翼列に適する翼型のキャビテーション性能⁽¹⁾

(第1報 理論第2報による翼型の優秀性能)

沼知福三郎⁽²⁾ 菊池 寿⁽³⁾ 横山 達郎⁽⁴⁾Cavitation Tests on Hydrofoils Suitable for Arrangement
in a Straight Gate (Report 1)

by Fukusaburō NUMACHI, Hisashi KIKUCHI and Tatsurō YOKOYAMA

In order to realize higher power and speed of axial turbines, pumps and ship-propellers, it is necessary, in the design of blade, elements, to get on hand the hydrofoil-profiles of excellent characteristics.

For this purpose, cavitation tests were made on new two profiles obtained by our theoretical method which have been proved to have more excellent characteristics than the profiles hitherto existed. We have named such a profile "Cascade Profile".

The method of the experiment is the same stated in our report "Cavitation Tests on Hydrofoils arranged in a Straight Gate".

The profiles tested are N.K. 10156 and N.Y. 10156 which were calculated by our method aiming at the lift coefficient to be 0.5 and thickness-chord ratio to be 6 per cent.

1. 緒 言

軸流水車, 軸流ポンプおよび船舶推進器の小型化高速化のためには, 翼列として優秀なる翼型の探求が必要である。この目的で既報の『翼列に適する翼型の理論的研究』⁽⁵⁾において述べた方法により求めた特殊なる新翼型2個に関し, 翼列のキャビテーション性能を求めた。その結果は, 既存の翼型に対してかかる見地から求めた翼型は遙に優秀なることが明らかになった。

以上のような翼型を『適列翼型』と名付けることにする。

2. 実験方法ならびに翼型

実験方法は, 既報『翼列のキャビテーション性能』⁽⁶⁾に述べたので, ここには省略する。

翼型は, 前に理論的研究によって求めた処の N.K. 10156 と同様の方法で求めた N.Y. 10156 の2個である。2翼型の形状並びに寸法は第1図に示した。なお後者に関しては, 第2図に示すような圧力分布を翼列中において与えるように計算したのである。しかしてこの際, 揚力係数 0.5, 厚弦比 6% を要求したのである。翼列の配置すなわち節弦比 (t/l) その他は第3図に記入の通りである。なお θ_1 は翼列前方の速度 v_1 に対する迎え角 α_1 が 0 のときの翼列角であり, 実験には v_1 の方向は一定にして翼の取付角度を変えて迎え角を変化しているのであるから任意の α_1 のときの翼列角 θ は $\theta = \theta_1 + \alpha_1$ である。

3. 実験結果

(1) 発生状態 第3~4図に示した N.K. および N.Y. 翼型共に第I, 第IIおよび第III種のキャビテーションを発生する。ここに λ_0 および λ はキャビテーションの発生箇所と消滅箇所を示し, 図中左上は第I種のキャビテーションに関するもので, 左下はそれぞれ第II種および第III種のキャビテーションに関するものである。 α_∞ は速度 v_∞ に関する迎え角である。この際 v_∞ は翼列前方の流速 v_1 と後方の流速 v_2 の幾何学的平均である。なお $k_{a\infty}$ はキャビテーション係数で $k_{a\infty} = (p_\infty - p_a) / \frac{1}{2} \rho v_\infty^2$ である。

この際 p_∞ は $p_1/\gamma + v_1^2/2g = p_\infty/\gamma + v_\infty^2/2g$ より求めた。また p_a は水温 t_w (図中および表中に記入) における水の蒸気圧である。

図面に関する詳細な説明は, 既報⁽⁶⁾⁽⁷⁾にあるのでここには省略する。

(2) 揚抗力の変化 揚力抗力のキャビテーション係数による変化は, 第5~8図に示した。N.K. 翼および N.Y. 翼共に揚力係数に極大値を著しく表わす。

(3) 性能曲線 揚力および抗力と迎え角との関係が $k_{a\infty}$ による変化は, それぞれ第9~11図に示した。また抗揚比と揚力との関係は, 第12~13図に示した。なお詳細の数値は第1~2表にある。

(4) 翼型の比較 以上2個の適列翼型の他に, 既存翼型と比較のため同じ厚弦比のクラーク Y 6%

N.K.10156

N.Y.10156

N.K.10156			N.Y.10156		
x	y _o	y _u	y _o	y _u	
0	0.0	0.0	0.0	0.0	
1.25	0.44	0.0	0.63	0.19	
2.5	0.76	0.0	1.03	0.24	
5.0	1.32	0.0	1.76	0.34	
7.5	1.81	0.0	2.39	0.41	
10.0	2.25	0.0	2.95	0.45	
15.0	2.99	0.0	3.86	0.52	
20.0	3.61	0.0	4.56	0.57	
25.0	4.14	0.0	5.13	0.61	
30.0	4.60	0.0	5.58	0.63	
40.0	5.33	0.0	6.25	0.61	
50.0	5.78	0.0	6.56	0.51	
60.0	5.97	0.0	6.49	0.41	
63.8	6.00	0.0			
70.0	5.90	0.0	5.97	0.31	
80.0	5.76	0.0	4.99	0.25	
85.0	4.43	0.0	4.23	0.23	
90.0	3.42	0.0	3.22	0.20	
95.0	2.77	0.0	1.87	0.12	
100.0	0.0	0.0	0.0	0.0

x	0.00	1.25	2.50	5.00	7.50	10.00	15.00	20.00	25.00
p _o	0.00	0.63	1.03	1.76	2.39	2.95	3.86	4.56	5.13
p _u	0.00	0.19	0.24	0.34	0.41	0.45	0.52	0.57	0.61

x	30.00	40.00	50.00	60.00	70.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.00
p _o	5.38	6.25	6.56	6.49	5.97	4.99	4.23	3.22	1.87	0.00
p _u	0.63	0.61	0.57	0.41	0.31	0.25	0.23	0.20	0.12	0.00

第 2 図 N.Y.10156 の圧力分布および翼型

第 1 図 実験した適列翼型の寸法

第 3 図 キャビテーション係数 $k_{d\infty}$ による発生箇所 λ_o と消滅箇所 λ の変化

第 6 図 揚力係数 $C_{L\infty}$ のキャビテーション係数による変化

翼型 NY10156
 $t_w = 22.0 - 24.0^\circ\text{C}$
 $\rho_{\infty} = 102$

第 8 図 抗力係数 $C_{D\infty}$ のキャビテーション係数による変化 第 5 図 揚力係数 $C_{L\infty}$ のキャビテーション係数による変化

翼型 N.K.10156
 $t_w = 22.5 - 24.8^\circ\text{C}$
 $\rho_{\infty} = 102$
 $R = (8.0 - 14.5) \cdot 10^5$
 $\theta_1 = 25.73^\circ$
 $\theta_2 = 1.237$

第 7 図 抗力係数 $C_{D\infty}$ のキャビテーション係数による変化

第 9 図 種々のキャビテーション係数
における揚抗力係数と迎え角との関係

第 11 図 種々のキャビテーション係数
における抗力係数と迎え角との関係

第 10 図 種々のキャビテーション係数
における揚抗力係数と迎え角との関係

の翼列も参照してある。これはクラーク Y 6 % が $C_{a\infty}=0.5$ において好適な性能を有しているからである⁽⁶⁾。なお欠円翼 6 % は実験水温 ($7.0\sim 12.0^\circ\text{C}$) が今回のそれ ($t_w=22.5\sim 22.8^\circ\text{C}$) と余り異なるのでここに参照しなかった。しかし水温差を仮りに無視して比較すると、やはり N.K. および N.Y. は O₆ に優れていることがわかる。

1. 極曲線: 3 翼型に関して比較したのは第 14～16 図である。性能の優れた順に書くと大略次のようになる。

$k_{d\infty}=2.5-2.0$	$C_{a\infty}>0.6$	C.Y.	N.Y.	N.K.
	<0.6	C.Y.	N.K.	N.Y.
$k_{d\infty}=1.4$	$C_{a\infty}>0.77$	N.Y.	N.K.	C.Y.
	<0.6	C.Y.	N.K.	N.Y.
$k_{d\infty}=0.8$	$0.8>C_{a\infty}>0.63$	N.Y.	N.K.	C.Y.
	$C_{a\infty}<0.55$	C.Y.	N.K.	N.Y.
$k_{d\infty}=0.6$	$C_{a\infty}>0.45$	N.Y.	N.K.	C.Y.
	$C_{a\infty}<0.45$	C.Y.	N.K.	N.Y.
$k_{d\infty}=0.4$	$C_{a\infty}>0.35$	N.K.	N.Y.	C.Y.
	$C_{a\infty}<0.35$	C.Y.	N.K.	N.Y.

以上に明らかなように揚力係数の大なる処では、既存翼型クラーク Y および欠円型 (これは図中へ記入するを省略したが、既報翼列のキャビテーション⁽⁶⁾より参照できる) よりはるかに優れている。

第 12 図 種々のキャビテーション係数における揚力係数と抗揚比との関係

第 14 図 3 翼型の比較、種々のキャビテーション係数における極曲線

第 13 図 種々のキャビテーション係数における揚力係数と抗揚比との関係

第 15 図 3 翼型の比較、種々のキャビテーション係数における極曲線

第 16 図 3 翼型の比較

第 1 表 翼型 N.K. 10156. キャビテーション係数 $k_{a\infty}$ による揚抗力係数 $C_{a\infty}$, $C_{w\infty}$ の変化. α_{∞} : 幾何学的平均迎え角, α_1 : 翼列前方流速の迎え角 $t_w \div 22.5-24.8^{\circ}\text{C}$, $a/a_s \div 1.02$, $R \div (0.80-1.45) \cdot 10^6$, $\theta_1 = 25.73^{\circ}$, $t/l = 1.237$

$k_{a\infty}$	0.4	0.45	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0
α_{∞}															
-1°	$C_{a\infty}$ 0.065 $C_{w\infty}$ 0.0215 α_1 -0.80°	0.090 0.0210 -0.60°	0.115 0.0200 -0.60°	0.135 0.0195 -0.25°	0.145 0.0195 -0.25°	0.150 0.0195 -0.25°	0.155 0.0195 -0.25°	0.155 0.0195 -0.25°	0.155 0.0195 -0.25°	0.155 0.0195 -0.25°	0.155 0.0195 -0.25°	0.155 0.0195 -0.25°	0.155 0.0195 -0.25°	0.155 0.0195 -0.25°	0.155 0.0195 -0.25°
0°	0.210 0.0165 1.00°	0.220 0.0165 1.15°	0.230 0.0160 1.15°	0.240 0.0160 1.15°	0.242 0.0160 1.28°	0.245 0.0160 1.28°	0.245 0.0160 1.28°	0.250 0.0160 1.28°	0.250 0.0160 1.28°	0.250 0.0160 1.28°	0.250 0.0160 1.28°	0.250 0.0160 1.28°	0.250 0.0160 1.28°	0.250 0.0160 1.28°	0.250 0.0160 1.28°
1°	0.320 0.0140 2.62°	0.335 0.0145 2.77°	0.350 0.0150 2.77°	0.350 0.0155 2.77°	0.350 0.0155 2.77°	0.350 0.0155 2.77°	0.350 0.0155 2.77°	0.350 0.0155 2.77°	0.350 0.0155 2.77°	0.350 0.0155 2.77°	0.350 0.0155 2.77°	0.350 0.0155 2.77°	0.350 0.0155 2.77°	0.350 0.0155 2.77°	0.350 0.0155 2.77°
2°	0.387 0.0143 4.00°	0.425 0.0143 4.10°	0.450 0.0158 4.27°	0.450 0.0170 4.27°	0.450 0.0175 4.27°	0.450 0.0175 4.20°	0.440 0.0175 4.20°	0.435 0.0175 4.20°	0.435 0.0175 4.20°	0.435 0.0175 4.20°	0.435 0.0175 4.20°	0.435 0.0175 4.20°	0.435 0.0175 4.20°	0.435 0.0175 4.20°	0.435 0.0175 4.20°
3°	0.440 0.0175 5.35°	0.480 0.0170 5.38°	0.505 0.0175 5.50°	0.540 0.0170 5.65°	0.550 0.0175 5.80°	0.540 0.0185 5.65°	0.530 0.0185 5.65°	0.525 0.0190 5.65°	0.520 0.0190 5.65°	0.520 0.0190 5.65°	0.520 0.0190 5.65°	0.520 0.0190 5.95°	0.520 0.0190 5.65°	0.520 0.0190 5.65°	0.520 0.0190 5.65°
4°	0.480 0.0260 6.40°	0.505 0.0250 6.50°	0.535 0.0240 6.62°	0.600 0.0240 7.00°	0.650 0.0250 7.30°	0.690 0.0250 7.40°	0.665 0.0250 7.40°	0.640 0.0250 7.30°	0.620 0.0240 7.13°	0.605 0.0235 7.05°	0.595 0.0230 7.05°	0.595 0.0230 7.05°	0.595 0.0230 7.05°	0.595 0.0230 7.05°	0.595 0.0230 7.05°
5°			0.555 0.0357 7.71°	0.635 0.0385 8.20°	0.745 0.0390 8.87°	0.815 0.0395 9.30°	0.785 0.0390 9.00°	0.765 0.0360 8.92°	0.720 0.0335 8.63°	0.695 0.0325 8.43°	0.680 0.0315 8.43°	0.675 0.0315 8.43°	0.670 0.0315 8.43°	0.665 0.0315 8.43°	0.665 0.0315 8.43°
6°							0.850 0.0540 10.50°	0.865 0.0475 10.50°	0.825 0.0420 10.23°	0.795 0.0425 9.95°	0.770 0.0418 9.95°	0.760 0.0415 9.80°	0.753 0.0410 9.80°	0.745 0.0405 9.80°	0.745 0.0405 9.80°

第 2 表 翼型 N.Y. 10156. キャビテーション係数 $k_{a\infty}$ による揚抗力係数 $C_{a\infty}$, $C_{w\infty}$ の変化. α_{∞} : 幾何学的平均迎え角, α_1 : 翼列前方流速の迎え角 $t_w \div 22.0-24.0^{\circ}\text{C}$, $a/a_s \div 1.02$, $R \div (0.8-1.40) \cdot 10^6$, $\theta_1 = 25.73^{\circ}$, $t/l = 1.253$

$k_{a\infty}$	0.4	0.45	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0
α_{∞}															
-2°	$C_{a\infty}$ 0.100 $C_{w\infty}$ 0.0275 α_1 -0.40°	0.110 0.0265 -0.40°	0.125 0.0260 -0.40°	0.150 0.0255 -0.15°	0.175 0.0245 0.15°	0.190 0.0240 0.05°	0.210 0.0235 0.05°	0.215 0.0230 0.05°	0.225 0.0230 0.15°	0.230 0.0230 0.15°	0.230 0.0230 0.15°	0.230 0.0235 0.15°	0.230 0.0235 0.15°	0.230 0.0240 0.15°	0.225 0.0240 0.15°
-1°	0.725 0.0215 1.43°	0.285 0.0205 1.43°	0.295 0.0195 1.43°	0.305 0.0190 1.60°	0.315 0.0190 1.60°	0.330 0.0190 1.75°	0.340 0.0190 1.75°	0.345 0.0190 1.75°	0.350 0.0190 1.75°	0.350 0.0190 1.75°	0.350 0.0190 1.75°	0.350 0.0195 1.75°	0.350 0.0195 1.75°	0.350 0.0195 1.75°	0.350 0.0195 1.75°
0°	0.400 0.0255 3.10°	0.415 0.0220 3.10°	0.425 0.0200 3.10°	0.430 0.0190 3.20°	0.430 0.0190 3.20°	0.430 0.0190 3.20°	0.435 0.0190 3.20°	0.435 0.0190 3.20°	0.440 0.0193 3.20°	0.440 0.0193 3.20°	0.440 0.0193 3.20°	0.440 0.0195 3.20°	0.440 0.0195 3.20°	0.440 0.0195 3.20°	0.440 0.0195 3.20°
1°	0.455 0.0400 4.23°	0.485 0.0300 4.40°	0.525 0.0235 4.57°	0.525 0.0200 4.57°	0.525 0.0200 4.57°	0.520 0.0200 4.57°	0.520 0.0205 4.57°	0.520 0.0205 4.57°	0.520 0.0210 4.57°	0.520 0.0210 4.57°	0.520 0.0210 4.57°	0.520 0.0210 4.57°	0.520 0.0210 4.57°	0.520 0.0210 4.57°	0.520 0.0210 4.57°
2°			0.510 0.0435 5.55°	0.580 0.0325 5.90°	0.660 0.0230 6.45°	0.595 0.0210 6.00°	0.595 0.0215 6.00°	0.595 0.0225 6.00°	0.595 0.0230 6.00°	0.595 0.0230 6.00°	0.595 0.0230 6.00°	0.595 0.0230 6.00°	0.595 0.0230 6.00°	0.595 0.0230 6.00°	0.595 0.0230 6.00°
3°				0.588 0.0450 7.10°	0.680 0.0390 7.70°	0.780 0.0340 7.70°	0.700 0.0275 8.00°	0.675 0.0230 7.35°	0.665 0.0260 7.35°	0.665 0.0260 7.35°	0.665 0.0260 7.35°	0.665 0.0260 7.35°	0.665 0.0260 7.35°	0.665 0.0260 7.35°	0.665 0.0260 7.35°
4°					0.755 0.0505 9.50°	0.820 0.0445 9.63°	0.865 0.0395 9.40°	0.860 0.0350 9.20°	0.790 0.0295 8.75°	0.750 0.0300 8.75°	0.740 0.0300 8.75°	0.735 0.0300 8.65°	0.730 0.0305 8.65°	0.725 0.0305 8.65°	0.725 0.0310 8.65°
5°					0.735 0.0675 9.93°	0.800 0.0655 10.00°	0.860 0.0605 10.20°	0.915 0.0545 11.21°	0.900 0.0390 10.80°	0.870 0.0365 10.35°	0.835 0.0365 10.25°	0.810 0.0370 10.05°	0.800 0.0370 10.05°	0.790 0.0370 9.95°	0.790 0.0375 9.95°
6°															
7°									0.925 0.0610 11.80°	0.930 0.0520 11.76°	0.915 0.0485 11.65°	0.885 0.0470 11.50°	0.875 0.0465 11.40°	0.850 0.0470 11.29°	0.850 0.0475 11.29°

k_{∞}	0.4	0.45	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0
α_{∞}															
8°									0.938	0.975	0.985	0.965	0.945	0.915	0.910
									0.084	0.075	0.067	0.062	0.060	0.059	0.061
									12.31°	13.00°	12.95°	12.88°	12.70°	12.60°	12.60°
9°									1.012	1.040	1.035	1.015	0.980	0.965	
									0.101	0.093	0.085	0.078	0.074	0.076	0.076
									14.05°	14.20°	14.23°	14.05°	13.92°	13.85°	
10°									1.040	1.085	1.095	1.060	1.015	1.000	
									0.124	0.117	0.110	0.103	0.093	0.092	0.092
									15.00°	15.28°	15.55°	15.40°	15.14°	15.05°	
11°													1.090	1.035	1.020
													0.134	0.115	0.109
													16.75°	16.25°	16.15°

2. 発生点: これに関する比較は第 17 図に示した. 発生し難い順にかくと次の順になる.

第 I 種 N.Y. N.K. C.Y.

第 II 種 C.Y. N.Y. N.K.

第 III 種 N.K. N.Y. (C.Y.

にはなし)

第 II 種は主として迎え角が負の時に生ずるもので, また第 III 種は迎え角 1.8° 以下において起るもので共に実際に起ることは比較的少いから適列翼型は発生点の見地からも優れていると言える.

3. 抗揚比最小の迎え角: この迎え角 α_{∞} が k_{∞} による変化は第 18 図に示した. k_{∞} によって変化しない順に書くと次の通りである.

N.K. C.Y. N.Y.

4. 結 論

(1) 翼列に適する翼型(適列翼型) 2 種のキャビテーション性能を求めた.

(2) これらの適列翼型の性能は, 2 者いずれも既存翼型の性能にはるかに優れている.

(3) またキャビテーションが発生し難いと言う点からも, これら 2 種の適列翼型は優れている.

終に臨み, この研究の実験においては, 高速力学研究所技官角田賢治君および教官千田一郎君の助力を得た. また文部省からは 科学研究費 の補助を受けた. ここに記してそれぞれ感謝の意を表したい.

翼型 N.K.10156

$tw \approx 22.5-24.8^\circ C$ $R \approx (8.0-14.5) \cdot 10^5$

• • N.Y.10156

$tw \approx 22.0-24.0^\circ C$ $R \approx (8.0-14.0) \cdot 10^5$

• • Clark.Y.6

$tw \approx 18.0-26.0^\circ C$ $R \approx (7.5-13.6) \cdot 10^5$

第 17 図 3 翼型の比較. 発生時のキャビテーション係数および大いさ

($\frac{C_{L_{max}}}{C_{D_{max}}}$) 最小の迎え角 α_{∞}

— N.K.10156 $tw \approx 22.5-24.8^\circ C$ $R \approx (8.0-14.5) \cdot 10^5$

--- N.Y.10156 $tw \approx 22.0-24.0^\circ C$ $R \approx (8.0-14.0) \cdot 10^5$

--- Clark.Y.6 $tw \approx 18.0-26.0^\circ C$ $R \approx (7.5-13.6) \cdot 10^5$

$\theta_1 = 25.73^\circ$
 $\theta_2 = 12.39^\circ$

第 18 図 3 翼型の比較. 抗揚比最小を与える迎え角のキャビテーション係数による変化

注: —

(1) 昭和 23 年 4 月 1 日 第 25 期定時總會の講演會において講演, 原稿受付 昭和 23 年 9 月 3 日.

(2)(3)(4) 正員, 東北大學高速力学研究所.

(5) 本誌 22 頁.

(6) 本誌 5 頁.

(7) 翼型 4 箇のキャビテーション性能, 機械學會論文集, 7 卷 28 號, (昭和 16-8)あるいは V.D.I. —Forschung, Vol. 11 (1940), p. 303.