

放射性ガラス砂を用いた漂砂の追跡の現場実験

猪瀬 寧雄・加藤 正夫・佐藤 清一

緒言

北海道総合開発の一環として現在苫小牧市の海岸に掘込式の港湾を建設中であるが、本港はその背後地たる湧払原野が優秀なる工業立地条件を具備しているので、将来本港を工業港として発展させ、湧払原野の全面的開発を計ろうとする意図のもとに着手せられた。著者らは過去4年に亘り本港の建設に従事しているが、この海岸は漂砂が多く、いったんその処理をあやまった場合には将来本港の維持上幾多のトラブルを残すので、まず砂の移動を適確に捉えるため、筆者らは協同のもとに放射性ガラス砂を用いた漂砂の追跡の現場実験を1954年6月から実施し、これによって港湾設計上有効適切なデータをつぎつぎに得ているので、その大要を述べることにする。

1. 実験の目的

本実験の究極の目的は将来時化などの場合、砂が港内に入りこみ港内の埋没するのを防ぐため次の三つの基本問題を解決することである。

- 防波堤先端をいかなる水深にとどめるべきか。
- 防波堤の法線をいかなる形にするのが最も合理的であろうか。
- 港口をどの方向に向けるのが最も合理的であろうか。

この三つの基本問題を解決するにあたり、ある規模の時化に応じて各水深における底質がいかに動くかを究明することから始めなければならない。この目的に対しわれわれはこの実験を企画実施したわけである。現在までに得られた結果から見て本論文に述べる方法によってわれわれはこの実験に成功したものと考えている。さらに海底放射能と移動する砂の量との相関関係を見出すべく目下次の実験を企画中である。

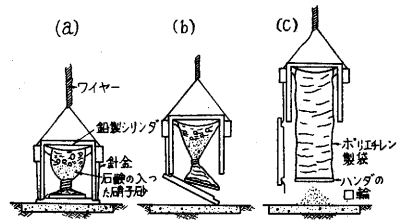
2. 測定原理および方法

この実験の測定原理は次のとおりである。観測地点の底質の比重および粒度分布が同一で、かつRIを均一に含むガラス砂を人工的に製造し、これを所定の海域にポイント・ソースとして投入し、このガラス砂が波浪潮流などによって動く状態を放射能測定器で追跡しようとするのである。この場合実際の底質とガラス砂との間には完全なる類似が成立しているから、このガラス砂の動きはすなわち底質そのものの動きと考えて支障ないわけである。

この測定方法は次のとおりである。

(1) 投入方法

第1図に示すようにガラス砂をあらかじめ石鹼水とともにポリエチレンの袋に封入し、この袋を鉛製のシリンダーのなか

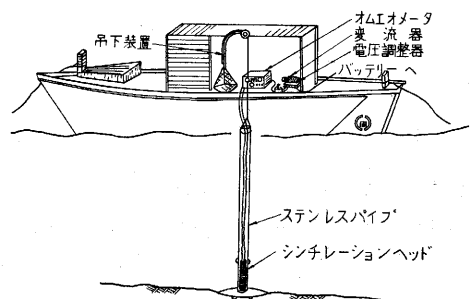


第1図 放射性ガラス砂投入方法

に取める。この鉛のシリンダーには鉛製の蓋があり、蓋とシリンダーとを針金で緊結し、逆さまにして、ワイヤーで所定の海底に吊りおろす。シリンダーはダイバーにより正しい位置に設置せられたのち、蓋とシリンダーとを緊結している針金を切りダイバーは浮上する。それから船上からゆっくりワイヤーを巻き上げるとガラス砂は第1図(c)に示すようにポイント・ソースの形で所定の海底に置かれることになる。ガラス砂をあらかじめ石鹼液でぬらしておくのは、この段階でなめらかにガラス砂がポリエチレンバッグから滑り出るようにし、かつガラス砂の細粒がただちに海水にぬれて海底に沈降するようにするためである。以上の方法によりほとんど完全に放射性ガラス砂の投入に成功しているのである。

(2) 測定方法

第2図に示すように投入地点に観測艇を待機させておき投入直後から測定を実施する。すなわち、シンチレーション・ヘッドが先端に取付けられた水密性パイプを船側から降ろし、これを移動させて海底の放射能を船上に備えられたシンチレーション・カウンターで計数する。第1回(水深3m)の測定ではこの方法で行ったが、海



第2図 放射能強度測定方法

底にパイプを下げると船の操作が予想以上に困難であり、船の動揺が直接パイプに伝わり測定にも不便を感じたので、第 2 回（水深 6 m）以降は大型ガイガー・計数管を用いた水中計測器を用いることにした。これは外殻を 18-8 不銹鋼で作り、10m の海底で水密を保てるようにしてある。これを可携ケーブルで海底に下げ放射能の計測を行った。さらにこれと並行して観測地点の底質を採取して、この試料について底質中の放射性ガラス砂の分布状態をしらべることも目下準備中である。これは底質の移動機構を解明し、それによって海底放射能と移動する砂の量との相関係数を見出すために必要なものである。この方法では試料採取の際の曝射の危険を少しでも減らすために特殊のサンプラーを用いて遠隔採取することが必要であり、このサンプラーは建設省土木研究所福岡技官の考案になるのを採用し目下試験中である。計測地点の位置は別に用意した測量船があり、メートル縄とセキスタントを用いて測量をしている。かくして得られた資料から後に示す等計数線を描き、砂の拡散状態を知ることができる。測定は投入後連続的に行うのが理想的であるが、時化などのためにこれを行うことができないので海域の平穏な時機をみて断続的に実施しているが、これで十分目的を達成しうる。

なお本実験においてはあらかじめ海底の自然計数を測定しておくことも必要である。

3. 放射性同位体の選択

このような目的に対しては放射性同位体は次の要求を同時に満たすものでなければならない。

- γ 線放射体であること。
- 透過能がより大きくあるために γ 線のエネルギーが高くなければならぬ。
- 検知感度を高くするために γ 線が大きくなければならない。
- 海底の汚染を除くために、半減期はなるべく短かく、かつ実験期間に耐えられる程度に長くなければならない。
- ガラス成分として容易に固定される元素でなければならない。
- かなり大量使うのであるから安価なものでなければならない。

γ 線放射体としては ^{60}Co 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{65}Zn の 3 種類の放射性同位体が考慮の対称となったが、 ^{60}Co は d 項の条件に対して半減期が長すぎる点で難点があり、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ は e 項の条件に対してガラス中に固定しにくいという難点がある。結局、 ^{65}Zn は γ 線放射の割合が約半分であるという、c 項に対する難点を有するのであるが、この ^{65}Zn を使うことにした。

また ^{46}Sc は γ 線のエネルギーも高く、2 段放射を行い、ガラス中に固定しやすい元素であるが、半減期が

85 日でこの実験目的に対して少しく壊変速度が速すぎるという点で使えない。しかしもしわが国に原子炉をもち放射化法により放射性ガラス砂を作ることが許されるならば、輸送・試料調製の期間を省くことを得てこの実験に使用することができたであろう。将来この種の実験が諸所で行われる場合、海底汚染による放射線傷害が懸念される実験に対しては ^{46}Sc を使うことがよいと考えている。

この実験を計画した当初に、われわれは放射線傷害の問題を最も慎重に検討したのである。放射性同位体は ^{65}Zn を用いるとして、以下に述べるような考慮と注意のもとに、この実験は遂行されて然るべしと結論された。すなわち

- ガラス成分として化学的に固定された ^{65}Zn は海水中でほとんど溶出しなぬ。簡単な予備実験の結果この溶出量はこのような大海における実験では全く問題にならないほど微量であることもわかった。
- 北海道苫小牧付近の海岸では、比較的漂砂の動きが速いので、放射性ガラス粒の拡散速度も比較的速い。遅いところは 500 m 以上沖合となる。
- したがって、放射性ガラス砂の 1 粒の放射能の強さを約 $0.1 \mu\text{c}$ 程度以下に調製しておくならば、海底の放射能は砂の拡散速度と壊変速度とに比例した速さで比較的短時日の間に自然計数の範囲にまで低下するまでであろう。
- またもし魚介類が放射性ガラス砂の粒を摂取しても、その放射能の強さは微弱であり、かつガラス質であるからその消化器中で溶けることなく排泄されるであろう。

以上のような考慮は地元の人々の納得を得てこの実験が行われることになった。

4. トレーサー実験計画

まずこの実験に用いる最大放射能をどの程度にとるかということが問題となる。これを決定する第一の因子は、海底の一点におかれた放射性ガラス砂が漂砂として移動するが、この移動を少なくとも数 10 m の範囲まで追跡したい。この程度の動きをみないと卓越した方向性を確定できないからである。第二の因子は、放射性ガラス砂を製作する実験施設の規模である。われわれの放射性同位体実験室（東大生産技術研究所）で放射線傷害をこうむることなく作業を行い得る最大限度は約 200 mc と考えられる。また現場における放射能取扱施設も大規模であることは経費その他の点からも無理である。次に第三の因子として計数器の感度および計測時のキ力学的条件と、四囲の吸収体による放射線の減衰とによる計数収率の問題が挙げられる。第四には海底の汚染度の問題である。

以上の因子を考慮してこのトレーサー実験計画が立て

られなければならない。われわれはさきに述べたようにこの実験に ^{65}Zn (半減期 250日) を用いることをまず決めたのであるが、その γ 線のエネルギーは 1.11 MeV であってかつ γ 線を放射する壊変の割合は 45% である。

放射性ガラス砂の分散の仕方は、これらが群をなして連続的に分散することは確かであるが、放射能の勾配がどのような形をとるかは、実験の結果指数函数的であることがわかったが、当初においては想像に過ぎなかった。ともかくも点線源の分散した海底に計測器をおいて、その近傍の放射能を計測することによって放射性ガラス砂の移動状況を追跡するのである。

一般に γ 線に対する G.M. 計数管の計測感度の限界は約 0.01 μc である。また放射性ガラス砂は海底の表面だけでなくその下の方にもぐって存在することも考えられるので、媒体 (海水や砂) による吸収、散乱、計測器の保護容器による吸収、計測プローブの有効体積など種々の因子があるために計測の限界値を正確に推定することは極めて困難である。

一応これらの因子を考慮に入れ試料作製時、および現場の実験時の安全取扱いの上限に近い値として 100mc の ^{65}Zn を使ってこの予備実験を行ってみることにした。これだけの RI を用いて 2l の放射性ガラスを溶製したと仮定して、0.1 mm ϕ と 0.25 mm ϕ との粒子の放射能を計算で求めてみると次のようになる。

ガラスの比放射能	132 $\mu\text{c/g} \cdot \text{ガラス}$
0.1 mm ϕ 粒子の放射能	0.051 μc
0.25 mm ϕ 粒子の放射能	0.79 μc

この程度の比放射能であれば計測器の近傍に数粒存在すれば検知可能となるであろう。さらに ^{65}Zn の輸入・追跡子の製作・海底投入・追跡観測の全期間における放射能の減衰を考慮すると、これ以上比放射能を小さくしたくない。この 2l は粉碎して砂状にすると見かけの体積は約 3l になる。

なお最初の実験においてはシンチレーション・カウンターを使用した。しかしその蛍光体がアンストラセンであり、その大きさも $1'' \times 1'' \times \frac{1}{2}''$ という小さなものであったので γ 線に対する応答は通常のガイガー計数管のそれと大差がなかった。第 7 図に示す観測結果からもわかるとおりである。ともかくも以上のような方法によって漂砂の分散距離約 50 m を追跡することができたのである。なお第 2 回実験以後は放射性ガラス砂の比放射能を少しずつ増し、かつ第 6 節に述べるように計測器を改善して計測可能な範囲を拡大している。

5. 追跡子試料の作製

5-1. 作製方針

追跡子の比放射能は上に述べたように決定したが、追跡子として現地の漂砂と全く同じ行動をとらせるためには、比重と粒度分布とがよく合ったものでなければなら

ない。現地の各水深の砂について調査した結果次のように決定された。

- a. 比重 2.6~2.8
- b. 粒度分布

使用目的	分布範囲 mm	平均値 mm
汀線用	0.11~0.55	0.246
水深 3 m 用	0.088~0.30	0.186
- c. 成分均一にして気泡が存在してはならない。
- b. 追跡子用放射性ガラス砂の量は、前述のように総量が 3l であるからこれらを 2 等分した約 1.5l ずつとする。

以上は第 1 回実験 (昭和 29 年 5 月~9 月) に対する条件であるが、第 2 回実験 (昭和 30 年 5 月~10 月) では第 1 回の経験を取入れて次のように決めた。

- a' 比重 2.6~2.65
- b' 粒度分布

使用目的	分布範囲 mm	平均値 mm
防波堤周辺用	0.11~0.3	0.17
6 m および 9 m 水深用	0.08~0.15	0.12
- c' その他は比放射能が第 1 回のときより少しく大きくした以外は同じである。
- d' 追跡子用放射性ガラス砂の量

目的	試料の体積 l	放射能の強さ mc	備考
防波堤周辺用	1.1	35.4	2 等分して 2 箇所を用いた
6 m および 9 m 水深用	0.87	27.9	2 等分して 2 箇所を用いた

5-2. ガラス組成の決定

一般のアルカリガラスの主成分は 70~72% SiO_2 , 14~16% Na_2O , 10~20% CaO であって、その比重は約 2.5 である。これに ZnO を添加するときは CaO のフラクションを ZnO で置き換えていくことになる。しかし多量に置き換えることはできないので比重の増加も僅かである。比重を増すためには Pd_3O_4 を添加していかなければならない。

ガラスを溶製するには、最初これらの成分を SiO_2 , CaCO_3 , Na_2CO_3 , Pb_3O_4 , ZnO の形で十分均一に混合しておき炉に入れて溶かすのである。

比重を理論的に算出するには、ガラスの成分酸化物の百分率およびそれぞれの比重を a_1, a_2, a_3, \dots および Z_1, Z_2, Z_3, \dots とすると

$$\frac{S}{100} = \frac{a_1}{Z_1} + \frac{a_2}{Z_2} + \frac{a_3}{Z_3} + \dots$$

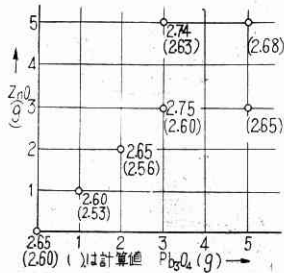
によって近似的に計算できる。

また気泡を十分に除去するためには酸化剤ならびに脱泡剤として NaNO_3 を 1.5~2% 添加し、高温溶解を行うのがよい。

比重の決定には主成分原料の混合比を下記のように一

定とし、これに ZnO と Pd_3O_4 との添加量を変化させて、所要の比重範囲に入る量比を決める実験を数多く繰返し行った。

SiO₂ CaCO₃ Na₂CO₃ NaNO₃
20 g 19.7 g 24.8 g 1.85 g



第 3 図に比重に対する Pb_3O_4 と ZnO との添加量の関係を図示した。

以上のような予備実験の結果、原料の混合比は次のように決定された。

第 3 図 比重の実測値および計算値

SiO ₂	CaCO ₃	Na ₂ CO ₃	NaNO ₃	Pb_3O_4	ZnO
70 g	19.7 g	24.8 g	2.85 g	2 g	2 g

5-3. 放射性ガラスの試作

⁶⁵Zn を前項に述べたガラス中に固定する方法をまず実験的に検討する必要がある。なぜならば ⁶⁵Zn は Zn^*Cl_2 の塩酸酸性溶液として入荷されたからである。

方法としてはこの塩化物をまず酸化物の形に変えて、これを安定な ZnO とよく混合することも考えられるが、 Zn^* をより均一にガラス組織中に分散させるためには次に述べる方法のほうがよい。すなわち、まず Zn^*Cl_2 (その比放射能は 129 mc/mg Zn) を少量の担体 $ZnCl_2$ とともに水に溶かし、この水溶液をガラス原料の混合粉末に加え粥状にして十分攪拌し、これを徐々に加熱してまず水分をなくし、さらに加熱を続けると酸性性雰囲気中においては酸化されてしまい容易に化合することが実験的に確められた。この場合 $ZnCl_2$ は比較的酸化しやすいので ⁶⁵Zn の散逸が懸念された。この点を確かめるために溶解ガラスの上に鉄板で作った覆をして溶解の前後における鉄製覆の裏面の各部についての放射能を測定した。その結果計数値は全く自然計数値に等しく、⁶⁵Zn の飛散がないことが確められた。

この方法でガラスを溶製するために上記組成のうち ZnO の半分を $ZnCl_2$ でおきかえて溶製したときの比重がどのように変化するかをさらに試験した。その結果このような方法でも比重が変化しないことが確められた。したがって原料混合比は下記のように最終的に決定された。

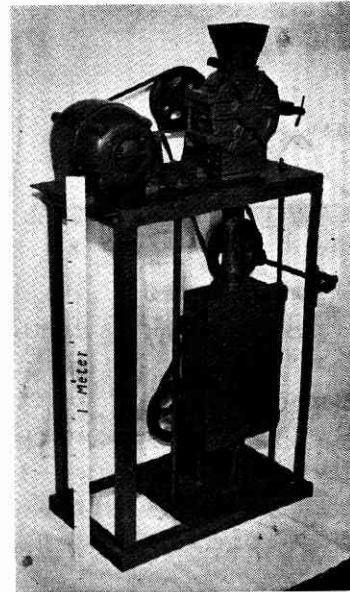
SiO₂ CaCO₃ Na₂CO₃ NaNO₃ Pb_3O_4 ZnO $ZnCl_2$
70 g 19.7 g 24.8 g 1.85 g 2 g 1 g 1.67 g

次に実際の溶解作業について述べる。上述のようにして Zn^*Cl_2 を均一にまぜたガラス原料を 1 l ビーカーに仕込んでおき、このようなビーカーを所要個数だけ準備しこれらを 1 日放置して乾燥しておく。あらかじめ電気

炉中で徐熱して 1,650°C まで加熱して焼きしめたガラス溶解用ルツボを炉中で約 1,000°C まで徐冷してからこの中に上記の乾燥したガラス原料をビーカーごと挿入して、再び温度を上げていく。全部溶け落ちた後なお未反応の成分を十分に溶け込ませるために次第に温度を上げていく。この間ガスが発泡し続ける。1,650°C まで加熱してから 1,550°C まで下げ、3 時間保持して十分ガスの抜けるのをまって炉から取り出す。

5-4. ガラスの粉碎

次に行われる粉碎の便のために、溶融ガラスはルツボ中で固めず直ちに水中に流して水砕する。水砕ガラスは



1~2 mmφ の粒子として得られる。これを粉砕機に装入して粉砕するのである。粉砕機はロータリー型であって(写真 1)、この下部に自動篩分機を取付けて自動的に篩分されるようにした。目的とする粒度分布を得るために、あらかじめ非放射性ガラスを用いて粉砕の調整をしておく。

写真 1 自動篩装置を取付けたロータリー型粉砕機

篩は所要のメッシュのもの 6 段に

積重ねられてあって、それぞれ篩上のガラス粒を適量調査して所要の粒度分布をガラス粒の試料とするのである。

上記のロータリー型粉砕機だけで効率の高い粉砕ができない場合にはボールミルを併用する方法も採用している。

5-5. 追跡子用放射性ガラス砂試料の性状

以上に述べたようにして作られた放射性ガラス砂の性状をしらべるために任意にサンプリングして検査した成績と粒度分布図とを、第 1 回実験ならびに第 2 回実験に用いた試料について示しておく。

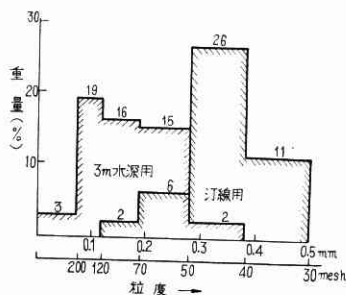
1) 比重の均一度

第 1 回	2.62~2.65
第 2 回	2.644~2.649

2) 比放射能の均一度

第 1 回	15,369 cpm/g ± 7%
第 2 回	2,184 cpm/g ± 8%

第 2 回に用いた試料のほうが比放射能が高いのである

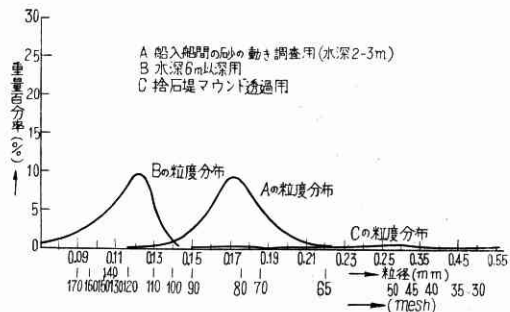


第4図 放射性ガラス砂粒度分布

が、この cpm の違いは計測時のキカ学的条件の相違による。

3) 粒度分布
第1回および第2回の粉度分布を第4図と第5図とに示す。

4) 砂粒の形状



第5図 放射性ガラス砂粒度分布

写真-2 に示すように比較的丸くできていることがわかる。

6. 計測器および計測上の諸問題

第2節において述べたように、第1回実験においては計測器として RCL 製シンチレーション・カウンターを用いたが、本実験に対して満足すべきものではなかった。第1回実験の経験に基づいてこの実験に適合した計測器を使用する必要を認めた。

このために大型ガイガー計数管を用いることを考えた。その理由は

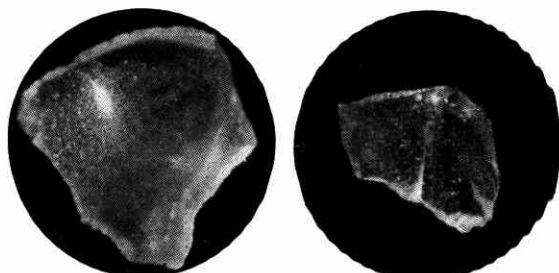
(1) 計数管の有効体積と陰極板の面積とを増すことにより、 r 線に対する感度を高めることができる。

(2) また広い範囲に分布された放射線源に対しては、計測器の検知部分の容積を大きくすることによってキカ因子を大きくし、したがって計数収率を高めることができる。

(3) 計器の応答を大きくすることにより、自然計数は増すがそれ以上に計数の誤差率を小さくすることができ、また一定の誤差率に対しては計数時間を短縮することができる。

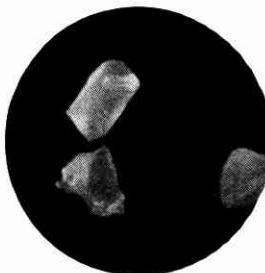
(4) プローブにカソード・フォロアー回路を用いてケーブルのインピーダンスを小さくし、ケーブルの長さを 20 m まで延ばすことができた。最初に用いたシンチレーション・カウンターでは 10 m のケーブルを用いたが計数の応答は 2 m の場合の約 $\frac{1}{4}$ に低下しこれ以上長くすることができなかった。

(5) 計器に対して条件の悪い海上作業に対しては故障がより少なく、作動がより安定で、操作や修理のより

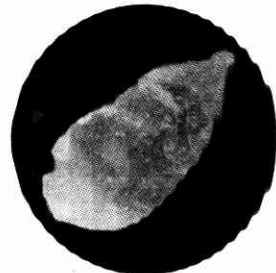


40 mesh × 40

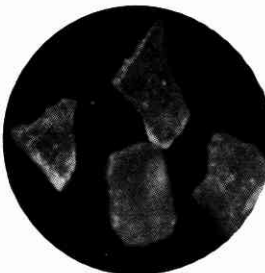
60 mesh × 40



80 mesh × 40



100 mesh × 40



120 mesh × 40

写真-2 追跡子用放射性ガラス砂の顕微鏡写真

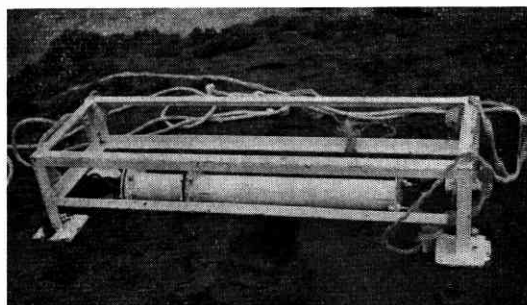
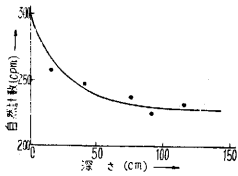


写真-3 水中計測器

容易なガイガー・カウンターを用いるほうが有利である。

以上の理由により、神戸工業製 GM 210 大型ガイガー計数管(外形 50φ×500 mm)を用い、これを肉厚 2 mm の 18-8 不銹鋼製ケースに収め、このケースを不銹鋼製枠組の中央にバネで懸垂し、水深 10 m の海底で水密が保てるようにゴム被覆のケーブルを接続した(写真2および3参照)。イギリスのテムズ河の沈泥の追跡実験に用いた水中計測器も、著者らと同じ考えに基づいて大型ガイガー計数管を用いたものであったことがあてわかった。この水中計測器を用いることにより計測作業

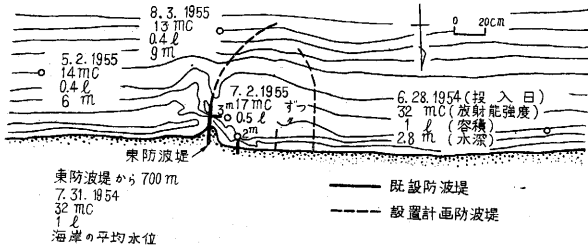


第 6 図 海水中の自然計数の変化

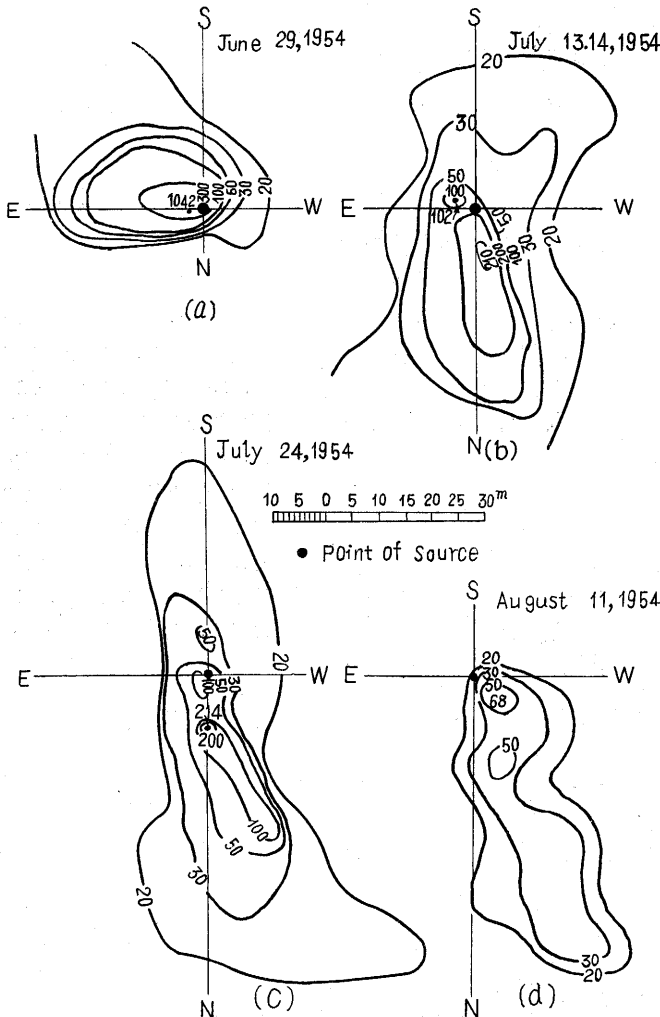
が容易になると同時に計測感度が高くなり、追跡可能距離を倍近く増すことができた。第 6 図にこの水中計測器による海中の自然計数を測定した結果を示しておく。

7. 測定結果

目下なおこの実験は継続されており、今日までの測定結果を示すことはできない



第 7 図 投入点を図示した苫小牧海岸の図



第 8 図 1954 年 6 月 28 日 水深 2.8 m に投入せるものの観測結果

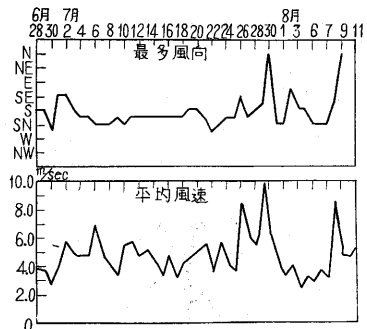
が 1954 年度と 1955 年度に行われた実験で得られた結果を次に述べる。この期間中に行われた実験の実施箇所、実施月日、用いた放射性ガラス砂の放射能の強さをまとめ第 7 図に示したが、次に述べるとおりである。

- a) 1954 年 6 月 28 日：東防波堤西側，2,000 m，水深 2.8 m のサンドリッジ内側に投入，約 32 mc，容積約 1 l
- b) 1954 年 7 月 31 日：東防波堤東側 7,000 m の平均海面の海岸線に投入，約 30 mc，容積約 1 l
- c) 1955 年 5 月 20 日：東防波堤東側 1,000 m，水深 6 m の海底に投入，約 14 mc，容積 0.2 l
- d) 1955 年 7 月 2 日：防波堤の現在の先端および港口堤の先端水深それぞれ 3 m および 2 m に投入，おのおの 17 mc ずつ，容積約 0.2 l
- e) 1955 年 8 月 3 日：港口付近水深 9 m の海底に投入，約 14 mc，容積約 0.4 l

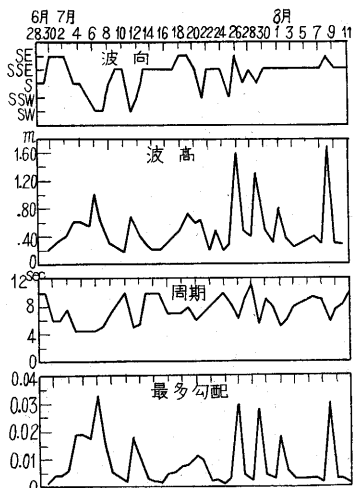
以上の実験結果の概要を次に述べる。

(1) 1954 年 6 月 28 日の投入によるもの

この投入により 6 月 28, 29 日に連続測定，7 月 13, 14 日に連続測定さらに 7 月 24 日，[8 月 11 日] にそれぞれ測定を行ったが、これらの結果から



第 9 図 1954 年 6 月 28 日から 8 月 11 日までの最多風向，平均風速



第 10 図 1954 年 6 月 28 日から 8 月 11 日までの波向，波高，周期最多勾配

得られた等計数線図を第8図 (a), (b), (c), (d) に示す. この期間中の風および波の状況は第9図および第10図に示す. これらの図を対照することにより次のことが考えられる.

a) 最大計数の移動方向を底質移動の平均方向とすれば7月13, 14日から7月24日の間では底質は陸側に動き堆積の傾向を示し, 7月24日から8月11の間では平均して沖に向かって動き浸蝕の傾向を示している. 前期間の支配的な波のスティーブネス (h/L) は約0.01で後者よりも小さい. すなわち堆積と浸蝕とに対するスティーブネスの相関関係がうかがわれる.

d) この期間中ガラス砂は海岸に直角というよりも, むしろ海岸線近くで西方に向かって動いている. すなわちこのあたりにはいわゆるジグザグ運動があるように思われる.

c) 底質の移動は沿岸流によるよりも波浪が支配的である.

(2) 1954年7月31日の投入によるもの

これは訂線の砂の運動, すなわちジグザグ運動を調べるために行ったものであるが, 潮が満ちて第一波を受けてから30分後の観測ではガラス砂は約8m西方に移動し, ついで急速に海中に分散した. このときの波高は1m波向はSEで週期は5secであった. その後携帯用ガイガー計数器を用いて数回にわたり測定したが海岸線のい

6	1.0	15	0	0	1.0
4	.0	346	14.0	23.0	15.0
2	.0	投入	328	1.0	17.0
0	.0	358	3.0	1.0	1.0

E—訂線方向—W

第11図 1954年7月31日訂線に投入せるものの観測結果

したが海岸線のい

れの場所においても放射能を見出すことができなかった. ガラス砂が砂中深くもぐっている場合も考えられるが, おそらく引き波で海中に広く分散したためと思われる. このときの計数を図示すると第11図のごとくである.

(3) 1955年5月20日の投入によるもの

この投入により5月20, 21日に連続測定, 5月27日に測定し, 6月3, 4日, 13, 14日, 23, 24日にそれぞれ2日間にわたり連続測定を実施した. その結果により等計数線図を画くと第12図 (a), (b), (c), (d), (e), (f)のごとくなる. この期間における波の規模は第13図 (a), (b)に示す. なお本実験について佐藤清一の理論⁽¹⁾を適用してみると

波動による海底の平均流速 U_m は

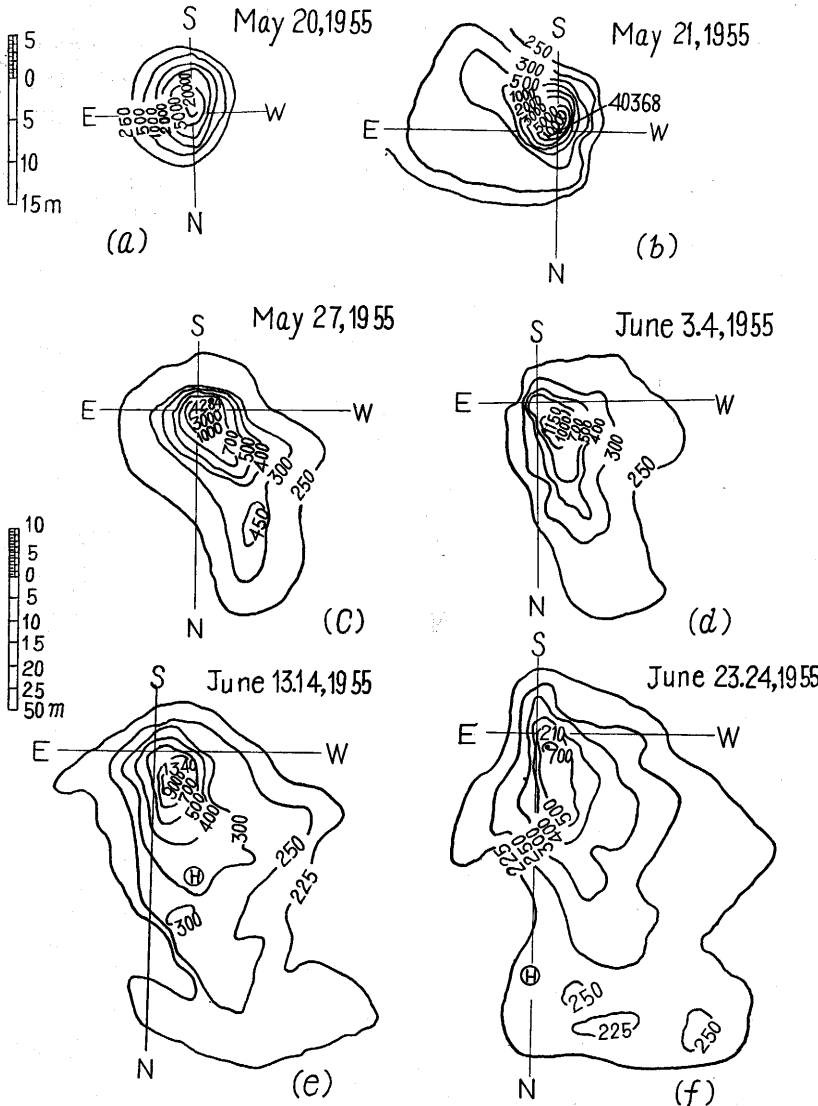
$$U_m = \frac{\pi a}{T \sinh \frac{2\pi h}{\lambda}}$$

$$= \frac{3.14 \times 1.3}{10.5 \sinh \frac{2 \times 3.14 \times 7}{83}}$$

$$\approx 0.7 \text{ m/sec}$$

ただし T = 波の周期

$$= 10.5 \text{ sec}$$



第12図 1955年5月20日東防波堤東側 水深6mに投入せるものの観測結果

h = 水深 = 7 m (潮位を考慮して 7 m にとる)

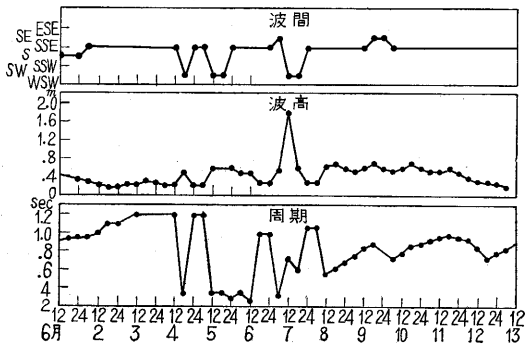
λ = 波長 = 83 m

これによって動かし得る海底砂の平均粒径は

$$d_m = 2.5 \times U_m^2 = 2.5 \times 0.7^2 = 0.122 \text{ mm}$$

しかるに投入された硝子砂の平均粒径に 0.12 mm で計算値と非常によく一致する。

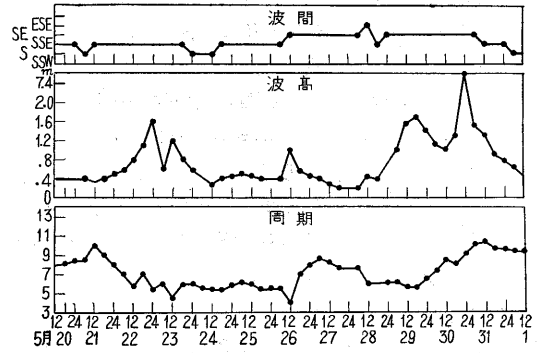
(4) 1955 年 7 月 2 日投入によるもの



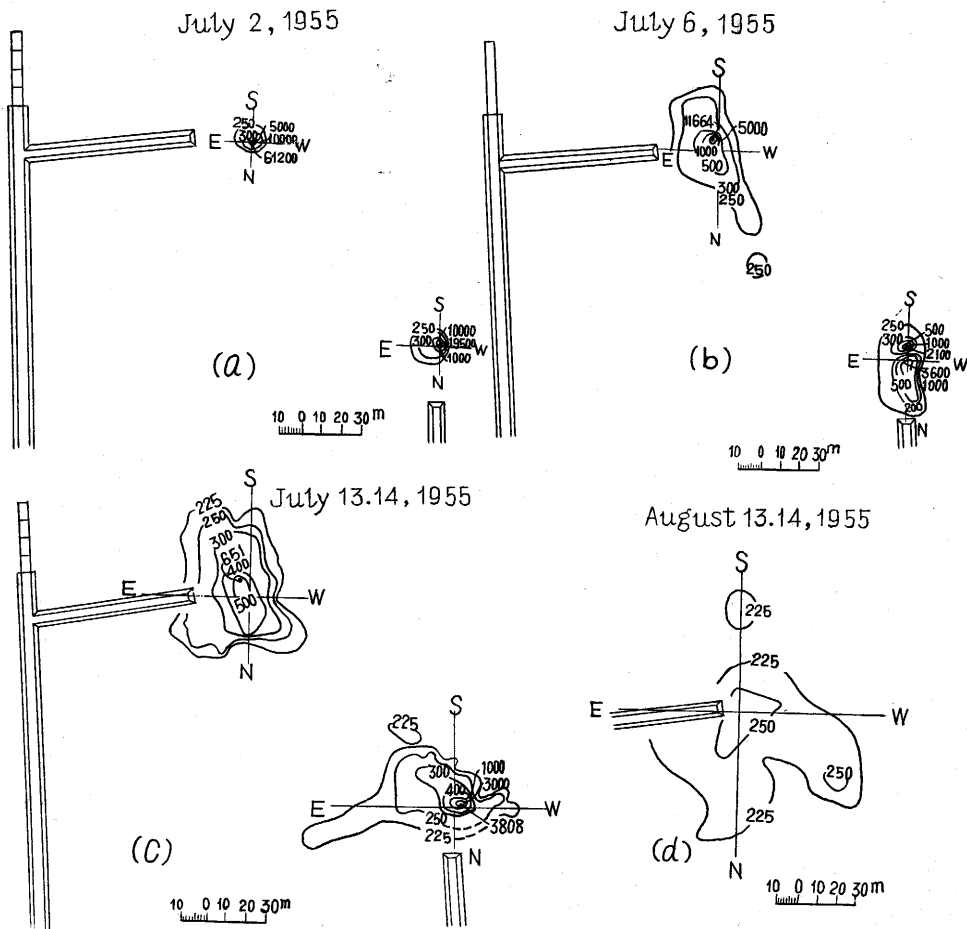
第13図 (a) 1955年5月20日から6月1日までの波間, 波高, 周期

この実験は船だまりに砂が入り込むことを防ぐ方法を研究する目的で行われた。観測結果を第 14 図に示したが、図中 (a) から (b) および (b) から (c) の実験期間中顕著な波は波高 1.0 および 1.5 m, その波向は SSW~SW の方向であって、こ間波高 0.4 m

注 (1) 佐藤清一 標砂に関する研究 (7)
波動による海底剪断力と底質の移動
建設省土木研究所報告第 58 号の 6



第13図 (b) 1455年6月1日から6月13日までの波間, 波高, 周期



第14図 1955年7月2日防波堤の近くに投入せるものの観測結果

以下の波が高立っていた。

観測結果から、底質の動きは波向とは一致してなく、防波堤の設置による影響を受けていると考えられる。すなわち、波の方向は(c)から(d)までのような長期間には相当変化はしたけれども、(c)から(d)までの砂の移動傾向は(b)から(c)までの移動傾向と同じである。

(5) 1956年8月3日の投入によるもの

この投入により8月3日, 8月12, 13両日および9月8日に測定した結果を第15図に示す。

(a) 8月3日の測定

海面は静穏であったが西向きの強い潮流あり、海底から1mの所で17cm/secの流速が測定せられた。

(b) 8月12, 13日測定

8月3日から12日までの卓越波は8月8~10日に生じ波高1.2m, 方向はSWであった。等計数線は西側に広がっている。

(e) 9月8日の測定

8月13日から9月8日までの間には2回の時化があり, 1回は波高1.6m, SE方向, 他の1回は波高2.6m, S方向であった。

この規模の波により底質は第15(c)図の如く相当に動かされたことがわかる。

この測定結果から次のことがわかる。

(a) トレーサの拡散は6m水深の場合よりも遙かにおそく, 放射能のピークは一ヶ月余り同一地点に止

まっていた。したがってこの水深では底質小粒子の部分が高波2.5m程度の波で動かされるものであることがわかる。

(b) 水深6mの場合と同様にこの場合も波の方向と底質の移動方向とは一致している。

緒言

以上の測定結果を要約すると次の如くなる。

(1) 漂砂はサンドリッジの内が最もはげしく, この部分は波高1m以下の波浪に対しても常に砂の動きがある。

(2) サンドリッジをこえて水深5~6mになっても波高2.5m級の波に対しては底質は完全に動かされる。

(3) 水深9mの所では波高2.5m級の波に対しても底質はほとんど動かされない。

(4) 水深6m, 9m, の両箇所とも砂の動く方向と波の方向とは一致する。

(5) 防波堤の先端2ヶ所における追跡実験では予想せられたように, 砂の移動方向と波の方向とは必ずしも一致しない。

(6) 本実験に用いた程度の放射性ガラス砂の量と放射能の強さとは投入点から半径約60~70mが計器の性能とのかね合いにおいて計数可能の限度であった。

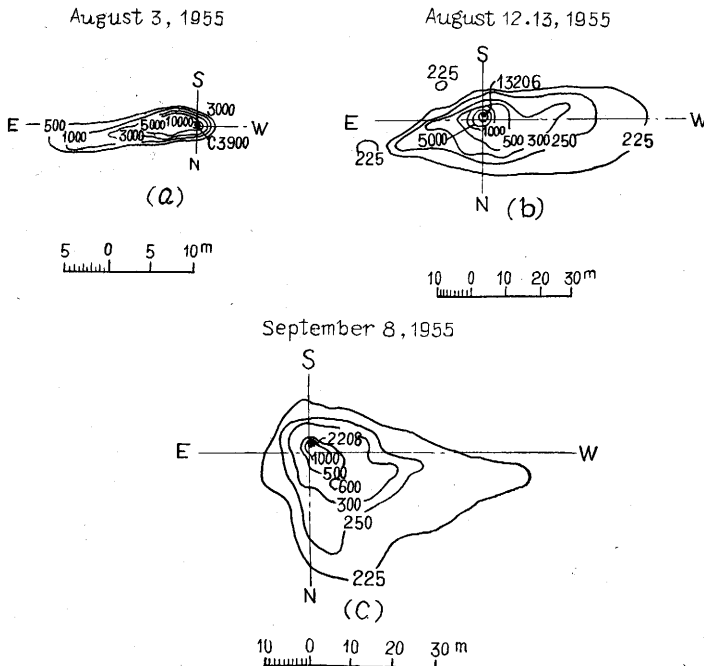
(7) 最初に述べたように, 防波堤の先端位置ならびに法線の形状, および港口の向ける方向などをどの

ように決めるかという最終目的に対しては, 31年度と32年度に以上の実験に引続いて行われつつある。また行われるであろうトレーサー実験によって, また別の模形実験その他の実験データの総合結果から決められるであろうことを付言しておく。

謝辞

著者らは苫小牧市当局の好意に深甚の謝意を表するものである。その継続的経済的援助なくしてはこの研究の発展はなかったであろう。またこの研究に長い期間に亘り労苦に耐えて協力を惜しまれなかった北海道開発局, 東大生産技術研究所および建設省土木研究所の研究員諸氏に対し感謝の意を表する次第である。

(1956.12.18)



第15図 1955年8月3日港口付近水深9mに投入せるものの観測結果