

神奈川県水産総合研究所相模湾試験場の 水産工学用実験回流水槽の基本性能

石戸谷 博 範

The Fundamental Hydrodynamical Performance of the Circulating Water Channel for Fisheries Engineering in Sagami Bay Experiment Station of Kanagawa Prefectural Fisheries Research Institute.

Hironori ISHIDOYA[#]

A B S T R A C T

The Fundamental Hydrodynamical Performance of the circulating water channel with test section (Length 7.0m, Breadth 3.0m, Depth 1.5m) for Fisheries Engineering in Sagami Bay Experiment Station of Kanagawa Prefectural Fisheries Research Institute was described.

The maximum velocity reaches above 1.0m/s.

The relationship between revolution of impeller(X) and flow velocity(Y) was shown as the following regression line.

$$Y = 0.00300X - 0.012 \quad (R^2 = 0.999) \quad (\text{water depth } 1.5\text{m})$$

$$Y = 0.00365X - 0.012 \quad (R^2 = 0.999) \quad (\text{water depth } 0.7\text{m})$$

The variance of velocity distribution at a measuring section is about less than $\pm 1.5\%$ at 1.034m/s and $\pm 2.0\%$ at 0.51m/s.

The relationship between revolution of water surface rotor(X) and impeller(Y) was shown as the following regression line.

$$Y = 1.65X + 2.47 \quad (R^2 = 0.999) \quad (\text{impeller } 0 \sim 300\text{rpm})$$

The relationship between revolution of bottom rotor(X) and impeller(Y) was shown as the following regression line.

$$Y = 3.22X + 10.0 \quad (R^2 = 0.999) \quad (\text{impeller } 0 \sim 200\text{rpm})$$

$$Y = 1.00X + 450 \quad (R^2 = 1.00) \quad (\text{impeller } 200 \sim 350\text{rpm})$$

The height of the steady wave generated on the water surface is about less than $\pm 0.5\text{mm}$ at 0.5m/s and $\pm 1.0\text{mm}$ at 1.0m/s.

The mean inclination of the water surface increases according to increasing of the velocity and the value is less than 1/6200 at 0.5m/s and 1/4065 at 1.0m/s.

The surging is less than $\pm 1.0\text{mm}$ at 1.0m/s.

The velocity fluctuation at 0.5m/s is 1.1% (water depth 0.25m), 1.2% (0.5m), 1.1% (0.75m), 1.5% (1.0m), 1.3% (1.25m).

はじめに

神奈川県は、1993年3月に水産工学用実験回流水槽を水産試験場相模湾試験場(1995年4月に水産総合研究所相模湾試験場に改称)に設置した。本回流水槽の設計における基本計画と機能については、前報告(石戸谷, 1994¹⁾)で述べた。その後、本水槽の基本性能(発生流速、流速分布、表面・底面流発生装置、定在波、サージング、水面傾斜、平均乱れ度)を測定したので、その結果を報告する。

水槽の概要

本回流水槽は2インペラ垂直循環型で、特に観測部底面が水深調整のために昇降できる移動床を備えているのが特徴である(図1)。本水槽の主要目は表1のとおりである。

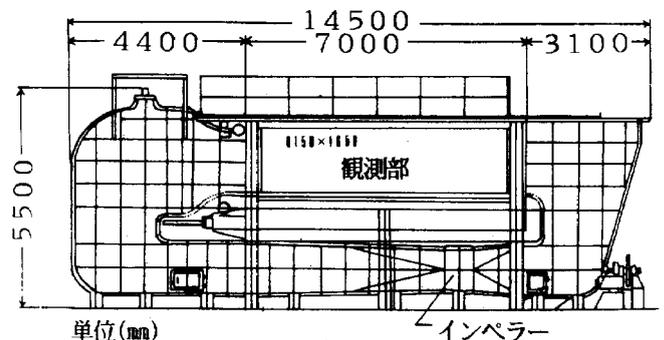


図1 回流水槽概要図

Fig.1 General Arrangement of Circulating Water Channel

表 1 回流水槽の主要目
Table 1 Principal particulars of the circulating water channel

型式	: 2 インペラ単独駆動方式垂直循環型 (特許第 1278218 号)	造波装置	: ブランジャー型 駆動方式 ボールネジ及び AC サーボ 駆動 5.5Kw 1 台波長 0.3~1.5m 波高=0.5~5.0cm
最大流速	: 1.0m/s	消波装置	: ビーチ型 材質 (サランロック、ヘチマロン) 長さ×幅=1200mm×2950mm 架台 SUS 製
全体規模	: 長さ×幅×高さ=14500×4200×5500mm	整流装置	
水量	: 約 140t	ハニカム	: 格子長 426mm×430mm 長さ 300mmSUS 製 第 4 コーナー出口
材質・構造	: SUS316 鋼板溶接構造 11 ブロックフランジ水封結合	パンチドメタル	: 円孔型 孔径 8、7 板厚 1mm 開孔比 4.17 格子直前
観測部寸法	: 長さ×幅×高さ=7000×3000×1900mm	ガイドベーン	: 固定式 SUS 製 第 1、2、3、4 コーナー
水深	: 1.5m	網	: パンチドメタル直前 クリンプ金網 SUS 製
ノズル比	: 1.73 (=2600/1500), 二次元ノズル	安全ネット	: 観測部後流側 クリンプ金網 SUS 製
制波板	: 長さ×幅×厚さ=2996×380mm×25mm 透明アクリル製 支持棒長さネジ調整 14 本	移動床	: クロスリンク方式寸法 6.4m×3.0m 移角範囲 (水面下 1.5m~水面上 0.1m) 直流可変速電動機 AC200V 3.7Kw
観測部内面塗装	: ウレタン樹脂塗料 ウレックス#300 #746	各層流発生装置	
観測部外面塗装	: ウレタン樹脂塗料 ウレックス #300 #413	表面流	: MVR 水封型 (特許第 1412919 号) 可変速直流電動機 1.5Kw
測定部窓		底面流	: MVR 型底面流加速装置 可変速直流電動機 1.5kw
正面	: 長さ×幅×厚さ=6150×1630×85mm アクリルガラス	ターンテーブル	: 旋回円台型 直径:2.2m 材質 SUS、塩化ビニール製、 角度設定 (デジタルスイッチ) ステッピングモーター
背面	: 長さ×幅×厚さ=2500×1000×24mm 合わせ強化ガラス	計測作業台車	: 走行方式 電動車輪方式 走行 0.4Kw 昇降 0.75kw 設定精度 ±0.1mm 移動範囲 観測部断面の側定面より 100mm を除く範囲
計測レール	: 30SUS 角鋼製 水平度 観測部において ±0.2mm 以内 平行度 観測部において ±0.2mm 以内 レール中央部たわみ 0.5mm/ton 以下	濾過装置	: (No.1 濾過機) 型式圧力式 3.7kw 機能 PP ワインドフ ィルター (25μ 濾過) 濾過能力 (30 トン/時) オゾン殺 菌方式
送流装置			: (No.2 濾過機) 型式 圧力式 2.2kw 機能 1 次濾過 活性炭 2 次濾過 PP ワインドフィルター (25μ 濾過) 濾過能力 (5 トン/時) オゾン殺菌方式
駆動電動機	: 直流可変電動機 AC220V 22Kw 2 台 サイリスタレオナード制御・正逆運転	特殊装置	: 造波装置及び消波装置 : 水位調整水槽 (回流水槽の水位調整用) : 計測・自動運転制御装置 : 画像処理システム
伝導方式	: V ベルト 5 本掛け 減速比 1/4	その他	: 作業クレーン トップランニング型 スパン (9.0m) 定格荷重 (1000Kg) 揚程 (6m)
送流用羽根車	: 一体式、直径 994mm ピッチ比 0.702 ボス比 0.25 連研型 4 翼 2 基、SUS316		
軸封形式	: メカニカルシール、オイルシール兼用		
真空ポンプ			
初期充填用	: 油回転式真空ポンプ 型式 CV-3N B 交流電動機 0.75Kw×1 台 排気速度 350L/min 到達圧力 Pa=1.1 第 4 コーナーケーシング初期充填用		
気泡除去用	: 型式 CV-INB 交流電動機 0.2Kw×2 台 排気速度 60L/min 到達圧力 Pa=1.1 表面加速・第 4 コーナーケーシング初期充填用		

表 2 測定項目の内容と測定方法
Table 2 Content and Method of Measuring

項目	内容	測定場所または要領	計測機器	測定部水深
発生流速とインペラ回転数	水平に並列した 2 基のインペラを逆方向に回転させて得られた水流の水槽観測部における流速とインペラ回転数	観測部幅方向中央部、制波板より 1.5m 下流位置 各代表流速で 9 点計測	超音波式流速計	1.5m 0.7m
流速分布	水槽観測部での流速の均一度を百分率で表した値	制波板より 1.5m 下流位置、壁面より 0.1m の範囲を除き格子状に計測	超音波式流速計	1.5m
表面流発生装置の最適回転数	ローター (回転円柱体) を水が充滿された円筒の中で回転させて、水面付近で速度が低下した流れを加速する装置の最適回転数	観測部幅方向中央部、制波板より 1.5m 下流位置各代表流速で 9 点計測 水面から 10mm~100mm までの範囲を計測 各代表流速で 7 点計測	翼車式流速計	1.5m
底面流発生装置の最適回転数	ローター (回転円柱体) を水が充滿された円筒の中で回転させて、底面の摩擦で速度が低下した流れを加速する装置の最適回転数	観測部幅方向中央部、制波板より 1.5m 下流位置各代表流速で 9 点計測 底面から 10mm~100mm までの範囲を計測 各代表流速で 7 点計測	超音波式流速計	1.5m
定在波の波高	観測部における山・谷の位置が固定した波の波高。この波の波高と波長は流速により変化する	観測部幅方向中央部、制波板より下流へ 5m の範囲を計測	サーボ式水位計	1.5m
サージングの振幅	観測部水深が長周期 (数秒~数 10 秒) で上下する現象の振幅。	観測部幅方向中央部、制波板より下流へ 1.5m, 3.0m, 4.5m の位置で計測	サーボ式水位計	1.5m
水面傾斜	壁面・空気の摩擦の影響などで起こる観測部水面の傾斜。	観測部幅方向中央部、制波板より下流へ 5m の範囲を計測	サーボ式水位計	1.5m
平均乱れ度	渦などの影響で発生する観測部での流速の微小な変動。	観測部幅方向中央部、制波板より 1.5m 下流位置水深 0.25m, 0.5m, 0.75m, 1.0m, 1.25m の位置で計測	超音波式流速計	1.5m

測定方法

- 各測定項目の内容と測定方法を表2に示す。
 - 発生流速は、超音波式流速計(電子工業株式会社製FU-110)を用いて、観測部の幅方向中央部で制波板より1.5m下流位置において、観測部水深を2例(1500mmと700mm)設定し、それぞれの1/2の水深(750mmと350mm)の位置でインペラーの回転数毎に測定した。
 - 流速分布は、超音波式流速計(FU-110)を用いて、試験流速0.5m/s及び1.0m/sで、制波板より1.5m下流位置で壁面より0.1mの範囲を除いた流れに対する垂直断面を格子状に計測した。
 - 表面流発生装置の効果をみるために本装置を使用した場合と使用しない場合の表面流の流速を比較した。表面流は、翼車式流速計(篠塚製作所製SV-3)を用い、観測部幅方向中央部で制波板より1.5m下流位置で水面から10mm~100mmまでの8層で代表流速(主流速)を7段階にしてそれぞれ計測した。
 - 底面流発生装置の効果をみるために本装置を使用した場合と使用しない場合の底面流の流速を比較した。底面流は、超音波流速計(FU-110)を用い、観測部幅方向中央部で制波板より1.5m下流位置で底面から10mm~100mmまでの8層で代表流速(主流速)を7段階にしてそれぞれ計測した。
 - 定在波は、サーボ式水位計(株式会社ケネック製SW-101)を用い、観測部幅方向中央部で、制波板より下流方向に5mの範囲で計測した。試験流速は0.5m/sと1.0m/sとした。
 - 水面傾斜は、サーボ式水位計(SW-101)を用いて、観測部幅方向中央部で、制波板より下流へ5mの範囲で計測された。
 - サージンは、サーボ式水位計(SW-101)を用いて、観測部幅方向中央部で制波板より下流へ1.5m, 3.0m, 4.5mの位置で約3分間計測した。
 - 平均乱れ度は、次式で示される。

$$F_i = (V_i - V_{\text{mean}}) / V_{\text{mean}} \times 100$$
 但し F_i : i 時における平均乱れ度
 V_i : i 時における流速
 V_{mean} : 平均流速
 平均乱れ度は、超音波式流速計(FU-110)を用いて、観測部幅方向中央部で制波板より、1.5m下流位置で水深0.25m, 0.5m, 0.75m, 1.0m, 1.25mの位置で約3分間計測した。

結果と考察

1 発生流速(インペラー回転数と流速との関係)

計測より得た観測部水深1500mm及び700mmにおけるインペラー回転数と流速の関係を図2に示す。

観測部水深1500mmの時のインペラー回転数: X (rpm) と発生流速: Y (m/s) は、次の一次回帰式で示された。

$$Y = 0.00300X - 0.012 \quad (R^2 = 0.999)$$

この結果から、本回流水槽の最大流速計画値1,000m/sに対するインペラーの所要回転数は338と算定される。

本回流水槽には、水深調整用の移動床が具備されている。移動床を上昇させて、観測部水深を700mmとした場合のインペラー回転数と流速の関係は次の一次回帰式で示された。

$$Y = 0.00365X - 0.012 \quad (R^2 = 0.999)$$

いずれの水深においても、発生流速と回転数は、直線的な関係で示されたが、観測部水深を1500mmから700mmに浅くすることにより、同インペラー回転数で発生する流速値は約22%増大したので、今後、観測部水深と発生流速の関係を、各水深において詳細に測定したい。

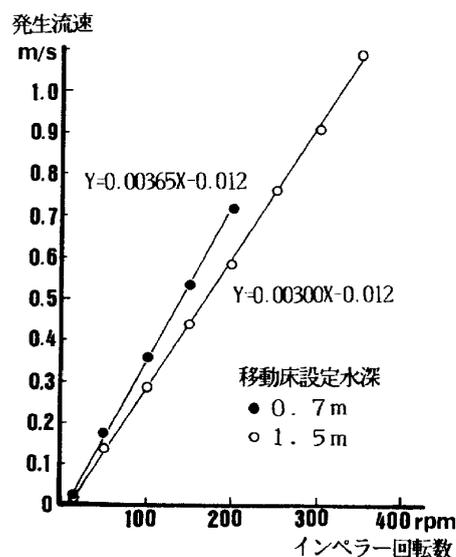


図2 インペラー回転数と発生流速の特性
Fig. 2 Impeller Revolution vs Flow Velocity

2 流速分布

回流水槽の性能において、最も重要なことは、測定部断面における流速分布の均一性である。1960年代の回流水槽は速度偏差が約20%であったが、最近では2%以内に制御されている。(回流水槽懇談会, 1985²⁾)

本回流水槽の平均流速0.510m/s及び1.034m/sにおける流速分布を図3及び図4に示す。図中の平均流速値(V_m)は全測定点の平均値を、等高線の値は各測定点の流

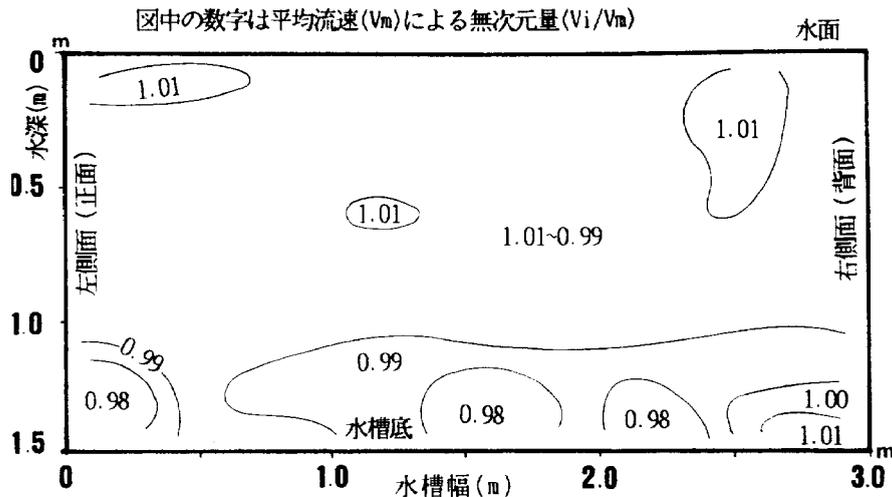


図3 流速分布 (平均流速 $V_m = 0.510\text{m/sec}$)
Fig. 3 Velocity Distribution at 0.510m/sec

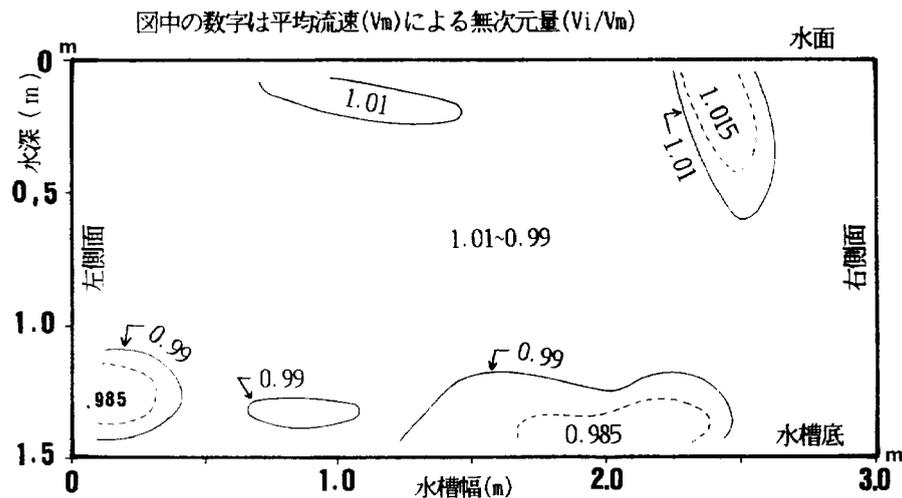


図4 流速分布 (平均流速 $V_m = 1.034\text{m/sec}$)
Fig. 4 Velocity Profile at $v_m = 1.034\text{m/sec}$

値(V_i)を平均流速値(V_m)で無次元化(V_i/V_m)した値を表している。また、この図は制波板から1.5m下流の流軸に対する垂直断面を下流から上流を見た状態で示している。

平均流速 0.510m/s の時には(図3)、左上および中央部よりやや左上方に $V_i/V_m = 1.01$ レベルのやや速い速度域があり、水深 1.0m より下方に $V_i/V_m = 0.99$ 以下の遅い速度域が見られる。全体としては、 V_i/V_m は $1.01(+1.0\%) \sim 0.98(-2.0\%)$ の範囲内にある。

平均流速 1.034m/s では(図4)、右上に $V_i/V_m = 1.015$ レベルの速い速度域があり、水深 1.0m/s より下方では $V_i/V_m = 0.985$ の遅い速度域が左および中央部右に存在する。全体として V_i/V_m は $1.015(+1.5\%) \sim 0.985(-1.5\%)$ の範囲内にある。

平均流速 0.510m/s 及び 1.034m/s における流速分布はそれぞれ平均流速値に対して $+1.0\% \sim -2.0\%$ 、 $\pm 1.5\%$ 程度で流速が均一化されていることがわかった。

3 表面流発生装置のローター回転数とインペラ回転数の関係

表・底面流発生装置は、水面・底面付近の境界層の存在による流速の低下を改善するために使用する。水面・底面付近の流速の低下は、水面や底面付近に供試体を設置する時、計測値に均一時と異なる影響を与えるため、流速の均一化の補正が必要である。このため本回流水槽では、水封式ローター方式(小倉ら, 1974²⁾)を採用している。

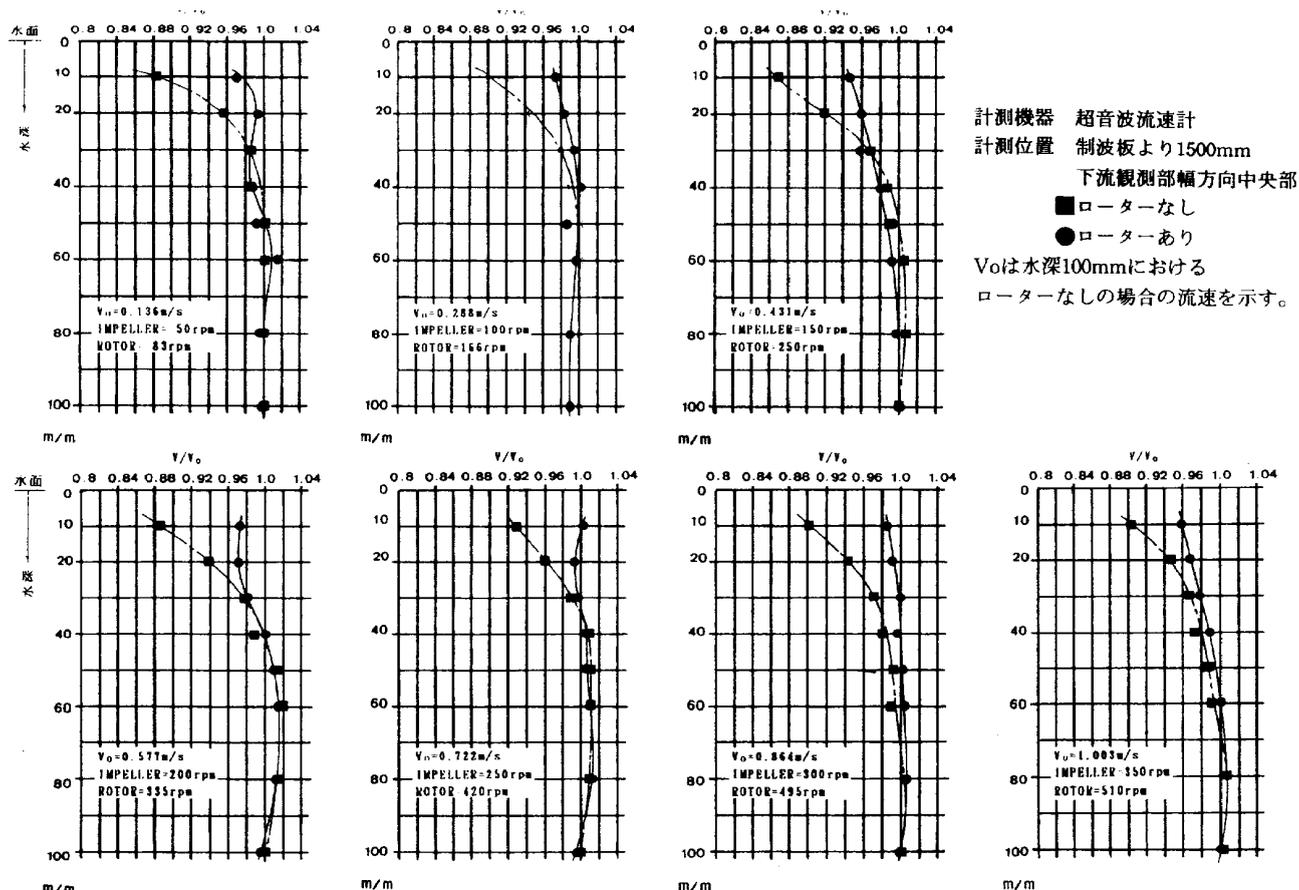


図5 各流速値における表面流発生装置の効果
Fig. 5 Effect of Surface rotor acceleration on velocity.

3-1 表面流発生装置のローター回転数とインペラ回転数の関係

各流速における水深10mm~100mmの流速分布を、ローター回転数が0とローター回転数を最適値とした場合について、主流速で無次元化して図5に示す。いずれの主流速においても、ローター回転数が0の場合の表面流は水深40mm以浅で遅く、特に主流速が0.577m/s以下では顕著であった。しかし、表面流を補正するローターを使用すると、主流速と表面流の差は非常に小さくなり、水面付近までの流速の不均一性が改善することがわかった。これらの結果を整理し、表面流発生装置のインペラ回転数とローター回転数の関係を図6に示す。インペラ回転数300(0.89cm/s)付近までは直線的な関係を示すが、インペラ回転数300を境として、インペラ回転数に対するローター回転数の上昇割合が低くなる傾向がある。インペラ回転数300までの回帰式を次に示す。

$$Y = 1.65X + 2.47 \quad (R^2 = 0.999)$$

(X = インペラ回転数 : rpm、Y = ローター回転数 : rpm)

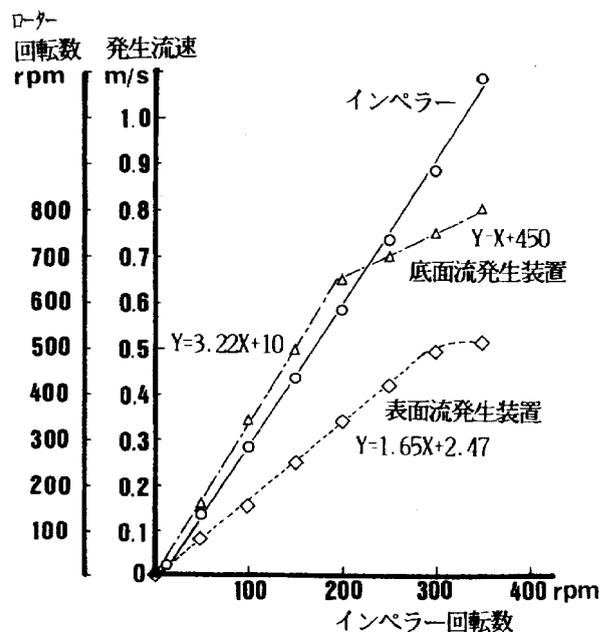


図6 インペラ回転数と表面・底面流発生装置のローター回転数の関係

Fig. 6 Characteristics of Flow Velocity, Impeller Revolution and Surface-Bottom Accelerator

3-2 底面流発生装置のローター回転数とインペラ回転数の関係

各流速における底面から10mm~100mmのローターの回転数が0の場合とローターの回転数を最適値にした場合の流速分布を主流速で無次元化して図7に示す。表面流発生装置の場合と同様に、いずれの主流速においても、ローターを使用しない場合の底面流は底面から20mm以深で遅く、特に主流速が0.411m/s以下では顕著であった。しかし、底面流を補正するローターを使用すると、主流速と底面流の差は非常に小さくなり、底面付近までの流速の不均一性が改善されることがわかった。これらの結果を整理すると、底面流発生装置のインペラ回転数とローター回転数の関係は図6のようになる。インペラ回転数200回転付近を境として、インペラ回転数に対するローター回転数の上昇割合が低くなる傾向が見られるが、インペラ回転数が0~200及び200~350の両区間では直線的な関係にある。インペラ回転数0~200及び200~300の回帰式をそれぞれ次に示す。

$Y = 3.22X + 10$ ($R^2 = 0.999$): インペラ回転数 0~200
 $Y = X + 450$ ($R^2 = 1.0$): インペラ回転数 200~300
 (X = インペラ回転数: rpm、Y = ローター回転数: rpm)

4 定在波および水面傾斜

平均流速0.50m/sと1.00m/sにおける定在波および水面傾斜の大きさを図8及び図9に示す。平均流速0.50m/sでは、定在波は±0.5mm以内であり、水面傾斜は1/6200であった。

平均流速1.00m/sでは、定在波は±1.0mm以内であり、水面傾斜は1/4065であった。平均流速が大きくなると、定在波及び水面傾斜が大きくなることわかる。

5 サージング

平均流速1.00m/sにおけるサージングの大きさを図10に示す。サージングは±1.0mm以内である。

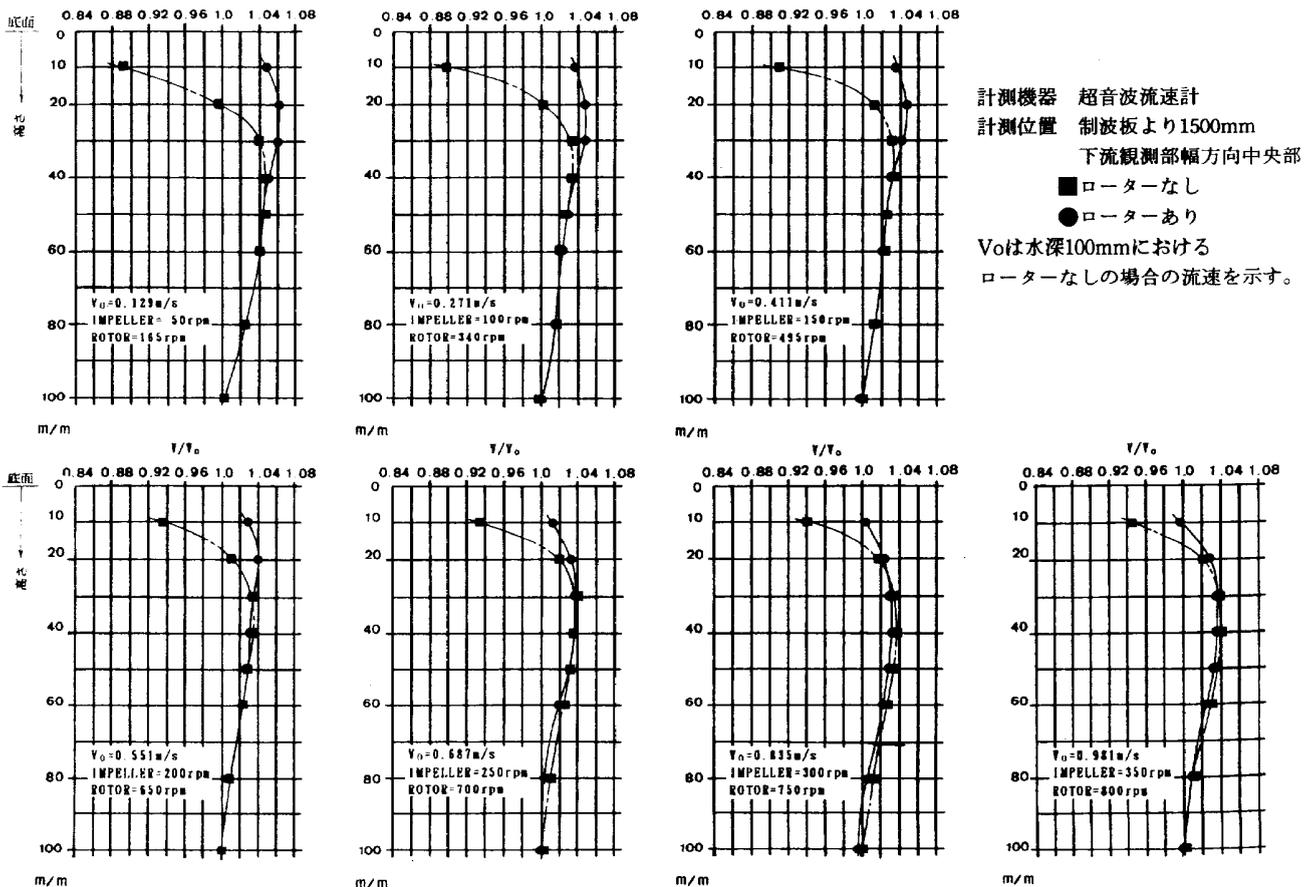


図7 各流速値における底面流発生装置の効果
 Fig.7 Effect of Bottom rotor acceleration on velocity

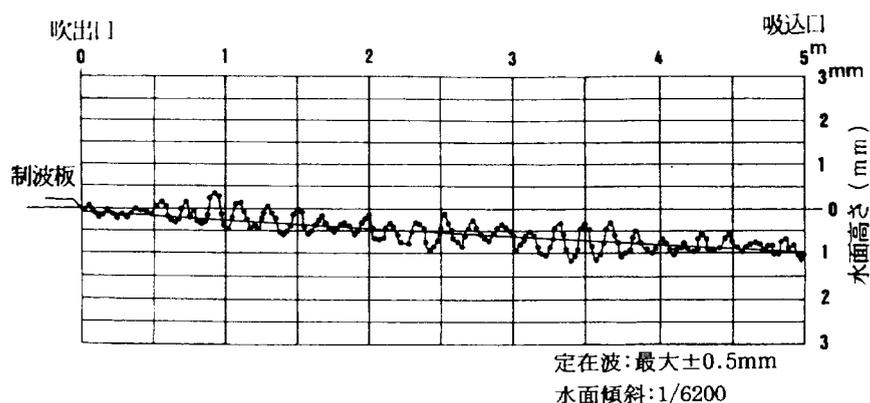


図8 定在波と水面傾斜 (平均流速0.5m/sec)

Fig.8 Steady Wave Height and Water Surface Inclination at 0.5m/sec

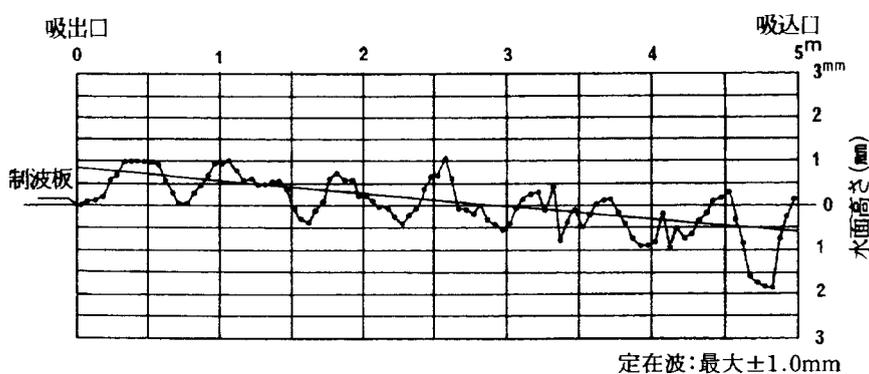


図9 定在波と水面傾斜 (平均流速1.0m/sec) 水面傾斜: 1/4065

Fig.9 Steady Wave Height and Water Surface Inclination at 1.0m/sec

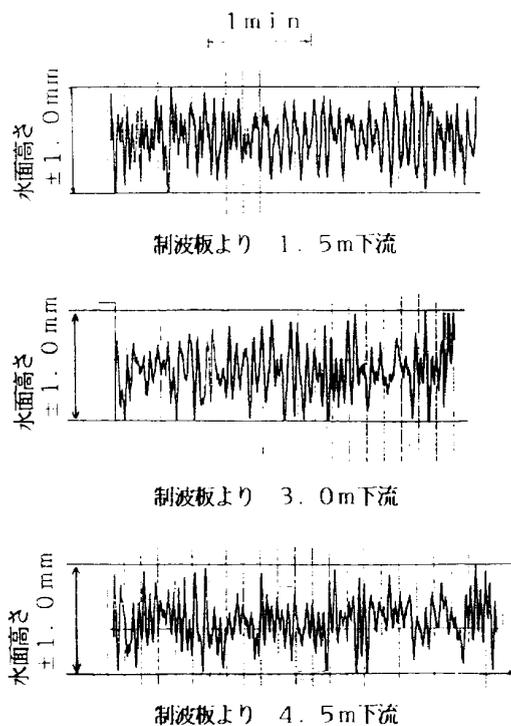


図10 サージング (平均流速1.0m/s)

Fig.10 Surging at 1.0m/sec

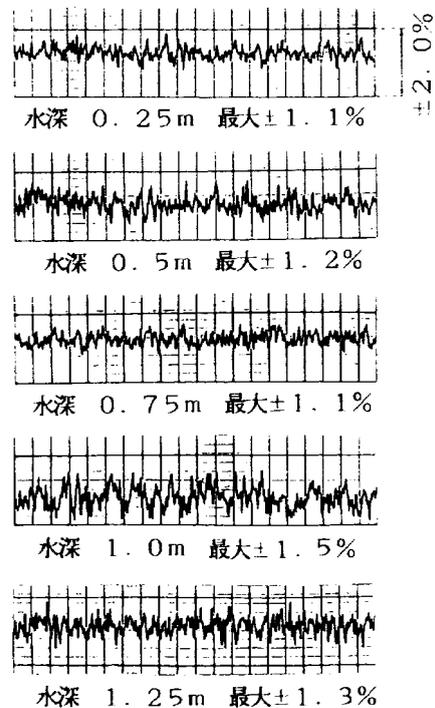


図11 平均乱れ度 (平均流速0.5m/s)

Fig.11 Velocity Fluctuations at 0.5m/sec

6 平均乱れ度

平均流速 (V_{mean}) 0.5 m/s における水深 (0.25 m, 0.5 m, 0.75 m, 1.0 m, 1.25 m) 毎の平均乱れ度を図 11 に示す。水深 0.25 m では $\pm 1.1\%$, 0.5 m では $\pm 1.2\%$, 0.75 m では $\pm 1.1\%$, 1.0 m では $\pm 1.5\%$, 水深 1.25 m では $\pm 1.3\%$ であった。

要 約

本水槽の設計における基本計画と機能については、前報告 (石戸谷, 1994) で報告した。本論ではこの水槽の基本性能 (発生流速、流速分布、表面・底面流発生装置、定在波、サージング、水面傾斜、平均乱れ度) の測定結果について報告した。

1 発生流速 (インペラ回転数と流速との関係)

観測部水深 1500 mm におけるインペラ回転数と流速の関係は直線的でその回帰式は次に示すとおりである。

$$Y = 0.00300X - 0.012 \quad (R^2 = 0.999)$$

移動床を上昇させて観測部水深を 700 mm にした場合のインペラ回転数と流速の関係も直線的でその回帰式は次に示すとおりである。

$$Y = 0.00365X - 0.012 \quad (R^2 = 0.999)$$

(X = インペラ回転数 : rpm、 Y = 発生流速 : m/s)

観測部水深を 1500 mm から 700 mm に浅くすることにより、同インペラ回転数で発生する流速値は約 22% 増大した。

2 流速分布

平均流速 0.510 m/s 及び 1.034 m/s における断面の流速分布はそれぞれ平均流速値に対して +1.5% ~ -2.0%、 $\pm 1.5\%$ 以内に均一化されている。

3 表・底面流発生装置のローター回転数とインペラ回転数の関係

3 - 1 表面流発生装置のローター回転数とインペラ回転数の関係は直線的である。インペラ回転数 300 までの回帰式は次に示すとおりである。

$$Y = 1.65X + 2.47 \quad (R^2 = 0.999)$$

3 - 2 底面流発生装置のローター回転数とインペラ回転数の関係は直線的である。インペラ回転数 0 ~ 200 及び 200 ~ 300 までの回帰式はそれぞれ次に示すとおりである。

$$Y = 3.22X + 10 \quad (R^2 = 0.999) : \text{インペラ回転数 } 0 \sim 200$$

$$Y = X + 450 \quad (R^2 = 1.0) : \text{インペラ回転数 } 200 \sim 300$$

(X = インペラ回転数 : rpm、 Y = ローター回転数 : rpm)

4 定在波および水面傾斜

平均流速 0.5 m/s では、定在波は ± 0.5 mm 以内であり、水面傾斜は 1/6200 である。平均流速 1.0 m/s では、定在波は ± 1.0 mm 以内であり、水面傾斜は 1/4065 である。

5 サージング

平均流速 1.0 m/s におけるサージングは ± 1.0 mm 以内であった。

6 平均乱れ度

平均流速 0.5 m/s における平均乱れ度は、水深 0.25 m では $\pm 1.1\%$ 、0.5 m では $\pm 1.2\%$ 、0.75 m では $\pm 1.1\%$ 、1.0 m では $\pm 1.5\%$ 、水深 1.25 m では $\pm 1.3\%$ であった。

謝 辞

本水槽の基本性能測定に際しご協力をいただいた相模湾試験場非常勤職員 (技術嘱託) 小沢孝雄氏、西日本流体技研今村国利氏並びに細川護久氏に深く感謝する。

また、本報告の取りまとめに際し、有益な助言をいただいた水産庁水産工学研究所川嶋敏彦漁船性能室長にお礼申し上げます。

引用文献

- 1) 石戸谷博範 (1994): 神奈川県水産試験場相模湾試験場の水産工学用実験回流水槽の基本設計と機能、神奈川県水産試験場研究報告, 15, 41-53
- 2) 回流水槽懇談会 (1985): 回流水槽セミナー, 15-38
- 3) 小倉理一、今村国利、山崎芳嗣 (1974): 回流水槽における表面流の増加装置について、西部造船会会報, 48