

# 論 說 報 告

上水道

第21卷第8號 昭和10年8月

## 水道管に於ける水衝壓に就て

會 員 工 學 博 士 池 田 篤 三 郎\*

On the Water Hammer in Pipe Lines of Water Supply

By Tokusaburo Ikeda, Dr. Eng., Member.

### 要 旨

本論文は水道管路に於ける水衝壓を實驗により求め之を基礎として管厚と弁類操作との關係に論及せるものである。

目 次	頁
第1章 總 說	1
第1節 緒 言	1
第2節 水道管に於ける水衝壓	2
第3節 水衝壓の諸公式	3
第4節 水衝壓と水道管の厚さ	4
第2章 大口徑單一管路の水衝壓	6
第1節 導水管に於ける水壓式制水弁閉鎖に依る水衝壓	6
第2節 管路閉鎖時間と最大水衝壓との關係	8
第3節 手動式制水弁閉鎖に依る水衝壓	10
第4節 副制水弁の作用	10
第5節 單一管水路に設けられた副壓槽	11
第6節 大口徑制水弁の操作	11
第3章 配水管に於ける水衝壓	13
第1節 消火栓閉鎖に依る水衝壓	13
第2節 常時通水に於ける配水管制水弁閉鎖による水衝壓	16
第3節 排泥弁閉鎖に依る水衝壓	16
第4節 配水管に於ける弁類の操作	17
第4章 給水管に於ける水衝壓	18
第5章 通水作業に於ける衝撃	23
第6章 水道管に於ける諸壓力	26
第7章 管の強さと弁類の構造	32
第1節 鑄鐵管の強さと水衝壓	32
第2節 鉛管の強さと水衝壓	33
第3節 弁類の構造と水衝壓	33
第8章 結 論	36

### 第1章 總 說

#### 第1節 緒 言

管路に於ける水衝作用は通水中の管路を急に閉塞又は其の斷面を縮少した場合に生ずる現象であるが水衝作用

\* 名古屋市水道部長

の理論は通例単一管路に對するものであるが、一般に水道管路は複雑なる管路網より成り普通印籠鉛接合では多少の漏水は免れないから之等を理論上より求むる事は甚だ困難で實驗により他を推定するより外はない。

即ち水道管は導水管、送水管の如く大口徑の単一管路のものから配水管、給水管の如く大小口徑のものが網目状に錯綜せるものあり、又管の材質も鑄鐵、鋼鐵、鉛、銅等種々あつて之が互に連絡してゐる。

送水方法にも自然流下によるもの、唧筒壓送によるもの及び兩者併用連絡せるもの等あり、又管路閉塞装置には制水弁、自動閉鎖装置、消火栓、止水栓、給水栓等異種のものを使用せられ、其の使用回數に於ても配水本管の制水弁の如く其の機會の比較的少ないものもあれば、又給水栓類の如く極めて頻繁に使用せられ従つて間斷なく水衝歴を生ずるものもある。かくの如く水道管内に生ずる水衝歴は極めて複雑である。

最近水道用管として管厚の薄い所謂高級鑄鐵管、合金鉛管等が出現し其の外様式の異りたる各種類の管並に弁類が使用せらるゝに至つたから一層水衝歴と弁類操作との關係を究むる事が必要となつた。

著者は先づ現在最も多く使用せられてゐる鑄鐵管及び鉛管に於て各種弁類の操作より生ずる水衝歴に關し名古屋市に於て多數の實驗を行ひ此の結果より現在我國に於て管厚計算に用ひられて居る水衝歴と比較し各種管の強度に就て論じ更に制水弁操作に關して述べやう。

## 第 2 節 水道管に於ける水衝歴

水道管路中の制水弁、消火栓又は給水栓等を急に閉鎖する場合は水衝作用に依り全閉の際は静水壓以上一部閉鎖の際は動水壓以上の水壓を生ずる。而してこの異狀水壓を水衝歴と稱へ、その大きさは管路の状態、管内流速、管徑及び管の材質、管路の閉鎖速度等に依り異なる。

先づ水道管路の状態に就て見れば導水管は概して単一管路で上流端は廣き面積を有する池又は河に開口し自然流下によるものと、唧筒壓送によるものとあり、又配水管は一條或は數條の本管を有し之より多くの支管が分岐し互に交叉し其の末端は通常回路をなせるが、時には行止りのものもあり、其の送水方法は自然流下、唧筒壓送或は兩者併用のものがある。

管の大きさは導水管、送水管は一般に市内配水管に比して、大口徑で現在我國の最大徑は鑄鐵管では名古屋市の口徑 1700 mm、鋼管では東京市の 2020 mm である。配水管は最小 75 mm より最大 1500 mm 位で其の管内流速は管徑に依つて相違し通常經濟流速なる 0.5~1.0 m/sec 程度となつてゐるか放水破裂、火災時等には局所的に更に大なる流速となる。又管の材質は導水管、配水管等では主として鑄鐵管、鋼管が使用せられ、給水管は主に鉛管であるが亜鉛鍍鋼管、銅管等も使用せらる。又鑄鐵管、鋼管は多く印籠鉛接合で之が 3~4 m 毎に存在し、従つて此の部分は幾分彈性を有し且つ多少漏水もあつて水衝作用を緩和する。

尚弁の種類並に其の操作の狀況も多種多様でこれを形式の上からは (1) 仕切弁 (sluice valve)、以下本論文では制水弁と稱ふ、(2) 回轉弁 (butterfly valve)、(3) 止水栓 (cock)、(4) 圓板弁 (disc valve)、(5) ニードル弁 (needle valve)、(6) 特種弁 (例へばフラッシュバルブ、ボールタップ等) 等に大別する事が出来る、更にその使用目的から分ければ導水管、送水管、配水管には制水弁、排氣弁、排泥弁、逆止弁等があり、制水弁には手動式、水壓式或は自動式があり、配水管には更に消火栓がある。給水管には各種類の給水栓、止水栓あり更に給水栓は其の使用目的に依り一般家事用の乙種給水栓を始めとし堅型水栓、レバー・ハンドルロック等あり、水洗式便所のある所ではフッシュバルブ、ボールタップ、衛生カラン等がある。以上各種の弁類はその目的に依り各々特殊の構造を有し、従つて之が操作に依つて生ずる水衝歴も異なる。即ち制水弁は水量調整或は管路の閉塞に使用せられ手動式では閉鎖時間は第 1 表に示す如く比較的長時間を要するが、大口徑管に使用せられる水壓式では閉鎖時間は一般に短く操作水壓並に管の

大きさにもよるが口径 900 mm 程度では大體 1 分以内で特に管路故障に際し可及的迅速に管路を閉塞する爲に、設けられた自動制水弁は閉鎖時間は更に短くなつてゐる。

第 1 表 手動制水弁閉鎖所要時間 (最大速度)

管 徑	75	100	150	200	250	300	400	500	600	700	900
閉鎖時間	20 秒	30 秒	45 秒	1 分	1 分 30 秒	2 分 30 秒	3 分	5 分	7 分	10 分	15 分

消火栓はその數多く且つ火災時には可成り多數のものが一時に使用せられ閉塞時間も短いため水衝壓も大きくなると思はれ排泥弁は閉鎖速度は消火栓よりは多少遅いけれども消火栓に比し口径も大であるから放水量も多く従つて之又相當の水衝壓となると考へる。

排氣弁は空管に 通水する際管内空氣の排除又は管路中に自然に集つた空氣を常時排出して水衝壓には直接關係がないが通水時に管内へ一時に多量の水を注入する時は空氣は壓縮され相當の壓力となると考へらる。

乙給水栓の閉閉には相當時間を要し名古屋市使用のものに就て行つた結果は第 2 表の様である。

之に反し、乙止水栓、レバーハンドル・コック等は殆んど瞬間閉塞となる。斯くの如く水道管に於ては管路の狀態、弁の種類等極めて複雑で管路を急に縮少又は閉鎖する爲生ずる水衝壓を一律に論ずることは出来ない。

第 2 表 乙給水栓閉鎖所要時間

口径別 (mm)	閉鎖時間 (秒)		全閉までの回転數
	普通	最小	
10	8.2	5.0	5.0
13	6.0	2.4	3.7
16	6.0	3.0	3.8
20	5.2	3.2	4.0
25	10.2	5.3	6.5

第 3 節 水衝壓の諸公式

管路の弁類を急閉すれば弁前の流水は急に減速され、その爲管内の水壓は急に上昇し所謂水衝作用を呈する。此の場合減速並に上昇水壓は一定の速さを以て上流側に傳播されるが其の傳播速度は水及び管壁の彈性變形に依り異なり次式を以て表はされて居る。

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{\frac{w_0}{g} \frac{1}{E_w} \left(1 + \frac{D}{\delta} \frac{E_w}{E_s}\right)}} \quad \text{茲に } \omega : \text{減速並に水壓の傳播速度, } w_0 : \text{水の單位重量,}$$

$$D : \text{管徑, } \delta : \text{管厚, } E_w : \text{水の壓縮率,}$$

$$E_s : \text{管壁の彈性率, } g : \text{重力の加速度}$$

而して瞬間的に弁を閉塞した場合の静水壓以上の増加水頭は次の如くである。

$$z_0 = \frac{\omega}{g} v_0 = \frac{v_0}{g} \frac{1}{\sqrt{\frac{w_0}{g} \frac{1}{E_w} \left(1 + \frac{D}{\delta} \frac{E_w}{E_s}\right)}} \quad \text{茲に } z_0 : \text{静水頭以上の増加水頭,}$$

$$v_0 : \text{弁閉鎖前の管内流速}$$

尙閉塞時間を考慮に入れた場合の増加水頭に對しては次の如き種々の近似公式が與へられて居る。尙公式の符號は前掲以外のものは次の通りである。

$T$  : 全閉鎖に要する時間 (秒),  $H_0$  : 弁上流の静水頭 (m),

$l$  : 廣き水面を有する流入口迄の管長 (m),  $v_0 = z_0 + H_0$

(1) Allievi 公式 :  $z_0 = \frac{NH_0}{2} + \frac{H_0}{2} \sqrt{N^2 + 4N}, \quad N = \left(\frac{l v_0}{gTH_0}\right)^2$

(2) Johnson 公式 :  $z_0 = \frac{2MH_0}{N^2} (M \sqrt{M^2 + N^2}), \quad M = l v_0, \quad N = 2gH_0T$

(3) Uhl 公式 :  $z_0 = \frac{n}{2} H_0 (n + \sqrt{n^2 + 4}), \quad n = \frac{l v_0}{gTH_0}$

(4) A. H. Gibson 公式 :  $z_0 = \frac{1}{g} (a^2 + a\sqrt{2gH_0 + a^2})$ ,  $a = \frac{Ll_1}{AT}$  但し  $A$  : 管の断面積,  
 $l_1$  : 弁の有効最大開放面積

(5) Vensano 公式 :  $z_0 = \frac{2l v_0}{gT}$ , 但し  $\frac{v_0 \omega}{g} > z_0$

(6) Warren 公式 :  $z_0 = \frac{l v_0}{g(T - \frac{l}{\omega})}$

(7) Bundschu 公式 : (a)  $T < \frac{2l}{\omega}$ ,  $z_0 = \frac{\omega v_0}{g}$ , (b)  $T > \frac{2l}{\omega}$ ,  $z_0 = m - H_0 - \sqrt{m^2 - m'^2}$

$$m = m' + m'', \quad m' = H_0 + \frac{\omega v_0}{g}, \quad m'' = \frac{v_0^2}{2g^2 H_0} \left( \omega - \frac{2l}{T} \right)^2$$

以上の諸公式中 (1), (2), (3) 及び (4) は  $E_{10} = \infty$ ,  $E_s = \infty$  なる場合であるから,  $T$  が小なる時は過大な値を與へ, (5), (6) 式は共に  $H_0$  に無関係であるから  $H_0 < 100$  m なる時は誤差は大となる。尚 (4) 式は摩擦損失の大ならざる範圍即ち  $H_0 > 10$  m 及び  $T > 10 \frac{2l}{\omega}$  なる場合に適用する事が出来ると云はれて居る。

第 4 節 水衝壓と水道管の厚さ

1. 鑄鐵管の厚さ

水道用鑄鐵管の厚さは通常内壓に依つて決められ, この内壓は又静水壓或は動水壓に水衝壓を加へたものが用ひられてゐる。我國水道協會の規格では水衝壓の餘裕として普通壓, 低壓管共 55 m (5.5kg/cm<sup>2</sup>) が用ひられてゐる。而して水衝壓は衝撃力として作用するから實際には前記餘裕水頭より遙に小さい水衝壓である事が必要である。次に水衝壓を加味した管厚諸公式を示すと大體次の様である。

(1) Fanning 氏公式 :  $t = \frac{(P+100)d}{1.68S} + 0.333 \left( 1 - \frac{d}{100} \right)$

式中  $t$  : 管厚 (吋),  $P$  : 使用壓力 (#/吋<sup>2</sup>),  $d$  : 管の内徑 (吋),  $S = 3200 \sim 3600$  #/吋<sup>2</sup>  
 水の衝撃壓力 = 100 #/吋<sup>2</sup>

(2) Fair Child 氏公式 : For centrifugally Cast Iron Pipe

$$t = \frac{fd(P+P_1)}{2S} + \frac{0.3}{d^{0.3}}$$

式中  $t$  : 管厚 (吋),  $d$  : 内徑 (吋),  $f$  : 安全率 (4)  
 $S$  : 破壊強度 (20000 #/吋<sup>2</sup>),  $P$  : 静水壓 (#/吋<sup>2</sup>),  $P_1$  : 衝撃壓力 (#/吋<sup>2</sup>)

(3) Burton 氏公式 :  $t = \frac{(P+100)r}{S} + 0.3$

式中  $S$  : 破壊強度 = 18000 #/吋<sup>2</sup>,  $r$  : 半径 (吋)  
 他は前式と同様

(4) New England water works association

$$t = \frac{(P+P')r}{3300} + 0.25, \quad P' = \frac{550}{\sqrt{d} + 8.8}$$

式中  $t$  : 管厚 (吋),  $r$  : 管の内半径 (吋),  $P$  : 静水壓 (#/吋<sup>2</sup>)  
 $P'$  : 水の衝撃に對する餘裕壓 (#/吋<sup>2</sup>)

衝撃に對する餘裕壓は徑に逆比例し之を前式より求むれば次の様である。

$d$ (吋)	3~10	12~14	16~18	20	24	30	36	42~60
$P'$ (#/吋 <sup>2</sup> )	120	110	100	90	85	80	75	70

(5) Philadelphia wood Co.

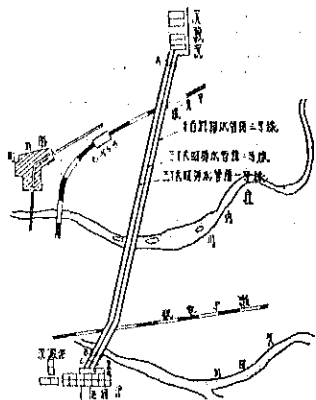
$$t = \frac{(P+100)d}{7200} + 0.333 \left( 1 - \frac{d}{100} \right), \quad t = \frac{(P+76)d}{7200} + 0.333$$

水の衝撃に對する餘裕壓としては 100 #/sq' 及び 70 #/sq' を用ひてゐる。以上數個の式を見るに衝撃に對する餘裕としては大體 100 #/sq' (約 7 kg/cm<sup>2</sup>) が用ひられ我國のものより多少大きくなつて居る。

2. 鋼管の厚さ

第 1 圖 鑄水鐵管衝擊水頭觀測平面圖

昭和 8 年に制定された水道協會型電氣銲接及び瓦斯銲接鋼管規格の直管の厚さ(異形管の寸法に就ては目下委員會で調査中である)は



A	10' 鋼管水頭
B	鋼管水頭觀測孔
C	鋼管管
D	鋼管、鋼管、鋼管

- (A) 水頭及び水の衝撃より生ずる内壓
  - (B) 氣壓、路面荷重、土壓より生ずる外壓
- の 2 方面に就て別々に考慮し其の計算の結果に依り何れか大なる方が使用せられてゐる。

又水の衝撃に對する水壓は鑄鐵管では 55 m であるが鋼管では 50 m となつてゐる。

而して内壓に對する管厚計算式は次の様である。

$$t = \frac{(P + P')d}{2 \times 1100} + 0.7$$

- 但し  $t$  : 管厚 (mm),  $P$  : 靜水壓 (kg/cm<sup>2</sup>)
- $P'$  : 水の衝撃に對する餘裕壓 (kg/cm<sup>2</sup>),  $d$  : 管徑 (mm)

而して高壓管(水頭 150 m 以下 110 m 以上に對するもの)には  $P=15 \text{ kg/cm}^2$ ,  $P'=5 \text{ kg/cm}^2$  とし普通壓管(水頭 110 m 以下に對するもの)には  $P=11 \text{ kg/cm}^2$ ,  $P'=5 \text{ kg/cm}^2$  として前式より導かれた次式に依つてゐる。

高壓管  $t=0.0090 \ 91 \ d + 0.7$ , 普通壓管  $t=0.0072 \ 3 \ d + 0.7$

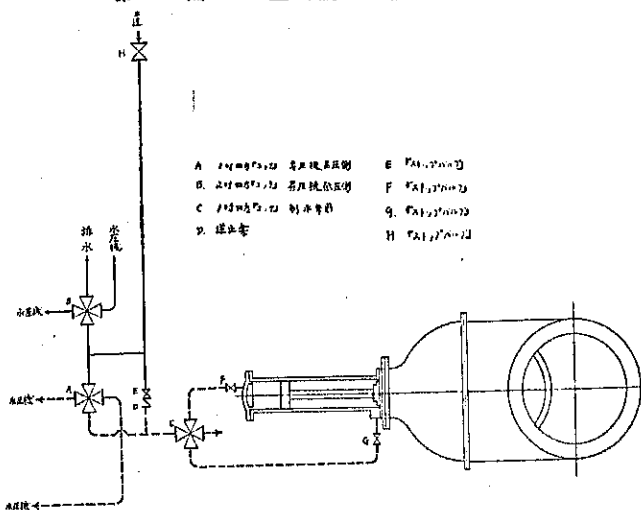
此の鋼管規格は内徑 300 mm 以上に對するものであるが小口径には継目無鋼管を使用することとし、その規格は昭和 9 年に制定された。

3. 鉛管の厚さ

我國に使用せられてゐる鉛管の水衝壓に對する餘裕は低壓普通壓鑄鐵管と同様 5.5 kg/cm<sup>2</sup> となつてゐる。

以上各種類の管の厚さを定むるには種々の方法があるが、要するに水衝壓を考慮して定むる場合には先づ管の使用目的、管の材質並に管の大きさの範圍等より管内に生ずる水衝壓の大きさを實驗より求め、然る後管厚に對する餘裕として適當なる水衝壓の大きさを定めなければならない。

第 2 圖 水壓式制水弁開閉裝置圖



- A 10' 鋼管水頭
- B 鋼管水頭觀測孔
- C 鋼管管
- D 鋼管
- E 鋼管水頭
- F 鋼管水頭
- G 鋼管水頭
- H 鋼管水頭

第2章 大口徑單一管路の水衝壓

第1節 導水管に於ける水壓式制水弁閉鎖による水衝壓

本實驗は昭和10年1月より3月に亘り名古屋市鳥居松洗滌池より鍋屋上野瀧池に至る36吋導水管鐵管(第1圖參照)の水壓式制水弁閉鎖に依る水面作用を測したもので管種,延長,年齡,測定方法等は次の様である。

- (1) 管種, 管徑, 管厚: 低壓普通鑄鐵管, 管内徑 36 吋 (914.4 mm), 斷面積 0.6566 9 m<sup>2</sup>, 管厚 0.93 吋 (23.4 mm),
- (2) 管長: 洗滌池流入口より瀧池制水弁までの距離 7701.84 m,
- (3) 通水年月: 昭和 2 年 4 月通水せるものにて, 經過年數約 8 箇年
- (4) 制水弁閉鎖方法: 制水弁は水壓式で第 2 圖に示す如く徐々に閉塞する場合には水道常水壓を H より E(D)CF

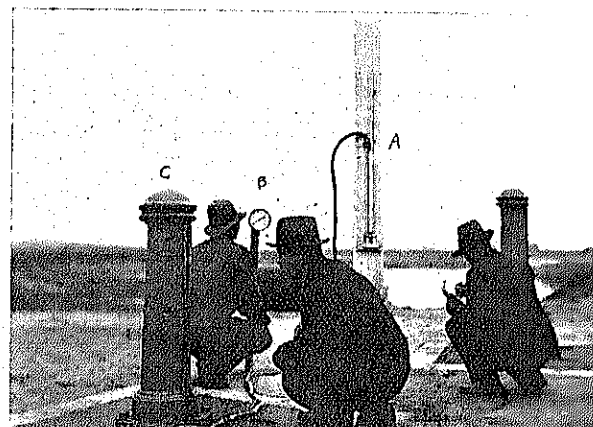
第3表 水衝作用による水頭の時間的變化

(II) 鍋屋上野瀧池(上流)より洗滌池(下流)までの距離 7701.84 m

下流鳥居松池 (cm)				上流鍋屋上野瀧池 (cm)			
時刻	水頭	管底	管頂	時刻	水頭	管底	管頂
0	115.0	2.2	117.2	0	115.0	2.2	117.2
10	115.0	2.2	117.2	10	115.0	2.2	117.2
20	115.0	2.2	117.2	20	115.0	2.2	117.2
30	115.0	2.2	117.2	30	115.0	2.2	117.2
40	115.0	2.2	117.2	40	115.0	2.2	117.2
50	115.0	2.2	117.2	50	115.0	2.2	117.2
60	115.0	2.2	117.2	60	115.0	2.2	117.2
70	115.0	2.2	117.2	70	115.0	2.2	117.2
80	115.0	2.2	117.2	80	115.0	2.2	117.2
90	115.0	2.2	117.2	90	115.0	2.2	117.2
100	115.0	2.2	117.2	100	115.0	2.2	117.2
110	115.0	2.2	117.2	110	115.0	2.2	117.2
120	115.0	2.2	117.2	120	115.0	2.2	117.2
130	115.0	2.2	117.2	130	115.0	2.2	117.2
140	115.0	2.2	117.2	140	115.0	2.2	117.2
150	115.0	2.2	117.2	150	115.0	2.2	117.2
160	115.0	2.2	117.2	160	115.0	2.2	117.2
170	115.0	2.2	117.2	170	115.0	2.2	117.2
180	115.0	2.2	117.2	180	115.0	2.2	117.2
190	115.0	2.2	117.2	190	115.0	2.2	117.2
200	115.0	2.2	117.2	200	115.0	2.2	117.2
210	115.0	2.2	117.2	210	115.0	2.2	117.2
220	115.0	2.2	117.2	220	115.0	2.2	117.2
230	115.0	2.2	117.2	230	115.0	2.2	117.2
240	115.0	2.2	117.2	240	115.0	2.2	117.2
250	115.0	2.2	117.2	250	115.0	2.2	117.2
260	115.0	2.2	117.2	260	115.0	2.2	117.2
270	115.0	2.2	117.2	270	115.0	2.2	117.2
280	115.0	2.2	117.2	280	115.0	2.2	117.2
290	115.0	2.2	117.2	290	115.0	2.2	117.2
300	115.0	2.2	117.2	300	115.0	2.2	117.2

第3圖 導水管に於ける水衝壓測定狀況

場所 鍋屋上野瀧池水場管内分水弁  
時 昭和10年1月



A... 水頭壓力計, B... 操符式壓力計, C... 水壓式制水弁閉鎖度指示器

第4表 水衝作用に依る水頭の時間的變化

(II) 鍋屋上野瀧池(上流)より洗滌池(下流)までの距離 7701.84 m

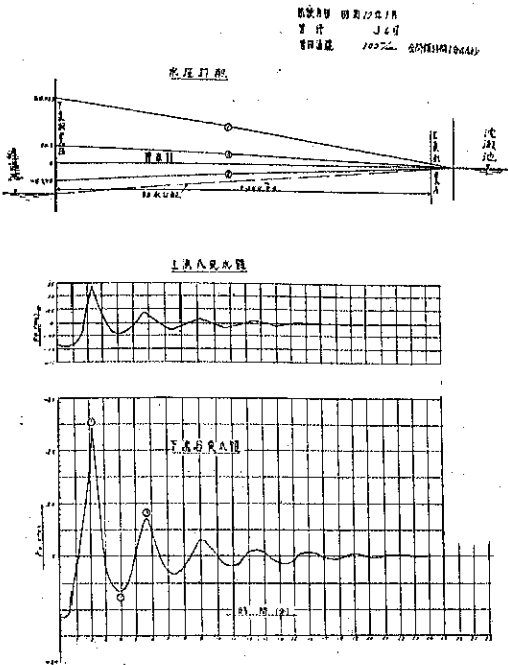
下流鳥居松池 (cm)				上流鍋屋上野瀧池 (cm)			
時刻	水頭	管底	管頂	時刻	水頭	管底	管頂
0	115.0	2.2	117.2	0	115.0	2.2	117.2
10	115.0	2.2	117.2	10	115.0	2.2	117.2
20	115.0	2.2	117.2	20	115.0	2.2	117.2
30	115.0	2.2	117.2	30	115.0	2.2	117.2
40	115.0	2.2	117.2	40	115.0	2.2	117.2
50	115.0	2.2	117.2	50	115.0	2.2	117.2
60	115.0	2.2	117.2	60	115.0	2.2	117.2
70	115.0	2.2	117.2	70	115.0	2.2	117.2
80	115.0	2.2	117.2	80	115.0	2.2	117.2
90	115.0	2.2	117.2	90	115.0	2.2	117.2
100	115.0	2.2	117.2	100	115.0	2.2	117.2
110	115.0	2.2	117.2	110	115.0	2.2	117.2
120	115.0	2.2	117.2	120	115.0	2.2	117.2
130	115.0	2.2	117.2	130	115.0	2.2	117.2
140	115.0	2.2	117.2	140	115.0	2.2	117.2
150	115.0	2.2	117.2	150	115.0	2.2	117.2
160	115.0	2.2	117.2	160	115.0	2.2	117.2
170	115.0	2.2	117.2	170	115.0	2.2	117.2
180	115.0	2.2	117.2	180	115.0	2.2	117.2
190	115.0	2.2	117.2	190	115.0	2.2	117.2
200	115.0	2.2	117.2	200	115.0	2.2	117.2
210	115.0	2.2	117.2	210	115.0	2.2	117.2
220	115.0	2.2	117.2	220	115.0	2.2	117.2
230	115.0	2.2	117.2	230	115.0	2.2	117.2
240	115.0	2.2	117.2	240	115.0	2.2	117.2
250	115.0	2.2	117.2	250	115.0	2.2	117.2
260	115.0	2.2	117.2	260	115.0	2.2	117.2
270	115.0	2.2	117.2	270	115.0	2.2	117.2
280	115.0	2.2	117.2	280	115.0	2.2	117.2
290	115.0	2.2	117.2	290	115.0	2.2	117.2
300	115.0	2.2	117.2	300	115.0	2.2	117.2

第5表 水衝作用に依る水頭の時間的變化

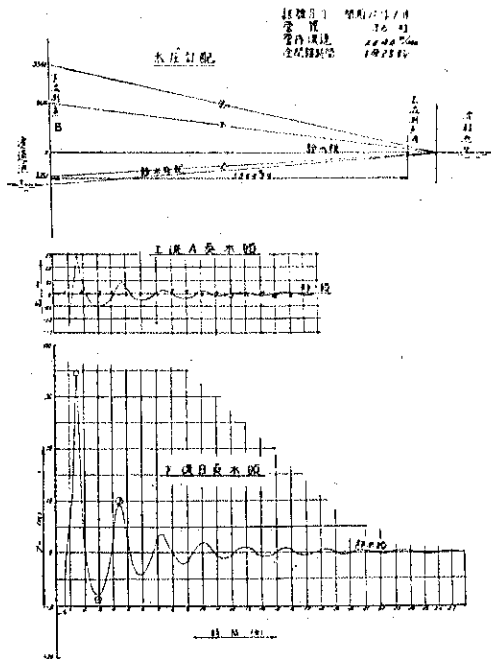
(II) 鍋屋上野瀧池(上流)より洗滌池(下流)までの距離 7701.84 m

下流鳥居松池 (cm)				上流鍋屋上野瀧池 (cm)			
時刻	水頭	管底	管頂	時刻	水頭	管底	管頂
0	115.0	2.2	117.2	0	115.0	2.2	117.2
10	115.0	2.2	117.2	10	115.0	2.2	117.2
20	115.0	2.2	117.2	20	115.0	2.2	117.2
30	115.0	2.2	117.2	30	115.0	2.2	117.2
40	115.0	2.2	117.2	40	115.0	2.2	117.2
50	115.0	2.2	117.2	50	115.0	2.2	117.2
60	115.0	2.2	117.2	60	115.0	2.2	117.2
70	115.0	2.2	117.2	70	115.0	2.2	117.2
80	115.0	2.2	117.2	80	115.0	2.2	117.2
90	115.0	2.2	117.2	90	115.0	2.2	117.2
100	115.0	2.2	117.2	100	115.0	2.2	117.2
110	115.0	2.2	117.2	110	115.0	2.2	117.2
120	115.0	2.2	117.2	120	115.0	2.2	117.2
130	115.0	2.2	117.2	130	115.0	2.2	117.2
140	115.0	2.2	117.2	140	115.0	2.2	117.2
150	115.0	2.2	117.2	150	115.0	2.2	117.2
160	115.0	2.2	117.2	160	115.0	2.2	117.2
170	115.0	2.2	117.2	170	115.0	2.2	117.2
180	115.0	2.2	117.2	180	115.0	2.2	117.2
190	115.0	2.2	117.2	190	115.0	2.2	117.2
200	115.0	2.2	117.2	200	115.0	2.2	117.2
210	115.0	2.2	117.2	210	115.0	2.2	117.2
220	115.0	2.2	117.2	220	115.0	2.2	117.2
230	115.0	2.2	117.2	230	115.0	2.2	117.2
240	115.0	2.2	117.2	240	115.0	2.2	117.2
250	115.0	2.2	117.2	250	115.0	2.2	117.2
260	115.0	2.2	117.2	260	115.0	2.2	117.2
270	115.0	2.2	117.2	270	115.0	2.2	117.2
280	115.0	2.2	117.2	280	115.0	2.2	117.2
290	115.0	2.2	117.2	290	115.0	2.2	117.2
300	115.0	2.2	117.2	300	115.0	2.2	117.2

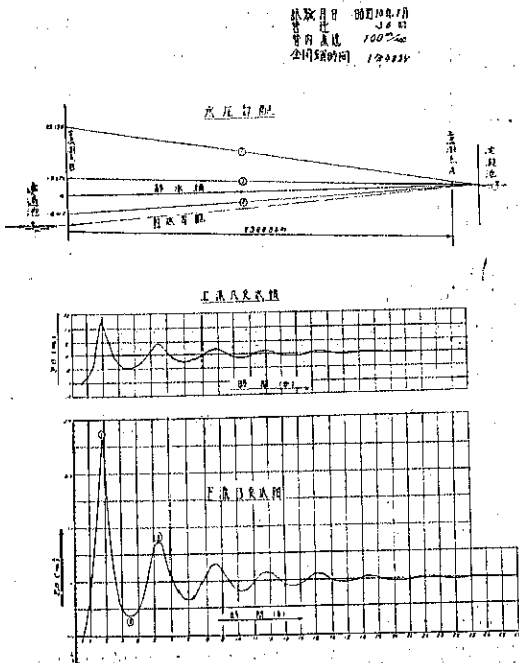
第 4 圖 水衝作用に依る水頭の時間的變化



第 5 圖 水衝作用に依る水頭の時間的變化



第 6 圖 水衝作用に依る水頭の時間的變化



を経て通じ更に徐々に閉塞せんとする際は G、F なるストップ・バルブを加減するものである。比較的短時間に閉塞する場合は昇壓機を使用し H より B を通じて水道管を昇壓機に導き A より出づる高圧水は ACF の経路を経て働き閉塞せしめるものである。

(5) 観測装置

(イ) 下流 B 測點：銅屋上野濾過池に於ては制水弁より上流約 3m の處に分水栓を取付け之に水銀及び發條式壓力計を取付けた。

(ロ) 上流 A 測點：流入口より下流 444.0m の所に分水栓を取付け之より鉛管にて導き沈澱池の最高水位以上 3m の硝子柱を樹てた。

(6) 観測方法：兩測點間には専用電話を具へ相互に連絡を保ち各 1 個のストップ・ウォッチを備へ先づ管内流量一定となり、沈澱池の水柱が殆んど上下しない様になる時を待ち濾過池に於ける矩形量水堰にて流量を測定し水壓を用ひて制水弁を可成一様に閉塞し之に依つて生ずる水衝脈を下流測點にては壓力計を用ひ(第 3 圖参照)上流測點にては水柱により測定した。

更に又上下流間に於ける壓力波の傳播速度を知るため下流に於て 2 個のストップ・ウォッチを一致せしめ 1 個を

上流に運び兩測點に於ける最大水頭に達した時の時刻を測りその兩者の差より傳播所要時間を求めた。

実験の結果は第 3 表乃至第 5 表及び第 4 圖及至第 6 圖の通り水衝壓波の第 1 波は最大で第 2 波以下は順次小さくなり、且つ第 3 波以下の周期は約 3 分となり次第に減衰し 25~30 分で全く測定出来ぬ迄に減衰した。

又第 1 波と第 2, 3 波の静水圧以上の最高水頭並に波の周期を示すと第 6 表の通りである。

第 6 表 下流部の最高水頭及び周期

	第 1 波 最大水頭 $z_0$	第 2 波 最大水頭 $z_1$	第 3 波 最大水頭 $z_2$	$z_0/z_1$	$z_0/z_2$	周 期	流 速 m/sec.
No. 1	+24.123	+7.012	+2.770	3.440	8.709	3'-70''	1.00
No. 2	+33.411	+9.474	+3.717	3.527	8.980	2'-47''	1.04
No. 3	+25.584	+7.374	+2.981	3.469	8.582	3'-20''	1.00

即ち第 2 波は第 1 波の約 1/3.5 となり急に減少してゐる、これから見ると水衝壓を反復衝撃と考ふる場合には第 1 波のみを考慮すれば良く従つて衝撃の回数は制水弁操作回数と同一と考ふことが出来る。

次に兩測點間の壓力波の傳播所要時間は平均 7.333 秒となり、兩測點間距離は 7344.84 m で従つて壓力波の傳播速度  $\omega = 1.003$  m/sec となる。

之より鑄鐵管の彈性率を求むれば次の如くなる。

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{\frac{w_0}{g} \frac{1}{E_w} \left( 1 + \frac{D}{t} \frac{E_w}{E_s} \right)}} \text{ なる式より}$$

$$E_s = \frac{w_0 \omega^2 \frac{D}{t} E_w}{g E - w_0 \omega^2} = 7.984073711 \times 10^9 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_w : \text{水の壓縮率} = 2.07 \times 10^9 \text{ kg/cm}^2$$

$$D = 36' = 914.4 \text{ mm,}$$

$$t = 0.02' = 23.37 \text{ mm (低壓管),}$$

$$w_0 = 1.0 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$$

故に實驗に供した導水管の彈性率は大約  $E_s = 8.0 \times 10^9 \text{ kg/cm}^2$  である。

鑄鐵の  $E_s$  は通常  $10 \times 10^9 \text{ kg/cm}^2$  とされてゐるから上の如く小さく表はれるのは管が錆のため薄くなつた事、漏水及び印籠鉛接手で膨張が容易な事によると考へられる。

尙印籠鉛接手の鐵管路には多少接合部に漏水あるを普通とするから此の點からも理論式をそのまま此の種水道管路に適用することは困難と考へらる。

## 第 2 節 管路閉鎖時間と最大水衝壓との關係

### (1) 實 驗

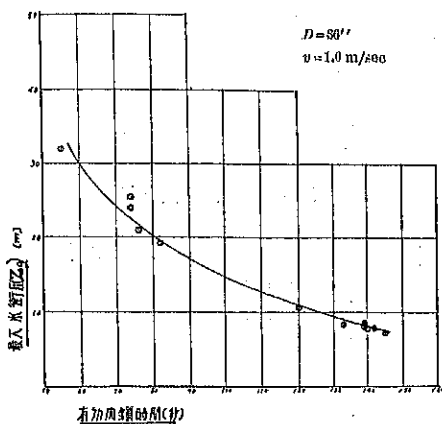
管路の閉鎖時間と水衝壓の大きさの關係に就て次の様な試験を行つた。

即ち前節と同一の管を使用し下流末端の制水弁を出来るだけ一様な種々の速度で閉鎖し水衝壓の變化を測定し同時に閉鎖開始より壓力計指針の始動するまでの時間 ( $t_1$ ) をも測定した。



尚閉鎖開始より壓力計指針の始動するまで閉鎖時間は水衝壓には関係ないものと假定すると有効閉鎖時間は全閉鎖時間より之を控除したものとなるから これをも同時に記録すれば第7表第2號線の實驗の通りである。尚同様な假定の下に 36 吋管 (第1號導水管) に於ける水衝壓と有効閉鎖時間との關係を示せば第7表第1號線實驗の通りである。

第7圖 有効閉鎖時間と最大水衝壓との關係



第7表 閉鎖時間と最大水衝壓

導水管24吋  $L=779.7'$   $D=36'$  水衝管

試行 番号	閉鎖時間 (分)	最大水衝壓 (cm)	閉鎖速度 (m/sec)	閉鎖距離 (m)	備考
1	0.3	30	3.0	779.7	
2	1.0	28	2.9	779.7	
3	1.8	26	2.8	779.7	
4	2.2	25	2.5	779.7	
5	2.8	24	2.4	779.7	
6	3.5	23	2.3	779.7	
7	4.2	22	2.2	779.7	
8	5.0	21	2.1	779.7	
9	6.0	20	2.0	779.7	
10	7.0	19	1.9	779.7	
11	8.0	18	1.8	779.7	

導水管14吋  $L=444.7'$   $D=36'$  水衝管

試行 番号	閉鎖時間 (分)	最大水衝壓 (cm)	備考
12	2.8	20.110	1/2 閉鎖、1/2 全閉、1/2 閉鎖、1/2 全閉
13	1.8	21.110	1/2 閉鎖、1/2 全閉、1/2 閉鎖、1/2 全閉
14	2.2	19.110	1/2 閉鎖、1/2 全閉、1/2 閉鎖、1/2 全閉

第8表 有効閉鎖時間と最大水衝壓

試行 番号	有効閉鎖 時間 (分)	最大水衝 壓 (cm)	備考
1	5.5	32.110	
2	7.8	28.110	
3	7.8	26.110	
12	7.8	21.110	
8	7.2	19.110	
3	11.0	21.110	
8	12.0	19.110	
2	13.3	20.110	
7	13.9	22.110	
9	14.0	23.110	
10	17.2	22.110	
11	17.8	21.110	

以上 2 つの結果より最大水衝壓を有効閉鎖時間との關係を示すと第8表、第7圖の如くなる。

而して全閉より全閉するときの有効閉鎖時間は大體 2/3 閉度 (全閉よりの扉の移動距離と管徑の比) より全閉する迄の時間である。

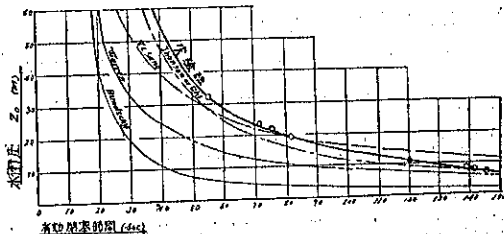
(2) 實驗値と在來諸公式との比較

前節の實驗値と第1章で述べた在來の諸公式より算出した計算値と比較して見ると第9表並に第8圖に示す如く實驗値は Johnson 公式と Vensano 公式に大體近いものとなり Warren 公式は小なる値を與へ Bundschu 公式は更に小なる値を與へてある。従つて全閉の場合に於ける印籠型鉛接合の大口徑

第9表 實驗値と諸公式による計算値との比較

閉鎖時間 (分)	5.5	7.8	7.8	11.0	13.9	17.2
實驗値	32.124	28.123	26.123	19.369	21.329	21.129
Johnson	22.263	17.780	15.810	12.083	7.810	7.123
Vensano	22.210	21.222	19.200	15.353	11.216	10.212
Warren	18.709	17.238	16.332	17.330	22.222	22.222
Johnson	22.263	17.780	15.809	12.079	7.809	7.123
U.S.G.W.	22.263	17.780	15.810	12.083	7.810	7.123
Bundschu	15.316	12.274	12.071	2.227	2.227	2.227

第8圖 在來諸公式による水衝壓計算値と實驗値比較



鐵管に對しての水衝壓を算定するには Johnson 公式或は Vensano 公式を用ふる時は大體近似値が得られる。而して之等公式使用に當り閉塞時間  $T$  は既に述べた如く全閉塞時間でなく水衝作用を生じ始める時より全閉されるまでの時間であつて實驗の結果によれば大體制水弁の 2/3 開度より完全閉塞に達する迄の時間を採用すればよい様である。

第 3 節 手動式制水弁閉鎖に依る水衝壓

本實驗は 36 吋導水管第一號線(第 1 圖参照)の水壓式制水弁を前述の手動式制水弁の最大閉鎖速度と同一の速度を以て閉鎖した場合の水衝壓を調べたものである。

其の結果は第 10 表及第 9 圖の通りで閉鎖時間 16 分 50 秒にて水衝壓は 3.33 m となり同一制水弁を 55 秒で閉鎖した時の 32.1 m に比し極めて小さくなった。之から見れば手動式制水弁を最大速度で閉鎖した場合に於ても水衝壓は殆んど考慮する必要がないと考へらる。

第 10 表 手動式制水弁閉鎖に依る水衝壓

閉鎖(分-秒)	1-0	1-10	2-0	2-35	3-0	3-10	4-12	7-0	12-3	9-25
水頭(m)	29.937	29.920	29.910	29.910	29.910	29.910	29.910	29.926	29.942	29.930
水頭差	1.00			0.02		0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
閉鎖(分-秒)	11-0	11-0	11-30	12-10	12-40	13-0	13-20	13-25	13-30	14-0
水頭(m)	30.077	30.000	30.021	31.071	32.322	32.622	31.282	32.022	31.222	31.373
水頭差	0.22									
閉鎖(分-秒)	14-30	14-30	15-10	15-30	15-40	15-55	16-30	16-30	16-30	
水頭(m)	30.223	30.167	30.020	32.060	32.060	30.147	30.271	30.260	30.260	
水頭差										

又水衝壓は管の延長にもよるが大體開度 1/5 以後の閉鎖速度に影響されることが甚だしい點から見て 1/5 開度以後の閉鎖時間を特に緩かにすることが水衝壓を少なくする上に大切な事と考へる。

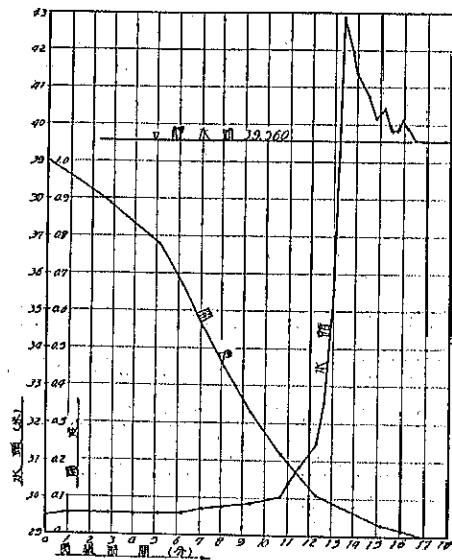
第 4 節 副制水弁の作用

一般に大口徑制水弁には普通閉鎖を容易にするため副制水弁が設けてあるから之を利用する時は水衝壓を大いに緩和することが出来るのは元よりであるがその程度は次の様である。名古屋市の導水管に就て行つた實驗に就て述べると第一號線

第 11 表 (副制水弁閉鎖)

閉鎖時間	7'~0"	3'~10"	1'~15"
本制水弁開度	670 mm	830 mm	全閉
最大水頭			11.21 m

第 9 圖 制水弁閉鎖速度と水衝壓



を利用し副制水弁を開放のまま本管制水弁を閉鎖しその時の水衝壓及び更に副制水弁を閉鎖して水衝壓を測定した處第 11 表の様な結果となつた。

この時の静水頭は 10.30 m であつたから静水頭以上僅に 1.2 m の上昇を見たのみである。

本管制水弁閉鎖後引き続き副制水弁を 3 分 45 秒の時間で閉鎖したところ最大水頭は 12.73 m となり、静水頭以上約 2.7 m の上昇に過ぎず、何れの場合に於ても副制水弁閉鎖のまま本管制水弁を閉鎖する場合に比し水衝壓は遙かに小さいものである。

之から見て制水弁閉鎖は副制水弁を開放のまま本管制水弁を閉鎖し然る後副制水弁を閉鎖しなければならぬ。

第 6 節 単一管路に設けられた調壓槽

延長の長い単一管路の水銜壓は非常に大きくなり之がため厚の大きな管を使用する事は極めて不経済であるから調壓槽或は安全弁を設置し此の異常水壓を除くことが管路保持上特に自動閉鎖装置の弁を使用する場合に必要なことである。

名古屋市の導水管に設けられた調壓槽に就て述べると管路は犬山取入口、接合井より鍋屋上野浄水場に至る間延長 23 491.5 m にて此の間上流 15 518.3 m は口径 1 250 mm. それより下流 7 973.2 m は口径 1 100 mm で各々普通圧鑄鐵管を用ひ上流より 16 150.0 m の點の鳥居松沈澱池構内に調壓槽を設けた (第 10 圖並に第 48 圖参照)。犬山取入口と鍋屋上野濾過池との落差は 26.441 m で通常は自然流下に依て送水するが夏季給水量の増加した場合或は他の送水管の通水を停止した場合は犬山に設けられた 300 馬力重油機關付渦巻唧筒にて壓送する事になつてゐてその送水量は第 12 表の通りである。

第 12 表

	犬山沈澱池間	犬山濾過池間
自然流下	0.879 m <sup>3</sup> /sec	0.907 m <sup>3</sup> /sec
唧筒 1 臺	1.441 "	1.307 "
" 2 臺	1.761 "	1.493 "

第 10 圖 調 壓 槽



調壓槽は内徑 7.18 m の鋼板製で高 18 m 外部はコンクリート壁を以つて圍まれてゐる。最高水位は犬山取入口の最高水位より 2 m 高く沈澱池の最高水位より 15.7 m 高い。

昭和 8 年 12 月本導水管路に於て自然流下に於て濾過池に直送中調壓槽直下流の制水弁を閉鎖し之によつて生ずる調壓槽内の水位の昇降を觀測したがその結果は第 13 表及び第 11 圖に示す如く制水弁(内徑 1 100 mm)閉鎖時 20 分 0 秒で静水壓以上最大上昇は 1.453 m 最大下降は 0.682 m であつた。又水面振動の周期は大約 21 分

第 13 表 導水管路調壓槽直下流制水弁閉塞に依る水面昇降の狀況

時間	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
水位	22.012	22.012	22.020	22.028	22.036	22.044	22.052	22.060	22.068	22.076	22.084
水面	22.012	22.012	22.020	22.028	22.036	22.044	22.052	22.060	22.068	22.076	22.084
備考											
時間	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
水位	22.084	22.076	22.068	22.060	22.052	22.044	22.036	22.028	22.020	22.012	22.004
水面	22.084	22.076	22.068	22.060	22.052	22.044	22.036	22.028	22.020	22.012	22.004
備考											
時間	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
水位	22.004	22.012	22.020	22.028	22.036	22.044	22.052	22.060	22.068	22.076	22.084
水面	22.004	22.012	22.020	22.028	22.036	22.044	22.052	22.060	22.068	22.076	22.084
備考											

0 秒と見られ之を水面振動周期の近似式  $T=2\pi\sqrt{\frac{LA}{ga}}$  茲に  $l$ : 管路延長,  $A$ : 調壓槽斷面積  $a$ : 管斷面積,  $g$ : 重力の加速度より求めると 24 分 50 秒となる。

第 6 節 大口徑制水弁の操作

導水管配水管等大口徑管に使用せる制水弁の開閉には手動水壓及び自動閉鎖装置が使用せられて居るが手動閉の場合には水銜壓は非常に小さいから普通に使用せられる様な管では殆んど考慮する必要がないが、自動式又は水壓式の場合には水銜壓が許容水壓以上にならない様、制水弁閉鎖時間を調節する必要がある。而して制水弁閉鎖に依る水銜壓を實驗に供した 36 吋導水管に就て見ると平均流速は毎秒 1 m 餘で全開より閉塞を開始する時は管路の長短にも依るが制水弁の開度が約 2/3 となる迄は水頭は大した變化なく、それ以後の閉鎖時間により大なる變化

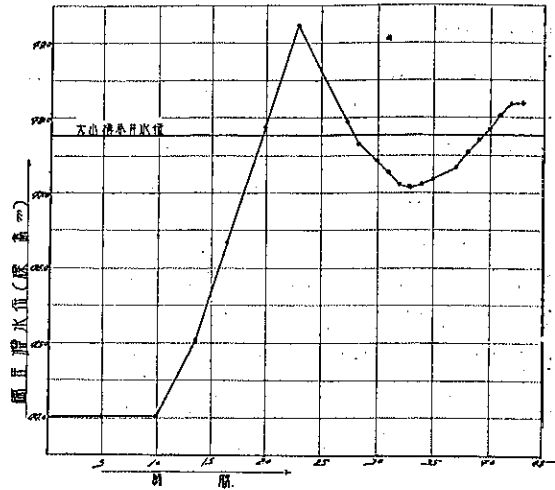
がある。最大水衝壓は閉鎖時間 5.5 秒に對する  $3.3 \text{ kg/cm}^2$  で此の最大水衝壓でも現今我國で使用せられてゐる鑄鐵管の管厚計算に使用せる水衝壓の餘裕  $5.5 \text{ kg/cm}^2$  に對し  $2.3 \text{ kg/cm}^2$  の餘裕 (但し壓力を漸次増加したと看做した時)がある。第 7 圖より水衝壓  $5.5 \text{ kg/cm}^2$  を生ずる閉鎖時間を推測すれば大約 40 秒となるから全開より閉塞する場合は  $2/3$  開度以後の閉鎖時間が 40 秒以下とならない様になければならない。而して水衝壓は衝擊力としての影響を與へるから更に長時間の閉鎖時間を必要とし數軒以上の管路では大體 1 分位が安全と考へる。

けれども管路の延長が大で制水弁に於ける損失水頭が管の摩擦損失水頭に比して小なる時は可成りの程度まで制水弁を閉じて、暫くすれば全開時の流量と大差なきものとなる。今試験に供した導水第 2 號線に就て見ると第 12 圖の如く流量の急變する限界開度は  $1/5$  附近でそれ以上の開度では餘り流量の減少は見ない。それ故長き導水管、配水管の制水弁は  $1/5$  開度まで閉鎖されてゐても最大流量に近い流量を流すから平常閉閉を容易にするため  $1/5$  開度位に保たれてゐる 場合もあるから特に閉鎖時には注意し少くとも閉鎖時間が 1 分以下とならぬ様になければならない。而して一般に大口徑制水弁には副制水弁があるから之を開放のまま、本管制水弁を閉鎖する時は實驗の示す如く殆んど水衝壓が起らない。配水管では自動閉鎖裝置以外は主に手動式が用ひられ水衝壓は低くなるから第 7 章に述ぶる如く小口徑管に比して大口徑管の安全率は小さくなつてゐるが別段支障ないものと考へる。

次に破裂等の事故のために備へた自動制水弁は出来る丈早く閉鎖する事が必要であるが、普通は管路の流入口近く設けられてゐるから弁上流部分の管長も短かく水衝壓も大とならないけれども、上流部分の管長が相當長い場合には水衝壓が管の許容水壓以上とならない様閉鎖時間を調節する必要がある。然らざれば破裂による出水を防がんとして反つて新しい破裂を惹起する様な事がある。

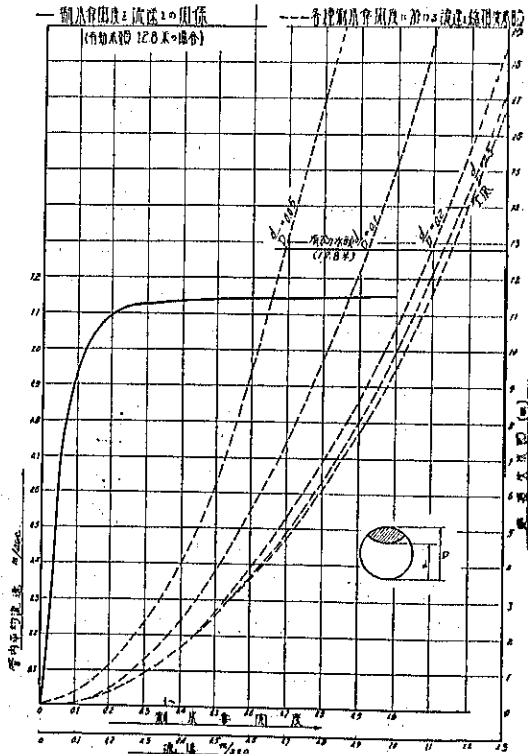
第 11 圖 自然流下の場合制水弁閉塞に依る調壓槽水面昇降の狀況

昭和 8 年 12 月調 上流管徑 1250 mm 槽の徑 7.180 m



備考: 弁閉鎖開始時刻を以

第 12 圖 内徑 36 吋導水管の損失水頭並に制水弁開度と流速との關係 (延長 7.845 m)



### 第 3 章 配水管に於ける水衝壓

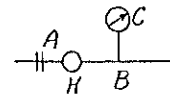
配水管は一般に各種管徑のものが錯綜し網目状となつてゐるから弁類操作に依る水衝壓を理論的に求むる事は甚だ困難である。配水管附屬の弁類操作に就て見ると火災時消火栓の使用放水のための消火栓並に排泥弁の操作及配水量の整正或は配水系統の調節等のための制水弁作業である。

名古屋市の實驗並に之を基とし配水管附屬の弁類操作並に管理に就いて述べやう。

#### 第 1 節 消火栓閉鎖による水衝壓

消火栓の放水量は一般に兩側の管から補給せられるが、行き止管では一方より補給せられこの場合最も大きな水衝壓を生ず。依つてこの最大水衝壓を生ずる場合の實驗をするため第 13 圖の如く A 制水弁を閉鎖し H 消火栓に芦田製翼車型 65 mm 量水器を取付け流量を測定しその調節は消火栓自身に依つて行つた。即ち使用消火栓は第 14, 15 圖の如きもので全開までには 4~5 回轉を要するが水量は最初の 1/4 回轉位で殆んど最大に達した。依つて流量變化の最もはげしい 1/4 回轉以下を更に 4~5 段に分けて流量を加減し流速一定となるを待ちその状態より消火栓を閉塞し最大水壓を O 壓力計に依つて測定すると同時に閉塞に要せし時間を測つた。

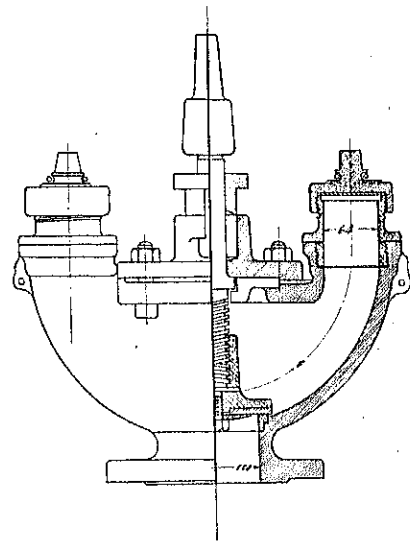
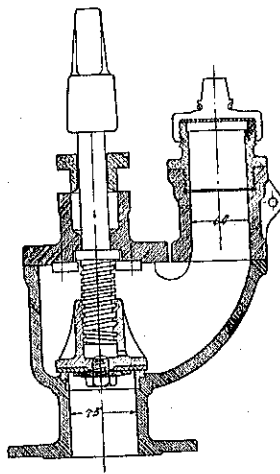
第 13 圖



實驗場所の平面圖は第 16 圖の如くで消火栓の取付管の大きさは 75~400 mm でその結果は第 14 表並に第 17 圖乃至第 23 圖の如くなり水衝壓は管徑を増すと共に減少してゐる。之は同一放出量に對し流速は管徑を増すと共に減少するためである。

第 14 圖 單口消火栓之圖 (口徑 75 mm)

第 15 圖 雙口消火栓之圖 (口徑 100 mm)

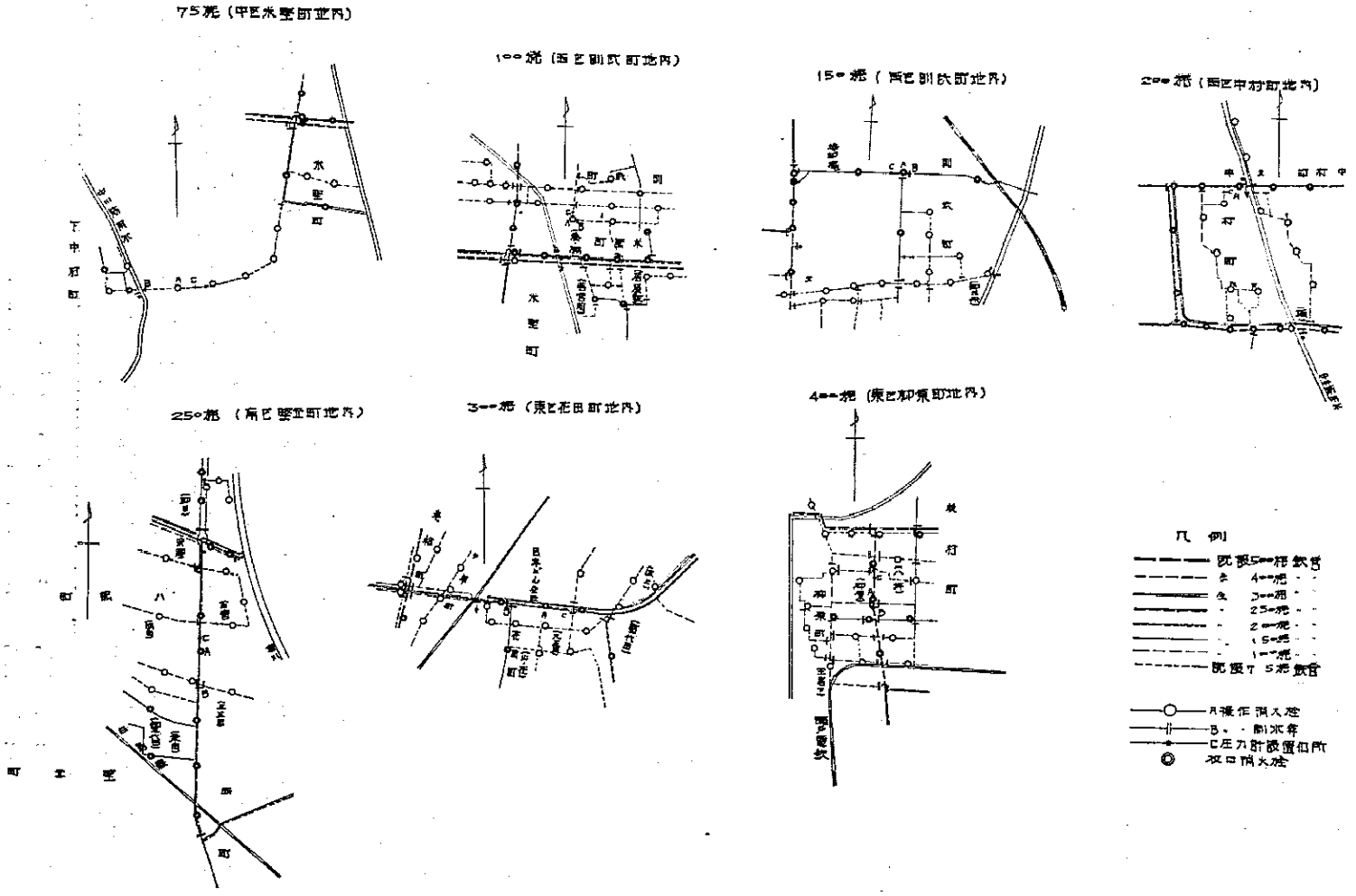


而して消火水量は 1 栓より少なくとも毎分 0.6 m<sup>3</sup> を必要とするから 75 mm 管ではたとへ兩側から補給せられてゐるときでも水衝壓は現在我國で使用せられてゐる鑄鐵管の許容水衝壓を遙かに突破してゐる。之は閉鎖時間を延長することに依つて除くことが出来るが、斯かる非常時には操作の機敏を要し従つてこれが調節は困難なるのみならず細管では管内流速が大となり、損失水頭を増し著しく消火能力を減少する。又錯による流量減少に就て見れば著者流量公式(土木學會誌第 21 卷第 2 號, 昭 10. 2 參照)。

$$v = CP^{\frac{1}{n}} R^m S^n \dots\dots\dots (池田公式)$$

v : 平均流速, R : 平均動水半徑, S : 平均動水勾配  
y : 經過年數, C, m, n : 常數, P : 鑄管係數

第 16 圖 消火栓閉鎖による水衝壓測定箇所平面圖



の錆蝕發生に依る流量は口径の小なるもの程早く減少する。之等の點から見ても配水管として75 mm管は使用せぬ方がよいと考へられ、又行止り管をなくする必要がある。

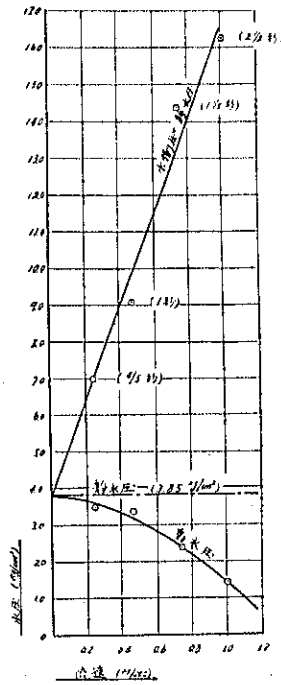
第14表 消火栓閉鎖によつて生ずる配水管内水衝壓

昭和10年1月~3月

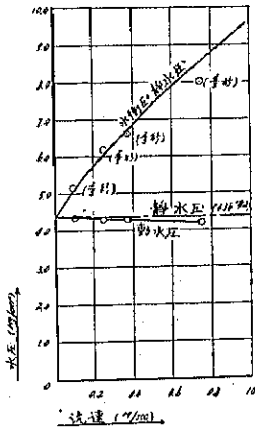
実験項目	管径 (mm)	閉鎖時間 (分)	流速 (m/sec)	静水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	動水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	最大水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	閉鎖時刻 (分)	閉鎖時刻 (分)
第一火栓	75	1/2	0.25	0.05	0.05	0.05	0.15	0
		1/4	0.47	0.05	0.05	0.05	0.05	1
		3/8	0.70	0.05	0.05	0.05	0.05	1.5
		1/2	0.93	0.05	0.05	0.05	0.05	2
		3/4	1.16	0.05	0.05	0.05	0.05	2.5
第二火栓	100	1/2	0.25	0.05	0.05	0.05	0.15	0
		1/4	0.47	0.05	0.05	0.05	0.05	1
		3/8	0.70	0.05	0.05	0.05	0.05	1.5
		1/2	0.93	0.05	0.05	0.05	0.05	2
		3/4	1.16	0.05	0.05	0.05	0.05	2.5
第三火栓	150	1/2	0.25	0.05	0.05	0.05	0.15	0
		1/4	0.47	0.05	0.05	0.05	0.05	1
		3/8	0.70	0.05	0.05	0.05	0.05	1.5
		1/2	0.93	0.05	0.05	0.05	0.05	2
		3/4	1.16	0.05	0.05	0.05	0.05	2.5
第四火栓	200	1/2	0.25	0.05	0.05	0.05	0.15	0
		1/4	0.47	0.05	0.05	0.05	0.05	1
		3/8	0.70	0.05	0.05	0.05	0.05	1.5
		1/2	0.93	0.05	0.05	0.05	0.05	2
		3/4	1.16	0.05	0.05	0.05	0.05	2.5
第五火栓	250	1/2	0.25	0.05	0.05	0.05	0.15	0
		1/4	0.47	0.05	0.05	0.05	0.05	1
		3/8	0.70	0.05	0.05	0.05	0.05	1.5
		1/2	0.93	0.05	0.05	0.05	0.05	2
		3/4	1.16	0.05	0.05	0.05	0.05	2.5
第六火栓	300	1/2	0.25	0.05	0.05	0.05	0.15	0
		1/4	0.47	0.05	0.05	0.05	0.05	1
		3/8	0.70	0.05	0.05	0.05	0.05	1.5
		1/2	0.93	0.05	0.05	0.05	0.05	2
		3/4	1.16	0.05	0.05	0.05	0.05	2.5
第七火栓	400	1/2	0.25	0.05	0.05	0.05	0.15	0
		1/4	0.47	0.05	0.05	0.05	0.05	1
		3/8	0.70	0.05	0.05	0.05	0.05	1.5
		1/2	0.93	0.05	0.05	0.05	0.05	2
		3/4	1.16	0.05	0.05	0.05	0.05	2.5

第17圖 第一實驗(口径75 mm)

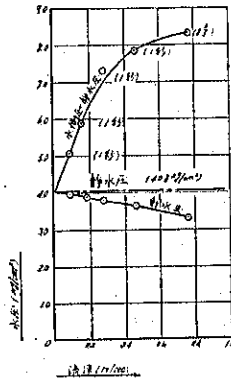
( )は止水弁閉塞に要せし時間



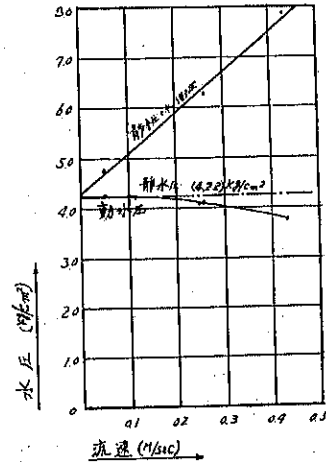
第18圖 第二實驗 (口径100 mm)



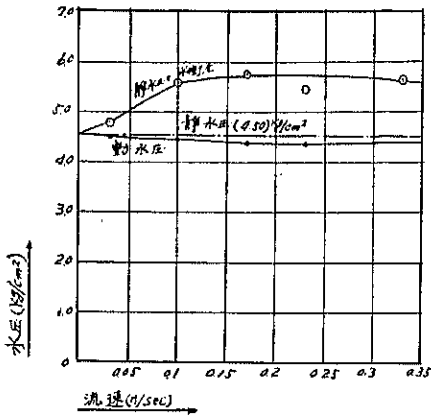
第19圖 第三實驗 (口径150 mm)



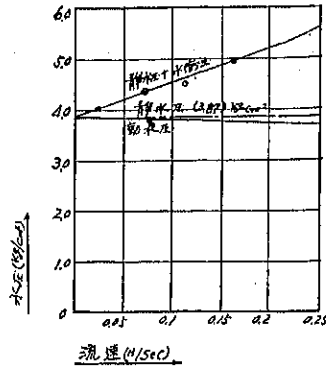
第20圖 第四實驗 (口径200 mm)



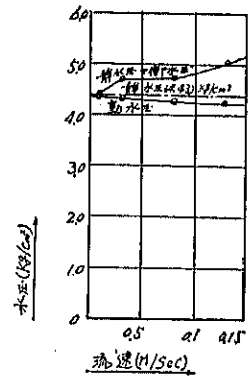
第 21 圖 第 5 實驗  
(口徑 250 mm)



第 22 圖 第 6 實驗  
(口徑 300 mm)



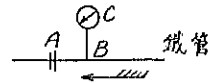
第 23 圖 第 7 實驗  
(口徑 400 mm)



第 2 節 常時通水に於ける配水管制水弁の閉鎖に依る水衝壓

配水管路の中間の制水弁 A を手動により全開より閉鎖し制水弁上流 B 點の衝擊水壓を B 點で分岐した鉛管に取付けた C 壓力計にて測定した。(第 24 圖 参照) 此の場合管内流速は測定出来ないが流水は矢に示す如く調節した。其の結果は第 15 表の如く衝擊水壓は静水壓以上 0.5 kg/cm<sup>2</sup> を出づるものなく何れも僅少である。

第 24 圖



之は閉鎖時には水は他の連絡せる管路からも流れてゐるからであるが、若し分岐せる管路を閉塞すれば流量も大となり水衝壓もより大きくなるものと思へるが常態では以上の様である。

又時間的季節的にも給水量が變化し之につれて水衝壓も多少上下する。

何れにしても同路をなす配水管の中間制水弁の閉塞の場合には從來の制水弁では閉塞時間は考慮を要しない。たとへ下流端で放水する時回路を閉塞した時又は破裂出水の場合でも殆んど閉鎖時間の制限の必要はないと考へる。

第 15 表 中間制水弁の閉鎖に伴ふ水衝壓  
觀測日 昭和 10 年 2 月 2 日及 2 月 3 日

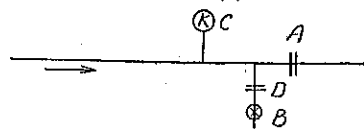
観測地点	管径 (mm)	静水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	動水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	最大水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	閉鎖時間 (分)	備註
東區上野町	75	3.24	3.16	3.72	0.48	17. (閉鎖後 10 分経過)
南區新大町	100	4.50	4.36	4.50	0	30 号
本	150	4.08	3.73	4.71	0.63	45 号
南區中野町	200	4.22	4.22	4.36	0.14	50 号
南區野田町	250	4.50	4.43	4.78	0.28	10 号
東區北町	300	3.07	3.07	3.94	0.07	15 号
東區大塚町	400	4.43	4.36	4.50	0.07	18 号

第 3 節 排泥弁閉鎖に依る水衝壓

排泥弁は多く管末或は線路中の低い部分に取付けられてゐるが中間に設けられてゐるときでも排泥時には能率を良くするため片側のみから通水し流速を増してゐる。依つて實驗も流速を大きくし實際行はれてゐる様な状態の下に行ふため第 25 圖の如き装置で行つた。

即ち配水管路中に於て A 制水弁を閉塞し D 排泥弁(弁の構造は制水弁と同様)に B 量水器を取付けて流量を測定し流量の調節は排泥弁自身によつて行つた。

第 25 圖



この結果を示すと第 16 表及び第 26 圖の如くで之は口徑 75 mm のものゝみに就てのもので、同一口徑の配水管に於ける消火栓による水衝壓實驗の結果と甚だ似通つた値を示してゐる。



即ち小口径管の排泥弁の口径は本管と大體同一であるから排泥弁と本管との流速は略等しく流速は最大に達し水衝壓大となる。

第 16 表 排泥弁閉鎖に依る配水管内水衝壓

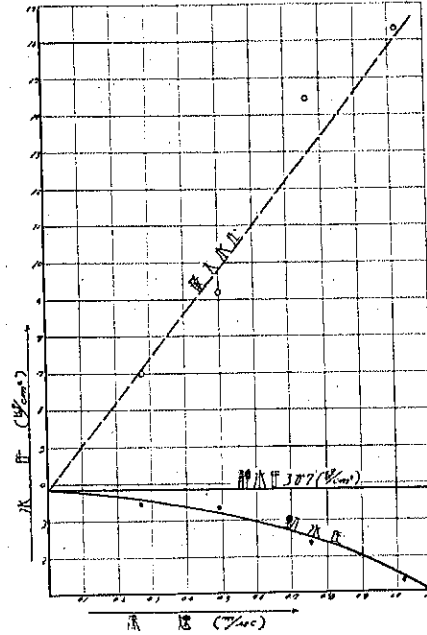
昭和 10 年 3 月

管径 (mm)	管号	流速 (m/sec)	静水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	動水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	最大水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	静水圧以上閉鎖回数 (回)	備考
75	1	2.22	2.22	1.32	3.54	1.32	6.2
	2	2.12	2.12	1.41	3.53	1.41	7.5
	3	2.23	2.23	1.42	3.65	1.42	1.4
	4	2.20	2.20	2.29	4.49	2.29	1
	5	2.29	2.29	2.52	4.81	2.52	8.7

第 17 表 協働型堅型制水弁の 1 吋下降に要する同轉數並に全閉迄の同轉數

口径	25.4mm 閉鎖回数	入角弁の閉鎖回数	水衝壓の閉鎖回数	25.4mm 閉鎖回数 + 水衝壓の閉鎖回数	1 吋下降に要する同轉數
75	4.1			4.1	116
100	3.5			3.5	118
125	3.5			3.5	118
150	3.0			3.0	122
200	3.1			3.1	235
250	2.5			2.5	256
300	2.5			2.5	286
350	2.5			2.5	305
400	2.25			2.25	355
450	2.25			2.25	388
500	2.1			2.1	396
600	2.0	20	10	2.5	411
700	1.75	32	10	2.5	425
800	1.75	46	10	2.5	438
900	1.65	58	10	2.5	452
1000	1.65	65	10	2.5	466
1100	1.55	72	10	2.5	480
1200	1.55	82	10	2.5	494

第 26 圖



而して 4.0mm 以上では排泥弁の口径は本管の 1/3 程度即ち断面積にて 1/9 位であるから本管流速は小管の場合ほど大きくならないが、消火栓開放時或は配水管の常態に於けるよりは大であるからその操作には注意を要する。

第 4 節 配水管に於ける弁類の操作

水衝壓は管路の状況及び鐵管附屬の弁類の操作の状況で相違するから管厚と弁類の構造操作は不可分のもので管厚が定まつてゐる時は弁類の閉鎖速度の調節を要し弁類の閉鎖速度が決まつてゐる時は管厚を加減しなければならない。

而して現在各地の水道は水道協會規格の鐵管及び制水弁を使用してゐまして之等の改造は仲々困難ですから比較的容易な弁類の操作を調節し總水壓が規定許容水壓以上に達しない様にする必要がある。配水本管に於ける水衝壓は導水管、送水管等と異なり、途中で數多の分枝を有するから導水管等と同一の閉鎖時間に對しては水衝壓は小さくなるから導水管の場合と同様な調節を行へば充分安全と考へる。尙又水道協會規格堅型手動制水弁では第 17 表の如く全開より全閉迄に要する valve spindle の同轉數は 100 回以上を要するから制水弁に依る急速な断面縮少は少く従つて水衝壓は極く小さく現在通りで支障ないものと思はれる。而して乾燥の制水弁を閉塞せんとする場合は豫め副制水弁を開けたまゝ行ひ、然る後副制水弁を閉める様にする必要がある。

配水支管にては制水弁は主に手動式で且つ管路は通常網目狀に連絡されてゐる爲、中間制水弁の閉閉に依つては實驗の結果の示す通り極めて小である。

名古屋市内 5 箇所にて設けた自記水壓計に表はれた異狀水壓を見ても最大静水壓以上 1.2 kg/cm<sup>2</sup> で普通管厚計

算に使用する水衝壓に對する餘裕より遙に小さいものである。又假令へ制水弁の下流に於て放水せる場合でも手動式では閉鎖に比較的長時間を要するから水衝壓も少く之等種々の點から見てその操作には別段の考慮を要しない。

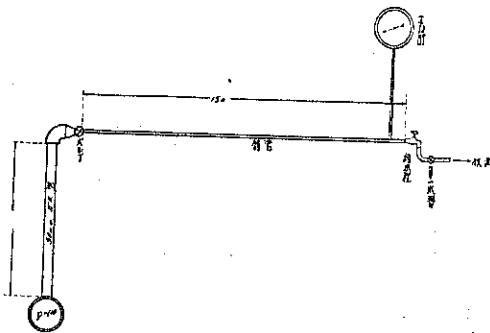
次に消火栓は既述の如く水衝壓の點のみでなく種々の點から見て口径 100 mm 以上に設置するを要し、從つて配水管の最小徑としては 100 mm を限度とすべく、この場合消火栓の捻山數は 5 以上とするを適當と考へる。排泥弁では消火栓開放又は中間制水弁の開放の場合より流速も可成り大で從つて水衝壓も大となるからその操作には注意を要する。

### 第 4 章 給水管に於ける水衝壓

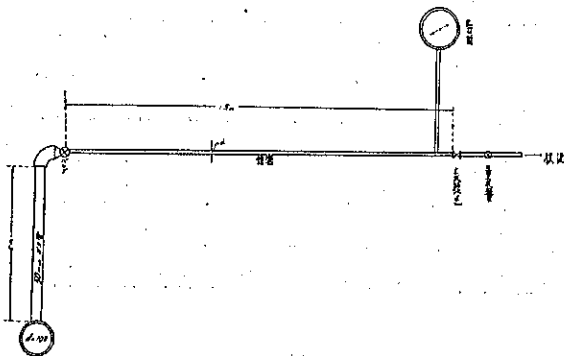
一般に給水管には鉛管が主に使用せられ、然も給水栓類は配水管の制水弁と異り開閉の回數極めて頻繁で閉鎖の時間も短いため水衝壓は一般に大きくなる。しかも最近給水栓の種類も多くなりレバーロック、フラッシュバルブ、衛生カラン等の使用が盛んとなるに連れ水衝壓に對しても一層考慮を拂ふ事が必要となつて來た。

而して給水栓の取付けてある給水管の延長は大體配水管から分岐して水栓まで 10~20 m が多く依つて實驗裝置として第 27, 28 圖の如く鉛管長を 15 m とし一端に第 29 圖乃至第 31 圖の如き構造の乙給水栓及び乙止水栓を取付けた。但し特殊水栓に於ては鉛管長を 18~19 m とした。

第 27 圖 乙給水栓の閉鎖による水衝壓實驗裝置圖



第 28 圖 乙止水栓閉鎖による水衝壓實驗裝置圖

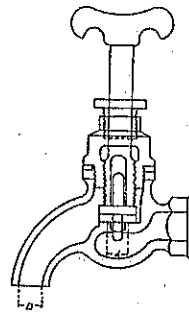


(1) 乙給水栓の閉鎖に依る水衝壓

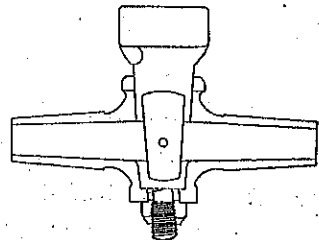
放出水量を給水栓自身で加減し普通に使用せられると同様な状態で出来る丈早く閉鎖し給水栓直前に取付けた壓力計により水衝壓を測定し結

第 29 圖 乙給水栓

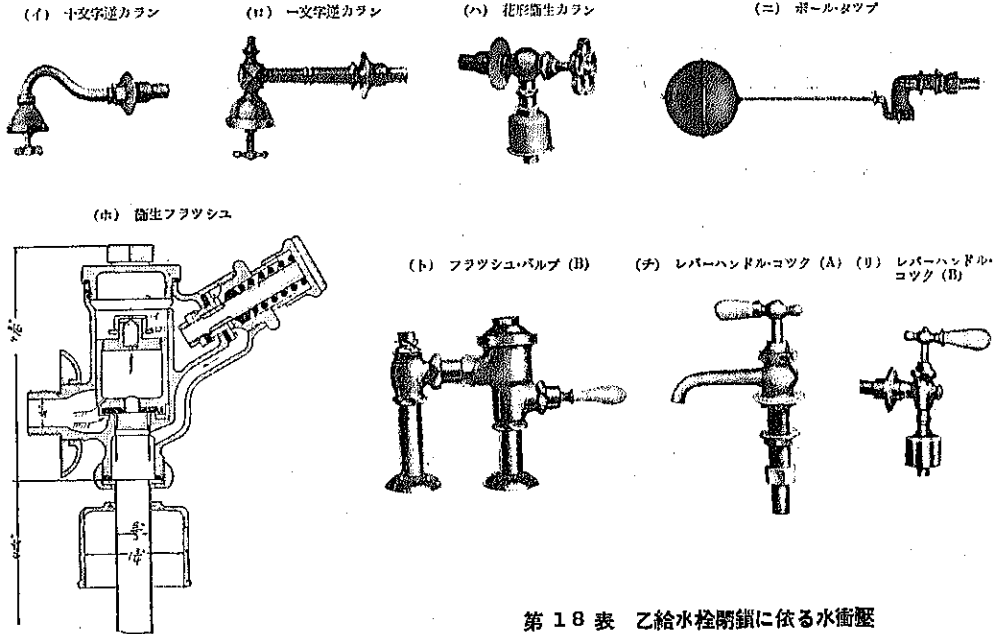
口径 (公称)	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
15° 鉛管用	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2
15° 鋼管用	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2
15° 鋼管用	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2



第 30 圖 乙止水栓

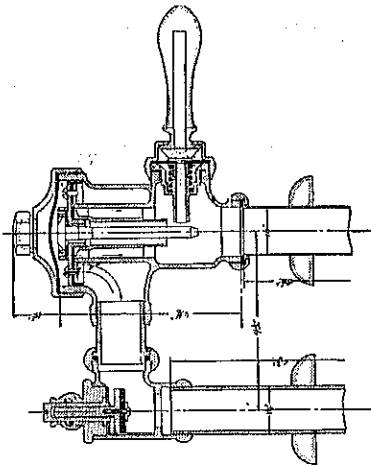


第 31 圖 特種水栓の圖



第 18 表 乙給水栓閉鎖に依る水衝壓

昭和 10 年 1 月



口径 (mm)	流速 (1/Sec)	動水圧 (1/cm <sup>2</sup> )	最大水圧 (1/cm <sup>2</sup> )	流速 (1/Sec)	動水圧 (1/cm <sup>2</sup> )	最大水圧 (1/cm <sup>2</sup> )
10"	0.555	0.7	5.3	0.133	0.0	0.3
	1.071	0.5	3.6	0.265	0.25	3.0
	1.603	0.2	2.2	0.398	0.7	6.3
	2.140	0.0	1.5	0.530	0.05	6.3
	2.711	0.5	0.5	0.796	0.0	7.0
15"	4.288	1.5	0.5	1.661	0.7	7.7
	0.310	0.0	3.3	1.921	0.3	11.1
	0.620	0.7	3.6	2.222	3.0	11.3
	0.927	0.5	5.6	2.652	3.5	14.5
	1.235	0.0	7.9	3.008	0.0	21.6
16"	1.001	3.0	0.0	3.717	0.0	16.5
	2.072	3.2	2.0	0.002	3.0	5.0
	3.161	2.1	0.0	0.771	1.0	3.3
	3.817	1.5	0.0	0.339	1.0	3.0
	4.272	3.0	3.2	0.070	0.0	0.5
25"	0.505	0.0	6.1	1.010	0.0	3.0
	0.017	0.0	6.3	1.357	0.0	10.0
	1.002	0.6	0.0	1.696	0.0	10.2
	1.634	0.4	1.0	2.033	0.0	10.3
	2.170	0.1	1.31	2.374	0.0	10.4
2.713	0.6	1.33	2.714	3.0	10.3	
3.260	1.0	1.34	3.053	3.0	10.3	
4.324	0.0	1.27	3.392	2.5	10.3	

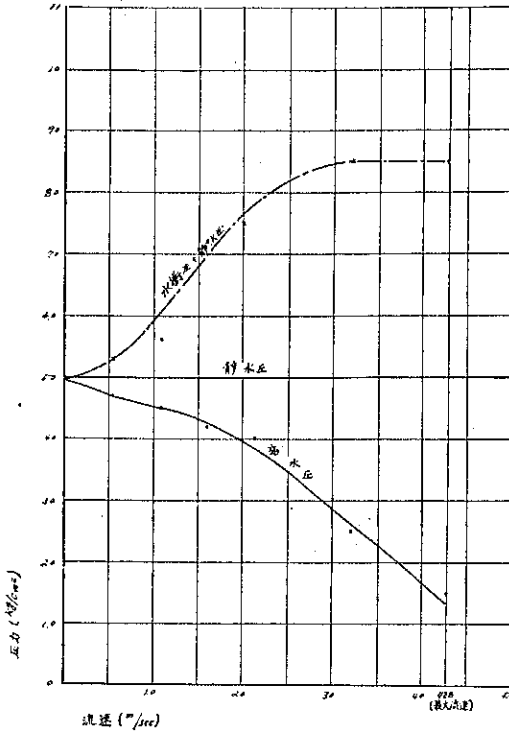
果は第 18 表第 32 圖乃至第 37 圖の通りである。放出水量は配水本管の水圧が一定なのと水栓の構造上から全開以前に於て殆んど最大に達し放出水量と水栓閉鎖時間とは大體比例する。而してそれ以上は水栓の開度の割合に流量が増さないの一方閉塞時間は長くなり水衝壓は反つて小さくなつてゐる。

(2) 乙止水栓の閉鎖による水衝壓

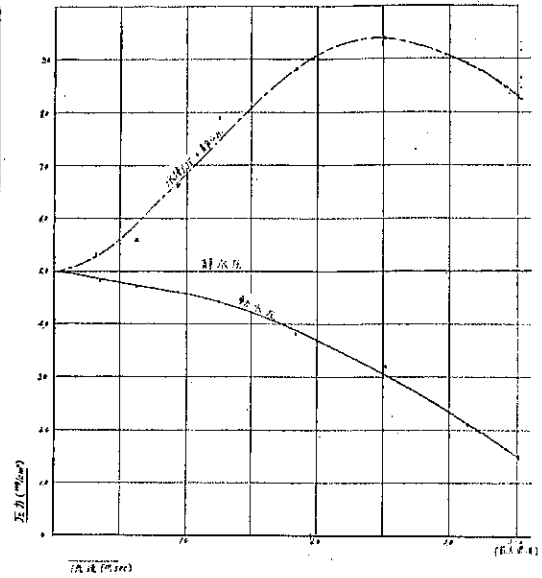
給水栓の場合と同様乙止水栓を之と同径の鉛管の先端に取付けて行つた。その結果は第 19 表及び第 38 圖乃至第 44 圖の如く水栓の構造上殆んど瞬間閉鎖であるため水衝壓は給水栓に比し非常に大きくなつた。然し實際には止水栓は多く本管に接近して設けられ鉛管も短いから水衝壓は實驗の結果程は大きくならない場合が多いと考へ

られ且つ使用回数も給水栓に比しては至つて少いから、斯かる止水栓を使用するも操作に充分注意を拂へば支障ないと考えられる。

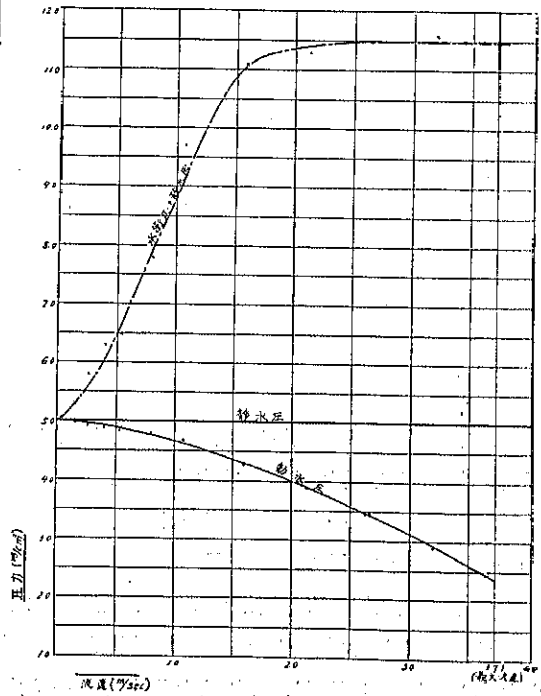
第 32 圖 流速と水衝壓との関係  
(10 mm 乙給水栓)



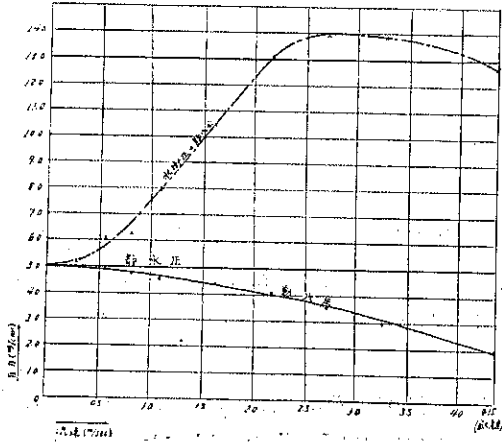
第 33 圖 流速と水衝壓との関係圖  
(13 mm 乙給水栓)



第 35 圖 流速と水衝壓との関係圖  
(20 mm 乙給水栓)



第 34 圖 流速と水衝壓との関係圖  
(16 mm 乙給水栓)

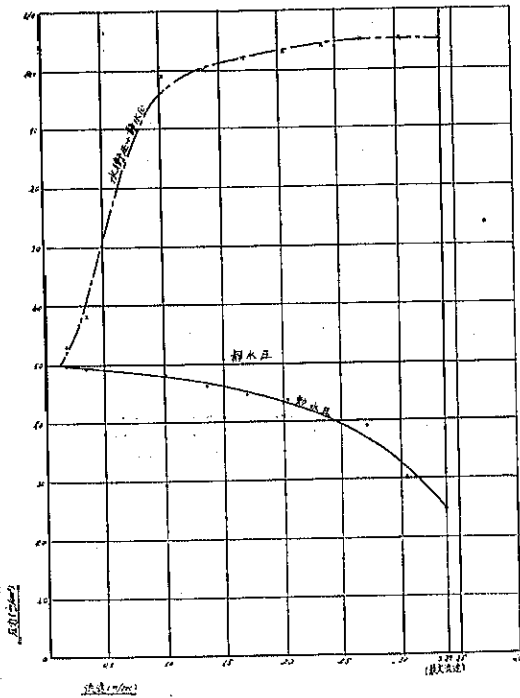


(3) 特種水栓の閉鎖による水衝壓

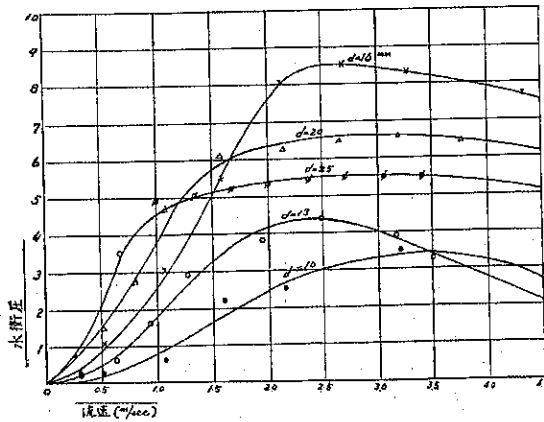
次の如き 9 種の水栓に付第 27 圖と同様な装置の下に水衝壓を測定した。

- (イ) 十文字逆カラン, (ロ) 一文字逆カラン,
- (ハ) 花型衛生カラン, (ニ) ボールタップ,
- (ホ) 衛生フラッシュ,
- (ヘ) フラッシュバルブ(3 種類),
- (ト) レバーハンドル・ロック(2 種類)

第 36 圖 流速と水衝壓との関係圖  
(25 mm 乙給水栓)



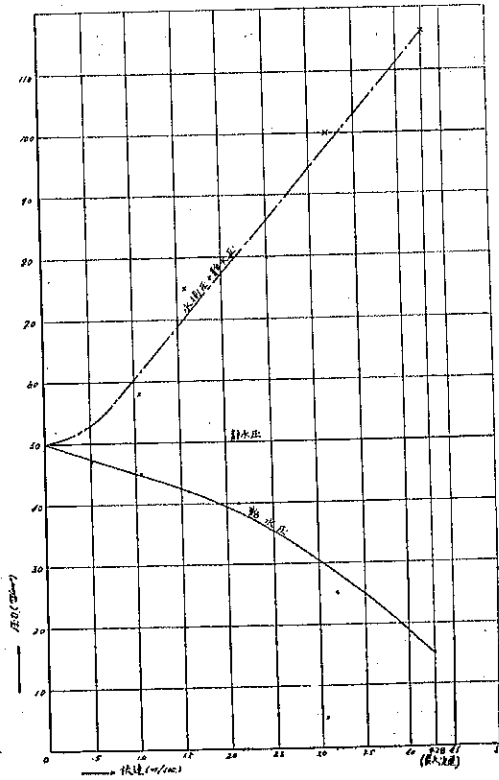
第 37 圖 給水栓の閉塞による流速と水衝壓との関係圖



第 19 表 乙止水栓閉鎖に依る水衝壓  
(昭和 10 年 1 月)

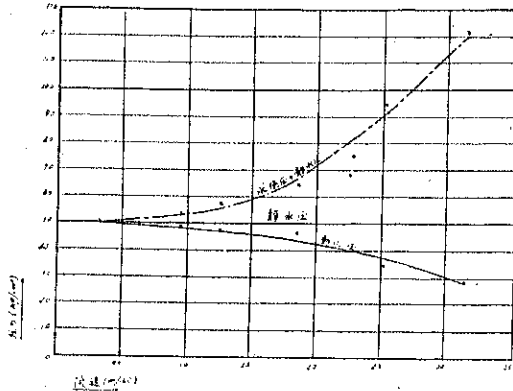
口径 (mm)	流速 (m/sec)	動水圧 (kg/cm²)	最大水圧 (kg/cm²)	閉鎖時間 (sec)	口径 (mm)	流速 (m/sec)	動水圧 (kg/cm²)	最大水圧 (kg/cm²)	閉鎖時間 (sec)
10"	0.535	0.7	3.3	0.3	20"	12.61	0.7	18.0	3.0
	1.070	0.5	3.0	0.0		15.21	0.3	16.0	11.0
	1.605	0.2	2.8	2.1		21.22	0.2	20.0	14.5
	2.140	0.0	0.0	3.0		26.52	0.1	23.0	20.0
	2.675	0.1	1.0	5.0		31.82	0.2	21.0	26.0
	3.210	0.5	1.4	6.0		37.12	0.1	20.0	32.0
13"	0.535	0.7	3.3	0.3	25"	6.122	0.1	5.0	0.0
	1.070	0.5	3.0	0.0		0.170	0.2	5.0	0.0
	1.605	0.2	2.8	2.1		0.332	0.2	6.5	1.5
	2.140	0.0	0.0	3.0		0.494	0.0	10.0	1.0
	2.675	0.1	1.0	5.0		1.010	0.0	13.0	0.0
	3.210	0.5	1.4	6.0		1.527	0.6	10.0	1.0
16"	0.535	0.7	3.3	0.3	30"	1.626	0.0	0.0	0.0
	1.070	0.5	3.0	0.0		0.035	0.3	0.0	0.0
	1.605	0.2	2.8	2.1		2.320	0.0	2.0	0.0
	2.140	0.0	0.0	3.0		2.710	0.2	3.5	0.5
	2.675	0.1	1.0	5.0		3.052	0.0	5.0	0.0
	3.210	0.5	1.4	6.0		3.422	0.5	0.0	0.0
20"	0.535	0.7	3.3	0.3	40"	0.046	0.0	0.0	0.0
	1.070	0.5	3.0	0.0		0.113	0.2	0.0	0.0
	1.605	0.2	2.8	2.1		0.262	0.0	0.0	0.0
	2.140	0.0	0.0	3.0		0.530	0.1	0.0	0.0
	2.675	0.1	1.0	5.0		0.731	0.6	0.0	0.0
	3.210	0.5	1.4	6.0		0.932	0.5	1.0	0.0
0.535	0.7	3.3	0.3	1.126	0.3	0.0	0.0		
1.070	0.5	3.0	0.0	1.320	0.1	0.0	0.0		
1.605	0.2	2.8	2.1	1.514	0.0	0.0	0.0		
2.140	0.0	0.0	3.0	1.708	0.0	0.0	0.0		
2.675	0.1	1.0	5.0	1.902	0.0	0.0	0.0		
3.210	0.5	1.4	6.0	2.096	0.0	0.0	0.0		

第 38 圖 流速と水衝壓との関係圖  
(10 mm 甲止水栓)

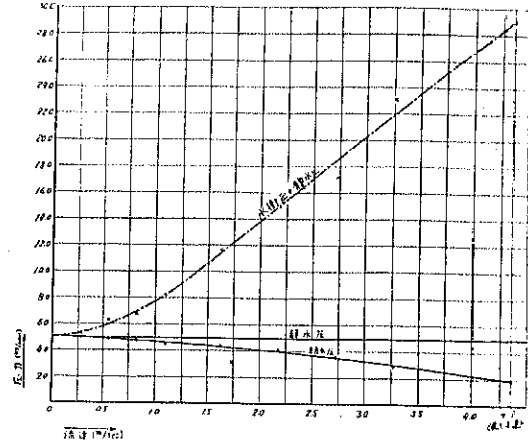


その結果は第20表及第45圖乃至第47圖の如くフラッシュバルブ及びボールタップは水衝壓も小さく他の水栓は非常に大きく特にレバーハンドル・コックにては  $22 \text{ kg/cm}^2$  にも達し止水栓と大差ない。且つ之等は使用回数が勝手用よりは少いけれども止水栓に比しては遙かに頻繁であるから斯かる水栓の使用に就ては充分の注意が必要で現在水道協會規格鉛管を用ふるときはかかる水栓の使用は避けねばならない。

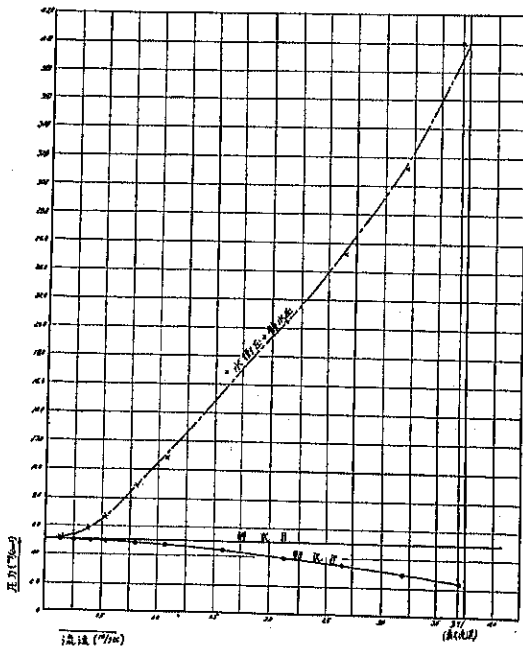
第39圖 流速と水衝壓との關係圖  
(18 mm 乙止水栓)



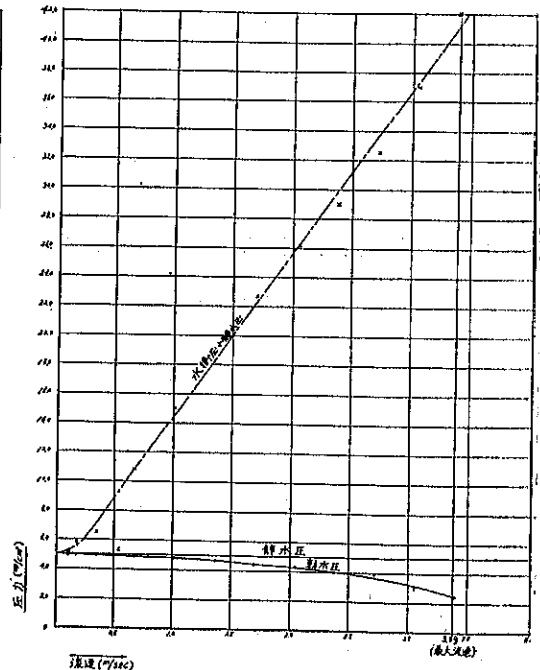
第40圖 流速と水衝壓との關係圖  
(16 mm 乙止水栓)



第41圖 流速と水衝壓との關係圖  
(20 mm 乙止水栓)



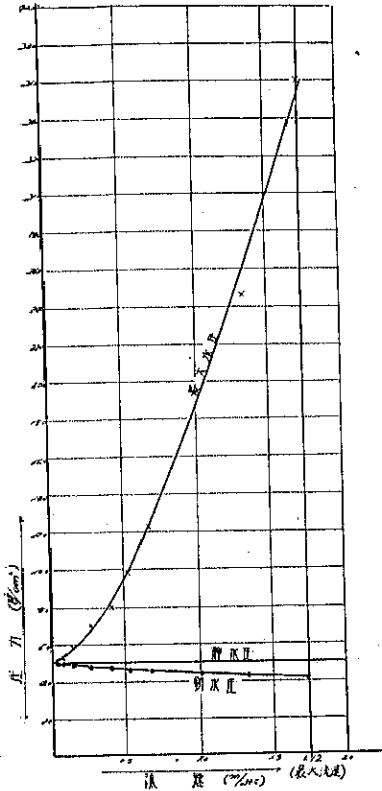
第42圖 流速と水衝壓との關係圖  
(25 mm 乙止水栓)



(4) 水栓類の操作

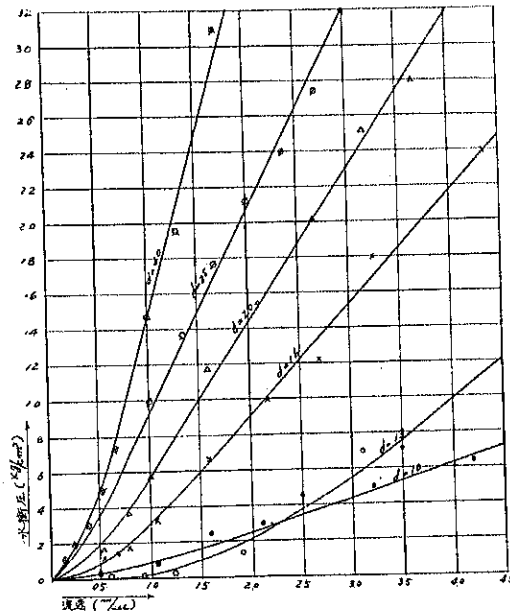
試験に供した乙給水栓は全開のものを全閉するには各径のものとも 3.5~6.5 回轉を要し之を如何に早く操作するも既に述べた如く 5 kg/cm<sup>2</sup> 位の静水壓の場合には水衝撃は大體普通の鉛管の許容水壓範圍内であるから全閉

第 43 圖 流速と水衝撃との關係圖 (40 mm 乙止水栓)



迄の回轉數が徑に應じ 3.5~6.5 以上のものを使用すれば支障ない。次に乙止水栓レバーハンドル・ロックでは極めて大なる水衝撃を生ずるから乙止水栓の代りに捻山の多い甲止水栓を用ふれば絶體に安全であるが前述の如く使用回數も少いから注意さへ拂へば乙止水栓でも別段支障なく、レバーハンドル・ロックの使用は強度の大なる給水管

第 44 圖 止水栓閉鎖に依る水衝撃



に取付ける以外は避くべきである。其の他の特種水栓で現今一般に使用せられてゐるものは大體支障なき様であるが特に閉鎖時間の短いものは使用に際して注意が必要である。

第 5 章 通水作業に於ける衝撃

水道管の布設後始めて通水する場合又は断水後再通水する場合管内の空氣は放出される暇なく極度に壓縮され異常壓を生ずる事がある、而して排氣弁又は其の他の空氣抜きを有する場合には非常なる壓力を以つて排氣弁よりは空氣を排出し空氣抜管からは空氣と水を噴出し十數米にも達する事がある。

(a) 單一管路通水時の衝撃

第 1 號導水管路の通水を停止し内部を空にした後之に通水し壓力の變化を觀測したが管には高低あるため上下流を 2 つに分ち觀測を行つた。

第 20 表 各種種水栓閉鎖に依る水衝壓  
(昭和 10 年 1 月)

口径 13mm 鉛管長 14m 十字形把手逆カラン 全開時

流速 (m/sec)	閉鎖時水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	閉鎖後水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	閉鎖前水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )
1.70	2.2	1.7	1.4
2.00	2.6	1.9	1.5
2.30	3.0	2.1	1.6
2.60	3.4	2.3	1.7
2.90	3.8	2.5	1.8
3.20	4.2	2.7	1.9
3.50	4.6	2.9	2.0
3.80	5.0	3.1	2.1
4.10	5.4	3.3	2.2
4.40	5.8	3.5	2.3

口径 25mm A フラッシュバルブ

流速 (m/sec)	閉鎖時水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	閉鎖後水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	閉鎖前水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )
2.22	6.2	0	3.12
2.22	6.2	0	3.12

口径 25mm B フラッシュバルブ

流速 (m/sec)	閉鎖時水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	閉鎖後水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	閉鎖前水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )
2.22	6.2	0	3.12
2.22	6.2	0	3.12

口径 10mm 鉛管長 10m 十字形把手逆カラン 全開時

流速 (m/sec)	閉鎖時水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	閉鎖後水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	閉鎖前水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )
1.32	2.2	1.3	1.0
1.60	2.6	1.5	1.1
1.88	3.0	1.7	1.2
2.16	3.4	1.9	1.3
2.44	3.8	2.1	1.4
2.72	4.2	2.3	1.5
3.00	4.6	2.5	1.6
3.28	5.0	2.7	1.7
3.56	5.4	2.9	1.8
3.84	5.8	3.1	1.9

口径 13mm 鉛管長 14m 衛生 フラッシュバルブ

流速 (m/sec)	閉鎖時水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	閉鎖後水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	閉鎖前水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )
3.02	6.2	1.8	1.2
3.02	6.2	1.8	1.2

口径 10mm 鉛管長 10m ボールタップ

流速 (m/sec)	閉鎖時水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	閉鎖後水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	閉鎖前水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )
3.02	6.2	1.2	0
3.02	6.2	1.2	0

口径 13mm 鉛管長 14m レバーハンドルコック (B) 全開時

流速 (m/sec)	閉鎖時水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	閉鎖後水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	閉鎖前水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )
1.32	2.2	1.3	1.0
1.60	2.6	1.5	1.1
1.88	3.0	1.7	1.2
2.16	3.4	1.9	1.3
2.44	3.8	2.1	1.4
2.72	4.2	2.3	1.5
3.00	4.6	2.5	1.6
3.28	5.0	2.7	1.7
3.56	5.4	2.9	1.8
3.84	5.8	3.1	1.9

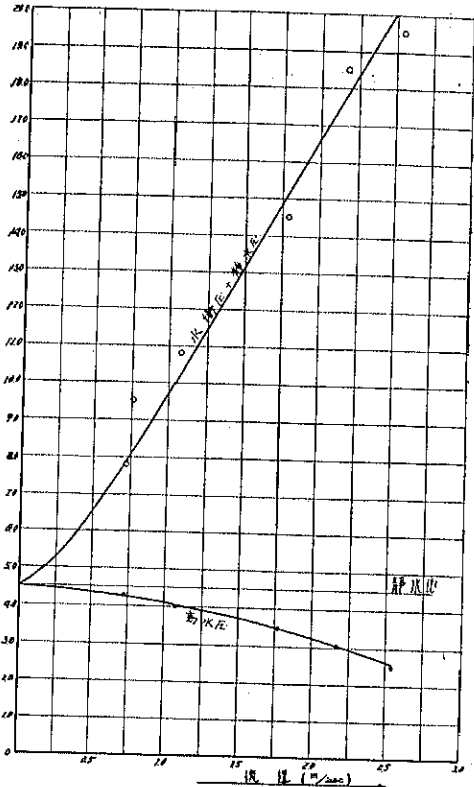
口径 10mm 鉛管長 10m 衛生カラン 全開時

流速 (m/sec)	閉鎖時水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	閉鎖後水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	閉鎖前水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )
1.32	4.2	1.7	1.0
1.60	5.0	2.0	1.1
1.88	5.8	2.3	1.2
2.16	6.6	2.6	1.3
2.44	7.4	2.9	1.4
2.72	8.2	3.2	1.5
3.00	9.0	3.5	1.6
3.28	9.8	3.8	1.7
3.56	10.6	4.1	1.8
3.84	11.4	4.4	1.9

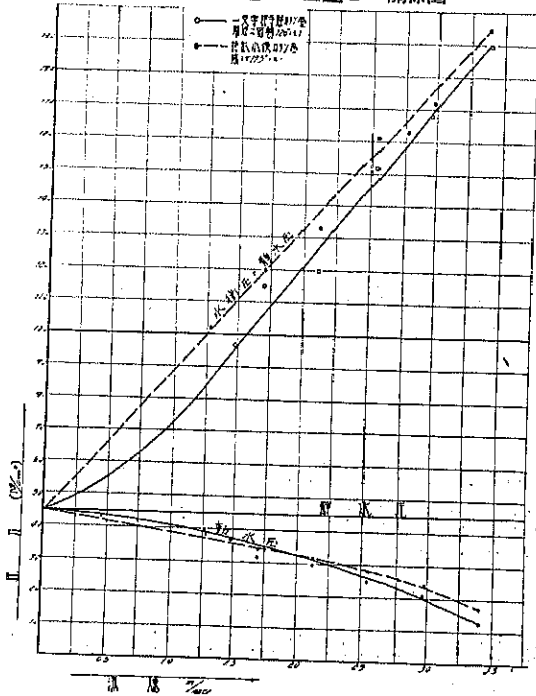
口径 13mm 鉛管長 14m レバーハンドルコック (B) 全開時

流速 (m/sec)	閉鎖時水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	閉鎖後水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	閉鎖前水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )
1.32	2.2	1.3	1.0
1.60	2.6	1.5	1.1
1.88	3.0	1.7	1.2
2.16	3.4	1.9	1.3
2.44	3.8	2.1	1.4
2.72	4.2	2.3	1.5
3.00	4.6	2.5	1.6
3.28	5.0	2.7	1.7
3.56	5.4	2.9	1.8
3.84	5.8	3.1	1.9

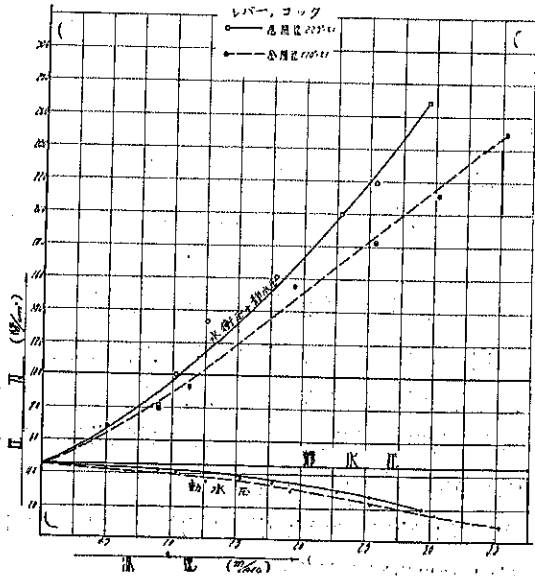
第 45 圖 流速と水衝壓との関係圖  
(十字形把手逆カラン全開まで 4 回転)  
(鉛管口径 13mm 長 19m)



第 46 圖 流速と水衝壓との関係圖



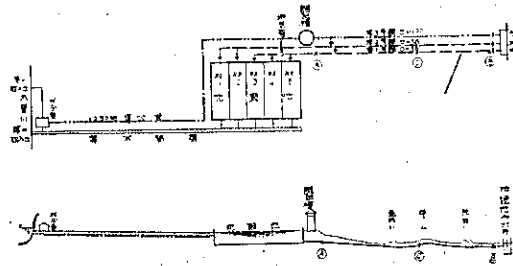
第 47 圖 流速と水衝壓との関係圖





(1) 下流部の空の場合 第48圖に示す如き管路にて㉑ 制水弁以下に殆んど水のない場合に下流制水弁を開放のまま ㉒ 制水弁を開き通水した。

第48圖 導水管路平面及縦断面



- 測點： ㉑ 上流水頭測點（沈澱池），
- ㉒ 制水弁閉開點，
- ㉓ 下流水頭測點（濾過池）

下流制水弁は満開のまま ㉒ 制水弁を徐々に開き其の間 ㉑, ㉓ 兩測點にて水頭の變化を測定した。

先づ ㉒ にて徑 200 mm 副制水弁を手動にて 4 分 50 秒を費し全開した所 ㉑ 點水頭は開放開始より約 20 分後に静水頭より 10 cm の下降を見たのみで動搖殆んどなく、㉓ 點は開始後 30 分に到るも水の流出を見ず壓力計にも感じなかつた。

次に副制水弁開放 30 分後に本管制水弁を開き始め其の開き方は第 21 表の様にした。

第 21 表

	第 1 回	第 2 回	第 3 回	第 4 回
スピンドル回轉數	30	30	40	全開 125
所要開放時間	11'—20''	2'—50''	3'—30''	10'—10''
中間休憩時間	10'	10'	20'	

この場合 ㉑ 點の水頭變化の最大は開始より 43 分 40 秒にて静水壓より 45.8 cm 降り、51 分 10 秒にて 22.5 cm 上昇した。㉓ 點にては副制水弁開き始めより 35 分後初めて水が流出しその増加は第 22 表の如くで空氣の噴出もなく壓力計にも感じなかつた。

第 22 表

	35'—0''	49'—0''	53'—0''	60'—0''
副制水弁開放開始よりの時間				
流量 (m <sup>3</sup> /sec)	初めて流出す	0.371	0.432	0.473

(2) 上流の空の場合 第 1 號線の他の管との連絡を斷ち之に通ずる 3, 4, 5 號沈澱池流出口を閉ぢ 30

分經過後第 3, 第 4, 第 5 沈澱池の順序に順次流出口を開き此の際排氣筒よりの噴水狀況並に管内壓力の變化を測定した。

此の結果は開放初めてより 5 分 30 秒後、即ち第 3 號沈澱池の弁満開に近き頃より空氣は水を伴ひ噴出し第 4 號沈澱池の弁の開き終りの頃最大となり排氣筒上 10 m 近くも噴水し(第 49 圖参照)約 5 秒の周期で 2 回噴水した後 10 秒休止し更に反復し此の状態を 10 分間近く持續し第 5 號沈澱池の弁を開いても大した影響なく其の後徐々に噴水を減じ開始後 25 分にて殆んど噴出を見なくなつた。

一方排氣筒より 35 m 下流の管内壓力は最初の弁の開き始めより 10 分後即ち第 4 號沈澱池の弁を開放する頃より壓力計に感じ第 5 號沈澱池の弁を開放して後約 3 分にて最高を示し静水壓以上 8 m に達し排氣筒を有するため大なる異常壓の發生を見なかつた。

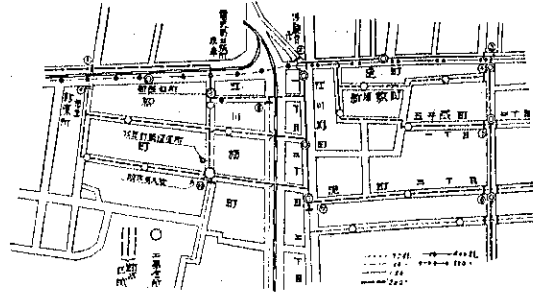
以上の結果より見ると第 (1) の場合も第 (2) の場合も 排氣弁及び空氣抜により管内の空氣が逃れ得るため大なる異常壓を生ずることもなく何等危険な状態を感じなかつた。

(b) 配水管通水時の衝撃

斷水後配水管網に再び通水する際管内の空氣の逸散及び濁水の排除は消火栓、排泥弁又は多數の給水栓にて行

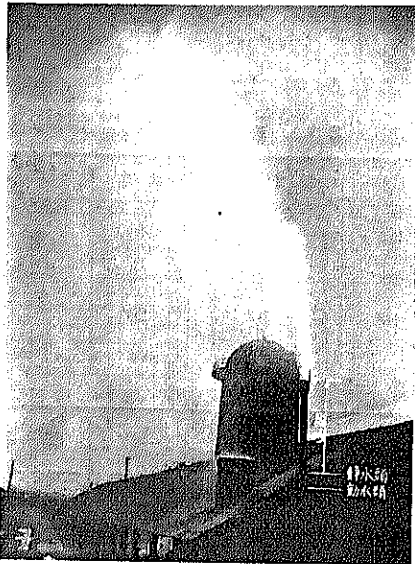
ふ。この際管内の壓力變化及び放水停止の場合の水面作用に就て言へば先づ斷水箇所は第50圖に示せる如くで  
 ④消火栓を約 1/2 回轉開き ④より約 5m 離れたる  
 専用給水栓に壓力計を取付け斷水のため閉鎖せる制  
 水弁①號より ⑩號まで順次に開放し水頭増加の時間  
 的變化を觀測した。

第 50 圖 斷水箇所配管圖

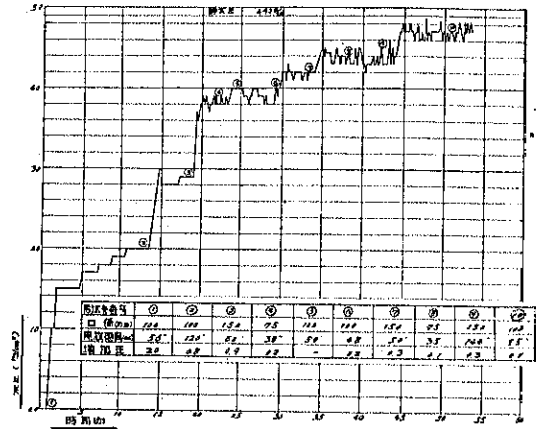


此の結果は第51圖に示す如く異狀壓は極く小さく  
 唯制水弁開放數の増すに連れ次第に壓力の増加する  
 のが認められる程度である。

第 49 圖 逕水時排氣筒よりの噴水狀況



第 51 圖 斷水後再逕水の場合配水管網の水壓變化  
 試驗月日 昭和 10 年 3 月



以上 2 種の實驗は凡て既設の使用中の管に就て行つたため個壓壓は小さく何等心配するに足らないものであつた。即ち導水管の如き單一管路に於ては管の最高の位置に排氣筒或は排氣弁を設くる必要がある。而してこの際排氣筒からは空氣と共に水を噴出するからその下部にコンクリート製水叩きを作ると共に排水路の用意も必要である。通水に際しては最初に下流弁を開放するは勿論先づ副制水弁を靜かに開き次に本管弁を極く徐々に間を置いて開く。配水管に於ては排氣弁はあまり設けないから通水時の管内空氣の排除には消火栓、給水栓による。

而して最初に開く制水弁は最も注意を要し排氣に支障を起さない程度に靜かに開き、又放水中の栓の閉塞は斷水のため閉塞した制水弁を全部開放した後に行ふ。然らざれば意外な故障を惹起する虞がある。

### 第 6 章 水道管に於ける諸壓力

水道管内の壓力は靜水壓、動水壓及び水衝壓にて示され之等は給水量の變化並に各種弁類の操作に伴ひ刻々變化する。此の變化は導水管、送水管では割合に簡單であり、配水管に於ては複雑である。

而して現今管厚計算に使用されて居る水壓は一般に靜水壓に水面壓を加算したものであるが、實際各都市水道に於ける最大水壓と管厚計算に用ひられる壓力との比較は次の如くである。

(1) 静水壓

導水管、送水管等は一般に大口徑で最大静水壓は管路の長短と地勢により異り 30~50 m 附近のものが多く中には 100 m 以上に達するものもある。配水管内の静水壓は給水区域の大小と配水池又は唧筒場との地理的關係により定まり夜間使用量の少ない時は殆んど静水壓を示して居る。而して此の静水壓は市内に於ける建物の高さ最大給水量を考慮して火災時に於ても充分な水量と水壓を供給し得ることが必要で我國 6 大都市に於ける實例を見ると大體第 22 表の如く最大 60 m である。

而して之等管路に使用される管は静水壓と基準としたものが多く水道協會規格では静水壓 4.5 kg/cm<sup>2</sup> 及び 7.5 kg/cm<sup>2</sup> に對する 2 種の管厚を定め、米國 New England 水道協會では 50 呎より 500 呎までを 50 呎毎に水頭を變じて管厚を定めて居る。

第 22 表 6 都市に於ける管路の最大静水頭

市名	導水送水管に於ける最大静水頭 (m)	配水管に於ける最大静水頭 (m)
東京市	28.0	50.0
大阪市	—	47.0
京都市	60.0	50.0
横濱市	35.0	51.0
神戸市	29.0	53.0
名古屋市	12.0	47.0

(2) 動水壓

管内流速の大なるに従ひ動水頭は下降し導水管、送水管等の管末では殆んど零に近いのが通例である。

配水管は最大給水量及び消火水量を通ずるを必要とし且つ末端で相當の水壓がなければならない。

而して管末に於ける有效水壓を如何にすべきかは其の附近の人家稠密の度合建築物の高さ等に依り一概ではないが特殊な防火水道を除き普通住宅地域では 1.5~2.5 kg/cm<sup>2</sup> 商業地域では 2~3 kg/cm<sup>2</sup> となつて居る。我國及び滿洲國諸都市の配水管内の動水壓は第 23 表の如く米澤市の 9.1 kg/cm<sup>2</sup>

大連市の 8.79 kg/cm<sup>2</sup>、奈良市の 7.45 kg/cm<sup>2</sup> 等を除き大體 4~5 kg/cm<sup>2</sup> で低いものでは 2~3 kg/cm<sup>2</sup> となつて居る。

米國大都市では一般の配水施設とは別に市の重要建築物が密集してゐる地域に消火用配水施設を設けたもの多く平時の水壓は兩者とも 4~5 kg/cm<sup>2</sup> であるが火災時には後者は 9~10 kg/cm<sup>2</sup> に迄高め得る様になつて居る。

又名古屋市で昭和 8 年夏季に調査した結果は第 24 表の如く最小動水壓は幹線では平均 1.9 kg/cm<sup>2</sup>、支管では平均 1.4 kg/cm<sup>2</sup> となつて居る。

第 23 表 本邦並滿洲國各都市に於ける最大動水壓と最小動水壓 (昭和 7 年度上水道統計に依る)

都市名	最大動水壓		最小動水壓		平均	
	kg/cm <sup>2</sup>	m	kg/cm <sup>2</sup>	m	kg/cm <sup>2</sup>	m
東京市	2.92	4.62	1.10	1.70	2.27	2.85
大阪市	2.70	4.22	1.40	1.90	2.23	2.82
京都市	2.10	3.10	1.90	2.00	1.90	2.92
横濱市	2.30	3.30	0.80	1.20	1.73	2.27
神戸市	2.52	3.62	0.67	0.82	1.12	1.72
名古屋市	—	—	—	—	—	—
米澤市	—	—	—	—	—	—
大連市	—	—	—	—	—	—
奈良市	—	—	—	—	—	—
札幌市	—	—	—	—	—	—
仙台市	—	—	—	—	—	—
青森市	—	—	—	—	—	—
盛岡市	—	—	—	—	—	—
秋田県	—	—	—	—	—	—
岩手県	—	—	—	—	—	—
宮城県	—	—	—	—	—	—
福島県	—	—	—	—	—	—
茨城県	—	—	—	—	—	—
栃木県	—	—	—	—	—	—
群馬県	—	—	—	—	—	—
埼玉県	—	—	—	—	—	—
千葉県	—	—	—	—	—	—
東京都	—	—	—	—	—	—
新潟県	—	—	—	—	—	—
富山県	—	—	—	—	—	—
石川県	—	—	—	—	—	—
福井県	—	—	—	—	—	—
山梨県	—	—	—	—	—	—
長野県	—	—	—	—	—	—
岐阜県	—	—	—	—	—	—
静岡県	—	—	—	—	—	—
愛知県	—	—	—	—	—	—
岐阜市	—	—	—	—	—	—
名古屋市	—	—	—	—	—	—
京都市	—	—	—	—	—	—
大阪市	—	—	—	—	—	—
神戸市	—	—	—	—	—	—
横濱市	—	—	—	—	—	—
東京市	—	—	—	—	—	—

次に配水量最大なる7月及び最小なる1月に於ける市内5箇所の自記水壓計に表はれた動水壓の變化は第52圖及第53圖の如くその最高、最低を表示すると第25表の通りである。

第25表 動水壓 (kg/cm<sup>2</sup>)

出張所名	冬 期 (1月)			夏 期 (7月)			最大異 状水壓 kg/cm <sup>2</sup>
	最高	最低	差	最高	最低	差	
市役所	3.0	2.8	0.2	3.1	2.3	0.8	1.4
白鳥橋	4.3	3.9	0.4	4.2	1.1	3.1	1.5
大曾根	3.3	3.1	0.2	3.4	2.6	0.8	1.1
高 辻	4.7	4.1	0.6	4.4	3.3	1.1	1.9
米 野	4.5	3.7	0.8	4.5	2.7	1.8	1.1

而して目下施行中の配水管擴張工事竣功の時は最低動水壓は幹線では2.2 kg/cm<sup>2</sup>、支管では1.5 kg/cm<sup>2</sup>となる。給水管内の壓力は給水栓開放時に必要水量を供給し得るだけの必要とし通常使用されてゐる管徑並に所要水量は第26表の通りである。

而して給水管の延長は配水支管より分岐してから平均15m内外であるから此の流量を流すに必要な分岐點水壓は約1.5 kg/cm<sup>2</sup>となる。又管末では給水栓からは大氣中に放流する爲水壓無く、總て流速に變じて居る。従つて放水時の給水管内の動水壓は大體0.5 kg/cm<sup>2</sup>乃至0 kg/cm<sup>2</sup>と成つて居る。

(3) 水 衝 壓

導水管の管徑及び流速は大體1m/sec前後で閉鎖時間が1分以上であれば實驗結果の示す如く長さ數軒の管路では水衝壓は3.5 kg/cm<sup>2</sup>以下である。

又配水管の常態に於ける水衝壓は比較的小さい事が自記水壓計の記録に依り判明した。

即ち名古屋市5箇所の自記水壓計の中水壓變化の最も甚だしい白鳥橋出張所の記録を示すと第54圖のA、Bの如くAは春期に於けるもので夜間晝間の水壓には甚だしい差異なく夜間の最高4.2 kg/cm<sup>2</sup>に對し晝間の最低3.0 kg/cm<sup>2</sup>にて1.2 kg/cm<sup>2</sup>の低下を示し水壓變化は午後1時前後が甚だしく水衝作用による水壓變化が2.5 kg/cm<sup>2</sup>に達するものがある。

Bは夏期使用水量の大なる場合を示したもので動水壓は最大4.2 kg/cm<sup>2</sup>にて最低は1.8 kg/cm<sup>2</sup> (7月11日)に下り水壓の低下は2.4 kg/cm<sup>2</sup>である。

而して昭和5年以降の最大水衝壓は靜水壓以上1.3 kg/cm<sup>2</sup>で此の時の動水壓以上の超過水壓は2.9 kg/cm<sup>2</sup>で之より見ても配水管の常態にては大なる水衝壓は餘り起らないものと考へられる。然し局所的の工事又破裂時に於ける制水弁操作のため尙多少大きくなるものと思はれるが斯る異常水壓は頻繁には起らない。尙水壓の變化は季節的には夏季1日中では午後と云ふ様に使用水量の多い時に大きく變化し幹線の動水壓と配水量の時間的關係を示すと第27表及び第55圖乃至第57圖の如くである。更に鐵管の接手よりの漏水箇所數を見ると第28表及第58圖の如く使用水量多く且つその變化の甚だしい夏季に於て多くなつて居る。従つて配水管接手の漏水は主として水衝壓に起因する接手の緩みによるものと思はれる。

第24表 名古屋市配水管水壓表 (昭和8年夏季調査のもの)

No	位 置	最大動水壓	最小動水壓	管 徑	備 考
1	東白鳥町14	3.32	2.03	150	(1) - (10)
2	東通平手全附道	3.44	1.73	150	幹線
3	中込南大津田169	3.66	2.10	900	
4	中込東河津37	4.27	2.90	150	(11) - (20)
5	中込東河津	4.43	1.90	500	支管
6	南二軒田東町南詰	4.55	1.30	400	
7	南二軒田東町1	4.75	1.89	500	
8	南二軒田東町	4.82	2.04	400	
9	南二軒田東町	4.05	1.00	400	
10	東込白鳥町14	2.44	2.08	150	
11	西込河原町11	4.43	1.40	150	
12	西込河原町東島	4.41	1.45	150	
13	水松町南門前附	4.70	1.75	150	
14	南二軒田東町	4.05	1.69	100	
15	南二軒田東町1	4.78	1.38	100	
16	南二軒田東町	4.80	1.29	200	
17	同前田中河原町14	4.63	1.00	100	
18	同前河原町5	4.77	1.33	300	
19	同前河原町14	4.73	1.15	75	
20	同前河原町14	4.71	1.27	150	
21	平均値 幹線	4.03	1.90	-	
22	平均値 支管	4.61	1.37	-	
23	總平均値	4.32	1.84	-	

第26表 鉛管の口徑と使用水量

管 徑 (mm)	流 量 (l/分)	流 速 (m/秒)
19	17	2.13
16	26	2.14
20	40	2.12
25	65	2.20

又鉄管の破裂に就て見ると第29表の如く原因の殆んど大部分は外部から受ける力によるもので水圧による自然破裂は稀な事から市内配水管では水圧に對しては接合に注意が必要と考へる。

給水管に於ける水衝壓は給水栓、止水栓等その種類管内流速により異り一般に使用せられてゐる乙給水栓では水衝壓は或る一定限度以上にはならない。次に乙止水栓、レバーハンドル・ロック等では殆んど瞬間閉鎖であるから水衝壓は流速の増加に伴ひ増大し甚だ大きくなる。

名古屋市に於ける最近數箇年の鉛管破裂數(屋内引込管)は第30表の通りで冬季は凍結による破裂が相當多數あるが夫れでも總破裂數に於て夏季の方が多しのは使用頻繁な爲であつて之から見ても破裂主原因は水

第27表 幹線に於ける動水壓と配水量の時間的變化

昭和7年1月21日(最低)(水量 m<sup>3</sup>/hr, 水壓 kg/cm<sup>2</sup>)

時刻	A		B		C		D		E	
	水量	水壓	水量	水壓	水量	水壓	水量	水壓	水量	水壓
午前8時	255	2.2	205	1.8	175	1.5	145	1.2	115	1.0
午前9時	232	2.2	232	2.2	232	2.2	232	2.2	232	2.2
午前10時	221	2.2	221	2.2	221	2.2	221	2.2	221	2.2
午前11時	205	2.2	205	2.2	205	2.2	205	2.2	205	2.2
午後1時	185	2.2	185	2.2	185	2.2	185	2.2	185	2.2
午後2時	165	2.2	165	2.2	165	2.2	165	2.2	165	2.2
午後3時	145	2.2	145	2.2	145	2.2	145	2.2	145	2.2

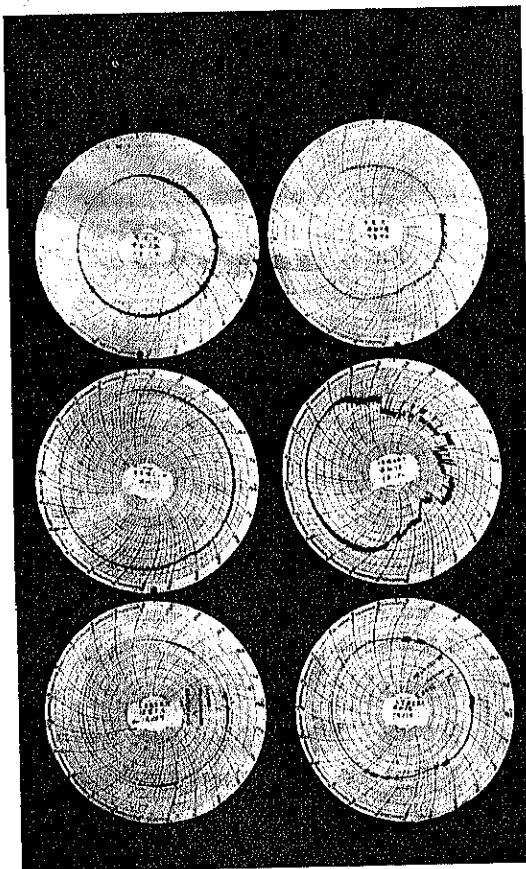
昭和7年5月30日(平均)

時刻	A		B		C		D		E	
	水量	水壓	水量	水壓	水量	水壓	水量	水壓	水量	水壓
午前8時	167	2.2	167	2.2	167	2.2	167	2.2	167	2.2
午前9時	232	2.2	232	2.2	232	2.2	232	2.2	232	2.2
午前10時	221	2.2	221	2.2	221	2.2	221	2.2	221	2.2
午前11時	205	2.2	205	2.2	205	2.2	205	2.2	205	2.2
午後1時	185	2.2	185	2.2	185	2.2	185	2.2	185	2.2
午後2時	165	2.2	165	2.2	165	2.2	165	2.2	165	2.2
午後3時	145	2.2	145	2.2	145	2.2	145	2.2	145	2.2

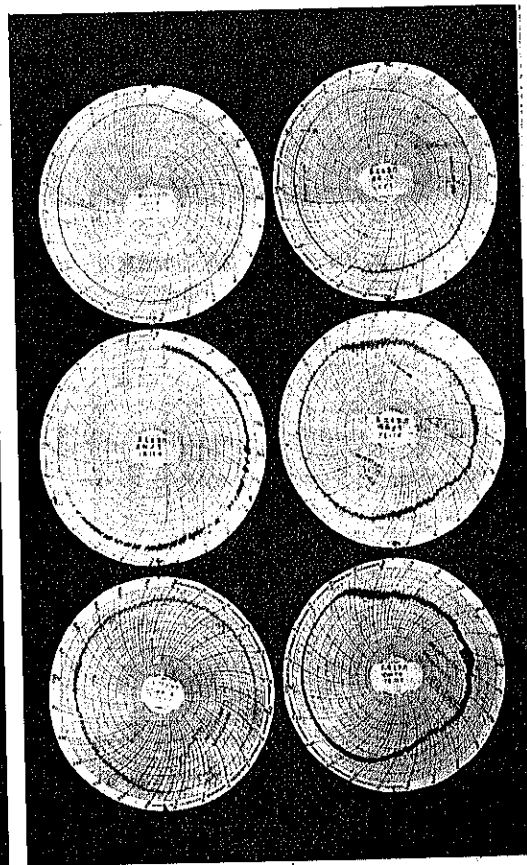
昭和7年7月14日(最低)

時刻	A		B		C		D		E	
	水量	水壓	水量	水壓	水量	水壓	水量	水壓	水量	水壓
午前8時	167	2.2	167	2.2	167	2.2	167	2.2	167	2.2
午前9時	232	2.2	232	2.2	232	2.2	232	2.2	232	2.2
午前10時	221	2.2	221	2.2	221	2.2	221	2.2	221	2.2
午前11時	205	2.2	205	2.2	205	2.2	205	2.2	205	2.2
午後1時	185	2.2	185	2.2	185	2.2	185	2.2	185	2.2
午後2時	165	2.2	165	2.2	165	2.2	165	2.2	165	2.2
午後3時	145	2.2	145	2.2	145	2.2	145	2.2	145	2.2

第52圖 名古屋市に設けられた自記水壓計による壓力變化



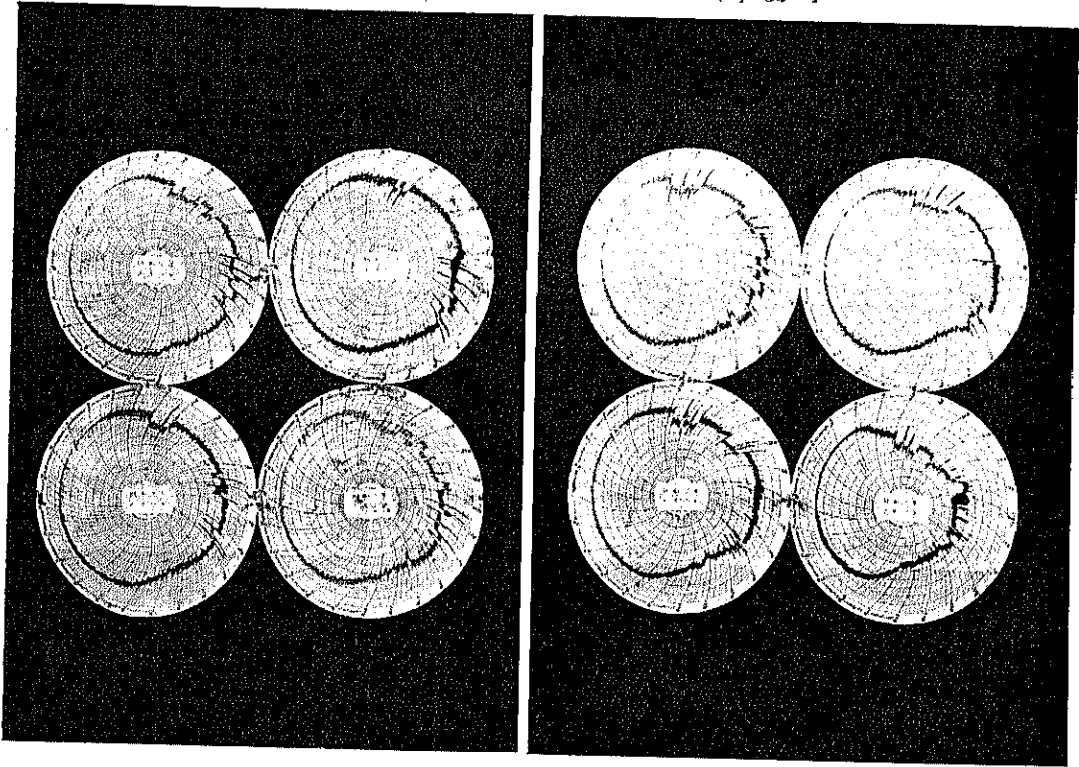
第53圖 名古屋市に設けられた自記水壓計による壓力變化



第 5 4 圖 自記水壓計による動水壓と水衝壓の記録 (白鳥出張所)

(A) 春季

(B) 夏季



第 28 表 配水鐵管漏水調査表

年月 管径(m)	昭和八年 度 (配水管延長 824,763 m)													計
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3		
75														27
100	5	5	3	6	4	4	2	2						32
150	11	1	3	3	3	1	2	1					1	27
200	1	3	1			2								9
250		1		1										2
300				8	4		1	1	1					15
400			3	4	3		2	1						13
500			1											1
600	1	1		3				1						6
700				1				1	3					5
900										1				1
1,100					2		1							3
計	18	21	11	38	22	10	8	7	4	1	1	2		143
年月 管径(m)	昭和九年 度 (配水管延長 830,620 m)													計
	4	5	7	8	9	10	11	12	1	2	3			
75														30
100	2	5	3	9	6	4	3		4	2				36
150		6	8	5	6	9	7	1	6	1				47
200	1	3	5	9	3	4	1	2	1	1				30
250														0
300	1	3	1	10	5	1								0
400		4	3	6	10	4	2		1					22
500														29
600		1	1		1	1	1							5
700					2	2		1						5
900														1
1,100														0
計	4	25	28	44	36	29	21	7	15	4				207
二ヶ年合計	22	46	39	82	58	39	29	14	19	5	1	2		350
日分率	6.3	13.1	12.2	23.4	16.4	10.4	8.3	4.0	5.4	1.4	0.3	0.6		100

第 29 表 鐵管破裂數

原因	年 度		
	昭和 7 年	8 年	9 年
外部より外力による損傷	30	16	11
凍害等(常圧による)	0	0	2
自然破損(水圧による)	0	1	4
計	30	17	17
配水管延長 (m.)	775,619	824,763	830,620

衝壓に依るものと思はれる。

又破裂數と給水栓數との割合を見ると 1 栓に付き 10 年に 1 回の割合となり、給水栓數が多い場合には之に要する修理費も相當額に上るから維持費節約上看過し得ないものとなる。之を少くするには鉛管の厚さを増すか或は水衝壓を減ずるかであるが大體レバー・ハンドル・コック及び乙止水栓の操作のみに注意すれば現在使用の鉛管でよいと考へる。又給水管にも更に分岐管を有する場合が相當あつて、かゝる場合には

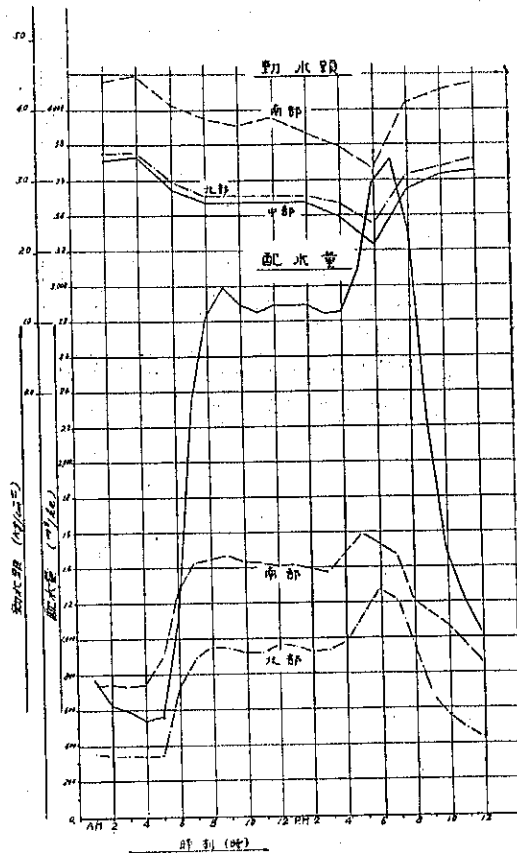
普通単一路線のときより水衝壓は減ずるから単一路線の場合に安全であれば他の場合には大體安全と云ふことが出来る。尙之が配水管本管に及ぼす影響は給水管に比して其の径は大であるから著しく緩和されるものと考へられる。一方管厚計算に使用せられてゐる水衝壓に対する餘裕として歐米では大體  $7.0 \text{ kg/cm}^2$  ( $100 \text{ #/in}^2$ ) 内外を我國では  $5.5 \text{ kg/cm}^2$  を取つて居るが高層建築多く使用壓の高い歐米と比べて日本の如く使用壓の低い所では水衝壓に對する餘裕は小さくても此の實驗から見て差支ないであらう。

第 30 表 名古屋市に於ける給水装置故障回数表

No.	昭和 7 年			昭和 8 年			昭和 9 年		
	水栓修理 回	地上修理 回	水栓修理 回	水栓修理 回	水栓修理 回	水栓修理 回	水栓修理 回	水栓修理 回	水栓修理 回
1	2,431	641	228	2,893	706	600	3,036	846	563
2	2,016	703	247	2,886	784	440	3,068	241	506
3	2,216	787	277	3,111	708	355	3,777	857	423
4	3,073	685	275	3,377	800	427	3,824	388	423
5	3,943	862	375	4,684	1,155	537	4,944	400	587
6	4,211	866	447	5,377	1,082	476	5,661	578	624
7	5,415	985	577	6,264	1,187	742	6,570	653	762
8	5,870	1,081	577	6,808	1,235	771	6,922	1,121	826
9	5,073	1,210	662	6,378	1,215	677	6,620	690	702
10	4,610	1,172	448	5,007	1,207	516	4,848	556	512
11	3,756	710	368	4,117	1,073	388	3,813	471	422
12	3,422	502	271	3,705	1,071	354	3,774	374	263
合計	42,325	10,684	4,666	46,857	12,767	6,477	55,082	7,414	8,714
平均	3,527	890	390	3,905	1,064	540	4,590	618	726

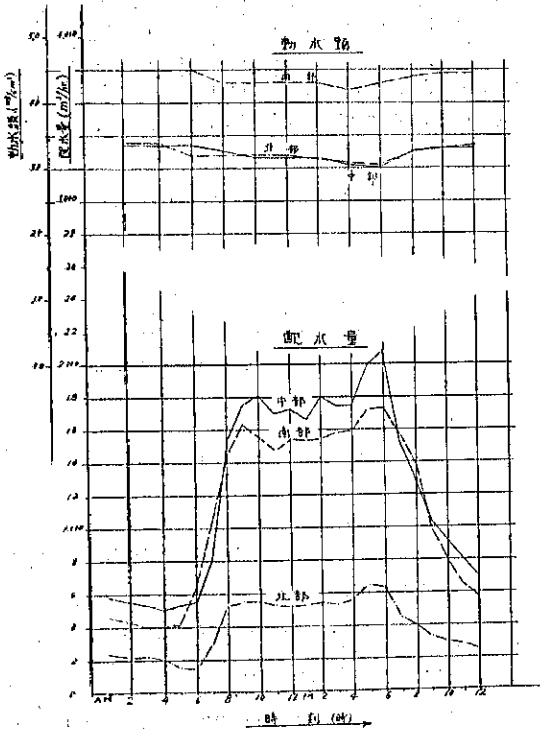
第 56 圖 幹線に於ける動水頭と配水量の時間的變化

(昭和 7 年度 最高) 7. 7. 26



第 55 圖 幹線路に於ける動水頭と配水量の時間的變化

(昭和 7 年度 最高) 7. 1. 1



第 7 章 管の強さと管類の構造

第 1 節 鑄鐵管の強さと水衝壓

水道用鑄鐵管の強さに就て名古屋市に於て行つた實驗(拙著「鑄鐵管の強さに就て」土木學會誌第 21 卷第 4, 5 號, 昭和 10 年 4, 5 月參照)の結果によれば各種管徑を通じ破壊水壓の最大は 306 kg/cm<sup>2</sup>, 最小 72 kg/m<sup>2</sup> と

第 31 表 上水協議會型普通壓管の安全率

管 径 φ (mm)	管 厚 t (mm)	σ <sub>1</sub>	破壊水圧 P (kg/cm <sup>2</sup> )	安全率	
1	75	102	01360	367	200
2	100	107	01470	277	210
3	125	113	00344	227	175
4	150	110	00287	124	150
5	200	129	00605	152	167
6	250	140	01360	129	140
7	300	151	01523	113	86
8	350	162	00462	103	87
9	400	173	00432	94	73
10	450	180	00402	82	62
11	500	195	00380	81	67
12	600	217	00362	79	60
13	700	232	00341	71	54
14	800	261	00326	66	50
15	900	283	00314	63	40
16	1000	307	00305	61	46
17	1100	327	00297	52	45
18	1200	342	00291	50	42
19	1350	382	00283	55	42
20	1500	415	00277	53	41

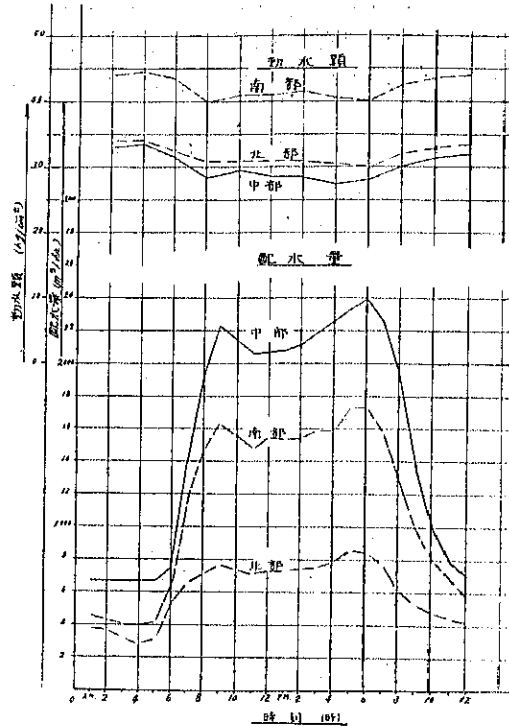
第 32 表 上水協議會型低壓管の安全率

管 径 φ (mm)	管 厚 t (mm)	実効水 圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	σ <sub>1</sub>	破壊水圧 P (kg/cm <sup>2</sup> )	安全率	
1	75	37	76.0	01276	300	340
2	100	40	10.12	00290	255	255
3	125	45	12.65	00222	236	206
4	150	49	15.10	00170	174	124
5	200	57	20.54	00320	133	133
6	250	62	25.30	00494	111	111
7	300	73	30.36	00430	95	82
8	350	81	35.02	00403	82	82
9	400	89	40.00	00360	77	77
10	450	97	45.54	00345	72	72
11	500	105	50.60	00326	66	66
12	600	117	60.72	00290	59	59
13	700	127	70.00	00270	50	50
14	800	133	80.26	00263	50	50
15	900	142	90.00	00251	46	46
16	1000	145	100.00	00242	43	43
17	1100	161	110.32	00230	41	41
18	1200	177	120.00	00220	40	40
19	1350	182	130.62	00220	39	39
20	1500	205	150.00	00203	37	37

なり管徑の大なる程小さく其の變化は口徑 250 mm までは急激であるが口徑 300 mm 以上では大差なかつた。この結果を用ひ普通壓, 低壓管共規定通りの水壓が加はるものとして安全率を求めると第 31 表及び第 32 表の通りであつて管厚を定むる場合計算上の必要以上に鏽による厚の減少, 製作技術上及び實際使用の點から一定量だけ厚くしてあるから小口徑管では其の影響が大で理論上からの必要以上に大なる安全率即ち 38~34 を有し 800 mm 管で所期の 5 となり, それ以上の管は安全率が 5 以下となつてゐる, 之から見ると大口徑管の厚さが不足の様であるが水衝壓は實驗の結果から判る様に大口徑は小口徑に比して小さいから大口徑管の厚さを増す必要も別段にない。

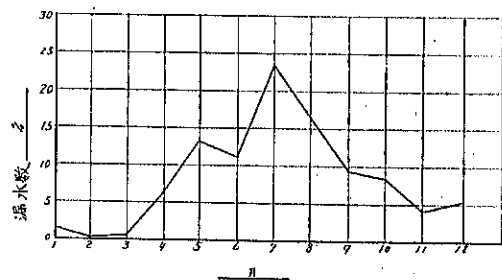
第 57 圖 幹線路に於ける動水頭と配水量の時間的變化

(昭和 7 年度平均) 7. 5. 3



第 58 圖 月別配水鐵管漏水數

(昭和 8, 9, 2 箇年通算百分率)





次に水衝壓は一種の衝撃力であるが管が一定の張力を受けてゐる上に作用するから實際示す耐力以上の破壊効果と與へる。しかも繰返し起るため反復衝撃と考へねばならない。従つて鑄鐵管は之等に對しても充分な抵抗力を有しなければならない。

而して之と最も類似の試験は試験片を一定の張力で引張り之に打撃を加へて破壊する試験、即ち抗引打撃試験である。此の試験の結果は(本誌第 21 卷 4 號著者の論文参照)普通鑄鐵管の許容應張力を  $25 \text{ kg/mm}^2$  を用ひた場合には高級鑄鐵では甲種  $5 \text{ kg/mm}^2$ 、乙種  $3 \text{ kg/mm}^2$  を許容應張力と定むべきであり、而して此の許容應張力を用ふる時は甲種高級鑄鐵管は水衝壓に對し普通鑄鐵管より遙かに安全である。

### 第 2 節 鉛管の強さと水衝壓

水衝壓試験に供した鉛管は水道協會規格のもので静水壓  $5 \text{ kg/cm}^2$  を有する場合には乙給水栓の閉鎖に依つて生ずる最大水壓は大體許容水壓以内にあるが止水栓の場合には何れの徑のものでも大部分が許容水壓を突破してゐる。尚鉛管の強さに就ての東京市の實驗より安全率 5 とした場合の許容水壓を求めると第 33 表の通りであり前記同様な事が云はれる。之等に依つて見ると試験に供した様な止水栓、レバー・ハンドル・ロックを使用する場合には鉛管の厚さを増す必要があり、大徑のもの程その要がある。然し實際多くの場合止水栓は給水栓と異り配水管に接近して設けられ且つその閉鎖の回数も少いから注意して操作すれば支障ないと考へるがレバー・ロック等は使用の回数も多くなるから特に厚い鉛管を用ひない限り使用しない方がよいであらう。

第 33 表 水道協會型鉛管の耐水壓強度

口径 (mm)	管径 (mm)	試験水壓 (kg/cm <sup>2</sup> )	破裂水壓 (kg/cm <sup>2</sup> )	安全率	許容水壓 (kg/cm <sup>2</sup> )
10	φ1	20.0	21.0	1.05	19.0
15	φ1	25.0	26.0	1.04	24.0
20	φ1	30.0	31.0	1.03	29.0
25	φ1	35.0	36.0	1.03	34.0
30	φ1	40.0	41.0	1.02	39.0
35	φ1	45.0	46.0	1.02	44.0
40	φ1	50.0	51.0	1.02	49.0
45	φ1	55.0	56.0	1.02	54.0
50	φ1	60.0	61.0	1.02	59.0
55	φ1	65.0	66.0	1.02	64.0
60	φ1	70.0	71.0	1.01	69.0
65	φ1	75.0	76.0	1.01	74.0
70	φ1	80.0	81.0	1.01	79.0
75	φ1	85.0	86.0	1.01	84.0
80	φ1	90.0	91.0	1.01	89.0
85	φ1	95.0	96.0	1.01	94.0
90	φ1	100.0	101.0	1.01	99.0
95	φ1	105.0	106.0	1.01	104.0
100	φ1	110.0	111.0	1.01	109.0

### 第 3 節 弁類の構造と水衝壓

弁類は使用場所、使用の目的等に應じ各々特種の構造を有し従つて水衝壓も色々變つて居る。而して現今使用せられてゐる各種弁類を使用する場合に於ける水衝壓から見た操作方法に就ては既に詳述したが、更に之等の構造並に機能に就て述べやう。

#### (1) 仕切弁 (Sluice valve)

管路に垂直に扉を移動し斷面の縮少又は閉鎖を行ふ。第 59 圖に於て全開より扉の移動した距離を  $h$  とせばこの時の通水斷面  $a$  の全開斷面  $A$  に對する比は次式で表はされる。而して一般に扉の徑は管徑より幾分大きくなつてゐるが實用上は同一と看做すことが出来るから同一と假定した。

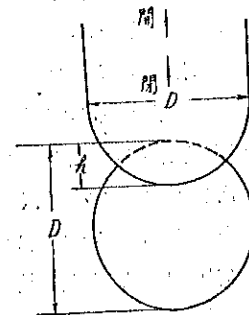
$$\frac{a}{A} = 1 - \frac{2 \left\{ \cos^{-1} \left( 1 - \frac{h}{D} \right) - \frac{h}{D} \sin \left( \cos^{-1} \left( 1 - \frac{h}{D} \right) \right) \right\}}{\pi}$$

$$\text{但し } 0 \leq h \leq D \begin{cases} h=0: \text{全開} \\ h=D: \text{全閉} \end{cases}$$

之から  $h/D$  と  $a/A$  との關係並に Weisbach の實驗に依る摩擦係數 ( $f_0$ ) を示せば次の如くなる。

$h/D$	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
$a/A$	0.89	0.81	0.71	0.60	0.48	0.36	0.23	0.10
$f_0 (D=600)$	-	0.95	1.70	3.20	5.60	11	28	100

第 59 圖



断面縮少の割合は始めの中は割合に少いけれども半以後はその度を増し、従つて管内流速を減少せしむる割合も大で水衝壓上からはよいとは言はれない。

特に長い管路に設けられてゐる場合には開放断面の割合に流量が多く特に之が甚だしい。

けれども手動式では扉の移動は之に立て込んだ軸の回轉によるから捻子山數を増す事、即ち單位  $h$  の移動に要する軸の回轉數を増し回轉速度を遅くすれば如何程でも閉鎖時間を長くすることが出来、しかも減速齒車を用ふる時は一層遅くすることが出来るから水衝壓上から見ても支障ないと考へられる。又全閉時には一方から水壓を受け完全に水密となり構造簡單で故障少く價格も低廉であるから水道用では特に之のみを制水弁と稱し廣く使用せられ本論文中制水弁と稱するものこの形式のものである。

水壓式では軸を扉に捻込む代りに hydraulic ram により扉を移動せしめるから開閉の速度は注入水量及び水壓の加減によつて調節することが出来る。而して横型の場合には一様な速度で進行するが堅型では扉の自重にて豫期以上の速度で下降するから構造及び操作には特に注意を必要とする。

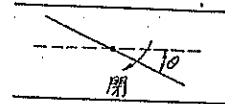
又仕切弁の扉は開放時には扉室に入つて居るから全閉時には損失水頭がない特徴がある。

(2) 回轉弁

管路内に回轉軸を有する扉を設けその軸を外部より回轉し開閉を行ふ。即ち扉が管軸と平行になつた時が全開で之から或る角度  $\theta$  だけ傾いた時の通水断面と全断面との比は次式で表はされる。

$$\frac{a}{A} = 1 - \sin \theta \quad \text{但し} \quad 0 \leq \theta \leq 90^\circ, \quad \begin{cases} \theta = 0^\circ & \text{全開} \\ \theta = 90^\circ & \text{全閉} \end{cases}$$

第 60 圖



次に回轉角と断面比並に摩擦係數を示せば次の如くなる。

$\theta^\circ$	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70
$\theta^\circ/90^\circ$	0.055	0.11	0.17	0.22	0.28	0.33	0.39	0.45	0.50	0.55	0.67	0.78
$a/A$	0.91	0.83	0.74	0.66	0.58	0.50	0.43	0.36	0.29	0.23	0.13	0.06
$f_v$	0.28	0.45	0.77	1.34	2.16	3.54	5.70	9.3	15.1	24.9	77.4	368

( $f_v$  Weisbach の實驗による)

即ち始めの中は  $\theta$  の増加に比し断面は急に縮少するが終りに近づくに従つて縮少の割合を減じてゐる。この點のみから見れば水衝壓を小さくするには適してゐると考へられる。

而して仕切弁の如く直接軸を回轉するときには閉鎖時間を遅くする事が出来ず如何なる場合でも減速齒車を必要とする缺點がある。

而し仕切弁でも大口徑では減速齒車を有するから、この點では仕切弁と優劣なく而も扉の受くる水壓は軸を中心として平衡するから回轉は容易である。而しこの爲に仕切弁の如く扉を valve sheet に押付けるに流水自身の水壓を利用する事が出来ないから高壓の場合には完全水密が困難である。従つて水道にはあまり用ひられてない。

而しワシホバルブの如く扉は 2 枚より成り回轉中は互に密着し閉鎖時には兩側に擴りその内部に水壓が加はり扉を valve sheet に密着せしむるものでは仕切弁と同等の水密とすることが出来る。

何れにしても全開時に於て扉が管内にそのままあるため損失水頭の大きい事が缺點である。

(3) 止水栓 (Cock)

普通小管に用ひられ通常本管徑より幾分小さい通水孔を有する回轉體を管に挿入し之を回轉して管断面の増減をなす。而して通水孔徑と管徑とは同一でしかも弧 AB 第 61 圖を弦と假定するも實用的には支障ないから、か

る假定の下に回轉角度と開比との關係式を求めると次の如くなる。

而して通水孔の中心線が管の中心線と一致した時が全開であるから之より通水孔の中心線が傾くにつれて断面が縮少する。

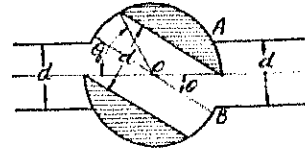
$$\frac{a}{A} = 1 - \frac{\left\{ \cos^{-1}\left(1 - \frac{2\theta}{\theta_0}\right) - \left(1 - \frac{2\theta}{\theta_0}\right) \sin\left(\cos^{-1}\left(1 - \frac{2\theta}{\theta_0}\right)\right) \right\}}{\pi}$$

但し  $\theta=0$  全開,  $\theta=\theta_0$  全閉

之より  $a/A$  を求めると

$\theta/\theta_0$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
$a/A$	0.95	0.87	0.75	0.63	0.5	0.37	0.25	0.13	0.05

第 61 圖



故に閉鎖の始め及終り附近では同一回轉度に對し断面縮少の割合は小となるから閉鎖裝置としては適當と考へる。

しかし  $\theta_0$  は最大でも  $90^\circ$  にはならないから閉鎖速度は前記 2 種に比し早くなり且つ小型では減速齒車の取付も實際上不可能で殆んど瞬間閉鎖となるから水衝壓上からはよくないと考へる。従つて水道用でも比較的使用回数の少い止水用として使用せられてゐる程度でこの場合でも出来る丈靜かに操作する必要がある。

又損失水頭も開放面積の小さいときは大となり且つ摺合せのみで水密を保たなければならないから使用頻繁な場合には漏水の多い缺點がある。

(4) 圓板弁 (Disc valve)

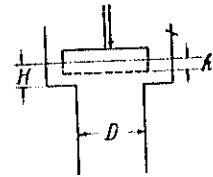
給水栓、消火栓等小管に用ひられ圓板を之に取り付けた軸を回轉又は押すことにより開閉を行ふ。

第 62 圖に示す如く  $H = \frac{D}{4}$  の時全開であるからこの點を基準とし之よりの移動

を  $h$  とせば  $\frac{a}{A} = \frac{D-4h}{D}$  但し  $0 \leq h \leq \frac{D}{4}$ ,  $h=0 \dots$  全開,  $h = \frac{D}{4} \dots$  全閉

の如くなり断面の縮少される割合は  $h$  に正比例する。圓板を軸の回轉により移動する場合には仕切弁を同じく單位  $h$  の移動に對する軸の回轉數を加減することにより適當な閉鎖速度を與ふることが出来る。又構造簡單で圓板下に取付けたゴム或は皮パッキングが完全であれば水密も完全となり、パッキングの取替へも容易であるから使用回数の多い給水栓等に廣く用ひられてゐる。

第 62 圖



水衝壓の點からも軸の回轉數の加減により許容水壓以内とすることが出来水道協會型鉛管を用ふる場合には大體 5 回轉以上にすればよいと考へる。

(5) Needle valve

一般にこの弁の利點としては (1) 水密完全な事, (2) 高水壓に適する事, (3) 損失水頭の少い事, (4) 開閉速度調節の自由等が擧げられる。而して機構複雑で價格が高いため特別な箇所以外にはあまり用ひられてゐない。

(6) フラッシュバルブ、ボールタップ其の他

其の他目的により異つた形式のものがある。フラッシュバルブは流水自身の水壓により自動的に閉鎖されるから一定の構造のものでは閉鎖速度も自然に定まる。従つて水衝壓の大きさも定まるから之に耐ゆる様な管を使用しなければならぬ。ボールタップも自動閉鎖であるが水球桿を長くすれば閉鎖時間も長くなるから水衝壓は小口径ではあまり大きくならない。以上止水栓以外の殆んど大部分の弁類は自由な閉鎖速度を與ふる事が出来るから閉鎖時に水衝壓が管の許容水壓以上にならぬ様機構を定めなければならない。

而して單に水衝壓のみからは回轉弁が適當と考へるが水密の點なども考へると大口徑では仕切弁小口徑では圓板弁が適當と考へる。

### 第 8 章 結 論

以上各章節に互り水道管に於ける水衝壓並に之を誘引する弁類の操作に就て述べたが、之を要するに導水管配水管には制水弁 (sluice valve) が主に用ひられてゐる。而して此の制水弁は手動式では急速閉鎖は不可能で従つて水衝壓も小さくなるから閉鎖速度に就て特別の考慮を要しない。然し水壓開閉式制水弁及び自動閉鎖装置では短時間閉鎖が可能であつて導水管、送水管の如き長い單一管路では水衝壓も大となるから豫め弁類の最大速度を定めねばならない。鐵管が印籠、鉛、接手の場合にはこの部分の彈性係数は幾分小さく管路には多少の漏水、鉛の爲の厚さの減少などもあつて計算通りにはならないが實驗結果によれば

斯る單一管路に於て全開より閉塞するときの水衝壓は大體 Johnson 又は Vensano 氏公式により求められる。而して閉鎖時間には制水弁の開度が流量に著しき變化を與へ始める時から全閉迄の時間、即ち管路の長短による 2/3 開度附近よりの時間を用ふれば近似値を求むる事が出来る。之によつて總水壓が許容水頭以上にならない様閉鎖時間及び制水弁の構造を決定する事が出来る。長い管路にある制水弁で弁の損失水頭に比し管の摩擦損失水頭の大なるときは 1/5 開度で殆んど全開と同量が流れるから、かゝる場合には 1/5 開度から全閉までの時間の操作を制限しなければならぬ。

又導水管送水管等の如き長管路には水衝壓に備ふるため規格以上の強力管を使用するか或は調壓槽又は安全弁を設ける方が安全である。大口徑配水管では水壓式制水弁でも分岐管を有する場合は水衝作用は緩和せられ單一管路に於ける程大きな水衝壓は生じない。

又配水本管の流速は常時給水量の變化に左右せられる程度で小口徑の場合の様に消火水量の影響も少く従つて小口徑管に於ける程の水衝壓は生じないから大口徑管は小口徑管に比し管厚決定の際の安全率は小さくなつても水衝壓の點から見れば別段支障なきものと考へる。

一般に大徑制水弁を閉鎖する時は必ず副制水弁を開けて置く事が必要である。即ち副制水弁は本制水弁の開閉を容易ならしむる爲必要であるより以上に水衝壓を小さくする爲、必要であると考へる。

次に配水管は網目状になつてゐると放水時を除いては流速もあまり大でなく且つ一般に制水弁は手動式であるから管路中の制水弁の閉塞による水衝壓は實驗結果も示す如く通例小さいものであるが消火栓操作の場合には管内流速は大となり且つ閉塞度も制水弁に比し大で相當大きな水衝壓が起る。尙排泥弁は管末にあるもの多く且つ流速も大であるから手動式制水弁でも大なる水衝壓を生ずるから之等の場合は特に操作に注意を要する。鐵管接合部の漏水は水衝壓が主原因と認められ之が爲には制水弁閉鎖速度に制限をなす勿論管の端末をなくし、出來得る限り循環路となす等の必要がある。給水管に於ける水衝壓は乙給水栓の場合には閉塞時間も比較的長いため水衝壓も小さいが乙止水栓、レバーコック等の場合には非常に大きくなる。

一面給水管の破裂の主原因は各種給水栓類の水衝壓の反復衝撃によるものと認められるから乙止水栓、把手コック類の構造及び使用に特別の注意を拂ふに非ざれば現在使用の給水管の強さに就て考慮すべき必要がある。

第 63 圖 弁の Stroke 又は角度と開比の関係圖

