

## 5 孔ピトー管の特性について

——船尾伴流計測およびプロペラ起振力の計算例——

正 員 高 橋 肇\*  
正 員 上 田 隆 康\*

### Characteristics of Five-Hole Pitot Tubes

——An Example of Wake Measurement and Calculation of Vibratory Forces——

By Hajime TAKAHASHI  
and Takayasu UEDA

#### Abstract

It is very important to measure the wake distribution accurately from the point of view of the propulsive performance including the problems of cavitation and vibratory forces induced by the propellers. At the 11th and 12th International Towing Tank Conference, the characteristics of five-hole pitot tubes and the measuring technique of the wake behind the ship model always come up for discussion.

Recently, pitot tubes of the N. P. L. type have been calibrated in the Ship Research Institute.

The report deals with the discussion of the characteristics of two 5-hole pitot tubes, and then the comparison between the wake distributions measured behind the model using the pitot comb of the Prandtl's type and the 5-hole pitot tube, are presented. Finally the effect of the two types of wake distributions upon the calculated bearing forces and moments are shown.

#### 緒 言

プロペラ設計、プロペラ起振力ならびにプロペラ・キャビテーションも含めてのいわゆる推進性能を検討するに当つて、船尾伴流を流れの方向をもあわせて十分に把握することはつねに必要なことである。このような理由から肥大船船尾の伴流を計測するための5孔ピトー管を製作して船尾伴流を計測し、この結果を使つて bearing force および moment を準定常的に計算した。

#### 1. 5孔ピトー管の特性について

船尾伴流計測用の5孔ピトー管の開発は国際試験水槽会議 (I. T. T. C.) においても重要研究課題の一つとして取りあげられている程急務な問題となつている。この種の研究開発は諸外国<sup>1), 2), 3)</sup>特にアメリカ、イギリスにおいてかなり行なわれているが最近建造されているような超肥大船の伴流計測に適した5孔ピトー管は今までに殆んど取扱われていない。我が国においても5孔ピトー管を使用しての船尾伴流計測例は1~2報告<sup>4), 5)</sup>されているにすぎない。

\*船舶技術研究所推進性能部

第11回 I. T. T. C. の Propeller Committee において“N. P. L. 型 5 孔ピトー管を採用することが望ましい”と述べられているので、今回この recommend された 5 孔ピトー管をもとに改造形を 2 種類製作し、これらの特性を調査した。

### 1・1 5 孔ピトー管

5 孔ピトー管の形状および寸法を図-1 に、先端写真を図-2 に示す。図-1 中で NPL として示されているものは、I. T. T. C. で recommend されたもの<sup>3)</sup>である。

apex angle  $\theta$  は図-1 に示されているように、N. P. L. の  $70^\circ$  に対し No. 1 は  $120^\circ$ 、No. 2 は  $100^\circ$  で、いずれもかなり大きくとられている。この apex angle を小さくすると、管相互の水頭差が大きくなり、したがって角度の分解能はよくなるが、一方大きな流入角に対しては計測不能となる。反対に、この apex angle を大きくすると、大きな流入角まで計測範囲が広がるが、一方管相互の水頭差が小さくなり角度の分解能は落ちてくる。このように apex angle の選定には非常にむづかしい問題が含まれているわけであるが、毛糸あるいはタフトグリッド法による流線観測結果また N. P. L. 型等についての試験結果<sup>2)</sup>を参考にして、apex angle を  $100^\circ$  および  $120^\circ$  に決定した。

管の内径  $d$  は No. 1, No. 2 ともに  $1.5\text{mm}\phi$  とした。管の内径を決定するに先だつて、管の内径と時定数の関係を求めるために、 $0.5\text{mm}\phi$ 、 $1.0\text{mm}\phi$  および  $2.0\text{mm}\phi$  の内径をもつパイプを使用して予備試験を行なった。ピトー管およびマンメータを使用した水圧計測の時定数の大きさは、水圧取入れ管、接続ビニール管およびマンメータのガラス管の太さ、長さ、管の内表面の状態、その他計測系全般にわたる色々な要素によつて非常に大きく影響されることはいうまでもない。

船尾流れにできるだけ外乱を与えないようにするためには、管の径を可能な限り小さくすることが望ましいが一方小さくすると時定数が大きくなり 1 航走では計測できない場合もある。勿論このような場合には ref. 6) に記載されているように 1 航走の終了直前にマンメータのコックを閉じ、そのまま出発点にもどり 2 航走目の定常状態においてコックを開けるといつた具合に繰返し航走を行なった後に真の計測結果が得られるという方法もある。このような不便さを克服するために quick response の transducer を使用する方法もあるが、今回は三鷹第 2 船舶試験水槽で常用している水頭読取り式の多管マンメータをそのまま使用し、1 航走で 1 計測することを前提としての予備試験を行なった。その結果、時定数を  $50\text{sec}$  程度におさえるためには管の内径は最小限度  $1.5\text{mm}$  程度必要であることが分つた。

管の材質は SUS27T である。5 孔ピトー管の水平部分 (全長  $380\text{mm}$ ) は先端より長さ  $140\text{mm}$  の露出管、長さ  $95\text{mm}$  の真鍮製テーパ管および長さ  $145\text{mm}$  の真鍮製円管 ( $16\text{mm}\phi$ ) よりなつている。

### 1・2 検定にさきだつて

所要の垂直角度、水平角度に adjust 可能な検定試験装置を製作した。航走速度は  $12\text{m}$  程度の模型船の船尾伴流が計測できるように上限を約  $2\text{m}/\text{sec}$  とした。流入角  $40^\circ$  を越すとピトー管が次第に振動しはじめ、 $50^\circ$  にいたると振動が一層はげしくなるため、検定角度は  $40^\circ\sim 45^\circ$  に押えざるを得なかつた。

図-1 に示す側管の T, B, S. および P の水頭が等しくなる状態すなわちピトー管が流体力学的に流れに平行になる規準状態を見出す操作は、検定前、検定の途中、検定後にできるだけ高い速度でそれぞれ数回行なつた。また、垂直、水平角度を同時に変化させたいいわゆる任意位置での計測もチェックの意味で数点行なつた。マンメータにおける水頭の 0 点は、水槽室内温度の影響を受けて変化するので航走前後に必ず 0 点を記録して参考とした。

### 1・3 試験結果および若干の考察

5 孔ピトー管のヘッド部分を球表面とみなしたときの座標および記号のとり方を図-3 に示す。船尾にあては

めてみると、右舷から左舷に向う流れは  $+V_h$ ,  $+\beta_h$ , 上から下に向う流れは  $+V_v$ ,  $+\beta_v$  である。5孔管の中心管を **C**, 上方の側管を **T**, 下方を **B**, 右舷側を **S**, 左舷側を **P** と名付けた。

角度変化に対する中心管 **C**, 側管 **T**, **B** の水頭変化の一例を図-4 に示す。流速計測用 5孔管の場合には絶対静圧の計測を必要としないので、図-4 の縦軸は任意のレベルからの水頭を示しているにすぎない。したがってこの図においては角度変化に対する水頭の変化の様子のみ注目されたい。球形 5孔ピトー管の場合とくらべて非常に異なっている。すなわち、中心管 **C** の角度に対する感度は球形の場合とくらべてやや劣るが、側管のそれは、きわめて鋭い。中心管の角度感度がやや低かった原因は図-1 中に示す  $d/D$  の値がやや大きかったことによるものと思われる。

5孔ピトー管の速度の変化に対する特性—むしろレイノルズ数の影響と表現する方が適しているかもしれない—の例を図-5, 図-6 に示す。今までに報告されているものは大部分が球形であるがそれらの結果と今回のものを比較してみると、No. 1, No. 2 のピトー管ともかなり低速まで constancy が保たれており、さらに今までに constancy の議論の対象となっていた流入角度が精々  $15^\circ \sim 20^\circ$  までであったことを考慮すれば今回の 5孔ピトー管はともかなり良好な特性を示している。すなわち apex angle  $120^\circ$  の No. 1 ピトー管では  $0.5m/sec$  以上では  $20^\circ$  まで、 $0.8m/sec$  以上では  $30^\circ$  まで constancy が保たれている。一方 apex angle が  $100^\circ$  の No. 2 ピトー管の場合には、 $0.5m/sec$  以上では  $30^\circ \sim 35^\circ$  まで、 $1m/sec$  以上では  $40^\circ$  まで constancy が保たれている。No. 2 の特性は、従来のものにくらべてすぐれているといつてよい。

No. 1 および No. 2 のピトー管の検定曲線を図-7, 図-8 に示す。図中の実線は上下方向、点線は水平方向の検定を示している。実線と点線とでいく分の不一致がみられるし、また  $\beta=0^\circ$  に対する対称性がやや悪い。これらに対する最大の原因はピトー管の製作精度によるものと思われる。図-5~図-8 中に示されている  $(C-T)/V_v^2$  等の表現は使用上の便利さを考慮して無次元表示ではない。

垂直角度 ( $\beta_v$ ) および水平角度 ( $\beta_h$ ) を同時に変化させた場合の定常流中での計測結果では単独に変化させた場合に比べて角度に対して約  $3^\circ$  以内、速度に対して約  $\pm 3\%$  以内の精度で計測できることが判明した。

船尾伴流の実際の計測に当つては、検定曲線の最大角の附近あるいは検定曲線の範囲をこえる場合も考えられるが、このような計測箇所の場合には、最初の航走で大体の角度を推定し、2回目の航走に先立つて 5孔ピトー管を推定角度に調整しておけば進行方向に対して相当大きな流入角度まで精度よく計測することも可能である。しかしこの方法はかなり面倒である。

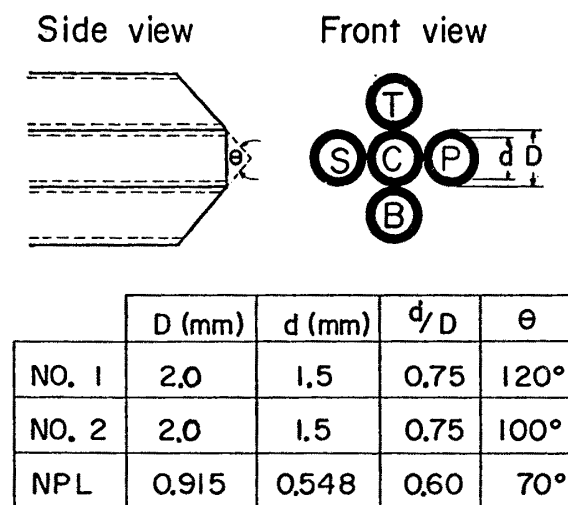


図-1. 5孔ピトー管の外形および寸法



図-2. 5孔ピトー管 (No.1) の先端写真

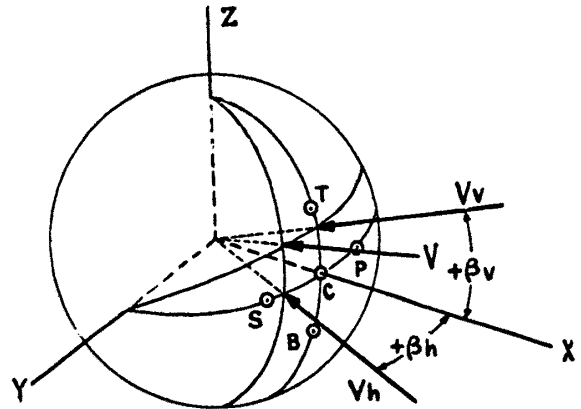


図-3. 5孔ピトー管の座標系等

NO.2 PITOT TUBE  $V_v = 1.50 \text{ m/s}$

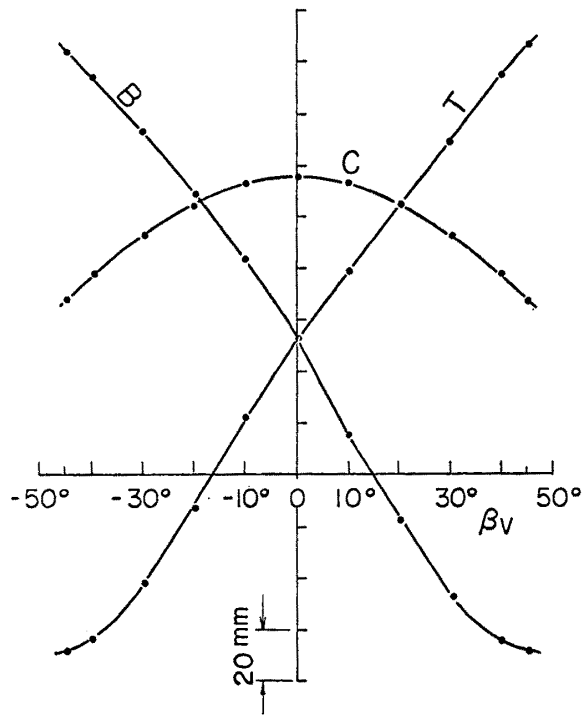


図-4. (角度変化~水頭変化) の一例

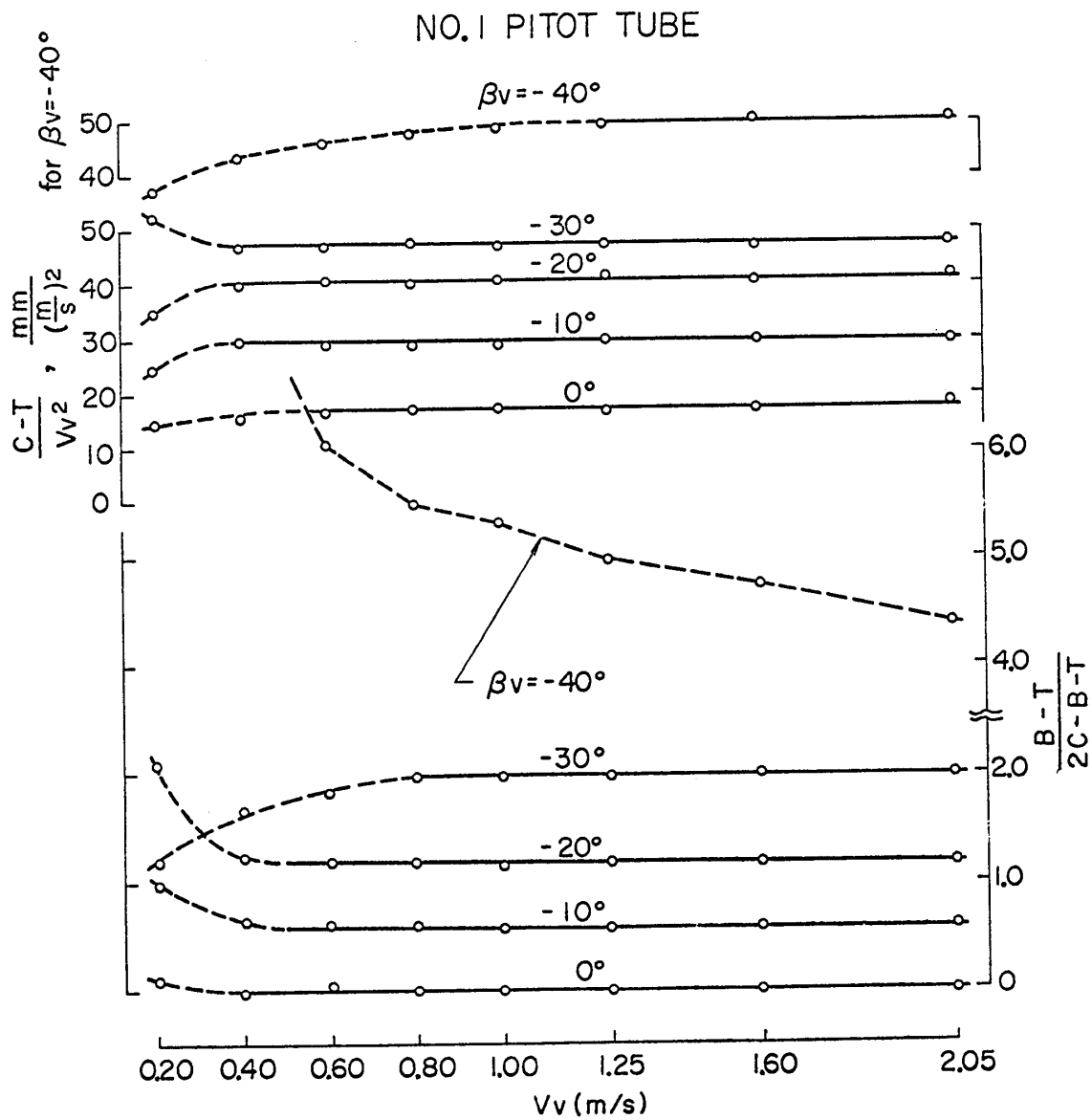


図-5. 速度変化の影響 (No.1)

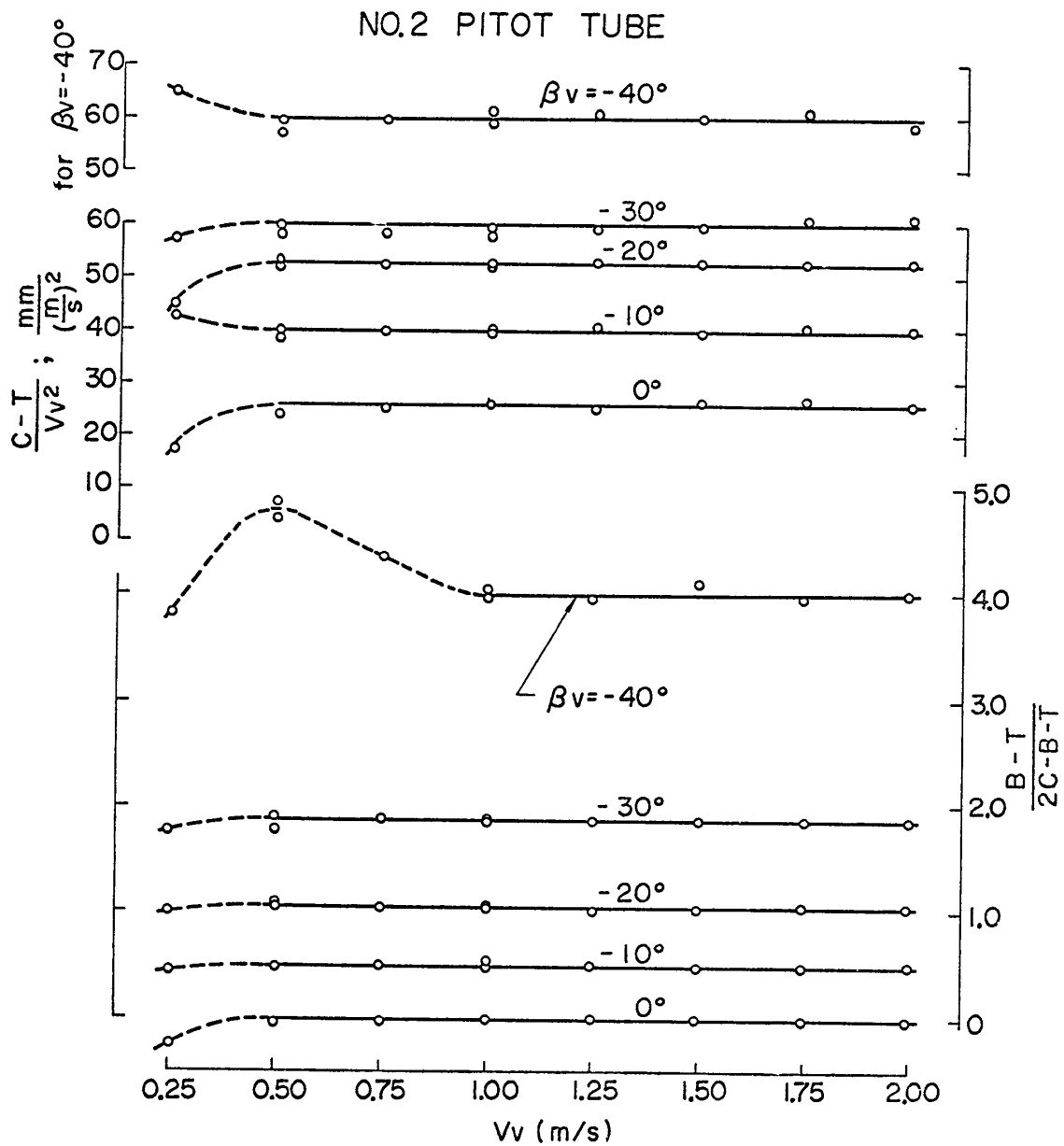
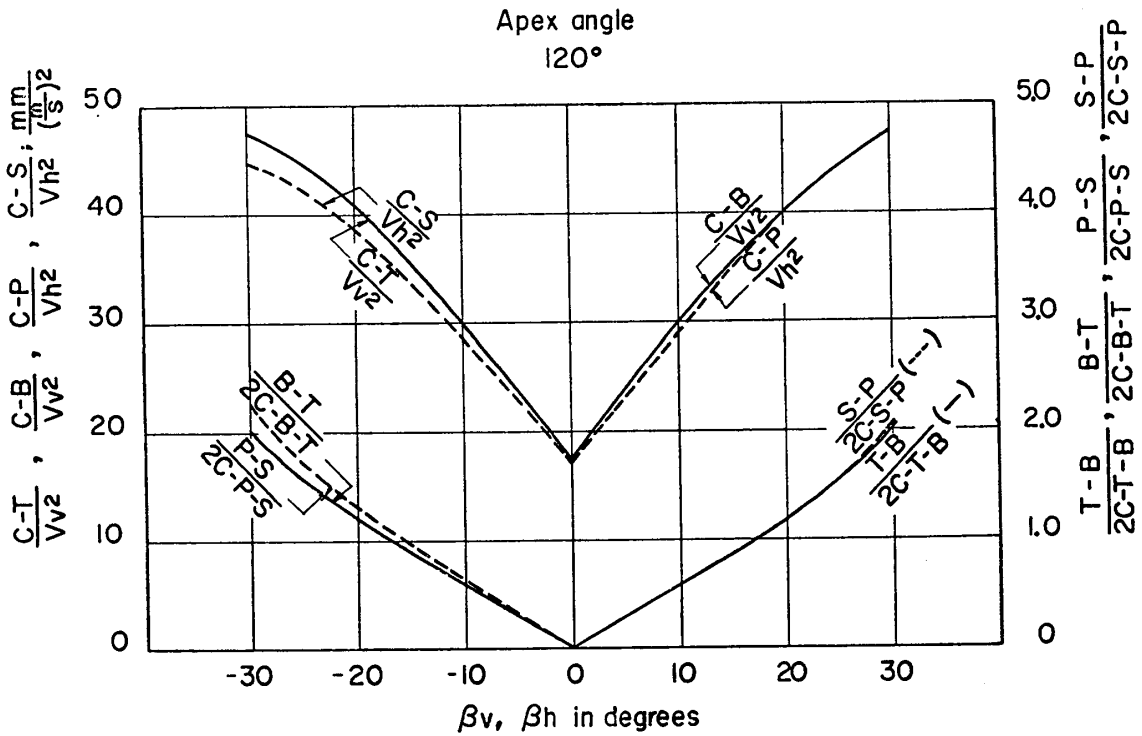
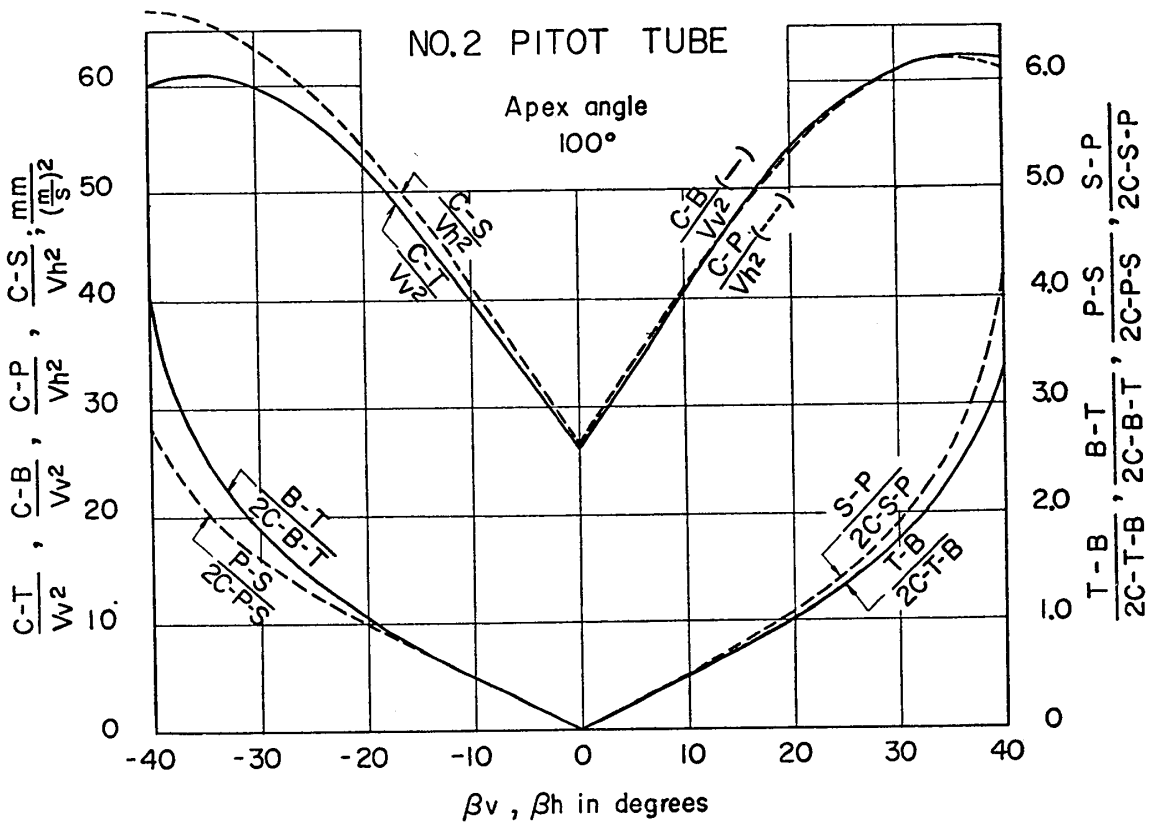


図-6. 速度変化の影響 (No.2)

NO.1 PITOT TUBE



図一 7. 検 定 曲 線 (No.1)



図一 8. 検 定 曲 線 (No.2)

## 2. 船尾伴流の計測

### 2.1 模型船および計測

伴流計測に使用した模型船の要目および船体線図をそれぞれ表-1, 図-9に示す。5孔ピトー管によるトラス装置を図-10に示す。模型船の対応実船は  $L_{pp}=276m$ ,  $D.W.=13$ 万トンのタンカーである。

伴流計測は、満載状態では  $F_n=0.1706$  ( $V_m=1.598m/s$ ,  $V_s'=17.2kts$ ), バラスト状態では  $F_n=0.1791$  ( $V_m=1.682m/s$ ,  $V_s'=18.1kts$ ) の各速度で行なった。

またピトー管としては、普通型ピトー管(総圧孔  $2mm\phi$ , 静圧孔スリット  $0.6mm$ , 外径  $6mm\phi$  のプラントル型標準ピトー管を7本使用してくし型としたもの(以下普通型と略称する)およびNo.2の5孔ピトー管(以下5孔型と略称する)を使用した。普通型ではプロペラ面全円を, 5孔型では左舷側半円について計測を行なった。計測点は半径方向で  $r/R=0.25$  から1.12まで, 円周方向では船体中心線近くでは  $15^\circ$ , その他は  $20^\circ$  おきとし, 片舷で77点とした。これらの計測点は普通型, 5孔型とも一致させた。

### 2.2 計測結果

満載状態とバラスト状態における伴流係数 ( $W$ ) のコンターをそれぞれ図-11, 図-12に示す。1点鎖線はプロペラ位置近傍の frame line を, ハッチング部はプロペラ位置における断面を示す。細実線は, 船体中心線において5孔型では計測不能であったために普通型による計測値を使つて外挿したコンターを示している。普通型による結果では, 満載およびバラスト状態とも殆んど左右舷対称のコンターが得られている。5孔型によるコンターと, 普通型によるコンターとを比較すると, 満載およびバラスト状態とも細部を除けば全体のパターンとしてはかなりよく一致している。

満載およびバラスト状態に共通してみられる特長は, 伴流分布が比較的円形に分布していること, プロペラ軸上部の船体中心線の外寄りの部分にかなり深く喰い込んだコンターがみられること, 軸下部の船体中心線近くのコンターが下向きに広がっていることなどがあげられる。

5孔型で計測して得られたプロペラ面 ( $Y-Z$  平面とする) への投影速度成分 ( $V_{yz}/V_m$ ) を図-13 および図-14に示す。両図中のコンターは図-12中の5孔型によるものを複載したものである。ただし  $V_x/V_m (=1 - W_x)$  の表現を採用している。

図中の  $V_{yz}/V_m$  ベクトル矢の根元に記されている数字は計測位置番号である。各計測位置における  $V_{yz}/V_m$ ,  $V_r/V_m$ ,  $V_t/V_m$  の値を満載およびバラスト状態につきそれぞれ表-2, 表-3に示した。

$V_{yz}/V_m$  のベクトルならびに  $V_x/V_m$  のコンターから次のようなことが分る。すなわち渦状流れが存在していること, プロペラ面全円がこの渦状流れの影響を受けて,  $320^\circ$  近辺では渦状流れによる巻込みが現われ, 船体中心線近くでかなり下向き流れが優勢となつていること, 渦状流れの中心部分の位置が, 満載状態では  $0.6R$ , バラスト状態では  $0.7R$  附近に存在していること。

5孔型と普通型で得られた進行方向伴流係数の各半径ごとの分布を図-15, 16に示す。図-15および16中の5孔型による分布のうち,  $360^\circ$  と  $180^\circ$  の値は普通型によつて得られた値を使用している。

図-15および16について5孔型と普通型とを比較すれば, ほぼ同じ傾向にあることが分る。また満載状態とバラスト状態とを比較すれば,  $340^\circ$  附近の凹部は満載状態では  $r/R=0.5\sim 0.8$  の間にこの傾向がみられ, バラスト状態では  $r/R=0.8\sim 1.0$  でみられる。満載およびバラスト状態に共通してみられる傾向としては, BOTTOM よりも TOP の方が伴流分布曲線が steep であることである。この原因はおそらく fram line 形状の影響と思われ, 本船の特徴の一つとも考えられる。

5孔型で計測した流速の tangential component の分布を満載およびバラスト状態についてそれぞれ図-17,



18に示す。縦軸は  $V_t/V_m$  であり (+), (-) は図-17 中に示されているように、反時計方向の成分を (+), その逆を (-) にしているが、これはプロペラ翼素に対して **incidence angle** を増加させる方向を (+) として示したものである。右舷側ではこれらの符号が反対になることはいうまでもない。TOP と BOTTOM では既述の通り計測が不能であつたし、この部分では  $V_t=0$  として差支えないものと考えた。

図-17, 図-18 からわかるように、 $V_t$  が  $V_m$  の約 25% にも達している部分がかなり存在しており、したがつて種々の問題を取扱う上に決して無視出来ない量であろうと思われる。

満載とバラストを比較すると、満載では  $r/R=0.6$  より内側では大体 (+) 成分が、0.6 より外側では  $190^\circ$  付近を除けば (-) 成分がそれぞれ一様に現われているのに対してバラストでは (+), (-) 成分の境界が大体  $r/R=0.7$  となつている。また、 $270^\circ$  上で満載では  $r/R=0.6$  が、バラストでは 0.7 の線がともに 0 になつていることから、この点が渦状流れのほぼ中心を示していると考えてよいであろう。

左舷について伴流係数の半径ごとの平均値を示したものが図-19 である。また全平均値 ( $\bar{W}_n$ ) を同図中の表に示した。満載、バラストともに5孔型によるものの方が4~6%高い値を示している。

表 1 模型船および模型プロペラの要目等

Ship Model			Propeller Model	
$L_{p.p.}$ (m)	9.000		Dia. (m)	0.2413
$B$ (m)	1.404		Boss ratio	0.189
Cond.	Full	Ballast	H/D (const.)	0.730
$d$ (m)	0.539	<i>M.S.</i> 0.256	E. A. R.	0.575
trim (% $L_{p.p.}$ )	0	2% aft.	B. T. R.	0.0635
$\nabla$ ( $m^3$ )	5.513	2.470	Angle of rake	$9^\circ 58'$
$C_B$	0.809		Z	5
$C_P$	0.814		Blade section	M. A. U.
$C_M$	0.994		Direction of rotation	Right handed
$l_{C.B.}$ (% $L_{p.p.}$ )	2.06F			

表 2 プロペラ面における速度成分 (満載状態)

Position No.	$V_x/V_m$	$V_{yz}/V_m$	$V_r/V_m$	$V_t/V_m$
1	—	—	—	—
2	.429	.182	.127	-.130
3	.561	.220	.100	-.197
4	.607	.272	.084	-.259
5	.715	.294	.077	-.284
6	.805	.281	.106	-.261
7	.846	.259	.132	-.223
8	.873	.222	.137	-.175
9	.757	.185	.140	-.121
10	.318	.056	-.053	-.019
11	—	—	—	—
12	—	—	—	—
13	.407	.194	.170	-.093
14	.528	.207	.145	-.147
15	.512	.216	.099	-.192
16	.548	.242	.086	-.226
17	.649	.270	.110	-.246
18	.692	.248	.174	-.285
19	.662	.211	.187	-.203
20	.459	.130	.158	-.109

Position No.	$V_x/V_m$	$V_{yz}/V_m$	$V_r/V_m$	$V_t/V_m$
21	.322	.144	-.142	.024
22	—	—	—	—
23	—	—	—	—
24	.374	.219	.208	-.070
25	.465	.199	.180	-.087
26	.427	.159	.104	-.121
27	.406	.183	.082	-.163
28	.466	.224	.092	-.204
29	.491	.204	.114	-.169
30	.452	.161	.111	-.117
31	.380	.025	.025	-.005
32	.352	.204	-.198	.060
33	—	—	—	—
34	—	—	—	—
35	.372	.244	.244	-.014
36	.438	.189	.189	.003
37	.385	.106	.106	.006
38	.319	.069	.064	-.026
39	.319	.092	.064	-.066
40	.322	.054	.043	-.033
41	.345	.011	-.001	.011
42	.368	.146	-.118	.087
43	.352	.274	-.256	.098
44	—	—	—	—
45	—	—	—	—
46	.361	.281	.281	-.001
47	.461	.222	.215	.056
48	.419	.147	.122	.082
49	.348	.118	.057	.103
50	.295	.078	.023	.075
51	.300	.094	-.011	.093
52	.319	.133	-.065	.117
53	.359	.230	-.178	.145
54	.346	.275	-.252	.110
55	—	—	—	—
56	—	—	—	—
57	.299	.264	.263	.048
58	.387	.251	.221	.118
59	.438	.258	.145	.214
60	.443	.277	.068	.268
61	.387	.298	-.004	.298
62	.406	.281	-.055	.276
63	.398	.322	-.140	.290
64	.330	.324	-.214	.244
65	.232	.170	-.144	.089
66	—	—	—	—

$F.B.$  :  $V_m$  : 船速       $V_x$  : プロペラ面に垂直な速度成分       $V_{yz}$  : プロペラ面への投影速度成分  
 $V_r$  : 半径方向の速度成分 (+は中心方向)       $V_t$  : 円周方向の速度成分 (+は反時計方向)

表 3 プロペラ面における速度成分 (バラスト状態)

Position No.	$V_x/V_m$	$V_{yz}/V_m$	$V_r/V_m$	$V_t/V_m$
1	—	—	—	—
2	.449	.192	.144	-.127
3	.552	.219	.145	-.164
4	.544	.227	.112	-.197
5	.592	.251	.086	-.236
6	.701	.261	.092	-.244
7	.766	.232	.098	-.210
8	.757	.201	.152	-.133
9	.645	.156	.109	-.112
10	.301	.054	-.050	-.018

## 5 孔ピトー管の特性について

Position No.	$V_x/V_m$	$V_{yz}/V_m$	$V_r/V_m$	$V_t/V_m$
11	—	—	—	—
12	—	—	—	—
13	.448	.209	.177	-.112
14	.506	.211	.176	-.117
15	.459	.176	.127	-.123
16	.441	.185	.077	-.168
17	.510	.212	.081	-.195
18	.541	.209	.100	-.184
19	.503	.171	.097	-.141
20	.379	.074	.044	-.060
21	.304	.137	-.136	.021
22	—	—	—	—
23	—	—	—	—
24	.435	.213	.199	-.075
25	.491	.202	.192	-.062
26	.422	.136	.126	-.051
27	.372	.110	.074	-.082
28	.378	.137	.057	-.125
29	.393	.121	.049	-.111
30	.393	.060	.018	-.058
31	.399	.074	-.069	.025
32	.305	.201	-.177	.094
33	—	—	—	—
34	—	—	—	—
35	.420	.233	.228	-.049
36	.488	.205	.205	.008
37	.425	.135	.129	.041
38	.346	.085	.071	.047
39	.320	.046	.031	.035
40	.378	.047	-.001	.047
41	.428	.092	-.045	.081
42	.318	.109	-.069	.085
43	.335	.261	-.247	.093
44	—	—	—	—
45	—	—	—	—
46	.392	.266	.247	-.020
47	.480	.225	.219	.049
48	.452	.177	.140	.108
49	.406	.144	.071	.126
50	.366	.127	.015	.127
51	.284	.089	-.010	.089
52	.302	.127	-.062	.111
53	.341	.219	-.170	.138
54	.323	.279	-.256	.110
55	—	—	—	—
56	—	—	—	—
57	.422	.240	.238	.036
58	.420	.247	.222	.110
59	.486	.247	.157	.190
60	.507	.225	.075	.212
61	.462	.291	.025	.290
62	.386	.267	-.054	.262
63	.378	.307	-.134	.277
64	.384	.323	-.208	.248
65	.221	.161	-.137	.085
66	—	—	—	—

F. B. : 記号等については満載状態の場合と同じ。

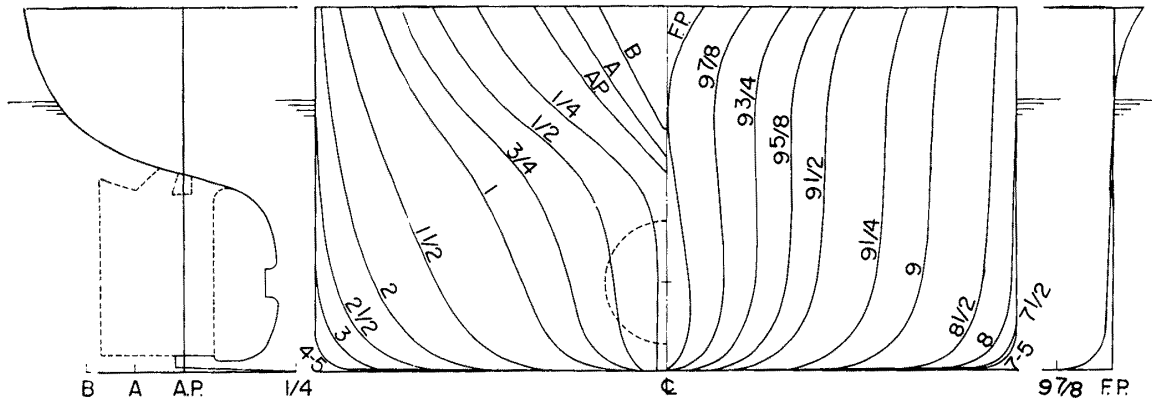


図-9. 正面線図および船首尾形状

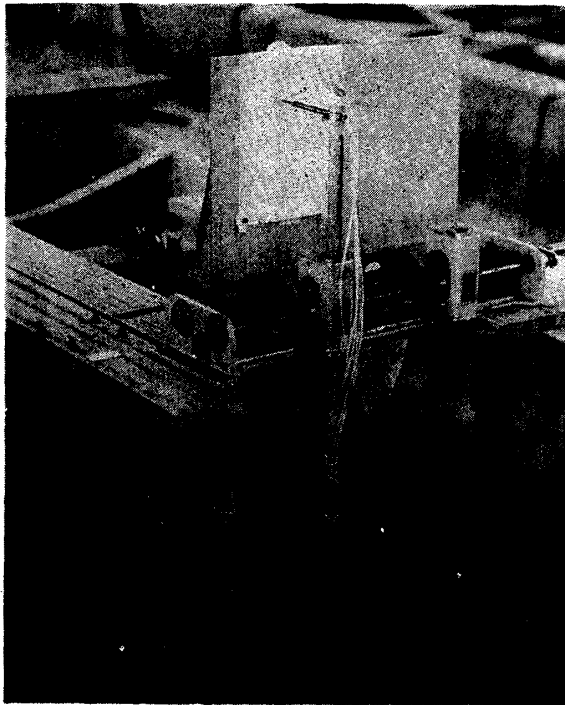
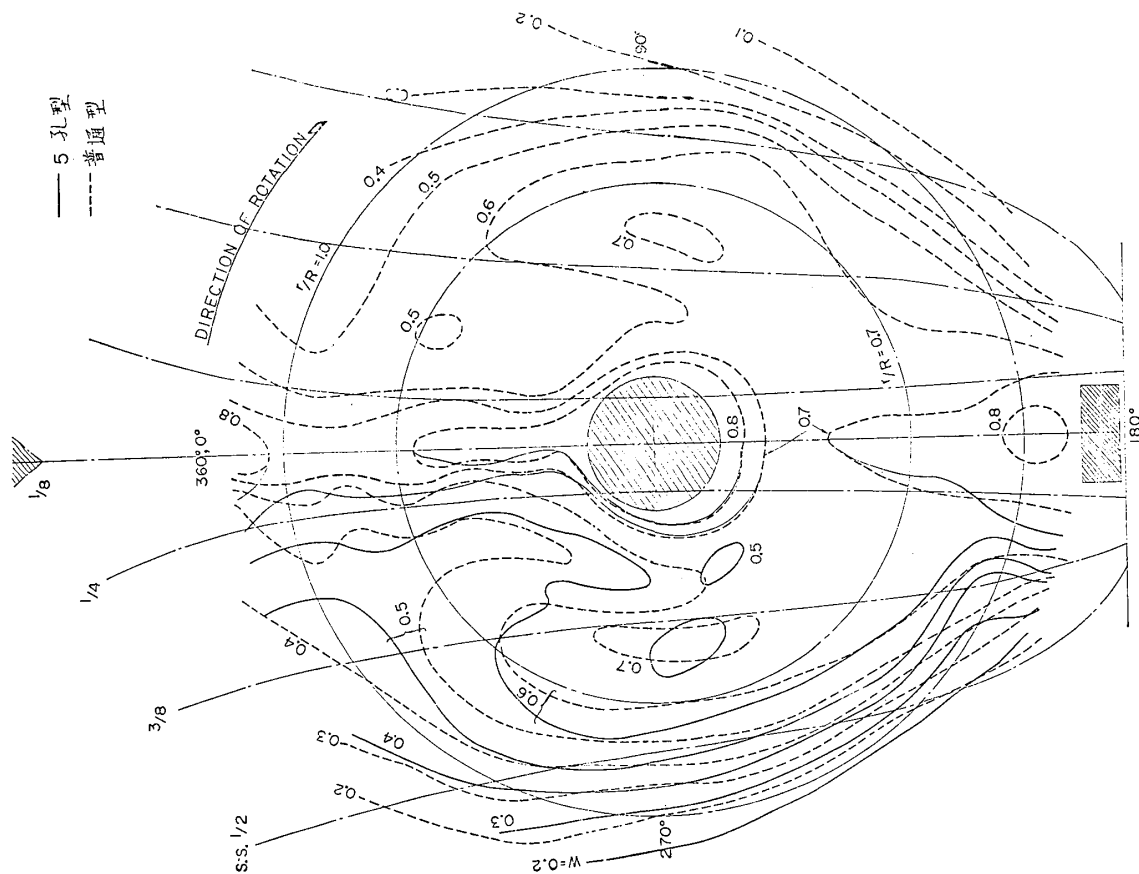
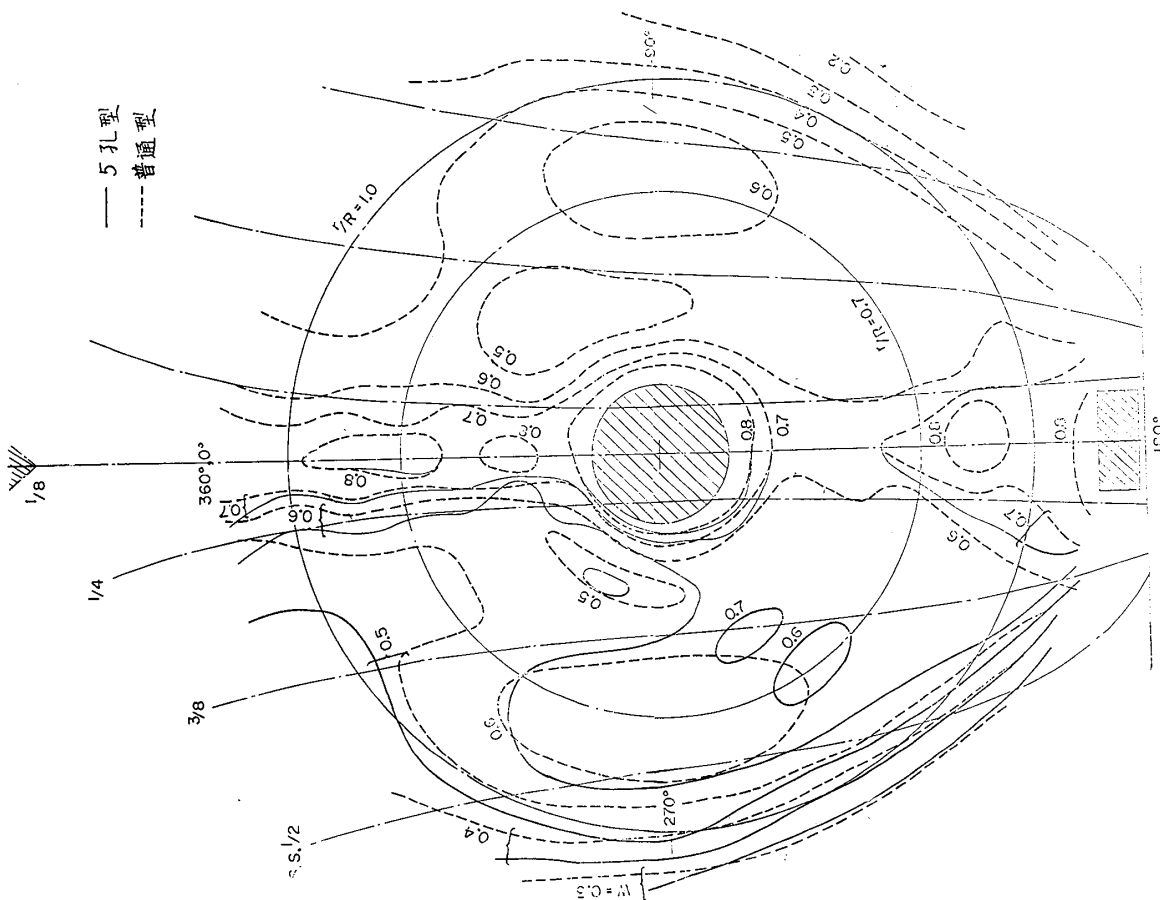


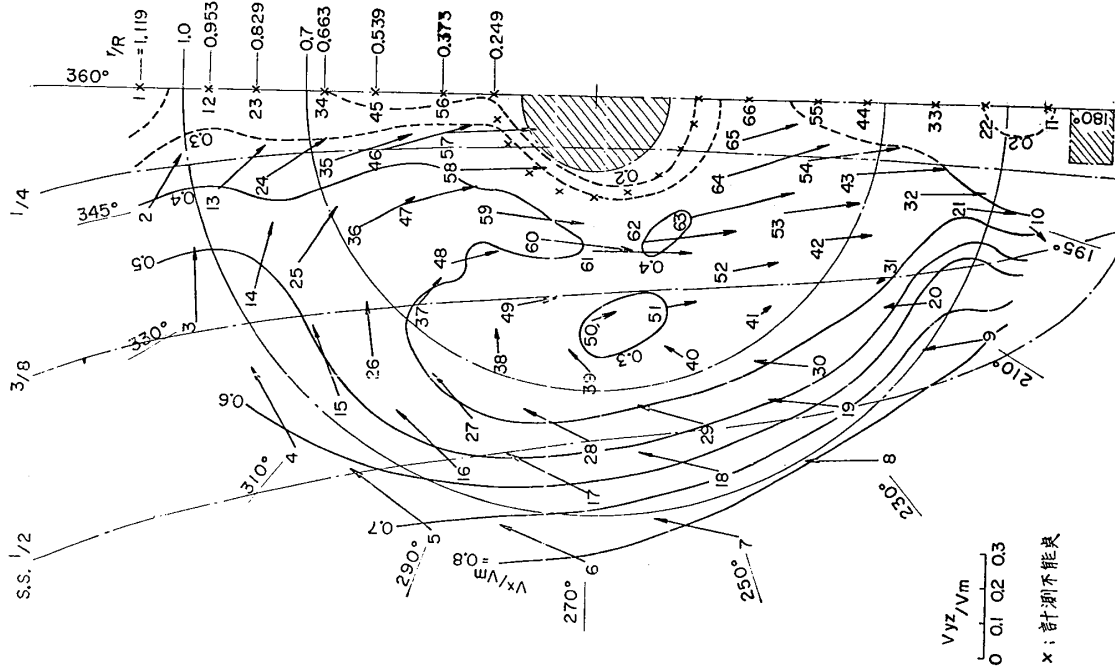
図-10. 5孔ピトー管のトラバース装置



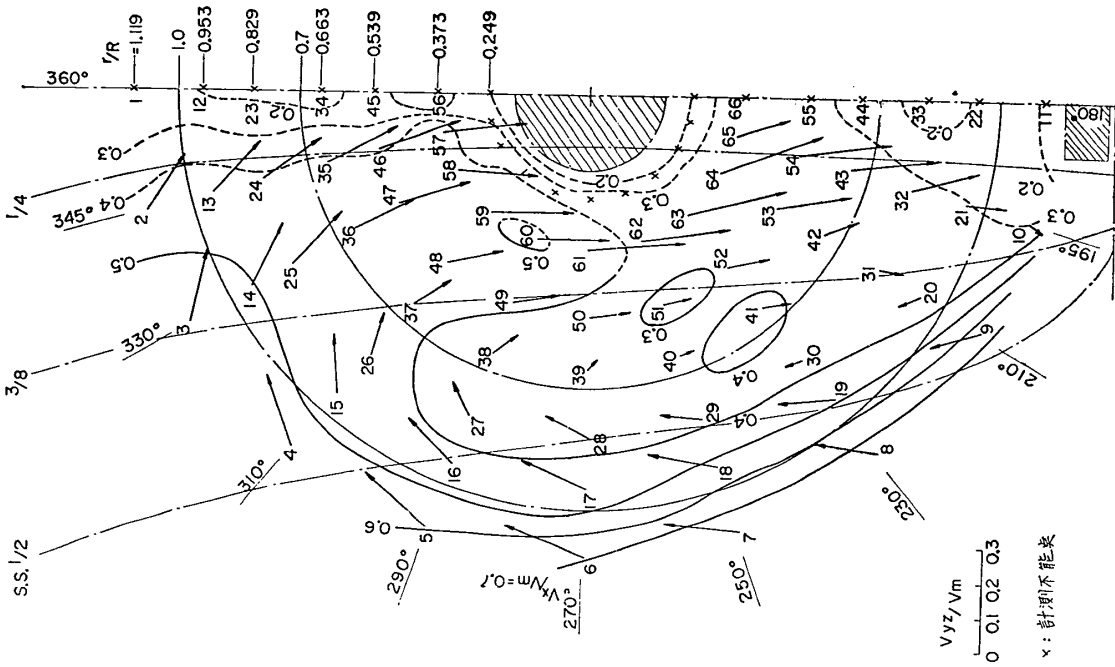
図—11. 伴流係数の contour curves (満載)



図—12. 伴流係数の contour curves (バラスト)



図一13. Contour curves および  $V_{yz}/V_m$  (満載, 5孔)



図一14. Contour curves および  $V_{yz}/V_m$  (バラスト, 5孔)

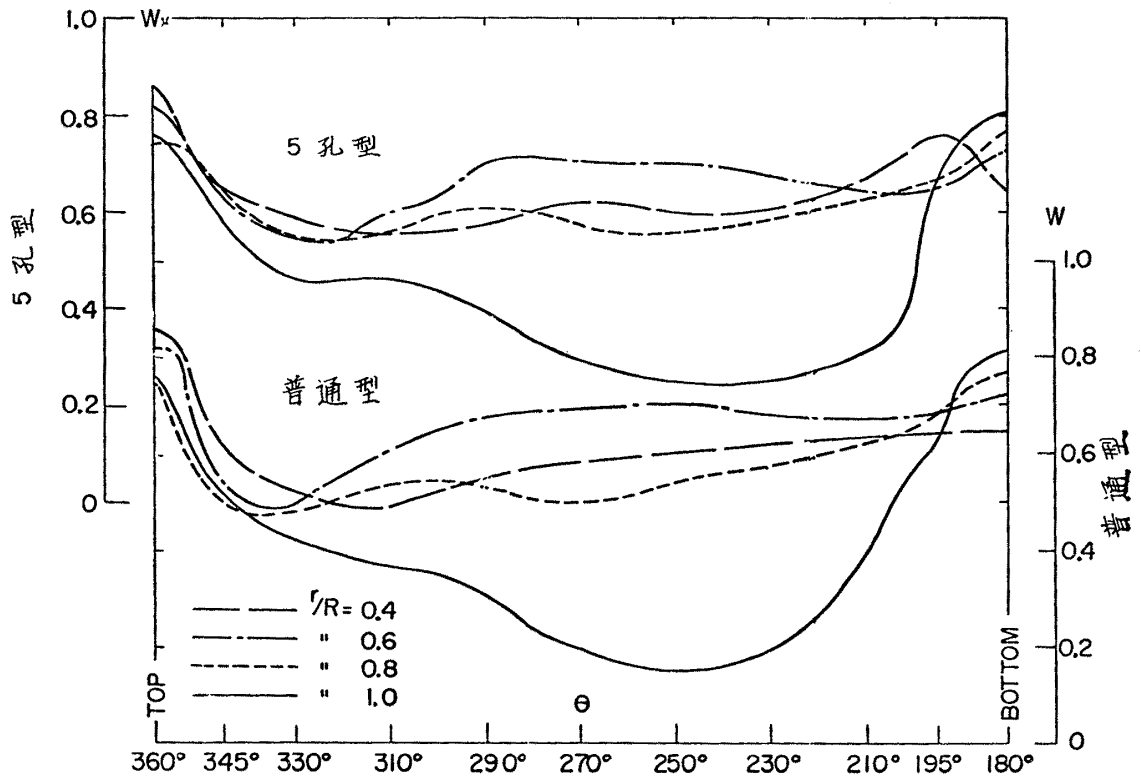


図-15. (a) 進行方向伴流係数 (満載, 左舷)

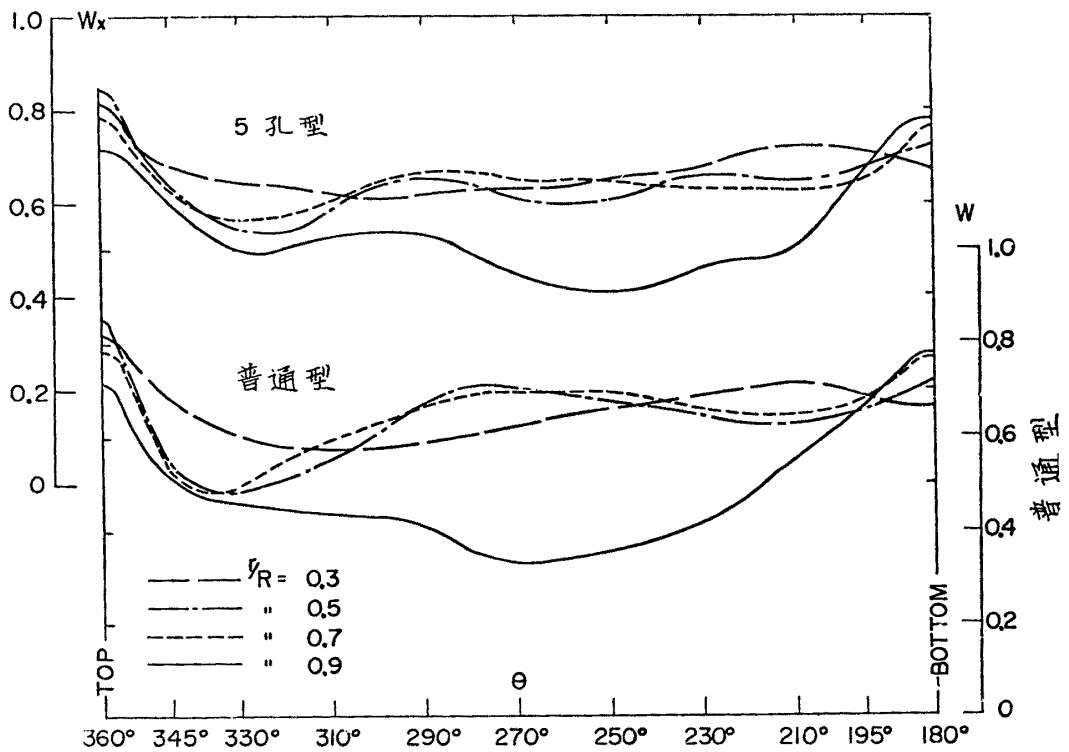


図-15. (b) 進行方向伴流係数 (満載, 左舷)

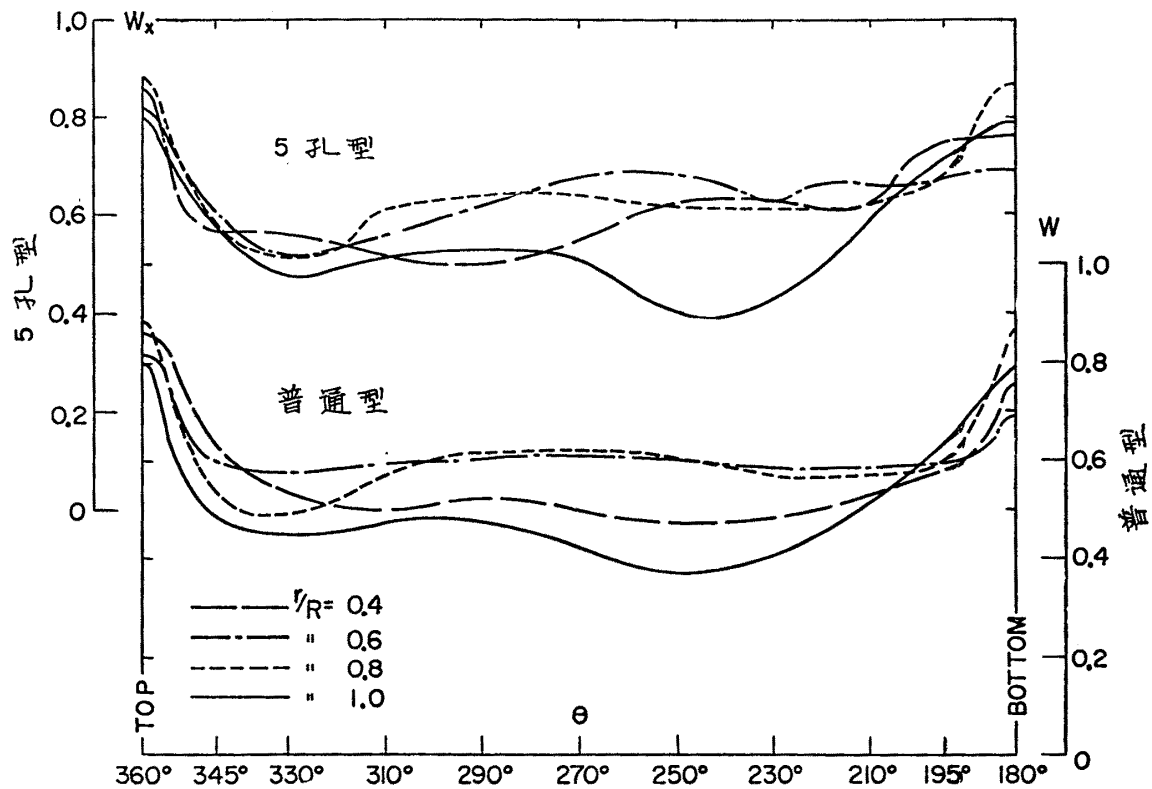


図-16. (a) 進行方向伴流係数 (バラスト, 左舷)

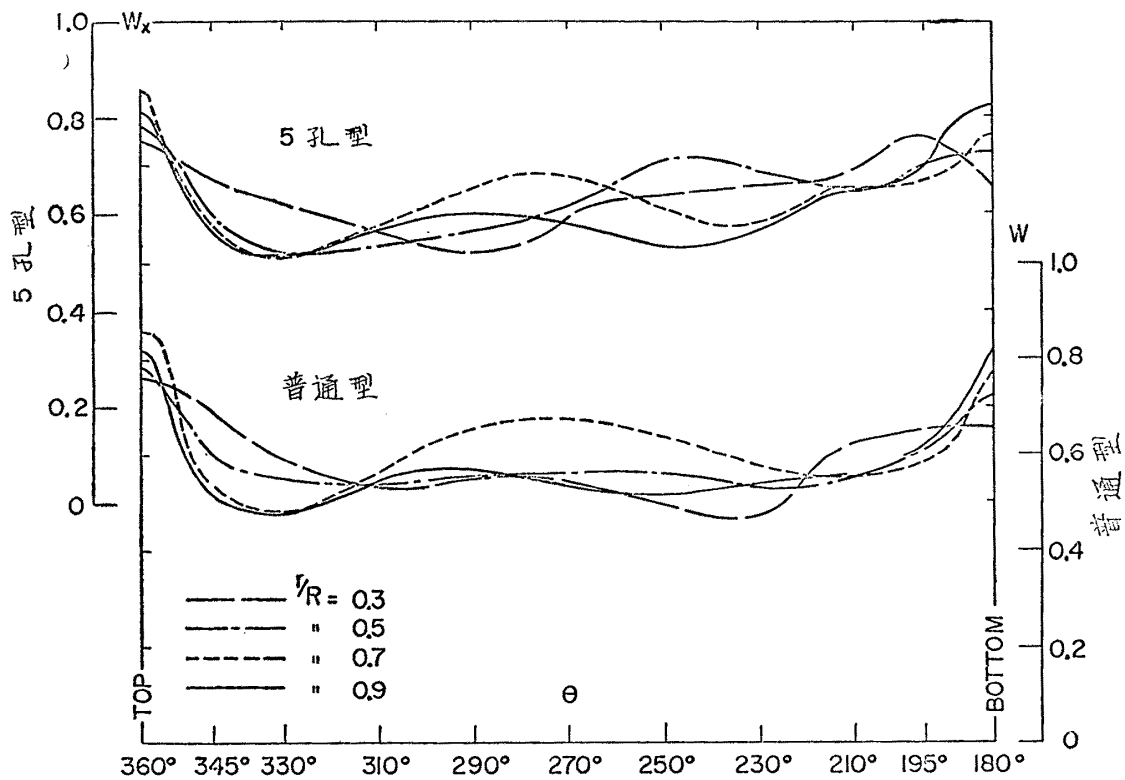


図-16. (b) 進行方向伴流係数 (バラスト, 左舷)



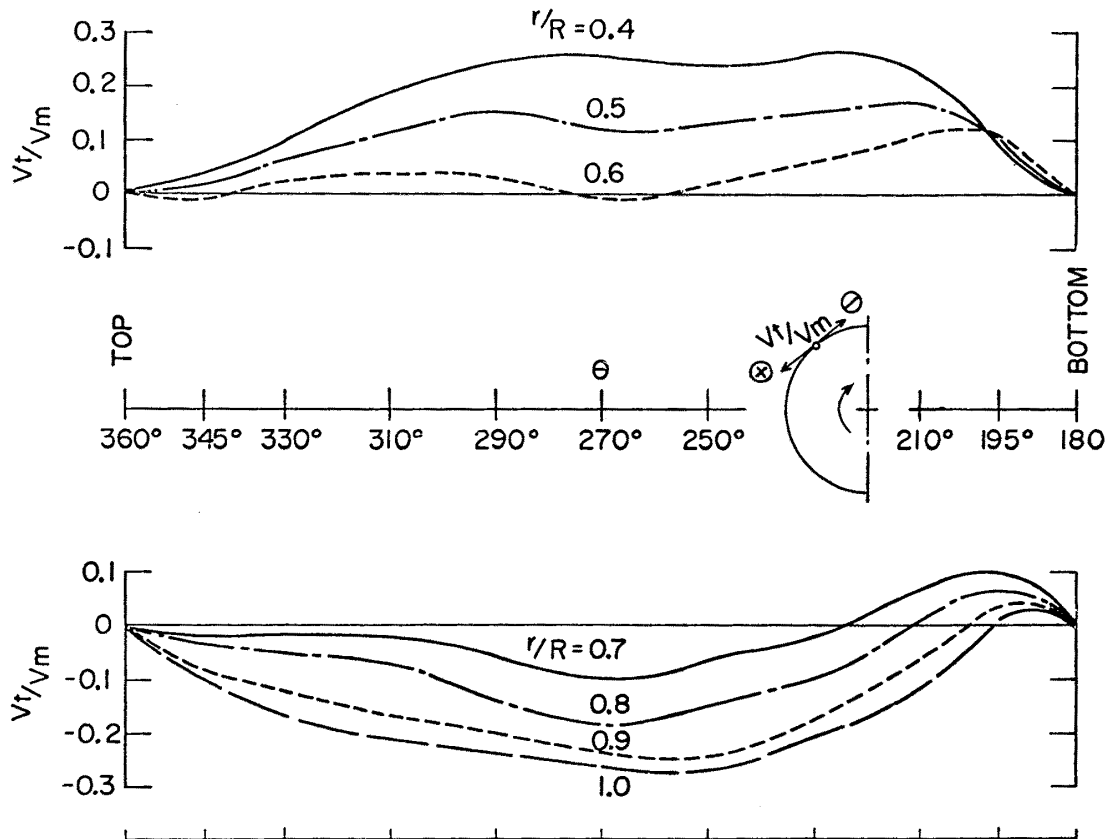


図-17. 円周方向速度成分（満載，左舷）

### 3. 伴流分布状態の bearing force および moment におよぼす影響

2.において得られた2つの伴流分布—普通型ピトー管を使用した場合と5孔型ピトー管を使用した場合—について、満載状態の bearing force および moment を準定常的に計算した。準定常的計算法そのものについては幾分疑 点とする点も残されるが、本報告の主目的が2種類の伴流分布による影響を調べるためのものであるのでこの方法を採用した。

計算手順としては；

- a. それぞれの伴流分布状態における1翼あたりのスラスト変動およびトルク変動の計算。ただし5孔ピトー管による伴流分布を使用する際には円周方向の流速をも考慮に入れた。
- b. 4翼および5翼の場合のスラスト変動およびトルク変動を求めるために、aにおいて求められた結果を重畳する。
- c. aにおいて求められた1回転中におけるスラストおよびトルク変動曲線について Fourier 級数を求め、
- d. それぞれの Fourier 係数について比較検討を行なう。

1翼あたりの1回転中におけるスラストおよびトルク変動を図-20に示す。普通型ピトー管から得られた結果は180°を対称軸とした変動曲線となっているが5孔ピトー管の場合には円周方向成分のために0°~360°の間には対称軸は存在しない。

4翼および5翼について重畳されたスラストおよびトルク変動を図-21に示す。5翼の場合には4翼に比して変動が少なくなっていることは当然ながら、それぞれの翼数について2つの伴流分布状態に対する変動模様を検討すると、5孔ピトー管による場合には波型そのものがかなりいびつになっていることが分る。

1翼あたりのスラストおよびトルク変動を Fourier 展開して各係数すなわち cos 成分, sin 成分および

total single amplitude を比較すれば図-22, 23のようになる。普通型ピトー管によるものの  $\sin$  成分は無視出来る程小さい。また5孔ピトー管によるものは普通型に比較して次数の比較的低い範囲で成分は大きい、次数が高くなるにしたがつてかなり小さくなっている。

次に、それぞれの伴流分布に対するスラスト変動, トルク変動, bearing force 変動 ( $\Delta P_H/\bar{T}$ ,  $\Delta P_V/\bar{T}$ ) および bearing moment 変動 ( $\Delta M_H/\bar{T}_{X0.7R}$ ,  $\Delta M_V/\bar{T}_{X0.7R}$ ) を図-24 に示す。4翼から5翼に変化させた場合の  $\Delta T/\bar{T}$ ,  $\Delta Q/\bar{Q}$ ,  $\Delta P/\bar{T}$ ,  $\Delta M/\bar{T}_{X0.7R}$  の変化の様子は今迄に一般に認められている現象と大差ないが、5孔ピトー管によるものと普通型によるものとを比較すれば差異を生じていることが分る。すなわち5孔型によるものの方が変動量が大きい。このことは熊井教授の実験結果の報告<sup>9)</sup> 中にのべられている「実験より求められた変動値の方が準定常計算結果—但しこの場合には普通型ピトー管による伴流分布を使用—より大きい—という事実あるいは Walinski の報告<sup>10)</sup> と傾向的に一致する。したがって Breslin の“data の信頼性”<sup>11)</sup> に関する報告も一考を要するのではないかと思われる。

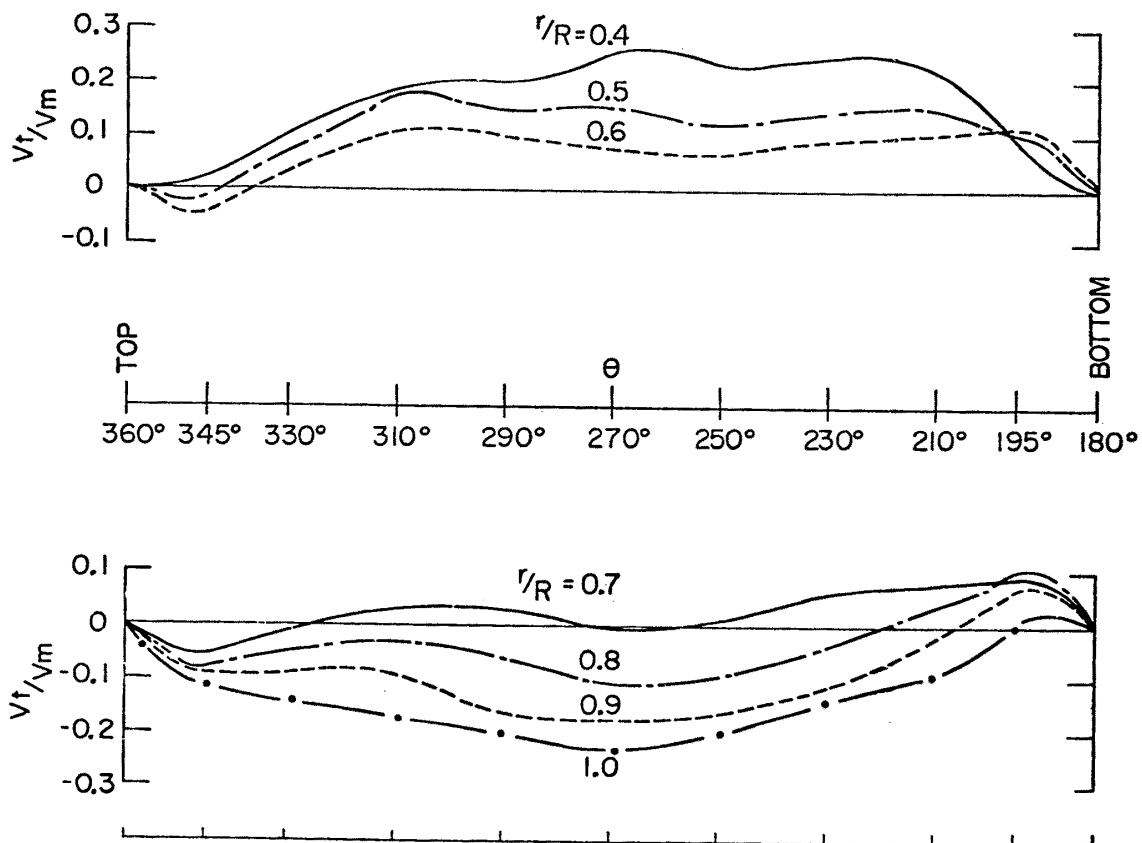


図-18. 円周方向速度成分 (バラスト, 左舷)

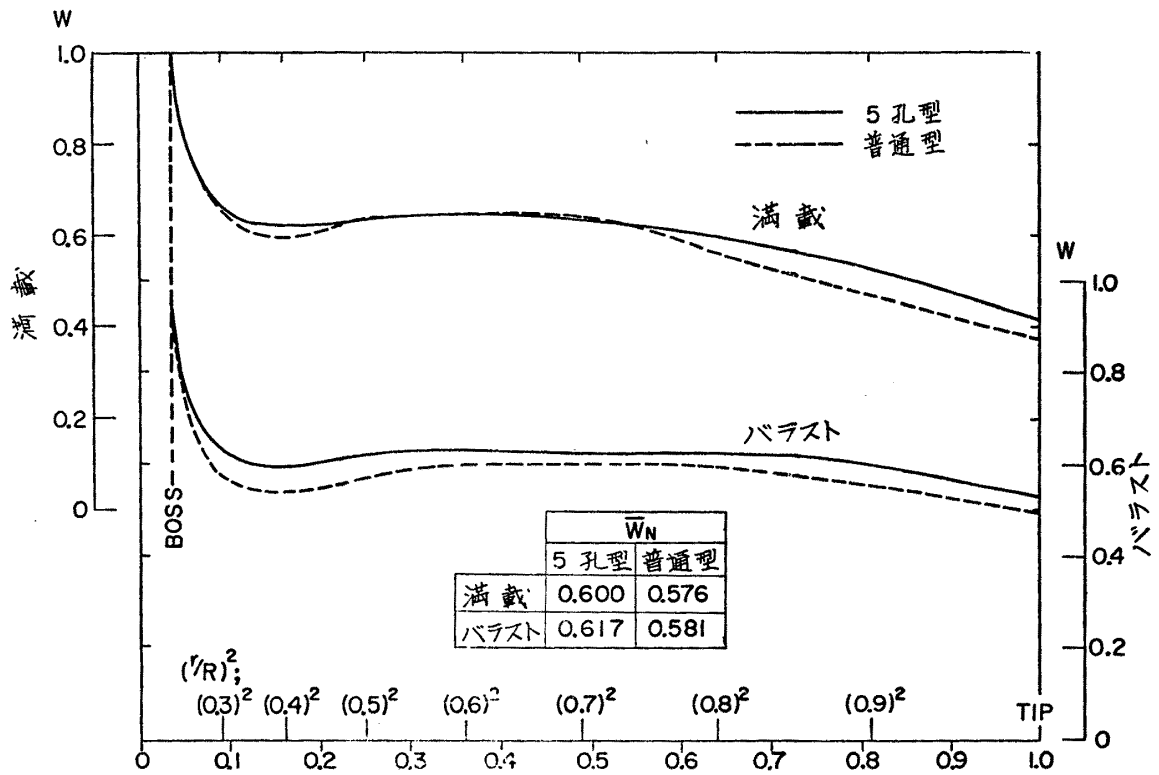


図-19. 各半径における進行方向伴流係数 (左舷)

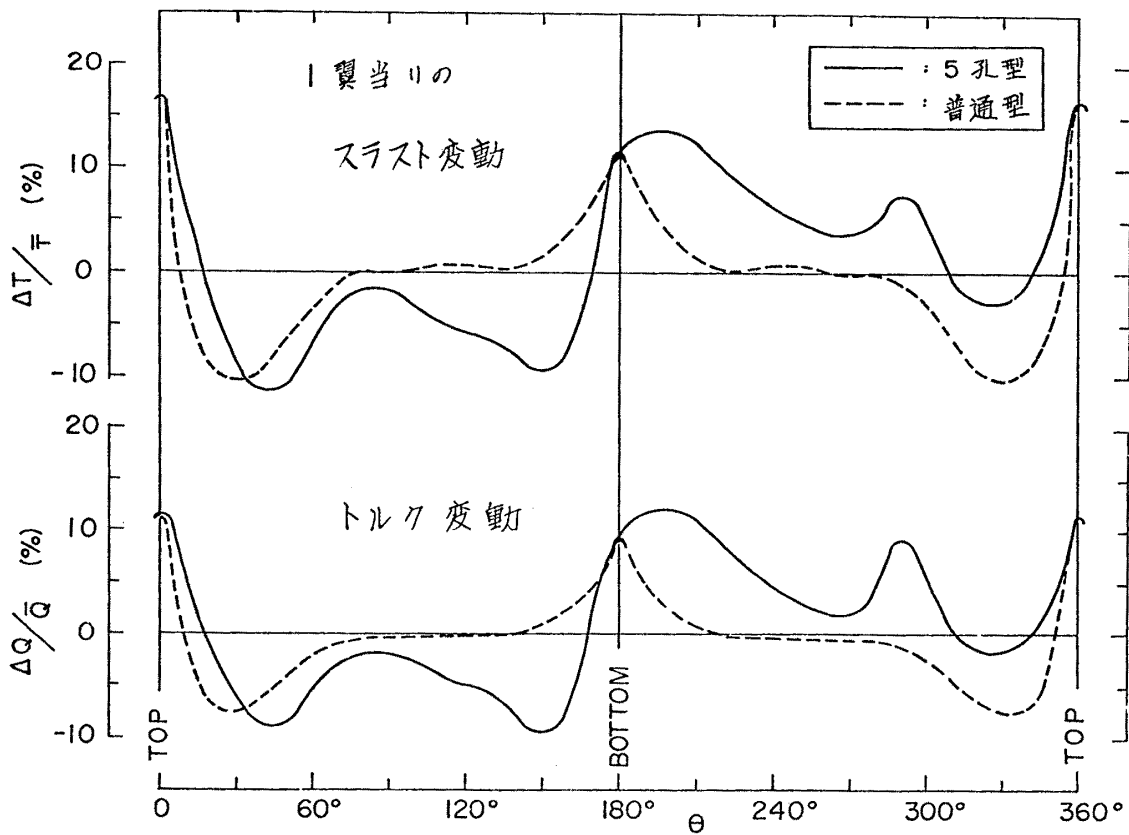


図-20. 1翼当りのスラストおよびトルク変動 (満載)

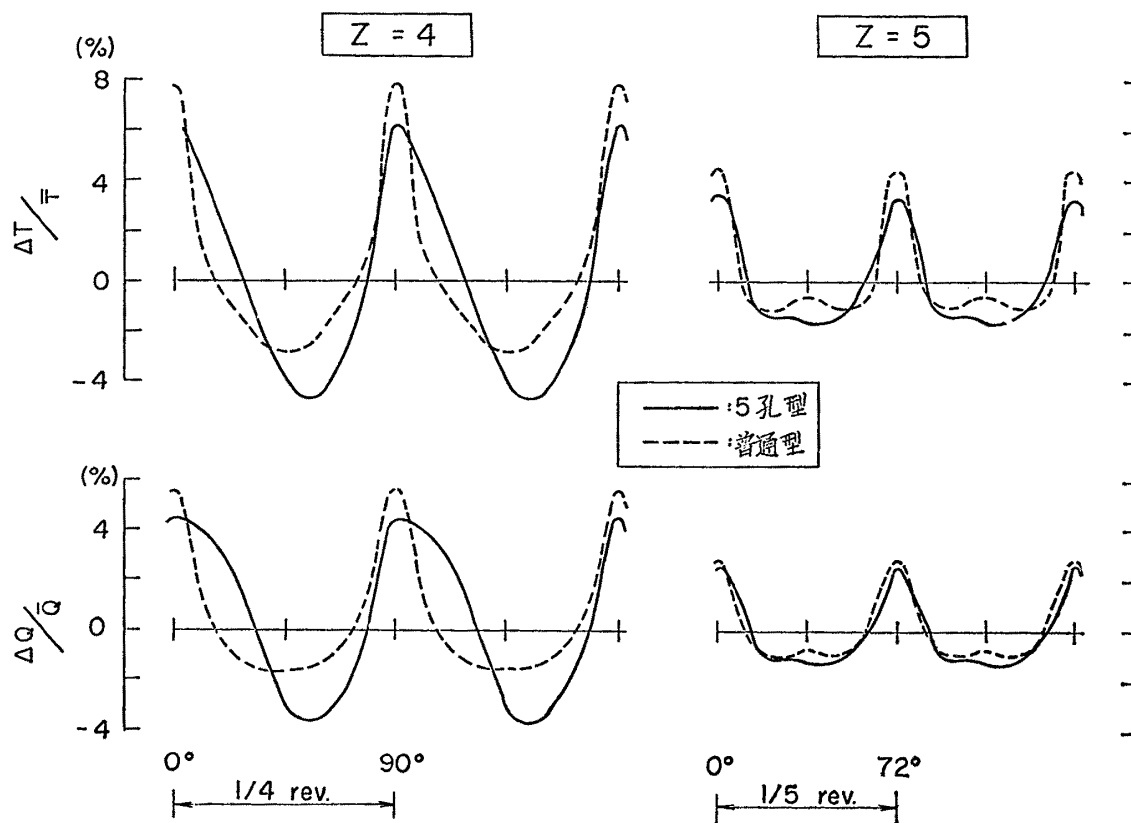


図-21. 4翼および5翼のスラストならびにトルク変動 (満載)

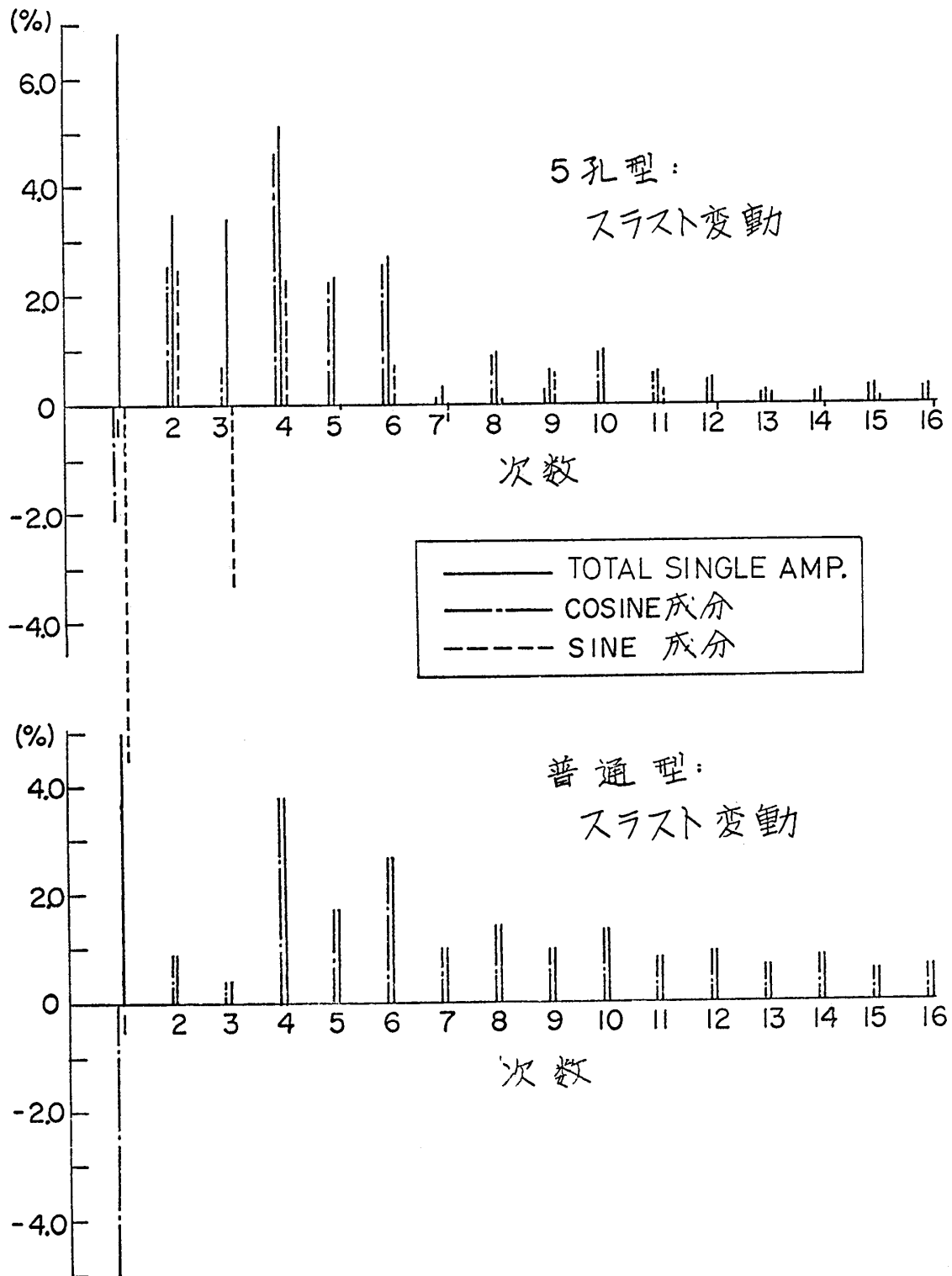


図-22. スラスト変動の Fourier 展開 (満載)

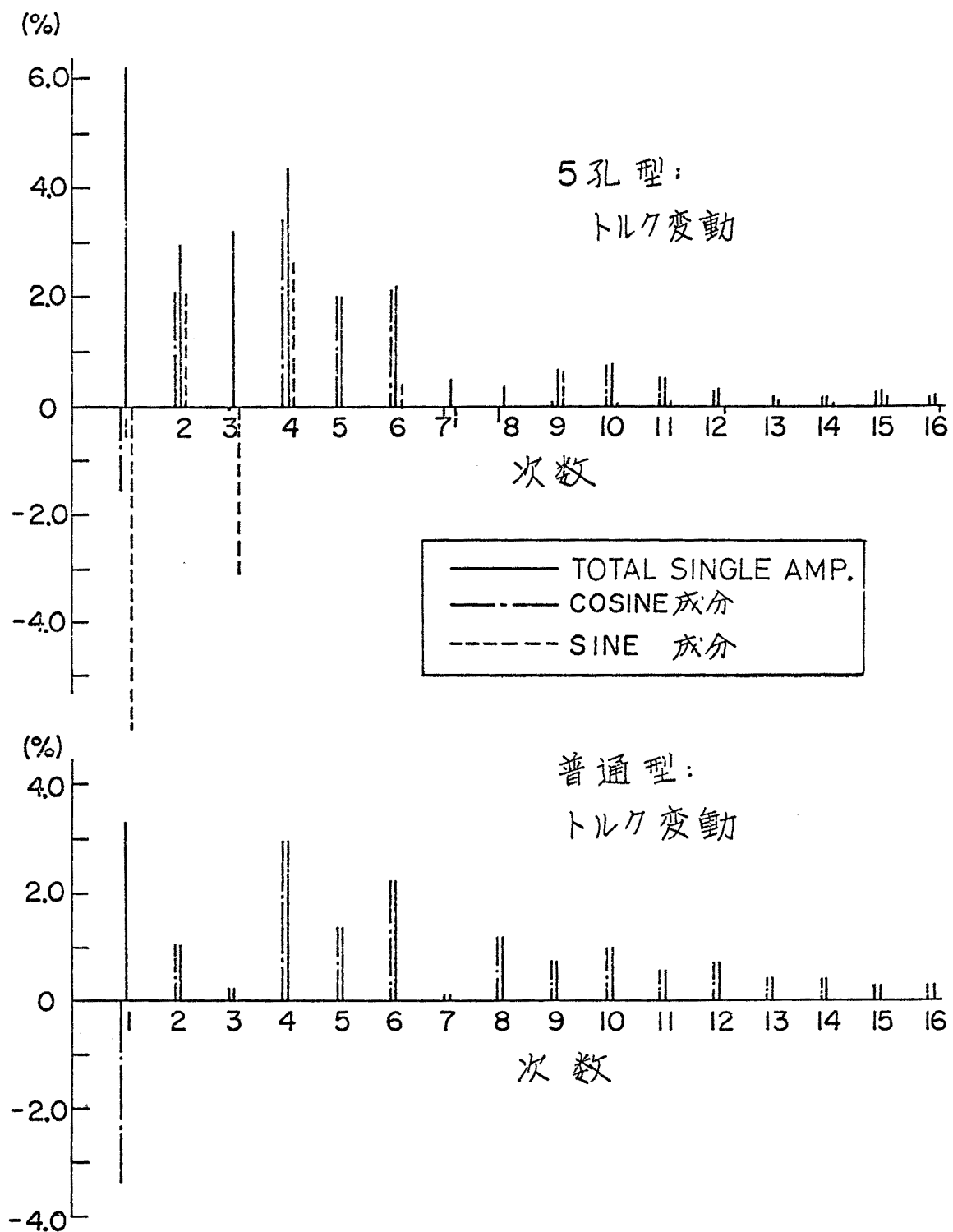


図-23. トルク変動の Fourier 展開 (満載)

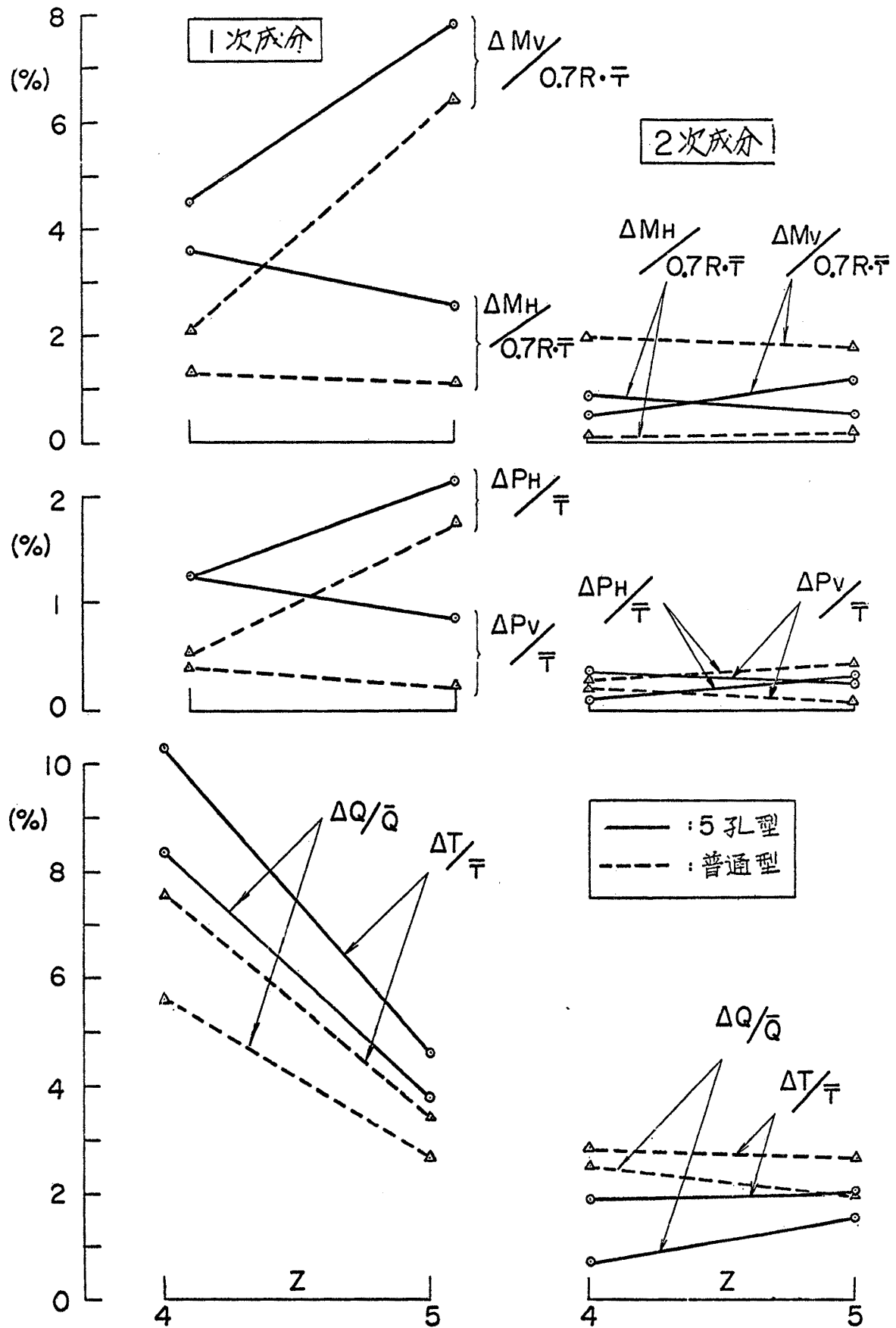


図-24. Bearing force および moment 等の成分 (満載, 複振幅)

#### 4. 結論および今後の問題点

(1) 流入角度が船の進行方向に対して $40^\circ$ 程度までは精度よく計測可能な5孔ピトー管を製作し得た。

今回の流速の指示法としては、現在三鷹第2船舶試験水槽にて採用している方法すなわちピトー管→ビニール・チューブ→ガラス管式マンオメータを採用したが圧力 pick up そのものに改良を加え実験時間の短縮をはかる必要がある。

(2) No.2 5孔ピトー管を使用することにより船尾流れ—今回の場合はプロペラ作動面—を詳細に把握できた。しかしプロペラの top あるいは bottom 付近のいわゆる伴流分布の steep のところでは計測技術をも含めてさらに厳密に5孔ピトー管の特性を調べる必要がある。

(3) 5孔ピトー管により得られた円周方向をも考慮に入れた流速を用いて bearing force 変動, bearing moment 変動等を計算すれば、普通型ピトー管の場合の変動よりも増加する傾向がある。但し今回の計算のもとになった伴流分布とは抵抗試験状態にて計測された伴流であるので、自航試験時では如何ようになるか?あるいは実船の場合には?といった重大な問題は未解決である。今後少くとも模型船を使用して実験的に一定量の増加量を確かめたいと思っている。

終りに、3.の項目については終始懇切な御指導を頂いた熊井教授に、また複雑な計測および計算に協力して下さいました当部横尾直幸、菅井信夫、黒部雄三各技官に厚く御礼申し上げます。

#### References

- 1) Pien, P. C., "Five-Hole Spherical Pitot Tube", D. T. M. B. Report No. 1229, May, 1958.
- 2) Bryer, D. W., Walshe, D. E. and Garner, H. C., "Pressure Probes Selected for Three-Dimensional Flow Measurement", A. R. C. Reports and Memoranda No. 3037.
- 3) van Manen, J. D., "The Effect of Non-Uniform Flow on Cavitation of Propellers", 11th I. T. T. C. Proceedings, 1966.
- 4) 笹島秀雄, 田中一朗, "5孔管による渦度成分計測例", JTTC 第1部会資料, May, 1969.
- 5) 田村欣也, "超大形一軸船の新船尾形状", 三菱重工技報 Vol. 6 No. 5., Sept, 1969.
- 6) Šilović, V., "A Five Hole Spherical Pitot Tube for Three Dimensional Wake Measurement", Lyngby, Hydrodynamics Section Report No. Hy-3, May, 1964.
- 7) ポフ, "機械工学における空気力学実験法", 朝倉書店, 昭和44年2月。
- 8) Hunt, R. R., "Five-Hole Spherical Pitot Tube Instrumentation," NSRDC, Hydromechanics Laboratory Technical Note No. 92, Dec. 1967.
- 9) Kumai, T., "An Experimental Study on the Thrust Variation of a Single Screw Ship", Reports of Interim Meeting of Vibration Committee ISSC, Hamburg, June, 1969.
- 10) Walinski, E. A., "Einige Ergebnisse von Schubschwankungsrechnungen mit quasistationärem Ansatz", STG, 1958.
- 11) Breslin, J. P., "Correlation of existing vibratory thrust data", App. - IV, Propeller Committee, 11th ITTC, 1966.