

II-71

重複波波動場の定常流に与える
壁面粗度の影響について

北見工業大学工学部 正 員 佐藤 幸雄
北海道大学工学部 正 員 浜中 建一郎
北見工業大学工学部 学生員 勝野 博志

I. まえがき

重複波波動場において重複波の振動流速の他に壁面境界層の影響により定常流が発生することを、水路幅が水深に比べて十分広い場合で、底面境界層のみが影響する2次元流について Longuet-Higginsが理論的に説明している。この定常流は重複波の腹と節の断面内において一つの2次元的循環流を形成する。我々は以前に染料を使用して、これらの定常流の存在について検証を行い、Longuet-Higgins が示した2次元循環流を水路中央部の底面付近において確認した。しかし、水深に比べて水路幅が狭い場合には側壁境界層の影響を深く受けて、循環流は完全に2次元的とはならず、3次元的構造を形成するようになる。そして、このような循環流の3次元構造についても昨年一部報告済みである。

本研究では上述の循環流の3次元構造が、垂直壁（波の反射面）近傍において垂直壁面境界層の影響を強く受けた場合、どのように変化するか、その様相を調べることとした。また、同時に滑面と粗面の場合の相違点についても調べた。以上の実験は染料に過マンガン酸カリウムを使用して可視的に行ったもので、詳細は以下に述べることとする。

II. 実験要領

測定区間は垂直壁面(腹)から $L/4$ (節)(L :入射波波長)の間である。壁面および底面を共に滑面の場合と平均粒径 $d=0.4\text{mm}$ の浜砂を張った粗面の場合の2通りを使用した。トレーサーには過マンガン酸カリウム(KMnO_4)を用いて、染料の発生源としては底面付近は底面に KMnO_4 の2～3粒を置いた。また、水面の場合は KMnO_4

の数粒をガーゼに包み、それを針金の先端に取り付け振動する水面に接触させるようにした。使用した実験CASEと使用した実験波の諸元を表-1に示した。定常流に沿って流れる染料の様相を写真に撮り、それを図化して、定常流の様相を測定

図-2 定常的循環流の基本形

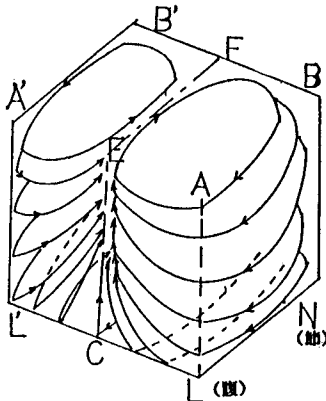


図-1 実験水路

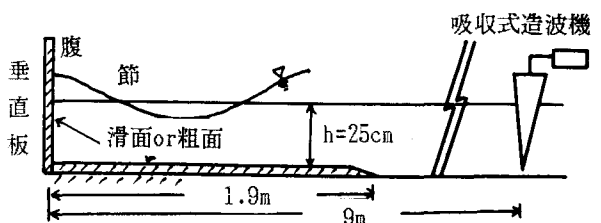


表-1 実験波の諸元

CASE 滑面	CASE 粗面	水深 h cm	周期 T sec	入射波波高 H_1 cm
1	1'	2.5	1.0	4.2
2	2'	2.5	1.0	6.5
3	3'	2.5	1.2	4.2
4	4'	2.5	1.2	6.5

Influence by a Wall Roughness for the Steady Streaming in a Standing Waves
by Yukio SATO, Ken-ichiro HAMANAKA and Hiroshi KATSUNO

することとした。

Ⅲ. 実験結果

1) 水路中央部(底面)について

定常流の様子は滑面の場合は写真-1~3, 粗面の場合を写真-4~6に示した。写真を見ると節から垂直壁面の腹へ向かった流れは垂直壁に沿って底面から上方へ向かうが途中から壁面を離れて、流体中を腹から節方向へ反対に向かう循環流となる。この状況は波高が大きく、波長が長い場合程当然ではあるが大きな循環流を描いているのが分かる。また、壁面上では粗面の場合が滑面に比べて高い位置で離れるのが粗面の場合の特徴と云える。(写真-6)なお、滑面、粗面共に水路中央部では定常流は2次元的となり、この事は垂直壁がない場合の定常流の基本形(図-1)と同様の様相を示していると云える。

2) 側壁ガラス面(水面)について

写真-7~9(滑面)および写真-10~12(粗面)を見ると、水面の節の位置に入れた染料は速い速度で水面を節から腹の方向に流れ、次に垂直壁の腹の位置に到達した染料は急速に垂直壁に沿って下方へ流れ込む。それと同時にガラス面から離れて水路中央部へ流れる。また腹の位置の水面で染料が水中にもぐり込む様子は垂直壁からはなれた腹の位置に置いても若干見られるが垂直壁面上程には大きく下がらない。滑しかし垂直壁面の滑面または粗面による差異は明確ではなかった。

3) 水路中央部(水面)について

水路中央部の垂直壁直前の水面に入れた場合は写真-13~15(滑面)

$T=1.0 \quad H=4.2$
sec. cm
水路中央部(底面)

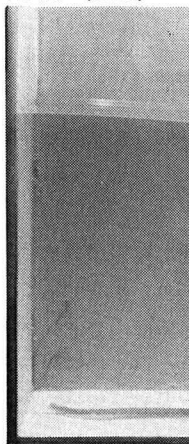


写真-1

$T=1.2 \quad H=4.2$
sec. cm

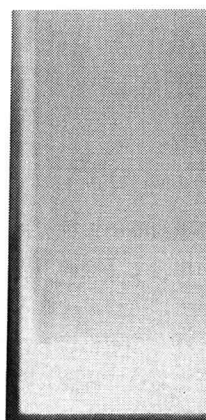


写真-2

$T=1.2 \quad H=6.5$
sec. cm

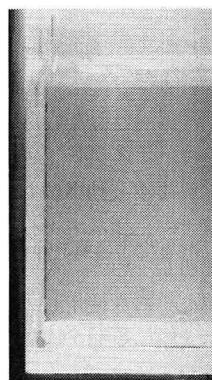


写真-3

滑面

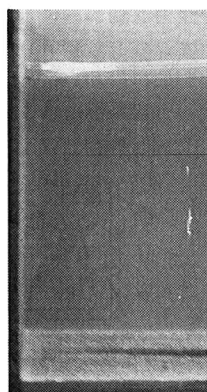


写真-4

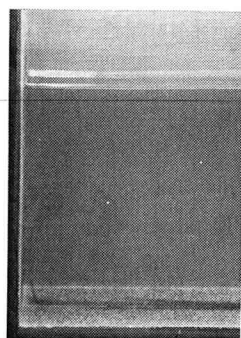


写真-5

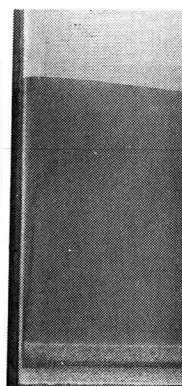


写真-6

粗面

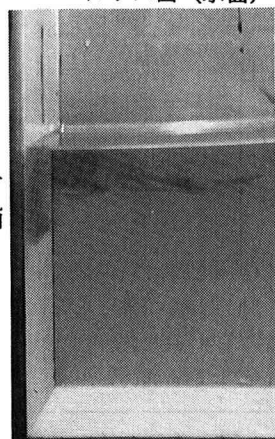


写真-7

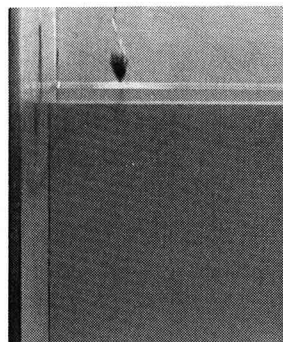


写真-8

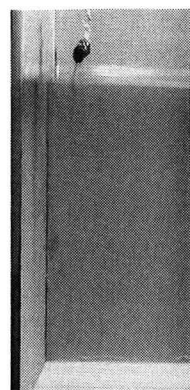


写真-9

写真-16～18（粗面）

のようである。

水面に置いた染料は垂直壁面に沿って真直ぐ下方へ流れ、その後壁面から離れて、水面方向に上昇する様相が明確に分かる。このとき粗面の方が滑面の場合に比べて壁面から離れる位置は高くなっていることと、水面方向への上昇の様子が滑面の場合はやや真直ぐに上昇するのに対して、粗面の場合は壁面より遠く離れる方向に流れて行くのが分かる。この事は粗面の方がやはり壁面境界層の影響を強く受けていると云える。また、壁面上に生ずる流れの変換点は鋭角的になっていて、この点では底面から壁面に沿って上昇する流れが剥離を起こしていることが考えられる。

以上の各種写真から見られる定常流の様相を単純化して、部分的に図示すると基本的にはつぎのような様相を呈するものと考えられる。図-3, 4は水路中央部の垂直壁面上における底面からの流れおよび水表面からの流れを示した。図-5は水表面からの流れが底面からの流れに乗って流れている状態を示し、A点付近に剥離点が存在すると考えられる。図-6は水面付近の垂直壁面上の流れの様子を示したもので、特に側壁近傍では側壁境界層の影響を受けて、流れは壁面上

T=1.0 H=4.2
sec. cm

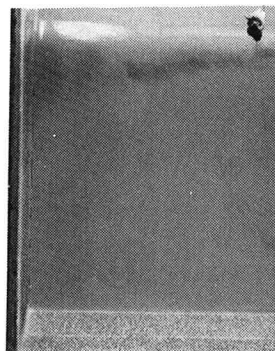


写真-10

T=1.2 H=4.2
sec. cm

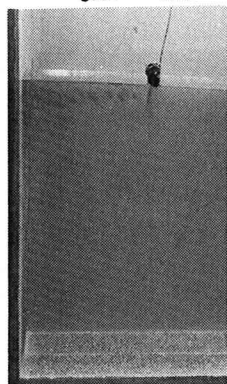


写真-11

T=1.2 H=6.5
sec. cm

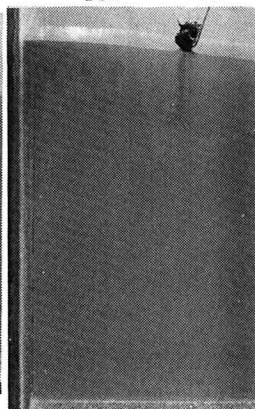


写真-12

水路中央部（水面）

滑面

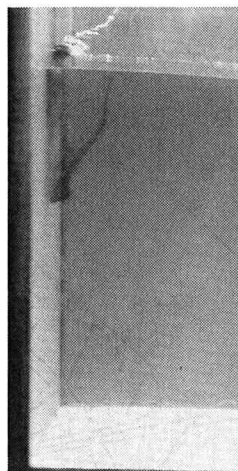


写真-13

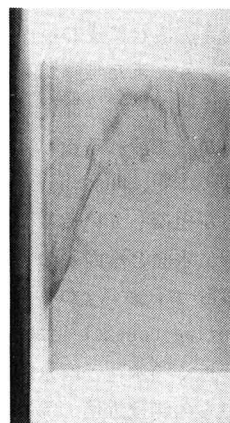
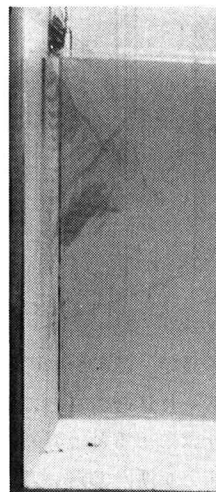


写真-15

粗面

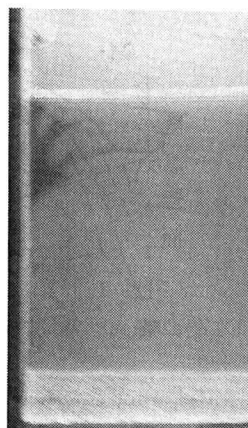


写真-16

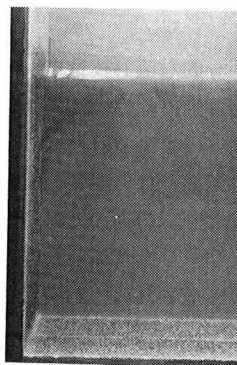


写真-17

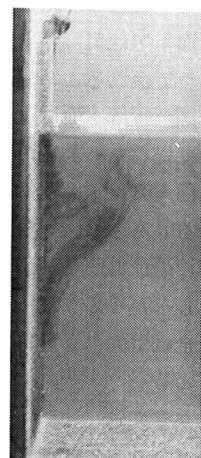
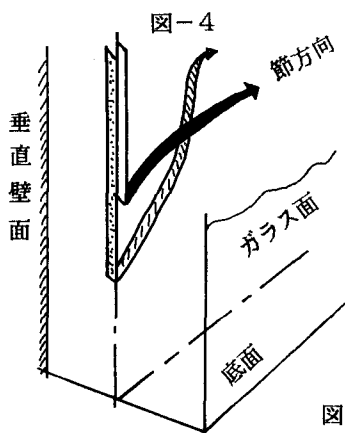
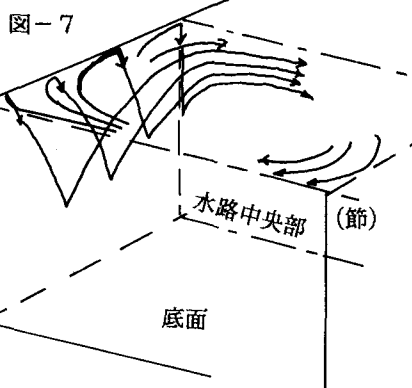
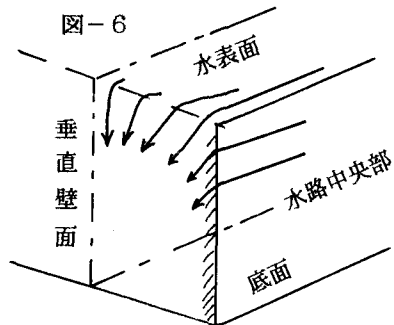
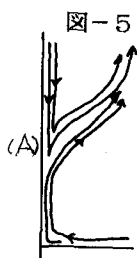
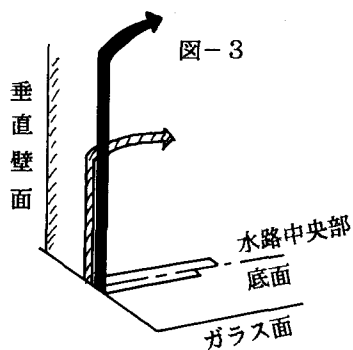


写真-18



では鉛直方向へ流れるのではなく、若干水路中央部へ向かって斜めに流れる

ようになる。しかし水路中央部へ近づくとき、次第に鉛直下向きの流れに変わって行く。また垂直壁面を水面から底面に向かって流れることは、まず、Dussan Vらが指摘しているように水面と壁面との接触ラインすなわち

Moving Contact Line の影響で、このLineの極く近くの水粒子は水中にもぐり込む、さらに浜中らの側壁近傍の流れの計算によると境界層内流れは境界層外縁流速の速い所から遅い方へ向かって流れる結果となっている。したがって壁面上では奥行き方向一様に水面から底面へ向かって流れることとなる。

図-8は水面付近の部分的な流れ構造をまとめて描いたもので、壁面付近を除けば基本的には図-2に示した壁がない場合の流れとなっている。さらに図-9では壁面がない場合の底面近傍の流れを示し図-2と同様のものである。

したがって、図-8と図-9を合体した場合が垂直壁面の影響により形成される流れ構造と云える。

参考文献

根岸・浜中・佐藤：造波水路内重複波における

側壁境界層近傍の流れ；平成2年度土木学会北海道支部論文報告集 第47号