

潜堤に関する研究

東京大学教授 工学博士 本 間 仁
同 大学院 酒 匂 敏 次

1. は し が き

1.1 潜 堤

潜堤は天端が静水面またはそれ以下の離岸堤であつて完全な遮蔽を必要としない水域の保護、海岸構造物、施設の保護、海岸の侵食欠損の防止のために設けられる構造物である。

1.2 潜堤の機能

(1) 波を砕波させ、あるいは一部を反射させることにより堤内水域に伝播する波を減衰させ、これによつて海岸にあたる波力を減少させる。

(2) 海浜土砂を移動させる能力をうばい、沖方へ土砂が流失することを防止する。

この2つが主として考えられる。潜堤の機能に関しては現在までに数多くの研究が行なわれており、潜堤を越えて伝播する波の減衰については、Ursell, Dean, Jeffreys 氏等の理論解を求める研究、J.W. Johnson, Morrison 氏らの潜堤要素の影響に関する実験的研究¹⁾、徳島大学における天端幅や形状に関する実験的研究、打ち上げ高さに関連した京都大学の研究²⁾、一様勾配部に設置した場合の水埋現象に関する東京大学の実験的研究³⁾、などがあり、波減衰に関する効果についてはかなりの多くの知識が現在のところ、すでに得られている。

1.3 本研究の目標

もう一方の主要な機能である土砂移動の阻止については、京都大学の漂砂におよぼす影響についての研究⁴⁾、Coastal Engineering Vth Conference における Delage の報告⁵⁾、新潟海岸の実測報告⁶⁾ 等があるが、まだ十分な知識をうるまでに至っていない。この研究では、潜堤のような構造物を海岸に設けた場合、海浜の2次元的な変形にどのような影響を与えるか、またこのような構造物を計画あるいは維持する上に必要な洗掘の問題に関してどんな現象がみられるかという問題の一環として、基礎的実験を行なうことを目標とした。

構造物を設けない実験海浜に波を送つた場合については、京都大学をはじめ、米国兵侵食局や九州大学において研究が行なわれており、また実際の海浜状態に近づけるため、週期を変動させて波を送つた場合の海浜変形についても実験結果⁷⁾が報告されている。防波堤を設けた際の前面底部に発生する流れの速度については大阪大学で測定が行なわれているが、本実験では移動床を用いて、海浜変形を記録することを主とし、堤周囲に発生する流れの速度についても、測定を行なう予定である。

2. 実験施設と方法

2.1 水 路

実験に用いられた造波水路は延長 17 m、幅 0.7 m で水深 35 cm とし、一方の端に 1/15 勾配の海浜を用意した。

2.2 底 質

海浜に使用した砂は千葉海岸の砂で、そのふるい分け結果は図-1 のごとくである。なるべく粒径の範囲がせまく、かつ実際の海岸土砂に近いものを撰ぶという意図によつたものである。

2.3 潜堤模型

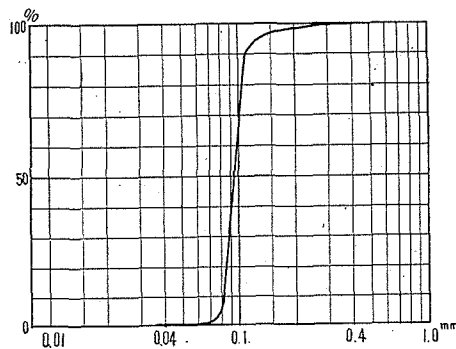
鉄板とコンクリートブロックの基礎の上に、幅 5 cm の木ブロックを重ねて潜堤とした。したがつて、堤の沖側と岸側は完全に遮断され砂中が水が移動しないわけである。

潜堤の幅 W の影響については、いままでの研究でもいろいろ調べられているが、ここではその影響を無視できるものと考えた。

2.4 波

使用した波の特性を記すと表-1 のようになる。

図-1 使用砂のふるい分け曲線



表—1

No.	T	$H_{3/5}$	L_0	H_0	H_0/L_0	d_b	x_b
I	18.0	10.1	506	10.4	0.0205	13.0	195
II	14.0	11.8	300	12.8	0.0427	14.7	220
III	11.5	9.2	206	10.1	0.0490	11.3	170

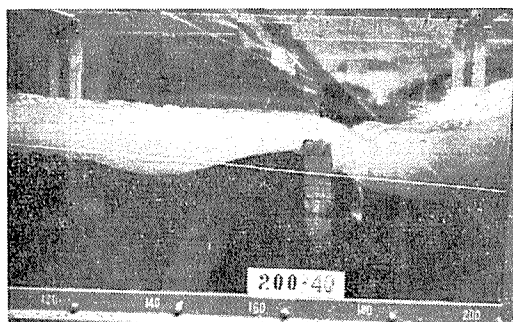
2.5 方 法

おのおのの波について潜堤を砕波点、砕波点と汀線の距離の砕波点より $1/4$ 岸寄り、砕波点より半砕波波長沖の3地点に設置して、潜堤の高さと設置位置水深との比 h/d を 0.50, 0.75, 1.00 の三とおり

の場合について実験を行なった。現在までに潜堤の機能に関して行なわれた実験はほとんどが一樣水深の水路、または砕波点より沖の部分に設置した場合に関連したものであったが、実際に新潟海岸の例では、いそ波帯に建設されていること、砕波点の沖と岸とでは砂の移動形式に、差があることが予想される、ことなどの理由から上記のような場合について実験を行なうことにした。各場合について、波を 100 分間連続して送り、その間に 15 分目、30 分目、60 分目、100 分目の海浜形状を記録した。堤の周辺の洗掘堆積については、さらに細かく時間を区切つて記録をとつた。米国浜侵食局の平衡海浜に関する研究などでは 40 時間一定の波を送つて実験を行なっているが、時間的な制約もあり、また次の節以下に示すとおりこの程度の時間でも潜堤による海浜変形に関しては十分な知識が得られると考えられたので、上記の計画に従つて実験を実施した。

3. 実験結果と考察

1/15 勾配の海浜に波が送られると海浜は、波の種類、潜堤の設置位置、潜堤の高さに応じて、それぞれ変形を開始する。変形はまず潜堤の周辺で最初におこり、次第に海岸および沖方向へ進んでゆく。潜堤が砕波点より沖側にある場合には、沖海浜に重複波の腹と節に応じて波状の変形がみられる。砂漣は、潜堤のごく付近と前浜部分をのぞいては、全海浜に発生するが、その大きさ、発生域は実験の種類、波の送られる期間によつて異なつて

写真—1 波Ⅲ，砕波点設置， $h/d=0.50$ 

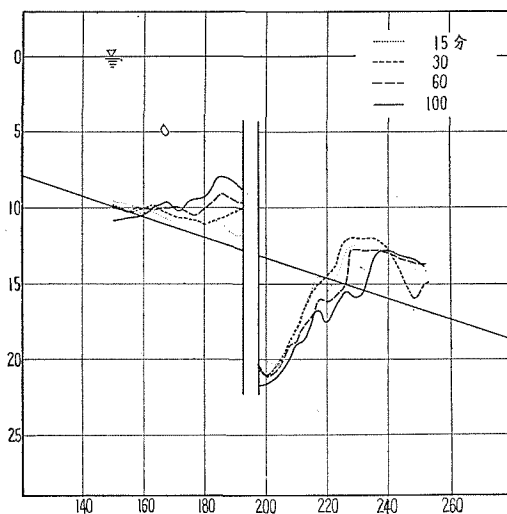
いる(写真—1)。

h/d の値が小さいときには、潜堤の岸側に trough にあたる深い掘れた部分が存在する。この場合には、潜堤は bar の役割を演ずるわけで、潜堤の2つの機能を果たことになるが、この trough は実験においては、堤を設けない場合に比して一般に小さく、維持の上からは大きな問題とはならないように思われる。 h/d が大きいと堤の岸側には、全くかく乱を受けない地域が生じ、海浜はほとんど変形せず、砂漣もみられない。岸に近づいて砂漣のみられる付近になると変形が開始される。

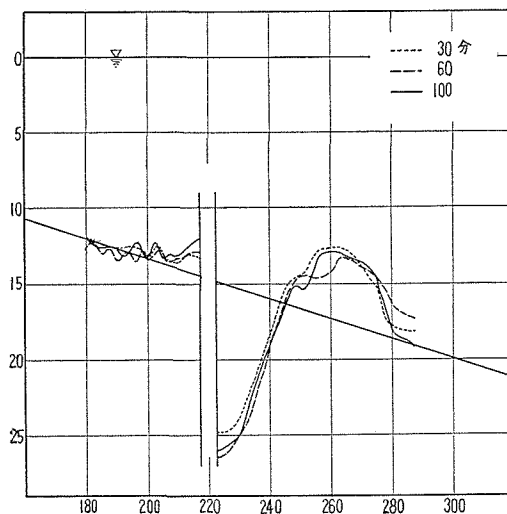
3.1 時間的变化

図—2, 3 は、それぞれ波Ⅰ，波Ⅱの場合について砕波点に設置した潜堤の周囲の変形が時間的にどう進んでい

図—2 海浜変形の時間的推移
波Ⅰ，砕波点 $h/d=1.00$



図—3 海浜変形の時間的推移
波Ⅱ，砕波点 $h/d=1.00$



くかを示したものである。堤の沖面の洗掘は、比較的短時間で終るが、その変形が次第に沖側へと移動していくことがわかる。波Ⅱについて、全部の実験についてさらに短い時間間隔で計った沖側最大洗掘深さをプロットしたものが図-3である。これによると、おのおの設置位置によつて、洗掘深さと時間との関係には3つのタイプがあることがみられる。いずれの場合にも、洗掘は、実験の範囲内では比較的短時間に一定の深さに達することがわかる。

3.2 洗掘

図-5より図-11には、各設置位置における100分後の変形海浜の状況が示してある。図-5についてみると $h/d=0.5, 0.75$ では沖面洗掘はほとんどないが、 $h/d=1.00$ では設置位置水深の70%におよぶ沖面洗掘が行なわれる。潜堤より0.4m沖では h/d の増加につれて大きな bar が形成され、 $h/d=1.00$ については、図-2からもわかるように、この bar は時間の経過とともに沖方向へ移動している。

図-4 沖側最大洗掘深さと時間

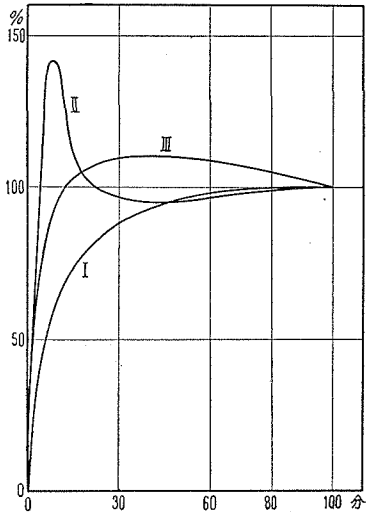


図-5 海浜変形(1) 波Ⅰ, 砕波点設置

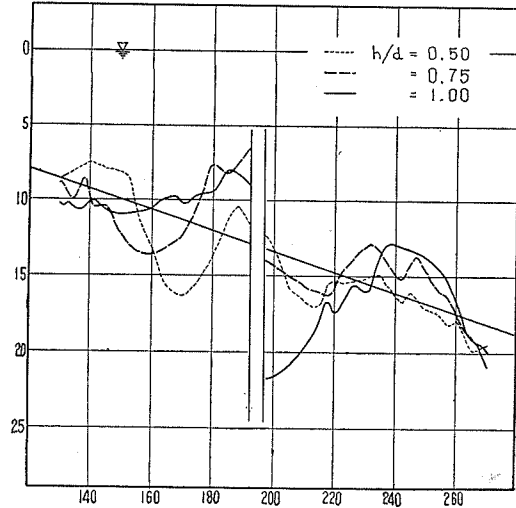


図-6についてみると、これは、いそ波帯に設置した場合で、無堤の場合を示す図-11の海浜形の trough の岸側に設置した場合に相当するが、潜堤の設置によりその周辺の海浜変形はいちじるしく少なくなっていることがわかる。沖面洗掘は、やはり $h/d=1.00$ でいちじるしく大きくなっているが、 $h/d=0.50$ の場合とは洗掘されてできる海浜形状に差異があることがわかる。これは波Ⅲの場合にとつた写真-2, 3にもよく出ている。傾斜海浜に潜堤をおいた場合には、もどり流れが阻止される結果、堤より岸側水域の水位が上昇する³⁾。これが堤頂より越流して、沖側海浜の洗掘に大きな役割を演ずるのであるが、その際にできる渦が図-12に説明のため示してあるように、 h/d の値によつて、異なつた形式をとることが観察される。この渦の正負によつて、沖面洗掘と沖側最大洗掘とが、一致する場合と一致しない場合とが生ずるものと考えられる。

図-6 海浜変形(2) 波Ⅰ, 砕波点岸設置

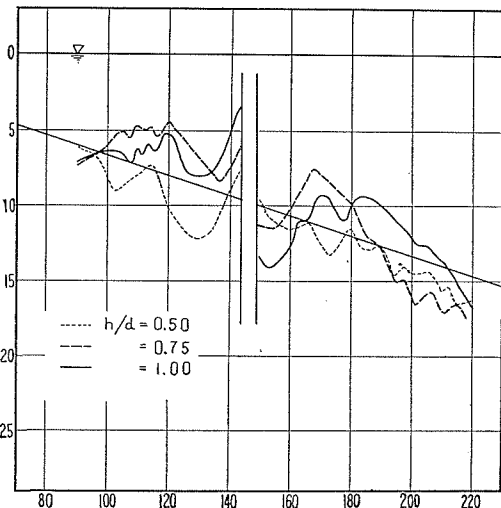


写真-2 波Ⅲ, 砕波点設置, $h/d=0.75$

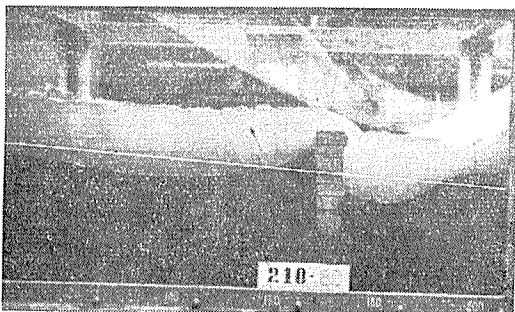


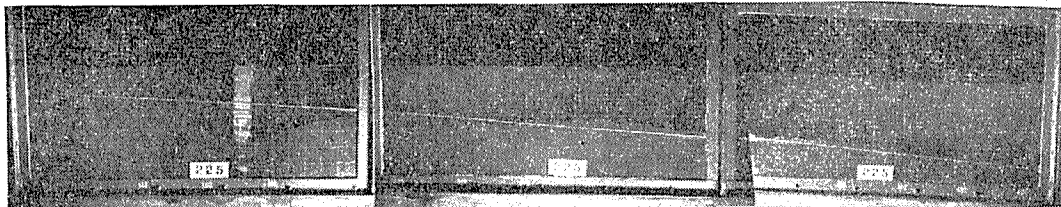
写真-3 波Ⅲ, 砕波点設置, $h/d=1.00$ 

図-7 は、砕波点より半砕波波長沖に設置した場合である。 $h/d=0.50$ では、潜堤の周囲にほとんど変形がおこらない。それは、この場合には堤上で崩れ型砕波となつて波が進行するため、直接海浜に力が加えられないためである。また、堤の沖面洗掘は、 $h/d=0.75$ の方が $h/d=1.00$ の場合より大きくなつており、前記の2つの場合とは違った傾向を示している。図-8, 9, 10 についても、それぞれの設置位置に対応して以上にのべた 図-5, 6, 7 と同じ現象がみられる。

以上の各場合について、沖面洗掘深さと堤設置位置水深との比をプロットしたのが 図-13 である。この図から (1) この比は、砕波点に設置した場合に最大、沖側に設置した場合が最小である。

(2) 砕波点と、いそ波帯に設置した場合には h/d の増加とともにこの比は増加するが、沖側に設置した場合

図-7 海浜変形 (3) 砕波点沖設置

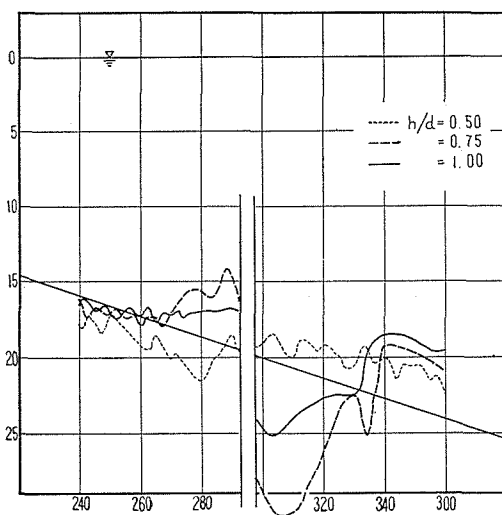


図-9 海浜変形 (5) 波Ⅱ, 砕波点岸設置

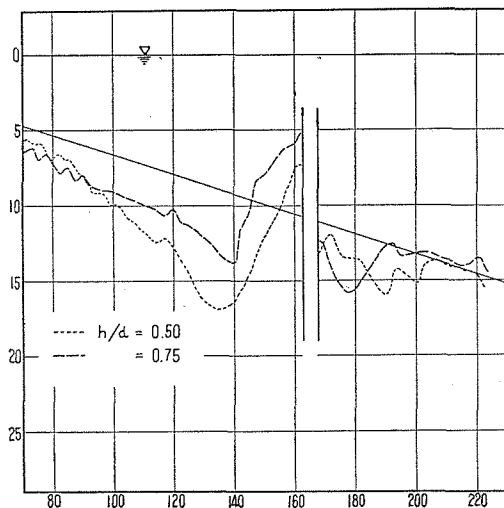


図-8 海浜変形 (4) 波Ⅱ, 砕波点設置

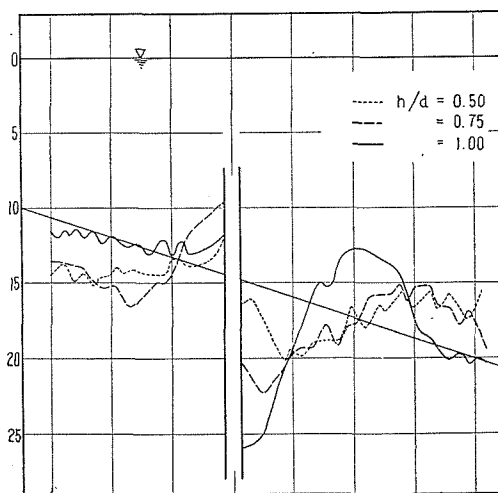


図-10 海浜変形 (6) 波Ⅱ, 砕波点沖設置

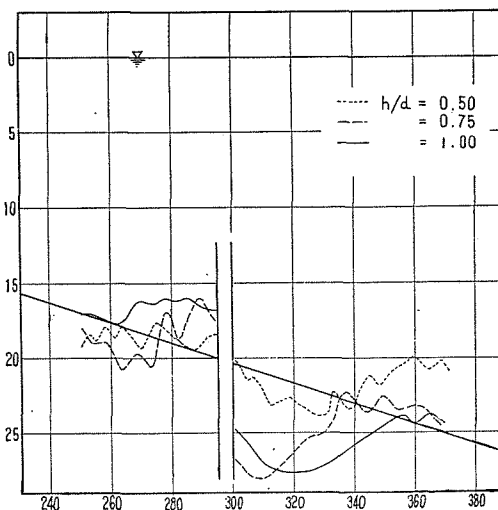


図-11 海浜変形 (7) 堤をおかない場合

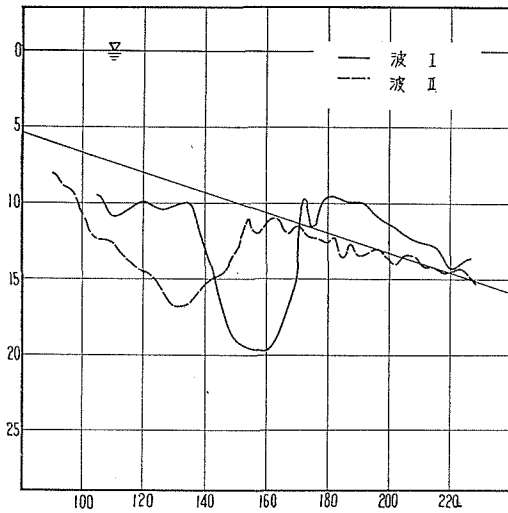
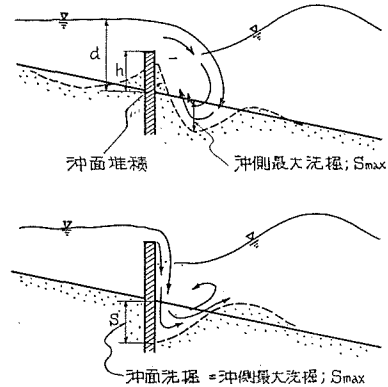


図-12 洗掘



には $h/d=1.00$ で逆に減少している。

(3) 波 I と波 II では波による差はみられない。

(2) にあげた事実は、潜堤を高くすることにより潜堤上を越える、もどり流れによる洗掘能力が減退するためと考えられる。次の 図-14 では、沖面洗掘 s の代りに沖側最大洗掘深さ s_{max} と設置位置水深 d の比で示したもので、 h/d が増すにつれて s/d との差が小さくなってゆくことがわかる。これは前述のような洗掘機構の相異による、洗掘面形状の違いを示すものである。

3.3 堆 積

図-5 をみると、潜堤岸面は堆積が行なわれており、その大きさは h/d の増加とともに増している。図-6 についても同様である。図-7 では、岸面にはほとんど変化はみられない。

実験を行なったすべての場合について、潜堤の岸面は変形しないか、堆積を示すかしている。

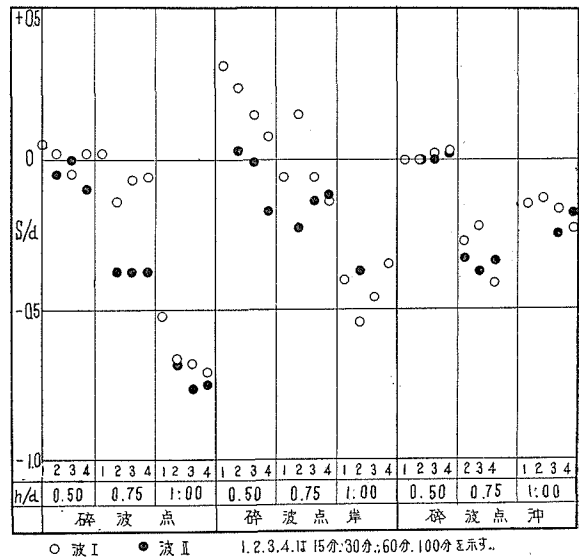
3.4 trough

潜堤の岸側には trough 状の掘れた部分が形成されるがその大きさは、無堤の場合の trough とくらべるといじむしく小さい(断面積を比較しても大きいもので 1/3 程度)。その位置は、潜堤の位置、 h/d によつて移動する。砕波点岸に設置した場合には、 h/d を大きくすると、trough はまったくみられなくなる。沖に設置した場合には、潜堤の近くではほとんど掘れないが、汀線のすぐ近く(いそ波帯の幅の岸より 1/4~1/2)に 2 次砕波による trough が発生する。

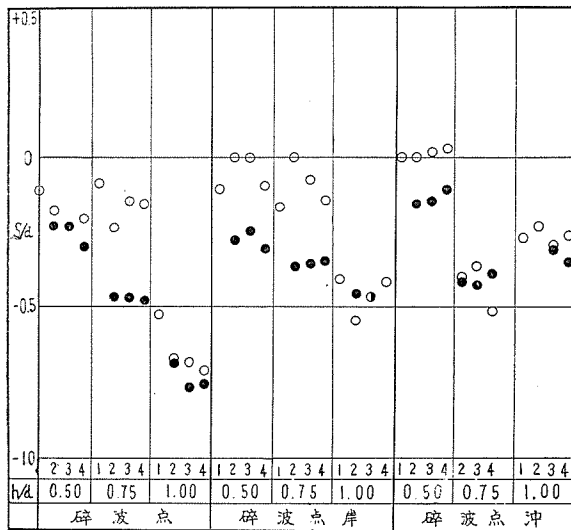
3.5 海岸線の後退と前浜の勾配

最初の海岸線から、波をある時間あてたときに海岸線はどの程度前進後退しているかを無堤の場合を 100 としプロットしたのが 図-15 に示してある。実験に用いた海岸ではいずれの場合にも最初の点より浜が後退しているが、これは最初の勾配のとり方等に関係してくると考えられるので、ここでは無堤の場合と比較した値について考える。図からわかるように、全体としては海岸線後退は潜堤の設置により減少している。砂漣や海岸付近形状の不規則さのために個々の値については、はつきりしたことはいえないが、全体としては減少ないし阻止されているといえるであろう。しかし 100% をこえている場合もあり、潜堤による海岸侵食阻止の機能についてはもつ

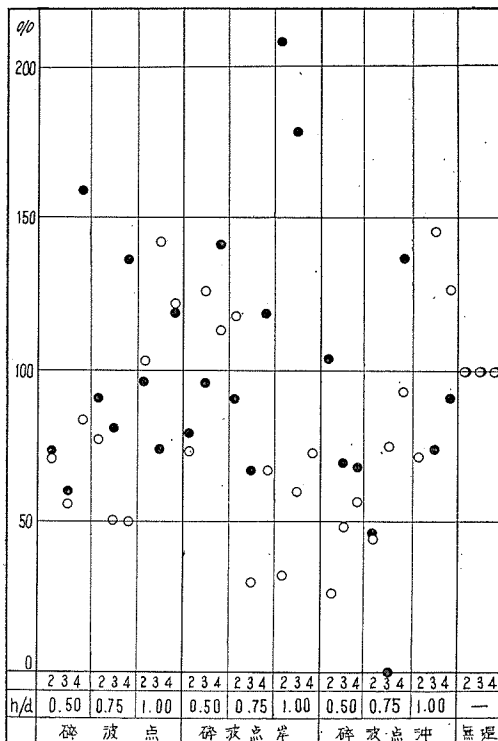
図-13 沖面洗掘深さ水深比



図—14 沖側最大洗掘深さ水深比



図—15 海岸線の後退



と研究を進める必要がある。前述のように潜堤より岸側では水位上昇のため波作用を受ける海岸の範囲は増加することとなり、海岸侵食にとっては好都合となる。もちろん実際の海岸では、海浜勾配も小さく海岸に沿う流れがあつて実験結果を、そのままあてはめることはできないが、反面、潜堤の端、開口部等にもどり流れが集中するため大きな洗掘がおこり、潜堤の維持の上からみて好ましくない。

前浜勾配は波をあてる時間が短いいため平衡を実現していないで一定の関係は見出されなかった。ほとんどの場合、無堤に比して潜堤を設置すると前浜勾配は小さくなっている。砕波後の波の性質や、潜堤による砂移動阻止の機能と関連して、さらに調べる必要があると思われる。

4. む す び

4.1 要 約

これまでに述べたことを要約すると

- 潜堤の機能を調べるにあつては、その海浜過程全体への影響と考える必要がある。
- 潜堤沖側の洗掘の進行は、その設置によりおのののタイプに分けられるが、比較的短時間に達成される。
- 洗掘は h/d および設置位置により大きく異なり、設置位置水深との比では砕波点におけるものが、もつとも大きく、沖側設置でもつとも小さい。
- 沖側設置と砕波点、砕波点岸側設置とでは、 h/d と洗掘深さの関連型が異なっている。
- 潜堤の岸面では、いずれの場合にも堆積が行われ洗掘をうけない。その進行は、洗掘の場合ほど速やかでなく、砕波点より岸側の海浜の広い範囲の砂移動と関連して潜堤の砂移動阻止の機能を示している。
- 潜堤の設置により、おののの場合に対応して岸寄りに trough が形式されるが、その大きさは、無堤の場合とくらべて、はるかに小さい。
- 海岸線の後退を阻止する効果は実験からも認められるが、その要素については、さらに調べなくてはならない。

4.2 批判と展望

海浜変形に関する研究は関与する要素が複雑なためにむづかしい。特に構造物を設置した場合には、波に加えて流れが大きな要素となり困難な点が多い。砕波後の波の性質、底質のちがひによる効果、逆流水の越流流速と洗掘との関係について、もつとはつきりした知識をうることが必要であるが、上述の実験では、ほとんど着手されていない。また、堤形状も周囲の海浜変形に大きな影響を与えることが予想される。これらの知識の上にたつて洗掘を防止し、海浜過程に有効な潜堤の形状や位置、付属構造物についての考察に進むことができるだろう。

本研究を行なうにあつて、現在滞米中の堀川助教授より文献等に関し、有益な示唆をうけた。実験は手賀 啓、秋山一夫、布川尚子、本間久枝各氏の熱心な協力のもとに行なわれた。ここに記して感謝する。なお本研究は文

部省科学研究費の補助を受けて行なわれている研究および新潟県委託による研究の一部をなすものである。

参 考 文 献

- 1) J.W. Johnson, R.A. Fuchs and J.R. Morrison: "The Damping Action of Submerged Breakwater" Trans AGU Vol. 32 No. 5
 - 2) 榎木 享: "潜堤を設けた場合の波の打ち上げ高さについて" 土木学会第 13 回年次学術講演会講演概要
 - 3) 堀川清司・鮮干 洙: "潜堤に関する実験的研究" 土木学会第 12 回年次学術講演会講演概要
 - 4) 榎木 享: "海岸構造物の漂砂におよぼす影響について" 海岸工学講演集 (1957)
 - 5) G. Delage: L'utilisation d'un Brise-Lames pour la defense d'une plage" Proc. Vth Conference on Coastal Engineering (1954)
 - 6) "荒天時に於ける海底の変化について", 新潟県信濃川工事々務所資料 30 (1958.4)
 - 7) "Laboratory study of Effect of Varying Wave Periods on Beach Profiles" Beach Erosion Board Tech. Memo. No. 53 (1954)
-