



土 木 研 究 所 資 料

第 831 号

松任海岸離岸堤に関する模型実験報告書

昭 和 48 年 3 月

建設省 土 木 研 究 所

鹿 島 試 験 所

目 次

1. ま え が き	1
2. 調 査 目 的	2
3. 自 然 条 件	2
4. 漂砂の移動方向	11
5. 海岸侵食の原因	12
6. 侵 食 対 策	17
7. 離 岸 堤 工 法	20
8. ま と め	46

1. ま え が き

松任，美川海岸は能登半島の西に位置し，日本海に面している。冬期低気圧によって日本海に発生する波によって侵食を受けてきた。建設省においても昭和35年以来侵食原因の解明と侵食対策工法の検討のために調査が行なわれてきた。また侵食対策工事として，海岸堤防，防砂突堤，離岸堤が施工されてきている。

本報告は海岸侵食の原因を検討するとともに，侵食対策工法の一つとして考えられている離岸堤に関して模型実験を行なって，設計の基本的な考え方とその諸元について考察したものである。

なお，本調査は昭和45年度から3ヶ年にわたり，北陸地方建設局金沢工事々務所の依頼を受けて行なったものである。

鹿島試験所長	須賀 堯 三
	佐久間 襄
	山 田 三 郎
	横 田 敏 雄
海岸研究室長	橋 本 宏
	武 部 勝 行

2. 調 査 目 的

松任、美川海岸は古来より海岸侵食がはげしいといわれているが、その原因と対策工法についてはいまだ確立した結果が得られておらず、対策工法についても突堤や離岸堤が試みられている。この調査は現地における離岸堤の施工に対応して模型実験を行ない侵食対策を検討しようとするものである。

一般に海岸侵食はある海岸に供給される土砂の量と、その海岸から出ていく土砂量の間に差があるためすなわち供給量が少ないために生じるものである。対策工法を考えるうえでもこれらの量的な関係が明らかでなければならない。したがって離岸堤を計画する場合においても、侵食原因とその状況を知ることが設計上必要となってくる。この海岸においては昭和35年以来調査が行なわれ、報告書もあるために、文献および観測資料の解析によって、まず侵食の概要を調べ、それをもとに離岸堤の計画を考えることとした。

模型実験や数値計算などの手法を用いて計画をたてる際に問題になるのは、いずれの手法も実際の現象の支配的なものをモデル化しているために、そのモデルが有効であるか、実際をよく表わしているかということである。離岸堤の機能や効果についても同様であって現地に生じている現象と模型実験のそれが同じものでなくてはならない。したがって現地において施工されている離岸堤と模型の離岸堤の相似性についても検討する必要がある。これらの点についても不十分ではあるが一応の検討を行なった。

3. 自 然 条 件

海岸侵食の対策を検討するためには侵食の状況、地形、地質、気象条件を知る必要がある。ここでは一般的な記述は省略し、漂砂の移動方向と量を中心にこれまでの資料^{1), 2)}をまとめた。

3.1 地 形

松任、美川海岸は日本海に面し、図-1に示すように日本海で発生した波が来襲する。波の発生域としては日本海であって、各方向ごとの吹送距離を調べてみると図-2に示すようにかなり大きいために地形的な制約によってある方向からの波が卓越することはない。したがって波の来襲方向と大きさは海上風の方向と大きさによって規定される。すなわち来襲波の特性は主として気象条件によって支配されている。

ここで対策工法を考えているのは松任、美川海岸(16 km)ではあるが、漂砂現象を考える際には砂浜海岸である羽咋から橋立までの延長約80 kmを対象とする。漂砂源や移動

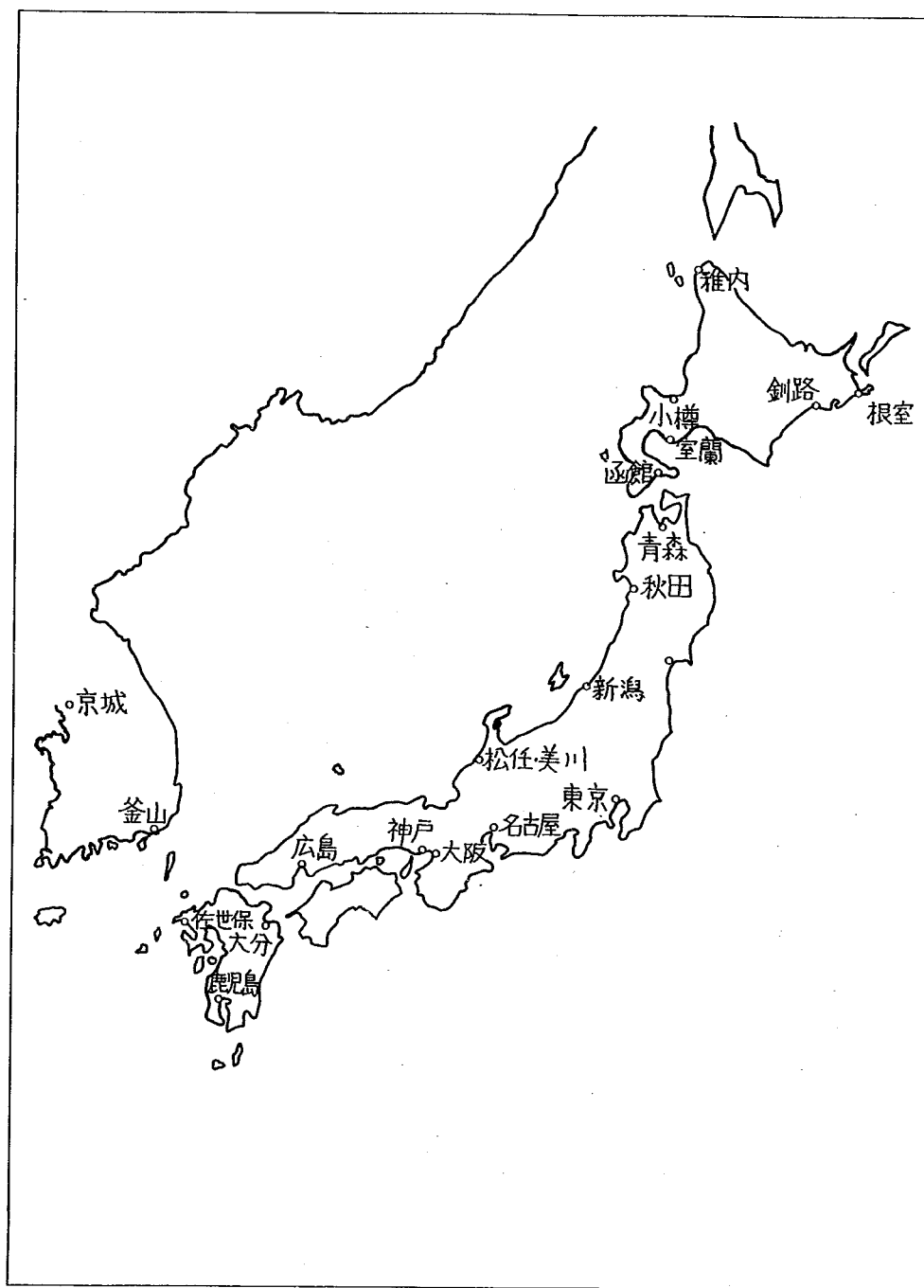


图-1 松任・美川海岸位置图

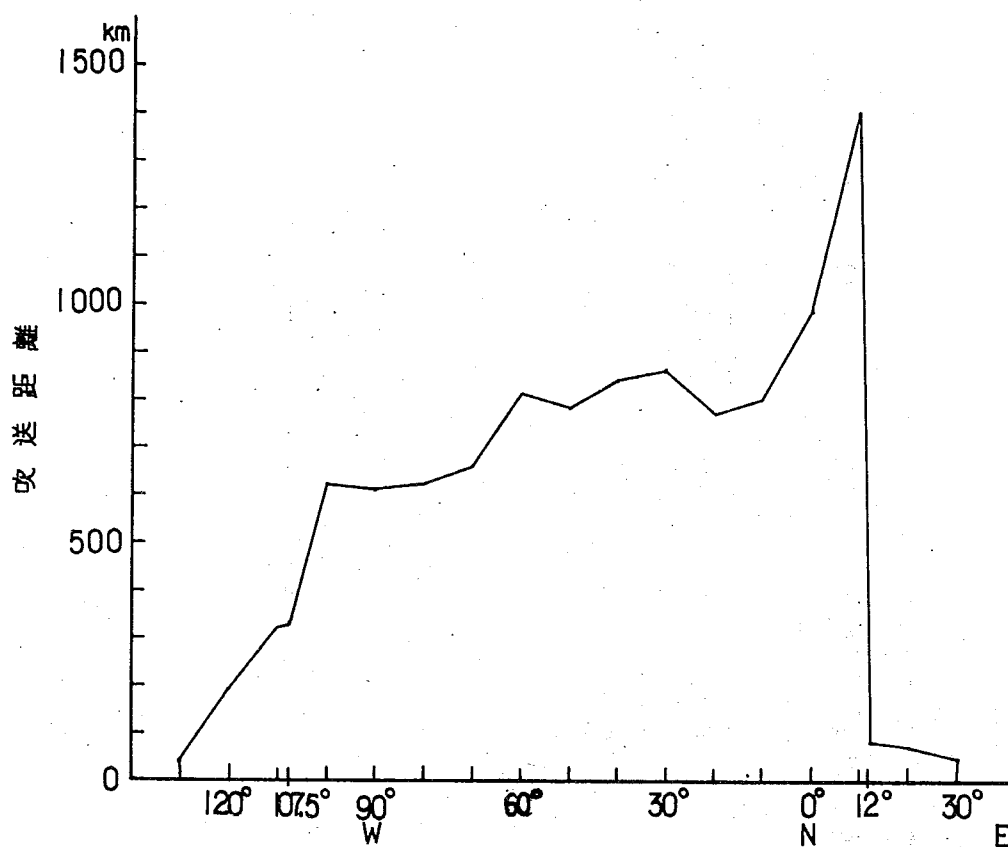
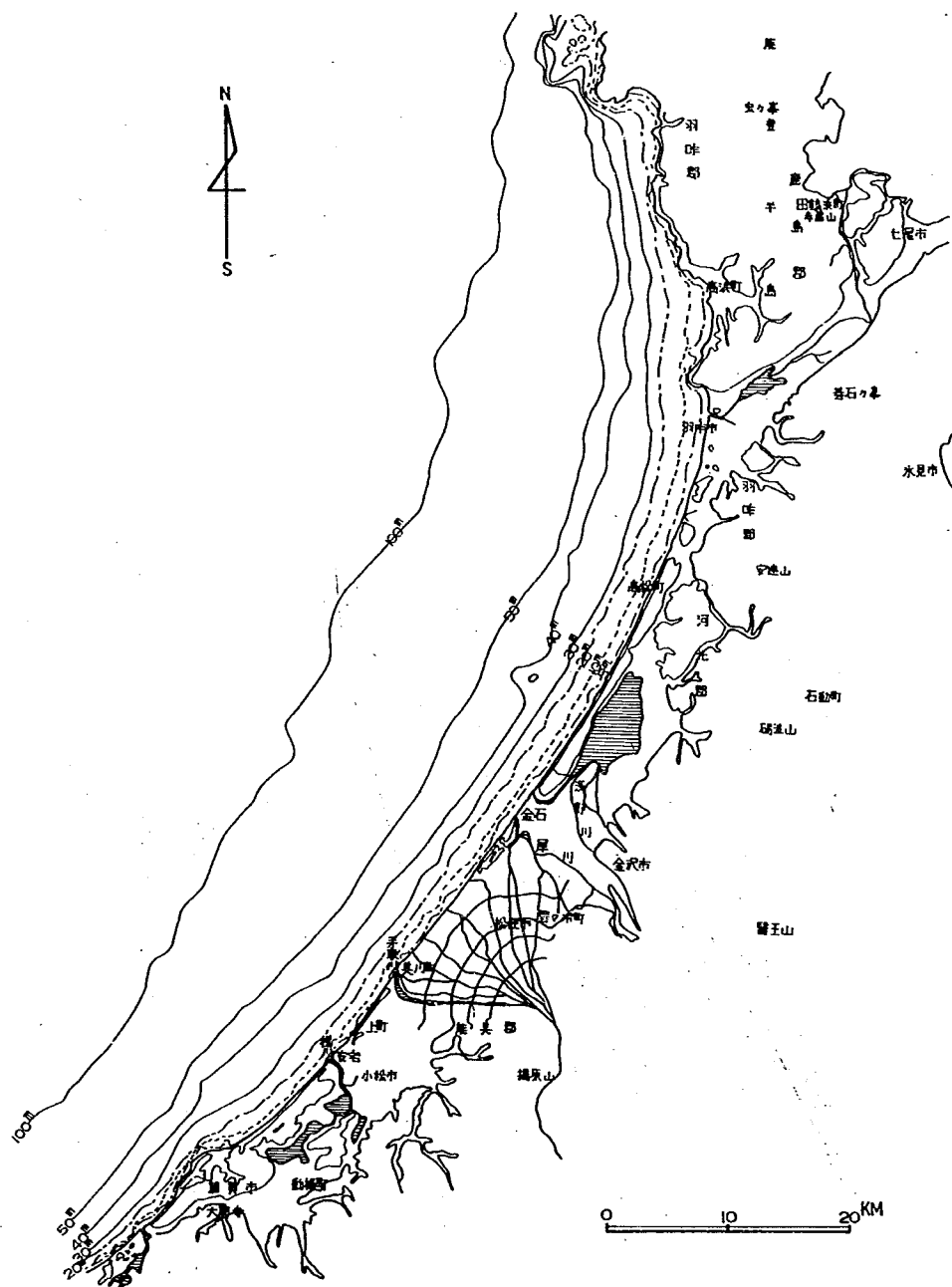


図-2 松任・美川海岸における方向別吹送距離

方向を調べるためには影響範囲を明らかにする必要がある、この海岸では当然砂浜の存在する上記範囲を考えなければならない。

背後地の地形は図-3に示すように鶴来町を扇の要とする手取川による扇状地が発達している。扇状地の西端には手取川が東端には犀川が流れている。扇状地の北東および南西に延びる海岸には砂丘が発達している。南西側では図-3に示すように根上砂丘、篠原砂丘が続き、その背後には今江潟、木場潟、柴山潟がある。北東には内灘村砂丘が続き、その背後に河北潟が存在している。一方海底地形を調べてみると沿岸の水深10m以浅ではバーとトラフが存在し複雑な形をしているが水深が深くなれば等深線は汀線とほぼ平行になっている。すなわち手取川扇状地は海岸線の位置で切られた形をしている。以上のような地形上の特徴をもとにこの海岸の形成過程を考えると次のようになる。土砂の主要な補給源である手取川が鶴来町を中心に扇状地を形成するとともに扇状地先端に運ばれた砂は波の作用によって北東および南東に運ばれていった。この砂礫によって砂丘が形成され、その背後には閉じ込められた形で河北潟や柴山潟が残っている。砂礫の移



富士山・名

図一 3 松任・美川海岸平面図

動方向としては鶴来から扇状地先端へ手取川によって運ばれ、扇状地先端からは両側に向っていた。扇状地と海岸線の接する場所、すなわち鶴来から海岸線までの距離の最も短い場所が徳光や相川新になっている。現在の手取川はその流路を扇状地の西端に変えているために補給源の位置が変化している。現在では手取川が主要な補給源であると考えられ当然河口から両側すなわち北東および南西への漂砂の移動が考えられる。扇状地や砂丘が形成され始めたのは数千年以前からであり、この長い期間の漂砂の移動方向としては徳光や相川新を中心とし北東および南西への移動である。しかし現在では手取川河口を中心とした移動も存在する。

3.2 地 質

地質は図-4に示すように調査対象となっている海岸およびそれに接する平野部は第4紀沖積層からなっている。



図-4 金沢付近地質図

3.3 気象, 海象

波浪の発達に関係する風向, 風速, および波高, 周期, 波向の波浪観測結果については相川新において風向, 風速, 波高, 周期の観測が行なわれているが, その成果はまだ十分にまとめられていない。この海岸はいずれの方向にもかなりの吹送距離があるためにある方向からの波が卓越しているかどうかは, かなり長期間の資料を整理しなければ明確にはならないであろう。平均的にはある方向に移動していても季節変化, 年変化がかなり大きいために漂砂には重要な影響は与えないと考えられる。しかし, この点については観測資料を整理することによって検討を行なう必要がある。

3.4 底 質

海浜を構成している砂や礫の特性を調べることによって漂砂の移動方向を知ることができる。砂の粒度分布ばかりでなく, 礫の大きさや割合, 岩質などが荒巻, 高山³⁾によって調査されているので, その結果をここで簡単にまとめておく。

底質調査を行なったのは図-5に示すように主として手取川扇状地の南西であって1962年8月と12月, 1963年2月の3回行なっている。海浜における礫の占める面積を比率で表わしたものを礫被率と呼ぶと, これは図-6に示すような分布をしている。手取川河口と梯川河口では流出土砂のために小さくなっている。これによれば手取川河口から南西へ増加しており, この方向への漂砂が考えられる。海浜礫を構成している岩質は図-7に示すようになっている。岩質の構成比を調べると梯川以西, 梯川から手取川, 手取川以南の三つの区域に分けられる。梯川から手取川の構成岩質は手取川の礫と同じ割合になっており, 手取川が供給源になっていると考えられる。最も大きな礫5個の平均体積は図-8に示すような変化をしており, 手取川の河口と梯川の河口に極大値がある。手取川河口から北東および南西に向うにしたがって体積は減少しており, これは河口が補給源であることを示している。梯川の右岸で極大値をとっているのは, ここに導流堤があってそこに礫が堆積しているためであろう。礫の扁平度と円磨度を示したのが図-9である。この両者の変化を見ると手取川河口から南西への移動を示している。海浜砂の平均粒径とふるい分け係数($PD\phi = (\phi_{00} - \phi_{10})/2$, $QD\phi = (\phi_{75} - \phi_{25})/2$)は図-10に示すような変化をしており, 手取川河口で平均粒径は小さく離れるにしたがって大きくなっている。

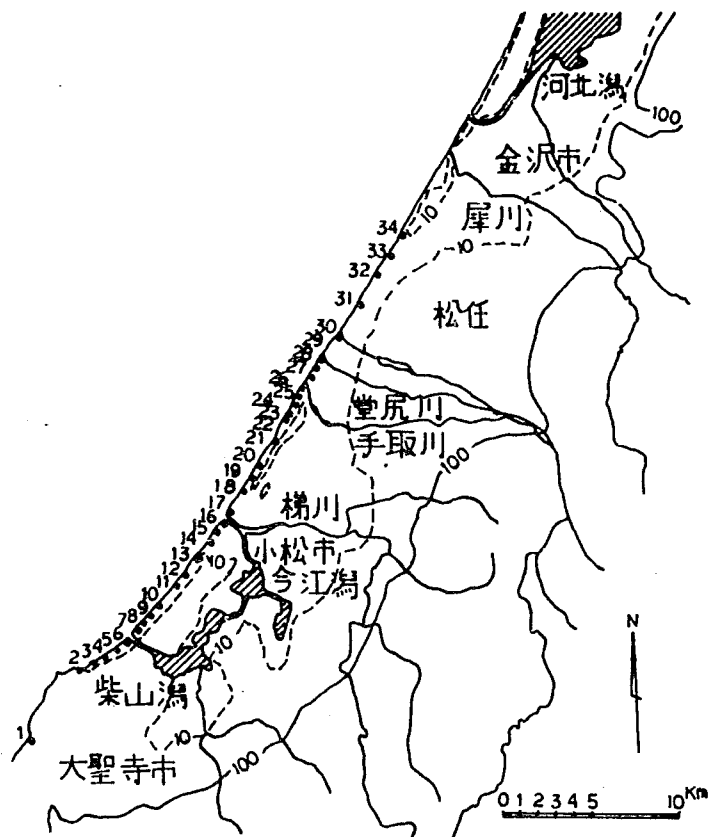


図 - 5 底質調査地点

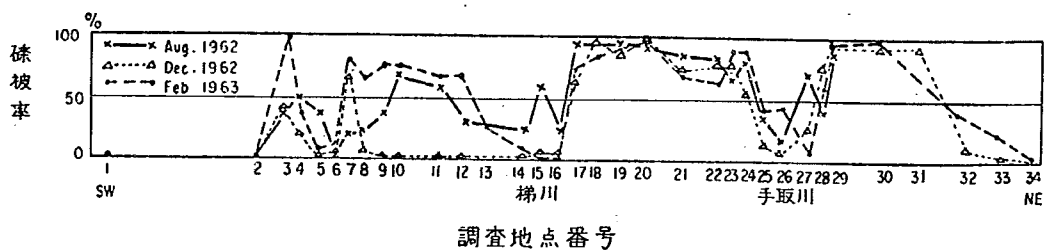


図 - 6 礫被率分布図

凡 例

	花崗岩		凝灰岩		その他
	石英粗面岩		安山岩		

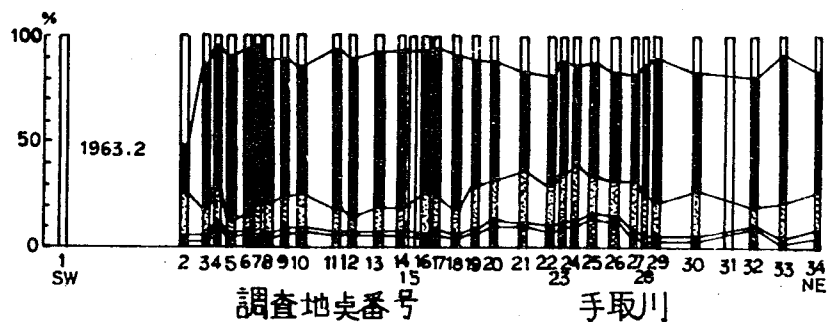
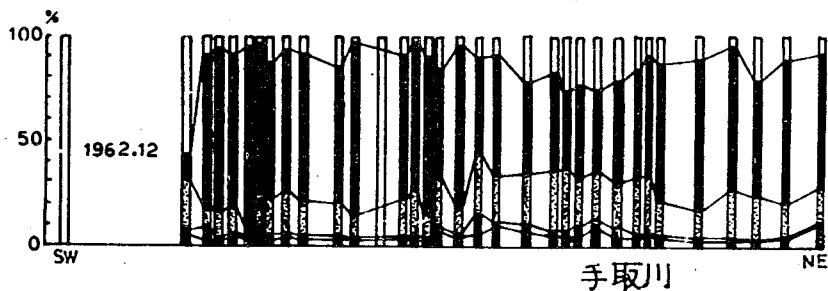
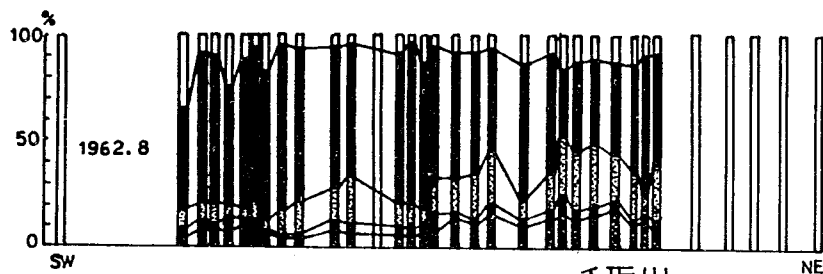


図 - 7 岩質分布図

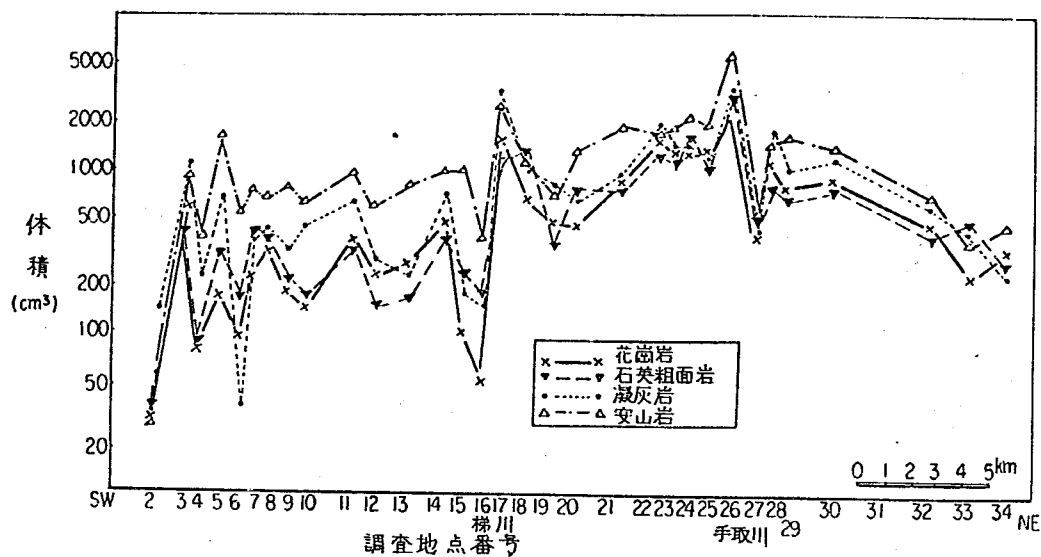


図 - 8 最大礫分布図

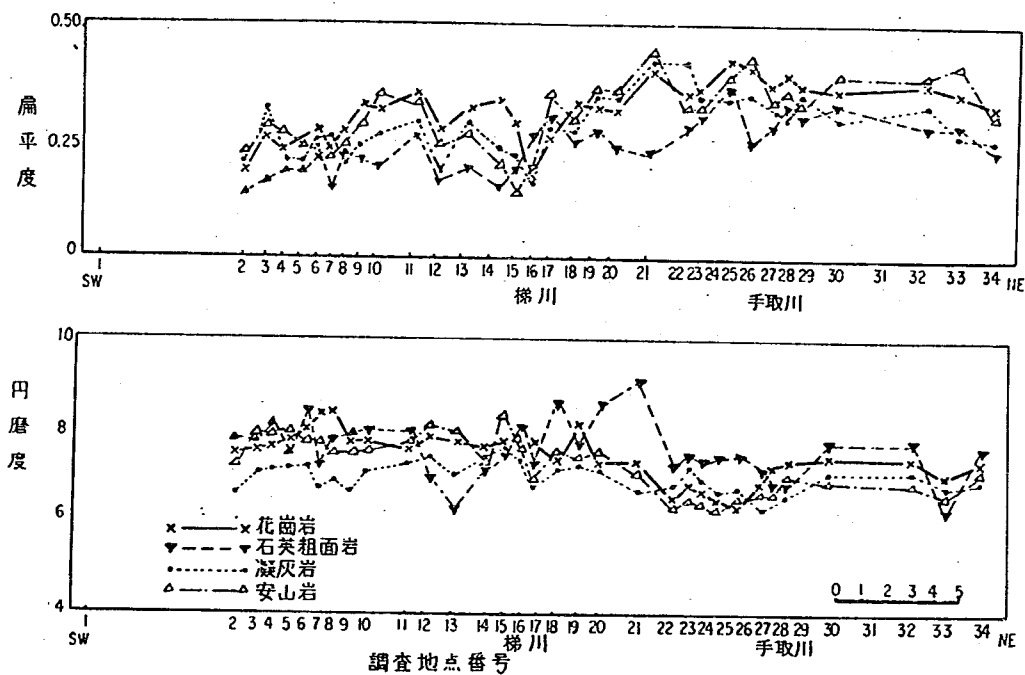


図 - 9 扁平度・円磨度分布図

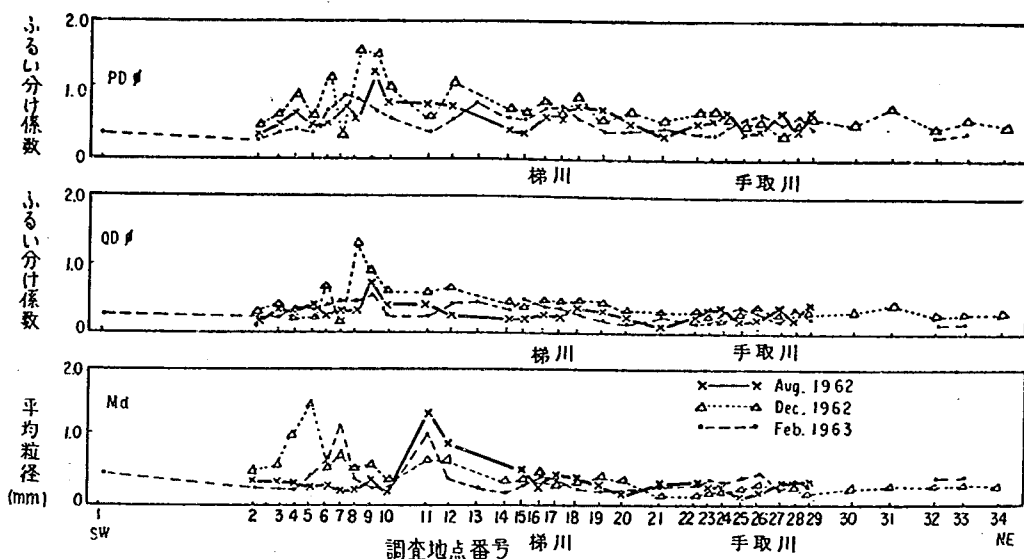


図 - 1 0 平均粒径とふるい分け係数

4. 漂砂の移動方向

地形、地質、底質などの結果をもとにして漂砂の移動方向についての検討を行なってみた。

漂砂現象によって一定した方向への移動があれば当然漂砂の補給源がなければならない。この海岸でまず補給源として考えられるのは手取川である。また量は多くはないが犀川と梯川も補給源となっているであろう。この他に海岸が侵食されれば当然そこが補給源となる。古い記録で侵食されているといわれているのは徳光と相川新であり、ここも補給源と考えることができる。これまでの結果をまとめて示したのが図 - 1 1 である。これはそれぞれの検討項目から推定される漂砂の移動方向を示したものである。総合的にまとめると三つの区間に分けることができる。すなわち手取川より南西、手取川と徳光または相川新、相川新より北東の三区間である。手取川より南西では南側への漂砂を生じており、これは各種の特性に表われている。ここには示してないが例えば梯川河口の導流堤においても導流堤の施工にともなってその南側が侵食されて、現在では河口の右岸と左岸では汀線にかなりの差がある。このことは南向きの漂砂があることを示している。手取川と徳光の間は移動の方向があまり明確ではなく、特にある方向の移動がいちじるしいとは考えられない。しかし徳光や相川新は図 - 3 に示すように扇状地の最も海に出た部分にあたり、漂砂も昔はここを中心に南西と北東へ動いていたと考えられ

検討項目

岩質
最大礫
扁平率
汀線後退
被災記録
地形
河川流出土砂
総合判定

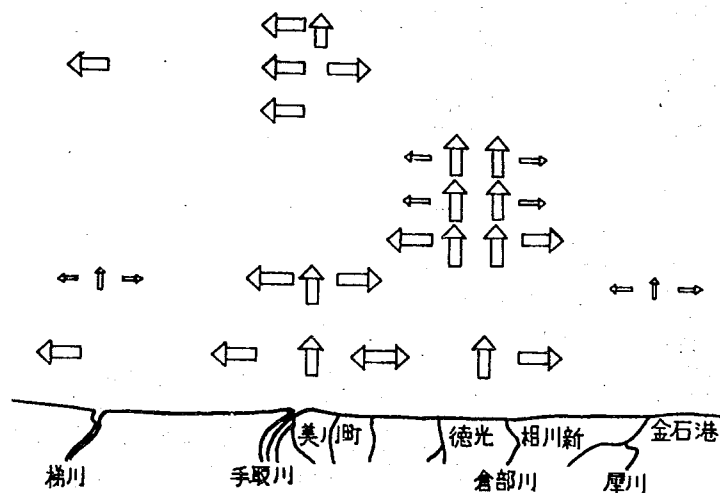


図-11 漂砂の移動方向

る。このために侵食もかなりはげしかったと推察される。しかし、現在では手取川の河口が扇状地の南端に移動したために河口から北東への移動もあると考えられる。相川新より北東の区間については北への漂砂があるであろう。

沿岸方向の漂砂量については十分な資料がないために明確なことは言いえないが、主要な補給源は手取川であり、河口での流出土砂量を推定することによって大体の値は知ることができるであろう。

5. 海岸侵食の原因

侵食対策を考えるためにはまず侵食の実体を明らかにし、次のその原因を調べなければならぬ。対策は侵食機構に対応して変化する。ここでもこれまでに調べた資料をもとに侵食の原因について考えてみる。

まず侵食状況についてはすでに調査報告書¹⁾にも述べられているが相川新地先と徳光地先があげられている。これによれば相川新地先における状況は次のように述べられている。

「明治初期より中期に於いて相河浦港として内海航路の廻漕船(約80屯~100屯)出入港として有名であった港も明治31年国鉄北陸線の開通と共に年毎に衰微したのである。当時の

海岸は幅200m～300mの砂丘には荷場倉庫が建ち並び、木造船工場もあり、広く砂丘地を利用して近郷の小学校の運動会も催されたことにより如何に広大な砂浜地であったかがわかる。しかし、現在は人家と耕地が海岸汀線までの近距離にあり、防波、防風砂の設備がなく毎年接近して来る海岸線に住民が驚嘆している。

なお古文書によると享保13年の道路に相河新村中心庄屋（大浦家）より各所への距離が記されているがその中に海浜迄の距離は6町53間半（757.40m）と記されている。それから現在を調査して見ると中心より2町35間（281.79m）程である。享保13年から経過年数（227年）で現在まで1ヶ年平均2.0m程度の侵食を来した事になる。尚砂丘地に建てられた倉庫跡耕地の流失面積は現在まで耕地5,920歩、空地1,054坪に及んでいる。」

また徳光地先については次のように述べている。

「徳光海辺は他の砂丘海岸と異なり、粘土及び泥炭土にて構成され台風及び冬期季節風（偏西風）による波高3m余の波濤は其軟弱な高涯に衝撃跳躍、怒濤の飛沫と共に崩壊し易く祖先伝来の美田も広大な砂丘も一朝にして海没し砂礫の河原と化してしまう状況である。古文書によると村の中心から海岸線までは200m以上もあって松籟の風致を歌う広大な松林であったと記録されてあるが、現在は僅か40～50mの近距離に迫り更に毎年2.0m以上の侵食を受けている状態である。又明治の中期より現在まで100m以上の砂丘地と50m以上の田畑が海に没している状況であります。」松任町役場において調査作成した侵食状況は図-12から図-14のようになっている。この図によれば徳光と相川新ではかなりの侵食を生じている。

昭和35年から45年までの汀線測量の結果を示したのが図-15である。これによればかなりの汀線変化があるが、侵食または堆積を生じているという傾向をつかむことはかなり困難である。測点番号100（浜相川）より北東で侵食を生じている傾向はうかがわれるがそれも昭和40年まではほぼ安定しており、40年から45年にかけて生じたものである。

手取川の河口も侵食を生じていると言われている。これは河川の流出土砂が変動すれば当然それに対応して河口附近の海岸線にも影響がおよぶ。流出土砂量の減少は河道整備、ダムの築造、砂利採取などによって生じており、これは全国どこでも生じている現象である。河川の流出土砂量が多ければその影響の範囲も広がるが、さきに示した汀線測量の結果を見ると大きく影響しているとは考えられない。

侵食の生じている場所はこれまでの結果によると徳光、相川新、手取川河口である。この事実とさきに述べた地形的な特質、漂砂の移動方向についての考察をまとめると侵食の原因は次のように考えられる。

松任・美川海岸の扇状地を形成していた手取川が現在では河道を扇状地の南西端に移したために、扇状地中央部（徳光、相川新）への砂礫の補給がなくなり、中央部の侵食が生じた。河口が移動した当時は中央部から南西および北東への移動を生じていたが、手取川の流出土砂によって河口では堆積を生じ河口から南西へ漂砂が移動するようになった。河口の北東部は釣合っ

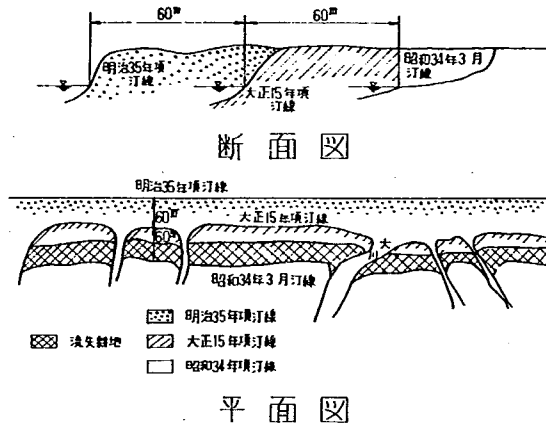


図-12 徳光における侵食状況

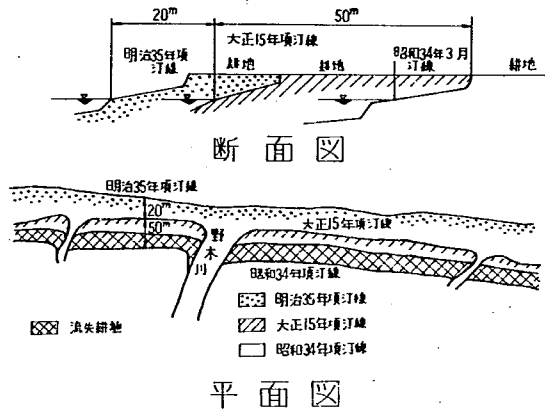


図-13 浜相川地内における侵食状況

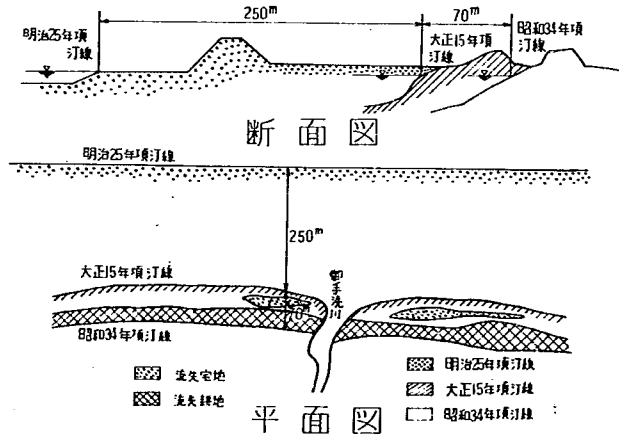


図-14 相川新町地内における侵食状況

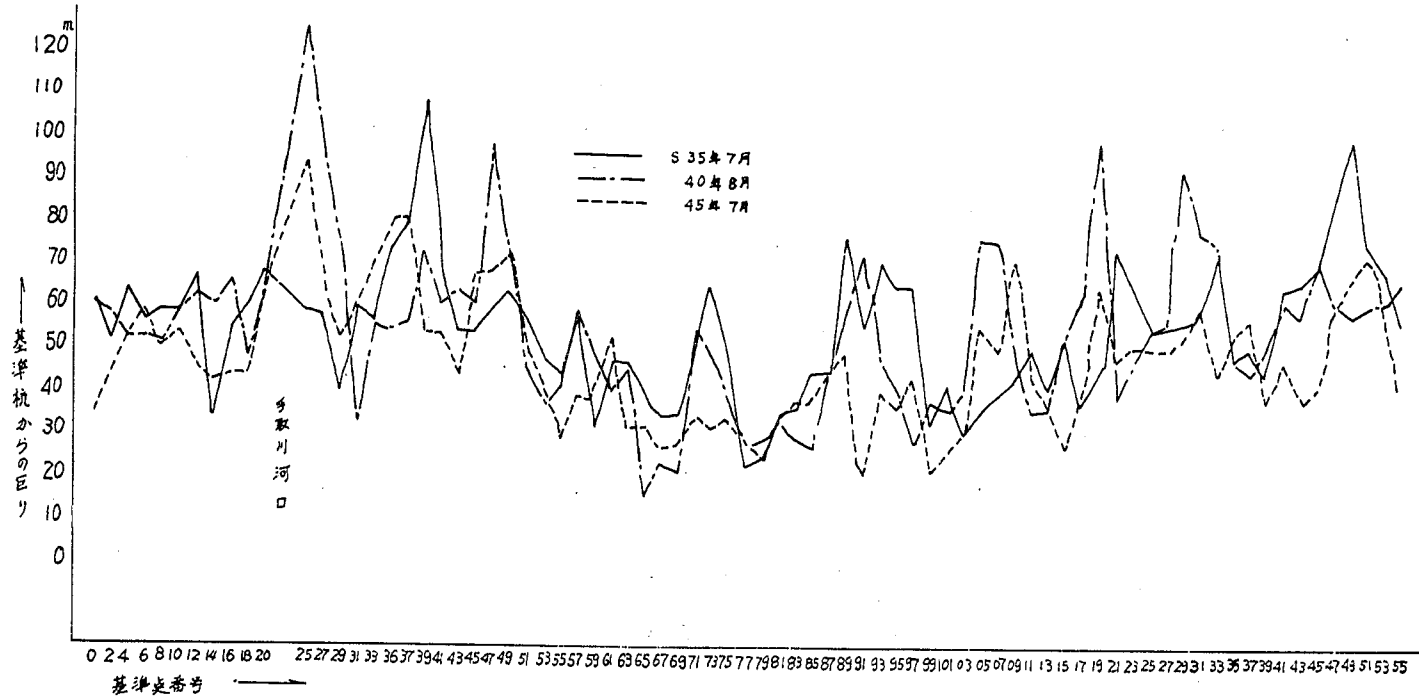


図-15 汀線変化図

た状態に変化したと考えられる。侵食の原因としては沿岸方向の漂砂量に差があるために生じるものと汀線から沖への移動によって生じる場合の二つが考えられる。この海岸において海底勾配を調べてみるとかなり緩く、沖への移動によって侵食が生じているとは考えられない。また沖への移動によって生じている場合にはある場所だけが特に侵食されるということは海底地形に変化のある場合には考えられるが、この海岸では図-3に示すように等深線が海岸線にはば平行であるために徳光や相川新で特に侵食がはげしいという状況を説明できない。

沿岸方向の砂移動によって侵食の生じている場合には地形が変化するために波の来襲方向と海岸線が直角になり、沿岸漂砂量が減少する。したがって侵食の速度も遅くなって海岸は安定になる。現在の地形を調べるとかなり一様になっており沿岸方向の漂砂量の差によって侵食が生じているというよりも各年または季節による変化が大きいようである。図-16は昭和35年から45年の間に毎年一回行なわれている汀線測量の結果から変動幅すなわち最大の前進量と後退量の差を示したものである。平均では40m程度であり、この程度の侵食、堆積があっ

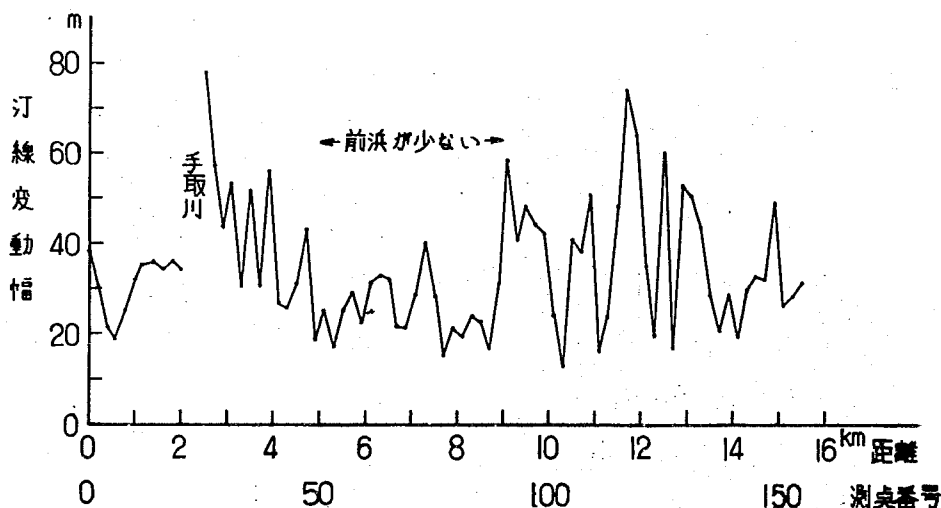


図-16 汀線変動幅の分布

てもそれが一時的なものか永久に続くものかの判定は非常にむずかしい。測点No 50~90の間は堤防前面の前浜の幅がせまいために変動も当然少なくなっている。このような変動を生じるのは海岸線の出入がはげしいためであり、これは海底地形に関係している。深浅図を調べると沖合600m附近にbarがあり、それより岸側では地形が複雑に変化している。一般には高さT.P. -4m程度のbarがありその岸側には高さ-7m程度のtroughがあるという形になっている。

この状態が沿岸方向に一樣に続くというわけではなくある間隔で変化している。汀線の出入、barの位置が固定していればよいが波は種々の方向から来襲し、その特性も変化するために沿岸方向に移動し、ある場所では堆積を、他の場合では侵食を生じる。現在ではこのような変動のためにある場合には堤防の前面が洗掘され、越波も増加するが他の場合には堆積する。海岸線の変動が大きな問題であろう。

侵食の原因をまとめると手取川が流路を変えたために扇状地中央部への補給土砂がなくなり、この場所が侵食されたが現在ではかなり安定化しており、それよりもむしろ海岸線の変動が大きいことが問題になっている。

6. 侵食対策

これまでに述べた地形変化に対応して侵食対策も海岸線の変動をおさえることを主な目的とすべきであろう。海岸線の変化は主として来襲波の状態によって支配されているが、突堤や離岸堤などの構造物によって漂砂量を減少させることができれば当然変動も少なくなる。以上のような考えのもとに侵食対策、特に離岸堤を使用した計画について検討を行なってみた。十分な資料がないために基本的な考え方のみで具体的に離岸堤の諸元を決定するにはいたっていないが、実際には現地での離岸堤を施工した場所でその効果を調べ、計画を検討することが必要であろう。

まず第1に検討を行わなければならないのは海岸線をどのような位置で維持するかということである。まず望ましいと考えられる海岸線を決め、それに対して維持するのに必要な経費とその効用を判定しなければならない。これは波や流れによってその海岸に補給される土砂の量がどの程度であるか、また失なわれる量がどの程度であるかの需給の釣合について検討することである。すなわち主な土砂の補給源である手取川の流出土砂量がどの程度になるか、これがどの程度海岸線に堆積をもたらすかなどの点について検討を行ない、計画した海岸線が維持できるかどうかを調べなければならない。前浜が現在あまりない場所では養浜などの人工的な補給を考えて、その費用についての検討も必要である。一方効用に関しては背後地の土地利用の状況や海浜自体を海水浴や釣りなどに利用するかどうかを調べなければならない。

計画とする海岸線が決定されれば汀線が前進、後退した場合の影響について調べなければならない。具体的な後退量としては、この海岸では図-16に示すように平均40mの汀線の変動があり、これから後退量としては計画した海岸線から20m程度は後退する場合のあることを予定しておかなくてはならない。これだけの後退を生じて問題がなければあまり大きな対策工事は必要でないが、もし堤防前面の前浜が消滅したために波のうちあげや越波を生じ背後

地に被害を生じたり、海岸堤防が構造上不安定になるようであればこの後退量を減らさなければならぬ。後退量が許容できなければ構造物例えば離岸堤などによって少なくし、また同時に変動を抑える方法が考えられる。

この海岸の特長は汀線の前進後退がくり返されていることであり、二つの前進した部分の間隔が短いときにはその間の後退量も少ない。図-17には間隔と変動量を図-18のように決めて、その間の関係を示したものである。ばら

ついてはいるが平均的には1 kmの間隔で30 m程度の変動がある。離岸堤によって前進部の位置を固定すればその間の変動は図-17によって推定できる。例えば離岸堤を1 km間隔で設ければその間の変動は30 m程度が予想される。許容後退量によって離岸堤の間隔が決定される。

現在離岸堤がない場合の平均間隔を調べたものが図-19である。これは汀線が前進したり後退しているが、対象とする区間の西側から前進している部分(極大値)に

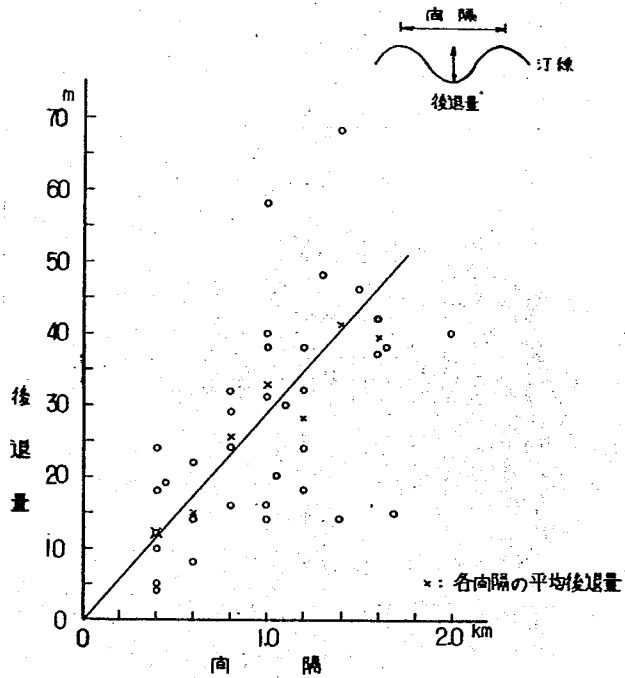


図-17 汀線変動の間隔と後退量の関係

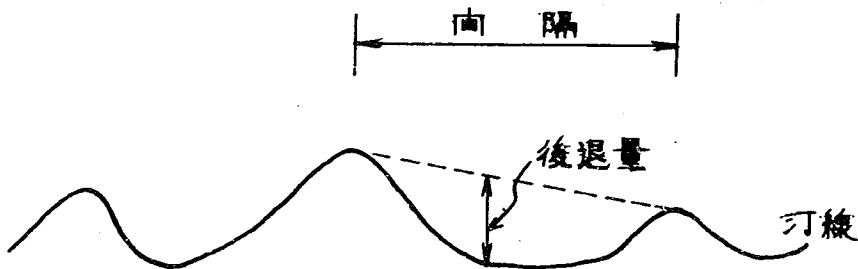


図-18 汀線変動の間隔と後退量の定義

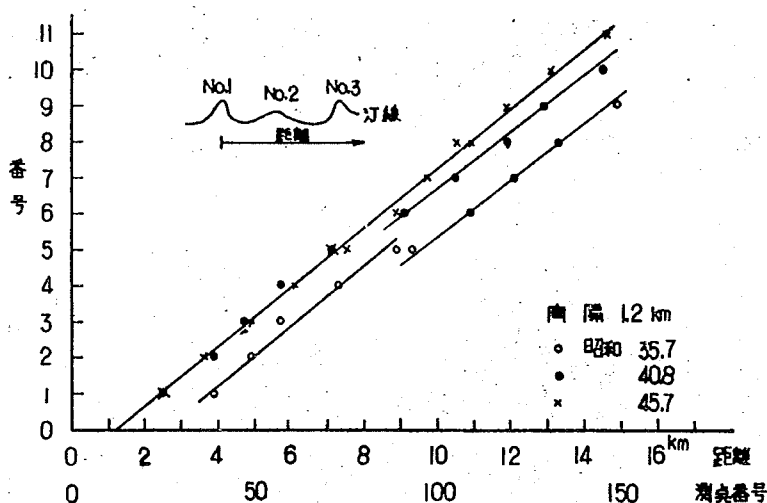


図 - 1 9 汀線前進部の位置

番号をつけ、その位置がどうなっているかを示したものである。測量を行なった各年によって位置は異なっているが平均の間隔はあまり変化せず、1.2 km 程度である。また 9 km 附近で不連続になっているのは、ここでは汀線と堤防の間隔がせまく汀線の変化する余地がないためである。

離岸堤の汀線からの距離、すなわち離岸距離と離岸堤の長さに関しては後に述べる模型実験の結果を参考にして決めることができる。この場合に問題になるのは堆積量よりもむしろ侵食量である。この海岸においては砂の補給があまり期待できないことからある場所に砂を堆積させるとそれと釣合うように他の場所で侵食を生じることである。また一群の離岸堤を設けた場合に沿岸漂砂の向きが一定している場合には漂砂の下手側に侵食を生じることになる。このような意味で全体的な計画を考えてみると次のようになる。

最も侵食対策を必要とするのは測点 No 50 から 90 までの区間であり、ここでは前浜が少なくなっており、現在の海岸線を維持する必要がある。ここに構造物を造れば No 90 から北東の海岸は漂砂の方向が北であるために影響の表われてくる恐れがある。したがってある程度の対策が侵食状況に応じてとられなければならない。一方手取川河口から No 50 の間についてはほぼ安定しており、前浜の前進後退があっても越波などの問題が生じなければ対策は急ぐ必要はない。手取川河口の左岸側については漂砂の方向が南西であるが、手取川の流出土砂が十分あれば構造物は必要ではないが、一般的な傾向として最近においては河川の流出土砂は減少し、河床低下を生じている場合が多く、ここでも河口左岸側に侵食の生ずる恐れがあり、離岸堤などによる対策も必要になるであろう。この海岸では補給される土砂の量が少ないために大規模

な構造物によって砂を堆積させることはかえって他の場所での侵食を生じることになるために
 適当ではない。

7. 離岸堤工法

離岸堤によって侵食対策を行なう場合に問題になるのは第1に離岸堤の両側の侵食である。
 またある長さおよび離岸距離を持った離岸堤を設置した場合にどのように堆積や侵食を生じる
 かを推定することが必要である。これらの問題を模型実験によって検討した。また離岸堤の堆
 積機構について実験的に検討を行なった。

7.1 相似性

移動床の模型実験において問題になるのは相似率である。松任海岸においては野本や湊に
 おいて離岸堤が施工されており、これらをもとに相似性の検討を行なった。

移動床模型実験の相似率については明確な基準がなく、いずれにしても実物と模型の変形
 状況が相似であるかどうかによってその結果が判定される。実物の測定結果が利用できるた
 めに模型がどの程度の精度で実際の現象を再現できるかについての検討を行なってみる。検
 討の対象としたのは図-20に示す野本の離岸堤である。

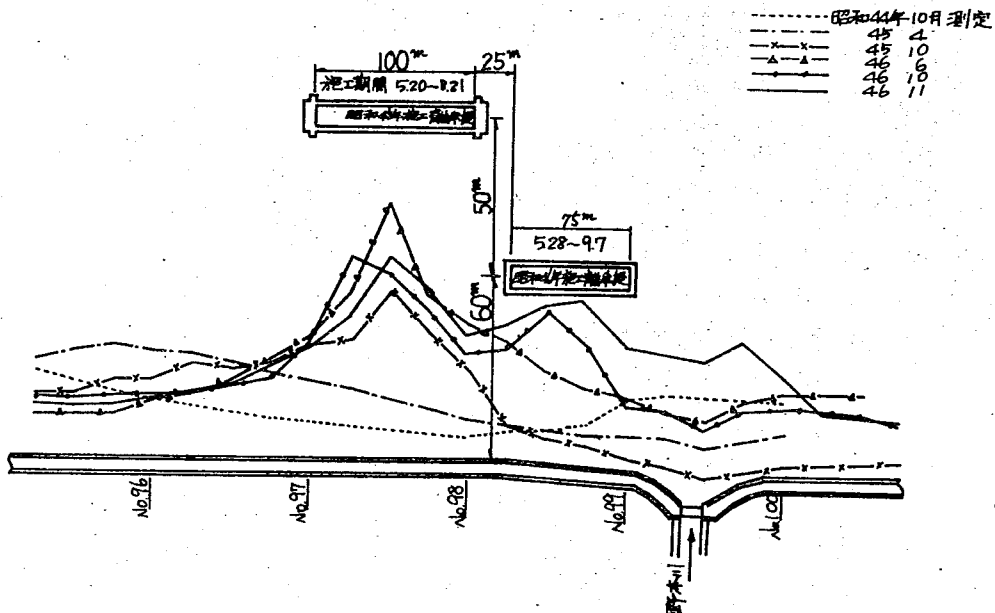


図-20 野本離岸堤平面図

離岸堤による海浜変形は、離岸堤による回折効果がかなり重要な意味を持っており、したがって、回折現象が実物と模型において相似でなければならない。したがって模型を歪めることはできずに、Froudeの相似則を使用する。これによれば長さの縮尺を $1/S$ とすると波高 H 、波長 L 、周期 T 、水深 h 、距離 x 、時間 t などの縮尺はそれぞれ次のようになる。

$$\frac{H_m}{H_p} = \frac{L_m}{L_p} = \frac{h_m}{h_p} = \frac{x_m}{x_p} = \frac{1}{S}$$

$$\frac{T_m}{T_p} = \frac{t_m}{t_p} = \frac{1}{\sqrt{S}}$$

ただし添字の m と p はそれぞれ模型および実物に関する量を示す。模型実験に使用する水槽の大きさは幅 $12m$ 、長さ $27m$ 、高さ $80m$ であるために、模型がこのの中に入る大きさとして縮尺を $1/50$ とした。これは離岸堤の実物における影響範囲が約 $600m$ であり、水槽 $12m$ に対応させると $1/50$ となる。実物における波高、周期、波向などの条件が明確でないためにある程度の推定によっている。実物および模型における値を表-1に示す。実験

表-1 相似性検討のための実験条件

			模 型	実 物
離岸堤	幅	No 1	2 m	100 m
		No 2	1.5	7.5
	離岸距離	No 1	2.2	110
		No 2	1.2	60
波	波 高	ケース 5.1	8 cm	4 m
		ケース 5.2	4	2
	周 期	ケース 5.1	1.1 sec	7.8 sec
		ケース 5.2	1.1	7.8

に使用する底質は海浜変形に重要な意味を持っている。すなわち移動限界が相似であること、海底における粗度が相似であること、海浜の横断形状すなわちbar型やstep型の形状が相似であることなどの条件を満足するように底質を決めなければならない。しかしここでは一応中央粒径 $0.24mm$ 、比重 1.5 の石炭粉を使用した。

模型実験は石炭粉で $1/40$ の一定勾配を持った海浜を造り、これに 10 時間波を作用させて、来襲波に対応した形状を造った。それに離岸堤No1を設置して 10 時間波を作用させ、その後に離岸堤No2を設置して、さらに 10 時間波を作用させて離岸堤による海浜の変形を調べた。離岸堤は $500g$ のテトラポッドによって作成した。実験は実物における波浪条件

が明確でないためにケース 5.1 として波高 8, 周期 1.1 sec とケース 5.2 として波高 4 cm, 周期 1.1 sec の 2 ケースについて行なっている。

各実験の 30 時間後の等深線図を図 - 21 と図 - 22 に示す。これによれば離岸堤の背後には堆積を生じており、その大きさはそれぞれ離岸距離によって異なり、離れている場合が大きい。短い場合には汀線が離岸堤に近づき、堆積の余地がなくなるために堆積量が少なくなっていると考えられる。

堆積の時間的变化については、代表的な 4 断面をとってそこにおける汀線の時間的变化をケース 5.1 と 5.2 について示したのが図 - 23 と図 - 24 である。ケース 5.1 については No. 1 の離岸堤の堆積は約 15 時間後から始まっているが、離岸堤を設置したのは 10 時間後であり、一般には設置後にすぐ堆積が始まることから考えると遅れている。しかし断面の変化を調べてみると離岸堤背後の水面下で堆積を生じており、それが水面上に表われるのが遅かったと考えられる。またケース 5.1 と 5.2 の堆積形状を比較するとケース 5.2 は離岸堤背後の堆積も、隣接部分の侵食も大きい。これは波形勾配による差にもよっていると考えられる。

現地における地形変化と比較したのが図 - 25 である。現地はケース 5.1 とほぼ同様の汀線形状である。現地における堆積や侵食状況を模型と同様に 4 断面で調べたのが図 - 26 である。現地においては常に同じ波が来襲しているわけではなく、変化しているが、堆積するときにはかなりの速さである。模型においては図 - 23 と図 - 24 に示すように数時間で安定な形状になっており、これを単に Fronde の相似則で実物に換算すると数十時間となる。堆積に関する時間の縮尺については漂砂量と結びついているが、実際にどの程度になるかは現地の波浪観測資料などを用いて検討を行なってみないと明らかではないがこの結果と大きな違いはないであろう。

実験条件を変化させて相似性の検討は行なっていないが図 - 25 の汀線形状などの結果から判断すれば、模型実験の結果を実際にもある程度適用できるであろう。

7.2 離岸堤の機能と効果

離岸堤がどのような機能を持っているか、また効果はどのような要素によって変化するかという問題に関して模型実験を行なった。定性的な検討ばかりでなく、実際の設計に使用できる定量的な結果を得るようにつとめたが、実験装置などの制約のために、十分設計に使用できる基準は得られなかった。しかし定性的な成果と現地において離岸堤を施工した後の海浜を調べることによって、ある程度の設計指針を得ることは可能と考えられる。

模型実験の目的は離岸堤がどのような機構によって、その背後に砂を堆積するかという問題と、離岸堤の汀線からの距離、すなわち離岸距離や、二基または数基の離岸堤の開口幅、またその透過性が堆積状況とどのような関係にあるかという問題を明らかにするために行なわれた。離岸堤の堆積機構としては二つのものが考えられる。その第 1 は離岸堤によって波が回折し、背後においては外側から中へ向う漂砂を生じ、これによって離岸堤の背後に堆積

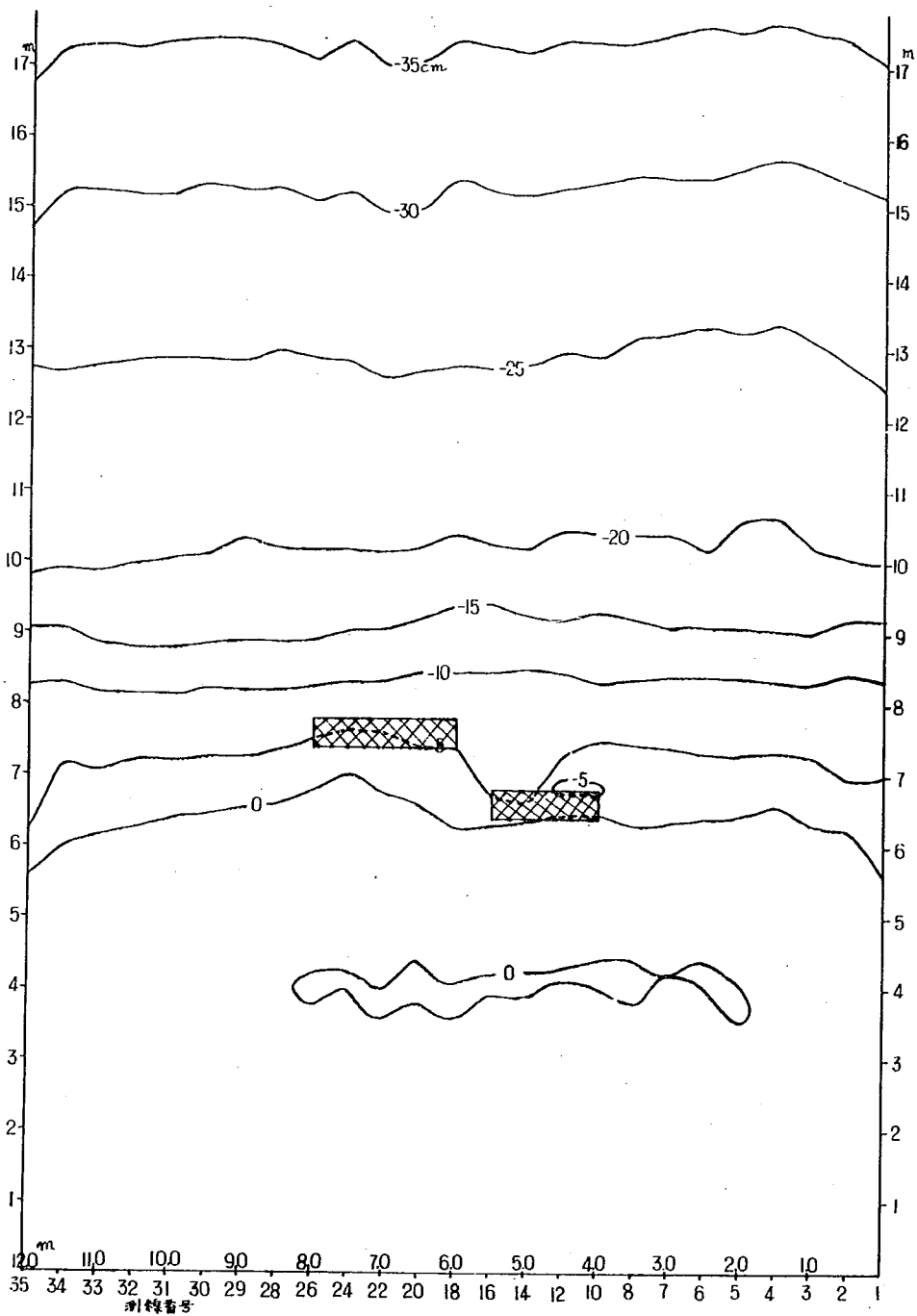


図-21 等深線図(ケース5.1)30時間後

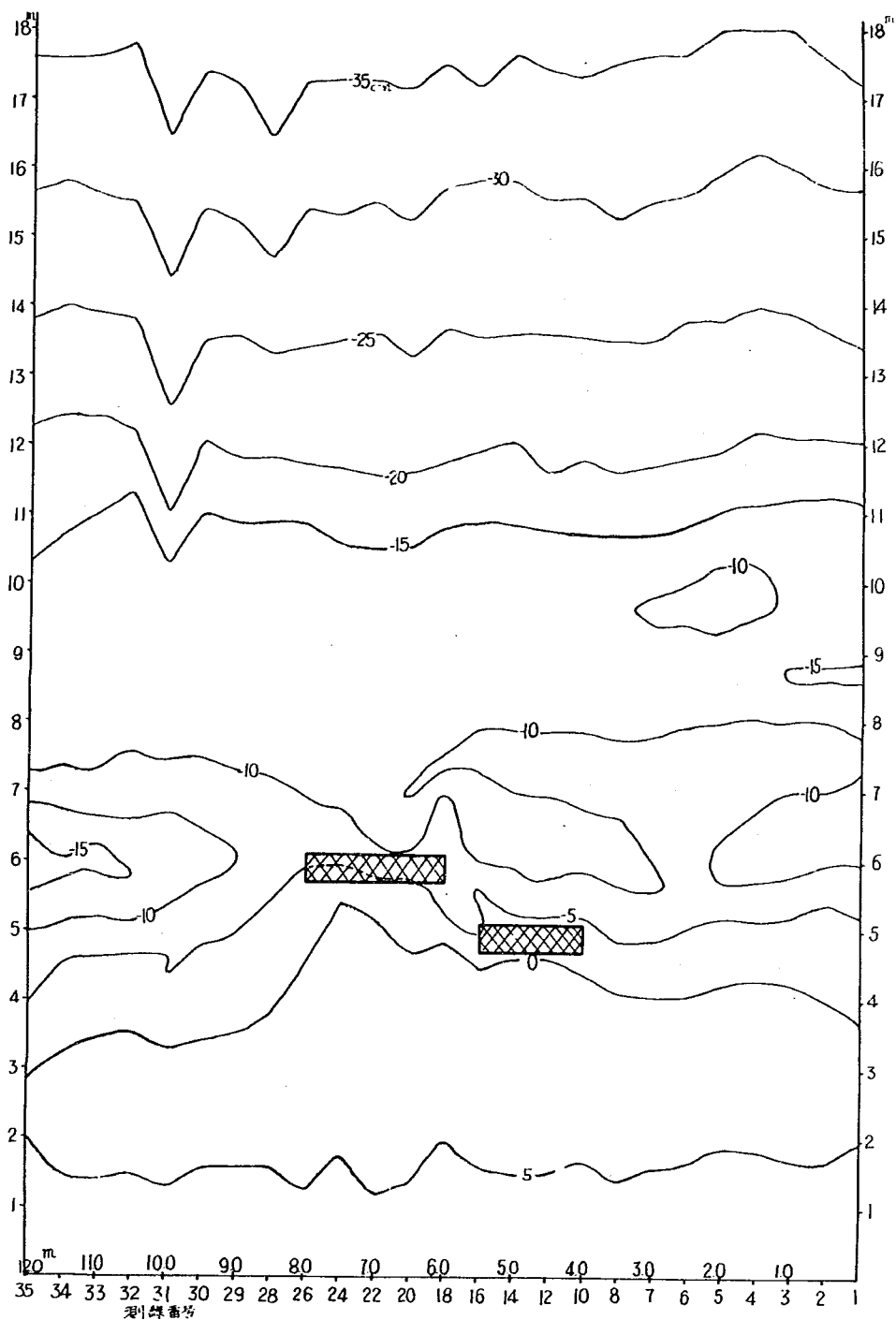


図-22 等深線図 (ケース 5.2) 30 時間後

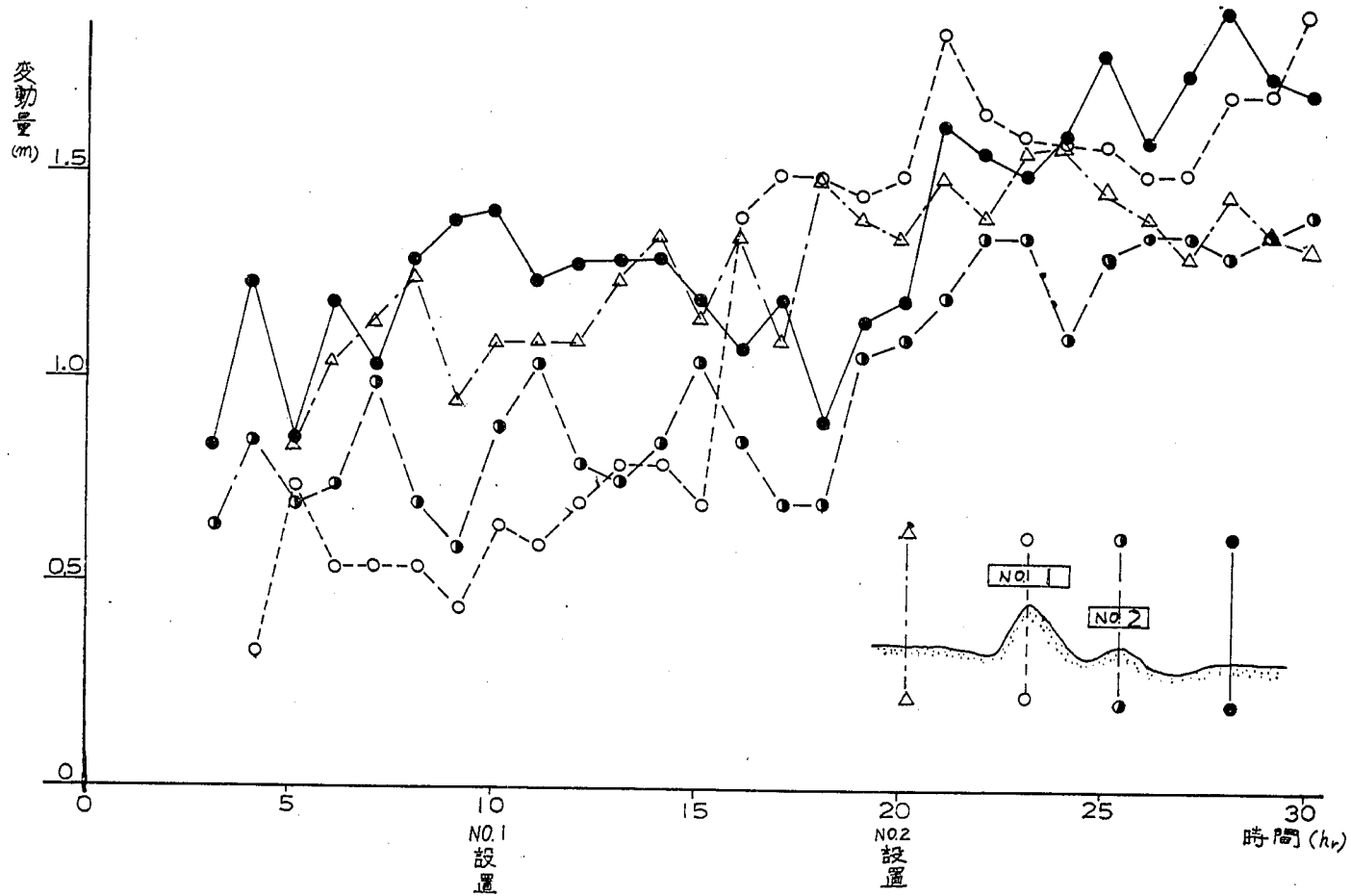


図 - 2 3 汀線の時間的变化 ケース 5.1

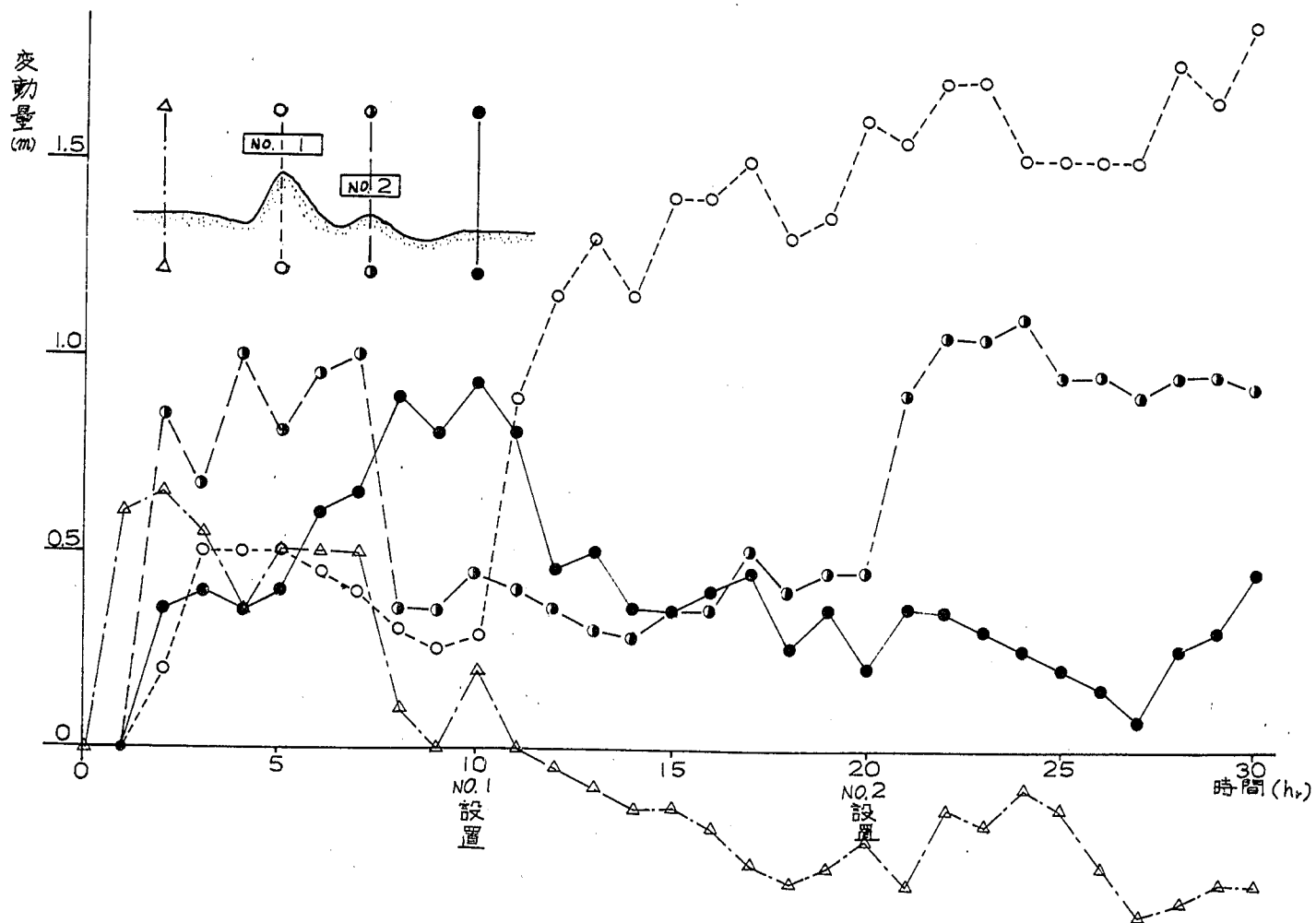


図-24 汀線の時間的变化 ケース 5.2

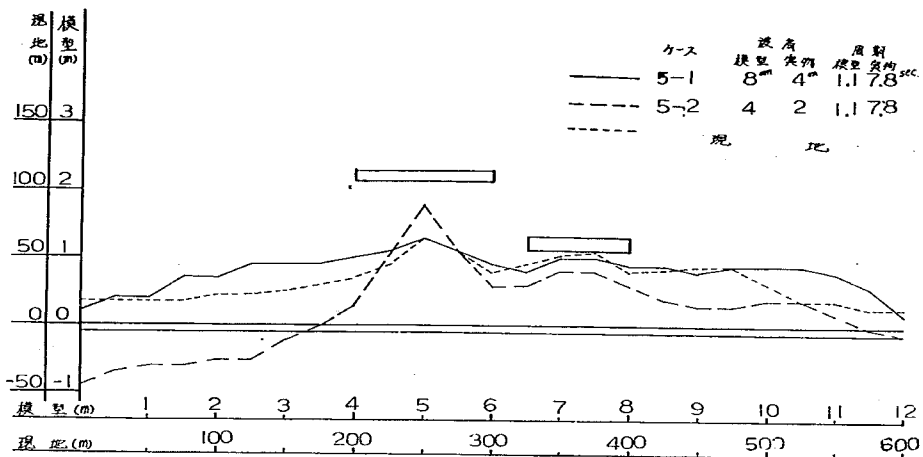


図-25 汀線形状の模型と実物の比較

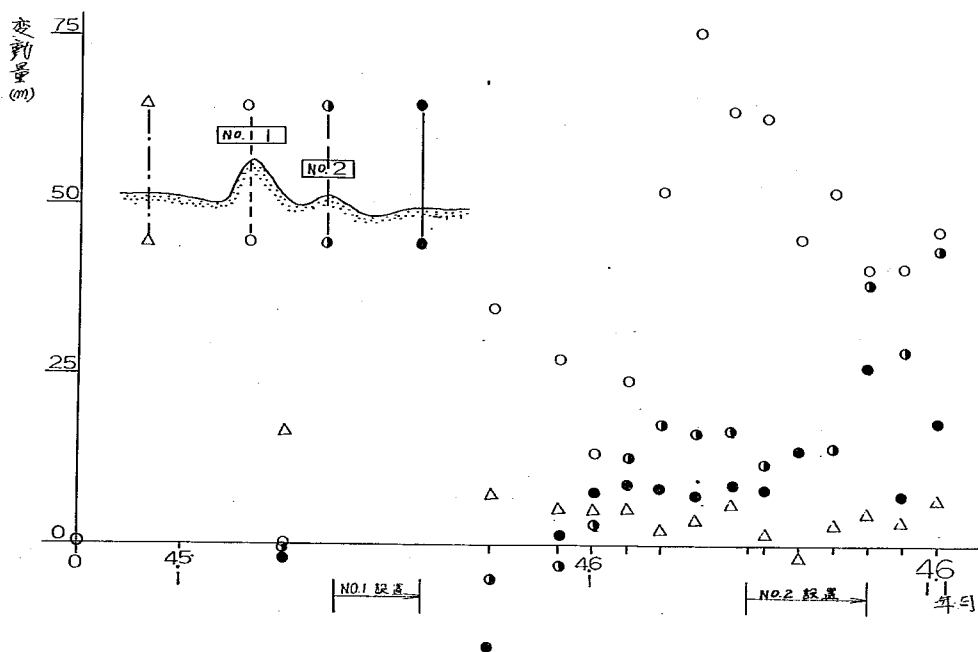


図-26 現地における汀線の時間的变化

を生じるという考え方である。したがって当然堆積した砂は沿岸方向から移動したものであり、隣接する海岸には侵食を生じる。もしこのような機構で砂が堆積するのであれば沿岸における砂の量は他の場所や河川などの供給がなければ変化しないために、ある場所での砂の堆積は他の場所での侵食と結びついている。したがって実際に施工する場合には侵食についての注意を必要とする。一方第2の機構は離岸堤によって波が消され、離岸堤の前面と背後の間には運動量の差を生じ、これが流れや水圧に変化するために、沖から岸に向う流れが生じる可能性がある。また波が消えるということから浮遊状態にあった砂が離岸堤の背後では堆積するということも考えられる。これらの機構で砂が堆積すれば、沖から岸への移動を生じることを意味し、沿岸には何らの影響を与えないために、設計に際しても問題は簡単になる。離岸距離、開口幅、透過性に関しては実際の設計に際して、離岸堤の効果と関連して必要となる諸元である。

模型実験は図-27に示す長さ27m、幅12m、高さ80cmの平面水槽を使用して行なった。実験方法はまず1/40の一定勾配を持った海底をつくり、これに約10時間波を作らせ、その後に離岸堤を設置してその影響を調べた。入射波の測定は図-27に示す3ヶ

4面図

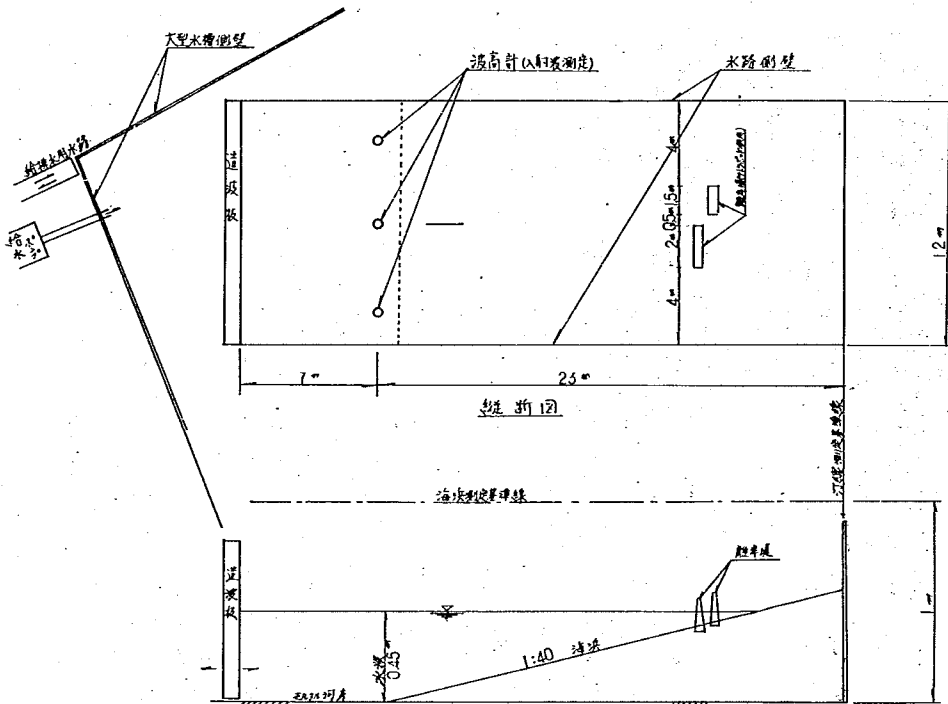


図-27 実験装置

所で階段抵抗式波高計を使用して1時間ごとに行なった。また海浜形状については汀線の形を50 cm間隔で1時間ごとに、海底形状については初期形状、離岸堤設置前の形状、波を作用させた後の形状について50 cm間隔、ただし離岸堤の背後については25 cm間隔で行なった。

実験条件としては表-2に示してあるがNo 1から3までは離岸距離の影響を調べるために離岸距離を変化させ、No 4, 5は開口幅、No 6, 7は透過性についての検討を行なうために、それぞれの量を変えている。

表-2 実験条件

実験 番号 No	波			離 岸 堤					波の作用時間	
	波高 cm	周期 sec	波形勾配	基数	設置水深 cm	離岸距離 m	長さ m	構造	設置前 hr	設置後 hr
1	14	1.9	0.026	1	5	2	2	透過性	10	2.5
2	14	1.9	0.026	1	9	3	2	"	10	3
3	14	1.9	0.026	1	10	4	2	"	8	2
4	14	1.9	0.026	2	7	2	2	"	10	3
5	14	1.9	0.026	2	9	2	2	"	6	5
6	8	1.1	0.043	1	6	1.5	2	"	10	20
7	8	1.1	0.043	1	6	1.5	2	不透 過性	10	20

離岸堤の構造については500 gのテトラポッドを使用し、下部にはフトンかごを敷いている。1基の長さはいずれも2 m, 幅50 cmである。

実験に使用した底質は中央粒径0.24 mm, 比重1.5の石炭粉である。

一様勾配を持った海浜に波を作用させると、その波に対応した形状に海底は変形する。この場合においても数時間波を作用させると安定に近づいているが、一応10時間で実験を中止し、それ以後離岸堤を設置した。必ずしも10時間で安定な形状に達したわけではなく、平衡になるにはかなり長い時間作用させる必要がある。これは一つには水路の水平部における石炭粉が沖側、すなわち造波板へ向って移動しているためであり、波高14 cm, 周期1.9 secの条件では平衡に達することは非常に長い時間を必要とする。沖への移動が離岸堤の有無にかかわらず存在し、それがかなりの大きさを持っているために、ここでの実験は一般の海岸のように比較的安定した海岸に離岸堤が設けられるのではなく、沖へ砂の移動のある侵食性の海岸に設けられた場合に対応している。実験条件を適当に選ぶことによってこのような現象は生じなくすることもできる。

実験方法上の問題として以上の現象の外に造波機によって発生した波が一様にならないこ

とがある。これは波高についても、また波向についてもかなり変化しているようであり、何らかの発生波の不均一性によって離岸流が発生し、さらにそれが波を変形させるという現象が存在している。このような現象は実際の海岸においても生じ得ると考えられるが、模型の状況がそのまま生じているかどうかについては検討の必要があろう。したがって堆積や侵食量が大きくなければ、このような変動の中にかくれてしまって結果の判定を困難にしている。以上のような問題点はあるにしても実験結果を解析した結果次のような成果が得られた。

7. 2. 1 離岸距離による影響

離岸堤や突堤などの構造物による海浜変形を解析する上で最も重要なのは波向である。一般には汀線は波向と直角になる傾向にある。したがって離岸堤の場合にも同様に離岸堤によって生じた回折波の波向がどのようになるかということが海浜の変形と結びついてい。離岸堤による回折波はその背後にほぼ同心円状に広がる。したがって離岸堤の幅が一定であれば離岸距離が短かければその回折波の半径は短く、反対に長ければ半径も長くなる。すなわち堆積形状が離岸距離によって変化する。離岸距離が長ければ堆積はなめらかに、また短かければ堆積は背後に集中する。堆積量については漂砂量に関係していると考えられる。漂砂量が多ければ当然離岸堤のしゃへい効果による波高の差も大きくなり、したがって漂砂量の差も大きくなるために、堆積は大きく、侵食も大きくなる。一方漂砂量が小さければその差も小さく、堆積や侵食量も小さくなる。

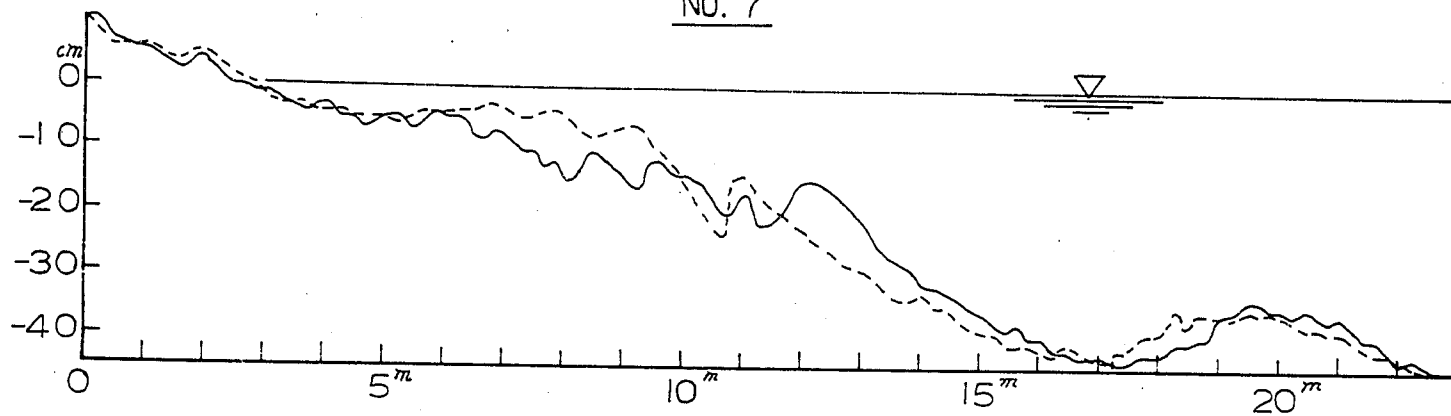
実験結果をそれぞれ縦断図と平面図で示したのが図-28から図-33である。それぞれの図には離岸堤設置以前の形状が示されている。全体としての変形がかなり大きく、離岸堤の影響は必ずしも明確ではないが、離岸距離の短いNo 1 の場合がNo 2, 3 に比較して汀線の前進量は大きいように思われる。しかし汀線だけでなく沖までの堆積量に関しては、離岸距離が短い場合にはその範囲がせまく、一方離岸距離が長い場合には堆積の範囲が広いために、離岸堤背後の堆積量に関しては必ずしも離岸距離が短いほど大いというわけにはいかないであろう。いずれの場合においても離岸堤の背後では堆積しているがその両側では侵食を生じている。これは初期海浜が平衡には達していないために沖への移動があり、このために侵食される傾向を示していると考えられる。離岸堤の背後に堆積を生じていることは侵食性の海岸でも離岸堤は堆積を生じる可能性のあることを示している。

7. 2. 2 開口幅の影響

実験No 4 と 5 はそれぞれ開口幅を 50 cm と 2 m にした場合であり、結果は図-34 から図-37 までに縦断図と平面図によって示されている。開口幅がせまければ離岸堤は長さの長い離岸堤としての特性を示し、一方その間隔がはなれるにしたがって独立した離岸堤としての特性を示す。いずれの実験においても開口部の侵食量は小さく、この範囲では、それぞれが独立であるとは考えられない。この場合においても隣接する海岸の侵食は生じており、かなりの量が沿岸方向に動いていることを示している。したがって離岸堤背後の堆

—— 離岸堤設置前
 - - - 離岸堤設置後

NO. 7



NO. 18

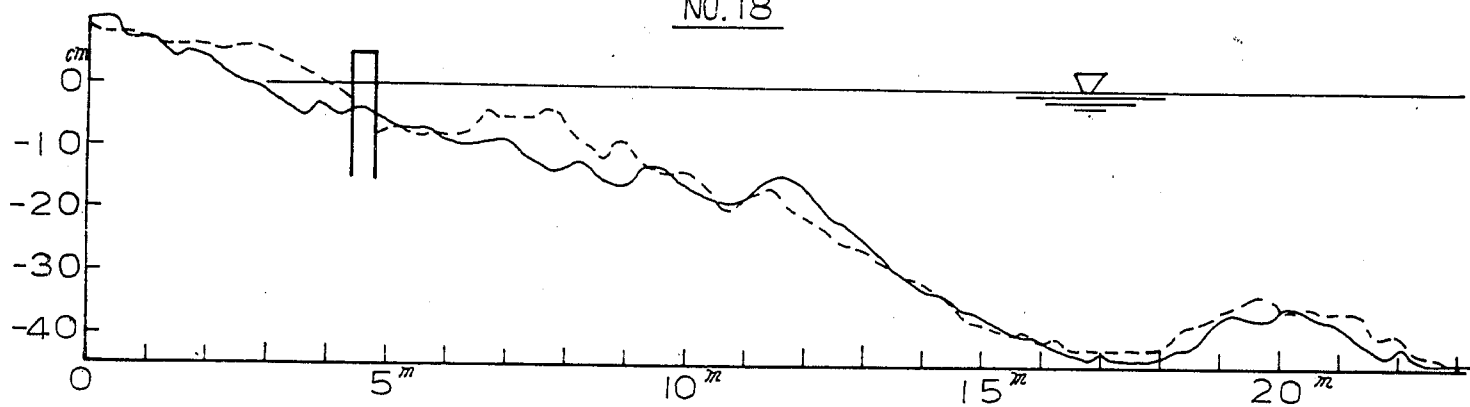


図 - 2 8 縦 断 図 No 1

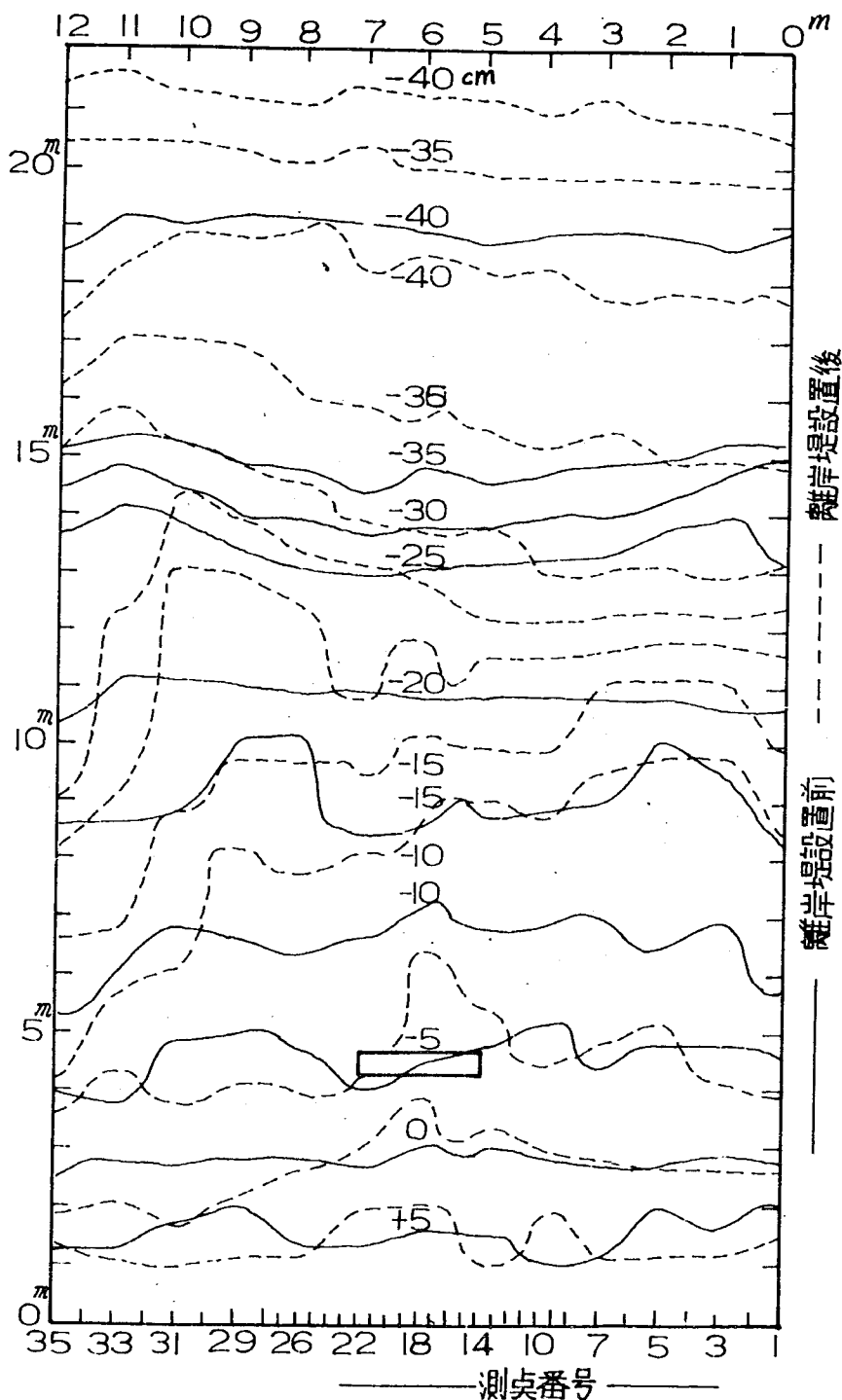


圖 - 2 9 等深线图 No. 1

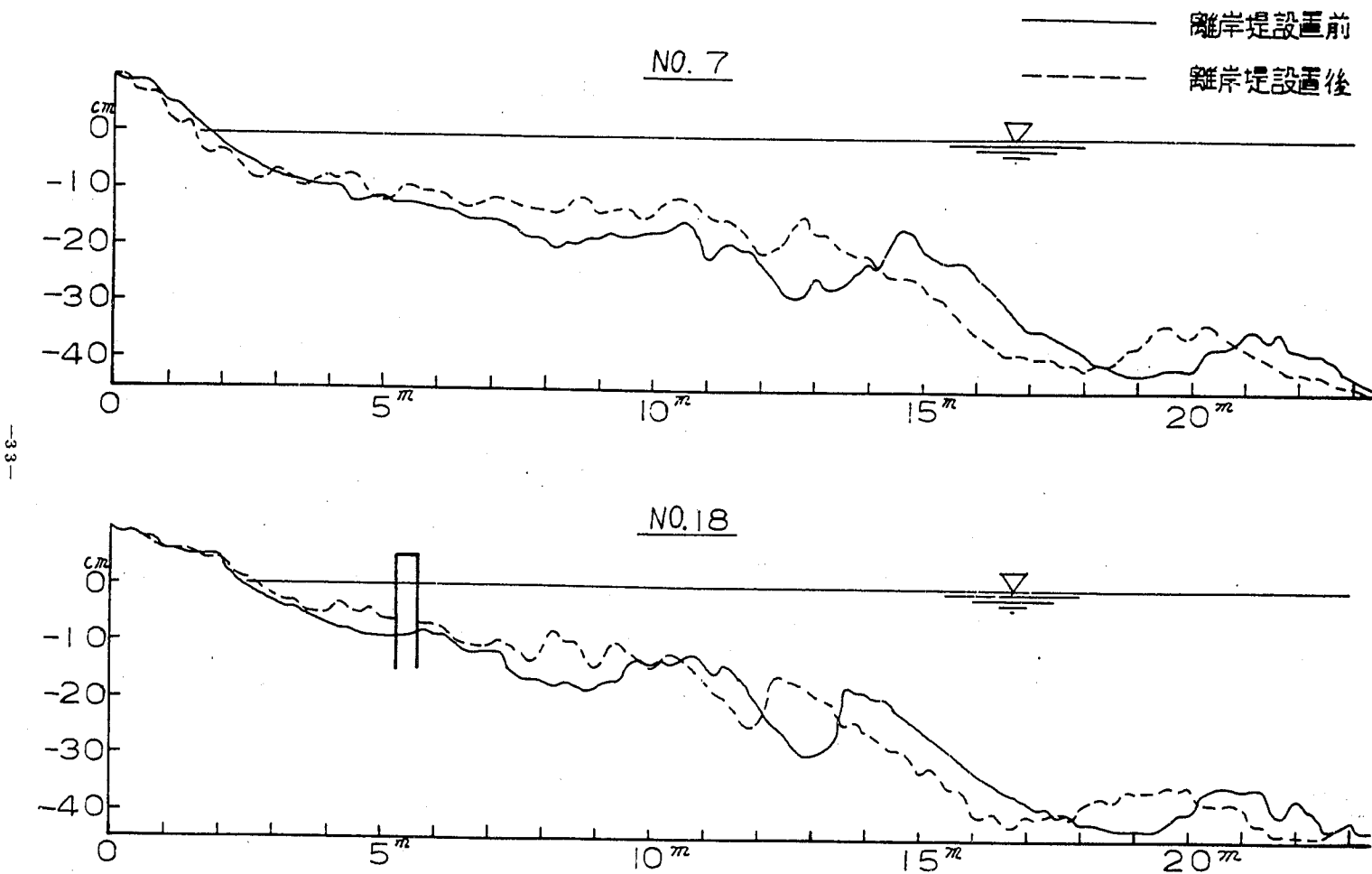


図 - 3 0 縦 断 図 No. 2

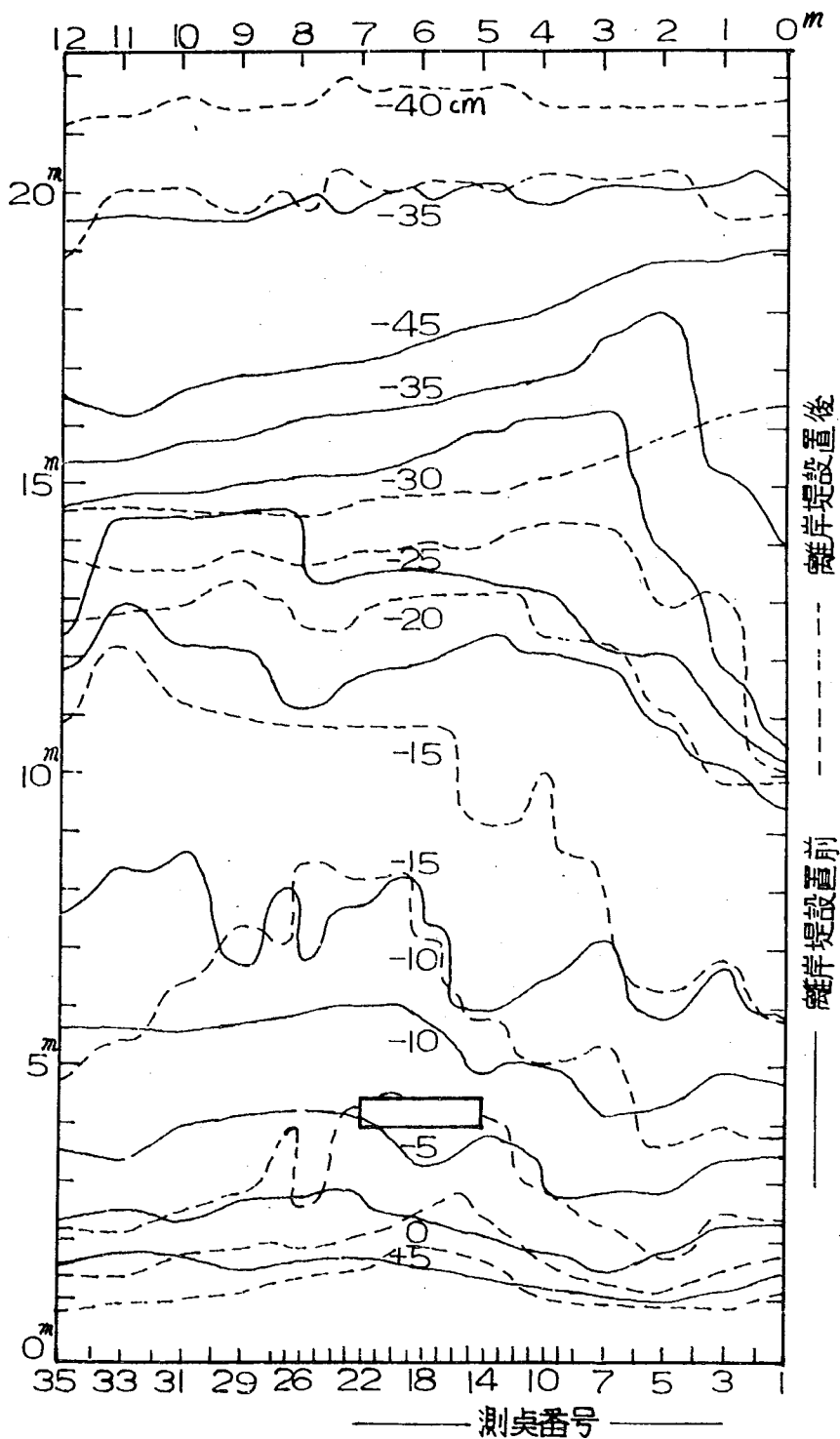


図 - 3 1 等深線図 No 2

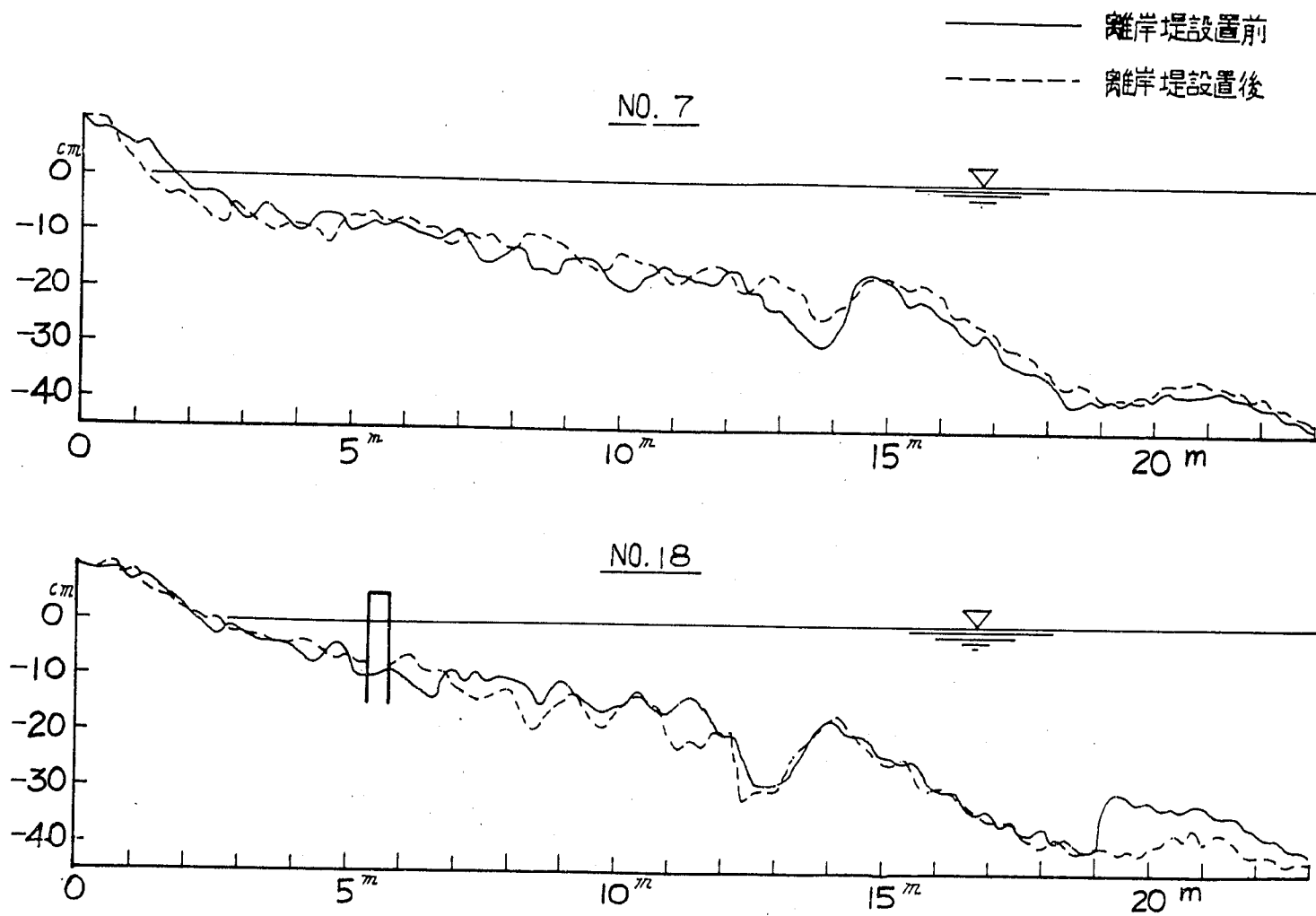


図 - 3 2 縦 断 図 No. 3

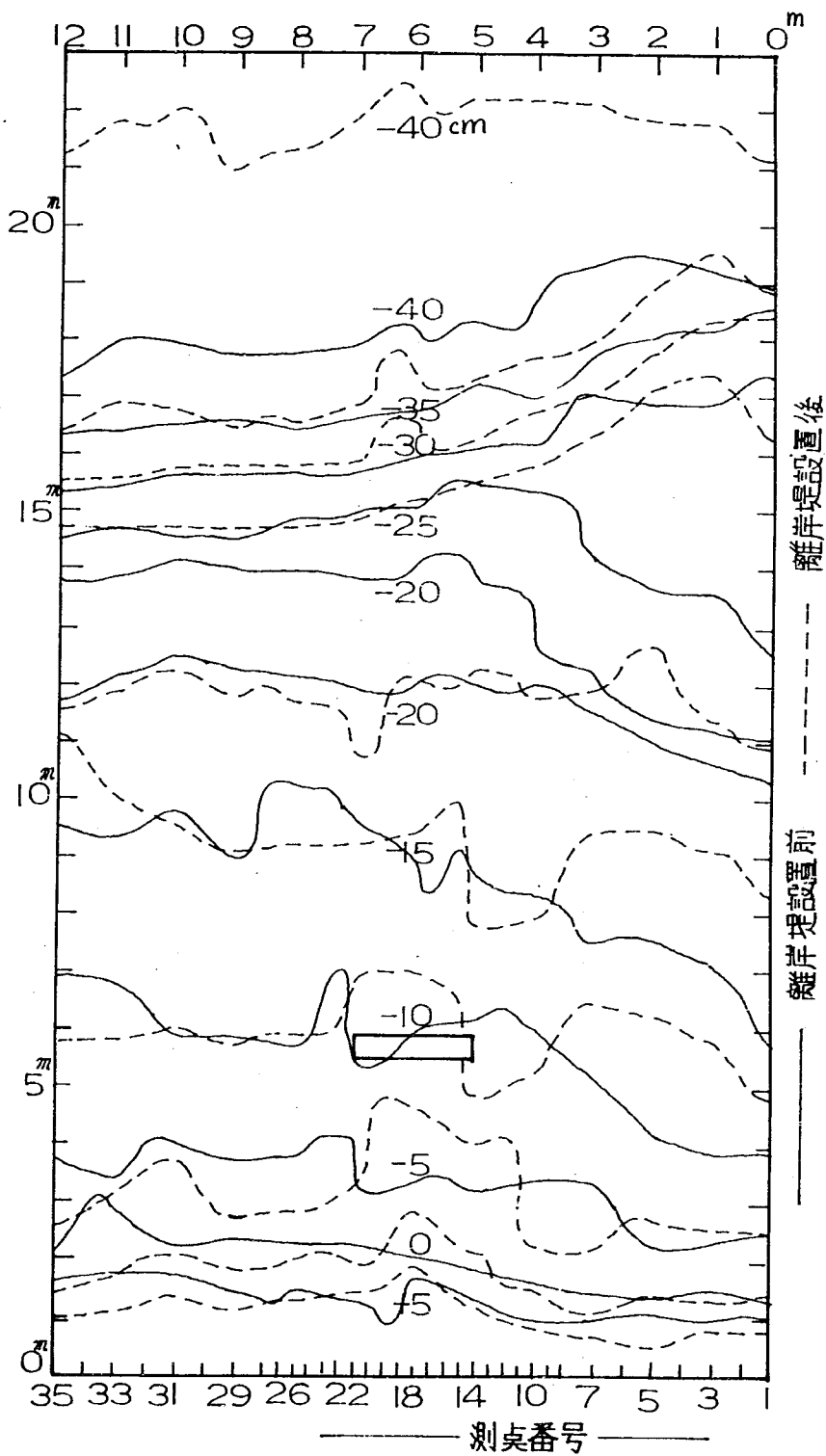
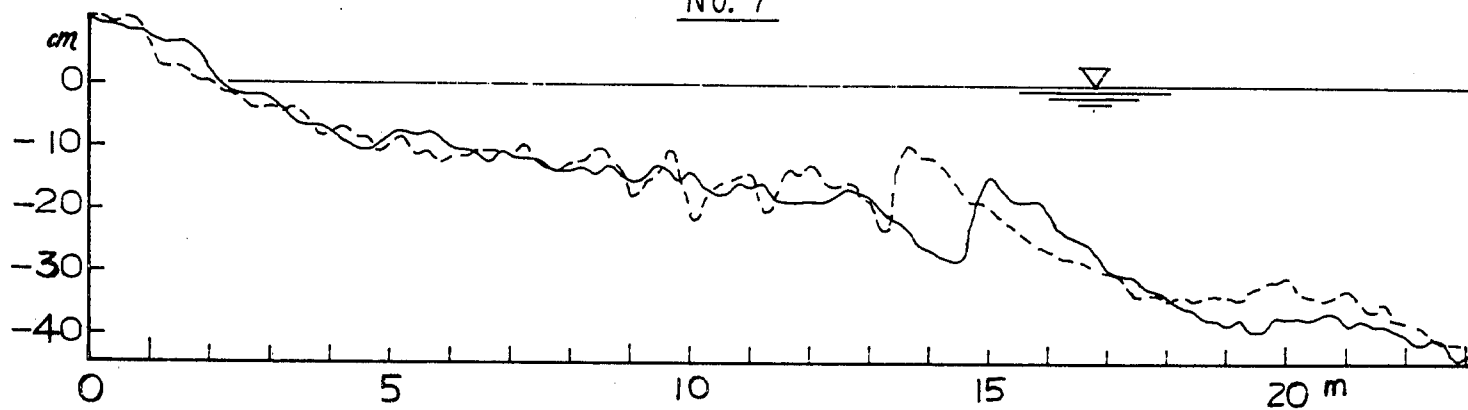


圖 - 3 3 等深線圖 Na 3

—— 離岸堤設置前
 - - - 離岸堤設置後

N0.7



N0.18

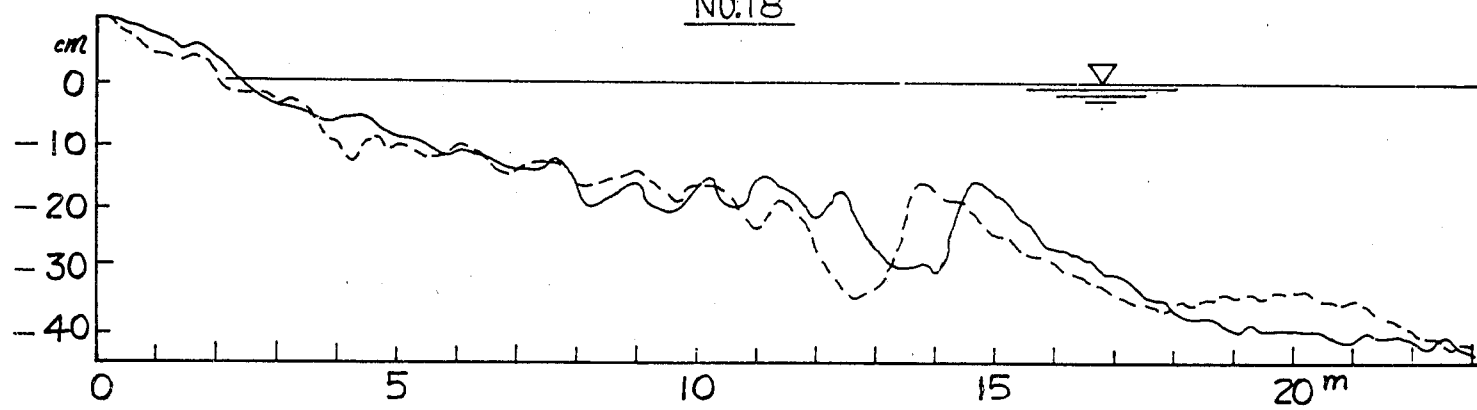


図 - 3 4 縦 断 図 No. 4

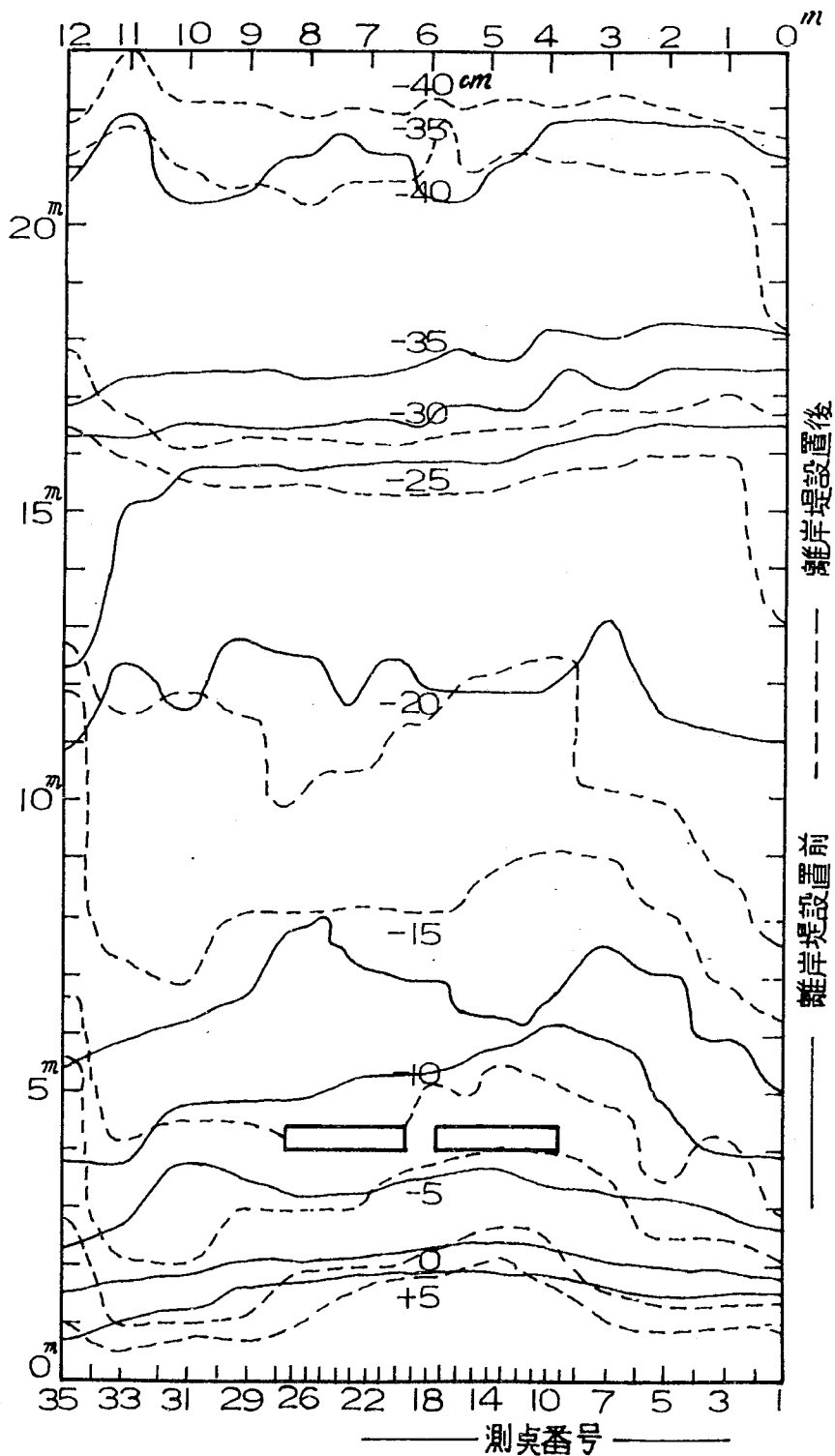


圖 - 3 5 等深線圖 No. 4

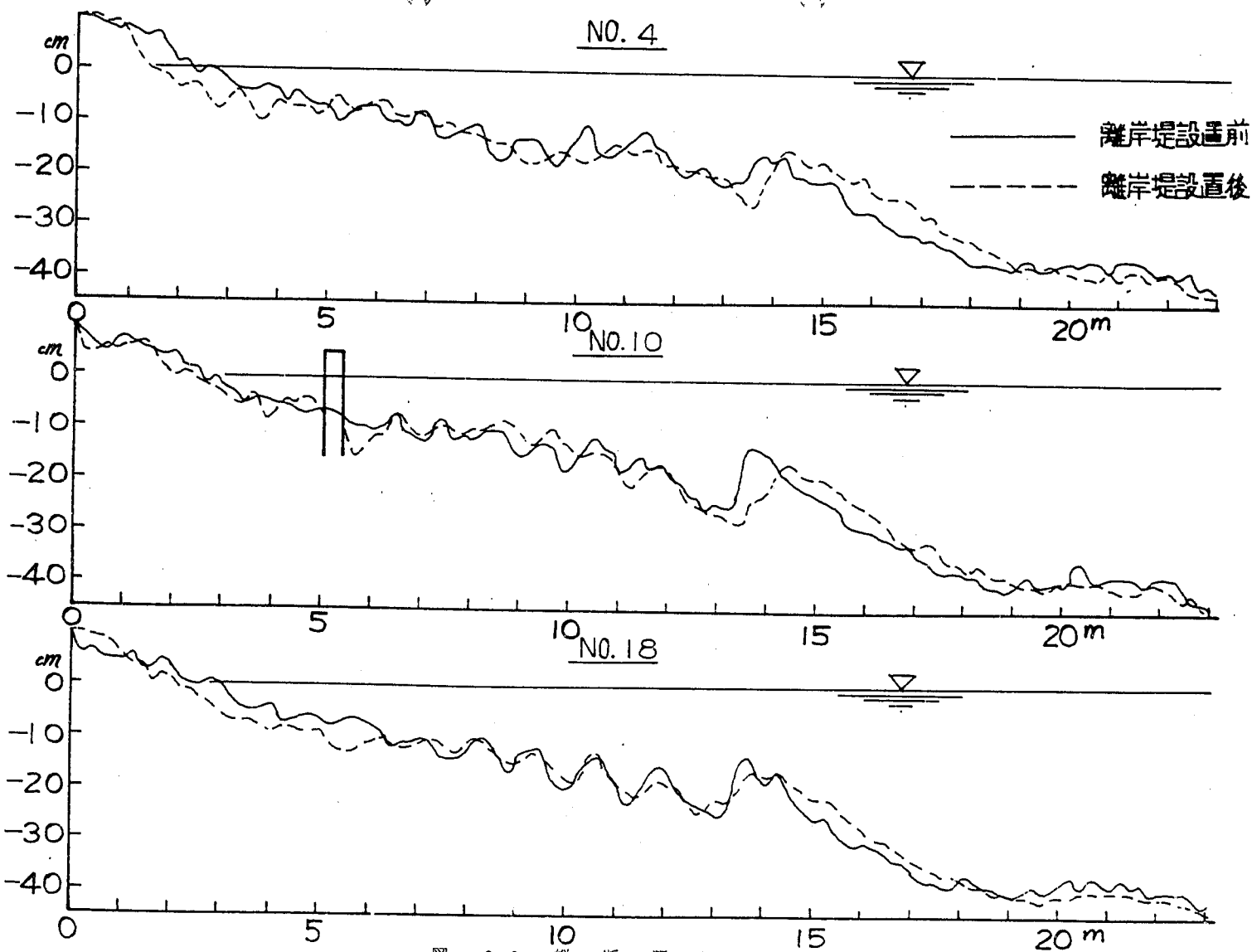


圖 - 3 6 縱 斷 圖 No. 5

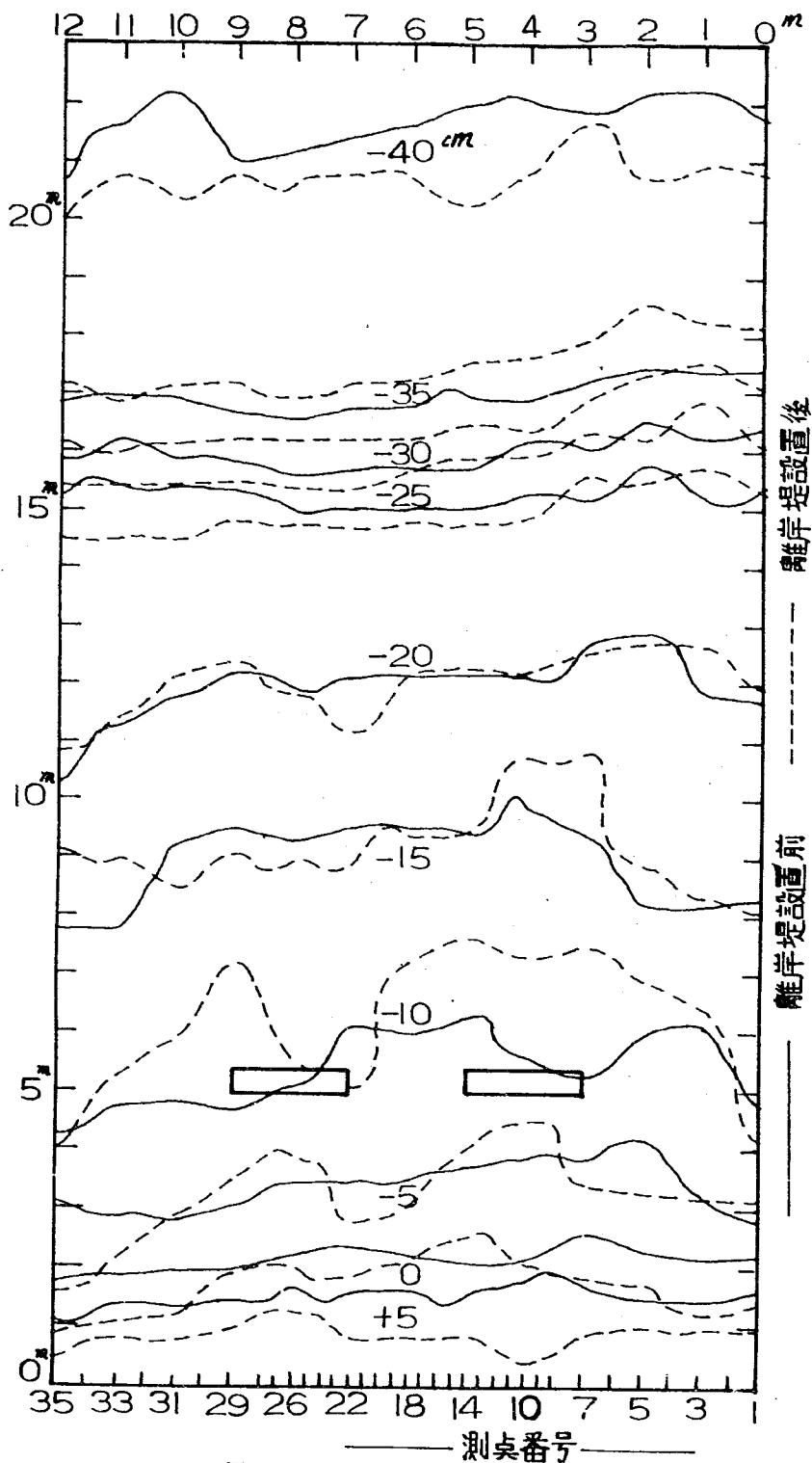


圖 - 3 7 等深線圖 No 5

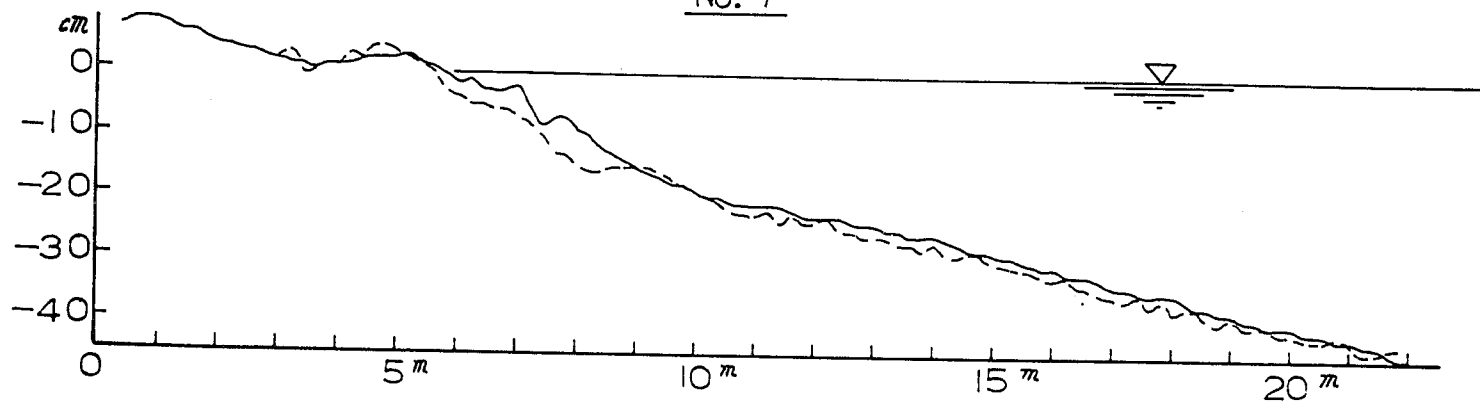
積量が多ければ、それに隣接する海岸の侵食量は多くなると考えられる。したがって開口幅についても、単に開口部などの部分的な状況ばかりでなく、他の部分への影響についても考慮する必要がある。

7. 2. 3 透過性の影響

離岸堤をブロックで造り、透過性にした場合とブロックの間を仕切り不透過にした場合についての実験を行なった。実験結果は図-38から図-41に示されている。この場合は波高を小さくしたために堆積の傾向があり、全体として汀線は前進している。しかし離岸堤の背後の堆積は両側に比較して大きく、また透過性であるNa6の結果よりも不透過であるNa7の堆積量がいく分多くなっている。これは離岸堤の堆積機構として沿岸方向の砂の移動によって、堆積のかかなりの部分が生じていると推定される。沖から岸への動きがあるにしても、離岸堤を通して砂が移動するのではなく、両側の部分で沖から岸向の動きを示し、それが背後にまわり込んで堆積すると考えられる。この実験の場合には不透過では離岸堤を越えては波は入らないために、その背後では単に回折波のみであって、透過性の場合に比較して波高の減衰はいちじるしい。したがって透過性であるか不透過であるかということによる波高変化の影響が、離岸堤を通過して岸側に入る漂砂量の変化よりも大きいことを示している。

—— 離岸堤設置前
 - - - 離岸堤設置後

NO. 7



NO. 18

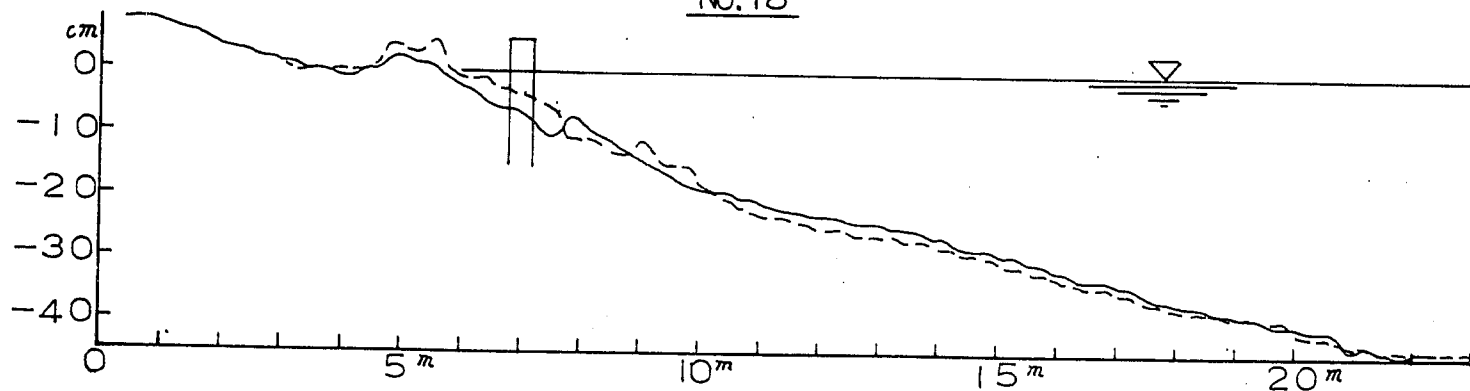


圖 - 3 8 縱 斷 圖 No. 6

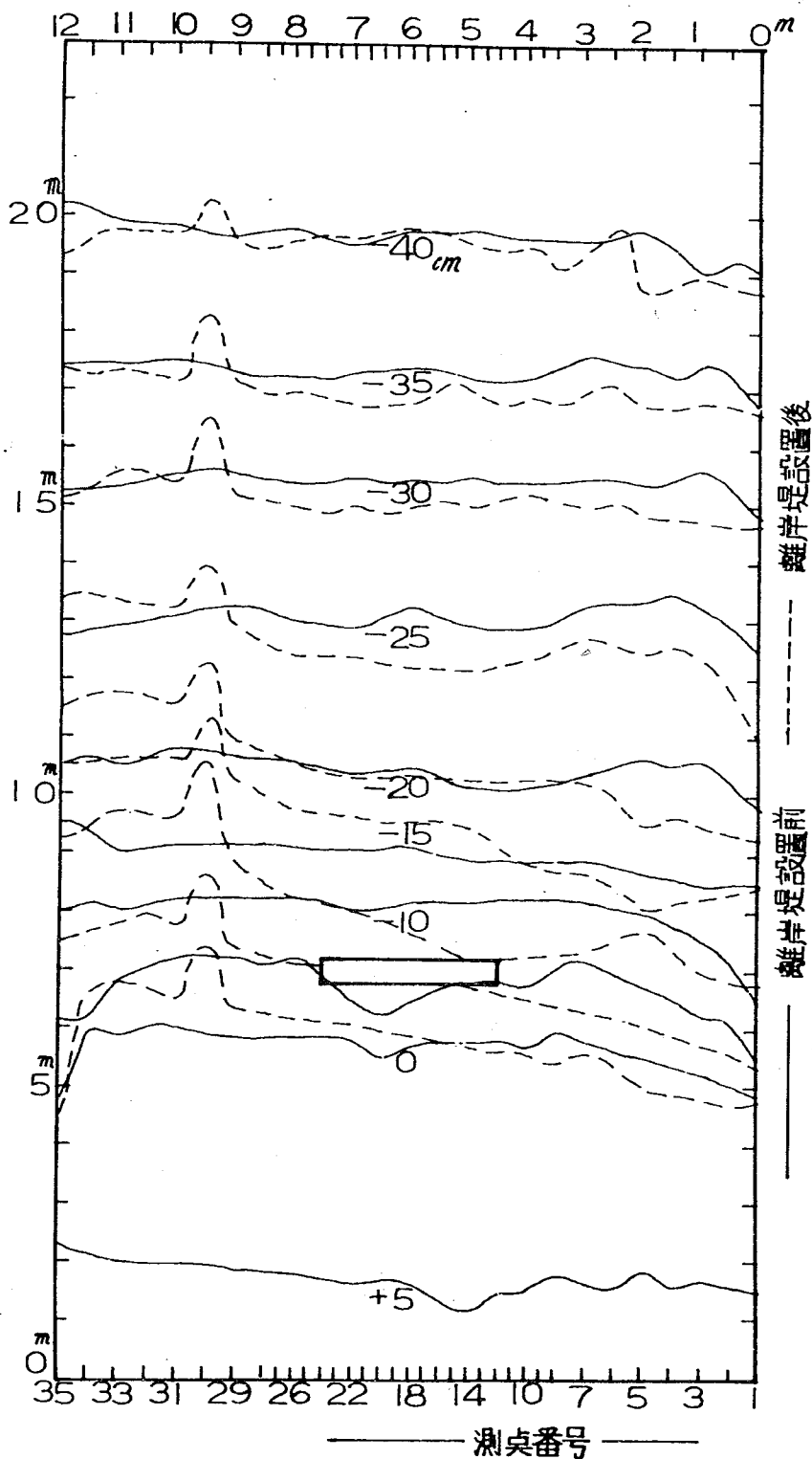
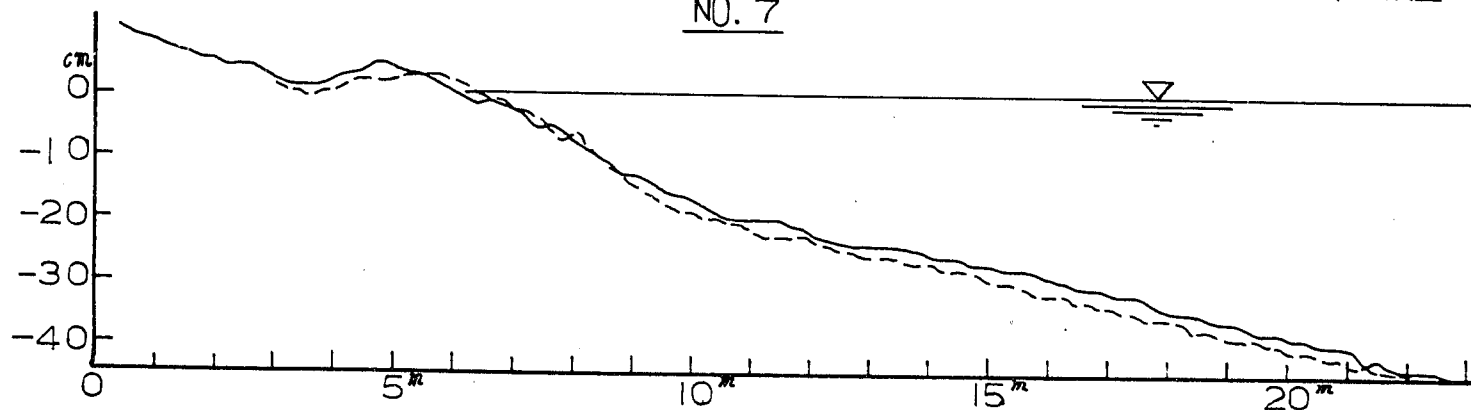


圖 - 3 9 等深線圖 № 6

—— 離岸堤設置前
 - - - 離岸堤設置後

NO. 7



NO. 18

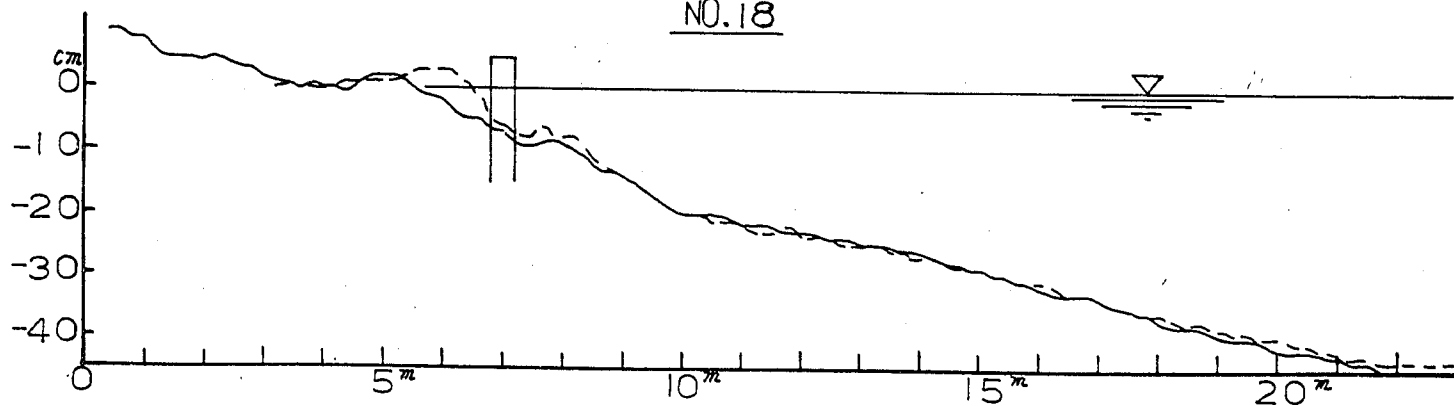


図 - 4 0 縦断図 No. 7

A A
 V V

64

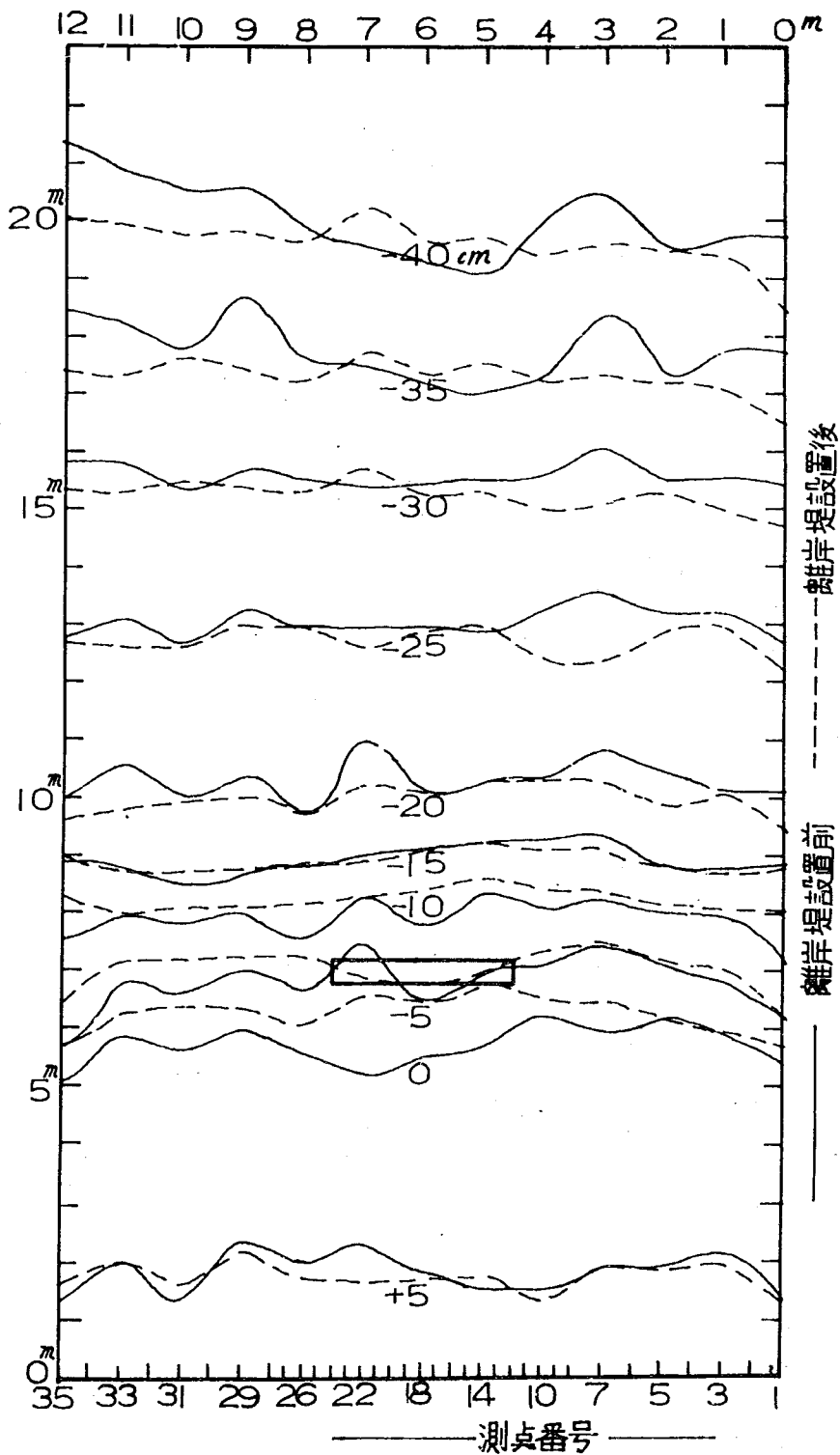


图 - 4 1 等深线图 No 7

8. ま と め

松任・美川海岸における海岸侵食の原因を検討するとともに、離岸堤による侵食対策工法について、模型実験による検討を行なった。実験方法上の制約や相似率が明確でないことなどによって離岸堤の諸元を決定する定量的な結果は得られなかったが、定性的にはある程度の成果が得られた。現地における調査と実験の成果を比較することによって設計に際して使用できる。結果が得られるであろう。

これまでに行なった検討の結果をまとめると次のようになる。

1. 松任海岸の侵食は手取川によって形成された扇状地の南西端に現在の手取川が移動したために、扇状地中央部（野本、相川新）への砂の補給がなくなり、中央部に侵食を生じた。
2. 松任・美川海岸の漂砂の平均の移動方向は手取川河口より南西では南西へ、河口と野本、相川新の間では釣合っており、相川新より北東では北東であると考えられる。
3. 汀線の前進後退が大きく、その位置が移動することによって前浜が減少し越波などの被害をうけることが考えられる。
4. この海岸への供給土砂は手取川であるが十分な供給はないであろう。
5. 侵食対策としては安定した海岸にする必要があり、供給土砂が少ないために1ヶ所に大きな堆積を生じさせるような工法はとらないほうがよい。
6. 離岸堤によっても海浜を安定にさせることができるが、その諸元、例えば離岸距離、間隔、長さについては十分な検討が必要である。
7. 離岸堤はその背後に砂を堆積させるが、その砂は沖よりもむしろ隣接海岸から供給されるために、隣接海岸の侵食に注意しなければならない。
8. 隣接海岸の侵食を少なくするには離岸距離、長さなどを小さくする必要がある。
9. 間隔については現地における離岸堤設置にともなう堆積、侵食量を参考に検討を行なう必要がある。
10. 侵食対策を必要とする海岸としてはまず前浜の少なくなっている野本、相川新附近であり、次はその北東側である。手取川河口の左右岸は手取川の流出土砂量によって異なり、流出土砂が減少する傾向にあれば対策を必要とする。

参 考 文 献

- 1) 加越沿岸松任・美川海岸調査報告書（昭和35年度），建設省北陸地建手取川工事々務所。
- 2) 加越沿岸松任・美川海岸調査報告書 建設省北陸地方建設局，金沢工事々務所，昭和42年10月。
- 3) Aramaki, M. and S. Takayam: A Petrographic Study on Littoral Drift along the Ishikawa Coast, Japan, Proc. 10th Conf. on Coastal Eng. 1966.