



## 離岸堤の先端部周辺における局所洗掘に関する実験的研究 (1)

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2013-11-11 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 平山, 秀夫 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.24729/00008026">https://doi.org/10.24729/00008026</a>

# 離岸堤の先端部周辺における局所洗掘に関する実験的研究(I)\*

## Experimental Study on Scouring of Sand Bed around the Tip of an Offshore Dike(I)

平山秀夫\*\*  
Hideo HIRAYAMA\*\*

(昭和57年4月15日受理)

### ABSTRACT

This paper deals with the characteristics of scouring of sand bed around the tip of an offshore dike and especially elucidates the effects of the shape of the tip of an offshore dike on scouring.

As a result, it is found that the scouring is mainly induced by the secondary flow such as Kármán vortices appearing around the tip of a dike, and is also shown that the average scouring velocity is the largest in the case of a triangular shape of the tip of a dike under shown experimental conditions.

### 1. 緒論

近年、ユートピアや関西新空港の計画などに見られるように、海岸・海洋の利用と開発は目を見張るものがあるが、一方では、河川の改修工事などによって河道の修築が行なわれた結果、海岸への土砂流出が減少し、そのため海岸侵食が激化の傾向にあるなど、その防止対策に苦慮していることは周知のとおりである。その防止対策工法の1つに離岸堤工法があるが、この工法はあくまで経験的工法であって、従来試行錯誤的に実施されているにすぎなかったが、侵食の防止軽減上非常に有効な場合が多いということが認識されはじめ、昭和45年以後、離岸堤の設置が各地で急増の一途を辿ってきている。しかし、最近、この離岸堤底脚部周辺の洗掘が堤の維持と機能向上の観点から非常に問題になってきており、その機能を究明し、ひいてはその洗掘を防止軽減することが海岸防災工学上非常に重要な課題の1つになっている。

従来、離岸堤に関する研究としては、主として機能向上の観点から追究され、例えば古くは、堤の長さトンボロの発生限界との関係を実験的に調べた Sauvage & Vincent<sup>1)</sup>の研究をはじめ、離岸堤の効果的な配置について種々の検討を加えた川口・杉江<sup>2)</sup>の実験的研究、あるいは現地調査に基づいて離岸堤の有効高さについて統計的に調べた豊島<sup>3)</sup>の研究、また離岸堤の機能や配置について水理模型実験に基づいて検討した永井・久保<sup>4)</sup>あるいは中村ら<sup>5)</sup>の研究など数多く見られる。一方、波動場での離岸堤底脚部周辺の洗掘と沈下の問題を定量的に取扱った研究は少く、ただ透過式離岸堤による洗掘と堤の沈下を二次元実験で調べた管原ら<sup>6)</sup>の研究、洗掘の要因について不透過堤の場合について実験的に調べた平山<sup>7)</sup>の研究、あるいは現地での堤の沈下の実態を調べた豊島<sup>8)</sup>の研究、などが見られる程度で、この方面の研究は、まだ検討すべ

\* 本論文の1部は、土木学会第36回年次学術講演会(昭和56年度)で講演したものである。

\*\*土木工学科(Department of Civil Engineering)

き余地が多いように思われる。

本研究は、このような観点から、前報<sup>7)</sup>に引き続いて、堤設置に伴う海浜変形の実態を実験的に調べ、堤の維持（沈下防止）と堆砂の促進を最も有効にする堤の諸元や、堤先端部形状などの最適条件を系統的に明らかにするとともに、堤先端部周辺の洗掘機構を究明することによってその防止対策を講ずることを目的とするものである。特にここでは、堤先端部の形状の相違によって、その周辺の洗掘過程、洗掘形状と規模、さらには堤周辺の水理特性などがどのように異なるかを実験的に調べ、洗掘に及ぼす堤先端部の形状効果を明確にしようとするものである。

## 2. 実験装置および実験方法

### (1) 実験装置

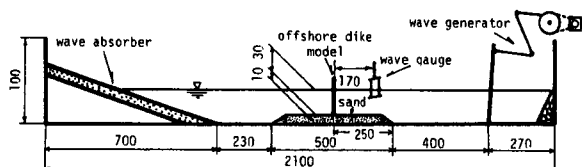


図-1 実験装置（単位：cm）

形状	く形(小)	円形	谷形	山形	く形(大)
寸法 (cm)	3.2	3.2	3.2	3.2	10.2
記号	□	○	▽	△	◇

図-2 堤先端部形状の種類

実験装置は、図-1に示すように、水槽端に消波工を設置した長さ21m、幅70cm、高さ1mの片面ガラス張り水槽を用い、その中央部に可動床として標準砂（中央粒径 $d_{50}=0.204\text{mm}$ 、ふるい分係数 $S_0=1.13$ ）を約5mにわたって厚さ10cmに敷きつめ、そのほぼ中央部にモデル堤を設置した。

### (2) 実験方法

実験の方法は、可動床の中央に、図-2に示すような5種類の堤先端形状のモデル堤を設置し、種々の波浪条件における堤先端部周辺の洗掘特性や水理特性を、経過時間 $t=2, 10, 30$ および60分ごとに調べた。各時刻における洗掘深は、洗掘深が等高線法で表示されるように、堤先端を原点として、波の進行方向にx軸、それに直角方向にy軸をとり（図-3参照）、この両軸方向を約2.5~5.0cm間隔で砂面測定装置を用いて測定し、同時に抵抗線式波高計で波高分布を調べた。また、洗掘過程の可視化には、モータードライブ付35mmカメラを用い、堤の岸・沖側の水位差の測定には、8mm撮影機を使用した。実験条件は、表-1に示すように、砂面上水深を常に一定の30cmとし、波浪条件は、入射波による底質の移動限界水深に深くなるように、周期 $T=1.3, 1.5, 1.7\text{ sec}$ の各場合について、沖波波高 $H_0=3.8\sim 6.6\text{cm}$ の範囲で適宜に変化させた。なお、以下の図中の、□、○、▽、△、◇印の記号は、表-1に示すように、堤先端部形状がそれぞれ矩形(小)、円形、谷形、山形、矩形(大)の場合の実験結果を示す。

## 3. 解析方法

解析は、前報<sup>7)</sup>と同様に次元解析を行うとともに、すでに作成された洗掘状況を示した等高

表-1 実験条件

先端形状	水深 h (cm)	堤長 D (cm)	堤幅 B (cm)	周期 T (sec)	入射波高 H <sub>i</sub> (cm)	沖波波高 H <sub>o</sub> (cm)	沖波波形勾配 H <sub>o</sub> /L <sub>o</sub>
矩形(小)	30	35	3.2	1.3	3.8	4.1	0.016
				〃	5.0	5.4	0.021
				1.5	4.9	5.2	0.015
				1.7	6.1	6.2	0.014
1.3				4.1	4.4	0.017	
〃				5.5	6.0	0.023	
1.5				5.3	5.6	0.016	
1.7				6.2	6.3	0.014	
谷形			1.3	4.1	4.4	0.017	
				〃	5.0	5.4	0.021
				1.5	5.2	5.5	0.016
				1.7	6.6	6.7	0.015
山形	1.3	4.3	4.7	0.018			
		〃	5.1	5.5	0.021		
		1.5	5.2	5.5	0.016		
		1.7	6.5	6.6	0.015		
矩形(大)	10.2	1.3	4.7	5.1	0.019		
		1.5	4.9	5.2	0.015		

線図から洗掘孔の諸元や洗掘量を求めた。すなわち、高さ0の等高線の形状のxおよびy軸方向の最大径をそれぞれ洗掘孔形lx, lyとし、さらに洗掘孔の最大深さを最大洗掘深Zmaxとした。また、洗掘孔の傾斜面の傾斜面の平均勾配 ( $\Delta z/\Delta x$ , +x軸上の勾配,  $\Delta z/\Delta(-y)$  : -y軸上の勾配)は、等高線間隔がほぼ等しく一定の傾斜面を成していると思われる地点で求めた。一方、平均洗掘速度は、 $\Delta z/\Delta t$  ( $\Delta t$ : 洗掘深の測定時間間隔,  $\Delta Z$ :  $\Delta t$ 時間における最大洗掘深の変化量)で表わした。なお、洗掘量は、等高線図から土量計算を行って求めた。

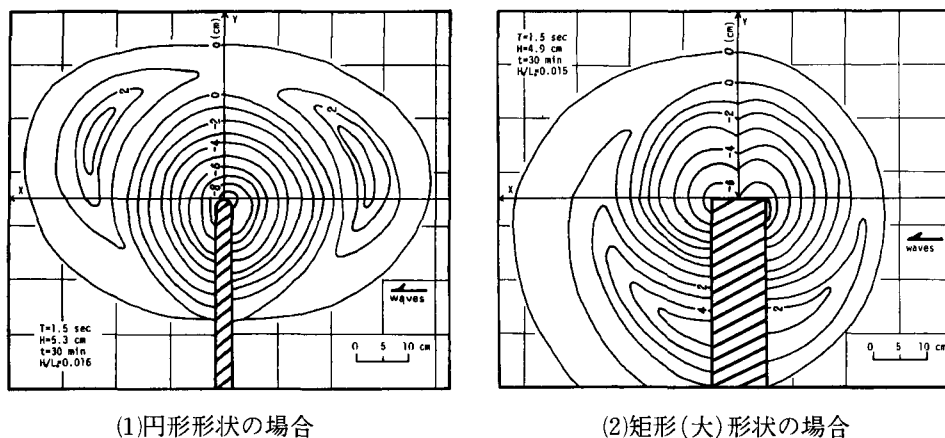
#### 4. 実験結果および考察

##### (1) 洗掘・堆積過程

堤先端部周辺の洗掘過程は、先端形状の相違による著しい差異はなく、波の来襲に伴って、徐々に堤先端を中心にほぼ円形状に洗掘される。しかし、堆積過程は、その洗掘された砂が、洗掘孔の外側のx軸上に、y軸にほぼ対称に堤の岸・沖側に堆積する場合(円形、谷形、矩形(小))と堤の岸・沖側両面から舌状に堆積する場合(山形、矩形(大))の2種類に分類できるようなのである。前者および後者の場合の例をそれぞれ図-3(1), (2)に示すが、このように、堤の先端部形状や堤幅の相違によって、その堆積過程が異なるということは、堤の安定維持や機能向上の観点から非常に興味深いことである。

##### (2) 洗掘特性

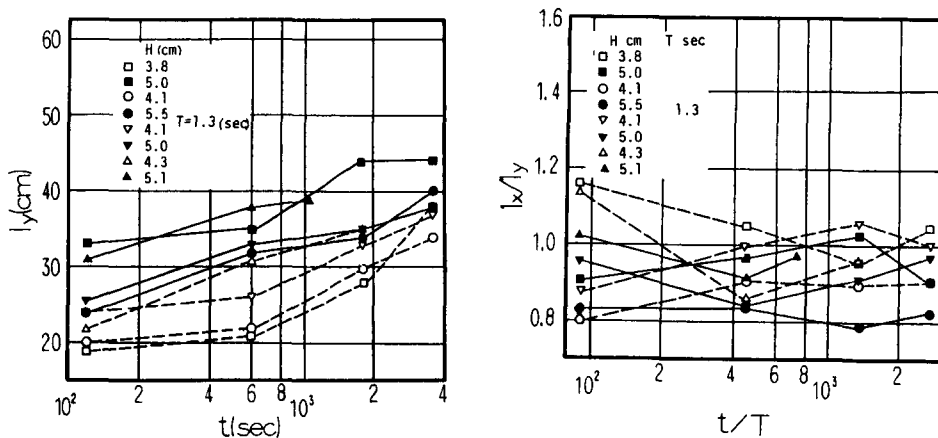
(a) 洗掘形状 : 洗掘孔径lyの大きさの変化は堤の底脚部の洗掘の程度を表わす1つの指標



(1)円形状の場合 (2)矩形(大)形状の場合

図-3 堤先端部周辺の洗掘・堆積状況

と考えることができる。図-4 (1), (2)は $l_y$ および $l_x/l_y$ の経時変化を堤先端形状別に比較したものである。これらの図から明らかなように、 $l_y$ は先端形状のいかんにかかわらず、波高の増大とともに増加するが、一方、 $l_x/l_y$ は全般的に波高の増大につれて若干小さくなる傾向にあるようである。なお、ここでは示していないが、 $l_y$ は堤間隔<sup>7)</sup>や堤幅が小さいほど増大の傾向にあるようなので、堤の諸元の決定は、堤先端の沈下対策を考える場合の重要な要素の1つになるものと思われる。一方、図-5(1), (2)は洗掘孔断面の平均斜面勾配の経時変化を形状別に比較した例を示したもので、それぞれ(1)はx軸上の負側、(2)はy軸上の堤の岸側断面の結果である。これらの図から明らかなように、斜面勾配は、時間経過や形状別の違いによって若干の差異が見られるが、全般的には、前報<sup>7)</sup>の場合と同様、堤で遮へいされていない領域(図の(1)の場合)では、斜面勾配は時間経過とともに徐々に減少して、約30分後には砂の水中安息角の $27^\circ$  ( $\Delta^2/\Delta x \approx 0.51$ ) に近づく傾向にあるが、一方、堤の遮へい領域(図の(2)の場合)では、時間経過による差異はほとんどなく、斜面勾配は $30^\circ$  ( $\Delta^2/\Delta y \approx 0.58$ )前後にかなり広く分布しているようである。



(1) $l_y$ の波高による変化

(2) $l_x/l_y$ の経時変化

図-4 洗掘孔径の変化特性

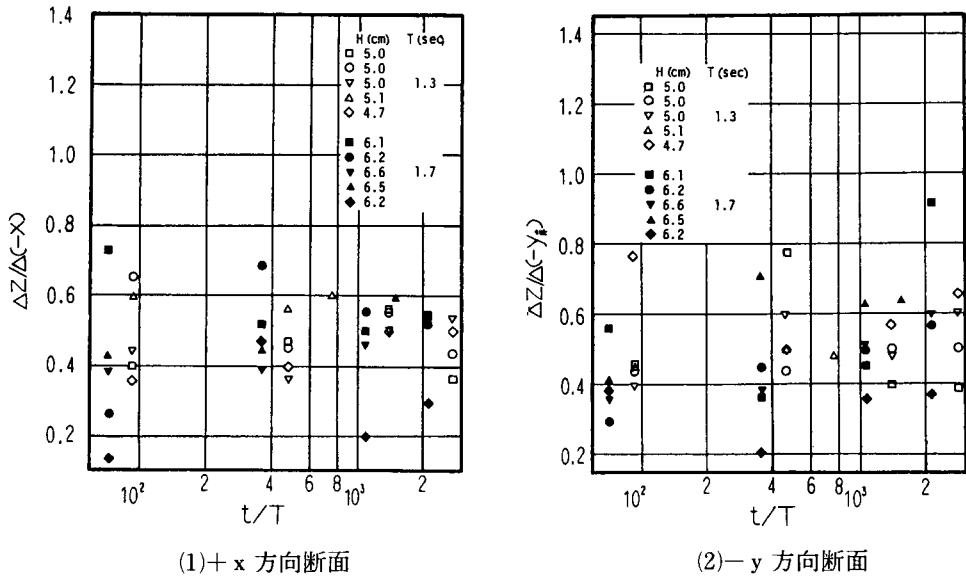


図-5 洗掘孔の平均斜面勾配の経時変化

(b) **最大洗掘深** : 図-6(1), (2)は最大洗掘深の経時変化を堤先端形状別に比較したもので、それぞれ(1)は波高による変化、(2)は周期による変化を示す。これらの図から明らかのように、一般的に最大洗掘深は、先端形状のいかんにかかわらず、波高および周期の増大とともに増加するが、ここには示していないが、堤幅は大きいほど逆に減少する傾向にある。

一方、図-7は最大洗掘深とK.C.数 ( $U_m T/D$  : ここで  $U_m$  : 水面最大水粒子速度,  $D$  : 堤長,  $T$  : 周期) との関係を示したもので、図-8は最大洗掘深と  $R_e$  数との関係を示したもので、これらの図から、最大洗掘深は形状のいかんにかかわらず、K.C. 数および  $R_e$  数の増大とともに増大することが明らかであろう。このことは、洗掘を支配する要因が渦の発生とその強さに大いに関わり合い

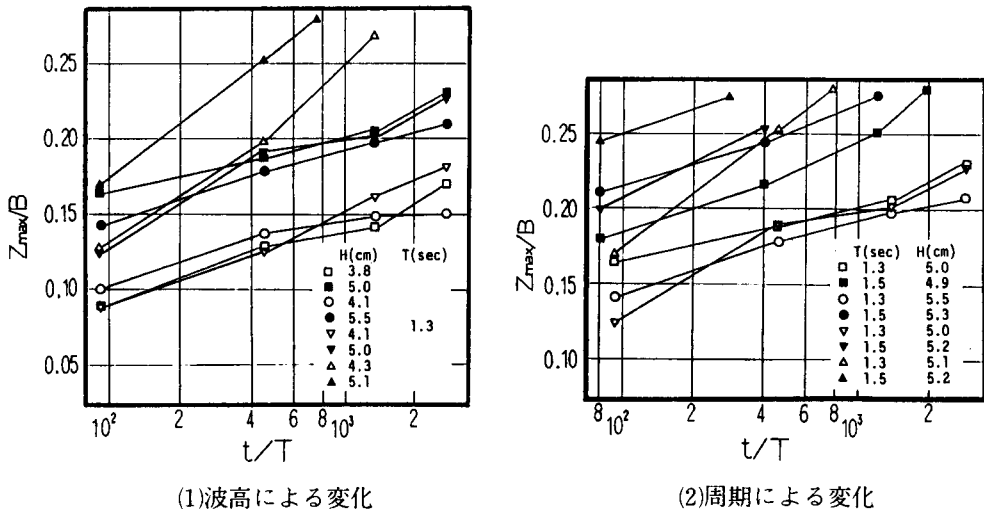


図-6 最大洗掘深の変化特性

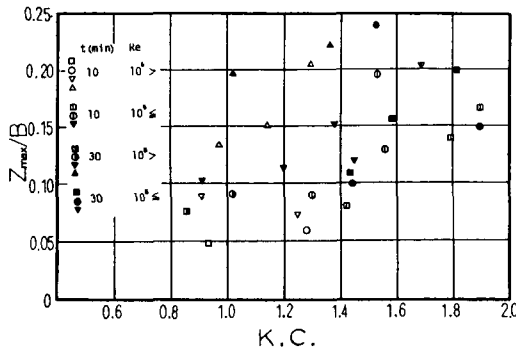


図-7 最大洗掘深とK.C.数との関係

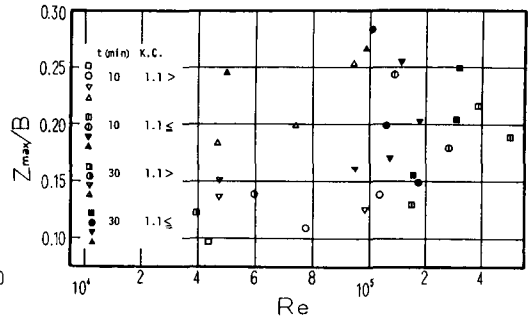
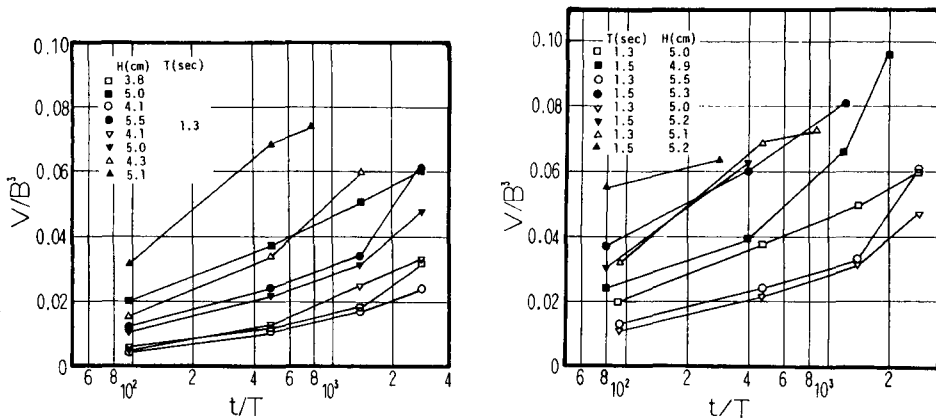


図-8 最大洗掘深とRe数との関係

があることを意味するものと思われる。

(c) 洗掘量：図-9(1), (2)は、それぞれ総洗掘量(V)の波高および周期による経時変化特性を、各先端形状別に比較したものである。これらの図から明らかなように、一般的に、洗掘量は最大洗掘深の変化と同様に、波高および周期の増大とともに増加し、特に形状別では山形の場合が他に比して著しく大きいようであるが、ここでは示していないが、堤幅の変化による洗掘量の変化は、最大洗掘深の場合とは逆に、堤幅が広いほど総洗掘量は多くなるようである。このことは、堤幅が広いと浅く広く洗掘されるが、堤幅が小さいと集中的に洗掘されて洗掘深はかなり大きい、総洗掘量は前者の場合が多いということの意味し、前述のように、堤幅の決定は、堤の維持と機能向上の観点からかなり重要な要素の一つであるように思われる。

一方、図-10は堤の沖・岸側洗掘量の比 $V_o/V_i$ の経時変化の1例を、先端形状別に比較して示したもので、この図から、周期 $T=1.7\text{sec}$ の長周期波の場合には、矩形(大)の場合を除けば、一般的にほぼ $V_o/V_i < 1$ であるようである。しかし、ここでは示していないが、短周期( $T=1.3\text{sec}$ )の場合には、山形の場合を除けば、逆にほぼ $V_o/V_i > 1$ になる場合が多いようである。このように周期によって、堤の沖・岸側の洗掘量の比が異なるということは、現地をよく見られるよ



(1)波高による変化

(2)周期による変化

図-9 総洗掘量の変化特性

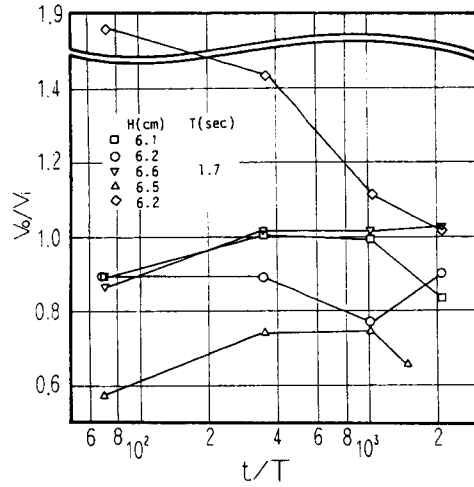


図-10 堤の沖・岸側洗掘量の比の値の経時変化

うに、来襲波の特性の相違によって夏期と冬期でトンボロの発生・発達が異なることと大いに関係があるように思われ、非常に興味のあることである。

(d) 平均洗掘速度：図-11(1), (2)は、それぞれ平均洗掘速度の波高および周期による経時変化を示したもので、これらの図から、洗掘速度は波高および周期が大きいほど大きく、特に形状別では、山形の場合が最も大きいことが明らかである。また、洗掘速度は、洗掘の初期が最も大きく、時間経過とともに徐々に減少して $t/T \approx 1000$ 付近ではほぼ0になる傾向にある。このこ

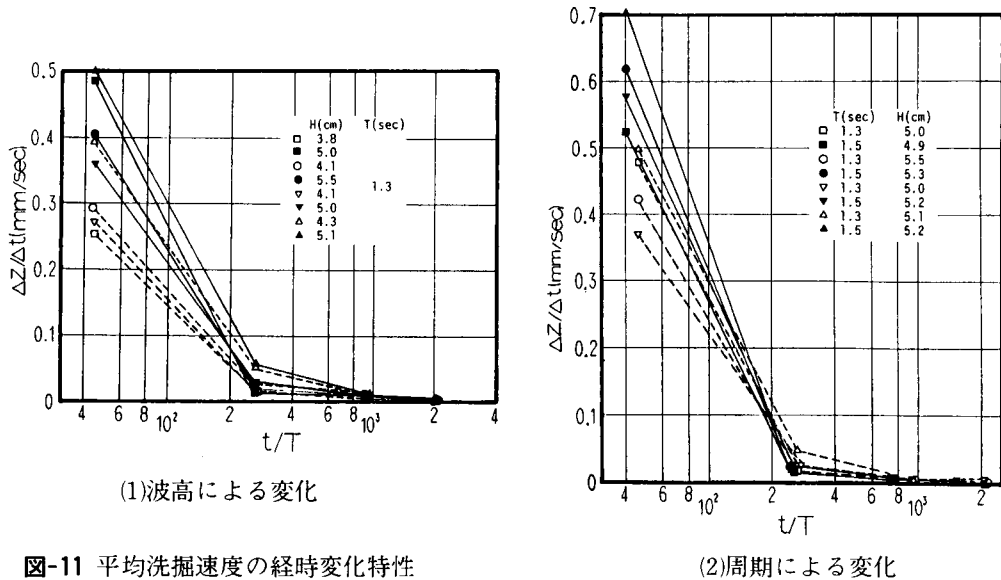


図-11 平均洗掘速度の経時変化特性



とは、本実験条件の範囲内では、 $t/T \approx 1000$ 付近でほぼ定常状態に達するものと考えられる。

(3) 堤先端部周辺の水理特性  
(a) 波高分布

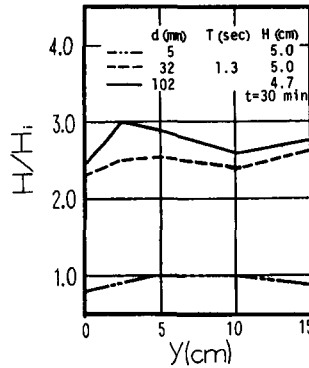


図-12 堤周辺の波高分布の一例  
(矩形状でy方向断面の場合)

図-3に示したように、洗掘形状の時間変化を調べると同時に波高分布 ( $H/H_i$ ,  $H$ :測定点での波高,  $H_i$ :入射波高)をも、xおよびy軸方向別に調べた。ここには示していないが、一般的に、x軸方向の最大波高は堤先端形状のいかんにかかわらず、堤の5 cm沖側で、一方、最低波高は5 cm岸側で認められた。また、y軸方向では、堤先端から約2.5 cmの地点で最大波高が発生するが、全般的に、x軸方向に比較して $H/H_i$ の変化の割合があまり顕著ではないようである。なお、図-12は離岸堤幅の相違によるy軸方向の正側の波高分布を示したもので、この図から、堤幅が5 mmの場合の波高が他の場合に比して著しく小さいことを除けば、y軸方向の波高分布特性の差異はあまりないことが明らかであろう。

以上のように、前報<sup>7)</sup>の場合と同様に、最大洗掘深の発生位置の相違による波高分布特性の明確な差異は見い出せなかったことから、洗掘量は波高の変化による影響よりもむしろ堤幅や周期の変化などの影響が大きいことが推察されよう。

(b) 水位差：前報<sup>7)</sup>の場合と同様に、堤で波浪の1部が遮断される結果、堤の岸・沖側に水位差が発生する。この水位差が、堤先端部周辺にカルマン渦を発生させ、底面の砂床を洗掘することが可視化実験によって確かめられた。

5. 結論

以上、前年度の研究に引き続いて、離岸堤先端部周辺の局所洗掘の実態を、特に今年度は堤先端部形状の相違が洗掘に及ぼす効果を主として実験的に詳細に調べてきた。これまでに得られた結果を要約すれば、次のとおりである。

1) 堤先端部の形状のいかんにかかわらず、波の来襲に伴って堤の岸・沖側に水位差が生じ、これによって堤の両側にカルマン渦が交互に発生する。これが堤周辺の局所洗掘の主因を成していることが洗掘状況の可視化によって明らかになった。このことは、最大洗掘深が水表面の

K.C. 数の増加に伴って増大するという結果からも裏付けされる。

2) 堤先端部の洗掘過程は堤先端部の形状によってほぼ2種類に分類できるようである。すなわち、その1つは、堤先端部を中心にしてほぼ円形状に洗掘された砂が、洗掘孔の外側のx軸上にy軸にほぼ対称の位置(堤の岸・沖側)に堆積する場合と、他の1つは、堤の岸・沖側から舌状に堆積していく場合である。前者には、円形、谷形および矩形(小)が属し、後者には山形および矩形(大)が属するようである。

3) 本実験のように、初期洗掘の範囲内では、堤先端の形状のいかんにかかわらず、波の継続時間の増大とともに最大洗掘深、洗掘量および洗掘孔直径は増大するが、一方、平均洗掘速度は初期で最も大きく、時間経過とともに徐々に減少して  $t/T \approx 1000$  付近でほぼ0になるようである。また、洗掘速度を形状別にみると、山形の場合が最も大きく、その他の形状の場合には洗掘速度の差異はあまり明確ではないようである。

4) 最大洗掘深および総洗掘量は、先端形状のいかんにかかわらず、波の周期および波高の増大とともに増加する。一方、堤幅が小さい場合ほど最大洗掘深は増大するが、総洗掘量は逆に減少する傾向にあるようである。

5) 堤の沖・岸側の総洗掘量の比 ( $V_o/V_i$ ) は波の周期によって異なり、一般に、長周期の場合には  $V_o/V_i < 1$  に、一方、短周期波の場合には  $V_o/V_i > 1$  になる場合が多いようである。このことは、来襲波の周期特性の相違によってトンボロの発生・発達に差異が生じることを示唆しているように思われる。

以上、不透過性モデル堤を用いた実験結果のみについて検討してきたが、透過性モデル堤を用いた場合についても若干の知見を得ている。その結果についてはまた新たに別の機会に発表する予定である。

最後に、本研究を実施するにあたり、終始、暖かい御指導を賜った京都大学工学部岩垣雄一教授および実験や解析に多大な助力をいただいた志鹿浩幸・中村誠一の両君(当時本校学生)に心から感謝の意を表わすとともに、本研究は昭和55年度文部省科学研究費自然災害特別研究(I)(研究代表者:京都大学工学部教授 岩垣雄一)による研究の1部であることを付記し、謝意を表す。

## 参 考 文 献

- 1) Sauvage, S.M. and M.G. Vincent: Transport littoral formation de fleches et de tombolos, Proc. 5th Conf. Coastal Eng., 1954.
- 2) 川口毅・杉江正文: 離岸堤の配置に関する研究, 第19回海岸工学講演会論文集, pp.77~81, 1972.
- 3) 豊島修: 離岸堤の高さについて, 第16回海岸工学講演会論文集, pp.247~252, 1969.
- 4) 永井荘七郎・久保直: 離岸堤に関する研究(第1報), 第17回海岸工学講演会論文集, pp. 317~322, 1970.
- 5) 中村充・大西亮一・宮村長生: 離岸堤による海岸変形について——2次元の場合, 第19回海岸工学講演会論文集, pp. 65~70, 1972.
- 6) 菅原輝男・長野章・樋口統三: 透過式離岸堤の沈下と海浜変形, 第23回海岸工学講演会論文集, pp. 229~233, 1976.

- 7) 平山秀夫：離岸堤の先端部周辺における局所洗掘の特性について，第27回海岸工学講演会論文集，pp. 260～264，1980.
- 8) 豊島豊・坂本忠彦：離岸堤の沈下について，第19回海岸工学講演会論文集，pp.71～75，1972.