

電 算 機 に よ る 締 切 り 堤 開 口 部 の 流 速 推 算

清水建設株式会社 海洋開発部

正会員 小林 浩

霜田英磨

正会員○白石雅美

正会員 清川哲志

1. はじめに

海洋における土木工事では、波や潮汐、潮流等の海象条件によって種々の制約を受ける場合が多く、それらの適切なはあくが必要である。締切り工事においては締切り幅の決定や、底部の洗堀に対する対策等で、開口部の流速をはあくすることが重要である。流速をはあくする場合は、流速計による現地での実測が確実であるが、実際には期日や費用、締切り工事の状態等で必ずしも目的にかなった観測ができない場合があり、開口部の計画設計や施工段階で流速の推算が必要とされる。そこでこれらの要請に答えることができるように、開口部の流速推算システムを作成した。このシステムは現地での観測データの処理プログラムも含まれており、観測結果をふまえてより効果的な推算を行うことができる。

2. 推算システムの概要

このシステムは観測データの処理と流速の推算の2つに大別できる。それらの機能は次のとおりである。

・観測データの処理プログラム群

- ① 潮流の調和解析
- ② 潮汐の分析

・流速推算プログラム群

- ③ 開口部平均流速の推算
- ④ 開口部内外の流況推算
- ⑤ 流況ベクトル図等の作図

これらを構成する各プログラムは、おのおのの独立しており、必要に応じてプログラム間でデータの受け渡しを行うようにしている。また、観測値がない場合には、日本各地の潮位予報を行う潮汐計算汎用プログラム「TIDE」¹⁾を利用して流速推算に必要な潮位データを得ることができる。図-1にその概要を示す。

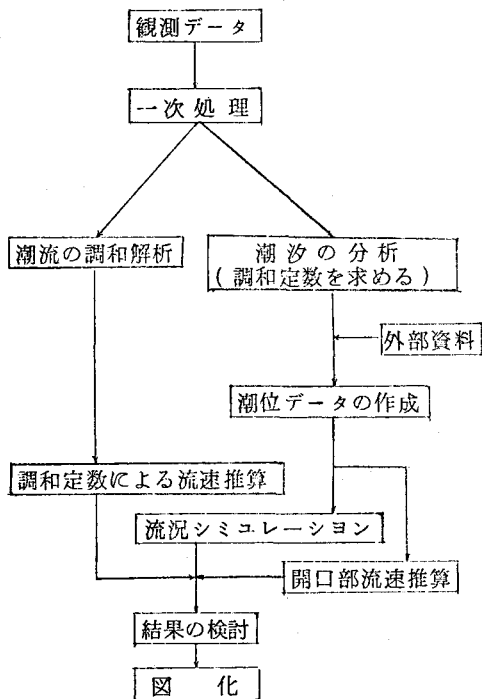


図-1 推算システムの概要

3. 計算方法

(1) 潮流の調和解析

一般に潮流の観測は長期にわたって行なわれることは少なく、多くの場合は一昼夜25時間の観測が行なわれている。したがってこのプログラムでも一昼夜

25時間の観測値をもとにフーリエ級数を利用して調和解析を行っている。潮流はベクトルであるから、東西、南北の2方向に分けると、それぞれの方向において固有の流速と遅角を持った分潮流の和として表わされる。しかし一昼夜のみの観測で多くの分潮流を求めるのは困難であるから1日周潮流、半日周潮流、1/4日周潮流に対応する流れの大きさと遅角を求めている。²⁾ また、求められた調和定数をもとに、時間を代入し、各分潮流の流速を求める。

(2) 潮汐の分析

ある地点における潮位を予報するには、その地点における各分潮の調和定数が必要である。ある地点における潮位 h は、平均潮位を H_0 、振幅を H 、遅角を K とすると、

$$h = H_0 + \sum f \cdot H \cos(V + u + nt - K) \quad \dots\dots\dots (1)$$

と表わされる。 f 、 V 、 u は天文学的な変数で、その値は任意の時刻に対して天体暦より計算できる。 n は分潮の速度 (度/時) で t は経過時間である。潮位の観測値より調和定数 H 、 K を求める方法としては、T.I 法、調和分析による方法、B.A. 法等があるが、³⁾ 観測期間が短い場合や欠測があることを考慮し、最小自乗法によりそれぞれの振幅および遅角を求める。

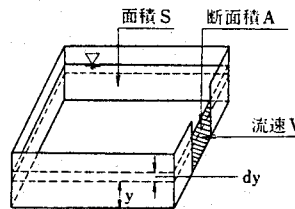
(3) 開口部の流速推算

開口部の流速が短い時間で定常的であると仮定し、 Δt 時間経過による流入海水量と、締切り部内側の潮位上昇量との関係を用いている。図-2 に示すモデルにおいて、ごく短時間に開口部に流入する海水量を q とすると q は次のように表わされる。

$$q = A \cdot V \cdot dt \quad \dots\dots\dots (2)$$

また流入した海水による開口部内側の水位上昇量を dy とすると、

$$q = S \cdot dy \quad \dots\dots\dots (3)$$



- ・開口部流速 V
- ・開口部断面積 A
- ・開口部内水面積 S
- ・水位 y

図-2 モデル説明図

である。ここで開口部外側の潮位を y_1 、重力加速度を g 、 K を係数とすれば流速 V は次式で表わされる。

$$V = K \sqrt{2g|y - y_1|} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\therefore \frac{dy}{dt} = K \cdot \frac{A}{S} \cdot \sqrt{2g|y - y_1|} \quad \dots\dots\dots (5)$$

この(5)式の微分方程式を解くことにより内側の潮位が求まる。⁴⁾ (5)式は非線型であるので、 K 、 A 、 S 、 y_1 を既知とし、ルンゲ・クッタ法で解いた。

(4) 開口部内外の流況推算

対象水域全体を流れの場としてとらえ、流体力学的見地より推算する方法である。この方法によれば、開口部の流速は他の水域の流速との関連で求められ、地形的条件も考慮することができる。基礎方程式は、ナビエーストークスの方程式を用い、水深方向に積分し、2次元化したものを用いている。⁵⁾ 適用にあたっては、現地 に即した仮想境界面を設け、その内部でコリオリ力気圧変化を無視し、基礎方程式を差分化して解いている。境界は 26 種に分類し、それぞれの条件に応じて前進、あるいは後退差分を用いて計算し、内部点はリープ・フロッグ法で差分化した方程式を解いた。図-3 にフローチャートを示す。

4. 処理例

昭和 51 年度東京都廃棄物処理場護岸締切り工事において、締切り部の流速調査を行う機会を得た。調査の内容は、締切り部における流向流速の測定、締切り部内外の潮位の測定等であり、調査地点のようすを図-4 に示す。締

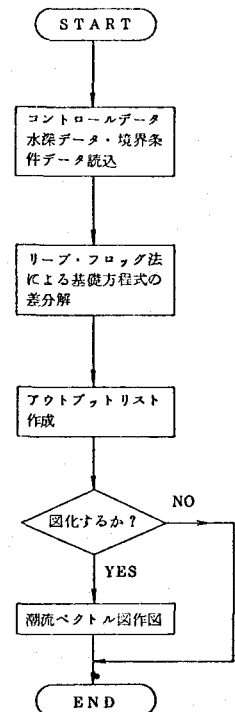


図-3 フローチャート

切り面積は 77 万 m^2 で、開口部幅は 60 m である。観測システムおよび、データ処理プロセスを図-5、図-6 に示す。デジタル記録はそのまま各データごとに校正し、アナログ記録は連続量であるので生データとして再処理し、データプロセッサまたは大型コンピュータ (IBM システム 370, モデル 158) に入力して処理した。

流速の調和解析結果および、(5)式を利用して流速を推算した結果を実測値とともに図-7 に示す。実線は流速 7 測点のうちの 1 点のデータについて調和解析した結果より推算したものであり、点線は(5)式を解いて求めたものである。潮位の実測値をもとに流速を推算し、それを自動製図機で潮位とともに描いたものを図-8 に示す。開口部付近の流況シミュレーションを行った結果を流速ベクトル図として図-9 に示す。この図は計算時間短縮のため時間軸を圧縮して計算したものであるが、流れの様相はつかめると思う。またこの方法により東京湾の潮流を推算したものを図-10 に示す。

なお、今後の工事の参考資料とするため、開口部断面積 A と締切り面積 S の比 A/S と、係数 K を変化させた場合の大潮期における開口部の最大流速一覧表を作成している。

5. おわりに

この推算システムで得られた結果はあくまで推算値であるので、実測値がある場合は常にチェックしてより現実に近い値を得るようシステムの改良が必要である。出力リスト、図化方法等も種々の条件に対応できるようによりグレードアップする必要がある、今後の課題である。

おわりに廃棄物処理場護岸締切り部の流速調査の機会を与えて下さり、調査、解析に御指導、御鞭撻下さいました東京都港湾局廃棄物処理場建設室の皆様にご心から感謝の意を表します。

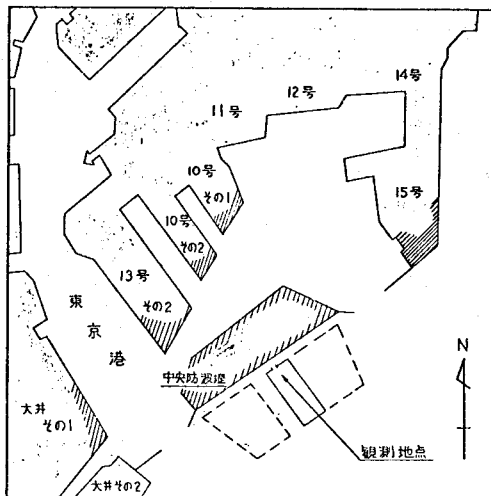


図-4 観測位置

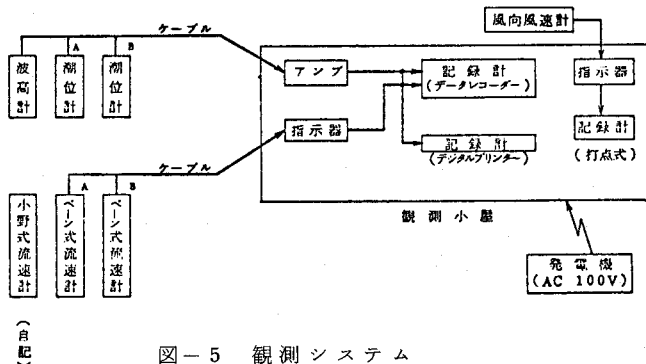


図-5 観測システム

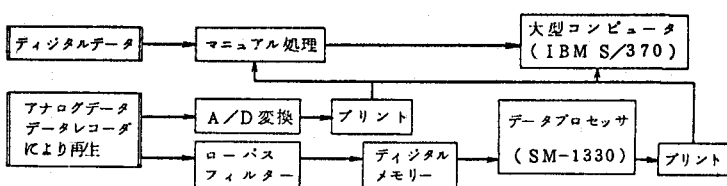


図-6 データ処理プロセス

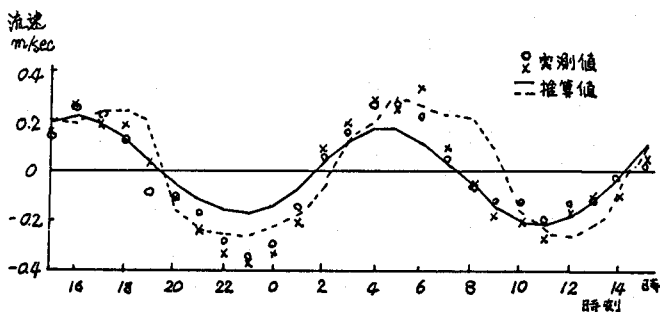
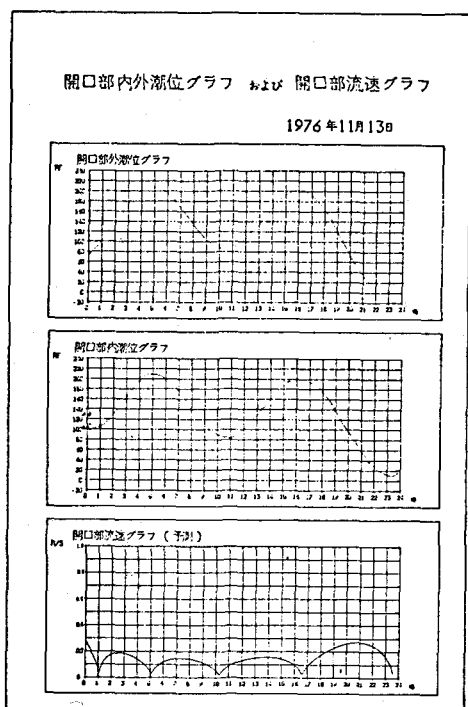


図-7 流速推算結果

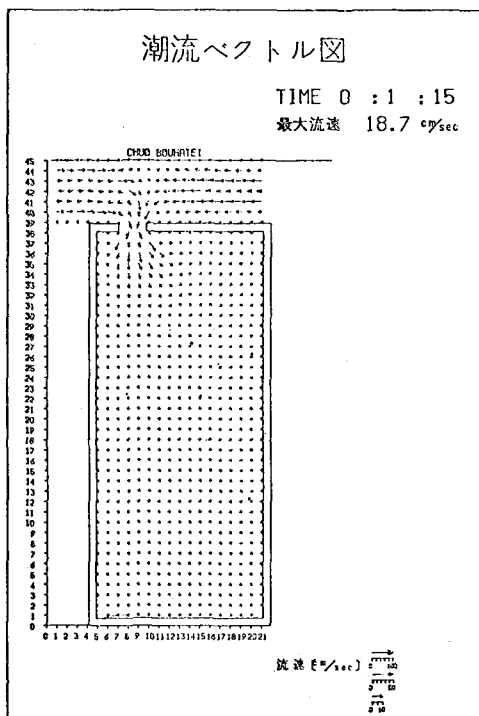
(参考文献)

- 1) 篠田 務：潮汐計算汎用プログラム，電算機利用に関するシンポジウム講演概要，土木学会，1976
- 2) 中野猿人：潮汐学，生産技術センター，1975
- 3) 佐々木忠義監修：海洋開発，第2巻，海洋開発出版局，1971
- 4) 佐藤昭二，合田良実：海岸港湾，彰国社，1976
- 5) 日野幹雄，川原陸人ほか：土木工学における数値解析流体解析編，サイエンス社，1974



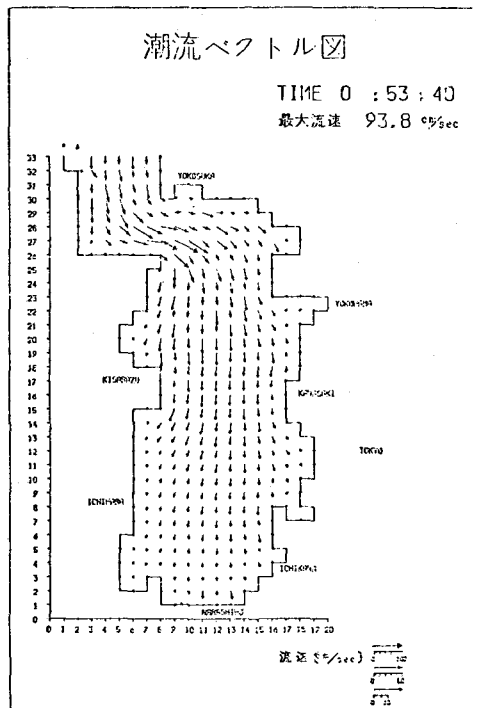
清水建設海洋開発部

図-8 潮位および流速図



清水建設海洋開発部

図-9 潮流ベクトル図



清水建設海洋開発部

図-10 東京湾潮流ベクトル図