

養浜工に関する基礎実験

堀 川 清 司\*・佐々木 民 雄\*\*

1. 概 説

国土の高度利用化、とくに海岸地域の土地利用、河川改修、ダム建設等の原因により、従来一部の地域に限られていたと思われる海岸欠潰が各地で大きな問題となっている。

その対策としては従来から、突堤、護岸および離岸堤が主として施工されてきた。これらの構造物は一時的に汀線を安定させ、あるいは前進させるが、また逆に欠潰を促進させる効果をもつ場合のあることも認識されている<sup>1)</sup>。欠潰の原因が根本的には供給土砂量の不足にあることを考えると、現状では人工的に砂を供給する人工養浜がもっとも妥当な対策といわねばならない。

養浜工は欧米で実施例が多いが、その方法については不明な点が多い。養浜工は突堤、離岸堤等の構造物とあわせて施工することが多いが、著者らは離岸堤のある海岸を考え、その内側および外側に養浜する場合の比較実験を行なった。以下にその概要を報告する<sup>2)~4)</sup>。

碎波帯の水理現象、移動床の相似則が明らかでない現在、このような実験は非常に困難な問題を含んでいる。そこで上記の比較実験とともに自然海岸の浮遊砂（碎波帯内）、海底地形に関する二次元実験をもあわせて行なった。

実験は昭和 42 年度は底質材料として天然砂を用い、昭和 43 年、昭和 44 年度はそれぞれ砂より比重の軽いパーライト、メサライトを用いた（図-1、表-1）。

2. 養浜工に関する平面実験

(1) 実験設備および実験方法

実験に用いた水槽は 15m×15m の平面水槽（図-2）である。造波機はフラップ式で前面に反射波除去のため金網製のフィルターを設置した。海岸の模型は造波板と汀線の法線が 30° となるように 移動床材料をしいて作成した。離岸堤の模型は碎石を用い、中心には 3cm×3cm の断面のモルタル製コアを入れ、形の変化を防ぐために金網を用いた（図-3）。

実験の縮尺は水槽の大きさ、沿岸方向の広がり等を考

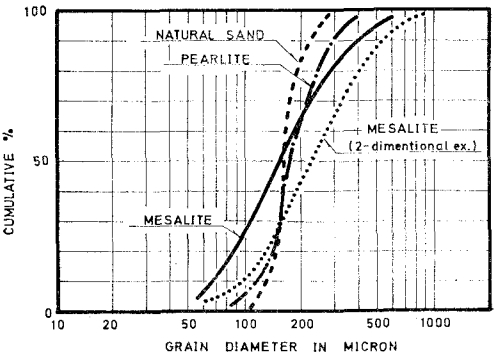


図-1 底質材料の粒度

表-1 底質材料の特性

| 実験年次<br>(昭和) | 材 料   | 中央粒径<br>(μ) | 水 温<br>(°C) | 沈降速度<br>(cm/sec) | 比 重    |
|--------------|-------|-------------|-------------|------------------|--------|
| 42 年         | 砂     | 160         | 18          | 2.2              | 2.65   |
| 43 年         | パーライト | 170(115)*   | 10          | 1.4              | 2.00** |
| 44 年         | メサライト | 150(74)*    | 5           | 0.8              | 1.70** |
| (現地)         | 砂     | 300         | 10          | 6.0              | 2.65   |

\* 沈降速度で補正した砂への換算値  
\*\* 沈降法により求めたみかけの比重

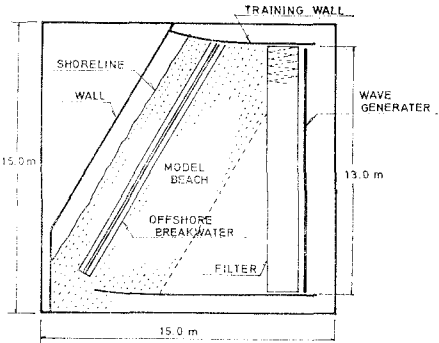


図-2 実験水槽平面図

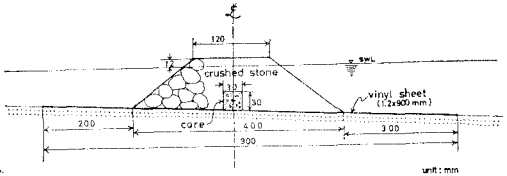


図-3 離岸堤模型断面図

\* 正会員 工博 東京大学教授 工学部土木工学科  
\*\* 学生会員 東京大学大学院工学系研究科土木工学専攻

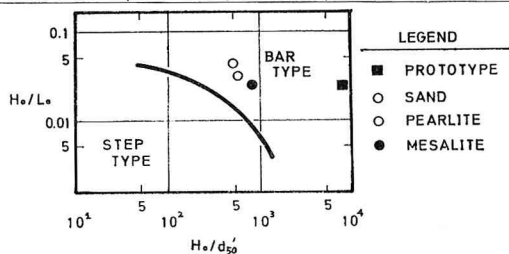
えて縦横それぞれ 1/50 とした\* (パーライトとメサライトの場合)。従来移動床実験では ひずみ模型が用いられていたが、砂より比重の軽い材料を用いることにより、ひずみなしの模型実験が可能なが予備実験によって判明した。

底質材料のパーライトは建築用の断熱材の中間製品であり、福島県産の真珠石を加工したものである。また、メサライトは人工軽量骨材として用いられている細骨材をハンマー・ミルで粉碎して用いた。

実験条件は表—2 のとおりである。波高は新潟海岸の冬期 4 カ月 (12 月より翌年 3 月) の波高の 2 乗平均波高を求め、2 次元の予備実験を行ない海底地形が現地にもられる bar 型海浜になるように適当なひずみ度を求めて実験波高を決定した。2 乗平均波高を計算したのは砂を移動させる波のエネルギーは実質的には波高の 2 乗に比例する (周期の変化はあまり大きくない) と考えたからである。これらを bar の発生限界を示す岩垣・野田 (1963) の図にプロットしたのが図—4 である。波向は実験室では、もっとも沿岸漂砂の多い波向として  $30^\circ$  とした。

表—2 養浜実験の実験条件

|                              | 現 地               | 実 験               |                   |                   |
|------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                              |                   | 昭 42              | 昭 43              | 昭 44              |
| $d_{50}'$ (砂換算)              | 300 $\mu$         | 160 $\mu$         | 115 $\mu$         | 74 $\mu$          |
| $H_{30}$                     | —                 | 7.7 cm            | 6.0 cm            | 5.1 cm            |
| $H_0$                        | 2.53 m            | 8.4 cm            | 6.5 cm            | 5.6 cm            |
| $H_0/d_{50}'$                | $8.4 \times 10^3$ | $5.3 \times 10^2$ | $5.6 \times 10^2$ | $7.6 \times 10^2$ |
| $T'$ (sec)                   | 8                 |                   | 1.13              |                   |
| $L_0$                        | 99.8 m            |                   | 199 cm            |                   |
| $H_0/L_0$                    | 0.0253            | 0.0421            | 0.0324            | 0.0282            |
| $\nu$ (cm <sup>2</sup> /sec) | 0.011             | 0.010             | 0.013             | 0.015             |



図—4 bar の発生限界

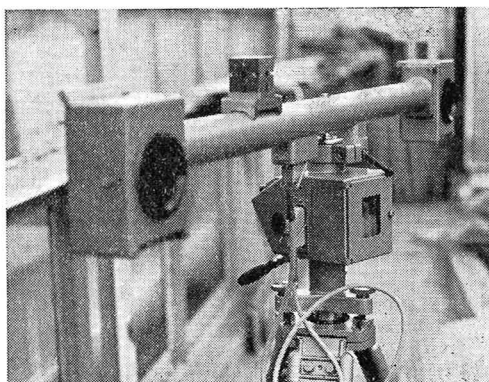
表—3 に実験ケースを示した。各底質材料に対してそれぞれ離岸堤の内外に養浜するケース、離岸堤のみのケース、自然海岸のケースとを行なった。表中の S, P, M はそれぞれ、砂、パーライトおよびメサライトを用いたことを示す。

養浜砂は CASE-1, 2 とともにほぼ同量とした。波の作用時間は 5 時間とし、波の作用前 (記号: 000)、15 分後 (同: 015)、および 5 時間後 (同: 500) に海底地形の測

表—3 養浜実験の実験ケース (地形変浜)

| CASE |     |     | 記 号         |             |             | 説 明     |
|------|-----|-----|-------------|-------------|-------------|---------|
| 昭42  | 昭43 | 昭44 | 000<br>波作用前 | 015<br>15分後 | 500<br>5時間後 |         |
| S 1  | P 1 | M 1 | ○           | ○           | ○           | 離岸堤内に養浜 |
| S 2  | P 2 | M 2 | ○           | ○           | ○           | 離岸堤外に養浜 |
| S 3  | P 3 | M 3 | ○           | ○           | ○           | 離岸堤海岸   |
| S 4  | P 4 | M 4 | ○           | ○           | ○           | 自然海岸    |

○印は実験を行なったケース



写真—1 地上写真測量カメラ

量を行なった。015 と 500 の測量には Zeiss SMK 120 型の地上写真測量カメラを用いた。また 500 直前に波形の写真測量を行なった。地形、波形とも沿岸流の上流端導波板より 1 m のところより沿岸方向に 10 m、沖向きに 6 m の範囲を図化した。

実験は CASE-4 → 3 → 1 → 2 の順序で行なった。まず、CASE-4 の自然海岸の実験では約 1/30 の一様勾配の海浜をつくり、5 時間後の平均断面を求め、そこに離岸堤を設置した。さらに、この断面で 5 時間波を作用させ、5 時間後の平均断面を求め、これを CASE-1, 2 の養浜実験に用いた。

## (2) 実験結果

図—5.1~5.4 は CASE-M 1~M 4 の波作用 5 時間後の地形である。まず図—5.4 をみるとスパン約 2.5 m の周期的な地形をみることができる。現地においても bar のある海岸では 100~1000 m くらいのスパンでみられる。写真—2 に実験の一例を示した。離岸堤海岸ではこのような地形はそれほど定かではない。これは現地でも同様である。むしろ離岸堤による反射波によって部分重複波が発達している。

堤外に養浜する場合 (図—5.2) では養浜砂によって自然海岸に近い周期的な浅海地形が再びみられる。堤内養浜の CASE-M 1 では堤外の漂砂ストックが少ないのでこのような地形はほとんど見られない。

図—6 は 図—5 より各ケース 21 本の断面をとり平均した“代表断面”で地形の時間変化を示した。M 1 の堤内養浜では養浜砂は一部堤外へ流出し、一部は背後に押

\* 砂の場合は鉛直方向に 1.5 倍のひずみをつけ鉛直縮尺を 1/33 とした。

し込まれ前浜頂 (berm crest) を形成する。離岸堤前面はやや欠潰する。M2の堤外養浜ではかなりの量が堤内に入り、堤内水深を浅くする。また一部は沖へ運ばれる。

図-7 は堤外養浜のケースの波形図である。図-8 は各ケースの波の代表的な断面図であるが、離岸堤のあるケースでは著しく波が変形されている様子と堤内の pile-up が観察される。波形図より各ケースの最大波峯高を読みとると表-4のように自然海岸が最小、離岸堤海岸が最大で養浜のケースがその中間であり、堤外養浜の場合は堤内養浜の場合より小さい。

現地と模型との時間縮尺の検討をするために蛍光砂による漂砂移動の追跡を行なったがその一例としてパーライトによる離岸堤海岸のケースの例を図-9に示す。波作用前に投入した蛍光砂の5時間後の分布である。

### (3) 養浜効果

本実験は離岸堤の内側および外側に養浜する場合の実験であり、条件も限られているが、本実験から得られた情報から養浜効果について検討してみたい。図-10は砂、パーライトおよびメサライトによる養浜実験の“代表断面”をそれぞれ、離岸堤海岸のそれと比較して、欠潰、堆積の様子を示したものである。

#### a) 離岸堤内に養浜した場合

この場合は底質材料の相違による実験結果の差は基本的には有意ではないと考えられる。まず堤内では、施工法を考えなければ明らかに堤外養浜より有利と考えられる。これは養浜によって新たな土地が得られ、たとえばレクリエーションのためのオープン・スペースとして利用され得るし、汀線が直接保護されることによる市民への心理的安心感も得られるであろう。ただし、この場合堤内の水深は離岸堤のコアの天端高によって決まるので、離岸堤の維持が必須の条件である。堤外については本実験より得られた範囲の情報ではほとんど効果を期待できないようである。

#### b) 離岸堤の外側に養浜した場合

堤内については堤外より流入した養浜

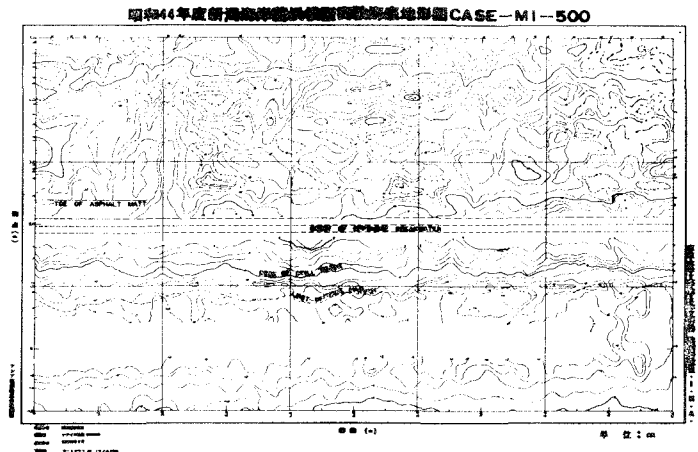


図-5.1

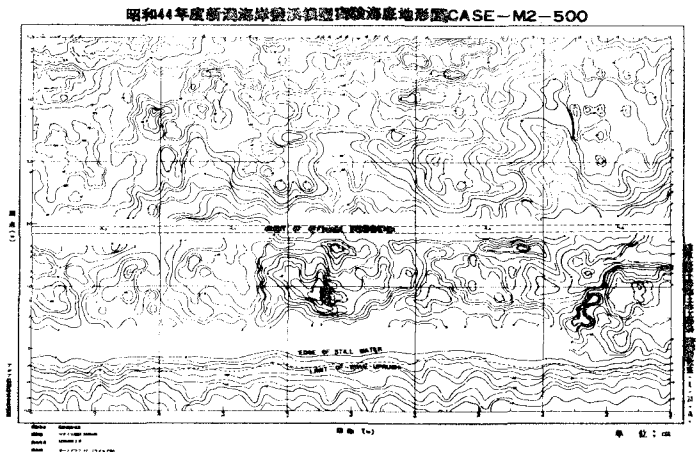


図-5.2

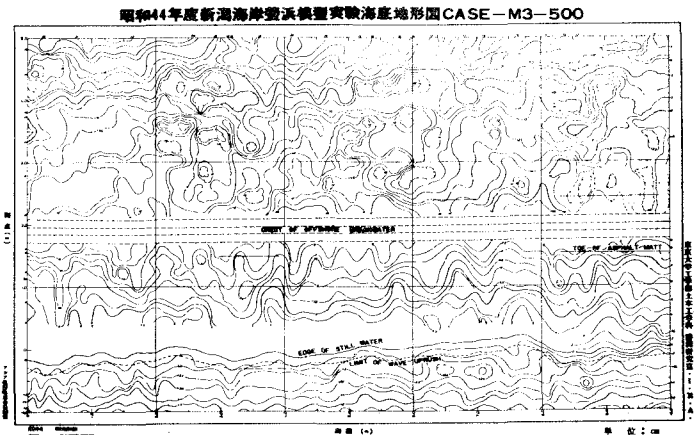


図-5.3

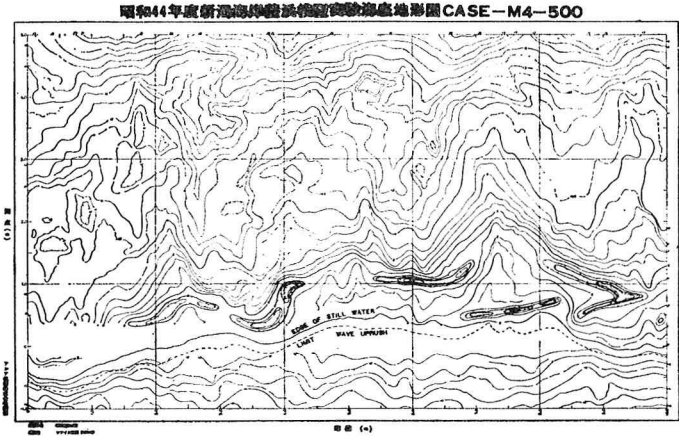


図-5.4

図-5.1~5.4 海底地形平面図

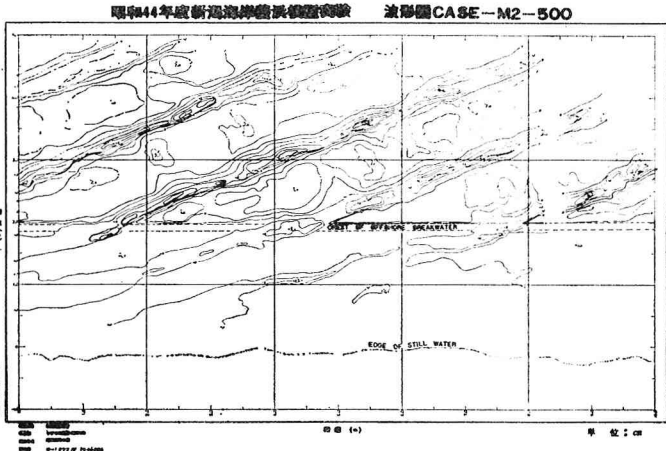


図-7 波形図 CASE-M-2-500

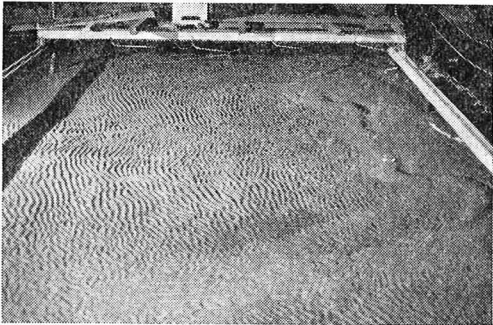


写真-2 自然海岸の海底地形実験

砂が堤内水深を浅くし波浪を減衰させることにより間接的な効果があるが、堤内養浜ほどではない。

堤外についてはかなり沖合まで養浜砂が広がり、かなりの水深まで欠潰を防止する。図-10 によれば堆積の形態は底質によってかなり異なるようであるが、パーラ

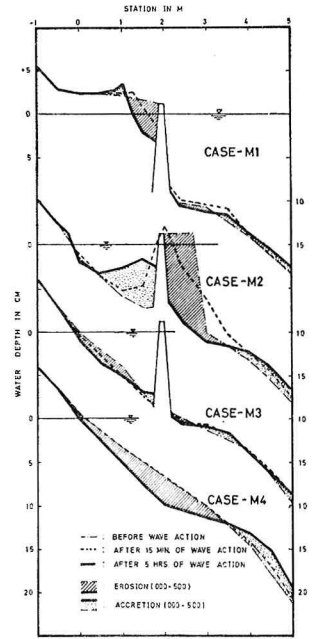


図-6 代表断面の時間変化

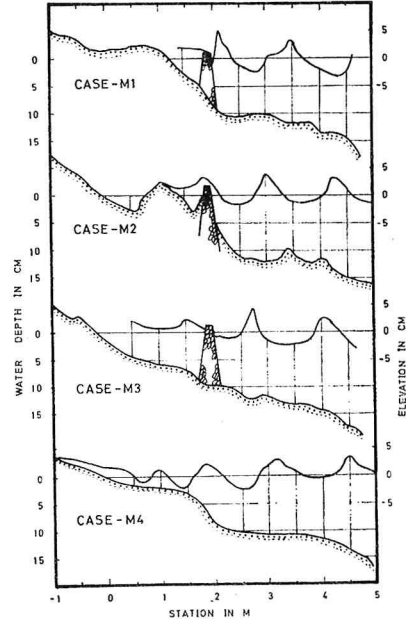


図-8 波形断面図

イトのケースで堆積量が少ないのは養浜砂の絶対量が他のケースに比し少なかったためと考えられる。時間縮尺

表-4 最大波峰高

| CASE        | 静水面上の最大波峰高 (cm) |
|-------------|-----------------|
| M 1 (堤内養浜)  | 7.4             |
| M 2 (堤外養浜)  | 6.4             |
| M 3 (離岸堤海岸) | 7.8 (最大)        |
| M 4 (自然海岸)  | 3.7 (最小)        |

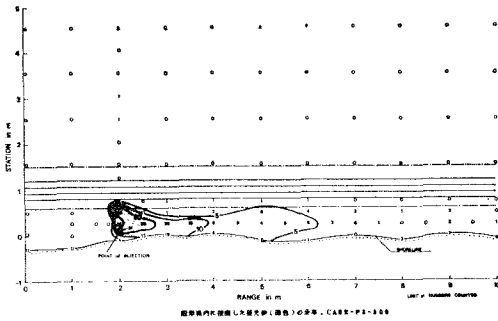


図-9 蛍光砂分布図

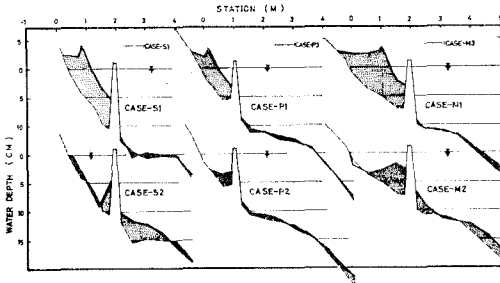


図-10 養浜効果

については後述するが、この場合、何年養浜砂がもつかは重大な問題である。また、とくにこの方法ではかなり大量に投入することが重要であろう。

総じて、欠浜の現象はかなり深いところ(たとえば20~30m)から進行している場合が多い点を考えれば堤外養浜は長期的視野に立った養浜工法、堤内養浜は比較的短期的な効果を期待する養浜工法として特徴づけられるのではないと思われる。

実際には、たとえば SOGREAH によって計画されたモンテカルロの Larvotto 海岸<sup>5)</sup>の養浜のように種々の工法(突堤、潜堤、離岸堤)の特徴を効果的に併用することによって効果をあげているようである。

なお、養浜砂の粒度は本実験では底質と同じものを使用しているが、成功した養浜工法の例ではいずれも粒度の選定には十分な配慮が払われ底質より大きな粒径のものをを用いて成功しているようである。

### 3. 浮遊砂と海底地形に関する二次元実験

もっとも漂砂の活発な砕波帯の現象はその複雑さのために不明点が多い。三次元の現象を把握する手だてとして二次元水槽を用いて砕波帯内外の浮遊砂の分布と海底地形に関して若干の実験を行なった。

浮遊砂についての研究には本間・堀川(1963)、本間・堀川・鹿島(1964)の水平床による実験と鉛直分布の式、福島ら(1955~1959)の数多くの現地観測、Fairchild(1959)の実験があるが砕波帯をとくに対象としている

わけではない。砕波帯の浮遊砂の研究はわずかに Medvedev-Aibulatov (1958)<sup>6)</sup>、Watts (1953)<sup>7)</sup>の現地観測、Kennedyら(1969)<sup>8)</sup>の実験があるのみである。いずれもパイロット的な研究でありデータは少ない。

著者らは Fairchild (1956)<sup>9)</sup>の考案したサンプラーを用いて砕波帯沖側より汀線までの区間、とくに砕波点の浮遊砂分布を精密に測定した。実験ケースが少なく、まだ一般的な現象として述べるには至っていない。

#### (1) 実験設備および実験方法

長さ25m、幅60cmの水槽を仕切って20cmの幅でメサライトをしきならし海浜模型とした(粒度は図-1)。120時間波をあててほぼ安定した海浜の砕波帯での浮遊砂を内径6mmの銅製ノズルで100mm Hg 減圧したビン(容積10L、ガラス製)に採取し、金網(88μ)のフィルターで浮遊砂を分離した。浮遊砂は濾紙にとってゴミを除き110°Cで6時間乾燥後秤量した。同時にビンの目盛りで水の量を読み濃度を算出した。1点におけるサンプリングには20波以上をとった。したがって得られた濃度は時間的平均濃度である。

実験は波形勾配をかねて2ケース行なった(表-5)。CASE-M 25 が波形勾配が小さい場合、M 26 が大きい場合である。

#### (2) 実験結果

海底地形の時間変化と浮遊砂の測定区域を図-11に示した。海底地形は約20時間ごとにレベルで測定したが120時間波を作用させることにより M 25 では bar 付近を除き地形はほとんど安定した。M 26 ではまだ多少変化がみられた。

表-5 浮遊砂の実験条件

| CASE | $H_0$ (cm) | $T$ (sec) | $H_0/L_0$ |
|------|------------|-----------|-----------|
| M 25 | 10.1       | 1.72      | 0.022     |
| M 26 | 10.6       | 1.00      | 0.068     |

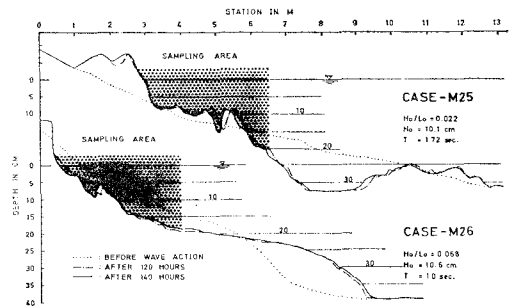
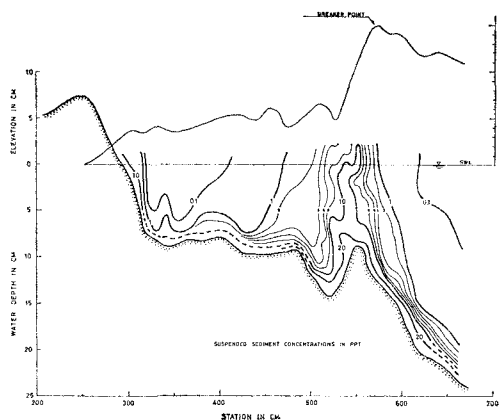
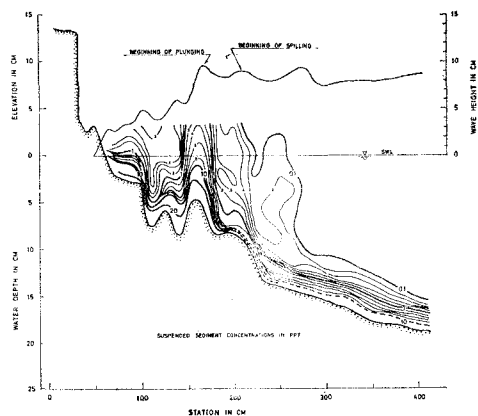


図-11 海底地形の時間変化と浮遊砂の測定区域

図-12は浮遊砂の分布を等濃度線で示したものである。濃度の単位は ppt である。M25 では巻き波で1回砕ける。濃度分布は砕波点沖ではかなり連続的に変化している。砕波点ではかなり複雑な分布を呈しており、いくつかの循環の存在が推測される。trough の上



CASE-M-25



CASE-M-26

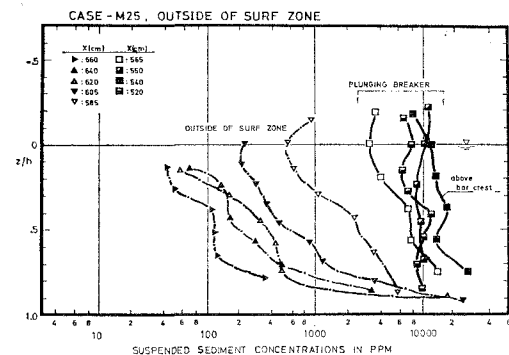
図-12 砕波帯の浮遊砂分布

部ではかなり底部まで低濃度である。岸へ向かうにつれて漸次濃度は低下し、最後に汀線でかなり高い濃度となる。

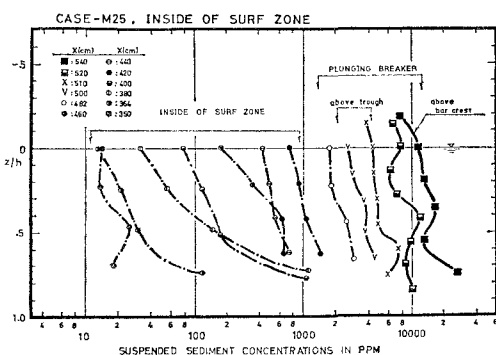
M26 では波はまず崩れ砕波となり、その後巻き波で砕ける。波頭が崩れはじめるのが目でみえるのは測点200 付近であるが、濃度は循環のためか280 付近より急激に増加している。巻き波砕波点の岸側は定性的にはM25 と同様である。

いずれのケースも砕波帯内では部分重複波の発達により、かなり定常的な渦状の循環が存在しているようである。

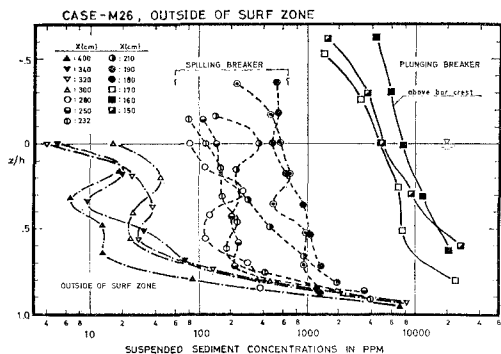
水深を無次元化して鉛直分布をそれぞれ砕波帯の沖側と岸側に分けて 図-13 に示した。 $z/h$  はサンプリングの水深である。上述の諸点は鉛直分布をみることによってさらに鮮明になる。濃度勾配でみると M25 では砕波点沖から砕波点にかけて連続的に立ち上り砕波点ではほと



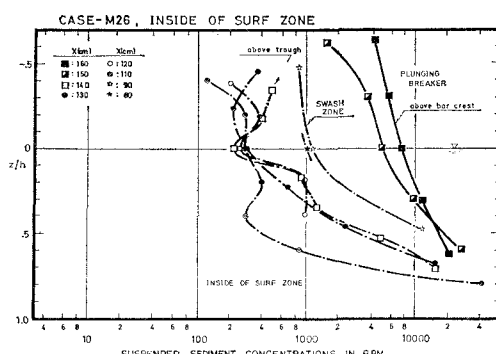
CASE-M-25 破波帯外



CASE-M-25 破波帯内

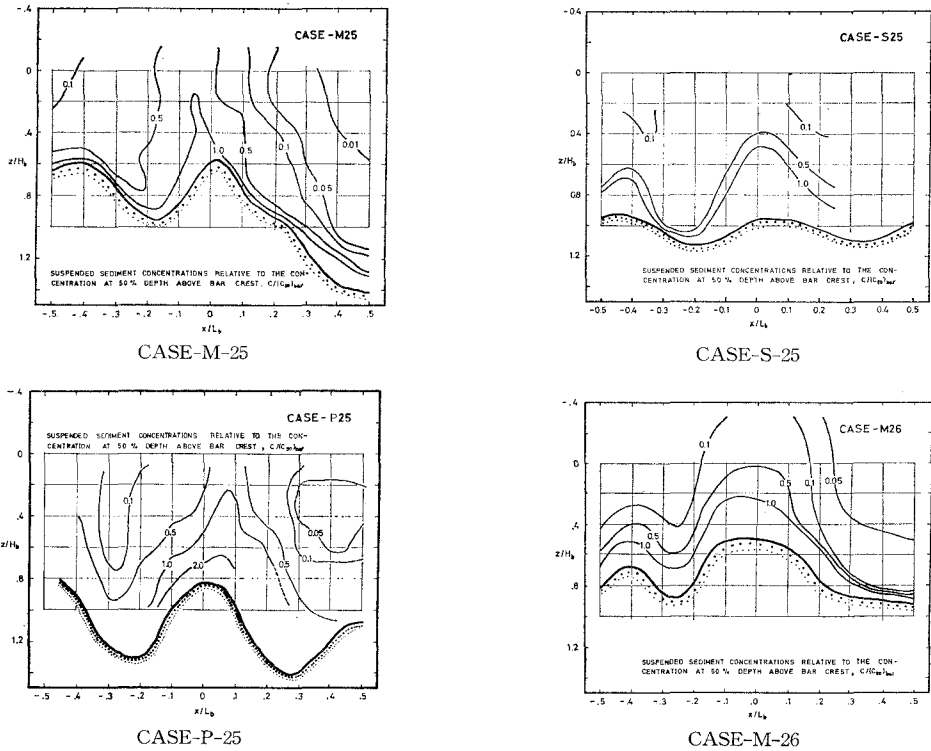


CASE-M-26 破波帯外



CASE-M-26 破波帯内

図-13 浮遊砂濃度分布



図—14 巻き波の浮遊砂分布パターン

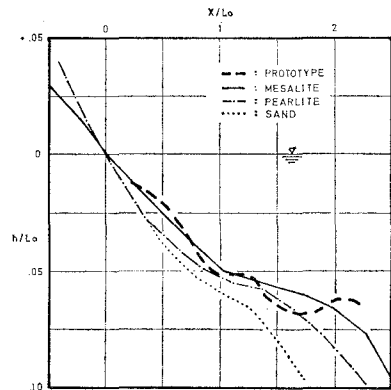
んど垂直の分布をなす。M 26 ではこれに対し濃度勾配は M 25 ほど変化はないが濃度は断続的に沖、崩れ波、巻き波領域へと変化している。砕波帯内部についてみると相対的に沖より底部の高濃度層が厚く、濃度勾配は汀線に近づくにつれてゆるくなる。

### (3) 巻き波の濃度パターン

小和田 (1969)<sup>10)</sup>、福井 (1970)<sup>11)</sup> はそれぞれパーライト、砂を用いて砕波点の浮遊砂分布を測定している。の中から巻き波のケースについて著者らの実験とともに図—14 に巻き波の浮遊砂分布のパターンを無次元表示した。 $H_b$ 、 $L_b$  はそれぞれ砕波波高、同波長、濃度は bar 頂部上水深 50% の地点の濃度 ( $C_{50\%}$ )<sub>bar</sub> に対する比で表示した。M 25 と S 25 は底質がそれぞれメサライトと砂で異なるのみで波浪条件はほとんど同じである。沖波の波形勾配は M 25, S 25, P 25, M 26 それぞれ 0.0022, 0.0022, 0.028, 0.068 である。波形勾配が大きくなるにつれ最高濃度の位置が bar の岸寄りから沖側へ移動するように見受けられる。砂を用いた S 25 では比重が重いので bar 頂部でも M 25 のように水面までは高濃度になっていない。なお、( $C_{50\%}$ )<sub>bar</sub> は M 25, S 25, P 25, M 26 それぞれ 14 000, 900, 20 000, 16 000 ppm である。

## 4. 移動床模型実験の相似則<sup>12)</sup>

移動床模型実験を行なう場合、現状ではすべてのファ

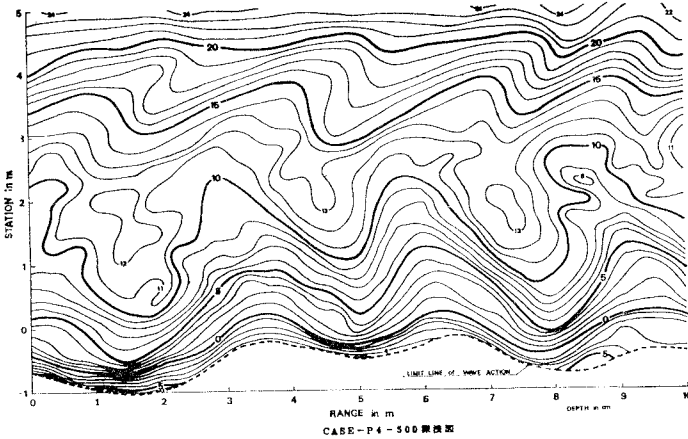


図—15 プロファイルの相似

クターについて相似な条件を満足させることは不可能であり、実験の目的によって何を相似にするかを選ばねばならない<sup>13)</sup>。

### (1) 砕波帯の海底地形

図—15 は先に述べた平面実験より得られた砂、パーライトおよびメサライトの“代表断面”を現地(新潟海岸)のプロファイルと比較したものである。比重の軽いメサライトのプロファイルは現地とはほぼ妥当な一致を示しているといえよう ( $x/L_0 < 2.0$  の範囲)。ただし、現地のプロファイルは周期 8 sec とし、模型では波高について砂、パーライト、メサライトそれぞれ 1.66, 1.28, 1.11 の鉛直方向のひずみがつけてある。比重の軽い材



図—16 パーライトによる自然海岸の地形

料を底質として用いることにより、波高に適当なひずみをつけて、プロファイルを相似にすることは可能である。

図—16 はパーライトによる自然海岸の実験の一例であるが、現地にもみられるような周期的地形変化をかなりよく反映しているといえよう(水深 14 cm 以浅)。

## (2) 浮遊砂

野田(1966)<sup>14)</sup>は浮遊砂濃度の縮尺は現地と模型の底質の沈降速度の比を長さの縮尺の平方根に等しくおくことにより得られることを示したが、メサライトを用いた実験ではほぼこの条件を満足することができた。つまり沈降速度を現地、模型それぞれ  $w_{0p}$ 、 $w_{0m}$  とすれば縮尺  $n=50$  として

$$\frac{w_{0m}}{w_{0p}} = \frac{0.8}{6.0} \div \frac{1}{7.5} \div \frac{1}{\sqrt{50}}$$

となる。

## (2) 移動限界水深

移動床模型実験を行なう場合、移動限界水深を含むように水深を決定すべきであるが、本実験では水槽の都合上堀川・波辺の全面移動限界水深<sup>(15), (16)</sup>は含んでいない(表—6)。ただし、表よりわかるように全面移動限界水深に関してはメサライトは現地とかなり良い相似な条件を満たしている。つまり

$$\frac{0.61}{29.5} = \frac{1}{48} \div \frac{1}{50}$$

このようにほとんど長さの縮尺に等しい。なお、境界

表—6 移動限界水深(養浜実験)

| 移動<br>限界水深 | 底質       | 模 型    |                       |                       |
|------------|----------|--------|-----------------------|-----------------------|
|            | 現 地<br>砂 | 模<br>砂 | パ<br>ー<br>ラ<br>イ<br>ト | メ<br>サ<br>ラ<br>イ<br>ト |
| 全 面 移 動    | 29.5 m   | 37 cm  | 45 cm                 | 61 cm                 |
| 初 期 移 動    | 31.5 m   | 50 cm  | 59 cm                 | 73 cm                 |
| 底 面 の 粗 滑  | 滑 面      | 粗 面    |                       |                       |
| 境 界 層      | 乱 流      | 層 流    |                       |                       |

層の状態、底面の粗滑については、現地と模型とは異なる。計算上では粒径 100  $\mu$  以下のメサライトを用いれば模型でも滑面の条件は得られることになる。

## (4) 時間縮尺

漂砂移動、海底の地形変化の時間縮尺は養浜工の実験ではとくに養浜砂の耐用年数に関連して、現場でもっとも関心のもたれる事項である。著者らはパーライトの実験で蛍光砂を用いて、現地の資料と比較して時間縮尺の算出を試みた<sup>3)</sup>。

現地<sup>17)</sup>および実験のサンプリング時の異なる蛍光砂カウント数の分布図から等しい等カウント線に囲まれる図形の重心

の移動距離を読みとりそれぞれの蛍光砂移動速度  $V_p$ 、 $V_m$  を求めた。ここで、時間、長さをそれぞれ  $t$ 、 $l$ 、縮尺を  $n$ 、現地、模型にそれぞれ添字  $p$ 、 $m$  をつければ、時間縮尺は

$$\frac{t_p}{t_m} = \frac{l_p/V_p}{l_m/V_m} = \frac{l_p}{l_m} \cdot \frac{V_m}{V_p} = n \cdot \frac{V_m}{V_p}$$

ここで

$$\frac{l_p}{l_m} = n$$

である。 $t_m=5$  時間、 $n=50$  であるから堤内、堤外について求めた蛍光砂移動速度を代入すれば、実験で用いた時間の波は表—7 のように求まる。用いた資料が少ない点と模型と現地の状態が十分一致しているわけではない点等問題はあるが試みとして参考に示した。

表—7 時間縮尺の検討例(新潟海岸)

|                    | 模 型  |      | 現 地      |          |
|--------------------|------|------|----------|----------|
|                    | 堤 内  | 堤 外  | 堤 内      | 堤 外      |
| 蛍光砂移動速度* $V$ cm/hr | 45   | 35   | 4.4      | 13.5     |
| 時 間 $t$            | 5 hr | 5 hr | 3.3 year | 0.8 year |
| 長 さ $l$            | 1    | 1    | 50       | 50       |

\* 沿岸方向成分

## 5. 結 語

著者らは前述のとおり昭和42年より養浜工の実験を積重ねてきたが、いまだ十分に現地と相似な条件で実験ができるようになったわけではない。さらに機会をとらえて検討を続けたいと考えている。ここでは今までに得られた成果と今後の問題点について概観してみたい。

砂より比重の軽い底質材料として粉碎したメサライトは現状ではかなり良好な移動床実験材料である。さらに分級機によって粒度をそろえれば地形、浮遊砂等の相似の条件をさらに満足することができる。

離岸堤を併用して養浜する場合、堤内に養浜する工法は堤内の防災に対してのみ有効と考えられる。この場合



離岸堤の維持は必須である。これに対し堤外に養浜する工法は欠損現象の実態に適合し養浜砂の補給はかかせないがかなり長期的視野に立った工法といえよう。

砕波帯の二次元浮遊砂分布を測定し、巻き波の濃度分布パターンを示した。砕波のタイプによって分布のパターンが異なるが、崩れ波についてはデータが少なく確かなことはいえない。恐らく沖側の分布の拡張として考えられるが Miller-Zeigler (1964)<sup>18)</sup> の現地における砕波の内部流速場から推測されるように大きな乱れによって変形を受けている模様である。

今後の研究の課題としては①養浜工の現地実験、②二次元水槽における養浜実験、③しけ時の砕波帯の波、流れ、地形変化の現地観測、④大規模な水槽による平面実験、⑤併用する構造物の検討(たとえばモノコのような潜堤がよい)、⑥養浜材料の粒度の検討(局所的な粗粒材料の使用等)を考えることができるが、とりわけ①と②は重要と思われる。

最後に、当実験を行なうにあたりご協力をいただいた新潟県土木部港湾課長 大内康三氏ならびに同課の諸氏、元同課長赤木正典氏、同新潟港湾事務所の諸氏、元運輸省第一港湾建設局次長木内政鋭氏、(株) I. N. A. 新土木研究所代表取締役高居富一氏、ならびに東京大学工学部土木工学科港湾研究室の皆様にご心からの感謝の意を表わす次第である。

#### 参 考 文 献

- 1) 佐藤昭二：海岸侵蝕対策工法に関する二、三の問題，港湾，Vol. 44, No. 5, 1967.
- 2) 東京大学工学部土木工学科港湾研究室・(株) I. N. A 新土木研究所：新潟海岸養浜模型実験報告書，1968.
- 3) 東京大学工学部土木工学科港湾研究室・(株) I. N. A 新土木研究所：昭和 43 年度新潟海岸養浜模型実験報告書，1969.
- 4) 東京大学工学部土木工学科港湾研究室・(株) I. N. A 新土

木研究所：昭和 44 年度新潟海岸養浜模型実験報告書，1970.

- 5) Tourmen L. : The Creation of an Artificial Beach in Larvotto Bay-Monte Carlo Principality of Monaco, Proc. of 11th Conf. on Coastal Eng., 1968.
- 6) Medvedev, V. S. and N. A. Aibulatov : Use of Fluorescent Tracers and an Overhead Cable-Way to Study the Dynamics of a Shallow-Water Sandy Coast, Trudy Inst. Okeanol., Akad. Nauk, U. S. S. R., 28, 1958
- 7) Watts, G. M. : Field Investigation of Suspended Sediment in Surf Zone, Proc. 4th Conf. on Coastal Eng., 1953.
- 8) Bhallacharya, P. K., J. R. Glover and J. F. Kennedy : An Electro-Optical Probe for Measurement of Suspended Sediment Concentration, Proc. 13th Congress of I. A. H. R., 1969.
- 9) Fairchild, J. C. : Development of a Suspended Sediment Sampler for Laboratory Use Under Wave Action, Bulletin B. E. B., Vol. 10. No. 1, 1956.
- 10) 小和田亮：砕波帯における浮遊砂の研究，東京大学工学部土木工学科卒業論文，1969.
- 11) 福井直治：砕波帯における砂の浮遊機構に関する研究，東京大学工学部土木工学科卒業論文，1970.
- 12) 堀川清司：漂砂特論，水工学シリーズ70～05，土木学会水理委員会，1970.
- 13) 橋本 宏：欧州での海岸侵蝕防止に関する研究の動き，土木技術資料，Vol. 12, No. 3, 1970.
- 14) Noda, H. : Model Study on the Filling-up of a Fishery Harbor by Drifting Sand, Proc. 10th Conf. on Coastal Eng., 1966.
- 15) 堀川清司・渡辺 晃：波による砂移動に関する一考察，第 13 回海岸工学講演会講演集，1966.
- 16) 堀川清司・佐々木民雄：波の運動に伴う砂の移動限界水深の数表，土木学会誌，Vol. 55, No. 5, 1970.
- 17) 運輸省第一港湾建設局・新潟調査設計事務所：新潟海岸調査成果報告書第五報・同第六報・同第七報，1967～1969.
- 18) Miller, R. L. and J. M. Zeigler : The Internal Velocity Field in Breaking Waves, Proc. 9th Conf. on Coastal Eng., 1964.