

感謝狭口の良質移動に関する実験

室蘭工業大学	正員	近藤 叙郎
清水建設(株)	正員	小林 和彦
留萌土木現業所	正員	中田 敬人
室蘭工業大学	学生員	○高田 保彦

1. まえがき

一般に、入江、潟湖、港湾などの内水域では水面積に対して内水域面積が小さいので、特別の場合を除いてその水位と水路流速は海側の潮位変動によって支配されている。だから外海の潮汐によって、水路および内水面の潮流流速、潮位などのように変化することを調べることは興味ある問題であり、狭い水道で結ばれた内海さらには堀込港湾における潮汐の推定、感潮河口および湖口の改修、港湾および海岸湖沼の海水交流など海岸におけるいくつかの重要な問題の解決策を見出すうえにも必要となってくる。又漂砂海岸に開口している場合には、漂砂の堆積と水路流による掃流作用が相互に作用し両者の相対的な大きさによって河床が変化していく結果、水路や水域の利用度の大まかにころでは水路閉塞が重大な問題となる。

筆者の一人は感潮狭口水路の水理特性に関する実験を行ない、その結果最大流速水深などの理論値はほぼ実験値と一致することを示した。しかし水路閉塞などのように底質移動量に関する問題は、水路内の掃流流量や侵入漂砂量、海岸地形などの諸要因による複雑な機構をなしているので、いまだ未解明のまま残されている。

今回の基礎的な水理実験は、外潮位の変動により水路流速、湾内潮位がどのように変化し、かつ流速の時間的变化と掃流砂量の時間的变化には、いかなる相関があるかを調べた。そして、以上の実験結果をもとに理論値と実験値を比較し、又潮流流速と掃流砂量の関係を探った。

2 實驗方法

1) 起潮水槽 : まず起潮水槽の寸法はFig-1に示したように、長さ3.5m、幅0.6m、深さ0.8mでその一端に起潮機を設置されており、このプーランジ型の起潮機は周期 $T = 24.3$ 秒でアーム長を変えることにより外潮位振幅を変化させることとなる。又狭口水路の寸法は長さ0.6m、幅0.07mで水路両端に生ずる下からの渦の影響を避けるために水路上の両端に勾配をもたせた。

次に潮位の測定には並行抵抗線式波高計を用い、海側潮位はNO.2の波高計、湾側潮位にはNO.3の波高計のデータを用いた。又起潮機によって起こされた波のうち、安定したのは2波目以後であったので主に2波目から5波目まで読みとった。流速の測定にはプロペラ流速計を用い、水路中央で種々の水深の6割處に流速計を設置し、この時の流速を断面平均流速とした。

2) 移動重量の測定: 移動床材料にはプラスチック材

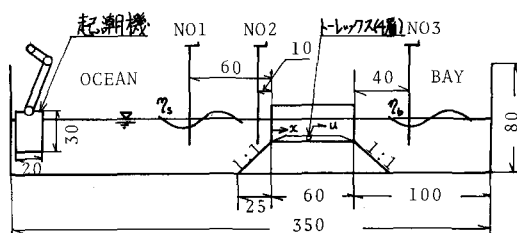
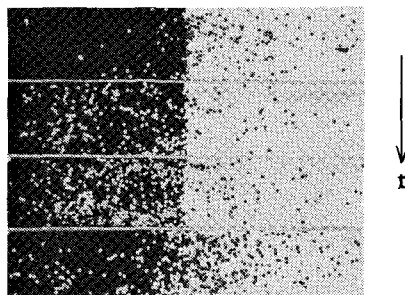


Fig-1 起潮水槽 UNIT: (cm)



写直 1

料のトーレックス(メタリメタアクリレート、東洋レーヨン製:比重1.16, 平均粒径0.34 μ m)を用いた。トーレックスを水路上に4層敷き詰め、測定時には急激な河床変動がなかったため上層の1層にだけ注目して移動量を求めた。つまり、トーレックスに白、黒の2種のカラーラッカーを吹き付け中央断面を二分して20 μ mづつ敷き、これら2種のトーレックスの移動状態を上方からカメラで3秒おきにとり、その間の断面通過量は連続した2枚の写真(写真-1参考)について、例えば白地での黒の増加量と黒地での白の減少量の合計として求め、その通過量を時間間隔(3sec) $\times$ 水路幅員(7cm)で除したものが移動砂量(g)となる。

3. 実験結果及び考察

1) 解析的解: 感潮狭口水路の流速、内水域潮位については、すでに簡略な解析的解が求められており、サロマ湖などの実測値に適用してその解の有効性が確かめられている。²⁾ この解析的解は次のように要約される。まず、水路の海側端における水位は次の単調和関数で表現できる外海の潮位に等しいとすると

$$\eta_{x=0} = a_s \cos(\sigma t) \quad \text{--- (1)}$$

a_s : 外海の潮位振幅, $\sigma = 2\pi/T$

となる。次に内水位は、潮波の波長に比べ水域の寸法がよわめ小さいならば、内水位は水域のいたるところ等しいとみなすことから水路の内水域端では次の連続の式が求まる。

$$A u_{x=l} = \int (\partial \eta / \partial t)_{x=l} = \int d\eta_b / dt \quad \text{--- (2)}$$

A : 水路断面積, $\int$: 内水域面積

又、不定流の運動方程式中の抵抗項は非線形であるから、この項を線形化するために水路流速が単調和関数で表わされる時、その時間的最大値を U とし線形化するための定数を k とすると、 k は次式とおける。

$$k = \frac{8g}{3\pi R^3} \eta_r^2 \cdot U \quad \text{--- (3)}, \quad \eta_r = \eta \left[1 + \frac{f_c R^3}{2g l \eta^2} \right]^{1/2} \quad \text{--- (4)}$$

ここで η_r は流入損失を考慮した等価粗度である。 l : 水路長

以上より、運動方程式は次のようになる。

$$\frac{du}{dt} + \frac{g(\eta_b - \eta_s)}{l} + k u = 0 \quad \text{--- (5)}$$

(2), (5)式の連続の式、運動方程式から u , η_b , $(\eta_s - \eta_b)/l$ を求めると以下の式となる。

$$u = -U \sin(\sigma t - r) \quad \text{--- (6)}$$

$$\eta_b = a_b \cos(\sigma t - r) \quad \text{--- (7)}$$

$$a_b = \frac{a_s \alpha}{\sqrt{(\alpha - r^2) + (kr)^2}}$$

: 内水域潮位振幅

$$\frac{\eta_s - \eta_b}{l} = -\frac{U}{g} \sqrt{k^2 + r^2} \cdot \sin(\sigma t - r - \theta) \quad \text{--- (8)}$$

$$\text{但し、} \alpha = Ag/g\sigma, \quad r = \tan^{-1}(kr/\alpha - r^2)$$

$$\theta = \tan^{-1}(-g/k)$$

2) 水面勾配と流速: これらの理論値と今回の実験値との比較をするために、水路静水時水深が $h = 4$ cmの場合について、Fig. 2~4に示す。これらの図から次のことがわかる。

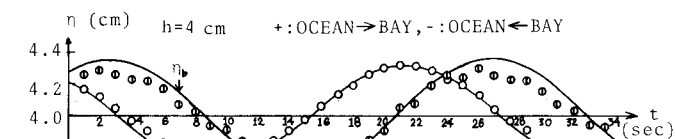


Fig. 2 η_s, η_b の変化

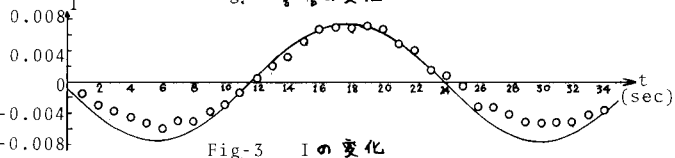


Fig. 3 I の変化

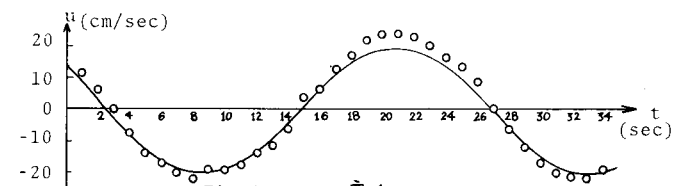


Fig. 4 u の変化

η_0 の波形が多少歪んでいるが、これは高潮波成分の発生に関連していると考えられる。近似的な水面勾配($I = \eta_0 - \eta_b / l$)が理論値より小さくできているのはこのためである。一方流速は海、湾両方向への最大付近では、多少理論値より大きくできているがこれは抵抗項を線形化する時、 $R = \text{const}$ としているが $U_{\max}$ 付近の実際の径深はそれより大きいために、 R の値が実際よりも大きすぎることに由る。Fig.4,9がわかるように、海から湾への $U_{\max}$ は湾から海へのそれより大きい。これは流速が海から湾へ向っている時の径深が、逆の時の径深よりかなり大きいからである。(Fig.2, 4参照)

又流速の時間的分布に注目すると、潮流流速は外潮位振幅に支配される η_0 と U はほぼ同一位相となる。しかし η_0 が単調関数であっても U は厳密には理論式のような単調関数とはなっていない。流速が両方向へ 0 から $U_{\max}$ までの増加率は $U_{\max}$ から 0 までの減少率より大きくなっていることが Fig.4,9 よりわかる。そしてこの流速は水面勾配が最大になる付近から急に増加している。これは水面勾配が最大付近になっても潮流流速には慣性力が働いて流速を増加させるからである。そして $U_{\max}$ を過ぎた後は、水面勾配の減少しかつ流速と水面勾配が逆向きとなり緩慢な流速変化になってしまう。しかし Fig.2~4 よりほぼ理論式が実験値と一致することになった。

3) 底質移動量：一般に感潮狭口水路上の流れは外潮振幅に支配される振動流であり不足流となる。しかし最大流速 $U_{\max}$ の時には $du/dt \neq 0$ であるから定常と近似される。Fig.5は移動量最大値 $q_{\max}$ と最大流速 $U_{\max}$ を両対数グラフにプロットしたものである。同図より $q_{\max} = 4 \sim 9 \text{ cm}$ までのグラフの傾きの平均を求めると $\theta = 7.71$ となり、その結果狭口振動流における最大流速時の底質移動量は、その流速の約8乗に比例することになる。

次に3秒間ごとの時間的平均流速とその移動量との関係を求めたのが Fig.6 である。この図では流速と移動量との間には、Fig.5 のような関係はなくなる。これは不足流による非定常項を含んでいるからであろう。

又 Fig.5 の最大流速時のデータを用いて、せん断応力と移動量を無次元化しこれらの関係を求める。

$$\tau_* = U_*^2 / s g d \quad \text{--- (9)}$$

$$q_* = q / U_* d \quad \text{--- (10)}$$

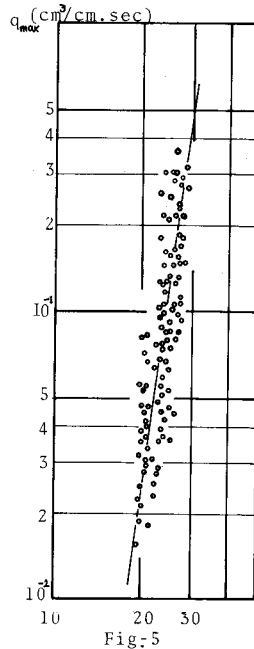


Fig. 5

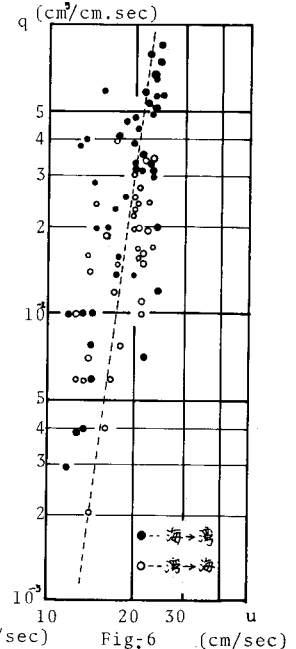


Fig. 6

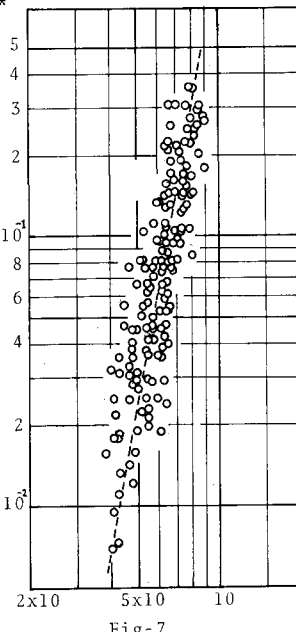


Fig. 7

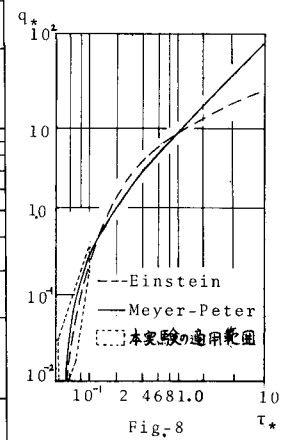


Fig. 8

但し、 $S = (\eta_2/\eta - 1)$: トーレックスの水中比重

$$u_* = \sqrt{g R I_c} : \text{摩擦速度}$$

Fig-7は各水深($h=4\sim9\text{cm}$)ごとの q_x と z_x を両対数グラフにプロットしたものである。同図中の直線は、 z_x と q_x のおよその関係を示すものでこれより次式が得られる。

$$q_x = 2.65 \times 10^5 z_x^{5.4}$$

--- (11)

又Fig-8は諸公式との比較を表わしたものであり、適用範囲が狭いのはこれらの式と一致していることがわかった。次に方向別に移動量を比べてみるとFig-6, 9からわかるように、全体的な傾向として海から湾への移動量が、この逆の場合よりも大きめにでている。多い時には2~3倍にも達しているデータがあった。これは前述したように、 U_{max} の値が海から湾へ向う時の方が逆の場合よりも大きいので、その結果海から湾への移動量の方が多くなる。又前に流速の時間的分布が歪んでいることを示したが、歪んでいるだけでなく海から湾へ向う流速の時間(t_+)は逆の時間(t_-)よりも、下の表1に示したように短くなっているが、これは1周期間の流量が0とならなければならないための現象であろう。

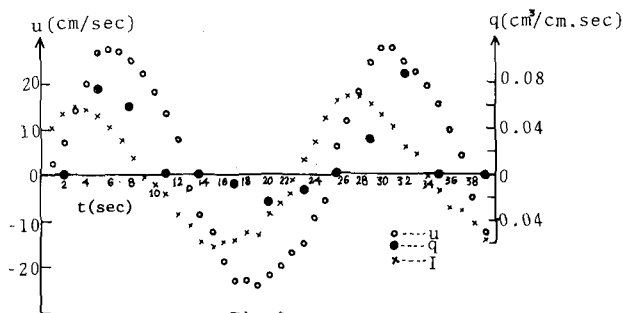


Fig-9

h (cm)	a _s (cm)	t ₊ (sec)	t ₋ (sec)
4	0.32	12.4	12.4
4	0.32	12.0	12.6
5	0.35	11.6	12.5
5	0.35	11.4	13.0
6	0.42	11.5	12.6
6	0.42	12.0	12.2
8	1.20	11.5	12.4
8	1.20	12.0	12.6

表-1

4. 結び

今回の実験は、主に2つの点に注目して行われた。1つは筆者らの水理特性に関する簡略解の移動床への適用性の検討であり、もう1つは狭口振動流における移動量が定常流の場合と比べ、どういった違いがあるかということである。前者の方はほぼその妥当性が確かめられたが、たゞ q_{max} 付近での高潮波成分の発生による q 波形の歪みと線形化するための定数 k の最大流速付近における変化を、さらに詳しく調べる必要がある。後者については、狭口振動流による底質移動量は流速の時間的分布が単調関数とはならず、流速の進行方向に前傾していることと最大流速と継続時間が流速の向きによって違うことにより、移動量も海側から湾側への方に多くなることが認められた。

今回の実験は小規模で基礎的なものに限定されたが、今後潮流流速による底質移動量に関する研究がさらに必要とされる。

本研究は、室蘭工業大学河海工学研究室で行われたもので、同研究室の藤間聡助教授をはじめとする教職員ならびに昭和47.48年度においてこの研究に協力された卒業生に感謝の意を表します。本計算には室蘭工業大学情報処理教育センターのFACOM 230-28を使用したことを付記する。

参考文献

- 1) 近藤俊郎：感潮狭口の最大流速水深と最小流積，第21回海岸工学講演会論文集，1974
- 2) 近藤俊郎：感潮狭口水路の流速・内水域潮位および最大流速水深の一解法，土木学会論文報告集，第206号，1972
- 3) 土木学会：水理公式集，1971