

水道本管の経済的直径と平均流速公式

富 永 保 夫

Economical Pipe Diameter of Main Pipe of Water Supplies and Mean Velocity Formulas

Yasuo TOMINAGA

We adopt Williams & Hazen Formula as mean velocity formula. Nowadays this is used most widely in the Public Water Supplies of the United States and Japan.

We show for economical pipe diameter the numeral value that has been calculated by as new data as possible. The formula which Mr. Hikoichi Ōgida has made is thought best as theoretical formula, we used it.

Therefore, the following three formulas are made.

$$d(m) = Q^{0.4342} \dots\dots\dots(11)$$

$$Q(m^3/s) = d^{2.303} \dots\dots\dots(12)$$

$$i(\%) = 2.1101 \cdot d^{-0.605} \dots\dots\dots(13)$$

1. ま え が き

平均流速公式としては $C=100$ の Williams & Hazen 公式をとった。この式は円管の外各種の断面を持つ管や開水路にも使用出来るので動水勾配 i や流量 Q の範囲が非常に広い。送水本管の場合は i は 0.5% から 5% 、流量 Q も $100\ell/s$ から $4000\ell/s$ 位もあれば大体よい。線図も第 1 図に示したが全体の傾向がわかり、概数値を読みとるにはよいが詳細値を読みとることはむづかしい。数表を出来るだけ多くして読みとる便をはかった。又ところどころに * 印の数値を入れて比較に便ならしめた。経済的口径の計算法に関する扇田彦一氏の論文は非常に参考になったが、昭和 25 年や昭和 28 年の資料は現在の経済水準に較べて稍古い感じがするので昭和 37 年のものを入れた。5 年毎位にデータを新しく変え、新しい式が出来れば利用者が多くの利便をうけ非常に良いと思う。昭和 37 年 10 月 1 日もすでに 6 年前になろうとしている。

2. 平均流速公式

平均流速公式は第 9 表に示されるように数多くあるが、現在も米国および日本で最も多く使用されているのは Williams & Hazen 公式である。

すなわち

$$v = 0.001^{-0.04} \cdot C R_e^{0.037^{0.54}} (\text{ft} \cdot \text{sec}) \dots\dots\dots(1)$$

$$v = 1.3183 C R_e^{0.037^{0.54}} (\text{ft} \cdot \text{sec}) \dots\dots\dots(1')$$

$$v = 0.84935 C R_e^{0.037^{0.54}} (\text{met} \cdot \text{sec}) \dots\dots\dots(2)$$

$$v = 0.35464 C d^{0.037^{0.54}} (\text{met} \cdot \text{sec}) \dots\dots\dots(3)$$

又次の式がみちびかれる。

$$Q = 0.27853 C d^{2.03} i^{0.54} (\text{met} \cdot \text{sec}) \dots\dots\dots(4)$$

$$i = 10.666 C^{-1.952} d^{4.970} Q^{1.952} (\text{met} \cdot \text{sec}) \dots\dots(5)$$

$$d = 1.6256 C^{-0.3802} Q^{0.3802} i^{-0.2053} (\text{met} \cdot \text{sec}) \dots(6)$$

式中 v : 平均流速 (m/s)

R : 平均流体深さ (m) i : 動水勾配 i' (%) ともする。

C : 係数 100, 130, 140 が多い。

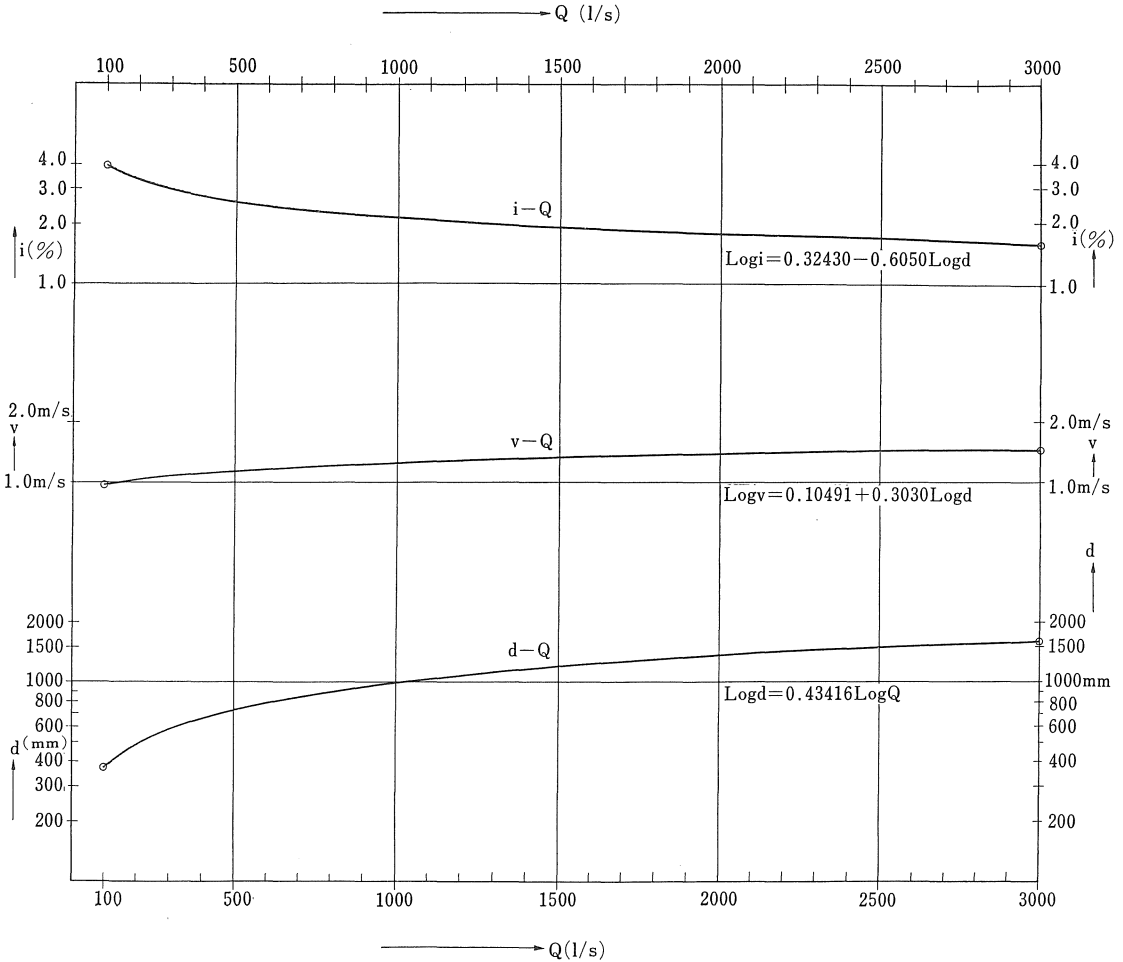
$C=100$ は铸铁管や鋼管の設計時に使用される値であるが、15年から20年位経過した中古管の値に適合する。 $C=140$ の新管でアスファルト塗は関係粗度 $\frac{\epsilon}{d}$ が $0.001 \sim 0.0001$ のものに合うようだ。

水温が常温範囲内でも R_e 数は 30% 程度変化するが、 $R_e=10^5$ で関係粗度 $\frac{\epsilon}{d}=0.01$ 、 $R_e=10^6$ で $\frac{\epsilon}{d}=0.03$ 、

$R_e=10^7$ で $\frac{\epsilon}{d}=0.001$ 位のまさつ損失係数 λ に相当する

ようである。Williams & Hazen 公式は比較的なめらかで摩擦損失のみで他の損失水頭を考慮せぬ場合の計算に適している。第 1 表に $C=100$ の平均流速を示した。

管径は $400\text{mm} \sim 1500\text{mm}$ の 12 種の送水本管の口径全部について示したが、流速 $v=0.5\text{m/s}$ 以下と $v=2\text{m/s}$ 以上は除外して——印で示した。第 2 表は同様範囲の流量 Q (ℓ/s) を示した。1000mm 径の管の経済流量 Q が $1000\ell/s$ となるのは不思議な一致であるが、記憶するのに便利である。第 3 表は流量 Q と勾配 i が既知のとき管の内径を



第 1 図

求めるに都合のよい表である。*印の数字は経済的の管内径を示している。第 4 表は内径 d と流量 Q から動水勾配 i (%) を求めるものである。 $i=10\%$ 以上と 0.5% 以下は除外し—印で示した。流量範囲は 100 l/s から 3000 l/s までとした。*印の数値は経済的の勾配である。 i を % で示してあるから管長 1000 m についての損失水頭 $h(\text{m})$ は i と同じ数字になる。 2% は 2 m という工合である。第 5 表は同じく動水勾配 i (%) を求めるものであるが次式によって計算した。なお

$$i(\%) = 1349v^{1.852}d^{-1.187} \dots\dots\dots(7)$$

流速範囲は $v=0.5\sim 2.0\text{ m/s}$ に限定した。これで充分の

$$d = \left[\frac{411724 \times 10^8 \{ f l_2 (r + n_2 + m_2) + a f l_3 (r + n_3 + m_3) + 8760 l_4 \}}{\alpha \beta \eta (r + n_1 + m_1)} \right]^{\frac{1}{\beta + 4.87}} \times Q^{\frac{2.85}{\beta + 4.87}} \dots\dots\dots(14)$$

(14)式がこれで昭和28年10月1日現在の資料諸元を計算に入れば次式が出る。

$$d > 400\text{ mm} \quad Q = 1.138 \times d^{2.330} \dots\dots\dots(15)$$

$$d > 400\text{ mm} \quad d = 0.9432 Q^{0.4292} \dots\dots\dots(16)$$

ようである。

3. 経済的管径

管路の経済的の口径はあたえられた流量をあたえられた条件で流水するのに必要な経費を最小ならしめる口径である。ポンプ加圧式の場合は管路およびポンプ関係費をもととして考えられる年数の送水総経費即ち固定費及び運転費を最小にする口径である。第 6 表に昭和12年, 昭和28年, 昭和37年の経済的の流速と流量を示した。昭和12年のものは草間偉氏, 昭和28年のものは扇田彦一氏のものである。このデータを基として昭和29年に同氏は経済管径を算出する理論式を発表した。

(15)式(16)式とも met, sec 単位である。

昭和37年の経済管径は(14)式に土木学会編水理公式集に記載の15個のデータを入れて計算した次式によって算出される。

昭和37年 $\log d = 2.99998 + 0.43416 \log Q \dots\dots(8)$
 参考に扇田氏の式を(8)式と同形にかけば(9)式となる。

昭和28年 $\log d = 2.97460 + 0.42922 \log Q \dots\dots(9)$

(8)式は金利 $r = 0.065$, ポンプ設備費 1kw につき 85,800 円, 電力料金 1kwh 3.5円, ポンプ効率 63%, 上屋建設費坪当たり 148,000 円としているが時と場所と施工法, 稼働時間が異なれば当然管径も異った値になる。(8), (9)両式とも次の条件を満足するものでなければならない。

- (1) Williams & Hazen 公式の C は 100 とする。
- (2) まさつ損失以外の損失水頭は無視する。
- (3) ポンプは一定の流量を終日運転し, 1 年中不変とする。
- (4) ポンプの動力は直結の電動機による。

口径 d の値を大にする要因は電力料金・ポンプ設備費・上屋建築費の増大であり, 口径 d の値を小にするものは金利及び管敷設備費の値上りである。すなわち電力料金が 1KWH 3 円 50 銭より +10%, +20%, +30% 値上りすれば管口径は +0.9%, +1.8%, +2.6% 程度それぞれ太くなるし, 金利が 6 分 5 厘よりも +10%, +20%, +30% 値上りすれば +0.9%, +1.8%, +2.9% 程それぞれ管口径が細くなることになる。第 7 表に口径別経済的流量・流速・勾配の関係を一覧表にして示した。第 8 表に流量別の経済管径・流速・勾配を示した。流量範囲が 3000ℓ/s から 100ℓ/s までとなっている。巾が 100ℓ とびになっているが更に細かく 50ℓ とか 25ℓ とびにすれば設計や計画に便利な表になると信ずる。第 1 図はこれを線図にしたものである。片対数グラフで示されている。

管断面積 A は口径 d の 2 乗に比例するが, 流量 Q は口径 d の 5/2 乗に比例するから流量 Q は断面積 A 以上に増加する。それにまさつ係数 λ も口径 d が増加すれば却って減少するから大管は有利である。更に重量 W は口径 d のおよそ 1.6 乗に比例して増加するから一層大管は経済的に得となる。現在も最も広く上水道配水管に鋳鉄管が使用されているが, 最近は大管に鋼管やヒューム管が使用されるようになった。

4. む す び

最近米国でも流速公式の検討が行われているようであ

るが, 新公式の採用には至っていないらしい。まだしばらくは Williams & Hazen 公式が多く使用されるであろう。経済管径と流量の指数関係が時代とともにいかに変化したかを次の表によって知ることが出来る。

| | $d \propto Q^m$ | $Q \propto d^n$ |
|-------|-----------------|-----------------|
| 昭和11年 | $m = 0.4391$ | $n = 2.277$ |
| 昭和17年 | $m = 0.4351$ | $n = 2.298$ |
| 昭和25年 | $m = 0.4331$ | $n = 2.309$ |
| 昭和28年 | $m = 0.4292$ | $n = 2.330$ |
| 昭和37年 | $m = 0.4342$ | $n = 2.303$ |

管材料に昭和37年用材料として 400mm 以上の本管にはダクタイル鋳鉄管を用い, 内面をモルタルライニングしたものである。強度が増したので管径が小とすることが出来, 材料費と運搬費と施工料が節約出来る。通水寿命としては 50~100 年位であろう。

5. 文 献

- ①扇田 彦一 “ポンプ加圧送水管の経済的設計”
昭和29年 2月 水道協会雑誌第234号
- ②久保・田中 “開水路の平均流速公式”
昭和33年 2月 土木学会誌
- ③富永 保夫 “送水管路に於ける流量と管径の経済的関係”
昭和26年12月 名工大学報第3号
- ④広瀬孝六郎 都市上水道
昭和36年 8月 技報堂
- ⑤池田篤三郎 流量表
昭和29年 1月 技報堂
- ⑥絹川新一郎 配水管網計算法と流量表
昭和32年10月 技報堂
- ⑦土木学会編 水理公式集 昭和38年版
- ⑧川上謙太郎 マンニング流速公式の数表と水路の水理計算法
昭和40年 7月 理工図書
- ⑨本間・沼知 水工学便覧 森北出版
- ⑩成瀬 勝武 土木設計データブック 森北出版

第1表 平均流速 v (m/sec)*は経済的流速 (Hazen-Williams 公式 $C=100$)

| i (‰) \ d (mm) | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1,000 | 1,100 | 1,200 | 1,350 | 1,500 |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1.0 | — | 0.514 | 0.550 | 0.617 | 0.680 | 0.739 | 0.796 | 0.851 | 0.903 | 0.954 | 1.028 | 1.098 |
| 1.25 | 0.539 | 0.580 | 0.620 | 0.696 | 0.767 | 0.834 | 0.898 | 0.960 | 1.019 | 1.076 | 1.159 | 1.239 |
| 1.5 | 0.595 | 0.640 | 0.684 | 0.768 | 0.846 | 0.920 | 0.991 | 1.059 | 1.124 | 1.188 | 1.279 | 1.367 |
| 1.75 | 0.646 | 0.696 | 0.744 | 0.834 | 0.919 | 1.000 | 1.077 | 1.151 | 1.222 | 1.291 | 1.390 | *1.440 |
| 2.0 | 0.694 | 0.748 | 0.799 | 0.897 | 0.988 | 1.075 | 1.158 | 1.238 | *1.311 | *1.346 | *1.395 | 1.489 |
| 2.5 | 0.783 | 0.844 | 0.902 | 1.011 | 1.114 | *1.190 | *1.233 | *1.273 | 1.314 | 1.388 | 1.495 | 1.598 |
| 3.0 | 0.864 | 0.931 | 0.995 | *1.091 | *1.143 | 1.212 | 1.306 | 1.395 | 1.482 | 1.565 | 1.686 | 1.801 |
| 3.5 | 0.939 | *0.999 | *1.032 | 1.116 | 1.230 | 1.338 | 1.441 | 1.540 | 1.635 | 1.727 | 1.860 | 1.988 |
| 4.0 | *0.964 | 1.012 | 1.081 | 1.213 | 1.337 | 1.454 | 1.566 | 1.673 | 1.777 | 1.877 | — | — |
| 4.5 | 1.010 | 1.088 | 1.162 | 1.304 | 1.437 | 1.563 | 1.683 | 1.799 | 1.910 | — | — | — |
| 5.0 | 1.076 | 1.159 | 1.238 | 1.389 | 1.531 | 1.665 | 1.794 | 1.917 | — | — | — | — |
| 5.0 | 1.139 | 1.227 | 1.311 | 1.471 | 1.621 | 1.763 | 1.899 | — | — | — | — | — |

第2表 流量 Q (ℓ /sec)*は経済的流量 (Hazen-Williams公式 $C=100$)

| i (‰) \ d (mm) | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1,000 | 1,100 | 1,200 | 1,350 | 1,500 |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1.0 | 60.0 | 81.8 | 107.9 | 174.4 | 261.5 | 371.6 | 506.4 | 668.2 | 858.5 | 1,079 | 1,471 | 1,941 |
| 1.25 | 67.7 | 92.3 | 121.8 | 196.7 | 295.0 | 419.1 | 571.3 | 753.7 | 968.4 | 1,218 | 1,652 | 2,189 |
| 1.5 | 74.7 | 101.8 | 134.4 | 217.0 | 325.5 | 462.4 | 630.4 | 831.7 | 1,069 | 1,343 | 1,831 | 2,416 |
| 1.75 | 81.2 | 110.7 | 146.0 | 235.9 | 353.8 | 502.6 | 685.1 | 903.9 | 1,161 | 1,460 | *1,962 | *2,544 |
| 2.0 | 87.3 | 119.0 | 157.0 | 253.6 | 380.4 | 540.4 | 736.7 | 971.9 | *1,246 | *1,522 | 1,990 | 2,626 |
| 2.5 | 98.4 | 134.2 | 177.0 | 286.0 | 428.9 | *598.1 | *784.5 | *1,000 | 1,249 | 1,570 | 2,140 | 2,823 |
| 3.0 | 108.6 | 148.1 | 195.4 | *308.3 | *439.8 | 609.4 | 830.7 | 1,098 | 1,408 | 1,770 | 2,413 | — |
| 3.5 | 118.1 | *158.9 | *202.6 | 315.5 | 473.3 | 672.4 | 916.6 | 1,209 | 1,554 | 1,953 | 2,663 | — |
| 4.0 | *121.2 | 162.9 | 212.3 | 342.9 | 514.4 | 730.8 | 996.2 | 1,314 | 1,689 | 2,123 | 2,894 | — |
| 4.5 | 126.9 | 173.0 | 228.2 | 368.6 | 552.8 | 785.4 | 1,093 | 1,413 | 1,815 | 2,282 | — | — |
| 5.0 | 135.2 | 184.3 | 243.2 | 392.8 | 589.1 | 837.0 | 1,141 | 1,505 | 1,934 | 2,431 | — | — |
| 5.0 | 143.1 | 195.1 | 257.4 | 415.8 | 623.6 | 886.0 | 1,208 | 1,593 | 2,047 | 2,574 | — | — |

第3表 管内径 d (mm)

*は経済的流量 (6)式より計算

| i (‰) \ Q (ℓ /s) | 3,000 | 2,500 | 2,000 | 1,500 | 1,000 | 700 | 500 | 300 | 200 | 150 | 100 |
|----------------------------|----------|--------|--------|--------|--------|-------|------|------|------|------|--------|
| 1.0 | 1,768 | 1,469 | 1,515 | 1,358 | 1,164 | 1,017 | 895 | 737 | 631 | 566 | 485 |
| 1.25 | 1,689 | 1,576 | 1,447 | 1,298 | 1,112 | 971 | 855 | 704 | 603 | 541 | 464 |
| 1.5 | 1,627 | 1,518 | 1,394 | 1,250 | 1,071 | 936 | 823 | 678 | 581 | 521 | 447 |
| 1.75 | (*1,611) | *1,489 | 1,351 | 1,211 | 1,038 | 907 | 798 | 657 | 563 | 505 | 433 |
| 2.0 | 1,576 | 1,471 | *1,351 | *1,193 | 1,010 | 882 | 776 | 639 | 548 | 491 | 421 |
| 2.5 | 1,533 | 1,431 | 1,315 | 1,178 | *1,000 | 882 | 776 | 639 | 548 | 491 | 421 |
| 3.0 | 1,465 | 1,367 | 1,256 | 1,126 | 965 | 843 | 741 | 611 | 523 | 469 | 402 |
| 3.5 | 1,411 | 1,317 | 1,210 | 1,084 | 930 | 812 | *740 | *593 | 504 | 452 | 387 |
| 4.0 | 1,411 | 1,317 | 1,210 | 1,084 | 930 | 812 | 714 | 588 | *497 | *438 | 375 |
| 4.5 | 1,367 | 1,276 | 1,172 | 1,051 | 901 | 786 | 692 | 570 | 489 | 438 | (*368) |
| 5.0 | 1,330 | 1,241 | 1,140 | 1,022 | 876 | 765 | 673 | 555 | 475 | 426 | 365 |
| 4.5 | 1,299 | 1,212 | 1,113 | 998 | 855 | 747 | 657 | 541 | 464 | 416 | 357 |
| 5.0 | 1,271 | 1,186 | 1,089 | 977 | 837 | 731 | 643 | 530 | 454 | 407 | 349 |

第4表 動水勾配 $i(\%)$

*は経済的流量 (5)式により計算

| $Q(\ell/s)$ \ $d(mm)$ | 1,500 | 1,350 | 1,200 | 1,100 | 1,000 | 900 | 800 | 700 | 600 | 500 | 450 | 400 |
|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 3,000 | 2.255 | 3.767 | 6.684 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 2,500 | 1.609 *1.651 | 2.688 | 4.771 | 7.329 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 2,000 | 1.065 | 1.779 | 3.974 | 4.823 | 7.672 | — | — | — | — | — | — | — |
| 1,500 | 0.625 | *1.760 1.044 | *1.890 1.854 | 2.833 | 4.506 | 7.527 | — | — | — | — | — | — |
| 1,000 | — | — | 0.876 | 1.338 | 2.128 *2.110 | 3.555 | 6.309 | — | — | — | — | — |
| 800 | — | — | 0.580 | 0.885 | 1.408 | 2.353 *2.249 | 4.175 | 8.000 | — | — | — | — |
| 700 | — | — | — | 0.692 | 1.100 | 1.838 | 3.261 | 6.249 | — | — | — | — |
| 600 | — | — | — | 0.520 | 0.827 | 1.382 | 2.452 *2.415 | 4.699 | 9.954 | — | — | — |
| 500 | — | — | — | — | 0.590 | 0.986 | 1.750 | 3.353 *2.618 | 7.104 | — | — | — |
| 400 | — | — | — | — | — | 0.653 | 1.158 | 2.219 | 4.701 *2.874 | — | — | — |
| 300 | — | — | — | — | — | — | 0.680 | 1.303 | 2.761 | 6.710 | — | — |
| 250 | — | — | — | — | — | — | — | 0.930 | 1.971 | 4.789 *3.209 | 8.044 | — |
| 200 | — | — | — | — | — | — | — | 0.616 | 1.304 | 3.169 | 5.294 *3.422 | 9.394 |
| 150 | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.766 | 1.861 | 3.109 | 5.517 *3.673 |
| 100 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.840 | 1.402 | 2.489 |

第5表 動水勾配 $i(\%)$

*は経済的流量 (7)式により計算

| $v(m/s)$ \ $d(mm)$ | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1,000 | 1,100 | 1,200 | 1,350 | 1,500 |
|--------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 2.0 | (14.18) | (12.36) | (10.93) | 8.84 | 7.38 | 6.32 | 5.51 | 4.87 | 4.36 | 3.94 | 3.43 | 3.03 |
| 1.8 | (11.67) | (10.17) | 8.99 | 7.27 | 6.07 | 5.20 | 4.53 | 4.01 | 3.58 | 3.24 | 2.82 | 2.50 |
| 1.6 | 9.38 | 8.18 | 7.23 | 5.85 | 4.88 | 4.18 | 3.64 | 3.22 | 2.88 | 2.60 | 2.27 | 2.01 *1.65 |
| 1.4 | 7.33 | 6.39 | 5.65 | 4.57 | 3.81 | 3.26 | 2.84 *2.25 | 2.52 *2.11 | 2.25 *1.99 | 2.03 *1.89 | 1.77 *1.76 | 1.57 |
| 1.2 | 5.51 | 4.80 | 4.25 *3.21 | 3.43 *2.87 | 2.87 *2.62 | 2.45 *2.42 | 2.14 | 1.89 | 1.69 | 1.53 | 1.33 | 1.18 |
| 1.0 | 3.93 *3.67 | 3.43 *3.42 | 3.03 | 2.45 | 2.05 | 1.75 | 1.53 | 1.35 | 1.21 | 1.09 | 0.951 | 0.841 |
| 0.9 | 3.23 | 2.82 | 2.49 | 2.01 | 1.68 | 1.44 | 1.26 | 1.11 | 0.993 | 0.897 | 0.782 | 0.692 |
| 0.8 | 2.60 | 2.27 | 2.00 | 1.62 | 1.35 | 1.16 | 1.01 | 0.892 | 0.798 | 0.721 | 0.658 | 0.556 |
| 0.7 | 2.03 | 1.77 | 1.56 | 1.26 | 1.06 | 0.904 | 0.788 | 0.697 | 0.624 | 0.563 | — | — |
| 0.6 | 1.53 | 1.33 | 1.18 | 0.951 | 0.794 | 0.680 | 0.592 | 0.524 | — | — | — | — |
| 0.5 | 1.09 | 0.949 | 0.839 | 0.678 | 0.567 | — | — | — | — | — | — | — |

第6表 経済的流量と流速 (高級鑄鉄管)

| 内 径 $d(mm)$ | 経済的流量 $Q(\ell/s)$ | | | 経済的流速 $v(m/s)$ | | |
|----------------|-------------------|-------|-------|----------------|-------|-------|
| | 昭和37年 | 昭和28年 | 昭和12年 | 昭和37年 | 昭和28年 | 昭和12年 |
| 1,500 | 2,544 | 2,927 | 1,557 | 1.440 | 1.656 | 0.881 |
| 1,350 | 1,996 | 2,289 | 1,227 | 1.395 | 1.600 | 0.858 |
| 1,200 | 1,522 | 1,740 | 942.9 | 1.346 | 1.539 | 0.834 |
| 1,100 | 1,246 | 1,421 | 776.6 | 1.311 | 1.495 | 0.817 |
| 1,000 | 1,000 | 1,138 | 626.7 | 1.273 | 1.449 | 0.798 |
| 900 | 784.5 | 890.2 | 495.1 | 1.233 | 1.399 | 0.778 |
| 800 | 598.1 | 676.6 | 380.0 | 1.190 | 1.346 | 0.756 |

| 内 径 d (mm) | 經 濟 的 流 量 Q (ℓ/s) | | | 經 濟 的 流 速 v (m/s) | | |
|-----------------|---------------------|-------|-------|---------------------|-------|-------|
| | 昭和37年 | 昭和28年 | 昭和12年 | 昭和37年 | 昭和28年 | 昭和12年 |
| 700 | 439.8 | 495.7 | 280.9 | 1.143 | 1.288 | 0.730 |
| 600 | 308.3 | 346.1 | 198.8 | 1.091 | 1.224 | 0.703 |
| 500 | 202.6 | 226.3 | 128.8 | 1.032 | 1.153 | 0.656 |
| 450 | 158.9 | 177.1 | 101.8 | 0.999 | 1.113 | 0.640 |
| 400 | 121.2 | 134.6 | 78.0 | 0.964 | 1.071 | 0.621 |
| 350 | 89.9 | 100.5 | 57.8 | 0.935 | 1.044 | 0.601 |
| 300 | 63.8 | 71.3 | 40.9 | 0.902 | 1.009 | 0.578 |
| 250 | 42.2 | 47.6 | 27.2 | 0.865 | 0.970 | 0.554 |
| 200 | 25.8 | 29.0 | 16.5 | 0.821 | 0.923 | 0.524 |
| 150 | 13.6 | 15.3 | 7.8 | 0.769 | 0.867 | 0.489 |
| 100 | 5.5 | 6.2 | 3.5 | 0.701 | 0.793 | 0.443 |

第7表 經濟的流量・流速・勾配 昭和37年10月1日現在

| d (mm) | Q (ℓ/s) | v (m/s) | i (‰) |
|----------|-----------|-----------|---------|
| 1,500 | 2,544 | 1.440 | 1.651 |
| 1,350 | 1,996 | 1.395 | 1.760 |
| 1,200 | 1,522 | 1.346 | 1.890 |
| 1,100 | 1,246 | 1.311 | 1.992 |
| 1,000 | 1,000 | 1.273 | 2.110 |
| 900 | 785 | 1.233 | 2.249 |
| 800 | 598 | 1.190 | 2.415 |
| 700 | 440 | 1.143 | 2.618 |
| 600 | 308 | 1.091 | 2.874 |
| 500 | 203 | 1.032 | 3.209 |
| 450 | 159 | 0.999 | 3.422 |
| 400 | 121 | 0.964 | 3.673 |

第8表 一定流量時の經濟管径・流速・勾配の關係 昭和37年10月1日現在

| Q (ℓ/s) | d (mm) | v (m/s) | i (‰) | Q (ℓ/s) | d (mm) | v (m/s) | i (‰) |
|-----------|----------|-----------|---------|-----------|----------|-----------|---------|
| 3,000 | 1,611 | 1.471 | 1.581 | 1,400 | 1,157 | 1.331 | 1.932 |
| 2,900 | 1,588 | 1.465 | 1.595 | 1,300 | 1,121 | 1.318 | 1.970 |
| 2,800 | 1,564 | 1.458 | 1.610 | 1,200 | 1,082 | 1.304 | 2.011 |
| 2,700 | 1,539 | 1.451 | 1.626 | 1,100 | 1,042 | 1.289 | 2.058 |
| 2,600 | 1,514 | 1.444 | 1.642 | 1,000 | 1,000 | 1.273 | 2.110 |
| 2,500 | 1,489 | 1.439 | 1.659 | 900 | 955 | 1.256 | 2.169 |
| 2,400 | 1,462 | 1.429 | 1.677 | 800 | 908 | 1.236 | 2.238 |
| 2,300 | 1,436 | 1.421 | 1.696 | 700 | 857 | 1.215 | 2.317 |
| 2,200 | 1,408 | 1.413 | 1.715 | 600 | 801 | 1.190 | 2.413 |
| 2,100 | 1,380 | 1.404 | 1.737 | 500 | 740 | 1.162 | 2.532 |
| 2,000 | 1,351 | 1.395 | 1.759 | 400 | 672 | 1.129 | 2.684 |
| 1,900 | 1,321 | 1.386 | 1.783 | 300 | 593 | 1.087 | 2.895 |
| 1,800 | 1,291 | 1.376 | 1.807 | 200 | 497 | 1.030 | 3.220 |
| 1,700 | 1,251 | 1.365 | 1.836 | 150 | 438 | 0.992 | 3.473 |
| 1,600 | 1,226 | 1.355 | 1.865 | 100 | 368 | 0.940 | 3.863 |
| 1,500 | 1,193 | 1.343 | 1.897 | | | | |

第9表 流速公式の比較 $v(\text{met/sec})$

| 公 式 名 | 内 径 $d(\text{m})$ | $i=0.1 \%$ | $i=1 \%$ | $i=10 \%$ |
|-------------------------------------|-------------------|------------|----------|-----------|
| ① William & Hazen ($C=120$) | 0.15 | 0.08911 | 0.3090 | 1.071 |
| | 0.60 | 0.2134 | 0.7400 | 2.566 |
| | 1.50 | 0.3801 | 1.318 | 4.570 |
| ② Manning ($N=0.0106$) | 0.15 | 0.1053 | 0.3330 | 1.053 |
| | 0.60 | 0.2653 | 0.8391 | 2.653 |
| | 1.50 | 0.4888 | 1.545 | 4.888 |
| ③ Manning & Kuttés ($N=0.013$) | 0.15 | 0.08618 | 0.2725 | 0.8618 |
| | 0.60 | 0.2171 | 0.6866 | 2.171 |
| | 1.50 | 0.4000 | 1.265 | 4.000 |
| ④ Chezy | 0.15 | 0.06197 | 0.2327 | 0.7552 |
| | 0.60 | 0.1937 | 0.6859 | 2.169 |
| | 1.50 | 0.3858 | 1.278 | 4.103 |
| ⑤ Darcy | 0.15 | 0.09526 | 0.3476 | 1.164 |
| | 0.60 | 0.2249 | 0.7799 | 2.508 |
| | 1.50 | 0.3780 | 1.258 | 4.039 |

(注) DONKIN の計算を多少修正した。