岸断面に沿う砂の移動量の変化から考察を進めたもので, 洗掘深さが最大となる地点および洗掘深さと洗掘長さの積で示される洗掘量がいかなる諸要素に支配されるのかについて明らかにしたものである。さらに著者の以前の研究結

果にもとづいて推定した複合断面を有する海岸堤防の脚部洗掘について実験結果にもとづいて検討を加えている。

2. 洗掘量に関する考察

堤防基部の洗掘を解析していく場合, 流体運動にともなう脚部付近に生ずる渦およびそれにとまらぬ激しい攪乱状態を明らかにしていかなければ, 十分な洗掘機構を解析することはできない。しかしながらこのような水粒子の乱れの解析はきわめて困難であるので, 著者は碎波後の波も部分重複波と考えられるという岸³⁾の結果を参照して, 堤防前面の波の運動を部分重複波と仮定し, 波による砂の移動量が河川の流砂量公式に類似されるものと想定して解析をすすめた。

岸³⁾によると部分重複波の速度ポテンシャル φ は次式で示されている。

$$\begin{aligned} \varphi = & -\frac{g}{\omega} (a-b) \cdot \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} \cdot \cos(\omega t - kx) \\ & -\frac{g}{\omega} (2b) \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} \cdot \cos(\omega t) \cdot \cos(kx) \\ & \dots\dots\dots(1) \end{aligned}$$

したがって, 水粒子の水平方向の底部速度 (u_b) は式 (2) で表わされる。

$$\begin{aligned} u_b = & -\frac{gk}{\omega} (a-b) \operatorname{sech}(kh) \cdot \sin(\omega t - kx) \\ & -\frac{gk}{\omega} (2b) \operatorname{sech}(kh) \cdot \cos \omega t \cdot \sin kx \\ & \dots\dots\dots(2) \end{aligned}$$

ここに, a : 入射波高 H の $1/2$, b : 反射波高の $1/2$, $\omega = 2\pi/T$, $k = 2\pi/L$, T : 周期, L : 波長, x : 水平距離, z : 鉛直距離, h : のり先水深, である。

ここで反射波高 b は反射率を r とすると $b = ar$ で示される。

このような波の運動によって移動する底部に沿う単位時間当りの砂の量 q_B は, Kalinske-Brown 型の流砂量公式が適用できるものとするとき,

$$\frac{q_B}{u^* \cdot d} = K \left(\frac{u^{*2}}{\left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) g d} \right)^m \dots\dots\dots(3)$$

で表わすことができる。ここに u^* は摩擦速度, σ および ρ は砂および水の密度, d は粒径, K, m は定数である。

式(3)の u^* と式(2)の u_b との関係については、乱流状態においては明確な結果がえられていないので、一応層流状態における次式の関係⁴⁾で表わされるものとする。

$$\left(\frac{u_b}{u^*}\right)^2 = \sqrt{\frac{\omega}{\nu}} \cdot A \frac{\sin^2(\omega t)}{\sin\left(\omega t + \frac{\pi}{4}\right)} \quad \dots\dots\dots(4)$$

式(4)における $A = \frac{H}{2} \cdot (\sinh 2\pi h/L)^{-1}$ である。

また m の値についてはKalinskeは1, Brownは2という値を与えているが、著者らの沿岸漂砂量の算定式⁵⁾において、Kalinske-Brown型の式を適用した場合、実験および実測値から求めた結果では $m=1.5$ という値をえている。沿岸漂砂と汀線と直角方向の漂砂という相違はあるけれども、沿岸漂砂量の算定式が碎波後の漂砂移動を含んでいることから式(3)の m も $m=1.5$ と仮定して大きな間違はないものと推定される。

したがって q_B は

$$q_B = K \frac{u^{*4}}{\left(\frac{\sigma}{\rho} - 1\right)^{1.5} g^{1.5} d^{0.5}} \quad \dots\dots\dots(5)$$

で表わすことができる。

一方砂の連続式は式(6)で示すことができる。

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \frac{\partial q_B}{\partial x} = 0 \quad \dots\dots\dots(6)$$

ここに λ は砂の空げき率である。

いま λ を一定とすると

$$z - z_0 \propto \frac{\partial}{\partial x} \int_T q_B dt \quad \dots\dots\dots(7)$$

で表わすことができる。 z_0 は初期の地形高さである。

ここで式(7)で示される一周期の真の漂砂量が一周期の砂の移動量の平均値に比例すると考えると、

$$z - z_0 \propto \frac{\partial}{\partial x} (\bar{q}_B) \cdot T \quad \dots\dots\dots(8)$$

で表わすことができる。 $\bar{q}_B$ は一周期の平均漂砂移動量を示す。

したがって、図-1に示すような洗掘状況を想定すると、式(8)中の $z - z_0 = h_B(x)$ とし、洗掘長さを l_1 とすると、 $\bar{q}_B$ は、

$$\bar{q}_B \propto \int_0^{l_1} \frac{h_B(x)}{T} dx \quad \dots\dots\dots(9)$$

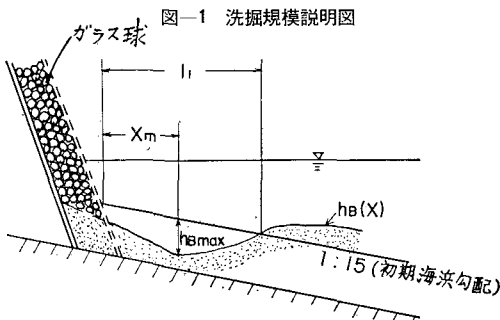


図-1 洗掘規模説明図

で表わされる。

$$\bar{q}_B \propto \frac{1}{T} \int_0^T q_B dt$$

に式(5)を代入し、式(5)中の u^* に式(4)の関係をを用いて整理すると、

$$\bar{q}_B = K' \frac{1}{\left(\frac{\sigma}{\rho} - 1\right)^{1.5} g^{1.5} d^{0.5}} \left(\frac{1}{\sqrt{\frac{\omega}{\nu}} A} \right)^2 \times \left(\frac{gka}{\omega} \operatorname{sech} kh \right)^4 f(r, kx) \quad \dots\dots\dots(10)$$

ここに、 $f(r, kx)$ は次式で示される。 K' は比例定数である。

$f(r, kx)$

$$= \left\{ \frac{1}{2} (1-r)^4 \cos^4 kr - 3(1-r)^2 (1+r)^2 \cos^2 kx \sin^2 kx - \frac{1}{2} (1+r)^4 \sin^4 kx - 2(1-r)^2 (1+r) \cos^3 kx \sin kx + 6(1-r)(1+r)^3 \cos kx \sin^3 kx \right\} \quad \dots\dots\dots(11)$$

いま式(9)の $\int_0^{l_1} h_B(x) dx / T$ が $(h_{B \cdot \max} \cdot l_1) / T$ にほぼひとしいと仮定すると、

$$\bar{q}_B \propto \frac{h_{B \cdot \max} \cdot l_1}{T} \quad \dots\dots\dots(12)$$

(ここに $h_{B \cdot \max}$ は $x = x_m$ の値)………(12)
より式(13)に示すような無次元諸量の関係が導くことができる。

$$\frac{h_{B \cdot \max} \cdot l_1}{H \cdot L} \propto \frac{C}{\sqrt{gd}} \cdot \left(\frac{C^2}{gH} \right)^{-3} \cdot \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right)^{-1.5} \times \frac{T\nu}{H^2} \tanh^2 kh \cdot \operatorname{sech}^2 kh \cdot f(r, kx_m) \quad \dots\dots\dots(13)$$

ここに、 ν は動粘性係数、 C は波速を示す。

式(13)の x_m は堤防のり先より最大洗掘深さ $h_{B \cdot \max}$ を示す地点までの距離であるが、この地点は q_B の距離の変化にともなう割合が最大の場合と考えられるので、 x_m は $\partial^2 q_B / \partial x^2 = 0$ を満足するはずである。すなわち、

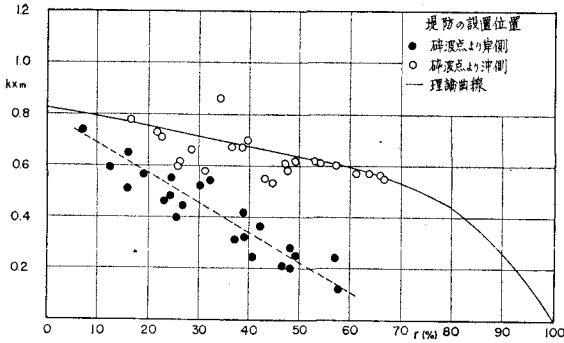
$$\begin{aligned} & -2k^2(1-r)^4 \cos^2 kx_m (1-4\sin^2 kx_m) \\ & -6k^2(1-r)^2(1+r)^2(1-8\sin^2 kx_m \cos^2 kx_m) \\ & -2k^2(1+r)^4 \sin^2 kx_m (4\cos^2 kx_m - 1) \\ & -4k^2(1-r)^3(1+r) \sin kx_m \cos kx_m (3-8\cos^2 kx_m) \\ & + 12k^2(1-r)(1+r)^3 \sin kx_m \cos kx_m (3-8\sin^2 kx_m) \\ & = 0 \quad \dots\dots\dots(14) \end{aligned}$$

式(14)においてもわかるように、 kx_m は、反射率 r の関数のみで表わすことができる。

図-2は、この kx_m と反射率 r の関係を求めたものであって、実線は式(14)による計算結果である。

同図中に実験値を碎波前と碎波後にわけて示した。図-2からもわかるように、堤防を碎波前に設置した場合は理論曲線とかなりよく一致しているのに対し、碎波後に堤防を設置した場合は理論曲線とかなり離れた値を示している。これは碎波前に堤防を設置した場合、波が理論式で仮定したように正弦波の状態をたもち、かつ理

図-2 kx_m と r の関係



論式で考慮に入れなかった乱れの影響が小さいため、比較的理論値とよく一致するものと考えられる。これに対し、砕波後に堤防を設置した場合は、堤防前面の乱れがいちじるしいため理論値とはことなつた値をとるが、しかしながら、点線で示すように、 kx_m と r との間には密接な相関関係があることが認められる。

以上のことから、砕波前、砕波後ともに堤防を設置しても kx_m は r の関係で表わされると考えてさしつかえないようである。

このことから式 (13) は式 (15) のように変換することができる。

$$f_1(r) \propto \frac{h_{B \cdot \max} \cdot l_1}{H \cdot L} \cdot \frac{\sqrt{gd}}{C} \cdot \left(\frac{C^2}{gH} \right)^3 \times \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right)^{1.5} \times \frac{H^2}{T^2} \coth^2 kh \cdot \cosh^2 kh \quad \dots\dots\dots (15)$$

図-3 洗掘量と反射率の関係 (砕波後に堤防設置した場合)

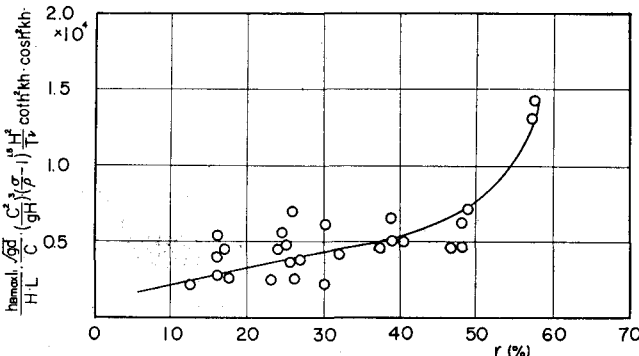
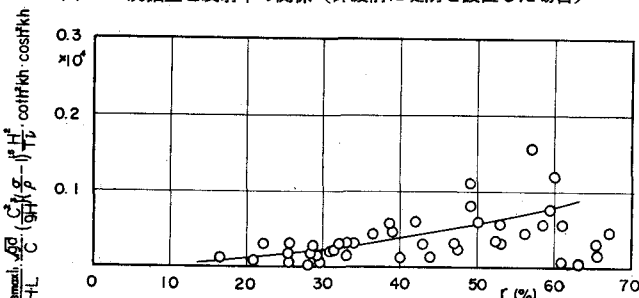


図-4 洗掘量と反射率の関係 (砕波前に堤防を設置した場合)



式 (15) の左辺中の r を横軸にとり、右辺をたて軸にとって実験値を整理したのが図-3 および図-4 である。図-2 で示したように砕波前と砕波後に堤防を設置した場合はその洗掘現象の様相が異なるので区別して示した。図-3 は砕波後に堤防を設置した場合、図-4 に砕波前に堤防を設置した場合である。

なお本実験値は図-1 に示すような単断面で、固定傾斜壁の前面に直径 2mm のガラス球(空けき率 40%)を 12 cm 幅につめた透過性の堤防模型に対してえられたもので、底質は粒径が 0.42 mm の砂である。実験に用いた波は沖波波形勾配 H_0/L_0 が 0.015, 0.02, 0.03 の 3 種類、初期堤防のり先水深は波高 4 cm の場合 $0.25 < h/H_0 < 0.75$ の範囲、波高 8 cm の場合は、 $0.75 < h/H_0 < 5.0$ の範囲で変化させた。

反射率の算定は Healy の方法を用い、入射波高の算定は初期のり先水深に対する無堤時の波高⁶⁾をもって実験値を整理している。また砕波後の波長は孤立波の波長、砕波前の波長は浅海波の波長算定式を用いた。

図-3 および図-4 において反射率が大きくなれば洗掘規模も大きくなるが、やはり乱れの大きさのことなる砕波前と砕波後と比較すると砕波前の方が小さい洗掘規模しかしめしていない。

3. 洗掘深さに関する考察

構造物の破壊に関してはこの洗掘深さがもっとも大きく影響するものと考えられるので、従来洗掘の実験解析に関してはこの洗掘深さと諸要素との関係を明らかにしたものが多い。著者も先に述べたように洗掘深さとのり先水深の関係、反射率と洗掘深さの関係を明らかにしたが、ここでは 2. で述べた漂砂移動量から考察しておくたい。

任意点の地形変動は式 (8) で示されるのでその地形変化量 $z - z_0 = h_B(x)$ とすると、式 (10) を用いて式 (8) より

$$h_B(x) \propto \frac{k}{\left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right)^{1.5} g^{1.5} d^{0.5}} \left(\frac{1}{\sqrt{\frac{\omega}{\nu}} \cdot A} \right)^2 \times \left(\frac{gka}{\omega} \operatorname{sech} kh \right)^4 \cdot T \cdot f'(r, kx) \quad \dots\dots\dots (16)$$

ここに、

$$\begin{aligned} f'(r, kx) &= [2(1-r)^4 \sin kx \cdot \cos^3 kx] \\ &\quad - 6(1-r)^2(1+r)^2 \{ \sin kx \cos kx \\ &\quad - 2 \sin^3 kx \cdot \cos kx \} \\ &\quad - 2(1+r)^4 \sin^3 kx \cdot \cos kx] \end{aligned}$$

で表わすことができる。

$x = x_m$ のとき洗掘深さは最大となるの

で式(16)をかきなおすと,

$$\frac{h_{B\cdot\max}}{H} \propto \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1\right)^{-1.5} \frac{C}{\sqrt{gd}} \left(\frac{gH}{C^2}\right)^3 \cdot \frac{T\nu}{H^2} \times \tanh^2 kh \operatorname{sech}^2 kh \cdot f'(r, kx_m) \dots\dots\dots(17)$$

となる。

式(14)および図-2 からわかるように, 式(17)中の kx_m は碎波前, 碎波後いずれにおいた場合であっても r の関数で示されるので, 式(17) はつぎのようにかきかえることができる。

$$f'_1(r) \propto \frac{h_{B\cdot\max}}{H} \cdot \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1\right)^{-1.5} \frac{\sqrt{gd}}{C} \cdot \left(\frac{C^2}{gH}\right)^3 \times \frac{H^2}{T\nu} \coth^3 kh \cdot \operatorname{cosech}^2 kh \dots\dots\dots(18)$$

図-5 は碎波後に堤防を設置した場合の反射率と式(18)の洗掘深さを表わす量との関係を示したものである。この図から実験値のちらばりはあるけれども, 式(18)の右辺で示される各無次元量の積は r のある関数で示されるようである。

このことから, 従来の洗掘深さと諸要素の関係をみてみると, まず最大洗掘深さと水深の関係は式(18)において,

$$\{f'_1(r)\}^{-1} \cdot \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1\right)^{1.5} \frac{\sqrt{gd}}{C} \cdot \left(\frac{C^2}{gH}\right)^3 \cdot \frac{H^2}{T\nu} = \text{一定}$$

図-5 洗掘深さと r の関係

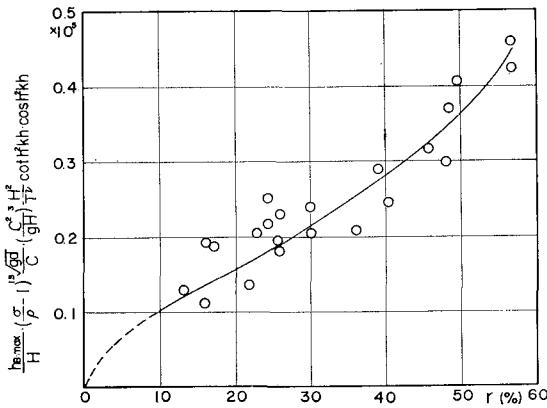
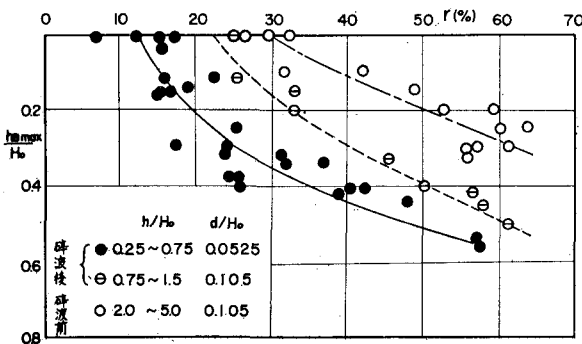


図-6 洗掘深さの地点および底質の変化にともなう差違



の場合のみ求めるものであって, たとえパラメーターを H_0/L_0 にえらび, 鉛直壁の場合反射率が h/L_0 および H_0/L_0 の関数であっても, 底質粒径, および波高, 周期がことなると, ある実験の結果を他の実験あるいは実測結果と定量的に比較することには極めて疑問がある。

同様に反射率と洗掘深さの関係においても,

$$\left(\frac{\sigma}{\rho} - 1\right)^{1.5} \times \left(\frac{\sqrt{gd}}{C}\right) \left(\frac{C^2}{gH}\right)^3 \cdot \left(\frac{H^2}{T\nu}\right) \coth^2 kh \times \cosh^2 kh = \text{一定}$$

の条件においてのみその関係は定量的に表わすことができるのであって, 底質粒径, およびその地点の差違によって図-6 に示すように明らかな差異が表われてくる。

以上のように, 洗掘深さに関しても, 従来のように二, 三の要素のみによって簡単に表わすことはむずかしいことがわかる。

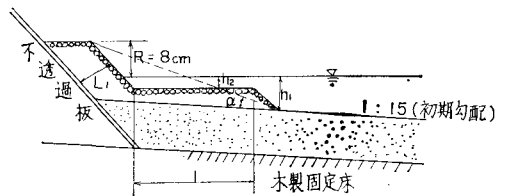
4. 複合断面における洗掘について

2., 3. において洗掘現象は, 波の特性, 底質の特性, 堤防設置位置が一定の場合, 反射率が小さければ小さいほど洗掘規模および洗掘深さが少なくなることを示した。したがって, 上に述べた海岸特性, 堤防設置位置が定まっているような場合は, 堤防の構造をできるだけ反射率の小さいような構造にしなければならない。

著者は以前に単断面における洗掘深さと反射率の関係から図-7 に示すような複合断面における仮想勾配 α を 20° 前後にする場合安定断面になるのではなかろうかと推論した²⁾。

本節においては, この推論にもとづく複合断面堤防に対する実験結果を報告するものである。

図-7 複合断面堤防模型



(1) 実験方法

複合断面の場合も単断面模型と同様に, 背後に不透過板を設置した透過堤の複合断面模型(図-7 参照)を用いた。

透過堤は単断面の場合と同様 $\phi 25 \text{ mm}$ のガラス球をもって構成し, 複合断面のおおのこの部分ののり面角度は $1:1$ とした。

複合断面の仮想勾配 α は $15^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ の3種類について変化させ, のり先水深 h_1 は $8, 6, 4 \text{ cm}$, 小段天端水深 h_2 は $h_2/h_1 = 0, 0.2, 0.4$ となるように変化させた。小段幅 l は, α と h_1 および h_2 を

与えると自動的に定まる。海岸の初期勾配は 1/15 とした。

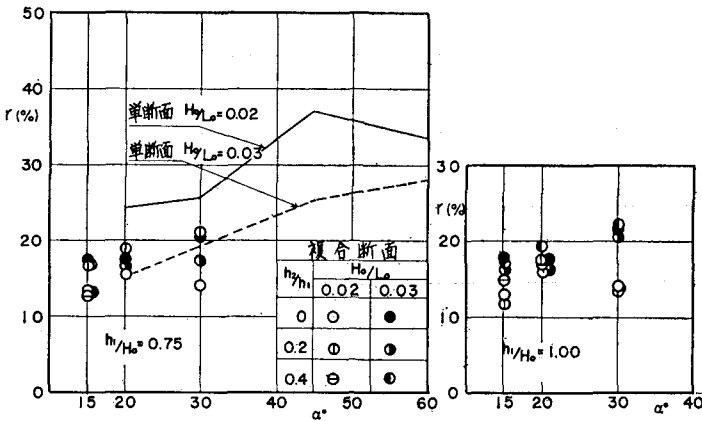
実験に用いた波は $T=1.6, 1.3$ 秒, 波高 8 cm で波形勾配は 0.02, 0.03 の2種類である。なお底質粒径は $d=0.55$ mm の比較的均一な砂で $\sigma=2.60$ のものを用いた。

(2) 反射率

複合断面の目的が反射率の減少にあるので, ここで複合断面における反射率を明らかにしておこう。この場合の反射率の算定に関しては単断面の場合と同様 Healy の方法によった。

図-8 はたて軸に反射率, よこ軸に仮想のり面勾配 α をとり小段天端水深をあらわす無次元量をパラメーターとしてあらわしたものである。

図-8 複合断面における反射率と α の関係



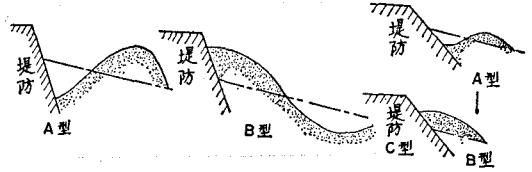
この図によると, 一般に α の変化にともなう r の変化は, いずれの波形勾配, h_1/H_0 , h_2/h_1 の値をとっても α の増加とともに反射率 r は増加する傾向をもつ。同図に, 単断面の場合の反射率と α の関係を比較のため記入してある。これによると $H_0/L_0=0.03$ の場合は複合断面と単断面とはほぼ同程度の値を示しているが, $H_0/L_0=0.02$ の場合は単断面の場合より複合断面の方が反射率は小さくあらわれている。これは小段の長さや波長の関係による相違と考えられる。

一方設置水深の反射率の影響はかなり大きく, 波形勾配の相違によりその傾向をことにしている。しかしながら, 小段天端水深の影響は本実験の範囲では認められなかった。

(3) 地形変化

a) 地形変化の分類 複合断面堤防における前面の地形変化の特徴は, その仮想勾配 α が $15^\circ \sim 30^\circ$ という緩勾配のため, (2) で明らかにしたように反射率が 20% 以下という小さい値を示すことから, 単断面の場合に比較して堤防のり先にいちじるしい堆積現象を生じることである。また一時的にのり先は洗掘されるけれど

図-9 堤脚部近傍の地形変化の種類



も時間経過とともに堆積していく場合も多い。いまその堤脚部近傍の地形変化を模式的にえがくと図-9 のような種類にわけられる。

すなわち, A型とは堤防前面において洗掘が生じ, 堤防から少しはなれた箇所に堆積を示す地形変化であり, B型は堤脚部において時間の経過とともに堆積がすすみ, 洗掘を生じないもの, C型とは最初はA型を示すが, 時間の経過とともにB型に移行するものである。

堤防の安定という面から危険と考えられる前面の地形変化は一時的にでも洗掘が生じるC型も含めたA, C型の洗掘型であることはいうまでもない。

堤防前面の地形変化の機構は2., 3. において考察したが, この2., 3. 節においては漂砂の移動方向までも考慮されておらないため洗掘堆積型の区別はつかない。単断面の場合は実験においてはこのA型およびC型が多かったが, 前述のように, 複合断面の堤防の場合はB型が多くなり, その実験数との割合を示すと表-1 のような結果がえられた。

すなわち波形勾配が 0.02 の場合 59%

表-1 地形変化の形式の割合

H_0/L_0	A 型	B 型	C 型	総 計
0.02	4	13	5	22
0.03	3	17	3	23

が, 波形勾配 0.03 の場合は 77% もの場合が堤防の維持に安全側と考えられるB型となつてあらわれている。

b) 地形変化におよぼす α とのり先水深, 小段天端水深の影響 表-1 に示したようなB型の堆積がいかなる条件のもとで発生するかを明らかにしたのが図-10 および図-11 である。

図-10, 図-11 は, 実験条件が $H_0=8$ cm, $\sigma=2.60$, $T=1.8$ 秒と $T=1.3$ 秒の一定値をとる。したがって式(18)における

$$\left(\frac{\sigma}{\rho} - 1\right)^{1.5} \cdot \frac{\sqrt{gd}}{C} \cdot \left(\frac{C^2}{gH}\right)^3 \frac{H^2}{T\nu} \coth^2 kh \times \cosh^2 kh$$

を一定値という条件で比較するため, 周期別に, 各設置水深ごとに洗掘深さ $h_{B\max}$ あるいは堆積高さ $h_{A\max}$ とのり面角度 α との関係を求めたものである。

図-10 および図-11 から $H_0/L_0=0.03, 0.02$ を通じ

図-10 地形変化と α および h_1/H_0 の関係 ($H_0/L_0=0.02$)

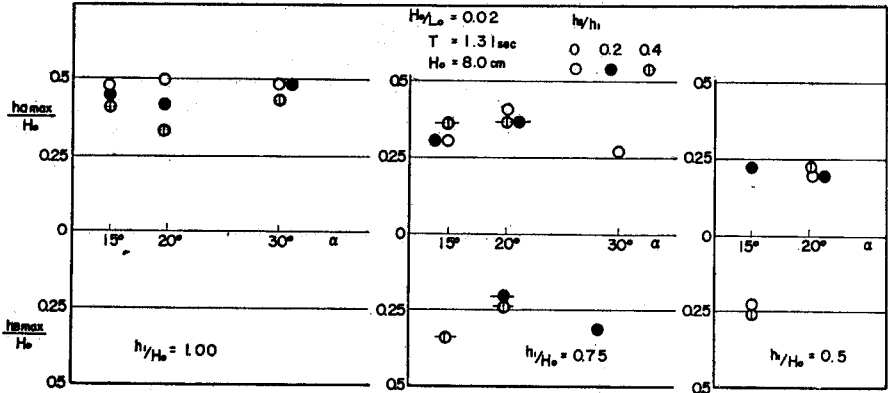
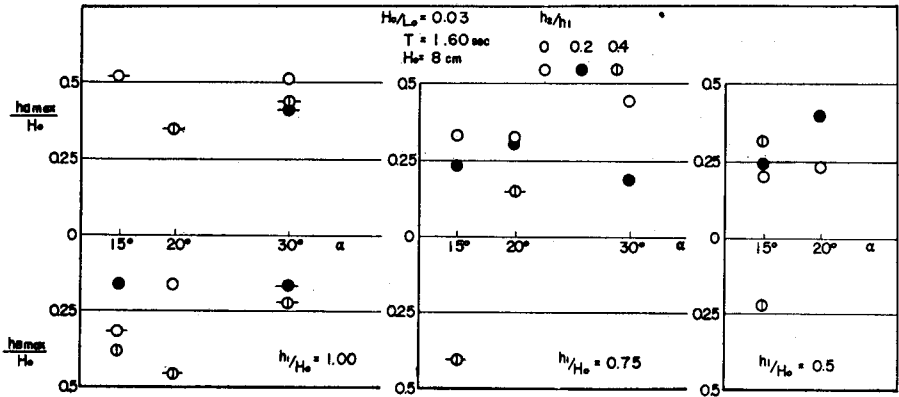


図-11 地形変化と α および h_1/H_0 の関係 ($H_0/L_0=0.03$)



て、洗掘現象が卓越する堤防の設置位置が存在することがわかるがそれを取りまとめてみると表-2 のようになる。

表-2 洗掘型を示す設置水深と α

波形勾配	h_1/H_0	備 考
0.02	0.10	$h_1/H_0=0.75, 0.5$ の場合 $\alpha=15^\circ$ のときも洗掘
0.03	0.75 および 0.5	$h_1/H_0=0.5$ の場合は $\alpha=15^\circ$ のときのみ洗掘

すなわち波形勾配の相違により全く逆の結果が表われているようであって、 $H_0/L_0=0.02$ の場合には砕波点近くで、 $H_0/L_0=0.03$ の場合には砕波点より少し岸側の場所で洗掘が生じている。この H_0/L_0 の変化にともなう設置水深の地形変化に対する効果の差違は、先に述べた式 (18) の無次元量の個々の影響、あるいは波の砕け方の差違の影響などに原因するのではないかと推定されるが現在のところ未だ明らかにされていない。

また表-2 を通じて α が 15° という緩勾配で反射率も小さい場合に洗掘が生じている。2., 3. で述べたように反射率が小さいためその洗掘規模および洗掘深さは小さいけれども、堤防の安全性という面では以前に推論したように、ただちに α をゆるやかにすることが安全

側であるとはいいがたい。

この α が 15° の場合、洗掘されやすいという性質については、まだ十分な検討は行っていないが、仮想一様勾配 α のとり方、および α がゆるやかな場合小段長さ l が大きくガラス球中の浸透する水流が大きいことから考えられる浸透流の洗掘に対する影響などがその原因と考えられる。

なお本実験においては小段天端水深の影響については反射率のところで述べたと同様に h_2/h_1 の明確な傾向は見出されなかった。

5. 結 語

以上著者は堤防のり先の地形変動に対して漂砂量の変化から考察をすすめ、地形変動に影響する諸要素の無次元量を求め、それらの無次元量の積と洗掘規模および洗掘深さの関係を明らかにした。しかしながら、ここで求めた諸要素の個々の影響については検討されておらないので今後この点を明らかにするとともに、砕波前、砕波後における諸要素の影響の度合からその洗掘に対する乱れの効果を推定したいと考えている。

また複合断面の堤防に関する実験において疑問点とし

てかかげておいた洗掘と堆積に対する式(18)で示した諸要素の効果,ならびに洗掘現象に対する浸透流の効果についても現在実験計画中であり,後日その結果について報告したいと考えている。

最後に本研究に対してご援助いただいた建設省黒部工事事務所の方に謝意を表するとともに,本研究のとりまとめにご援助いただいた元名大大学院生庄野博文および元大阪大学助手古土井光昭両氏に深く感謝する次第である。

参 考 文 献

- 1) 樫木 亨・川崎芳一: 海岸堤防堤脚部の洗掘について,

京都大学防災研究所年報 第4号, 昭35.

- 2) Sawaragi, T.: Scouring due to Wave Action at the Toe of Permeable Coastal Structures, Proc. of 10th Conference on Coastal Engineering, pp. 1036~1048.
- 3) 岸 力: 海岸の波浪について, 土木学会第2回海岸工学講演会講演集, 昭30, pp. 1~12.
- 4) Lamb, H.: Hydrodynamics, 6th ed. p. 620.
- 5) 岩垣雄一・樫木 亨: 沿岸漂砂量の新算定法について, 土木学会海岸工学講演会講演集, 昭35, pp. 59~68.
- 6) 石原藤次郎・岩垣雄一・鈴木雄太: 海岸堤防の設計, 特にその有効高さについて, 土木学会第2回海岸工学講演会講演集, 昭30, pp. 57~70.