

II-11 不規則波の水位変動と流速成分の関係について

北見工業大学工学部

正員 佐藤 幸雄

北見工業大学工学部

正員 鰐目 淑範

I. まえがき

海の波に関する種々の水理量すなわち水位、流速および圧力などについて、実際に現地観測を遂行しようとする、普通は多くの困難を伴う場合が多い。その中でも特に流速値の測定についてはその流速分布形を求めるとなると、測定数も多く、他の水位、圧力測定に比し、はるかに難しいと云える。このような理由から、比較的測定が容易な水位変動の測定値を用いて、流速成分、および流速分布形の推定が可能になれば非常に有効であると考えられ、今までにも多くの研究が行われて来ている。

本研究も以上のような趣旨に基づき、不規則波を用いた実験を行ない、水位変動と流速分布との関係を調べた結果として、今回は水平方向流速成分のみについて取り扱ったが、流速成分ならびに分布形が微小振幅波の伝達関数を介して、水位変動と関係が深いという二、三の結論を得たので以下に報告する。

II. 流速計検定式による流速値の算出方法

流速測定には実験室用小型電磁流速計（アレック電子製）を使用した。また、流速計の検定方法は流速計を取り付けたトロコ台車を一定速度で走らせた場合の定常検定と、種々の周期で台車を往復運動させる非定常検定の2通りを行った。それぞれの場合の流速計検定式については、

定常検定の場合； $u_0 = \alpha_0 E$ ， 非定常検定の場合； $u = \alpha E$ が得られる。

u_0, u は水平方向換算流速、 E は出力（ボルト）、 α_0, α をそれぞれの直線の勾配（定数）とすると、

$$u = (\alpha / \alpha_0) \cdot u_0 = \gamma \cdot u_0 \quad \text{となる。} \quad \text{ここで} \quad \gamma = \alpha / \alpha_0$$

つぎに、種々の周期を用いた非定常検定の検定曲線より、 γ の測定値を求めて図に示すと、図-1のように、非定常検定の場合は周期の変化により、 γ の値すなわち α の値が変化することが分かる。

したがって、 $u = \gamma(T) \cdot u_0 = \gamma(f) \cdot u_0$ とおける。（ T ：周期， $f=1/T$ ：周波数）

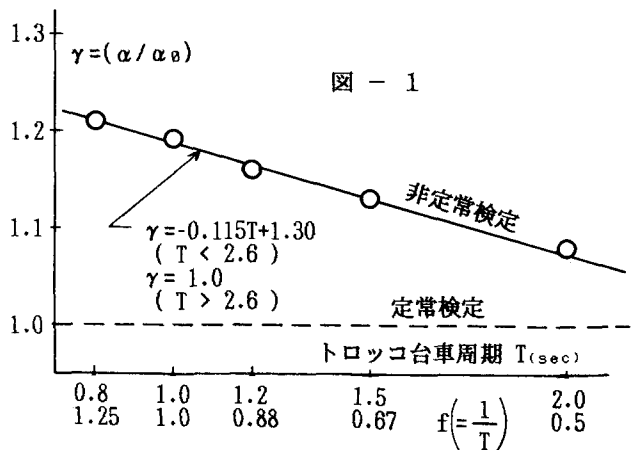
また、図より γ の値は周期 T が短くなる程定常検定との間に差異が生じ、反対に $T=2.6\text{sec}$ 以上になるとほぼ定常検定と同じ値となっている。

一方、不規則波においては、水面変動に追従して発生する流速成分も当然、種々の周期が含まれている。このような場合、不規則波の一波一波にそれぞれの周期に対応した検定式を使用して、流速値の換算を行うことは非常に複雑となるため、次のような方法を用いることとした。

いま、流速成分記録を、周期に無関係な定常検定式により流速値の換算を行うものとする、フーリエ積分は、

$$u_0(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X_0(f) \cdot e^{i2\pi f t} df$$

となる。また、フーリエ変換は



Relation between Water Level Variation and Velocity Component of Random Gravity Waves
by Yukio SATOH and Yoshinori YONOME

$$X_0(f) = \int_{-\infty}^{\infty} u_0(t) \cdot e^{-i2\pi f t} dt$$

である。

したがって、周期性を考慮した非定常検定による換算流速の場合は、

$$u(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f) \cdot e^{i2\pi f t} df$$

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) \cdot e^{-i2\pi f t} dt = \int_{-\infty}^{\infty} \gamma(f) \cdot u_0(t) \cdot e^{-i2\pi f t} dt$$

$$= \gamma(f) \cdot X_0(f)$$

水平方向流速成分のパワースペクトル $\hat{u}$ は

$$\hat{u} = |X(f)|^2 = \gamma^2(f) |X_0(f)|^2$$

となる。したがって、水平流速成分のパワースペクトル $\hat{u}$ は、定常検定式を用いて求めたパワースペクトルを各周波数毎に $\gamma^2(f)$ 倍することにより求められる。

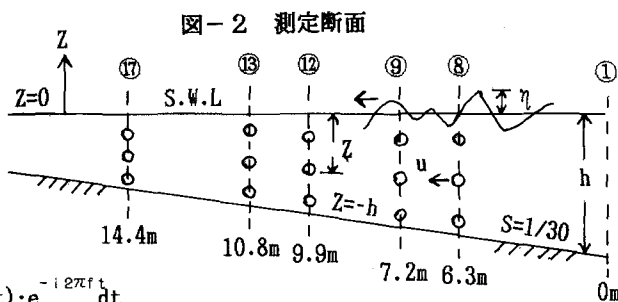


表-1 実験諸元

Ⅲ. 実験方法ならびに実験結果

北電技術研究所二次元造波水槽（長さ30m, 幅1.0m, 深さ1.0m）に、底勾配 $s=1/30$ の斜面を設置した。水位ならびに流速の測定断面と、各断面における流速測定点（水深方向）は図-2に示すように碎波点より沖側に設定した。

また、実験に使用した不規則波は水位変動に関してBretshneider型のスペクトル形を与える三種類の波を用いた。実験諸元は表-1に示す通りであり、測定記録時間は3.5分（210 sec）とした。

つぎに、微小振幅波理論による水位 η と水平方向流速成分 u の式はそれぞれ、

$$\eta = \frac{H}{2} \cdot \cos(kx - \sigma t) ; k = 2\pi/L, \sigma = 2\pi/T$$

$$u = \frac{\pi H}{T} \cdot \frac{\cosh k(h+z)}{\sinh kh} \cos(kx - \sigma t)$$

上式より、

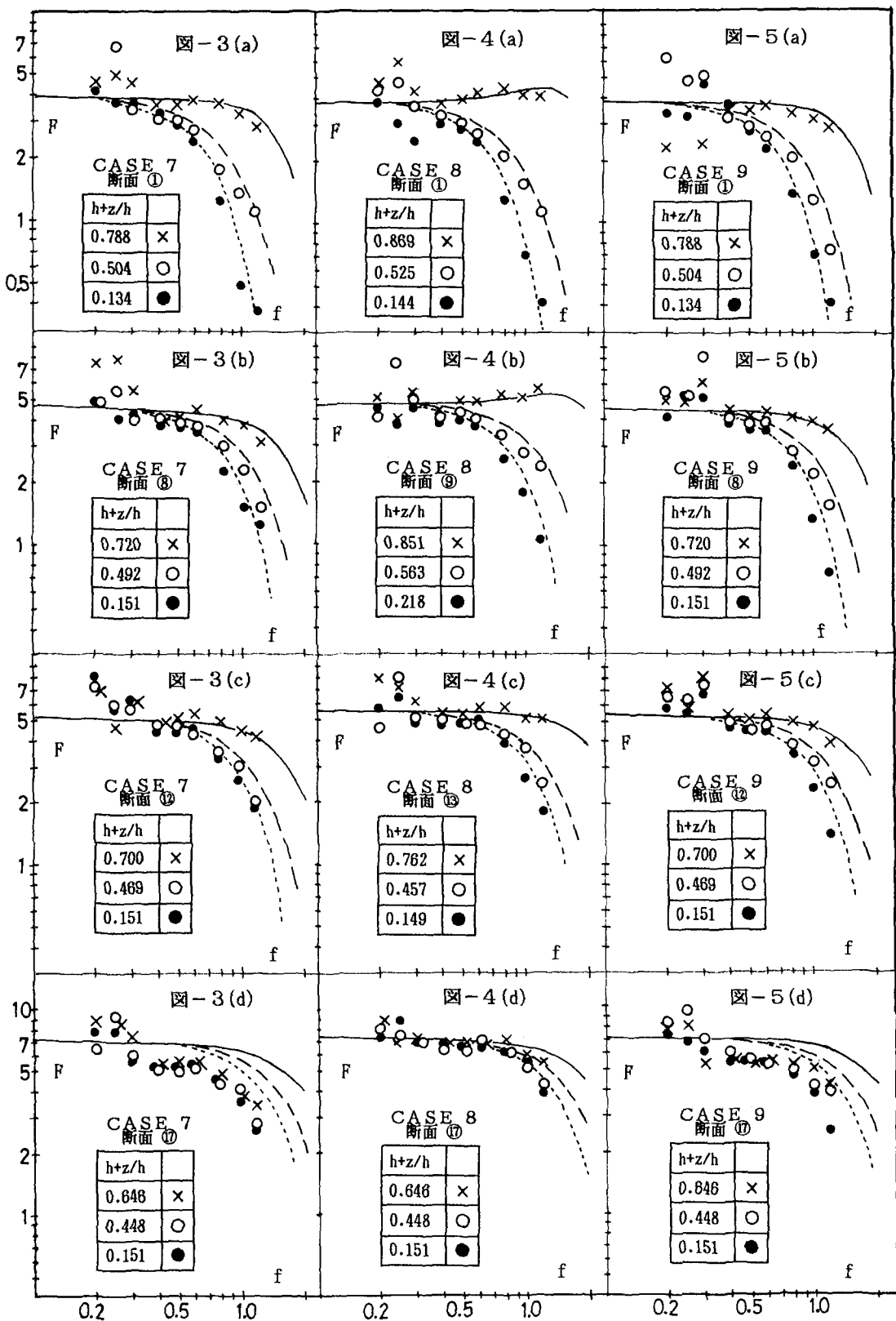
$$u = \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{\cosh k(h+z)}{\sinh kh} \cdot \eta \quad \dots\dots\dots (1)$$

また、流速と水位のパワースペクトル $\hat{u}$, $\hat{\eta}$ を用いて一般に、 $\hat{u} = G \cdot \hat{\eta}$ とおくと、 G は伝達関数であり、式(1)より

$$F = 2\pi f \frac{\cosh k(h+z)}{\sinh kh} \quad \dots\dots\dots (2) \text{ とすると、}$$

$$\sqrt{\hat{u} / \hat{\eta}} = F(f, z, h) \quad \dots\dots\dots (3) \text{ を得る。}$$

実験 CASE	設 定 波			測定 断面	断面 水深 h cm	流速 測点 z cm	h+z — h
	有義周期 $T_{1/3}$ sec	有義波高 $H_{1/3}$ cm	波形勾配				
7	1.80	13.7	0.04	1	67.0	-58.0 -33.2 -14.2	0.134 0.504 0.788
				8	46.5	-39.5 -23.6 -13.0	0.151 0.492 0.720
				12	35.0	-29.7 -18.6 -10.5	0.151 0.469 0.700
				17	19.2	-18.3 -10.6 -6.8	0.151 0.448 0.646
				1	67.0	-57.3 -31.8 -8.8	0.144 0.525 0.869
				9	43.5	-34.0 -19.0 -6.5	0.218 0.563 0.851
				13	31.5	-26.8 -17.1 -7.5	0.149 0.457 0.762
				17	19.2	-18.3 -10.6 -6.8	0.151 0.448 0.646
8	1.60	6.9	0.02	1	67.0	-58.0 -33.2 -14.2	0.134 0.504 0.788
				8	46.5	-39.5 -23.6 -13.0	0.151 0.492 0.720
				12	35.0	-29.7 -18.6 -10.5	0.151 0.469 0.700
				17	19.2	-18.3 -10.6 -6.8	0.151 0.448 0.646
				1	67.0	-58.0 -33.2 -14.2	0.134 0.504 0.788
				8	46.5	-39.5 -23.6 -13.0	0.151 0.492 0.720
				12	35.0	-29.7 -18.6 -10.5	0.151 0.469 0.700
				17	19.2	-18.3 -10.6 -6.8	0.151 0.448 0.646
9	1.04	11.2	0.04	1	67.0	-58.0 -33.2 -14.2	0.134 0.504 0.788
				8	46.5	-39.5 -23.6 -13.0	0.151 0.492 0.720
				12	35.0	-29.7 -18.6 -10.5	0.151 0.469 0.700
				17	19.2	-18.3 -10.6 -6.8	0.151 0.448 0.646



それぞれの断面において、同時に測定した水位 η と水平流速成分 u について、パワースペクトル $\hat{u}$, $\hat{\eta}$ を求めた。この場合の処理に用いたサンプリング点数は $N=2048$ 個とした。

測定値を整理した結果は、まず、それぞれの実験波 (CASE-7,8,9) について水深方向流速計位置 Z の値の変化ならびに断面変化 (水深 h の変化) に伴う伝達関数 F の値について検討するため、測定値より $\sqrt{\hat{u} / \hat{\eta}}$ の値を求め、微小振幅波理論の式(2)と比較して見ることとした。

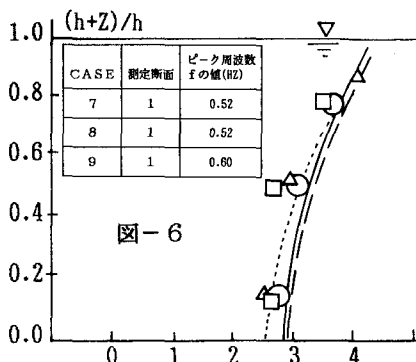


図-6

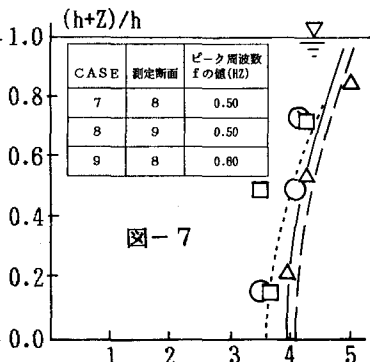


図-7

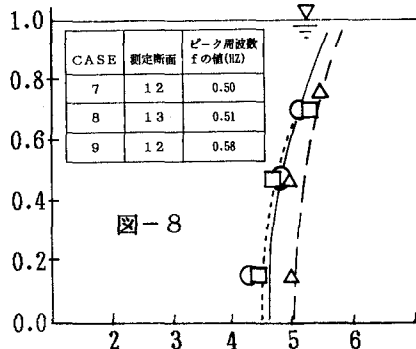


図-8

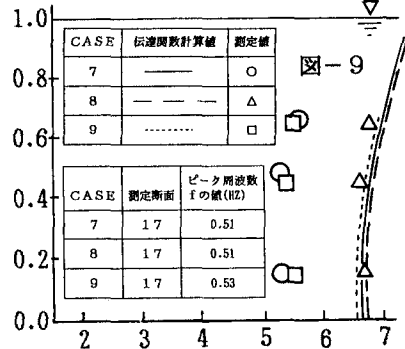


図-9

横軸に周波数 f の値、縦軸に F の値を取って図に示すと、図-3(a), (b), (c), (d) ~ 図-5(a), (b), (c), (d) のようになる。図-3, 4, 5 の各図より、各CASEについてピーク周波数 ($f=0.5 \sim 0.6$ に発生) 付近から、 $f=1.50$ の範囲においては全体的に測定値は微小振幅波の伝達関数の F の計算値 (流速計が底面付近一点線、中間点-破線、谷下-実線) に沿う傾向にあることが見受けられる。しかし、 f の値が大きく $f=1.0$ 付近になると非線形性の影響により若干計算値よりはずれて来ること、 Z の値では、中間点の場合がやや計算値よりはづれるものが見られる。

谷下の場合流速成分の値も大きく、水位変動に対して線形的によく追従していると言える。

断面が変化する場合についてみると、沖側の水深が深いヶ所はよく一致していると言えるが、水深が浅い断面17においては、CASE-8の水位変動が小さい場合は一致しているが、CASE-7, 9の水位変動が大きい場合は測定値が計算値よりかなり小さく現れると言える。

このことは、磯部らの現地観測を行った砕波点近傍の値についても同様に指摘していることで、波の非線形性あるいは斜面上からの反射波などの影響が考えられる。この点に関してはさらに多くの実験が必要である。

つぎに、各断面の流速分布形を明確に見るため、特にピーク周波数の f の値における F の値のみについて図示すると、図-6, 7, 8, 9 のようになり水深方向の測定点は3点で少ないが、断面17を除いてはほぼ計算値に一致した値となっていると言える。

最後に、本研究のまとめに際し、多大なご指導を得ました北大港湾研究室浜中建一郎氏に厚く謝意を表します。

参考文献；磯部雅彦・大中 晋 “砕波帯付近における不規則波の水粒子速度の計算法”

第31回海岸工学講演会論文集(1984)