

明渠與管渠損失水頭之計算

曾文水庫工程局工程師

翁 進 壽

一、前 言

一般計算水流經構造物或阻礙物而產生之損失水頭，通常均根據損失水頭公式計算而得，為簡化計算之繁，以下諸圖表則依據下節各種損失分別製成圖表，以供水利工程人員設計之應用。

本圖表係根據日本土木學會出版「水理公式集」，第二編發電水力第(2.1)節管路損失水頭與第(2.2)節開水路損失與水面低下量諸公式等關係製繪而成。

二、圖表應用項目

1. 開渠之損失水頭

- (1) 入流損失水頭 (圖表—1)
- (2) 段階損失水頭 (圖表—1)
- (3) 欄污柵損失水頭 (圖表—2)
- (4) 摩擦損失水頭 (圖表—3)

2. 管渠之損失水頭

- (1) 入渠損失水頭 (圖表—4)
- (2) 摩擦損失水頭 (圖表—3)
- (3) 彎曲損失水頭 (圖表—4)
- (4) 断面漸擴損失水頭 (圖表—4)
- (5) 断面突擴損失水頭 (圖表—4)
- (6) 断面漸縮損失水頭 (圖表—5)
- (7) 断面突縮損失水頭 (圖表—4)
- (8) 分流損失水頭 (圖表—4)
- (9) 合流損失水頭 (圖表—4)
- (10) 弁類損失水頭 (圖表—4)

三、圖表構成與應用例

1. 圖表—1

入流及段階之損失水頭公式如下：

$$\text{入流損失水頭 } hi' = fi \frac{V_2^2}{2g} + \frac{1}{2g} (V_2^2 - V_1^2)$$

$$\text{段階損失水頭 } hc' = fc \frac{V_2^2}{2g} + \frac{1}{2g} (V_2^2 - V_1^2)$$

式中： hi' ：入流損失水頭(m)

fi ：損失係數(參照表—1)

V_1 ：入流前之平均流速(m/sec)

V_2 ：入流後之平均流速(m/sec)

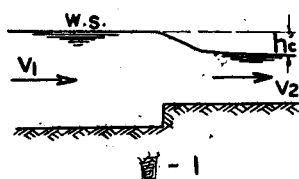
hc' ：段階之損失水頭(m)

fc ：損失係數(參照表—3)

設 V_1 及 V_2 軸，由下向上，刻度自0~1.5m/sec，第二軸為斜線 fi 或 fc ，

由上而下，刻度自0.1~1.0。第三軸係輔助線，第四軸 hi' 或 hc' 由上而下，刻度自0~0.11m為所

欲求之數值。



例—1

表—1 流入口形狀

形 狀 種 類	fi
流 線 型 圓 形 入 口	0.06~0.10
流 線 型 方 形 入 口	0.10~0.20
角 型 入 口	0.50
銳 突 端 入 口	1.30

(1) 求入流損失水頭 hi' ——設有流線型方形入口，入流前流速 $V_1=0.70\text{m/sec}$ ，入流後流速 $V_2=0.90\text{m/sec}$ 。

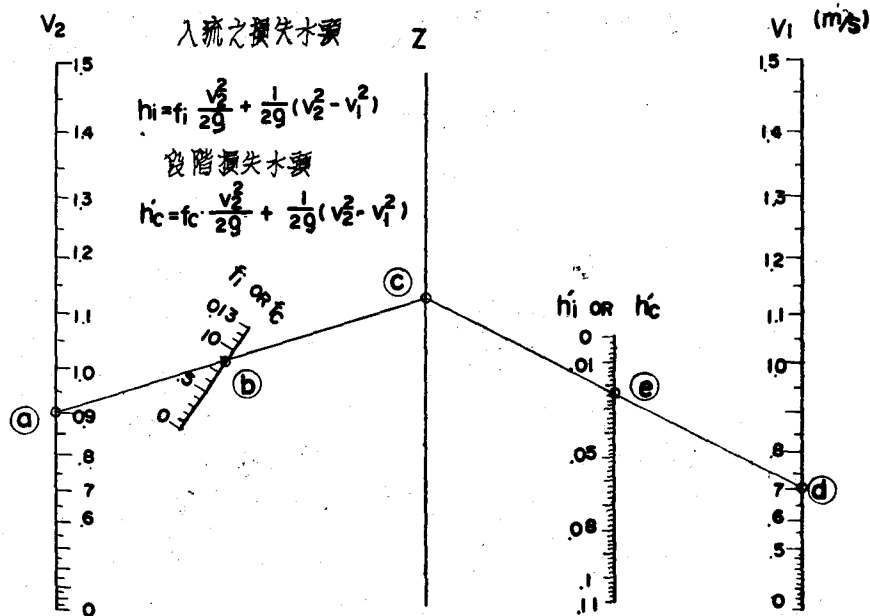
由表—1 中查得：流線型方形流入口 $fi=0.2$ ，次由 $V_2=0.90\text{m/sec}$ 為 (a) 與 $fi=0.2$ 為 (b)，該二點連結並延長相交於乙軸得 (c) 點與 $V_1=0.7$ 之 (a) 點連結得 hi' 之交點為 (e)，讀得約 0.025，故所求之入流損失水頭 $hi'=0.025\text{m}$ 。

(2) 求段階之損失水頭 hc' ——設通水断面積 $a_2/a_1=0.55$ 時，流速 $V_1=0.70\text{m/sec}$ ， $V_2=0.90\text{m/sec}$ 時，由表—3 查得 $fc=0.2$ ，餘與(1)同法得： $hc'=0.025\text{m}$ 。

2. 圖表—2

欄污柵損失水頭公式

$$hp' = \beta \sin \theta (t/b)^{4/3} \frac{V_1^2}{2g}$$



圖表-1

式中： $h'p$ ：欄污柵損失水頭(m)
 β ：欄污柵斷面形狀係數參照(圖-2)
 θ ：欄污柵之傾角
 b ：欄污柵柵條間距 (m)
 t ：柵條厚度(m)
 V_1 ：欄污柵上游平均流速

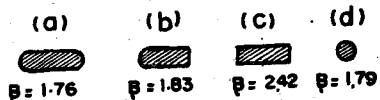
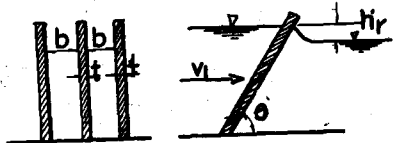


圖-2

圖表中左側下端橫軸為 θ ，刻度自 $30^\circ \sim 90^\circ$ ， β 斜線在(a)線上分別為 $\beta = 1.76, 1.83, 2.42, 1.79$ 諸曲線。 Z_1 為輔助軸， $h'p$ 為所求損失水頭示軸，由下向上，刻度自 $0.0001 \sim 0.015m$ 。 Z_2 軸與 Z_1 軸同為輔助軸，右側下端橫軸為 V_1 ，刻度自 $0.1 \sim 1.5m/sec$ ，由右至左， t/b 斜線刻度自 $0.04 \sim 0.20$ 。

例-2

已知條件：設 $\theta = 45^\circ$ ，柵條斷面如圖-2 (c) 型

， $\beta = 2.42$ 柵前平均流速 $V_1 = 0.65m/sec$ ， $t/b = 0.5$ ，求損失水頭 $h'p$ 。

解： θ 軸 45° 為(a)點，繪一直線垂直於 θ 軸上，交於曲線 $\beta = 2.42$ 之交點為(b)，引一垂直線交於 Z_1 軸得(c)，右側下端橫軸 $V_1 = 0.6$ 得(d)，繪一 V_1 軸之垂直線交於 $t/b = 0.15$ 斜線得 (e)點，(e) 與 Z_2 軸垂直線交點為(f)。

連結 (e)(f) 二點得 $h'p$ 軸之交點為 (g)，讀得約 0.0025 ，故求得欄污柵之損失水頭 $h'p = 0.0025m$ 。

3. 圖表-3

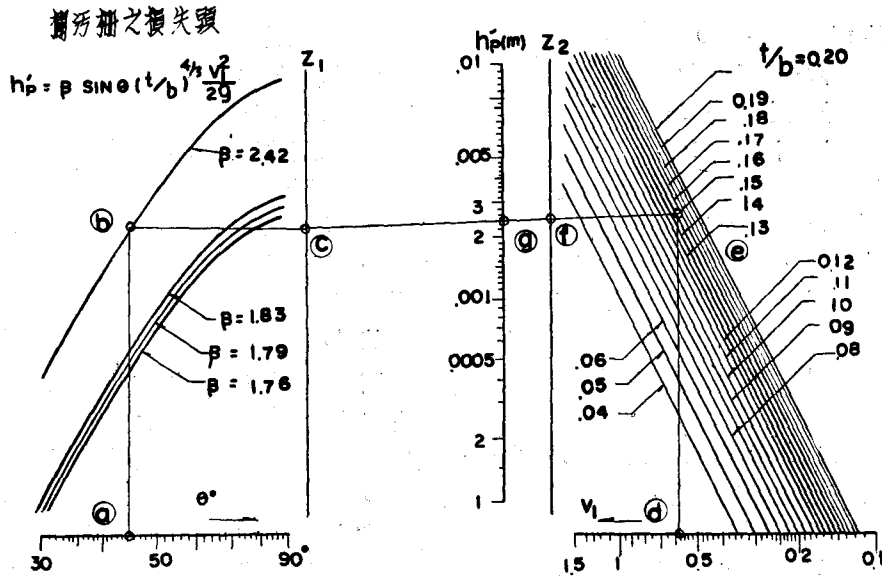
摩擦損失水頭公式：

$$h'f = \frac{2gn^2}{R^{1/3}} \cdot \frac{L}{R} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

式中： $h'f$ ：摩擦損失水頭 (m)
 n ：Kutter 糙率 (參照表-2)
 V ：平均流速 (m/sec)
 L ：水路長度 (m)
 R ：水力半徑 (m)

設右側上下端橫軸為 L ，刻度自 $10 \sim 100m$ ，繪出7條 n 斜線，刻度自 $0.010 \sim 0.035$ ， Z_1 為第一輔助線， Z_2 為第二輔助線。

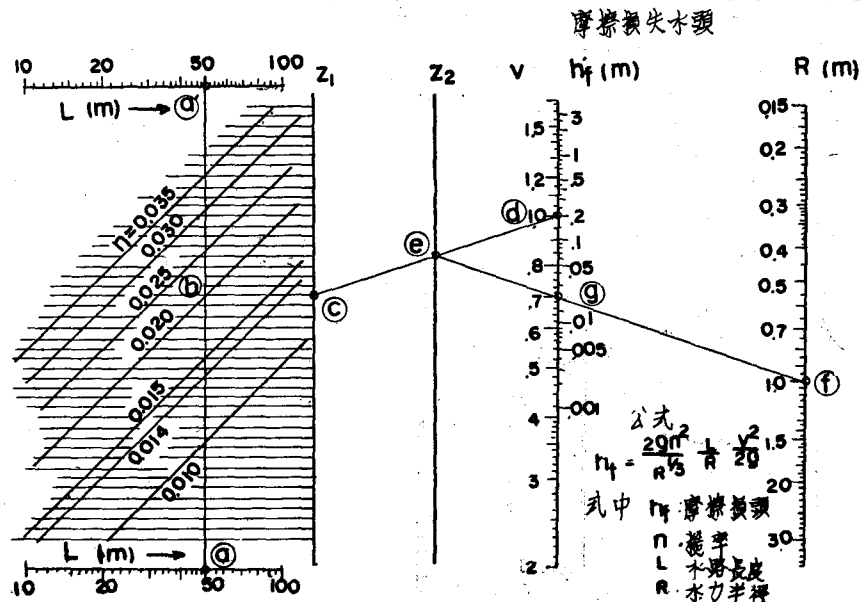
平均流速 V 軸刻度自 $0.2 \sim 1.7m/sec$ ，其右邊為所求之損失水頭 $h'r$ ，刻度自 $0.001 \sim 3m$ ，右側 R 軸刻度自 $0.15 \sim 3.6m$ 。



圖表-2

表一 2 糙率 n 值

構造材料種類	n 值範圍	平均 n 值	構造材料種類	n 值範圍	平均 n 值
普通混凝土渠道	0.012~0.016	0.015	乾砌塊石渠道	0.020~0.035	0.030
無沈澱物及附着物之混凝土渠道	0.011~0.016	0.014	粘土性渠道	0.016~0.022	0.020
混凝土管	0.012~0.016	0.014	砂或壤土性渠道	0.020~0.035	0.030
混凝土底造無襯工之隧造	0.025~0.035	0.030	土管	0.011~0.014	0.013
漿砌塊石渠道	0.017~0.030	0.025	鋼管或鑄鐵管	0.010~0.012	0.012



圖表-3

例—3

已知條件：糙率 $n=0.020$

平均流速 $V=1.0\text{m/sec}$

水路長度 $L=50\text{m}$

水力半徑 $R=10\text{m}$

解：由左側上下端橫軸上得 50m 之(a)(g)'二點，(a)(a)'與 n 軸 0.02 交點為(b)，由(b)引一垂直線交於 Z_b 輔助軸得(c)點。

在 V 軸上得 1.0 點為(d)，由(c)(d)二點連結得 Z_b 軸上交點為(e)， R 軸 1.0 為(f)，(e)(f)與 h' 軸交點為(g)，讀得約 0.02 ，則所求之摩擦損失水頭 $h'f=0.02\text{m}$ 。

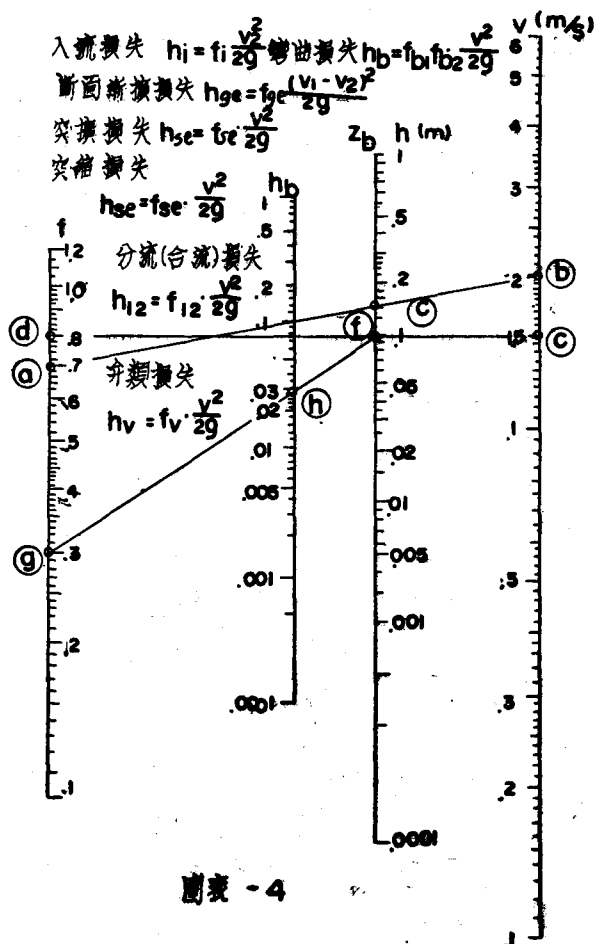
以上為開渠損失水頭計算圖表應用之說明，次為管渠之損失水頭計算圖表之應用法。

4. 圖表—4

前記(2)(3)(6)以外七種公式，可由下列方法求得：

設：損失水頭為 H

管渠之損失水頭



圖表 - 4

流速為 V

係數為 F

則：(1)(4)(5)(7)(8)(9)(10)諸公式同樣的可寫成爲：

$$H = FV^2$$

又(3)彎曲損失水頭 H 爲

$$H = F_1 F_2 V^2$$

圖—3 係求 $H = FV^2$ 圖表之概略圖，第一軸爲係數 f_1 ，第2軸右側爲所求之損失水頭 n ，第3軸係流速諸刻度。

使用方法：由(a)(b)與第2軸之交點(c)求 n 。

圖—4 條求彎曲損失水頭之圖表概略圖，第一軸與第三軸與圖—3 相同，第二軸左側爲輔助線 Z_b (冠字 b 係求 h_b 時輔助線之意)，第四軸爲所求之損失水頭 h_b 。

使用方法：由(d)(e)與第二軸得交點(f)，(g)(f)與第四軸得交點(h)，則(h)點爲所求之損失水頭 h_b 值。

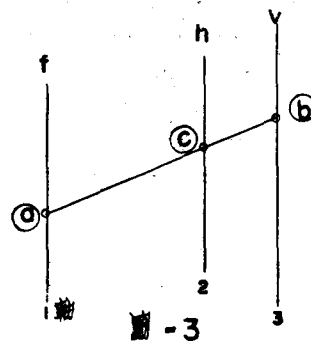


圖 - 3

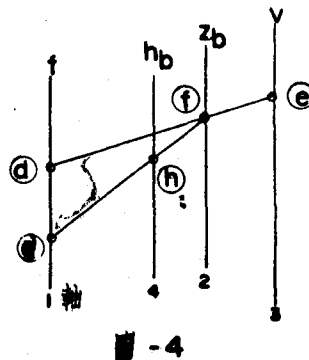


圖 - 4

以下為各損失水頭之計算公式：

(1) 入流損失水頭

$$h_i = f_i \frac{V_2^2}{2g}$$

式中： h_i ：入流損失水頭 (m)

V_2 ：入流後之流速 (m/sec)

f_i ：損失係數 (參照表一)

(2) 摩擦損失水頭

$$h_f = \frac{2gn^2}{R^{4/3}} \cdot L \cdot \frac{V^2}{2h}$$

與前述開渠之情形同與圖表一 3 共用。

(3) 彎曲損失水頭

$$h_b = f_{b1} \cdot f_{b2} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

式中： h_b ：彎曲損失水頭 (m)

f_{b1} ：曲率半徑與管徑之比 (r/D) 所定之損失係數 (彎曲之中心角 = 90° 時，(參照圖一 5)。

f_{b2} ：任意彎曲角度之損失與 90° 角度之損失比 (參照圖一 6)。

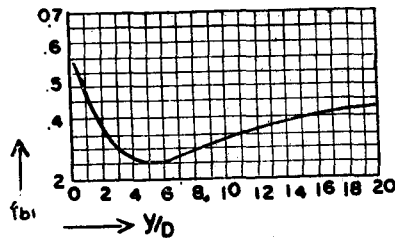


圖-5 彎曲中心角 90° 時曲率半徑對管徑比 (r/D) 與損失係數 f_{b1} 之關係

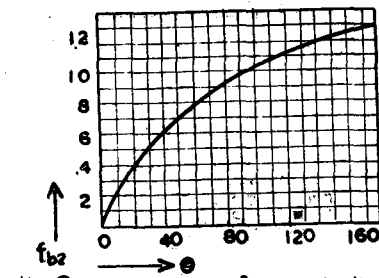


圖-6 彎曲角度 θ 與 90° 時之損失係數對比 f_{b2} 之關係

V ：平均流速 (m/sec)
 r ：曲率半徑 (m)
 D ：管徑 (m)
 θ ：彎曲中心角度

(4) 断面漸擴之損失水頭

$$h_{ge} = f_{ge} \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$$

式中： h_{ge} ：漸擴之損失水頭 (m)

f_{ge} ：損失係數 (參照圖一 7)。

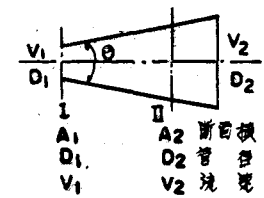
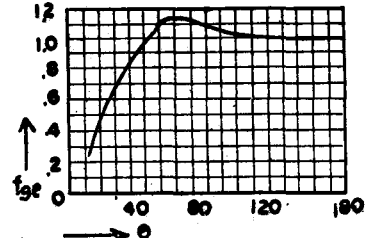


圖-7 漸擴之損失係數

θ ：漸擴角度
 V_1 ：漸擴前流速 (m/sec)
 V_2 ：漸擴後流速 (m/sec)

(5) 断面突擴之損失水頭

$$h_{se} = f_{se} \cdot \frac{V_1^2}{2g}$$

式中： h_{se} ：断面突擴之損失水頭 (m)

f_{se} ：損失係數 (參照圖一 8)。

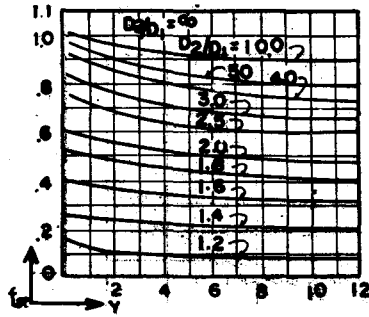
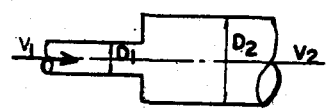


圖-8

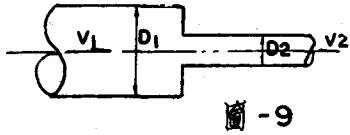
V_1 ：突擴前流速 (m/sec)
 D_1 ：突擴前管徑 (m)

(6) 断面漸縮之損失水頭

$$h_{gc} = f_{gc} \cdot \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$$

此式於圖表—5中詳述

(7) 断面突縮之損失水頭 (參照圖—9)



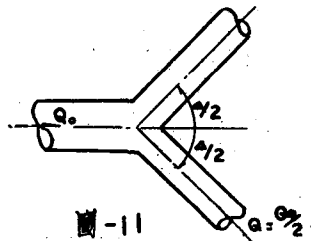
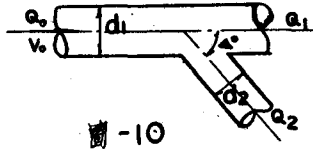
$$h_{sc} = f_{sc} \cdot \frac{V_2^2}{2g}$$

式中: h_{sc} : 断面突縮之損失水頭 (m)

f_{sc} : 損失係數 (參照表—3)

V_2 : 突縮後之平均流速 (m/sec)

(8) 分流之損失水頭 (參照圖—10, 11)



$$\begin{cases} h_1 = f_1 \cdot \frac{V_0^2}{2g} \\ h_2 = f_2 \cdot \frac{V_0^2}{2g} \end{cases}$$

式中: h_1 : 本管內之分流損失水頭 (m)

f_1 : 本管內損失係數 (參照圖—12)

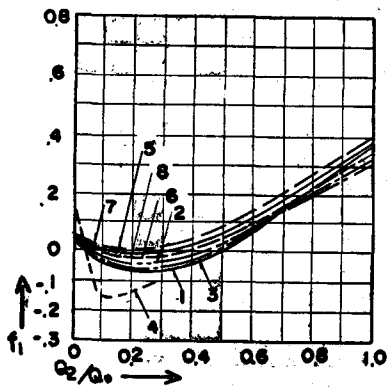


圖-12 分流 f_1

h_2 : 支管內之分流損失水頭 (m)

f_2 : 支管內損失係數 (參照圖—13)

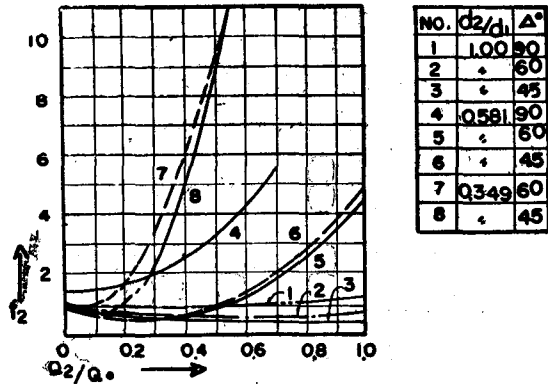
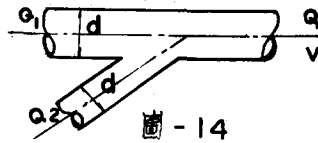


圖-13 分流 f_2

V_0 : 分岐點上游本管內流速 (m/sec)

如圖—11之Y型分岐管時, $f_1 = f_2 = 0.5$

(9) 合流之損失水頭 (參照圖—14)



$$\begin{cases} h_1 = f_1 \cdot \frac{V_0^2}{2g} \\ h_2 = f_2 \cdot \frac{V_0^2}{2g} \end{cases}$$

式中: h_1 : 本管合流損失水頭 (m)

f_1 : 本管內損失係數 (參照圖—15)

h_2 : 支管內合流損失水頭 (m)

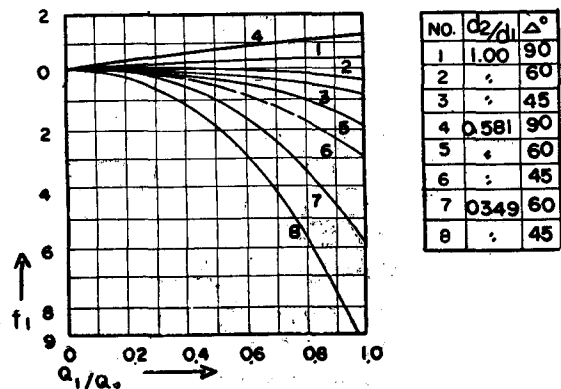
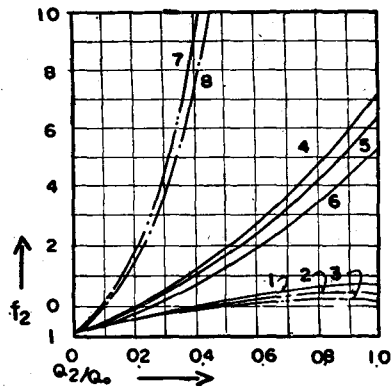


圖-15 合流 f_1



No	d_2/d_1	α°
1	1.00	90
2	0.8	60
3	0.6	45
4	0.581	90
5	0.5	60
6	0.4	45
7	0.349	60
8	0.3	45

圖-16 合流 f_2

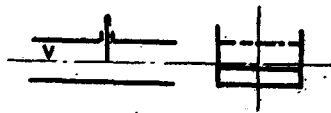


圖-17

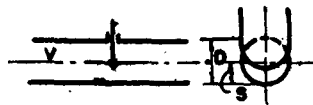


圖-18

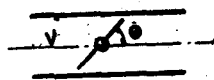


圖-19

f_2 : 支管內損失水頭 (參照圖-16)

V_0 : 合流點下游本管內流速 (m/sec)

(0) 弁類之損失水頭 (參照圖-17,18,19)

$$h_v = f_v \cdot \frac{V^2}{2g}$$

式中: h_v : 弁之損失水頭 (m)

f_v : 損失係數 (參照表-4.5)

V : 管內平均流速 (m/sec)

表-3 係數值 f_{se}

D_2/D_1	0.1	0.32	0.45	0.63	0.77	0.89	1.00
A_2/A_1	0.01	0.10	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
f_{se}	0.44	0.41	0.38	0.29	0.18	0.09	0.00

表-4 係數值 f_v

順序	弁類	弁之尺度	管路形狀	參考圖
1	滑動閥	50×25mm	矩形	圖-17
2	"	40mmφ	圓形	圖-18
3	"	610mmφ	"	"
4	"	762mmφ	"	"
5	蝶形閥	—	矩形	圖-19
6	"	—	圓形	"

表-5 弁閥開啓度損失係數 f_v 之關係

順序	開啓度與損失係數													
1	a/A_0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	—	—	—
	f_v	193.0	44.5	17.8	8.12	4.02	2.08	0.95	0.39	0.09	0.0	—	—	—
2	a/A_0	0.159	0.315	0.466	0.609	0.740	0.856	0.948	1.00	—	—	—	—	—
	S/D	1/8	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8	1.0	—	—	—	—	—
	f_v	97.8	17.0	5.52	2.06	0.81	0.26	0.07	0.0	—	—	—	—	—
3	a/A_0	0.05	0.10	0.23	0.36	0.48	0.60	0.71	0.81	0.89	—	—	—	—
	S/D	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	—	—	—	—
	f_v	235	100	28	11	5.6	3.2	1.7	0.95	—	—	—	—	—
4	a/A_0	0.05	0.10	0.23	0.36	0.48	0.60	0.71	0.81	0.89	—	—	—	—
	S/D	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	—	—	—	—
	f_v	333	111	23	9.4	5.2	3.1	1.9	1.13	0.60	—	—	—	—
5	a/A_0	0.00	0.06	0.13	0.23	0.29	0.36	0.43	0.50	0.58	0.66	0.74	0.83	0.91
	θ	90	70	60	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5
	f_v	∞	3.68	77.4	24.9	15.1	9.30	5.70	3.54	2.16	1.34	0.77	0.45	0.28

	a/A ₀	0.00	0.06	0.13	0.23	0.29	0.36	0.43	0.50	0.58	0.66	0.74	0.83	0.91
6	θ	90	70	60	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5
	fv	∞	751	118	32.6	18.7	10.8	6.22	3.91	2.51	1.54	0.90	0.52	0.24

註：表內：A₀：管斷面積(m²)， a₀：弁開啓斷面積(m²)， D：管徑(m)
S：開啓度(m) θ：蝶閥開啓角度(參照圖-19)

例-4 H=KV²型計算例

設 f=0.7 V=2.0m/sec

$$\text{則 } h = f \cdot \frac{V^2}{2g}$$

其值爲：

f 軸上0.7爲(a)，V軸上2.0爲(b)，求(a)(b)與h 軸交點(c)，讀得h軸爲0.14，此值係所求之損失水頭。

$$h = 0.7 \cdot \frac{2^2}{2g} = 0.14\text{m}$$

又 f₁=0.8 f₂=0.3 V=1.5m/sec

則彎曲損失水頭

$$h_b = f_1 \cdot f_2 \cdot \frac{V^2}{2g}$$

其值爲：

取 f 軸上0.8爲(d)，V軸上1.5爲(e)，(d)(e)與Z_b 軸交點爲(f)，再(f)軸上0.3爲(g)，(f)(g)與 h_b 軸之交點爲(h)，讀得約0.028，故此值爲彎曲損失水頭 h_b=0.028m。

5 圖表-5

斷面漸縮損失水頭公式(參加圖-20)

$$h_{gc} = \frac{0.025}{8 \sin \theta / 2} \cdot \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$$

式中：h_{gc}：斷面漸縮之損失水頭(m)

θ：漸縮角度

V₁：漸縮前流速(m/sec)

V₂：漸縮後流速(m/sec)

$$\frac{0.025}{8 \sin \theta / 2} : \text{損失係數值}$$

圖表左側第一軸爲(V₂+V₁)，刻度自1~10m/sec，第二軸爲Z 軸助線，第三軸左邊爲(V₂-V₁)，刻度自0.1~1.0m/sec，右邊係所求 h_{gc} 值，刻度自0.0001~0.1m，第四軸爲θ/2 刻度自1~30度。

例-5 設 V₁=2.0m/sec, V₂=1.5m/sec,

θ=20°之漸縮管路，求損失水頭 h_{gc} 值。

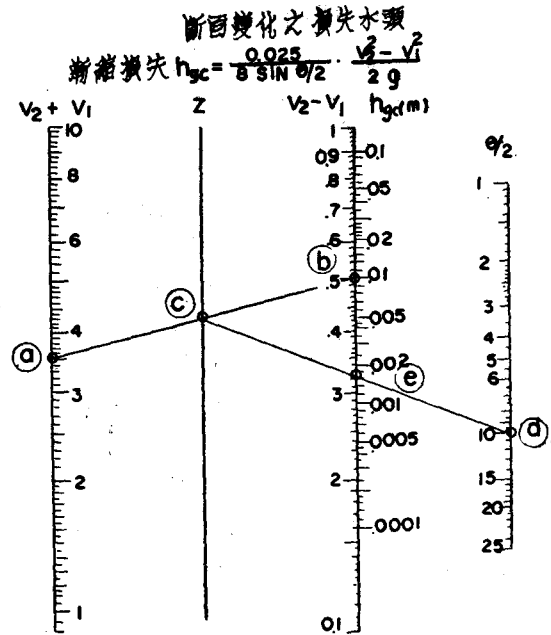
解：流速之和與差爲：V₂+V₁=2.0+1.5=3.5m/sec,

$$V_2 - V_1 = 2.0 - 1.5 = 0.5\text{m/sec}$$

在(V₂+V₁) 軸上3.5爲(a)，0.5爲(b)，則(a)(b)與Z 軸之交點爲(c)，θ/2 軸上10爲(d)，求(c)(d)與 h_{gc} 軸之交點得(e)，讀得0.0016，此值爲所求之斷面漸縮損失水頭。



圖-20



圖表-5