



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	合流損失の研究
Author(s)	佐野, 新三郎; Sano, Sinzaburo; 山口, 弘 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 10, 81-88
Issue Date	1954-06-05
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/40540">https://hdl.handle.net/2115/40540</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	10_81-88.pdf



# 合流損失の研究

佐野新三郎

山口弘

金内忠彦

吉村昌一郎

(昭和29年2月28日受理)

## On the Loss at the Compounding of Two Confined Streams of Water

Sinzaburo SANO

Hiroshi YAMAGUCHI

Tadahiko KANAUCHI

Syoichiro YOSHIMURA

### Abstract

We have investigated the loss of energy at impact of two confined streams of water. This research was aimed to find the loss of impact in the spiral casings of the centrifugal pumps. In our experiments, each stream had a rectangular section and the impinging angles were 22.5, 45 or 60. The area ratios of the main and the impinging pipe were 2 or 1. We have obtained the comparatively clear effects of the impinging angles, the area ratios and the capacity ratios upon the loss at impact. Next we have compared our results with those obtained by Gibson.

### 1. 緒言

矩形断面の本流と支流とが合流角  $\theta$  にて出あい、合流後は本流の方向にて開角  $10^\circ$  の矩形断面の拡大管で進む場合における二水流の合流損失について報告する。

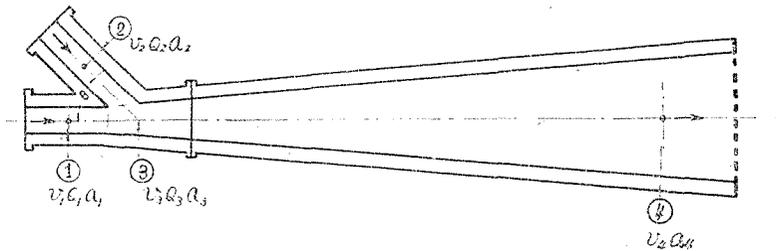
合流損失についての Gibson<sup>1)</sup> の実験は本流支流ともに矩形管にして、合流角  $\theta$  は  $5^\circ \sim 90^\circ$ 、本流支流の断面積の比  $m = a_1 : a_2$  は  $1 \sim 5$ 、支流の面積は  $1'' \times 1/2''$  にて一定に保ち、合流後は本流と同一断面積であつた。また葛西教授など<sup>2)</sup> は木製圓管の合流損失を研究し、本流直径は  $25 \sim 30$  mm、支流直径は  $15 \sim 30$  mm、合流後は本流と同一方向にてその直径は  $25 \sim 36$  mm、 $\theta = 15^\circ \sim 90^\circ$ 、 $m = 1 \sim 4$  である。獨逸の Thoma など<sup>3)</sup> は鑄鐵製圓管の合流及び分岐の損失を研究した。本流直径  $43$  mm、支流直径は  $15$ 、 $25$  及び  $43$  mm、合流後の直径  $43$  mm、 $\theta = 90^\circ$ 、 $60^\circ$  及び  $45^\circ$  とした。



本管、支管及び擴大管は鋼板銲接にて製作した。給水は5吋管より分岐して壓力水槽に溜め、そこから3.5吋管で本流に入れた。この5吋管のベンチュリ計によつて水量  $Q_1$  を測定した。なお支流の水は上記の5吋管の延長上に管内オリフイスを設けてその水量  $Q_2$  を測定し、配管をその後5吋から2吋になおして支管に入れた。圓断面の配管から矩形断面の合流管に接続するために、その中間に適當な長さの過渡管を使用した。なお擴大管から水を大氣中に放出すれば水は充満しないから、擴大管の放出口に多くの圓孔を均等にあげた邪魔板をあてた。

### 3. 合流損失の表現法

第3圖は合流管及び擴大管の略圖であり、断面1及び2はそれぞれ本管及び支管の壓力水頭のとり孔の位置を示す。3は合流點、4は放出端より約10cm上流の断面を示す。



第3圖 合流管の略圖

合流損失とは合流管及び擴大管内の全損失より合流以外の原因による損失を差引いたものとする。すなわち合流以外の損失とは、圖の断面1-3間及び2-3間における摩擦水頭  $h_{r1-3}$  及び  $h_{r2-3}$ 、また断面3-4間における摩擦及び擴大損失水頭  $h_{r3-4}$  である。

今本管及び擴大管1-3-4に水量  $Q_1$  を流し、支管の水量  $Q_2=0$  とすればその損失水頭は

$$h_{r1-3} + h_{r3-4}$$

である。また支管から擴大管に2-3-4と水量  $Q_2$  を流し、本管の水量  $Q_1=0$  とすれば

$$h_{r2-3} + h_{r3-4}$$

の外に、流れの彎曲損失水頭  $\zeta_b v_3^2/2g$  が加わる。すなわち

$$h_{r2-3} + h_{r3-4} + \zeta_b v_3^2/2g \dots\dots\dots (1)$$

次に本管及び支管にそれぞれ  $Q_1$  及び  $Q_2$  を流し、 $n=Q_1:Q_2$  をかえて合流せしめる時、本管1-3-4及び支管2-3-4の合流損失水頭をそれぞれ

$$\zeta_1 v_3^2/2g \quad \text{及び} \quad \zeta_2 v_3^2/2g$$

とする。また断面3は合流點であつて、その面積  $a_3$  は面積  $a_1$  とほとんど同一と考える。しからばベルヌーイの定理によつて、水平流れの1-3間にて

$$H_1 - H_3 = h_{r1-3} = \zeta'_{1-3} \frac{v_1^2}{2g} = \zeta_{1-3} \frac{v_3^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (2)$$

となる。ただし  $H_1$  及び  $H_3$  は 1 及び 3 の壓力水頭と速度水頭との和である。同様に支管 2-3 にて

$$H_2 - H_3 = h_{r2-3} = \zeta'_{2-3} \frac{v_2^2}{2g} = \zeta_{2-3} \frac{v_3^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (3)$$

擴大管 3-4 にて

$$H_3 - H_4 = h_{r3-4} = \zeta_{3-4} \frac{v_3^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (4)$$

となる。なお上記の諸損失の外に合流損失水頭が加わるが、これを各區域に分けて、 $\Delta h_{1-3}$ 、 $\Delta h_{2-3}$  及び  $\Delta h_{3-4}$  とする。

さて断面 3 の位置では流動状態は複雑であるから、 $H_3$  の測定は困難である。故に  $H_3$  を用いずに、次の方法で損失動力を求めた。各區域の損失動力を次式で表わす。

$$L_{1-3} = \gamma Q_1 (h_{r1-3} + \Delta h_{1-3}) \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$L_{2-3} = \gamma Q_2 (h_{r2-3} + \Delta h_{2-3}) \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$L_{3-4} = \gamma (Q_1 + Q_2) (h_{r3-4} + \Delta h_{3-4}) \quad \dots\dots\dots (7)$$

ただし  $\gamma$  は水の單位重量である。従つて合流管と擴大管の全損失動力は、

$$\begin{aligned} L_t &= \gamma Q_1 (h_{r1-3} + \Delta h_{1-3}) + \gamma Q_2 (h_{r2-3} + \Delta h_{2-3}) + \gamma (Q_1 + Q_2) (h_{r3-4} + \Delta h_{3-4}) \\ &= \gamma Q_1 (H_1 - H_4) + \gamma Q_2 (H_2 - H_4) \quad \dots\dots\dots (8) \end{aligned}$$

しかるに摩擦及び擴大による損失動力は

$$L_r = \gamma Q_1 (h_{r1-3} + h_{r3-4}) + \gamma Q_2 (h_{r2-3} + h_{r3-4}) \quad \dots\dots\dots (9)$$

であるから、(8) 式より (9) 式を引いて合流損失動力を次式で表す。

$$\begin{aligned} L &= \gamma Q_1 (H_1 - H_4 - h_{r1-3} - h_{r3-4}) + \gamma Q_2 (H_2 - H_4 - h_{r2-3} - h_{r3-4}) \\ L &= \gamma Q_1 \left( \frac{H_1 - H_4}{v_3^2/2g} - \zeta_{1-3} - \zeta_{3-4} \right) \frac{v_3^2}{2g} + \gamma Q_2 \left( \frac{H_2 - H_4}{v_3^2/2g} - \zeta_{2-3} - \zeta_{3-4} \right) \frac{v_3^2}{2g} \quad \dots\dots (10) \end{aligned}$$

ただし  $\zeta_{1-3}$  及び  $\zeta_{2-3}$  は (2) 及び (3) 式に示した抵抗係数であつて、 $n_2 = Q_2/Q_3$  の函数になるから、計算又は實測で求められる。また  $\zeta_{3-4}$  はこの實驗では  $Q_3$  を一定にしたから、 $Q_2:Q_3$  に関係しない値になり、 $Q_2=0$  において合流損失零とにおいて定める。いま  $\zeta_1$  及び  $\zeta_2$  を次式で表わす。

$$\zeta_1 = \frac{H_1 - H_4}{v_3^2/2g} - \zeta_{1-3} - \zeta_{3-4} \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$\zeta_2 = \frac{H_2 - H_4}{v_3^2/2g} - \zeta_{2-3} - \zeta_{3-4} \quad \dots\dots\dots (12)$$

従つて (10) 式は次式になる。

$$L = \gamma Q_1 \zeta_1 \frac{v_3^2}{2g} + \gamma Q_2 \zeta_2 \frac{v_3^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (13)$$

また合流損失係数を  $\rho$  とすれば

$$\rho = \frac{L}{\gamma Q_3 v_3^2 / 2g} = \zeta_1 \frac{Q_1}{Q_3} + \zeta_2 \frac{Q_2}{Q_3} \quad \dots\dots\dots (14)$$

となる。しかし (11) 及び (12) 式では全水頭  $H_1$ ,  $H_2$  及び  $H_4$  を用いたが、いまこれを壓力水頭  $h_1$ ,  $h_2$  及び  $h_4$  と、それぞれの速度水頭に分けて書くと  $m = a_1/a_2 = 1$  の場合には

$$\begin{aligned} \zeta_1 &= \frac{h_1 - h_4}{v_3^2 / 2g} + \left(\frac{v_1}{v_3}\right)^2 - \left(\frac{v_4}{v_3}\right)^2 - \zeta'_{1-3} \left(\frac{v_1}{v_3}\right)^2 - \zeta_{3-4} \\ &= \frac{h_1 - h_4}{v_3^2 / 2g} + (1 - \zeta'_{1-3})(1 - n_2)^2 - \left(\frac{a_1}{a_4}\right)^2 - \zeta_{3-4} \quad \dots\dots\dots (15) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \zeta_2 &= \frac{h_2 - h_4}{v_3^2 / 2g} + \left(\frac{v_2}{v_3}\right)^2 - \left(\frac{v_4}{v_3}\right)^2 - \zeta'_{2-3} \left(\frac{v_2}{v_3}\right)^2 - \zeta_{3-4} \\ &= \frac{h_2 - h_4}{v_3^2 / 2g} + (1 - \zeta'_{2-3})n_2^2 - \left(\frac{a_1}{a_4}\right)^2 - \zeta_{3-4} \quad \dots\dots\dots (16) \end{aligned}$$

$m=2$  の場合には、 $\zeta_1$  は (15) 式と同様にして、

$$\zeta_2 = \frac{h_2 - h_4}{v_3^2 / 2g} + (1 - \zeta'_{2-3})4n_2^2 - \left(\frac{a_1}{a_4}\right)^2 - \zeta_{3-4} \quad \dots\dots\dots (17)$$

ただし  $(a_1/a_4)^2 = 0.03$  にして一定である。また (15) 式の  $\zeta'_{1-3}$  及び (16) 式の  $\zeta'_{2-3}$  は共に管幅 6 cm の場合にして、いま管摩擦係数  $\lambda = 0.022$ 、管長  $l = 10$  cm、水力半径  $R = 1$  cm であるから

$$\zeta'_{1-3} = \zeta'_{2-3} = \lambda \frac{l}{4R} \frac{v^2}{2g} / \frac{v^2}{2g} = 0.022 \times \frac{10}{4} = 0.055$$

となり、また (17) 式の  $\zeta'_{2-3}$  は管幅 3 cm の時であつて、 $\lambda = 0.022$ 、 $l = 10$  cm、 $R = 3/4$  であるから

$$\zeta'_{2-3} = 0.022 \frac{10}{4 \times 3/4} = 0.073$$

となる。従つて (15)、(16) 及び (17) 式を書きかえて

$m = a_1 : a_2 = 1$  の時

$$\zeta_1 = \frac{h_1 - h_4}{v_3^2 / 2g} + 0.945(1 - n_2)^2 - 0.03 - \zeta_{3-4} \quad \dots\dots\dots (15')$$

$$\zeta_2 = \frac{h_2 - h_4}{v_3^2 / 2g} + 0.945n_2^2 - 0.03 - \zeta_{3-4} \quad \dots\dots\dots (16')$$

$m=2$  の時には  $\zeta_1$  は (15') 式に同じ。

$$\zeta_2 = \frac{h_2 - h_4}{v_3^2 / 2g} + 3.705n_2^2 - 0.03 - \zeta_{3-4} \quad \dots\dots\dots (17')$$

これらの  $\zeta_1$  及び  $\zeta_2$  を用いて、(14) 式から  $\rho$  を計算する。

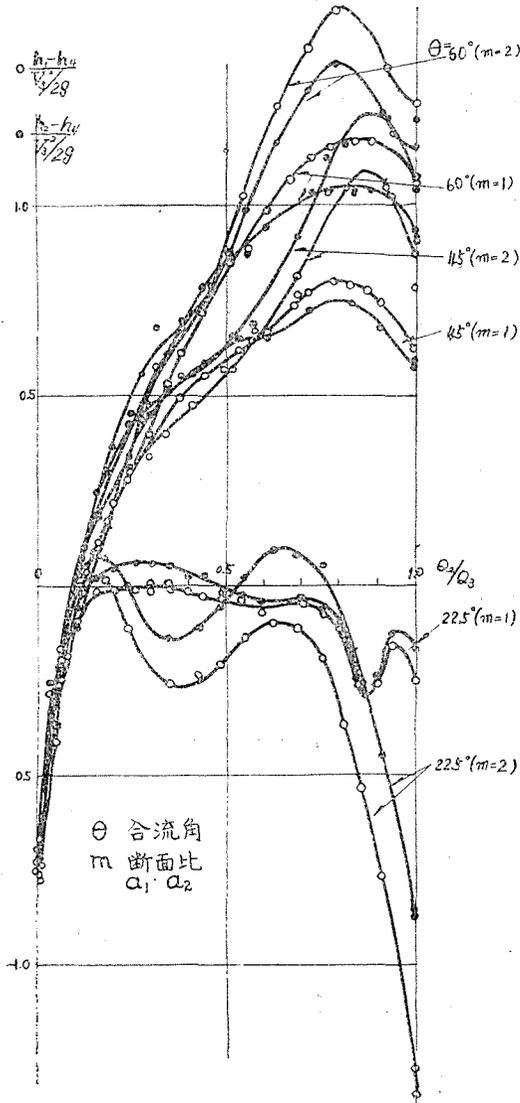
#### 4. 実験の方法

上述のように合流角は 3 種、支流幅は 2 種にして 6 種の実験を行つた。壓力水頭は斷

面 1, 2 及び 4 において上壁の幅の中央に壓力とり孔をあけてとつた。孔の内徑は 2mm とした。壓力水頭の測定には水柱計を用いたが、その振動が激しいのでゴムの接続管の途中に空氣室をつけて實施したが、なお緩慢な水柱振動があつたので、水柱計の讀みは非常に留意してとつた。

本實驗ではつねに全水量  $Q_3$  を 5 ltr./sec に保つて行つた。また流量比  $n_2=Q_2:Q_3$  を 0~1.0 の間で細かく分けて測定した。 $Q_3$  を測るベンチュリ計及び  $Q_2$  を測る管内オリフイスは豫め標準ウエヤで檢定した。

合流後 3-4 の摩擦及び擴大損失水頭は、それぞれの現物について各種流量によつて測定し



第 4 圖  $\frac{h_1-h_4}{v_3^2/2g}$  及び  $\frac{h_2-h_4}{v_3^2/2g}$  と  $\frac{Q_2}{Q_3}$  との曲線

た。合流點 3 以前の本管 1-3 及び支管 2-3 の摩擦損失は計算で出した。従つて擴大損失は各流量について分明した。

### 5. 實驗の結果

(1) 第 4 圖には  $Q_2:Q_3$  を 0~1.0 間にかえて  $(h_1-h_4)/(v_3^2/2g)$  及び  $(h_2-h_4)/(v_3^2/2g)$  の値を實測した結果を曲線で示した。パラメタには  $\theta=22.5^\circ, 45^\circ, 60^\circ$  及び  $m=1$  と 2 とをとつた。曲線の  $\circ$  符號は  $h_1-h_4$  について示し、また黒  $\bullet$  符號は  $h_2-h_4$  の値である。 $\theta=22.5^\circ$  の時とその他の  $\theta$  の時とでは曲線の傾向が著しくちがう事は注目すべきである。

(2) 第 5 圖には  $Q_2:Q_3$  を 0~1.0 の間にかえて、合流損失係數  $\rho$  を示した。パラメタは  $\theta$  と  $m$  とであつて實線で描いたものは本實驗の結果である。 $\rho$  に対する  $\theta$  の影響は、 $\theta=22.5^\circ$  では  $m=1$  でも 2 でも  $\rho$  の値は甚だ小である。 $\theta=45^\circ$  や  $60^\circ$  の時には  $\rho$  は著しく増加する。またいずれの  $\theta$  の時にも、 $m=2$  の時の  $\rho$  の値は  $m=1$  の時のそれよりも著しく増加する。また  $Q_2:Q_3$

の大なる範囲では  $\rho$  の値の増し方が急である。

$\theta=22.5^\circ$  の  $\rho$  の曲線が中凹みであるのは、次のように説明出来る。いま2つの流れが平行すなわち  $\theta=0$  にて合流するものとして、合流前後の運動量を等しいとし、損失を省略すると

$$\frac{\gamma}{g}v_1Q_1 + \frac{\gamma}{g}v_2Q_2 = \frac{\gamma}{g}v_3(Q_1+Q_2)$$

である。また合流損失動力は

$$\begin{aligned} L &= \frac{\gamma}{2g} \{v_1^2Q_1 + v_2^2Q_2 - v_3^2(Q_1+Q_2)\} \\ &= \frac{\gamma}{2g} \left\{ v_1^2Q_1 + v_2^2Q_2 - \frac{(v_1Q_1 + v_2Q_2)^2}{Q_1+Q_2} \right\} \\ &= \frac{\gamma}{2g} \frac{(v_1-v_2)^2Q_1Q_2}{Q_1+Q_2} \dots\dots (18) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{L}{(\gamma/2g)v_3^2Q_3} \\ &= \frac{(v_1-v_2)^2}{v_3^2} \frac{Q_1Q_2}{(Q_1+Q_2)^2} \end{aligned}$$

すなわち  $v_1=v_2$  の時  $\rho=0$  であるから、曲線が中凹みである事を示す。

次に  $\theta > 45^\circ$ ,  $Q_2:Q_3 > 0.5$  の時には  $\rho$  は著しく増すが、それは彎曲損失が大になるからである。いま彎曲による動力損失を

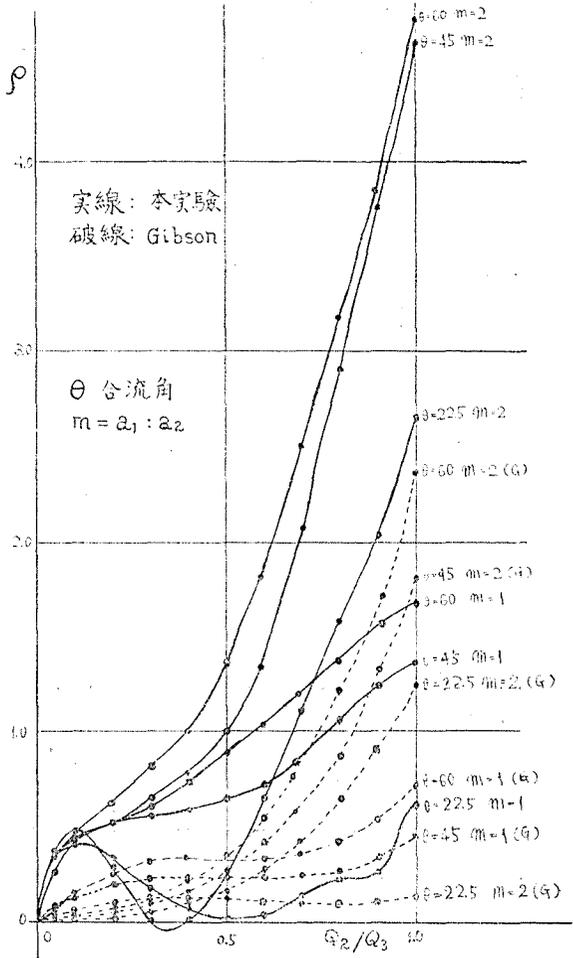
$$\frac{\gamma}{2g} (v_2 \sin \theta)^2 \cdot Q_2$$

として、合流損失は (18) 式の  $v_2$  の代りに  $v_2 \cos \theta$  をとつて兩者の和を求めると

$$L = \frac{\gamma}{2g} \frac{(v_1 - v_2 \cos \theta)^2 Q_1 Q_2}{Q_3} + \frac{\gamma}{2g} (v_2 \sin \theta)^2 Q_2$$

$$\rho = \frac{L}{(\gamma/2g)v_3^2Q_3} = (1 - n_2 - n_2 m \cos \theta)^2 n_2 (1 - n_2) + m^2 \sin^2 \theta n_2^3$$

$\theta$ ,  $n_2=Q_2:Q_3$ ,  $m$  の値の大なる時、最後の式の右邊第2項は彎曲損失であつて、その値が激しく増大する。



第5圖  $\rho-Q_2/Q_3$  の曲線

(3) 本実験と Gibson の実験との結果を比較した。兩実験ともに矩形管の合流損失についてであるが、Gibson のは本流と合流以後とが一定断面であつた。本実験では合流點以後を  $10^\circ$  の擴大管とした。

Gibson は合流損失動力を次式で與えた。

$$L = \gamma Q_2 \left\{ a \left( \frac{n}{m} \right)^2 + b \right\} \frac{v_2^2}{2g}$$

ただし  $n = Q_1 : Q_2$ ,  $m = a_1 : a_2$ ,  $a$  及び  $b$  は係數である。この式によつて本実験の 6 種について  $L$  を計算する。次に  $\rho$  を次式で求める。

$$\rho = \frac{L}{\gamma Q_3 v_3^2 / 2g}$$

この  $\rho$  の値を第 5 圖に破線で描いて符號  $G$  をつけた。それによると  $\theta$  及び  $Q_2 : Q_3$  のいかんにかかわらず、本実験の結果は Gibson に比して  $\rho$  が甚しく大きい。これは擴大管のために合流損失が増したものである。

## 6. 結 尾

本報告は矩形管の合流による損失の實驗的研究であつて、從來のこの種の研究と異なる點は、合流點以後を擴大型にした事である。擴大型にすれば平行型に比して合流損失がいかに増大するか、合流角  $\theta$ , 流量比  $Q_2 : Q_3$  の影響を合流損失係數  $\rho$  を使用して示した。渦巻ポンプの渦形室の流動を考察する時の指針になれば幸いである。

本研究は文部省科學研究費の補助によつた。また本実験の準備期には現在在外留學中の有江幹男氏の協力をえた。

## 文 献

- 1) A.H. Gibson: Instn. Mech. Engr. Proc. p. 519 (1913).
- 2) 橋本・葛西: 九大工學部紀要 6-3 (1931).
- 3) D. Thoma: Mitt. H.I.T.H. Muenchen. Heft 1-4 (1926-31).