

湾奥部の海岸浸食に関する研究

佐藤昭二・入江 功・堀江 毅

港湾技術研究所

Study on Coastal Erosion of Inner Bay

By

Shoji Sato, Isao Irie and Takeshi Horie

Port and Harbour Research Institute, Yokosuka

Abstract

Toyama Bay is generally known as one of the most eroded coasts in Japan. In order to clarify the characteristics of erosion in this area and to offer some countermeasures for preventing coastal erosion, field observations and model experiments were conducted.

Some of the results are given in the present paper, such as those from the observations of longshore current by floats and of longshore drift by fluorescent tracers, topographic survey, sediment analysis, scour measuring nearshore, and model experiments both in fixed and movable beds. Through this study, the characteristics of coastal erosion in Toyama Bay were found to be well associated with the irregular distributions of waves and longshore currents due to topographical complexities. Further, it is postulated that groynes, jetties, offshore breakwaters, and other coastal structures are to work successfully to maintain coastal area or diminish beach erosion in this area.

目	次
1. はしがき	(1) 洗掘環による最大洗掘量の調査
2. 海岸浸食に関する現地調査	(2) 消波用異形ブロックの沈下
2.1 漂砂の動態調査	(3) 漂砂観測装置の開発
(1) 漂砂の供給源および卓越方向	3. 浸食機構に関する模型実験
(2) 流況および螢光砂移動	3.1 実験の目的
2.2 海底地形の長期的な変化	3.2 実験施設および実験条件
2.3 代表的な場所での海底地形変化の特性	3.3 固定床における波の収束発散と沿岸流
(1) 海底断面形状の変化	3.4 移動床における底質移動の実験
(2) 海底土量の変化	4. 湾奥部の海岸浸食機構
(3) 海底地形変動量と水深との関係	5. 結 論
2.4 荒天時の漂砂観測	

1. はしがき

富山湾の海岸浸食機構を解明し、今後の海岸浸食防止工事の改善に資するため、昭和48年度を初年度とする3ヶ年計画で、関係各研究機関協力のもとに総合的調査研究が実施された。本報告はとくに富山湾の湾奥部砂浜海岸での海岸道程の長期的、あるいは季節的な動向をは握するために漂

砂に関する現地調査観測を行ない、さらに同海岸の浸食機構を明らかにし浸食対策工法についての指針を得るため漂砂模型実験を行なった結果をとりまとめたものである。現地調査のうち、富山湾のマクロ的な海岸性状を知るために行なった海岸踏査と鉱物分析の結果、および現地調査の方法、¹⁾観測器械については一部中間報告に述べておいた。

本報告では、まず、海岸浸食に関する現地調査結果について述べ、つぎに、浸食機構、および浸食対策工法に関する模型実験結果に言及し、最後に現地調査および模型実験結果にもとずいて、湾奥部砂浜海岸の浸食機構について、総合的な考察を加えた。

2. 海岸浸食に関する現地調査

2.1 漂砂の動態調査

海岸浸食は、海浜に対する底質の供給、損失の非平衡によって生ずる比較的長期にわたる現象である。したがって、長期的にみたときの沿岸漂砂の方向、河川流出土砂の沿岸方向の影響範囲を知ることが、浸食対策を考える上にきわめて重要である。本節では、まず海岸踏査および底質分析により得られた長期的な漂砂移動特性について述べる。つぎに、漂流岸による荒天時の流況調査、螢光砂移動調査にもとずいて、外力と漂砂移動について、3の検討を加える。

(1) 漂砂の供給源および卓越方向

海岸性状をマクロ的にとらえるため、昭和44年8月24日～29日および昭和44年10月27日～11月1日の2回にわたって、境川から姿海岸に至る総延長90 kmの海岸踏査を行ない、図1に示す①～⑧の地点の前浜から底質を採取した。そのうち、第1回目の海岸踏査および底質分析にもとずいた海岸性状については中間報告に発表した²⁾ここでは、第2回目の海岸踏査、および底質分析の結果を前回の結果と比較対照しつつ、総合的に、海岸性状とくに漂砂の供給源およびその卓越方向について検討する。

第1回目の海岸踏査の時期、すなわち昭和44年8月の底質特性は、冬期風浪の影響を強くうけた。また第2回目の時期、すなわち昭和44年10月～11月の底質特性は、夏期の比較的静穏な海況の影響が強く出ているものと思われる。したがって、両者を比較することにより、夏期および冬期の海岸性状がどの程度相異なるかを推定することができるであろう。底質から四臭化エタンまたはプロモホルムを用いて重鉱物を抽出し、そのうち、粒径域が0.088～0.177 mmのものについて鉱物顕微鏡により鉱物分析した結果を、第1回、第2回の分について示すと図2-(1)、(2)のようになる。これらの図から、第2回の方が第1回に比べて全体的に鉄鉱石の含有率が高いのが目立つ。そ

の理由は、明らかではないが、分離液として、第1回は四臭化エタン(比重2.95)、第2回はプロモホルム(比重2.85)を用いたことによるのかも知れない。實際上、完全に鉄鉱石のみを抽出するのは困難で顕微鏡下で黒くて不透明なものをすべて鉄鉱石として整理した。重鉱物のうち、比重が比較的等しい4鉱物、すなわち緑色角せん石(比重3.0～3.3)、かつ色角せん石(比重3.0～3.3)、普通輝石(比重3.2～3.6)、しそ輝石(比重3.3～3.5)のみに対しての組成を、第1回、第2回の底質採取分について比較したのが図3である。鉄鉱石の含有率は、第1回と第2回ではかなり異なったが、比重の近い4鉱物でみる限り、図3のように両者の間で、傾向がほぼ一致している。図において、常願寺川付近を境にして、東側では褐色角せん石、緑色角せん石の含有率が高いのに反し、西側ではしそ輝石、普通輝石の含有率が比較的高い。海浜砂から抽出した重鉱物のうち、粒径域が等しく、比重もほぼ等しい鉱物を対象にしているわけであるから、波による局所的なフルイ分け作用のためにこのような4鉱物組成の相異が生じたとは考えられない。むしろ、常願寺川付近を境にした鉱物組成のちがいは、底質の供給源の相異によるものと考えられる。富山湾には、大小無数の河川が流出しており、これらが富山海岸の底質の主要供給源であることはいうまでもない。そこでこれら河川から排出された土砂が、海岸に沿ってどの範囲まで及んでいるかを調べてみる。第2回目の海岸踏査のとき、富山湾に流出する主要河川の流域の数ヶ所から底質を採取したが、この試料を用いて、海浜砂の場合と同様にフルイ分け、重鉱物分析、鉱物分析を行ない、比重粒径域の互いに等しい4鉱物の組成比率を得た。もし、 j 地点の海浜砂中の4鉱物の組成比率が、 n 番目の河川流域の4鉱物の組成比率に近いとすれば、その海浜砂は多分に n 番目の河川の排出土砂の影響を受けたものと考えられるであろう。海浜と河川流域との4鉱物組成比率の相似性の指標としては、鉱物組成の係数を用いるのが最も簡単であろう。ここで、4鉱物に番号 i を付す。すなわち、しそ輝石($i=1$)、普通輝石($i=2$)、褐色角せん石($i=3$)、緑色角せん石($i=4$)とする。さらに、 j 番目($j=1\sim78$)の海浜砂採取地点の鉱物 i の組成率を P_{ij} とする。また、 n 番目の河川(本回は $n=1\sim9$)流域の鉱物 i

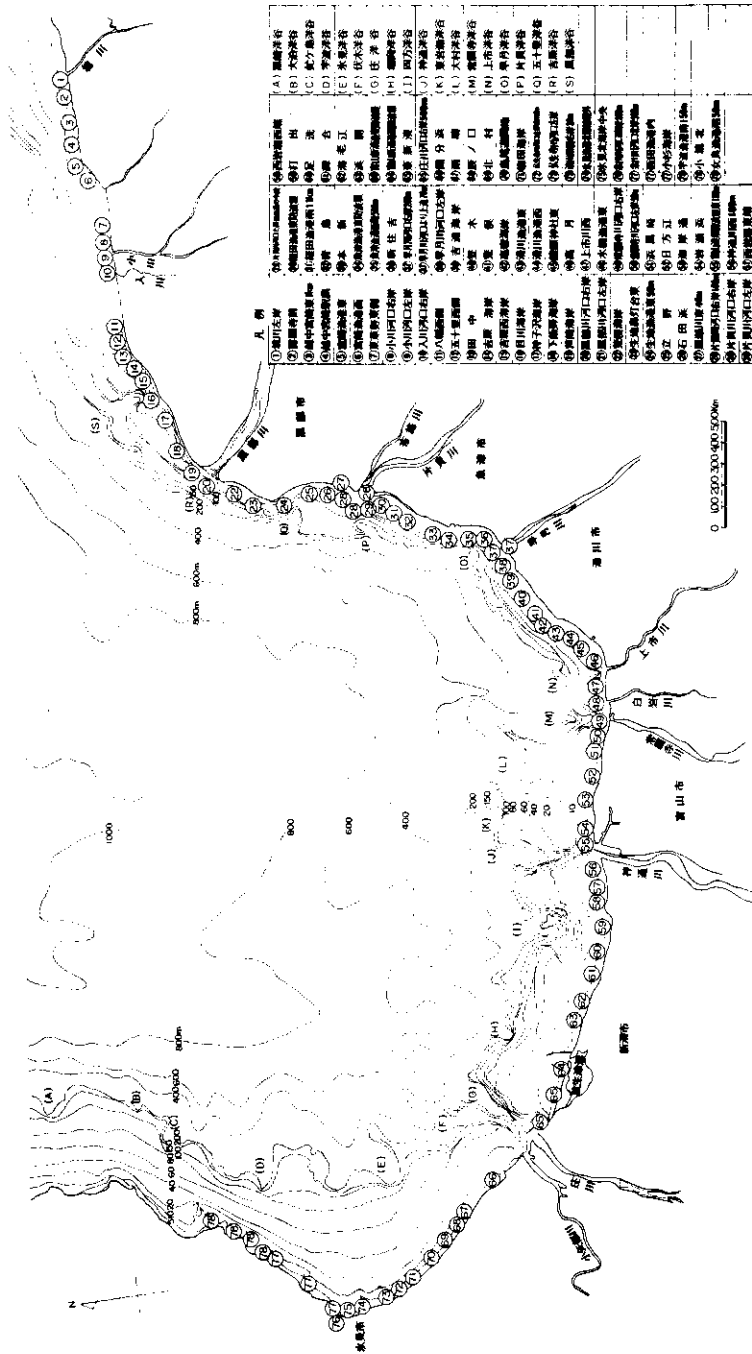
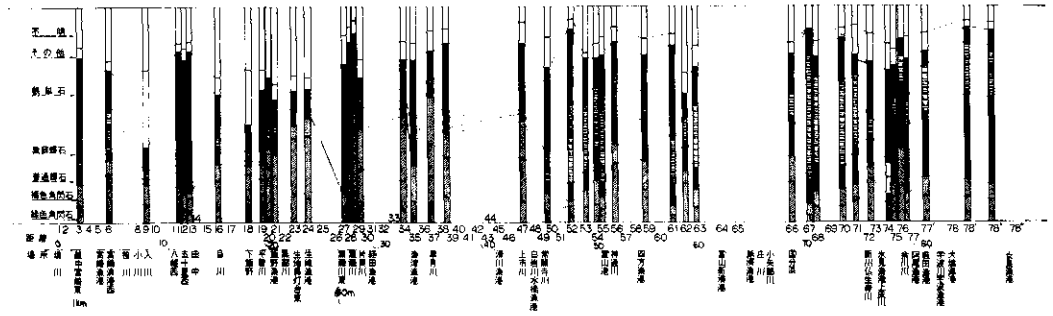
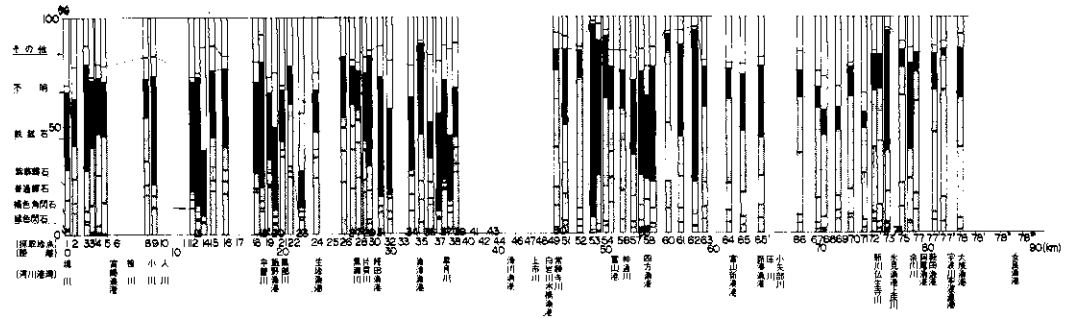


図1 富山湾の地形および底質採取位置



(1) 第1回採取分



(2) 第2回採取分

図2 重鉱物の鉱物組成

の組成率を R_{in} とする。ここで、 $\sum_{i=1}^4 P_{ij} = 1$
 $\sum_{i=1}^4 R_{in} = 1$ である。 j 地点の海浜砂中の鉱物組成率 $P_{1j} \sim P_{4j}$ と、 n 番目の河川流域底質中の鉱物組成率 $R_{1n} \sim R_{4n}$ との相関係数を C_{jn} とすれば

$$C_{jn} = \frac{(P_{in} - \bar{P}_{in}) (R_{in} - \bar{R}_{in})}{\sqrt{(P_{in} - \bar{P}_{in})^2 (R_{in} - \bar{R}_{in})^2}} \quad (1)$$

と計算される。

ただし、バーは、 i についての平均を意味する。また、 n 番目の河川と、 m 番目の河川との底質中の i 鉱物組成の相関係数を C_{mn} とすれば

$$C_{mn} = \frac{(R_{im} - \bar{R}_{im}) (R_{in} - \bar{R}_{in})}{\sqrt{(R_{im} - \bar{R}_{im})^2 (R_{in} - \bar{R}_{in})^2}} \quad (2)$$

が得られる。

計算結果を各河川別に図示すると、図4のようになる。図で、折れ線で示してあるのは、

であり、棒グラフで示してあるが C_{mn} である。 $m = n$ のときは、 $C_{mn} = 1$ であるが、このときは、黒い棒グラフで示してある。この図からつぎのことが明らかになる。

- a) 上市川以東に流出する河川底質の鉱物組成は互いに非常に似ているが、湾奥部へ流出する白岩川～庄川のそれとは完全に性質を異にしている。
 - b) 東部の上市川～小川に至る河川排出土砂が、白岩川を越えて西方へ供給される量は少ない。
 - c) 白岩川以西の湾奥部の海浜砂は、白岩川以西の河川や海岸から供給されたものである。
- 以上のような事実は、重鉱物から放出される自然放射能の測定結果からも裏付けられる。海浜や河川底質の重鉱物中には、自然の放射性物質トリウム (^{232}Th , 半減期 $= 1.39 \times 10^{10}$ 年), ウラニウム (^{238}U , 半減期 $= 4.5 \times 10^9$ 年) 等が、含まれており、それらが弱いガンマ線を放出している。それらの含有量が、河川によって異なる場合は、

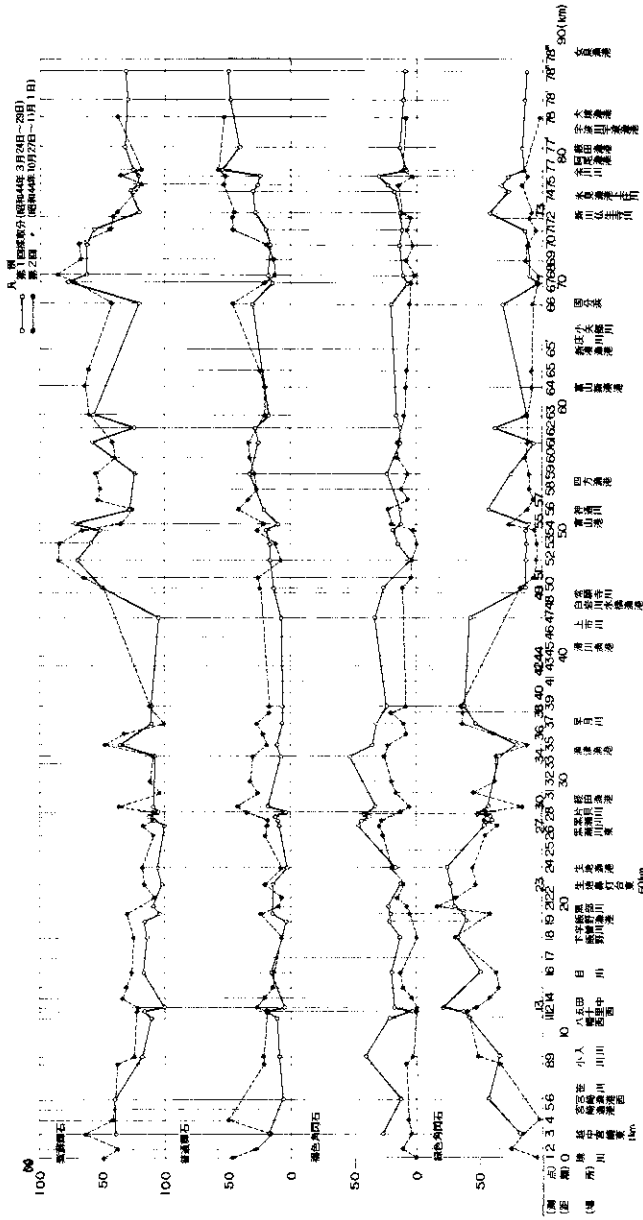


図3 四重金属に対する放射能強度の第1回 第2回採取分における比較

海浜砂中の重金属の自然放射能強度を測定してその海岸に沿う変化を調べ、河川流域の重金属の放射能強度と比較すれば漂砂の供給源についてある程度明らかにすることができる。⁸⁾ 測定は、重金属試料を入れたカプセルを45×5 cmのNaIウェルタイプシンチレーターのの中に入れ、ディスタクリレベルを、0.2MeVとして、それ以上の全

ガンマ線強度を、カウンターで計測した。計測時間は、24時間とし、全計数から、バックグラウンドを差引いたものを、単位時間、単位重金属重さ(1グラム)あたりの計数率に換算した。図5に示す通りである。図で、折線は海浜、棒グラフは河川の自然放射能強度を示す。自然放射能の強度は、上市川以東においては、海浜、河川ともに高く、また白岩川以西ではそれらが低くなっており、漂砂の供給機構が、そこを境にしてはつきりわかれていることがわかる。以上のように、上市川～白岩川で底質組成の特性が異なる理由は、図6の地質図をみれば明らかになる。上市川以東の黒部、片貝、早月川の上流域には花崗岩類が露出しているが、白岩川以西の常願寺、神通、庄川流域にはそれらは露出しておらず、安山岩特のみが主として露出している。花崗岩類は、角せん石類を多く含み、また自然放射性物質を多く含むが、安山岩類は、輝石類が多く、自然放射性物質の含有率も少ない。このことが、図4、5におけるような白岩、上市川の東西部における河川流域、海浜底質組成に相異をもたらしたのであるが、

海岸性状が、一つの地点を境にしてこれほど急激に変化するのには常願寺川前面の洋谷の存在および常願寺川の流砂量が、上市川に比して非常に大きいためであろう。富山湾は、その湾口がNNEの方向に向かって開いているため、波の卓越方向から判断される沿岸漂砂の方向は、すべて、富山港～富山新港を中心として、その両側から寄せて来

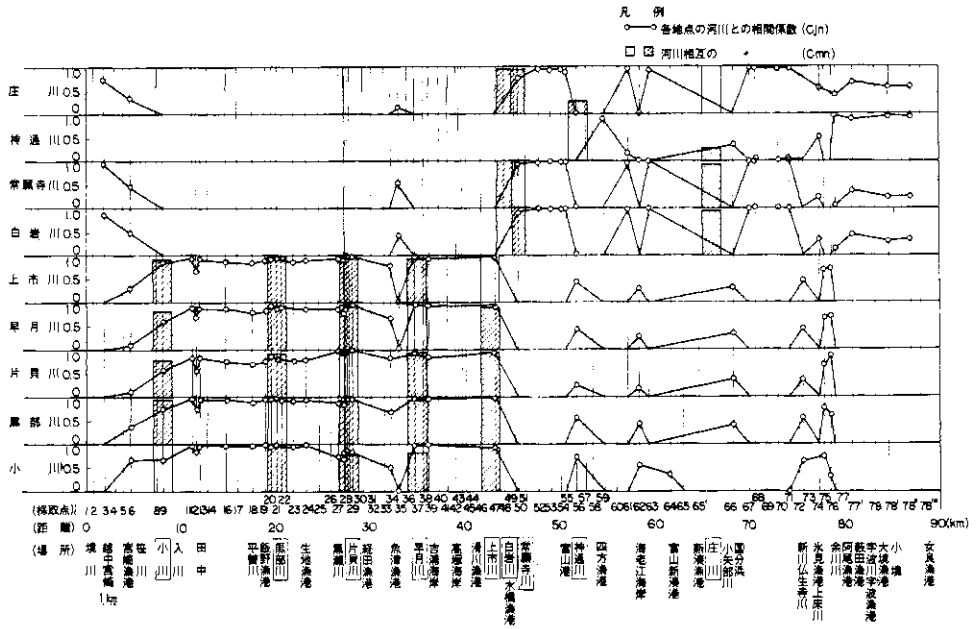


図4 河川と海浜との底質の鉱物組成の相関図

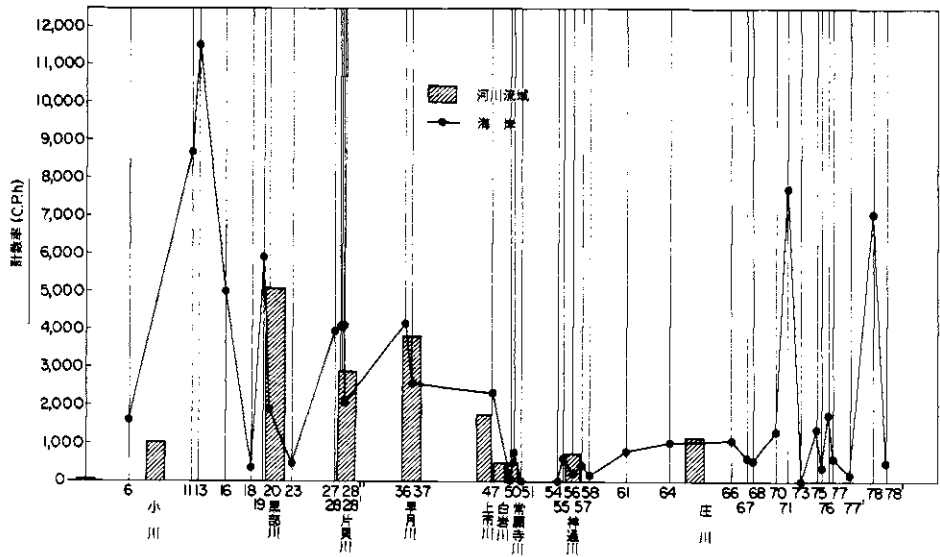


図5 河川流域および海浜における底質の自然放射能強度の分布

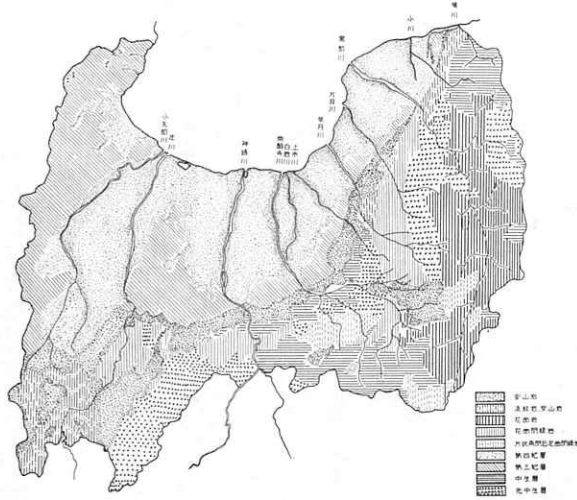


図6 富山県地質図

ることになる。図1によれば、海岸線の方向は、上市、白岩川を境にして急に変わっている。また、河口砂川や、大陸棚の発達も、この付近を境にして異っており東側が西側に比べてはるかに貧弱である。前浜付近の底質粒径もまた、この付近を境にして、西側は砂であるのに比べ東側は玉石、砂利より²⁾成る。上市川、白岩川以東の海岸では、深海域が海岸にせまっているので作用する波のエネルギーも大きい。そのため、沿岸漂砂の卓越方向は南向きであっても、途中で沖向きへ損失する砂の量が多くなり、沿岸漂砂のうちで砂の量自体は次第に減少して、上市川付近ではほとんどなくなってしまわないであろうか。それ以西の湾奥部では、大陸棚、砂川の発達状況から見て、洋谷が岸にせまっている所以外は沖向きの漂砂よりも沿岸方向の漂砂が卓越しているものと思われる。富山新港～庄川付近を中立域として、それ以西の海岸では東向き、以東の海岸では西向きの卓越沿岸漂砂があるものと思われる。²⁾富山新港に建設された突堤周辺の深浅測量が昭和34年10月24日から昭和35年3月17日までの一冬の間行なわれたが⁴⁾、それによると、突堤の西側が堆積し、東側が侵食された。富山新港～庄川附近では、庄川からの排出土砂が多かった時期にそれらからの排出土砂が、波による東からの沿岸漂砂より卓越していたのであろう。このことは、上述鉦

物分析の結果から、この付近の底質鉦物組成が庄川と密接な相関があることから推定される。しかし、庄川からの排出土砂が減少した今日においては、この部分は、わづかながら西向の波による漂砂が卓越していると考えてよいであろう。

(2) 流況および螢光砂移動

前節では底質特性、富山湾沿岸の地質等、主として地学的観点から、富山湾の長期的な漂砂動態を推定した。しかし、漂砂は、波や流れ等の外力によって底質が運ばれる現象であるから、その動態をさらに明確にするには、外力および底質移動の実態を明らかにする必要がある。そのため、富山湾の湾奥部、すなわち東岩瀬から国分

までの海岸で、発射型漂流桿、ポールフロート、染料(ローダミンB)を用いた流況調査、さらに螢光砂を用いた底質移動調査を実施した。¹⁾漂砂の外力としての流れは、波による沿岸流、風による吹送流、潮流等よりなるが、これらは非定常である。したがって、湾奥部全城の漂砂特性をは握するには、流況調査、螢光砂調査を、全城同時に実施することが望ましい。今回は、染料を用いた流況調査においてこれを実施したが、他の調査については、実行上不可能であった。そこで、漂砂が激しいと思われる冬の荒天時を選び、できるだけ数多くの調査を行い、それらを総合して漂砂の実態をは握することにした。図7は昭和44年3月から昭和46年3月にかけての冬期に実施された流況および螢光砂調査の結果を総合的に示したものである。図中最上段は、昭和45年11月16日に湾奥全域に対して一斉に実施した染料による流況調査結果、中二段はそれぞれポールフロート、流況桿による流況調査結果、下段はてい線に投入された螢光砂分布の重心位置の移動を示したものである。これを見ると流況、螢光砂移動ともに、同じ地域であっても観測時によって変動していることがわかる。ポールフロート染料はてい線に投入されたものであるとその流向は主として波による沿岸流によるものと思われる。したがって、観測時によって流向が変動しているのは、その時の波向きの相異によるものであ

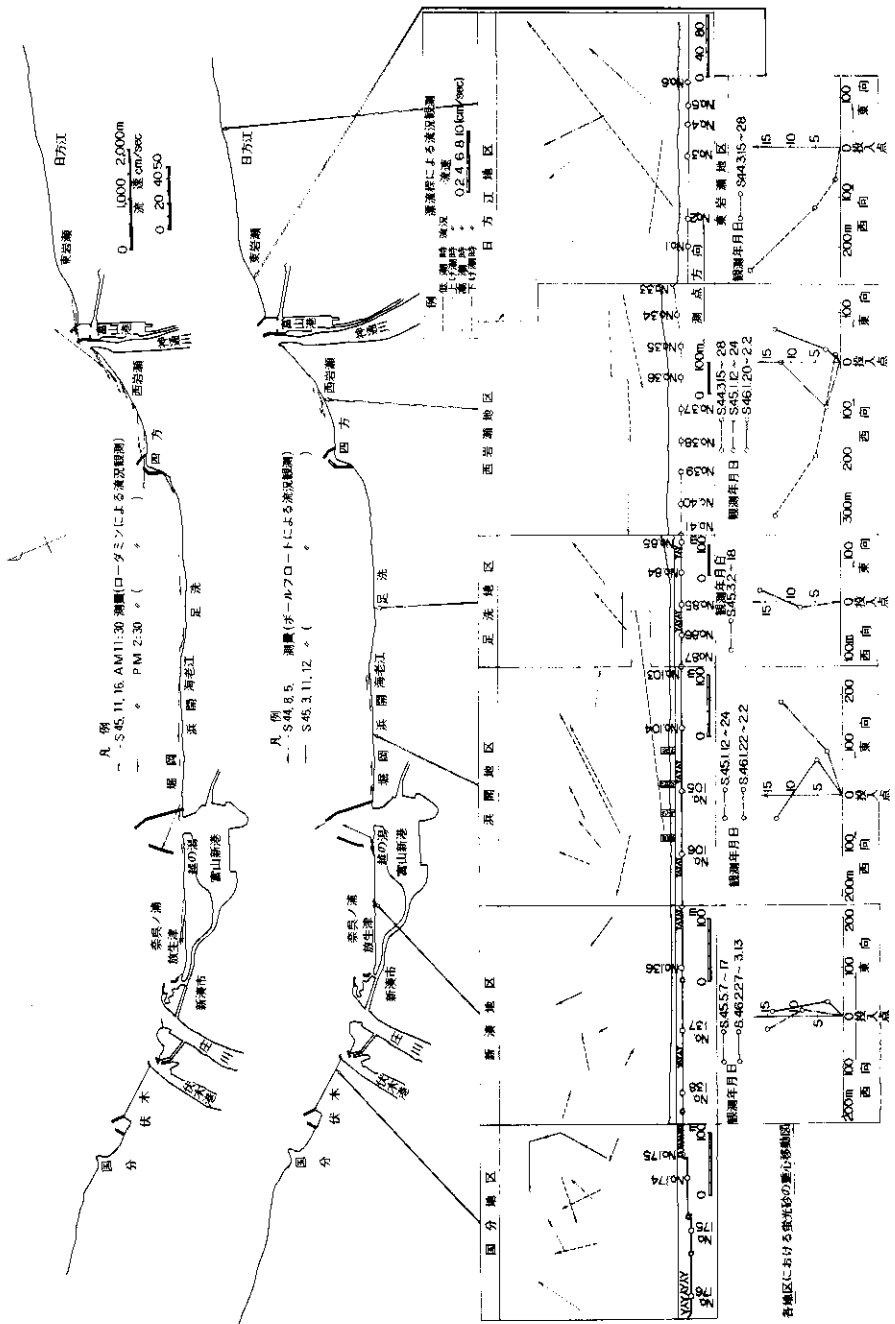


図7 流況 燈光砂移動

ろう。一方、漂流枠による流況はてい線より00m近くの流れであるので、波による沿岸流であるとともに、潮流の影響を受けているものと思われる。図7において、漂流枠の流向と各潮位時とは、

かなり相関があるようである。螢光砂は、1週間から10日後に採取されたので、その重心移動方向は、その間のてい線漂砂の集積的な移動方向を示すものである。移動方向が観測時により異なるの

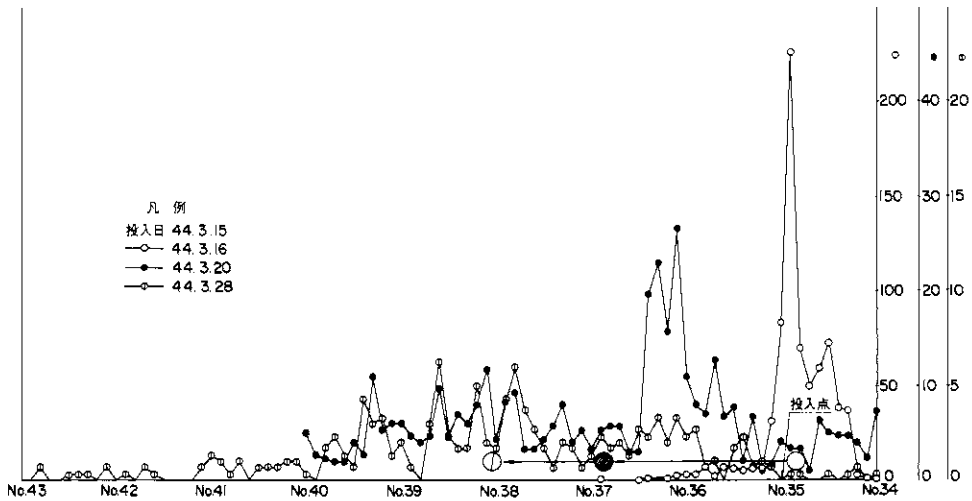
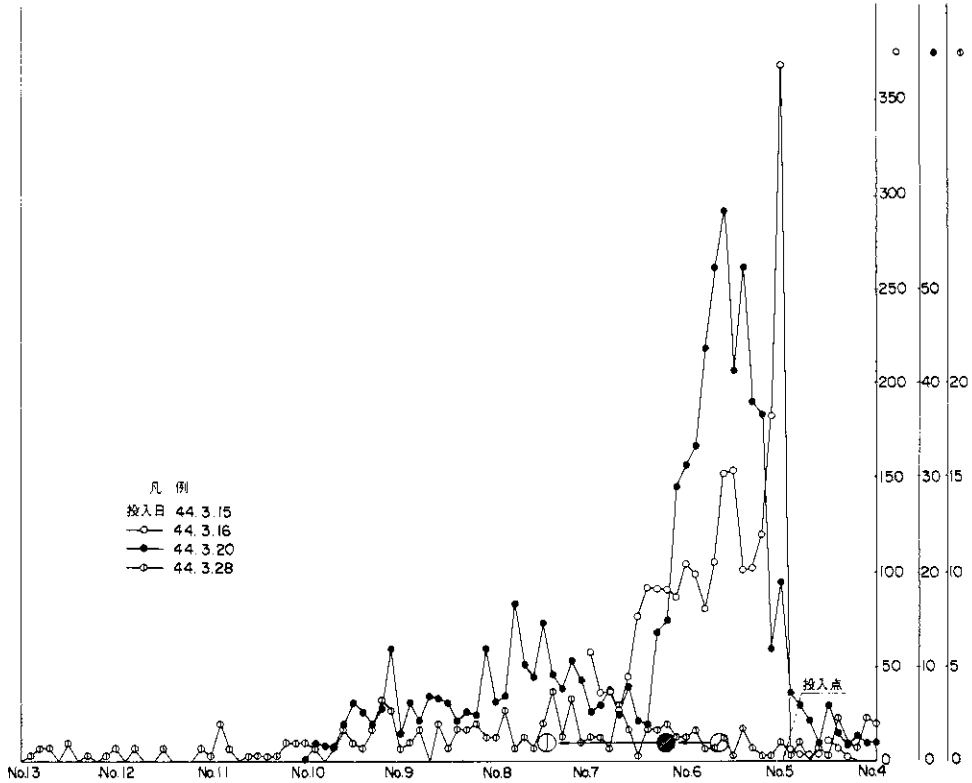


図8 西岩瀬、東岩瀬における螢光砂分布の変化

は、その間の卓越波向きが、各観測時に異なったことによるものである。図7から、各地域の漂砂動態の概要を述べるとつぎのようである。

東岩瀬

潮流としては、沖向きの成分が卓越しているが、沿岸漂砂は明らかに西向きが卓越している。

西岩瀬

潮流、沿岸流ともに西向きが圧倒的であるが、てい線漂砂は、西向きと同時に、多少東向きなることもある。

足洗

潮流、てい線漂砂ともに東向きの成分が強い、しかし、ここも、東岩瀬、西岩瀬の沿岸流が西向きのときは西向きとなる。

浜開

ここは、富山新港東防波堤による波の反射の影響により、沿岸流、てい線漂砂ともに卓越方向が明確でない。

新湊

潮流は、上潮時には東向きとなるが、てい線漂砂の方向は西向きが卓越している。

国分

海底地形が複雑な形をしているため、潮流の流向も各潮位時により複雑に変化する。

以上のように、流況および螢光砂調査はデータが少ないため、確定的なことはいえないが、外力に対応した漂砂の動態について概略的なことは明らかにすることができたようである。螢光砂の移動に対しては、螢光砂分布の重心位置の移動を追跡したが、螢光砂自体は、波により沿岸方向へ広い範囲に拡散する。図8は、西岩瀬、東岩瀬に投入された螢光砂の沿岸方向への拡散の様子を示したものであるが、螢光砂分布の両端はすみやかに沿岸方向へ広がっているのがわかる。

2.2 海底地形の長期的な変化

海象は、季節的、時間的に常に変化しているもので、海底地形もまた、それに応じて常に変動している。海岸侵食に関して問題となるのは、このような毎年の季節的、時間的な変動をくり返しながら、結局徐々に海底が侵食されていく場合である。その侵食速度を知るには、対象海域の深淺測量を、できるだけ長期間にわたって数多く行うことである。富山湾の湾奥部については、富山県により、昭和37年12月から昭和45年8月まで、およそ7回にわたり、広域の深淺測量が行われて来た。

その範囲は、東岩瀬から国分浜までで、湾奥部の海浜をほとんど包含する。そこで、これらの7枚の深淺測量図を用いて、各地点の平均的な海底侵食速度を、最小自乗法により求めてみた。その方法は、まず沿岸方向200m毎に、陸上の測量から沖方向に測量線を設定し、それに沿って陸上の基準線から各等深線までの距離を測った。たとえば、7枚の深淺図に対して測量期日の順に $k=1\sim 7$ までの番号を付し、最初の深淺測量期日から k 番目の深淺測量期日までの期間を $k \cdot t_k$ とする。また、 k 番目の深淺図上で、 i 番目の測線上、基準線から水深 $-j$ (m) の等深線までの距離を X_{ij} とする。そして、次式より単位期間 (1ヶ月) 当りの X_{ij} の変化率 ΔX_{ij} を求める。

$$\Delta X_{ij} = \frac{N \sum_{k=1}^N X_{ij} k \cdot t_k - \left(\sum_{k=1}^N X_{ij} k \right) \left(\sum_{k=1}^N t_k \right)}{N \sum_{k=1}^N t_k^2 - \left(\sum_{k=1}^N t_k \right)^2} \quad (3)$$

ここに $N=7$, $j=1\sim 10$ m とした。この(3)式は、 X の t に対する回帰係数である。 i 番目の測線上基準線より $(-j)$ m までの等深線が、長期的に岸へ近づいていけば、 $\Delta X_{ij} < 0$ であり、長期的に沖へ移動していけば、 $\Delta X_{ij} > 0$ である。海底の変動量は、等深線の水平移動より、水深の変化で表わした方が便利なので、海底こう配を利用して ΔX_{ij} を次のように水深変化 Δh_{ij} に換算した。次式で $2 / (X_{i,j+1} - X_{i,j-1})$ は海底こう配を示す。

$$\Delta h_{ij} = \frac{2 \Delta X_{ij}}{X_{i,j+1} - X_{i,j-1}} \quad (4)$$

このようにして、富山湾湾奥部の長期的な海底地形変動を求めると、図9のようになる。図で斜線の領域が侵食領域を示し、等高線の数字は、1年当りの水深の平均変化速度を (cm) 単位で示してある。この図から次のことがわかる。

○東岩瀬浜

No.1~No.7の区間は堆積領域となっているが、その少し西側、すなわちNo.8~No.12の区間では、水深-6m付近を中心とする侵食を示している。また富山港東防波堤のすぐ東側付近では、堆積がみられる。

○富山港 (神奈川河口~四方漁港)

神通川河口からNo.29までの区間は、一般に

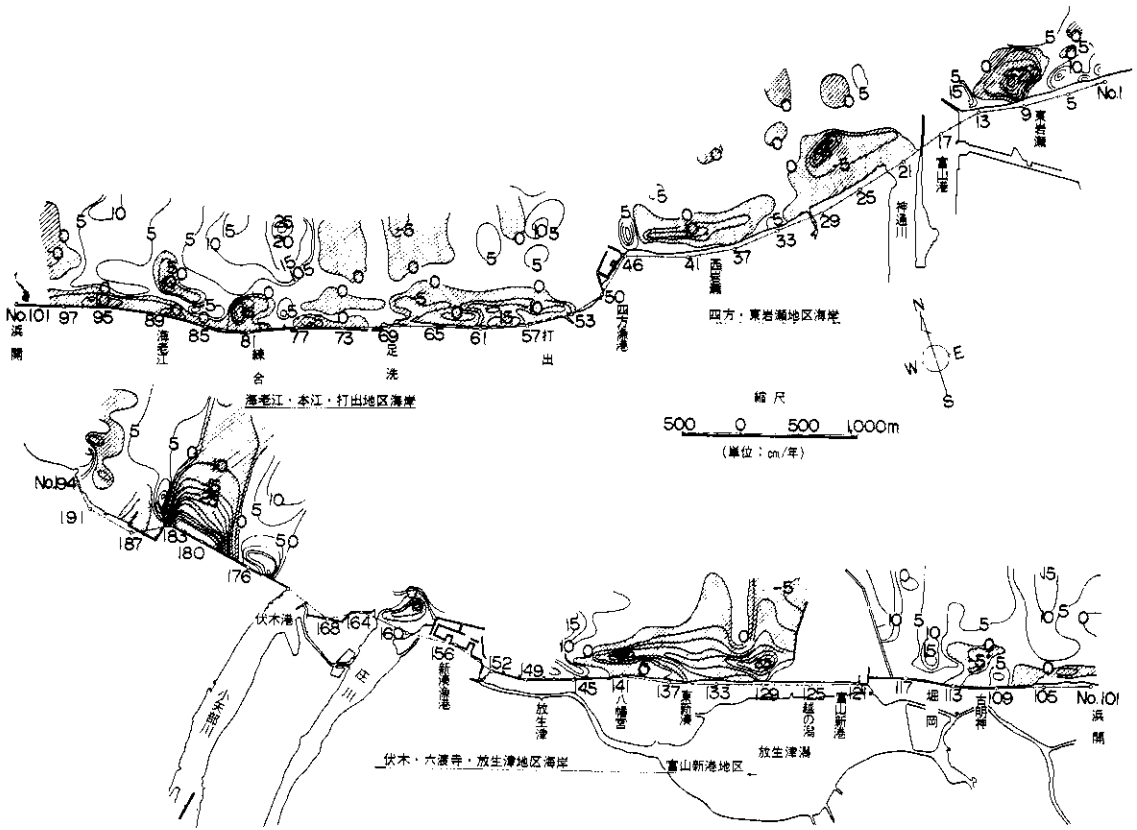


図9 湾奥部海岸の侵食堆積図

侵食性を示し、とくにNo. 26 沖水深-6m 付近の侵食が著しい。この付近は、神奈川河口沖の浅瀬の一部に相当するので、この侵食は、神通川排出土砂量の減少によるものかも知れない。No.80~No. 85の区間は、むしろ堆積性を示しているが、その西側のNo. 36~No. 45の区間は、水深-5m 地域を中心に侵食している。また、東岩瀬の場合と同様、四方漁港東防波堤の東側は、著しい堆積を示している。総じてこの区域では、てい線付近の侵食はあまり著しくないが、沖側-5m 付近の侵食が顕著である。

○打出~富山新港

No. 58~No. 68 までの区間では、てい線から-6m までの間の侵食が著しい。それから西のNo. 80 までは、それ程顕著ではない。しかし、練合付近のNo. 81~83 付近には、とくに水深-5m の区域を中心とした顕著な侵食領域がある。海老江付近のNo. 85 からNo. 98 までは、-3m

以浅における侵食領域が細長く続いているが、浜開付近に至ると、てい線付近はむしろ堆積気味となる。ここから富山新港東防波堤までは、No. 110 沖の水深-5m 地点を中心とした小規模な侵食領域をのぞけば、全体的に堆積気味である。総じて、この区域ではとくにNo. 77 以西の沖浜部において堆積気味であるのが特徴的である。

○富山新港以西

全体的に侵食性が強いのが目立つ。とくに、富山新港西防波堤からNo. 137に至る水深-6m 以浅の領域、八幡宮の沖の水深-4m 付近、庄川河口三角川の侵食性が著しい。

以上のように、8年間の深淺図を統計処理してみると、長期的侵食堆積領域の分布がかなりはっきりみえてくる。このような海底侵食の分布は、多くの洋谷を随所に有する富山湾特有の複雑な海底地形、海底及び港灣構造物の建設、河川の排出土砂量の減少等に起因するものと思われるが、これ

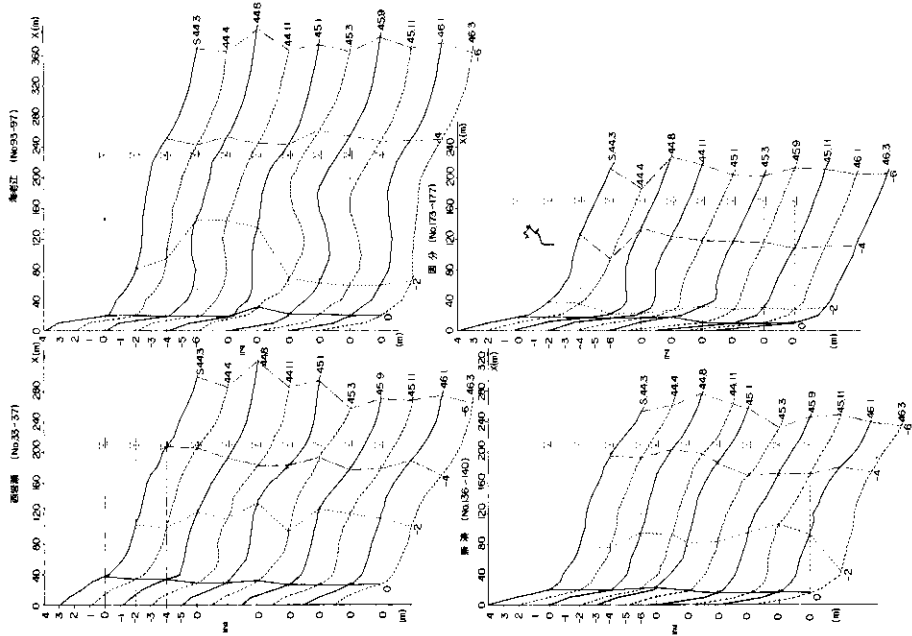


図10 平均断面の変化

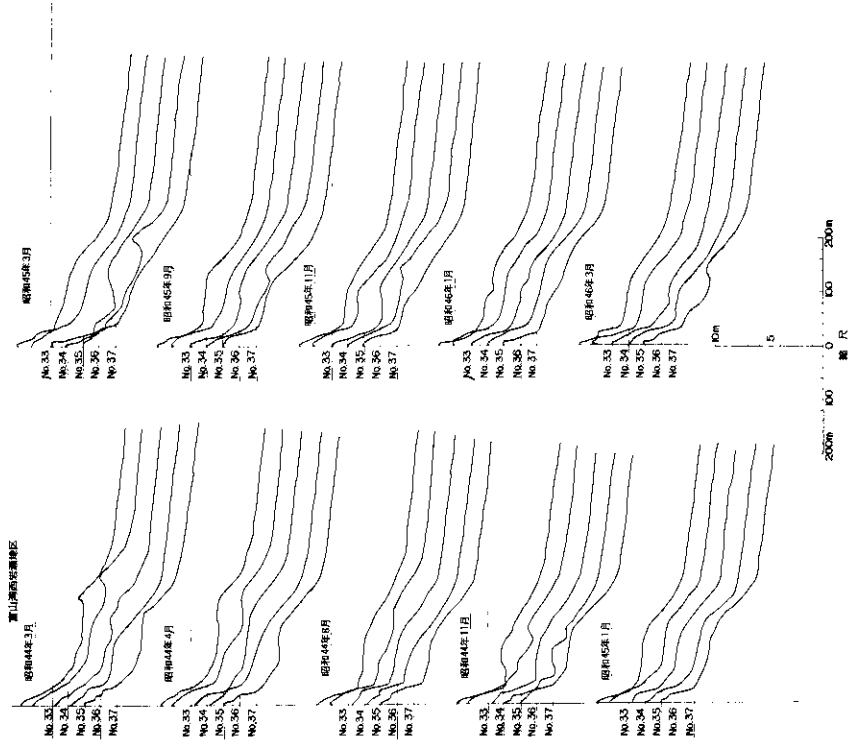


図11 5測線における各断面の変化 (西右瀬)

らについては後に考察のところで検討する。

2.3 代表的な場所での海底地形変化の特性

前節までに述べた海底地形の長期的な変動に加えて、さらに季節的な海底地形の変動性をとらえるには、1年間にできるだけ多くの回数、深淺測量を行う必要がある。この目的のため、富山海岸湾奥部のうち、代表的地点を4点、すなわち、西岩瀬、海老江、新湊、国分を選び、各地点に於いて、沿岸方向に100 mおきに5測線、沖方向に1500 mまでの測量範囲を設定し、年間に4回の割合で昭和44年8月から昭和46年3月までの2年あまりの間測量を実施し、合計10枚の深淺図を得た。ここでは、それによる解析結果について述べる。

(1) 海底断面形状の変化

各地区の海底断面を5測線に対して平均し、これを測量期間順に並べると、図10のようになる。図中には断面変化を明瞭に見るために、各平均断面におけるてい線、-2m、-4m、-6m点を結ぶ線も示してある。この図からつぎのことがわかる。

(a) 西岩瀬、新湊においては、-4m、-6m線が次第に岸に近づいているのに対し、国分ではその傾向が小さく、海老江ではほとんど変化がない。

(b) 西岩瀬、新湊において、-4m、-6m線が岸に近づくのは、11月から翌年の3月、すなわち、冬期において著るしく、4~9月の春、夏期にかけてはむしろ岸から遠ざかる傾向にある。

(c) てい線の後退は、西岩瀬において顕著である。

(d) -2m線の季節の変動がはげしいが、これは沿岸砂州の変形に関係しているものと思われる。

以上は、5測線に対して平均した海底断面地形の季節的な変動特性であるが、平均化する前の5測線に沿う海底断面地形の変化を西岩瀬の場合に対して示すと、図11のようになる。同じ時期においても、各測線に沿う断面は、互に性質が少しずつ違っている。しかし、全体的には、やはり夏期には沿岸砂川の規模が小さく、冬期には規模の大きい砂州が発達しているといえる。

また4地区におけるてい線あるいは水深-1m線の長期的に見た前進、後退の様子は、図12に示すとおりである。これによると、西岩瀬、海老江では、ここ数年後退の一途をたどっているのがわかる。一方、国分の-1m線はほとんど変化が

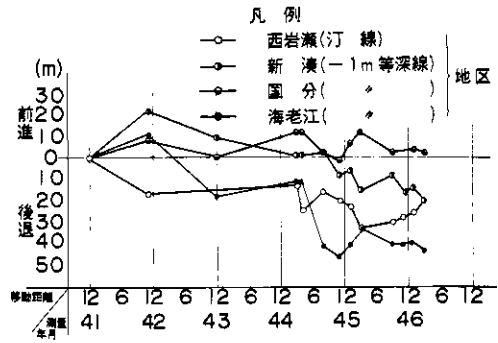


図12 てい線-1m線の前進、後退

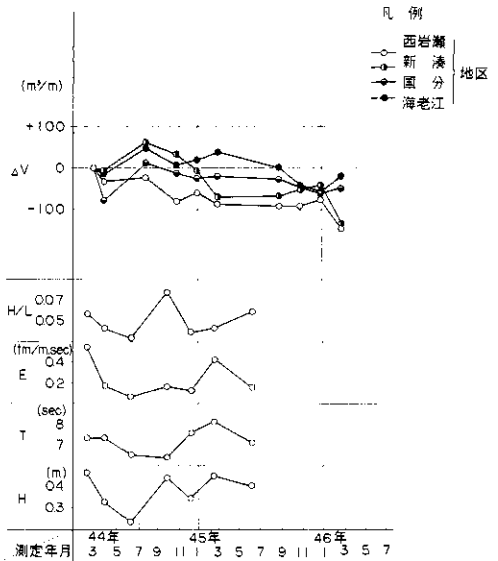


図13 -6m以浅の土量変化

なく、また新湊の-1m線は、昭和44年頃までは変化がなかったが、その頃から現在に至るまで急速に後退しはじめています。

(2) 海底土量の変化

海底地形の変化をさらに定量的にみるには、海底の土量変化を調べる必要がある。図13は、4地区での深淺測量結果から、水深-6m以浅、沿岸方向に幅1m当りの海底土量の変化を、昭和44年8月における土量を基準に示したものである。また図中には、ある深淺測量期日からつぎの深淺測量期日までの間の波浪特性(波高 H^m 、周期 T^{sec} 、波の単位時間当りのエネルギー $E^{ton \cdot m / m \cdot sec}$ 、波形こう配 H/L)の平均値も示しておいた。なお、この場合の波は富山新港沖の水深

1.1 mの地点にて観測されたものである。図13によれば各地区とも、季節的変動をくり返しながら、次第に侵食されていく傾向にあるが、これは、西岩瀬、新湊において特に著しく、国分、海老江ではそれほど顕著ではない。侵食は、波形は、波形こう配はさほど大きくないが波のエネルギーが非常に大きい1~3月の冬期、および波のエネルギーはさほど大きくはないが波形こう配が大きい秋期において顕著に生じており、波形こう配も波のエネルギーも小さい春期から夏期にかけては一般に堆積の傾向にあることがわかる。この海底土量変化を、図14に示すように8つの水深域に分け、各水深域の土量変化として表わすと、図15(1), (2), (3), (4), のようになる。これより、海老江、国分では、各水深域とも季節的土量変化はあるにしても長期的変動は少ないようである。一方、西岩瀬、新湊では、長期的侵食がみられるが、その各水深域に対する変化は、両地区で互いに異なるようである。西岩瀬地区では、-4~-6m

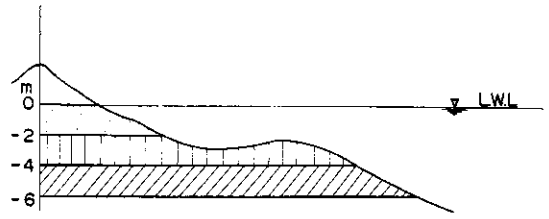
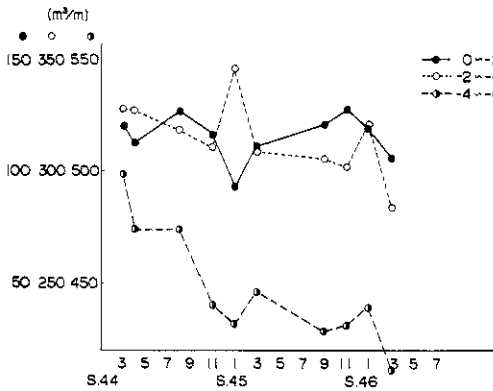
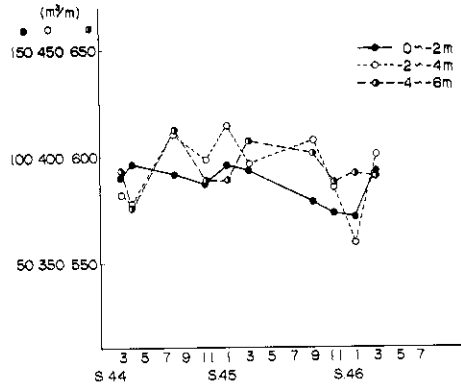


図14 水深域の区分

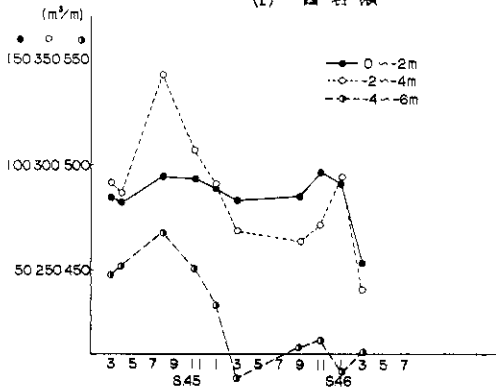
の間が最も侵食がはげしく、-2~-4m がこれに次ぎ、0~2mの浅水領域の侵食はそれ程顕著ではない。また、-2~-4m、-4~-6mの水深域における侵食は、冬期の波高とともに、夏期~秋期にかけても著しく進んでいる。水深-4m~-6mの侵食がはげしいことは、図9の広域の長期的侵食分布でも見られた。新湊地区では、-2~-4m、-4~-6mにおける侵食が著しく、また両水深域における土量の変化の様子もよく似ている。この場合は、冬期、富山湾口から浸入してくる波高、周期ともに大きな波が



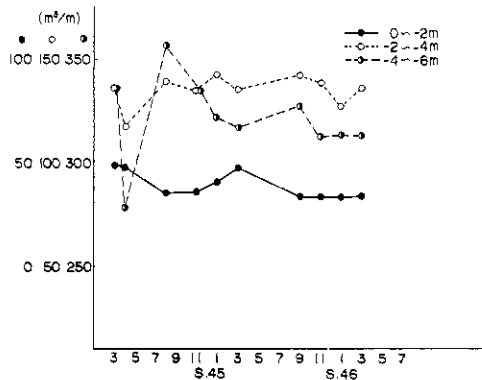
(1) 西岩瀬



(2) 海老江



(3) 新湊



(4) 国分

図15 各水深域の土量変化

侵食に大きく寄与しているようである。

以上、2年間の詳細な深淺測量結果から、海底土量の変化を求め、波浪特性に関連させて検討したが、その様子は、4地区においてかなり異っていた。とくに、西岩瀬では、冬期の高波とともに夏期から秋期にかけての風浪によって海底砂が失われ、回復の機会がないのが著るしい侵食の原因となっており、またこの侵食は-4~-8mの水深域で著るしく、てい線を見ていただけでは察知できない状態にあることは重大である。また、新湊では-6m以浅のほぼ全水深域が著るしく侵食されており、今後の侵食対策に対して十分考慮すべき問題であろう。

(3) 海底地形変動量と水深との関係

突堤や離岸堤等の海岸保全施設を海浜に設置す

る場合、構造物脚部の洗掘とともに海底地盤が季節を通じてどの程度変動するかを考慮して、それらの根入れを決定せねばならない。海底地盤の変動幅を知るには、荒天時における海底地形を測量する必要があるが、これは技術的に困難なため、通常は行われていない。しかし、1つの地区における海底地形をいろいろの季節に対して深淺測量し、得られた断面地形を重ね合わせて、各地点の海底地盤高の上限と下限との差 Δh を求めれば、これはその地点での年間を通じての最大海底地形変動量に近い値であるはずである。そこで、4地区における深淺測量結果を用い、この海底地形変動量 Δh を、その地点における平均水深 に対してプロットすると、図16(1),(2),(3),(4)のよ

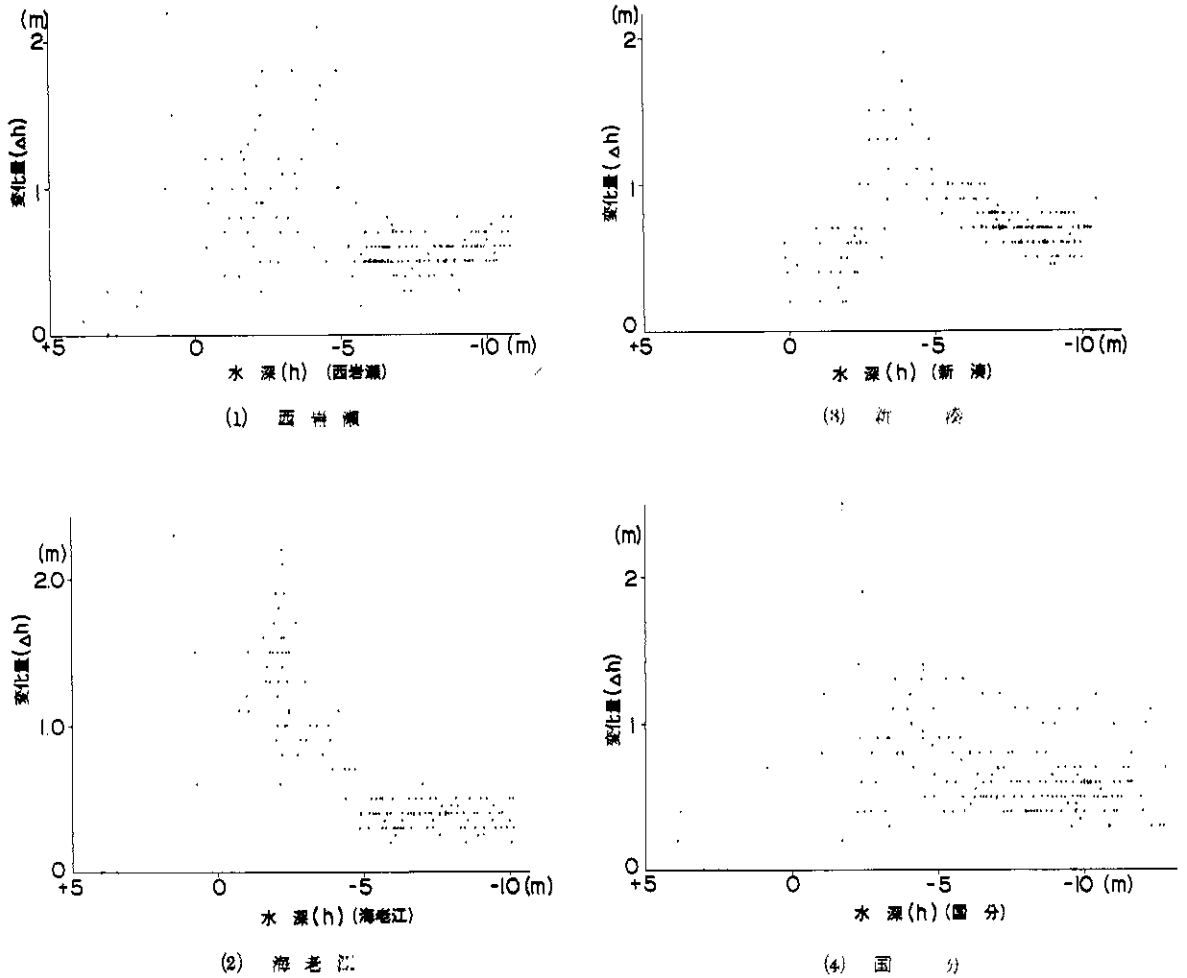


図16 海底地形変動量との関係

りになる。図から、海底の変動幅は、西岩瀬、海老江、新湊地区では水深-3m付近で最も大きくほぼ2mであり、水深-5m以深では、1mより小さいことがわかる。国分では、水深-8~-10mにかけてほぼ一様に1.2mほど変動しているが、これは国分地区の特殊な海底地形によるものと思われる。

2.4 荒天時の漂砂観測

富山海岸には、浸食を防止するために前面に消波ブロックを置いた海岸堤防がいたる所に設置してあり、その背後に接近して民家が密集している場合も多い。したがってもし荒天時における前面海底の洗掘により、それらが沈下倒壊し、浸食防止、越波防止等の機能が失なわれることがあれば、

きわめて重大といわねばならない。そこで、海岸堤防前面の消波ブロックの沈下量、前面海底の最大洗掘量を、それぞれ水準測量および洗掘環により調べてみた。また、荒天時における漂砂現象を観測するのを目的として、海底地形の変動を連続的に観測する超音波式洗掘計、波浪流と浮遊砂濃度を観測する超音波漂砂計を試作し、現地に設置した。ここでは、これらの調査観測により得られた成果について成果について述べる。

(1) 洗掘環による最大洗掘量の調査

調査は、昭和44年12月から昭和45年3月にかけて、海老江(No. 91, 93, 95), 新湊海岸(No. 137, 139, 142, 145)および国分浜(No. 173, 175, 177)において行なわれ

設置時	時化最盛時海岸	時化後の海底
設置時 (44-12-22)	-----	-----
第1回 (45-1-29)	-----	-----
第2回 (45-2-13)	-----	-----
第3回 (45-2-18)	-----	-----
第4回 (45-2-23)	-----	-----
第5回 (45-3-11)	第4回と同じ	第4回と同じ

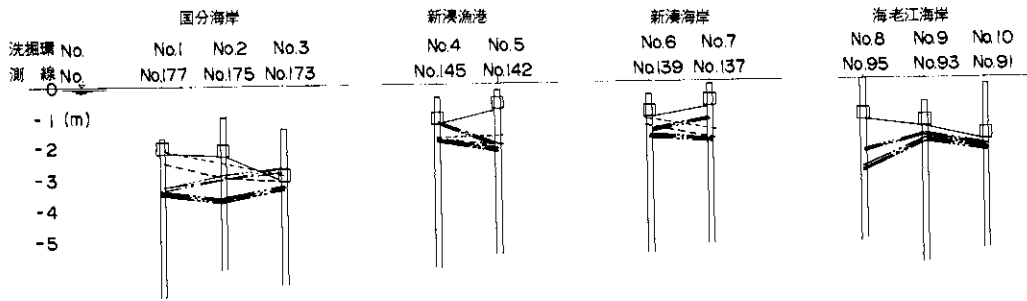


図17 洗掘環の洗掘沈下(場所別)

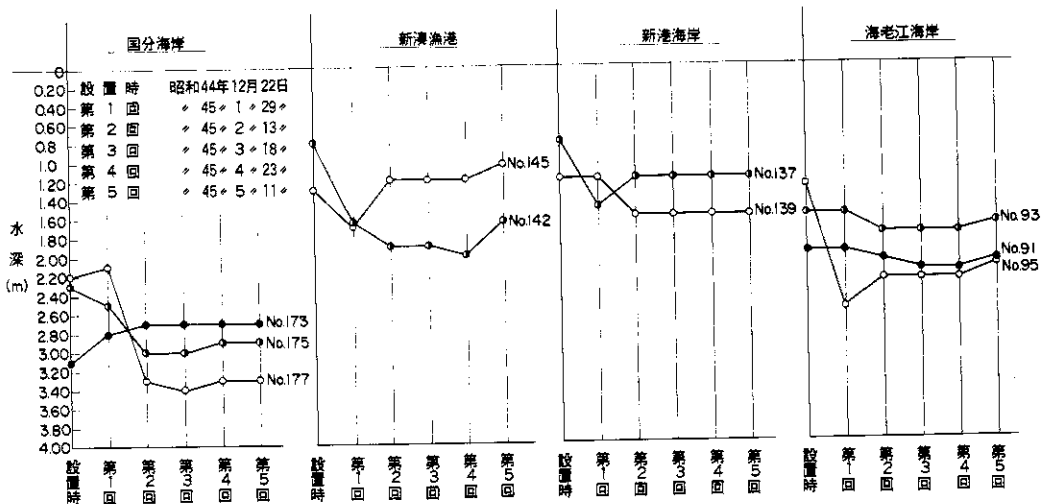


図18 洗掘環沈下の時間的变化

た。設置水深は、海岸堤防前面の水深 $-2\sim 3\text{ m}$ の地点である。調査結果を場所別に示すと図17のようになる。場所的な相異はあるが、いずれの場合も、最大洗掘量は 1.5 m 程度に達している。洗掘環の沈下を時間的な変化として示すと図18のようになる。図のように、洗掘環の沈下は、設置時(昭和44年12月22日)から第2回測量(昭和45年2月18日)まででほとんど決まっており、その後の沈下は非常に少なくなっている。すなわち、洗掘環がもはや沈下しなくなった位置での洗掘環下部までの水深が、調査期間(昭和44年12月から昭和45年8月まで)における最大洗掘深を与えるものである。これらの結果を、その外力たる波浪特性と関連づけることができれば、海岸保全施設を設計する上に非常に有用である。調査したケースが少ないので、これを一般化した形で表わすのは困難である。しかし、もし、ある初期水深の地点に対し(初期水深の範囲は $-1\text{ m}\sim -3\text{ m}$ まで)、ある波高の波が未襲したとき海底洗掘量はどれくらいかを求めるのであれば、これはつぎのようにして求めることができる。いま、洗掘環の鉛直位置を調べた結果、前回の測量月日の位置からある量だけ沈下していたとすれば、前回からその時までの間の最大波高が、少なくともその水深まで海底地盤を洗掘させるに十分な大きさであったはずである。遂に、その間で洗掘環の沈下がなかったとすれば、その間に生じた最大波高は、洗掘環の位置まで海底地盤を洗掘させる波高より小さいものであったはずである。そこで富山新港沖 -1.1 m での有義波高、洗掘環の設置時の水深および、各測量時の洗掘環の下面水

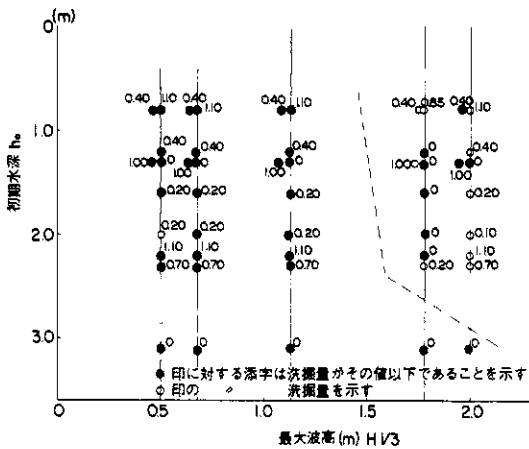


図19 初期水深、波高、最大洗掘量の関係

深との関係を図19に示す。図で白丸は、前回の測量時よりも洗掘環が沈下した場合で、添字は初期水深からの洗掘環の下面位置を表わし、明らかにその量だけ洗掘されたことを示す。また、黒丸は、前回の測量時と比較して、洗掘環が沈下しなかった場合で、添字は、洗掘量がその値以下であったことを示すものである。この図は、初期水深が $1\sim 3\text{ m}$ の範囲では沖波の波高が $1.5\sim 2.0\text{ m}$ 程度のとき、海底は、初期設置水深から比べて最大 1.1 m 程度は洗掘されることを示す。

(2) 消波用異形ブロックの沈下

海岸堤防前面の消波ブロックの沈下が著しい場合には、越波防止機能を低下させる恐れが生ずる。今回は、足洗から国分に至る消波用異形ブロックの沈下量を、昭和44年8月から昭和46年8月までの2ケ年にわたり測定した。図20に示すように、消波用異形ブロック上に3測定点をマークし、その沈下量を水準測量により求めた。

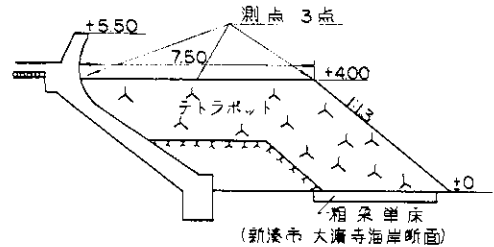
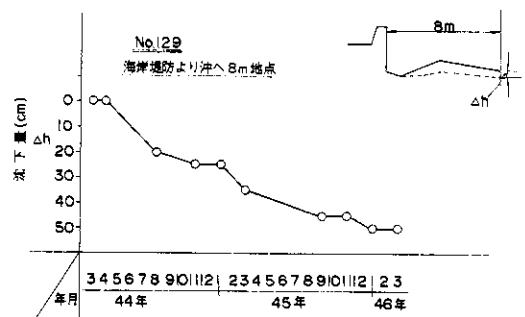


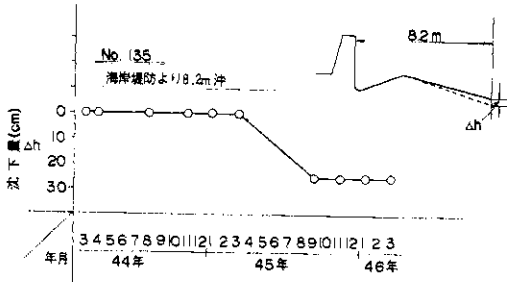
図20 異形ブロック調査観測図

全体的にはほとんど沈下が認められない。沈下が特に見られたのは、侵食のはげしい新湊海岸(No.129, 135)および国分海岸(No.180)であった。これらの8ケースについて、沈下速度をプロットすると、図21のようになる。いずれの場合も、一番沖側の測点が最も大きく沈下して

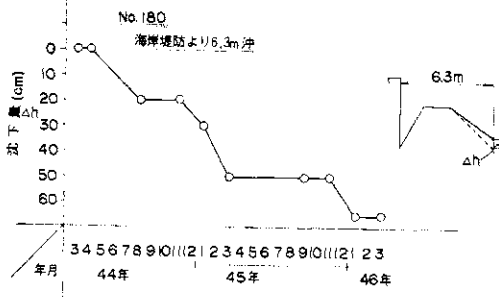


(1) 新湊 No. 129

図21.1 異形ブロックの沈下速度



(2) 新湊 No. 135



(3) 国分 No. 180

図 2.1.2 異形ブロックの沈下速度

いる。新湊の No. 135 の場合は、一度沈下したあとは安定状態に達しているようであるが、同じ新湊の No. 129、国分の No. 180 では、まだ沈下が続くように思われる。

(3) 漂砂観測装置の開発

荒天時の沿岸漂砂量、および海底地形の変動を観測するため、超音波式漂砂計、超音波式洗掘計を試作し、西岩瀬浜沖約 100 m の位置に設置し、観測を行なった。これらの装置の原理、構造については、中間報告で述べた¹⁾。観測は、昭和 44 年 11 月から 12 月にかけての 2 ヶ月間行なわれた。超音波式漂砂計は、浮遊砂の濃度と移動速度を同時に測定することにより漂砂量を観測できる仕組みになっていたが、このうち、浮遊砂濃度の測定は、送受波器に貝類が多数付着したため、安定した測定ができなかった。しかし、流れの観測は成効し、これと波浪特性、海底地形変化に関連して、いくつかの解析をおこなった。超音波式洗掘計は、比較的安定した観測ができたが、荒天時の浮遊物による影響が、多少問題となった。使用した超音波周波数は、100 kHz と 400 kHz の 2 種類であったが、100 kHz の方が 400 kHz より浮遊

物の影響を受けやすかった。もしそれが浮遊砂によるものであれば、周波数が高い方が影響を受けやすいはずであるから、これは他の原因、たとえば碎波時に水中に巻きこまれる気泡によるものと考えられる。超音波は、通常周波数が大きいほど気泡に対して安定である。超音波周波数があまり大きくなると、浮遊砂の影響を受けやすくなるので、結局、碎波帯で使用する超音波式洗掘計の周波数は、500 kHz から 1 MHz の範囲が適当ではないかと思われる。本装置による荒天時の海底地形変動の特性について、いくつかの重要な事実を明らかにすることができたが、紙数に制限があるため、本報告に記述するのは省略した。詳細は、文献を参照されたい。5), 6)

3. 湾奥部の漂砂に関する模型実験

3.1 実験の目的

これまでにおこなわれた現地観測や海岸踏査の結果、沿岸漂砂は湾奥部に向かって移動していることがわかった。それにもかかわらず付近の海岸は所に侵食、欠壊箇所が現われている。これは富山湾特有の海底地形によるところが大と考えられる。神通川河口、四方および庄川河口付近に追っている水深 200 m 以上の洋谷のため著しい波と沿岸流の収束発散が誘起されるほか多量の沿岸漂砂がこれらの洋谷に向って落ち込むためと考えられる。そこで前筋までの富山湾の侵食の特徴を明らかにしさらにそれらした侵食問題に処するため富山湾特有の海底地形を模型内(固定床)に再現して最も出現度の高い波を選定し、波の収束発散と沿岸流との分布から湾奥部の海岸侵食の機構を明らかにしたこの結果にもとづいた移動床模型実験から二、三の対策工による侵食防止効果を検討した。以下においてその実験の方法と手順ならびに結果について順を追って述べる。

3.2 実験施設および実験条件

模型浜は長さ 50 m、幅 30 m、深さ 80 cm の水槽に図 2.2 に示す富山湾湾奥部の昭和 45 年 8 月現在の海底地形を水平 1/400、垂直 1/80 にて再現したものである。水槽の有効深さの関係上水深 50 cm (現地 40 m) 以深はカットし水槽床と一致させた。また水深 15 cm (現地 12 m) 以浅については固定床と移動床との 2通りの実験ができるようにした。

実験に用いた波は図 2.3、2.4 のデータから現

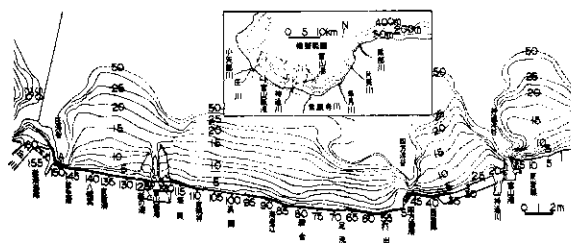


図22 模型浜全体図

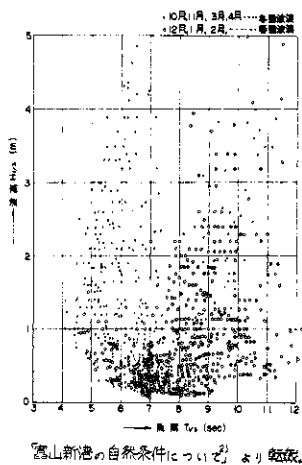


図23 周期、波高分布図

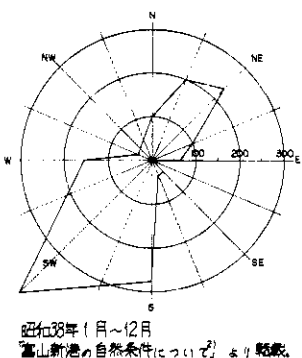


図24 風向出現度

地で6秒と10秒との波を採用し、その縮尺を垂直縮尺の平方根と等しくし、模型同期を0.67秒および1.12秒とした。波高は4mと2mとを採り模型内では垂直縮尺に一致させそれぞれ5cm, 2.5cmとした。上記の同期、波高の組み合わせからつぎの8つの波を模型浜に作用させて波、沿岸流その他の諸量を測定し波による浸食状況の相異

を検討した。

ケース①

同期1.12秒、波高5cm

ケース②

同期1.12秒、波高2.5m

ケース③

同期0.67秒、波高2.5m

なお波向はいずれの場合もNNEとした。

3.3 固定床における波の収束発散と沿岸流

3.2において述べたように実験に用いた波は8種類であったが、沿岸付近での波高および沿岸流等においてほぼ同様の傾向がみられたので、これらのうち特に顕著に現われたケース①の場合を中心にして他の2ケースについては特に異った傾向が現われたもの限り補足的に述べてゆくことにする。

図25はケース①の波(周期1.12秒、波高5cm)に対する沿岸付近の波高分布および沿岸流の測定結果を示すものである。これらの測定値のうち、波高は容量型波高計により25~50cm間隔の格子点で測定した波高値をコンターで結んだものであり、沿岸流は直径5mmの中空プラスチックボールに塩水を満たして水槽床上を転動する速度を目測にて求めたものである。またこのケース①に対応する波の屈折図を電子計算機により波向線法を用いて求めたものが図26である。

図25、図26から明らかなように波の屈折によって波高線が収束する領域、すなわち、東岩瀬、西岩瀬、海老江では波高が沖波の2倍以上になる。これに対し波の発散する東岩瀬東、神通川河口付近、四方漁港両側、練合、足洗および新湊漁港付近では沖波波高より小さくなっている。沿岸流については大勢的には西向きで神通洋谷、四方洋谷、庄洋谷の東側においてこの傾向が強く現地ではこの付近の砂が相当量これらの洋谷に落ち込む原因となっているものと推察される。これらの落ち込みは後述する移動床実験での螢光砂の移動状況

(図27)からも一部実証される。一方、西岩瀬、四方西、新港防波堤東、間西防波堤西付近では逆に東向きの沿岸流が観測される。また浜附付近に東西両側からの流れの合流点があり、これは先に調べた²⁾標砂の合流点海老江のやや西に位置している。沖波条件を変えた他の実験ケースにおいてもこの浜附あるいは海老江を境として流れが逆転

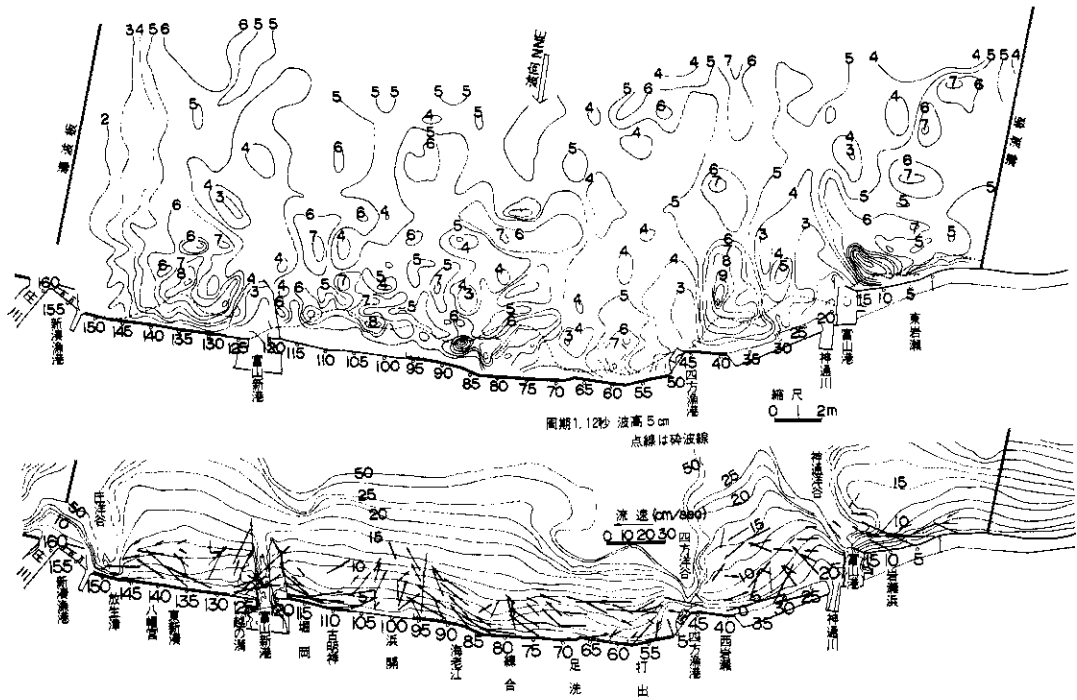


図25 固定床でのケース①の波に対する波高分布と沿岸流

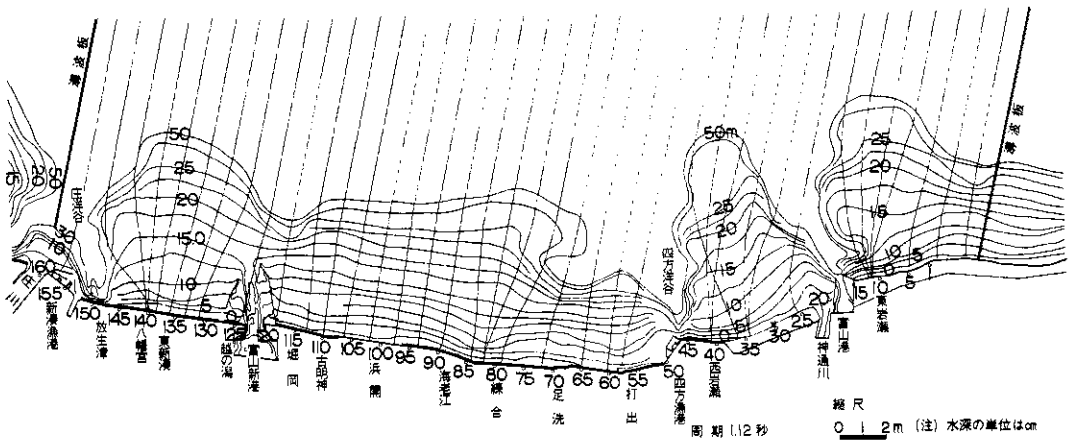


図26 ケース①の波に対する屈折図

する傾向があり各洋谷の東側では西方流が卓越している。新港東防波堤東側の東方流は東防波堤による波の反射が影響しているのであろう。

つぎに波高と沿岸流とを包括したものとして碎波点における沿岸方向の波のエネルギーを考えることができる。いま沖波波高 H_0 の波が水深 h_b の点で碎波しこの時の波高が H_b であるとすると

$$H_0, h_b, H_b \text{ の間には } H_b = K_r \cdot K_s \cdot H_0 \quad (1)$$

$$h_b = a \cdot H_0 \quad (2)$$

なる関係がある。ただし $K_r \cdot K_s$ はそれぞれ屈折係数、浅水度係数であり a は海底こう配、波形こう配などの関数である。一方この碎波点における波向線が i 線に対して α の角で入射するものと

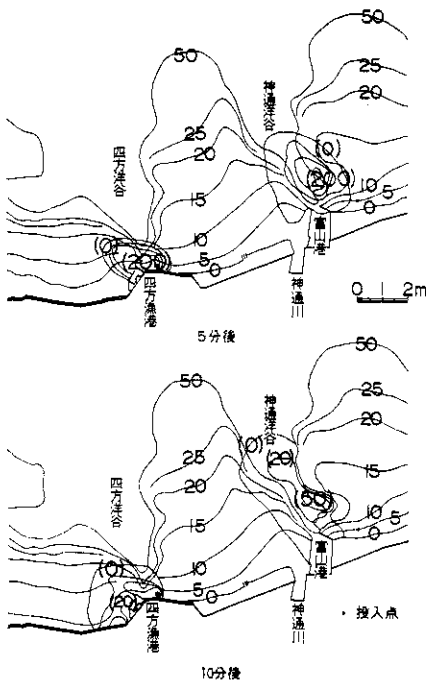


図27 蛍光砂移動状況

すると碎波点における沿岸方向の波のエネルギー E (単位時間, 単位幅当り) は次式で表わされる。

$$E = W_0 C_b H_b^2 \sin(2\alpha) \quad (3)$$

ここに C_b は碎波点における波速, w_0 は水の単位容種重量である。(3)式で示される入射角 α を実験から正確に求めることは難しいため図28に示した波の屈折のパターンが模型上にそのまま再現

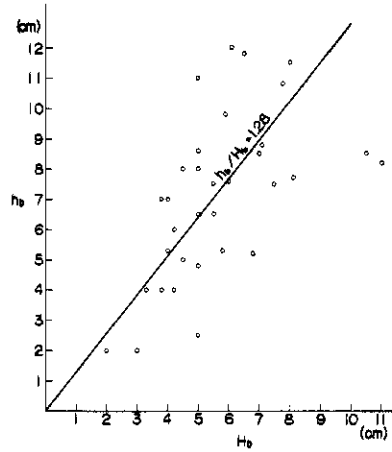


図28 $h_b \sim H_b$

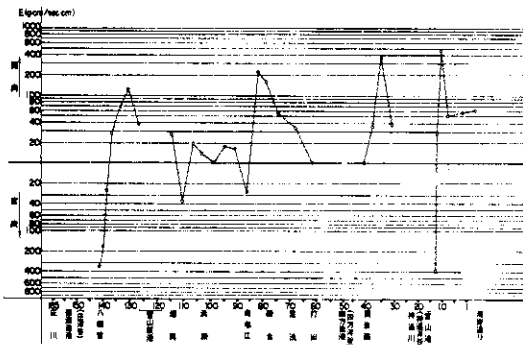


図29 周期1.12秒, 波高NNEの波に対する碎波点での沿岸方向のエネルギー

されているものと仮定して屈折図上でのエネルギーを考える。また(2)式の a は同実験で碎波高 H_b と碎波水深 h_b とを沿岸方向1m毎に測定して得た実験定数 h_b/H_b によることにした。

図28はその測定結果を示すもので $a=1.28$ と決定した。この値を用いて(1)式から H_b を求めて(2)式によって E を計算すると図29のようになる。

図29によると東岩瀬東, 西岩瀬, 練合, 海老江および新湊において西向きのエネルギーが大きく, 東岩瀬富山港寄と八幡宮では東向きのエネルギーが大きくなっている。逆に西岩瀬, 打出間および海老江, 浜開を中心とした領域ではエネルギーは小さくなっている。これらの地域のうち沿岸方向のエネルギーが大きいのところは浜開を除き実験での波の収束領域とよく一致している。浜開については波の入射角の関係上エネルギー値が小さくなっているが

現地でもこの地域は砂の堆積地となっている。西岩瀬、打出間のエネルギー値の低い地域は波の発散領域に一致している。

以上固定床にて代表的な沖波による波高、沿岸流および砕波点における沿岸方向のエネルギーの大きさ等の海岸に沿う分布について述べた。これらのことと前節までに述べた海浜の侵食、堆積状況とを対比すると両者の間には密接な関係のあることがわかる。この結果エネルギーの小さい領域でも付近からの供給砂れきの大小とかその他の要因との関係上必ずしも堆積領域とは一致しないが現地で侵食の激しいところとエネルギー収束領域とはよく一致している。

3.4 移動床における底質移動の実験

固定床実験において波による流体の運動から地形的な侵食の特性を検討した。ここでは固定床実験によって明らかにされた侵食領域での底質移動を調べさらに侵食防止対策に資するためおこなった二、三の移動床実験の結果について述べる。

模型浜は前述のように水深15cm(現地12m)以浅を移動床に切替えた。底質には中央粒径0.21mmの砂を用いた。波は固定床実験時と同一の3種類の波を作用させた。図80はケース①の波(周期1.12秒、波高5cm)の4時間後の断面変化を示すものである。この図によれば、東岩瀬では侵食の度合が著しく浜はほとんど消失し大部分の砂が神通洋谷に落ち込んでいる。西岩瀬地区でも火力発電所の排水口(No.80)から西側では海底の洗堀が見られる。この部分には護岸がなく、時間の経過につれて砂浜のてい線が著しく後退した(図81の下図参照)。また西岩瀬の四方港寄りの海底侵食も著しい。西岩瀬浜のこれらの欠陥によって流出した砂の一部は沖方向に、また一部は四方漁港をまわって西へ、残りは四方洋谷に落ち込んでいる。四方洋谷に落ち込んだ砂量は神通洋谷のそれに較べれば少く約1/4であってむしろこの地区では砂の四方漁港へのまわり込みが特徴的である。四方漁港の東側では波高が大きく、四方漁港前面では波高が小さいが西向きの沿岸流が強いため、上述のような著しい侵食が生じたのであろう。足洗、打出間(No.60~70)波高はそれを程大きくなく侵食が比較的小さい。練合(No.75)から新港東防波堤にかけての海岸はいずれも侵食性であり、特に海老江と練合の中間付近と古明神(No.110)で著しい。それはこれら

の2点では図25や図26から知れるように波が収束して付近より波高が高くなっているためであろう。また浜開の前面では付近に比較して侵食が小さく、沖側では堆積がみられる。これは図25に示したようにこの部分には両側からの沿岸流が集まる地点であるためであろう。富山新港内では波が静穏であるため海底地形の変化は小さいが西防開切部から侵入した砂の堆積が見られる。さらに西防先端の外側に沿って堆積がある。これらは図25の沿岸流の方向とよい対応をなしている。西防から八幡宮(No.145)に至るまでの海岸も侵食性であり八幡宮(No.140)では特に著しい。これも図26からわかるように波の収束による波高増大と、図25に示した庄洋谷の方向へ向う強い沿岸流によることは明らかである。

以上昭和45年3月現在の海底地形を現況海浜として波作用4時間後の地形変化について述べたが、その特徴を要約するとつぎのようである。

- (1) この実験では全体的に海岸近くが侵食され、沖側は堆積性であった。これは実験波が時化の波で侵食性であるためである。したがってこの実験は相対的な侵食の度合を示すにすぎない。すなわち、この実験で侵食の小さな領域は現実では堆積性であるかまたは平衡を保っていると考えられる。
- (2) 侵食の特に著しい地点すなわち富山港東側(No.10~15)、四方漁港東側(No.35, No.40)、練合・海老江間(No.85)および古明神(No.110)、八幡宮(No.140)は波の収束地域と一致し、波高が付近より高い。
- (3) (1)のうち富山港東側、四方漁港東側、八幡宮はそれぞれ洋谷の東側に位置し、それらの点から洋谷へ向う沿岸流が顕著であり侵食された砂は洋谷へ落ち込む。
- (4) 富山港や富山新港の西側では東向の沿岸流が生じその方向に砂が移動し堆積する傾向が強い。これは防波堤による波の遮蔽域へその外側の水塊が流れ込むためである。
- (5) 沿岸流が両側から会合する付近での侵食は小さい。

そこでつぎに以上の実験結果をもとにして二、三の侵食対策工を施しその効果をしらべる。対策工の設置はつぎの項目に留意しておこなった。

- (1) 海岸欠陥の主たる原因が波の集中によるものと考えられる場合には離岸堤を設置して碎

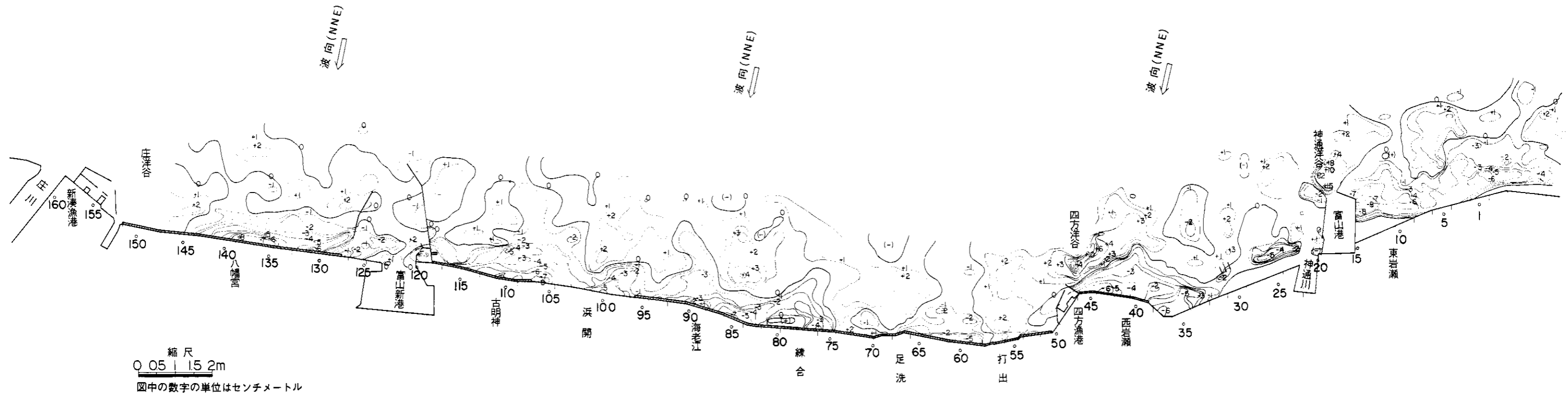


図30 ケース①の波に対する現況海況の4時間後の地形変化

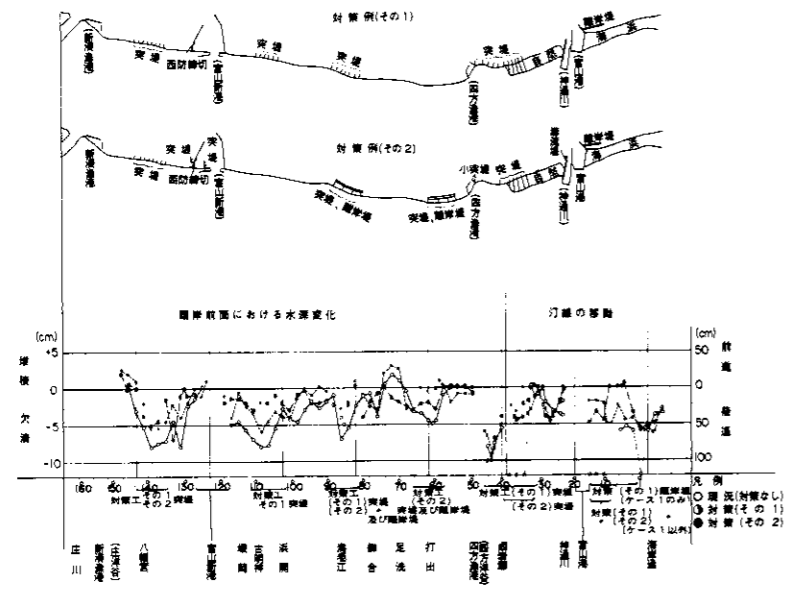


図31 対策例とケース①の波による護岸前面(またはてい線)の変化

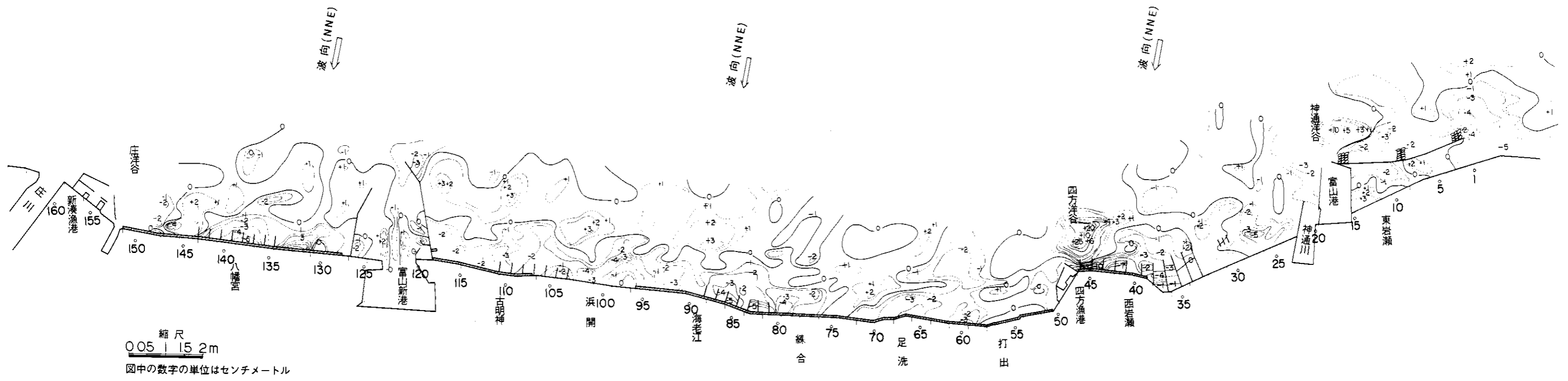


図 3.2 ケース①の波に対する対策例(その1)の4時間後の地形変化

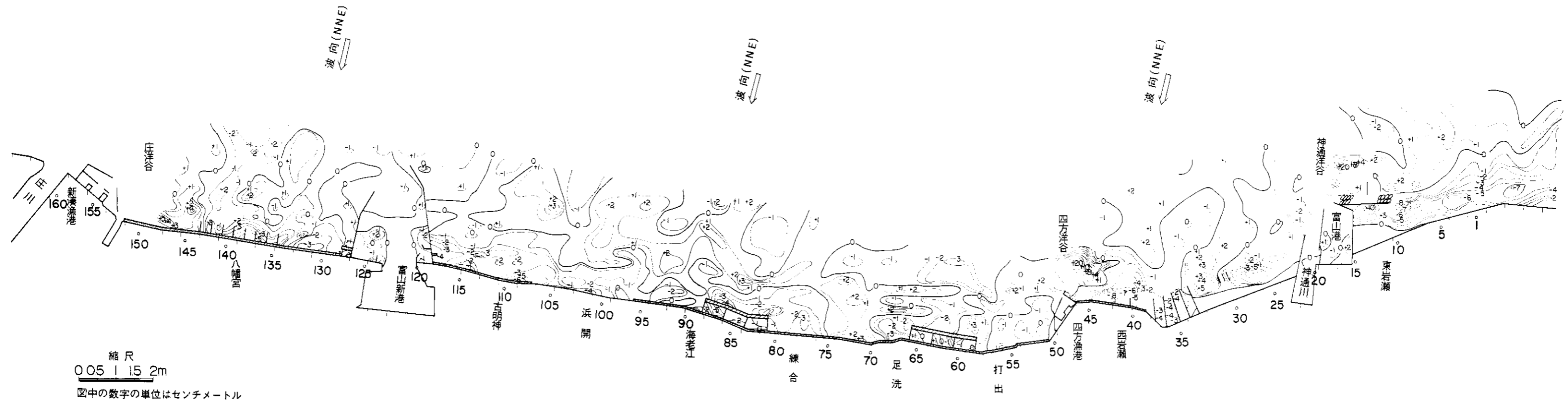


図 3.3 ケース①の波に対する対策例(その2)の4時間後の地形変化

波エネルギーを減衰させること。

- (2) 海岸欠壊の主たる原因が沿岸流の強さによるものと考えられる場合には突堤を出して沿岸流の流速の低下をはかること。
- (3) 海岸欠壊の原因が波の集中および沿岸流の大きさの両方による場合には突堤と離岸堤とを併設すること。
- (4) 河口、港口およびその他各種構造物の脚部付近等の局所洗掘に対しては導流堤、締切堤を施して沿岸流の流向、流速を制御することである。つきにこれら各種構造物の大きさは、まず透過性離岸堤に対しては断面、幅8cm、高さ15cmで越波しないものとし、長さ是对策区域に応じて適宜調整した。材料には径5~10mmの碎石を用い波による飛散を避けるため4mm金網でおおった。突堤長は80mとした。これは実験沖波波長の約1/6に相当する。導流堤、締切堤の長さについては状況に応じ適宜定めた。最後に上記構造物の数と組み合わせと場所の選定であるが前述のように最も有効に防護できる対策工を最初から望むことは不可能である。そこで一例として図81に示すような2通りの対策例を考えてみた。対策例(その1)は東岩瀬の不透過離岸堤を除き一応沿岸流その他の局所的な強い流れを緩和して侵食防止としての突堤、締切堤、導流堤の効果をみることに主眼をおき上述した現況実験結果と比較してみた。また対策例(その2)においては一部で突堤の削除はあるが、対策例(その1)にさらに透過堤の離岸堤を併設して侵食防止効果を検討しようとしたのである。図82、図83はそれぞれ対策例(その1)および対策例(その2)においてケース①の波が4時間作用した後の地形変化を示すものである。対策例(その1)の実験結果によると、東岩瀬地区の離岸堤によってその背後の海底の欠壊の度合は減少したが図81に見られるようにてい線はなお後退が著しい。神通川の導流堤は西からの砂移動による河口埋没に対し効果的にはたっているのがみとめられる。西岩瀬地区の突堤はケース①の波に対しては四方漁港西方への砂のまわり込み量は少くなり付近の海底侵食量は減少したがまだ十分ではない。すなわち東側の8本の突堤間には堆積が見られるが、他の突堤間は、相変らず侵食されている。しかし、ケース②、③の波では侵食が小さくなり突堤の両側に砂の堆積が現われた。練合、海老江間の突堤で

は対策後も依然侵食傾向にあるがてい線近くでは効果が見られる。吉明神地区の突堤ではケース①の波に対しては侵食が相当減少し、かなり効果が見られる。新港西防波堤脚部の締切により港内は静穏化され砂の移動はほとんどなく、西防北側の侵食も減少した。八幡宮地区の突堤については対策工により沿岸流はかなり緩和され、侵食防止の効果も顕著にあらわれているが、突堤の両側に砂が堆積するまでには至っていない。次に対策例(その2)において前対策例での結果と特に変わったところを重点的にあげると次のようである。東岩瀬地区の離岸堤長を短縮し、離岸堤前面に碎石をより多く投下して波と流れとの緩和をはかったため防波堤近くにおいててい線の後退量が少なくなっている。西岩瀬から四方漁港にかけては突堤の一部削除の影響で前対策例に比べれば侵食が多くなった。また四方漁港北防波堤に取付けた小突堤による四方漁港内への土砂のまわり込み防止効果はそれ程顕著ではない。足洗地区の突堤と離岸堤との併設区域ではてい線付近の水深が前例の半分以下になっていて、その効果が明らかである。前例で現われた水深0以上の堆積地は対策例(その2)ではさらに西に発達し練合付近(No.75)まで伸びている。(No.70)から(No.75)付近にかけての岸近くの水深も一般に浅くなっている。海老江付近(No.80~90)の突堤、離岸堤併設部でもてい線付近侵食防止効果が見られる。海老江、新港間は対策工を施工しなかったため部分的にかなり侵食を受けた場所が見受けられたが現況より侵食は少ない。港内に設けた突堤は西側からの砂の航路への落ち込みを防ぐためのものであったがわずかの効果がみとめられる。新港西防波堤脚部に設けた小突堤によりその背後の侵食は減少した。そして、対策工(その1)で見られた突堤部の東側(No.180~185)における極端局部的洗掘現象はない。また、前期2通りの対策工例の効果を知る目安としててい線での水深変化(東岩瀬地区の自然海浜に於てはてい線の移動)に着目してケース①の波による結果を示したものが先にあげた図81の下半分である。この図で四方漁港の東側についてはてい線(±0)の移動を示したが西側では、海岸堤防前面にほとんど砂浜がないので堤防直前の海底の水深変化を示す。この図からも、対策工を施工した後でも全体としてなお侵食傾向にあるが、その量はかなり緩和され

ていると考えることができよう。特に離岸堤背後における侵食の減少が目立っている。

以上対策工に関する実験から次のことがいえる。

(1) この実験では現況で特に侵食の著るしい部分に対して対策工を設けたが、突堤、離岸堤ともにその効果がみとめられた。

(2) 突堤のみによっては、その効果は十分でない部分に離岸堤を併用した結果は、一層、侵食を防止した。

(3) 神通川の左岸導流堤の延長、富山新港の西防開口部締切った結果も附近の漂砂現象に対して有効であった。

以上、固定床実験においては場所的な侵食堆積の特徴を波と流れとから検討した。また移動床実験では固定床実験による結果と現地実験とから2通りの対策を施してその効果を検討した。

4. 湾奥部の海岸侵食機構

前節までは、富山海岸の侵食に関する種々の現地漂砂調査および同海岸の波による侵食に関する種々の現地漂砂調査および同海岸の波による侵食機構に関する模型実験の結果について述べた。本節では、これら2つの成果をもとにして、富山海岸の侵食機構について総合的な考察を加えてみる。海岸侵食とは、要するにある地点に流入する土砂量が、そこから流出していく土砂量より少ないときに起るものであるが、その原因としては、つぎのようなものが考えられる。

(1) 河川改修等により河川排出土砂量が減少する場合

(2) 防波堤や河口導流堤により沿岸漂砂が阻止され、漂砂の下手側海岸への供給土砂が減少する場合

(3) 海底地形の影響により波が屈折し、海底に作用する波のエネルギーが不均一となる場合

(4) 地学的な時間スケールでの海水準変化、あるいは地殻変動により、海底地形自体が波浪等の外力に対し、安定形状でない場合

(5) 地下水のくみ上げ等に起因する地盤沈下

実際の海岸で生じている侵食現象は、これらの原因がいくつか組み合わせられているものと思われるが、これ等のうちどの原因が最も支配的であるかを明らかにすることは、侵食対策を考える上に重要である。そこで、前節までに述べた現地調査、模型実験結果を、これに焦点をあわせて検討して

みる。

これまでの現地調査および模型実験の結果から、つぎのような諸点が特徴的であることがわかる。

(1) 湾奥部の海底の侵食は全域にわたって一律に生じているわけではなく、局所的には堆積している所と侵食している所とがある。

(2) なかでもとくに侵食のはげしい新湊、西岩瀬海岸をくわしく調べてみると、海底の侵食と波浪の季節的特性とが、密接に関係しているようである。

(3) 屈折図や、模型実験の波高分布に見られる波のエネルギーの集中個所と、現地の広域深淺測量から得られる長期的侵食個所とは、非常によく一致している。

湾奥部海岸の海岸侵食は、主として湾奥部へ流出する常願寺川、神通川、庄川等の大河川の排出土砂の減少、洋谷への底質の落下が主たる原因であるが、洋谷など複雑な海底地形による波のエネルギー分布の不均一性によって、その侵食機構は複雑である。しかし、湾奥部といっても、その東西方向の範囲は広く、構造物を含めた地形的条件は少しずつ異っている。そこで、これをいくつかの区域に分け、各々についての侵食機構について、ここに検討を加えてみる。

(1) No. 10付近を中心に長期的な著るしい海底侵食がある。(図11(1))

(2) 螢光砂調査によれば、この付近では西向きのはげしい沿岸漂砂がある。(図9)

(3) この付近には屈折により波のエネルギーが集中し、また、西の神通洋谷へ向かう強い沿岸流がある。(図25)

以上から、No. 10 付近へ屈折して集中した波により、多量の底質が浮遊され、沿岸流に乗って神通洋谷へ落込むため、この付近の侵食が著るしくなっているものと思われる。

富山港一四方漁港

(1) 神通川左岸No. 25 沖、および西岩瀬沖山に著るしい侵食がある(図11(1))

(2) 螢光砂調査、染料、ポールフロートによる流況調査によれば、この付近では基本的には西向きの漂砂が卓越しているものと思われるが、時折東向きの漂砂もある。しかし、漂流桿によるてい線より沖100~150mにおける流況は、明らかに西向きである(図9)

(3) 神通川から四方洋谷の中の特異な海底地形

により、No. 25 沖では波のエネルギーが発散する一方、西岩瀬のNo. 35 からNo. 40 にかけては屈折による波のエネルギーの集中度が高い。

神通川左岸の浸食は、波のエネルギーの集中、発散では説明できない。これは、東寄りの波のとき、神通川河口が富山港防波堤によって遮蔽されるので、その方向へ神通川左岸の砂が移動するためである。No. 25付近の沖の著しい浸食は、その部分は神通川からの排出土砂による砂州がある所で、神通川からの排出土砂減少にともうその砂川の欠乏によるものと考えられる。

打出—富山新港

(1) 打出から足洗の間は—6 m以浅が浸食している。足洗のNo. 68 から練合のNo. 80 までの間は、浸食は小さい。練合のNo. 80 からNo. 88 までの間には、局部的に著しい浸食領域がある。No. 88 から海老江を通過してNo. 97 付近までは—3 m以浅が、少し浸食傾向にある。しかし、No. 100 からNo. 105 までの浜開海岸では、てい線付算は堆積傾向にあり、これより西の富山新港までは、浸食も小さい。(図11(1))

(2) 螢光砂調査によれば、足洗付近では沿岸漂砂の方向は明確でない。浜開付近でも、明確ではないが、東向きの成分もかなり強い。富山新港の位置では、新港建設以前は西向きの漂砂が卓越していた。(図9)

(3) この海底地形は比較的単調であるが、一部、練合付近で、波が屈折して集中する。波の進行方向は、等深線にほぼ直角となり、練合付近をのぞいて沿岸方向の波のエネルギーも小さい。(図29)

以上のように、この区間での沿岸漂砂はさほどはげしくない。富山新港建設ときに突堤の東側のてい線が前進したことから、富山新港東防波堤の影響が及ばないところでは、西向きの漂砂の卓越方向があると思われる。しかし、東防波堤が建設されることにより、波が反射され、東向きの波のエネルギー成分が加わることとなった。これが、従来の西向の卓越沿岸流とバランスした地点が丁度浜開付近に相当し、この領域は、西方からの底質の供給をうけるので、堆積するようになったのであろう。練合、打出海岸の浸食は、屈折による波の集中が原因しているようである。

富山新港—新湊漁港

(1) 富山新港西防波堤より八幡宮No. 142までの区間がほぼ—6 m以浅の全域にわたって著るしく浸食されている。(図11(2))

(2) 螢光砂調査、流況調査では、確定した沿岸漂砂の方向はつかめなかった。(図9)

(3) No. 130 からNo. 140 の間は、波の屈折により波高が高い。波浪流は、No. 130 付近を中心に、東は新港西防波堤開口部を通過して港内、西は、西向きに庄洋谷へ、沖は西防波堤に沿って沖向きへと、放射状に発散するような流れがある。(図25)

この領域は、結局3つの原因により浸食がはげしくなった。それは、もともと漂砂の卓越方向が西向きであったのに、新港建設により漂砂の供給源がしやへいされたこと、屈折によりこの付近の波高が大きくなっていくこと、そのために三方へ放射状に広がる流れが生じ、底質の損失がはげしいことなどである。

以上、現地調査、および模型実験の結果から、富山湾海岸奥部海岸の浸食機構について検討した。この海岸には、浸食対策のための消波護岸が延々と設置してあるがそれでもなお浸食が続いている個所がいくつかあり、その浸食機構は、場所によって異っていた。したがってそれらの浸食機構をよく考慮に入れて、適切な対策を講ずる必要があるようである。

5. 結 論

本報告の結論はつぎのようになる。

(1) 富山湾の湾奥部砂浜海岸の主要供給源は、湾奥部へ流出する主要河川、すなわち、白岩、常願寺、神通、庄川であり、上市川以東の河川からの供給は少ない。

(2) 沿岸漂砂の卓越方向は、富山湾の卓越波向NNEで与えられる漂砂の方向と一致し、大勢としては、庄川付近の海岸へ向かって、東西から寄せて来る方向にある。

(3) 湾奥部の海岸浸食は、全体的に一様に生じているわけではなく、場所的に浸食の著るしい箇所、ほとんど長期的な変化のない箇所などがある。

(4) 浸食の著るしい箇所は、東岩瀬No. 10、神通川左岸沖No. 25、西岩瀬、練合No. 80~No. 88、富山新港西防波堤から八幡宮No. 142までの区間

等である。

(5) 侵食の著るしい箇所をくわしく調べた結果、侵食現象と波浪の季節的特性とはかなり相関があった。また、現地における侵食の著るしい箇所と、海底地形の影響で屈折した波が収束する場所とがよく一致したことから、湾奥部の海岸侵食は、富山湾特有の複雑な海底地形により波が屈折し、海岸に作用する波のエネルギー分布が不均一であることと大きく関係していると思われる。

(6) 模型実験によれば、富山湾の所に存在する洋谷が漂砂の損失先となっていることが実証された。

(7) 海岸侵食は屈折による波のエネルギー集中が大きく関係していたが、その様子は海岸により少しずつ異っている。とくに侵食の著るしい新湊海岸は、屈折による波のエネルギー収束と同時に、富山新港建設により漂砂の上手が断たれたことが大きな原因と思われる。

(8) -6 m以浅の土量計算によれば、西岩瀬、新湊海岸では1 mの浜幅あたり約70~80 m³/年の損失があった。この場合、西岩瀬では-4~-6 mの比較的沖浜部、新湊では-6 m以浅の全域にわたって侵食された。

(9) 海底地形の季節的変動量は、水深-3 m付近で最も大きく約2 mの変動幅があり、水深-5 m以深ではその変動幅が1 m以下である。

(10) 海岸堤防消波ブロック前面の最大洗掘深さは、その水深が-1 m~-8 mの範囲であれば、沖波々高1.5~2.0 mに対し、1.1 m程度であった。

(11) 侵食対策としては、沿岸流を阻止する目的で全面的に突堤を設けることは有効である。しかし、富山港の東、四方漁港の東側、練合の近くなど特に波が集中する箇所においては突堤に加えて異型ブロックによる離岸堤を設けるか、あるいは、

海岸堤防前面の消波工の巾を広くして波を軽減することが必要である。さらに、神通川左岸においては、河口導流堤を設置するか又は離岸堤を設けること、富山新港の西防波堤の開口部をとじることとも必要であろう。

謝 辞

本研究における調査観測は、運輸省港湾技術研究所、第一港湾建設局新潟調査設計事務所、および伏木富山港工事々務所の協力のもとに実施されたものである。また本報告のための資料の分析、整理には、当研究所漂砂研究室の新保修氏に多大な骨折りを願った。これら関係者諸氏に深く感謝するしだいである。

参 考 文 献

- 1) 佐藤昭二, 竹内秀哲, 杉山隆(1971): 富山湾海岸における漂砂観測, 防災科学技術総合研究報告 第25号
- 2) 佐藤昭二, 入江功, 堀江毅(1971): 富山湾の海岸性状について, 防災科学技術総合研究報告 第25号
- 3) Shoji Sato and Isao Irie (1968): Use of Natural Radioactive Tracers for the Estimation of Sources and Direction of littoral drift, Report of P. H. R. I. 7, (3).
- 4) 第一港湾建設局伏木富山港工事事務所(1964): 富山新港試験突堤について, 富山新港資料 調査編 IV
- 5) 入江功・天坂三明(1971): 漂砂の連続的な現地観測について, 港湾技術研究所報告第10巻第2号
- 6) 佐藤昭二, 入江功(1971): 荒天時の海底地形変動に関する一考察, 第18回海岸工学講演会論文集。