

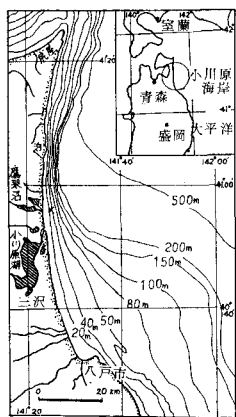
海底面付近の流れの観測について

中村 竜二*・柴山 煒彦**・高井 俊郎***・佐藤 正一***

1. ま え が き

近年、港湾計画の大規模化に伴い、大水深港湾構造物への要請が高まっているが、設計および施工に関するこれまでの建設技術ではカバーできないものがある。このなかには、たとえば大水深防波堤における設計外力の決定、基礎マウンドに要する資材の検討などのほかに、浚渫掘削によって大量に発生する土砂の沖捨てが周辺海域の環境をかえ漁類等生態系に悪影響をおよぼすことなど今後十分に検討されなければならない問題が多い。

青森県の太平洋岸に位置する小川原湖海岸には、大規模な臨海工業開発の計画があり、運輸省は中核となる大型港湾建設のための基礎調査をすすめている。このうち大水深防波堤建設のために、昭和48年度より水深50m地点での波浪観測、水深20～50m地点における海底面付近の流れの現地観測、砂マウンド防波堤に関する二次元模型実験などの調査を開始した。本報告では、このうちの海底面付近の流れの観測結果について報告する。



図—1 調査位置図

2. 観測内容と装置

(1) 観 測

小川原湖海岸の港湾計画によれば、その建設に伴って発生する掘削および浚渫土砂は膨大な量となることが予想されるが、これらの土砂は埋立に用いられるほか、防波堤基礎マウンドとしても利用可能である。

しかし、発生する土砂を基礎マウンドに用いる場合、沖捨て投入土砂によって土砂の流出拡散がおり、周辺海域に影響する恐れがあること、海・潮流のほかに波による流れのためにマウンドのり面が洗掘されることなどの問題が生じる。そのため建設計画地点付近での流況観

測を実施した。

先年実施した小野式流速計による潮流観測¹⁾の結果によると、当海域では恒流が全体の流れに比して強く、沖へ向うほど増大する傾向にある。流向は、一般に南流が卓越しており、流速の最強は、中層付近で観測されるが、底層付近でも数十 cm/sec の流速が観測されている。また、潮流は日周潮が卓越している。

しかし、底質の浮遊および洗掘を考える場合、海・潮流による長周期の流速変動のほかに、波浪等による乱れのように周期の短い流速変動も重要な因子になる。

今回の調査においては、波運動下における海底面付近の流速変動を観測することを目的として、後述のプロペラ式水平全方向流速計によって、水深20、30、40、50m地点の流速観測を実施した。あわせて、超音波式波高計によって、水深20、50m地点の波浪観測を行い、水面変動と流速の乱れとの相関関係について検討したが、ここでは、水深50m地点の観測値について報告する。

(2) 観 測 装 置²⁾

海底面付近(海底面上80cm)の流速変動を観測することが目的であるから、これらの条件変化に備え現状における海象条件での流れの変化に比較的追従性の良いプロペラ式水平全方向流速計に自記記録装置を取付け海底面上に設置した。

流速計および自記記録装置は50mm鋼管と75mm型鋼を用いた高さ約2.5m、底辺長約2.0mのフレーム内に取付けた。写真—1に示すように、下段には12Vの蓄電池と自動流向流速記録装置が、別々の耐圧ケース(径40cm、長さ130cm)内に格納され、上段の三角棒中央にはフリーコンパスを内蔵した水平全方向流速計が底面より80cmの位置に一体となって固定されている。自動流速流向記録装置の測定回路は流速計からの流速パルス信号および流向電圧信号を同時に、D/A、A/Dコンバータにて変換させ流速は流速補正演算器によって補正されデジタルカウンタに記録される。流速計は内蔵したフリーコンパスによって磁北を固定させそれを基準に、流向計は磁北を0°として時計回り1°きざみの値を1秒間隔ごとに検出できる。流向の分解能は±1°であり、流速はプロペラ1回転につき20パルスの信号を発生する。この1秒間のパルス数 N と1秒間の平均流速 V との関係は次の通りになる。流速の測定可能範囲は

* 正会員 前運輸省第二港湾建設局八戸工事事務所長
 ** 正会員 運輸省港湾技術研究所水工部主任研究官
 *** 正会員 工務 運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所

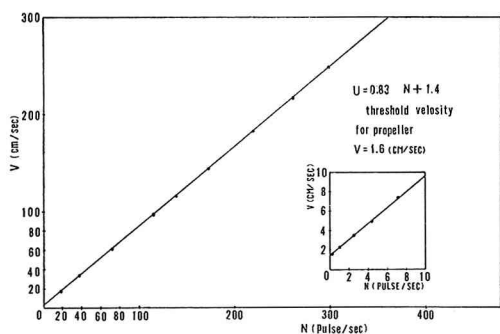


図-2 流速検定図

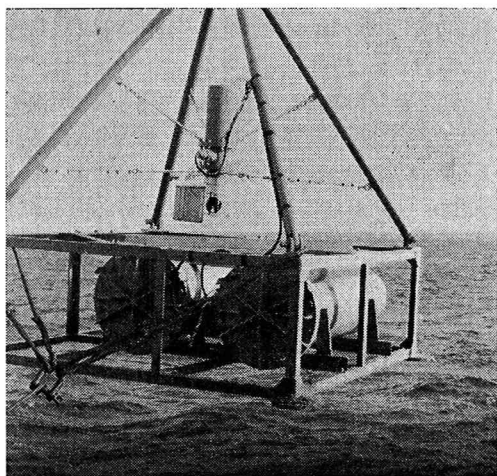


写真-1 流速計

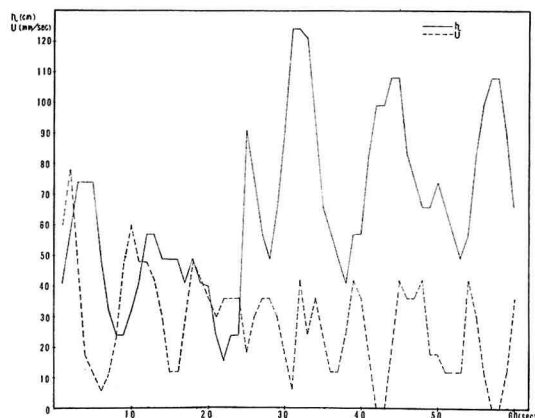
$$2 \text{ cm/sec} \leq V \leq 300 \text{ cm/sec}$$

流速の検定値は

$$V = 0.83N + 1.40 \text{ cm/sec}$$

(3) 観測結果

観測結果の一例を図-3に示す。この記録は水深 50 m

図-3 u, η の時間変化

地点での波浪および流速の連続観測記録である。

3. 解 析

(1) 解析方法

まず、調査海域における海・潮流の特性を把握するために、各測定時間での流速・流向の平均値を海・潮流の流速・流向であるとして、平均流速および平均流向から、流れの東西および南北成分を計算し、それぞれについて 6 日間の観測データをスペクトル解析³⁾する。さらに、スペクトル解析の結果と既往の潮流観測結果とを対比し検討を加える。

次いで、不規則波の水面変動 $\eta(t)$ と海底面付近の水平方向流速変動 $u(t)$ との対応関係について検討する。

初めに、波浪条件の比較的安定した期間を選び、その間の毎偶数時に観測された流速・波浪（同時刻）記録をつなぎ合せて得られるデータおよび流速・波浪（同時刻）20 分間連続観測のデータ 2 組をスペクトル解析し、水面変動（波浪）のパワースペクトル密度 $S_\eta(\omega)$ と流速変動のパワースペクトル密度 $S_u(\omega)$ とを対比させる。

さらに、不規則波の水面変動 $\eta(t)$ と海底面付近の流速変動 $u(t)$ との間に成立する周波数応答関数の理論値と前述 2 組のデータから求めた $S_u(\omega)$, $S_\eta(\omega)$ から計算される実測値とを対比させ、水面変動 $\eta(t)$ と流速変動 $u(t)$ との間の対応関係について検討する。

(2) 周波数応答関数^{4),5)}

不規則波の水面変動 $\eta(x, t)$ は、無数の微小振幅波を重ね合わせた形で表現できるとすると

$$\eta(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(k_n x - \omega_n t + \theta_n) = \sum_{n=1}^{\infty} \eta_n(x, t) \quad \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 $k_n = 2\pi/L_n$, $\omega_n = 2\pi/T_n$, θ_n : 位相角

$$\omega_n^2 = gk_n \tanh k_n h$$

また、微小振幅波理論では、水面変動 $\eta_n(x, t)$ と水面から z 離れた点における水粒子の水平速度 $u_n(x, z, t)$ との間に次式が成立する。

$$u_n(x, z, t) = \left\{ \omega_n \frac{\cosh k_n(h+z)}{\sinh k_n h} \right\} \times a_n \cos(k_n x - \omega_n t + \theta_n) = R_u(\omega_n, z) \eta_n(x, t) \quad \dots \dots \dots (2)$$

$R_u(\omega_n, z)$: 周波数応答関数

z : 鉛直座標 (水面から上为正)

したがって、不規則波の水面変動 $\eta(x, t)$ と水面下 z における水粒子の水平速度 $u(x, z, t)$ との間には

$$u(x, z, t) = \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \omega_n \frac{\cosh k_n(h+z)}{\sinh k_n h} \right\} \times a_n \cos(k_n x - \omega_n t + \theta_n) = \sum_{n=1}^{\infty} R_u(\omega_n, z) \eta_n(x, t) \quad \dots \dots \dots (3)$$

が成立する。

一方、不規則波の成分波の水面変動 $\eta_n(x, t)$ および水粒子速度 $u_n(x, z, t)$ は余弦関数なので、パワースペクトルはそれぞれ

$$\begin{cases} S_\eta(\omega_n) = a_n^2 / f_n \\ S_u(\omega_n) = \left\{ \omega_n \frac{\cosh k_n(h+z)}{\sinh k_n h} \right\}^2 a_n^2 / f_n \end{cases} \dots\dots (4)$$

ただし、 $\omega_n = 2\pi \cdot f_n$

したがって、 $\eta(x, t)$ および $u(x, z, t)$ のパワースペクトル密度 $S_\eta(\omega)$ と $S_u(\omega)$ とが求まっている場合、周波数応答関数は式(4)から

$$R_u(\omega, z) = \sqrt{\frac{S_u(\omega)}{S_\eta(\omega)}} \dots\dots\dots (5)$$

で計算される。

(3) 解析結果および考察

毎正時観測される平均流速の東西成分および南北成分のパワースペクトル密度分布を 図-4 に示す。この図か

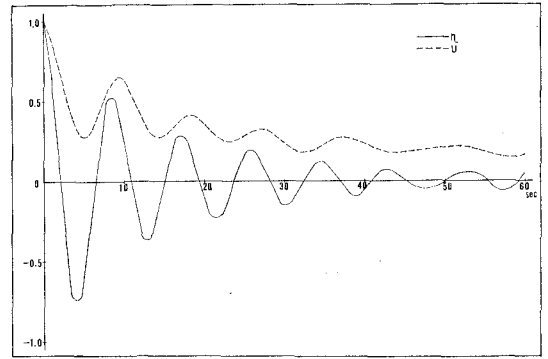


図-5 u, η の自己相関係数

ら、6, 12, 24時間周期付近にピークがあり、日周潮が大きいことがわかる。流速は、南北流が東西流と比べて卓越している。また、24時間以上の長周期域においてもスペクトルが増大しており、恒流成分が大きいことが推察される。前述の小野式流速計を用いた潮流観測の結果と比較してみると、ほぼ一致した傾向を示していることがわかる。

図-5 は、20分間連続観測記録から求めた流速および波の自己相関係数である。両曲線とも8~10秒くらいの周期で規則的な変動をしていることから、卓越周期は8~10秒付近であることがわかる。

図-6 は、図-5 から計算された流速および波のパワースペクトル密度 $S_u(\omega)$ 、 $S_\eta(\omega)$ を示したものである。スペクトル密度の分布形は、両者ともほぼ同様の傾向を示し、比較的良好な対応関係が存在すると思われる。卓越周期は、図-5 から推定された値と同じ8~10秒である。

図-7 は、毎偶数時60秒間の記録をつなぎ合せたデータから求めたパワースペクトル密度 $S_u'(\omega)$ 、 $S_\eta'(\omega)$ を示したものである。図-6 と同様、 $S_u'(\omega)$ と $S_\eta'(\omega)$ との間に良好な対応関係がみられる。しかし、この方法においては、データサンプリングに問題があり、長周期域における値の信頼性は低いと考えるべきである。

図-8 は、図-6 および 図-7 のパワースペクトル密度をもとにして計算された周波数応答関数(実測値)と理論値を表わしたものである。周波数応答関数は、周期6.5sec~16.5secの範囲で実測値と理論値とが良く一致しており、水深50mの地点においても、波運動による海底面付近の流速の概略値を推定することができると考えられる。短周期および長周期域において、周波数応答関数の理論値と実測値との間にずれが生じている。この原因は現在不明であるが、潮流等の波以外の因子による影響ではないかと思われる。

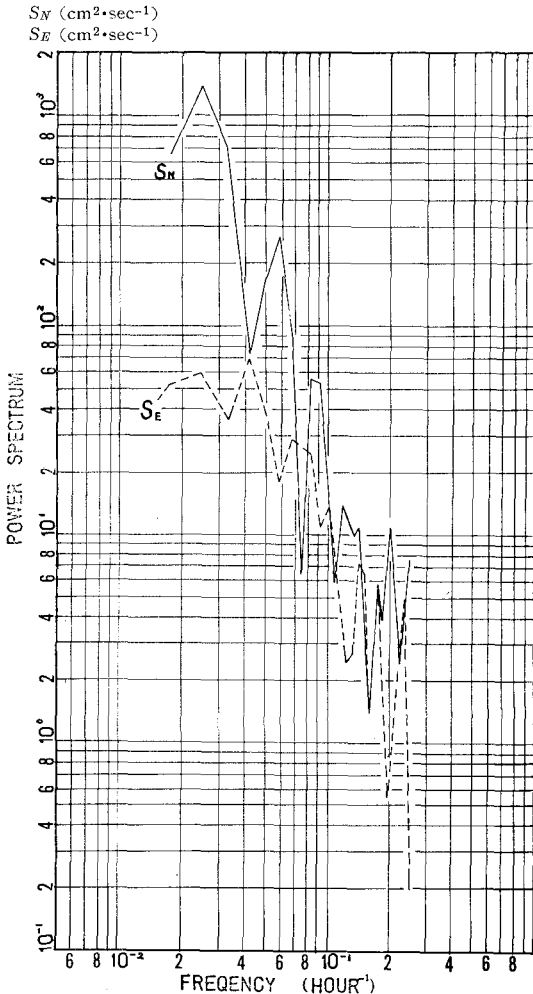


図-4 $\bar{u}_N, \bar{u}_E$ のパワースペクトル

S_η ($\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$)
 S_u ($\text{cm}^2 \cdot \text{sec}^{-1}$)

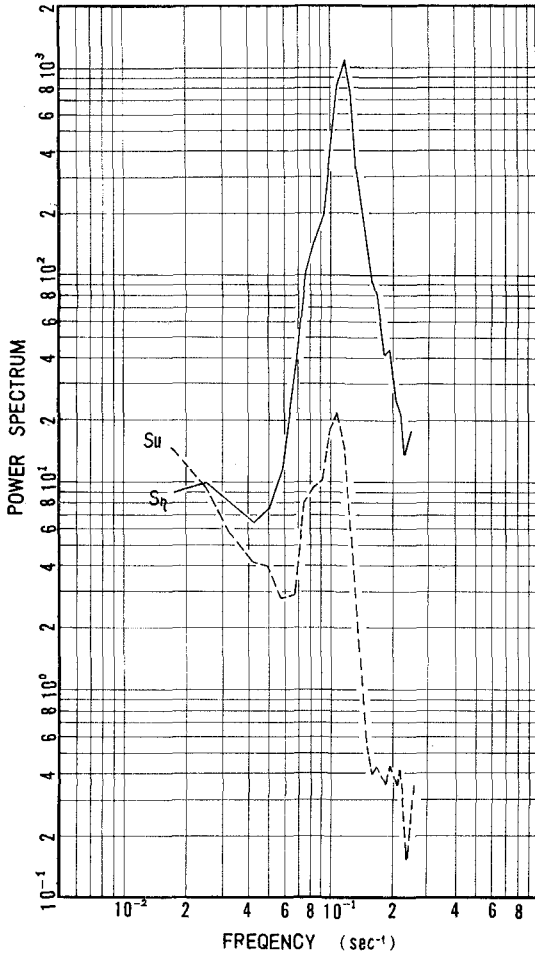


図-6 u, η のパワースペクトル S_u, S_η の分布

S'_η ($\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$)
 S'_u ($\text{cm}^2 \cdot \text{sec}^{-1}$)

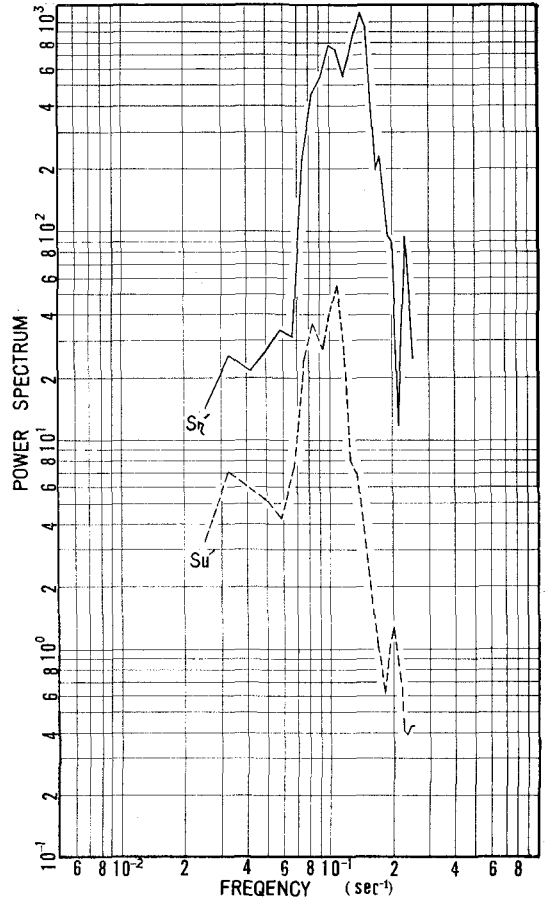


図-7 u, η のパワースペクトル S'_u, S'_η の分布

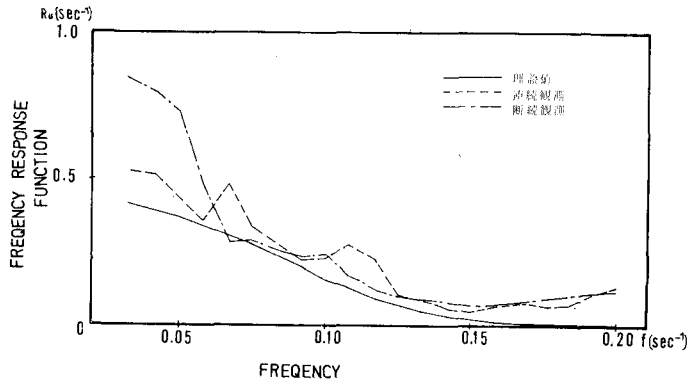


図-8 u と η の周波数応答関数

4. あとがき

小川原湖海岸の水深 50m 地点における海底面付近の流れと波浪の観測結果を解析した結果、波と流れの相関がよく、波浪観測記録から波運動による海底面付近の流

速変動の概略値は推定できることがわかった。また、この海域の潮流は、46年度の小野式流速計による観測結果と同様、日周潮が卓越しているという結果を得た。

今後は、流れによる砂の移動等について現地観測および模型実験によって検討しなければならない。

この調査を実施するに当り、運輸省港湾技術研究所水工部田中漂砂研究室長の御指導をいただいた。ここに感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 運輸省第二港湾建設局：小川原地区漂砂調査報告書(Ⅱ)，1972年3月。
 - 2) 柴山煒彦・須藤 茂：水平全方向流速計の試作について(第1報)，港研報告 Vol. 9, No. 1, 1970.
 - 3) 和田 明：海域汚染の予測手法，第20回海岸工学講演会—海域汚染の調査と予測に関するシンポジウム—，pp. 23~50, 1973年11月
 - 4) Edward B. Thornton and Richad F. Krapohl: Water Particle Velocities Measured Under Ocean Waves, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, Vol. 79, No. 6, pp. 847~852.
 - 5) 岩垣雄一・酒井哲郎・石田 啓：不規則波の水粒子速度と水面変動との相互関係に関する研究，第19回海岸工学講演会論文集，1972，pp. 149~154.
-