

海岸堤防前面の海浜変形に関する実験

東北大学工学部 正 岩崎敏夫

正 沼田 淳

東北大学大学院 学 〇和田 信

1. 序言

海岸堤防の設計や施工に関して考慮されねばならない重要な事項に、堤脚部の洗掘があげられる。しかし現地観測の困難性、及び洗掘形状に対する支配要素が何かという問題が未解決であるため、現象を統一的に説明できる理論は確立されていない。

本研究は次元解析により、洗掘を支配すると考えられる要素を選び、堤脚部の洗掘機構の相違、及び海浜変形の特徴に関して、2次元造波水路で行なった実験の結果に検討を加えたものである。

2. 実験装置及び方法

①実験装置: 実験は長さ53m、中1mの風洞付波動水槽を用いて行なった。水槽の一端には7mにわたり、比重2.67、中央粒径0.3mmの砂で1/10の傾斜部を設け、水平部は水深65cmの固定床とした。

②実験条件: 洗掘深さ Δh に影響する諸量を選び、粘性等の効果を省略して π 定理を用いると

$$\Delta h/H_0 = \phi(H_0/L_0, R_0/L_0, d/H_0, t/T, \alpha)$$

が成立する。 T は波の周期、 L_0 、 H_0 は冲波の波長及び波高、 R_0 は堤防設置水深、 d は砂の粒径、 t は経過時間、 α は堤防の形状を代表するものとする。以上を考慮し、波形勾配が0.016 ($T=2.1\text{sec}$, $H_0=11.8\text{cm}$), 0.03 ($T=1.6\text{sec}$, $H_0=13.5\text{cm}$) の2種の波を用いた。前者は正常海浜、後者は暴風海浜に属する。堤防は汀線と破波点の間に4ヶ所設定した。堤防の形状は鉛直堤を採用し、同じ条件で前面に消波ブロックを設置した場合、及び無堤の自然海浜についても比較検討した。

③測定方法: 地物変化は、造波後5, 15, 30, 60, 120, 240, 300, 480分に堤体の奥約4mに至る範囲を5cm間隔で、初期勾配からの堆積、浸食量をスケールで測定した。波高は電気抵抗線式波高計に

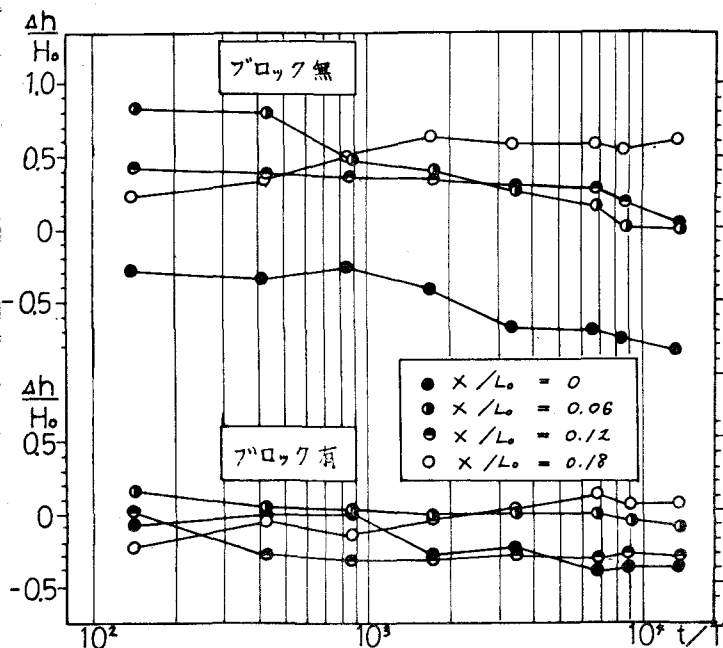


図1 堤脚洗掘深さの時間変化(1) $H_0/L_0 = 0.016$

より 10 cm 間隔で測定し、
反射率は Healy⁽¹⁾ の方法によ
った。

3. 実験結果及び考察

1) 堤脚部の洗掘

図-1, 2 は堤体設置位置
をパラメーターにとり、堤
脚洗掘深の時間変化を、無
次元化し、洗掘を正として
表わしたものである。図-3
は、堤防設置点の移設に伴
なう、最大洗掘深、及び最
終洗掘深を表わしている。

堤防設置点は、汀線からの

距離を X とし、波浪波長で無次元化してある。参考までに
自然海岸の際の砕波点を X_b とすると、 $H_0/L_0 = 0.016$ の時は
 $X_b/L_0 = 0.31$ 、 $H_0/L_0 = 0.034$ の時は $X_b/L_0 = 0.38$ となる。

正常海岸の場合は、一般に砕波後の向岸流と離岸流の速度
差により、砂が岸に堆積する。汀線に堤体を設置すると、
この影響を受けて、徐々に砂が堆積する。堤体を海岸部へ
出すと、初期洗掘として、砕波による衝撃が大きく作用し
た後、上記の作用により埋め戻し現象が現われるものと思
える。更に堤体を前部へ出すと、砕波が不完全になり、後
述する部分重複波の影響が卓越するものと考えられ、洗掘
が進行する。

暴風海岸の場合は、汀線に堤体があると、逆に浸食作用を
受け洗掘が進む。その他の場合は、洗掘深の時間変化は、
あまり顕著でない。 $X/L_0 = 0.1$ で比較的大きな洗掘が生じ
ているが、これは暴風海岸の性質と砕波の相乗作用による
ものである。

次に堤体前面に消波ブロックを設置した場合を検討すると、無堤時と同様な傾向を示しているが、ブ
ロックは砕波の衝撃や、水粒子の運動を阻止するため、洗掘、堆積の絶対量及び変動は少ない。

2) 堤体前面一帯の地形変化

堤防前面一帯は、部分重複波の影響を受けて特徴ある変化を呈する。観察によると造波後まもなく、
部分重複波の腹に相当する近傍から砂運が発達し、やがて全域に広がる。時間の経過と共に砂床上に
は、砂運よりも波長の大きい Sand wave (dune) が形成される。図-4 は実験結果の一例であり、砂

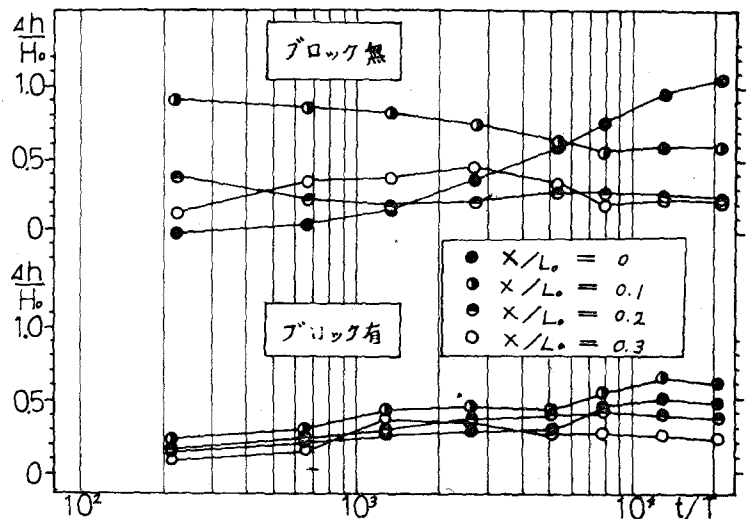


図2 堤脚洗掘深の時間変化(2) $H_0/L_0 = 0.034$

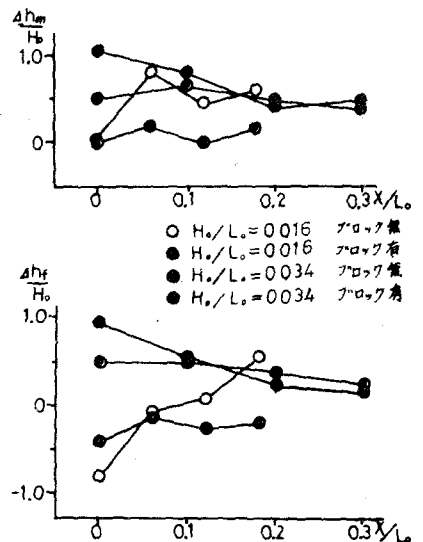


図3 最大洗掘深 $4h_m$ と最終洗掘深 $4h_f$

の実質移動量と堆積と正であらわし、時間堆積を求めたものである。下段は最終地形であり、波高分布は上段のようになる。この図より、初期移動量は堤脚部近傍が著しく、徐々に海浜全域に及んでいく事が知られ、部分重複波の腹付近は、流掘が促進され、逆に節付近は、堆積を受ける傾向がつかめる。更に最終時間の移動量においては、分布形に周期性がみられる。この事は従来指摘されていなかった現象であるといえよう。

図4 海底地形の変化の一例

$$\begin{aligned} H/L_0 &= 0.034 \\ X/L_0 &= 0.2 \\ r &= 0.32 \end{aligned}$$

海底近くの水粒子が往復運動を行なうのみならば、限界掃流力以上であっても底質は同様に往復運動を行なうだけで、実質的な輸送は起らない。故に波動の1次のオーダーである周期的往復運動が底質を運動し易い状態にせしめ、2次のオーダーである質量輸送が、底質運動の卓越方向を決定する重要な要素になると推測される。

Longuet-Higgins⁽²⁾によると部分重複波の層流境界層に於ける質量輸送速度 $\bar{u}$ は次の様に表わされる。

$$\bar{u} = \frac{\rho_0}{2\omega} u_{0i}^2 \left[(1-r^2) M_p + 2r M_s \sin 2\eta \right]$$

$$M_p(\eta) = 5 - 8e^{-\eta} \cos \eta + 3e^{-2\eta}$$

$$M_s(\eta) = -3 + 8e^{-\eta} \sin \eta + 3e^{-2\eta}$$

$$u_{0i} = \pi H_i / T \sin kx$$

$$\eta = \pi / \sqrt{2} \delta, \quad \delta = (UT/2\pi)^{1/2}$$

$$\xi = \frac{2\pi}{L}, \quad \omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$H_i: \text{入射波高} \quad r: \text{反射率}$$

図-5は $r=0.5$ に対して上式を計算した結果である。この図より部分重複波の腹付近は、節近傍より質量輸送速度が大きい事が知られ、野田⁽³⁾が指摘した様に、この速度差により前記の地形が形成されたものと言え

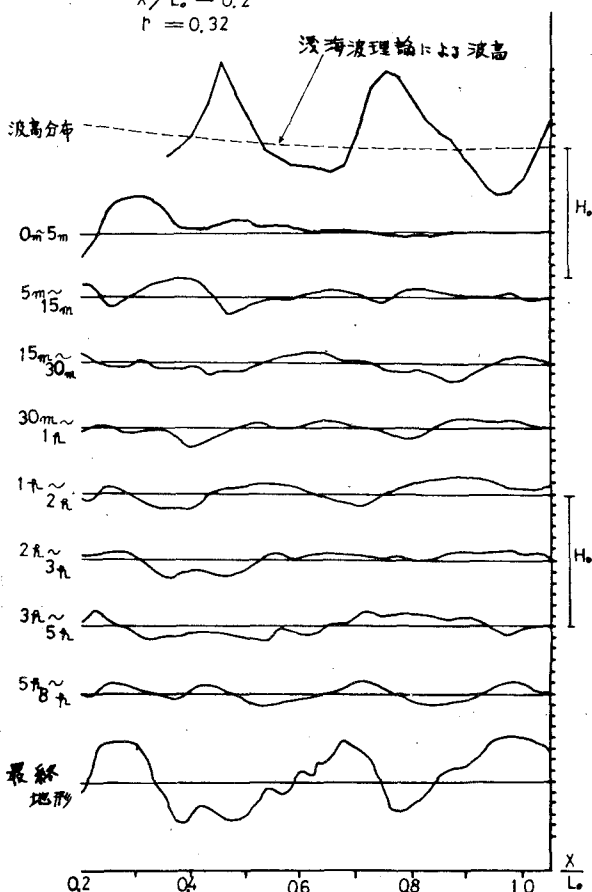
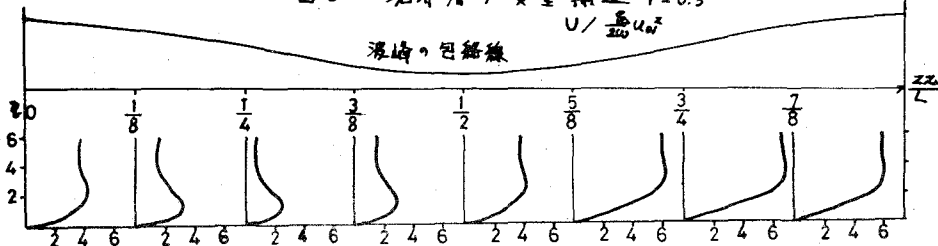


図5 境界層、質量輸送 $r=0.5$



よう。

上の論議を全実験結果に対して検討するため、部分重複波の腹と腹の距離、及び Sand wave の波長を横軸、微小振中波理論による波長を縦軸にとり、比較したのが、図-6、7 である。海底が傾斜しているので、中間地の水深を採用して理論値を算出した。これ等の図より、Sand wave の波長が、部分重複波の腹間の距離に、ほぼ一致している事が認められ、破壊以前の海底地形の変化を支配する大きな要因が、境界層の質量輸送にあるものといえよう。

次に Sand wave の発達限界を検討してみる。境界層が層流であるか乱流であるか明確な区分は確立されていないが、Manohar⁽³⁾の基準から計算を行なった結果水深が浅いと一部乱流域に含まれる場合があった。又反射率が大きくなっても、Sand wave の波高は必ずしも大きくなり、その発達には限界があると推測される。そこで砂の抵抗力を用いて無次元化した

$$N = U_{ol}(1+r) / \sqrt{(\sigma/\rho)gd_s}$$

σ , ρ は、砂、水の単位体積重量

を横軸にとり、Sand wave の波高勾配と比較したのが図-8 である。実験範囲は狭いが、 $N=5.5$ 付近に発達の限界があると思える。

4. 結語

堤脚部の洗掘は、堤体設置水深の相違により、卓越して現われた支配要素が異なる事が考察された。

形成される Sand wave は部分重複波の腹間の距離にほぼ一致し、その発達には限界がある事が見いだされた。

本実験は1種類、底質を用いたのみであり、実際には scale effect について考慮せねばならない。最後に懇心に実験及びデータの整理に協力された、東北大学学生、新谷寛君、東北工業大学学生、坂本俊策君、杉山守君に感謝する。本研究は昭和47年度文部省科学研究費「波浪災害に関する総合的研究」(代表者：岩垣雄一)の援助を受けた。

<参考文献>

- (1) Healy, J. J.: Wave Damping Effect of Beaches, Proc. Minnesota Inter. Hyd. Conv. of IAHR 1953
- (2) Longuet-Higgins, M. S.: Mass Transport in Water Waves, Phil. Trans. of Royal Soc. London Vol. 245, 1953
- (3) 野田英明: 波動境界層における質量輸送と海底の洗掘* 第17回海洋工学講演会論文集 1970
- (4) Manohar, M.: Mechanics of Bottom Sediment Movement due to Wave Action, B.E.B. Tech. Memo. 1955

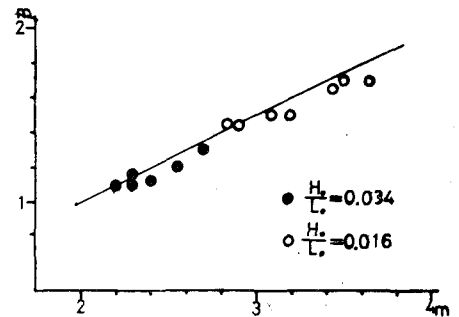


図6 部分重複波の腹間距離

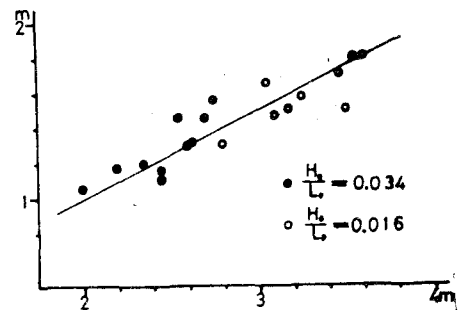


図7 Sand wave の波長

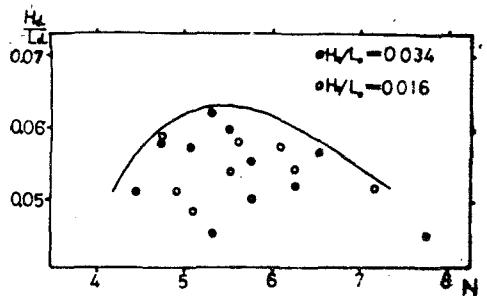


図8 Sand wave の発達限界