

第Ⅸ章 参考

1 流量計算

1. 1 基礎知識

1 水の重さ

気圧のもとにおける水の密度は、3.98℃において最大である。

温度と密度の関係は、表IX-1-1 のとおりである。

表IX-1-1 水の密度と単位体積重量

状態	水					
温度 (℃)	0	4	10	15	20	30
密度 ρ (kg/m ³)	999.84	999.97	999.70	999.10	998.20	995.65
単位体積重量 W (kN/m ³)	9.798	9.800	9.797	9.791	9.782	9.757

水の密度 ρ (ロー) は、表IX-1-1 のように温度によって異なるが、一般に、 $\rho = 1,000\text{kg/m}^3 (=1\text{g/cm}^3=1\text{t/m}^3)$ として計算する。

$$W = \rho g$$

$$= 1,000\text{kg/m}^3 \times 9.8\text{m/s}^2 = 9,800\text{N/m}^3 = 9.8\text{kN/cm}^3 \quad (\text{重力加速度 } g = 9.8\text{m/s}^2 \text{ とする。})$$

2 水圧

水圧の単位は、Pa (パスカル) で表されるが、これを長さとの力で表すと次のようになる。

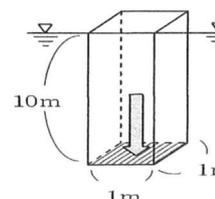
$$1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$$

つまり、1Pa の水圧の大きさは、1m²の面積に 1N (ニュートン) の力が作用した大きさである。

水深10mで1m²の面積にかかる水圧を考えると、水底には、水の重量がかかるので、水底の水圧は、

$$\begin{aligned} \text{水圧} &= 1\text{m}^2 \times 10\text{m} \times 9.8\text{kN/m}^3 \div 1\text{m}^2 \\ &= 98\text{kN/m}^2 \\ &= 98\text{kPa} (=0.098\text{MPa}) \end{aligned}$$

すなわち、水圧 98kPa (=0.098MPa) ということは、10mの高さまで水を押し上げることができる圧力という



図IX-1-1

ことになる。

3 水頭

水圧がかかっている鉄管に穴をあければ、水が吹き出す。ここにガラス管を取り付けて、立ち昇る水柱の高さを測れば、その水圧の大きさを表わすことができる。このように、水が持つエネルギーを高さの単位で表現したものを「水頭」(Head、ヘッド)という。

すなわち水頭とは、単位体積重量の水の持つエネルギーであって長さの単位で表わす。

水の持つエネルギーには、位置エネルギー、速度エネルギー、圧力エネルギーの三種類あるので、水頭も高度水頭、速度水頭、圧力水頭の三種類がある。

それぞれの水頭を式で表わすと次のようになる。

(1) 高度水頭 (位置水頭)

$$\begin{aligned} & \text{位置エネルギー} \div \text{水の単位体積重量} \\ &= (\rho \times g \times z) \div (\rho \times g) \\ &= z \text{ (m)} \end{aligned}$$

(2) 速度水頭 速度エネルギー ÷ 水の単位体積重量

$$\begin{aligned} &= \left(\rho \times \frac{v^2}{2} \right) \div (\rho \times g) \\ &= \frac{v^2}{2g} \text{ (m)} \end{aligned}$$

(3) 圧力水頭

$$\begin{aligned} & \text{圧力エネルギー} \div \text{水の単位体積重量} \\ &= P \div (\rho \times g) \\ &= \frac{P}{\rho g} \end{aligned}$$

ここに ρ は水の密度 (kg/m³)、 z は高さ (m)、 v は速度 (m/s)、 g は重力加速度 (9.8m/s²)、 P は水圧 (Pa)。

(〈水頭と水圧〉)

水圧 0.1MPa (100kPa) での水の圧力水頭を求める。

圧力水頭 = この水の圧力 ÷ 水の単位体積重量

$$\begin{aligned} &= 0.1\text{MPa} \div 9.8\text{N/m}^3 \\ &= 0.1 \times 10^6 \text{Pa} \div 9.8 \times 10^3 \text{N/m}^3 \\ &\doteq 10.2\text{m} \end{aligned}$$

このことから、水圧 0.1MPa の水圧は水頭 10.2m であることが分かる。水頭と水圧の関係を表IX-1-2 に示す。

表IX-1-2 水頭と水圧

水圧 MPa (kPa)	0.01 (10)	0.05 (50)	0.1 (100)	0.2 (200)	0.3 (300)
水頭 m	1.02	5.10	10.2	20.4	30.6

管路において、ある点で管内の水の持つエネルギーの大きさは、その点にガラス管をたて、その水位が何mであるかを調べるか、その点の水圧を計ることにより知ることができる。

4 損失水頭

水が給水装置内を流れるとき、管壁の摩擦、メーター、水栓類、管継手類によるエネルギー消費、その他管の屈曲、分岐、断面変化等によるエネルギーの損失がある。これらの損失されたエネルギーを水の単位重量当たりに換算したものが、損失水頭である。

損失水頭のうち主なものは、管の摩擦損失水頭、メーター、水栓類、管継手類の損失水頭で、その他のものは計算上省略しても影響は少ない。

5 給水管の摩擦損失水頭

管路の摩擦損失水頭を求める式は種々あるが、ここでは、上水道の管路設計用として、広く用いられている式について述べる。

なお、実設計に当たっては、これらの式をいちいち計算するのは、大変な労力であるが、流量計算のため各種図や数表を用いて行うことができる。

(1) 摩擦損失水頭式

① 口径50mm以下

鉛管、鋼管、亜鉛めっき鋼管、硬質塩化ビニル管等、管内面のなめらかな口径50mm以下の給水管の摩擦損失水頭を計算する場合、一般にウエストン公式が使われている。

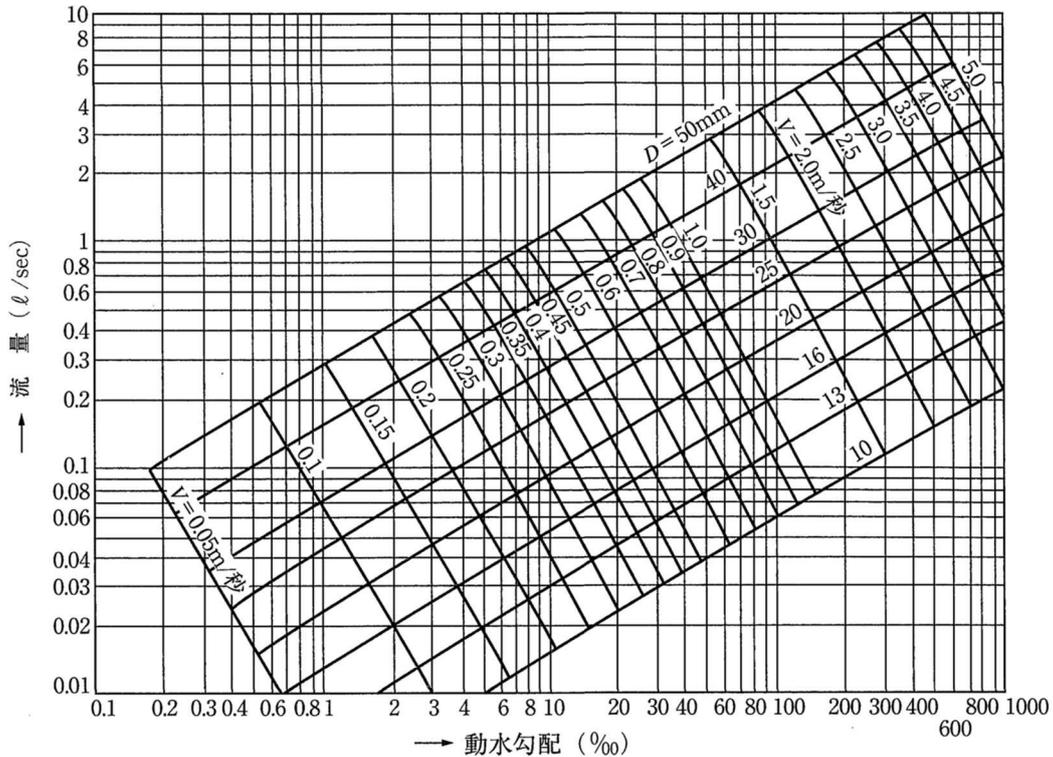
ウエストン公式

$$h = \left(0.0126 + \frac{0.01739 - 0.1087d}{\sqrt{v}}\right) \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

ここに、h は管の摩擦損失水頭 (m)、v は管内平均流速 (m/s)、L は管長 (m)、dは管の実内径 (m)、g は重力の加速度 (9.8m/s²)

管の摩擦損失水頭と、管口径、管延長、流量の関係は、次のとおりである。

- ア 管口径が大きくなると、管の摩擦損失水頭は小さくなる。
- イ 管延長が長くなると、管の摩擦損失水頭は大きくなる。
- ウ 流量が大きくなると、管の摩擦損失水頭は大きくなる。



図IX-1-2 ウェストン公式の流量図

② 口径75mm以上

口径75mm以上の鋳鉄管、鋼管の場合、管の摩擦損失水頭はヘーゼン・ウィリアムスの公式を一般に使用している。

ヘーゼン・ウィリアムスの公式

$$h = 10.666 \times \frac{L \times Q^{1.85}}{C^{1.85} \times d^{4.87}}$$

ここに、h は管の摩擦損失水頭 (m)、L は管長 (m)、Q は流量 (m³/s)、d は管の実内径 (m)、一般に、流速係数 C の値は、管内の粗度によって異なる。

種々の管種での C の値を表IX-1-3 に示す。

IX-1-3 流速係数C

代表的管種	C 値	管内面の状態	同等な管種
新しい塩化ビニル管	145~155	きわめて平滑	黄銅、すず、鉛、ガラス管
なめらかな コンクリート管	140	(コンクリート 管の最大値)	石綿セメント管、きわめて良好な鑄鉄管、使用 した塩化ビニル管、遠心カセメントライニング の下限値
新しい鑄鉄管	130	塗装しない状態	モルタル、れんが工、平滑な本管、遠心カコン クリート管
古い鑄鉄管	100	塗布しない古い 鑄鉄管	陶管(うわぐすりなし)、やや古いビョウ接鋼 管
きわめて古い鑄鉄管	60~80	はなはだしくさ びコブ発生	きわめて古い鑄鉄管

昭和 46 年改訂版 水理公式 (土木学会編)

塩化ビニル管では、流速が1.5m程度以上あれば、C=145~155 の値を適用し、口径 50mm 以下に対しても、ヘーゼン・ウィリアムス公式を利用できる。

(2) 流量図とその使い方

① ヘーゼン・ウィリアムス公式流量図

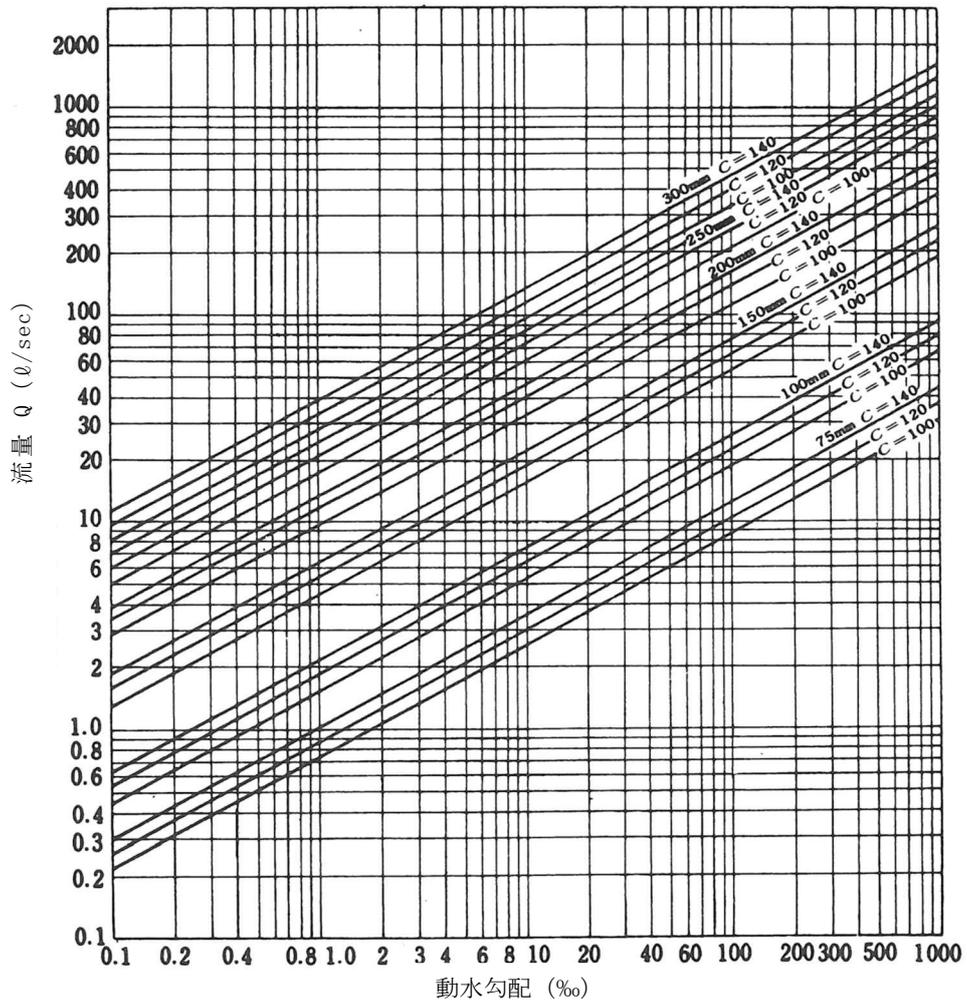
$$Q = 0.27853 \cdot C \cdot D^{2.63} \cdot I^{0.54}$$

ここに、Q は流量 (m³/s)、C は流速係数、D は管の実内径 (m)、I は動水勾配 (‰)。

ア 動水勾配 20 (‰)、口径 75mm、C=100 の管を流れ

る流量は、図IX-1-3に示すように、動水勾配 20 (‰) のところを垂直にのぼし、口径 75mm、C=100 の直線とまじわった点を横に移動して流量3.7ℓ/sを得る。

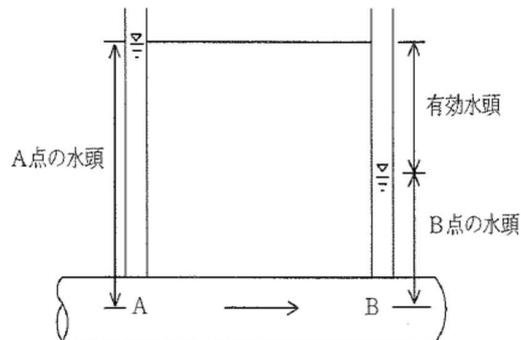
イ 口径 150mm、C=100 の管に 20ℓ/s の流量を流したときの動水勾配は、図IX-1-3に示すように流量 20ℓ/s のところを横にのぼし、口径 150mm、C=100 の直線とまじわった点を下におろして、動水勾配 15(‰)を得る。



図IX-1-3 ヘーゼン・ウィリアムス公式の流量図

6 有効水頭

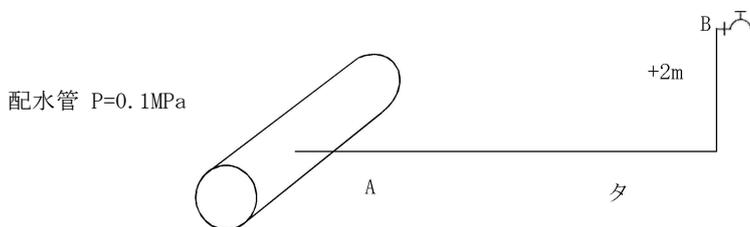
図IX-1-4において、A点の水頭のうち、B点から水を流すのに利用できる水頭のことをA、B間の有効水頭という。



図IX-1-4 A・B間の有効水頭=A点の水頭-B点の水頭

(例)

図IX-1-5 の給水装置の有効水頭を求める。



図IX-1-5

A 点の水頭は水圧0.1MPa なので10.2mである。B 点の水頭はその位置では0mであるが A 点の位置（高さ）を基準とすると、立上り高さ分の 2m である。したがって、この給水装置の有効水頭は、

$$\begin{aligned} 10.2\text{m} - 2\text{m} \\ = 8.2\text{m} \text{ となる。} \end{aligned}$$

7 動水勾配

損失水頭とその距離との比を動水勾配といい、その単位は千分率（‰……パーミ）で表わす。

すなわち、

$$\text{動水勾配 (I)} = \frac{\text{損失水頭 (H)}}{\text{距離 (L)}} \times 1,000 \text{ (‰)}$$

(例)

(1) 管延長 10m の装置に水を流したとき損失水頭 3m であった。

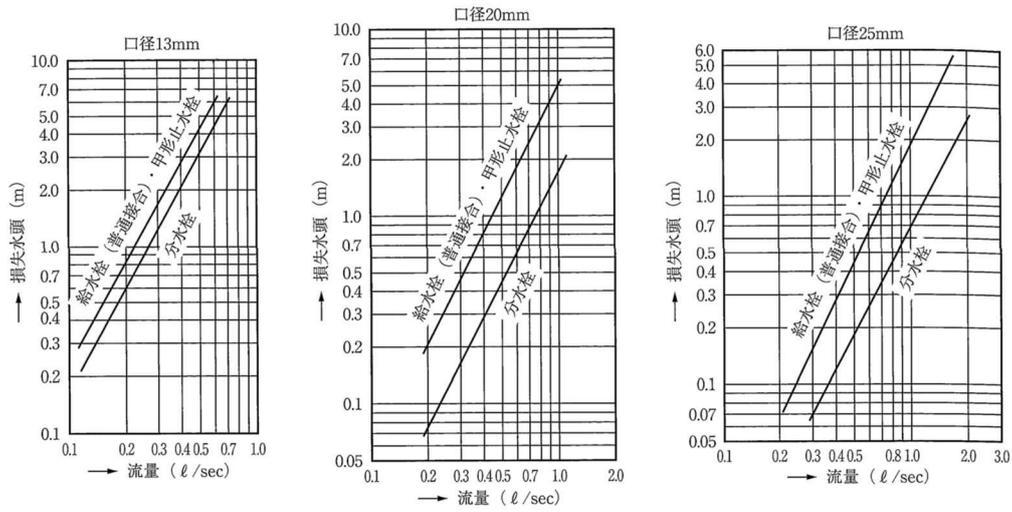
$$\text{動水勾配} = \frac{3\text{m}}{10\text{m}} \times 1,000 = 300 \text{ (‰)}$$

(2) 管延長 30m の装置を動水勾配 200 (‰) で水が流れたとき。

$$\text{損失水頭} = \frac{200}{1,000} \times 30 = 6 \text{ (m)}$$

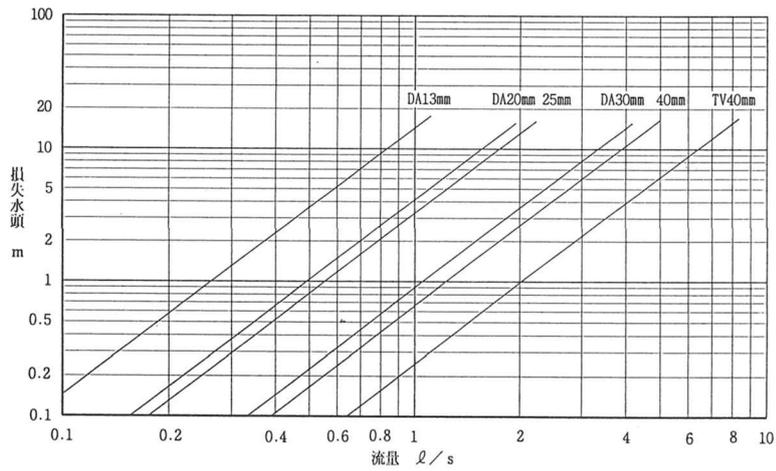
8 水栓類、メーター、管継手類による損失水頭

給水装置における損失水頭のうち、水栓類、メーター、管継手類による損失水頭の実験値を例示すれば図IX-1-6～8のとおりである。

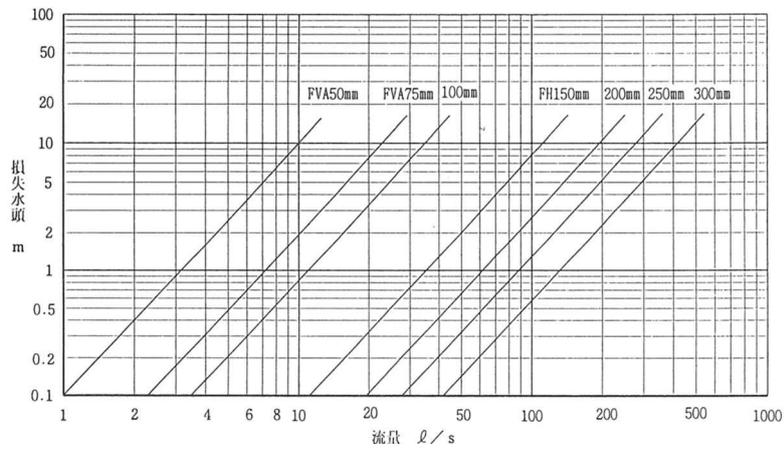


図IX-1-6 水栓類の損失水頭

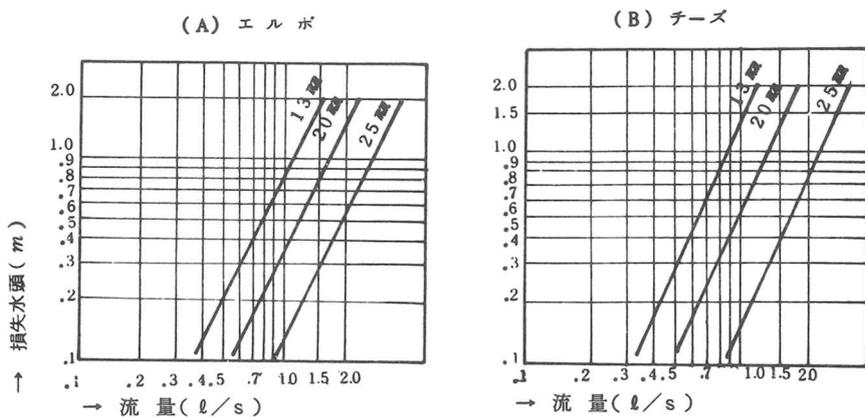
小、中口径メーターの損失



大口徑メーターの損失



図IX-1-7 メーターの損失水頭



図IX-1-8 管継手類による損失水頭

9 直管換算長

水栓類、メーター、管継手などによる損失水頭と同口径の直管の摩擦損失水頭を比べ、器具等の損失水頭と損失水頭が等しくなる直管の長さを、器具等の直管換算長という。

直管換算長がわかれば、各器具の損失水頭は、管の摩擦損失水頭を求める式から計算できる。

各器具の直管換算長の求め方は次のとおりである。

- (1) 使用流量 (Q) に基づく各器具の損失水頭 (h) を図IX-1-6 より求める。
- (2) ウェストン公式から、使用水量 (Q) に基づく動水勾配 (I) を求める。

- (3) 直管換算長 (L) は、
$$L = \frac{h}{I} \times 1,000 = \frac{(1)}{(2)} \times 1,000$$
 で求める。

<直管換算長算出例>

口径 13mm のメーターに 0.20/s の流量を流したとき、損失水頭は図IX-1-7 より、0.6m である。

次に図IX-1-2 のウェストン公式流量図から流量が 0.20/s のときの $I=230\%$ を得る。この場合、直管換算長を求めると、

$$L = \frac{h}{I} \times 1,000 = \frac{0.6\text{m}}{230} \times 1,000 = 2.6\text{m}$$

となる。

なお、表IX-1-4は、定格流量においての各器具の直管換算長を示したものである。

表IX-1-4 各器具の直管換算長

口径 (mm)	サドル付 分水栓 (m)	乙止水栓 (m)	接線流羽根車 メーター (m)	たて型軸流 羽根車メータ ー (m)	単式 逆止弁 (m)	直管換算長 算出流量 (ℓ/min)
13	2.1	1.0~2.0	DA 3.3	—	1.7~3.4	16
20	3.1	0.3~5.0	DA6.5	—	2.6~8.1	38
25	7.3	0.6~5.1	DA 21.1	—	4.2~8.0	60
30	3.2	0.8	DA 14.3	—	5.6~9.3	85
40	4.7	0.3~2.8	DA 39.5	TV 15.0	6.8~12.1	150
50	6.3	0.4~1.6	—	FVA 12.6	7.1~19.2	240

注) 直管換算長算出流量は、JWWA B108 に規定する定格流量。2.0m/s を基準としている。直管換算長は、東京都実験公式に基づき算出した。

サドル付分水栓にはゴム製コア、シモク、S 字管を含む。

口径13mmのサドル付分水栓及び止水栓の直管換算長は、口径 20mm のものに16ℓ/min を流したときの損失をもとに算出した。

[参考] 大口径メーター、水栓類、管屈曲の直管換算長を表IX-1-5、表IX-1-6、表IX-1-7に示す。

表IX-1-5 大口径メーターの直管換算長

メーター 種類	換算長 (m)	直管換算長算出流量 (m ³ /h)
75	18.6	27.7
100	38.7	51.0
150	36.0	120.5
200	56.7	219.5
250	89.6	350.6
300	100.5	495.5

表IX-1-6 水栓類の直管換算長

種類	口径 (mm)	直管換算長 (m)
甲形止水栓	13	2.5~4.3
甲形止水栓	20	4.8~7.4
甲形止水栓	25	7.4~10.0
ストレート水栓	13	6.1~6.5
横水栓	13	6.9~12.4
横水栓	20	9.4~13.5
ボールタップ	13	17.8~52.5
スリース弁	13	0.6
スリース弁	20	0.9~1.2
スリース弁	25	0.4
スリース弁	30	0.7
スリース弁	40	0.7~1.4
アングル止水栓	13	3.5~5.9

表IX-1-7 管屈曲の換算長

種別 口径 (mm)	曲半径小なる場合		曲半径大なる場合	
	90° 曲管 (m)	45° 曲管 (m)	90° 曲管 (m)	45° 曲管 (m)
40	1.0	—	—	—
50	1.5	—	—	—
75	3.0	1.5	1.5	—
100	4.0	2.0	2.0	1.0
150	6.0	3.0	3.0	1.5
200	8.0	4.0	4.0	2.0
250	12.0	6.0	6.0	3.0

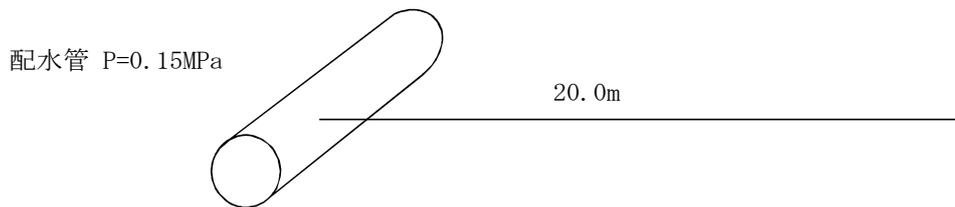
1. 2 流量計算

管路を流れる流量は、管路の損失水頭が、有効水頭と等しくなるように、計算して求める。

以下単一管路における流量計算の例をあげる。

1 流量計算例

- (1) 配水管の水圧 0.15MPa、口径 20mm、延長 20.0mの管路を流れる流量を求める。(分岐における損失は省略する。)(図IX-1-9)



図IX-1-9

$$\begin{aligned} \text{配水管の水頭} &= 0.15\text{MPa} \div 9.8\text{kN/m}^3 = 0.15 \times 10^6 \text{ Pa} \div 9.8 \times 10^3 \text{ N/m}^3 \\ &= 15.3\text{m} \end{aligned}$$

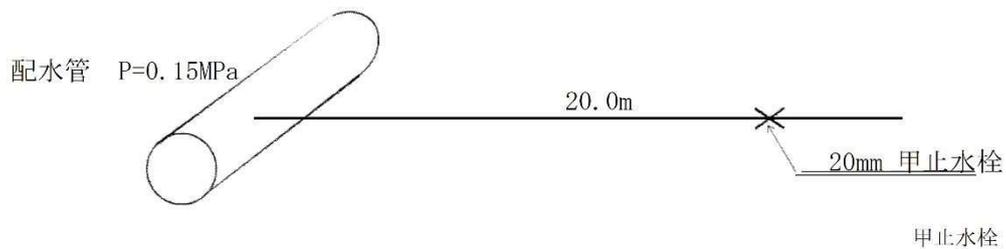
$$\text{管路の有効水頭} = 15.3\text{m} - 0\text{m} = 15.3\text{m}$$

$$\text{管延長} = 20\text{m}$$

$$\text{動水勾配} = \frac{15.3\text{m}}{20.0\text{m}} \times 1,000 = 765 (\%)$$

管口径20mmで動水勾配 765 (%) のときの流量は、図IX-1-2 より、1.2 ℓ/s すなわち 72.0ℓ/min である。

- (2) 配水管の水圧 0.15MPa、口径 20mm、延長 20mの管を流れる流量を求める。(分岐における損失は省略する。)(図IX-1-10)



図IX-1-10

$$\begin{aligned} \text{配水管の水頭} &= 0.15\text{MPa} \div 9.8\text{kN/m}^3 = 0.15 \times 10^6 \text{ Pa} \div 9.8 \times 10^3 \text{ N/m}^3 \\ &= 15.3\text{m} \end{aligned}$$

$$\text{管路の有効水頭} = 15.3\text{m} - 0\text{m} = 15.3\text{m}$$

20mm 甲止水栓の直管換算長は、表IX-1-6より7.4m、したがって計算上の管延長は、

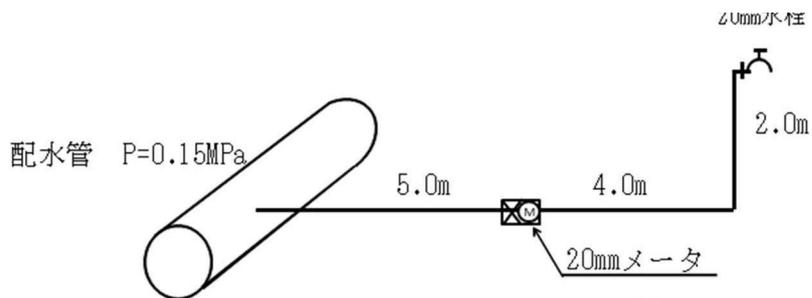
$$20\text{m} + 7.4\text{m} = 27.4\text{m}$$

$$\text{動水勾配} = \frac{15.3\text{m}}{27.4\text{m}} \times 1,000 \doteq 558 (\%)$$

管口径 20mm で動水勾配 558 (%)のときの流量は、図IX-1-2より、1.01ℓ/s

すなわち 60.6ℓ/min である。

(3) 配水管の水圧 0.15MPa で、次の装置を流れる流量を求める。(分岐、仕切弁及び曲りの損失は省略) 図IX-1-1 1)



図IX-1-1 1

$$\begin{aligned} \text{配水管の水頭} &= 0.15\text{MPa} \div 9.8\text{kN/m}^3 = 0.15 \times 10^6 \text{ Pa} \div 9.8 \times 10^3 \text{ N/m}^3 \\ &= 15.3\text{m} \end{aligned}$$

$$\text{管路の有効水頭} = 15.3\text{m} - 2\text{m} = 13.3\text{m}$$

表IX-1-4 及び表IX-1-6 より

$$20\text{mm 水栓の直管換算長} \quad 13.5\text{m}$$

$$20\text{mm メーターの直管換算長} \quad 6.5\text{m}$$

したがって計算上の管延長は、

$$5\text{m} + 4\text{m} + 2\text{m} + 13.5\text{m} + 6.5\text{m} = 31\text{m}$$

$$\text{動水勾配} = \frac{13.3\text{m}}{31\text{m}} \times 1,000 \doteq 429 (\%)$$

管口径20mmで動水勾配429 (%)のときの流量は、図IX-1-2より 0.87ℓ/s すなわち

52.2ℓ/min である。

2 口径決定の方法

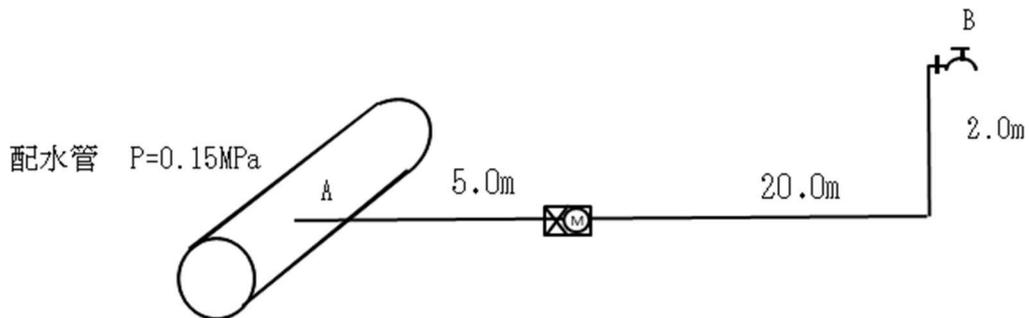
管路において、所定の流量に必要な口径は、流量公式から計算して求めることもできるが、ここでは、流量図を利用して求める方法を述べる。

口径決定の手順は、まず口径を仮定し、次にその管径で次の要件が満たされているかを確認、満たされている場合それを求める口径とする。

- a 仮定した口径で、所定の流量が得られるか。
- b 仮定した口径で、所定の流量を流したとき、損失水頭が有効水頭以下となるか。aの方法は、支栓のない単一管路の場合に使用され、一般の給水装置のように支栓のある管路の場合は、bの方法あるいはa、bを併用した方法による。

(1) 決定例 I

図IX-1-1 2の給水装置の口径を求める。(分岐、仕切弁及び曲りの損失は省略)



図IX-1-1 2

① aの方法

ア 所要流量 0.40 l/s

イ 口径 20mm と仮定する

ウ AB間の有効水頭 15.3m (配水管水頭) - 2m (B点の立上り) = 13.3m

エ 直管換算長

管延長 5m + 20m + 2m = 27m

20mmメーター 6.5m

20mm水栓 13.5m

全直管換算長 27m + 6.5m + 13.5m = 47m

オ $\frac{13.3\text{m}}{47\text{m}} \times 1,000 \div 283 \text{ (‰)}$

カ 流量

口径 20mm で動水勾配 283 (‰) のときの流量は、図IX-1-2 より、
0.70ℓ/sである。

求めた流量 0.70ℓ/s は、所要流量 0.40 ℓ/sより大きいので、仮定口径
20mmが求める口径である。

② b の方法

ア 所要流量 0.4ℓ/s

イ 口径 20mm と仮定する

ウ 直管換算長 47m

エ 動水勾配

図IX-1-2 より、口径 20mm で流量 0.40ℓ/s 流したときの動水勾配は、
120 (‰) である。

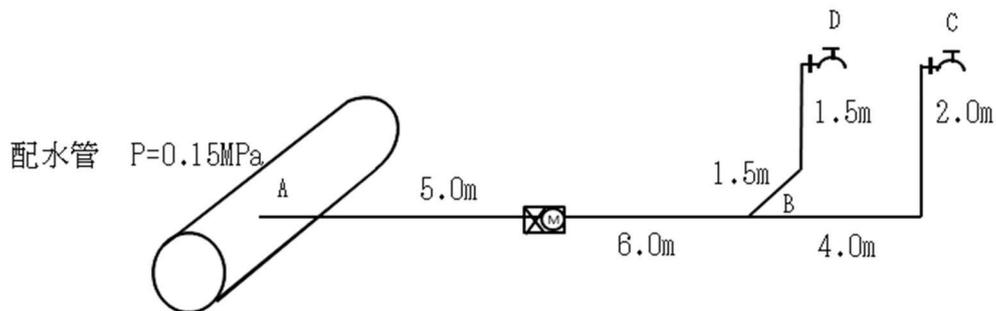
オ 所有水頭 $\frac{120}{1,000} \times 47 \div 5.6\text{m}$

カ AB間の有効水頭 13.3m

求めた所要水頭 5.6m は、有効水頭 13.3m より小さいので、仮定口径
20mm が求める口径である。

(2) 決定例Ⅱ

図IX-1-1 3の給水装置の口径を求める。(分岐、仕切弁及び曲りの損
失は省略)



図IX-1-1 3

① a、b併用の方法ア

幹栓AC間の設計

[BC間の設計]

(ア) C点の所要流量 0.4ℓ/s

(イ) 口径 20mm と仮定する

(ウ) 直管換算長

$$\text{管延長} \quad 4\text{m} + 2\text{m} = 6\text{m}$$

$$20\text{mm 水栓} \quad 13.5\text{m}$$

$$\text{全直管換算長} \quad 6\text{m} + 13.5\text{m} = 19.5\text{m}$$

(エ) 動水勾配

図IX-1-2より、口径 20mmで流量0.4 ℓ/sのときの動水勾配は、120 (‰) である。

(オ) B点の所要水頭

$$\frac{120}{1,000} \times 19.5\text{m} + 2\text{m (C点の立上り)} \approx 4.3\text{m}$$

[AB間の設計]

(ア) AB間の所要流量

$$0.4\ell/s \text{ (C点の流量)} + 0.2\ell/s \text{ (D点の流量)} = 0.6\ell/s$$

(イ) 口径 20mm と仮定する

(ウ) 直管換算長

$$\text{管延長} \quad 5\text{m} + 6\text{m} = 11\text{m}$$

$$20\text{mm メーター} \quad 6.5\text{m}$$

$$\text{全直管換算長} \quad 11\text{m} + 6.5\text{m} = 17.5\text{m}$$

(エ) 動水勾配

図IX-1-2より、口径 20mm で流量 0.6ℓ/s のときの動水勾配は、230 (‰) である。

(オ) A点の所要水頭

$$\frac{230}{1,000} \times 17.5\text{m} + 4.3\text{m (B点の水頭)} \approx 8.3\text{m}$$

求めた A 点の所要水頭 8.3m は、配水管の水頭 10.2m (0.10MPa) より小さいので、BC 間、AB 間それぞれの仮定口径が求める口径である。

② 支栓 BD間の設計

(ア) D点の所要流量 0.2 ℓ/s

(イ) 口径 20mm と仮定する

(ウ) 直管換算長

$$\text{管延長} \quad 1.5\text{m} + 1.5\text{m} = 3\text{m}$$

20mm 水栓 13.5m
全直管換算長 $3\text{m} + 13.5\text{m} = 16.5\text{m}$

(エ) BD 間の有効水頭

$$4.3\text{m} (\text{B 点の水頭}) - 1.5\text{m} (\text{D 点の立上り}) = 2.8\text{m}$$

(オ) 動水勾配

$$\frac{2.8}{16.5} \times 1,000 \doteq 170 (\%)$$

(カ) 流量

図IX-1-2より、口径 20mm、動水勾配 170 (%) のときの、流量は 0.52ℓ/s である。

求めた流量 0.52ℓ/s は、所要流量 0.2ℓ/s より大きいので、仮定口径 20mmが求める口径である。

③ bの方法

ア B点の所要水頭

[BD間の設計]

(ア) 流量 0.2 ℓ/s

(イ) 仮定口径 20mm

(ウ) 直管換算長 $3\text{m} + 13.5\text{m} = 16.5\text{m}$

(管延長) (20mm 水栓)

(エ) 動水勾配流量 0.2ℓ/s、口径 20mm の場合、図IX-1-2より 33 (%)

(オ) 損失水頭動水勾配 33 (%)、管延長 16.5m より

$$\frac{33}{1,000} \times 16.5 \doteq 0.6\text{m}$$

(カ) 立上り 1.5m

(キ) 区間所要水頭 $0.6\text{m} + 1.5\text{m} = 2.1\text{m}$

(損失水頭) (立上り)

(ク) B点の所要水頭 $2.1\text{m} + 0\text{m} = 2.1\text{m}$

(区間所要水頭) (D点の所要水頭)

[BC間の設計]

(ア) 流量 0.4ℓ/s

(イ) 仮定口径 20mm

(ウ) 直管換算長 $6\text{m} + 13.5\text{m} = 19.5\text{m}$

(管延長) (20mm 水栓)

(エ) 動水勾配 流量 0.4ℓ/s、口径 20mm の場合、図IX-2-2 より 120 (‰)

(オ) 損失水頭 $\frac{120}{1,000} \times 19.5 \doteq 2.3\text{m}$

(カ) 立上り 2.0m

(キ) 区間所要水頭 $2.3\text{m} + 2.0\text{m} = 4.3\text{m}$

(ク) B点の所要水頭 $4.3\text{m} + 0\text{m} = 4.3\text{m}$

BD間、BC間の設計において計算されたB点の所要水頭を比較し、最大値が求めるB点の所要水頭となる。この場合、B点の所要水頭は4.3mである。

イ A点の所要水頭 (AB間の計算)

(ア) 流量 $0.2\ell/s + 0.4\ell/s = 0.6\ell/s$
(BD間の流量) (BC間の流量)

(イ) 仮定口径 20mm

(ウ) 直管換算長 $11\text{m} + 6.5\text{m} = 17.5\text{m}$
(管延長) (20mmメーター)

(エ) 動水勾配 流量 0.6ℓ/s、口径 20mm の場合、図IX-1-2 より 230 (‰)

(オ) 損失水頭 $\frac{230}{1,000} \times 17.5\text{m} \doteq 4.0\text{m}$

(カ) 立上り 0m

(キ) 区間所要水頭 $4.0\text{m} + 0\text{m} = 4.0\text{m}$
(損失水頭) (立上り)

(ク) A点の所要水頭 $4.0\text{m} + 4.3\text{m} = 8.3\text{m}$
(区間所要水頭) (B点の所要水頭)

求めたA点の所要水頭8.3mは、配水管の水頭10.2m(0.10MPa)より小さいので、BC間、BD間、AB間のそれぞれの仮定口径が求める口径である。

1. 3 計算例

1 管路計算のモデル化

「1.2 2 口径決定の方法」のbの方法(所要水頭と損失水頭の関係から口径を決定する方法)において、管路計算をモデル化し、所定の数値を表に記入し順次計算していく方法を参考として述べる。

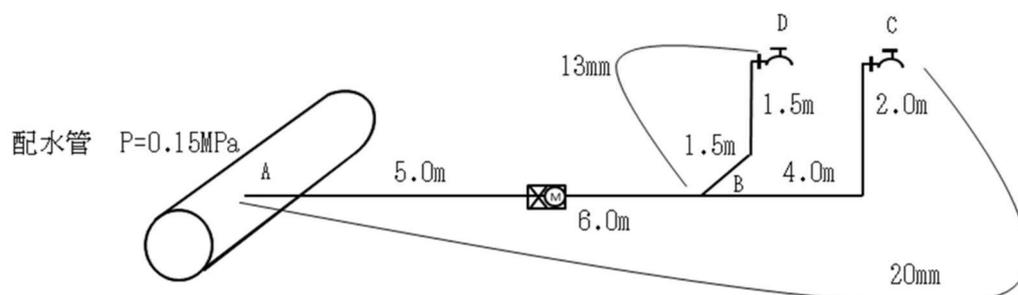
計算はそれぞれの区間の口径を仮定し、給水装置の末端からの各分岐点での所要水頭を求め、最終的にその装置の配水管(本管)からの分岐箇所での所要水頭

が配水管の水頭以下となるよう、仮定口径を修正して口径を決定する。

なお、「1.2 流量計算」では、各器具の損失水頭を直管換算長から算出しているが、このモデル化では、各器具の損失水頭を図IX-1-6～8より求める。（ただし、エルボ等の損失は無視している）

[参考例]

[参考例]



区間	流量 ℓ/min	仮定 口径 mm	動水勾配 ‰ ①	延長 m ②	損失水頭 m ③=①×②/1000	立上げ 高さ m ④	所要水頭 m ⑤=③+④	備考	
給水栓 C	24	20	給水用具の損失水頭		0.8	—	0.8	図IX-1-6	
給水管 B～C 間	24	20	120	6.0	0.72	2.0	2.72	図IX-1-2	
※ 24ℓ/min = 0.4ℓ/s							計	3.52	

区間	流量 ℓ/min	仮定 口径 mm	動水勾配 ‰ ①	延長 m ②	損失水頭 m ③=①×②/1000	立上げ 高さ m ④	所要水頭 m ⑤=③+④	備考	
給水栓 D	12	13	給水用具の損失水頭		0.80	—	0.80	図IX-1-6	
給水管 D～B 間	12	13	230	3.0	0.69	1.5	2.19	図IX-1-2	
※ 12ℓ/min = 0.2 ℓ/s							計	2.99	

B～C間の所要水頭3.52m > B～D間の所要水頭2.99m。よって、B点での所要水頭は3.52mとなる。

給水管 A~B 間	32	20	180	11.0	1.98		1.98	図IX-1-2	
	32	20	水道メーター		1.20	—	1.20	図IX-1-7	
	32	20	止水栓		1.38	—	1.38	図IX-1-6	
	32	20	分水栓		0.50	—	0.50		
※ 320/min = 0.530/s							計	5.06	

全所要水頭 = 3.52m + 5.06m = 8.58

よって、 0.858kgf/cm^2 、 $0.858 \times 0.098\text{MPa} = 0.084\text{MPa} < 0.10\text{MPa}$ であるので
仮定口径どおりの口径で適当である。

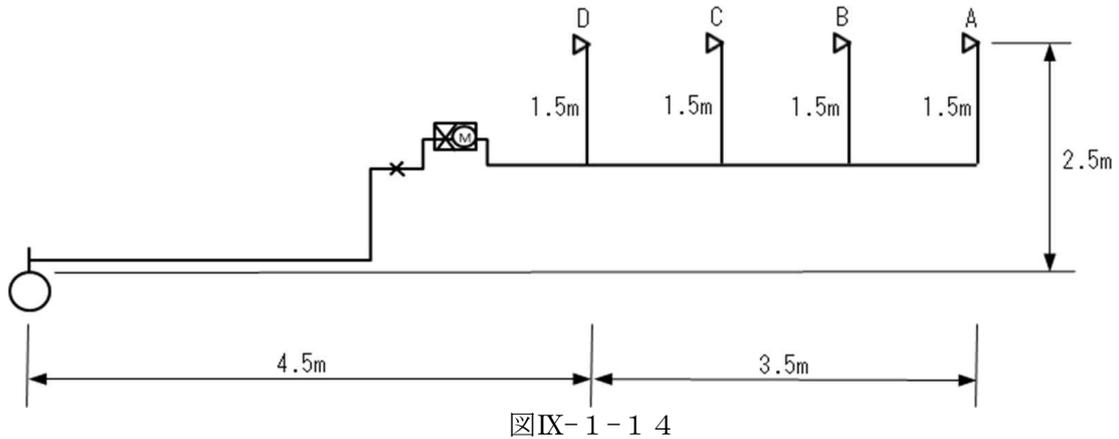
2 直結式（一般住宅）の口径決定

(1) 計算条件

計算条件を次のとおりとする。

配水管の水圧 0.2MPa
給水栓数 4 栓
給水高さ 2.5m

給水用具名
A 台所流し
B 洗面器
C 大便器（洗浄水槽）
D 浴槽（和式）



(2) 計算手順

- ① 計画使用水量を算出する。
- ② それぞれの区間の口径を仮定する。
- ③ 給水装置の末端から図IX-1-1 4のように水理計算を行い、各分岐点での所要水頭を求める。

- ④ 同じ分岐点からの分岐管路において、それぞれの分岐点での所要水頭を求める。その最大値が、その分岐点での所要水頭になる。
- ⑤ 最終的に、その給水装置が配水管から分岐する箇所での所要水頭が、配水管の水頭以下となるよう仮定口径を修正して口径を決定する。

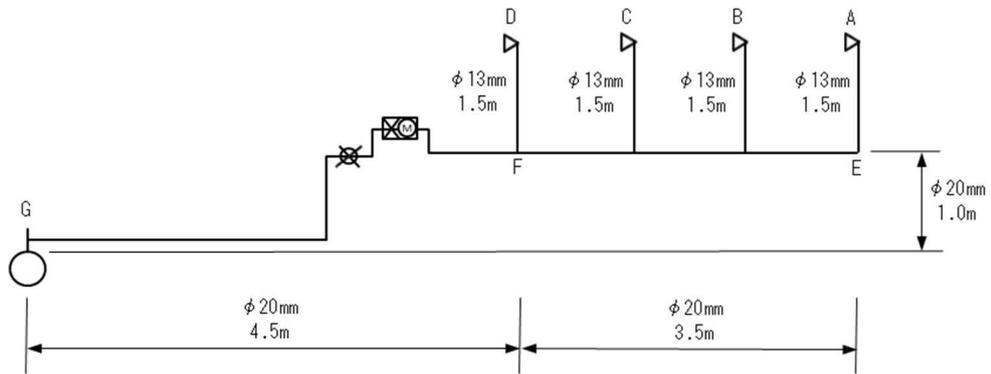
(3) 計画使用水量の算出

計画使用水量は、「表Ⅱ-5-1 同時使用率を考慮した末端給水用具数」と「表Ⅱ-5-2 種類別吐水量と対応する給水用具の口径」より算出する。

給水用具名	給水栓口径	同時使用の有無	計画使用水量
A 台所流し	13mm	使用	12ℓ/min
B 洗面器	13mm	—	
C 大便器(洗浄水槽)	13mm	—	
D 浴槽(和式)	13mm	使用	20ℓ/min
		計	32ℓ/min

(4) 口径の決定

各区間の口径を図IX-1-15のように仮定する。



図IX-1-15

(5) 口径決定計算

区間	流量 ℓ/min	仮定 口径 mm	動水勾配 ‰ ①	延長 m ②	損失水頭 m ③=①×②/1000	立上げ 高さ m ④	所要水頭 m ⑤=③+④	備考
給水栓 A	12	13	給水用具の損失水頭		0.80	—	0.80	図IX-1-6
給水管 A~E 間	12	13	230	1.5	0.35	1.5	1.85	図IX-1-2
給水管 E~F 間	12	20	34	3.5	0.12	—	0.12	
※ 12ℓ/min = 0.2ℓ/s						計	2.77	

給水栓 D	20	13	給水用具の損失水頭		2.10	—	2.10	図IX-1-6
給水管 D~F 間	20	13	600	1.5	0.90	1.5	2.40	図IX-1-2
※ 20ℓ/min = 0.33ℓ/s						計	4.50	

A~F間の所要水頭2.77m < D~F間の所要水頭4.50m。
よって、F点での所要水頭は4.50mとなる。

給水管 F~G 間	32	20	180	4.5	0.81	1.0	1.81	図IX-1-2
	32	20	水道メーター		1.20	—	1.20	図IX-1-7
	32	20	止水栓		1.38	—	1.38	図IX-1-6
	32	20	分水栓		0.50	—	0.50	
※ 32ℓ/min = 0.53ℓ/s						計	4.89	

全所要水頭 = 4.50m + 4.89m = 9.39m
よって、0.94kgf/cm²、0.94×0.098MPa=0.0921MPa < 0.2MPa であるので、仮定口径どおりの口径で適当である。

3 直結式（多分岐給水装置）の口径決定

(1) 計算条件

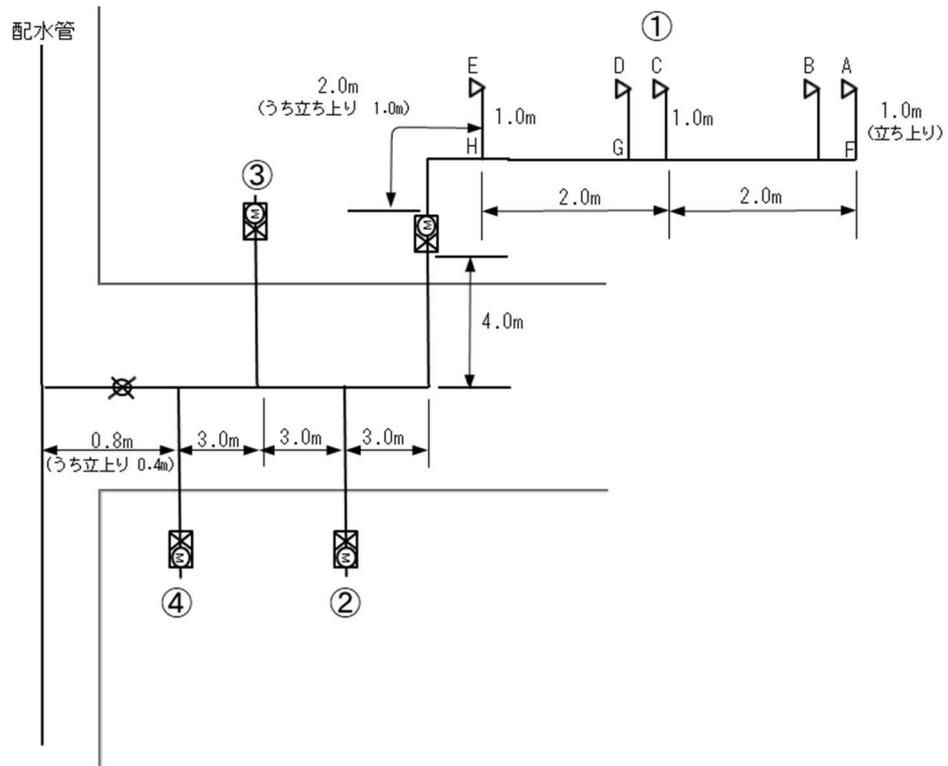
計算条件は次のとおりにする。

配水管の水圧 0.2MPa

各戸の給水栓数 5栓

給水高さ 2.4m

給水用具名
A 大便器（洗浄水槽）
B 手洗器
C 浴槽（和式）
D 洗面器
E 台所流し



図IX-1-16

(2) 計画使用水量の算出

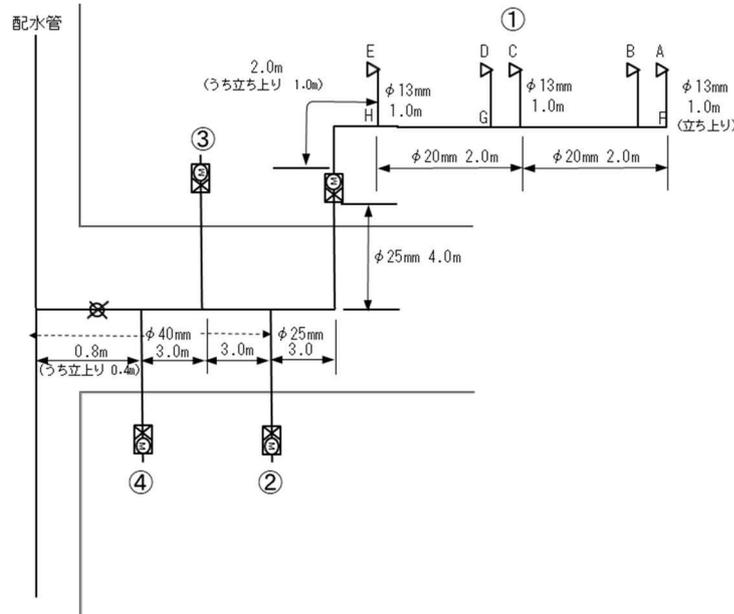
1 戸当たりの計画使用水量は、(1) 直結式（一般住宅）と同様に行い、同時使用戸数は、「表Ⅱ-5-5 給水戸数と同時使用戸数率」により算出する。

給水用具名	給水栓口径	同時使用の有無	計画使用水量
A 大便器（洗浄水槽）	13mm	使用	12ℓ/min
B 手洗器	13mm	—	
C 浴槽（和式）	13mm	使用	20ℓ/min
D 洗面器	13mm	—	
E 台所流し	13mm	使用	12ℓ/min
		計	44ℓ/min

また、同時使用戸数は、4 戸×90/100=3.6 戸
 よって、4 戸全部を同時に使用するものとする。

(3) 口径の仮定

各区間の口径を次図のように仮定する。



図IX-1-17

(4) 口径決定計算

区間	流量 Q /min	仮定 口径 mm	動水勾配 ‰ ①	延長 m ②	損失水頭 m ③=①×②/1000	立上げ 高さ m ④	所要水頭 m ⑤=③+④	備考
給水栓 A	12	13	給水用具の損失水頭		0.80	—	0.80	図IX-1-6
給水管A~F 間	12	13	230	1.0	0.23	1.0	1.23	図IX-1-2
給水管F~G 間	12	20	36	2.0	0.07	—	0.07	
						計	2.10	

※ 12ℓ/min = 0.2ℓ/s

給水栓C	20	13	給水用具の損失水頭		2.10	—	2.10	図IX-1-6
給水管C~G間	20	13	600	1.0	0.60	1.0	1.60	図IX-1-2
						計	3.70	

※ 20ℓ/min = 0.33ℓ/s

A~G 間の所要水頭 2.10m < C~G 間の所要水頭 3.70m。よって G 点の所要水頭は、3.70m となる。

区間	流量 ℓ/min	仮定 口径 mm	動水勾配 ‰ ①	延長 m ②	損失水頭 m ③=①×②/1000	立上げ 高さm ④	所要水頭 m ⑤=③+④	備考
給水管G~H間	32	25	70	2.0	0.14	—	0.14	図IX-1-2

※ 32ℓ/min = 0.53ℓ/s

給水栓E	12	13	給水用具の損失水頭		0.80	—	0.80	図IX-1-6
給水管E~H間	12	13	230	1.0	0.23	1.0	1.23	図IX-1-2
							計	2.03

※ 20ℓ/min = 0.33ℓ/s

G~H 間の所要水頭 3.70m+0.14m=3.84m>E~H 間の所要水頭 2.03m。

よって H 点の所要水頭は、3.84m となる。

給水管H~I間	44	25	120	9.0	1.08	1.0	2.08	図IX-1-2
	44	25	水道メーター		1.80	—	1.80	図IX-1-7
	44	25	止水栓		1.00	—	1.00	図IX-1-6
給水管I~J間	88	40	45	3.0	0.14	—	0.14	図IX-1-2
給水管J~K間	132	40	100	3.0	0.30	—	0.30	
給水管K~L間	176	40	170	0.8	0.14	0.4	0.54	
	176	40	止水栓の損失水頭を0.5mとする				※0.50	
	176	40	分水栓の損失水頭を0.8mとする				※0.80	
							計	7.16

※ 44ℓ/min = 0.73ℓ/s 88ℓ/min = 1.47ℓ/s

132ℓ/min = 2.2ℓ/s

176ℓ/min = 2.93ℓ/s

※逆止弁、止水栓、分水栓の所要水頭は、製造会社の資料による。

全所要水頭 = 3.84m+7.16m=11.00m

よって 11.00m=1.100kgf/cm²、1.100×0.098MPa=0.108MPa<0.2MPa であるので、
仮定どおりの口径で適当である。

4 受水槽式

(1) 計算条件

計算条件は、次のとおりとする。(図IX-1-18)

集合住宅 (マンション)

2LDK 20 戸

3LDK 30 戸

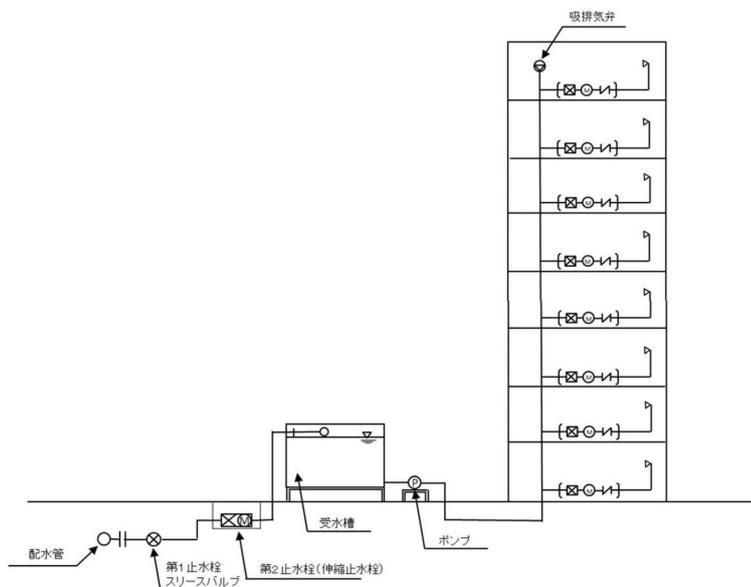
使用人員

2LDK 3.5 人
 3LDK 4.0 人
 使用水量
 200ℓ/人/日

配水管の水圧 0.2MPa
 給水高さ 4.5m
 給水管延長 15m

損失水頭

止切弁 (40mm) 0.5m とする
 ボールタップ (40mm) 10m とする割T字 (40mm) 0.8m とする



図IX-1-18

② 口径決定計算

ア 1日計画使用水量 $3.5 \text{ 人} \times 20 \text{ 戸} \times 200 \text{ ℓ/人/日} = 14,000 \text{ ℓ/日}$
 $4.0 \text{ 人} \times 30 \text{ 戸} \times 200 \text{ ℓ/人/日} = 24,000 \text{ ℓ/日}$
 $14,000 \text{ ℓ/日} + 24,000 \text{ ℓ/日} = 38,000 \text{ ℓ/日}$
 イ 受水槽容量 1日計画使用水量の 1/2 とする。
 $38,000 \text{ ℓ/日} \div 2 = 19,000 \text{ ℓ/日}$ によって 19 m^3 とする。

ウ 平均使用水量	1日使用時間を 10 時間とする。 38,000ℓ/日 ÷ 10=3,800ℓ/h=1.1ℓ/s
エ 仮定口径	水道メーターの適正使用流量範囲等を考慮して 40mm とする。
オ 損失水頭	水道メーター：0.8m (図IX-1-7より) 止切弁：0.5m ボールタップ：10m 分水栓：0.8m 給水管：35‰×15m=0.525m (図IX-1-2より)
カ 給水高さ	4.5m
キ 所要水頭	0.8+0.5+10+0.8+0.525+4.5=17.13m

よって、 $17.13\text{m}=1.713\text{kgf/cm}^2$ 、 $1.713\times 0.098\text{MPa}=0.168\text{MPa}<0.2\text{MPa}$ であるので、仮定どおりの口径で適当である。

1. 4 流量表

流量表は、それぞれの口径、水頭、管延長に応じる流量を示したもので、これにより、給水管の流量を容易に求めることができる。

次に示す流量表は、管径50mm以下についてはウエストン公式、管径 75mm 以上についてはヘーゼン・ウイリアムス公式により算出したものである。

なお、線で区切った左下は管内流速が 3.1m/s 以上となる。

1 管径13mm～50mmの算出式

ウエストン公式

これは、内面が滑らかな給水管に適用される。

2 管径75mm～150mmの算出式

ヘーゼン・ウィリアムス公式

ここでは新しい铸铁管の場合（流速計数 $C=130$ ）について算出してある。

<表の使い方>

管径 $D=13\text{mm}$ 、水頭 $H=10\text{m}$ 、管延長 $L=30\text{m}$ のとき流量 Q を求める。

$D=13\text{mm}$ $Q=(\ell/s)$

L(m)				
H	P	-		
(m)	(MPa)	-		
1	0.0098	-		
-	-	-		
-	-	-		
-	-	-		
-	-	-		
10	0.098	-		
-	-	-		
-	-	-		
-	-	-		

L(m)				
H	P	-		
(m)	(MPa)	-		
1	0.0098	-		
-	-	-		
-	-	-		
-	-	-		
-	-	-		
10	0.098	-		
-	-	-		
-	-	-		
-	-	-		

図IX-1-19

図IX-1-19に示すように、口径 $D=13\text{mm}$ の表を使用し、 $L=30\text{m}$ 、 $H=10\text{m}$ の欄より流量 $Q=0.249\ell/s$ を得る。

WESTON D=13 Q = (ℓ/S)

H (m)	L (m)														
	P (MPa)	5.	10.	15.	20.	25.	30.	35.	40.	50.	60.	70.	80.	90.	100.
1	0.0098	0.186	0.124	0.098	0.083	0.073	0.065	0.059	0.055	0.048	0.043	0.039	0.036	0.034	0.032
2	0.0196	0.276	0.186	0.147	0.124	0.109	0.098	0.090	0.083	0.073	0.065	0.059	0.055	0.051	0.048
3	0.0294	0.347	0.234	0.186	0.157	0.138	0.124	0.114	0.105	0.092	0.083	0.076	0.065	0.065	0.061
4	0.0392	0.407	0.276	0.219	0.186	0.163	0.147	0.134	0.124	0.109	0.098	0.090	0.077	0.077	0.073
5	0.0490	0.461	0.313	0.249	0.211	0.186	0.167	0.153	0.142	0.124	0.112	0.102	0.088	0.088	0.083
6	0.0588	0.510	0.347	0.276	0.234	0.206	0.186	0.170	0.157	0.138	0.124	0.114	0.098	0.098	0.092
7	0.0686	0.556	0.378	0.301	0.256	0.225	0.203	0.186	0.172	0.151	0.136	0.124	0.107	0.107	0.101
8	0.0785	0.598	0.407	0.324	0.276	0.243	0.219	0.200	0.186	0.163	0.147	0.134	0.116	0.116	0.109
9	0.0883	0.638	0.435	0.347	0.295	0.260	0.234	0.214	0.199	0.175	0.157	0.144	0.124	0.124	0.117
10	0.098	0.676	0.461	0.368	0.313	0.276	0.249	0.228	0.211	0.186	0.167	0.153	0.132	0.132	0.124
11	0.108	0.712	0.486	0.388	0.330	0.291	0.262	0.240	0.223	0.196	0.177	0.162	0.140	0.140	0.131
12	0.118	0.747	0.510	0.407	0.347	0.305	0.276	0.253	0.234	0.206	0.186	0.170	0.147	0.147	0.138
13	0.127	0.781	0.533	0.426	0.362	0.320	0.288	0.264	0.245	0.216	0.194	0.178	0.154	0.154	0.145
14	0.137	0.813	0.556	0.444	0.378	0.333	0.301	0.276	0.256	0.225	0.203	0.186	0.161	0.161	0.151
15	0.147	0.844	0.577	0.461	0.393	0.347	0.313	0.287	0.266	0.234	0.211	0.193	0.167	0.167	0.157
16	0.157	0.874	0.598	0.478	0.407	0.359	0.324	0.297	0.276	0.243	0.219	0.200	0.174	0.174	0.163
17	0.167	0.904	0.618	0.494	0.421	0.372	0.336	0.308	0.285	0.251	0.227	0.208	0.180	0.180	0.169
18	0.177	0.932	0.638	0.510	0.435	0.384	0.347	0.318	0.295	0.260	0.234	0.214	0.186	0.186	0.175
19	0.186	0.960	0.657	0.526	0.448	0.396	0.357	0.328	0.304	0.268	0.241	0.221	0.192	0.192	0.180
20	0.196	0.987	0.676	0.541	0.461	0.407	0.368	0.337	0.313	0.276	0.249	0.228	0.197	0.197	0.186
21	0.206	1.014	0.694	0.556	0.474	0.418	0.378	0.347	0.321	0.283	0.256	0.234	0.203	0.203	0.191
22	0.216	1.040	0.712	0.570	0.486	0.429	0.388	0.356	0.330	0.291	0.262	0.240	0.208	0.208	0.196
23	0.226	1.065	0.730	0.584	0.498	0.440	0.398	0.365	0.338	0.298	0.269	0.247	0.214	0.214	0.201
24	0.235	1.090	0.747	0.598	0.510	0.451	0.407	0.373	0.347	0.306	0.276	0.253	0.219	0.219	0.206
25	0.245	1.114	0.764	0.612	0.522	0.461	0.416	0.382	0.355	0.313	0.282	0.259	0.224	0.224	0.211
26	0.255	1.138	0.781	0.625	0.533	0.471	0.426	0.391	0.362	0.320	0.288	0.264	0.229	0.229	0.216
27	0.265	1.161	0.797	0.638	0.544	0.481	0.435	0.399	0.370	0.327	0.295	0.270	0.234	0.234	0.221
28	0.275	1.184	0.813	0.651	0.556	0.491	0.444	0.407	0.378	0.333	0.301	0.276	0.239	0.239	0.225
29	0.284	1.207	0.829	0.664	0.566	0.501	0.452	0.415	0.385	0.340	0.307	0.281	0.244	0.244	0.230
30	0.294	1.229	0.844	0.676	0.577	0.510	0.461	0.423	0.393	0.347	0.313	0.287	0.249	0.249	0.234

WESTON D = 2.0 Q = (ℓ / S)

H (m)	L (m)													
	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100
1	0.0098	0.384	0.304	0.257	0.225	0.203	0.185	0.171	0.150	0.134	0.123	0.113	0.105	0.099
2	0.0196	0.570	0.452	0.384	0.337	0.304	0.278	0.257	0.225	0.203	0.185	0.171	0.159	0.150
3	0.0294	0.716	0.570	0.484	0.426	0.384	0.351	0.325	0.286	0.257	0.235	0.217	0.203	0.190
4	0.0392	0.842	0.670	0.570	0.502	0.452	0.414	0.384	0.337	0.304	0.278	0.257	0.240	0.225
5	0.0490	0.953	0.760	0.646	0.570	0.514	0.471	0.436	0.384	0.345	0.316	0.292	0.273	0.257
6	0.0588	1.055	0.842	0.716	0.632	0.570	0.522	0.484	0.426	0.384	0.351	0.325	0.304	0.286
7	0.0686	1.149	0.917	0.781	0.689	0.622	0.570	0.528	0.465	0.419	0.384	0.355	0.332	0.312
8	0.0785	1.237	0.988	0.842	0.743	0.670	0.615	0.570	0.502	0.452	0.414	0.384	0.358	0.337
9	0.0883	1.320	1.055	0.899	0.794	0.716	0.657	0.609	0.537	0.484	0.443	0.410	0.384	0.361
10	0.098	1.399	1.119	0.953	0.842	0.760	0.697	0.646	0.570	0.514	0.471	0.436	0.408	0.384
11	0.108	1.474	1.179	1.005	0.888	0.802	0.735	0.682	0.601	0.542	0.497	0.460	0.430	0.405
12	0.118	1.546	1.237	1.055	0.932	0.842	0.772	0.716	0.632	0.570	0.522	0.484	0.452	0.426
13	0.127	1.616	1.293	1.103	0.974	0.880	0.808	0.749	0.661	0.596	0.546	0.506	0.474	0.446
14	0.137	1.682	1.347	1.149	1.015	0.917	0.842	0.781	0.689	0.622	0.570	0.528	0.494	0.465
15	0.147	1.747	1.399	1.194	1.055	0.953	0.875	0.812	0.716	0.646	0.593	0.549	0.514	0.484
16	0.157	1.810	1.449	1.237	1.094	0.988	0.907	0.842	0.743	0.670	0.615	0.570	0.533	0.502
17	0.167	1.870	1.499	1.279	1.131	1.022	0.938	0.871	0.769	0.694	0.636	0.590	0.552	0.520
18	0.177	1.930	1.546	1.320	1.167	1.055	0.968	0.899	0.794	0.716	0.650	0.609	0.570	0.537
19	0.186	1.987	1.593	1.360	1.203	1.087	0.998	0.927	0.818	0.738	0.677	0.628	0.588	0.553
20	0.196	2.043	1.638	1.399	1.237	1.119	1.027	0.953	0.842	0.760	0.697	0.646	0.605	0.570
21	0.206	2.098	1.682	1.437	1.271	1.149	1.055	0.980	0.865	0.781	0.716	0.664	0.622	0.586
22	0.216	2.152	1.726	1.474	1.304	1.179	1.083	1.005	0.888	0.802	0.735	0.682	0.638	0.601
23	0.226	2.205	1.768	1.511	1.336	1.208	1.110	1.030	0.910	0.822	0.754	0.699	0.655	0.617
24	0.235	2.256	1.810	1.546	1.368	1.237	1.136	1.055	0.932	0.842	0.772	0.716	0.670	0.632
25	0.245	2.306	1.850	1.581	1.399	1.265	1.162	1.079	0.953	0.861	0.790	0.733	0.686	0.646
26	0.255	2.356	1.890	1.616	1.429	1.293	1.188	1.103	0.974	0.880	0.808	0.749	0.701	0.661
27	0.265	2.405	1.930	1.649	1.459	1.320	1.213	1.126	0.995	0.899	0.825	0.765	0.716	0.675
28	0.275	2.452	1.968	1.682	1.489	1.347	1.237	1.149	1.015	0.917	0.842	0.781	0.731	0.689
29	0.284	2.499	2.006	1.715	1.518	1.373	1.261	1.172	1.035	0.936	0.858	0.797	0.746	0.703
30	0.294	2.545	2.043	1.747	1.546	1.399	1.285	1.194	1.055	0.953	0.875	0.812	0.760	0.716

WESTON D = 2.5 Q = (ℓ/S)

H (m)	L (m)													
	5.	10.	15.	20.	25.	30.	35.	40.	50.	60.	70.	80.	90.	100.
1	0.0098	1.020	0.688	0.546	0.462	0.406	0.365	0.334	0.309	0.271	0.243	0.222	0.205	0.191
2	0.0196	1.502	1.020	0.811	0.688	0.606	0.546	0.499	0.462	0.406	0.365	0.334	0.309	0.288
3	0.0294	1.880	1.280	1.020	0.867	0.764	0.688	0.630	0.584	0.514	0.462	0.423	0.391	0.365
4	0.0392	2.202	1.502	1.198	1.020	0.899	0.811	0.743	0.688	0.606	0.546	0.499	0.462	0.432
5	0.0490	2.488	1.700	1.357	1.156	1.020	0.920	0.843	0.782	0.688	0.620	0.568	0.526	0.491
6	0.0588	2.748	1.880	1.502	1.280	1.129	1.020	0.935	0.867	0.764	0.688	0.630	0.584	0.546
7	0.0686	2.988	2.046	1.636	1.394	1.231	1.112	1.020	0.946	0.834	0.752	0.688	0.638	0.596
8	0.0785	3.213	2.202	1.761	1.502	1.327	1.198	1.099	1.020	0.899	0.811	0.743	0.688	0.644
9	0.0883	3.425	2.348	1.880	1.603	1.416	1.280	1.174	1.089	0.961	0.867	0.794	0.736	0.688
10	0.098	3.625	2.488	1.992	1.700	1.502	1.357	1.245	1.156	1.020	0.920	0.843	0.782	0.731
11	0.108	3.817	2.621	2.099	1.792	1.583	1.431	1.313	1.219	1.076	0.971	0.890	0.825	0.772
12	0.118	4.000	2.748	2.202	1.880	1.662	1.502	1.379	1.280	1.129	1.020	0.935	0.867	0.811
13	0.127	4.176	2.870	2.300	1.964	1.737	1.570	1.441	1.338	1.181	1.066	0.978	0.907	0.848
14	0.137	4.346	2.988	2.396	2.046	1.809	1.636	1.502	1.394	1.231	1.112	1.020	0.946	0.885
15	0.147	4.510	3.102	2.488	2.125	1.880	1.700	1.561	1.449	1.280	1.156	1.060	0.983	0.920
16	0.157	4.669	3.213	2.577	2.202	1.948	1.761	1.617	1.502	1.327	1.198	1.099	1.020	0.954
17	0.167	4.824	3.320	2.664	2.276	2.014	1.821	1.673	1.553	1.372	1.239	1.137	1.055	0.987
18	0.177	4.974	3.425	2.748	2.348	2.078	1.880	1.726	1.603	1.416	1.280	1.174	1.089	1.020
19	0.186	5.120	3.526	2.830	2.419	2.141	1.936	1.779	1.652	1.460	1.319	1.210	1.123	1.051
20	0.196	5.262	3.625	2.910	2.488	2.202	1.992	1.830	1.700	1.502	1.357	1.245	1.156	1.082
21	0.206	5.402	3.722	2.988	2.555	2.261	2.046	1.880	1.746	1.543	1.394	1.280	1.188	1.112
22	0.216	5.538	3.817	3.065	2.621	2.320	2.099	1.928	1.792	1.583	1.431	1.313	1.219	1.141
23	0.226	5.671	3.910	3.140	2.685	2.377	2.151	1.976	1.836	1.623	1.467	1.346	1.250	1.170
24	0.235	5.801	4.000	3.213	2.748	2.433	2.202	2.023	1.880	1.662	1.502	1.379	1.280	1.198
25	0.245	5.929	4.089	3.285	2.810	2.488	2.252	2.069	1.922	1.700	1.536	1.410	1.309	1.226
26	0.255	6.054	4.176	3.355	2.870	2.542	2.300	2.114	1.964	1.737	1.570	1.441	1.338	1.253
27	0.265	6.177	4.262	3.425	2.930	2.595	2.348	2.158	2.006	1.773	1.603	1.472	1.366	1.280
28	0.275	6.298	4.346	3.493	2.988	2.647	2.396	2.202	2.046	1.809	1.636	1.502	1.394	1.306
29	0.284	6.416	4.429	3.560	3.046	2.698	2.442	2.244	2.086	1.845	1.668	1.531	1.422	1.332
30	0.294	6.533	4.510	3.625	3.102	2.748	2.488	2.287	2.125	1.880	1.700	1.561	1.449	1.357

WESTON D=30 Q = (ℓ/S)

H (m)	L (m)													
	5.	10.	15.	20.	25.	30.	35.	40.	50.	60.	70.	80.	90.	100.
1	0.0098	1.64	0.88	0.75	0.66	0.59	0.54	0.50	0.44	0.40	0.36	0.33	0.31	0.29
2	0.0196	2.41	1.31	1.11	0.98	0.88	0.81	0.75	0.66	0.59	0.54	0.50	0.47	0.44
3	0.0294	3.01	2.06	1.40	1.23	1.11	1.02	0.94	0.83	0.75	0.68	0.63	0.59	0.56
4	0.0392	3.53	2.41	1.64	1.45	1.31	1.20	1.11	0.98	0.88	0.81	0.75	0.70	0.66
5	0.0490	3.98	2.73	1.86	1.64	1.48	1.36	1.26	1.11	1.00	0.92	0.85	0.79	0.75
6	0.0588	4.40	3.01	2.06	1.82	1.64	1.51	1.40	1.23	1.11	1.02	0.94	0.88	0.83
7	0.0686	4.78	3.28	2.24	1.98	1.79	1.64	1.52	1.34	1.21	1.11	1.03	0.96	0.91
8	0.0785	5.14	3.53	2.41	2.13	1.93	1.77	1.64	1.45	1.31	1.20	1.11	1.04	0.98
9	0.0883	5.47	3.76	2.57	2.28	2.06	1.89	1.75	1.55	1.40	1.28	1.19	1.11	1.05
10	0.098	5.79	3.98	2.73	2.41	2.18	2.00	1.86	1.64	1.48	1.36	1.26	1.18	1.11
11	0.108	6.10	4.20	2.87	2.54	2.30	2.11	1.96	1.73	1.56	1.43	1.33	1.24	1.17
12	0.118	6.39	4.40	3.01	2.67	2.41	2.22	2.06	1.82	1.64	1.51	1.40	1.31	1.23
13	0.127	6.67	4.59	3.15	2.79	2.52	2.32	2.15	1.90	1.72	1.57	1.46	1.37	1.29
14	0.137	6.94	4.78	3.28	2.90	2.63	2.41	2.24	1.98	1.79	1.64	1.52	1.43	1.34
15	0.147	7.20	4.96	3.41	3.01	2.73	2.51	2.33	2.06	1.86	1.71	1.58	1.48	1.40
16	0.157	7.45	5.14	3.53	3.12	2.83	2.60	2.41	2.13	1.93	1.77	1.64	1.54	1.45
17	0.167	7.70	5.31	3.65	3.23	2.92	2.68	2.49	2.20	1.99	1.83	1.70	1.59	1.50
18	0.177	7.94	5.47	3.76	3.33	3.01	2.77	2.57	2.28	2.06	1.89	1.75	1.64	1.55
19	0.186	8.17	5.64	3.87	3.43	3.11	2.85	2.65	2.34	2.12	1.95	1.81	1.69	1.59
20	0.196	8.40	5.79	3.98	3.53	3.19	2.93	2.73	2.41	2.18	2.00	1.86	1.74	1.64
21	0.206	8.62	5.95	4.09	3.62	3.28	3.01	2.80	2.48	2.24	2.06	1.91	1.79	1.69
22	0.216	8.83	6.10	4.20	3.72	3.36	3.09	2.87	2.54	2.30	2.11	1.96	1.84	1.73
23	0.226	9.04	6.25	4.30	3.81	3.45	3.17	2.94	2.61	2.36	2.16	2.01	1.88	1.77
24	0.235	9.25	6.39	4.40	3.90	3.53	3.24	3.01	2.67	2.41	2.22	2.06	1.93	1.82
25	0.245	9.45	6.53	4.50	3.98	3.61	3.32	3.08	2.73	2.47	2.27	2.10	1.97	1.86
26	0.255	9.65	6.67	4.59	4.07	3.69	3.39	3.15	2.79	2.52	2.32	2.15	2.01	1.90
27	0.265	9.85	6.81	4.69	4.15	3.76	3.46	3.22	2.85	2.57	2.36	2.20	2.06	1.94
28	0.275	10.04	6.94	4.78	4.24	3.84	3.53	3.28	2.90	2.63	2.41	2.24	2.10	1.98
29	0.284	10.23	7.07	4.87	4.32	3.91	3.60	3.34	2.96	2.68	2.46	2.28	2.14	2.02
30	0.294	10.41	7.20	4.96	4.40	3.98	3.66	3.41	3.01	2.73	2.51	2.33	2.18	2.06

WESTON D = 40 Q = (ℓ/S)

H (m)	L (m)													
	5.	10.	15.	20.	25.	30.	35.	40.	50.	60.	70.	80.	90.	100.
1	0.0098	3.49	2.37	1.89	1.60	1.41	1.27	1.17	1.08	0.95	0.85	0.78	0.72	0.67
2	0.0196	5.10	3.49	2.78	2.37	2.09	1.89	1.73	1.60	1.41	1.27	1.17	1.08	1.01
3	0.0294	6.36	4.36	3.49	2.97	2.62	2.37	2.17	2.02	1.78	1.60	1.47	1.36	1.27
4	0.0392	7.43	5.10	4.09	3.49	3.08	2.78	2.55	2.37	2.09	1.89	1.73	1.60	1.50
5	0.0490	8.38	5.76	4.62	3.94	3.49	3.15	2.89	2.69	2.37	2.14	1.96	1.82	1.70
6	0.0588	9.25	6.36	5.10	4.36	3.85	3.49	3.20	2.97	2.62	2.37	2.17	2.02	1.89
7	0.0686	10.04	6.92	5.55	4.74	4.20	3.80	3.49	3.24	2.86	2.58	2.37	2.20	2.06
8	0.0785	10.79	7.43	5.97	5.10	4.52	4.09	3.75	3.49	3.08	2.78	2.55	2.37	2.22
9	0.0883	11.49	7.92	6.36	5.44	4.82	4.36	4.00	3.72	3.29	2.97	2.73	2.53	2.37
10	0.098	12.15	8.38	6.74	5.76	5.10	4.62	4.24	3.94	3.49	3.15	2.89	2.69	2.51
11	0.108	12.79	8.82	7.09	6.07	5.37	4.86	4.47	4.15	3.67	3.32	3.05	2.83	2.65
12	0.118	13.39	9.25	7.43	6.36	5.63	5.10	4.69	4.36	3.85	3.49	3.20	2.97	2.78
13	0.127	13.97	9.65	7.76	6.64	5.89	5.33	4.90	4.55	4.03	3.64	3.35	3.11	2.91
14	0.137	14.54	10.04	8.08	6.92	6.13	5.55	5.10	4.74	4.20	3.80	3.49	3.24	3.03
15	0.147	15.08	10.42	8.38	7.18	6.36	5.76	5.30	4.92	4.36	3.94	3.62	3.36	3.15
16	0.157	15.60	10.79	8.68	7.43	6.59	5.97	5.49	5.10	4.52	4.09	3.75	3.49	3.27
17	0.167	16.11	11.14	8.97	7.68	6.81	6.17	5.67	5.27	4.67	4.22	3.88	3.60	3.38
18	0.177	16.61	11.49	9.25	7.92	7.02	6.36	5.85	5.44	4.82	4.36	4.00	3.72	3.49
19	0.186	17.09	11.83	9.52	8.16	7.23	6.55	6.02	5.60	4.96	4.49	4.13	3.83	3.59
20	0.196	17.56	12.15	9.78	8.38	7.43	6.74	6.20	5.76	5.10	4.62	4.24	3.94	3.69
21	0.206	18.02	12.47	10.04	8.61	7.63	6.92	6.36	5.92	5.24	4.74	4.36	4.05	3.80
22	0.216	18.46	12.79	10.30	8.82	7.83	7.09	6.52	6.07	5.37	4.86	4.47	4.15	3.89
23	0.226	18.90	13.09	10.55	9.04	8.02	7.26	6.68	6.22	5.51	4.98	4.58	4.26	3.99
24	0.235	19.33	13.39	10.79	9.25	8.20	7.43	6.84	6.36	5.63	5.10	4.69	4.36	4.09
25	0.245	19.75	13.69	11.03	9.45	8.38	7.60	6.99	6.50	5.76	5.22	4.80	4.46	4.18
26	0.255	20.16	13.97	11.26	9.65	8.56	7.76	7.14	6.64	5.89	5.33	4.90	4.55	4.27
27	0.265	20.57	14.26	11.49	9.85	8.74	7.92	7.29	6.78	6.01	5.44	5.00	4.65	4.36
28	0.275	20.97	14.54	11.71	10.04	8.91	8.08	7.43	6.92	6.13	5.55	5.10	4.74	4.45
29	0.284	21.36	14.81	11.94	10.23	9.08	8.23	7.58	7.05	6.25	5.66	5.20	4.83	4.53
30	0.294	21.74	15.08	12.15	10.42	9.25	8.38	7.72	7.18	6.36	5.76	5.30	4.92	4.62

WESTON D = 50 Q = (ℓ/S)

H (m)	L (m)	5.	10.	15.	20.	25.	30.	35.	40.	50.	60.	70.	80.	90.	100.
1	0.0098	6.27	4.28	3.42	2.91	2.56	2.31	2.12	1.97	1.73	1.56	1.43	1.32	1.23	1.16
2	0.0196	9.14	6.27	5.02	4.28	3.78	3.42	3.13	2.91	2.56	2.31	2.12	1.97	1.84	1.73
3	0.0294	11.37	7.82	6.27	5.35	4.73	4.28	3.93	3.65	3.22	2.91	2.67	2.47	2.31	2.18
4	0.0392	13.27	9.14	7.33	6.27	5.55	5.02	4.61	4.28	3.78	3.42	3.13	2.91	2.72	2.56
5	0.0490	14.95	10.31	8.28	7.08	6.27	5.67	5.21	4.84	4.28	3.87	3.55	3.29	3.08	2.91
6	0.0588	16.48	11.37	9.14	7.82	6.92	6.27	5.76	5.35	4.73	4.28	3.93	3.65	3.42	3.22
7	0.0686	17.89	12.35	9.93	8.50	7.53	6.82	6.27	5.82	5.15	4.66	4.28	3.97	3.72	3.51
8	0.0785	19.20	13.27	10.67	9.14	8.10	7.33	6.74	6.27	5.55	5.02	4.61	4.28	4.01	3.78
9	0.0883	20.44	14.13	11.37	9.74	8.63	7.82	7.19	6.68	5.92	5.35	4.92	4.57	4.28	4.04
10	0.098	21.61	14.95	12.03	10.31	9.14	8.28	7.61	7.08	6.27	5.67	5.21	4.84	4.54	4.28
11	0.108	22.73	15.73	12.67	10.85	9.62	8.72	8.02	7.46	6.60	5.98	5.49	5.10	4.78	4.51
12	0.118	23.80	16.48	13.27	11.37	10.08	9.14	8.41	7.82	6.92	6.27	5.76	5.35	5.02	4.73
13	0.127	24.83	17.20	13.85	11.87	10.53	9.54	8.78	8.17	7.23	6.55	6.02	5.59	5.24	4.95
14	0.137	25.82	17.89	14.41	12.35	10.96	9.93	9.14	8.50	7.53	6.82	6.27	5.82	5.46	5.15
15	0.147	26.77	18.56	14.95	12.82	11.37	10.31	9.49	8.82	7.82	7.08	6.51	6.05	5.67	5.35
16	0.157	27.70	19.20	15.48	13.27	11.77	10.67	9.82	9.14	8.10	7.33	6.74	6.27	5.88	5.55
17	0.167	28.60	19.83	15.98	13.71	12.16	11.03	10.15	9.44	8.37	7.58	6.97	6.48	6.07	5.73
18	0.177	29.47	20.44	16.48	14.13	12.54	11.37	10.47	9.74	8.63	7.82	7.19	6.68	6.27	5.92
19	0.186	30.32	21.03	16.96	14.55	12.91	11.71	10.78	10.03	8.89	8.05	7.40	6.88	6.45	6.09
20	0.196	31.15	21.61	17.43	14.95	13.27	12.03	11.08	10.31	9.14	8.28	7.61	7.08	6.64	6.27
21	0.206	31.95	22.18	17.89	15.35	13.62	12.35	11.37	10.58	9.38	8.50	7.82	7.27	6.82	6.44
22	0.216	32.74	22.73	18.34	15.73	13.96	12.67	11.66	10.85	9.62	8.72	8.02	7.46	6.99	6.60
23	0.226	33.52	23.27	18.77	16.11	14.30	12.97	11.94	11.11	9.85	8.93	8.21	7.64	7.16	6.76
24	0.235	34.27	23.80	19.20	16.48	14.63	13.27	12.22	11.37	10.08	9.14	8.41	7.82	7.33	6.92
25	0.245	35.01	24.32	19.62	16.84	14.95	13.56	12.49	11.62	10.31	9.34	8.59	7.99	7.50	7.08
26	0.255	35.74	24.83	20.04	17.20	15.27	13.85	12.75	11.87	10.53	9.54	8.78	8.17	7.66	7.23
27	0.265	36.45	25.33	20.44	17.55	15.58	14.13	13.01	12.11	10.74	9.74	8.96	8.33	7.82	7.38
28	0.275	37.15	25.82	20.84	17.89	15.88	14.41	13.27	12.35	10.96	9.93	9.14	8.50	7.97	7.53
29	0.284	37.84	26.30	21.23	18.22	16.18	14.68	13.52	12.59	11.17	10.12	9.31	8.66	8.13	7.67
30	0.294	38.52	26.77	21.61	18.56	16.48	14.95	13.77	12.82	11.37	10.31	9.49	8.82	8.28	7.82

H A Z E N - W I L L I A M S D = 7 5 Q = (ℓ / S)

H (m)	L (m)					P (MPa)	20.	40.	60.	80.	100.	120.	140.	160.	180.	200.	250.	300.
	20.	40.	60.	80.	100.													
1	0.0098	7.83	5.38	4.32	3.70	3.28	4.77	5.94	7.83	10.09	12.85	16.07	20.00	25.00	30.00	1.81		
2	0.0196	11.39	7.83	6.29	5.38	4.77	5.94	7.83	10.09	12.85	16.07	20.00	25.00	30.00	1.81	2.63		
3	0.0294	14.18	9.75	7.83	6.70	5.94	7.83	10.09	12.85	16.07	20.00	25.00	30.00	1.81	2.63	3.28		
4	0.0392	16.56	11.39	9.15	7.83	6.94	7.83	10.09	12.85	16.07	20.00	25.00	30.00	1.81	2.63	3.83		
5	0.0490	18.69	12.85	10.32	8.83	7.83	7.83	10.09	12.85	16.07	20.00	25.00	30.00	1.81	2.63	4.32		
6	0.0588	20.62	14.18	11.39	9.75	8.64	8.64	10.09	12.85	16.07	20.00	25.00	30.00	1.81	2.63	4.77		
7	0.0686	22.41	15.41	12.38	10.59	9.39	9.39	10.09	12.85	16.07	20.00	25.00	30.00	1.81	2.63	5.19		
8	0.0785	24.09	16.56	13.30	11.39	10.09	10.09	10.09	12.85	16.07	20.00	25.00	30.00	1.81	2.63	5.57		
9	0.0883	25.67	17.65	14.18	12.14	10.76	10.76	10.09	12.85	16.07	20.00	25.00	30.00	1.81	2.63	5.94		
10	0.098	27.18	18.69	15.01	12.85	11.39	11.39	10.09	12.85	16.07	20.00	25.00	30.00	1.81	2.63	6.29		
11	0.108	28.62	19.67	15.80	13.53	11.99	11.99	10.09	12.85	16.07	20.00	25.00	30.00	1.81	2.63	6.62		
12	0.118	29.99	20.62	16.56	14.18	12.57	12.57	10.09	12.85	16.07	20.00	25.00	30.00	1.81	2.63	6.94		
13	0.127	31.32	21.53	17.29	14.80	13.12	13.12	10.09	12.85	16.07	20.00	25.00	30.00	1.81	2.63	7.25		
14	0.137	32.60	22.41	18.00	15.41	13.66	13.66	10.09	12.85	16.07	20.00	25.00	30.00	1.81	2.63	7.54		
15	0.147	33.84	23.26	18.69	15.99	14.18	14.18	10.09	12.85	16.07	20.00	25.00	30.00	1.81	2.63	7.83		
16	0.157	35.04	24.09	19.35	16.56	14.68	14.68	10.09	12.85	16.07	20.00	25.00	30.00	1.81	2.63	8.11		
17	0.167	36.21	24.89	19.99	17.11	15.17	15.17	10.09	12.85	16.07	20.00	25.00	30.00	1.81	2.63	8.38		
18	0.177	37.34	25.67	20.62	17.65	15.65	15.65	10.09	12.85	16.07	20.00	25.00	30.00	1.81	2.63	8.64		
19	0.186	38.45	26.43	21.23	18.17	16.11	16.11	10.09	12.85	16.07	20.00	25.00	30.00	1.81	2.63	8.90		
20	0.196	39.53	27.18	21.83	18.69	16.56	16.56	10.09	12.85	16.07	20.00	25.00	30.00	1.81	2.63	9.15		
21	0.206	40.59	27.90	22.41	19.18	17.00	17.00	10.09	12.85	16.07	20.00	25.00	30.00	1.81	2.63	9.39		
22	0.216	41.62	28.62	22.98	19.67	17.44	17.44	10.09	12.85	16.07	20.00	25.00	30.00	1.81	2.63	9.63		
23	0.226	42.63	29.31	23.54	20.15	17.86	17.86	10.09	12.85	16.07	20.00	25.00	30.00	1.81	2.63	9.86		
24	0.235	43.63	29.99	24.09	20.62	18.28	18.28	10.09	12.85	16.07	20.00	25.00	30.00	1.81	2.63	10.09		
25	0.245	44.60	30.66	24.63	21.08	18.69	18.69	10.09	12.85	16.07	20.00	25.00	30.00	1.81	2.63	10.32		
26	0.255	45.55	31.32	25.16	21.53	19.09	19.09	10.09	12.85	16.07	20.00	25.00	30.00	1.81	2.63	10.54		
27	0.265	46.49	31.96	25.67	21.98	19.48	19.48	10.09	12.85	16.07	20.00	25.00	30.00	1.81	2.63	10.76		
28	0.275	47.42	32.60	26.18	22.41	19.87	19.87	10.09	12.85	16.07	20.00	25.00	30.00	1.81	2.63	10.97		
29	0.284	48.32	33.22	26.68	22.84	20.25	20.25	10.09	12.85	16.07	20.00	25.00	30.00	1.81	2.63	11.18		
30	0.294	49.22	33.84	27.18	23.26	20.62	20.62	10.09	12.85	16.07	20.00	25.00	30.00	1.81	2.63	11.39		

H A Z E N - W I L L I A M S D = 1 0 0 Q = (ℓ / S)

H (m)	P (MPa)	L (m)														
		20.	40.	60.	80.	100.	120.	140.	160.	180.	200.	250.	300.			
1	0.0098	16.69	11.48	9.22	7.89	6.99	6.34	5.83	5.43	5.09	4.81	4.26	3.86			
2	0.0196	24.28	16.69	13.41	11.48	10.17	9.22	8.48	7.89	7.40	6.99	6.20	5.62			
3	0.0294	30.23	20.79	16.69	14.29	12.67	11.48	10.56	9.82	9.22	8.71	7.72	6.99			
4	0.0392	35.32	24.28	19.50	16.69	14.80	13.41	12.34	11.48	10.77	10.17	9.02	8.17			
5	0.0490	39.85	27.40	22.00	18.83	16.69	15.13	13.92	12.95	12.15	11.48	10.17	9.22			
6	0.0588	43.97	30.23	24.28	20.79	18.42	16.69	15.36	14.29	13.41	12.67	11.23	10.17			
7	0.0686	47.80	32.86	26.39	22.59	20.02	18.15	16.69	15.53	14.57	13.77	12.20	11.06			
8	0.0785	51.37	35.32	28.37	24.28	21.52	19.50	17.94	16.69	15.66	14.80	13.12	11.89			
9	0.0883	54.75	37.64	30.23	25.88	22.94	20.79	19.12	17.79	16.69	15.77	13.98	12.67			
10	0.098	57.96	39.85	32.00	27.40	24.28	22.00	20.24	18.83	17.67	16.69	14.80	13.41			
11	0.108	61.02	41.95	33.70	28.84	25.57	23.17	21.31	19.83	18.61	17.58	15.58	14.12			
12	0.118	63.96	43.97	35.32	30.23	26.80	24.28	22.34	20.79	19.50	18.42	16.33	14.80			
13	0.127	66.79	45.92	36.88	31.57	27.98	25.36	23.33	21.70	20.37	19.24	17.05	15.45			
14	0.137	69.52	47.80	38.39	32.86	29.13	26.39	24.28	22.59	21.20	20.02	17.75	16.08			
15	0.147	72.16	49.61	39.85	34.11	30.23	27.40	25.21	23.45	22.00	20.79	18.42	16.69			
16	0.157	74.72	51.37	41.26	35.32	31.31	28.37	26.10	24.28	22.78	21.52	19.08	17.29			
17	0.167	77.21	53.08	42.64	36.50	32.35	29.31	26.97	25.09	23.54	22.24	19.71	17.86			
18	0.177	79.63	54.75	43.97	37.64	33.36	30.23	27.82	25.88	24.28	22.94	20.33	18.42			
19	0.186	82.00	56.37	45.28	38.76	34.35	31.13	28.64	26.65	25.00	23.62	20.93	18.97			
20	0.196	84.30	57.96	46.55	39.85	35.32	32.00	29.45	27.40	25.71	24.28	21.52	19.50			
21	0.206	86.55	59.51	47.80	40.91	36.26	32.86	30.23	28.13	26.39	24.93	22.10	20.02			
22	0.216	88.76	61.02	49.01	41.95	37.19	33.70	31.00	28.84	27.06	25.57	22.66	20.53			
23	0.226	90.92	62.51	50.20	42.97	38.09	34.52	31.76	29.55	27.72	26.19	23.21	21.03			
24	0.235	93.03	63.96	51.37	43.97	38.98	35.32	32.50	30.23	28.37	26.80	23.75	21.52			
25	0.245	95.11	65.39	52.52	44.96	39.85	36.11	33.22	30.91	29.00	27.40	24.28	22.00			
26	0.255	97.15	66.79	53.64	45.92	40.70	36.88	33.93	31.57	29.62	27.98	24.80	22.48			
27	0.265	99.15	68.17	54.75	46.86	41.54	37.64	34.63	32.22	30.23	28.56	25.31	22.94			
28	0.275	101.12	69.52	55.84	47.80	42.36	38.39	35.32	32.86	30.83	29.13	25.82	23.39			
29	0.284	103.05	70.85	56.91	48.71	43.18	39.12	36.00	33.49	31.42	29.68	26.31	23.84			
30	0.294	104.96	72.16	57.96	49.61	43.97	39.85	36.66	34.11	32.00	30.23	26.80	24.28			

HAZEN-WILLIAMS $D = 150$ $Q = (\ell / S)$

H (m)	P (MPa)	L (m)														
		20.	40.	60.	80.	100.	120.	140.	160.	180.	200.	250.	300.			
1	0.0098	48.5	33.4	26.8	22.9	20.3	18.4	17.0	15.8	14.8	14.0	12.4	11.2			
2	0.0196	70.6	48.5	39.0	33.4	29.6	26.8	24.7	22.9	21.5	20.3	18.0	16.3			
3	0.0294	87.9	60.4	48.5	41.6	36.8	33.4	30.7	28.6	26.8	25.3	22.4	20.3			
4	0.0392	102.7	70.6	56.7	48.5	43.0	39.0	35.9	33.4	31.3	29.6	26.2	23.8			
5	0.0490	115.9	79.7	64.0	54.8	48.5	44.0	40.5	37.7	35.3	33.4	29.6	26.8			
6	0.0588	127.9	87.9	70.6	60.4	53.6	48.5	44.7	41.6	39.0	36.8	32.6	29.6			
7	0.0686	139.0	95.5	76.7	65.7	58.2	52.8	48.5	45.2	42.4	40.0	35.5	32.2			
8	0.0785	149.4	102.7	82.5	70.6	62.6	56.7	52.2	48.5	45.5	43.0	38.1	34.6			
9	0.0883	159.2	109.4	87.9	75.2	66.7	60.4	55.6	51.7	48.5	45.9	40.6	36.8			
10	0.098	168.5	115.9	93.1	79.7	70.6	64.0	58.9	54.8	51.4	48.5	43.0	39.0			
11	0.108	177.4	122.0	98.0	83.9	74.3	67.4	62.0	57.7	54.1	51.1	45.3	41.0			
12	0.118	186.0	127.9	102.7	87.9	77.9	70.6	65.0	60.4	56.7	53.6	47.5	43.0			
13	0.127	194.2	133.5	107.2	91.8	81.4	73.7	67.8	63.1	59.2	55.9	49.6	44.9			
14	0.137	202.1	139.0	111.6	95.5	84.7	76.7	70.6	65.7	61.6	58.2	51.6	46.8			
15	0.147	209.8	144.3	115.9	99.2	87.9	79.7	73.3	68.2	64.0	60.4	53.6	48.5			
16	0.157	217.3	149.4	120.0	102.7	91.0	82.5	75.9	70.6	66.3	62.6	55.5	50.3			
17	0.167	224.5	154.4	124.0	106.1	94.1	85.2	78.4	73.0	68.5	64.7	57.3	51.9			
18	0.177	231.6	159.2	127.9	109.4	97.0	87.9	80.9	75.2	70.6	66.7	59.1	53.6			
19	0.186	238.4	163.9	131.7	112.7	99.9	90.5	83.3	77.5	72.7	68.7	60.9	55.2			
20	0.196	245.1	168.5	135.4	115.9	102.7	93.1	85.6	79.7	74.7	70.6	62.6	56.7			
21	0.206	251.7	173.0	139.0	119.0	105.4	95.5	87.9	81.8	76.7	72.5	64.3	58.2			
22	0.216	258.1	177.4	142.5	122.0	108.1	98.0	90.1	83.9	78.7	74.3	65.9	59.7			
23	0.226	264.4	181.7	146.0	125.0	110.8	100.4	92.3	85.9	80.6	76.1	67.5	61.2			
24	0.235	270.5	186.0	149.4	127.9	113.3	102.7	94.5	87.9	82.5	77.9	69.1	62.6			
25	0.245	276.5	190.1	152.7	130.7	115.9	105.0	96.6	89.9	84.3	79.7	70.6	64.0			
26	0.255	282.5	194.2	156.0	133.5	118.3	107.2	98.7	91.8	86.1	81.4	72.1	65.4			
27	0.265	288.3	198.2	159.2	136.3	120.8	109.4	100.7	93.7	87.9	83.0	73.6	66.7			
28	0.275	294.0	202.1	162.4	139.0	123.2	111.6	102.7	95.5	89.7	84.7	75.1	68.0			
29	0.284	299.6	206.0	165.5	141.6	125.5	113.8	104.7	97.4	91.4	86.3	76.5	69.3			
30	0.294	305.2	209.8	168.5	144.3	127.9	115.9	106.6	99.2	93.1	87.9	77.9	70.6			