

港湾技研資料

TECHNICAL NOTE OF
THE POPT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 527 June 1985

浚渫底泥を覆砂して造成する人工干潟の
安定性に関する二次元実験

加藤 正
近藤 隆
入江 功

運輸省港湾技術研究所



目 次

要 旨	3
1. はじめに	3
2. 実験条件, 人工干潟の断面形状および実験方法	4
2.1 実験条件, 人工干潟の断面形状の検討	4
2.2 実験方法および実験ケース	8
3. 規則波による実験結果	10
3.1 人工干潟上の波について	11
3.2 人工干潟の断面変化	13
3.3 縮尺効果	19
3.4 起伏長の長い地形変化の生じる原因	20
3.5 砂中の浸透流	24
4. 不規則波による実験結果	24
4.1 実験波の決定	24
4.2 人工干潟上の波の変形	25
4.3 人工干潟の断面変化	26
5. 実験結果の現地適用について	28
6. おわりに	31
参 考 文 献	32

Experimental Study on Stability of Artificial Beach Profile

Kazumasa KATOH*
Takamichi KONDOH**
Isao IRIE***

Synopsis

It is planned to remove bottom mud from a large bay. The bottom mud removed will be abandoned to the sea bottom in front of the sea wall. In order to prevent their diffusion, sand will be put on them with some layer thickness, which will make an artificial beach having a horizontal profile in the sea.

In this paper, stabilities of this kind of beach profile have been studied experimentally with movable bed models of two scales (1/13 and 1/6.5) under the actions of regular and irregular waves for each.

The main conclusions of this paper are as follows :

- (1) A difference of the model scale does not affect the final beach profiles in the case of both regular and irregular waves.
- (2) It is necessary to construct a submerged breakwater at the offshore end of an artificial beach for preventing the sever deformation of beach profile and sand being washed away from the beach to offshore.
- (3) In the case of the regular wave experiments, a large scale bottom undulation appeared in the final profile, which was considered to be due to the wave asymmetry with the secondary waves.
- (4) On the other hand, in the case of the irregular wave experiments, such a large undulation did not appear since an effect of the secondary wave of individual wave might be canceled each other.
- (5) According to the results of the regular and irregular wave experiments, a dimension of the artificial beach profile with the submerged breakwater has been discussed for the prototype.

* Chief of Storm Surge and Tsunami Laboratory, Hydraulic Engineering Division

** Member of Littoral Drift Laboratory, Hydraulic Engineering Division

*** Chief of Littoral Drift Laboratory, Hydraulic Engineering Division

浚渫底泥を覆砂して造成する人工干潟の安定性に関する二次元実験

加藤 一 正 *
近藤 隆 道 **
入江 功 ***

要 旨

閉鎖性内湾の海底に堆積している汚泥を取り除く計画が進められている。このとき発生する浚渫汚泥の処分を目的として、投棄した汚泥を覆砂し、人工海浜（干潟）として有効利用することが検討されている。

本報告は、このような二層構造の人工海浜の安定性に関して、汚泥の流出防止の観点から、二次元の移動床実験を実施した結果について述べるものである。模型の縮尺は1/13, 1/6.5の二種類であり、波は規則波と不規則波を作用させた。実験では人工干潟断面を砂一層とし、覆砂厚さは地形変化を測定することによって検討した。おもな結論は以下のとおりである。

- (1) 実験縮尺の違いは、規則波の場合も不規則波の場合も最終断面地形には現れなかった。
- (2) 人工干潟の沖側端に、干潟断面を安定なものにするためと、覆砂材の流出防止を兼ねた潜堤が必要である。
- (3) 規則波の実験ケースでは、大きな起伏地形が最終断面に生じた。これは、二次波峰と主峰の相対位置関係が、干潟上で空間的に固定されるためと判断された。
- (4) 一方、不規則波の実験では、個々の波の二次波峰と主峰の相対位置関係が個々の波によって空間的に異なるために、規則波に見られたような大きな起伏は生じなかった。
- (5) 実験結果の現地適用について検討し、人工干潟の断面形状を決めた。

1. はじめに

我国において、海浜は古くより海水浴、潮干狩、散策等のレクリエーションの場として人々が直接海と接することのできる場を提供してきた。また、海浜は碎波やそれに伴う流れによるエアレーションの盛んな場であり、そこは複雑な生物環境系として海洋環境保全のうえで重要な役割を果たしている。

しかしながら、近年の河川流下土砂の減少等により全国的に慢性的な海浜侵食が進行しつつあり、また埋立、干拓等によってもかなりの海浜が消滅している。このような状況に対して、海浜の重要性が再認識され渚の回復が叫ばれるようになってきており、現在ある海浜を維持すること、砂浜を残したまま海岸侵食を防止すること、

人工的に砂を投入して新たに海浜を造成すること等の方法によって対処されつつある。

このうち、人工的に砂を投入して海浜を造成する養浜工については、昭和40年代の後半から神戸港須磨海岸などで始められ、それと平行して実験的研究もなされてきた^{1),2)}。この現地における経験、資料の整理、実験等を取りまとめた成果に基づいて、現在日本の各地点において養浜工が試みられている。それらの現地施工過程、その後の海浜変化をみると、少なくとも湾内の比較的波浪の作用の小さいところにおいては、突堤、離岸堤、離岸潜堤等の補助構造物を作用することによって人工海浜を維持していくことが、今や十分可能である技術レベルに達していると言える。

ここで報告する、人工海浜（干潟）の安定性に関する

* 水工部 高潮津波研究室長
** 水工部 漂砂研究室
*** 水工部 漂砂研究室長

実験は、上記の社会的要請及び現在の技術レベルを背景として、さらに下記するような特殊な状況に対処するために実施したものである。

すなわち、閉鎖性内湾の海底に堆積している汚泥を取り除き、湾内の水質を向上させることが検討されている。このとき発生する浚渫汚泥の処分を目的として、投棄した汚泥を覆砂し、その上を人工海浜（干潟）として有効利用することが考えられる。これに関連して、いろいろな技術課題を解決しなければならない。例えば、

- 海水を汚染することなく底泥を浚渫する方法
- 底泥を浚渫した後の海底地形の変化
- 今後の底泥の発生量の評価
- 浚渫した汚泥の輸送方法
- 投棄した汚泥を安定化する方法
- 汚泥上に覆砂する工法
- 覆砂して造成される人工干潟形状

等である。

本報告は、これらの技術課題のうち、はたして汚泥の上に覆砂した二層構造を有する人工海浜が安定なものになるか、あるいは安定なものにするためには、覆砂厚さをどの程度にすればよいか、断面形状をどうすればよいか、また補助構造物をどのような形状にすればよいか等について、二次元移動床実験で検討したものである。

2. 実験条件、人工干潟の断面形状および実験方法

2.1 実験条件、人工干潟の断面形状の検討

実験条件のうち、特に外力については、実際に発生している海象状況を考慮しなければならない。しかしながら、人工干潟を造成する具体的場所が決まってないので、大きな規模の湾の一つである大阪湾の海象状況をとりあえず考慮に入れることとする。

(1) 実験波浪

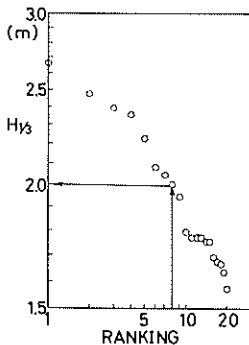


図-1 神戸港波浪観測所で測定された上位20位の波高（昭和50年～昭和54年）

図-1は、大阪湾内で昭和50年～昭和54年の間に観測された波浪データから有義波高の大きい順に上位20位までを取ってプロットしたものである。この間の最大有義波高は2.66mであり、また第20位の有義波高は約1.6m程度である。有義波高が2mを越えたものは計8回発生している。すなわち、平均的に見ると1.6回/年の割合で2m以上の有義波高が発生している。ここでは移動床実験の代表波高として、年に1～2回発生する程度のもので選ぶこととし、図-1より $H_{1/3} = 2m$ を実験対象波高とする。

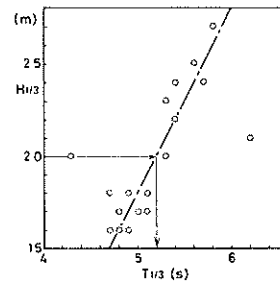


図-2 有義波高と周期の関係 ($H_{1/3} > 1.5m$ 昭和49年～昭和53年)

図-2は、同じ観測地点において、昭和49年9月から昭和53年12月にかけて測定されたデータについて、有義波高1.5m以上の波高と周期を調べたものである。2つのデータは全体の傾向からはずれるけれども、他のデータについては、図中に一点鎖線で示したような直線関係が波高と周期の間に存在する。この直線を基準にして、先に決定した有義波高2mの周期を求めると、5.2sとなる。

この波浪データは、湾内の周辺に何ら障害物のないところにおいて測定されたものである。一般に湾内の水際線の利用度は非常に高く、護岸前面の海域には防波構造物が設置されていることが多い。ここでは、最終的に人工干潟が造成される護岸まで達する波浪の波高は半減するものと仮定する。ただし周期は変化しない。

以上のことより、実験代表波高を1.0m、同周期を5.2sとする。

(2) 潮位

図-3は、神戸港で実測された潮位実況をD.L.基準で示したものである。対象海岸の潮差（さく望平均満潮位とさく望平均干潮位の差）は1.54mである。水深1～2m以浅の海底地形変化を考えると、水深の変化による波の作用の程度の変化（例えば碎波波高が水深によって規定される）の影響は大きい。特に前浜部の地形は、

潮位とともに周期的に変化する。⁶⁾しかしながら、潮位変動を実験で再現することはなかなか困難であること、人工干潟の断面形状の安定性は潮位変動周期よりも長期のものを考えていること等を加味して、実験では一定潮位のもとで実施することにした。次節で述べるように、人工海浜の沖端には潜堤を設置するので、潜堤上の波の透過が大きく（潜堤上の水深が大きい）なる条件であるさく望平均満潮位を、実験潮位とした。この実験条件下では、人工干潟まで達する波のエネルギーが結果的に大きくなり、浜は大きな外的エネルギーの下にさらされる。すなわち、実験条件を安全側に設定することを意味する。

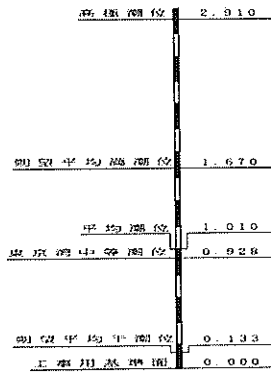


図-3 神戸港潮位実況図(昭和54年)⁵⁾

さく望平均満潮位を実験潮位とする考え方をさらに進めると、さく望平均満潮位以上に海面が上昇する高潮についても考慮しなければならない。すなわち、潮位が異常に高まる高潮は、台風がやってくる方向に口を開いている湾では、低気圧や台風の通過に伴って生じ、その状態は数時間から十数時間続く。その間の波浪は、一般に大きなものである。そこで実験潮位として、図-3に高極潮位（以下高潮時と称する）と示された潮位も加えることにする。

ただし、潮位変動による流れ（潮流）は再現しない。

(3) 人工干潟の断面形状

人工干潟の断面形状は、最終的には実験条件に基づいて決定されるものである。ここでは、実験能率の向上のためと、人工干潟のおよその形状を把握するために、これまでに得られている知識を基にして、概略の断面を決定し、それを実験断面とする。以下に、代表的な断面の諸元を項目別に述べる。

(a) 浜幅

M.W.L. 時の汀線から潜堤までの距離を 117 m とする。

(b) 後浜高さ

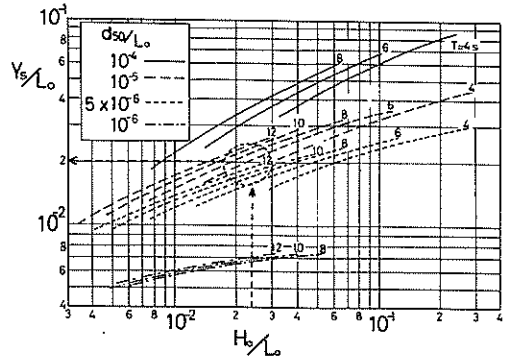


図-4 無次元後浜高さと波形勾配の関係³⁾

図-4は、Swartが模型実験および現地データに基づいて経験的に得た後浜高さを与える式を图示したものである。³⁾図において、 Y_s は海面からの後浜の高さである。実験対象とした波($H_0/3 = 1.0$ m, $T_1/3 = 5.2$ s)の波形勾配は、 $H_0/L_0 = 0.024$ である。現時点では、覆砂に使用する材料が未定であるが、とりあえず中央粒径 $d_{50} = 0.2 \sim 1.0$ mm 程度とすると $d_{50}/L_0 = 0.5 \times 10^{-5} \sim 2.4 \times 10^{-5}$ 程度になるので、図-4より、 $Y_s = 0.02 \times L_0 \div 1.0$ m を得る。すなわち、後浜高さは、H.W.L.+1.0 m となる。しかしながら、最近の人工海浜追跡調査の結果によると上述のように決定された後浜高さはやや低いようなきらいがあること、また潜堤背後では水位上昇が生じること等を考慮に入れて、さらに余裕高さ 0.5 m を加え、後浜高さを H.W.L.+1.5 m とする。なお後浜部は水平とする。

(c) 前浜勾配

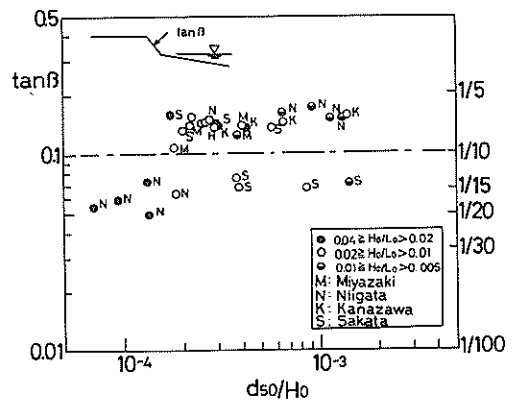


図-5 前浜勾配と d_{50}/H_0 関係³⁾

図-5, 砂浜海浜において実測した前浜勾配と d_{50}/H_0 の関係を図示したものである³⁾。ここでも, 使用する覆砂材の中央粒径を $d_{50} = 0.2 \sim 1.0\text{mm}$ 程度とすると, $d_{50}/H_0 = 0.2 \sim 1.0 \times 10^{-3}$ であるので, 図-5にプロットされたデータと比較して, やや緩勾配であるが, 前浜勾配を1/10とする。

(d) 海面下の海浜断面形状

浚渫汚泥の処分を兼ねた人工海浜の造成では, 浚渫汚泥をできるだけ多く捨てられるほうが望ましい。このためには海底面レベルを高くすればよい。しかしながら, それをL.W.L.以上にするると干潮時に干潟面が海面上に現れ, 干潟内の海水が流出する。このとき汚泥が溶出する可能性が生じるので, 海底面のレベルはL.W.L.を限度としておくのが望ましい。

二層構造の人工干潟の施工過程は, まず最初に護岸前面にポンドをつくり, そこに浚渫汚泥を投入する。投入直後の浚渫汚泥は含水比が高いので, 表面は水平になると考えられる。この状態で排水し, 所定の強度になってから表面を覆砂する。このようなことを考えると, 人工干潟の覆砂表面は水平にならざるを得ないであろう。また, 水平のほうが浚渫汚泥を多量に処分できる。

以上のことより, 人工干潟の覆砂面を水平とし, そのレベルはL.W.L.に一致させる。

(e) 潜堤形状

人工干潟の沖側端は, 覆砂材の流失防止と入射波の減殺を考慮して何らかの構造物を設置する必要がある。図

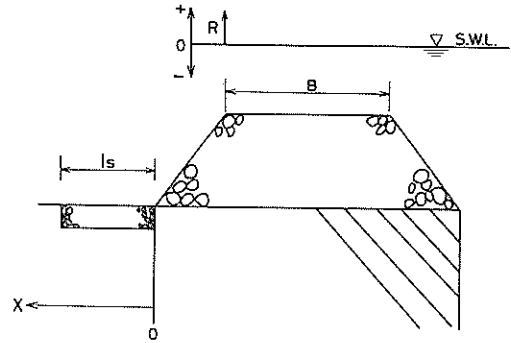


図-7 潜堤形状と寸法の定義

の減殺の立場からは, 天端が海面上に現れる離岸堤のほうが効果的であると言える。しかしながら, ここでは景観上の観点と人工干潟上の海水交換を第一に考慮に入れて, 潜堤形式を採用する。ただし, 後の実験において潜堤形式では人工干潟の安定性が十分でないときは離岸堤形式を検討しなければならない。

図-6によると, 潜堤による波の減殺効果が期待できるのは $0 > R/H_0 > -1.0$ の範囲である。すなわち1年に1~2回程度発生する波高は, 1.0 m程度であるので, $0 > R > 1.0\text{ m}$ となる。ここで, 平均水面としてH.W.L.(D.L.+167m)をとると, 潜堤天端高はD.L.表示で+0.67~+1.67mの範囲となる。ただし, 潜堤天端高が平均潮位(M.W.L., D.L.+1.01m, 図-3参照)以上になると, 一年を通じて潜定が海面上に現れる時間が5割以上になり, 景観, 海水交換を第一に考慮したことの意味が薄れる。そこで, 潜堤天端高をM.W.L.に一致させたものを基本とし, 最終的には実験結果に基づいて決定する。潜堤による波の減殺効果を離岸堤と同程度に期待するためには, 潜堤幅を広げなければならない。しかしながら, 今回の場合は潜堤幅を広げることの制約がある。というのは, 浚渫汚泥を投棄する際に海面を図-8に示す円形セルのような構造物で阻む必要がある。したがって, 潜堤幅を円形セル上に載せられる程度として, 人工干潟を安定にできるならば, それに越したことがない。もし, 潜堤幅が図-8に示した6.5m以上になると, 潜堤を沖側に広げるか, あるいは岸側(干潟面上)に広げるかしなければならず, いずれにしても施工時に新たな配慮が必要になる。以上のようなことから, ここでは, $B/L_0 = 0.1$ ($B = 4.2\text{ m}$)を基本とし, それより広い幅の潜堤の効果を実験で検討する。

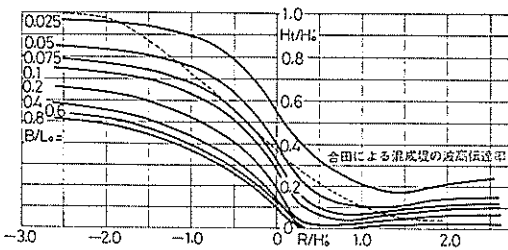


図-6 潜堤・離岸堤の透過率¹⁾

図-6は, 潜堤・離岸堤による波高の伝達率を示したものである。図中の B, R はそれぞれ図-7に定義されているように, 天端幅と天端高である。ただし, 天端高 R は平均水面より上方を正にとってあるので, $R > 0$ では離岸堤になり, $R < 0$ では潜堤になることに注意されたい。

図-6より, 同じ天端幅ならば, 潜堤より離岸堤のほうがはるかに波高の伝達率が小さい。すなわち, 入射波

最後に潜堤の構造について述べる。潜堤下部の円形セル（図-8参照）は不透過である。円形セル上の潜堤も

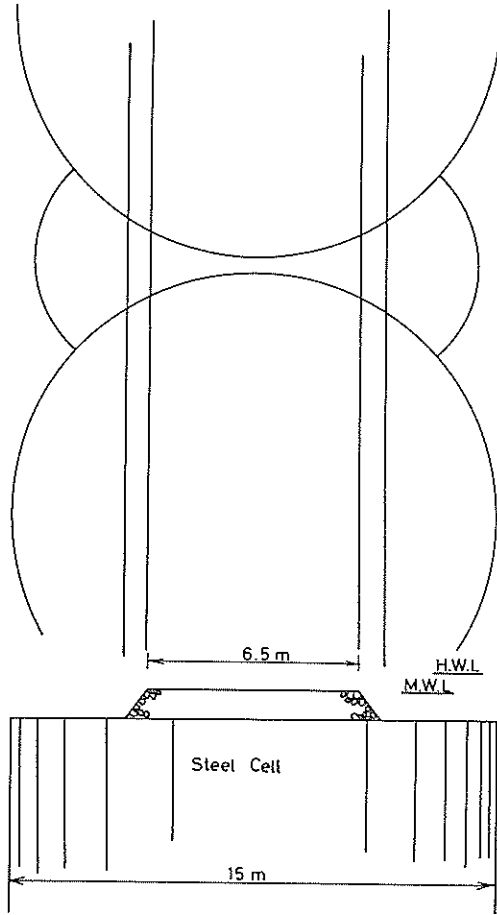


図-8 潜堤の下部構造（円型セル）

不透過にすると、波の入射に伴い人工干潟上の水位が著しく上昇することが考えられる。この水位上昇を防止するために、潜堤は透過堤とする。

(4) 潜堤背後の局所洗掘対策

潜堤背後は、潜堤上で強制砕波された波による局所洗掘が生じる可能性がある²⁾ので、粒径の大きい材料で人工干潟面を被覆する必要がある。しかしながら、その明確な基準がないので、ここでは沖波波長の1/10程度の範囲を粒径の大きい材料で被覆することにする。

(5) 模型縮尺

移動床模型実験では、使用できる底質材料に限界（おもに粒径について）があるため、実験波によって底質を十分動かせるようにひずみ模型とすることが多い。ひずみ模型の場合、波の浅水変形、屈折等についての相似性は保たれるのであるが、回折現象のように波長がパラメータに含まれる現象についての相似性は保たれない。図-6に示されるように、潜堤の透過率は波長を含むパラメータ B/L_0 によって支配されている。したがって、ひずみなし模型とする必要がある。ここでは、後浜水平部の大部分を省略し、後浜の一部、前浜、人工干潟の水平床部および潜堤までを実験水槽内に再現する。その縮尺は、実験ケースを数多くとるために1/13とし、さらにそれらで決められた諸元を確認する意味と縮尺効果を検討する目的で1/6.5の縮尺での実験も実施する。

(6) 実験に使用する底質材料

前項で述べたように、ひずみなし模型であるので実験波によって底質材料が十分移動するように、極力粒径の小さい沈降速度の遅い砂を使用することにした。ここでは、石川県滝港より採取した、比重2.65、中央粒径 $d_{50} = 0.14 \text{ mm}$ のものを使用した。

なお、計画されている人工干潟は二層構造であるが、実験では砂だけによる一層構造とした。このため、

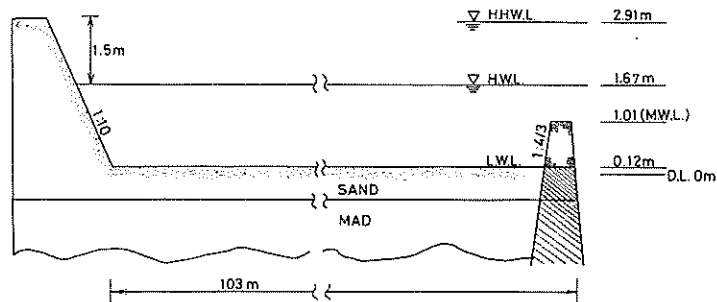


図-9 実験対象とした人工干潟断面と潮位の関係

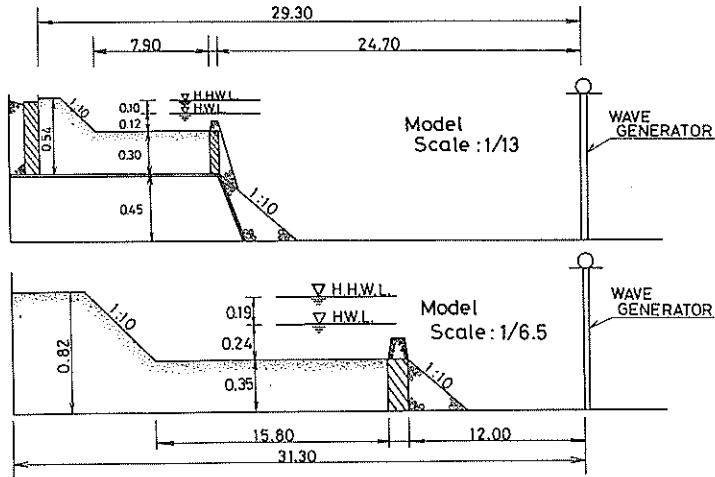


図-10 人工干潟の模型断面(縮尺,上段1/13,下段1/6.5)

覆砂厚さの検討は、断面地形変化量および浸透流の状況から判断することにする。

以上の検討結果をふまえて決定された干潟形状(断面形状)を図-9に示す。また、縮尺1/13と1/6.5の模型の実験室スケールを図-10の上段と下段に示してある。

2.2 実験方法および実験ケース

(1) 実験方法

(a) 実験水路

実験に使用した水路は、長さ4.45m、幅0.5m、高さ1.0mの片面ガラス張り(一部両面ガラス張り)のものである。付随している造波機は油圧パルス制御のピストンタイプであり、入力信号を変えることによって規則波、不規則波が発生可能である。規則波の発生には、発振器からの信号を入力し、不規則波は前もって造波機の造波特性を考慮してランダムな信号をつくり、それをデータレコーダーで磁気テープに記録した(約6時間)ものをくり返し再成して入力信号とした。後者については、4.1において再度述べる。

(b) 地形測定

断面地形の測定には、超音波式の砂面測定器を用いる方法と、水路ガラス壁の外側から物差しをあてて直接読み取る方法を併用した。前者の特徴は、断面地形を連続的に測定できることであるが、測定位置が水没していなければならないという制約条件があるので、前浜地形、後浜地形をも含めた連続的な断面データを得るためには、前もって水路内に水を注ぎ、水位を上げておく必要があ

る。また、波の作用の下で浮遊砂が多量に存在する(底面近く)と、得られる信号にノイズが混入する。このようなことから、砂面測定器による断面測定は、初期地形と最終地形に限って実施した。なお、断面地形は水路中心線に沿って測定した。

一方、物差しを直接あてる方法は、不連続な地形データしか得られずしかも労力を要するものであるが、実験実施中も波・流れを乱すことなく測定できるので、初期波作用1時間後、2時間後、3時間後、4時間後、5時間後そして最終(18時間後)の地形を測定した。測点の岸沖方向間隔は1/13の模型では10cm、1/6.5の模型では20cmとした。当然のことではあるが、この方法によって測定している断面は、水路ガラス壁に接している海底断面形状である。

(c) 波形の測定

入射波(潜堤の沖側)の波形と、干潟上の波形の測定には容量式波高計を使用した。干潟上の波形測定間隔は縮尺1/13の場合20cm、1/6.5の場合40cmであり、4台の波高計を用いて各点5分ずつ測定した。波形測定は、実験開始後の地形変化が十分進んでいない20~90分の時間内に行った。

(d) 平均水位の測定

平均水位は波形記録からも得ることができるが、ここでは水路内壁に細い塩化ビニールチューブを取り付け、その内側の水位を読み取った。塩化ビニールチューブ内の水位には、静水圧だけが現れるようにくふうした。平均

水位測定点は波形測定点と同一である。平均水位の測定は、波作用後1時間、4時間、終了前をだいたいの目安として行ったが、測定時刻は実験ケースによってやや前後する。なお、水位上昇量は平均水位から初期水位(実験水位)を差し引くことによって求まる。

(e) 流速測定

岸沖方向の流速は、室内用小型電磁流速計を用いて測定した。ただし、測定は縮尺1/6.5の模型のときだけ実施し、岸沖方向の測定点は波形測定点と同じであり、鉛直位置は底面から3~5cmのところである。

(f) 砂中浸透流の測定

砂中の浸透流は非常に遅いので、流速計では測定できなかった。そこで、実験作用開始直前に染料(過マンガン酸カリウム溶液)をガラス壁と砂の間にスポイトを用いて少量注入した。波作用後、この染料バッチが移動する状況をガラス壁外側からスッチャおよび写真撮影することにより流速を測定した。

(g) その他

入射波の潜堤上の碎波、前浜へのそ(廻)上等を観測した。

(2) 実験ケース

実験は、模型縮尺、実験潮位、波の種類、潜堤形状を変化させて、計19ケース実施した。表-1に、各ケースの実験条件が示されている。英字で表現した実験ケース名は、模型縮尺と実験潮位の組み合わせにより4つに分類したものである。すなわち、ケースA、Bは縮尺1/13の実験、ケースC、Dは縮尺1/6.5の実験に対応しており、またケースA、Cは実験潮位がH.W.L.のもの、ケースB、DはそれがH.H.W.L.(高潮を想定したもの)のものである。さらに、ケースAでは、1~10の番号をおおむね潜堤による波の透過率が小さい順に付してある。

波高については、実験開始後20~90分の間で測定した実測値である。現地想定波高が1mであるので、本来ならば、規則波の場合波高7.7cm(縮尺1/13)、15.4cm(縮尺1/6.5)でなければならない。実験開始時には造波機を所定の波高が発生するように調整していたのであるが、波高測定実施時には、若干波高が増加していた。したがって、結果的には、1mよりやや高めの実地波高を想定したことになる。不規則波の波高、周期は、実測値をゼロアップクロス法で計算したものである。

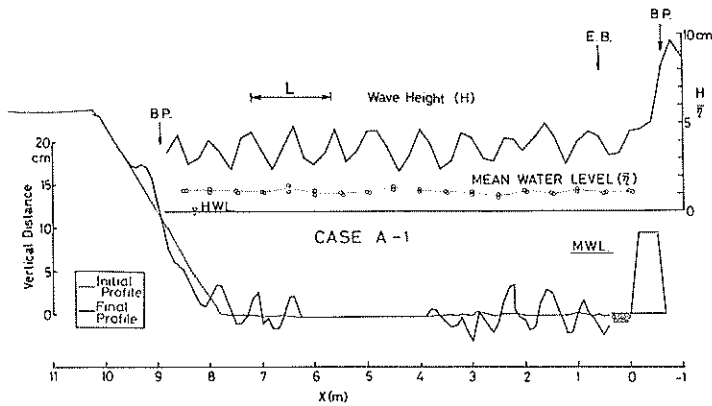
表-1 実験ケース一覧

ケース	模型縮尺	実験潮位	波の種類	潜堤天端高 R	潜堤天端幅 B/L ₀	波高 (cm)	周期 (s)
A-1	1/13	H.W.L.	規則波	H.W.L. と	0.21	9.40	1.44
A-2				M.W.L. の中間	0.10	9.09	
A-3				M.W.L.	0.42	8.88	
A-4					0.21	9.78	
A-5					0.15	9.89	
A-6					0.10	7.65	
A-7					9.25	1.32	
A-8					M.W.L. と		
A-9				L.W.L. の中間	0.10	8.68	
A-10				L.W.L.	0.16	8.87	
B-1	1/6.5	H.H.W.L.	不規則波	H.W.L.	0.11	7.79	2.05
B-2				M.W.L.	7.65		
B-3					12.03		
B-4					15.67		
C-1	1/6.5	H.W.L.	規則波	M.W.L. と L.W.L. の中間	0.18	21.00	2.15
C-2			不規則波			2.10	
D-1	1/6.5	H.H.W.L.	規則波	M.W.L.	0.15	16.68	2.04
D-2			不規則波			22.40	2.10
D-3			M.W.L. と L.W.L. の中間			0.18	20.80

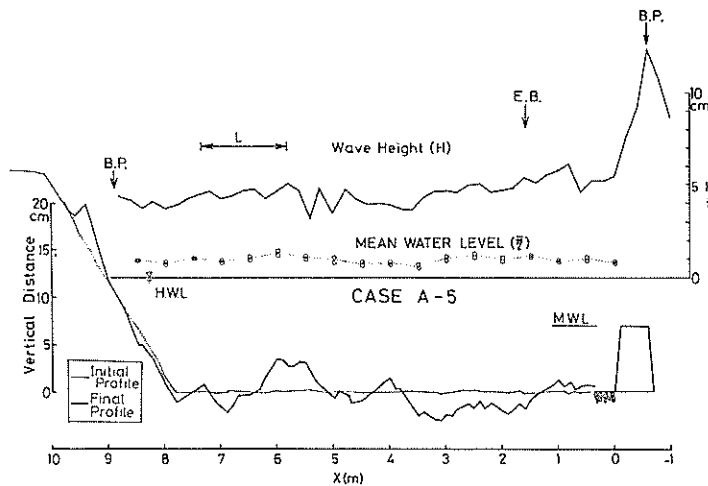
3. 規則波による実験結果

まず最初に、規則波による代表的実験結果例について示しておく。図-11(a)~(d)は、それぞれケースA-1, A-5, A-9, B-2について示したものである。各図とも、横軸は潜堤の岸側端を原点として岸向きを正にとった水平距離(横型スケール)であり、左側縦軸は人工干潟の水平海底面(L.W.L.)を原点に上方を正にとった鉛直距離である。また、右側の縦軸は波高、水位上昇量を示すスケールであり、図では実験における静止水面を原点としている。各図とも下段には、人工海浜の初期断面と最終断面(波作用18時間)が、そのときの潜堤形状とともに示されている。上段には、岸沖方向の波高分布が実線で、各測定点の水位上昇量が白丸で示されている。波高分布の上側に矢印で示された位置は、B.P.が碎波点、E.B.が碎波によって形成されたboreが消滅した地点をそれぞれ示してある。これらの地点は目視によって判断した。上段のLは微小振幅波理論で計算した人工干潟水平床土の波長である。さらに上段の水平位置と下段の水平位置は一致させてある。なお、各図を比較する際には、右下に示した潜堤形状(特に天端高)

期断面と最終断面(波作用18時間)が、そのときの潜堤形状とともに示されている。上段には、岸沖方向の波高分布が実線で、各測定点の水位上昇量が白丸で示されている。波高分布の上側に矢印で示された位置は、B.P.が碎波点、E.B.が碎波によって形成されたboreが消滅した地点をそれぞれ示してある。これらの地点は目視によって判断した。上段のLは微小振幅波理論で計算した人工干潟水平床土の波長である。さらに上段の水平位置と下段の水平位置は一致させてある。なお、各図を比較する際には、右下に示した潜堤形状(特に天端高)



(a) ケース A-1



(b) ケース A-5

図-11 波高、平均水位の岸沖分布および最終干潟断面(波作用18時間後)

と、前浜部に示した実験潮位（H.W.L.あるいはH.H.W.L.）にまず注意されたい。

以下の各節において、図-11(a)-(d)を参照しつつ、人工干潟上の波、断面変化等について述べる。

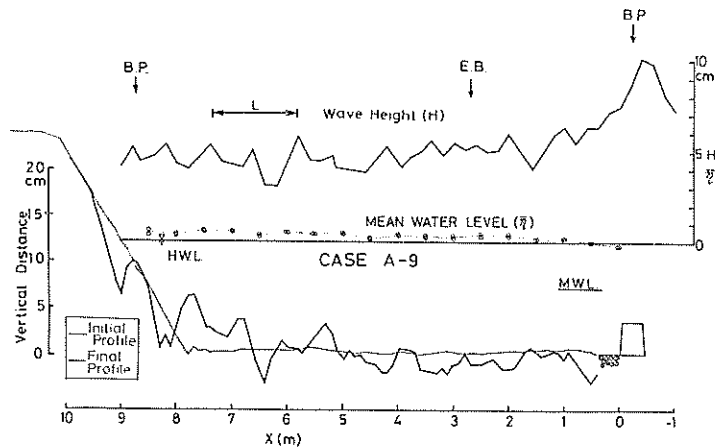
3.1 人工干潟上の波について

(1) 潜堤による波の透過率

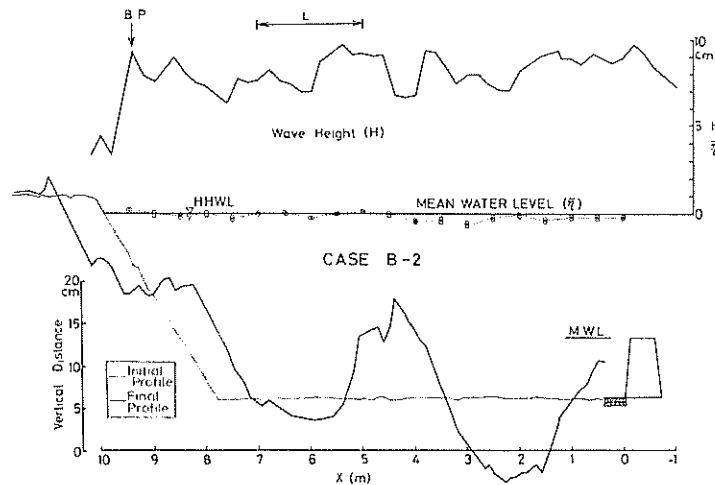
潜堤による波の透過率は、潜堤内の波高と潜堤外の波高との比で定義される。ここで、潜堤外の波高は潜堤の沖3.3～5.5 mの範囲で測定された波高を平均したものであり、潜堤内の波高はboreの終了点（図-11において、

E.B.とした点）から測点7.8 m（斜面法先部）までの測定波高を平均したものである。ただし、高潮時の実験（図-11(d)参照）では、E.B.が存在しないので干潟の水平部分の波高を平均した。

このようにして得られた結果を、田中らが実験的に得た潜堤の透過率を示すグラフに重ねてプロットすると、図-12のようになる。この図の各パラメーターは、図-7に示されている。図によると、透過率が0.4～0.6の範囲の実験結果は、従来の結果とほぼ一致している。ところが、伝達率が0.8以上になる2つのデータ（白ぬき



(c) ケース A-9



(d) ケース B-2

図-11 波高、平均水位の岸沖分布および最終干潟断面（波作用18時間後）

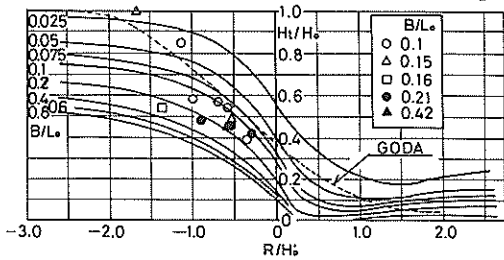


図-12 潜堤の波高透過率 (模型縮尺 1/13, 規則波)

三角と白丸)は、従来の結果に比べて大きくなっている。白ぬき三角はケース B-2 であり、白丸はケース B-1 である。すなわち、ともに実験潮位が高潮時のものである。高潮時の入射波は図-11(d) (ケース B-2) を見て明らかのように、潜堤上で碎波することなく人工干潟部に入射してくる。例えば、潜堤の天端高を H.W.L. まで上げて (ケース B-1) 伝達率は 0.84 程度でありである。このことは、高潮時に潜堤の入射波を減殺する効果をあまり期待することができず、その結果人工干潟は高エネルギーの波浪状況下にさらされることを意味している。

(2) 岸沖方向の波高分布

潜堤天端高および実験潮位を変えたときの人工干潟上の波高岸沖分布の変化を、図-11(a)~(d)によって述べる。

実験潮位が H.W.L. のもの (図-11(a)~(c)) に共通しているところは、すべて潜堤上で碎波が生じており、その後一時的に bore を形成するが、しばらくして非碎波の波が再成され汀線近くまで進行することである。そして最終的に汀線近くで再度碎波する。ただし、潜堤上の碎波点 (B.P.) から bore の終了点 (E.B.) までの距離は潜堤の天端高が低くなるほど長くなる。これは、潜堤が低いほど潜堤上の波のエネルギー消費が少ないため、干潟上で水深に規定される波高近くになるまでエネルギーが消費 (bore 状になって) される必要があるからかも知れない。

これに対して、実験潮位が高潮のものは、潜堤上で碎波することなく人工干潟に入射してくることは先述したとおりである。

人工干潟の水平部の波高分布を見ると、図-11(a)~(d) は 2 つのグループに分けることができる。すなわち、各図中に L で表示した波長の半分の波高変化波長を有する図-11(a), (c) のグループと、もっと長いあるいは不明瞭な波高変化波長を有する図-11(b), (d) のグループである。

それぞれのグループに対応して、汀線部の前浜勾配が異なる。すなわち、前者のグループの前浜勾配は相対的に急であるのに対し、後者のグループのそれは緩やかである。このことから、前者のグループにおいては、入射波の前浜部における反射率が大きく、したがって部分重複波が形成されている可能性が高い。

このように、波高分布特性が 2 つのグループに分かれることは重要な意味がある。というのは、前者のグループ (図-11(a), (c)) では、人工干潟の最終断面 (波作用 18 時間後) に部分重複波の波長程度の起伏が生じているのに対し、後者のグループではさらに長い波長の起伏が生じているからである。波高分布は波作用開始後 20 ~ 90 分の時間帯に測定したものであり、この程度の経過時間での地形変化量はわずかである。したがって、各グループの波高分布特性は人工干潟の断面変化特性の影響を受けたものではなく、波高分布特性が断面変化を生じさせたと判断すべきであろう。これについては、節を改めて検討する。

(3) 人工干潟上の水位上昇

潜堤より岸側の人工干潟上での平均水位上昇量 $\bar{\eta}$ と潜堤天端高の関係をケース A の結果について図-13 に示す。同図の縦軸が平均水位上昇量であり、すべての測定値 (図-11 参照) を算術平均して求めた。横軸は潜堤の天端高を実験潮位 (H.W.L.) からの距離 R で示したものである。 R の絶対値が大きくなるほど (図左方向)、絶対的な天端位置が低くなることと対応している。なお、横軸には代表潮位も合わせて示してある。

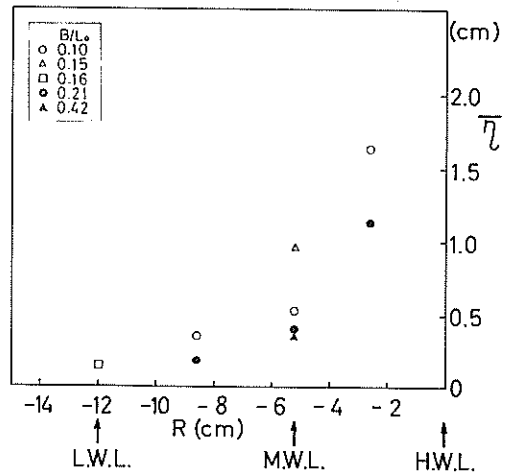


図-13 人工干潟上の平均水位上昇 ($\bar{\eta}$) と潜堤天端高の関係 (ケース A)

図-13によると、潜堤天端高がL.W.L. に一致するとき（人工干潟の水平面がL.W.L. であるので、この場合は潜堤がない）、水位上昇量はわずかであるが、天端高が高くなるにつれて潜堤内の水位は上昇する。潜堤天端高がM.W.L. 以上になると水位上昇の割合も増加するようである。同じ天端高で、潜堤の天端幅の違いの効果を見ると、それが広がるほど水位上昇量が少なくなる傾向にある。なお、潜堤から離岸堤まで連続的に天端高を変化させて実施した実験結果によると、天端高が静止水面に一致するとき（今回の実験に対応させると $R = H.W.L.$ に相当）水位上昇量が最大になっている。

3.2 人工干潟の断面変化

- (1) 実験潮位がH.W.L. の場合
- (a) 断面変化のパターン分類

図-14は、実験ケースA（実験潮位H.W.L.）について、最終地形（波作用18時間）を初期地形からの変化量で示したものである。断面変化量の水平・鉛直スケールは上段に示してあり、右側には潜堤の天端高（ R ）、天端幅（ B/L_0 ）も示してある。実験ケースは上方から下方に向かって、潜堤を通過する波のエネルギーが増加する順番でならべてある。図-14によると地形変化は、以下のような三つのパターンに分けられる。

〔パターンI（実験ケースA-1～3）〕

このパターンには、潜堤天端高の高いケース（A-1, 2）と潜堤天端幅の広いケース（A-3）が含まれる。すなわち、潜堤を通過して人工干潟に達する波のエネルギーの少ない（透過率の小さい）ケースである。このパターンの特徴は、前浜にバームが形成され、汀線付近の

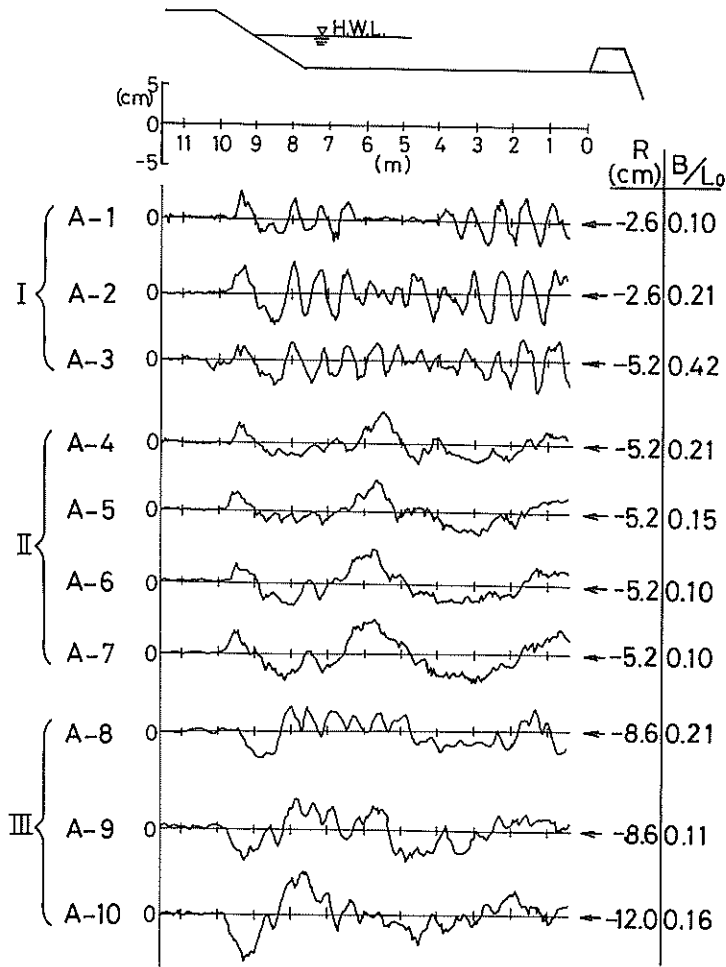


図-14 実験ケースAの最終断面（波作用18時間後）

前浜勾配が急になる(図-11(a)参照)とともに、干潟の水平部に入射波の半波長の起伏が生じたことである。前節において、半波長の起伏は入射波の一部が前浜で反射して形成される部分重複波によるものと判断された。

〔パターンⅡ(実験ケース4~7)〕

このパターンには、潜堤の天端高が $R = -5.2$ cm(M.W.L.)のものが含まれる。このパターンの特徴は前浜にバームが形成されていることと、干潟水平部に入射波の波長よりはるかに長い5 m程度の波長の起伏が生じていることである。さらに、潜堤直背後の局所洗掘を懸念した(2.1(4)参照)ところに堆積が生じていることも特徴である。しかしながら、パターンⅠのような入射波の半波長の起伏は認め難い。干潟上の波高分布(図-11(b)参照)には、入射波の部分重複波が現れておらず、さりとて5 m程度の波長の起伏に対応する波高分布にもなっていない。この長い間隔の起伏が生じた原因については、3.4において詳述する。なお、実験ケースA-6, 7は地形変化の再現性を確認するために同じ条件で実験を繰り返したものである。

〔パターンⅢ(実験ケースA-8~10)〕

このパターンには、潜堤天端高の低いケース(A-8, A-9 $R = -8.6$ cm, M.W.L. と L.W.L. の中間)と潜堤のないケース(A-10)が含まれている。この地形変化は、パターンⅠとパターンⅡの特徴が重なって生じている。ただし、長い間隔の起伏の位相は、パターンⅡと比べて岸側にずれている。そして、前浜部で侵食が生じ、パターンⅡに存在した潜堤直背後の堆積は生じていない。

(b) 人工干潟の断面変化の標準偏差

長い間隔の起伏の程度が実験ケースによってどのように変化するかを見るために、ここでは以下のようなデータ処理を行った。

各測点ごとに(岸沖方向10 cm間隔)初期地形と最終地形の差、すなわち地形変化量 Δh_i を計算する。この Δh_i に対して、重複波と対応した短い波長の起伏地形を取り除くために入射波の波長の距離で移動平均し、その結果得られる地形変化量を $\Delta \bar{h}_i$ とする。そして、 $\Delta \bar{h}_i$ の標準偏差で長い間隔の起伏の程度を比較する。

図-15は、横軸に潜堤天端高 R をとって、 $\Delta \bar{h}_i$ の標準偏差をプロットしたものである。横軸の見方は、図-13と同様である。図-15によると、長い間隔の起伏の程度は潜堤幅の広いほう(黒丸、黒三角)が小さく、また潜堤幅が $B/L_0 = 0.1 \sim 0.16$ のときは、潜堤天端高がM.W.L.以下になるとその程度は大きく、天端高がH.W.L.とM.W.L.の間になると、その程度は非常に小さくなる。

(c) 人工干潟の最大地形変化量

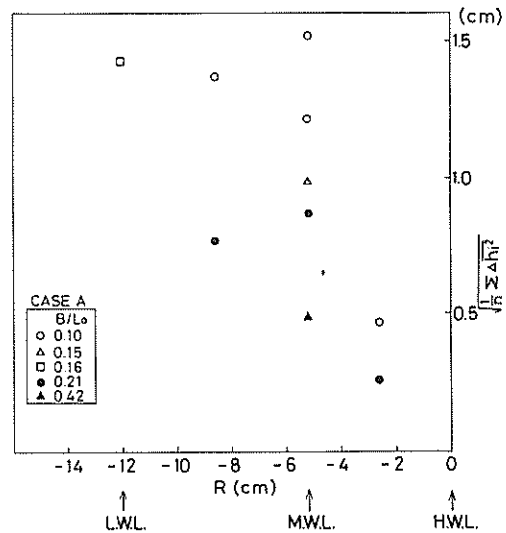


図-15 移動平均した地形変化量の標準偏差と潜堤天端高の関係(ケースA)

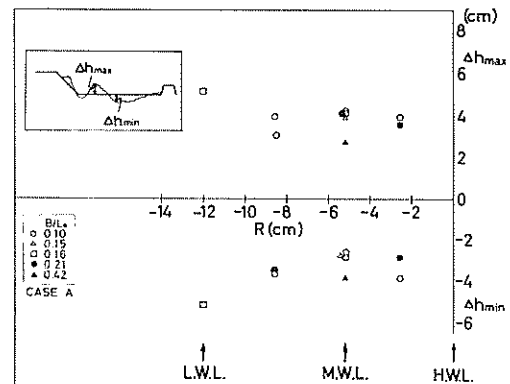


図-16 最大地形変化量と潜堤天端高との関係(ケースA)

覆砂した汚泥を流出させないという立場からは、前項に述べた起伏の大きい地形変化以外に、局所的な侵食すなわち最大地形変化量にも注意しておく必要がある。

図-16は、初期地形と最終地形の差 Δh のうち、最大堆積量を+側に、最大侵食量を-側に区別して実験ケースごとに示したものである。図によると、まず最大堆積量と最大侵食量は同程度であることが分かる。さらに、潜堤天端高が $R = -2.6 \sim -8.6$ cmの範囲では、潜堤の天端

高、天端幅に関係なく一定の最大地形変化が生じている。これは、入射波の半波長の起伏が生じるときは長い間隔の起伏が消滅し、長い間隔の起伏が顕著になるときは短い間隔の起伏が消滅するために、最大地形変化量としては結果的にはほぼ同程度になったものである。一方、潜堤天端高がL.W.L.（これは潜堤がないという意味）の場合は前浜部の地形変化が大きく（図-14、A-10参照）そのために最大堆積量、最大侵食量ともにこの実験ケース内では最も大きくなっている。

(d) 前浜地形の変化

前浜部の地形変化を調べるために、人工干潟の水平部が斜面に変化するところから岸側の範囲について、堆積の生じたところと、侵食の生じたところの地形変化量の和を別々に計算した。

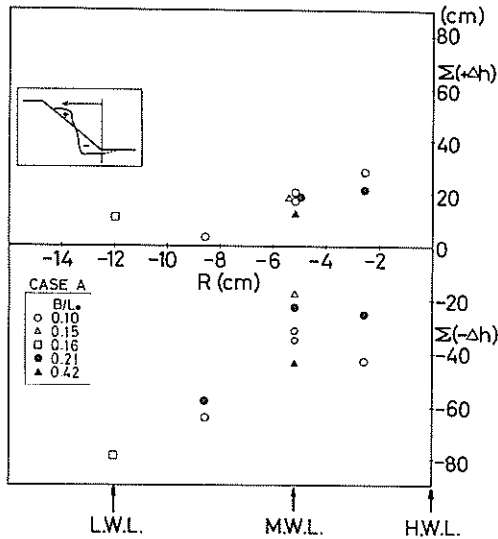


図-17 前浜の堆積、侵食量と潜堤天端高の関係(ケースA)

図-17は、横軸に潜堤天端高をとり、縦軸の+側に前浜部の堆積範囲の地形変化の総和 $\Sigma(+\Delta h)$ をとり、-側に侵食範囲の総和をとって、計算結果をプロットしたものである。図中には、計算範囲の概略図も左上側に示してある。図によると、潜堤天端高が低くなるにつれて（左方向に向かうにつれて）、堆積量は減少し侵食量が増加する。このために、 $R = -2.6 \sim -5.2$ cmの範囲では堆積、侵食量がほぼ同量であるけれども、 $R \leq -8.6$ cmになると侵食量が支配的になる。すなわち、潜堤天端高がM.W.L.以上のときは、前浜部だけで土砂の収支がとれているのに対し、天端高がそれより低くなると前浜部の

砂は沖の計算対象範囲外に運ばれることになる。前浜勾配は後者のほうが緩やかになる。このような地形変化は汀線より高い位置に形成されるバーム地形（図-14参照）と関連している。

(e) 汀線位置の変化

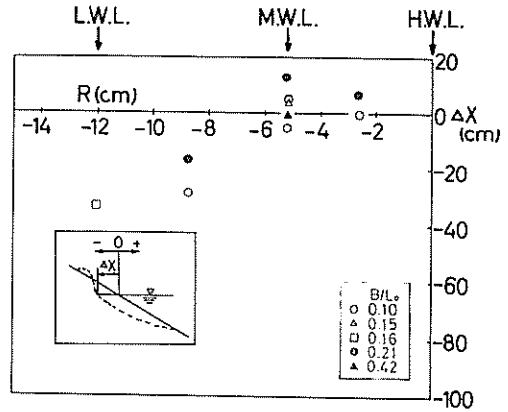


図-18 汀線の前進・後退量(Δx)と潜堤天端高の関係(ケースA)

前項に述べたような前浜部の地形変化は、汀線位置の変化にも現れる。図-18は、図中の概略図に示したように、初期汀線と最終汀線の位置の差（前進を正にとる）と潜堤天端高の関係をプロットしたものである。これによると、潜堤の天端高がM.W.L.以上のときは、汀線位置の変化はほとんど生じていない。ところが、天端高が低くなると、汀線位置は後退し、潜堤がない状態（L.W.L.）での後退量が最も大きくなっている。

(f) 人工干潟からの土砂の流失

人工干潟の覆砂材が潜堤を超えて沖へ流出する量を、潜堤背後の人工干潟の初期地形と最終地形の土量変化から求めた。この計算には、水路中心線に沿って測定した断面地形データだけを使用しているため、地形が完全に二次元的でないための誤差が計算結果に含まれている。

図-19は、横軸に潜堤天端高をとり、潜堤上の支配断面を単位幅当たり単位時間当たり通過する漂砂量 Q を示したものである。ここで Q の符号は、岸向きを+、沖向き（流失）を-とした。図によると、潜堤天端高 R が -2.6 cmのとき（M.W.L.とH.W.L.の間）は、沖への覆砂材の流失がほとんどないが、天端高が下がるにつれて $R = 8.6$ cmまで（L.W.L.とM.W.L.の間）沖への流失量が増加する。また、同じ潜堤天端高ならば天端幅の広いほうが覆砂材の流失も少なくなる傾向にある。

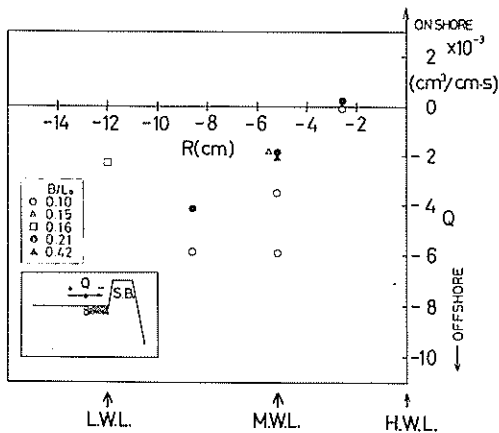


図-19 人工干潟からの砂の流失量と潜堤天端高の関係 (ケースA)

- (2) 実験潮位がH.H.W.L. (高潮)の場合
 (a) 最終地形変化の特徴

図-20は、実験潮位をH.H.W.L. (高潮)として規則波を作用させた場合(ケースB-1, B-2, 表-1参照)の波作用18時間後の最終地形を示したものである。

比較のために、上段にはケースA-5の最終地形も示した。ここに示した3ケースの実験条件の違いは次のとおりである。

- ケースA-5とB-2の違いは、実験潮位だけであり、前者のそれはH.W.L., 後者のそれはH.H.W.L. (高潮)である。
- ケースB-2とB-1の違いは、潜堤天端高だけであり、前者のそれはM.W.L., 後者のそれはH.W.L. である。ただし、潜堤幅がわずかに異なる。

その他、実験波の波高、周期、底質材料等はすべて同じである。

まず最初に、ケースA-5とB-2を比較する。これらの実験における波高分布は、図-11(b),(d)に示されている。第1に気付くことは、B-2の地形変化の起伏がきわめて大きいことである。特に $X=4\sim 5\text{ m}$ にある中央の堆積地形は潜堤の天端高より高くなっており、その沖側の $X=2\text{ m}$ 付近の侵食量はこの堆積量と同程度である。この大きな起伏の波長は 5 m 程度であり、ケースA-5を含むパターンII (図-14参照)と同じである。B-2の汀線付近は侵食を受けておりその一部は後浜上にバームを形成しているが、大部分は $X=8\text{ m}$ 付近に移動して堆積している。この部分の地形変化はケースA-5と若干異なる。一方、潜堤直背後は両者とも堆積してい

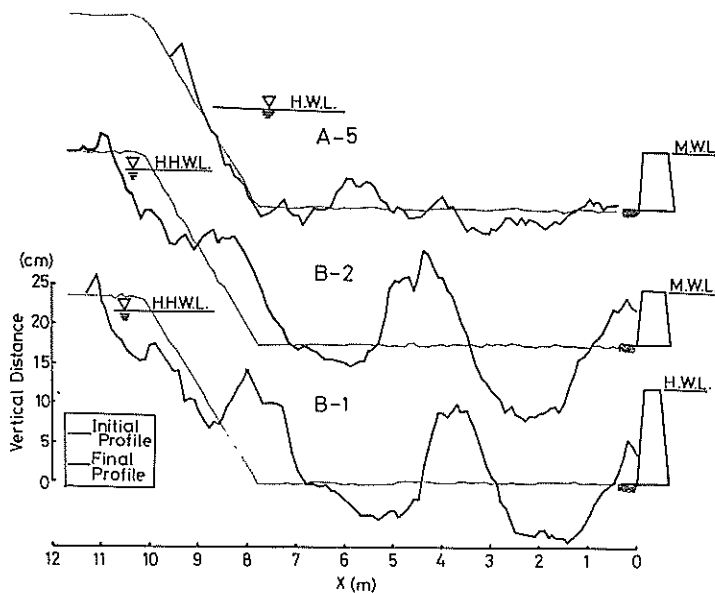


図-20 実験潮位H.H.W.L. (高潮時)の最終断面(18時間後, 規則波)

るが、その量はB-2のほうがはるかに多い。ケースB-2の最終地形の特徴を以上のようにとらえると、それは、訂線部分を除いてパターンII（ケースA-5を含む）の特徴が強調されたものであるということが出来る。

潜堤天端高さをH.W.L. まで上げた場合^{*)}の地形変化をケースB-1について見ると、中央の堆積位置がB-2より、わずかに沖側にシフトしている点を除けば、B-2の地形変化と同じであると言える。すなわち、潜堤の天端を上げることは、人工干潟に生じるきわめて大きな起伏を軽減する効果がないようである。

実際に人工干潟を造成すると、高潮時にははたしてこのような堆積量・侵食量の大きい地形変化が生じるであろうか？

(b) 断面変化の過程および時間スケール

高潮の経続時間は通常6~8時間程度であり、しかも最大潮位偏差に達している時間はもっと短い。これに対して、図-20に示したケースB-1、B-2の最終断面

地形は、波作用18時間後のものである。移動床模型実験の地形変化の時間縮尺を明確に与える考え方は、現在のところ確立していないが、実験で波を作用させた時間は現地の高潮の経続時間よりはるかに長いことは確かである。したがって、図-20のB-1、B-2のような大きな起伏が実際に生じるかどうかを議論する前に、実験の波作用時間の妥当性、および途中の断面変化の過程を検討しなければならない。

図-21は、ケースB-2について、初期、波作用1時間後、2時間後、3時間後、5時間後そして18時間後の断面形状を示したものである。この図によって断面変化の過程を見ると、人工干潟の水平部中央の堆積は、 $X = 3 \sim 4$ mの位置において1時間後の断面にすでに認められ、その後同じ位置において5時間後まで連続的に発達したことが分かる。ところが18時間後の断面地形になると、中央の堆積位置は岸側に約1 mシフトしている。目視観察によると、実験終了時には人工干潟中央の堆積

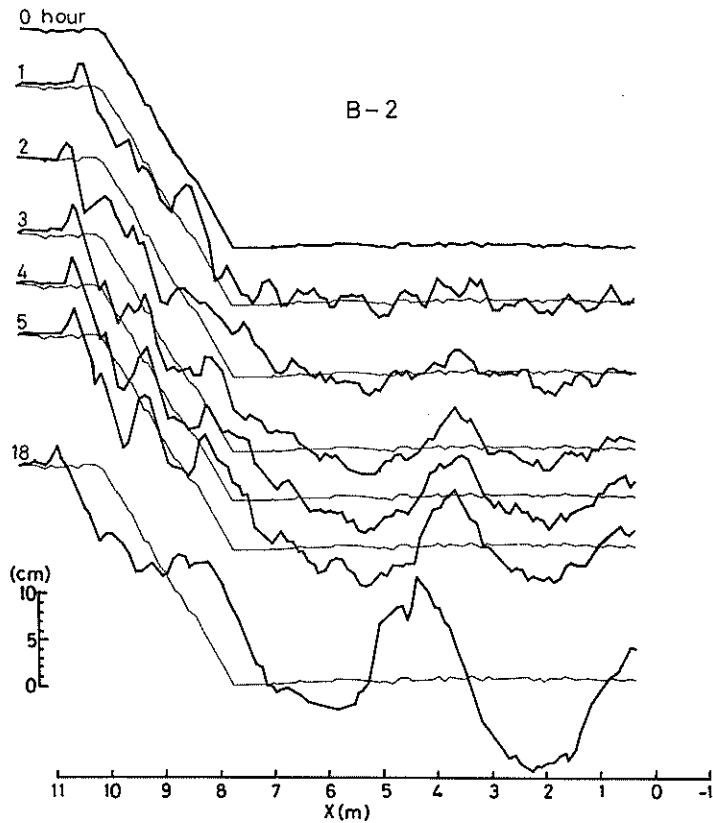


図-21 ケースB-2（高潮時）の断面地形の経時変化

* この状態では、天端がほとんど常に海面上に現れているので、もはや潜堤ではなく離岸堤と称すべきものであるが、ここでは潜堤とする。

地形（潜堤天端より高い）上で入射波が砕波していた。すなわち、大きな起伏地形があまりにも発達しすぎたために、人工干潟上の波の特性がその地形の影響を受けて変化したために、堆積位置がシフトしたものと考えられる。

さて、移動床模型実験の時間縮尺は相似則がないので、ここでは、高潮時（現地 6～8 時間）に人工海浜に入射する波の波数が現地と模型で同じになるように時間縮尺を決める。そうすると、フルード則がそのまま使用でき、

現地 6～8 時間は、模型で 1.7～2.2 時間に対応する。そこで、図-21 の波作用後 2 時間の断面地形を見ると、人工干潟中央の堆積地形およびその両側の侵食地形が程度は小さいものの認められよう。

さらに、考慮に入れておかなければならないことは、実験の初期断面は人工的にならして調整したものであるということである。実際に高潮が発生することを想定すると、発生までに人工干潟は繰り返し波浪の作用を受けてその断面形状も変化しているものと考えられる。図-

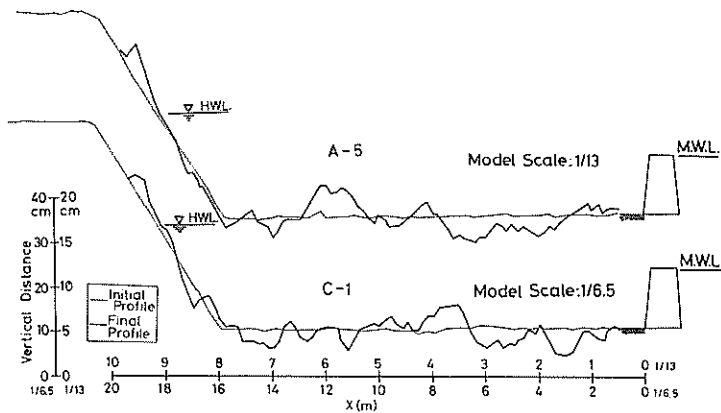


図-22 模型縮尺の異なる最終断面の比較（ケースA-5：1/13，ケースC-1：1/6.5，規則波，実験潮位H.W.L.）

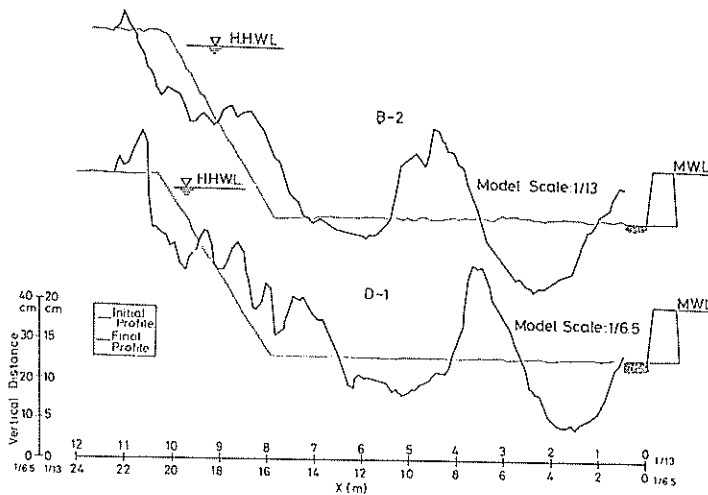


図-23 模型縮尺の異なる最終断面の比較（ケースB-2：1/13，ケースD-1：1/6.5，規則波，実験潮位H.H.W.L.）

21に示したケースB-2の潜堤形状では、図-14に示すパターンⅡのような干潟断面を実験の初期地形とするのが、より現実に近い。パターンⅡの最終地形は、おおまかに言うと、B-2の波作用後2~3時間の地形に類似しているので、これを高潮発生時の初期地形と見なすと、それから2時間後の地形(すなわち、図-21において波作用後4~5時間の地形)を見る必要がある。この地形には、干潟中央の堆積、その両側の侵食規模も大きく大きな起伏が明りょうに認められる。すなわち、実験波の作用時間についてのあいまいさはあるが、以上のように考えると、大きな起伏が実時間スケールで生じる可能性は十分にある。

3.3 縮尺効果

移動床模型実験の相似則は確立されていない。それはおもに、使用できる底質材料に限りがあるためである。このために模型の縮尺率によっては異なる地形変化が生じる可能性がある。ここでは間隔の大きな地形変化に注目して縮尺の異なる実験結果を比較する。

図-22、図-23は、それぞれケースA-5とC-1、ケースB-2とD-1の最終断面地形(ともに18時間後)を比較したものである。各図とも上段が模型縮尺1/13、下段が1/6.5であり、幾何学的実験条件は同じである。波の諸元はフルード則で対応させてある。

図-22のケースA-5とC-1の最終断面を比較すると、前浜部の地形変化は同じである。干潟中央部にもその位置がずれているが、両者ともに堆積地形が生じている。この堆積位置と潜堤の間は全体に侵食を受けている。さらに、全体の地形変化量も同程度である。ただし、異なる実験縮尺を同じ大きさで表示してあるので、実験における実際の地形変化量は異なることに注意されたい。

図-23のケースB-2とD-1の比較では、干潟中央の堆積位置がB-2のほうが岸沖にシフトしていることと、D-1の前浜基部の地形に波長の短い起伏が重なっている点が異なるが、全体の地形変化のパターンおよび変化量は同じである。

模型縮尺の異なる実験結果の比較に際して、ともに波作用18時間後の断面地形を使用しているのは厳密に言うとうまくない。ケースA-5、B-2についてはもう少し早い段階の断面地形でなければならない。このような立場で、図-21を見るとB-2の干潟中央の堆積位置はもともと $X=3\sim 4$ mのところを生じていた。すなわち、D-1(図-23)の堆積位置に一致している。

以上のことから、人工干潟断面に現われる大きな間隔の起伏は、模型縮尺が異なっても断面地形変化に本質的な差はないと言える。

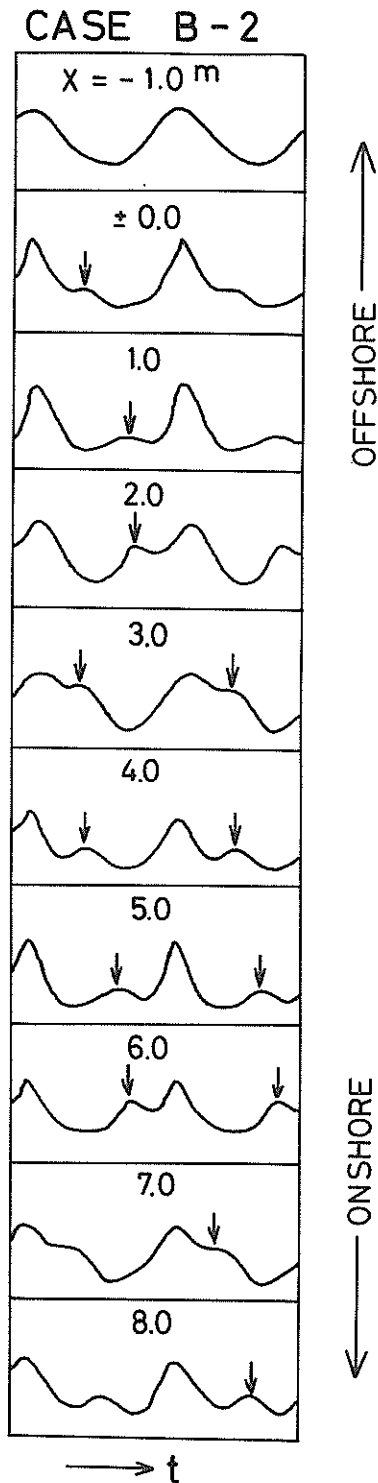


図-24 水面波形記録(ケースB, 1/13, 実験潮位H.H. W.L.)

3.4 起伏長の長い地形変化の生じる原因

人工干潟の断面変化に生じる長い間隔の起伏は、実験波の作用時間の問題でなく、模型縮尺率とも関係ないことを、3.2, 3.3で示した。そうすると、地形変化の外力である波浪にその発生原因を求めざるを得ない。すでに人工干潟上の岸沖方向の波高分布には、地形変化に対応する大きな間隔の変動がないことが分かっている(図

11参照)ので、ここでは波形そのものに注目する。なお、波形の検討は、大きな間隔の起伏地形が顕著であった実験潮位H.H.W.L.のケースについて行う。

図-24は、ケースB-2の水面波形記録を2周期相当示したものである。各波形の上に示した数字は潜堤岸側端から岸方向への距離(例えば、図-23参照)である。各波形は、入射波の峰が一致するようにならべてある。

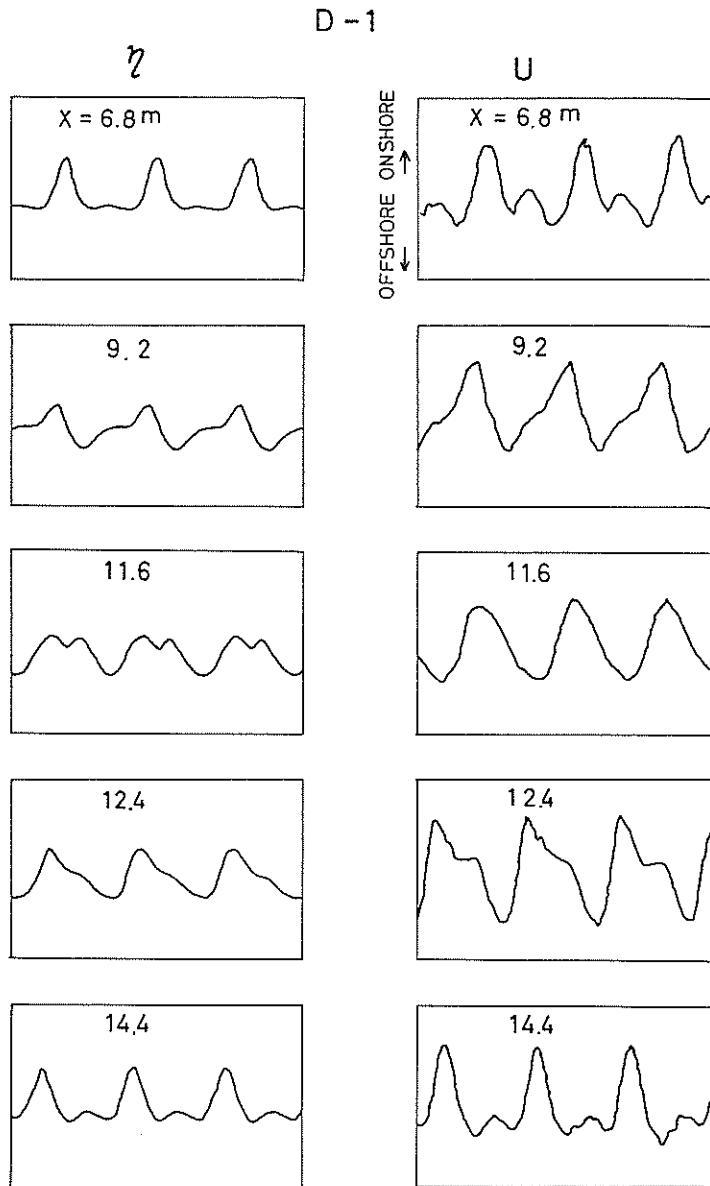


図-25 水面波形と流速波形の比較(ケースD-1, 縮尺1/6.5, 規則波)

これらの波形を見ると、図中に矢印で示した位置に波高の小さい波（二次波峰）が存在していることが分かる。この二次波峰と入射波の峰（以下主峰と称する）の相対位置関係は場所によって異なっており、それらを連続的にとらえること二次波峰が主波峰に追い越されているようすがわかる。

図-25は、ケースD-1（縮尺 1/6.5，実験潮位 H.H.W.L.）の水面波形記録と底面から3 cmの位置の流速波形記録である。流速波形は波の進行方向（岸向き）を正にとってある。各波形の上側の数値は、実験縮尺 1/6.5のときの測定位置を潜堤岸側端からの距離で示したものであり（例えば図-28参照），横にならんだ水面波形と流速波形は同じ測定位置のものである。この図においても、二次波峰が存在していることが認められ、しかもその主峰との相対位置関係は、水面波形と流速波形で同じである。

主峰と二次波峰の相対位置関係によって、全体の波形の特性が変化する。例えば、図-24の $X = 5.0$ mの波形

のように、二次波峰が主峰の間に位置する場合は、主峰が鋭くなり谷の部分が平らになる。一方 $X = 3.0$ mの波形のように、主峰と二次波峰が重なるときは、主峰も谷も同じようになだらかになり、全体として正弦波形に近くなる。そこで、波形の上下の非対称性を表す指標としてよく使用される skewness を計算し、ここではそれを二次波峰と主波峰の相対位置を示すパラメーターとして用いる。なお、skewness は、二次波峰が主峰の間に位置するとき正の値になり、二次波峰と主峰が重なるときは 0に近い値になる。

図-26は、ケースB-2の水面波形の skewnessの岸沖分布を示したものである。同図には、上段に初期断面と最終断面を、中斷に地形の変化量を入射波の一波長で移動平均して得られる地形変化を合わせて示してある。この図によると、skewnessの岸沖分布と大きな起伏地形の堆積、侵食領域とは高い相関がある。すなわち、skewnessの値が大きいところ（二次波峰が主峰の間にあるところ）では堆積が生じており、skewnessの値の

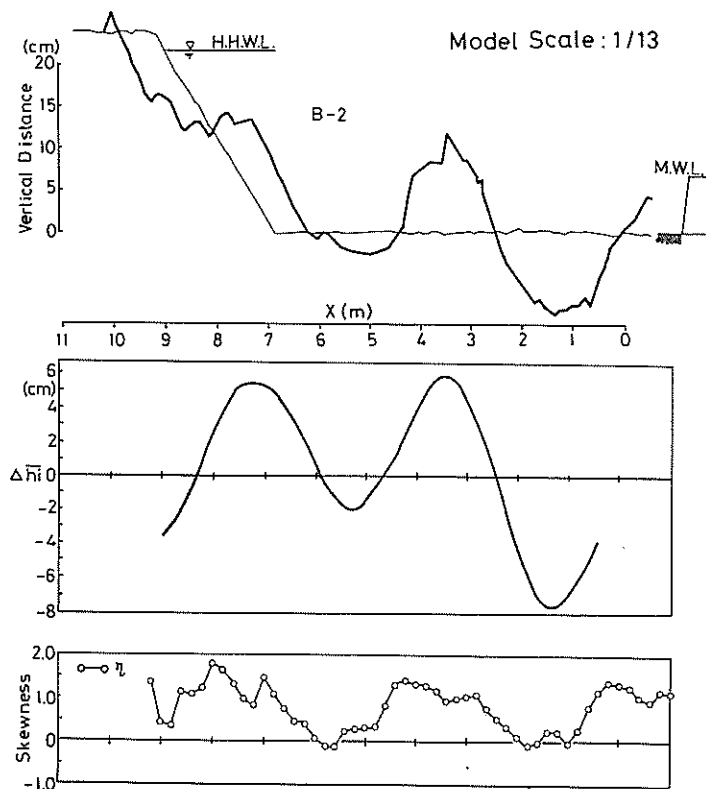


図-26 水面波形の skewness の岸沖分布と断面変化の関係(ケースB-2, 縮尺 1/13, 規則波, 実験潮位 H.H.W.L.)

小さいところ（二次波峰と主峰が重なるところ）では侵食が生じている。

図-27は、ケースD-1について水面波形と流速波形のskewnessの岸沖分布を、地形変化量とともに示した

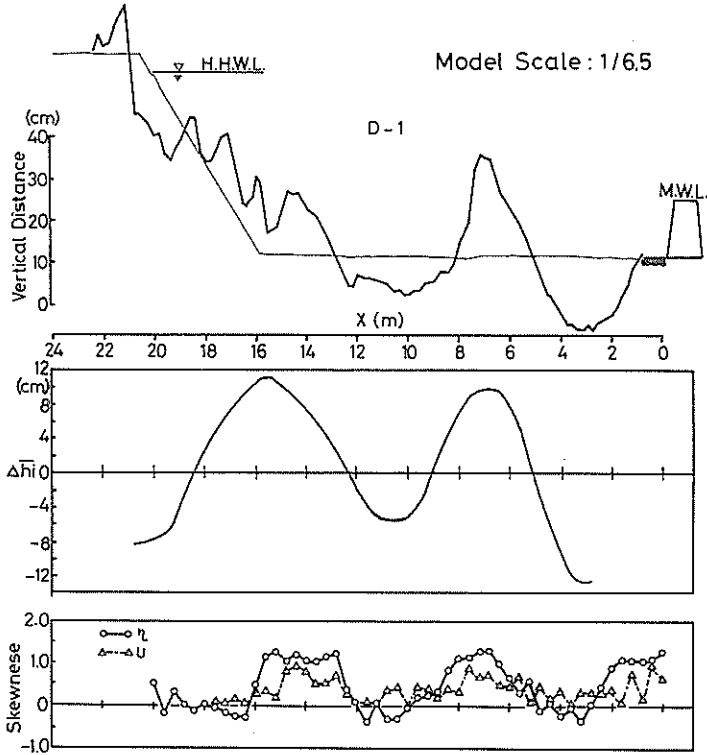


図-27 水面波形と流速波形のskewnessの岸沖分布と断面変化の関係（ケースD-1，縮尺1/6.5，規則波，実験潮位H.H.W.L.）

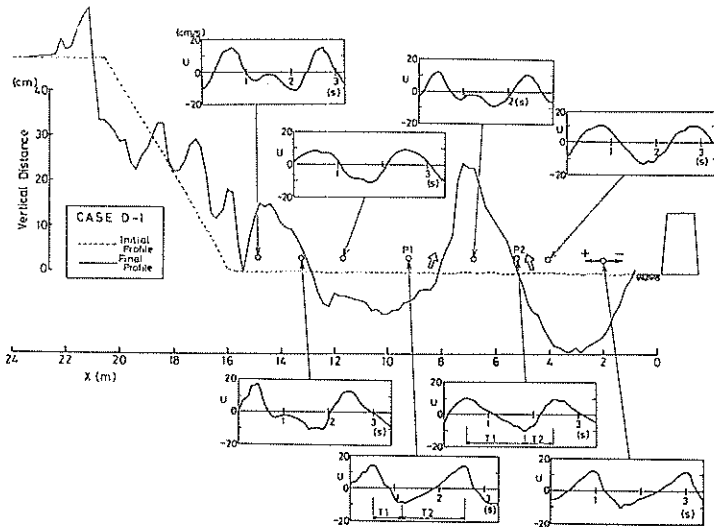


図-28 場所による流速波形の違いと最終断面地形との関係（ケースD-1，縮尺1/6.5，規則波，実験潮位H.H.W.L.）

ものである。水面波形と流速波形のskewnessがほぼ一致していることは、図-25で示したように相方の波形の特徴が同じだからである。図-27のケースにおいても、大きな間隔の起伏地形とskewnessの分布の間には高い相関が認められ、skewnessの値が大きいところで堆積、その値が0に近いところで侵食が生じている。

図-28は、ケースD-1について、人工干潟の最終地形と流速波形の位置関係を明示したものである。ここでも流速は岸向きを正にとってある。上述したように、二次波峰が主峰と主峰のちょうど中間にあるとき、およびそれらが重なるときは、全体の波形の上下の非対称性として現れる。一方、二次波峰の位置がそれ以外の相対位置にあるときは、全体の波形は前後に非対称になる。こ

のことは、例えば図-28のP1、P2地点の流速波形を見れば理解できる。

P1, P2地点の流速波形の前後の非対称性から、以下のことが言える。

- P1地点……最大岸向き流速(U が正)が生じたときから、最大沖向き流速(U が負)が生じるときまでの経過時間 $T1$ は、最大沖向き流速が生じたときから最大岸向き流速が生じているときまでの経過時間 $T2$ より短い($T1 < T2$)。このことは、逆に沖方向の加速度が岸方向の加速度より大きいことと対応している。
- P2地点……同様に考えると $T1 > T2$ となり、この地点では岸方向加速度が沖方向加速度より大きい。波速波形の前後の非対称性によって、岸方向・沖方向

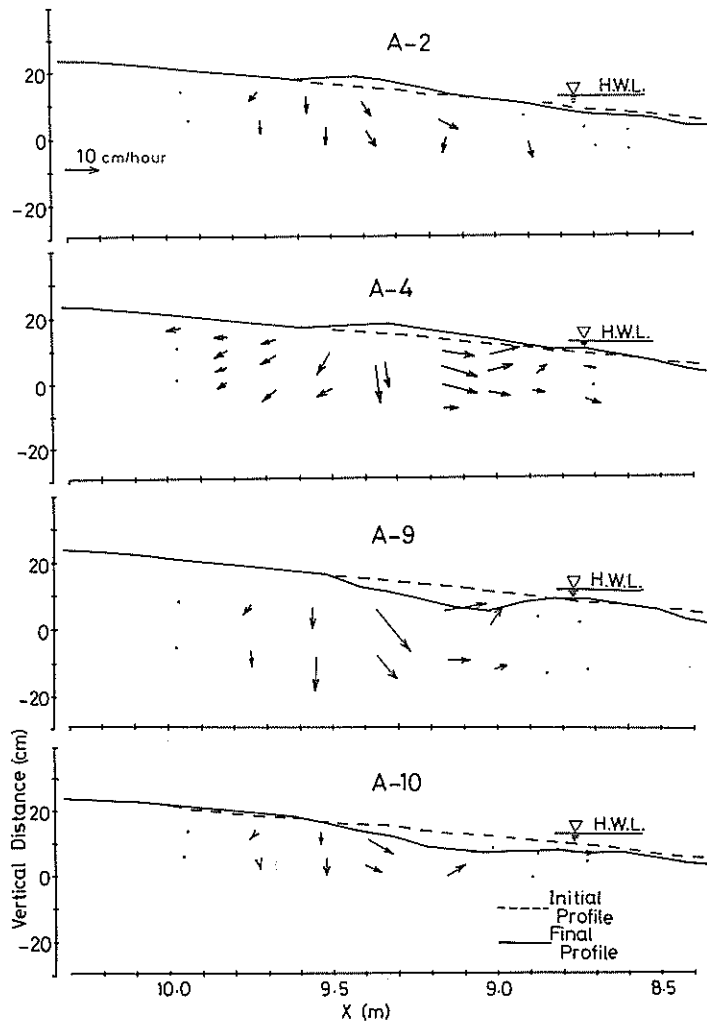


図-29 前浜の汀線近傍の砂中浸透流(ケースA, 縮尺1/13, 規則波)

の加速度が異なる場における底質移動の機構について、⁷⁾石田らは二次波峰が存在する場合、⁸⁾入江らには有限振幅重複波の場合をそれぞれ検討している。それらの結果はともに、『加速度の大きい方向にNetの底質移動が生じる』ことを示している。すなわち、図-28のP1地点では沖方向加速度が大きいので底質は矢印で示すように沖方向に運ばれる。一方、P2地点では岸方向加速度が大きいので底質は岸方向に運ばれる。その結果、P1地点とP2地点の間に堆積が生じることになり、それは実験で得られた人工干潟の断面変化と一致する。なお、底質の移動機構については、石田ら、⁷⁾入江らを参照されたい。

以上のことから、起伏長の長い地形変化は、二次波峰が存在することにより生じ、二次波峰が主峰と主峰の間にあるところに堆積が、二次波峰と主波峰が重なるところに侵食が現れると言える。

3.5 砂中の浸透流

図-29は、過マンガン酸カリウム溶液をトレーサーとして汀線付近の砂中の流速を測定した結果である。

流速ベクトルの大きさは、左上に凡例として示してある。どのケースも砂中の流速は10~20 cm/hourときわめて遅い。

砂中に流れが入っていくところは、静止水面より高い位置であり、ケースA-2、A-4ではほぼバーム項部に対応していて、ケースA-9、A-10では侵食が生じる限界位置になっている。このことは前浜へそ上した水が砂中へ浸透していることを意味している。一方、流れが砂中から出る位置は、ケースA-9、A-10では侵食量の多いところと対応しているが、ケースA-2、A-4は侵食箇所がなく、その位置も不明りょうである。

同様な測定を、人工干潟の前浜基部および水平部で試みたけれども、底面下2~3 cmに注入した染料パッチは、波作用期間中移動しなかった。

4. 不規則波による実験結果

4.1 実験波の決定

実験で発生した不規則波は、3で述べた規則波の実験結果と対比させるために、有義波周期を規則波の周期と同じにし、波高について以下の2種類のものを用いた。

- (7) 有義波高が規則波の波高と同じになる不規則波。
- (8) 沖において、規則波のエネルギーフラックスと同じエネルギーフラックスを有する不規則波。

そして、不規則波のスペクトルは、(7)、(8)ともに、次式で表現されるブレッグシュナイダー・光易型¹¹⁾とした。

$$S(f) = 0.257 \cdot H_{1/3}^2 T_{1/3} (T_{1/3} \cdot f)^{-5} \dots \dots \dots (1)$$

$$\exp [-1.03 (T_{1/3} \cdot f)^4] \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 $S(f)$ は周波数密度関数、 $H_{1/3}$ は有義波高、 $T_{1/3}$ は有義波の周期、 f は周波数である。

(8)の不規則波について、少し説明を加えておく。エネルギーフラックスは波のエネルギーと群速度の積である。沖波の場合、群速度は波速の1/2、すなわち、

$$C_g = \frac{g}{4\pi} \cdot T \dots \dots \dots (2)$$

であるので、それは周期(周波数)だけの関数である。そうすると、エネルギーフラックスを同じにすることは、エネルギーを同じにすることと等価になる。規則波の波高を H とすると、波のエネルギーの代表値 m_0 は、

$$m_0 = \rho g \frac{H^2}{8} / \rho g \dots \dots \dots (3)$$

となる。波形データの標準偏差値と m_0 の間には、

$$\eta_{rms} = \sqrt{m_0} \dots \dots \dots (4)$$

の関係が成立する。不規則波の波高がレーリー分布に従うとすれば、理論上

$$H_{1/3} = 4.004 \eta_{rms}$$

が成立する。ただし、現地のデータを整理すると、比例定数は4.004より3.8のほうが妥当のようであるので、ここでは

$$H_{1/3} = 3.8 \eta_{rms} \dots \dots \dots (5)$$

の関係式を用いる。そうすると、式(3)、(4)、(5)より、

$$H_{1/3} = 3.8 \sqrt{m_0} = 3.8 \sqrt{\frac{H^2}{8}} \approx 1.34 H \dots \dots \dots (6)$$

となる。すなわち、規則波の波高の1.34倍の有義波高を持つ不規則波を用いればよい。

図-30は、ケースB-3(縮尺1/13)の実験で使用した(7)の不規則波のスペクトルである。

図-31は、ケースB-4(縮尺1/13)の実験で使用した(8)の不規則波のスペクトルである。

図-32は、ケースD-2(縮尺1/6.5)の実験で使用した(8)の不規則波のスペクトルである。

いずれの図においても、破線はブレッグシュナイダー・光易型のスペクトルであり、実線は実験で発生させた不規則波をFFT法で解析した結果である。いずれの実測スペクトルもブレッグシュナイダー・光易型のスペクトルとほぼ一致している。ただし、ケースD-2では、低周波数側(0.1 Hz付近)に小さなエネルギーピークが

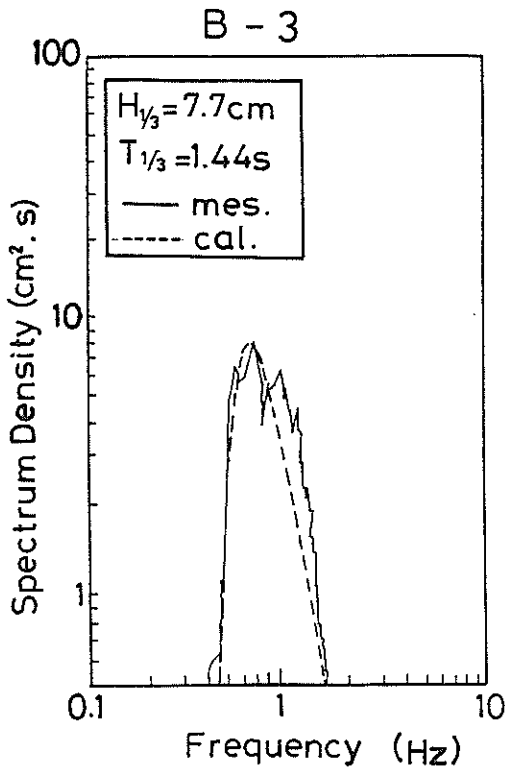


図-30 ケースB-3で発生した不規則波のスペクトル
(有義波高が規則波と同じもの)

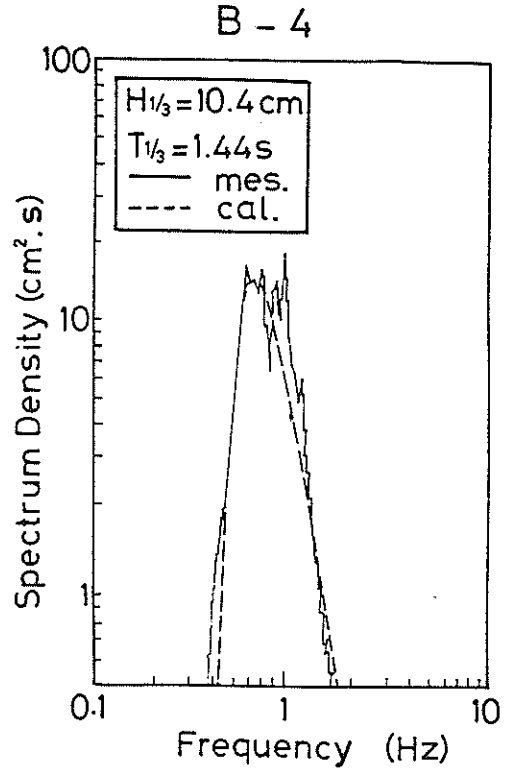


図-31 ケースB-4で発生した不規則波のスペクトル
(総エネルギーが規則波の場合と同じもの)

存在している。

4.2 人工干潟上の波の変形

不規則波を作用させたときの人工干潟上の二次波峰に注目して述べる。

図-33は、ケースD-2(縮尺1/6.5 実験潮位H.H.W.L., 潜堤天端高M.W.L.)の水面波形の同時記録である。波形の測定点は、潜堤岸側端からの距離として各図の上側に示してある。

これらの波形には、図中矢印を付したところに二次波峰が認められる。X=0mの位置(潜堤岸側端)の波形記録では、主峰a, b, dにやや遅れて二次波峰1, 2, 3が存在する。このような相対位置関係は、規則波のX=0m(図-24参照)とよく似ている。これは、入射波の潜堤上における急激な変形過程で二次波峰が発生するため、一波一波ごとに主峰との位置関係が潜堤位置において固定されているためと考えられる。

干潟水平部を波が進行する過程で、主峰が二次波峰を

追いつく現象が規則波のときには認められた(図-24参照)。規則波の場合には、追いつく位置ならびに主峰と二次波峰の相対位置は空間的に固定されていた。不規則波の場合も、後の主峰が前の二次波峰に近づくようすが図-33において認められる。しかしながら、それらの相対位置関係は空間的に固定されていないようである。例えばX=1.2mの波形によると、二次波峰1は主峰a, bのほぼ真中に位置し、二次波峰2は主峰b, eの間のb寄り位置に位置し、二次波峰3は主峰d, eの間のe寄りに位置している。これは、不規則波の場合、一波一波の周期が異なるために、波速が異なることや各波に対応した二次波峰の性質の違いによって起きるものと考えられる。同一地点における一波ごとの主峰と二次波峰の相対的位置関係のずれは潜堤から遠ざかるほど顕著になるものと推察される。

図-34は、不規則波の実験ケースB-3, B-4の水面波形のskewnessを計算した結果を示したものであり、

D-2

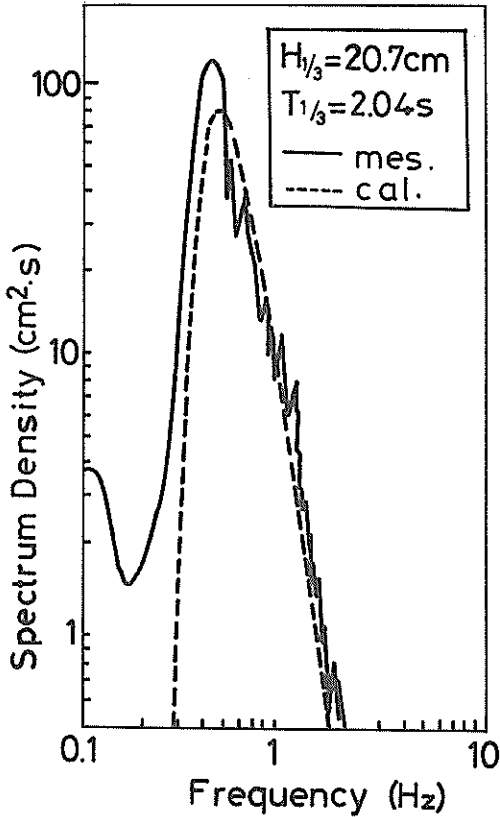


図-32 ケースD-2で発生した不規則波のスペクトル
(総エネルギーが規則波の場合と同じもの)

横軸はこれまでどおり潜堤岸側端からの距離(例えば図-26参照)である。図の上段がケースB-3(有義波高を規則波の波高と一致させたケース(i))の分布で、下段がケースB-4(入射する波の総エネルギーが規則波と一致するように有義波高を決めたケース(ii))の分布である。この図を見ると、skewnessの岸沖分布には、規則波に存在したような顕著なピークおよび周期変動(図-26, 27参照)はなく、全体がほぼ一様になっている。これは、図-33で述べたように、主峰と二次波峰の相対位置関係が空間的に固定されておらずランダムな状態で重なったために、skewnessがならされたためであると考えられる。

4.3 人工干潟の断面変化

図-35は、実験ケースB-2, B-3, B-4の最終断面地形を示したものである。これらの実験ケースの共通点は、実験縮尺1/13, 実験潮位H.H.W.L., 潜堤天端高M.W.L., 潜堤天端幅 $B/L_0 = 0.15$ (表-1参照)

であり、入射波の条件だけが異なる。すなわち、各ケースの入射波の条件は以下のとおりである。

- ケースB-2: 規則波
- ケースB-3: 不規則波(規則波と同じ有義波高)。
- ケースB-4: 不規則波(規則波と波の総エネルギーが同じ)。

この図から明らかなように、規則波の作用下で生じた大きな起伏(B-2)は、不規則波の下では生じていない。規則波のときに生じる大きな起伏は、二次波峰と主峰の相対位置関係が空間的に固定されることと関連していた。一方不規則波に伴って生じる二次波峰は、個々の波に対応するものがランダムに重なり合うので、結果的にそれは規則波のときのような影響を地形変化に及ぼさないものと考えられる。すなわち、二次波峰と主峰の相対的位置関係を示すと考えられる波形のskewnessの岸沖分布図(図-26と図-34)は、図-35の最終断面地形とよく対応している。

2種類の不規則波を用いた実験結果(B-3, B-4)を比較すると、地形変化の傾向は同じであるが、有義波高の大きいB-4の断面変化のほうが量的に大きい。例えば $X = 1 \sim 4$ mの範囲がB-4では全体に侵食を受けている。

ケースB-4の $X = 1 \sim 4$ mの範囲の侵食は、量的には異なるが場所的には、規則波を用いたケースB-2と同じである。これは、図-33のところで述べたように、干潟上の潜堤に近いところほど、主峰と二次波峰の相対位置関係のランダムさがなくなっているために、二次波峰の影響が現れたものと考えられる。

規則波と不規則波を用いた実験の最終断面地形のもう一つの違いは、前浜から後浜にかけて生じている。前者においては、前浜上部が侵食を受け、前浜下部に堆積が生じているのに対し、後者は前浜全体にわずかに侵食を受け、後浜に規模の大きなバームが形成されている。バームの高さが、波の最大そ上高さに関連しているとすれば、不規則波の最大波高に対応するので、このような規模の大きいバームが形成されると説明できる。

ケースB-4の最終断面の全体的な地形変化には、人工干潟の水平部分が勾配を有する傾向にある。すなわち、全体的に岸方向に砂が移動している。

図-36は、実験ケースD-1, D-2, D-3の最終断面地形を示したものである。これらの実験ケースの共通点は、実験縮尺1/6.5, 実験潮位H.H.W.L., 天端幅 $B/L_0 = 0.5$ (ケースD-3は0.8であるがほぼ同じとみなせる)である。実験条件は、次の項目において異なる。

- ケースD-1: 規則波, 潜堤天端高M.W.L.

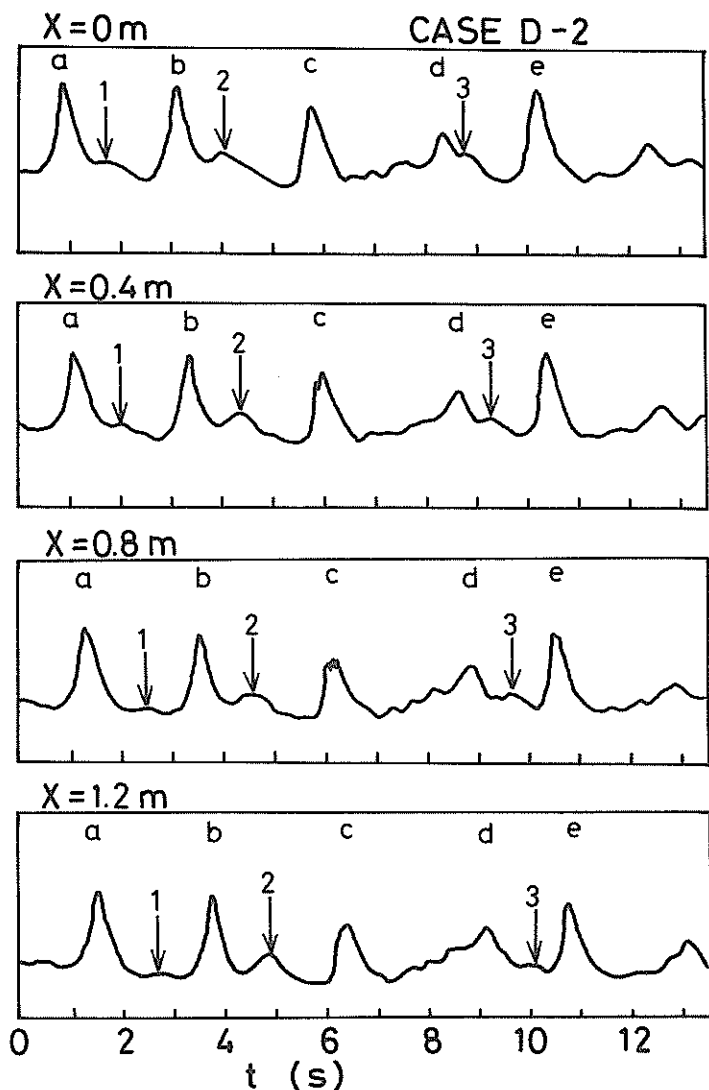


図-33 不規則波の二次波峰(ケースD-2)

- ケースD-2 : 不規則波(規則波と波のエネルギーが同じ), 潜堤天端高M.W.L.
- ケースD-3 : 不規則波(規則波と波のエネルギーが同じ), 潜堤天端高M.W.L.とL.W.L.の中間。

これらの最終断面を比較しても, 規則波の下で生じた大きな起伏が, 不規則波の作用の下では限られていない。その理由は図-35と同じである。潜堤天端高の低いケースD-3では, 前浜上部の侵食が大きく, また潜堤直背後の堆積が顕著で, 潜堤天端近くまで達している。

図-35のケースB-4と図-36のケースD-2は, 模型縮尺が異なるだけで, それ以外の実験条件は同じである。

したがって, この2つの最終断面の比較により, 縮尺効果が検討できる。人工干潟の水平部についての地形変化の相似性は高い。しかしながら, 前浜上部の侵食状況が異なり, ケースD-2のほうが大きい。この部分は潜堤上で碎波せずに干潟へ入射した波が碎波するところであった。図-32を見ても分かるように, ケースD-2では低周波数の水面変動(恐らく水槽全体の水面変動)があり, このために汀線部分の平均水深が変化し, 碎波点が岸沖方向に変動したためかも知れない。

図-37は, 実験ケースC-1, C-2の最終断面地形を示したものである。これらはともに縮尺1/6.5, 実験潮位H.W.L.で実験したものであり, それ以外の実験条件

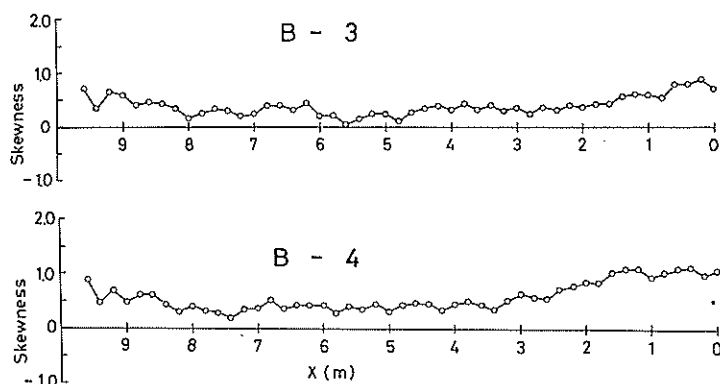


図-34 不規則波の水面波形のskewnessの岸沖分布

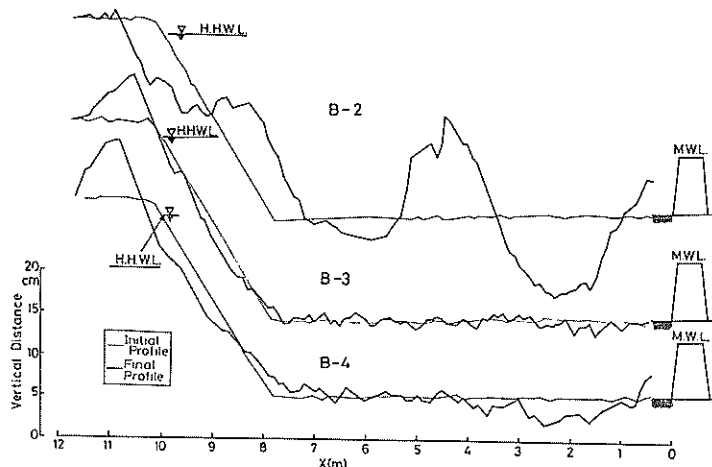


図-35 不規則波を作用させた場合の最終断面(波作用18時間後, ケースB-3, B-4, 実験潮位H.H.W.L., 縮尺1/13)

は次のとおりである。

ケースC-1: 規則波, 潜堤天端高M.W.L.

ケースC-2: 不規則波(波の総エネルギーが規則波と同じ), 潜堤天端高M.W.L.とL.W.L.の間。

この結果を見ると, 規則波での潜堤天端高さがM.W.L.のときの地形変化量に比べて, 不規則波の潜堤天端高がそれより低いときの地形変化量のほうが少なくなっている。C-1の短い間隔の起伏は入射波の一部が前浜で反射することによって部分重複波が形成されることと関連している。前浜における入射波の反射についても不規則波の場合は地形変化に及ぼす影響が緩和され地形がなら

されるようである。

5. 実験結果の現地適用について

以上に述べた二次元の移動床模型実験結果を現地に適用することを検討する。ただし, そのためには, 以下に述べる実験の制約条件に十分留意しなければならない。

- 人工干潟の変形の外力として考慮したものは年に1~2回は発生する下限の波浪だけである。したがって, 数年に1度というさらに大きな波浪を考慮した適用をしなければならない。
- 今回計画されている人工海浜は, 後浜の浜幅が広い。後浜の相当部分には波浪が直接作用することは

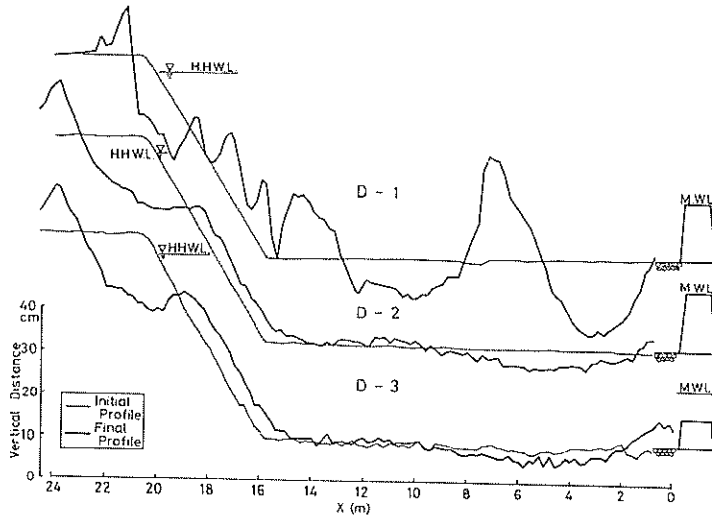


図-36 不規則波を作用させた場合の最終断面（波作用18時間，ケースD-2，D-3，実験潮位H.H.W.L.，縮尺1/6.5）

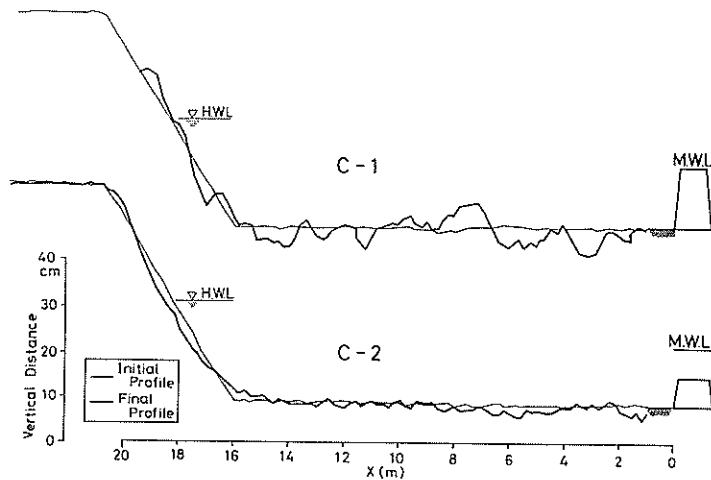


図-37 不規則波を作用させた場合の最終断面（ケースC-2，実験潮位H.W.L.，縮尺1/6.5）

ないが，風による飛砂の影響を受けて変形する可能性がある。

- 実験において潮位変動を与えておらず，しかも，H.W.L. と H.H.W.L. の潮位に限って実験を実施した。この条件では，人工干潟に達する波のエネルギーが大きくなるので，人工干潟の設計という観点からは，安全側の条件になっている。しかしながら，局所的には，潮位変動の影響を受けやすいところ

（汀線近傍）や，潮位の低いときの影響を受ける可能性がある（潜堤直背後）ところがある。

- 実験の初期地形は，すべて人為的に調整したものであり，それに一定の波を作用させたとき最終的にどのような平衡地形に達するかを実験で調べたものである。一方現地では，穏やかな海象と時化した海象が繰り返されるのであって，そのような過程を実験で再現しているわけではない。

- 実験は二次元水路で実施したものであるので、三次元的な現象、特に沿岸流による地形変化については、別途検討が必要になる。
- 移動床模型実験の歴史は古いが、そのほとんどは規則波を用いて実施されたものであり、不規則波による実験例は数少ない。このために、不規則波による実験結果と現地地形変化の対応は今後に残された研究課題となっているが、今回は不規則波の実験も実施しているので、現地適用に際しては積極的にその結果を取り入れたい。ただし、今回の実験結果によると、不規則波の下での断面変化は規則波の下でのそれに比べて少ないので、積極的に取り入れることは危険側になることに注意しなければならない。
- そして、移動床模型実験の解釈において、常に問題になるのは相似側であり、現在のところ十分には確立されておらず実験結果は経験的に定性的に判断されている。

以上のような制約条件下で、実験結果の現地適用を検討する。

〔潜堤形状〕

規則波による実験では潜堤形状（特に天端高）の違いにより3つのパターンの断面変化が生じた。すなわち、Ⅰ)間隔の短い起伏、Ⅱ)間隔の長い起伏、Ⅲ)間隔の短い起伏と長い起伏の重なったものである。このうち、間隔の短い起伏は、入射波の浜での反射による部分重複波の形成と関係しており、間隔の長い起伏は、潜堤での急激な波の変形時に生じる二次波峰と主峰の相対位置関係が空間的に固定されることと関係している。これらいずれの断面変化も実験波として規則波を使用したためと考えられた。このことは、不規則波を作用させたとき同様なパターンの断面変化が生じなかったことから言える。したがって、規則波の実験に現れた特異な地形変化は実験結果を現地に適用する場合、特に考慮に入れる必要はないであろう。

潜堤形状の重要な2つの代表値は、潜堤天端高と天端幅である。これらの入射波に対する影響は、天端高を上げる効果と、天端幅を広げる効果が同じになることである。したがって、天端高の高く幅の狭い潜堤と、天端高の低く幅の広い潜堤は結果的に同じ効果を有することになる。今回考えている人工干潟断面では、汚泥を投棄するときに設置する円形セルのような構造によって、おのずから、潜堤幅が規制されているので、ここでは、潜堤幅を $B/L_0 = 0.15$ に固定し、天端高さだけを検討することとする。

潜堤天端高は、景観上、海水交換上はできるだけ下げ

たほうが望ましい。しかしながら、潜堤天端高を下げることによって、一般に覆砂している砂の流失量が多くなる。前浜部は、潜堤天端高がM.W.L.以下になると、侵食を受け、汀線後退も顕著になる。したがって、潜堤天端高の下限はM.W.L.であると考えられる。これ以下に下げる場合は潜堤天端幅をかなり広くしなければならないであろう。

潜堤天端高をM.W.L.にした場合の支障は高潮時に現れ、前浜上部が侵食を受ける。しかし高潮の場合は、例えば、潜堤天端高をH.W.L.（すでに潜堤ではなく離岸堤である）まで上げたとしても、潜堤の入射波殺殺効果はほとんど期待できないので、潜堤構造を前提とする限りは前浜部に後述するような配慮が必要となる。

以上のことより、潜堤天端高を以下の条件付きでM.W.L.にすることができるものと考えられる。

〔前浜勾配〕

現地自然海浜の前浜勾配よりやや穏勾配であるが、前浜勾配を1/10にとれば、潜堤天端高をM.W.L.にした場合、汀線位置の変化も少なく、前浜部の地形変化も前浜部内で収支のとれたものになるであろう。

ただし高潮時には、前浜上部が侵食を受ける。侵食された砂の一部は前浜下部前面に堆積し、残りは後浜に堆積してバームを形成する。したがって、覆砂の立場からは堆積の問題はないが、侵食領域についてはあらかじめそれだけの砂の余裕を見ておく必要がある。すなわち、前浜上部の覆砂厚さを十分にとっておく必要がある。このために、前浜部および後浜部の覆砂下面を人工干潟の海中部と同様に（汚泥上面が水平になる）しておけばよい。その範囲は、前浜法先から岸方向に前浜斜面の水平距離の2倍は必要であると考えられる。

前浜部は、実験において唯一浸透流の存在したところである。汚泥の溶出防止という観点からも、また前浜部の利用度が最も多いという観点からも上記配慮が必要になる。

〔後浜高さ〕

後浜高さをH.W.L. + 1.5 mにした場合、入射波が後浜上部までそ上することはなさそうである。ただし、高潮時には、入射波がそ上する可能性が高く、後浜にバームが形成される。一度形成されたバームは自然の外力でもとに戻ることないので、海浜の有効利用上何らかの支障があるときには人工的に押し戻さなければならない。

バームが形成される範囲より岸側は波の作用を受けないので、覆砂厚さ薄くすることができる。すなわち、汚泥上面を上げることができる。この範囲の覆砂厚さは別の観点から決めることになる。

〔覆砂厚さ〕

人工干潟の水没するところの断面はL.W.L.で水平床にしていて特に著しい問題はなさそうである。水平床とした場合の不規則波による最大侵食量はケースB-4に生じておりそれは現地換算50cm弱である。しかしながら、移動床模型実験の相似則が確立されていないので、実験値を直接換算する訳にはいかない。また、実験では人為的に整えた初期断面に一定の波浪を作用させたときの断面変化を再現しているものであり、現地の状況を忠実にシミュレートしてはいない。さらには、ケースB-4において、断面全体がわずかに水平床から勾配を有する断面に変化するような傾向もうかがえる。このようなことから、50cmという侵食量は、覆砂厚さをその程度にすればよいという意味ではなく、覆砂厚さをその程度にしたのでは間違いなく汚泥の流出が生じる量であると考えべきである。したがって、安全率2~3を見込んで1.0~1.5mの覆砂厚が必要となろう。

〔潜堤背後の局所洗掘防止〕

今回の実験では、潜堤直背後の局所洗掘防止をした範囲に砂が堆積したケースが多く、侵食を受けたケースはなかった。このことからすぐに、潜堤直背後に局所洗掘対策を施さなくてよいと考えるのは早計である。というのは、今回の実験潮位はH.W.L.とH.H.W.L.だけに限られているからである。潮位がさらに低くなると、潜堤上で碎波した波が¹¹⁾つっ込むようになることは十分に考えられ、他の実験結果では局所洗掘が生じている。また、何らかの原因で、局所洗掘が生じると潜堤の下部構造物である円形セルの肩が干潟面上に現れることになる。そうなると、その回りでの流体運動に伴う乱れが生じ、ますます局所洗掘が増長されるであろう。このようなことを考慮すると、潜堤直背後には局所洗掘対策を施しておく必要がある。

〔今後の課題〕

以上述べたことは、二次元断面実験の結果に基づいており、現象の三次元性は考慮されていない。現象の三次元性で特に問題となるのは沿岸流の発生である。したがって、上記結果を現地適用する際には、できる限り沿岸流の発生しない汀線形状・汀線方向としなければならない。浜の平面形状だけでは、十分沿岸流をコントロールできないときは、別途移動床の平面実験が必要になろう。

自然の砂浜は漂砂の供給源があって維持されている。これに対して人工干潟の場合は、供給源はまったくなく砂は流出する方向にしか移動しない。したがって、人工干潟を維持するためには、砂を追加投入する必要がある。移動床実験の結果から、必要な砂投入量を推定すること

は、非常に困難であるので、人工干潟造成後は当分の間定期的に干潟地形を測量し、そのデータから投入量を判断することが大切である。

人工干潟からの見かけの砂の流出として、汚泥の圧密沈下により、干潟面のレベルが低下することが考えられる。この場合は覆砂厚さに変わりなく、水深が深くなるだけであり、潜堤を透過した波の海底面への作用の程度は弱くなるので、汚泥の流出防止の観点からは問題ないであろう。

実際には、砂の流失と圧密沈下の両者が複合して干潟面のレベル低下が生じるのであろうから、両者の寄与を分離するために、人工干潟造成時の施工断面は十分に記録し大切に保管するとともに、覆砂厚の変化についても追跡調査する必要がある。

6. おわりに

本報告は、汚泥を覆砂した二層構造の人工海浜の安定性に関して、現地海岸を想定して二次元の移動床模型実験を実施した結果およびその現地への適用について述べたものである。いわば、応用研究的な面が強いが、本実験の結果は、今後の漂砂関係の実験について重要な方向を与える結果にもなっている。

古くより移動床模型実験は試みられているが、相似則が確立されていないために、その結果を現地に適用する際には定性的にならざるを得ない。このことに関して、自ら数多くの実験を担当し、現地のさまざまな漂砂問題を解決した前港湾技術研究所長佐藤昭二博士は、その豊富な経験に基づいて、『私の行った実験のほうが現地の特性より誇張されて現れる場合が多かった。したがって、実験結果を現地に適用するにあたっては、実験結果を多少割り引きしている。』¹⁰⁾と云っている。

本実験結果によると、3.4、4.で述べたように、移動床模型に規則波と不規則波を作用させたときの最終的な断面形状が異なり、前者の断面変化ははっきりとしており、後者は前者の結果をならず傾向にある。このことと、これまでの移動床実験のほとんどは、規則波のもとで実施されたことを考えると、移動床模型実験の相似則が確立していない現在、結果の現地適用にあたって定量性により近づくためには、現地を対象とした実験では不規則波の下で実施しなければならないと思う。

なお、本実験の目的は、閉鎖性内湾の底質浄化に関連して造成する人工干潟の諸元を検討することである。この実験結果を現地適用するときに、制約条件を常に忘れるわけにはいかない。この意味において、結果だけをここに要約することを避け、第5章全体を本報告の結論と

したい。

最後にあたり、実験の計画・実施・とりまとめすべてにわたり、当所田中則男海洋水理部長からは、多くの有益な助言をいただいた。また、図面の整理では、漂砂研究室浅倉弘敏技官の手をわずらわせた。ここに記し、謝意を表したい。

(1985年3月30日受付)

参 考 文 献

- 1) 田中則男・小笠原 昭・小山内英雄：養浜工に関する研究(その1)，港湾技術資料，No. 260，1977，86p.
- 2) 田中則男・小山内英雄：養浜工に関する研究(その2)，港湾技研資料，No. 326，1979，50p.
- 3) 運輸省港湾局・人工海浜建設技術開発ワーキンググループ：人工海浜の建設技術マニュアル，1979，112p.
- 4) 運輸省第三港湾建設局神戸港工事事務所：波浪データによる波の統計整理報告書(その2)，神調資料 No. 306，1980，pp. 77-151.
- 5) 運輸省第三港湾建設局神戸港工事事務所：神戸港波浪観測データ定常整理および解析報告書，昭和53年～昭和54年，1981，157p.
- 6) 加藤一正・田中則男・灘岡和夫：前浜の二次元的地形変化と潮位・波について，第28回海岸工学講演会論文集，1981，pp. 207-211.
- 7) 石田 昭・林 功・高橋宏道：沖浜領域における縦漂砂量の算定方法に関する研究，第28回海岸工学講演会論文集，1981，pp. 188-192.
- 8) 入江 功・近藤隆道・灘岡和夫・寺崎賢次：重複波による防波堤前面での二次元的海底洗掘 底質の移動機構に着目した研究，港湾技術研究所報告，Vol. 23，No. 1，1984，pp. 3-54.
- 9) 合田良実：港湾構造物の耐波設計・波浪工学への序説，鹿島出版会，1977，237p.
- 10) 佐藤昭二：海岸漂砂について思う，港湾海岸防災協議会，みなとの防災，第83号，1984，pp. 1-3.

港湾技研資料 No.527

1985・6

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 有限会社アオイ総合印刷

Published by the Port and Harbour Research
Institute Nagase, Yokosuka, Japan.