海軍機關學校

第三學年

水力學教科書

昭和十年九月

本書ニ依リ水力學ヲ修得スヘシ

昭和十年九月

海軍機關學校長　上田宗重

沿革

第五版　昭和十年九月　教官　海軍機關少佐　小山正宣

第四版　昭和四年十一月　教官　海軍機關少佐　齋藤元固

第三版　大正十三年九月　教官　海軍機關少佐　工藤重治郎

第二版　大正十年七月　教官　海軍機關少佐　川原宏

第一版　大正七年四月　教官　海軍機關少佐　富井格
　　　　　　　　　　　教官　海軍機關少佐　尾形十郎

水力學

目次

田中和四郎　海軍機関少佐

高岡羊吾　海軍機関少佐

岡本元治郎　海軍教授

水力學

第一章

水力學

一、水力學ニテ取扱フ範圍、

流體ニ關スル力學ヲ流體力學ト云ヒ、取扱フ流體ノ狀態ニヨリ次ノ如ク二種ニ分類ス、

流體靜力學―靜止中ノ流體ニ關スル問題ヲ取扱フ、

流體動力學―運動中ノ流體ニ關スル問題ヲ取扱フ、

流體力學ノ中、特ニ工學ニ關係多キ部分ノミヲ取扱フ場合、即チ實用流體力學トモ稱シ得ベキモノヲ特ニ水力學ト云フ、サレバ水力學ノ取扱フベキ流體ニハ瓦斯體ト液體ノ二種アレ共本書ニ於テハ主トシテ液體ノ平衡及運動ノ法則ヲ論ジ、瓦斯體ニ關シテハ、體積ノ變化少ク熱ノ現象ヲ伴フコト僅少ナル特殊ノ場合ノミヲ取扱フコトトス、

水力學ニ於テ取扱フ問題ハ頗ル複雜ニシテ嚴密ニ數學ニヨリテ解決ヲ計ルコト困難ナレバ、取扱フ問題ノ性質ニ應ジ或假定ヲ置キテ問題ヲ簡單ニシ、然ル後數學ノ力ニヨリテ攻究スルト共ニ一方ニ於テハ實驗ニヨリテ法則ヲ見出シ實驗式ノ係數ヲ決定シ、以

力學
- 剛体
  - 釣合
  - 運動
- 弾性体 … 材料構造強弱
- 流体
  - 釣合 流体静力学
  - 運動 流体動力学

数學的解法ノ意義

基礎ハ事実デアル
之ヲ数学的ニ表ハスタメ
数学ヲ方解トナスニスギナイノデ
我々ノネラフ所ハ其ノ結果デアッテ
数学ハ其ノ途中ノ計算ニ過ギナイ。

飽迄基礎ハ事実ニシテ之ヲ根本トシテ実験ニ依リテ其ノ結果ニ到達シ得ルモ其ノ実験中ニ他ノfactorガ入ッテ来ルモノデアルカラ其ノ他ノ理論的ナ頭ノ働キガ必要ナノデアル

事実ハ事実デアッテ実験ヲコジツケテハナラナイ
事実ヲ追究スル事ニ依リ他ノ発見ガ出来ル
サレバ数学的ノ解法ハ之ヲ下ニ属スト云ヘル
「直観」ノヒラメキ

テ實用ニ便ナル公式ヲ作製ス、從ツテ水力學ハ高等數學ノ活用ト精密ナル實驗ノ兩者ガ融合統一シテ初メテ健全ナル發達ヲナス學問ナレバ諸子ハ此點ニ深ク留意シテ學習研究ヲ行ヒ、以テ艦船兵器ノ活用ト之ガ進步改善ニ資スベシ、

水力學

主トシテ水ヲ取扱フ

完全流体

剛性率 零 （剪断内力ヲ生セズ）

静止ノ状態ニアル流体ハ完全流体ト見做シテ一向差支ヘナイ

形状

容積 $\begin{cases} \text{抵抗大 液体} \\ \text{抵抗小 気体} \end{cases}$

$$K = \frac{\Delta V}{V} \Big/ \Delta p \longrightarrow \text{圧縮率}$$

$$\text{水} \rightarrow K = 0.000{,}044 \ \mathrm{cm^2/kg}$$

$\rho \rightarrow$ Constant ト考ヘテ良イ。

第二章

流體靜力學

二、水ノ物理的性質、(物理學卷一流體參照)

水ハ完全流體デハナイガ工學上ニハ完全流體ト假定スルモ差支ナク、從ツテ靜止セル水ノ釣合狀態ヲ考ヘル場合ニ於テハ流體內ノ如何ナル面ニ沿ヒテモ切線內力ハ存在セズト考ヘルコトガ出來ル。

水ノ重量、水ノ重サハ溫度及純粹度ニヨツテ異レ共常溫ニ於テハ1立方米ノ重量ガ普通ノ水ハ1瓲ニシテ海水ハ1.025瓲デアル、(物理學卷一、比重及其ノ測定參照)

水ノ彈性、水ハ工學上壓縮出來ナイモノト假定シテ取扱ヒテモ差支ナキ程體積歪ミハ小ナレ共 Grassi ノ實驗ニヨレバ 0°C ニ於テ1氣壓ヲ增ス每ニ元ノ容積ノ約 $\frac{1}{23,000}$ ダケ縮少ス、

故ニ水ノ體積彈性係數 (K) ハ

$$K=\frac{1}{\frac{1}{23,000}}=23,000\ \mathrm{kg/cm^2}$$

［參考「エーテル」—9,100 kg/cm²
　　　水　銀—333,000　〃　］

三、壓力ノ强サ、(物理學卷一「トリチエリー」ノ實驗參照)

壓力ノ强サトハ單位面積當リノ壓力ヲ意味シ普通一平方糎當リノ壓力ヲ云ヒ、時ニハ一平方米當リ或ハ水柱ノ高サ、水銀柱ノ高サ

ニテ云ヒ表ハス事モアル、

日常機關術ニ於テ「壓力ガ何程アル」ト云フ事ハ「壓力ノ强サガ何程アル」ト云フ意味デアル、若シ間違ヒ易キ場合ニハ單位面積當リノ壓力或ハ全面積上ノ總壓力ト云フ樣ニ區別セナケレバナラヌ、

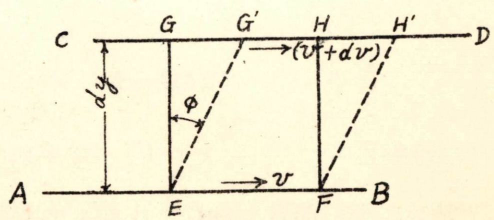
完全流體ニ於テハ考ヘテ居ル面ニ切線方向ノ內力ハ存在セヌカラ相隣レル面ニ働ク壓力ハ其面ニ垂直デアル、故ニ其ノ壓力ノ强サハ凡テノ方向ニ一樣ニ傳播スル、(「パスカルノ」ノ原理)

四、粘力ト粘性係數、(物理學卷之一燃性參照)

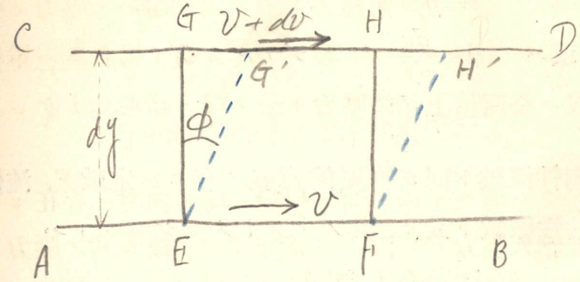
固體ハ剪斷力ニ對シテ、物質ノ內部ニ其レニ抵抗スル剪斷內力ヲ誘發スル、實在ノ流體モ固體ト同ジク剪斷力ニ對シテ其ノ內部ニ是ニ抵抗スル力ヲ、互ニ剪斷セラレントスル面ニ沿ウテ誘發スルモノデアツテ、此ノ抵抗力ヲ粘力ト稱ヘル、

今運動シツツアル流體ノ中ニ、極メテ接近セル二ツノ層、AB, CD, ヲ考ヘ（第一圖）其ノ距離ヲ dy トシ AB ノ速度ヲ v. CD ノ速度ヲ $v+dv$ トスレバ, EFGH, ナル微小立體ハ次ノ瞬間ニ EFH′G′ ノ如キ形狀ニ歪ミ, $\frac{GG'}{EG}=\phi$「ラヂアン」ハ此時ノ歪ミノ量デアル、然ルニ粘力ハ歪ミニ正比例スルカラ、CD ナル面ニ沿フテ、其ノ單位面積上ニ働ク粘力ヲ τ トスレバ、τ ハ ϕ ニ正比例シ $\frac{\tau}{\phi}$ ハ或ル

第一圖



粘力



$$\phi = \tan\phi = \frac{dv}{dy}$$

$C \rightarrow$ 單位面積上ニ働ク粘力

$$\frac{C}{\phi} = \mu \quad \text{合成率}$$

$$\therefore C = \mu \frac{dv}{dy}$$

$\mu \rightarrow$ 粘性係數

各部一樣ナル速サデ走レバ粘力ハナイ

温度上昇ニ從ヒ減少ス

$$\frac{\mu}{\rho} = \nu \qquad [L^2 T^{-1}]$$

力ハ全壓ハ関係ナイ

定數 μ ニ等シイ、サレバ

$$\tau=\mu\phi$$

或ハ　$\phi=\dfrac{dv}{dy}$　デアルカラ

$$\tau=\mu\frac{dv}{dy}$$

μ ハ固體ノ剛性係數ト同ジ物理的意義ヲ有スル定數デ、流體ノ場合ニハ是ヲ粘性係數 (Coefficient of viscosity) ト云ヒ、其ノ「ダイメンション」ハ

$$[\mu]=[FL^{-2}T.]$$

デアツテ μ ノ單位ハ $kg\text{-}s/m^2$ ノ如キモノデアル。

μ ノ値ハ流體ノ種類ト溫度トニ關係シ、溫度ノ上昇ニ從ツテ減少スルモノデアツテ清水ニ於テハ 0°C ニテ 0.000,183,2 $kg\text{-}s/m^2$ 30°C ニテ 0.000,081,8 $kg\text{-}s/m^2$ デアル。

μ ハ力ノ單位ヲ含ムカラ之ヲ流體ノ密度 (ρ) ニテ除シタル $\dfrac{\mu}{\rho}$ ヲ用ヒルコトガ多イ。

今其ヲ λ ニテ表セバ

$$\lambda=\frac{\mu}{\rho}=\frac{\mu g}{w}\qquad w=\text{單位容積ノ流體ノ重量}$$

$$\mu=\rho\lambda=\frac{w}{g}v$$

λ ノ「ダイメンション」ハ

$$[\lambda]=[L^2T^{-1}]$$

デアツテ λ ノ單位ハ m^2/s デアル。

λ ハ全然力ニ關係ナキモノデアツテ動性粘性係數 (Kinematic coeficient of viscosity) ト云ヒ溫度ノ上昇ニ從ヒ減少スル、清水ニ於テハ 0°C ニテ 0.017,8 cm^2/s, 20°C ニテ 0.010,0 cm^2/s, 100°C ニテ 0.003,0 cm^2/s デアル。

清水以外ノ種々ナル液體ノ 18°C ニ於ケル λ ノ値ヲ示セバ次ノ如シ。

動性粘性係數 → ν

單位 → L^2T^{-1}

$$\nu=\frac{0.0178}{1+0.0337T+0.00022T^2}\ cm^2/s$$

水　　銀	......	$\lambda=0{\cdot}015{,}9$ cm²/s
「エーテル」	....	0·002,65 〃
「アルコホル」	....	0·013,05 〃
「オリーブ」油	....	0·922,0 〃
「ベンゾール」	....	0·065,8 〃
「グリセリン」	....	9·810,0 〃

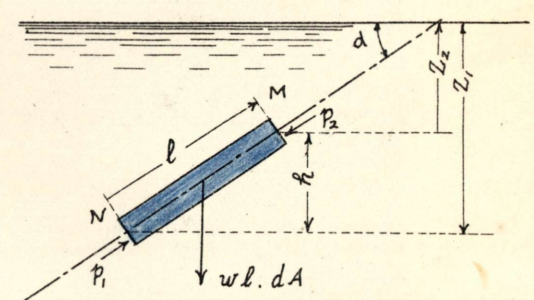
又空氣ノ λ ノ値ハ大凡次ノ如シ、

溫度	0°C	壓力	760 mm. ニテ	$\lambda=0{\cdot}145$ cm²/s,
〃	100°C	〃	〃 〃 〃	0·271 〃
溫度	0°C	壓力	7·6 mm· ニテ	13·3 〃

五、水頭及壓力、

第二圖ニ於テ M 及 N ヲ任意ニ撰定セル水中ノ二點トナシ尙之等二點ヲ兩端ニ含メル一ツノ極メテ細長キ水柱ヲ想像セヨ、此ノ水柱ノ兩端面ニ働ク壓力ノ强サヲ p_1 及 p_2 トスレバ、

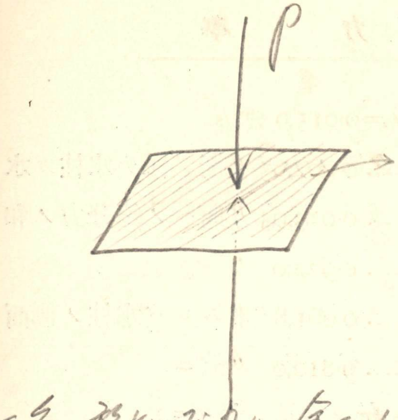
第二圖



此微小水柱ニ働ク外力ハ

上端面ニ働ク水ノ壓力 $=dA\times p_2$		$w=$水ノ單位體積ノ重量
下端面ニ働ク水ノ壓力 $=dA\times p_1$		$l=$水柱ノ長サ
水柱自身ノ重量 $=w\times l\,dA.$		

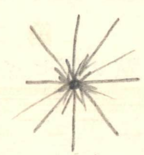
流体静力学



一点ニ於ケル圧力ハ全テノ方向ニ面ヲ取ル

静止セル流体内ニ於テ働ク圧力ハ任意ニ考ヘタル面ニ対シテ垂直ニシテ流体内ノ一点ニ於ケル圧力ハ総テノ方向ニ於テ均等ナリ

静圧力



hytrostatical pressure

巻三 第一節

及水柱ノ側面ニ働ク力デアル、

只今考ヘテ居ルノハ凡テノ之等ノ力ガ平衡ヲ保チ水柱ガ水ノ中ニテ靜止シテ居ル場合デアルカラ、任意方向ヘノ總分力ノ和ハ零デアル、

今水柱ノ軸方向ニ平行ナル分力ノ和ヲ求ムレバ水柱ノ側面ヘ作用スル壓力ハ軸方向ヘノ分力ヲ有セザルガ故ニ

$$-p_1 dA + p_2 dA + wldA \sin \alpha = 0.$$

然ルニ $\qquad l \sin \alpha = h = Z_1 - Z_2.$

故ニ $\qquad p_1 = p_2 + wh.$

即チ M 及 N, 二點間ノ壓力ノ差ハ單ニ其ノ二點間ノ垂直水深ノ差ニヨリテ生ズルモノニシテ換言スレバ、

靜止セル水中ノ同一水平線上ニ於テハ單位面積當リノ水壓力ハ何處モ相等シ、

若シ $Z_2 = 0$ 即チ水面ニ M 點ヲ移セバ、

$p_1 = p_a + wh$ トナル

p_a＝大氣壓

h＝水面ヨリ N 點迄ノ垂直距離即チ N 點ノ深サ、

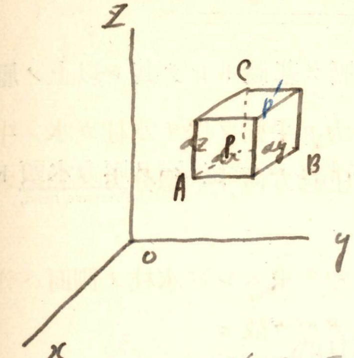
此ノ場合 p_1 ハ絶對眞空ヲ基礎トシテ計測セル壓力ナルヲ以テ特ニ絶對壓力ト稱ス、

普通ニ謂フ所ノ壓力ハ大氣壓ヲ基礎トシテ計測シタル壓力ニシテ嚴格ニ云ヘバ關係壓力ナレ共一般ニ唯單ニ「壓力」ト稱ス、故ニ普通所謂「壓力」ト云フ語ハ大氣壓以上ノ壓力ヲ指スモノト心得フベシ、

即チ $\qquad p_1 = wh.$

$$h = \frac{p}{w}.$$

流体ノ釣合ノ條件



微小直六面体.

座標軸ノ方向ノ分力

X. Y. Z トス.

密度 : ρ

p 点ニ於ケル圧力 : p

p' 〃 : $p+dp$

pA'B'C → 圧力

X ノ positive direction : $+p\,dy\,dz$.

其ノ力 : $+X\rho\,dx\,dy\,dz$

分力

p'A'B'C' : $-\left(p+\frac{\partial p}{\partial x}dx\right)dy\,dz$

$$p\,dy\,dz + X\rho\,dx\,dy\,dz - \left(p+\frac{\partial p}{\partial x}dx\right)dy\,dz = 0$$

$$\left.\begin{aligned}\rho X - \frac{\partial p}{\partial x} &= 0\\ \rho Y - \frac{\partial p}{\partial y} &= 0\\ \rho Z - \frac{\partial p}{\partial z} &= 0\end{aligned}\right\} \text{絶対單位.}$$

$\rho = \frac{\gamma}{g}$ → 流体ノ比重量.

$$\left.\begin{aligned}\frac{\gamma}{g}X &= \frac{\partial p}{\partial x}\\ \frac{\gamma}{g}Y &= \frac{\partial p}{\partial y}\\ \frac{\gamma}{g}Z &= \frac{\partial p}{\partial z}\end{aligned}\right\} \text{重力單位.}$$

此ノ場合 p_1 ハ所謂壓力即チ大氣壓ヲ基礎トシテ其レ以上ノ壓力ヲ指ス、又

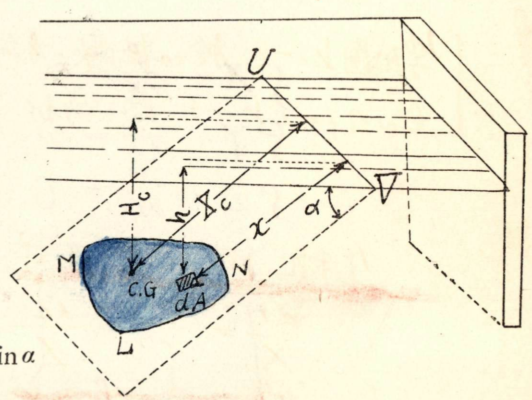
壓力ノ強サヲ單位容積ノ重量ニテ除シタル値 h ヲ壓力水頭 (Pressure head,) ト稱ス、

六、平面上ノ總水壓及其ノ中心、

水中ニ浸リ居ル一平面ノ受クル總水壓ハ其ノ平面ノ傾斜ノ如何ニ係ラズ常ニ其ノ平面ノ面積ニ其ノ圖心ノ水面ヨリノ深サヲ乘ジ且ソレニ水ノ單位體積ノ重量ヲ乘ジタルモノニ等シ、

次ニ之ヲ證明ス、

第三圖



定平面 LMN ヲ含ム平面ガ水面ト交ル線ヲ UV トシ水面トノ交角ヲ α トス、今微小面積 dA ヲトレバ

dA 面ニ働ク全水壓 (dP) ハ

$$dP = p\,dA.$$
$$= wh\,dA. \qquad h = x\sin\alpha$$
$$= wx\sin\alpha\,dA.$$

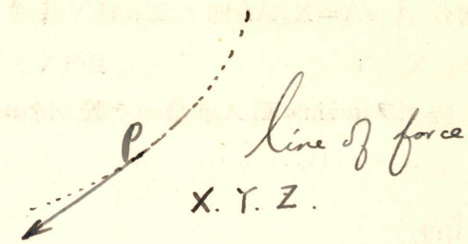
故ニ面積 A ナル平面ノ全面ニ働ク總壓力 (P) ハ

$$\int wx\sin\alpha\,dA = w\sin\alpha\int x\,dA.$$

然ルニ $\int x\,dA$ ハ全面積 A ノ UV ヲ軸トスル「モーメント」デアル、

p = Const : 等圧面

$$dp = \frac{\partial p}{\partial x}dx + \frac{\partial p}{\partial y}dy + \frac{\partial p}{\partial z}dz = 0$$



$$\frac{\frac{\partial p}{\partial x}}{X} = \frac{\frac{\partial p}{\partial y}}{Y} = \frac{\frac{\partial p}{\partial z}}{Z}.$$

∴ 等圧面 ⊥ 力線.

{ 等圧面上ノ一点ニ於ケル法線ノ方向余弦 ∽ $\frac{\partial p}{\partial x}, \frac{\partial p}{\partial y}, \frac{\partial p}{\partial z}$
line of force 上ノ一点ニ於ケル切線ノ方向余弦 ∽ X. Y. Z

力線ノ微分方程式

$$\frac{dx}{X} = \frac{dy}{Y} = \frac{dz}{Z}$$

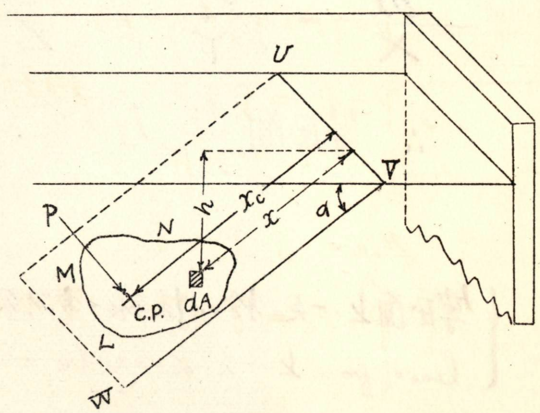
故ニ $\int x dA = X_c A.$ $X_c = UV$ ヨリ A 面ノ重心マデノ距離、

從ツテ $P = w \sin \alpha X_c A.$ $X_c \sin \alpha = H_c.$

$= w. H_c A.$ .... (1)

水壓ノ中心、

第四圖



水中ニ浸リ居ル一平面ニハ無數ノ平行ニ作用セル水ノ壓力ガ働イテ居ル、此ノ無數ノ平行壓力ヲ一個ノ合成力ニテ置換ヘテ同ジ結果ヲ得ル場合此ノ合成力ノ作用點ヲ水壓ノ中心ト稱シ、其ノ位置ハ次ノ如クシテ求ムルコトヲ得、

水面ト平面トノ交線ヲ軸トシテ其ノ平面ノ moment of inertia (I) 及 moment (M) ヲ算出シ、$\frac{I}{M}$ ヲ求ムレバ其ノ値ハ直ニ水面ト平面トノ交線ヨリ水壓ノ中心迄ノ距離ヲ表ハス、

次ニ之ヲ證明ス、

dA ナル微小面積ヲ其ノ平面上ニ取レバ dA 面上ノ總壓力 (dP) ハ

$dP = dA\, wh.$ .... (a)

重力場ニ於ケル液体ノ釣合.

$X = 0$

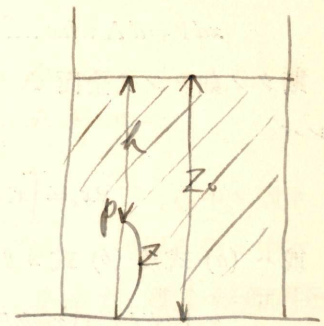
$Y = 0$

$Z = -g$

$\rho(-g) = \frac{\partial p}{\partial z}$

$dp = -\rho g\, dz$

$p = -\rho g z + C$



$z = z_0$ $p = p_0$

$p_0 + \rho g z_0 = C$

$p - p_0 = \rho g (z_0 - z)$

$p - p_0 = \rho g h$ 絶対單位.

$p_0 \rightarrow$ 大気圧

然ルニ $\rho g = \gamma$

$p - p_0 = \gamma h$ 重力單位.

之も同時ニ重力單位トナル

即チ 其ニ g ヲ加ワッタモノナリ

$\therefore \frac{p - p_0}{\gamma} = h$ $> p$

∴ 液中ノ任意ノ点ニ於ケル圧力ハ液面ノ高サ.

$p - p_0 \rightarrow$ 有効圧力(常用單力)

$p \rightarrow$ 絶対圧力

$h \rightarrow$ 圧力水頭

$\gamma \fallingdotseq 1$ $\therefore p = h$

UV ヲ軸トスル dP ノ moment ハ

$$xdP = dA\,whx \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (b)$$

斯クノ如クシテ全面 A ニ對スル總壓力 P ノ moment ヲ求ムレバ

$$Px_c = \int x.\,dp$$

或ハ (a) 式及 (b) 式ヨリ

$$x_c \int whdA = \int xwhdA. \qquad h = x\sin\alpha$$

$$x_c w \sin\alpha \int xdA = w\sin\alpha \int x^2 dA.$$

$$\therefore \quad x_c = \frac{\int x^2 dA}{\int xdA}$$

$$= \frac{I}{M}$$

同樣ナル方法ニヨリ UV 線ト直角ナル VW 線ヨリ C.P マデノ距離 y_c ヲ求ムレバ

$$ydP = dAwhy.$$

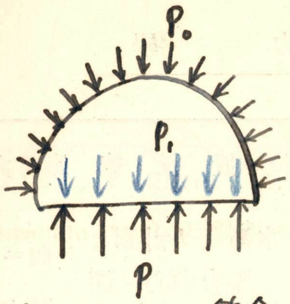
$$Py_c = \int ydP$$

$$y_c \int whdA = \int whydA. \qquad h = x\sin\alpha.$$

$$y_c w \sin\alpha \int xdA = w\sin\alpha \int xydA.$$

$$y_c = \frac{\int xydA}{\int xdA}$$

面ニ働ク全圧力及其ノ中心

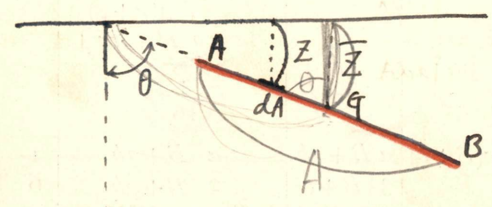


P ト P_0 トハ釣合ニアリ

P ト P_1 トモ　〃

$\therefore P_0 = P_1$ トナル.

即チ液体中ニアル曲面ニ働ク全圧力ハ其ノ投射平面ニ働ク全圧力ニ等シ.



$$p = \gamma Z$$

$$dP = p\,dA = \gamma Z\,dA$$

$$P = \gamma \int Z\,dA.$$

然ルニ

$$\int Z\,dA = A\bar{Z}.$$

$$\therefore P = \boxed{\gamma \bar{Z}}\,A$$

$\gamma\bar{Z}$ ハ重心ニ働ク圧力ナリ. 之ヲ $\bar{p}$ デ表ハセバ

$$P = \bar{p}A$$

壓力ノ中心位置及總壓力				
面ノ形狀	面積	水面ヨリ計測セシ重心ノ深サ	水面ヨリ計測セシ壓力中心ノ深サ	面ニ働ク總壓力
矩形(A)	ab	$\frac{a}{2}$	$\frac{2}{3}a$	$\frac{1}{2}wa^2b$
矩形(B)	ab	$c+\frac{a}{2}$	$\frac{a}{3}\cdot\frac{3c+2a}{2c+a}+c$	$w\left(c+\frac{a}{2}\right)ab$
三角形(C)	$\frac{1}{2}ab$	$\frac{a}{3}$	$\frac{a}{2}$	$\frac{1}{6}wa^2b$
圓形(D)	πr^2	$c+r$	$c+r+\frac{r^2}{4(r+c)}$ 〔$c=o$ $H=\frac{5}{4}r$〕	$w\pi r^2(c+r)$
半圓形(E)	$\frac{1}{2}\pi r^2$	$\frac{4r}{3\pi}$	$\frac{3}{16}\pi r$	$\frac{2}{3}wr^3$
梯形(F)	$\frac{1}{2}a(B+b)$	$\frac{a}{3}\,\frac{B+2b}{B+b}$	$\frac{a}{2}\,\frac{B+3b}{B+2b}$	$\frac{1}{6}wa^2(B+2b)$
楕圓(G)(一軸垂直ノ場合)	$\pi r_1 r_2$	$c+r_1$	$c+r_1+\frac{r_1^2}{4(c+r_1)}$	$w\pi r_1 r_2(c+r_1)$

七、管內ニ於ケル液體ノ推力、

(1) 管ノ一端ニ目盲板ヲ取付ケタル場合、

管ノ一端ニ目盲板ヲ取付ケ、之ニ壓力ヲ有スル液體ヲ導ク時ハ管ハ其ノ液體ノ爲ニ推力ヲ受ケル、今

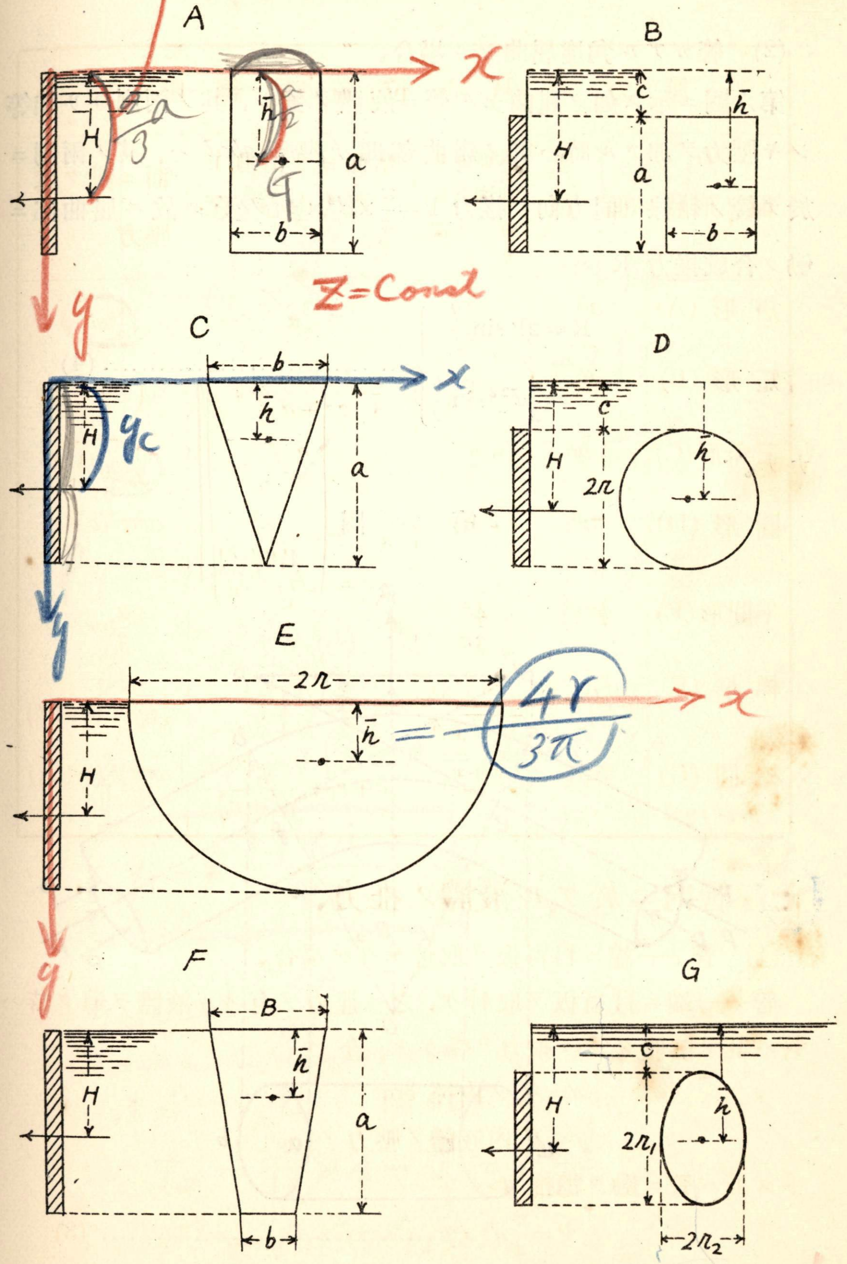
d＝管ノ內徑 cm.

p＝管內液體ノ壓力 kg/cm²

トスレバ管ニ働ク總推力ハ

$$P=\frac{\pi}{4}d^2\times p \qquad (3)$$

第五図



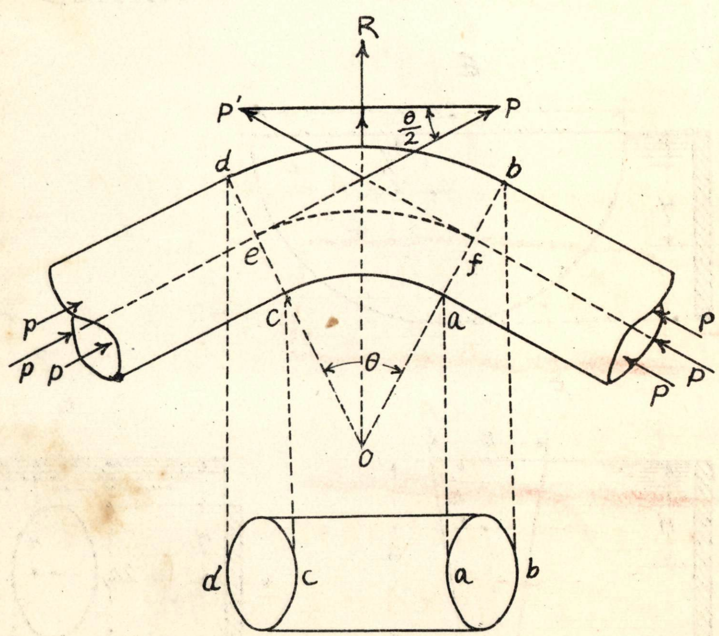
(2) 管ガアル角度屈曲セル場合、

第六圖ニ示ス如ク屈曲セル管ニ液體ヲ通シ、其ノ兩側ヨリ相等シキ壓力ヲ加フル時ハ管ノ屈曲部即チ楔形 $abcd$ ハ、其ノ兩側ニ於テ管ノ軸線ト同方向ニ推力 $P=\frac{\pi}{4}\times d^2\times p$ ヲ受ク故ニ屈曲部ニ働ク合成推力 R ハ

$$\left.\begin{aligned} R &= 2P\sin\frac{\theta}{2} \\ &= \frac{\pi}{2}d^2p\sin\frac{\theta}{2} \end{aligned}\right\} \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4)$$

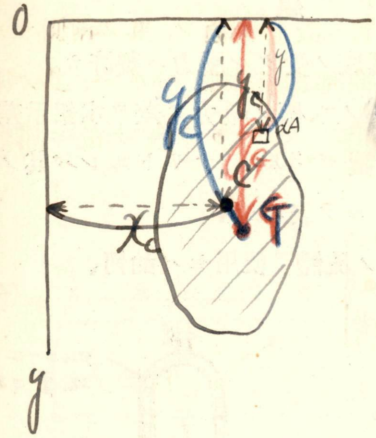
ナリ、

第六圖



Centroid (圧力ノ中心)

作用線が面ABト交ル点 : C



全能率

$$P y_c = \int y\, dp$$

$dp = p\, dA$

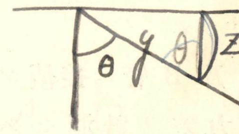
$$= \int y\, p\, dA$$

$p = \gamma Z$ 高サ

$$= \gamma \int y Z\, dA$$

$Z = y\cos\theta$

$$Z = y\cos\theta$$



普通

$\theta = \pi$

$\cos\theta = 1$

$Z = Const$

$$P y_c = \gamma\cos\theta \int y^2 dA$$

$$y_c = \frac{\gamma\cos\theta\int y^2 dA}{P}$$

$$P = \int dp = \gamma\int Z\, dA = \gamma\cos\theta\int y\, dA$$

$$\boxed{y_c = \frac{\int y^2 dA}{\int y\, dA}} = \frac{I}{M}$$

$$y_G = \frac{\int y\, dA}{A}$$

$I_x \rightarrow$ 面積ノ慣性能率.

$$I_x = \int y^2 dA = I + A y_G^2$$

$$= A k^2 + A y_G^2$$

$K \rightarrow$ 廻転半径.

問 題

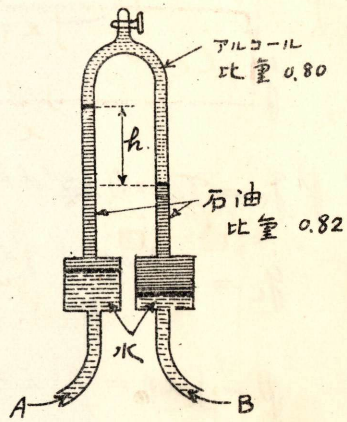
1. 吃水 10 米ノ艦ニ於テ艦底ノ受クル壓力ハ幾許カ、

2. 同一水平線上ニアル二個ノ水槽ノ壓力ノ差ヲ水銀示差「マノメーター」ニテ計リタルニ讀ガ 300 粍ナリトスレバ其ノ壓力ノ差ヲ、(*a*) 水頭, (*b*) kg/cm² ニテ表ハセ、

若シ水銀ノ代リニ比重 0·9 ノ流體ヲ使用セバ如何、

3. 左ノ如キ擴大示差壓力計ニ於テ、下部ノ擴大部ノ横斷面積ハ U 字管ノ夫レノ 100 倍ナリ、

今 A 及 B 管ニ接續シテ其ノ壓力差ヲ計測セシニ $h=0{\cdot}03$ m ヲ得タリ、A. B 兩管内ノ水壓差ハ何米ノ水頭ニ相當スルカ、



4. 罐室通風壓力 15 cm. ノ時ニ幅 0·8 米 高サ 1·7 米ノ入口扉ニ働ク總風壓力ヲ求メヨ、

5. 垂直矩形 Sluice 弁ニ於テ、幅 80 粍, 高サ 170 粍ニシテ其ノ上縁マデノ水深 5 米ナリ、

弁ニ働ク總壓力及其ノ中心ヲ求ム、

$$\therefore\ y_C=\frac{I}{A\,y_G}+y_G=\frac{K^2}{y_G}+y_G$$

$$\overline{CG}=\frac{K^2}{y_G}$$

⑥ K ハ Const ナルモ y_G ハ平面ガ液中深イ程大ナリ.
従テ C ト G トハ接近スルコトニナル

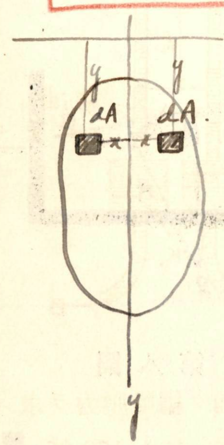
次ニ

$$P x_c=\int x\,dp=\int x\,p\,dA=\gamma\int x z\,dA$$

$$=\gamma\cos\theta\int xy\,dA$$

$$P=\gamma\cos\theta\int y\,dA=\gamma\cos\theta\ y_G A$$

$$\boxed{x_c=\frac{\int xy\,dA}{\int y\,dA}}=\frac{\int xy\,dA}{y_G A}.$$



一般ニ

$$\int xy\,dA=0.$$

$$x_c=0.$$

$$\therefore\ y_C=\frac{\int y^2 dA}{\int y\,dA}$$ ヲ求ムレバ

充分ナリ.

液体ニ浮ブ固体ノ釣合

1. 安定
2. 不安定
3. 中立.

Couple ノ大サ

第三章

運動スル容器内ノ水

八、運動スル容器内ノ等壓水面、

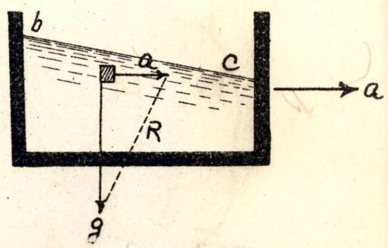
（物理學卷之一液體ノ自由表面參照）

㈠ 直線的移動ヲナス場合、

運動一定ニシテ加速度ナキ場合ニハ靜止セル場合ト同樣ニシテ自由表面 (bc) ハ重力ノ加速度 (g) ノ方向ニ直角ナリ、

加速度 a ヲ以テ第七圖ノ如ク右ニ運動スル場合ニハ g ト a トノ合成加速度 R ノ方向ニ直角ニナル如ク自由表面 (bc) ハ傾斜ス、

第七圖

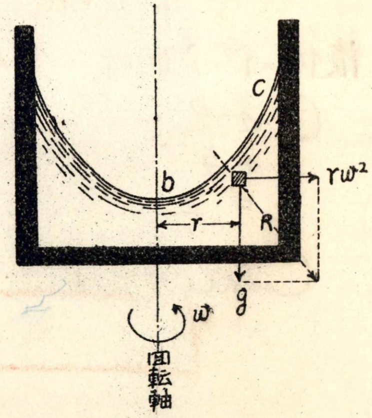


〔例1〕
〔p9〕

㈡ 垂直軸ノ周リニ强制回轉運動ヲナス場合、

第八圖ノ如キ場合ニハ等壓面又ハ自由表面 bc ハ重力ノ加速度 g ト遠心加速度 $\omega^2 r$ トノ合成加速度 R ノ方向ニ直角トナリ「パラボロイド」ヲ形成ス、（證明ハ力學ヲ參照スベシ、

第八圖



$$\iint z\,dx\,dy = \delta\theta \iint x\,dx\,dy = 0$$

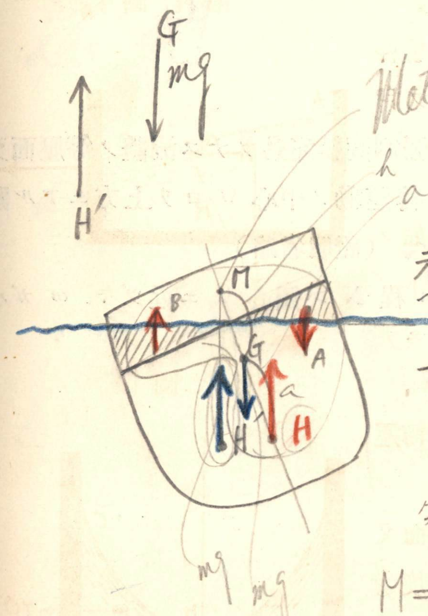
之ニ依リ O ヲ通過スル回転軸ハ幾何学的中心ヲ通過ス。

$\boxed{\text{回転能率}}$

$$\begin{cases} M_x = \rho g \iint zy\,dx\,dy = \rho g \delta\theta \iint xy\,dx\,dy = 0 \\ M_y = \rho g \iint zx\,dx\,dy = \rho g \delta\theta \iint x^2\,dx\,dy \end{cases}$$

$$M_x = 0$$

$$M_y = \rho g \delta\theta I$$ → 元ヘカヘスCouple



赤ニ力ノ合力ガH'トナル

サレバ

G ト H
A ト B } ハ二ツノCouple

実際ハG ト H' トガ働イテ居ル。

$M = \rho g \delta\theta I$ —— ①

$GH = a$

$-mga\delta\theta$

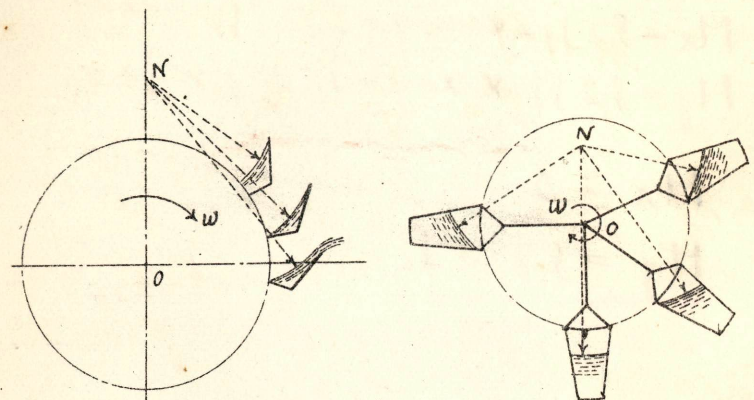
$\boxed{(\rho I - ma) g \delta\theta}$ —— ②

元ヘカヘサウトスル力

$GM = h$

㊂ 水平軸ノ周リニ強制運動ヲナス場合、

第九圖



水車ノ如ク水平軸ノ周リニ強制回轉運動ヲナス流體ノ等壓面又ハ自由表面ハ第九圖ノ如ク回轉運動ノ中心 O ヨリ上方ニアル點 N ヲ中心トスル同心面デアル、(證明省略)

而シテ角速度 (ω) ガ大ナル程 N ハ圖心 O ニ近ヅキ、ω ガ小ナル程 O ヨリ遠ザカル、

廻転軸

$mgh\partial\theta \longrightarrow$ 元ヘカヘソウトスル力

$\therefore\ mgh\delta\theta=(\rho I-ma)g\delta\theta$

$$h=\frac{\rho I}{m}-a$$

物体ノ液体中ニアル部分ノ容積ヲ V トス

$$m=\rho V$$

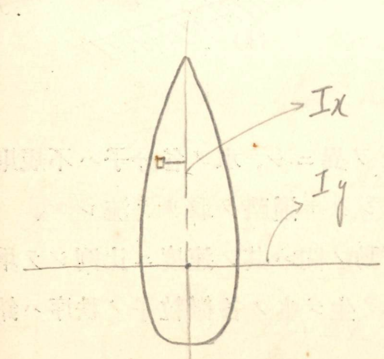
◎ $h=\dfrac{I}{V}-a$

1. $h>0$ 元ノ位置ヘ帰ル
(hヲGカラ上ノ方ヘ計ル時)
安定釣合

2. $h<0$ Metacentreガ重心ノ下
不安定釣合

3. $h=0$ Metacentreト重心トガ一致ス
「ウエイト」ト「ボイアンシー」トガ同一鉛直線上ニアリ
如何ナル位置ニ於テモ釣合フ
中立ノ釣合

○ hノ値ノ大小ニ依リ安定度ガ定マル



両方共ニ対称ト考ヘル

$h=\dfrac{I_x}{V}-a$

$h'=\dfrac{I_y}{V}-a$

$I_x<I_y$

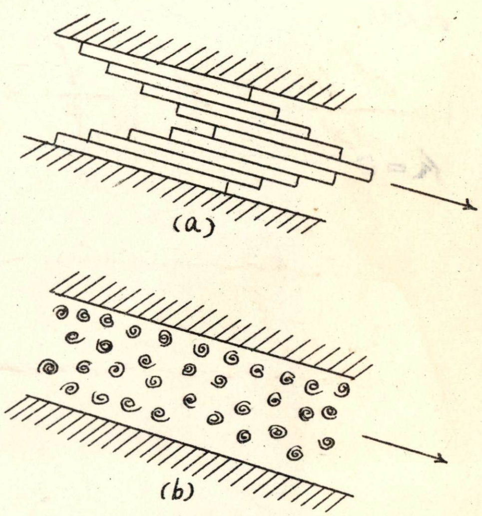
$h<h'$

第四章

水ノ運動

九、流線運動ト亂レ運動、
Stream Line Motion　Eddy Motion.

第十圖



液體運動ノ狀態ニ二種アリ、一ツハ流線運動ニシテ他ハ亂レ運動ナリ、流線運動トハ第十圖 (*a*) ニ示スガ如ク水ノ層ガ一定ノ通路、即チ流線ニ沿ヒ規則正シク相並ビ互ニ少シヅツ摺ルモノヲ謂フ、而シテ其ノ隣層間ノ速度ハ液體ノ粘性ニ歸因ス。

亂レ運動ハ (*b*) 圖ニ示ス如ク前者ト全ク其ノ趣キヲ異ニシ、水ノ各分子ハ不規則ナル渦卷運動ヲナシテ極メテ彎曲シタル通路ヲ取リテ流レル、

水ノ分子間ノ摩擦ハ流線運動ノ間ハ其ノ速度ニ比例シテ增加スレ共、亂レ運動ニ於テハ渦卷ヲ生ジ水ノ各微粒子ノ秩序ハ錯亂セ

λが早ク negative ニナル.

ローリング → 安定度小
ピッチング → 安定度大

流体動力學

流体ノ運動方程式

① 流体ノ one particle ヲ追跡ス.　経下
「ラグランジュ」ノ方法

② space ノ position ニ着眼ス.
「オイラー」ノ方法

z

$$\left\{\begin{aligned} \frac{du}{dt} &= X - \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x} \\ \frac{dv}{dt} &= Y - \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y} \\ \frac{dw}{dt} &= Z - \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z} \end{aligned}\right. \quad ①$$

y

$p(x.y.z)$　t

x　ρ　p　$(X.Y.Z)$　$(u.\ v.\ w)$

單位質量ニ働ク x. y. z. ノ Component ヲ考ヘル

$$\text{質量} = \rho\,dx\,dy\,dz\,\frac{du}{dt} \quad \text{---(X方向ノ力ノ合值)}$$

$$= \rho\,dx\,dy\,dz\,X - \square$$

$$\square = \left(p - \frac{1}{2}\frac{\partial p}{\partial x}dx\right)dy\,dz - \left(p + \frac{1}{2}\frac{\partial p}{\partial x}dx\right)dy\,dz$$

ラルルヲ以テ之ガ爲ニ消費セラルル勢力多ク從ツテ摩擦ハ速力ノ約自乘ニ比例シテ增加ス、

流線運動ヨリ亂レ運動ニ移ル堺目ニ相當スル速度ヲ臨界速度ト云ヒ液體ノ粘性,溫度,管ノ太サ,及表面ノ狀態等ニヨリテ其ノ値ヲ異ニス、

Reynolds ハ 68°F ノ水ヲ使用シテ實驗シ次ノ成績ヲ得タリ、

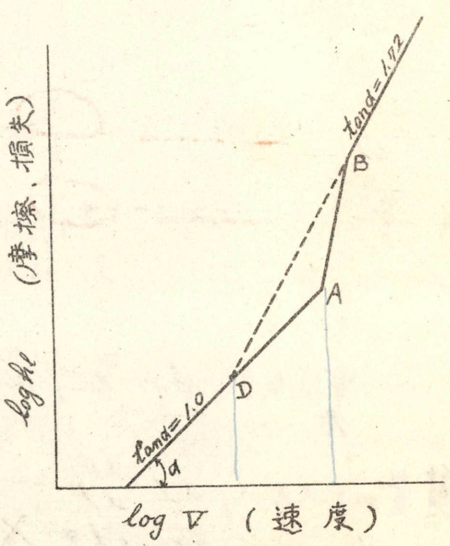
管ノ徑(粍)	25·4	50·8	76·2	153	305
低臨界速度(米/秒)	0·0794	0·0397	0·0274	0·0067	0·0067
高 〃 (〃)	0·497	0·256	0·171	0·855	0·426

第十一圖ハ Reynolds ノ鉛管ニ就キテノ實驗成績ヲ示ス、

A＝高臨界速度、
Higher critical velocity

D＝低臨界速度、
Lower critical velocity

第十一圖



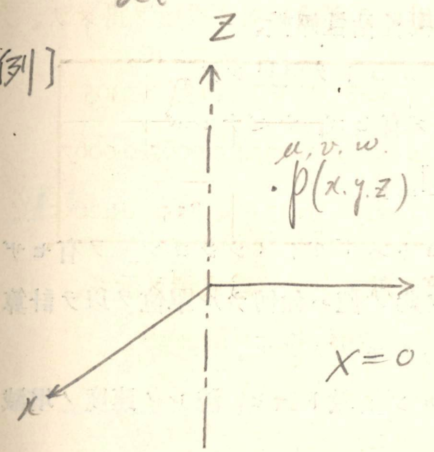
通常艦內ニテ取扱フ水流ハ概ネ亂レ運動ニ屬スレ共、工學上ノ問題ノ解決ヲ容易ナラシムルタメ流線運動ヲナスモノト假定シテ取扱ヒ、然ル後實驗ニヨリ訂正ヲナス方法ヲ採リ研究スルヲ普通トス、

$$\boxed{\quad} = -\frac{\partial p}{\partial x}\,dx\,dy\,dz$$

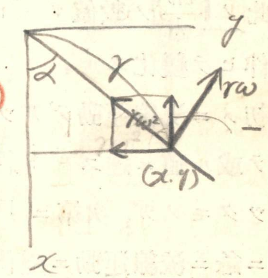
$$\left.\begin{aligned}
\frac{du}{dt} &= X - \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}\\
\frac{dv}{dt} &= Y - \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y}\\
\frac{dw}{dt} &= Z - \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z}
\end{aligned}\right\}$$

オイラーノ運動方程式

[例]



$X=0 \quad Y=0 \quad Z=-g$



$$\frac{du}{dt} = -r\omega^2\cos\alpha = -\omega^2 x$$

$$\frac{dv}{dt} = -r\omega^2\sin\alpha = -\omega^2 y$$

$$\frac{dw}{dt} = 0$$

$$\left.\begin{aligned}
-\omega^2 x &= -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x} && dx\\
-\omega^2 y &= -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y} && dy\\
0 &= -g - \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z} && dz
\end{aligned}\right.$$

$$\frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial p}{\partial x}dx + \frac{\partial p}{\partial y}dy + \frac{\partial p}{\partial z}dz\right) - \omega^2(x\,dx + y\,dy) + g\,dz = 0. \qquad \rho \to \mathrm{Const}$$

「レイノルヅ」數、

「オスボーン・レイノルヅ」ハ實驗研究ノ結果流體抵抗ハ

v＝流レノ速度、

$\frac{vd}{\lambda}$　　d＝流レノ幅,深サ,直徑ノ中ノ何レカ一ツ、

λ＝流體ノ動性粘性係數、

ナル値ノ或ル函數ニテ表ハサレルコトヲ發見シタ。

$\frac{vd}{\lambda}$ハ「ダイメンション」ヲ有セズ、ナゼナレバ

$$\left[\frac{vd}{\lambda}\right]=\frac{[LT^{-1}][L]}{[L^2T^{-1}]}=1.$$

「ダイメンション」ガ1ナルコトハ「ダイメンション」ヲ有セザル數デアルコトヲ示ス、サレバ此ノ値ハ如何ナル單位ヲ以テ計算スルトモ常ニ同一ノ數値ヲ與ヘルモノデアル、

此ノ$\frac{vd}{\lambda}$ノ數値ヲ「レイノルヅ」數ト云ヒ、流レノ速度ノ增減ニ伴ヒテ變化スル、

初メニ流線運動デアッタモノガ、次第ニ「レイノルヅ」數ヲ增シテ或ル値ニ達スルト急ニ亂レ運動ニ變ル、又初メニ亂レ運動デアッタモノガ、次第ニ「レイノルヅ」數ヲ減ジテ或ル値ニ達シタ時ニ急ニ流線運動ニ變化スル、

第十一圖ノＡ及Ｄニ相等スル「レイノルヅ」數ハ流體ノ種類ヲ問ハズ總テノ流體ニ共通デアルコトガ幾多ノ實驗研究ニヨッテ實證セラレタ、此ノ限界速度ニ相當スル「レイノルヅ」數ヲ夫々高臨界「レイノルヅ」數及低臨界「レイノルヅ」數ト云フ、

直管ニ種々ノ流體ヲ通シテ實驗シ$\frac{vd}{\lambda}$ノdヲ其ノ直徑トシテ計算シタル所ニヨルト直管ノ臨界「レイノルヅ」數ハ大約2,000デ
Critical Reynolds number

之ヲ積分ス

$$\frac{p}{\rho}-\frac{\omega^2}{2}(x^2+y^2)+gz=Const=C$$

$p=p_0$

$$\frac{\omega^2}{2}(x^2+y^2)=\frac{p_0}{\rho}-C+gZ$$

$-C_0$

$$\frac{\omega^2}{2}(x^2+y^2)=gz-C_0$$

Origin ヲ $\left(0,0,\frac{C_0}{g}\right)$ ニ移セバ

$$x^2+y^2=\frac{2g}{\omega^2}z$$

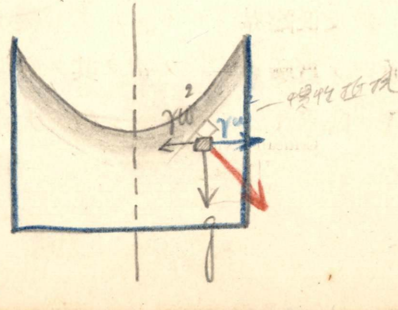
運動方程式

$$\left.\begin{aligned}\frac{du}{dt}&=X-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}\\ \frac{dv}{dt}&=Y-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y}\\ \frac{dw}{dt}&=Z-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z}\end{aligned}\right\}\qquad \left.\begin{aligned}X&=\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}\\ Y&=\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y}\\ Z&=\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z}\end{aligned}\right\}$$

此ノ式ニ慣性抵抗ヲ含マセルト兩方同シ

等圧面ハ力線ニ垂直ナリ.

◎ 運動シテ居ル体実際ニ働イテ居ル力ノ外ニ慣性抵抗ヲ含マセル其ノ合力ノ作用線ト等圧面トハ垂直ナリ



アル、

即チ直管中ヲ流レル總テノ流體ハ $\frac{vd}{\lambda}$ ガ 2,000 ニ達シタル時ニ流線運動ガ亂レ運動ニ變化スルモノデアル、

今直管ノ臨界速度ヲ V_c トスレバ

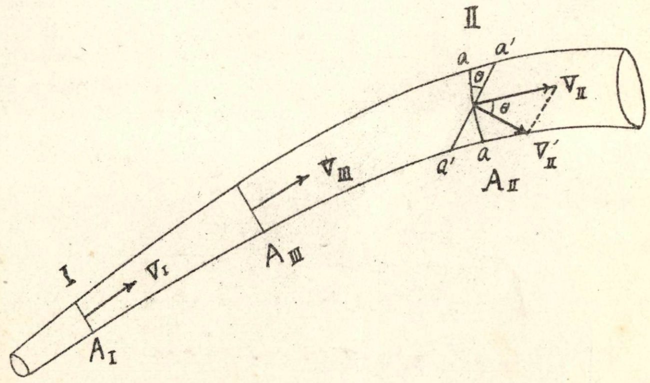
$$V_c = \frac{2{,}000}{d}\lambda \qquad (5)$$

サレバ臨界速度ハ流體ノ動性粘性係數ニ正比例シ管ノ直徑ニ反比例スル從ツテ動性粘性係數ノ大ナルモノ及直經ノ小ナルモノハ亂レ運動ヲ生ジ難イコトヲ知ル、

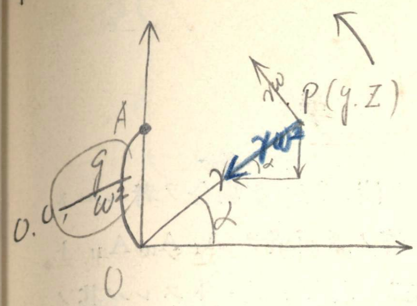
一〇、流　量（物理學卷一流體ノ定常運動參照）

第十二圖ニ於テ流水中ニ一定ノ範圍 (I—II) ヲ撰定スル時其ノ範圍内ニ於テ漏洩及湧出等ガ無イ場合ニハ I ヨリ流入セシ水量ハ必ズ II ヨリ流レ出ナケレバナラヌ、即チ流管 (I—II) ノ範圍内ニ於テハ何處ヲ採ツテ考ヘテモ流入シタ水量ハ常ニ流出スル水量ニ等シイ、之ヲ定常ノ流レト云フ、

第十二圖



p15



$$\frac{dv}{dt} = -r\omega^2\cos\alpha = -\omega^2 y$$

$$\frac{dw}{dt} = -r\omega^2\sin\alpha = -\omega^2 Z$$

$$\frac{du}{dt} = 0$$

$$X = Y = 0 \quad Z = -g$$

運動方程式

$$\left.\begin{aligned} 0 &= 0 - \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x} \\ -\omega^2 y &= 0 - \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y} \\ -\omega^2 Z &= -g - \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z} \end{aligned}\right\} \quad \begin{aligned} &dx \\ &dy \\ &dZ \end{aligned}$$

$$\frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial p}{\partial x}dx + \frac{\partial p}{\partial y}dy + \frac{\partial p}{\partial z}dz\right) - \omega^2(ydy + zdz) + gdZ = 0$$

之ヲ積分ス　$\rho = \text{const}$

$$\frac{p}{\rho} - \frac{\omega^2}{2}(y^2 + z^2) + gz = \text{Const} = C.$$

$p \to p_1$ ナル場合　$-\frac{p_1}{\rho} + C \equiv C_1$

$$\frac{\omega^2}{2}(y^2 + z^2) - gz + C_1 = 0$$

$$y^2 + z^2 - \frac{2gz}{\omega^2} + \frac{2C_1}{\omega^2} = 0$$

$$y^2 + \left(z - \frac{g}{\omega^2}\right)^2 = \frac{g^2}{\omega^4} - 2\frac{C_1}{\omega^2} = \left\{\frac{\sqrt{g^2 - 2C_1\omega}}{\omega^2}\right\}^2$$

◎ A点ヲ過リ x 軸ニ平行ナル Cylinder

今管ノ中ヲ常ニ充滿シテ壓縮性ナキ液ガ流レル場合ヲ考ヘルト定常流レノ法則ヲ應用シ得ルカラ、管ノ斷面積ヲ A_{I} A_{II} A_{III} トシ其處ヲ通過スル流ノ平均速度ヲ夫々 V_{I} V_{II} V_{III} トスレバ其ノ流量ハ

$$Q=A_{\mathrm{I}}V_{\mathrm{I}}=A_{\mathrm{II}}V_{\mathrm{II}}=A_{\mathrm{III}}V_{\mathrm{III}} \quad \cdots\cdots\cdots (6)$$

次ニ流管横斷面 a—a ノ面積ヲ A_{II} トシ a—a ニ直角ニ流ルル平均速度ヲ V_{II} トシ、更ニ a—a ト θ ナル傾ヲナス斷面 a'—a' ヲ考ヘ其ノ面積ヲ A'_{II} トシ a'—a' ニ直角ニ流ルル平均速度ヲ V'_{II} トスレバ次ノ式ガ成立ス、

$$A_{\mathrm{II}}=A'_{\mathrm{II}}\cos\theta$$

$$V_{\mathrm{II}}=V_{\mathrm{II}}\times\frac{1}{\cos\theta}$$

$$\therefore\quad A_{\mathrm{II}}V_{\mathrm{II}}=A'_{\mathrm{II}}V'_{\mathrm{II}}=Q.$$

即チ流量 (Q) ハ管ノ任意ノ斷面積 (A) ト其レニ直角ナル分速度 (V) トノ積ニ等シイ、

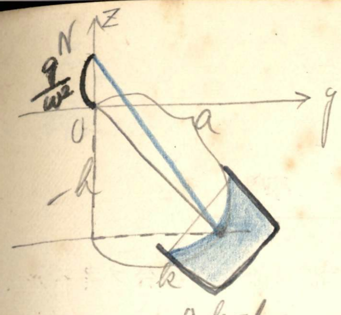
~~◎~~、直管内ニ於ケル流レノ平均速力、

(一) 流線運動ヲナス場合ニハ流體ノ粘力ニヨリ第十三圖ニ示ス如ク管ノ中央部ヲ流レルモノガ速度最大ニシテ周壁ニ近ヅクニ從ヒ速度ヲ減ズルモノナレバ其ノ平均速度 (V_m) ハ

$$V_m=\frac{2}{A}\int_0^R v\,dA.$$

ナリ、

平均流速ニ等シキ速度ヲ以テ流ルル流線ノ位置ハ理論上管ノ中心ヨリ約 0.71 R ダケ距リタル處ニアリ、(證明省略)



$h^2+k^2=a^2$

$y^2+\left(z-\frac{g}{\omega^2}\right)^2=k^2+\left(\frac{g}{\omega^2}-h\right)^2$

0, k−h,

場所ニ依リ等圧面ハ異ル.
即 h, k, 値ニ依リ異ル.

ωが増大スレバ N ハ O 点ニ近カヅク
サレバ非常ニ早ケレバ自由表面ハ同ジ様ナ
平面ヲナス.

◎ Bernoulli ノ定理

$$\left.\begin{aligned}\frac{du}{dt}&=X-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}\\ \frac{dv}{dt}&=Y-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y}\\ \frac{dw}{dt}&=Z-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z}\end{aligned}\right\}\begin{aligned}&dx \text{ — ①}\\ &dy \text{ — ②}\\ &dz \text{ — ③}\end{aligned}$$

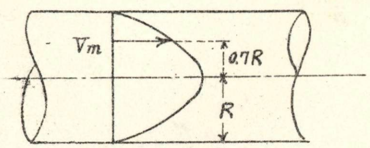
$$Xdx+Ydy+Zdz-\frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial p}{\partial x}dx+\frac{\partial p}{\partial y}dy+\frac{\partial p}{\partial z}dz\right)$$
$$=\frac{du}{dt}dx+\frac{dv}{dt}dy+\frac{dw}{dt}dz$$

dp (p. position, time, function)

$$=\frac{\partial p}{\partial x}dx+\frac{\partial p}{\partial y}dy+\frac{\partial p}{\partial z}dz+\frac{\partial p}{\partial t}dt$$

$$\frac{\partial p}{\partial x}dx+\frac{\partial p}{\partial y}dy+\frac{\partial p}{\partial z}dz=dp-\frac{\partial p}{\partial t}dt$$

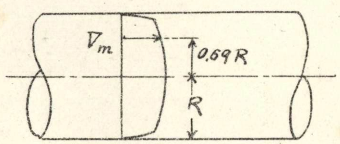
第十三圖



直管內ノ速度線圖（流線運動ヲナス場合）

㈡ 亂レ運動ヲナス場合ニハ流線ガ互ニ入リ亂ルルタメ速度ノ分布ガ流線運動ヲナス場合ヨリモ均一ニナリ、從ツテ平均流速ニ等シキ速度ヲ以テ流ルル分子ノ位置モ中心ニ近寄リ約 0.69 R ダケ距リタル處ニアリ、

第十四圖



直管內ノ速度線圖（亂レ運動ヲナス場合）

一二、「ベルヌイ」ノ定理、

（物理學卷之一流體ノ定常運動參照）

$$z+\frac{p}{w}+\frac{v^2}{2g}=\mathrm{H}. \qquad (7)$$

$w \to \gamma$ ニ直ス

次ニ $u^2+v^2+w^2=C^2$ トス
両辺ヲ積分ス

$$u\,du+v\,dv+w\,dw=C\,dc$$

$$\frac{dx}{dt}du+\frac{dy}{dt}dv+\frac{dz}{dt}dw=C\,dc$$

$$\frac{du}{dt}dx+\frac{dv}{dt}dy+\frac{dw}{dt}dz=C\,dc$$

$$X\,dx+Y\,dy+Z\,dz-\frac{1}{\rho}\left(dp-\frac{\partial p}{\partial t}dt\right)-c\,dc=0$$

定常運動ニ於テハ $\frac{\partial p}{\partial t}=0$

保存力作用スルト考フレバ

$$X=-\frac{\partial V}{\partial x},\quad Y=-\frac{\partial V}{\partial y},\quad Z=-\frac{\partial V}{\partial z}$$

$$-dV-\frac{dp}{\rho}-d\left(\frac{1}{2}C^2\right)=0$$

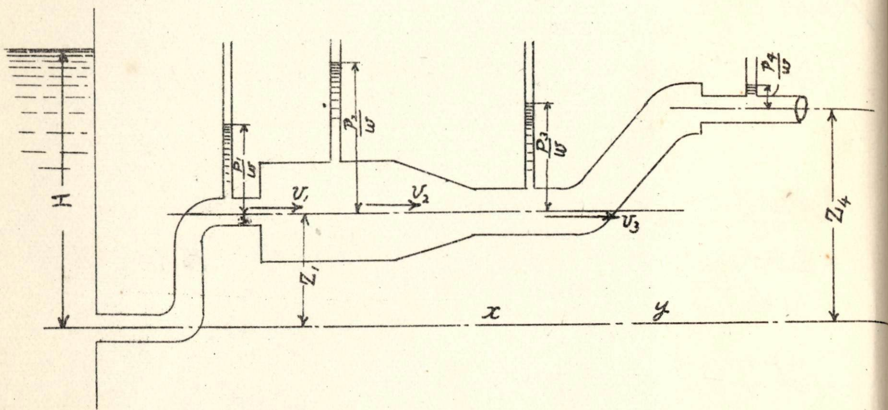
之ヲ積分ス

$$V+\int\frac{dp}{\rho}+\frac{1}{2}C^2=\mathrm{Const}$$

V : potential energy.
$\frac{1}{2}C^2$: kinetic energy.
$\int\frac{dp}{\rho}$ 圧力ニ依ル work done.

質点ニ於テハ $V+\frac{1}{2}C^2=\mathrm{Const}$ ナル
水力学ニ於テ $\int\frac{dp}{\rho}$ ガ加ハル

第十五圖



第十五圖ニ於テ

$$H = z_1 + \frac{p_1}{w} + \frac{v_1^2}{2g} = z_1 + \frac{p_2}{w} + \frac{v_2^2}{2g}$$
$$= z_1 + \frac{p_3}{w} + \frac{v_3^2}{2g} = z_4 + \frac{p_4}{w} + \frac{v_4^2}{2g}.$$

ナル關係アリ、之ヲ「ベルヌイ」ノ定理ト云フ。

今單位時間ニ流ルル液ノ總容量（即チ流量）ヲ Q m^3/s トスレバ、單位時間ニ流ルル液ノ總重量ハ wQ kg/s デアル。

之ヲ「ベルヌイ」ノ方程式ノ各項ニ乘ズレバ

$$Qwz + \frac{p}{w}wQ + \frac{v^2}{2g}wQ = QwH \text{ ....} (8)$$

此方程式ヲ見ルニ左邊ノ第一項 wQz kg-m ハ任意ニ定メタル水平面 xy ヨリ高サ z ナル位置ニ在ル液ガ單位時間ニ所有スル位置ノ「エネルギー」デアリ、第二項 Qp m-kg ハ其ノ壓力ノ「エ

重力場ニ於テハ

$X=0,\ Y=0,\ Z=-g$

$\therefore \frac{\partial U}{\partial Z} = g \quad U = gZ$

$\therefore gZ + \int \frac{dp}{\rho} + \frac{1}{2}c^2 = Const$

ρハpノ function ナルバ積分可能

ρハ流体ノ密度 $\rho = \frac{\gamma}{g}$（力ノ單位ヲ重力單位ニトル）

單位体積中ノ重量 → 比重量 γ
〃 ノ質量 → 密度 ρ } g/cm^3

液体ノ場合ハ ρハ Const

$gZ + \frac{p}{\rho} + \frac{1}{2}c^2 = Const$

1. 定常運動ナルコト（時間的ニ不変）
2. 重力場ニ運動シテ居ルコト
3. 液体ナルコト

ネルギー」、第三項 $wQ\frac{v^2}{2g}$m-kg ハ其ノ運動ノ「エネルギー」デアル、從ツテ右邊ノ wQH. m-kg ハ其ノ全「エネルギー」デアル、

水力學デハ單位時間ニ重量 1 瓩ノ割合ニテ液ガ流ルル場合ニ、其レガ所有スル「エネルギー」ヲ水頭ト稱スル、

サレバ上式ニ於テ $wQ=1$ kg ト置ケバ

$$z+\frac{p}{w}+\frac{v^2}{2g}=H \quad \cdots\cdots (7)$$

トナリ、此式ニ於テ z ヲ位置水頭 (Position head) $\frac{p}{w}$ ヲ壓力水頭 (Pressure head), $\frac{v^2}{2g}$ ヲ速力水頭 (Velocity head) ト云ヒ H ヲ總水頭 (Total head) ト稱ス、

(7) 式ニヨレバ與ヘラレタル流レノ總テノ位置ニ於テ、位置水頭、壓力水頭、及速力水頭ノ和ハ常ニ一定デアッテ、其ノ値ハ總水頭ニ等シイ、之ヲ「ベルヌイ」ノ定理ト云フ、

(7) 式ノ各項ハ皆 z ト同ジ「ダイメンション」ノモノデアルカラ、z ガ任意ニ定メタル水平面 xy ヨリノ高サデアル以上 $\frac{p}{w}$ モ $\frac{v^2}{2g}$ モ H モ皆凡テ一定ノ尺度ヲ用キテ悉ク高サヲ以テ表ハスコトガ出來ル理デアル、

一三、水力勾配線、(Hydraulic gradient)

第十六圖ニ於テ D ヲ大ナル水溜メ、00 ヲ常ニ基準面 (xy) ヨリ H 米ノ高サニアル自然面トシ、水溜ノ底部ヨリ圖ノ如キ太サ一樣ナラザル管ヲ導キ A, B, C 點ニ液柱計ヲ立テルトキハ液柱計ニ於ケル水柱ノ高サハ $\frac{p_A}{w}$, $\frac{p_B}{w}$, $\frac{p_C}{w}$ ヲ示ス、

斯ノ如キ液柱計ヲ無數ニ立テ其ノ水面ヲ順次ニ連結スレバ A, B, C, ノ如キ空間曲線ガ出來ル、此曲線ヲ水力勾配線ト云フ、

絶対單位デ導ク

$$gz+\int\frac{dp}{\rho}+\frac{1}{2}C^2=Const$$

重力單位

$$Z+\int\frac{dp}{\underset{\gamma}{\rho g}}+\frac{1}{2}\frac{C^2}{g}=H$$

p : dyne/cm $[MLT^{-2}L^{-2}]$

γ 比重量 } gr/cm³

ρ : 密度

同じ場所ニ於テ比例スル

◎ 一見 $\rho g=\gamma$ ノ如ク見ユルモ異ナル $\rho g \neq \gamma$

Dimension ハ相等シキモ數値ハ異ル

例

比重 7.8 ナル鐵ニ於テ

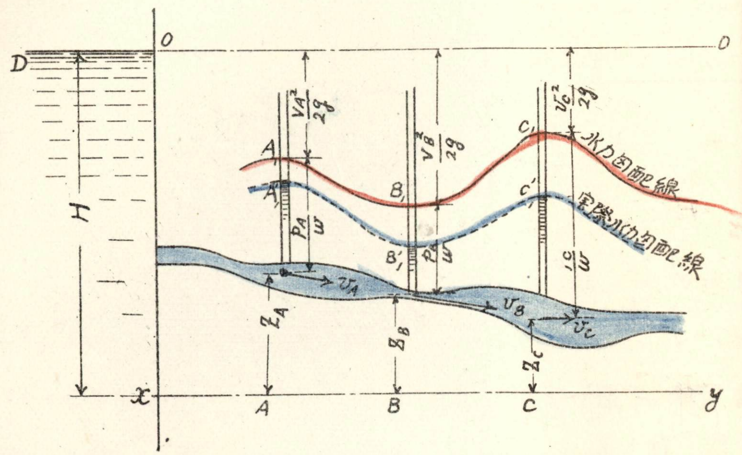
$\rho = 7.8\ \mathrm{gr/cm^3}$

$\rho g = 7.8\ \mathrm{gr/cm^3} \times 980\ \mathrm{cm/sec^2} \neq 7.8\ \mathrm{gr/cm^3}$

サレバ $Z+\int\frac{dp}{\gamma}+\frac{1}{2}\frac{C^2}{g}=H$ ハ違ッテ居ルカト云フニ然ラズ p ノ單位ガ變ッテ居ルカラ正シイ

dyne/cm² ⟶ gr/cm²

第十六圖



水力勾配線

一四、抵抗ヲ加算シタル「ベルヌイ」ノ方程式、

運動ガアレバ必ズ抵抗ガ働クノデアルカラ、其ノ働キハ動「エネルギー」タル速度水頭ニ關係シ、「エネルギー」ノ消耗ヲ來シ其ノ結果ハ壓力ヲ下ゲルコトニナル、

例ヘバ流體抵抗ノタメニ A.B 間ニ於テ流體ガ單位時間ニ重量 1 瓩ニツキ h_l m-kg ノ「エネルギー」ヲ消耗シタトスレバ h_l ヲ AB 間ニ於ケル抵抗水頭ト云フ、h_l ノ値ハ $\frac{v_A^2}{2g}$ 又ハ $\frac{v_B^2}{2g}$ ニ直接關係シ、h_l ノタメニ B 點ニ於ケル壓力水頭ハ $\frac{p_B}{w}$ ヨリモ減少スル、

BC 間ヲ考ヘテモ其ノ間ニ於ケル抵抗水頭ヲ h_l トスレバ AB 間ト同樣ニシテ $\frac{p_C}{w}$ ヨリモ C 點ノ壓力水頭ハ低シ、

サレバ抵抗ヲ加算シタル實際ノ水力勾配線ハ $A'_1B'_1C'_1$ ノ如キ

之ヲ水ノ場合ニ書キ変ヘル $\rho = Const$

$$gZ + \frac{p}{\rho} + \frac{1}{2}C^2 = Const$$

$$Z + \frac{p}{\gamma} + \frac{1}{2}\frac{C^2}{g} = H \text{ ——①}$$

$Z \to$ 長サ

$\frac{p}{\gamma} \to \frac{F \times L^{-2}}{F L^{-3}} \to L$ 長サ

$\frac{C^2}{g} \to \frac{L^2T^{-2}}{LT^{-2}} \to L$ 長サ

従テ $H \longrightarrow$ 長サ $[L]$

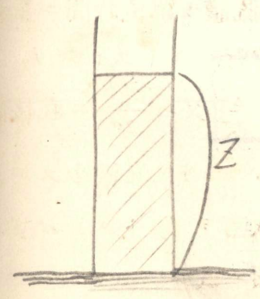
上式ハ流体ノ単位質量ニツキ与ヘラレタル式ナリ

総テ単位重量ノ式トナル

単位時間ニ流レル液ノ全重量ヲ $W = \gamma Q$ kg/sec トスレバ

$$\gamma Q Z + \gamma Q \frac{p}{\gamma} + \frac{1}{2}\frac{\gamma Q C^2}{g} = \gamma Q H$$

サレバ ①式ハ $\gamma Q = W = 1$ kg ノ H ノ式ナリ



energyノ差ヲ高サデ表ス丁ガ出来ル

モノデ $B'_1B_1=h_{l1}$ $C'_1C_1=h_{l1}+h_{l2}$ デアル、

從ツテ抵抗水頭ヲ加算シタル實際ノ「ベルヌイ」ノ方程式ハ次ノ如キモノデナケレバナラヌ、

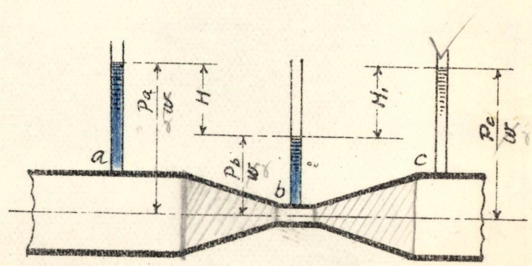
$$H=z_1+\frac{p_1}{w}+\frac{v_1^2}{2g}=z_2+\frac{p_2}{w}+\frac{v_2^2}{2g}+h_l$$
$$=z_3+\frac{p_3}{w}+\frac{v_3^2}{2g}+h_l+h_{l2}=H.$$

一五、「ヴエンチユリメーター」、
Venturi meter.

「ヴエンチユリメーター」ハ「ベルヌーイ」ノ定理ヲ應用シテ管中ヲ流ルル水量ヲ計測スル裝置デアツテ第十七圖ニ示スガ如シ、

今 $a.b.c$ ニ液柱計ヲ立テルトキハ、液柱計ハ各其ノ相當位置ノ壓力ヲ指示スルヲ以テ此ノ讀ミヨリ次ノ計算ヲ行ヒテ流量ヲ知ルコトヲ得、

第十七圖



$$\cancel{z_a}+\frac{p_a}{w\gamma}+\frac{v_a^2}{2g}=\cancel{z_b}+\frac{p_b}{w\gamma}+\frac{v_b^2}{2g}$$

即チ $$\frac{1}{\gamma w}(p_a-p_b)=\frac{1}{2g}(v_b^2-v_a^2)+(z_b-z_a).$$

Z : 位置水頭

$\frac{p}{\gamma}$: 圧力 〃 〃

$\frac{c^2}{2g}$: 速度 〃 〃

H : 全水頭

伊 Venturi 原理.

米 Clemens Herschel 完成 1883

流量測定

マノメーター 2ツ

其ノ差 Hヲ見ル

$$Q=k\sqrt{2gh}$$

$v_b > v_a$

又連續流レノ定則ニ依リ、
Steady flow

$$v_a A_a = v_b A_b = Q. \qquad v \ldots\ldots \text{速力},$$

$$\therefore \quad v_a = \frac{Q}{A_a} \qquad v_b = \frac{Q}{A_b} \qquad A \ldots\ldots \text{面積},$$

$$Q \ldots\ldots \text{流量},$$

之ヲ上式ニ代入スレバ

$$\frac{1}{w}(p_a - p_b) = \frac{Q^2}{2g}\left(\frac{1}{A_b^2} - \frac{1}{A_a^2}\right) + (z_b - z_a).$$

基準線ヲ管ノ中心線ニトレバ　$z_b - z_a = 0.$

又 $\frac{1}{w}(p_a - p_b) = h$ ハ液柱計ニヨリテ計測シ得

故ニ之等ノ値ヲ上式ニ代入スレバ

$$h = \frac{Q^2}{2g}\left(\frac{1}{A_b^2} - \frac{1}{A_a^2}\right).$$

或ハ

$$Q = \frac{A_a A_b}{\sqrt{A_a^2 - A_b^2}} \times \sqrt{2gh}. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$

實際ノ計器ニアリテハ管内ノ諸抵抗ニヨリ Q ハ上記理論上ノモノヨリ稍少ニシテ、

$$Q = K A_a A_b \sqrt{\frac{2gh}{A_a^2 - A_b^2}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (10)$$

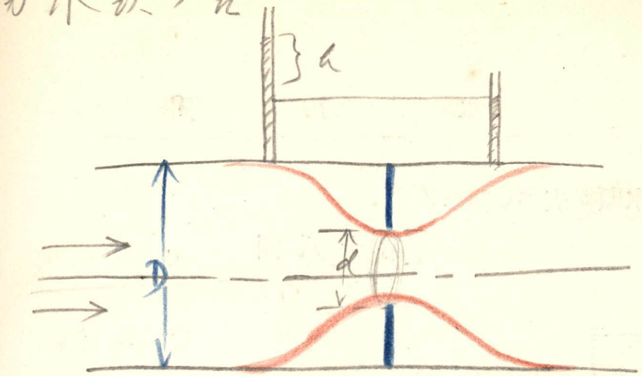
但シ K ハ計器ニヨリテ異ナル恒數ニシテ約 0.98 ナリ、

一六、「ピトー」管、
Pitot tube.

動 壓 力、

高サ z ナル一定ノ位置ニ於テハ p ガ大ナラバ v ハ小デアリ p ガ小ナラバ v ハ大デアル、即 $\frac{p}{w}$ ト $\frac{v^2}{2g}$ トノ和ハ一定デアル、此ノ和タル $\frac{p}{w} + \frac{v^2}{2g}$ ヲ全部壓力ニ換算スレバ $\left(p + w\frac{v^2}{2g}\right)$ ナル壓力トナルノデ此ノ壓力ヲ動壓力ト呼ブ、從ツテ $\left(\frac{p}{w} + \frac{v^2}{2g}\right)$ ハ動壓力ニ

圧力水頭ノ差



$$Q = \frac{A \times 4.5\sqrt{h}}{\left(\frac{D}{d}\right)^2 - \left(\frac{d}{D}\right)^3} \; \mathrm{ft}^3/\mathrm{sec}$$

$$Q = K A_a A_b \sqrt{\frac{2gh}{A_a^2 - A_b^2}}$$

$$\downarrow$$

$$[0.98]$$

他ノ流量計

1. 「ボルトマン」ノ流量計
2. 翼車式ノ流量計
3. オリフィスメーター

水道水

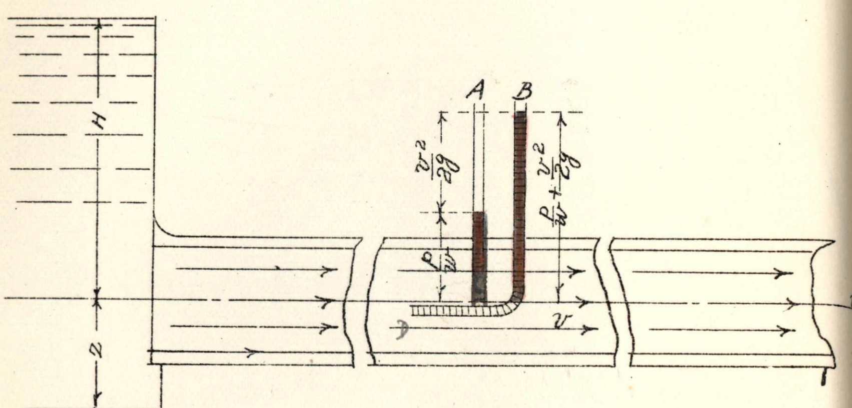
板ノ中央ニ穴アリ其ノ前後ニ液柱計アリ其ノ差ヲハカル

流速測定

氣体ノ速度

等シキ水頭ヲ表ス、

第十八圖



「ピトー」管

「ピトー」管、

今水平ニ置カレタル管ノ中ニ液ガ整一ナル速度 v ヲ以テ流ルル場合ニ其ノ管壁ニ A ナル細管ヲ立テレバ液ハ此ノ中ニ $\frac{p}{w}$ ナル高サマデ上ル、然ルニ先端ガ流レノ方向ニ向ヒテ曲レル B ナル細管ヲ立テルト液ハコノ中ニ $\frac{p}{w}+\frac{v^2}{2g}$ ナル高サニ達スル、

サレバ A 管ニテハ液ハ靜壓力ニ相等スル高サニ上リ、B 管ニテハ動壓力ニ相當スル高サニ達ス、故ニ A. B. 兩管ノ液面ノ差ハ速度水頭 $\frac{v^2}{2g}$ ニ相當スル、從ツテ A. B 兩管ヲ組合セテ速度水頭ヲ讀ミ、流レノ速度 v ヲ求メルコトガ出來ル、

此ノ場合 A, B 兩管ヲ「ピトー」管ト云フ、

A : 静圧力 $\frac{p}{\gamma}$

B : 動圧力 $\frac{p}{\gamma}+\frac{v^2}{2g}$

C : 速力影響セズ

D : 流速がヘッドトナル

単位ハ長サ

$h=\frac{v^2}{2g}$

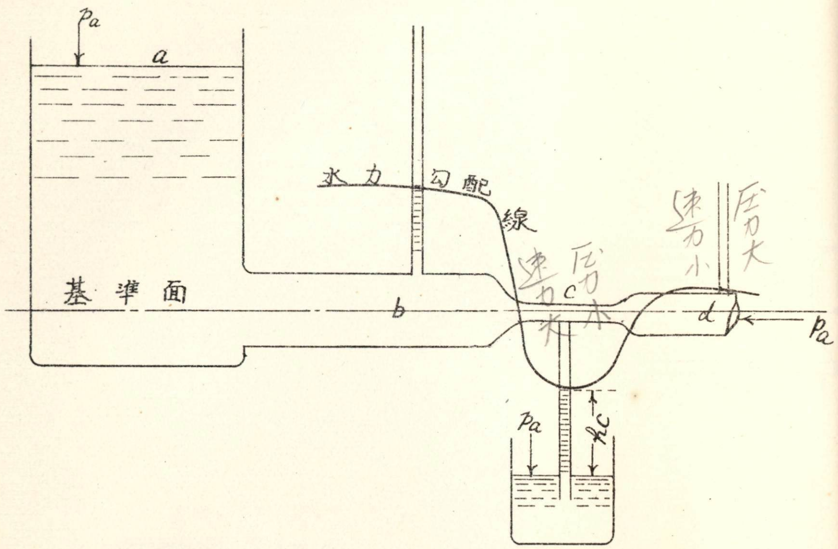
$\therefore v=k\sqrt{2gh}$ $(k\fallingdotseq 1)$

100cm

$v=0.95\sqrt{2g\times 100}$

一七、「エヂエクター」「ポンプ」
Ejector pnmp.

第十九圖



「エヂエクター」「ポンプ」

第十九圖ノ如キ裝置ニ於テ $c.d$ 各點ニ關シテ「ベルヌイ」ノ方程式ヲ作レバ

$$z_c+\frac{p_c}{w}+\frac{v_c^2}{2g}=z_d+\frac{p_d}{w}+\frac{v_d^2}{2g}.$$

管ノ中心線ヲ基準面ニトレバ

$$z_c=z_d=0$$

又 a 及 d 點ニ於テハ大氣壓 p_a ヲ受クルモノナレバ　上式ハ

$$\frac{p_c}{w}+\frac{v_c^2}{2g}=\frac{p_a}{w}+\frac{v_d^2}{2g}.$$

連續流レノ定則ヲ應用スレバ

$$v_c=\frac{Q}{A_c}\qquad v_d=\frac{Q}{A_d}$$

D点ノ圧力ハ大気圧ナリ

C点ノ圧力ハ大気圧ヨリ小

之ヲ上式ニ代入スレバ

$$\frac{p_c}{w}+\frac{Q^2}{2g}\frac{1}{A_c^2}=\frac{p_a}{w}+\frac{Q^2}{2g}\frac{1}{A_d^2}$$

即チ $$\frac{1}{w}(p_a-p_c)=\frac{Q^2}{2g}\left(\frac{1}{A_c^2}-\frac{1}{A_d^2}\right)\text{............} \quad (11)$$

故ニ $A_d>A_c$ ナレバ p_c ハ大氣壓力以下ニナルヲ以テ圖ノ如ク水ヲ吸ヒ上ゲ其ノ高サ (h_c) ハ

$$h_c=\frac{1}{w}(p_a-p_c)$$

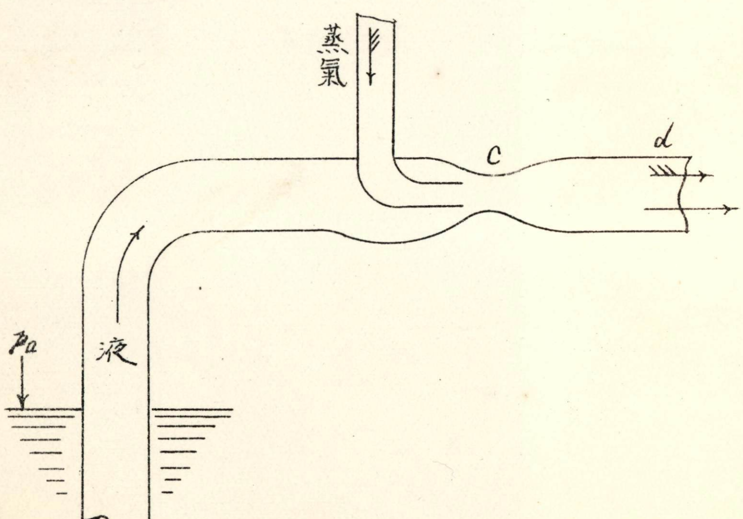
ニ達ス、

「エヂエクター」「ポンプ」ハ此ノ原理ヲ應用シタモノデ

$$h_c=\frac{Q^2}{2g}\left(\frac{1}{A_c^2}-\frac{1}{A_d^2}\right)=\frac{1}{2g}\frac{Q^2}{A_d^2}\left(\frac{A_d^2}{A_c^2}-1\right)\text{..............} \quad (12)$$

デアルカラ所要ノ h_c ニ應ジ $\frac{A_d}{A_c}$ ノ値ヲ適當ニ選定シ低位置ニアル液體ヲ吸ヒ揚ゲテ所要ノ場所ニ供給シ、或ハ復水器内ノ眞空ヲ增進ス、

第二十圖



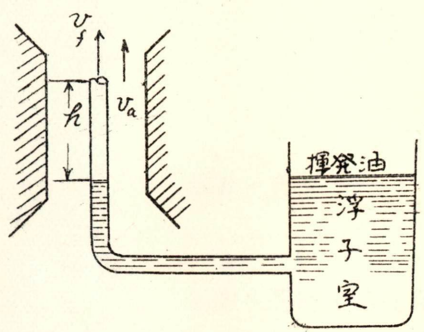
用途
ハ復水器ノ眞空増進

問 題

1. 某艦ノ「ビルヂ」放射器噴孔ハ「ビルヂ」水面ヨリ３米ノ高サニアリ、

本器ヲ使用シテ汚水ヲ排除スルニ當リ、汚水ノ最高溫度ヲ求ム、

90°C



2. 右圖ノ如キ氣化器ニ於テ流入空氣速度 (v_a) ガ增大スルニ伴ヒ混合瓦斯ハ漸次濃厚トナルコトヲ說明セヨ、

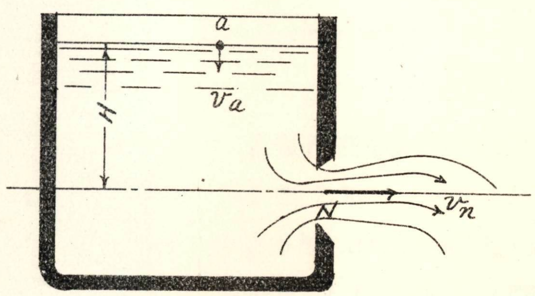
3. 30,000 S. H. P. ノ「タルビン」ノ蒸氣消費量試驗ヲ行フニ當リ、示差水銀「マノメーター」ガ 159 粍ヲ示ス「ベンチユリメーター」ヲ製作セントス、蒸氣消費量 6 kg/S.H.P./Hour ナル時、導管内ノ流速ヲ 5 m/s トシテ管及「ベンチユリメーター」ノ咽喉ノ直徑ヲ求ム、

第五章

流レ口ヨリ流出スル水

一八、水ノ流速、（物理學卷之一流體ノ流出參照）

第二十一圖



薄及流レ口

第二十一圖ニ於テ a 及 N 點ニ關シテ「ベルヌイ」ノ方程式ヲ作レバ

$$z_a+\frac{p_a}{w}+\frac{v_a^2}{2g}=z_N+\frac{p_N}{w}+\frac{v_n^2}{2g}$$

然ルニ「ジエツト」ノ中ノ壓力ハ其レヲ圍ム周圍ノモノノ壓力ニ等シイカラ p_N ハ大氣壓デアツテ、從ツテ $p_N=p_a$

又噴口ノ中心ヲ基準面ニトレバ $z_a=H.$ $z_N=0$

故ニ上式ハ

$$H+\frac{p_a}{w}+\frac{v_a^2}{2g}=\frac{p_a}{w}+\frac{v_n^2}{2g}$$

近寄リ速度 v_a ガ噴出速度ニ比較シテ甚シク小ナル場合ニハ $v_a=0$ ト假定シ、

$$H=\frac{v_n^2}{2g}$$

即チ $v_n=\sqrt{2gH}$ ....(13)

一九、流速ノ係數、

實驗ニヨレバ流レ口ヨリ出ル水ノ速サハ $v_n=\sqrt{2gH}$ ヨリ算出セシ値ヨリ小ニシテ實速度ハ理論速度ノ約 98 % デアル、

實速度ト理論速度トノ比ヲ流速ノ係數ト云ヒ流レ口ノ型狀及廣サニヨリテ異ナル、一般ニ

$v=C_V\sqrt{2gH}$ ....(14)

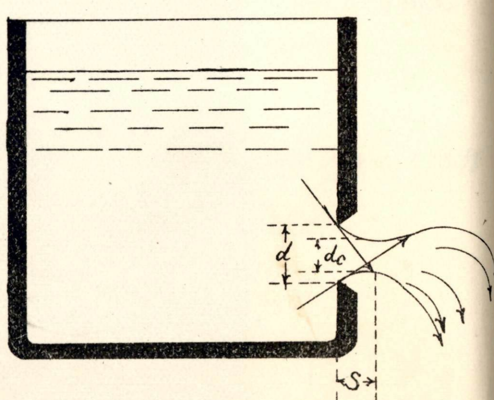
C_V＝流速ノ係數、

薄及流レ口ニ對シテハ C_V ハ約 0.98 デアル、

二〇、縮流ノ係數、

凡テ流體各分子ハ慣性ヲ有シ、己レノ進行方向ニ向ツテ直進セントスル結果、流レ口ノ平面ヨリ、ソノ直徑ノ約 $\frac{1}{2}$ $\left(s \fallingdotseq \frac{1}{2}d\right)$ ノ距離ノ處ニ於テ流管ノ直徑ガ最モ小トナル、

第二十二圖



第二十二圖ニ於テ $\dfrac{\frac{\pi}{4}d_c^2}{\frac{\pi}{4}d^2}=C_c$ トスレバ C_c ヲ縮流ノ係數ト云フ、

一般ニ　$C_c=\dfrac{A_c}{A}$　　但シ　A＝流レ口ノ面積、
縮流ノ最小横斷面積、

C_c ハ流レ口ノ形狀及流速等ニヨリテ異ナル數デアッテ 0.5 乃至 1 ノ間ニアル、

二一、流量ノ係數、

流レ口ヨリ出ル水ノ量 (Q) ハ理論上得ラルベキ量 (Q_t) ヨリモ少ク

$$\frac{Q}{Q_t}=C<1$$

C ヲ流量ノ係數ト云ヒ、水頭流レ口ノ面積及形狀位置等ニヨリ其ノ値ヲ異ニス、

$Q=A_c\times v$ 然ルニ $A_c=C_c A.$　$v=C_V\sqrt{2gH}$ ナルヲ以テ

$\therefore$　$Q=C_c\times C_V\ A\sqrt{2gH}.$ ………………………………(15)

$\therefore$　$Q_t=A\sqrt{2gH}.$

$\therefore$　$C=C_c\times C_V$　ナル關係アリ、

Smith ハ第二十三圖ノ如キ薄及圓形流レ口ヲ用ヒ一定時間中ニ流出シタル流量 (Q) ヲ計リ、之ト理論上得ラルベキ流量 Q_t トノ比即チ流量係數 (C) ヲ求メ第二十三圖ノ如キ成績ヲ得タリ、

A^c

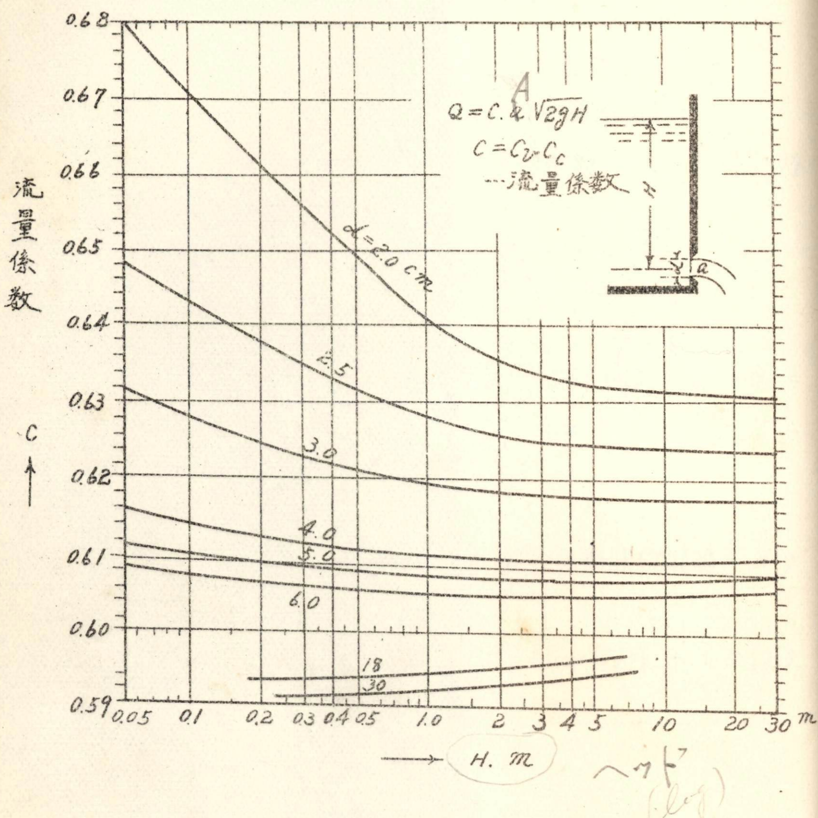
$\cancel{A}\ C_c$

$Q=A_c v=A_c C_v\sqrt{2gH}$

$Q_t=AV_n=A\sqrt{2gH}$

$C=C_v C_c$

第二十三圖 流量係數



二二、流レロノ流量係數、

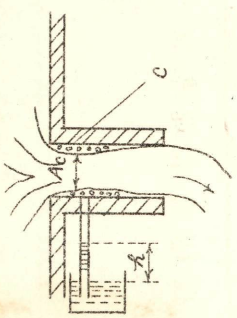
呑口トハ一ツノ管ニシテ其ノ長サハ孔口ノ直徑ノ二倍乃至三倍以下ノモノニシテ種々ナル形狀ノモノガアル、

流レロニ呑口ヲ附ケルト一般ニ摩擦抵抗、渦流、衝擊等ガ增加スルタメ速度ヲ減少スルガ流量ハ流管ノ斷面積ガ呑口ノ型狀ニヨツテ著シク異ナルタメ減少スルコトモアリ又增加スルコトモアル、

第二十四圖ノ如キ圓筒流レ口ヲ通ツテ水ガ出ル場合流管ハ先ヅ收縮シテ然ル後再ビ擴大シ圓筒內面ニ接觸シ管一杯ニナツテ流出スル。

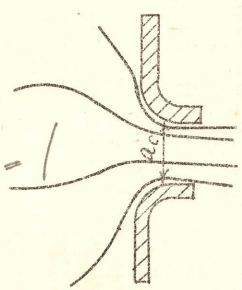
此場合 C 部ノ空氣ハ水ニ伴ハレテ排出セラレ、低壓ヲ生ジ多クハ渦ニテ充サレ、爲ニ A_c 部ノ流速增大シ、從ツテ流量係數及流量ハ薄刄型流レ口ノ如ク完全縮流ヲナス場合ヨリモ增加ス。

第二十四圖



第二十五圖

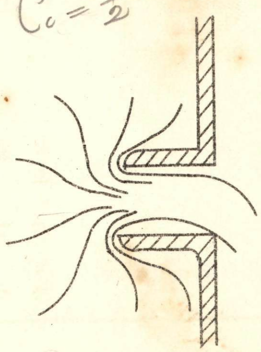
$C_c = 1$



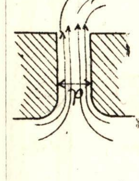
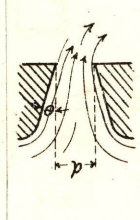
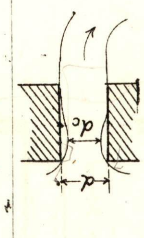
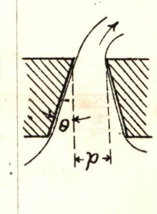
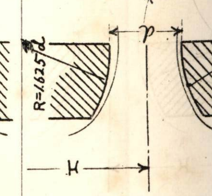
從ツテ第二十五圖ノ如ク流レ口ノ入口ノ形狀ヲ收縮シ射出水ノ周圍ニ近似セシメ、其ノ最小斷面ヲ a_c トスレバ縮流係數ハ殆ンド 1 ニ近ヅク、若シ反對ニ內側ニ突出スル流レ口（第二十六圖）ヲ附スレバ、入口ノ流向ノ轉換激シク縮流ハ一層著シク、縮流係數ハ殆ンド $\frac{1}{2}$ ニ近ヅク、次ニ種々ナル流レ口ニ對シテ實驗ニヨリ得タル流量係數ヲ示ス。

第二十六圖

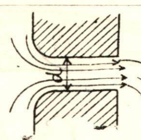
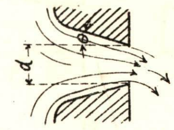
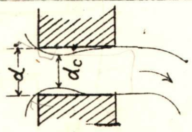
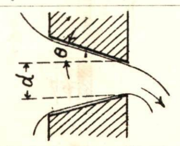
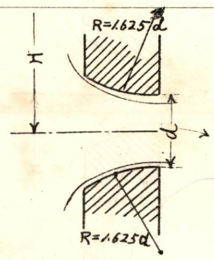
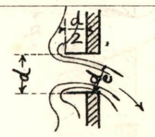
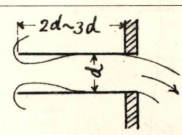
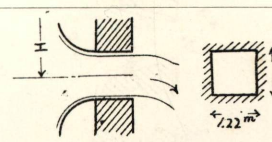
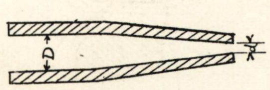
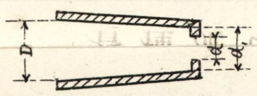
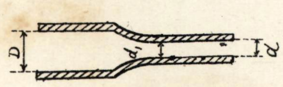
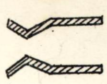
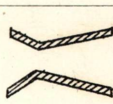
$C_c = \frac{1}{2}$



各種流レ口ノ流量係數表

名稱	型狀	流量係數
內角丸味ヲ有スル圓筒		C=0·97
內角丸味ヲ有スル錐筒		θ……0°　5°-45′　11°-15′　22°-30′　45° C=0·97　0·95　0·92　0·88　0·75
圓筒		C=0·83
錐筒		θ……0°　5°-45′　11°-15′　22°-30′ C=0·83　0·94　0·92　0·85
鈴形圓筒		水高 H m……0·02　0·50　3·5　17　103 C=0·959　0·967　0·975　0·994　0·994

各種流レロノ流量係數表

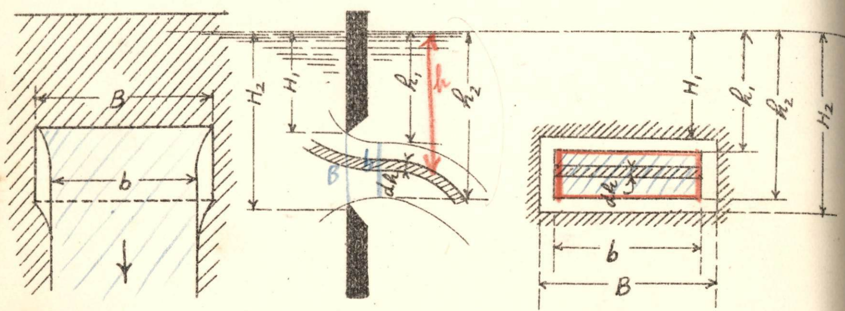
名稱	型狀	流量係數
內角丸味ヲ有スル圓筒		C=0·97
內角丸味ヲ有スル錐筒		θ……0° 5°−45′ 11°−15′ 22°−30′ 45° C=0·97 0·95 0·92 0·88 0·75
圓筒		C=0·83
錐筒		θ……0° 5°−45′ 11°−15′ 22°−30′ C=0·83 0·94 0·92 0·85
鈴形圓筒		水嵩 Hm……0·02 0·50 3·5 17 103 C= 0·959 0·967 0·975 0·994 0·994
「ボルダ」標準內向圓筒		C_v=0·96 C_c=0·52 C=0·51
「ボルダ」內向圓筒		C_v=0·72〜0·80 C_c=1 C=0·75
內向鈴形方形		水嵩 Hm……1·5 4·6 7·6 C= 0·93 0·89 0·92
射水管		D=63·5 mm· d mm.…19 22·2 25·4 28·6 31·75 35 C= 0·983 0·982 0·972 0·976 0·971 0·959
環狀射水管		C=0·74 D=50·8 mm., d_1=38 mm., d=32 mm. ニテ實驗
射水管		C=0·983 D=64 mm., d_1=40 mm., d=29 mm. ニテ實驗
狹搾部ヲ有スル短管		C=0·81
仝上		C=0·91

本表ハ物部長穗著水理學ヨリ拔萃ス、

二三、矩形切り缺キ流量計、
Rectanguler Gauge Notch.

孔ノ高サガ其ノ水頭ニ比シ割合ニ大ナルトキハ、孔ノ直立斷面內ノ速度ハ其ノ位置ニヨリ異ル、然レドモ縮流ノ同一水面ニ於テハ一定ト考ヘルコトヲ得、今第二十七圖ニ示ス如ク縮流中ニ流線帶ヲ取リ、其ノ厚サ dh, 自然面ヨリノ高サヲ h トスレバ孔ヨリノ總計流量ハ

第二十七圖



下流ヨリ見タル　　斷　面
正　面

$$Q=b\sqrt{2g}\int_{h_1}^{h_2}\sqrt{h}dh.$$

$\frac{2}{3}$

$$=\frac{3}{2}b\sqrt{2g}\left\{h_2^{\frac{3}{2}}-h_1^{\frac{3}{2}}\right\}\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\ (16)$$

今 b, h_1, h_2 ノ代リニ B, H_1, H_2 ヲ用フレバ實驗的ニ次式ヲ得即チ

$$Q=\frac{2}{3}\sqrt{2g}C.B\left\{H_2^{\frac{3}{2}}-H_1^{\frac{3}{2}}\right\}\ \cdots\cdots\cdots\cdots\ (17)$$

$$dQ = b\sqrt{2gh}\,dh$$

v

$$\therefore\ Q = b\sqrt{2g}\int_{h_1}^{h_2}\sqrt{h}\,dh$$

$$= \frac{2}{3}b\sqrt{2g}\left\{h_2^{\frac{3}{2}} - h_1^{\frac{3}{2}}\right\}$$

式中

$$C=\frac{b\left\{h_2^{\frac{3}{2}}-h_1^{\frac{3}{2}}\right\}}{B\left\{H_2^{\frac{3}{2}}-H_1^{\frac{3}{2}}\right\}}$$

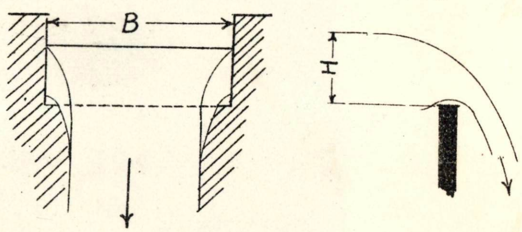
ニシテ、孔ノ大小並ニ水頭ニ依リ其ノ値ヲ異ニス、

若シ水ガ呑口ニ向ケ v_0 ノ速力アリシモノトセバ v_0 ニ起因スル水頭 $h_0=\frac{v_0^2}{2g}$ ニシテ (17) 式ハ即チ

$$\boxed{Q=\frac{2}{3}\sqrt{2g}CB\left\{(H_2+h_0)^{\frac{3}{2}}-(H_1+h_0)^{\frac{3}{2}}\right\}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (18)$$

第二十八圖ハ矩形切リ缺キ流量計ニシテ、兩側及ビ底部即チ閾(Sill.)ハ薄双形ニ作ラレ完全縮流ヲナスモノトス、此ノ場合ニ於ケル流量ハ (17) 式ヨリ

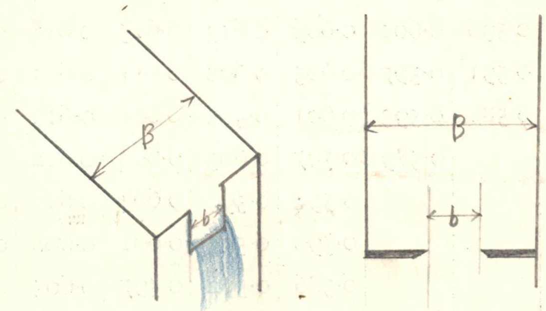
第二十八圖



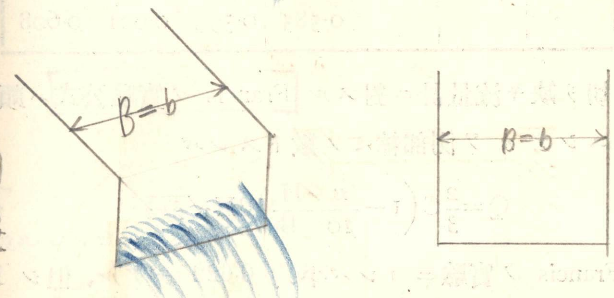
$$Q=\frac{2}{3}CBH\sqrt{2gH} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (19)$$

ヲ得、C ハ流量係數ニシテ場合ニヨリ其ノ値ヲ異ニス、次表ハ完全縮流ノ場合ニ於ケル Hamilton Smith ノ實驗値ナリ、

(i) 縮流堰



(ii) 平端堰



$H_1=0 \quad H_2 \rightarrow H$

h cm.	切リ缺キノ長サ b m.						
	0·2	0·3	0·6	0·9	1·5	3·0	5·8
3	0·633	0·640	0·647	0·653	0·654	0·656	0·657
5	0·618	0·624	0·634	0·638	0·640	0·614	0·642
7	0·606	0·613	0·622	0·625	0·627	0·629	0·630
9	0·601	0·608	0·616	0·619	0·621	0·624	0·625
12	0·596	0·602	0·609	0·613	0·615	0·618	0·620
15	0·591	0·597	0·605	0·608	0·611	0·615	0·617
18	0·588	0·593	0·601	0·505	0·608	0·613	0·615
22		0·589	0·597	0·603	0·606	0·612	0·614
26			0·594	0·599	0·604	0·610	0·613
30			0·590	0·595	0·601	0·608	0·611
35			0·586	0·592	0·597	0·605	0·610
45				0·585	0·593	0·601	0·608

薄及矩形切リ缺キ流量計ニ對スル Francis ノ實驗公式ハ頗ル便利ナルモノニシテ n ヲ側部縮ミノ數トスレバ

$$Q=\frac{2}{3}C\left(1-\frac{n}{10}\frac{H}{B}\right)BH\sqrt{2gh}$$

C ノ値ハ Francis ノ實驗ニヨレバ平均 0.622 デアル、但シ B ハ 1〜3 米、H ハ 0.18〜0.5 米ノ場合トス、此ノ C ノ値ヲ上ニ挿入スレバ

$h_0=0$ ナル場合

$$Q=1{\cdot}84\left(b-\frac{n}{10}H\right)H^{\frac{3}{2}} \quad \text{.................} \quad (20)$$

トナル。

$$Q=1.84\left(b-\frac{n}{10}H\right)\left\{(H+h_0)^{\frac{3}{2}}-h_0^{\frac{3}{2}}\right\} \text{ — } (20)$$

「Francis」実験公式

$$Q=\frac{2}{3}C\left(b-\frac{n}{10}H\right)\sqrt{2g}\left\{(H+h_0)^{\frac{3}{2}}-h_0^{\frac{3}{2}}\right\} \text{ — } (20)$$

(i) $n=2$ 　 B — 1〜3 m, H — 0.18〜0.5 m 　 $C=0.622$

(ii) $n=0$

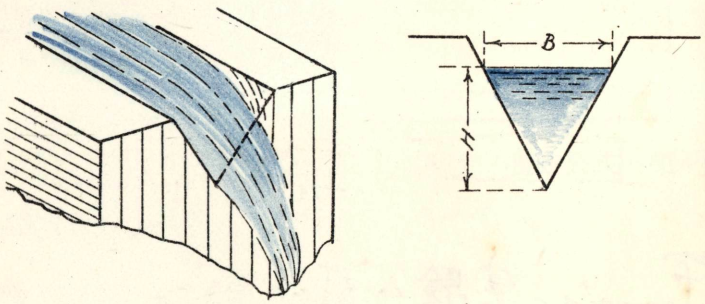
$$\frac{2}{3}C\sqrt{2g}=1.84$$

$$Q=1.84\left(b-\frac{n}{10}H\right)\left\{(H+h_0)^{\frac{3}{2}}-h_0^{\frac{3}{2}}\right\} \text{ — } (20)$$

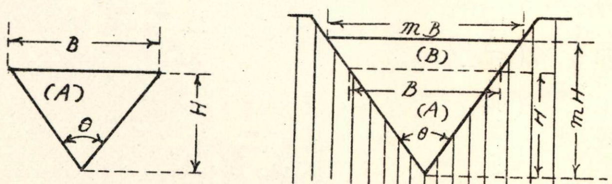
二四、三角形切リ缺キ流量計、

切リ缺キガ自然面ニ對シ相似ノ位置ニアリ、而モ其ノ形ガ相似ナラバ流量ハ底邊ノ長サノ $^5/_2$ 乘ニ比例スル、矩形切リ缺キニアリテハ水頭ガ變ルトキハ相似ノ關係ヲ失フケレ共二等邊三角形ニアリテハ水頭ノ如何ニ關ハラズ水流ノ横斷面ハ常ニ相似トナル、故ニ後者ノ場合ニ於ケル流量ニハ相似ノ道理ヲ應用スルコトガ出來ルカラ、一流量計ヲ以テ h ガ異ナル場合ニモ同一公式ヲ用ヒルコトヲ得、是レ矩形切リ缺キニ比シ大ニ利益トスル所デアル、

第二十九圖



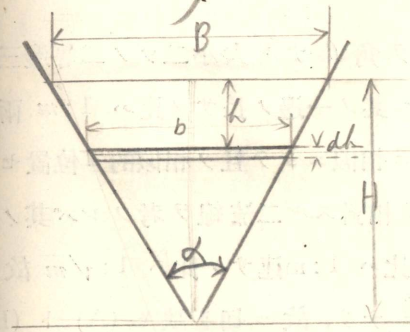
第二十九圖ノ二



流量計

矩形 → $Q = K H^{\frac{3}{2}}$

三角形 → $Q = k H^{\frac{5}{2}}$



$$\frac{b}{B} = \frac{H-h}{H} \quad \therefore b = B\left(\frac{H-h}{H}\right)$$

$$dQ = C\, b\, dh \sqrt{2gh}$$

$$Q = C\int_0^H b\sqrt{2gh}\, dh$$

$$= C\int_0^H B\left(\frac{H-h}{H}\right)\sqrt{2gh}\, dh$$

$$= \frac{C\sqrt{2g}\,B}{H}\int_0^H h^{\frac{1}{2}}(H-h)\, dh$$

$$= \frac{C\sqrt{2g}\,B}{H}\underbrace{\left(\frac{2}{3}H^{\frac{5}{2}} - \frac{2}{5}H^{\frac{5}{2}}\right)}_{\frac{4}{15}H^{\frac{5}{2}}}$$

$$= \frac{4}{15}C\sqrt{2g}\,B H^{\frac{3}{2}}$$

第二十九圖ノ如キ場合ニ於テ水頭 H ノ大小ニ關ラズ常ニ水流ノ横斷面ハ相似ナルヲ以テ其ノ流量ハ相似ノ道理ヲ應用シテ次ノ如ク說クコトヲ得、

今第二十九圖ノ二ニ於テ角 θ ナル大小二ツノ二等邊三角形 (A), (B) ヲ取リテ比較スルニ其ノ一邊ノ長サノ比ハ $1:m$ 兩流レロニ於テ流線ヲ考フレバ互ニ相似ニシテ且ツ相似的ニ位置セル流線ヨリ成リ立ツベシ、隨ツテ相對スル二流線ヲ考フレバ其ノ截斷面積ノ比ハ $1:m^2$ 深サノノ比ハ $1:m$ 速サノ比ハ $1:\sqrt{m}$ 故ニ此等兩流線ノ流量ノ比ハ $1:m^{\frac{5}{2}}$ ナリ、故ニ切リ缺キ (A) ト (B) トノ總計流量ノ比ハ $1:m^{\frac{5}{2}}$ ナルベシ、

一流量計ニ於テ H ガ異ナル時モ其ノ關係ハ同樣ニ表ハシ得ベシ、

依リテ一般ニ

$$Q=(\text{定數})\times H^{\frac{5}{2}}$$

此ノ式ハ又次ノ如ク書直シ得、

$$Q=\frac{1}{2}CBHk\sqrt{2gH}$$

但シ k ハ縮流ノ平均速サト水頭 H ニ對スル速サトノ比ヲ表ハス係數ニシテ略 $^8/_{15}$ ナリ、

故ニ

$$Q=\frac{4}{15}CBH\sqrt{2gH} \qquad \text{(21)}$$

直角二等邊三角形切リ缺キニアリテハ

$$Q=1{\cdot}4H^{\frac{5}{2}}\ \mathrm{m^3/s} \qquad \text{(22)}$$

$$\tan\frac{\alpha}{2}=\frac{B}{2H}$$

$$\therefore\ Q=\frac{8}{15}C\sqrt{2g}\left(\tan\frac{\alpha}{2}\right)H^{\frac{5}{2}}$$

$\alpha=90°$ナル場合ハ $\tan\frac{\alpha}{2}=1$.

$$\therefore\ Q=\frac{8}{15}C\sqrt{2g}\,H^{\frac{5}{2}}$$

Cハ一般ニ高サニ依ル変ル

シカシ「トムソン」ノ実験結果ニ依ルト

高サガ 0.05〜0.18 m ノ範囲ニ

於テハ Cノ値ハ殆ンド一定値ヲ有ス

$$C=0.593$$

之ヲ代入スルト

$$Q=1.4\,H^{\frac{5}{2}}\ (\mathrm{m^3/sec})$$

問 題

1. 軸室ヲ通ル海水吸入管ニ直徑 6 粍ノ穿孔ヲ生ジタリ。

孔ノ位置水線下 1.07 米ナル時、何時間ニシテ推進軸ガ海水ニ浸漬セラルルヤ。

但シ、推進軸以下ノ軸室容積ハ 10 立方米ナリ。

1. 円筒ノ場合ハ C=0.83 ヲ掛ケズ
C=1ヲ用ヒ之ニ依リテ求メタ値ヲ以テ
長ク要スルトスベシ

$$Q = C_c \times C_v A\sqrt{2gH}$$

$$= C A\sqrt{2gH}$$

$$= 1 \times \pi \times (0.03)^2 \sqrt{2g \times 1.07}$$

$$= 0.0028 \times \sqrt{21}$$

$$= 0.0028 \times 4.57$$

$$= 0.0128$$

$$T = \frac{10}{0.0128} \fallingdotseq 781$$

$$\frac{781}{60} = 13$$ 答 13分以上

田中和四郎教官

第六章
管内ニ於ケル水ノ流動

二五、管水路、

管水路トハ斷面形ノ如何ヲ問ハズ、水流ガ凡テノ斷面ニ於テ充滿シテ流レ、自由表面ヲ有セザル場合ノ水路ヲ云フ、

二六、摩擦損失、

(一)　水平ニ置カレタル管内ヲ完全流體ガ流線運動ヲナス場合ニハ「ベルヌーイ」ノ定理ニヨリ、

$$\frac{p}{w}+\frac{v^2}{2g}=\text{定數}$$

デアル、

然レ共實際上液體ハ多少ノ粘性ヲ有スルカラ、之ガ管内ヲ流動スル場合ニハ水ト管壁トノ間及水ノ各分子ノ間ニ摩擦抵抗ヲ伴フモノデアル、此ノ摩擦抵抗ニ打チ勝ツ爲メ相當ナル水頭ガ費消セラレ、此ノ場合消費セラレタ水頭ヲ摩擦損失ト云フ、管中ニ於ケル摩擦損失ハ多クノ實驗成績ヨリ判斷スルニ一般ニ次ノ法則ニ從フモノデアル、

層状運動

流線運動ヲナス場合、

1. 速度ニ正比例ス、
2. 流體ノ接觸面積ニ正比例ス、

ベルヌイノ定理

実験式

w→単位容積ノ流体ノ重量

常識トシテ心得ヘヨ

3. 流體ノ壓力ニ關係無シ、
4. 接觸面ノ性質ニ關係無シ、
5. 温度ノ影響ガ大デアル、

亂レ運動ヲナス場合、

1. 略ボ速度ノ自乘ニ比例ス、
2. 流體ノ接觸面積ニ正比例ス、
3. 流體ノ壓力ニ關係無シ、
4. 接觸面ノ性質ハ大ナル關係ヲ有ス、
5. 温度ニヨリ多少影響ヲ受ケル、
6. 流體ノ密度及粘サニ正比例ス、

物理的性質及現象ニ於テ流體摩擦ガ固體摩擦ト異ナル最モ著シキ點ハ前述ノ如ク、固體摩擦ハ接觸面ニ働ク直壓力ニ正比例スルモノデアルケレ共、流體摩擦ハ壓力ニハ無關係ナルコトデアル、之レ壓力ノ高キ水壓機ガ效率良好ナル原因デアリ、數個ノ渦卷喞筒ヲ並列シタル多段渦卷喞筒ノ各段ノ效率ガ凡テ相等シト云フガ如キ、幾多ノ重大ナル科學的決定ヲ與フル所以デアル、

(二) 摩擦損失ヲ表ハス公式、

實驗ノ結果流體摩擦ノ大イサハ一般ニ次式ニテ表ハサレル、

$F=fwS\frac{v^n}{2g}$　　F＝摩擦力

f＝摩擦係數

w＝單位體積ノ流體ノ重量

S＝浸水面積

v＝水ノ速度

更ニ

A＝流レノ横斷面積

③

氣体ノ流レ，圧力変化アル体ハ 流体ノ圧力ニ
関係ナキニシモアラズ.

高圧水圧ポンプノ効率良好ナルハ此ノタメナリ

多段渦巻喞筒ノ各段ノ効率ガ相等シ.

⑤

洋上補給迅速ナルベシ

機関参謀　補給計画

1時間　200噸

夏200トン積メルナラバ冬ハ150トン位
シカ積メナイ. 之ハ温度ガ影響スル
一例デアル。

s＝横斷面浸水ノ周縁

l＝流レノ長サ

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

トスレバ $S=sl$ トナリ摩擦抵抗ヲ水頭 h ニテ計レバ

$$h=\frac{F}{wA}=\frac{fwsl}{wA}\cdot\frac{v^n}{2g}=f\frac{l}{m}\frac{v^n}{2g} \quad\text{..........................}(23)$$

水ノ速度 v ノ指數 n ハ速度ニヨリ異ナルモノニシテ v ガ僅小ナルトキ即チ流線運動ノ場合ニアリテハ

$$n=1$$

v ガ臨界速度以上ナルトキ即チ亂レ運動ノ場合ニアリテハ

$$n=1\cdot7\sim2\cdot1$$

トナリ實用上 $n=2$ トナスモ差支ナシ、故ニ本項以後ノ各式ニ於テハ $n=2$ ヲ代用スル、

(三) 導管内ニ於ケル流水ノ摩擦損失、

等齊導管内ヲ水ガ充滿シテ流ルル場合ニハ、一般ニ次ノ公式ニ依ル、

→ d ヲ用ヒラレル

$$h=f\frac{l}{d}\frac{v^2}{2g}$$ weis bach ノ公式 ......(24)

l＝管ノ長サ

d＝直徑

f＝摩擦係數

$\frac{v^2}{2g}$＝平均速度ニ基因スル速度水頭

摩擦係數ハ實驗ノ結果次ノ如キ性質ヲ有スルコトヲ知ル、

1. 同ジ管中ニ於テモ速度増加スルニ從ヒ f ノ値ヲ減ズ、
2. 同ジ速度ニ於テモ管徑増大スルニ伴レ f ノ値ヲ減ズ、

$$h=\frac{F}{wA}=\frac{fwls\frac{v^n}{2g}}{wA}=\frac{fls\frac{v^n}{2g}}{ms}$$

$$=\frac{fl}{m}\times\frac{v^n}{2g}$$

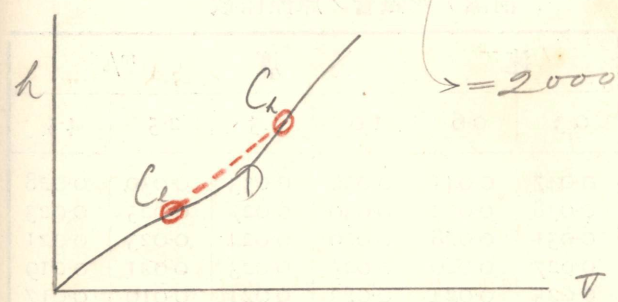
(n) 流線運動 $n=1$

水ノ場合 $n\fallingdotseq2$

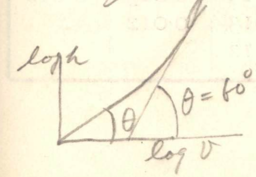
レイノルズ数 $=\frac{vd}{\lambda}$ 　v＝流ノ速度、d＝流ノ巾、λ＝動性粘性係数

流レノ速度ノ増減ニ伴ヒテ変化スル.

→ ＝2000 : 水ノ場合



$$\log h=n\log v$$



θ=45 　$\tan\theta=1$ 　$n=1$

θ=60° 　$\tan\theta=1.7$ 　$n\fallingdotseq2$

3. 管ノ内壁ノ性質ニヨリ大ニ其ノ値ヲ異ニシ面ガ粗雑ナル程 f ノ値ヲ増加ス。

新シキ鑄鐵管ニ對スル f ノ値ヲ表ハス公式ヲ次ニ示ス。

(1) 水速低ク管徑小ナル場合。

$$f=0.02+\frac{1}{2000\,d} \text{ .... Darcy ノ公式 .... (25)}$$

d=管ノ内徑 (m)

(2) 水速大ニシテ管徑モ亦大ナル場合。

$$f=0.0105\frac{1}{d^{0.25}\,V^{0.14}} \text{ .... Saph ノ公式 .... (26)}$$

d=管ノ内徑 (m)

V=水速 (m/s)

垢ツキタル古キ鑄鐵管ニ對シテハ上記公式ヨリ得タル f ノ 2 倍ヲ採用ス。

新シキ鐵管ノ摩擦係數 f ノ平均値ハ 0.02 ニシテ次表ニ種々ナル直徑及速度ニ於テ實驗シテ得タル成績ヲ參考ノタメ掲ゲル。

清潔ナル鐵管ノ摩擦係數

直徑 (cm)	速度 m/s					
	0·3	0·6	1·0	1.5	2·5	4·5
1·5	0·047	0·041	0·036	0·033	0·030	0·028
3	0·038	0·032	0·030	0·027	0·025	0·023
8	0·031	0·028	0·026	0·024	0·023	0·021
16	0·027	0·026	0·025	0·023	0·021	0·019
30	0·025	0·024	0·023	0·021	0·019	0·017
40	0·024	0·023	0·022	0·019	0·018	0·016
60	0·022	0·020	0·019	0·017	0·015	0·013
90	0·019	0·018	0·016	0·015	0·013	0·012
120	0·017	0·016	0·015	0·013	0·012	
180	0·015	0·014	0·013	0·012		

⑥ 概ノ速カ増加スルニ抵抗ハ少クナル
管ノ場合トハ異ルノデアル。

1.43/2.86

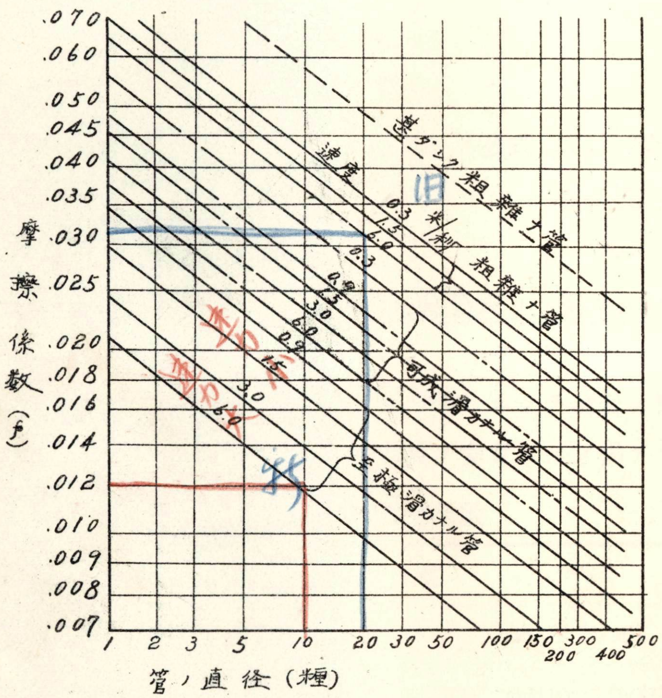
水速低ク → 乱レ運動ヲ起サヌ程ノ

12000

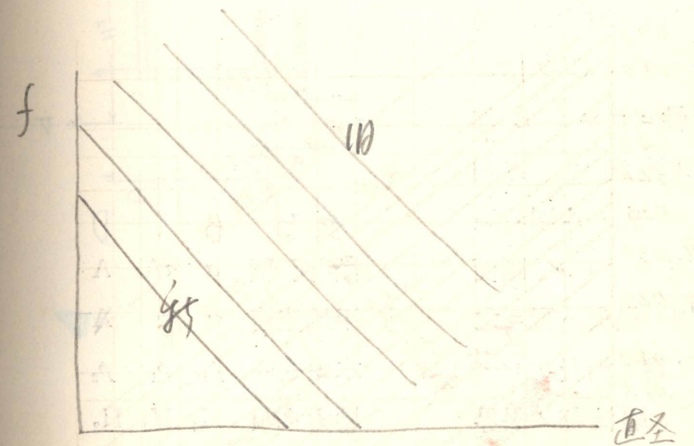
10090

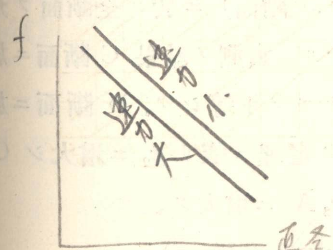
鑄鐵，木製，鉛，眞鍮，硝子，錬鐵，及鋲接手鋼管等ニ就キ Saph 及 Schoder ガ實驗ニヨリテ得タル成績ヲ參考ノタメ示セバ次ノ如シ、

第三十圖



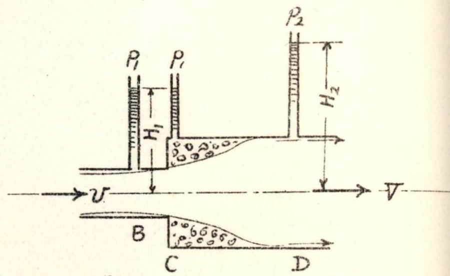
同一材料ニテ製作セラレタル管ニ於テモ面ノ精粗ノ度合ハ必シモ同一ナラズ、又使用狀況及使用年月ニ依リ面ノ狀態ハ異ルヲ以テ f ノ値ヲ劃一的ニ決定スルコトハ困難デアルカラ、上記公式及圖表ヲ參考トシ管ノ現狀ニ最モ適當セル數値ヲ採用シテ計算セナケレバナラヌ、





二七、斷面ノ急擴大ニヨル水頭損失、

第三十一圖



第三十一圖ニ於テ管内ニ充滿シテ流ルル水流ノC斷面ニ於テ面積ガ急ニ a ヨリ A ニ增大スル場合ヲ考フルニ C ヲ出ル際ハ惰性ニヨツテ B 部ト同一ノ流速 v ト方向トヲ有シ、其ノ外圍ハ渦ヲ以テ充タサレル、斷面急變ニ因ル損失ハ實ニ之ノ渦流ノ爲ニ消費サレルノデアル、順流部ノ限界面ハ漸次ニ擴大シ、同時ニ流速ハ漸次減少シテ、若干下流（D 斷面）ニ於テ全斷面ヲ充シ其レ以下ハ V ナル等速ノ流レトナル、實測ノ結果 C 斷面ニ於ケル管内ノ水壓 p_1 ハ B斷面ニ於ケルモノト等シク、D 斷面ニ於テハ流速ノ低減ニ伴ヒ「ベルヌイ」ノ定理ニ依リ p_2 ニ增大シ C, D ノ兩端ニ於テ總水壓ハ $p_1 a$ ヨリ p_2A ニ增大ス、m.

断面	B	C	D
斷面積	a	aA	A
平均流速	v	v	~~A~~ V
水壓強度	p_1	p_1	p_2
壓力水頭	H_1	H_1	H_2
管徑	d	dD	D

毎秒 B ヲ通過スル水ノ運動量 $=\left(\dfrac{w}{g}va\right)v$ 　M

毎秒 D ヲ通過スル水ノ運動量 $=\left(\dfrac{w}{g}\mathrm{V}\,\mathrm{A}\right)\mathrm{V}$

運動量ノ變化 $=\dfrac{w}{g}\left\{\mathrm{VAV}-vav\right\}$

然ルニ連續流レノ法則ニヨリ $va=\mathrm{VA}$.

運動量ノ變化 $=\frac{w}{g}VA(V-v)$

此ノ運動量ノ變化ヲ生ズルタメB及D間ノ水ニ働ク力ハ p_1a p_2A 及 $p_1(A-a)$ デアル、故ニ

$$\frac{w}{g}VA(V-v)=\cancel{p_1a}-p_2A+p_1(A-\cancel{a})$$

$$=A(p_1-p_2)$$

之ヲ變形スレバ

$$\frac{p_1}{w}+\frac{v^2}{2g}=\frac{p_2}{w}+\frac{V^2}{2g}+\frac{(v-V)^2}{2g}$$

即チ B.D 間ニ於ケル損失水頭 h_e ハ

$$h_e=\frac{(v-V)^2}{2g} \quad \cdots\cdots\cdots (27)$$

$va=VA$

或ハ $=\frac{v^2}{2g}\left(1-\frac{a}{A}\right)^2$

又ハ $=\frac{V^2}{2g}\left(\frac{A}{a}-1\right)^2$

理論上 h_e ハ斷面積ノミニ依テ定マルモ實際ハ a/A 及斷面形等ニ依テ渦流ノ狀況ヲ異ニスルヲ以テ

$h_e=f_e\frac{v^2}{2g}$ 即チ $f_e=\left(1-\frac{a}{A}\right)^2\times\mu_e$

ニテ表ハシ $\cancel{f_e}$ μ_e ハ實驗ニ依テ定メラル、 1ニ近キ数ナリ。

Newton ノ第二法則

$\frac{w}{g}VA(V-v)=A(p_1-p_2)$

之ヲベルヌイノ式ノ如クニ変形スレバ

流量Qナル流レ全体ガ失フエネルギーハ

$\gamma Q h_e$ デアル

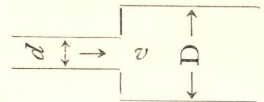
$f_e=\mu_e\left(1-\frac{a}{A}\right)^2$

↓

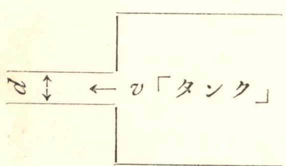
1ニ近キ数ナリ

斷面ノ急擴大ニヨル水頭損失係數表 (f_e)

$$h_e = f_e \frac{v^2}{2g}$$



D/d \ v m/sec	1	2	4	6	10	12
1·2	0·10	0·10	0·09	0·09	0·08	0·08
1·6	0·38	0·36	0·34	0·33	0·32	0·32
3·0	0·80	0·75	0·71	0·69	0·66	0·65
5·0	0·93	0·88	0·84	0·82	0.79	0·78
10·0	0·97	0·96	0·94	0·92	0·91	0·90
∞	1·00	1·00	1·00	1·00	1·00	1·00



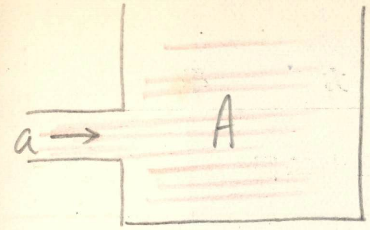
「タンク」ニ流入スル場合ニハ D/d ＝∞ ニ相等ス。

二八、斷面ノ急收縮ニヨル水頭損失、

第三十二圖ノ如ク斷面ガ急ニ縮少スル場合ニハ外周ノ水ハ急ニ方向ヲ轉ジ求心的ニ流レ D ニ於テ最小斷面トナル。BD 間ノ變化ハ壓力水頭ガ速力水頭ニ變ルダケデアルカラ勢力損失ハ少ク水頭損失係數ハ約 0.02 位デアル。

次ニ DE 間ノ變化ハ前項ノ場合ト同ジク

①

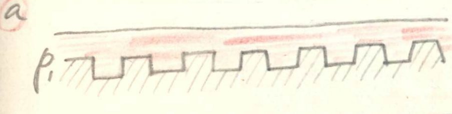


$\frac{a}{A} \doteqdot 0$

$h_e = \frac{v^2}{2g}(1-0) = \frac{v^2}{2g}$

$f_e \doteqdot 1$

② a



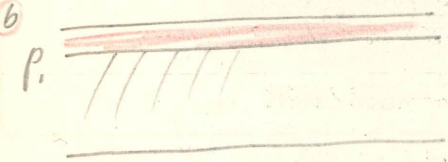
$p_2 \doteqdot 0$

迷路 Labyrinth packing

水頭差 $H = \frac{p_1 - p_2}{w} \doteqdot 0$

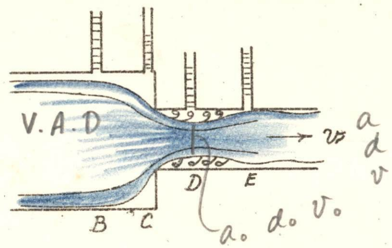
watertight

b



$p_2' > p_2$

第三十二圖



斷面積	A	a_0	a
管徑	D	d	d
平均流速	V	v_0	v

$$h'_c=\frac{v^2}{2g}\left(\frac{a}{a_0}-1\right)^2$$

然ルニ $\frac{a_0}{a}=C_c=$縮流ノ係數

故ニ $h'_c=\frac{v^2}{2g}\left(\frac{1}{C_c}-1\right)^2$

從ツテ斷面ノ急收縮ニヨル總水頭損失 (h_c) ハ

$$h_c=\left\{0{\cdot}02+\left(\frac{1}{C_c}-1\right)^2\right\}\frac{v^2}{2g}$$

或ハ $h_c=f_c\frac{v^2}{2g}$ ニテ表ハセバ $f_c=0{\cdot}02+\left(\frac{1}{C_c}-1\right)^2$

BE 間ノ全損失ヲ實測シ f_c ノ値ヲ求メタルモノヲ次表ニ記ス、

急收縮
急拡大 ノ損失ノ和ヲ求ムレバ可

急收縮損失 → $0.02\frac{v^2}{2g}$

急拡大損失

$$h'_c=\frac{v^2}{2g}\left(\frac{a}{a_0}-1\right)^2$$

$$=\frac{v^2}{2g}\left(\frac{1}{C_c}-1\right)^2$$

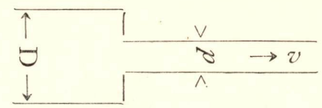
$\frac{a_0}{a}=C_c$: 縮流係数

全損失

$$h_c=\left\{0.02+\left(\frac{1}{C_c}-1\right)^2\right\}\frac{v^2}{2g}$$

断面ノ急縮少ニ因ル水頭損失係數表 (f_c)

$$h_c = f_c \frac{v^2}{2g}$$



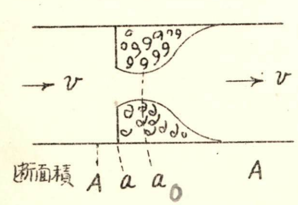
D/d \ v m/sec	1	2	4	6	10	12
1·2	0·07	0·07	0·08	0·09	0·10	0·11
1·6	0·26	0·26	0·26	0·25	0·24	0·24
3·0	0·44	0·43	0·41	0·39	0·35	0·33
5·0	0·47	0·46	0·44	0·42	0·38	0·35
10·0	0·48	0·47	0·45	0·43	0·39	0·36
∞	0·48	0·47	0·46	0·44	0·40	0·38

二九、断面ノ種々ナル變化ニ因ル水頭損失、

断面ノ各種ノ變化ニヨル水頭損失ハ前述二項ヲ基礎トシテ理論的ニ又ハ實験的ニ之ヲ求ムルコトヲ得、次ニ代表的ノモノニ就キ實験成績ヲ示ス、

(一) 隔　板、

第三十三圖



$h = f_c \frac{v^2}{2g}$ …… 隔板ニヨル水頭損失、

$C_c = a_0/a$ …… 縮流ノ係數、

$\frac{D}{d} = \infty$ ナル時

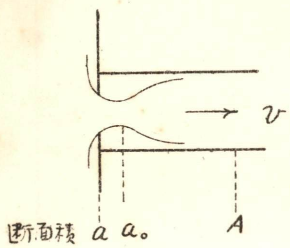
半分位減ズ

穴ガ小ナルハ急ニフエル

a/A	0·1	0·2	0·4	0·6	0·8	1·0
C_c	0·624	0·632	0·659	0·712	0·813	1·00
f_c	226	47·8	7·8	1·80	0·29	0·00

(二) 水槽ノ出口ニ隔板ヲ置キタル場合、

第三十四圖



$h=f'_c\dfrac{v^2}{2g}$ 水槽出口ニ於ケル水頭損失、

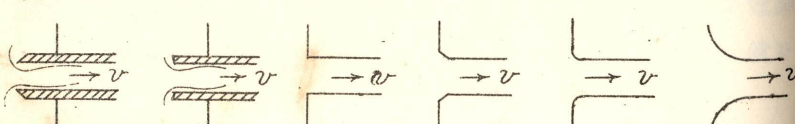
$C_c=a_0/a$ 縮流ノ係數、

a_0/a	0·1	0·2	0·4	0·6	0·8	1·0
C_c	0·616	0·614	0·610	0·605	0·601	0·596
f'_c	232	51·0	9·61	3·08	1·17	0·480

(三) 水槽ヨリ管中ニ流出スル場合、

第三十五圖

銳端 鈍端 角端 面取リ 丸味ヲ附ス 鈴形

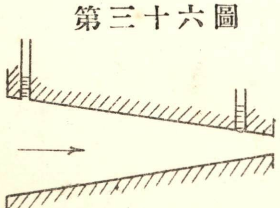


$f_0=1{\cdot}30$ ≒0·60 ≒0·05 ≒0·25 ≒0·10〜0·20 ≒0·01〜0·06

$h=f_0\dfrac{v^2}{2g}$ 損失水頭、

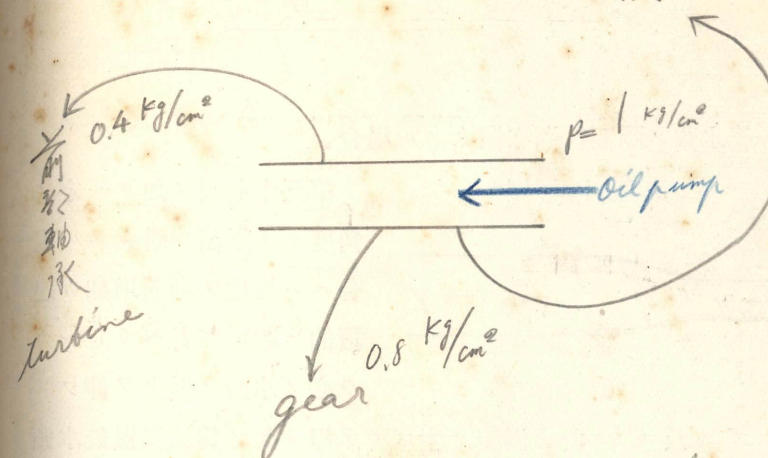
(四) 管水路ノ斷面ガ漸次縮少スル場合、

第三十六圖



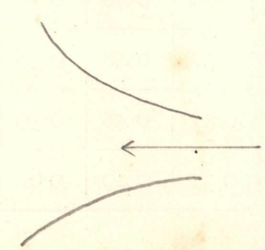
第三十六圖ノ如ク變化ガ極メテ徐々ニシテ縮流及渦ヲ生ズル事無ケレバ壓力水頭ガ速力水頭ニ變ズルノミニシテ摩擦損失以外ノ勢力消耗ハ殆

$\dfrac{a}{A}$ → 小ナレバ f_c → 急大



gear ノ圧力ガ多過ギルトテ之ヲ下ゲントシテ
gear ニ油ヲ少ク送ルト 前部軸承
ノ最低圧力 0.4 kg/cm² 以下トナル
之ハ不可ナルヲ以テ之ヲ防止シ而モ油ノ
量ヲ少クスルタメニ 制限環ヲ用フ.
而シ其ノ穴ヲアマリ小ニスルト圧力ガグート
下ルコトヲ記憶セヨ

◎ 風気口ノ如キハ 次ノ如キ形ガ良イ

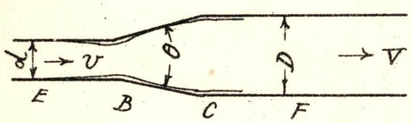


講口, 田中教官
失敗談

ド無シ。

㈤ 管水路ノ斷面ガ漸次擴大スル場合。

第三十七圖



第三十七圖ノ如ク一定ノ角度ニテ斷面ガ增大スル場合ニハ輕度ノ斷面增加ガ連續的ニ起ルト考ヘラレルカラ必ズ水頭ノ損失ヲ伴フノミナラズB及Cニ於テ渦流ヲ生ズルヲ以テ此ノ爲ニ又損失水頭ヲ增加ス。

EF 間ニ於ケル全損失水頭ヲ實驗ニヨリテ測定シ次ノ實驗式及成績ヲ得タリ。

$$h_g = f_g' \frac{v^2 - V^2}{2g}$$

$h_g = f_g' \frac{(v-V)^2}{2g}$ ナラズヤ

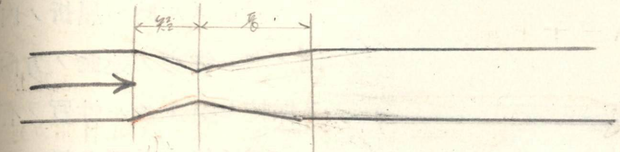
$$= f_g \frac{v^2}{2g}$$

f_g ノ値ヲ表示スレバ次ノ如シ。

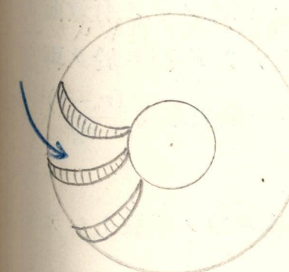
D/d \ θ°	2	10	20	30	40	50	60
1·2	0·02	0·04	0·16	0·25	0·31	0·35	0·37
1·6	0·03	0·07	0·26	0·42	0·51	0·57	0·61
2·0	0·03	0·07	0·29	0·46	0·56	0·63	0·68
2.5	0·03	0·08	0·30	0·48	0·58	0·65	0·70
3·0	0·03	0·08	0·31	0·48	0·59	0·66	0·71
∞	0·03	0·08	0·31	0·49	0·60	0·67	0·72

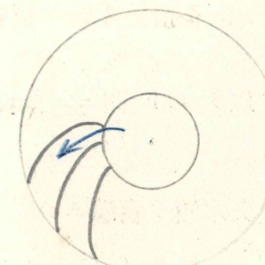
急拡大ノ際ハ衝突損失大ナリ.

漸次縮小　損失ナシ
漸次拡大　損失アリ



Francis turbine　　Centrifugal pump

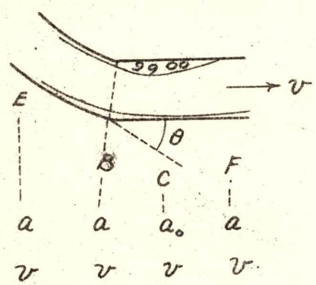




圧力ノ「エネルギー」ヲ速力ノ「エネルギー」ニ
変ヘルコトハ容易ナリ。
逆ニ速力ノエネルギーヲ圧力エネルギーニ
変ヘルコトハ困難ナリ

(六) 水流ノ屈折ニ因ル水頭損失、

第三十七圖

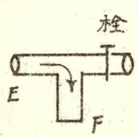


水路ガ第三十七圖ノ如ク急ニ屈折スル時ハ屈折ノ內側ノ水ハ從來ノ運動ノ方向ヲ保持セントスル性質ヲ有スル爲流線ハ壁面ヲ離レテ渦ヲ生ジ、壓力ガ低下スルカラ流線ハ徐々ニ變向シテ再ビ壁面ニ接スル、C 斷面ニ於テハ縮流ノタメ有效面積 a_0 トナリ F 面ニ於テ再ビ a トナルヲ以テ CF 間ニハ斷面急擴大ニヨル損失水嵩 $\frac{(v_0-v)^2}{2g}$ ヲ生ズル、

EF 間ノ損失水頭ヲ實驗ニヨリテ測定シ速度水頭ノ係數トシテ即チ $h_b=f_b\frac{v^2}{2g}$ ニ於テ f_b ヲ求メタルニ其ノ値次ノ如シ、

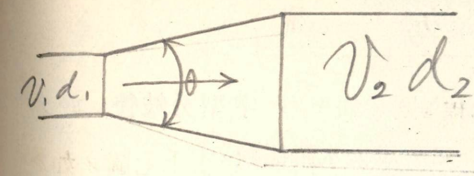
$\theta°$	15°	30°	45°	60°	90°	120°	140°
f_b（圓形管）	0·0222	0·0728	0·183	0·365	0·99	1·86	2·43
f_b（矩形管）	0·0240	0·111	0·263	0·492	1·20		

第三十八圖



第三十八圖ノ如キ T 字管ニ於テ EF 間ノ損失水頭ヲ $h_T=f_T\frac{v^2}{2g}$ ニテ表ハス時ハ f_T ハ約 1·5 デアル、

$f_T=1.5$

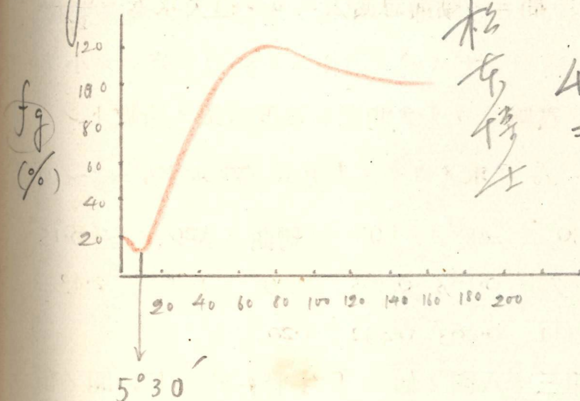


θ → 大ニナレバ 衝突損失 → 增

θ → 小ニナレバ 長クナルヲ以テ 摩擦損失ヲ增ス

$\theta \doteqdot 5°30'$

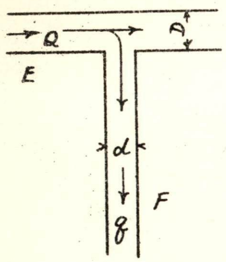
Gibson ノ実験



松本博士

4° 内外ト主張サル

第三十九圖



第三十九圖ノ如キ T 字型分岐管ニ於テハ EF 間ノ損失水頭係數ハ

$\frac{q}{Q}$	0·25		0·50		0·75	
$\frac{d}{D}$	0·35	0·58	0·35	0·58	0·35	0·58
f'_T	3·9	1·6	13·7	3·2	28·2	6·4

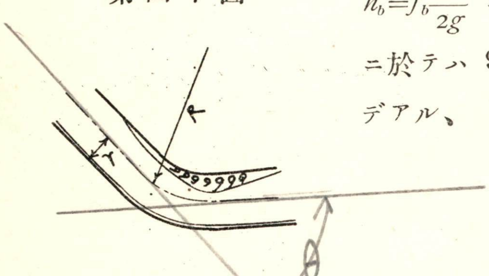
水頭損失 (h'_T) ハ

$$h'_T = f'_T \frac{v^2}{2g}$$ ニテ求ムルコトヲ得、

(七) 彎曲ニ因ル水頭損失、

圓弧ヲ以テ徐々ニ方向ヲ變ズル時ハ屈折ノ場合ニ比シ縮流輕微ナルヲ以テ同一ノ方向轉換ヲナス爲ニ消耗スル努力ハ著シク小サクナル、

第四十圖



$h_b = f_b \frac{v^2}{2g}$ ニテ表ハス時ハ $R/r = 5 \sim 10$ ニ於テハ 90° ノ彎曲ニ對シ、$f_b = 0·15$ デアル、

$f_b = 0.15$

(八) 弁及嘴ニ因ル水頭損失、

液體ガ弁及嘴ヲ通ツテ流レル場合ニハ斷面積ノ變化及流レノ方向ノ急變等ノタメニ必ズ水頭ノ損失ヲ伴フモノデアルガ其ノ程度ハ弁及嘴ノ型式及開度ニ因リテ異ナルヲ以テ、各個ニ就キ試驗ニ

導キ方ニ依リ流量異ル

$$\left\{ \begin{array}{l} f_T = 1.5 \\ f_b = 0.15 \end{array} \right.$$

彎曲スルコトニ依リ損失係數ハ $\frac{1}{10}$ トナル

直角以上ニ曲ゲヌ?

蒸気、水ハ如何ナル曲ツタ所モ通過スル
モノハ自身ハ真直ゲ。行キタガツテ居ルモノ
デアル　従テアマリ曲ゲルト代償大トナリ
抵抗損失アリ

内面滑ナル曲管：Re n 増 → f_b 小トナル

内面粗雑ナル曲管：Re n → f_b 変化セヌ

Hofmann ノ実験

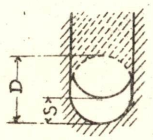
鉄管　$d = 42$ mm

$\theta = 90°$

内面粗

ヨツテ決定セナケレバナラヌガ Weisbach 及ビ Bach 兩氏ノ實驗結果ヲ擧ゲテ參考ニ供スル、

第四十一圖



堰戸弁

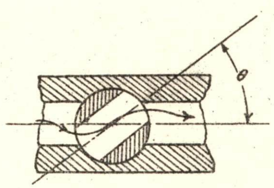
$$h_v = f_v \frac{v^2}{2g}$$

$^s/D$	1/8	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8	1·0
$^a/A$	0·159	0·315	0·466	0·609	0·740	0·856	0·948	1·00
f_v	97	17	5·5	2·1	0·8	0·3	0·1	0·0
	98	20	8.6	3.0	1.5	0.8	0.08	0.0

上記成績ハ管徑 40 mm. ノ場合ニシテ直徑ガ增大スルニ從ヒ f_v ノ値ハ減少ス、

管径 30mm ノ場合

第四十二圖



嘴

$\theta°$	5°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	65°	全閉
$^a/A$	0·93	0·85	0·69	0·53	0·38	0·25	0·14	0·09	0·0
f_v	0·05	0·29	1·56	~~5·47~~ 19	17·3	52·6	206	486	∞

R/r	1	2	4	6	10
f_b	0.52	0.29	0.23	0.18	0.20

A. 滑カナル管ニ於テハ

$$f_b' = f_b \times \frac{1}{2}$$

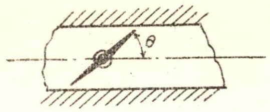
B. $\theta \neq 90° \rightarrow f_b' = f_b \times \frac{\theta}{90}$

C. f_b ノ最小ナルハ $\frac{R}{r} \fallingdotseq 7$

D. 「コイル」ニ於テハ

f_b' = 全長ノ f_b ノ 2倍

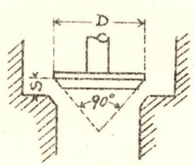
第四十三圖

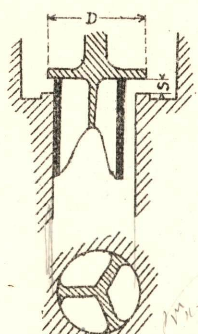


蝶形弁

$\theta°$	5°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	全閉
a/A	0·91	0·83	0·66	0·50	0·36	0·23	0·13	0·06	0·0
f_v	0·24	0·52	1·54	3·91	10·8	32·6	118	751	~~8~~ ∞

第四十四圖　第四十五圖





バルブノ足

弁

水頭損失 $h_v = f_v \dfrac{v^2}{2g}$.

$$f_v = \alpha + \beta\left(\frac{D}{s}\right)^2 - 0{\cdot}8\left(\frac{D}{s}\right)$$

α 及 β ノ 値

弁ノ形	第四十四圖	第四十五圖
α	2·6	1·35
β	0·14	1·70

$$h_v = f_v \frac{v^2}{2g}$$

$$\frac{S}{D} = \frac{1}{4}$$

「バルブ」ハ全開スベカラズ

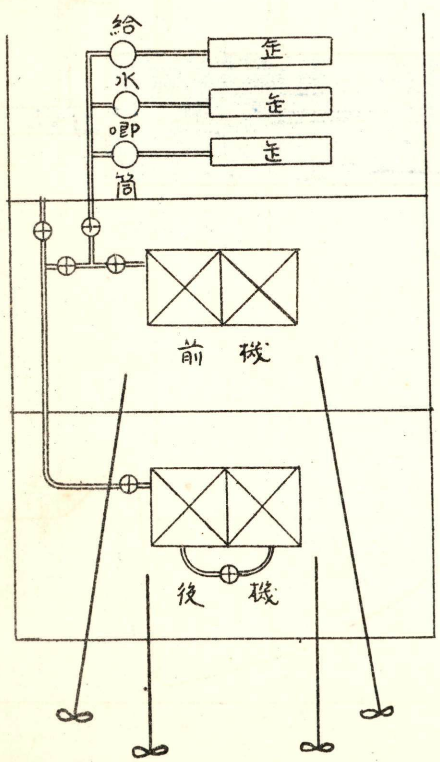
三〇、流水水頭ノ勾配曲線、

各位置ニ於ケル壓力速力損失等ヲ凡テ水頭ニ換算シテ之ヲ曲線ニテ示セバ第四十六圖ノ如キ勾配線ヲ得、

問　　題

1. 給水「タンク」ト給水「ポンプ」吸口トノ水準差 2 米、吸管ノ直徑 15 糎、管全長 50 米、直角曲リ二ケ所 $\left(\frac{R}{r}=4\right)$ 弁 2 個アリトシ給水「ポンプ」ノ所要吸入水頭ヲ求ム、

2.



左圖ノ如キ給水管裝置ノ艦ニ於テ兩舷前機使用不能ニナリタル場合、左舷ヨリ給水スル罐 6 罐ニテ後機ヲ運轉シ内側二軸全力運轉ヲ可能ナラシメントス、

給水吸管ノ内徑ヲ算出セヨ、

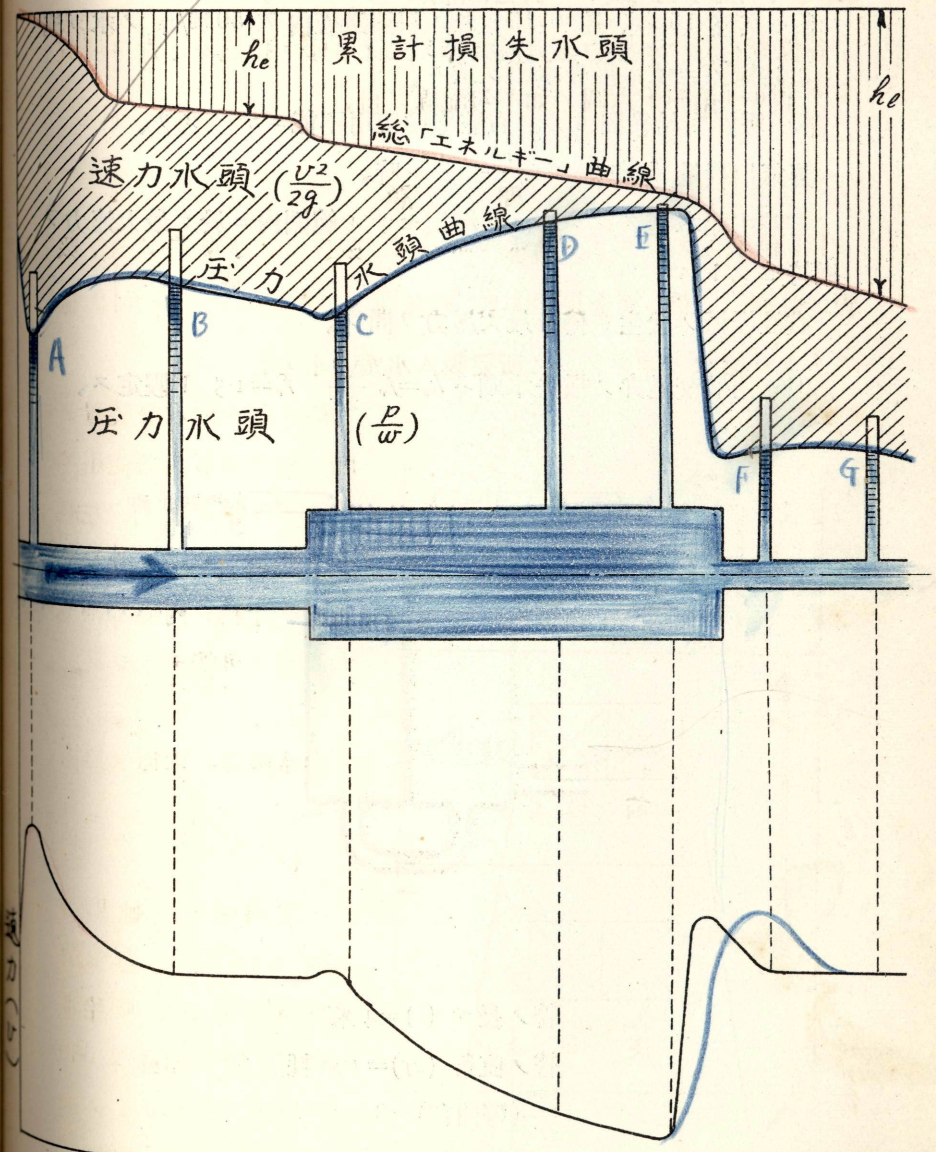
但シ

主機械ハ一軸馬力 32,500 S. H. P. 蒸氣消費量 5瓩/S. H. P./時 給水唧筒ノ吸入側眞空 350 粍給水「タンク」ノ水面ハ管ヨリ 2 米高シ、

左ニ タンクノ如キモノアルト考ヘ

friction
eddy } 等ノ損失

第四十六図



給水管全長 45 米、管內徑ヲ 150 粍ト假定シテ計算セヨ、

3. 直徑 15 糎、長サ 150 米ノ新鑄鐵管內ヲ 50 瓲/時 ノ水ガ流レル時摩擦ニ依ル損失水頭ヲ求ム、

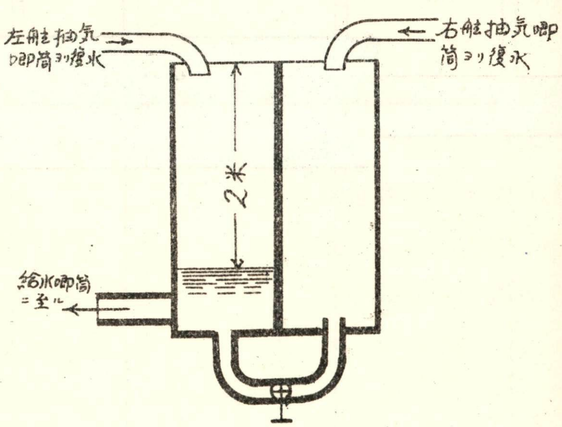
4. 戰鬪開始後間モナク右舷總罐使用不能ニナリタリ、

蒸氣消費量 5.0kg/S. H. P./hour ナル時、

右舷主給水「タンク」ヨリ溢出セザル範圍內ニ於テ最大速力ヲ維持セントス、

右舷機械ノ發生シ得ル最大馬力ヲ問フ、

但シ兩舷交通弁ノ損失水頭ハ $h_v=f_v\dfrac{V^2}{2g}$ $f_v=1{\cdot}5$ ト假定ス、



管ノ長サ $(l)=4$ 米

管ノ直徑 $(2r)=100$ 粍

$\dfrac{R}{r}$(彎曲部)$=8$