# 第四章

## 管内ニ於ケル水ノ流動

### 三三、液體ノ摩擦抵抗、

今水平ニ置カレタル管内ヲ粘著性ナキ完全ナル液體カ流線運動ヲナス場合、「ベルヌーイ」ノ定理ヲ應用セハ

$$\frac{P}{W}+\frac{V^2}{2g}=\text{定數}$$

ニシテ、即チ換言スレハ、完全ナル液體カ、平等ナル横斷面ヲ有スル水平眞直管内ヲ流ルヽトキハ、其ノ壓力ハ不變ナルヘシ、

然レトモ實際上液體ハ多少ノ粘著性ヲ有シ、此ノ不完全ナル液體カ小徑管内ヲ徐々ニ流動スルトキハ、其ノ隣層間ニ摩擦抵抗ヲ伴フコト既ニ前述セル所ニシテ、此ノ抵抗ニ打チ勝ツ爲メ相當ノ壓力嵩ヲ要スヘク即チ上記ノ式中ニ摩擦損失ノ項ヲ加フルノ要アルヘシ、

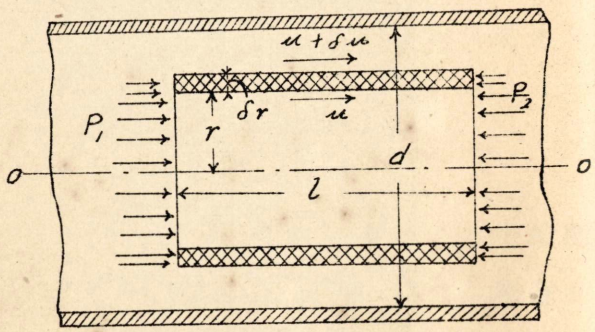
若シ又管内液體ノ運動カ限界速度ヲ超過スルトキ

ハ、液體ハ流線運動ヲナサスシテ渦卷運動ヲナシ、前者ニ比シテ一層大ナル「エネルギー」ヲ損失シ、之ニ相應スル壓力嵩ノ損失モ又大ナルコト勿論ナリ、

次ニ管内ヲ流ルヽ液體カ流線運動ヲナス場合ト渦卷運動ヲナス場合ニ於ケル損失壓力嵩ヲ算定セントス、

（イ）流線運動ヲナス場合、

第28圖ニ示ス如ク $d$ ナル小管内ヲ不完全液體カ限界速度以下ニテ流ルヽトキ、著性ニ基因スル抵抗ヲ算出セントス、




第二十八圖

今圖ノ如ク、管ノ中央 $OO$ ヨリ $r$ ナル距離ニアル厚サ $\delta r$ ノ同心圓筒ヲ、其ノ兩面ニ於ケル抵抗ニ打チ勝チ流レノ方向ニ移動セントスル力ハ、同心圓筒ノ兩端ニ於ケル壓力差ナルヘシ、而シテ圓筒ノ内面ニ於ケル粘著力

$$F=\mu\frac{du}{dr}2\pi rl$$

ニシテ外面ニ於テハ

$$F+\frac{dF}{dr}\delta r$$

ナリ、故ニ其ノ差 $2\pi\mu l\frac{d}{dr}\left(r\frac{du}{dr}\right)\delta r$ ハ圓筒ノ兩端ニ於ケル壓力差ニ等シカルヘシ、即チ

$$2\pi\mu l\frac{d}{dr}\left(r\frac{du}{dr}\right)\delta r=2\pi r\delta r(P_2-P_1)$$

$$\frac{d}{dr}\left(r\frac{du}{dr}\right)=\frac{P_2-P_1}{\mu l}r$$

$$\therefore\quad u=\frac{P_2-P_1}{4\mu l}r^2+A\log r+B$$

$r=0$. 即チ管ノ中央ニ於テハ $u$ ハ一定ノ値ヲ有ス、故ニ $A=0$ ナリ、

$r=\frac{d}{2}$ 即チ管膚ニアリテハ $u$ ハ零ナリ、故ニ $B$ ハ $\frac{P_1-P_2}{4\mu l}\times\frac{d^2}{4}$ ナリ、

$$\therefore\quad u=\frac{P_1-P_2}{4\mu l}\left(\frac{d^2}{4}-r^2\right)\cdots\cdots\cdots\cdots(A)$$

而シテ一單位時間内ノ流量ハ

$$Q=\int_0^{\frac{d}{2}}u\times 2\pi r dr$$

$$=\frac{\pi d^4}{16\times 8\mu}\cdot\frac{P_1-P_2}{l}$$

又 $v_m$ ヲ管ノ横斷面上ノ平均速度トスレハ

$$Q=\frac{\pi}{4}d^2\times v_m$$

$$\therefore\quad \frac{P_1-P_2}{w}=h=\frac{32\mu}{w}\cdot\frac{l}{d^2}v_m\cdots\cdots\cdots\cdots(B)$$

（ロ）渦卷運動ヲナス場合、

「フロード」氏ハ水中ニテ薄板ヲ牽引シ其ノ受クル抵抗ヲ測定シテ、次ノ諸法則ヲ得タリ、

(1) 摩擦抵抗ハ浸水面積ノ大小ニ正比例ス、

(2) 摩擦抵抗ハ浸水面ノ粗糙程度ニ正比例ス、

(3) 摩擦抵抗ハ速度ノ自乘ニ正比例ス、

(4) 摩擦抵抗ハ浸水面ノ受クル壓力ニ關係セス、

(5) 摩擦抵抗ハ液體ノ密度及ヒ粘著性ニ正比例ス、

故ニ今

$F$ ＝摩擦力

$f$ ＝表面ノ性質、形狀、及其ノ大サニヨル摩擦係數

$w$ ＝單位體積ノ水ノ重量

$S$ ＝浸水面積

$V$ ＝水ノ速度

トスレハ、以上ノ實驗ノ結果水ト固體トノ摩擦力ハ一般ニ次式ニテ表ハサル、即チ

$$F = fwS\frac{V^2}{2g}$$

更ニ

$A$ ＝流レノ横斷面積

$s$ ＝浸水ノ周縁

$l$ ＝流レノ長サ

$m = \frac{A}{s}$ ＝流體ノ平均深サ Hydraulic mean depth

トスレハ摩擦抵抗ノ嵩ハ

$$h = \frac{F}{wA} = f\frac{l}{m}\frac{V^2}{2g} \quad \text{......................} (32).$$

## 三四、圓筒内ニ於ケル流水ノ摩擦損失、

直徑 $d$ ナル等齊圓筒内ヲ水カ充滿シテ流ルヽトキ、其ノ摩擦損失嵩ハ實用工學上(32)式ニヨリ現ハスヲ至當トス、故ニ

$$h = 4f\frac{l}{d}\frac{V^2}{2g} \quad \text{......................} (33)$$

トナル、$f$ノ値ニ對スル公式種々アレトモ

「ワイスバッハ」(Wessbach)ノ係數、

$$4f = \cdot0144 + \frac{\cdot01716}{\sqrt{V}} \quad \text{(呎秒單位)}$$

ハ稍〻小ニ過キ不完全ノ傾キアリ、

「ダルシー」(Dalcy)ノ係數、

$$\left\{\begin{array}{ll} f = 0\cdot005\left(1+\frac{1}{12d}\right)\cdots\cdots\cdots\cdots \text{新シキ管} \\ f = 0\cdot010\left(1+\frac{1}{12d}\right)\cdots\cdots\cdots\cdots \text{舊キ管} \end{array}\right. \text{(呎秒單位)}$$

最モ普通ニ使用セラルヽ「ダルシー」ノ係數ノ次ノ如シ、

| $d$ (吋) | $f$ ノ値 新管 | $f$ ノ値 舊管 | $d$ (吋) | $f$ ノ値 新管 | $f$ ノ値 舊管 |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | ·0075 | ·0150 | 12 | ·0054 | ·0108 |
| 3 | ·0067 | ·0133 | 15 | ·0053 | ·0107 |
| 4 | ·0063 | ·0125 | 18 | ·0053 | ·0106 |
| 5 | ·0060 | ·0120 | 21 | ·0052 | ·0105 |
| 6 | ·0058 | ·0117 | 24 | ·0052 | ·0104 |
| 8 | ·0056 | ·0113 | 30 | ·0052 | ·0103 |
| 10 | ·0055 | ·0110 | 36 | ·0051 | ·0103 |

（田中不二水力學ヨリ拔萃）

## 三五、管直徑ノ急增ニ歸因スル損失、

第29圖ニ示ス如キ直徑小ナル管カ、急ニ直徑大ナル管ニ接續スルトキハ、水ハ其ノ接續部ニ於テ亂レ運動ヲ惹起シ、水嵩ノ損失ヲ生ス、今

$P_1$ ＝小管ノ横断面 $S_1$ ニ於ケル壓力、

$V_1$ ＝ 〃 速力、

$A_1$ ＝ 〃 横斷面積、

$P_2$ ＝大管ノ横斷面ニ於ケル壓力、

$V_2$ ＝ 〃 速力、

$A_2$ ＝ 〃 横斷面積、

$P$ ＝環狀面 $S_0$ ノ平均壓力、

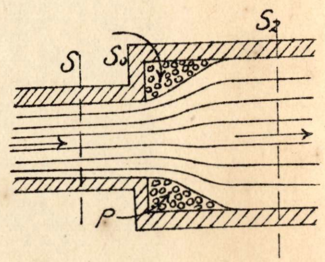
トスレハ

毎秒 $S_1$ ヲ通過スル水ノ運動量、

$$=\left(\frac{W}{g}V_1A_1\right)V_1$$

毎秒 $S_2$ ヲ通過スル水ノ運動量、

$$=\left(\frac{W}{g}V_2A_2\right)V_2$$



第二十九図

$$\therefore \quad \text{運動量變化}=\frac{W}{g}V_1A_1(V_2-V_1)$$

此ノ運動量ノ變化ヲ生スル爲メ $S_1$ 及ヒ $S_2$ 間ノ水ニ働ク力ハ $P_1A_1$, $P_2A_2$, $P(A_2-A_1)$ ナリ、故ニ

$$\frac{W}{g}V_1A_1(V_2-V_1)=P_1A_1+P(A_2-A_1)-P_2A_2$$

實驗ノ結果 $P$ ハ殆ント $P_1$ ト同一ナリ、依テ之ヲ代用スレハ

$$\frac{W}{g}V_1A_1(V_1-V_2)=(P_2-P_1)A_2$$

$$\frac{W}{g}V_2(V_1-V_2)=P_2-P_1$$

$$\frac{P_1}{W}=\frac{P_2}{W}-\frac{V_1V_2}{g}+\frac{V_2^2}{g}$$

$$\frac{P_1}{W}+\frac{V_1^2}{2g}=\frac{P_2}{W}+\frac{V_2^2}{2g}+\frac{(V_1-V_2)^2}{2g}$$

即チ$S_1$ト$S_2$間ニ於ケル損失嵩

$$\left.\begin{aligned}h_r&=\frac{(V_1-V_2)^2}{2g}\\&=(m-1)^2\frac{V_2^2}{2g}\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots(34)$$

式中$m=\frac{A_2}{A_1}$ヲ示ス、實驗ニ依レハ損失百分比ハ$m$ト共ニ少シク增加シ、又$m$同一ナレハ小管ニ於テ大ナリ、今$d$ヲ小管ノ直徑トスレハ$m$カ2ヨリ12ノ間ニアリテハ

$$h_r=\frac{102.5+.25m-2.0d}{100}\left\{\frac{(V_1-V_2)^2}{2g}\right\}(呎)\cdots\cdots(34')$$

ナリ、但シ管ハ0.5吋ヨリ6吋ノ間トス、

## 三六、管直徑ノ漸次增大スル場合ニ於ル損失、

管カ漸次ニ增大スルトキノ圓錐角ヲ$\theta$トスレハ、$\theta$カ小ナルニ隨ヒ次表ニ示ス如ク損失百分比ハ減少ス即チ

| 損失 $\frac{(V_1-V_2)^2}{2g}$ ノ百分比 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $\theta$ | 180° | 90° | 60° | 40° | 20° | 10° |
| $d$ (吋) .65～2.15 | 103.5 | — | — | — | — | — |
| .50～1.50 | 102.8 | 102.6 | 102.8 | 82.0 | 45.0 | 16.6 |
| 1.0～3.0 | 102.1 | 104.1 | 101.3 | 80.8 | 44.0 | — |
| 1.5～3.0 | 101.7 | 111.1 | 120.5 | 101.7 | 42.5 | 17.5 |
| 2.0～3.0 | 99.2 | 112.1 | — | 88.7 | 41.9 | 18.6 |

(Gibson's Hydraulics ヨリ拔萃)

本表ニヨルトキハ $\theta$ カ 65° 附近ニ於テ損失最大ニシテ、是ヨリ減少スルトキハ急激ニ其ノ量ヲ減シ約 5°～30° ニ於テ最小トナル、

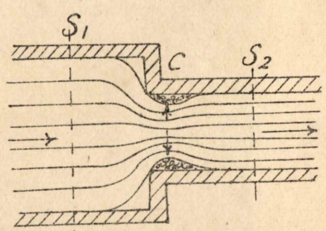
$\theta$ カ 7.5° ヨリ 35° ノ間ニ於ケル損失ハ次式ニヨリ算出スルコトヲ得

$$h_r = .0110\theta^{1.22}\frac{(V_1-V_2)^2}{2g}\text{(呎)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(35).$$

第36及ヒ第37項ヲ適當ニ組ミ合ハスルトキハ、直徑相異ナル二管ヲ一層最小ナル損失嵩ヲ以テ接續スルコトヲ得、

## 三七、管ノ直徑ノ急減ニ歸因スル損失、

第35項ノ場合ト反對ニ直徑大ナル管カ急ニ直徑小ナル管ニ接續スルトキハ第



第三十図

30圖ニ示ス如ク水ハ其ノ接續部ニ於テ一旦縮少シタル後再ヒ急激ニ膨出シ、水嵩ノ損失ヲ生ス、今

$V_c$＝最小横斷面 $C$ ニ於ケル流速

$C_c$＝縮流係數

トスレハ、流レカ $S_1$ ヨリ $C$ ニ縮ムニ方リテハ單ニ粘著抵抗ノミニシテ損失殆ント計上ニ値ナキモ、$C$ ヨリ $S_2$ ニ増大スルニ方リテハ其ノ損失大ナルモノニシテ、即チ

$$h_r=\frac{(V_c-V_2)^2}{2g}$$

$$\therefore \quad h_r=\left(\frac{1}{C_c}-1\right)^2\frac{V_2^2}{2g} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(36)$$

$C_c$ ノ値ハ約 ·600 ニシテ一般ニ

$$h_r=0·5\frac{V_2}{2g} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(36')$$

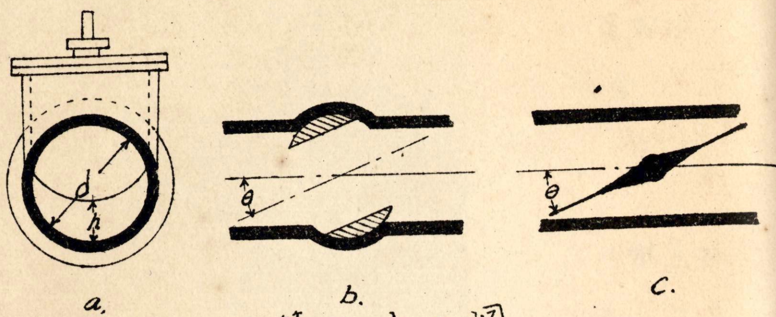
ヲ採用ス、$C_c$ ノ値ハ $A_1$ ト $A_2$ トノ比ニ關係スルモノナリ、

## 三八、嘴及ヒ弁等ニ於ケル損失、

諸管裝置中ノ弁及ヒ嘴カ一部分開カレタルトキハ水ハ此ノ部ヲ通過ノ際一旦縮少シタル後再ヒ膨出シテ第35項ノ損失ヲ伴フ、一般ニ

$$h_r=F\frac{V_2}{2g}$$

ニテ表ハサルル「ウイバッハ」ノ實驗値、次ノ如シ、




第三十一図

堰戸弁(第31圖($a$))

| $\frac{h}{d}$ | $\frac{1}{8}$ | $\frac{1}{4}$ | $\frac{3}{8}$ | $\frac{1}{2}$ | $\frac{5}{8}$ | $\frac{3}{4}$ | $\frac{7}{8}$ | 1·0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $F$ | 97·80 | 17·00 | 5·52 | 2·06 | ·81 | ·26 | ·07 | — |

普通嘴(第31圖($b$))

| $\theta$ | 5° | 15° | 25° | 35° | 45° | 55° | 65° | 82° |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $F$ | ·05 | ·75 | 3·10 | 9·68 | 31·20 | 106 | 486 | — |

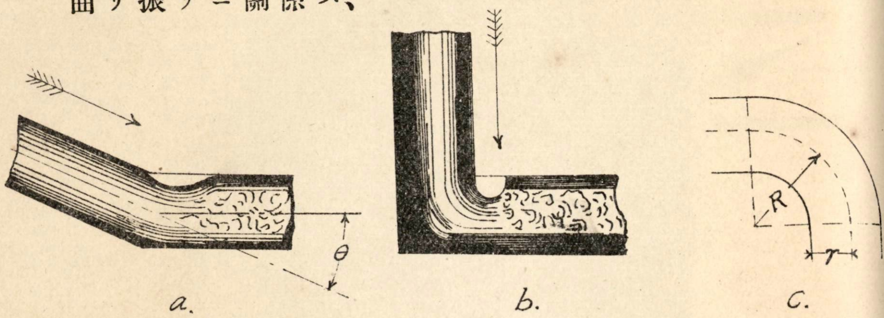
絞弁(第31圖($c$))

| $\theta$ | 5° | 10° | 20° | 30° | 40° | 50° | 60 | 70 | 90° |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $F$ | ·24 | ·52 | 1·54 | 3·91 | 10·8 | 32·6 | 118 | 751 | — |

## 三九、管ノ急激ナル屈曲ニ基ク損失、

管内ノ流水カ急激ニ其ノ方向ヲ變スルトキハ、水ハ一旦縮少シ續テ膨出シテ渦卷運動ヲナスコト前項ト同樣ニ第35項ノ損失ヲ伴フモノナリ、之ヲ衝擊ニヨル

損失トモ謂フ、而シテ其ノ値ハ屈曲ノ角度ヨリモ、其ノ曲リ振リニ關係ス、




第三十二図

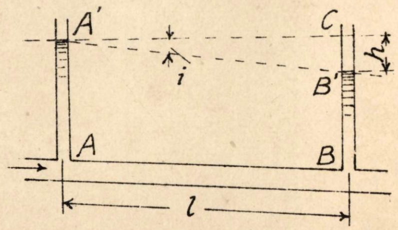
次ニ上圖ニ關スル Brightmore ノ實驗値ヲ示ス、

| | | | 流水ノ速度 (呎) | (b) | (c) R ÷ V 4 | 8 | 12 | 16 | 20 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| F | d | 3″ | 5·0 | 1·14 | ·43 | ·32 | ·37 | ·32 | ·26 |
| | | 3″ | 7·60 | 1·26 | ·43 | ·32 | ·40 | ·33 | ·19 |
| | | 3″ | 10·0 | 1·17 | ·42 | ·31 | ·39 | ·35 | ·19 |
| | d | 4″ | 5·0 | 1·14 | ·37 | ·26 | ·37 | ·26 | ·26 |
| | | 4″ | 7·6 | 1·19 | ·38 | ·30 | ·31 | ·27 | ·21 |
| | | 4″ | 10·6 | 1·17 | ·39 | ·30 | ·32 | ·30 | ·21 |

(Gibson's Hydraulics ヨリ拔萃)

## 四〇、流水壓力ノ匂配線ト相當匂配、
Hydraulic Gradient virtual slope

第33圖ニ示ス如ク眞直ナル平等直徑ノ管内ヲ水カ流ルヽトキニ於ケル水柱ノ高サハ相等シカラスシ

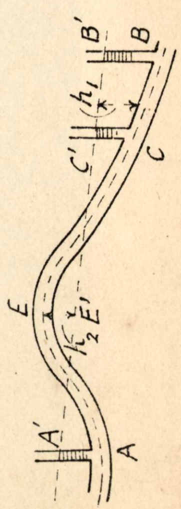



第三十三図

テ$A'B'$トナル、斯クノ如キ壓力嵩ノ頂點ヲ結ヒタル線$A'B'$ヲ名ケテ流水壓力ノ勾配線ト謂ヒ、$\frac{h}{l}$ヲ流水壓力線ノ勾配又ハ相當勾配ト謂フ、線$A'B'$カ水平線$A'C$トナス角$i$ハ一般ニ小ナルヲ以テ$\frac{h}{l}$ニシ「ラヂアン」トスレハ$i$ハ相當勾配ナリ、

即チ流水壓力ノ勾配線トハ、流水管路ノ多數ノ點ニ於ケル液柱計ノ自然面ヲ結ヒ付タル線ヲ謂フ、

第34圖ニ示ス如キ流水管路$AECB$ニ對スル流水壓力ノ勾配線カ$A'E'C'B'$ナリトスレハ、$E$ニ於テハ管路ノ方カ勾配線ヨリ$h_2$丈ケ高シ、此ノ場合ニ於テ$E$點ニ於ケル壓力ハ大氣壓力ヨリ水柱$h_2$丈ケ低シ、隨テ$E$點ニ於テハ部分的稀薄ヲ生ス、若シ$h_2$カ大氣壓計ノ高サヨリ大ナラハ$E$點ハ眞空トナルナリ、水ハ管内ヲ連續シテ流レス、



第三十四図

## 四一、管内ニ於ケル流水ノ慣性影響、

水壓喞筒ノ汲鍔カ減速運動ヲナスカ、又ハ管ノ一端

ニ於ケル弁カ徐々ニ閉塞セラルヽ等ノ場合ニアリテハ管内ノ全水量ハ減速運動ヲ受ケ汲錣若クハ弁ノ背面ハ壓力ヲ高ム、今

$P'$ ＝水ニ減速運動ヲ與エタルタメ弁面ニ受クル増加壓力(听/口′)

$A$ ＝管ノ横斷面積(平方呎)

$l$ ＝管ノ全長(呎)

$V$ ＝水ノ速度(呎/秒)

トシ、水ノ彈性影響ヲ無視シ、流速ハ常ニ何處モ平等ナリトセハ、管内ノ全水量カ $-\frac{dV}{dt}$ ノ減速度ヲ受クルニ要スル力ハ

$$-\frac{WlA}{g}\frac{dV}{dt}$$

ニシテ、此ノ力ヲ與フル壓力ハ、$P'A$

$$\therefore \quad P'A=-\frac{WlA}{g}\frac{dV}{dt}$$

$$\therefore \quad P'=-\frac{Wl}{g}\frac{dV}{dt} \quad \text{.........................} (37).$$

弁カ啓開セラルヽカ又ハ汲錣カ加速セラルヽ場合ニアリテハ、前記ノ壓力ハ再ヒ流水中ニ「エネルギー」トシテ貯ヘラルヽモノニシテ、弁ノ開閉等ニ際シテハ充分ナル注意ヲ要スルト共ニ、又特種ノ機械ニアリテハ此ノ原理ヲ利用シ高壓ヲ得ルモノアリ、

## 四二、管内ノ水衝、

水カ管内ヲ流ルヽトキ突然他端ニ於ケル弇ヲ閉塞スルトキハ、流水ノ有スル運動ノ「エネルギー」ハ水ヲ壓縮スルト、管ヲ伸張セシムルトニ費サル、故ニ水ハ弇閉塞後ト雖モ、アル時間ハ同一速度ヲ以テ管内ニ流入シ弇ノ背面ハ水ノ靜止壓力ヨリモ一層高キ一時的壓力ヲ受ク、今

$V$＝流水ノ速度（听/秒）

$K$＝水ノ體彈性率（听/□′）

$x$＝水ノ壓縮ト管ノ伸張トニ依ル水柱ノ縮少セル量（呎）

$P$＝水衝ニ基ツク增加壓力（听/□′）

$w$＝水柱一立方呎ノ重量（听）

$l$＝水柱ノ長（呎）

$r$＝管ノ内半徑（呎）

$t$＝管ノ厚（呎）

$f_t$＝管ノ增加壓力ニ依ル引張内力（听/□′）

$E$＝管ノ「ヤング」彈性率（听/□′）

トスレハ

$P$ニ依ル管徑ノ增加量

$$d_r = r\frac{Pr}{tE}\left(1 - \frac{1}{2m}\right)$$

$P$ ニ依ル管ノ伸張量

$$dl = l\frac{Pr}{2tE}\left(1-\frac{2}{m}\right)$$

故ニ管ノ容積增加量

$$dV = \pi\{(r+dr)^2(l+dl)-r^2l\}$$

$$= \pi r^2 l \times \frac{Pr}{2tE}\left(5-\frac{4}{m}\right)$$

$$\fallingdotseq \pi r^2 l \times \frac{2Pr}{tE}$$

又 $P$ ニ依ル水ノ壓縮量

$$dV' = \frac{P}{K}\pi r^2 l$$

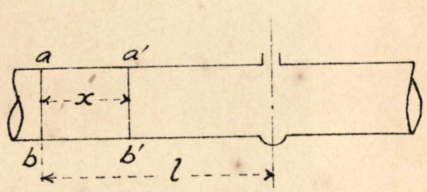
故ニ水柱ノ縮少量

$$x = \frac{dV+dV'}{\pi r^2}$$

$$= \frac{2Prl}{tE} + \frac{Pl}{K}$$

$$= Pl\left(\frac{1}{K}+\frac{2r}{tE}\right) \quad \text{.............................} \quad (A)$$

又水柱ノ運動「エネルギー」




$$K.E = \frac{wl\pi r^2}{2g}V^2$$

而シテ$ab$ヲ$x$丈ケ壓縮シタル仕事量

$$W=\frac{P\times x\pi r^2}{2}$$

$$=\frac{P^2\pi r^2 l}{2}\left(\frac{1}{K}+\frac{2r}{tE}\right)$$

$$\therefore\quad \frac{wl\pi r^2}{2g}V^2=\frac{P^2\pi r^2 l}{2}\left(\frac{1}{K}+\frac{r}{tE}\right)$$

$$P=\sqrt{\frac{w}{g}\times\frac{1}{\left(\frac{1}{K}+\frac{2r}{tE}\right)}}\times V\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(38)$$

若シ管ノ彈性ヲ省略スレハ

$$P=\sqrt{\frac{w}{g}K\times}\,V\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(38)$$

即チ弇ヲ閉塞シタル瞬間、先ツ弇ニ極メテ接近セル部分ノ壓力ハ靜止壓力以上(38)式丈ケ高メラレ、此ノ$P$ナル壓力ハ波動トナリテ漸次弇ヨリ他端ニ至ル、而シテ其ノ速度$V_c$ハ一定ニシテ

$$V_c=\sqrt{\frac{g}{w}\times\frac{1}{\left(\frac{1}{K}+\frac{2r}{tE}\right)}}\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(39)$$

管ノ彈性ヲ省略スレハ

$$V_c=\sqrt{\frac{g}{w}K}\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(39')$$

ヲ有シ、水中ニ於ケル音波ノ速度ニ近似ス、然レトモ此ノ狀態ハ永續スルモノニアラスシテ、壓力ノ波動カ$ab$ニ達スルヤ、水及ヒ管ノ狀態ハ舊ニ復スルト共ニ壓力

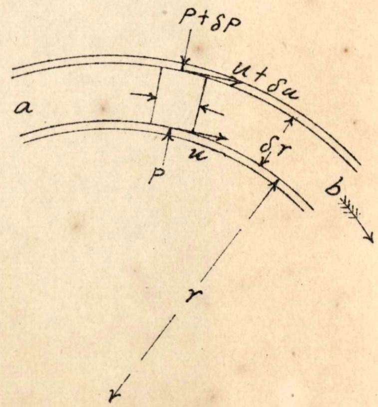
ハ一層低下シテ靜止壓力以下トナリ、此ノ低壓力ハ再ヒ弁ノ方向ニ波動ス、故ニ弁面カ最初ノ高壓ヲ受クル時間ハ $\frac{2l}{V_c}$ 秒間ニシテ、隨テ弁ヲ閉塞スル時間カ $\frac{2l}{V_c}$ 以內ナラハ增加壓力ハ(38)式ニヨリ算出シ得ルモ、若シ閉塞時間カ $\frac{2l}{V_c}$ ヲ超過スルトキハ弁ノ受クル增加壓力ハ(38)式ノ壓力ヨリモ小ナリ、其ノ解法ハ甚タ複雜ナルヲ以テ省略ス、

# 第五章

## 渦卷運動

### 四三、流線ニ直角ナル方向ノ壓力變化、

水カ流線運動ヲナストキ其ノ流線カ彎曲ヲナセハ壓力ハ流レノ直角方向ニ變化ヲ生ス、今第35圖ニ示ス如クー水平面上ニ流線ノ一ツ $ab$ ヲ採リ、其ノ流線中ニ曲率半徑ノ方向ニ中軸ヲ有スル横斷面積 $\delta A$ ナル一小水柱ノ平衡ヲ考フレハ水柱ノ遠心力ハ其ノ兩端面ニ於ケル壓力差ニ等シカルヘシ、即チ



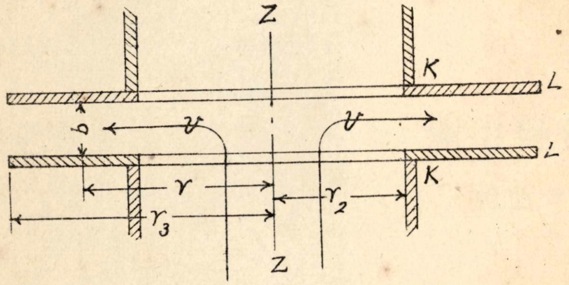

第三十五図

$$\frac{w\delta A\delta r}{g}\;\frac{u^2}{r}=\frac{dP}{r}dr.\delta A$$

$$\frac{wu^2}{gr}=\frac{dP}{dr}\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots(40).$$

## 四四、副射流レ、
Radiating Current

第36圖ニ示ス如ク、水カ二ツノ平行ナル水平圓板間ヲ内方、若クハ外方ニ平等ニシテ且ツ常速運動ヲナストキ




第三十六圖

$P, v$ = 半徑 $r$ ニ於ケル壓力及ヒ速度

$P_3, v_3$ = 半徑 $r_3$ ニ於ケル壓力及ヒ速度

トスレハ

$$2\pi rbv = Q$$

$$\therefore \quad rv = \frac{Q}{2\pi b} = C \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (41)$$

$C$ ハ定數ナリ、又「ベルヌーイ」ノ定理ヲ應用セハ

$$H = \frac{P}{w} + \frac{v^2}{2g}$$

$$= \frac{P}{w} + \frac{r_3^2 v_3^2}{r_2 2g}$$

$$= \frac{P_3}{w} + \frac{v_3^2}{2g}.$$

$$\therefore \quad \frac{P-P_3}{w}=\frac{v_3^2}{2g}\left(1-\frac{r_3^2}{r^2}\right) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (42)$$

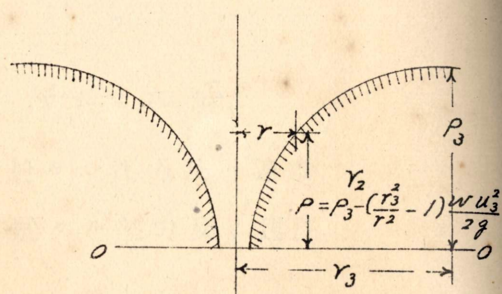
或ハ

$$\frac{P}{w}=H-\left(\frac{r_3}{r}\right)^2\frac{v_3^2}{2g} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (42')$$

即チ中心ニ至ルニ從ヒ其ノ壓力ハ減少ス、

## 四五、自由圓形渦卷運動、
Free Circular Vortex Motion

第36圖ノ *KKLL* ナル渦間內（Vortex chamber）ノ水カ *ZZ* ヲ軸トシテ回轉シ同心圓運動ヲナストキ、外力ハ單ニ重力ノミ働クモノトセハ、此ノ運動ヲ自由圓形渦卷運動ト謂フ、今




第三十七圖

$P, u$ ＝半徑 $r$ ニ於ケル壓力及ヒ周速度

$P_3, u_3$ ＝半徑 $r_3$ ニ於ケル壓力及ヒ周速度

トスレハ、「ベルヌーイ」ノ定理ニヨリ

$$\frac{P}{w}+\frac{u^2}{2g}=\text{定數}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{w}\frac{dP}{dr}+\frac{u}{g}\frac{du}{dr}=0$$

(40)式ヲ代用シ

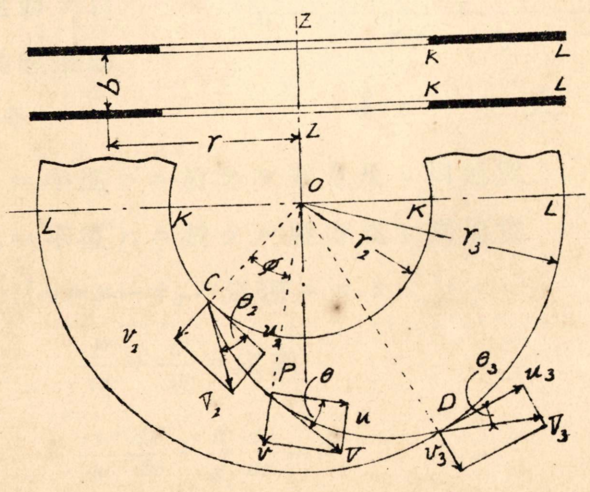
$$\frac{u}{r}+\frac{du}{dr}=0$$

$$u.r.=K \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (43).$$

$K$ハ定數ナリ即チ全ク輻射流レノ場合ト同一ニシテ壓力曲線モ(42′)ニヨリ第37圖ノ如ク双曲線ナルコトヲ知ル、

## 四六、自由渦巻運動、
Free Spiral Vortex Motion

自由渦巻運動ハ一點カ副射流レト自由圓形渦巻運動トヲ同時ニナストキニ起ル運動ニシテ、即チ水カ容器ノ底部ニアル孔ヨリ自然的ニ流出スルトキ水ノ各分子カナス運動ナリ、第38圖 $CPD$ ハ水ノ分子カ流ルル渦巻キ通路ナリ、




第三十八図

今

$P, V, \theta =$ 半徑 $r$ ニ於ケル壓力速度及ヒ $V$ ト $u$ トノナス角

$P_3, V_3, \theta_3 =$ 半徑 $r_3$ ニ於ケル壓力及ヒ $V_3$ ト $u_3$ トノナス角

トスレハ

$$V = \sqrt{u^2 + v^2}$$

$$\therefore \qquad rV = C' \qquad \cdots\cdots(44)$$

又 $$\tan\theta = \frac{v}{u} = K' \qquad \cdots\cdots(45)$$

$C', K$ ハ定數ナリ、即チ水ノ通路方向ト、半徑方向トノナス角度ハ常ニ一定ナリ、故ニ通路曲線 $CPD$ 等ハ等角「ゼンマイ」線(Equiangular spiral)又ハ對數的「ゼンマイ」線(Logarithmic spiral)ニシテ、

$$r = r_2 l^{\phi \tan\theta}$$

ナル方程式ヲ有ス、又壓力ノ分布ハ「ベルヌーイ」定理ヨリ

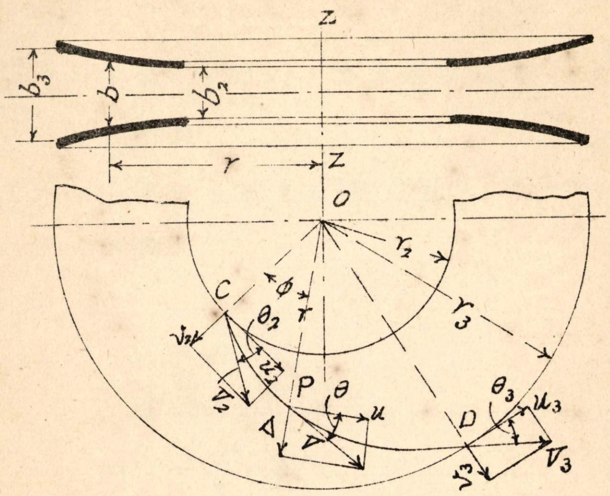
$$\frac{1}{w}(P_3 - P_2) = \frac{V_2^2}{2g}\left\{1 - \left(\frac{r_2}{r_3}\right)^2\right\} \qquad \cdots\cdots(46)$$

ヲ得、

## 四七、末廣自由渦卷運動、(Divergent Free Spiral Vortex Motion)

本項ニ於テハ

$$V = \frac{r_2}{r}\sqrt{\left(\frac{b_2}{b}\right)^2 v_2^2 + u_2^2} \qquad \cdots\cdots(C)$$




第三十九図

又 $$V_3=\frac{r_2}{r_3}\sqrt{\left(\frac{b_2}{b_3}\right)^2 v_2^2+u_2^2}$$

$$\mathrm{ton}\,\theta=\frac{b_2}{b}\mathrm{ton}\,\theta_2 \quad\cdots\cdots\cdots\cdots (D)$$

又 $$\mathrm{ton}\,\theta_3=\frac{b_2}{b_3}\mathrm{ton}\,\theta_2$$

## 四八、強制渦巻運動、
Forced Vortex Motion

強制渦巻運動ハ水ノ全體カ同一囘轉速度ヲ以テ運動スルカ、又ハ其ノ速度カ自由渦巻運動以外ノ法則ニ隨フ渦巻運動ヲ結フ、故ニ今

$$u=r\omega \quad\cdots\cdots\cdots\cdots (47)$$

ナル關係ヲ有ストセハ壓力ノ分布ハ(40)式ヨリ

$$\frac{dP}{dr}=\frac{w}{g}\,\frac{r^2\omega^2}{r}$$

$$\therefore\quad \frac{P-P_\circ}{w}=\frac{u^2}{2g}\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(48)$$

或ハ
$$h=h_\circ+\frac{u^2}{2g}$$

即チ壓力曲線ハ抛物線トナル、

## 四九、末廣强制渦卷運動、Divergent Forced Vortex Motion

第39圖ニ於テ$b$ノ形狀ヲシテ水ノ周速度カ

$$rbu=C\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(A)$$

トナル如ク計畫シ、渦卷運動ヲナサシムルトセハ此ノ運動ハ、即チ强制渦卷運動ニシテ副射速度ハ自由若クハ强制渦卷ノ何レヲ問ハス

$$vbr=r_2b_2v_2=K'$$

ナルヲ以テ

$$\tan\theta=\frac{v}{u}=C'\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(B)$$

トナリ、水ノ運動ハ又等角「ゼンマイ」線トナルベシ、故ニ今逆ニ此ノ等角「ゼンマイ」線ニ等シキ案內板ヲ末廣ノ空間ニ設クレハ、前者ト同一ノ强制渦卷運動ヲナサシムルコトヽナルヘシ、然ルトキハ

$$rbV=K\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(C)$$

トナリ

$$v=V\sin\theta\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(D)$$

ヨリ

$$
\begin{aligned}
brV\sin\theta &= b_2 r_2 V_2 \sin\theta_2 \\
&= b_3 r_3 V_3 \sin\theta_3 \\
&= K'' \quad \text{..........................................(E)}
\end{aligned}
$$

故ニ$b$及ヒ$\theta$ニ適當ナル値ヲ與フレハ副射速度$v$及ヒ合成速度$V$ニ任意ノ値ヲ取ラシムルコトヲ得ヘシ、

又壓力分布ハ

$$
\frac{P_3-P}{w}=\frac{V_2^2}{2g}\left\{1-\left(\frac{r_2 b_2 \sin\theta_2}{r_3 b_3 \sin\theta_3}\right)^2\right\} \quad \text{..............................(F)}
$$

トナル、此ノ式ハ末廣強制渦卷運動ニヨリ得ラルヘキ壓力ノ増加ヲ表ハスモノニシテ有要ナルモノナリ、