HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	北海道大学水産学部大型水理実験水槽の風速分布特性に関する研究
Author(s)	岩森, 利弘; 木村, 暢夫; 岩尾, 亮; 堀越, 光晴; 天下井, 清
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 48(1-2), 1-12
Issue Date	1997-08
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/24158
Type	bulletin (article)
File Information	48(1_2)_P1-12.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北 大 水 産 彙 報
48(1/2), 1-12. 1997.

北海道大学水産学部大型水理実験水槽の風速分布特性に関する研究

岩森　利弘[1)]・木村　暢夫[2)]・岩尾　　亮[3)]
堀越　光晴[4)]・天下井　清[2)]

A Test of the Characteristics of the Wind Distribution on the Tank in Faculty of Fisheries

Toshihiro IWAMORI[1)], Nobuo KIMURA[2)], Ryo IWAO[3)],
Mitsuharu HORIKOSHI[4)] and Kiyoshi AMAGAI[2)]

Abstract

A big long towing tank was built in Faculty of Fisheries in 1980. Since then it has been used various experiments in the field of fishing engineering such as towing tests used by the models of fishing vessels and fishing gears under the regular wave conditions. Since the fans with AEM type were completely equipped on the tank in 1996, we can use the blow on the tank and carry out the experiment on nearer natural condition.

The clarified characteristics of the wind distribution are as follows:

(1) The wind velocity was uniformly distributed in the vertical direction to the water level in the range of 25 m from the blowing point of the fans.

(2) There is a little difference of the distribution in the wide direction close to the blowing point of the fans. However, it would be little effect on the actual experiment in the case of further distance or lower frequency of the fans, particularly beyond the scope of 5.0 m from the blowing point of the fans.

(3) The distributions of wind velocity were precisely estimated using by the nonlinear regressive equation based on 2 parameters, the distance and the frequency of fans.

key word: towing tank, tank test, fishing engineering, model test

緒　　論

昭和55年，北海道大学水産学部に大型水理実験水槽（長さ 50.0 m, 幅 3.5 m, 水深 1.5 m）が設置され，現在まで漁船・漁具の曳航試験や規則波中での動揺特性等漁業工学に関する様々な実験に用いられてきた。その間，計測機器の整備や漁船の高速化にあわせた曳引電車の速度アップ

1) 北海道大学水産学部練習船研究室
(*Laboratory of Training ship, Faculty of Fisheries, Hokkaido University*)
2) 北海道大学水産学部生産管理学講座
(*Fishing Production Management, Faculty of Fisheries, Hokkaido University*)
3) 北海道大学水産学部漁業学科
(*Fishing Science, Faculty of Fisheries, Hokkaido University*)
4) 北海道大学大学院水産学研究科
(*Graduate School of Fisheries science, Hokkaido University*)

(現在，最大速度 2.2 m•s^{-1}) 等の改修を経て現在に至っている。

平成 8 年，AEM 型軸流送風機を整備し，大型水理実験水槽に常設したことにより，規則波と同時に風を発生させることが可能となり，従来より自然状態に近い条件で水理実験が可能となった。

国内外における送風装置付き水槽としては，ウエスタンオンタリオ大学 (University of Western Ontario)，九州大学 (光易ら，1987)，住友重機械工業 (株) (試験風洞建設委員会，1986)，運輸省船舶技術研究所 (青木ら，1995) 等がある。これらの風水洞は，基本的にはゲッチンゲン型回流式風洞で閉鎖型，開放型両方に使用できる優れたものであるが計測部長さはウエスタンオンタリオ大学の風水洞を除いて，いづれも 15 m～20 m と比較的短い。今回，水産学部大型水理実験水槽に 5.5 kW 送風機 2 機による送風装置が設置されたことにより開放型で最大風速 13 m•s^{-1} まで発生することが出来，水槽長さ 50 m の範囲で，造波装置による波 (波高 30 cm まで，波長 1.0 m～8.0 m) と風波の共存する実海域の海象を再現出来るようになった。

今回，送風装置を用いて発生させた風の水槽上の風速分布特性を明らかにしたので報告する。

実　　験

今回整備を行った送風装置は AEM 型軸流送風機 (エハラ送風機，5.5 kW) 2 機と風速を調節するためのトランジスタインバーター (春日電機，KVFR255) からなる。AEM 型軸流送風機の概要を Fig. 1 に示す。

設定した水面から送風口下面までの高さは 0.1 m である。水面から高さ方向に対し均一な風速

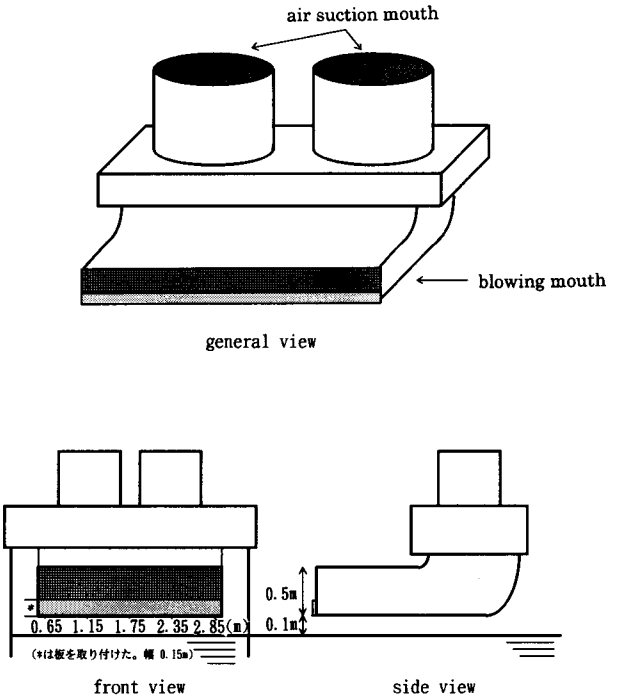

Fig. 1　General view of the blowing equipment.

分布を得るために送風口に 15 cm の板を取り付け調整した。送風装置を設置した状態での大型水理実験水槽の全体図を Fig. 2 に示す。

大型水理実験水槽の計測座標を Fig. 3 に示す。水槽の長さ方向を送風口からの距離 (D) [m]，水槽の幅方向を測定点の位置 (P) [m]，水槽の高さ方向を水面からの高さ (H) [m]，及び送風装置のトランジスタインバータの周波数を送風機の回転数 (F) [Hz] とした。

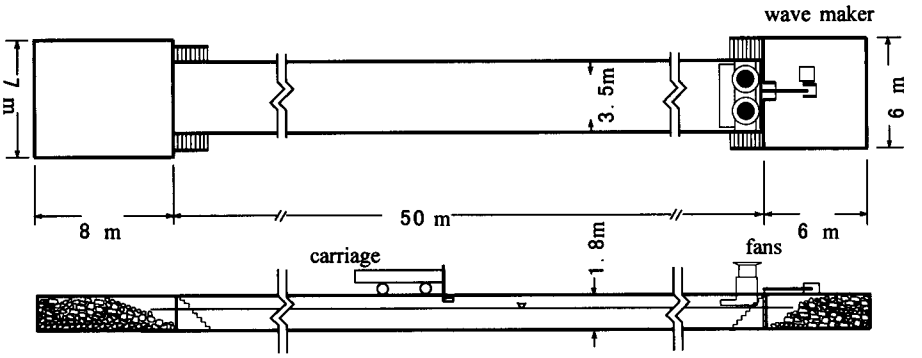

Fig. 2 Outline of the towing tank set up the blowing equipment.

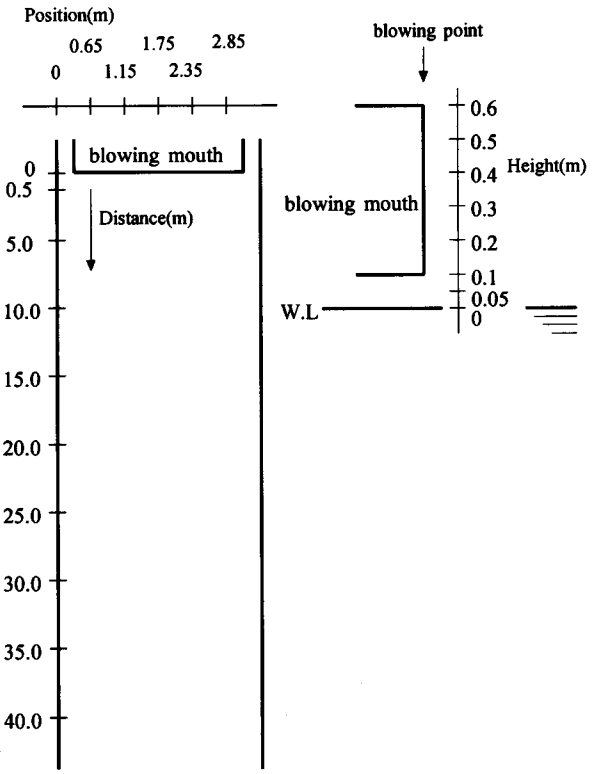

Fig. 3 Coordinate system of the measurements.

風速は，微風速計 (ISA-67, 柴田科学器械工業) を用いて各測定点で2分間固定し測定した。微風速計は，毎秒16回の移動平均を1秒の値とし，今回は60秒間の平均値を風速の計測値とした。また，風の方向性に関しては，各測定点で毛糸をたなびかせ，その様子をビデオ撮影し，風が水面に平行に吹いていることを検証した。

水槽実験は，平成8年9月から11月にかけて実施し，D が 0.5 m, 5.0 m, 10.0 m, 15.0 m, 20.0 m, 25.0 m, 30.0 m, 35.0 m, 及び 40.0 m の9点，P が 0.65 m, 1.15 m, 1.75 m, 2.35 m, 及び 2.85 m の5点，H が 0.05 m, 0.1 m, 0.2 m, 0.3 m, 0.4 m, 0.5 m, 及び 0.6 m の7点，F が 30 Hz, 35 Hz, 40 Hz, 45 Hz, 及び 50 Hz の5種類の風速条件の組み合わせについて行った。今回これら全ての組み合わせ (1,575 組) のうち，水槽上における風速分布特性を把握し得るのに必要な，965 計測を実施した。

結　　果

P が水槽の中央 (1.75 m), F が 30 Hz～50 Hz における，D, H と風速の関係を Fig. 4(a)～(e) に示す。発生した風は送風口から D が増すにつれ風速は次第に低下するが，20 m～25 m 付近ま

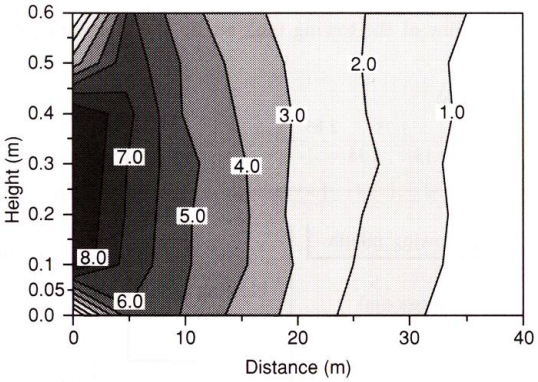

Fig. 4(a)　Distribution of the wind velocity [m•s^{-1}], frequency = 30 Hz, position 1.75 m.

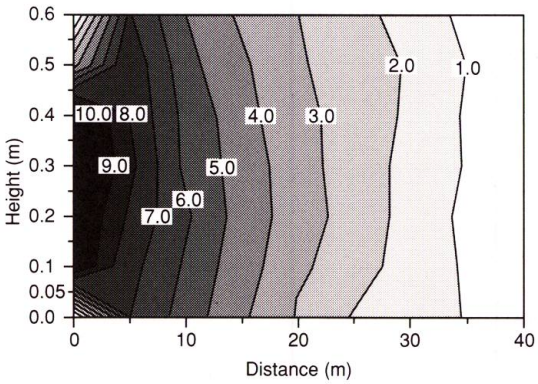

Fig. 4(b)　Distribution of the wind velocity [m•s^{-1}], frequency = 35 Hz, position = 1.75 m.

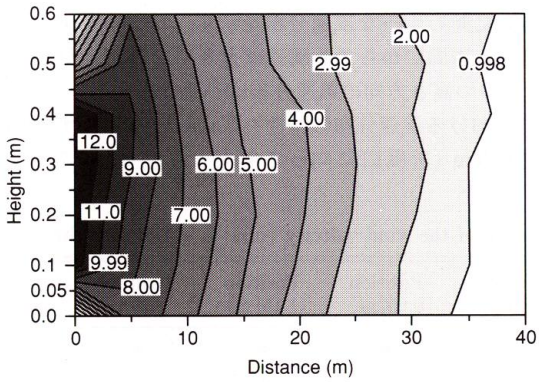

Fig. 4(c) Distribution of the wind velocity [m•s^{-1}], frequency = 40 Hz, position = 1.75 m.

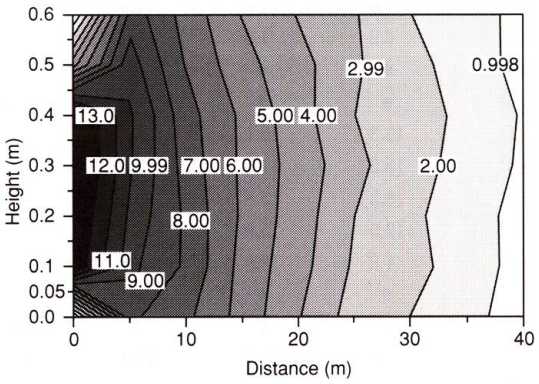

Fig. 4(d) Distribution of the wind velocity [m•s^{-1}], frequency = 45 Hz, position = 1.75 m.

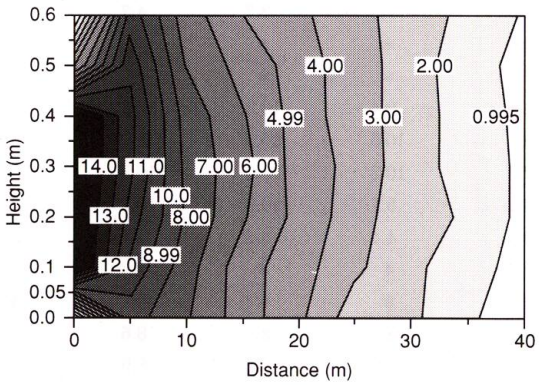

Fig. 4(e) Distribution of the wind velocity [m•s^{-1}], frequency = 50 Hz, position = 1.75 m.

では，水面から高さ方向に対し均一な風速分布を示し，H 方向の変化は少ない。F が大きいほど，送風機の出力が増し，送風口からでる風速は大きくなるが，D による風速の減衰は風速が大きい時減衰も大きく，且つ高さ方向の風速分布は一様であった。

次に，水槽の P 方向における風速分布の特性を Table 1～3 に示す。Table 2 に示す様に，D=5.0 m において，P が 1.15 m (送風口に向って中央より左側), 1.75 m (中央) の場合に比べ，

Table 1 Distribution of the wind velocity [m•s^{-1}] in the wide direction, distance=0.5 m.

Frequency [Hz]	Height [m]	Position 0.65[m]	Position 1.15[m]	Position 1.75[m]	Position 2.35[m]	Position 2.85[m]
50[Hz]	0.05	*	*	*	*	*
	0.1	13.0	14.1	14.4	13.8	12.7
	0.2	14.9	14.3	14.5	14.4	13.2
	0.3	14.7	15.0	14.8	14.8	13.9
	0.4	14.0	14.8	14.5	14.8	14.9
	0.5	6.2	4.0	4.7	5.5	7.7
	0.6	*	*	*	*	*
45[Hz]	0.05	*	*	*	*	*
	0.1	12.3	13.1	12.8	13.0	11.5
	0.2	13.5	13.4	13.3	13.1	12.2
	0.3	13.3	13.8	13.7	13.5	13.1
	0.4	12.5	13.6	13.5	13.5	13.7
	0.5	4.8	3.9	4.8	5.3	6.0
	0.6	*	*	*	*	*
40[Hz]	0.05	*	*	*	*	*
	0.1	10.8	11.7	11.3	11.3	10.3
	0.2	12.2	11.9	11.8	11.7	10.4
	0.3	11.9	12.3	12.4	12.0	11.6
	0.4	10.9	12.2	12.2	12.2	12.2
	0.5	4.3	3.7	4.7	5.4	5.8
	0.6	*	*	*	*	*
35[Hz]	0.05	*	*	*	*	*
	0.1	9.4	10.3	10.1	10.0	8.9
	0.2	10.5	10.2	10.1	10.1	9.4
	0.3	10.2	10.7	10.8	10.4	10.2
	0.4	9.7	10.6	10.6	10.4	10.6
	0.5	4.4	3.2	3.7	3.0	4.9
	0.6	*	*	*	*	*
30[Hz]	0.05	*	*	*	*	*
	0.1	8.2	8.8	8.6	8.6	7.8
	0.2	8.9	8.8	8.9	8.7	8.0
	0.3	8.9	9.2	9.2	8.8	8.7
	0.4	8.5	9.1	9.1	8.9	9.1
	0.5	3.6	2.8	3.6	3.5	4.8
	0.6	*	*	*	*	*

Table 2 Distribution of the wind velocity [m•s^{-1}] in the wide direction, distance=5.0 m.

Frequency [Hz]	Height [m]	Position 1.15[m]	Position 1.75[m]	Position 2.35[m]
50[Hz]	0.05	10.1	8.5	10.9
	0.1	10.0	9.7	11.8
	0.2	11.0	10.5	11.8
	0.3	11.0	11.2	10.7
	0.4	10.8	11.4	9.8
	0.5	9.7	10.8	8.2
	0.6	8.5	9.5	6.5
45[Hz]	0.05	9.4	8.2	9.8
	0.1	9.5	9.2	11.0
	0.2	9.7	9.7	10.3
	0.3	9.9	10.1	9.6
	0.4	9.4	10.2	8.2
	0.5	8.8	9.5	7.3
	0.6	7.8	8.5	6.2
40[Hz]	0.05	8.7	7.8	9.5
	0.1	8.5	8.2	9.8
	0.2	8.7	8.5	9.7
	0.3	9.0	9.1	9.5
	0.4	8.5	9.2	8.9
	0.5	7.9	8.7	7.8
	0.6	7.1	7.9	6.7
35[Hz]	0.05	7.8	7.0	8.6
	0.1	7.5	7.2	8.8
	0.2	7.6	7.7	8.8
	0.3	7.9	8.2	8.5
	0.4	7.7	7.9	7.7
	0.5	7.3	7.7	7.0
	0.6	6.2	7.1	5.8
30[Hz]	0.05	6.8	5.9	7.4
	0.1	6.6	6.6	7.6
	0.2	6.7	6.8	7.6
	0.3	6.9	6.9	7.3
	0.4	6.8	7.2	6.8
	0.5	6.1	6.7	5.9
	0.6	5.2	6.2	4.9

2.35 m (中央より右側) の場合の方が風速が大きい。特に $H=0.05$ m〜0.2 m にかけては，偏りが顕著に認められる。これは，送風装置が左右 2 つのモーターで構成されているため，右側のモーターから出力される風が左側の風に比べ若干水面に打ち付けるように出力されている影響と推測される。この現象も，D が大きくなるかあるいは F が小さくなれば相違は小さくなる。

Table 3 Distribution of the wind velocity [m•s^{-1}] in the wide direction, distance = 10.0 m.

Frequency [Hz]	Height [m]	Position 1.15[m]	Position 1.75[m]	Position 2.35[m]
50[Hz]	0.05	6.8	7.1	7.6
	0.1	7.4	7.4	7.8
	0.2	8.0	7.9	7.8
	0.3	8.0	7.8	7.4
	0.4	7.7	7.6	6.9
	0.5	7.2	6.9	6.3
	0.6	6.8	6.5	5.2
45[Hz]	0.05	7.0	7.2	7.5
	0.1	7.4	7.8	7.7
	0.2	7.4	7.8	7.8
	0.3	7.0	7.6	7.6
	0.4	6.8	7.4	7.0
	0.5	6.5	6.9	6.5
	0.6	5.8	6.6	5.5
40[Hz]	0.05	5.8	6.3	6.1
	0.1	6.0	6.7	6.3
	0.2	6.5	6.9	6.3
	0.3	6.3	6.9	6.1
	0.4	5.9	6.6	5.8
	0.5	5.7	6.2	5.3
	0.6	5.4	5.5	4.7
35[Hz]	0.05	5.3	5.6	5.4
	0.1	5.6	5.8	5.6
	0.2	5.7	6.1	5.8
	0.3	5.9	5.8	5.7
	0.4	5.1	5.8	5.4
	0.5	4.9	5.3	4.6
	0.6	4.7	5.0	4.4
30[Hz]	0.05	4.7	4.9	4.5
	0.1	4.6	5.1	4.8
	0.2	5.0	5.1	5.1
	0.3	4.9	5.3	4.8
	0.4	4.5	4.9	4.6
	0.5	4.5	4.8	4.1
	0.6	4.0	4.3	3.5

風速の予測式

大型水理実験水槽において，風速に影響を与える要因は，送風機の周波数 (F)，送風口からの距離 (D)，水面からの高さ (H) 及び水槽の幅方向の位置 (P) である。今回は水槽試験等で風

コンディションを簡単に設定する目的から，水槽の幅方向では中央位置（$P=1.75$ m）で，水面からの高さを変化させた時の F と D の2変数による風速の推定を行った。

回帰式は，最小自乗法を用いて非線形近似を行い，推定された回帰式に対し決定係数を求めた。それぞれの回帰係数に基づき推定した t 値について有意水準5%で仮説検定を行った。

まず，風速 W [m•s^{-1}] を送風口からの距離 D [m] で推定する回帰式は，次式の通り表すことができる。

$$W=a_0+a_1D+a_2D^2+a_3D^3+\cdots+a_kD^k+\varepsilon_1 \tag{1}$$

ここで，$a_0, a_1, \cdots, a_k$は定数，k は任意の正の正数，ε は誤差，さらに定数 $a_0, a_1, \cdots, a_k$は送風機の周波数によって変化するので周波数による回帰を加えると，(1) 式は

$$W=(b_0+b_1F+\cdots+b_kF^k)+(c_0+c_1F+\cdots+c_kF^k)\ D+\cdots+(e_0+e_1F+\cdots+e_kF^k)\ D^k+\varepsilon_2 \tag{2}$$

ここで，F は送風機の周波数 [Hz]

となり，風速を F と D の2変数から推定することが出来る。

実験値から推定した回帰式は次の通りである。

$H=0.1$ m, $P=1.75$ m の場合

$W=(g_0+g_1F)+(h_0+h_1F+h_2F^2+h_3F^3)\ D+(i_0+i_1F+i_2F^2)\ D^2$

$g_0=0.77811,\ g_1=0.25859$

$h_0=2.03078,\ h_1=-0.17945,\ h_2=0.00452,\ h_3=-0.00004$

$i_0=0.00965,\ i_1=-0.00040,\ i_2=0.00001$

$H=0.2$ m, $P=1.75$ m の場合

$W=(j_0+j_1F)+(k_0+k_1F+k_2F^2)\ D+(l_0+l_1F)\ D^2$

$j_0=0.83819,\ j_1=0.26573$

$k_0=-0.57625,\ k_1=0.01665,\ k_2=-0.00036$

$l_0=-0.00007,\ l_1=0.00015$

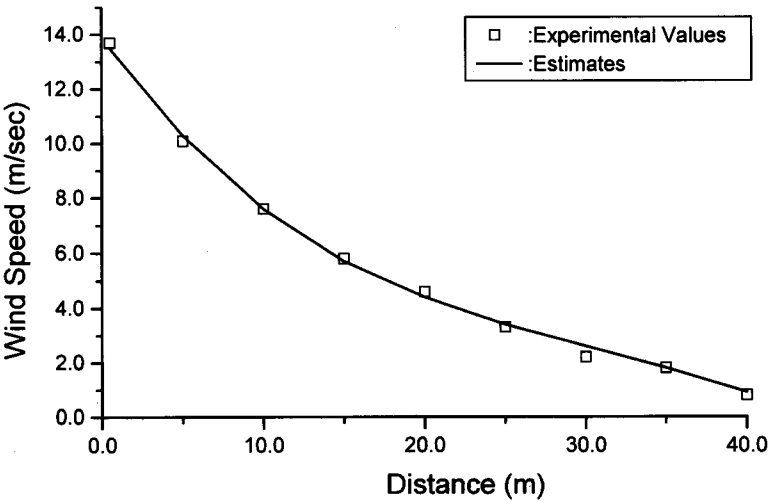

Fig. 5 Estimation of the wind velocity [m•s^{-1}], frequency=45 Hz, position=1.75 m, height=0.3 m.

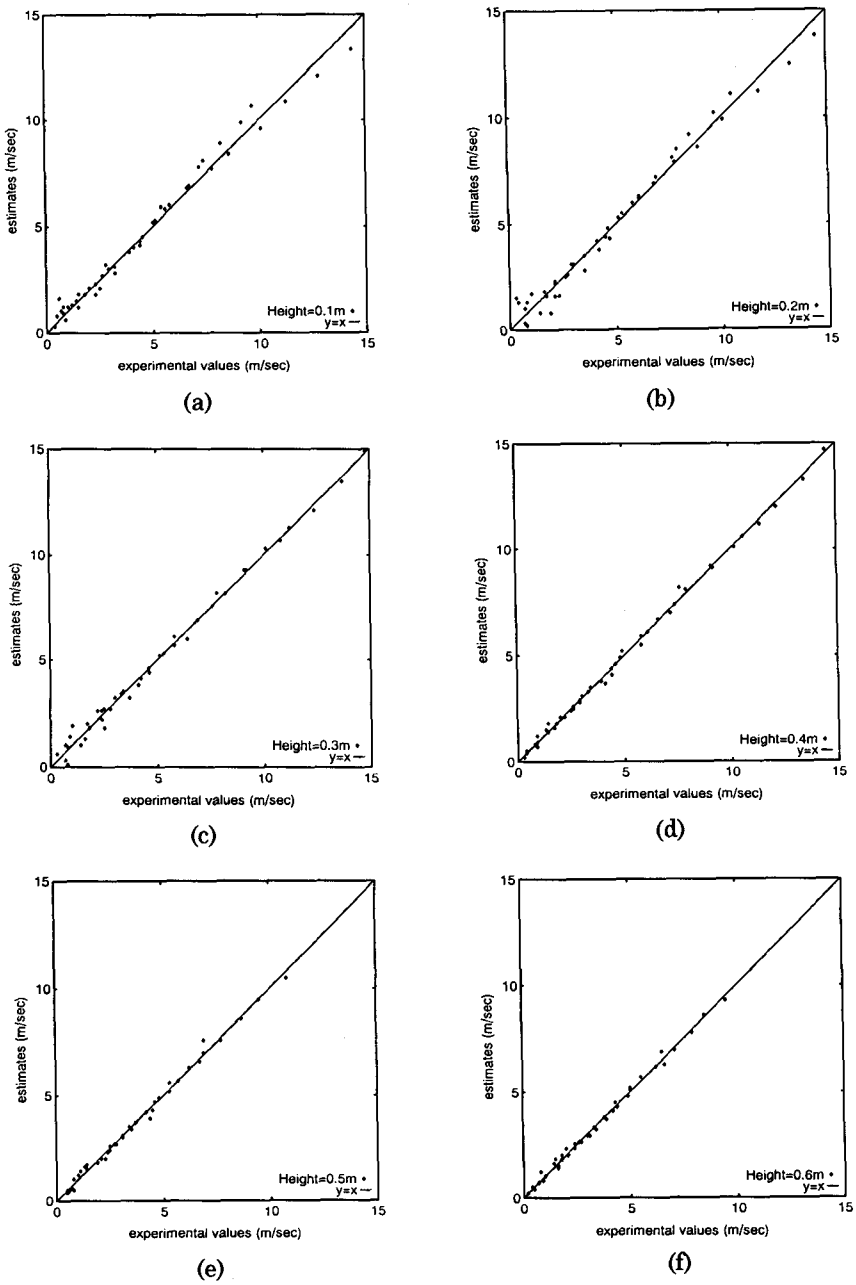

Fig. 6 Relationship between the experimental values and the estimates, (a) : height=0.1 m, (b) : height=0.2 m, (c) : height=0.3 m, (d) : height=0.4 m, (e) : height=0.5 m, (f) : height=0.6 m.

$H=0.3$ m, $P=1.75$ m の場合

$$W=(m_0+m_1F)+(n_0+n_1F)\ D+(o_0+o_1F+o_2F^2)\ D^2+(p_0+p_1F)\ D^3$$

$m_0=0.79866$, $m_1=0.29076$, $n_0=0.05262$, $n_1=-0.01957$

$o_0=-0.03476$, $o_1=0.00214$, $o_2=-0.00002$

$p_0=-0.00053$, $p_1=-0.00003$

$H=0.4$ m, $P=1.75$ m の場合

$$W=(q_0+q_1F)+(r_0+r_1F)\ D+(s_0+s_1F)\ D^2+t_1F\ D^3$$

$q_0=0.95453$, $q_1=0.28451$, $r_0=-0.02674$, $r_1=-0.01787$

$s_0=-0.00016$, $s_1=0.00050$, $t_1=-0.00001$

$H=0.5$ m, $P=1.75$ m の場合

$$W=(u_0+u_1F)+(v_0+v_1F)\ D+(w_0+w_1F)\ D^2+(x_0+x_1F)\ D^3$$

$u_0=0.59857$, $u_1=0.27657$, $v_0=0.09997$, $v_1=-0.02036$

$w_0=-0.00858$, $w_1=0.00071$, $x_0=0.00015$, $x_1=-0.00001$

$H=0.6$ m, $P=1.75$ m の場合

$$W=(\alpha_0+\alpha_1F)+(\beta_0+\beta_1F)\ D+(\gamma_0+\gamma_1F)\ D^2+\zeta_1F\ D^3$$

$\alpha_0=2.33000$, $\alpha_1=0.20614$, $\beta_0=-0.021685$, $\beta_1=-0.01084$

$\gamma_0=0.00801$, $\gamma_1=0.00027$, $\zeta_1=0.00011$

Fig. 5 に $F=45$ Hz, $H=0.3$ m の場合の風速の推定結果を示す。また，Fig. 6(a)～(f) に各周波数ごとの推定値と実測値の比較を示す。H が 0.1 m, 0.2 m の場合に，推定値は実測値と若干の相違が見られるが，H が 0.3 m 以上においてはかなりよい一致が見られ，これらの推定式を用いることで十分風速予測が可能であると判断した。予測誤差については，風速分布からも明らかな様に，水面近くでは造波や波面反射等の影響が有り，また D が 20 m～25 m 以上になると，風速が小さくなり流れも乱れるため，これら領域においては回帰式では正確に再現できなかったものと思われる。

結　　論

以上，実験結果から得られた大型水理実験水槽における送風装置使用時の風速分布特性を要約すると以下の様になる。

(1)　発生した風は送風口から 20 m～25 m 付近までは，水面から高さ方向に対し均一な風速分布を示す。

(2)　AEM 型軸流送風機の 2 つのモーターのうち，中央より右側のモーターは左側のそれよりも水面に打ち付ける風が若干強い偏りがある。しかし，D が大きいか F が小さい場合その偏りも弱まり，通常の実験では問題なく利用できると思われる。$D=5.0$ m 以上の範囲では，風速差は小さく，それほど影響はない。

(3)　距離と送風機の周波数をパラメーターとした風速の非線形回帰式は水槽上の任意の点に発生する風速の推定に極めて有効である。

今後はさらに送風装置で風を発生させることにより生じる不規則波の特性を調べることにより水理実験の幅が広がるものと思われる。

文　　献

Pamphlet of the Boundary Layer Wind Tunnel Laboratory, University of Western Ontario.
光易　恒ら (1987). 海洋環境シミュレーション水槽について，九州大学応用力学研究所所報，**64**, 31-47.
試験風洞建設委員会 (1986). 平塚研究所試験風洞について，住友重機械技報, **34**, 100.
青木修一ら (1995). 変動風水洞の建設及び基本特性，船舶技術研究所報告，**32**(2), 27-64.