

石狩川河口の研究(4)

福島久雄*・八 鍬 功**

高橋 将***・柏村正和****

1. 緒 言

昭和 41 年 7 月 13 日から同 16 日まで、および 7 月 19 日から 23 日まで石狩川河口と同旧川において行なった海岸工学的な調査研究を以下に報告する。

この調査研究のうちの一部は昨年 12 月、第 13 回海岸工学講演会で報告してある¹⁾。

ここでは、(1) 沿岸漂砂、(2) 塩水くさび、(3) 旧石狩川の潮汐について述べ、あわせて数年来行なっているステップ波浪計の試作改良についても若干述べることにする。

2. 沿岸漂砂

石狩沿岸における漂砂の動向については、第 11 回の海岸工学講演会で報告したが²⁾、ここではその後の調査の結果を報告する。

ここ数年石狩川河口では、河口外の水深維持の目的で右岸に導流堤の構築が行なわれている。工事の進捗速度は年間 70~120 m 程度であるが、この導流堤の延長にともない左岸では導流堤にほぼ並行して沖へ向かって浅瀬が発達してきている。

昭和 41 年 6 月調査の深淺図によれば、幅 300 m ほどで左岸先端より約 1.2 km 北ないし北北西に向かって形成されており、水深は -0.8~3 m 程度であって漁船がここを乗り越えて河口を出入することは不可能である。

もともとこの海域の水深は周囲の地形から見て -4 m ぐらいであったから、浅瀬として堆積した土砂量はきわめておおざっぱな計算で約 90 万 m^3 となる。

この堆積土砂の供給源が沿岸漂砂が主因であるのか、石狩川の排出土砂がそうなのかは即断できない。

しかしながら筆者らは採集した底質を蛍光 X 線分析することにより、その起源を明らかにする試みをしたことがあり³⁾、それによれば石狩河口の堆積土砂は沿岸漂砂と出水期に河川の運び出す土砂が重なっていることを示した。

河川排出土砂の量は、現実に出水期間中観測する

ことができないためまだ不明である。

この河口の浅瀬の形成に漂砂の果たす役割がどの程度かは、河口の影響のみられない海岸で漂砂量を測定すればよい。この意味で昨年 7 月 13 日から 16 日までの 3 日間、河口から約 2 km 南西の海岸において、北大方式漂砂捕集装置によって漂砂観測を行なった。

この地点は先に報告した漂砂観測地点よりもさらに 500 m ほど河口から遠ざかっており、石狩川の影響はより少なく波浪および沿岸流による漂砂だけと考えてよい。

捕砂器は図-1に示すごとく汀線より 70 m 沖から 400 m 沖に至る間の 7 カ所に設置した。設置期間中の天候は 15 日昼間かなりの豪雨と南の突風がしばしばあった以外は、おおむね南東の微風ないし和風で晴天であった。

捕砂結果は図-2に示すとおりである。

分布の型はほぼ河口の開いていない平坦な砂浜海岸の漂砂が示す分布型に近く、いわゆる「く」の字分布と呼ぶ形式を示した。

つまりこの期間には河川流出土砂はこの地点まで直接浮遊したまま達することはなく、漂砂の主因は波浪およ

図-1

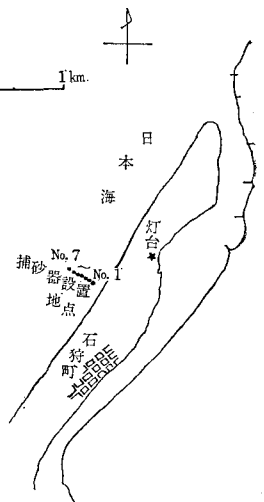
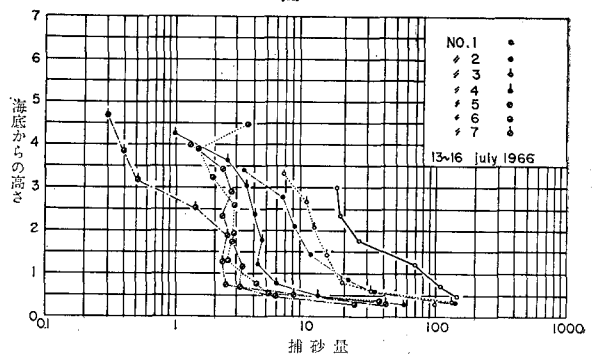


図-2



* 正会員 理博 北海道大学教授 工学部
 ** 正会員 理博 北海道大学助教授 工学部
 *** 正会員 北海道大学講師 工学部
 **** 正会員 理博 北海道大学教授 工学部

び沿岸流によったと考えられる。

しかも波浪はこれも一部昨年報告したけれども、この期間平均波高 30 cm 以下、最高波高 80 cm、平均周期 2.8 sec と観測されていて、これは石狩海岸としては比較的静穏な海面状況にあったといえるので、漂砂の分布、量ともに平均より少ない静穏型とでも呼ぶべきものであったと考えられる。

各地点別に見ると捕砂量は沖に向かって減じているが海底付近の漂砂は沖でもかなり動いているのがわかる。

最も岸に近い No. 1 地点では海底近くよりも少し上部に捕砂量が多いのは、この地点が前述の波浪に対して碎波帯となっていたためである。

碎波帯内では、しばしば海底よりも少し上部で捕砂量が多くなることが従来多く経験されているのである。

沿岸流の観測は行なわなかったため、これら漂砂の移動について論ずることができないが、時期的には北上する沿岸流が見られるので、漂砂は河口方向へと運ばれるであろうことが予想できる。

しかし観測から得られた捕砂量は全体として平均より少ないものと考えられるから、河口左岸に発達する砂嘴の土砂は荒天時における波浪と沿岸流が、その供給にあずかって力があり、加えて出水期の河川排出土砂の占める割合も大きなものであると考えられる。

静穏時の沿岸漂砂がほとんど浅瀬形成に関係しないことは観測結果を待つまでもなく予想されていたものであるが、昨年の漂砂観測の結果によってこれが確かめられたわけである。

3. 塩水くさび

超音波による塩水くさびの検出法は、すでに昭和 34 年に開発を始めて以来毎年観測を続行し、石狩川河口のように潮差が少なく、境界面が明瞭なことの多いくさびについては、その挙動を短時間に把握できるという点で非常に便利な方法ということがわかった。

記録紙に描かれたものはそのまま河口二重層の縦断、または横断面であって、表面、塩水くさびの境界面、底までの深度を測定船の進むにしたがい連続的に記録することができる。

しかし超音波による塩水くさびの境界面を検出したというほかに、この方法によればなお若干のくさびに関する情報を得ることができる。

もともと超音波によるくさびの境界面の検出は、超音波を反射する条件が不可欠であって、その条件とは具体的には両水層の密度差、水中における密度の異なる物質の存在などによるわけである。

塩水くさびの場合の記象をみると、水層の境界面における密度差によると思われる記象のほかに、下層の海水層における反射物体が上層の反射物体にくらべてはるか

に多い場合が少なくない。

淡水層においてはむしろ浮遊物体が多いと考えられ、実際そういう場合もあるがしかし他方海水中に微生物が存在すれば、それも良好な反射物体であることも知られている。

筆者らも石狩川において実際にプランクトンを採集したこともあり、また糠平湖において温度成層を超音波によって検出したことがあるが、これも間接的な原因を考えるべきであろうと思われる。

いずれにせよ海水中の微生物が下層の海水の記象を特徴づけることは十分に考えられるところである。

塩水くさびにおいて海水層から淡水層にむかって渦動による海水の拡散があり、そのために上層の淡水層でもしだいに塩素量が増してゆくことは当然であって、実際にその観測結果は筆者らによって大分以前から発表せられている^{5),6)}。この場合理論的な模型としては、一様な拡散が境界面全体にわたって行なわれるというものであるが、実際にはある場所で多量の拡散があり、むらがあるらしいことは表面塩素量の観測からも察せられ、また超音波による縦断記録を調べてみることににより、場所による拡散の不同を検出することもできることがわかった。

もちろんすでに一部に発表したように、底に急激な突起のある場合はこの現象は顕著であるが、石狩川のような数 km にわたる長い塩水くさびで、しかも比較的安定している湧水期にあっても海水が数力所において顕著に拡散する状況を観測することがある。

この現象は底の凹凸状態とも密接に関係があると思われるが現在までのデータでは必ずしも定まった地点に現われるというものでもないので、表面塩素量の分布、流量の変化等ともあわせ観測をつづけている。

このほかに塩水くさびの横断観測、増水期において塩水くさびが後退する時のような、はげしい乱れの観測の場合も超音波による方法はきわめて有用であり目下研究をすすめている。

図—3 に境界面における拡散の例を示した。

図中、左側が上流である。

図—3



4. 旧石狩川の潮汐による応答について

図-4 旧川水域図

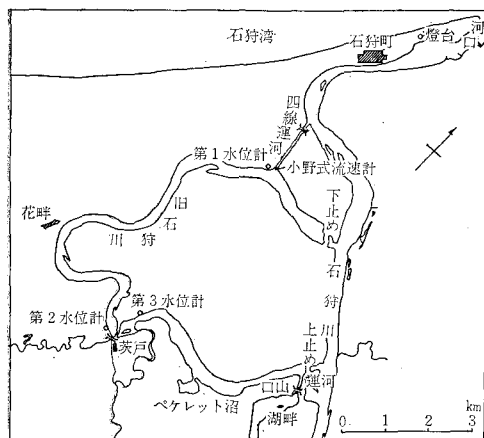
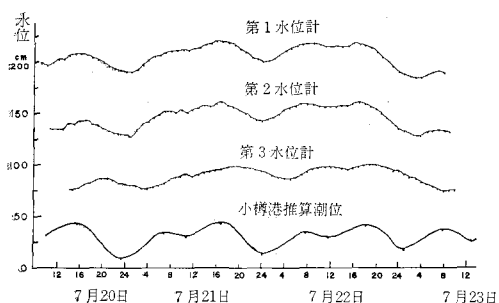


図-5 水位変動記録

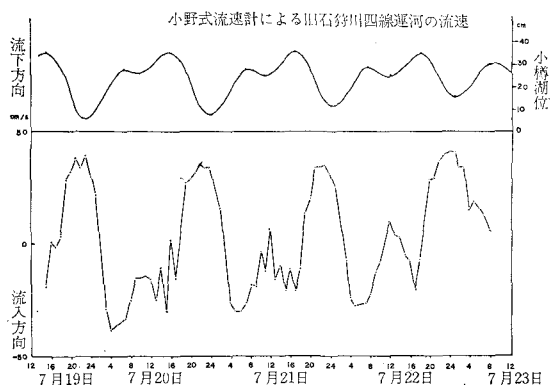


旧石狩川は四線運河を唯一の通水路として石狩川本流と結ばれている。したがって旧川内の流れはこの運河を通じて本流の水位に支配されると考えられる。昭和41年7月19日から23日に至る5日間にこの旧川の水利を調査する機会を得た。先に述べたような状況下の地域であるので運河に自記流速流向計を、旧川内3カ所に自記水位計をとりつけて調査を行なった(図-4)。流入する河川は茨戸地区に集中しておりいずれも小さなものであって出水期を除いてはほとんど旧川の水利に重要な働きはないものようである。

以上の記録のうち水位は図-5に示すとおりである。これによれば各地点の水位はいずれも石狩湾の潮位に応答している。小樽港推算潮位と比較すればわかるとおりである。この期間の潮汐は2回潮であって波形はかなり複雑であるにもかかわらずきわめて忠実に応答しており、このことは本流自体が潮汐に忠実な応答をしたことにほかならない。

各波形の間には多少の時間差と振幅の差が認められる。すなわち、小樽潮位と第1水位計では後者に2時間のおくれがあり振幅は20~40%減じている。第1水位計と第2水位計では位相、振幅ともほとんど差がない。第2水位計と第3水位計では後者は1~1.5時間のおくれがあり振幅にして20~40%の減衰が認められる。

図-6 旧川四線運河流速図



潮位より第1水位がおくれるのは幅のせまい四線運河が1.6kmにわたって存在することが原因と見られ、第1と第2の間は9.6kmであるがこの間には何も狭窄された部分がなく水深も十分深いことから同位相振幅が説明される。また第2、第3の間はわずか1.1kmであるがこの間に幅6m、深さ2.5mの狭い水路があり、このため後者に位相のおくれと振幅の減衰を見たのであろう。

図-6は自記流速計による四線運河の流れを示したものである。前述のように旧川水位は潮汐によく応答しているので運河の流速も当然潮汐に左右されているはずであり、同図に再び小樽港の潮位を掲載した。一見してただちに流速もよく潮汐に対応していることがわかる。すなわち潮位が低下すると旧川から流出し、潮位が上がると流入している。その対応は水位の時と同様に全く忠実である。

以上により今まで実態のわからなかった旧川の水利が非常に明瞭になった。すなわち旧川の水利は比較的単純なものであって、本流の水位変化が四線運河を通じて旧川の流動を左右しているものであり、本流はまた潮汐によって上下しているために旧川もまた潮汐によく応答して流動しているということができる。

以上のほか同期間中に旧川の縦断観測を行ない、水温、塩分、流速等の分布を求めた。とくに塩分分布では旧川の深所に塩水を認めており、これは本流の出水期に十分発達した塩水くさびの上面が四線運河の水底より高くなって旧川に塩水が流入した残存と見られている。また表層塩素量濃度は0.1%前後のきわめてうすいものであるが、これが茨戸地区でとくにうすく、本流に近づくにつれて濃くなっており、茨戸地区に集中して流入する河川の効果によるものと考えられる。

5. ステップ式波浪計の試作および予備実験について

現在の時点までに製作使用された波浪計は実に多くの

種類をかぞえるものと思われるが、精度良くかつ安定した記録の得られる波浪計は数少ない。

これをステップ式波浪計に限ってみると、この点は一層劇然とする。これはステップ式波浪計が持っている大きな欠点である記録が確実なステップを成さなくなることのために利用されることが少ないのである。

その原因は電極間のいわゆる水膜の残存であって、このため空中に露出している電極がリーク電流のために、あたかも海水中にあるごとくふるまうため、記録が乱れてしまうのである。

この水膜の問題を解決したステップ式波浪計は、いわゆるリレー式ステップ波浪計だけであろう^{7), 8)}。

これは電極間の水膜はそのままにしておき、リーク電流の大小で電極とは独立した別の電気抵抗回路をリレーによって ON, OFF する形式のもので、これにより記録は確実にステップ状を成し、自己較正が可能ならばでなく読取誤差の入り込む余地がない。

このような方式はステップ式波浪計の今後の発展の本筋を行くものと考えられる。

筆者の一人は電極を含めた波高検出部全体をトランジスタ化して水膜の問題を解決するとともに電源の小型化構造の簡単化およびテレメーター化を行なった。

基本となるのはシュミットトリガー回路と呼ばれるもので、NPN 型トランジスタによる回路を図-7に示す。

図中 P がステップ ポールの電極の一つに相当し、他方これらの電極にシュミットトリガー回路を動作させる + の電圧を加えるため、共通電極 C を設けておく。電極 C は常時海水中にあって、水中にある電極 P とは海水を通じて普通状態を保つ。

P に入力電圧が無い状態（電極が海面上にある状態）ではトランジスタ Q_1 が OFF, Q_2 が ON で ic_2 が流れているようにしておく。

P が海水中に入ると C と導通状態になると、 P に + の入力電圧 e が加わるので、 Q_1 に ic_1 が流れはじめ ic_1 , R_{C1} による電圧降下によって Q_2 のベース電圧がさがりはじめ ic_2 が減少する。

このためエミッターの電位が下がり入力 e は見かけ上さらに増加することになり ic_1 がますますふえ飽和状態となって Q_1 は完全に ON となり、 Q_2 のベース電圧は下がり Q_2 は OFF となる。

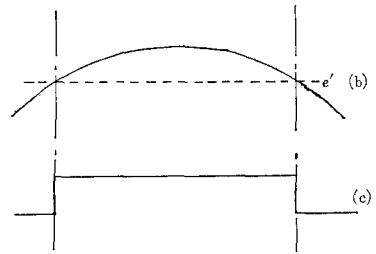
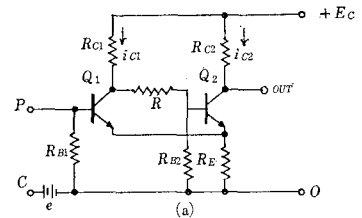
この時の ic_1 は Q_2 が ON の時の ic_2 よりも小さくなるようにしておくことと入力電圧 e がある値 e' 以上であれば Q_1 が ON, Q_2 が OFF の一定の状態が保たれる。

つぎに P が海面上に露出すると、 e は水膜によってすぐ 0 とはならず徐々に減少してゆくが、このため ic_1 が少なくなり Q_2 のベース電圧が高くなり ic_2 が流れはじめエミッター電位が上がり e の実際の減少と見かけの

減少が重なって e' になると急激に Q_1 が OFF, Q_2 が ON のもとの状態に戻る。このスイッチング作用は実際には瞬時に行なわれるから Q_2 のコレクターに正の長方形波出力を生ずる。

したがって図-7 (b) なる波形はシュミットトリガー回路によって (c) なる長方形波となる。

図-7



これがリレー式波浪計のリレー 1 個に相当する動作をする。

試作した回路は PNP 型トランジスタを使用したもので + が逆となり、電極 C には $e = -3V$ が供給されている。

Q_2 が ON から OFF へと移行する電圧 e' は調節可能で、できるだけ e に近い値になるようにしておけば、実際の海面昇降と電流の変化の間の遅れは問題にならなくなる。

このトリガー回路を各電極に一組ずつ接続し、 Q_2 の ON, OFF による電流変化を電圧変化として取出しさらにこれによってサブキャリアー発振器の周波数変化へと変換し、FM 送信機を変調して送信する。

全体の回路は図-8 のとおりである。

この波浪計の動作予備実験の結果を図-9に示す。

これは実験開始後 100 時間目の波形であるが、実験開始直後の波形と全く同一である。

実験はステップ間隔 10 cm のポールを用い、周期約 5 sec で海水と同濃度の塩水水槽中でポールを昇降させたものである。

実際に使用するポールは電極間隔 20 cm 電極数 21 個で、昨年石狩海岸で波浪観測を行なったものと同一である。

電源は平角 5 号 3V の乾電池を用いるが装置に使用したトランジスタが PNP, NPN 両方あるので電源は 5 個と 3 個 (15V および 9V) の二系統となり、ト

図-8

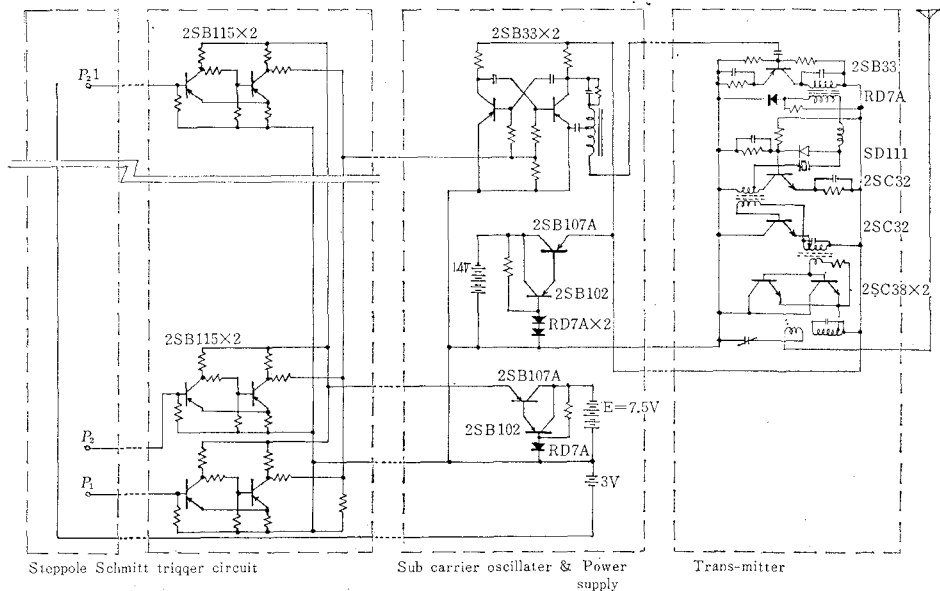
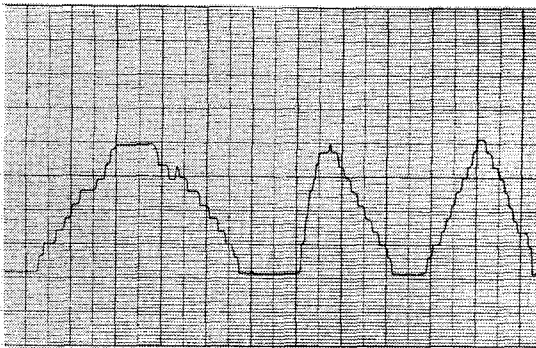


図-9



ランジスターをどちらかに統一すれば電源も一系統ですむ。

電流消費量は最大 100 mA 程度で連続使用で2週間、タイマー等によって毎日定時観測を行なうならば、数カ月電池の交換は不要であろう。

送信出力は 100 mW 到達距離は受信機の性能にもよるが 2~3 km である。

図-9 中、ステップの一方の角が丸くなっているのは、

サブキャリアー周波数の変化を電圧変化に戻すコンバーターの持つ時定数と、レコーダーのペンの応答速度が少し足りないためである。

この波浪計は今年7月の石狩海岸での波浪観測から使用し性能試験を行なう。

参考文献

- 1) 福島・八鍬・高橋・大谷：石狩川河口の研究(3)，第13回海岸工学講演会講演集，昭41年。
- 2) 福島・柏村・八鍬・高橋：石狩川河口の研究，第11回海岸工学講演会講演集，昭39年。
- 3) 同上
- 4) 福島・柏村・八鍬・高橋・大谷：石狩川河口の研究(2)，第12回海岸工学講演会講演集，昭40年
- 5) Otubo, K. and Fukushima, H.: Density current in river mouth with small tidal range, I.A.H.R. 8th Congr., 1959.
- 6) 1) に同じ
- 7) T.L. Russell.: A step-type recording wave gage, Ocean Wave Spectra. National Academy of Sciences., 1961.
- 8) 村木義男：北海道開発局における波浪観測塔と海象観測，沿岸海洋研究ノート，第5巻第1号，1966。