

干 潟 上 の 波 浪 流

——電 磁 流 速 計 に よ る 測 定——

大 西 亮 一*

1. 緒 言

干潟は稚エビや稚貝などの生息場所として沿岸漁業に重要な役割を持っているが、近年、そのすぐれた立地条件から干拓や埋立てによって干潟が失われている。このために沿岸漁業への稚子の添加が阻害され、沿岸漁業の不振の一つの原因となっている。そこで、クルマエビを対象として人工的に稚エビの放流場（人工干潟）を造成してクルマエビの増殖をはかる研究が進められている。この場合に波浪は人工干潟の安定や底棲生物の分散および底層物質の拡散に影響を及ぼすと考えられる。特に底面近くの流速が重要となるが干潟上での流速測定は困難であった。これに対して筆者は電磁流速計を試作して底面近くの流速を測定することを試みた。この結果、測定方法と測定結果に興味ある結果を得たのでここに報告する。

本研究は農林省農林水産技術会議の別枠研究の一環として行なっているもので、波高は上北征男氏、トレーサーの分散は飯倉敏弘氏の測定による。また、データ整理には東海大学橋本剛君の協力を得た。中村充室長をはじめとする環境改革グループのメンバーから有益な討議と協力を得た。東工大日野幹雄教授から有益な助言を得た。電磁流速計の製作は北辰電気によった。ここに記して深く感謝の意を表わします。

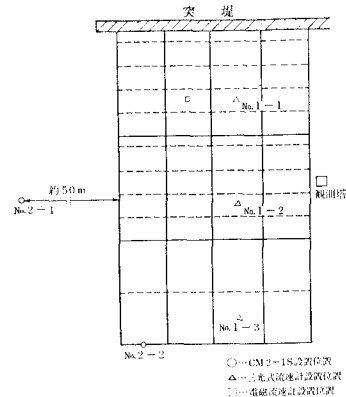
2. 測 定 方 法

(1) 人工干潟上の測定

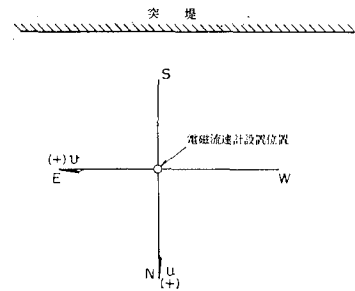
人工干潟は図—1に示すように幅60m、長さ100mで、ここを3段の区画に分割している。表面は約1/100の勾配となるように仕上げた。人工干潟の上段の奥（南側）には突堤があり、波はこの方向から入射するので干潟上では回折波が主体となっている。電磁流速計は上段のほぼ中央に図—3に示すように測定部が砂面に一致するように設置した。流速計のベクトル方向は図—2に示す。波高は各段で測定した。

(2) 室内実験

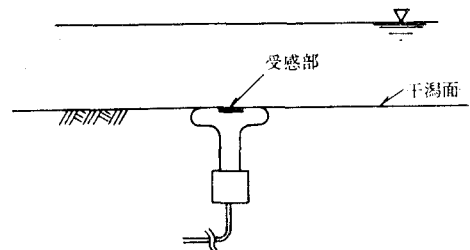
干潟上での測定と比較するために室内実験を行なった。実験水槽は幅60cm、深さ100cm、長さ45mと幅200



図—1 人工干潟における流速計の設置位置



図—2 電磁流速計のベクトル方向

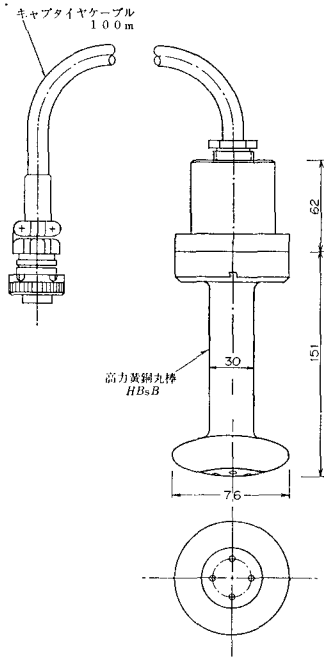


図—3 電磁流速計設置方法

cm、深さ200cm、長さ100mの2本の造波水槽を用いた。波高は超音波波高計と物差しで測定した。

(3) 電磁流速計の検定

電磁流速計は図—4に示すProbeを図—3に示すように設置するためにどの点の流速を測定しているかが問題となる。そこで検定水路でピトー管と対比して流速検定



図—4 電磁流速計の Probe

を行なった。また、磁力線のひずみで流速を測定するので導電体と絶縁体の影響が考えられるので、その影響を0点のずれとして検定した。方向特性については流れの方向と Probe の電極の方向を分度器で測定した。

3. 測定結果

(1) 電磁流速計の特性

この電磁流速計作動原理を示すと、受感部には、断面がE型状をした環状鉄心に励磁コイルを収め、中心磁極と円周磁極との間の水中に均一な放射状の磁界を作り、水面に接して互いに絶縁された2対の電極を取り付けてある。そして、これら2対の電極は磁界内にあって同一円周上に90°の角度をもって配置してある。

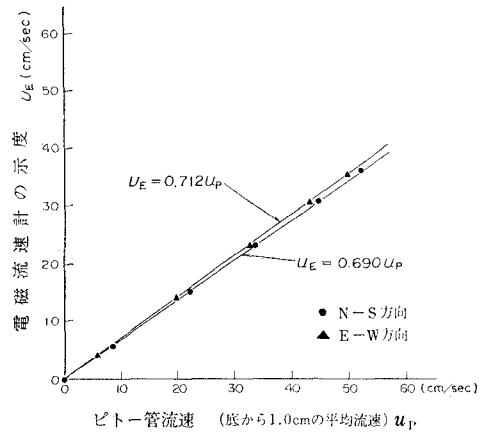
導体と磁界が相対的に運動するとき導体に誘起電圧が発生するというファラデーの法則によりx軸方向からの水流でy軸上の一対の電極にのみ誘起電圧が発生する。またy軸方向からの水流に対してはx軸上の一対の電極のみ誘起電圧が発生する。

いまx軸に対してθなる角度で水流があったとするとそれぞれ電極内に次のような誘起電圧が発生する。

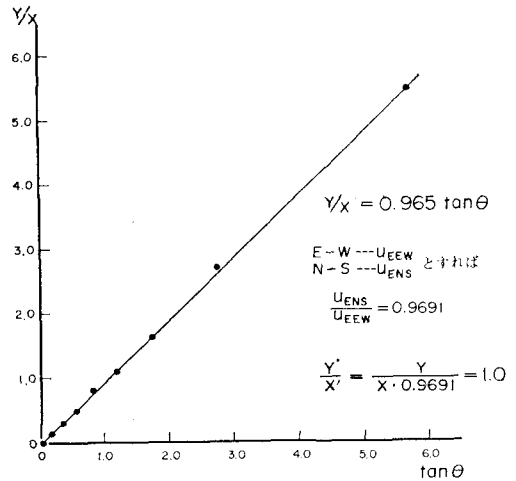
$$\left. \begin{aligned} E_x &= \gamma \cdot \beta \cdot V \cos \theta \times 10^{-8} \\ E_y &= \gamma \cdot \beta \cdot V \sin \theta \times 10^{-8} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ここに E_x, E_y : x, y 方向の流れに対する誘起電圧 (volt), γ : 電極間の距離 (cm), β : 磁束密度 (gauss), V : 流速 (m/sec) である。

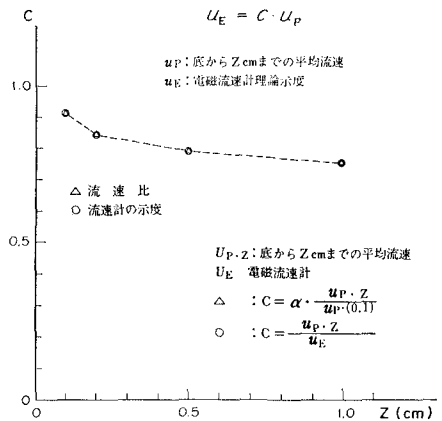
このため、この流速計は流速に対して直線性と方向性がある。検定水路を用いて測定した結果を図—5と図—6



図—5 電磁流速計の検定曲線

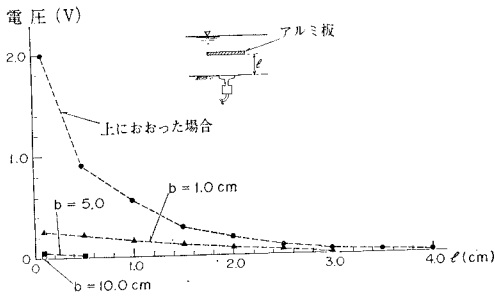


図—6 電磁流速計の方向特性

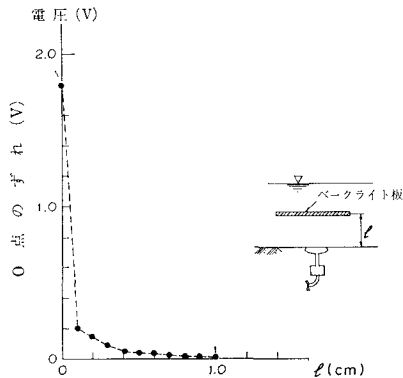


図—7 電磁流速計の流速特性

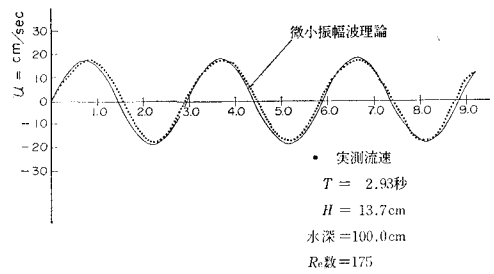
に示す。図—5におけるピトー管流速は底(電磁流速計の面と一致している)から1cmの平均流速である。ピトー管は内径1mmを用いて、底から1mm間隔に測定した。この結果x方向とy方向に示度の違いがある。



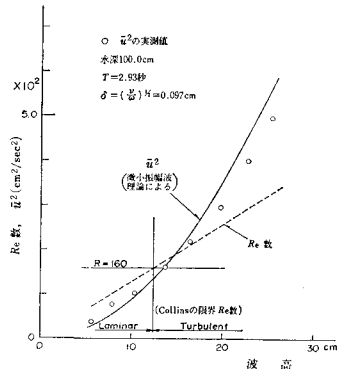
図—8 電磁流速計に対する電導体の影響



図—9 電磁流速計に対する絶縁体の影響



図—10 実験水槽における測定例



図—11 実験水槽における流速の2乗平均の実測値

図—6において $Y/X=0.965 \tan \theta$ となっているのは x 方向と y 方向の示度の違いによるもので、この量を補正すれば方向性は $Y'/X'=1.0$ となる。

次に、電磁流速計の流速特性は底から z cm までの平均流速に対する割合で示したのが図—7である。また、電導体の影響を図—8に、絶縁体の影響を図—9に示す。以上の結果から底からごく近い点の流速を測定しているものと考えられる。

(2) 波浪流の測定

電磁流速計による波の底面付近の流速の測定例を図—10に示す。図—10に示す理論値は微小振幅波理論によって波高から計算したものである。

次に波浪流は時間的に変化するので2乗平均でそのオーダーを考える。まず微小振幅波理論によって

$$u = \frac{\pi H}{T \sinh kh} \cos(kx - \omega t) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\begin{aligned} \bar{u}^2 &= \frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt \\ &= \frac{1}{2} \left(\frac{\pi H}{T \sinh kh} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

となる。ここに、 H : 波高、 $k = \frac{2\pi}{L}$ 、 $\omega = \frac{2\pi}{T}$ 、 L : 波長、 T : 周期、 h : 水深、 g : 重力加速度 ($=980 \text{ cm/sec}^2$) である。

いま、実験水槽での記録の一例を図—11に示す。この結果から実測値と理論値が良い一致を示す。

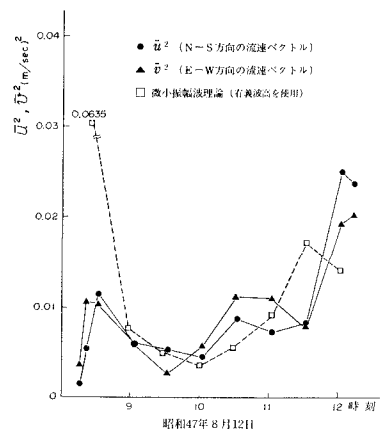
次に現地データーについてみると流速はベクトルの合成方向と考えられるので

$$s = \sqrt{u^2 + v^2} \quad \dots\dots\dots (4)$$

で示される。

$$\bar{s}^2 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T (u^2 + v^2) dt = \bar{u}^2 + \bar{v}^2 \quad \dots\dots\dots (5)$$

となる。図—12に $\bar{u}^2$ 、 $\bar{v}^2$ の実測値と有義波高から微小振幅波理論によって求めた結果を示す。図—12において、8時30分の値に大きな違いがあるのは、干潟上の水深が小さいために微小振幅波理論では議論できないものとする。また式 (5) から波のエネルギーは $\bar{u}^2$ と $\bar{v}^2$



図—12 人工干潟上流速の2乗平均の時間変化

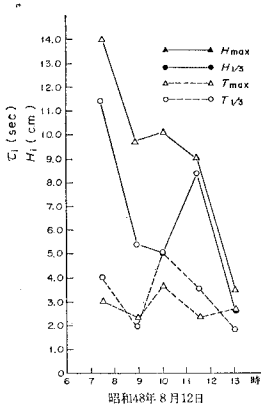


図-13 人工干潟上の波

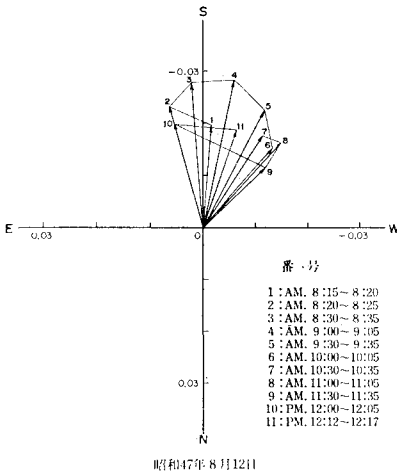


図-14 人工干潟上の平均流速ベクトルの時間変化 (1潮観測)

の和となるのに対して低くなっている。干潟上の波は図-13に示す。

次に J. I. Collins²⁾ は波の底面近くの質量輸送をトレーサーを用いて測定し、その結果を層流境界層理論によって説明している。筆者は、波の質量輸送を平均流速で定義すれば、

$$\begin{aligned} \bar{u} &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T u dt \\ \bar{v} &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T v dt \end{aligned} \quad (6)$$

となる。合力を

$$S = \sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2} \quad (7)$$

とすれば、 $\bar{S}$ のベクトル方向は図-14となる。この結果は別途測定したトレーサーの分散方向、および砂の移動方向と一致する。

次に J. I. Collins²⁾ に従って波の底面における質量輸送を境界層理論で考えると基礎式は、

$$\frac{\partial u}{\partial t} - \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{\partial u_\infty}{\partial t} \quad (8)$$

$$u_\infty = v_0 \cos(kx - \omega t) \quad (9)$$

$$v_0 = \frac{\pi H}{T \sinh kd} \quad (10)$$

となる。式(8)を $z=0$ において $u=0, w=0$ で解けば

$$u = v_0 \left[\cos(kx - \omega t) - e^{-z/\delta} \cos\left(kx - \omega t - \frac{z}{\delta}\right) \right] \quad (11)$$

となる、ここに $\delta = \left(\frac{\nu T}{\pi}\right)^{1/2}$ 、 ν : 水の動粘性係数である。式(11)の時間平均は0となるが、物質の移動を考えた質量輸送は particle の移動としてとらえなければならない。その場合は、式(11)の時間平均は0とならない。

いま、Longuet-Higgins の境界層における固定点の質量輸送を示すと

$$U_{x1z\infty} = \frac{3H^2 \cdot \omega \cdot k}{16 \cdot \sinh^2 kd} \quad (12)$$

となる。このための移動点では

$$U_B = \frac{5}{16} \frac{H^2 \cdot \omega \cdot k}{\sinh^2 kd} \quad (13)$$

となる。式(13)は

$$U_B = \frac{5\pi^2}{4 \cdot L \cdot T} \left(\frac{H}{\sinh kd} \right)^2 \quad (14)$$

となる。ここで

$$U_B \cdot L \sim \frac{H}{\sqrt{T} \cdot \sinh kd} \quad (15)$$

でグラフ化すれば図-15となる。図-15において実験Aは水深50cm、Bは100cmでの値である。この結果から Collins の実測値よりわずかに小さい質量輸送を示す。すなわち式(12)と式(13)の違いが考えられる。

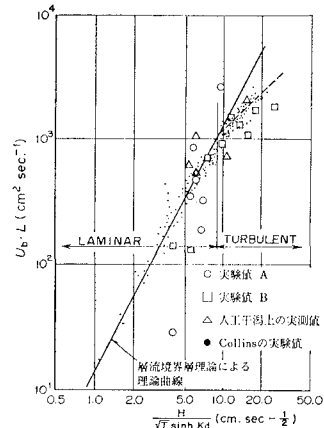


図-15 波動運動による水底の質量輸送と Collins の実験値の比較

4. 考 察

海底面における波浪流速を電磁流速計によって測定した。この結果は現地データーとしては1潮観測のデーターであり境界層理論で説明できる。一方、干潟上の波は水深が小さく、変形過程にあるので、当然、Stokesの示した質量輸送が存在すると考えられるが、データーを整理した結果からは明確ではなかった。次に問題となるのは電磁流速計の安定性である。すなわち、時間平均を取るのにドリフトがあれば議論できない。しかし、電磁流速計は海において、1潮汐に0点検定をしたがずれはほとんどなかった。実験水槽ではゴミの影響があるが測定時間内では問題ないを考える。特に海水のように電気の良導体では安定である。このため、平均流速は信頼できるものとする。

次に、干潟上では風や潮汐の影響が考えられる。ここで示した昭和47年8月12日は風が小さく、その影響は考えなくともよいであろう。潮汐は同時にCM-2S型流速計で干潟の周辺で測定した結果と、また、表面のゴミの移動から突堤に平行な流れが観測できた。しかし干潟上の水深は小さく、底面ではその影響は無視できる。また、図-14に示す平均流速のベクトル方向は波向とも一致するので、波による流れと考えられる。

次に電磁流速計の測定する範囲であるが不明な点が多

い。しかし図-7～図-9の結果から底面の極近傍の流速と考えられる。次にノイズの問題が考えられるが乱れの少ないオリフィス後流のポテンシャルコア内では乱れは観測されなかったので、測定機のノイズは考えなくてよいであろう。

5. 結 論

本報告は電磁流速計により干潟上の波浪流の測定方法と結果について述べた。その結果を要約すると次の3点となる。

- ① 底面近くの流れを測定するには電磁流速計が有効である。
- ② 波の底面近くの質量輸送は境界層理論で議論できる。
- ③ 波の底面近くの平均流速のベクトル方向は、電磁流速計によって測定できる。その結果は、トレーサーの分散、漂砂の移動方向と一致する。

参 考 文 献

- 1) 備後灘周辺漁場開発プロジェクトチーム (1973): 浅海域における増養殖漁場の開発に関する総合研究 (備後灘周辺実験漁場)。
- 2) J.I. Collins (1963): Inception of turbulence at the bed under periodic gravity waves, J. G. R. Vol. 68, No. 21.