

海岸堤防堤脚部の洗掘に関する研究

野田 英明*・岩佐 敏博**

1. 緒 言

海岸堤防堤脚部の洗掘が堤防破損の原因となり、海岸災害を大きくしていることは、過去の災害でもしばしば指摘されているところである。しかしながら、現地観測が困難なため、その実態が十分に把握されているとはいえない。したがって、従来行なわれてきた研究、たとえば榎木ら^{1),2),3)}、佐藤・田中ら⁴⁾および細井ら⁵⁾の研究ももっぱら実験的手法によるものであったが、それでもこれらの研究成果は洗掘現象に関する新しい知見を多く提示してきた。

この論文は、従来の研究と同様に、実験的に洗掘現象を解明しようとするものであるが、特に波による洗掘機構について考察を加えようとするものである。

従来の研究から明らかなように、波による洗掘は、入射波と反射波によって形成される重複波の作用、砕波によって生ずる水塊の作用、および堤防に衝突した波による渦流やもどり流れの作用によるものに大別することができよう。こうした洗掘は堤前面の局所洗掘と海浜全域の変形とが密接に関連すると考えられるので、こうした観点からも検討するつもりである。

2. 実験装置および実験方法

実験は、鳥取大学工学部水理実験室に設けられている波動水槽を用いて行なった。この水槽は、図-1 に示す

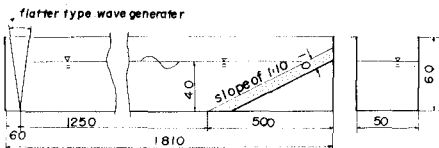


図-1 波動水槽

ように、長さ 18.1m、幅 0.5m、深さ 0.6m の鋼製一部片面ガラス張りであって、水槽の一端には 1/10 勾配の傾斜部を設け、他端にはフラッター式造波機が設置されている。なお、反射波の再反射をできるかぎり防ぐために造波板の前に汨波装置を設けた。実験に用いた底質は中央粒径 d_{50} が 0.32mm のほぼ均一な砂で、傾斜部に約 15cm の厚さに敷いた。平坦部における水深は 40cm

と一定にした。

実験は 1/10 勾配の海浜部に一定の特性をもつ波を長時間作用させて平衡断面を形成させたのち、適当な位置に鉛直堤を設置して、ふたたび同じ波を作用させた。あらかじめ定めておいた時間間隔ごとに造波機を止めて、鉛直堤前面の海底形状を測定した。無堤時と同様に、海底地形の変動がほとんどなくなり、ほぼ平衡状態になるまで実験を続けた。なお、1/10 勾配の海浜を無堤のまま平衡形状にする場合を、有堤時におけるそれと区別するために、この論文では前者を平衡海浜、後者を最終海浜と呼ぶことにする。

波高は、平衡および最終海浜が形成されたとき、反射率を求めるため、水深 40cm の水槽水平部では電気抵抗式波高計で 25cm 間隔ごとに、また海浜部では 5mm 間隔に接点を設けた階段式波高計で測定した。実験波の特性は表-1 に示すようであるが、この表に示されている x および x_b は、図-2 から明らかなように、それぞれ

表-1 実験条件

No.	H_0 (cm)	T (sec)	d_{50} (mm)	H_0/L_0	H_0/d_{50}	X/X_b
1-0	3.3	1.41	0.32	0.011	100	0.0
1-1						0.3
1-2						1.0
2-0	5.9	1.87	0.32	0.011	180	0.0
2-1						0.3
2-2						1.0
3-0	10.1	1.31	0.32	0.038	320	0.0
3-1						0.66
3-2						1.24

平衡海浜汀線から鉛直堤および砕波点までの水平距離である。なお、No. 1 および 2 の実験波は H_0/L_0 および H_0/d_{50} の値

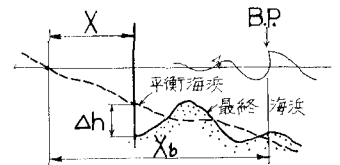


図-2 記号の説明

から正常海浜であり、No. 3 は暴風海浜に対応する。

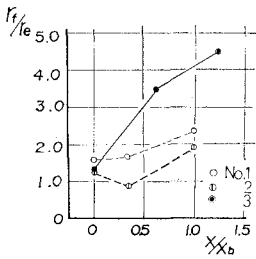
3. 実験結果および考察

(1) 堤防設置に伴う波の特性の変化

鉛直堤を設置すると、その前面における波の特性は無

* 正会員 工博 鳥取大学教授 工学部土木工学科
** 正会員 鳥取大学助手 工学部土木工学科

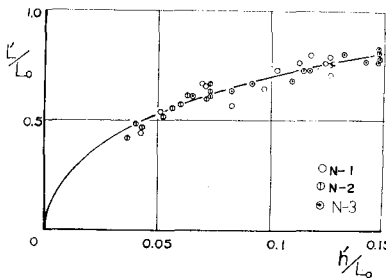
堤の状態とかなり異なる。



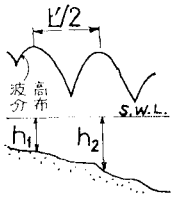
図—3 r_f/r_e の x/x_0 による変化

に対する反射率 r_e と r_f との比, r_f/r_e を示している。この図から, 波形勾配 H_0/L_0 別に, r_f/r_e の x/x_0 による変化をみると, 波形勾配の大きい波では, x/x_0 の値が大きくなるほど, すなわち堤体が沖の方に設置されるほど r_f/r_e の値が急激に大きくなること, 波形勾配の小さい波 (No. 1 と 2) でも, 上と同様の傾向がみられるが, No. 3 の場合ほど顕著でないことおよび $x/x_0=0$ の場合, r_f/r_e の値におよぼす H_0/L_0 の効果は顕著でなく, ほぼ一定の値であることなどがわかる。

図—4 は, 鉛直堤を設置したとき, 海浜部に形成される部分重複波の波長 L' と水深 h' の関係を, 横軸に h'/L_0 , 縦軸に L'/L_0 をとって示したものである。一般に, 水平床における部分重複波の相隣る腹の部分の間の距離はその水深における進行波の波長の $1/2$ である。し



図—4 傾斜部における波長の変化



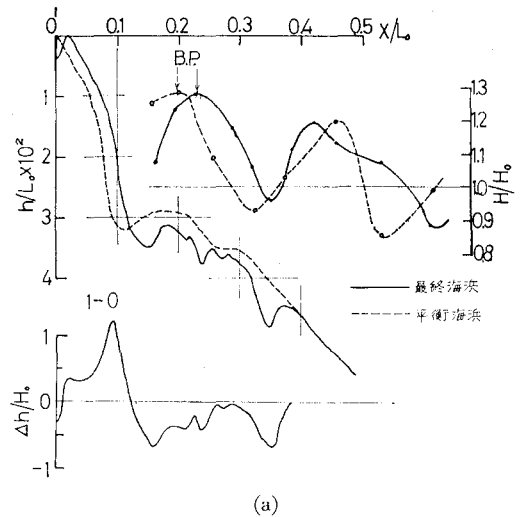
図—5 記号の説明

図中の実線は微小振幅波理論に基づく水深による波長の変化 $L'/L_0 = \tanh(2\pi h'/L')$ を示すものであって, 実験によってえられた結果は理論のそれとよく一致していることがわかる。なお無堤の場合もこれと同じ結果がえら

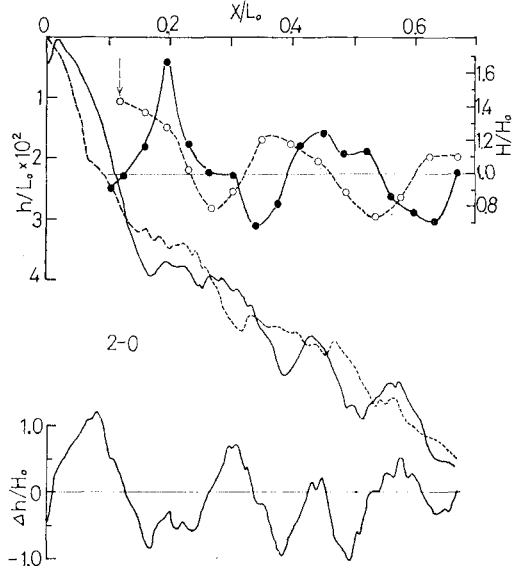
れている。

(2) 海底地形の変化と洗掘機構

図—6 (a), (b) および (c) は, それぞれ $x/x_0=0$ における実験 No. 1, 2 および 3 の平衡海浜形状, 最終海浜形状, それらに対する波高の場所的变化および堤防設置による海底地形の変動量 Δh を無次元形で示したものである。これらの図において, 堤体直前面の局所洗掘形状はいずれの実験結果も類似しているが, 海浜全域の移動状態は波形勾配あるいは波高粒径比によってかなり異なっている。すなわち, $H_0/L_0=0.011$ の場合には, 堤防設置によって前浜に砂が堆積し, 沖浜が浸食されている。ところが $H_0/L_0=0.038$ の場合には逆に, 前浜から外浜が浸食され, 沖浜に砂が堆積している。さらに,



(a)



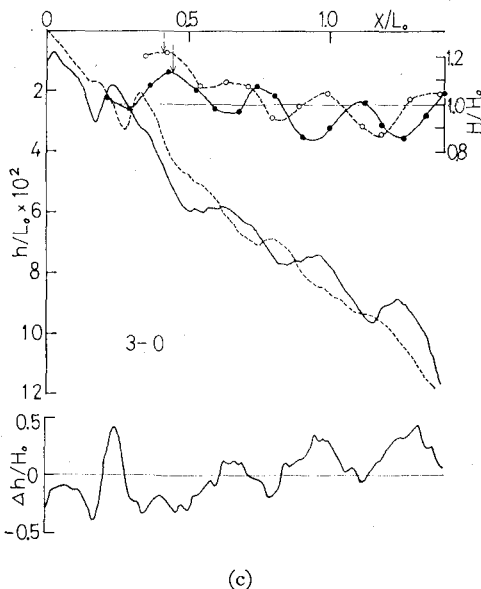
(b)

図—6 $x/x_0=0$

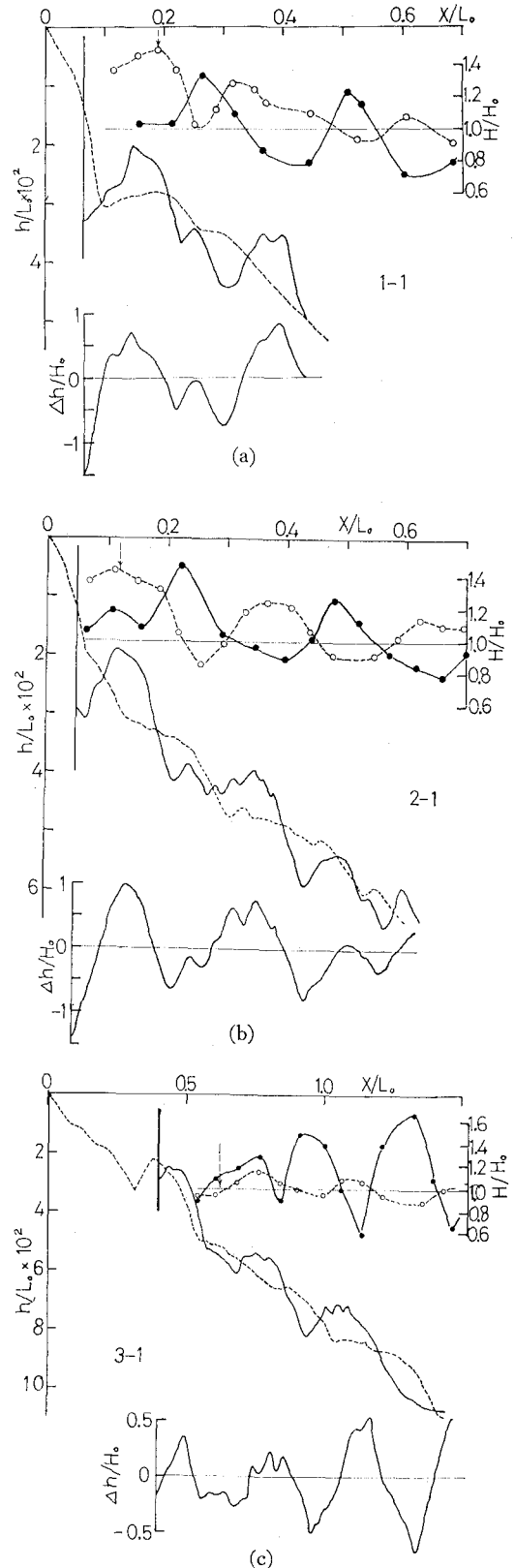
$H_0/L_0=0.011$ の場合、 H_0/d の値が大きくなると沖浜の地形は部分重複波の影響を受けて、節の部分に砂が堆積し、腹の部分は変化が少なく、その中間で大きな浸食が発生していることがわかる。しかし波形勾配、波高粒径比に相違があっても、堤直前の洗掘深さ $\Delta h/H_0$ の値はいずれも大きな相違はみられない。

図—7 (a), (b) および (c) は、 $x/x_b=0.3\sim 0.66$ すなわち汀線と碎波点との中間に堤防を設置した場合であって、それぞれ、No. 1, 2 および 3 に対する図—6 と同様の結果を示したものである。この場合の特徴は、 H_0/L_0 の値が 0.011 と 0.038 で堤直前における局所洗掘の深さが著しく相違することである。すなわち、 $H_0/L_0=0.011$ の場合、堤直前の洗掘深さが著しく大きいが、これは碎波と部分重複波の相乗的效果によると考えられること、すなわち 2~3 個の dune あるいは bar が発達し、bar の谷の部分ちょうど堤直前にきているためと考えられる。一方、 $H_0/L_0=0.038$ の場合、平衡海浜においてみられた小さな dune が、堤防設置によって発達した部分重複波によってやや増幅されている傾向がみられるが、堤直前における洗掘はそれほど大きくないようである。また H_0/L_0 の値が同じ場合、 H_0/d の効果は、この値が大きくなると沖のほうまで砂が移動し、dune を発達させることである。

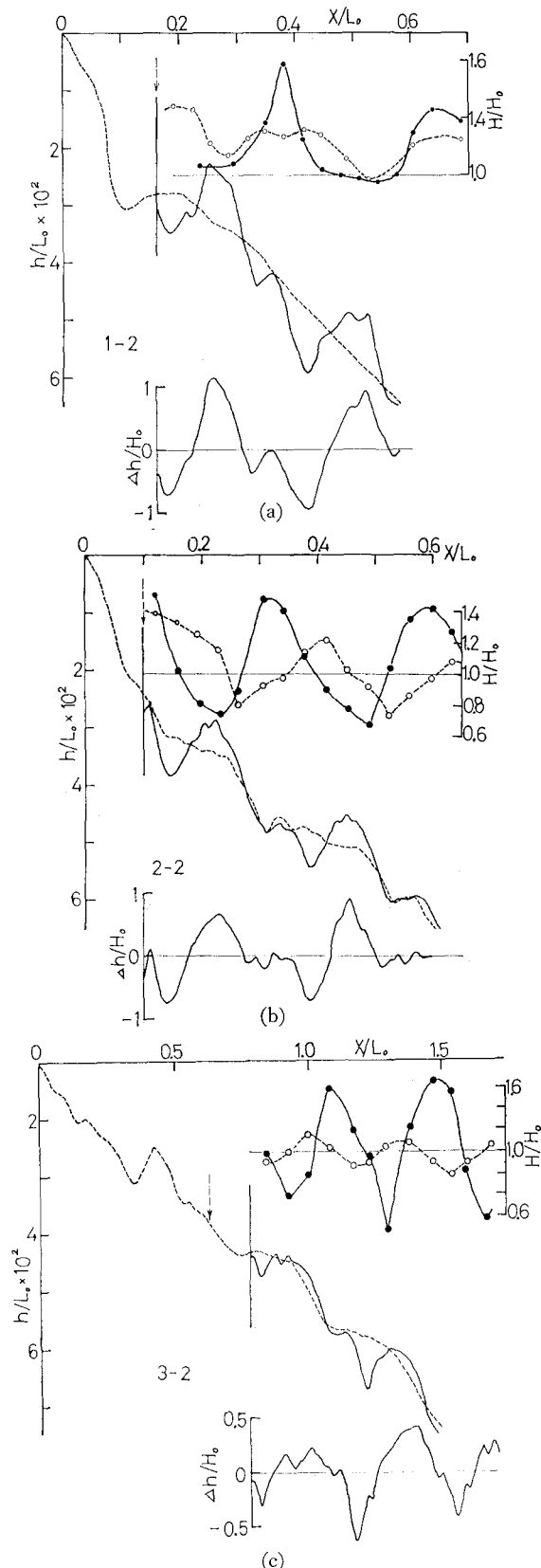
図—8 (a), (b) および (c) は、 $x/x_b=1.0\sim 1.24$ 、すなわち碎波点あるいはそれより若干沖側に堤防を設置した場合の実験結果を示すものであって、この場合には碎波の影響が小さくなり、部分重複波の作用によって洗掘形状および洗掘深さが決定されるようである。ただし、 H_0/d の値が小さいほど堤直前の洗掘深さが大きくなっ



の場合の地形、波高、地形変化



図—7 $x/x_b=0.3\sim 0.7$ の場合の実験結果



図—8 $x/x_b = 1.0 \sim 1.2$ の場合の実験結果

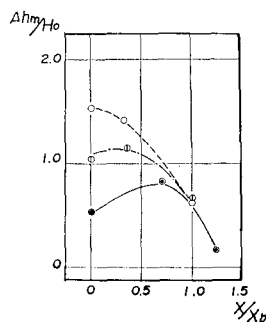
ている。これは、堤体に衝突した水塊の作用と底質粒子の移動のしやすさとが関係すると考えられるが、今後さらに詳しく検討しなければ十分満足すべき結果はえられないであろう。

(3) 堤直前面における洗掘深さについて

平衡海浜から最終海浜にいたる過程で最終海浜における洗掘深さよりさらに深く洗掘される場合のあることは、従来の研究によって最大洗掘深さとして検討されているが、ここでは、最終海浜における堤直前面の洗掘深さとそれに影響を及ぼす要素について検討しよう。

最終海浜における洗掘深さの無次元表示 $\Delta h/H_0$ (ここでは洗掘に対して Δh を正とする) は反射率 r_f の影響を受ける。しかし、図—3 に示したように、反射率は x/x_b と H_0/L_0 の値によって変化するから、 $\Delta h/H_0$ は究極的には $x/x_b, H_0/L_0$ および H_0/d の関数と考えてよいであろう。

図—9 は、縦軸に $\Delta h/H_0$ 、横軸に x/x_b をとり、 H_0/L_0 あるいは H_0/d をパラメータとして、洗掘深さと、これら諸量の関係を実験結果に基づいて示したものである。この図から、 x/x_b の値が 1.0 以上になると、実験の範囲内では、 H_0/d あるいは H_0/L_0 の値に関係なく、 $\Delta h/H_0$ の値はほぼ一定になること、 $H_0/L_0 = 0.038$ 、 $H_0/d = 320$ および $H_0/L_0 = 0.011$ 、 $H_0/d = 180$ の場合には $x/x_b = 0 \sim 1.0$ の間で $\Delta h/H_0$ が最大値をもつこと、 $H_0/L_0 = 0.011$ 、 $H_0/d = 100$ の場合には、 $x/x_b = 0.0 \sim 1.0$ の範囲で、 x/x_b の値が小さいほど $\Delta h/H_0$ の値が大きくなることなどがよくわかる。



図—9 $\Delta h/H_0$ と x/x_b の関係

4. 結 言

以上、堤防堤脚部の洗掘機構について、実験的に研究し、若干の興味ある結果を示すことができたが、実験の範囲が狭く、一般的な結論をうるにはいたらなかった。しかし、海浜全体の変形と局所洗掘が密接な関係をもつ場合のあることについて示したことは、洗掘機構を究明していく一つの問題を提起したことと思う。今後さらに実験を続け、その機構を解明していくつもりである。なお、この研究にあたり、実験および資料整理にご協力いただいた当時学生(現三井建設勤務)の松本憲二君に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 榎木亨・川崎芳一： 海岸堤防堤脚部の洗掘について

- て、京都大学防災研究所年報，第4号，昭36，pp. 198-209.
 - 2) 榎木 亨：海岸堤防基部の洗掘機構に関する研究（そのⅠ），第14回海岸工学講演会講演集，昭42，pp. 329-335.
 - 3) 榎木 亨・高畑市三：海岸堤防堤脚部の局所洗掘機構について（そのⅡ），第18回海岸工学講演会論文集，昭46，pp. 371-375.
 - 4) 佐藤昭二・田中則男・入江 功：直立壁堤脚部の波による二次元洗掘実験，第13回海岸工学講演会講演集，昭41，pp. 156-161.
 - 5) 細井正延・荒川忠昭：堤防前面の海浜変形に関する一考察，第15回海岸工学講演会講演集，昭43，pp. 136-140.
-