

## PIV による流れと波の共存場における乱流解析

大成建設(株) 正会員 畑 洋輔  
神戸大学工学部 正会員 宮本 仁志

## 1. はしがき

河口や沿岸域のように乱流と波動とが共存する流れ場を対象として、鉛直面内での流動構造を調べるために室内水理実験を実施した。実験では PIV を用いた同時画像計測<sup>1)</sup>を用いて流速を測定し、共存場での波動成分の大きさに伴う、瞬間流速ベクトル、平均流速、波動成分、乱れ強度など流動構造の変化について検討を行った。

## 2. 実験の概略と水理条件

実験水路の概要を図-1 に示す。水路は長さが10m、幅が0.3mの亚克力製循環水路であり、下流端にプランジャー式の造波装置が設置されている。PIV 画像計測の測定断面は、上流端から約5.0mにおける水路中央の流下方向鉛直断面である。

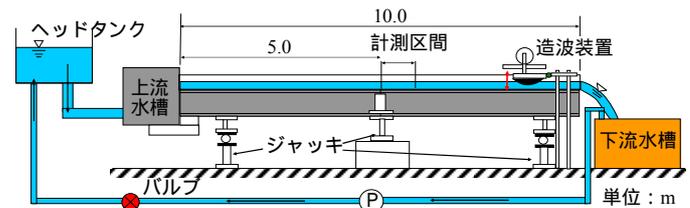


図-1 実験水路の概要

表-1 水理条件

Case	current condition				wave condition					
	$h$ (cm)	$U_0$ (cm/sec)	$Fr$	$Re$	$a$ (cm)	$\omega$ (rad/sec)	$h/L$	$\delta$	$\varepsilon$	$\varepsilon/\delta$
WC-1	7.97	5.30	0.06	$4.2 \times 10^3$	0.37	8.19	0.14	0.072	0.041	0.57
WC-2	7.97	5.31			0.31	6.41	0.11	0.069	0.026	0.38
WC-3	7.96	5.38			0.18	4.32	0.07	0.067	0.010	0.15
C-0	7.96	5.28								

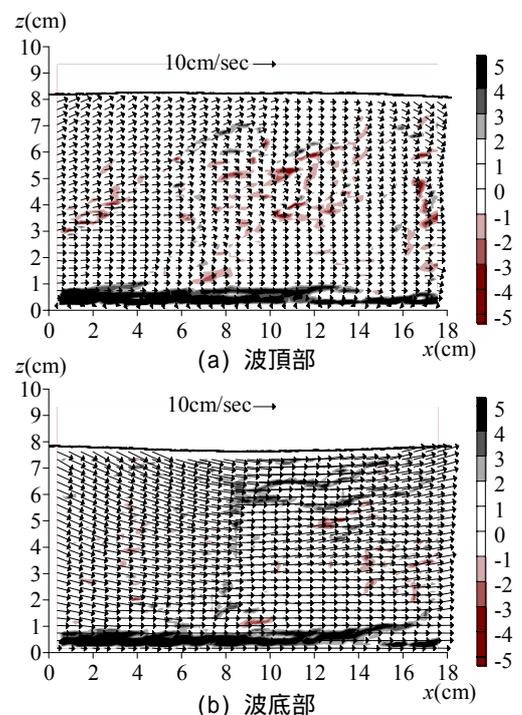
$h$ :平均水深,  $U_0$ :平均流速,  $Fr=U_0/(gh)^{1/2}$ :フルード数,  $Re=U_0h/\nu$ :レイノルズ数,  $a$ :振幅,  $\omega$ :角周波数,  $h/L$ :水深波長比,  $\delta=U_0/c$ :流速波速比,  $\varepsilon=ak$ :波形勾配,  $k$ :波数,  $\varepsilon/\delta=a\omega/U_0$ :波動成分の流速成分に対する比

水理条件を表-1 に示す。実験では、開水路流れの条件を一定にして波動場の条件を変化させている。流れは、フルード数  $Fr=U_0/(gh)^{1/2}=0.06$ , レイノルズ数  $Re=U_0h/\nu=4200$  の常流である。一方、波動は流れと逆方向に伝播し、水深波長比  $h/L$  を0.14, 0.11, 0.07 と変化させている。これより、波の代表水粒子速度  $a\omega$  と流れの平均流速  $U_0$  の比  $a\omega/U_0=\varepsilon/\delta$  は、0.57, 0.38, 0.15 となる。ここに、 $a$ :波の振幅,  $\omega$ :角周波数,  $\varepsilon$ :波形勾配( $=ak$ ,  $k$ は波数),  $\delta$ :流速波速比( $=U_0/c$ ), である。また、比較のために、それぞれの水理条件に対して、流れがない波動のみの流動場における水粒子速度も別途計測した。

## 3. 実験結果と考察

## 3.1 瞬間流速と流速せん断

図-2 は、Case WC-1( $\varepsilon/\delta=0.57$ )における波頂部と波底部の瞬間流速ベクトル( $u, w$ )、および、対応する流速せん断( $\partial u/\partial z + \partial w/\partial x$ )の鉛直断面分布である。瞬間流速ベクトルにおいては、流れに波動成分が加わることによって、水面波形に対応して瞬時の流れの構造が変化していることがわかる。一方、対応する流速せん断

図-2 瞬間流速ベクトルと対応する流速せん断の鉛直断面分布 (Case WC-1( $\varepsilon/\delta=0.57$ ))

キーワード: 開水路流れ, 波動, 乱れ, 水理実験, PIV

連絡先: 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 TEL 078-881-1212 FAX 078-803-6069

断面は、底面近傍でのせん断が顕著である。それに加えて、図-2(a)の波頂部においては負の流速せん断が大きくなる傾向が、図-2(b)の波底部では正の流速せん断が大きくなる傾向が見てとれる。

図-3は、無次元流速せん断  $(\partial u/\partial z + \partial w/\partial x) \cdot h/U_0$  の位相平均分布である。図中上部の曲線は位相に対応する水面形である。図-3(a)に示す波動の影響が大きい WC-1( $\epsilon/\delta=0.57$ )では、 $z/h>0.6$  の波底・波頂において流速せん断に明確な極値が見られる。波動の影響が小さくなると、それら流速せん断の極値は小さくなる(図-3(b))。これらのことから、水面直下では水面位相に応じた流速せん断が存在していることが推察される。

3.2 平均流速と波動成分

平均流速分布  $U(z)/U_0$  を図-4に示す。本研究の実験範囲では、波動成分が加わるときの平均流速分布は、開水路流れの分布にほぼ近似されるが、水面に近づくに伴って流速が微増していることがわかる。その増加量は波動成分の流速成分に対する比  $\epsilon/\delta$  が増加するに伴い大きくなっており、Swan<sup>2)</sup>らの既往の報告と定性的に一致する。

図-5に、Case WC-1( $\epsilon/\delta=0.57$ )と同条件の波動のみの場合における水平方向波動成分  $\tilde{u}/a\omega$  の位相ごとの分布を示す。上段の図は1周期あたりの水面形状を示し、各アルファベットの記号は図に示した位相(1/4毎)を表す。図中の波動成分の極大・極小値(B,F)での分布を見ると、水面および底面の近傍において、共存場(図-5(a))のほうが波のみ(図-5(b))の場合に比べて、波動成分の絶対値が大きくなる傾向にある。

3.3 乱れ強度の分布

乱れ強度の鉛直分布を図-6に示す。図中には、禰津らの半理論曲線<sup>3)</sup>(開水路乱流の場合)を併記している。また、共存場での摩擦速度は田中<sup>4)</sup>により求めた。これより、波動の影響が大きい Case WC-1( $\epsilon/\delta=0.57$ )においては、流れのみの場合に比較して、水面に近づくにつれて乱れ強度が相対的に大きくなることわかる。このことは、流速せん断の  $\epsilon/\delta$  への依存傾向(図-3参照)に対応していると推察される。

<参考文献> 1)宮本ら：土論集, No.726/ -62, 41-53, 2003. 2) Swan, C.C. and James, R.L.: J.Fluid Mech., 428, 273-304, 2001. 3)Nezu, I. and H. Nakagawa: Turbulence in open-channel flows, IAHR-Monograph, 1993. 4) 田中・首藤：土論集, 417/ -13, 285-288, 1990.

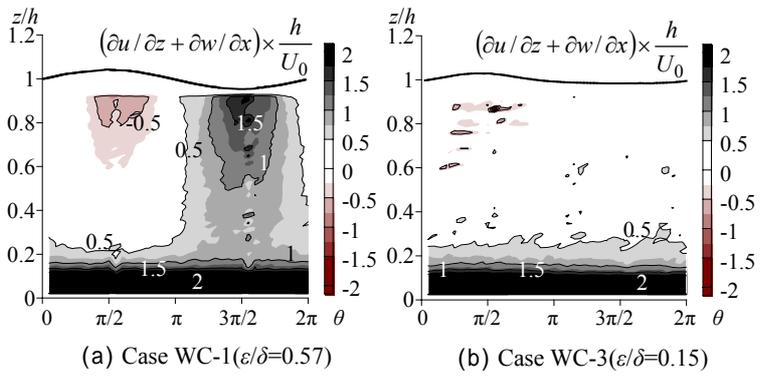


図-3 無次元流速せん断の位相平均分布

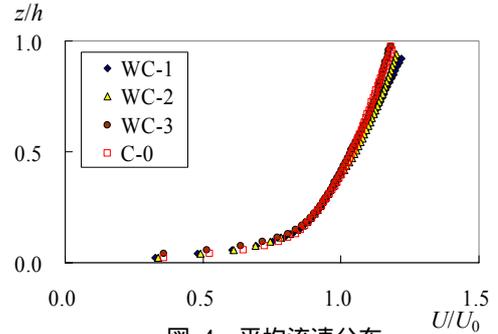


図-4 平均流速分布

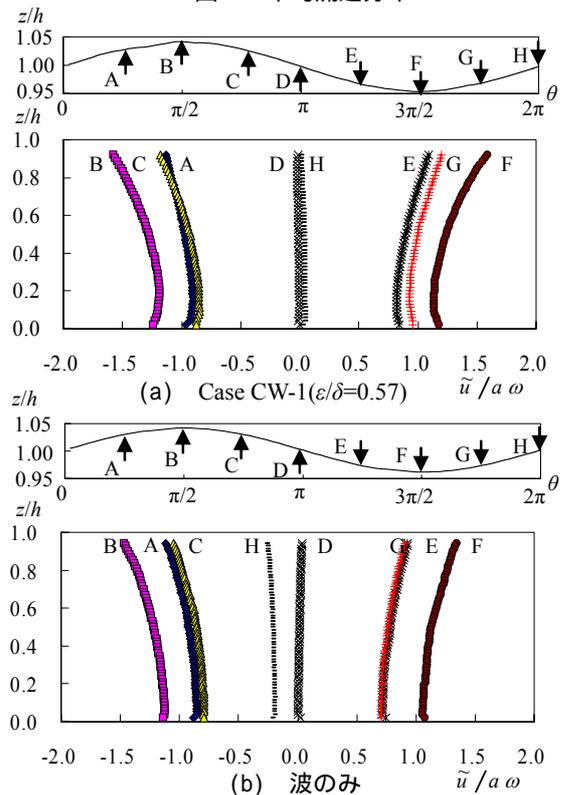


図-5 位相ごとの水平方向波動成分の鉛直分布

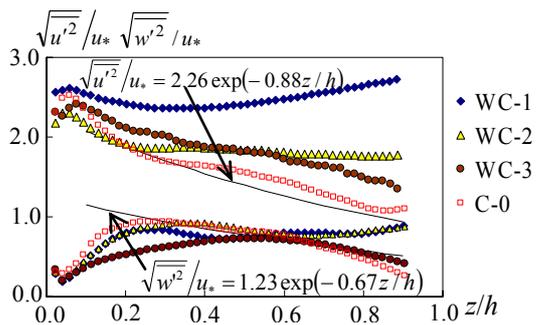


図-6 乱れ強度の鉛直分布