

第II部門

PIV 画像計測による波・流れ共存場の流動解析

神戸大学工学部 正会員 ○宮本 仁志
神戸大学大学院 学生員 畑 洋輔

1. はじめに

本研究では、沿岸や河口域などの浅水域において波動と乱流が共存する流れ場を対象として、鉛直面内の流動構造を調べるために室内水理実験を実施した。流速ベクトルは PIV を用いた同時画像計測¹⁾により測定し、瞬間流速、平均流速、乱れ強度などの流動構造の変化について検討を行った。

2. 実験水路の概要と実験条件

図-1 に本研究に用いた実験水路の概略を示す。水路は長さ 10m, 幅 0.3m のアクリル製循環水路であり、下流端にプランジャー式の造波装置を設置している。PIV の計測断面は下流端から約 5.0m における水路中央の流下方向鉛直断面である。

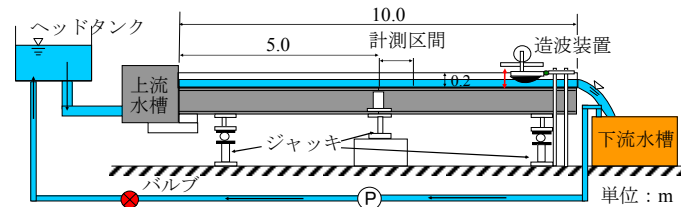


図-1 実験水路の概略

表-1 に実験条件を示す。流れの条件は、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 0.07, 0.11, 0.14 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、0.15, 0.38, 0.57 となる。ここに、 a : 波の振幅, ω : 角周波数, ε : 波形勾配 ($= a k$), δ : 流速波速比 ($= U_0/c$), である。

表-1 実験条件

Case	current condition				wave condition					
	h (cm)	U_0 (cm/sec)	Fr	Re	a (cm)	ω (rad/sec)	h/L	δ	ε	ε/δ
WC-1	7.97	5.30	0.06	4.2×10^3	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, $Re = U_0h/0.01$: レイノルズ数, a : 振幅, ω : 角周波数, h/L : 水深波長比, δ : 流速波速比, ε : 波形勾配, $\varepsilon/\delta = a\omega/U_0$: 波動成分の流速成分に対する比

3. 実験結果と考察

3.1 瞬間流速ベクトルと流速せん断分布

図-2 に、Case C-0(流れのみ)と Case WC-1($\varepsilon/\delta = 0.57$)における瞬間流速ベクトル (u, w) と、対応する流速せん断 ($\partial u/\partial z + \partial w/\partial x$) の鉛直断面分布を示す。図-2(a) に示す開水路流れにおいては、流速ベクトルが底面にほぼ平行になっており、底面付近のせん断が強くくなっている。一方、

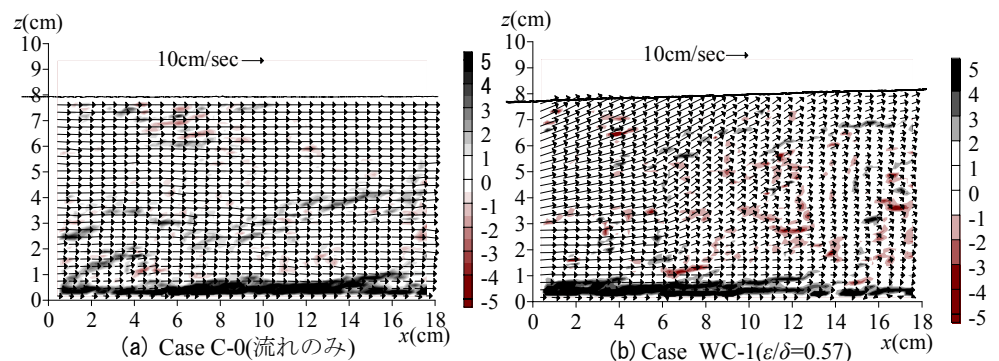


図-2 瞬間流速分布と対応する流速せん断の鉛直断面分布

図-2(b) の共存場における瞬間流速分布においては、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。流速せん断は底面近傍でやはり顕著であるが、図-2(a) の流れのみの場合に比較して流れ場全体でも大きくなっており、波動が加わることにより流速せん断が大きくなる。

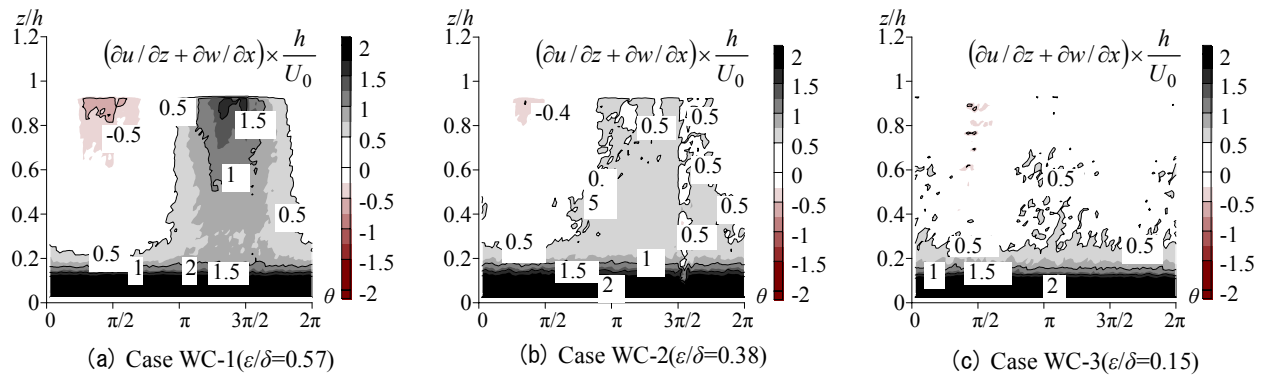


図-3 無次元流速せん断の位相平均分布

なることが推察される．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-3(a)に示す波動の影響が大きい WC-1($\varepsilon/\delta=0.57$)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につれてそれらの極値は減少していき，流速せん断の極値はなくなっていく．

3.2 平均流速分布

図-4 に平均流速分布 $U(z)/U_0$ を示す．波動成分が加わる場合の平均流速分布は，開水路流れにほぼ近似されるが，水面に近づく $z/h>0.6$ において流速が微増していることがわかる．その増加量 ΔU_s は波動成分の流速成分に対する比 ε/δ が増加するに伴い大きくなる．

図-5 は，水面近傍の $z/h=0.9$ における無次元平均流速差 $\Delta U_s/U_0$ と波形勾配 ε の関係である．これより， $\Delta U_s/U_0$ は ε に比例して増加することがわかる．このことは，Swan²⁾らの既往の報告と定性的に一致する．

3.3 乱れ強度の分布

図-6 に，乱れ強度の鉛直分布を示す．共存場での摩擦速度は田中³⁾により求めた．また，図中には，開水路乱流の場合の棚津らの半理論曲線⁴⁾を併記している．これより，波動の影響が大きい WC-1($\varepsilon/\delta=0.57$)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がわかる．波動の影響 (ε/δ) が小さくなるに従って，水面近傍の乱れ強度は減少しており，開水路乱流

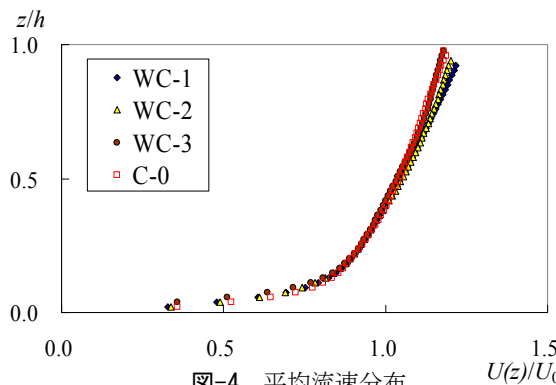
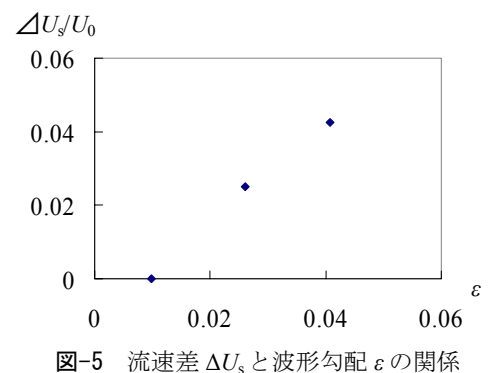


図-4 平均流速分布

図-5 流速差 ΔU_s と波形勾配 ε の関係

の分布に近似するようになる．このことは，図-3 に示した流速せん断の ε/δ への依存傾向に対応していることが推察される．

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

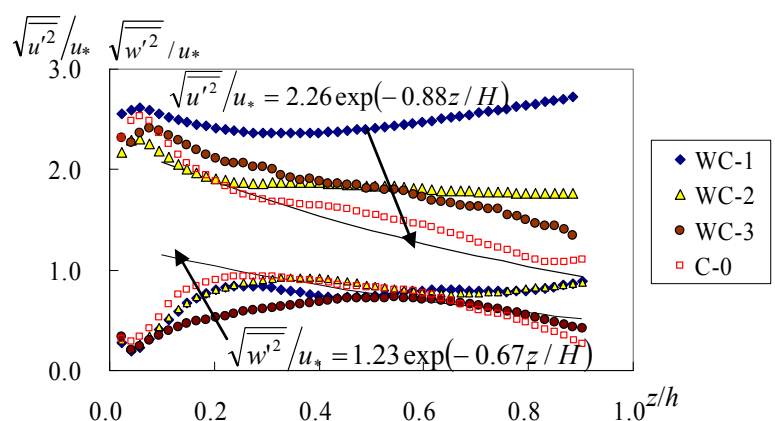


図-6 乱れ強度の鉛直分布