干ガタ上の波浪流

誌名	農業土木試験場技報. B, 水理
ISSN	05495679
著者名	大西,亮一 中村,充
発行元	農林省農業土木試験場
巻/号	34号
掲載ページ	p. 99-104
発行年月	1974年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat

干ガタ上の波浪流

——電磁流速計による測定——

大西亮一* 中村 充**

目 次

Ⅰ 緒 言…… 99
Ⅱ 測定方法…… 99
1．人工干ガタ上の測定…… 99
2．室内実験…… 100
3．電磁流速計の検定…… 100
Ⅲ 測定結果…… 100
1．電磁流速計の特性…… 100
2．波浪流の測定…… 102
Ⅳ 考 察…… 104
Ⅴ 結 言…… 104
参考文献…… 104

Ⅰ 緒 言

干ガタ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果たしているが，近年，干拓や埋立てによって，次第に失なわれつつある。

この干ガタの減少によって沿岸魚類への稚仔の補給は阻害され，これが沿岸漁業の不振の一つの原因ともなっている。そこで現在，クルマエビを対象として人工的に稚エビの放流場（人工干ガタ）を造成し，クルマエビの増殖をはかる研究が進められている。[1)] この場合に，波浪は人工干ガタの安定や，底棲生物の分散および底層物質の拡散に影響を及ぼすものと考えられる。

この場合特に底面近くの流速が重要となるが，水深の浅い干ガタ上での流速測定は，従来，非常に困難であった。これに対して筆者ら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。その測定方法と測定結果について報告する。

本研究は農林省農林水産技術会議の別わく研究（浅海域における増養殖漁場の開発に関する総合研究）の一環として行なっているものであり，波高は上北征男技官，トレーサーの分散は飯倉敏弘技官の測定によった。また波の質量輸送に対しては，東工大日野幹雄教授から有益な助言をいただいた。ここに記して深く感謝の意を表したい。

Ⅱ 測 定 方 法

1．人工干ガタ上の測定

干ガタはFig. 1に示すとおり幅60m，長さ100mで，これを3段の区画に分割している。そして表面は約1/100

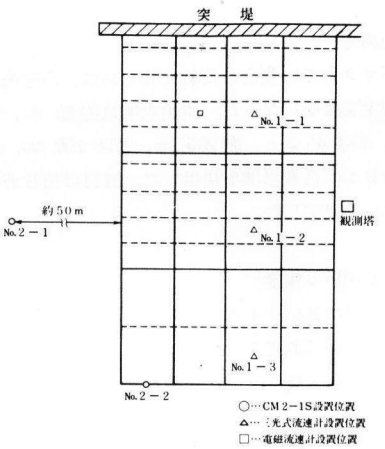

Fig. 1．人工干ガタ上における流速計の設置位置

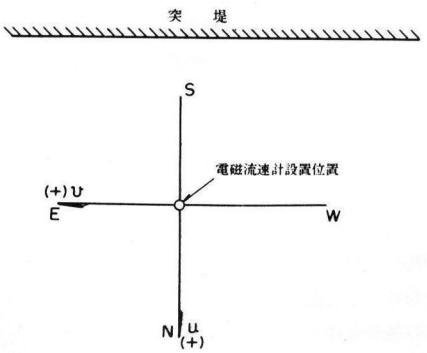

Fig. 2．電磁流速計のベクトル方向

* 水理第4研究室
** 水産土木第3研究室

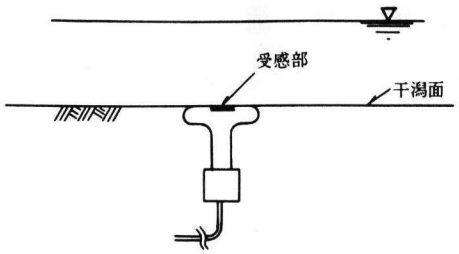

Fig. 3．電磁流速計設置方法

のコウ配となるように仕上げた。人工干ガタの上段の奥（南側）には突堤があり波はこの方向から入射するので，干ガタ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，Fig. 3に示すとおり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をFig. 2に示す。波高は各段で測定した。

2．室内実験

人工干ガタ上での測定と比較するために，電磁流速計の室内測定実験を行なった。実験水槽は幅 60 cm，深さ 100 cm，長さ 45 mと，幅 200 cm，深さ 200 cm，長さ 100 mの2本の造波水槽を使用した。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Fig. 4に示すProbeを，Fig. 3に示すように底面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た流速検定を行なった。また，磁力線のヒズミを利用して流速を測定するものであるから，測定箇所の付近に電導体がある場合，流速計への影響が考えられる。また，水面や砂粒など絶縁体の影響も考えられるので，その影響をゼロ点のずれとして検定した（Fig.8,Fig.9参照）。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。

Ⅲ 測 定 結 果

1．電磁流速計の特性

この電磁流速計の作動原理は次のようである。すなわち，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た。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た。

導体と磁界が相対的に運動するとき，導体に誘起電圧

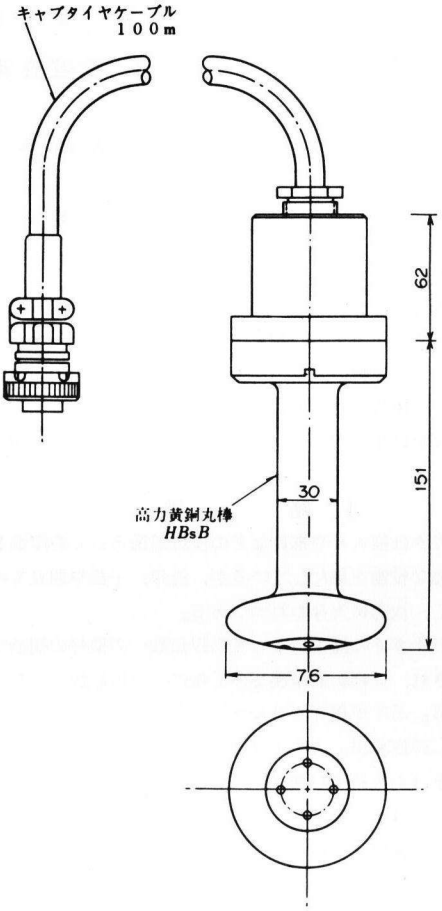

Fig. 4．電磁流速計のProbe

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1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1対の電極に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。

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

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）

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Fig.5，Fig. 6に示す。Fig. 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のところの平均流速である。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。Fig. 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を底からZ cmまでの平均流速に対する割合で示したのがFig. 7である。また，電導体の影響をFig. 8に，絶縁体の影響をFig. 9に示す。Fig. 8に示したbは電極と電導体の外縁との距離である。これは近くに電導体がある場合の影響を示しているが，上に電導体がある場合に比べて著しく影響が少くなっている。一方絶縁体の影響は水面の影響範囲すなわち測定可能水深をも示しているといえる。以上の結果から電磁流速計は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。

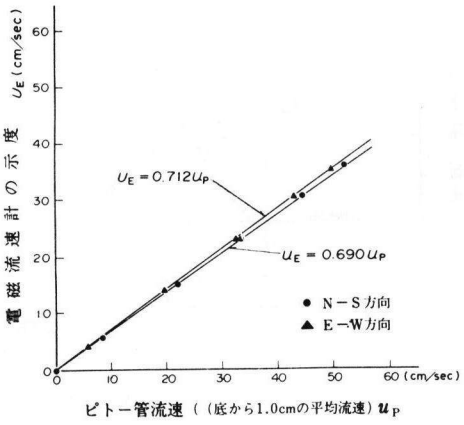

Fig. 5．電磁流速計の検定曲線

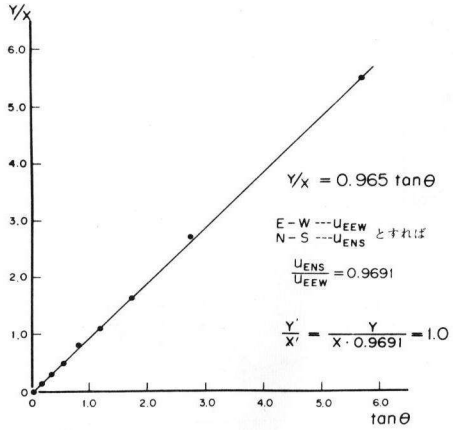

Fig. 6．電磁流速計の方向特性

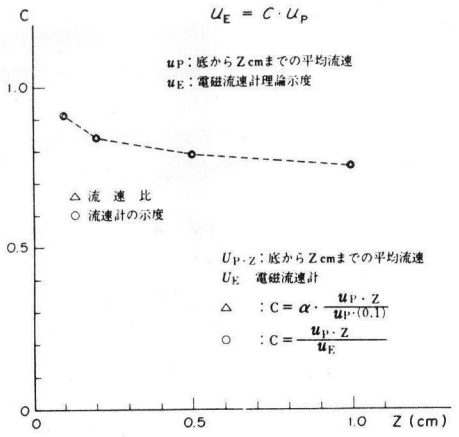

Fig. 7．電磁流速計の流速特性

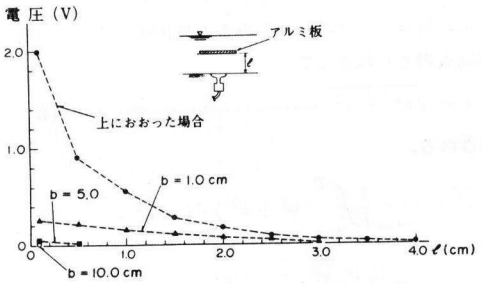

Fig. 8．電磁流速計に対する電導体の影響

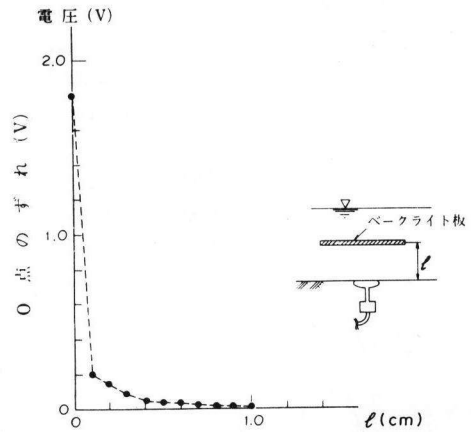

Fig. 9．電磁流速計に対する絶縁体の影響

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Fig. 10 に示す。この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れば

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

$$\overline{u^2} = \frac{1}{T}\int_0^T u^2 dt = \frac{1}{2}\left(\frac{\pi H}{T \sinh kh}\right)^2 \quad \cdots\cdots(3)$$

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 cm/sec²）である。

いま，実験水槽での記録の一例をFig.11に示す。この結果によれば実測値と理論値はよい一致を示す。

次に，現地データ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

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

で示される。

$$\overline{s^2} = \lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}\int_0^T (u^2 + v^2)\,dt = \overline{u^2} + \overline{v^2} \quad \cdots(5)$$

となる。Fig.12 に $\overline{u^2}$，$\overline{v^2}$ 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 $\overline{s^2}$ の結果を示す。Fig.12 において，8時30分の値に大きな違いがあるのは干ガタ上の水深が小さいために，微小振幅波理論では論議できない状態にあるためと考えられる。また(5)式から波のエネルギーは $\overline{u^2}$ と $\overline{v^2}$ の和となるのに対して計算値が低くなっている。次に干ガタ上の波の測定結果をFig.13に示す。

次に，J. I. Collins[2]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。しかしながら筆者らは，波の質量輸送を平均流速で定義すれば x，y 方向について

$$\left.\begin{aligned}\overline{u} &= \lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}\int_0^T u\,dt \\ \overline{v} &= \lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}\int_0^T v\,dt\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(6)$$

となる。流速（合成ベクトル）を

$$s = \sqrt{u^2 + v^2} \quad \cdots\cdots(7)$$

とすれば，s の方向はFig.14に示すとおりとなる。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

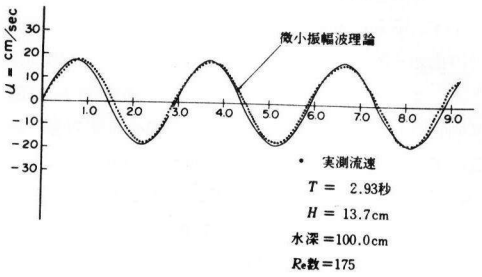

Fig. 10．実験水槽における測定例

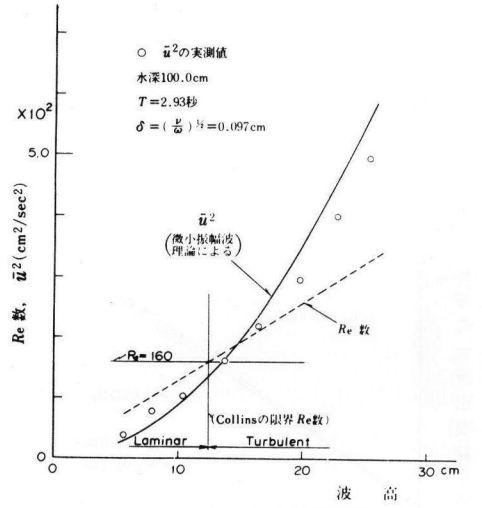

Fig. 11．実験水槽における流速の2乗平均の実測値

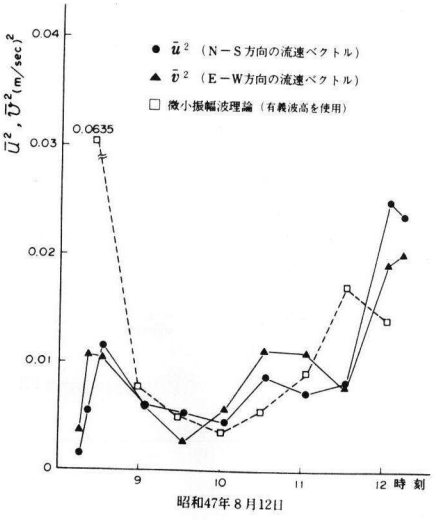

Fig. 12．人工干ガタ上の流速の2乗平均の時間変化

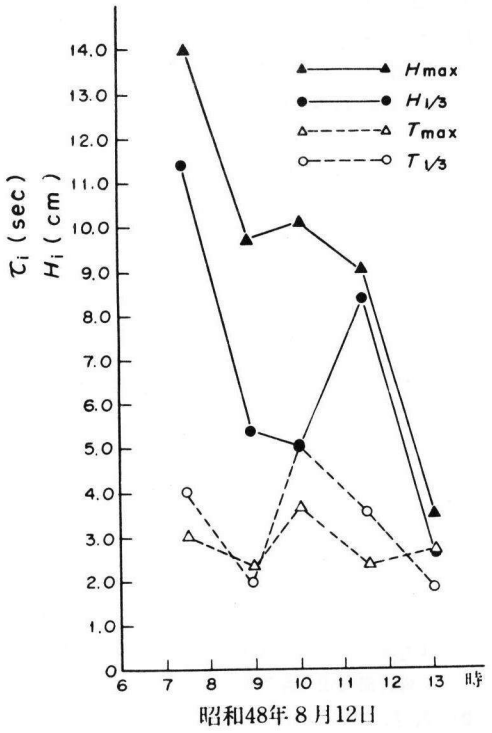

Fig. 13. 人工干ガタの波

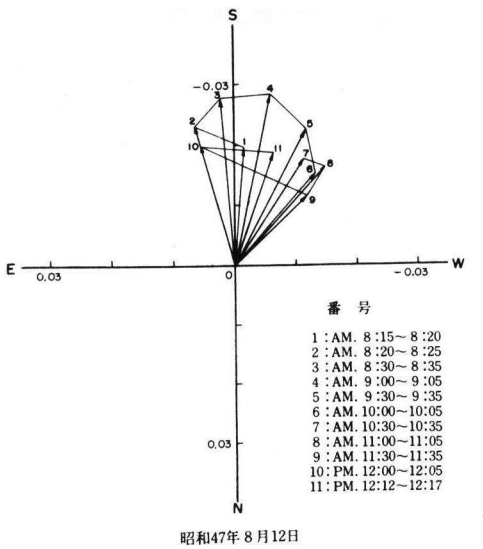

Fig. 14. 人工干ガタ上の平均流速ベクトルの時間変化 （1潮観測）

の移動方向と一致する。

次にJ. I. Collins[2]にしたが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

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

となる。ここに

$$u_\infty=V_0\cos(kx-\omega t) \quad \cdots\cdots(9)$$

$$V_0=\frac{\pi H}{T\sinh kd} \quad \cdots\cdots(10)$$

となる。(8)式を　$z=0$ において $u=0$，$w=0$ として解けば

$$u=V_0\left[\cos(kx-\omega t)-e^{-z/\delta}\cos\left(kx-\omega t-\frac{z}{\delta}\right)\right] \quad \cdots\cdots(11)$$

となる。ここに $\delta=\left(\frac{\nu T}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}}$，$\nu$：水の動粘性係数である。(11)式の時間平均はゼロとなるが，物質の移動を考えた質量輸送は，Particleの移動として捕えなければならない。その場合は，(11)式の時間平均はゼロとはならない。

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

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

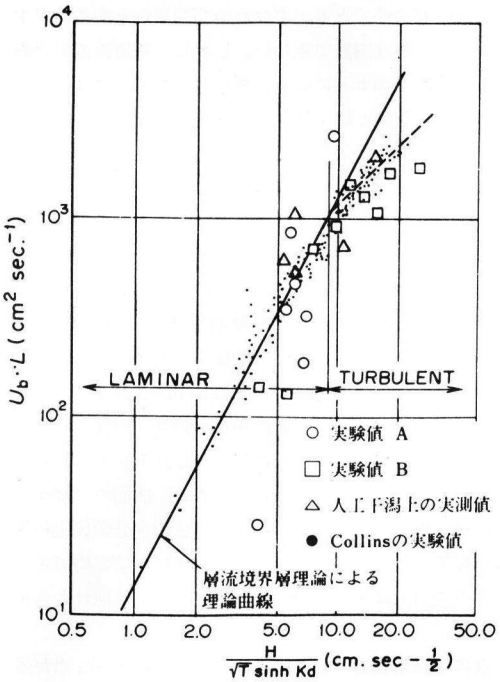

Fig. 15. 波動運動による水底の質量輸送とCollinsの実験値の比較

となる。これを移動点で考えれば

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

となる。(13)式は

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

となる。ここで

$$U_B \cdot L \ \sim\ \frac{H}{\sqrt{T} \cdot \sinh\ kd}$$

の関係でグラフ化すればFig.15に示すとおりとなる。Fig.15において実験値Aは水深50 cm，Bは100 cmでの値である。この結果は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(12)式と(13)式の違いが考えられる。

Ⅳ 考　　察

人工干ガタの海底面における波浪流々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としては1潮観測のデータであり境界層理論で説明できる。一方，干ガタ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，データからは明確でなかった。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で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潮セキにゼロ点検定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ので海ほど安定ではないが，測定時間内では問題ない。この結果から特に海水のような電気の良導体では安定であるといえる。測定結果の平均流速はドリフトが無視できるので信頼できるものと考える。

次に，干ガタ上では風や潮セキの影響が考えられる。しかしながらここに示した昭和47年8月12日(実測日)は風が小さく，その影響は考えなくてもよいと思われる。潮セキについては同時にCM－2S型流速計で干ガタの周辺で測定した結果と，また海水面のゴミの移動から突堤に平行な流れも観測できた。しかし，トレーサーの分散から干ガタ上の水深は小さいために，底面では潮セキの影響は無視できる。このために電磁流速計の測定結果は信頼できると考える。またFig.14に示す平均流速のベクトル方向は波向と一致するので波による流れと考えられる。

次に電磁流速計により測定される範囲は不明な点が多い。しかしFig. 7～Fig. 9の結果からみて底面のごく近傍の流速が測定されるものと考えられる。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ー内では乱れは観測されなかったので，測定器のノイズは考えなくてよいであろう。本器の応答速度は約10 H_zと考えられている。

Ⅴ 結　　言

本報告は，電磁流速計による干ガタ上の波浪流の測定方法およびその測定結果について述べたものである。その成果を要約すると次の3点となる。

① 干ガタ底面近くの流れを測定するために，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説明できる。

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，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