彎曲吸出管内の流に就て⁽¹⁾

(昭和 11 年 6 月 28 日 札幌地方講演會に於て講演)

正員 佐野新三郎⁽²⁾

摘 要

高速水車に使用する彎曲形吸出管の模型を多数製作して、メリヂャン流動と案内羽根で旋回流動を興へたものに就て、管内の水力損失を水量によつて比較し、境界層の流線をペンキで描写し、尚吸出管出口の速度分布を測定して、吸出管内の流動を実験的に研究したものである。

1. 緒 言

現今低落差水力を開発して高速水車を使用する傾向が多くなつて、吸出管の改良が肝要である。高速水車の吸出管は眞直形と彎曲形の 2 種に大別し、眞直形は主に米国で発達したもので、Moody の擴散管⁽³⁾ 及び White の水力円錐管⁽⁴⁾ が最も良好である。彎曲形は専ら歐洲で改良せられて、普通の彎曲形と Kaplan の彎曲形とがあり、何れも効率のよいものである。

彎曲吸出管の流の研究、⁽⁵⁾ 普通の曲管や肘管の流の研究、⁽⁶⁾ 及び眞直なる廣がり水路⁽⁷⁾ の流の研究⁽⁸⁾ は既に多く文献に出てあるが、廣がり流れでその上に彎曲せる通路の流の研究は、理論的にも実験的にも未だ無いやうである。而してこの種の流動の知識が、彎曲吸出管の流動を研究する基礎であることは勿論である。筆者の茲に報告するものは彎曲

吸出管の模型を多数製作して、一定ヘッドの下で、この模型より噴射する水量を測つて、吸出管の損失を比較した。又管

内の流動を見るために内面にペンキを塗り、その未乾燥状態の時実験して壁の流線を撮影した。尚出口面積の速度分布も測定して、流動の適否の判断を下した。さて水車吸出管の模型試験には、羽根車もつけた水車全体の模型に就て、吸出管の性能を実験するのが最善であることは周知であるが、茲では簡単に吸出管内の流動を見るために羽根車は省略した。

2. 実験装置とその方法

実験装置の配置は第 1 図の略図で示す如く、渦巻ポンプ (1) で密閉水槽 (2) に揚水し、網板 (3) で流れの動揺や旋回を止め、案内羽根 (4) をつけて任意の旋回速度を興へ、模型吸出管 (5) で目的の実験をする。ヘッドはブルドン・ゲージ (6) で讀み、溢流管 (11) の弁とポンプ駆動用の直流電動機の回轉を調節して水量を変へた。出口の水速はピトー計 (7) と水銀液柱計 (8) を使用して測つた。吸出管より

大氣中に放出する噴射は、水路 (9) より容積測定水槽 (10) に溜めて水量を測定した。

模型吸出管 第 2 図は普通の彎曲吸出管 (A 形) であり、第 3 図は Kaplan の彎曲吸出管 (B 形)、第 4 図は Kaplan の彎曲吸出管 (C 形) である。模型の入口直径 d は何れも 5 cm に一定し、高さを $1.9d$ に、出口を縦 $1.08d$ 横 $3.4d$ に何れも一定した。尚境界の曲率半径 a 及び b 、通路の高さ h 、吸出管の水平長さ l 、 l_1 及び l_2 を第 1 表の如く種々變へて、A 形 4 個 B 形 6 個 C 形 6 個合計 16 個の吸出管模型を作つた。第 1 表中◎印のものを同一形式の吸出管に就て比較し、その他の値は一定に保つた。

境界層の流線 模型は対称平面で左右に二つ割りにして黄銅で鋳造した。吸出管の内面の流線を撮影するためには、内壁を丁寧に錆上して、下地に黒色酒精ラック溶液を塗り、その上に白色油ペンキを適度に亞麻仁油で薄めて塗つた。そして未乾燥の時に 3~5 分間水流に當てた。適當な乾燥時間は、

第 1 圖 実験装置の配置図

第 2 圖 A 形模型吸出管

第 3 圖 B 形模型吸出管

(1) On the Flow in the Curved Draft Tubes. (2) Sinzaburo SANO, Member, The Hokkaido Imperial University. 北海道帝国大学 (3) Spreading Tube. (4) Hydracone Regainer. (5) 宮城普五郎、彎曲せる水車放水管の理論及び設計、機械學會誌、昭和 5 年 12 月。松本容吉、板谷松樹、水車曲り吸出管の研究 (第 1 報) 機械學會誌、昭和 10 年 10 月。C. M. Allen and I. A. Winter: Comparative tests on experimental draft tubes. Proc. Am. Soc. Civ. Engrs. 1923 p. 1813. (6) 川田正秋、彎曲水管における水圧及び流速の測定、機械學會誌昭和 4 年 11 月。宮城普五郎、曲管内の流れと流れの安定さに就て 機械學會誌 昭和 7 年 11 月。H. Nippert: Über den Strömungsverlust in gekrümmten Kanälen. V.D.I. Forsch. Heft 1929 Nr. 320. H. Richter: Der Druckabfall in gekrümmten glatten Rohrleitungen. V.D.I. Forsch. Heft 1930 Nr. 338. W. Spalding: Versuche über den Strömungsverlust in gekrümmten Leitungen. V.D.I. 1933 S. 143. (7) Divergent Channel. (8) B. Hudimoto: On the turbulent boundary layer with pressure rise & fall. 京都帝大工学部紀要 昭和 10 年 No. 1. R. Kröner: Versuche über Strömungen in stark erweiterten Kanälen. V.D.I. Forsch. H. 1915 Nr. 222. A. Riffart: Über versuche mit Verdichtungsdüsen. V.D.I. Forsch. H. 1922 Nr. 257. F. Dösch: Divergente und konvergente turbulente Strömungen mit kleinen Öffnungswinkeln. V.D.I. Forsch. Heft 1926 Nr. 232. J. Nikuradse: Untersuchungen über die Strömungen des Wassers in konvergenten und divergenten Kanälen. V.D.I. Forsch. Heft 1929 Nr. 289.

第1表 模型吸出管の種類とその比較点

変値 模型	a	b	h
A 1	◎ 0.6d	◎ 1.2d	◎ 0.8d
A 2	◎ 0.9d	1.2d	0.8d
A 3	0.6d	◎ 0.8d	0.8d
A 4	0.6d	1.2d	◎ 0.6d

変値 模型	a	h	l ₁	l ₂
B 1	◎ 0.7d	◎ 0.6d	◎ 2.6d	2.6d
B 2	◎ 0.4d	0.6d	2.6d	2.6d
B 3	◎ 1.0d	0.6d	2.6d	2.6d
B 4	0.7d	◎ 0.8d	2.6d	◎ 2.6d
B 6	0.7d	0.6d	◎ 2.0d	3.2d
B 7	0.7d	0.8d	3.2d	◎ 2.0d

変値 模型	a	h	l
C 1	◎ 0.5d	◎ 0.8d	◎ 5.2d
C 2	◎ 0.3d	0.8d	5.2d
C 3	◎ 1.0d	0.8d	5.2d
C 4	0.5d	◎ 0.75d	5.2d
C 5	0.5d	◎ 0.95d	5.2d
C 6	0.5d	0.8d	◎ 4.0d

18~7 時間であつて、その日の温度、湿度及び油ペンキの稀薄度により著しく異つた。吸出管入口の流速は 12~15 m/s であつて、常に白ペンキが洗ひ去られて、極薄い流線が見えた。曲部から出口迄は流速が壁の近くで 2~7 m/s であるから、流線は一般に良く現れた。然し死水部や流速 2 m/s 以下の場所はペンキがその儘残つた。尚 レイノルドの相似法則に因つて、模型が小くなる程流速を増さねば機械的相似が成立せぬこと、流速が小であれば流線が現れないために、比較的大な流速によつて実験した。

速度測定装置 第5図は吸出管出口で流速を測定する装置の略図である。実験した旋回流動は3種であつて、(1) 案内羽根(1)を取去つた場合で、メリヂェン流動でありこれを $\alpha=0^\circ$ とする。(2) 案内羽根で $\alpha=30^\circ$ として旋回速度を與へた時(3) 案内羽根で $\alpha=60^\circ$ として、より大なる旋回速度を與へた時である。密閉水槽(2)と吸出管(5)の間には内径 5 cm の鑄鉄管(3)で連絡し、途中に仕切弁(4)を使用して模型の取換に便にした。吸出管(5)の出口断面はなるべく垂直に取付け、又出口の上端は水平に保つた。ピトー計(6)は第6図の如く、外形を Prandtl 形に類似のものを使用したけれど、只一つの細孔を有するものである。ピトー計(6)は梁(7)に附属し、この梁は水路(8)の両岸上で移動出来る。尚梁は多少俯仰が出来るとしたため、ピトー計の頭部を常に吸出管出口に垂直に出来た。又ピトー計の頭部は吸出管出口の外方 1 mm に保つた。第7図は吸出管の噴射の速度測定に就ての原理を示すものである。ピトー計の細孔に働く圧

力は、静圧としては大気圧 p_0 あり、それと動圧 $\rho v^2/2$ とであり、水銀 U 字管の他端には大気圧 p_0 が働いて、水銀柱の高さの差は h である。

$p_1, p_2=p_1$ は U 字管の左側の水銀面の圧力で、 p_2 はそれと同一水平線上の U 字管の右側の圧力

$\gamma, \gamma'=\gamma$ は水、 γ' は水銀の単位重さ

x =吸出管出口の上端とピトー計測定孔中心との距離

H_0 =吸出管出口の上端と U 字管左側の液面(p_1)との距離

$$p_1 = -\gamma' H + \gamma v^2/(2g) + p_0$$

$$p_2 = \gamma' h + p_0$$

然るに $p_1=p_2$

$$\therefore -\gamma' H + \gamma v^2/(2g) + p_0 = \gamma' h + p_0$$

$$\therefore v = \sqrt{2g\gamma'/\gamma(H+h)}$$

$$= \sqrt{2g\gamma'/\gamma(H_0+x+h)}$$

H_0 を測定するには第5図にてガラス管(9)と水溜(9)をゴム管で接続し、水溜(9)を任意の高さに上げて、吸出管出口の上端の水位を右側のガラス管(9)に写して、

それと水銀溜め(10)の液面との距離を尺度で讀めば H_0 の値である。

水銀溜め(10)は直径 100 mm、高さ 60 mm にて、その水銀容積を大きくしてあるため、液柱計とし

第4図 C形模型吸出管

第5図 出口の速度測定装置

て使用する時、水銀溜の液面の高さの変化が殆ど無い。ガラス管(11)と(12)とはその内径 1.5 mm であつて、水銀液柱計及び傾斜水銀液柱計として用ひ、後者は速度の小なる時に使用する。

ピトー計の外形は上述の Prandtl 形に類似のものであるから、流動方向がピトー計の中心線と $\pm 15^\circ$ の傾斜であつても、速度測定上誤差がない。

然し後の流線の写真図を見ると、旋回流動の時には、出口付近で斜流が 15° 以上の部分も認められるから、速度測定上の斜流による誤差が多少あるものと思ふ。速度測定はどの吸出管に就ても、出口の高さにつき 7 点、巾では 17 点合計 119 点に就て測定し、壁に近い点は壁より 1 mm で測定した。

第 6 図 ピトー計

第 7 図 噴射速度測定の原理

3. 実験結果

水力損失 ヘッド H m をブルドン・ゲージにて一定に保つて、吸出管

より充滿する噴射を流出させる時、案内羽根と吸出管内の水力損失は、噴射の水量 Q l/s で比較出来る。即ち Q 大なる程、水力損失

第 8 図 水力損失の比較

は小であり、換言して水力効率が大である。この方法では吸

第 2 表 Q , H の実測値と $Q/\sqrt{H}$ の値

模型	$\alpha=0^\circ$			$\alpha=30^\circ$			$\alpha=60^\circ$		
	Q l/s	H m	$Q/\sqrt{H}$	Q l/s	H m	$Q/\sqrt{H}$	Q l/s	H m	$Q/\sqrt{H}$
A 1	28.5	6	11.6	28.8	10	9.1	25.9	13	7.2
A 2	28.6	6	11.7	28.8	10	9.1	23.0	13	6.4
A 3	25.4	6	10.4	28.9	10	9.15	26.2	13	7.26
A 4	29.7	6	12.1	28.4	10	9.0	25.7	13	7.15
B 1	27.0	6	11.0	29.3	10	9.3	25.7	13	7.1
B 2	28.1	6	11.5	29.4	10	9.3	25.5	13	7.1
B 3	28.6	6	11.7	28.0	8	9.9	25.3	13	7.0
B 4	28.4	6	11.6	29.4	10	9.3	25.7	13	7.1
B 6	26.9	6	11.0	28.7	10	9.1	26.1	13	7.25
B 7	27.0	6	11.0	28.9	10	9.15	25.3	13	7.0
C 1	27.2	6	11.1	28.4	10	9.0	28.6	13	7.92
C 2	27.0	6	11.0	27.3	10	8.65	25.6	13	7.1
C 3	27.3	6	11.1	28.9	10	9.15	25.5	13	7.06
C 4	27.7	6	11.3	29.6	10	9.36	25.5	13	7.06
C 5	26.7	6	10.9	27.9	10	8.84	25.5	13	7.06
C 6	28.2	6	11.5	27.8	10	8.8	25.3	13	7.0

出管以外の部分の水力損失は分離し難いが、同一案内羽根で比較するものとすれば別には差支は無い。又吸出管のヘッドの回復や静吸出ヘッドを比較外に出来るやうに、吸出管の高さ、入口直径及び出口を皆一定にして模型を製作した。実測中充滿する噴射を得るためには、稀に H を変化せねばならなかつたため、 $Q/\sqrt{H}$ の値によつて吸出管の水力損失の判断をした。第 2 表は總ての模型に就て、 $\alpha=0^\circ$, $\alpha=30^\circ$, $\alpha=60^\circ$ に対する、 H 及び Q の実測値と $Q/\sqrt{H}$ の値を表示する。第 8 図は $Q/\sqrt{H}$ の値を図示して比較を便にしたものである。

境界層の流線 彎曲通路内の流動は壁に近い層はその速度急に減るが、中央の流れはその速度も大きく、その有する運動エネルギーも大きい。ため真直に進んで、境界層の速度の小さい流れを押し除けて、第 9 図の如く一対の副流を生ずる。流れの主流がこの副流と合成して、左右に一対の渦巻を作つて出口から噴出する。この実験では主流の速度が一般に大きく、副流の影響が比較的以小であつたため、 $\alpha=0^\circ$ の時には第 10 図模型 A 1 の境界層の流線で示す如く、渦巻流れは著しく減小する。次に案内羽根を用ひて、 $\alpha=30^\circ$ や $\alpha=60^\circ$ の旋回速度を有する流れとすれば、何れの吸出管に就ても渦

第 3 表 結果比較表

比較点	模型	$\alpha=0^\circ$			$\alpha=30^\circ$			$\alpha=60^\circ$		
		効率	流線	速度	効率	流線	速度	効率	流線	速度
$\{a=0.6d$ $a=0.9d$	A 1		○	○			○	○		
	A 2	○								
$\{b=1.2d$ $b=0.8d$	A 1	○		○		○	○		○	
	A 3									
$\{h=0.8d$ $h=0.6d$	A 1		○			○			○	
	A 4	○								
$\{a=0.7d$ $a=0.4d$ $a=1.0d$	B 1		○	○			○			
	B 2	○								
	B 3	○	○		○	○				
$\{h=0.6d$ $h=0.8d$	B 1		○			○			○	○
	B 4	○		○						
$\{l_1=2.6d, l_2=2.6d$ $l_1=2.0d, l_2=3.2d$	B 1			○						
	B 6		○					○	○	
$\{l_1=2.6d, l_2=2.6d$ $l_1=3.2d, l_2=2.0d$	B 4	○	○		○			○	○	○
	B 7									
$\{a=0.5d$ $a=0.3d$ $a=1.0d$	C 1		○	○				○	○	○
	C 2		○					○		○
	C 3			○	○	○				
$\{h=0.8d$ $h=0.75d$ $h=0.95d$	C 1	○	○					○		
	C 4	○	○	○						
	C 5			○						
$\{l=5.2d$ $l=4.0d$	C 1		○		○	○	○	○	○	○
	C 6	○								

巻流れが著しくなつて、流通は片方に偏在する。第 11 図は B4 $\alpha=30^\circ$ の時、第 12 図は C3, $\alpha=60^\circ$ の時を例示したものである。巡回速度が増すに従つて、曲管内の副流と巡回流動とが、片側では打消されて渦巻の減小した緩かな波状の流れとなり、反対側では副流と巡回流動とが重疊して渦巻の激成したものになる。

第 9 図 彎曲通路の流れ

出口速度分布

案内羽根無き時 ($\alpha=0^\circ$) には速度分布は大体左右対称的であり、速度は上より下に向つて増加し、左右では壁に近くなる程一般に速度増す。第 13 図では A1, $\alpha=0^\circ$ をその一例として示す。次に案内羽根 $\alpha=30^\circ$ では巡回速度のため、速度分布は稍非対称的になつてゐる状態は、第 14 図の B4, $\alpha=30^\circ$ の例で示すもので明である。案内羽根 $\alpha=60^\circ$ では巡回速度が著しく増すため、速度分布は第 15 図にて C1, $\alpha=60^\circ$ の一例で示した如く、全く非対称的であつて、流動は著しく一方に偏してゐる。上述の通り速度分布に就ては、巡回流動 α の影響は著しいものであるが、 α が同一なる時 ABC の 3 種の模型に対する速度分布の変化は著しくない。

4. 結 論

第 10 図 境界層の流れ A1. $\alpha=0^\circ$

第 11 図 境界層の流れ B4. $\alpha=30^\circ$

第 12 図 境界層の流れ C3. $\alpha=60^\circ$

第 13 図 出口速度分布 A1. $\alpha=0$

第 14 図 出口速度分布 B4. $\alpha=30^\circ$

第 15 図 出口速度分布 C1. $\alpha=60^\circ$

もの、○印は稍良いもの、空欄は優劣を認めないものである。効率 は水力効率、流線は境界層の流線、速度は出口速度分布の略語である。要之 A 形では α の如何に拘らず A1 が最良である。B 形では $\alpha=0^\circ$ の時、B3 の内 $h=0.8d$, $l_1=2.0d$ に変更したものが良い。 $\alpha=30^\circ$ の時は B3 が良く、 $\alpha=60^\circ$ では B3 の内 $l_1=2.0d$ にした方が良い。故に B 形の最良なものは、B3 の内 $l_1=2.0d$ に変更したもの、即ち $a=d$, $h=0.6d$, $l_1=2.0d$, $l=3.2d$ であ

る。C 形では $\alpha=0^\circ$ の時 C 1 の内 $h=0.7d$ に変更したのが良く、 $\alpha=30^\circ$ の時 C 3 の内 $h=0.7d$ にした方が良く、 $\alpha=60^\circ$ の時 C 1 が最も良い。故に C 形としては C 1 の内 $h=0.7d$ に変更したのが最良であつて、即ち $\alpha=0.5d$, $h=0.7d$, $l=5.2d$ である。

次に旋回流動の影響を見るに、 $\alpha=0^\circ$ では ABC の 3 形

式に就て大体優劣を認めないが、 $\alpha=30^\circ$ の時 C 形良く、B 形これに次ぎ、 $\alpha=60^\circ$ では B 形最も良く、C 形これに次ぐのである。次の機会には吸出管の彎曲部に各種の隔壁を設けて、その影響を調べて見ようと思つてゐる。この実験中、佐々木亮高君と千葉虎之助君には多大の労をかけたから茲に感謝の意を表す。

二元式固形炭酸サイクルに就て⁽¹⁾

(昭和 11 年 1 月 10 日 台灣地方講演會に於て講演)

正 員 藤 田 保 太 郎⁽²⁾

摘 要

固形二酸化炭素の製造法に関しては今日改善されて実際に適用されてゐる幾多の熱力学的サイクルが存在する。茲に今一つの方法として二つの冷媒を組合せて冷凍効果を遂げる二元冷凍サイクルの理論を應用して、一層経済的に固形二酸化炭素製造の目的を達せんとする二元式固形炭酸サイクルが擧げられる。本論文に於ては曩に發表した二元サイクルに関する著者の理論と新計算式に基づいて固形炭酸サイクルの状態を決定する方法を説き、併せて在来の主なる諸サイクルの計算法を述べ、同一條件の下でサイクルの比較検討を試みる。

1. 緒 言

二酸化炭素は特異な性質をもつ冷媒で、その液体を大気圧に膨脹させるとその一部が固体に変化し、固体は熱を吸収するとき液体状態を通過せず昇華してガス体に変化する。即ち大気圧の下では液体として存在し得ぬ。液体で在り得る最低圧力即ち三重点圧力は 5.28 kg/cm^2 で、この圧力下ではガス体、液体並に固体の三相が同時に存在し得る。圧力を除いて大気圧にすると温度は -56.6° から -78.9°C に降下する。固形炭酸の製造法に就ては相當の範圍論ぜられ、^{(3)~(10)} 効率を高めるために種々の方法が講ぜられてゐるが要するにその骨子とする所はガスの圧縮、液化、液の膨脹の 3 過程から成立つもので上の特性を利用して液を大気圧に膨脹させ、生成される固形炭酸から分離した蒸気はこれを圧縮機で吸引圧縮して再び冷却液化する。換言すれば二酸化炭素を冷媒とする

普通の冷凍装置に於ての低圧側を大気圧と定めたるに過ぎず。液の膨脹に際して液と蒸気の混合物を造らずに、液を固体と蒸気に変化させるだけが両者の相違する点である。但し前者はサイクルが所謂密閉式で液が蒸発によつて冷凍効果を遂げて変化した蒸気は残らず分離蒸気と共に圧縮機に導かれて循環するのに反し、後者では製造された固体が製品として装置外に供給され、即ちサイクルが開放式であるために製品と等量の原料が液体かガス状態かで補給されることとなる。然るに一般に CO_2 冷凍サイクルは効率悪く、適當な冷媒を組合せてつくられる例へば $\text{NH}_3\text{-CO}_2$ 二元冷凍サイクルの方が遙かに高度の成績係数を與えることは認められてゐるから、⁽¹¹⁾ 固形炭酸の製造に対して二元サイクルの方式を適用しようと云ふ問題は當然着眼させねばならぬことに屬する。

2. 成績係数に関する基本式

一般に第 1 冷媒液の膨脹蒸発による熱吸収で第 2 冷媒の圧縮蒸気を冷却凝結させ、所要の冷凍目的は低温蒸発器内で第 2 冷媒の蒸発に依つて遂げる二元冷凍サイクルで第 1 冷媒のサイクルを高温サイクル、第 2 冷媒のサイクルを低温サイクルと称することとし

q_a 又は q_{01} = 第 2 冷媒を凝結させるために使はれる第一冷媒の單位循環量當りの冷却熱量

q_c 又は q_{02} = 第 2 冷媒の單位循環量當りの冷凍熱量

Al_a , Al_c = 第 1 並に第 2 冷媒の單位循環量に就ての所要圧縮仕事に相當する熱量

q_{cond} = 第 2 冷媒の單位量を凝結させるために第 1 冷

(11) 拙著 二元サイクルの理論成績係数に就て 機械學會誌 第 38 卷 第 211 号又は論文集 第 1 卷 第 3 号。

(1) On Binary Refrigerating Cycle Applied to the Manufacture of Solid Carbon Dioxide. (2) Yasutaro Fujita, Member. The Tainan Technical College. 台南高等工業學校. (3) Iwan Kuprianoff, Über die Herstellungsverfahren von fester Kohlensäure, Zeit. f. d. Gesamte Kälte-Industrie, 3 Heft, 1932. (4) K. Hiller, Zur Frage der Energieaufwand des bei der Herstellung von festem Kohlendioxyd. Z. f. d. Gesamte Kälte-Industrie, 3 u. 4 Heft, 1932. (5) R. Plank, Herstellung und industrielle Verwertung fester Kohlensäure, V.D.I. Bd. 73, Nr. 7, 1929. (6) A. Salmong, Über rationallste Arbeitsweise bei der Herstellung von Trockeneis, Das Trockeneis, Nr. 8, 1933. (7) W. Pohlman, Die Herstellung und die Verwendung von Trockeneis, Chemiker-Zeitung, 25, April, 1934. (8) F.W. Rabe, Power Requirements for the Manufacture of Solid CO_2 , Refrigerating Engineering, Dec. 1931. (9) Charles O. Duevel, Carbon Dioxide and its Solidification, Refrigerating Engineering, July & Aug. 1931. (10) J. C. Goosman, Carbon Dioxide Thermodynamics, Part IV Solidification, Refrigerating Engineering, Jan. 1934.

昭和 11 年 11 月]