

茨城県磯浜港海岸の漂砂について

運輸技術研究所 工学博士 井 島 武 士
 同 上 佐 藤 昭 二
 同 上 青 野 尚
 茨城県東那珂地区建設事務所 鶴 川 義 郎

1. はしがき

磯浜港は明治末期から大正初期にかけて、修築された港であるが、砂浜に築造された港の常として漂砂に悩まされ、竣工をまたずして港内は埋没し、大正中期から事実上の廃港として放置されていたものである。最近この海岸に、新たに漂砂に対して安全な港を計画することになったので、付近海岸の漂砂の特性を明らかにして、建設計画の指針とする目的で調査を行なったものである。われわれは従来行なわれた調査の資料¹⁾から、この海岸の漂砂が主として波によって支配されるものと判断して、波浪の継続観測を行ない、アイソトープ砂を用いて漂砂方向を測定し、ほぼわれわれの予想を確認することができた。

2. 磯浜海岸の一般的性状

この海岸は図一1に示すように、平磯から那珂川河口を経て大洗岬までのほぼ東面する砂および岩礁の海岸、大洗岬から磯浜港までの南面する砂浜海岸、磯浜港から

鹿島灘海岸に移って再び東面する砂浜海岸となる。那珂川は洪水流量約 4300 m³ で、その北岸平磯までは浸食性の砂浜で、岩礁の発達した海岸によって、北の久慈浜海岸と遮断されている。那珂川南岸から大洗岬までは、ほぼ安定した砂浜で、岩礁の突出した大洗岬によって海岸状態が急変し、磯浜海岸に移る。磯浜海岸は現在ほぼ安定状態にあり、ここに磯浜港がある。この港は防波堤基部が開口しているために、ここから浸入した砂と、防波堤先端をまわった砂によって埋没したものである。磯浜港から鹿島灘海岸は欠損性の砂浜で、汀線の変化がかなりいちじるしい。計画された新磯浜港の外郭はほぼ図一2の点線に示すようである。これらの海岸の主要な性状は次のとおりである。

(i) これらの海岸線に対する法線は、N方向から時計まわりに測ると、大洗海岸では 26°、磯浜海岸では 90°、鹿島灘海岸では 8° である。(ii) 最近数年間の測深図によると、どの海岸でも顕著な bar は見られず、0～-10m の海底勾配は大洗で 1/60～1/70、磯浜で 1/60～1/130、鹿島灘で 1/130 程度である。海底地形の時期的変化は鹿島灘海岸で最も顕著で、-4～-5m において大きい。最も少ないのは磯浜海岸の 0～-5m 付近である。大洗海岸では那珂川河口から大洗岬に移るとともに変動が大きくなる傾向がある。(iii) 海底の砂粒径の分布は図一2に示すように、3つの海岸で顕著な相違を示している。すなわち大洗海岸では -4～-5m 以浅で、0.2～0.3 mm、-5～-7m で 0.17～0.2 mm、-7m 以深で 0.17 mm 以下となる。鹿島灘海岸では、-2m 以浅で 0.2～0.3 mm、-2～-4m で 0.17～0.2 mm、-5m 以深はすべて 0.17 mm 以下で、大洗海岸に比較すると粒径が一樣に小さい。この中間の磯浜海岸は大洗岬で最も粒径が大きく、-9m から -2m までに 0.17～0.2 mm の砂が分布し、かつ大洗岬の西側に 0.2～0.6 mm の大粒径の砂がある。(iv) 汀線の砂粒径の分布は図一3に示すように、年間を通じて大差はなく、那珂川河口から大洗岬に到る間は 0.4～0.5 mm の範囲で漸増し、大洗岬から磯浜に向って減少し 0.2～0.3 mm となり、鹿島灘海岸で最も小さくかつ一定値に近づく傾向がある。(v) この海岸の潮流は定点観測およびフロートによる測流の結果、漲潮、落潮時ともに流れはほぼ海岸線に沿って北上し、特に地域的に大きな変化はなく、落潮時の流速は、漲潮時

図一1 海岸一般図

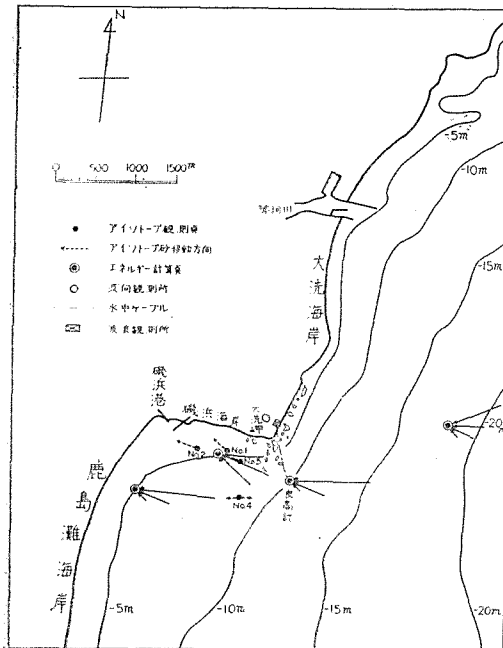


図-2 底質分布図

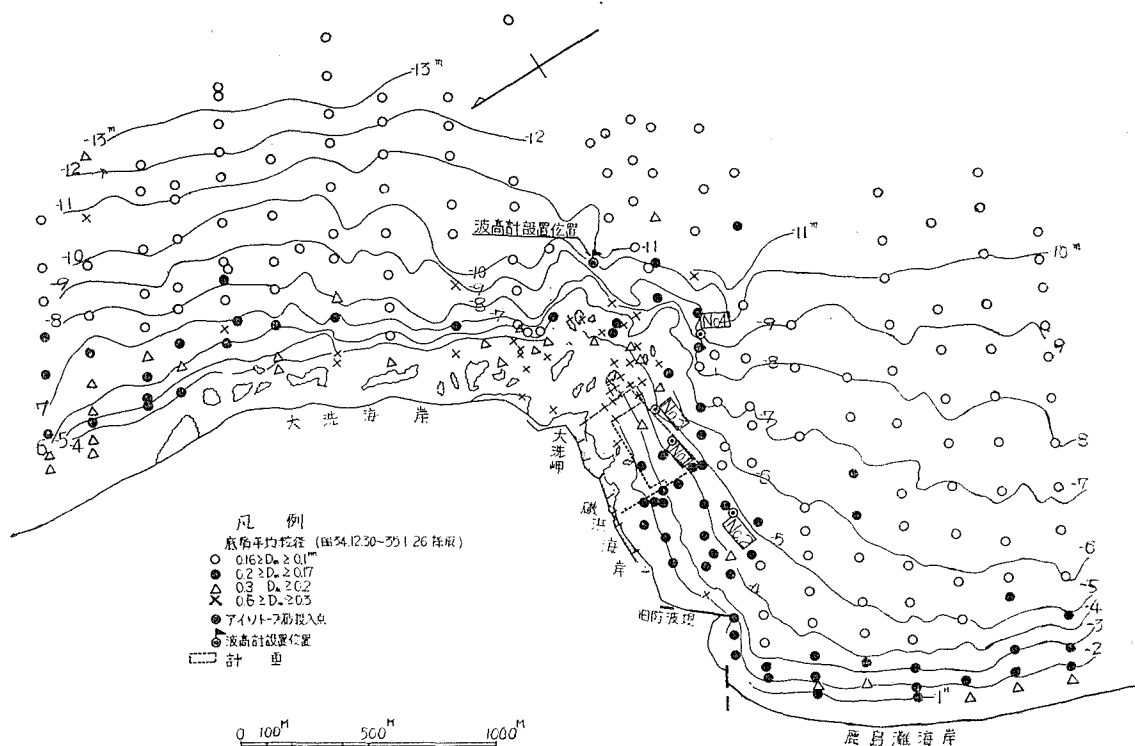
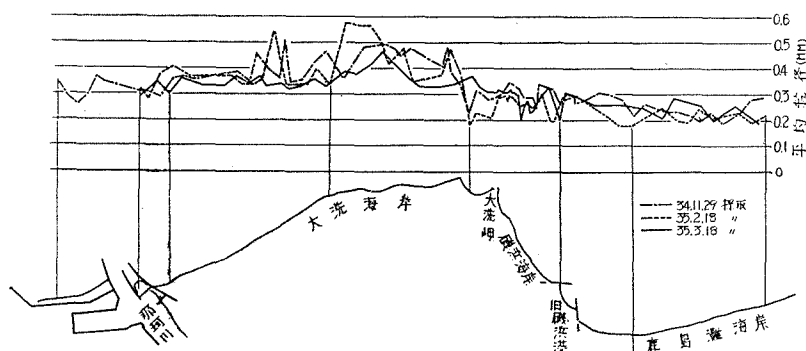


図-3 汀線粒径の分布



の 50% 程度で底層（海底上約 1m）の流速は漲潮時でも、静穏時には 10 cm/sec をこえることがない。波高が 2~3m をこえると、磯浜海岸では波と反対方向の 0.2~0.3 m/sec 以下の底層流が発達することがある。(vi) 磯浜海岸の防砂堤と磯浜港防波堤およびその西側の海岸堤防における汀線の砂移動の方向は、明らかに年間を通じて東から西に向っている。

3. 予想される漂砂の方向および漂砂源

上述の結果を総合すると、この海岸の漂砂特性は、(i) 漂砂方向を支配するのは潮流でなく、主として波であり、(ii) 漂砂は平磯から大洗岬まで南下する傾向が強く、特に磯浜海岸では大洗岬から磯浜港に向う漂砂がいちじる

しく、(iii) 最近 10 年間はほとんどいちじるしい海岸変動を示していないことから見ると、この海岸には北からの砂補給がある程度行なわれており、この補給源としては那珂川からの排出土砂が大きな要素をなしているものと考えられる（那珂川の排出土量は多数の深浅測量の結果、年間約 18 万 m^3 と推定されてい

る。平磯の北、久慈浜海岸からの南下土砂は平磯においてほとんど阻止され、那珂川北岸は導流堤の延長とともに漸次欠損を示している）。すなわちこの海岸の漂砂は那珂川を漂砂源として南下し、大洗岬を通過して、磯浜海岸を西進し、磯浜および鹿島灘海岸沖に分布するものと思われる。しかしながら鹿島灘海岸は延長約 70 km におよぶ広大な砂浜であるから、これを漂砂源として、南寄りの波によって北上する漂砂を生じ、磯浜海岸に堆積する可能性も考えられる。これは港湾計画上重大な点であるが、少なくとも特別の場合を除いては、その恐れはないと思われる。従ってこの調査では、漂砂の卓越方向が波によって南下の傾向を示すものかどうかを推定することを主目的としたわけである。

4. 磯浜海岸の波

図-1に示すように水圧式波高計を設置し、昭和35年1月から毎日2時間ごとに20分間の連続記録を取り、現在継続中である。これと同時に海面上約20mの位置からトランシットによる毎日2回(9時および15時)の波向観測を行なった。観測された昭和35年4月から36年3月までの1ヵ年間の波高および周期の方向別の未超過確率を示すと図-4,5のようである。この場合9時および15時以外の波向は観測値と天気図による風域とから求めたものである。図-6は波高計位置および後述する磯浜港計画港口付近での方向別の波高の頻度を示す。

図-4 波高出現率

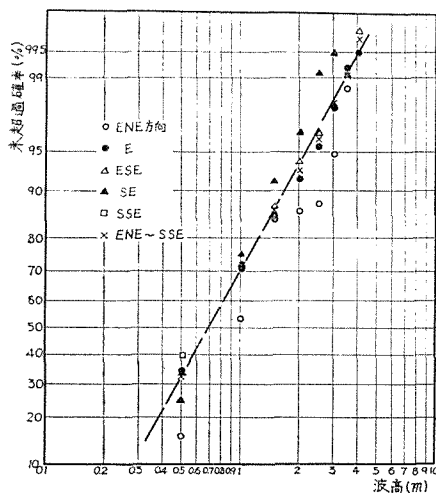


図-5 周期出現率

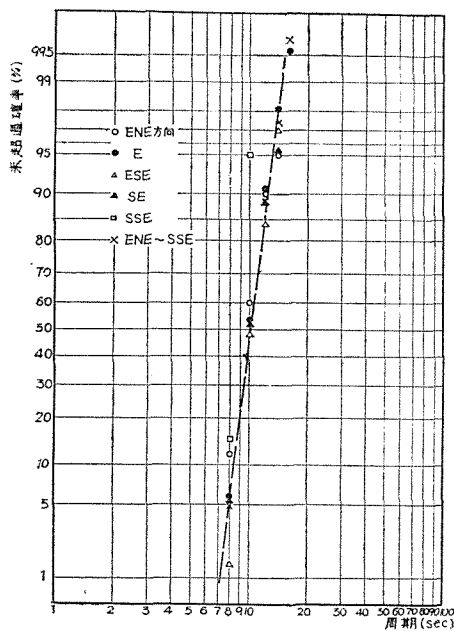
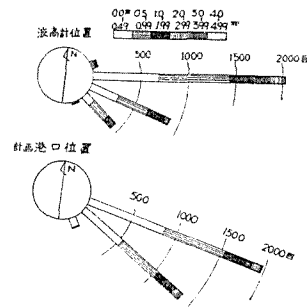
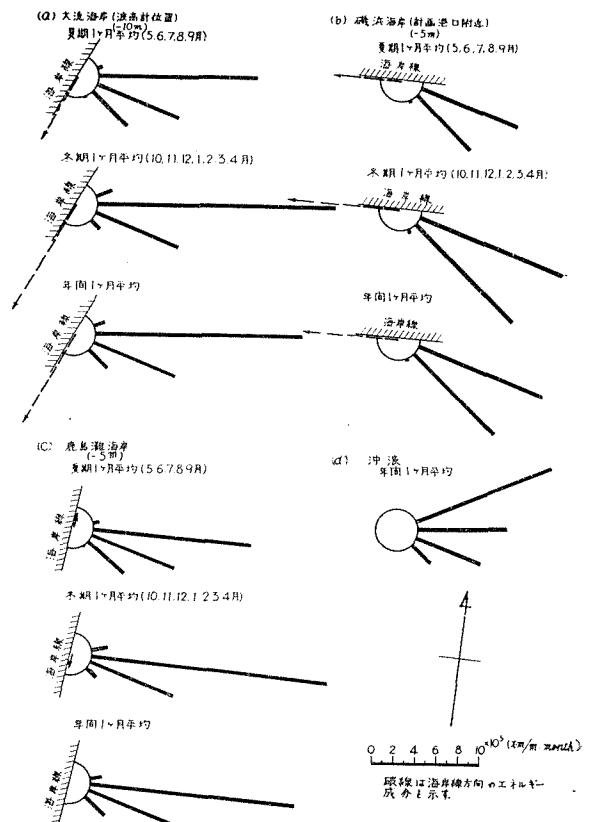


図-6 方向別波高出現頻度図



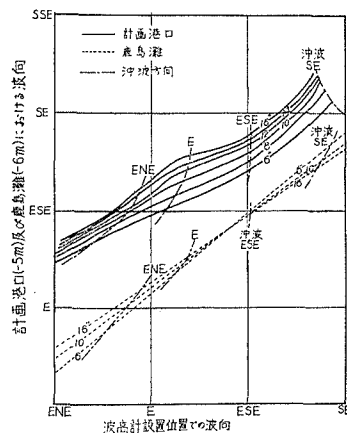
(i) 大洗海岸に対する方向別のエネルギー量は波高計位置における観測値をもって示すことができる。図-7(a)は夏期(5, 6, 7, 8, 9月)と冬期(10, 11, 12, 1, 2, 3, 4月)の月平均の方向別の入射エネルギー量を巾1m 当りにつき、観測された波高と周期から算出したものを $t \cdot m/m$ 単位で示している(夏期の月平均測得率は75%, 冬期は81%である)。これから海岸線延長1mについての海岸に沿うエネルギー成分を求めると、夏冬ともに南下する成分が現われ、それぞれ $675 \times 10^3 t \cdot m/m \cdot month$ および $1136 \cdot 10^3 t \cdot m/m \cdot month$ となり、年間の南下するエネルギー総量は $11327 \times 10^3 t \cdot m/m \cdot year$ となる。

図-7 方向別エネルギー量



(ii) 磯浜および鹿島灘海岸に対して同様の考察をするために、周期 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 秒について屈折図を画き、波高計による実測波高および波向からこれらの点での波を求めた。計算地点はそれぞれ図-1に示すように、磯浜海岸では計画港口付近 -5m、鹿島灘では磯浜港の南約 1km の -6m 地点である。波高計位置

図-8 各地点における波向の関係



とこれらの計算地点における波向の関係は図-8に示すように、磯浜海岸ではかなり波向は南に寄るが、鹿島灘ではいちじるしい差はない。かくして求めた両地点での方向別のエネルギー量を図-7(b), (c)に示した。これから磯浜海岸では海岸に沿うエネルギー成分は夏冬ともに西進し、それぞれ $645 \times 10^3 \text{ t} \cdot \text{m} / \text{m} \cdot \text{month}$ および $1068 \times 10^3 \text{ t} \cdot \text{m} / \text{m} \cdot \text{month}$ で年間総量は $10701 \times 10^3 \text{ t} \cdot \text{m} / \text{m} \cdot \text{year}$ となる。鹿島灘海岸では夏北上するエネルギー成分 ($142 \times 10^3 \text{ t} \cdot \text{m} / \text{m} \cdot \text{month}$) が現われ、冬は南下する成分 ($131 \times 10^3 \text{ t} \cdot \text{m} / \text{m} \cdot \text{month}$) となり、年間総量では $207 \times 10^3 \text{ t} \cdot \text{m} / \text{m} \cdot \text{year}$ の南下成分となる。

このことは大洗および磯浜海岸は夏冬とも漂砂が南下または西進する傾向がいちじるしく、鹿島灘海岸は夏冬とも移動は顕著でなく、やや南下の傾向があることを示すもので、磯浜港の埋没は鹿島灘海岸からの漂砂ではなく、大洗および磯浜海岸からの漂砂によることを示唆するものである(図-7(d)は観測値から換算した方向別の沖波のエネルギー量を示したものである)。

漂砂量については特に観測を行なわなかったが、測深図によって大正5年から6年までの磯浜港内の堆積土量を計算すると、年間2~3万 m^3 、昭和3年までの12年間の堆積土量は年平均約3万 m^3 である。これとCaldwellの漂砂量算定式から推定すると、磯浜沿岸では10万 m^3 以上の漂砂量が考えられる。

5. アイストープによる漂砂の観測

上述のように海岸における漂砂の方向はほぼ推定されるが、それを確かめるため、磯浜海岸および鹿島灘海岸で、アイストープを用いて漂砂の追跡を行なうこととした。

まず35年度は、 CO^{60} をふくむガラス砂を用いて磯浜海岸で実施し、所期の成果を得ることができた。投入位

置は図-1および2に示してある。投入量および粒径は表-1のとおりである。

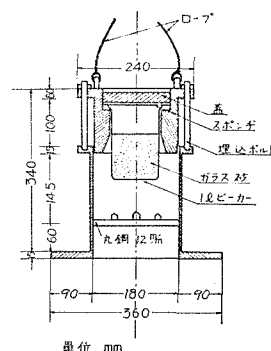
表-1

番号	粒度分布	平均粒径 mm	重量 gr	放射能 mc	投入年月日	投入水深 m
No. 1	0.1~0.2mm 135gr 0.2~0.4mm 135gr	0.2	約270	約235	35年9月16日	-4.5
No. 2	0.062~0.125mm 150gr 0.125~0.25mm 600gr 0.25~0.5mm 150gr	0.17	900	約35	35年11月16日	-4.5
No. 3	0.125~0.25mm 900gr	0.17	900	約15	36年1月20日	-4.5
No. 4	0.125~0.25mm 900gr	0.17	900	約15	同上	-10.0

アイストープ砂は、 CO^{60} を約2%ふくみ、比重2.65のガラス砂を原子力研究所で中性子照射をして作ったものである。

観測方法：これは、従来と特に変わりはないが、今回用いたアイストープ砂投入器は、図-9に示すように、ロープで船からつり下げ、海底に着くと、内側のシリンダーがボルトをガイドとして自重で下り、ビーカーが下方の突起に当たって割れ、ガラス砂が落ちるようになって

図-9 アイストープ投入器



アイストープ砂を追跡するに用いた検知器

は、写真-1に示すように、ハロゲン GM 管3本が径16 cm、長さ70 cm、厚さ5 mmのステンレス円柱の中に入っている。これとケーブルで連結するレートメーターには、トランジスター方式のものを用いた。電源は、従来より容量の小さい電池から出る直流をそのまま用いることができる。

写真-1 水中検知器

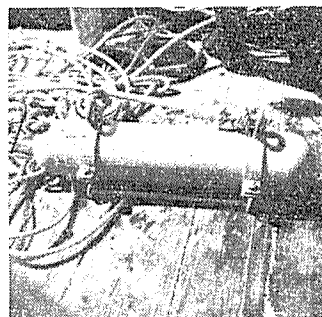
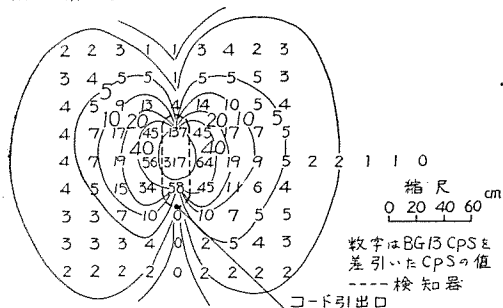


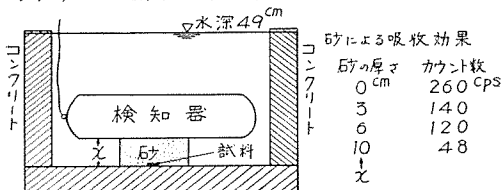
図-10は、No. 2に投入したガラス砂0.1 grを用いて測定した検知器の特性を示すものである。(1)は陸上で測定したもので、図中に示す数字は、その位置に試料

図一10 検知器の特性

(1) 検知器の方向特性



(2) 砂による放射線の吸収効果



0.1 gr を置いた時にレートメーターの示す毎秒当りのカウント数 (CPS) である。(2) は、砂による放射線の吸収効果の程度を概略示すものである。

これらの図から陸上で自然カウント数 (B.G.) 13 CPS を差引いたカウント数が 10 CPS 程度の値を示すには、 1 m^2 当たりアイソトープ砂約 $2.5 \times 10^{-2}\text{ gr}$ 、すなわち粒径 0.17 mm のガラス砂約 6×10^4 個を必要とすることになる。さらに海底では砂に埋まる深さを 5 cm とし、かつ水による吸収効果を考えると、10 CPS 程度のカウント数を示すには、 1 m^2 当たり約 0.1 gr 、すなわちこの粒径の砂粒約 20 万個を必要とする。

No. 1 における観測：これは予備観測として、投入すべき砂の量を決定することを目的としたものである。9月16日投入後26日まで7回アイソトープ砂の追跡を行なったが、この間投入点付近の波向は主として ESE、有義波高は $0.4 \sim 0.8\text{ m}$ で、静

穏な日が続いたが、ガラス砂はおもに波の方向 (WNW 方向) に拡がり、投入点から 10 m くらいまでその存在を確認することができた。しかし、その後最高 5 m に近い波が来襲し、ガラス砂は全く飛散してしまった。

No. 2 における観測：予備観測の結果ガラス砂は相当に分散することが予想されたので、No. 2 には 35 mc のガラス砂

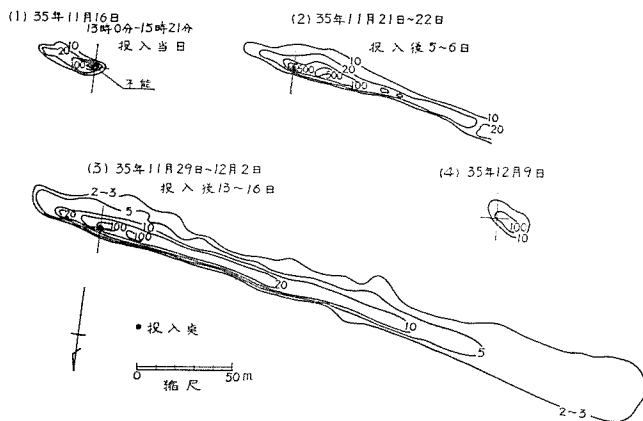
を投入した。そのガラス砂の追跡結果と、その期間の波および流れを図一11および図一12に示す。流れは小野式流速計を投入点から SE 方向 120 m 離れた海底上 1 m に設置して測定したものである。計画港口における波高および波向は、波高計による観測値から算出したものである。

投入当日ガラス砂は底層流の方向 ESE に流された。この時のエクマンメルツ流速計による海底上 1 m の流速は数 cm/sec 、有義波高は 0.4 m 程度であった。その後21日の観測時までに波高 $0.8 \sim 1.2\text{ m}$ 、周期 $8 \sim 10$ 秒の波が続いたが、その結果ガラス砂は、波向と同じ ENE 方向に帯状に拡がり、500 CPS の高カウント線も 20 m はば移動した。さらに、波高 $1 \sim 2\text{ m}$ 、周期 $10 \sim 15\text{ sec}$ の波が5日間続いた後の29日の観測では、ガラス砂はますます ENE 方向に細長く拡がり、 $2 \sim 3\text{ CPS}$ のカウント線は巾 $20 \sim 25\text{ m}$ 、長さ 350 m の帯状を示し、旧防砂堤の先端近くまで達した。しかし、12月6日に台風26号による波高 2.6 m 、周期 12 sec の波の襲来後の測定結果では、ガラス砂は全く分散し、旧防波堤の西側および東側を広い範囲に測定したが、投入点のすぐ近く以外には明確にガラス砂の存在を確認することができなかった。

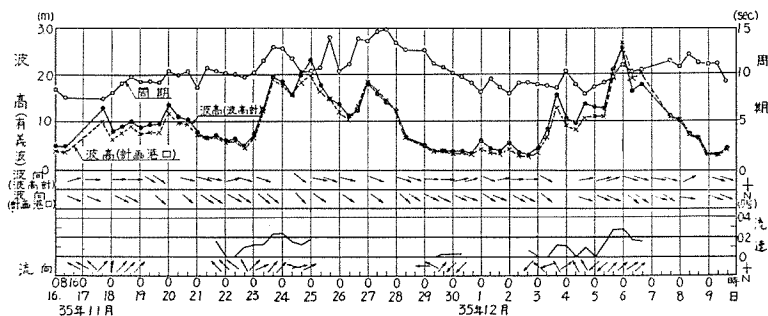
以上のガラス砂の分布図で、等カウント線が、陸側は

図一11 No. 2 に投入されたガラス砂の分布図

(図中の数字は B.G. 12 CPS を差引いた1秒当りのカウント数 CPS を示す)



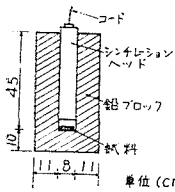
図一12 No. 2 のガラス砂分散中の波と流れ



密で沖側は疎になっているのは、海底砂が波によってその進行方向に掃流されるとき、かくらん浮遊した砂の一部が、底層流によって沖側に流されることを示すものと思われる。

次に、このように分散したガラス砂の垂直方向の分布

図-13 試料の放射能測定法



を知るために、36年1月18日、潜水夫によって投入地点付近の砂を径6cm、長さ20~30cmの真鍮チューブで無かくらん採取をし、その放射能を測定した。測定には、採取した試料を2cmごとの厚さに切り、シンチレーションカウンタおよび試料

を図-13のように10cm厚さの鉛ブロックによって遮蔽し、自然放射能をできるだけ除くこととした(このときの自然放射能は34~38 CPMであった)。

図-14は、2cmごとの層内にふくまれる放射能のCPMの垂直分布を示したもので、カッコ内の数字は、その試料を採取した地点での検知器によるCPSを示している。これらの図から見ると、ガラス砂は主として表層5cmの間に分布し、かつ、図-15に示すようにそのCPMと、検知器による海底のCPS

図-14 ガラス砂の垂直分布 (B.G. 34~38 CPM を差引いた値)

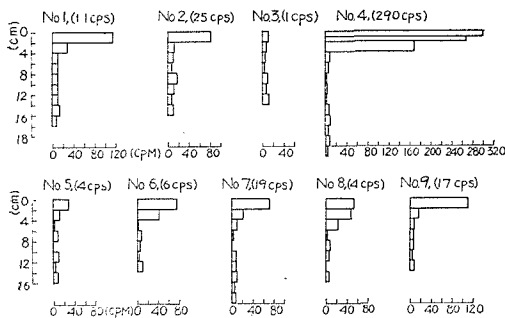
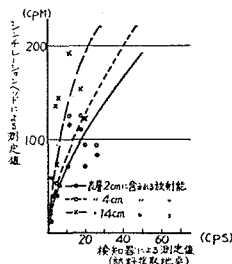


図-15 検知器とシンチレーションヘッドによる測定値の比較



とがほぼ比例した関係にある。すなわち、この観測中投入点付近(水深4~5m)では、海底の深さの変動は主として数cm程度で、検知器による測定値は埋没もふくめたガラス砂の分布を明らかに示すものと考えられる。

No. 3 および No. 4 における観測: 図-16 および 図-17 は、それぞれ No. 3 および No. 4 に約 15mc ずつガラス砂を投入した結果で、図-18 はその観測期間中の波と流れである。点線で示した流れは投入点 No. 3 の南側 40m 付近における小野式流速計による底層 1m 上の観測値で、実線で示したものは、投入点 No. 4 の東側 40m における同様な流れである。なお、No. 3 における波向は、図-18 に示した計画港口における波向より多少 S 寄りである。

図-16 No. 3 に投入されたガラス砂の分布 (図中の数字は B.G. 11~12 CPS を差引いた CPS)

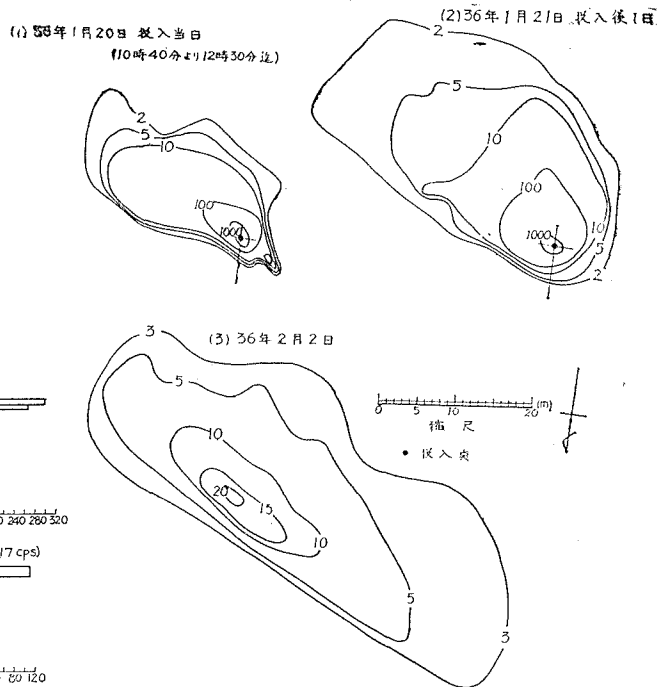


図-17 No. 4 に投入されたガラス砂の分布 (図中の数字は B.G. 11~12 CPS を差引いた CPS)

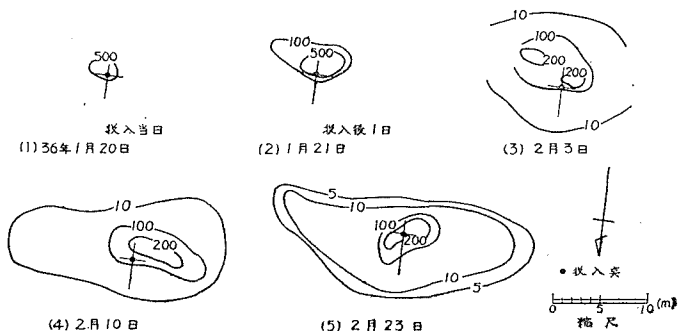
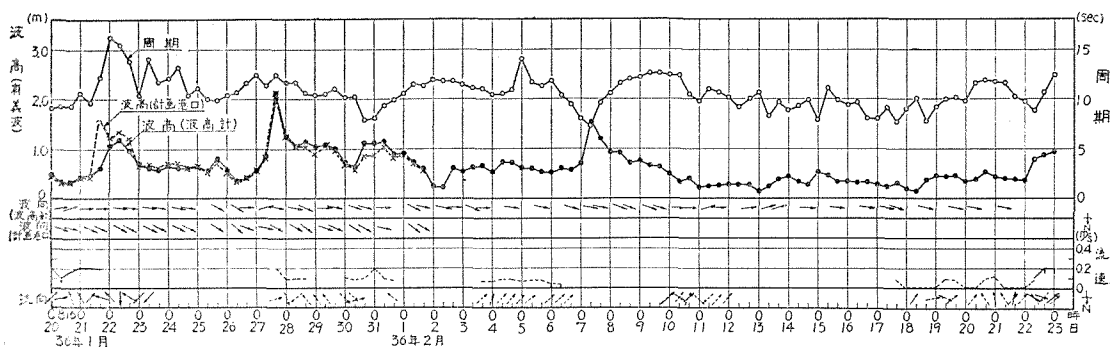


図-18 No. 3, 4 に投入されたガラス砂分散中の波と流れ



No. 3 に投入されたガラス砂の投入当日およびその翌日の分布の主方向は ESE~SE 方向である。これは、この間の波が ESE の 30~40cm で、投入直後測った底層 1m の流れが、ESE 向きへ 4 cm/sec であったことから底層流によって流されたものと思われる。一方 No. 4 に投入したガラス砂はこの間ほとんど動かず、わずかに東および西へ広がったようである。その後、No. 3 では SE, No. 4 では E~ESE の波高 2.20m の波をうけた後の観測では、No. 3 は完全に投入点からはなれ、NW 方向に分布し、その等カウント線は No. 2 におけると同様に、陸側は密で沖側は疎で、3 CPS の等カウント線の巾は 20m 前後である。一方、No. 4 に投入したガラス砂は、海岸に平行に、東および西方向にほぼ同程度に拡がり、その後 2 月 10 日、2 月 23 日に行なった観測でも、ほぼ同様な分布を示した。

なお、No. 4 付近の海底は、岩礁の間に砂が分布しているの、海底は 1m 程度の高低を示し、底層の流向も一定せずガラス砂は岩礁の間を通過して移動し、特定の方向性をもたないものと思われる。

以上の観測から次のようなことが推定される。

(1) -4~-5m 以浅では、沖波有義波高 1.5m, 周期 10 秒程度の波によっても完全に掃流される。

(2) 波によって、その方向に海底砂が動かされる時、かくらん浮遊せしめられた砂の一部は、底層に沿う流れによって沖側へ押し出される傾向がある。

(3) 数 cm/sec の底層流によっても、海底表層の砂は、ある程度分散移動する。

(4) -4~-5m での、波による底質の移動は波向と一致して、旧防砂堤の方向に向い、流れによる底質の移動は、大洗岬の先端方向に向うが、この期間を通じての卓越した砂の移動方向は旧防砂堤の方向である。

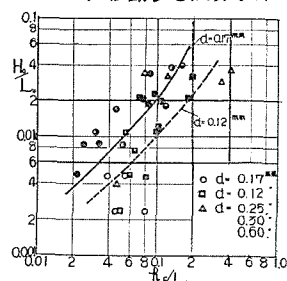
(5) 大洗岬先端の -10m 地点では、岩礁のために、底層流は一定した方向をもたず、底質も、すべての方向に分散するものと思われ、有義波高 2m 程度の波による掃流力は海底砂に作用しない。しかし、顕著ではないが、底質は海岸に平行に移動する傾向がある。

6. 波による底質移動の限界水深について

一般に波によって起こる底質移動の限界水深は、砂粒子がまさに運動を起こそうとする場合あるいは群をなして移動を始めるという場合など、多くの式が提案されているが、実際海岸での資料は全くない。アイソトープ砂による等カウント線の追跡によっても、明瞭な資料を得ることは困難である。しかしわれわれは等カウント線の移動および変形の状態から、波によって砂が集団的に、かつ波と同じ方向に移動を始める水深をもって限界水深とし、その概略値を既往のアイソトープ観測から求めて見た。

図-19 は、苫小牧、伊良湖、福江および磯浜における資料を用いて、粒径 0.12 mm, および 0.17 mm などの砂の移動限界水深 h_c と沖波波高 H_0 および L_0 の関係を図示したものである。図中の記号

図-19 波の進行方向に集団的に移動する限界水深



は、等カウント線の変化の状態によって、表-2 のように区分している。

表-2

記号	最高カウントの位置	全体的な等カウント線の向き	等カウント線の拡がり方
●	変わる		
○	変わらない	変わる	変わる
◐	変わらない	変わらない	変わる(波と同じ方向に変わる)
□	変わらない	変わらない	変わらない(波と反対方向に変わる)

これによると磯浜海岸では、-5m の地点では、周期 10 秒、波高約 1.2m 以上の波によって、底質は集団的に方向性をもって移動することが推定される。

7. 結 論

(i) この海岸の漂砂はおもに波によって支配され、その卓越方向は、大洗海岸を南下し、大洗岬をまわって磯浜海岸を西進し、磯浜港付近およびその前面海底に分布するものと思われる。

(ii) 鹿島灘海岸を漂砂源として、北上し堆積する漂砂量は、南下する量にくらべると少ない。

(iii) しかし旧磯浜港はこれらの漂砂の集積地点となつて、埋没したものと考えられ、漂砂については最も不利な条件にあるものと思われる。

(iv) $-4 \sim -5\text{m}$ 以浅の底質は、沖波有義波高 $1.2 \sim 1.5\text{m}$ 、周期 10 秒程度の波によって集団的にその方向に移動する。

(v) $-4 \sim -5\text{m}$ の底質は、主として波の方向と一致

し、旧防砂堤の方向に移動し静穏な時は大洗岬の先端方向に向う底層流によって、その方向に移動する傾向がある。

(vi) 大洗岬先端水深 -10m 付近においては、波高 2m 程度の波は底質を集団的に移動させることはないが、海底砂は海岸に平行に移動する傾向がある。

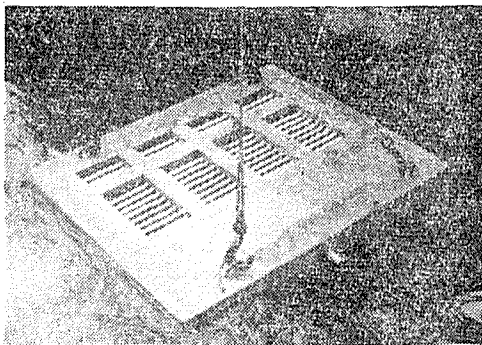
この調査では、台風時の南寄りの波による底質の移動を測定することができなかったため引き続き観測を継続中である。

この観測は、茨城県および運輸省横浜調査設計事務所との協力によって行なわれたもので、特に茨城県土木部河港課長 富所克巳、技師 赤津 徳、時崎 弘の各氏の御尽力による所が多い。ここに厚く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 茨城県東那珂地区建設事務所：磯浜港調査報告書、昭和34年5月。

電気防蝕法 Cathodic Protection



シートパイル電気防蝕工事
(海中電極設置作業)

電気防蝕で鉄の寿命を数倍に！

港湾施設

(シートパイル・鋼管杭・タイロッド・棧橋
ドルフィン・スクリーン等)

其他工場施設・地中埋設物・船舶

Dual Meter (PH計兼用真空管電位差計)

RGY Tester (金属材料の耐蝕性比較に)

発売

(資料進呈)



日本防蝕工業株式会社

本社 東京都港区芝新橋5-1(越田商工ビル) 電話(431)3419・3995
大阪事務所 大阪市北区老松町3-23(新老松ビル) 電話(36)6919・8140

総代理店 三菱商事株式会社