

港灣漂砂の調査概要と 測定器具類について

北海道開発局土木試験所

水 工 究 研 室 港 灣 班

1. 緒 言

一見静かに見える海もそこには波や水の流動等不斷の運動が行われ、海岸及び海底における底質の移動は常に繼續されている。しかもわれわれの目には特殊な地域を除けば今も昔も海岸の形状に變化があつたとは思われない。しかしこれは外見だけのことで實は海濱及び海底の侵蝕、堆積は何時でも行われている。ただその増加する量と減少する量が同じであるために年間を通じて見ると平衡状態を保っているに過ぎないのであつて永い年月を要してやつと現在の平衡した海岸線が形成されたに違ひないのである。しかもこの平衡状態は移動し易い物質で形成されている海岸においては特に微妙な状態で安定しており、これに僅かの人工的な条件を加えると従來の平衡は破れ新しい条件に適合した形状を求めて再び侵蝕と堆積を繰り返して行くことになる。わが國の北方漁場の根據地である北海道においては特に多數の中小漁港の設置が要望されているが既に良好な地形的条件をもつ地域の築港は終了し残された地點は多少の差こそあれ技術的に難點のある箇所が多い。例えば河川を利用する河口港であるとか工業地帯造成計畫による苫小牧工業港とかで、又既設の港にしても漂砂の堆積によつて使用不能になつた箇所やそれまででなくとも凌瀝のため年々多額の費用に悩まされている港もあり、あるいは部分的に海岸の侵蝕を受けて道路、鐵道まで移設を餘儀なくされた箇所も少なくない。これら既設の港灣で漂砂の災害を受けているところの救済方法や將來築港を行う際の漂砂に對する防禦策の検討等は是非とも早急に行わねばならないことで當所においても毎年100萬乃至200萬圓の豫算で昭和25年度以降現在までに約9港の調査を行い相當の成果を修めつつある。漂砂を調査する方法といつて別に定則がある譯でなく、調査地點の特性に應じていろいろな方法が取られるがこの稿ではその中の共通項目といつたようなものについて概略を述べることにした。各項目についての具體的な方法や資料整理の際の取扱い方法ということまで觸れることは紙數の都合でできないのが残念である。又調査に使用する器具機械の中特に重要なもの

で、當所において試作を完了したものについてはできるだけ詳細に述べて港灣調査に従事する方々への參考にした。

2. 調査項目

調査の目標は一口にいえばその機構を明らかにすることである。港を埋め盡くす砂はどんな原因でどこから來るのか、その季節的な變動はどうなつてゐるのか、又その量は……とゆう點を調べるのであつてその手段方法はいろいろありどこの調査にも同じ方法で同じ

項目とゆうわけには行かないが一應調査の基本形ともゆうべき條項を述べて見ようと思う。

(1) 氣象調査

漂砂の現象には波が最も大きな影響力を持つてゐることは容易に想像されるが、この波を發生させる風についてはその地方の特性を先ず明瞭につかむ必要がある。即ち年間の最多風向、風速、及び季節的な變化等を明らかにすればその海岸に來襲する波の方向、大いさ等はほぼ見當がつくことになり、これと海岸の堆積、侵蝕の狀況が關係づけられるとその海岸における漂砂の特徴がある程度明らかになる。勿論風向と波向とは必ずしも一致しないが波の廻折現象を考慮に入れるとき、風向と波向とは關係づけられる。又気温と海水温を調査することによつてその海岸の附近にある海流の岸への接近狀況が後で行う潮流調査とともに判明することもある。このような風向、風速、海水温と気温の調査等は調査地點1箇所で行うよりは相當廣範圍にわたつて、少なくとも1年間行う必要があるもので、これによつて年間の週期的變動を把握しなければならない。又風向、風速はその地點の地形的条件によつて非常に異なるものであるが、波は相當沖合の地形的制約を受けないところの氣象に支配されて發生し海岸に近づくにつれて陸上地形の影響を受けるのであるから、沖合の氣象条件、及び相當廣範圍の陸上における氣象資料を基礎としなければ十分な結果を得ることが困難な場合が多いわけである。風そのものが漂砂の直接原因となるのは飛砂現象を伴う場合のみで、それ以外は波浪、潮流、海流、あるいは吹送流等を起す間接的なものであるが、極めて重要な因予となつてゐるので十分なしかも慎重な調査を行わねばならない。

(2) 潮流及び沿岸流調査

海底における砂の移動は結局地球の自轉、干満潮、風その他に起因する海流、潮流、波浪等の水の運動によつて引き起されるものであるからこれらについて精密な測定を行うことは漂砂の直接原因を疏めるためにもぜひ必要である。現在までこの潮流観測方法はエツクマン流速計によつて定點の晝夜観測を行い後で調和分析を行つて

その地點における潮流と海流を分離しそれぞれの方向、流速を求める方法が一般に取られているが、これは観測に時間を要するのと荒天時に危険が伴うので浅海部の調査は事實上不可能に近く、特に波によつて發生する沿岸潮流の測定等は到底できない。又浮子による調査の場合は海面に露出する部分に當る風壓の影響を無視することができず、観測値の補正が困難なことで浮子の流速は抵抗板の位置における流速の外に縦軸の基部に當る流速も影響するからその間に異方向の層流があれば各水深に應じた流向、流速を正確に知ることができない。特に漂砂の著るしいのは風速の強い荒天時が多いから風や波の影響の受け易いこと等はそれぞれ調査の上で大きな支障となつて来る。

(3) 波浪調査

前項でも述べた通り漂砂の直接原因となつてゐる波浪に關しては、米國において理論と實際から研究され、現在では氣象觀測から天氣圖を作成し、それによつて海岸に來襲する波の波高、波長、週期等を大體正確に豫報できるまでになつており、更に來襲波浪によつて生ずる沿岸潮流の強さも概算し得る程度に發達した。わが國でも運輸省技術研究所濱田技官、土木研究所佐藤技官等の波浪に關する研究等があつて、從來不明瞭であつた波の理論的取扱いは次第に明らかになりつつあるが、理論の裏付けとなる實測方法については未だ精度の高い機械的、電氣的方法が紹介されていない。北海道大學及び當試験所においても2~3の試作は行つてゐるが未だ充分な効果を上げていないので、現状においては防波堤等の海中構造物とか錨着した竹桿をトランシットによつて傾斜角を修正しながら波高、波長、週期、碎波線の位置等を測定しているが、昭和25年5月東幕内港の調査において北大工學部眞嶋助教が夜間電燈を附した浮子を利用して寫眞測量を行い良好な結果を得ている。

(4) 海中及び海底漂砂の調査

波浪及び潮流によつて運送される砂が海岸及び海底のどんな位置に如何なる方向から移動して來るかやうなことを前項の沿岸流、潮流、波浪等の調査と連繫を取りながら明らかにするのが目的であるから、①海岸線の變化 ②水深の變化 ③漂砂の運動方向 ④浮遊砂の濁り帶の幅 ⑤濁り帶の垂直水平方向の濃度分布 ⑥海岸、海底砂の砂質、粒徑 等についてできるだけ詳細に調査しなければならない。①、②の項目については相當長期間の測量を實施すれば目的を達することができるが、③、④、⑤、⑥については平穩なときと荒天時の兩方について測定を要するため特別な裝置を工夫しなければならない。即ち③については荒天時の潮流と密接な關係があるので遠隔操作自記潮流計、流速計と竹桿による捕砂器を併用して浮遊砂の濃度分布を明らかにしている。これらの特

殊裝置は何れも當所で試作したもので未だ改良の餘地は多いが本年度の調査に良好な結果を得たので別項目になるべく詳細にその構造と機能を述べた。

(5) 模型実験

以上の調査資料を分析整理することによつてその地點における漂砂の原因及び機構がある程度明らかになり、それに伴つて技術的對策の根本的な方針を定めることはできる。例えば港口の位置、方向は現在より多少沖に出して南々西の方向に向ければ良いだろうか、防砂堤をこの邊に造つたら良いだろうかやうことはできるが、具體的な數量まで見當つけることはなかなか困難なので、その點は室内風渠によらなければならない。模型實驗において最も重要なのは相似律即ち實物を模型に縮小する際、自然現象もそれにつれて縮小された形で再現できるやうな數學的根據であるが、この點について浸蝕及び堆積のやうな漂砂現象においては因子が餘りに複雑なため未だ確立されていない。従つて漂砂の室内實驗では止むを得ず縮尺の異なる2種類の模型を作成し、現地調査の資料より最も重要な因子を抽出して波の大きさ、方向、週期と海底移動物質の種類をいろいろ變え、その多數の組合せの中から現地の現象に最も似た條件を取り上げ、その條件の下に防砂堤の位置、長さ、方向等の具體的な對策を比較検討し、2種類の模型から共通點を取り上げて結論を出すことになる。

漂砂の調査もその内容、方法について、室内實驗では相似律等未だ發達の途上にあるもので研究の餘地は極めて多いが、以上の現地調査と模型試驗を効果的に併用することによつて一應の解決點を見出し得るであろう。

3. 測定機材及び器具類

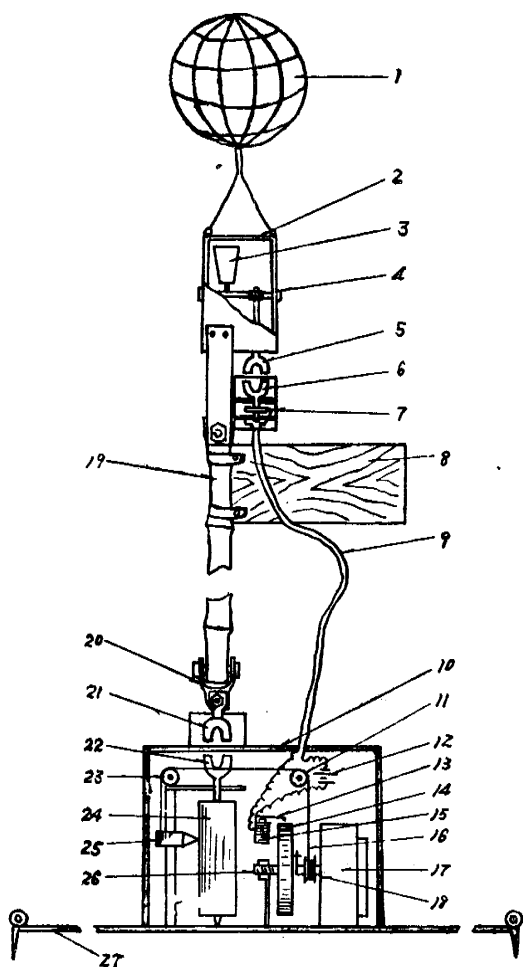
(1) 沿岸用自記潮流計

(a) 試作の目的

複雑な沿岸流を解析して定流と週期流に分けるには少なくとも一晝夜以上の連續觀測を必要とするが、エツクマン式流速計によつて行うことはなかなか困難なのでこの潮流計は流れの方向と流速を任意の場所で自動的に三晝夜連續記録できるようにしたものである。又漂砂の移動方向を知る方法として布袋のついたパイプを附したコンクリートブロックを沈設して海底附近を移動する砂の状況を調べているが、得られた結果を解析するためにも流れの變化を知ることが必要であり、しかも多くの場所で測定したい。この裝置は以上の捕砂裝置と併用することを目的としたものである。

(b) 原理と構造

氣象器械の一種である自記風信器と風力計の原理を海中で使用できるようにしたもので、記録裝置及び電氣接點は水密器體內に納め外部との運動はマグネットによる



沿岸用自記潮流計説明圖

磁力方式によっている。以下断面によつて構造を説明しよう。

① 方位

竹 (19) の下端についでいる永久マグネット (21) が方向舵 (8) によつて流れに沿つて方向を変えると、水密容器内にあるマグネット (21) のついたドラム (24) もこれと同じに廻轉し位置を變ずる。一方錘りのついたツメ (25) がドラム (24) にその先端を接しながら時間の経過とともに時計 (17) の軸車 (18) に巻いた糸 (16) が解けることによつて次第に下降する。ドラム (24) には油櫃をつけた用紙が巻きつけられているのでこの上に時間に對する流向の變化が記録される。

② 流速

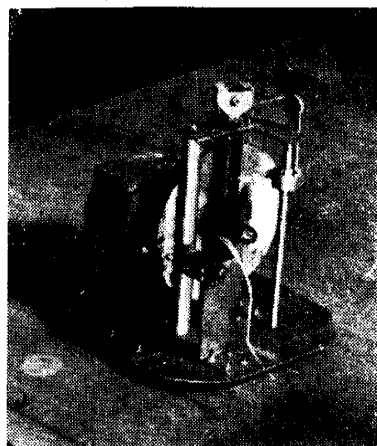
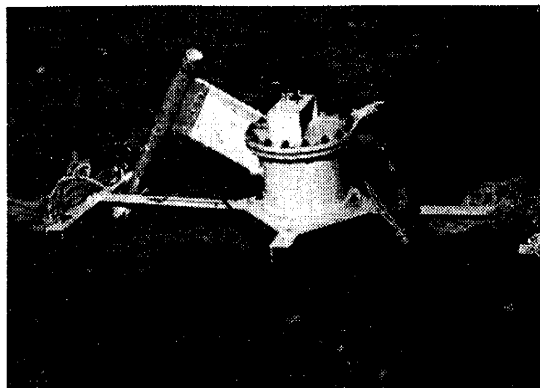
竹 (19) の先端に浮子 (1) で吊り上げられている流速測定部 (2) があり流れによつてプロペラ (3) が廻轉

するとマグネット (5) もウォームギヤー (4) により減速されて廻轉するとマグネット (5) の磁力に對應して水密器内のマグネット (6) も廻轉しプロペラ (3) の一定廻轉毎に電氣接點 (7) を閉じる。同時にキャツプタイヤコード (9) を通じて電磁石 (15) が働きて鐵片 (13) を引きつける。一方時計の軸と連動廻轉する圓板 (14) には記録紙と炭酸紙が巻きつけてあるから接點 (7) の接觸毎に圓板 (14) の用紙上に打點式に印がつけられる。圓板 (14) は 1 日に 1 廻轉するがネジ式軸受 (26) によつて 3 廻轉まで打點が重ならず記録可能である。

(c) 考察

沈設する場合アンカー臺 (27) を一定方向に向けるため 2 本吊の方法を使用する。即ち 1 箇所アンカーした船を一定の方向に向くように操作させ、アンカー臺 (27) の兩端をロープで吊して舷側に平行にずり落すようにして沈設し、更にそのときの流向を流向計で檢定する。この装置によつて本年度は 3 晝夜の連續記録に成功しエツクマン式流速計の晝夜觀測が不要な域まで達することができた。

又この装置は使用部材が一般に容易に入手でき且つ身近かの機械工場で比較的容易に製作し得る利點がある。製作費は約 40,000 圓程要した。



沿岸用
自記潮流計

←沿岸用
自記潮流計
(器體内部)

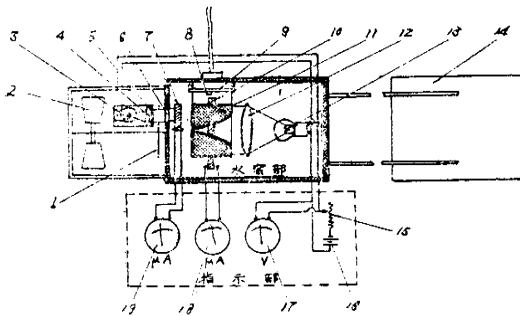
(2) 遠隔指示流向流速計 (光電池による直讀式)

(a) 試作の目的

通常海や河口での流速測定に使用されているエックマン型流向流速計は測定に際し、1回毎器體を引き上げて方位と回轉數を読み取らなければならないため遠隔測定ができず測定に多くの時間を要し、又詳細な流向分布を得られない缺點があるので、この流速計はこのような缺點を補う目的で試作したものである。即ち方位はメーターの振れの大きいさ、回轉數はメーターの振れの回轉で知り得るから船上で詳細な流向の分布を知ることができ、又遠隔地での連続観測も可能である。

(b) 原理と構造

① 方位……光電池に光線が當ると電流が流れしかもその大きいさは光電池に當る光量に比例するとう物理現象を利用したものであつて流向計器體と方位磁石とのなす角度の變化を光量の變化に變え更に光電池によつて電流の變化に變え、これをマイクロアンメーターで讀むことにより方位を知るようになってゐる。以下圖面によつて説明すると、水密器體内にあるランプ (13) がバッテリー (16) により可變抵抗 (15) ボルトメーター (17)



遠隔指示流向流速計 (光電池による直讀式)
説明圖

を経て點ぜられている。同じ水密器體の中に光電池

(10) が極數耗の受光面をランプ (13) の方向に取り付けられこれを軸として廻轉し得るように圓筒型楔狀スリット (11) をもつた方位磁石 (19) がピン (8) によつて支えられている。この方位磁石 (9) はいかなる動揺後においても直ちに元の自由な位置に復するよう取り付けられてある。光源 (13) より出る光はレンズ (12) により平行光線となつてスリット (11) を通じて光電池 (10) に投じている。今方向舵 (14) により器體が流れに平行に向きを變えると方位磁石 (9) と器體との相對位置が變り、スリット (11) の光源に對する位置も變るため光電池 (10) に投ずる光量は變りマイクロアンメーター (18) の示す値が變る。各方位とマイクロアンメーター (18) の指示値とは豫め關係づけられてあるからマ

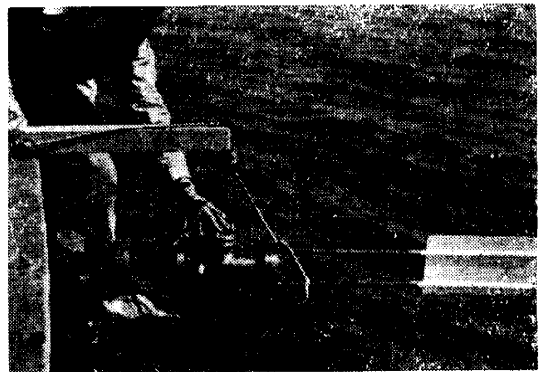
イクロアンメーターの指示値を讀み取ることににより直ちに方位が判る。

② 流速……海水中で電氣接點を露出させると腐蝕するので回轉數を知るための電氣接點は水密式にしなければならぬが、このような接點の製作はなかなか面倒である。この装置では機械的接點による電氣接點は使用せず光電池を利用してプロペラの廻轉軸に固定したスリット (11) の廻轉により1回轉毎に光源を光電池に送りこむことによつて回轉數を知るのである。即ち透明プラスチックの窓 (5) をもつた水密容器の中に光源 (3) があり、これから出る光線はレンズ (4) と水密に取りつけられた窓 (5) (6) を通つて水密器體内の光電池 (7) に投じている。一方プロペラ (2) の軸に丸い穴をもつ圓形遮光板 (1) が固定され、光源 (3) からの光が光電池 (7) に當り、その電度マイクロアンメーター (14) の針が振られるからこれを數えることにより流速を知り得る。全體は方向舵をもつ水密器體部とメーター指示部及び電源バッテリーからなつており、器體と指示部はキャブタイヤコードで連結され器體は柔軟な綿ロープで吊り下される。

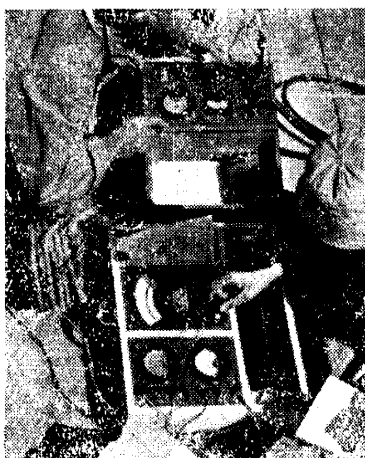
(c) 考察

利點……(i)光電池を使用しているので方位磁石に外力を與えることなく流れの方向を知ることができる。(ii)遠隔操作が可能で測定時間が少なくて良い。(iii)流向の連続分布が取れるから異なる流れの層がある場合直ちに境界層がわかる。(iv)プロペラの回轉數は機械的接點でないから洩水の故障が少なく確實である。

缺點……(i)餘り動揺が激しいとうまくない。(ii)水の濁濁が著るしいときは回轉數の振れが不明瞭になる。(iii)バッテリーの電壓降下、ランプ、光電池の性能變化、溫度變化等による影響を考へてときどき可變抵抗を動かして指示位と方位が一致するようにときどき調整する必要がある。製作費は約40,000程度である。



遠隔指示流向流速計 (器體部)



遠隔指示流向流速計（測定部）

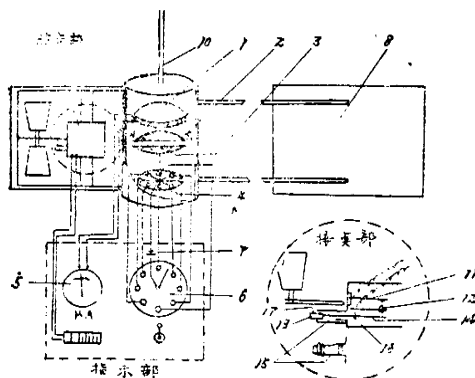
(3) 遠隔指示流向流速計（光電池による半直讀式）

(a) 試作目的

遠隔操作ができないというエックマンメルト型流速計の缺點を補うことは勿論であるが、更に同種直讀式流速計の缺點である各部分の性能變化に伴つて入る誤差及びこれが補整に必要な調整の手數をなくし現場で安心して使用できるようにしたものである。

(b) 原理と構造

全體は水密器體部とメーター指示部からなり兩者はキャプタイヤコードで連結され器體部は柔軟な綿ロープで吊り下げられる。構造を圖によつて説明すると、



遠隔指示流向流速計（光電池による半直讀式）
説明圖

① 方位……方位磁石 (2) に固定された圓板のスリット (3) の眞下にある豆ランプ (4) が點すればその光はスリット (3) を通つて光電池 (1) に投じマイクロアンメーター (5) の針は大きく振れる。今尾翼 (8) により器體が流れに沿つて位置を変えると 8 箇の豆ランプもそれにつれて動き方位マグネット (2) 即ちスリット (3)

に對する相對的位置を変える。器體の方向を知るには切替スイッチ (6) の 8 箇の接點を順次に閉じマイクロアンメーター (5) の振れの最大なる場所を見出す。この切替スイッチの各接點と器體の向きとは豫め對應づけてあるから切替スイッチ (6) に點いてある方位名を読み取ればそれが即ち流れの方向となる。ランプがスリットの眞下にある時はメーターの振れが相隣る 2 接點を閉じた場合よりも遙かに大きいから方位は明らかに定められる。相隣る 2 接點を閉じた場合その振れが同程度であればその方位は 2 接點の示す方位の中間である。振れの大きさを比較すれば更にその中間迄讀めるから 8 箇のランプで 16 方位迄習熟すれば 32 方位迄讀み取ることが可能である。

② 流速……水密器體内に接點片 (11) (12) がありこれとは別に先端の太くなつた細い金屬棒 (14) があり圖の如く徑 5 mm 前後の適度に柔軟なゴムパイプ (15) で水密器と連結されて居る。今プロペラが延轉し軸に固定されたアーム (17) が (13) を押すと棒 (14) は支點 (15) に依り接點の一片 (12) を壓し (12) は (11) と接觸する。アーム (17) が (13) から離れるとゴムパイプ (15) の彈力で棒 (14) は元へ復し接點は離れる。これをカウンターに入れて自動的に迴轉數を自記させる。

(c) 考察

利點……(イ)光電池を用いたので方位マグネットに外力を與える事なく流向を知り得る。(ロ)遠隔測定が短時間で出来る。(ハ)方位の決定はメーターの振れの絶體値に關係なく相對的大いさの比較であるから誤差が少い。(ニ)カウンターの使用が可能なので便利である。(ホ)電源として小型乾電池（平角 3 號）で充分間に合うので補給が容易である。

缺點……連結用キャプタイヤコードは 12 蕊を必要とするので流れに對する隨從性がエックマンメルト流速計に比べて多少劣る。製作費は 30,000 圓程度を要した。

4. 海中及び海底漂砂調査

海中及び海底の漂砂を調査する方法としては當所に於て作成した 3 種類の捕砂器を使用して居り、これ等に依つて漂砂の方向別移動量を調査すると同時に砂質、粒徑等の分析資料を採取して居る。

(1) 漂砂採取ブロック

(a) 原理と構造

① 晒布袋を取付けた四方に開口する四本の短鐵管を有する十字型コンクリートブロックを海底に沈設し一定期間（1～4 日程）に晒布袋中に入つた砂の量を測定しベクトル解析に依り砂の移動の方向を判定する。

② 晒布袋は 1 回毎取換えうる如く簡単に細鐵線で鐵パ

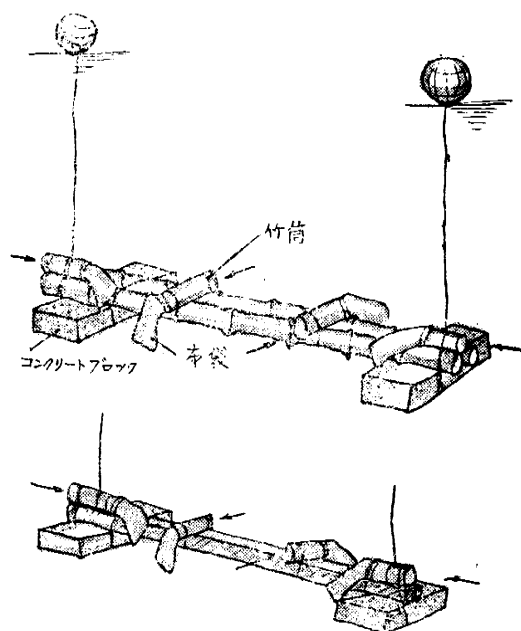
(2) 方向別捕砂装置

① 目的

海底附近の砂がどの様に移動しているかを調べる一つの方法で、現地で比較的容易に得られる材料のみを用いて造った。

② 必要な材料 (1組当り)

- 1) アンカー用コンクリートブロック (1尺×1尺×0.5尺或は1尺×0.5尺×0.5尺位のもの) 2ヶ
- 2) 太い竹又はたる木 9尺～12尺 2本 (たる木の場合は1本でも可)
- 3) 竹筒 太さ $\phi = 4 \sim 5$ cm以上 長さ15cm位 4本
- 4) 晒布袋 15cm×30cm位 4枚 (目の粗いのが良い)
- 5) マニラロープ (3分位) 或はトウィン 30～40m
- 6) 浮子用ガラス玉 径5寸位のもの 2ヶ
- 7) 綿テープ 若干
- 8) 他の細引 若干 目印用測量旗 1枚



現地で出来る簡易な方向別捕砂装置説明図

(3) 組立て

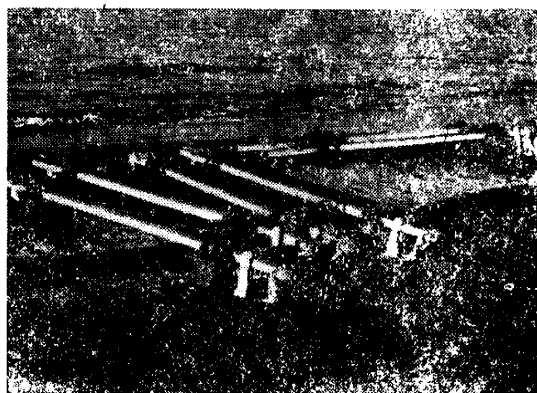
圖の如く長い竹又はたる木の両端にアンカー用コンクリートブロックを縛り付け、この両端に沱設場所の深さに應じた長さのロープをつけ、ロープの尖端に浮子をつける。一方4本の竹筒の一端に布袋を綿テープを用いてつけ、これを前記したアンカーに圖の如く夫々異なる四方向に向けて細引で縛る。

(4) 沱設

沱設するには2本吊の方法に依る。即ちアンカーした船を常に一定方向に向くよう操作させ、その舷側より2本のロープで徐々に下す。

(5) 考察

26年度廣尾沱調査に於て實際に使用し、目に見えぬ大體目的を達する事が出来た。利點としては現地で比較的容易に割合に時間を掛けずにつくる事が出来、又2本吊の方法で位置を定めるから少々深い處でも試験が出来、又海水の動きに對する抵抗は柔軟なロープと軽い浮子であるから荒れた時にも使用出来る。沱設した時の方位について多少懸念があるが沱では廣範圍に亘る比較的一様なゆるやかな流れがあるのが普通であるから波のない時に沱設すれば2本吊の方法で大體方位はきめられるものと考え

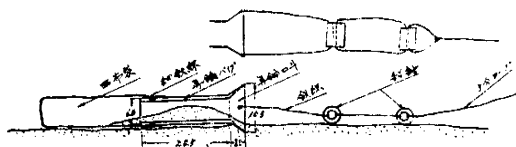


方向別捕砂装置

(3) 索引式採砂器

海底底質の採取器具として従来種々のものが使用されているが、その落下式のものは動作が不確實で數回の操作でも底質の状況 (特に砂の際) によつてなかなか思う様に採取出来ないきらいがある。又採取されても1回の採取量は極めて少量である。

當試験所では次の様な形状寸法の索引式採砂器を製作使用して好結果を得ている。(操作簡單で迅速、然も一回に大量の砂が採取出来る。)



索引式採砂器構造圖

操作法

- ① 船より海中に投入しロープを水深の2～3倍程度延した上、船を前進せしめつゝ引上げる。
- ② 索引距離は5～6mで充分多量 (袋に一杯) の砂を取り得る。
- ③ 布袋はパイプの尾口に細鐵線で簡単に結び付けて置き1回毎布袋を取り外し新しい袋に取換える。砂の入った袋はそのまゝ番號木札を着けた細鐵線で口を閉じ整理する。

以上