各節点の所要動水圧が与えられた管網の流量計算法

各節点の所要動水圧が与えられた管網の流量計算法

森田健造

A Method of Determining the Quantity of Flow of Pipe Networks When Dynamic Water Pressure Needed at Each Nodal Point Is Given

Kenzo Morita

Abstract

In order to determine the quantity of flow of pipe networks, a method has heretofore been employed by which the quantity of flow of each pipe-line is measured with regard to such factors as the inner diameter, the distance and the veloity coefficient of the each of the pipe-lines forming the pipe networks.

In this paper the writer presents a conditional equation at each nodal point in consideration of the dynamic water pressure needed at each nodal point as well as the distance and the veloituy coefficient of each pipe-line. He introduces, through the method of least squares, a formula from which the correlate normal equation of the pipe networks and the corrected value of the diameter of each pipe-line are to be found, explains how to make these formula and equation exactly and mechanically, referring to the pipe networks, and provides some examples of measurement by this method.

1. 序　論

管網の流量計算法としては Hardy Cross 法およびその改良法を始め種々の方法が発表され，筆者も先にこれについての方法を発表した[1]。しかし従来発表された方法は主として管網を構成する各管路の内径，延長および流速係数を与えて各管路の流量を求める方法であるため，内径の決定が適切でない場合は，節点のなかには所要の動水圧を得られないもののできることもある。

本文は，各節点の動水圧面の標高および管路の延長と流速係数を与えて各節点の条件方程式を作り，最小二乗法を用いて管網全体をまとめたコリレート正規方程式と各管路の内径の補正値を求める式を導き，これより各管路の等値管径を求める方法を述べたものである[2]。この方法は三角網の角度調整法を管網の流量計算法に拡張応用したものであるが，三角網では各測点のすべての角はあらかじめ測定され既知であるから，その調整計算は1回で終るのに対し，この場合は実測角に相当する流量，換言すれば流量計算の基礎になる管径が未知であるから最

初にその値を仮定しなければならない関係上，節点条件が許容精度に達するまで繰返し計算を行なう必要がある。

2. 本法の理論

平均流速公式として Hazen–Williams 公式を用いると管路の流量を求める式は一般に

$$q = 0.27853\,CI^{0.54}D^{2.63} \qquad 〔1〕$$

で表わされ，〔1〕式で q：管路の流量 ($\mathrm{m^3/sec.}$)，D：管の内径 (m)，C：流速係数，$I=\dfrac{h}{l}$：動水勾配で h は動水圧面の標高差 (m)，たとえば図–1 で節点 (1) と (2) の動水圧面の標高をそれぞれ $H_{(1)}$ および $H_{(2)}$ とすると $h_1 = H_{(1)} - H_{(2)}$，l：管長 (m)，いま，D を mm で表わすように〔1〕式を変形すると，

$$q = 35.882\times10^{-10}\,CI^{0.54}D^{2.63} \qquad 〔2〕$$

となり，さらに q を l/sec. とし鋳鉄管に一般に用いられる $C=100$ とすると，

$$q = 35.882\times10^{-5}\,I^{0.54}D^{2.63} \qquad 〔3〕$$

〔3〕式で既知数 $35.882\times10^{-5}\,I^{0.54} = \alpha$，$D$ の指数を n とおくと，

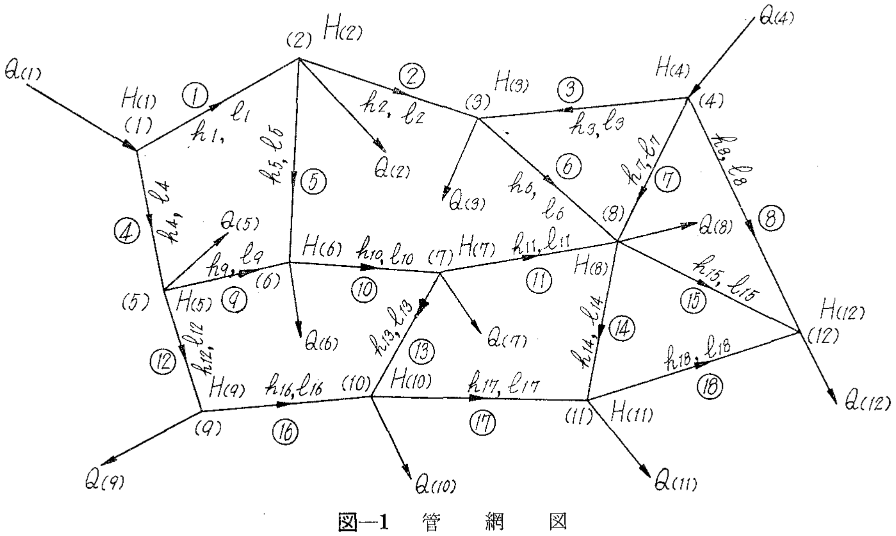
$$q = \alpha D^n \qquad 〔3'〕$$

ここで管径の変化すなわち補正値を δ とすると $(D+\delta)$ に対する流量 Q は〔3′〕式から

$$Q = \alpha(D+\delta)^n = \alpha\left\{D^n + nD^{n-1}\delta + \frac{n(n-1)}{2!}D^{n-2}\delta^2 + \cdots\cdots\right\} \qquad 〔4〕$$

〔4〕式で括弧内の第 3 項以下を小さい値として省略すると，

$$Q \doteqdot \alpha D^n + n\alpha D^{n-1}\delta = q + n\frac{\alpha D^n}{D}\delta = q + n\frac{q}{D}\delta \qquad 〔4'〕$$



図–1 管 網 図

表—1 コ リ レ ー ト 正 規 方 程 式 (図-1に関するもの)

種別	左辺 コリレート												右辺	摘要
	$K_{(1)}$	$K_{(2)}$	$K_{(3)}$	$K_{(4)}$	$K_{(5)}$	$K_{(6)}$	$K_{(7)}$	$K_{(8)}$	$K_{(9)}$	$K_{(10)}$	$K_{(11)}$	$K_{(12)}$	$\frac{w_{(j)}}{n^2}$	
(1)	$\frac{q_1}{D_1}+\frac{q_4}{D_4}$	$-\frac{q_1}{D_1}$			$-\frac{q_4}{D_4}$								$\frac{w_{(1)}}{n^2}$	$w_{(1)}=Q_{(1)}-q_1-q_4$
(2)	$-\frac{q_1}{D_1}$	$\frac{q_1}{D_1}+\frac{q_2}{D_2}+\frac{q_5}{D_5}$	$-\frac{q_2}{D_2}$			$-\frac{q_5}{D_5}$							$\frac{w_{(2)}}{n^2}$	$w_{(2)}=q_1-q_2-q_5-Q_{(2)}$
(3)		$-\frac{q_2}{D_2}$	$\frac{q_2}{D_2}+\frac{q_3}{D_3}+\frac{q_6}{D_6}$	$-\frac{q_3}{D_3}$				$-\frac{q_6}{D_6}$					$\frac{w_{(3)}}{n^2}$	$w_{(3)}=q_2+q_3-q_6-Q_{(3)}$
(4)			$-\frac{q_3}{D_3}$	$\frac{q_3}{D_3}+\frac{q_7}{D_7}+\frac{q_8}{D_8}$				$-\frac{q_7}{D_7}$				$-\frac{q_8}{D_8}$	$\frac{w_{(4)}}{n^2}$	$w_{(4)}=Q_{(4)}-q_3-q_7-q_8$
(5)	$-\frac{q_4}{D_4}$				$\frac{q_4}{D_4}+\frac{q_9}{D_9}+\frac{q_{12}}{D_{12}}$	$-\frac{q_9}{D_9}$			$-\frac{q_{12}}{D_{12}}$				$\frac{w_{(5)}}{n^2}$	$w_{(5)}=q_4-q_9-q_{12}-Q_{(5)}$
(6)		$-\frac{q_5}{D_5}$			$-\frac{q_9}{D_9}$	$\frac{q_5}{D_5}+\frac{q_9}{D_9}+\frac{q_{10}}{D_{10}}$	$-\frac{q_{10}}{D_{10}}$						$\frac{w_{(6)}}{n^2}$	$w_{(6)}=q_5+q_9-q_{10}-Q_{(6)}$
(7)						$-\frac{q_{10}}{D_{10}}$	$\frac{q_{10}}{D_{10}}+\frac{q_{11}}{D_{11}}+\frac{q_{13}}{D_{13}}$	$-\frac{q_{11}}{D_{11}}$		$-\frac{q_{13}}{D_{13}}$			$\frac{w_{(7)}}{n^2}$	$w_{(7)}=q_{10}-q_{11}-q_{13}-Q_{(7)}$
(8)			$-\frac{q_6}{D_6}$	$-\frac{q_7}{D_7}$			$-\frac{q_{11}}{D_{11}}$	$\frac{q_6}{D_6}+\frac{q_7}{D_7}+\frac{q_{11}}{D_{11}}+\frac{q_{14}}{D_{14}}+\frac{q_{15}}{D_{15}}$			$-\frac{q_{14}}{D_{14}}$	$-\frac{q_{15}}{D_{15}}$	$\frac{w_{(8)}}{n^2}$	$w_{(8)}=q_6+q_7+q_{11}-q_{14}-q_{15}-Q_{(8)}$
(9)					$-\frac{q_{12}}{D_{12}}$				$\frac{q_{12}}{D_{12}}+\frac{q_{16}}{D_{16}}$	$-\frac{q_{16}}{D_{16}}$			$\frac{w_{(9)}}{n^2}$	$w_{(9)}=q_{12}-q_{16}-Q_{(9)}$
(10)							$-\frac{q_{13}}{D_{13}}$		$-\frac{q_{16}}{D_{16}}$	$\frac{q_{13}}{D_{13}}+\frac{q_{16}}{D_{16}}+\frac{q_{17}}{D_{17}}$	$-\frac{q_{17}}{D_{17}}$		$\frac{w_{(10)}}{n^2}$	$w_{(10)}=q_{13}+q_{16}-q_{17}-Q_{(10)}$
(11)								$-\frac{q_{14}}{D_{14}}$		$-\frac{q_{17}}{D_{17}}$	$\frac{q_{14}}{D_{14}}+\frac{q_{17}}{D_{17}}+\frac{q_{18}}{D_{18}}$	$-\frac{q_{18}}{D_{18}}$	$\frac{w_{(11)}}{n^2}$	$w_{(11)}=q_{14}+q_{17}-q_{18}-Q_{(11)}$
(12)				$-\frac{q_8}{D_8}$				$-\frac{q_{15}}{D_{15}}$			$-\frac{q_{18}}{D_{18}}$	$\frac{q_8}{D_8}+\frac{q_{15}}{D_{15}}+\frac{q_{18}}{D_{18}}$	$\frac{w_{(12)}}{n^2}$	$w_{(12)}=q_8+q_{15}+q_{18}-Q_{(12)}$

いま図-1のような管網において $Q_{(i)}$ を各節点における既知の流入量はまた流出量，Q_i を各管路の流量とすると節点の条件方程式は次ぎのようになる。

節点（1）　$Q_1+Q_4=Q_{(1)}$ より　$\left(q_1+n\frac{q_1}{D_1}\delta_1\right)+\left(q_4+n\frac{q_4}{D_4}\delta_4\right)=Q_{(1)}$

$$\therefore\quad n\left(\frac{q_1}{D_1}\delta_1+\frac{q_4}{D_4}\delta_4\right)=Q_{(1)}-q_1-q_4=w_{(1)}$$

ここで $w_{(1)}$ は節点(1)の流入出量の代数和

節点（2）　$Q_2+Q_5+Q_{(2)}=Q_1$ より

$$\left(q_2+n\frac{q_2}{D_2}\delta_2\right)+\left(q_5+n\frac{q_5}{D_5}\delta_5\right)+Q_{(2)}=q_1+n\frac{q_1}{D_1}\delta_1$$

$$\therefore\quad n\left(\frac{q_2}{D_2}\delta_2+\frac{q_5}{D_5}\delta_5-\frac{q_1}{D_1}\delta_1\right)=q_1-q_2-q_5-Q_{(2)}=w_{(2)}$$

以下同様の方法で

$$(3)\quad n\left(\frac{q_6}{D_6}\delta_6-\frac{q_2}{D_2}\delta_2-\frac{q_3}{D_3}\delta_3\right)=q_2+q_3-q_6-Q_{(3)}=w_{(3)}$$

$$(4)\quad n\left(\frac{q_3}{D_3}\delta_3+\frac{q_7}{D_7}\delta_7+\frac{q_8}{D_8}\delta_8\right)=Q_{(4)}-q_3-q_7-q_8=w_{(4)}$$

$$(5)\quad n\left(-\frac{q_4}{D_4}\delta_4+\frac{q_9}{D_9}\delta_9+\frac{q_{12}}{D_{12}}\delta_{12}\right)=q_4-q_9-q_{12}-Q_{(5)}=w_{(5)}$$

$$(6)\quad n\left(\frac{q_{10}}{D_{10}}\delta_{10}-\frac{q_5}{D_5}\delta_5-\frac{q_9}{D_9}\delta_9\right)=q_5+q_9-q_{10}-Q_{(6)}=w_{(6)}$$

$$(7)\quad n\left(\frac{q_{11}}{D_{11}}\delta_{11}+\frac{q_{13}}{D_{13}}\delta_{13}-\frac{q_{10}}{D_{10}}\delta_{10}\right)=q_{10}-q_{11}-q_{13}-Q_{(7)}=w_{(7)}$$

$$(8)\quad n\left(\frac{q_{14}}{D_{14}}\delta_{14}+\frac{q_{15}}{D_{15}}\delta_{15}-\frac{q_6}{D_6}\delta_6-\frac{q_7}{D_7}\delta_7-\frac{q_{11}}{D_{11}}\delta_{11}\right)$$
$$=q_6+q_7+q_{11}-q_{14}-q_{15}-Q_{(8)}=w_{(8)}$$

$$(9)\quad n\left(\frac{q_{16}}{D_{16}}\delta_{16}-\frac{q_{12}}{D_{12}}\delta_{12}\right)=q_{12}-q_{16}-Q_{(9)}=w_{(9)}$$

$$(10)\quad n\left(\frac{q_{17}}{D_{17}}\delta_{17}-\frac{q_{13}}{D_{13}}\delta_{13}-\frac{q_{16}}{D_{16}}\delta_{16}\right)=q_{13}+q_{16}-q_{17}-Q_{(10)}=w_{(10)}$$

$$(11)\quad n\left(\frac{q_{18}}{D_{18}}\delta_{18}-\frac{q_{14}}{D_{14}}\delta_{14}-\frac{q_{17}}{D_{17}}\delta_{17}\right)=q_{14}+q_{17}-q_{18}-Q_{(11)}=w_{(11)}$$

$$(12)\quad n\left(-\frac{q_8}{D_8}\delta_8-\frac{q_{15}}{D_{15}}\delta_{15}-\frac{q_{18}}{D_{18}}\delta_{18}\right)=q_8+q_{15}+q_{18}-Q_{(2)}=w_{(12)}$$

〔5〕

各管路はそれぞれ $p_1,\ p_2,\cdots\cdots p_{18}$ の重みを有するものとし，また〔5〕の各節点条件式に対するコリレートをそれぞれ $K_{(1)},\ K_{(2)},\cdots\cdots K_{(12)}$ とし，最小二乗法の原理により，

$$W=[p\delta^2]-2K_{(1)}\left\{n\left(\frac{q_1}{D_1}\delta_1+\frac{q_4}{D_4}\delta_4\right)-w_{(1)}\right\}-2K_{(2)}\left\{n\left(\frac{q_2}{D_2}\delta_2+\frac{q_5}{D_5}\delta_5-\frac{q_1}{D_1}\delta_1\right)\right.$$
$$\left.-w_{(2)}\right\}-\cdots\cdots-2K_{(12)}\left\{-\frac{q_8}{D_8}\delta_8-\frac{q_{15}}{D_{15}}\delta_{15}-\frac{q_{18}}{D_{18}}\delta_{18}\right)-w_{(12)}\right\}$$

を最小とするために $\dfrac{\partial W}{\partial \delta}=0$ を求めると

$$\left.\begin{aligned}
\delta_1&=\frac{n}{p_1}\frac{q_1}{D_1}(K_{(1)}-K_{(2)}), & \delta_2&=\frac{n}{p_2}\frac{q_2}{D_2}(K_{(2)}-K_{(3)}),\\
\delta_3&=\frac{n}{p_3}\frac{q_3}{D_3}(K_{(4)}-K_{(3)}), & \delta_4&=\frac{n}{p_4}\frac{q_4}{D_4}(K_{(1)}-K_{(5)}),\\
\delta_5&=\frac{n}{p_5}\frac{q_5}{D_5}(K_{(2)}-K_{(6)}), & \delta_6&=\frac{n}{p_6}\frac{q_6}{D_6}(K_{(3)}-K_{(8)}),\\
\delta_7&=\frac{n}{p_7}\frac{q_7}{D_7}(K_{(4)}-K_{(8)}), & \delta_8&=\frac{n}{p_8}\frac{q_8}{D_8}(K_{(4)}-K_{(12)}),\\
\delta_9&=\frac{n}{p_9}\frac{q_9}{D_9}(K_{(5)}-K_{(6)}), & \delta_{10}&=\frac{n}{p_{10}}\frac{q_{10}}{D_{10}}(K_{(6)}-K_{(7)}),\\
\delta_{11}&=\frac{n}{p_{11}}\frac{q_{11}}{D_{11}}(K_{(7)}-K_{(8)}), & \delta_{12}&=\frac{n}{p_{12}}\frac{q_{12}}{D_{12}}(K_{(5)}-K_{(9)}),\\
\delta_{13}&=\frac{n}{p_{13}}\frac{q_{13}}{D_{13}}(K_{(7)}-K_{(10)}), & \delta_{14}&=\frac{n}{p_{14}}\frac{q_{14}}{D_{14}}(K_{(8)}-K_{(11)}),\\
\delta_{15}&=\frac{n}{p_{15}}\frac{q_{15}}{D_{15}}(K_{(8)}-K_{(12)}), & \delta_{16}&=\frac{n}{p_{16}}\frac{q_{16}}{D_{16}}(K_{(9)}-K_{(10)}),\\
\delta_{17}&=\frac{n}{p_{17}}\frac{q_{17}}{D_{17}}(K_{(10)}-K_{(11)}), & \delta_{18}&=\frac{n}{p_{18}}\frac{q_{18}}{D_{18}}(K_{(11)}-K_{(12)}),
\end{aligned}\right\}\quad [6]$$

〔6〕式に管路の重みとして $p_i=\dfrac{q_i}{D_i}$ を用いると

$$\left.\begin{aligned}
\delta_1&=n(K_{(1)}-K_{(2)}), & \delta_2&=n(K_{(2)}-K_{(3)}), & \delta_3&=n(K_{(4)}-K_{(3)}),\\
\delta_4&=n(K_{(1)}-K_{(5)}), & \delta_5&=n(K_{(2)}-K_{(6)}), & \delta_6&=n(K_{(3)}-K_{(8)}),\\
\delta_7&=n(K_{(4)}-K_{(8)}), & \delta_8&=n(K_{(4)}-K_{(12)}), & \delta_9&=n(K_{(5)}-K_{(6)}),\\
\delta_{10}&=n(K_{(6)}-K_{(7)}), & \delta_{11}&=n(K_{(7)}-K_{(8)}), & \delta_{12}&=n(K_{(5)}-K_{(9)}),\\
\delta_{13}&=n(K_{(7)}-K_{(10)}), & \delta_{14}&=n(K_{(8)}-K_{(11)}), & \delta_{15}&=n(K_{(8)}-K_{(12)}),\\
\delta_{16}&=n(K_{(9)}-K_{(10)}), & \delta_{17}&=n(K_{(10)}-K_{(11)}), & \delta_{18}&=n(K_{(11)}-K_{(12)}),
\end{aligned}\right\}\quad [6']$$

〔6′〕式を条件方程式〔5〕に代入すればコリレート正規方程式が求められ，この式のコリレートの係数を抜き出して配列すると 表-1 のようになる。

3. 理論式の機械的作製法

表-1のコリレート正規方程式および管径の補正値を求める式〔6′〕は上記のように一定の計算手続きで誘導したものであるが，これらの式を検討するとそれぞれ一定の規則正しい性質を有するから，それを利用すれば式の作製は図上を参照しながら機械的に正確に行なうことができる。すなわち，

(1), コリレート正規方程式は各節点に1箇ずつ成立し，これらの各式にはその節点のコリレートと，その節点に連絡する管路の他の節点のコリレートが存在し，前者のコリレートに対する係数はその節点に集まる管路の $\frac{q}{D}$ の和(ただし正号)で方程式全体として左肩からの対角線係数になり，後者のコリレートの係数はその節点に連絡する管路の $\frac{q}{D}$ (ただし負号)で対角線係数を軸にして対称に配列される。なお右辺の $w_{(j)}$ は各節点の流入出量の代数和で表わされる。

(2), 管径の補正値 δ を求める一般式は

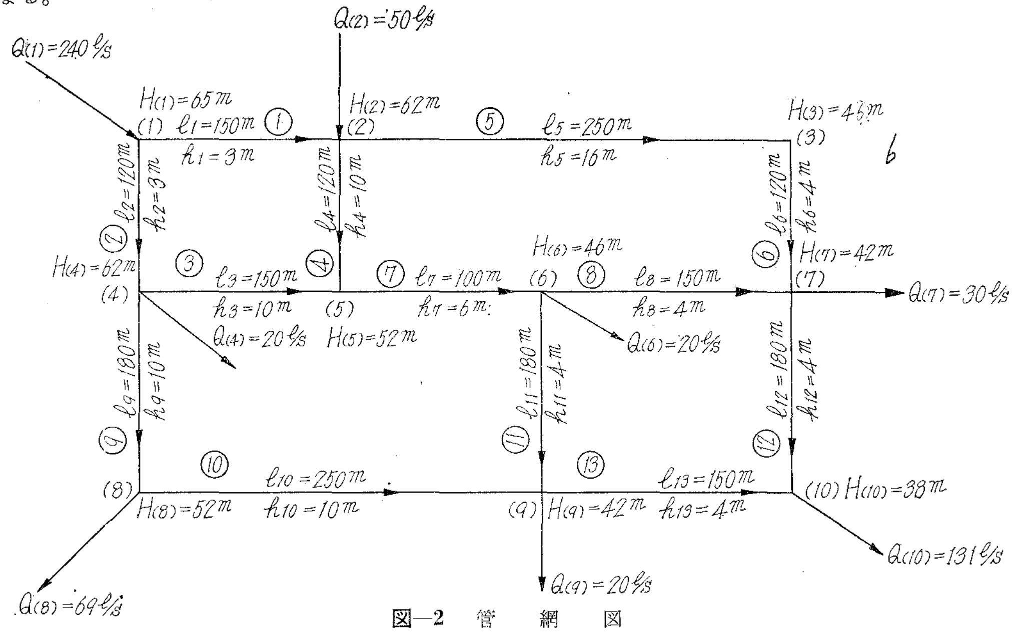
$$\delta=n\left[\text{求める管路の}\left\{(\text{動水圧面の高い節点コリレート})-(\text{動水圧面の低い節点コリレート})\right\}\right]$$

すなわちこの方法によると管網図を参照するだけで，以上の理論式は簡単に機械的に作製され且つ式の照査も極めて容易である。

4. 計　算　例

その 1.

図-2の管網図に対し上記の機械的作製法を用いると，管径の補正値 δ を求める式〔7〕およびコリレート正規方程式 表-2が得られ，これらを用いての計算の経過を示すと 表-3のようになる。

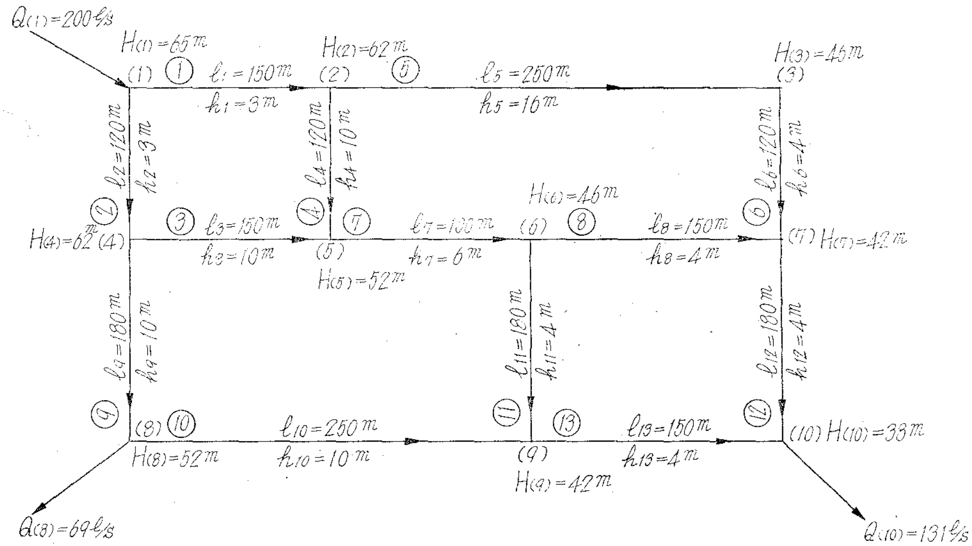


図—2　管　網　図

$$
\left.
\begin{aligned}
&\delta_1 = n(K_{(1)} - K_{(2)}), && \delta_2 = n(K_{(1)} - K_{(4)}),\\
&\delta_3 = n(K_{(4)} - K_{(5)}), && \delta_4 = n(K_{(2)} - K_{(5)}),\\
&\delta_5 = n(K_{(2)} - K_{(3)}), && \delta_6 = n(K_{(3)} - K_{(7)}),\\
&\delta_7 = n(K_{(5)} - K_{(6)}), && \delta_8 = n(K_{(6)} - K_{(7)}),\\
&\delta_9 = n(K_{(4)} - K_{(8)}), && \delta_{10} = n(K_{(8)} - K_{(9)}),\\
&\delta_{11} = n(K_{(6)} - K_{(9)}), && \delta_{12} = n(K_{(7)} - K_{(10)}),\\
&\delta_{13} = n(K_{(9)} - K_{(10)}), &&
\end{aligned}
\right\}
\quad [7]
$$

その 2.

図-3 に対する管径の補正値を求める式は前例その 1 の〔7〕式と同じく，コリレート正規方程式は表-4 で示される。本例は北海道大学計算センター所属の電子計算機 HIPAC 103 を利用し図-4 のフローチャートに従って作製したプログラムによって計算し，その結果を表-5 に示した。



図—3 管 網 図

表—2　コリレート正規方程式（図-2に関するもの）

種別	左辺 コリレート										右辺	摘要
	$K_{(1)}$	$K_{(2)}$	$K_{(3)}$	$K_{(4)}$	$K_{(5)}$	$K_{(6)}$	$K_{(7)}$	$K_{(8)}$	$K_{(9)}$	$K_{(10)}$	$\frac{w_{(j)}}{n^2}$	
(1)	$\frac{q_1}{D_1}+\frac{q_2}{D_2}$	$-\frac{q_1}{D_1}$		$-\frac{q_2}{D_2}$							$\frac{w_{(1)}}{n^2}$	$w_{(1)}=240-q_1-q_2$
(2)	$-\frac{q_1}{D_1}$	$\frac{q_1}{D_1}+\frac{q_4}{D_4}+\frac{q_5}{D_5}$	$-\frac{q_5}{D_5}$		$-\frac{q_4}{D_4}$						$\frac{w_{(2)}}{n^2}$	$w_{(2)}=q_1+50-q_4-q_5$
(3)		$-\frac{q_5}{D_5}$	$\frac{q_5}{D_5}+\frac{q_6}{D_6}$				$-\frac{q_6}{D_6}$				$\frac{w_{(3)}}{n^2}$	$w_{(3)}=q_5-q_6$
(4)	$-\frac{q_2}{D_2}$			$\frac{q_2}{D_2}+\frac{q_3}{D_3}+\frac{q_4}{D_4}$	$-\frac{q_3}{D_3}$			$-\frac{q_9}{D_9}$			$\frac{w_{(4)}}{n^2}$	$w_{(4)}=q_2-q_3-q_9-20$
(5)		$-\frac{q_4}{D_4}$		$-\frac{q_3}{D_3}$	$\frac{q_3}{D_3}+\frac{q_4}{D_4}+\frac{q_7}{D_7}$	$-\frac{q_7}{D_7}$					$\frac{w_{(5)}}{n^2}$	$w_{(5)}=q_3+q_4-q_7$
(6)					$-\frac{q_7}{D_7}$	$\frac{q_7}{D_7}+\frac{q_8}{D_8}+\frac{q_{11}}{D_{11}}$	$-\frac{q_8}{D_8}$		$-\frac{q_{11}}{D_{11}}$		$\frac{w_{(6)}}{n^2}$	$w_{(6)}=q_7-q_8-q_{11}-20$
(7)			$-\frac{q_6}{D_6}$			$-\frac{q_8}{D_8}$	$\frac{q_6}{D_6}+\frac{q_8}{D_8}+\frac{q_{12}}{D_{12}}$			$-\frac{q_{12}}{D_{12}}$	$\frac{w_{(7)}}{n^2}$	$w_{(7)}=q_6+q_8-q_{12}-30$
(8)				$-\frac{q_9}{D_9}$				$\frac{q_9}{D_9}+\frac{q_{10}}{D_{10}}$	$-\frac{q_{10}}{D_{10}}$		$\frac{w_{(8)}}{n^2}$	$w_{(8)}=q_9-q_{10}-69$
(9)						$-\frac{q_{11}}{D_{11}}$		$-\frac{q_{10}}{D_{11}}$	$\frac{q_{10}}{D_{10}}+\frac{q_{11}}{D_{11}}+\frac{q_{13}}{D_{13}}$	$-\frac{q_{13}}{D_{14}}$	$\frac{w_{(9)}}{n^2}$	$w_{(9)}=q_{10}+q_{11}-q_{13}-20$
(10)							$-\frac{q_{12}}{D_{12}}$		$-\frac{q_{13}}{D_{13}}$	$\frac{q_{12}}{D_{12}}+\frac{q_{13}}{D_{13}}$	$\frac{w_{(10)}}{n^2}$	$w_{(10)}=q_{12}+q_{13}-131$

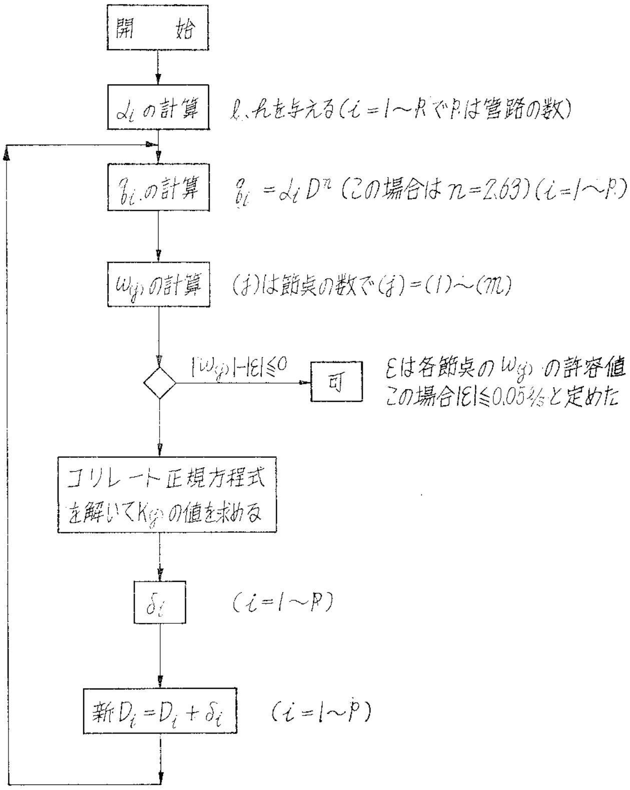
表—3　(図-2 および 表-2 に関するもの)

種類		既知数				仮定値						第1次修正						第1次修正の結果		
節点	管路	l	h	$\left(\frac{h}{l}\right)^{0.54}$	α	D_0	$D_0^{2.63}$	$q_0=\alpha D_0^{2.63}$	$\frac{q_0}{D_0}$	K	δ_0	$D_1=D_0+\delta_0$	$D_1^{2.63}$	$q_1=\alpha D_1^{2.63}$	$\frac{q_1}{D_1}$	K	δ_1	$D_2=D_1+\delta_1$	$D_2^{2.63}$	$q_2=\alpha D_2^{2.63}$
					$(\times 10^{-5})$		$\times 10^5$						$\times 10^5$						$\times 10^5$	
(1)	1	150	3	0.12094	4.33943	255	21.34300	92.62	0.36	$K_1=+1.61$	−2.13	252.87	20.86280	90.533	0.358	$K_1=-0.34$	−0.39	252.48	20.79010	90.217
	2	120	3	0.13642	4.89513	285	28.59180	139.90	0.49		+7.36	292.36	30.57548	149.671	0.512		+0.18	292.54	30.62440	149.912
							$w_{(1)}=+7.48$	$\frac{w_{(1)}}{n^2}=+1.081$		$\Sigma\frac{q}{D}=0.85$			$w_{(1)}=-0.204$	$\frac{w_{(1)}}{n^2}=-0.029$		$\Sigma\frac{q}{D}=0.870$			$w_{(1)}=-0.129$	
(2)	1	150	3	0.12094	4.33943	255	21.34300	92.62	0.36	$K_2=+2.42$	−2.13	252.87	20.86280	90.533	0.358	$K_2=-0.19$	−0.39	252.48	20.79010	90.217
	4	120	10	0.26136	9.37798	175	7.92848	74.35	0.42		+5.55	180.55	8.60700	80.716	0.447		−0.26	180.29	8.57443	80.411
	5	250	16	0.22663	8.13194	170	7.34650	59.74	0.35		+0.37	170.37	7.38860	60.084	0.353		−0.32	170.05	7.35219	59.788
							$w_{(2)}=+8.53$	$\frac{w_{(2)}}{n^2}=+1.233$		$\Sigma\frac{q}{D}=1.13$			$w_{(2)}=-0.267$	$\frac{w_{(2)}}{n^2}=-0.039$		$\Sigma\frac{q}{D}=1.158$			$w_{(2)}=+0.018$	
(3)	5	250	16	0.22663	8.13194	170	7.34650	59.74	0.35	$K_3=+2.28$	+0.37	170.37	7.38860	60.084	0.353	$K_3=-0.07$	−0.32	170.05	7.35219	59.788
	6	120	4	0.15935	5.71780	190	9.84288	56.28	0.30		+4.87	194.87	10.52030	60.153	0.309		+0.11	194.98	10.53600	59.940
							$w_{(3)}=+3.46$	$\frac{w_{(3)}}{n^2}=+0.500$		$\Sigma\frac{q}{D}=0.65$			$w_{(3)}=-0.069$	$\frac{w_{(3)}}{n^2}=-0.010$		$\Sigma\frac{q}{D}=0.662$			$w_{(3)}=-0.152$	
(4)	2	120	3	0.13642	4.89513	285	28.59180	139.90	0.49	$K_4=-1.19$	+7.36	292.36	30.57548	149.671	0.512	$K_4=-0.41$	+0.18	292.54	30.62440	149.912
	3	150	10	0.23170	8.31379	145	4.83500	40.20	0.28		−3.95	141.05	4.49626	37.381	0.265		−0.84	140.21	4.42618	36.998
	9	180	10	0.20997	7.53411	200	11.26430	84.87	0.42		+6.39	206.39	12.23580	92.186	0.452		+0.82	207.21	12.36400	93.152
							$w_{(4)}=-5.17$	$\frac{w_{(4)}}{n^2}=-0.747$		$\Sigma\frac{q}{D}=1.19$			$w_{(4)}=+0.104$	$\frac{w_{(4)}}{n^2}=+0.015$		$\Sigma\frac{q}{D}=1.229$			$w_{(4)}=-0.238$	
(5)	3	150	10	0.23170	8.31379	145	4.83500	40.20	0.28	$K_5=+0.31$	−3.95	141.05	4.49626	37.381	0.265	$K_5=-0.09$	−0.84	140.21	4.42618	36.998
	4	120	10	0.26136	9.37798	175	7.92848	74.35	0.42		+5.55	180.55	8.60700	80.716	0.447		−0.26	180.29	8.57443	80.411
	7	100	6	0.21888	7.35378	230	16.26840	119.63	0.52		−1.34	228.66	16.02300	117.830	0.515		+0.03	228.69	16.02580	117.450
							$w_{(5)}=-0.58$	$\frac{w_{(5)}}{n^2}=-0.734$		$\Sigma\frac{q}{D}=1.22$			$w_{(5)}=+0.267$	$\frac{w_{(5)}}{n^2}=+0.039$		$\Sigma\frac{q}{D}=1.227$			$w_{(5)}=-0.046$	
(6)	7	100	6	0.21888	7.35378	230	16.26840	119.63	0.52	$K_6=+0.82$	−1.34	228.66	16.02300	117.830	0.515	$K_6=+0.10$	+0.03	228.69	16.02580	117.450
	8	150	4	0.14127	5.06887	175	7.92848	40.19	0.23		+1.03	176.03	8.05180	40.814	0.232		−0.03	176.00	8.04820	40.795
	11	180	4	0.12802	4.59347	200	11.26440	51.74	0.26		+7.78	207.78	12.45370	57.206	0.275		−1.18	206.60	12.26850	56.355
							$w_{(6)}=+7.70$	$\frac{w_{(6)}}{n^2}=+1.113$		$\Sigma\frac{q}{D}=1.01$			$w_{(6)}=-0.190$	$\frac{w_{(6)}}{n^2}=-0.027$		$\Sigma\frac{q}{D}=1.022$			$w_{(6)}=+0.300$	
(7)	6	120	4	0.15935	5.71780	190	9.84288	56.28	0.30	$K_7=+0.43$	+4.87	194.87	10.52030	60.153	0.309	$K_7=+0.11$	+0.11	194.98	10.53600	59.940
	8	150	4	0.14127	5.06887	175	7.92848	40.19	0.23		+1.03	176.03	8.05180	40.814	0.232		−0.03	176.00	8.04820	40.795
	12	180	4	0.12802	4.59347	220	14.47350	66.48	0.30		+5.65	225.65	15.47160	71.068	0.315		−0.66	224.99	15.35290	70.523
							$w_{(7)}=-0.01$	$\frac{w_{(7)}}{n^2}=-0.001$		$\Sigma\frac{q}{D}=0.83$			$w_{(7)}=-0.101$	$\frac{w_{(7)}}{n^2}=-0.015$		$\Sigma\frac{q}{D}=0.856$			$w_{(7)}=+0.215$	
(8)	9	180	10	0.20997	7.53411	200	11.26430	84.87	0.42	$K_8=-3.62$	+6.39	206.39	12.23580	92.186	0.452	$K_8=-0.72$	+0.82	207.21	12.36400	93.152
	10	250	10	0.17584	6.30942	140	4.40876	27.82	0.20		−3.89	136.11	4.09384	25.830	0.190		−3.34	132.77	3.83490	24.196
							$w_{(8)}=-8.95$	$\frac{w_{(8)}}{n^2}=-1.728$		$\Sigma\frac{q}{D}=0.62$			$w_{(8)}=-2.644$	$\frac{w_{(8)}}{n^2}=-0.382$		$\Sigma\frac{q}{D}=0.642$			$w_{(8)}=-0.044$	
(9)	10	250	10	0.17584	6.30942	140	4.40876	27.82	0.20	$K_9=-2.14$	−3.89	136.11	4.09384	25.830	0.190	$K_9=+0.55$	−3.34	132.77	3.83490	24.196
	11	180	4	0.12802	4.59347	200	11.26440	51.74	0.26		+7.78	207.78	12.45370	57.206	0.275		−1.18	206.60	12.26850	56.355
	13	150	4	0.14127	5.06887	205	12.02020	60.93	0.30		−1.10	203.90	11.85130	60.073	0.295		+0.50	203.40	11.77500	59.990
							$w_{(9)}=-4.37$	$\frac{w_{(9)}}{n^2}=-0.198$		$\Sigma\frac{q}{D}=0.76$			$w_{(9)}=+2.963$	$\frac{w_{(9)}}{n^2}=+0.428$		$\Sigma\frac{q}{D}=0.760$			$w_{(9)}=+0.561$	
(10)	12	180	4	0.12802	4.59347	220	14.47350	66.48	0.30	$K_{10}=-1.72$	+5.65	225.65	15.47160	71.068	0.315	$K_{10}=+0.36$	−0.66	224.99	15.35290	70.523
	13	150	4	0.14127	5.06887	205	12.02020	60.93	0.30		−1.10	203.90	11.85130	60.073	0.295		+0.50	203.40	11.77500	59.990
							$w_{(10)}=-3.59$	$\frac{w_{(10)}}{n^2}=-0.519$		$\Sigma\frac{q}{D}=0.60$			$w_{(10)}=+0.141$	$\frac{w_{(10)}}{n^2}=+0.020$		$\Sigma\frac{q}{D}=0.610$			$w_{(10)}=-0.487$	

注　本表の単位は l と h は m, D と δ は mm, q と $w_{(j)}$ は ℓ/s とし, $C=100$ として計算。

表—4 (図-3 に関するもの)

種別	左辺										右辺	摘要
	コリレート											
	$K_{(1)}$	$K_{(2)}$	$K_{(3)}$	$K_{(4)}$	$K_{(5)}$	$K_{(6)}$	$K_{(7)}$	$K_{(8)}$	$K_{(9)}$	$K_{(10)}$	$\frac{w_{(j)}}{n^2}$	
(1)	$\frac{q_1}{D_1}+\frac{q_2}{D_2}$	$-\frac{q_1}{D_1}$		$-\frac{q_2}{D_2}$							$\frac{w_{(1)}}{n^2}$	$w_{(1)}=200-q_1-q_2$
(2)	$-\frac{q_1}{D_1}$	$\frac{q_1}{D_1}+\frac{q_4}{D_4}+\frac{q_5}{D_5}$	$-\frac{q_5}{D_5}$		$-\frac{q_4}{D_4}$						$\frac{w_{(2)}}{n^2}$	$w_{(2)}=q_1-q_4-q_5$
(3)		$-\frac{q_5}{D_5}$	$\frac{q_5}{D_5}+\frac{q_6}{D_6}$				$-\frac{q_6}{D_6}$				$\frac{w_{(3)}}{n^2}$	$w_{(3)}=q_5-q_6$
(4)	$-\frac{q_2}{D_2}$			$\frac{q_2}{D_2}+\frac{q_3}{D_3}+\frac{q_9}{D_9}$	$-\frac{q_3}{D_3}$			$-\frac{q_9}{D_9}$			$\frac{w_{(4)}}{n^2}$	$w_{(4)}=q_2-q_3-q_9$
(5)		$-\frac{q_4}{D_4}$		$-\frac{q_3}{D_3}$	$\frac{q_3}{D_3}+\frac{q_4}{D_4}+\frac{q_7}{D_7}$	$-\frac{q_7}{D_7}$					$\frac{w_{(5)}}{n^2}$	$w_{(5)}=q_3+q_4-q_7$
(6)					$-\frac{q_7}{D_7}$	$\frac{q_7}{D_7}+\frac{q_8}{D_8}+\frac{q_{11}}{D_{11}}$	$-\frac{q_8}{D_8}$		$-\frac{q_{11}}{D_{11}}$		$\frac{w_{(6)}}{n^2}$	$w_{(6)}=q_7-q_8-q_{11}$
(7)			$-\frac{q_6}{D_6}$			$-\frac{q_8}{D_8}$	$\frac{q_6}{D_6}+\frac{q_8}{D_8}+\frac{q_{12}}{D_{12}}$			$-\frac{q_{12}}{D_{12}}$	$\frac{w_{(7)}}{n^2}$	$w_{(7)}=q_6+q_8-q_{12}$
(8)				$-\frac{q_9}{D_9}$				$\frac{q_9}{D_9}+\frac{q_{10}}{D_{10}}$	$-\frac{q_{10}}{D_{10}}$		$\frac{w_{(8)}}{n^2}$	$w_{(8)}=q_9-q_{10}-69$
(9)						$-\frac{q_{11}}{D_{11}}$		$-\frac{q_{10}}{D_{10}}$	$\frac{q_{10}}{D_{10}}+\frac{q_{11}}{D_{11}}+\frac{q_{13}}{D_{13}}$	$-\frac{q_{13}}{D_{13}}$	$\frac{w_{(9)}}{n^2}$	$w_{(9)}=q_{10}+q_{11}-q_{13}$
(10)							$-\frac{q_{12}}{D_{12}}$		$-\frac{q_{13}}{D_{13}}$	$\frac{q_{12}}{D_{12}}+\frac{q_{13}}{D_{13}}$	$\frac{w_{(10)}}{n^2}$	$w_{(10)}=q_{12}+{}_{13}-131$



図—4　逐次計算のフローチャート

以上求めた値は等値管径であるから，実際にはこれを規格管に置換しなければならない。それには前記〔3〕式

$$q=35.882\times10^{-5}I^{0.54}D^{2.63}=35.882\times10^{-5}\left(\frac{h}{l}\right)^{0.54}D^{2.63}$$

より

$$h=\frac{q^{1.85}l\times10^{9.25}}{(35.882)^{1.85}D^{4.8655}}$$

となるから１本の等値管 D を２本の規格管 D_1 および D_2 に変換するには

$$h=\frac{q^{1.85}\times10^{9.25}}{(35.882)^{1.85}}\left(\frac{l_1}{D_1^{4.8865}}+\frac{l-l_1}{D_2^{4.8865}}\right)$$

より D_1 および D_2 の長さが求められる。たとえば計算例その２を，これに最も近接する規格管に置換すると表-6のようになる。

表—5　(図-3 に関するもの……HIPAC 103 で計算の結果)　　　$C=100$

種別		既知数		仮定値		第1次修正		第1次修正の結果	
節点	管路	l	h	D	q	D	q	D	q
(1)	1	150	3	250	87.905	244.145	82.594	243.107	81.673
	2	120	3	250	99.162	267.587	118.576	267.376	118.330
				$w_{(1)}=+12.932$		$w_{(1)}=-1.170$		$w_{(1)}=-0.003$	
(2)	1	150	3	250	87.905	244.145	82.594	243.107	81.673
	4	120	10	150	49.572	147.736	47.629	146.907	46.929
	5	250	16	150	42.987	139.252	35.352	138.342	34.747
				$w_{(2)}=-4.654$		$w_{(2)}=-0.387$		$w_{(2)}=-0.003$	
(3)	5	250	16	150	42.987	139.252	35.352	138.342	34.747
	6	120	4	150	30.224	158.798	35.112	158.165	35.745
				$w_{(3)}=+12.763$		$w_{(3)}=-0.240$		$w_{(3)}=+0.002$	
(4)	3	120	3	250	99.162	267.587	118.576	267.376	118.330
	2	150	10	150	43.945	124.294	26.804	122.638	25.874
	9	180	10	200	84.867	207.620	93.636	206.633	92.471
				$w_{(4)}=-29.649$		$w_{(4)}=-1.864$		$w_{(4)}=-0.015$	
(5)	3	150	10	250	43.945	124.294	26.804	122.638	25.874
	4	120	10	150	49.572	147.736	47.629	146.907	46.929
	7	100	6	200	88.468	185.624	72.708	185.703	72.790
				$w_{(5)}=+5.049$		$w_{(5)}=+1.724$		$w_{(5)}=+0.013$	
(6)	7	100	6	200	88.468	185.624	72.708	185.703	72.790
	8	150	4	150	26.793	164.690	34.256	163.896	33.823
	11	180	4	150	24.281	182.343	40.577	179.594	38.988
				$w_{(6)}=+37.395$		$w_{(6)}=-2.124$		$w_{(6)}=-0.021$	
(7)	6	120	4	150	30.224	158.798	35.112	158.165	34.745
	8	150	4	150	26.793	164.690	34.256	113.896	33.823
	12	180	4	200	51.743	224.745	70.321	222.612	68.579
				$w_{(7)}=+5.274$		$w_{(7)}=-0.954$		$w_{(7)}=-0.011$	
(8)	9	180	10	200	84.867	207.620	93.636	206.633	92.471
	10	250	10	150	33.351	134.642	25.103	131.303	23.499
				$w_{(8)}=-17.484$		$w_{(8)}=-0.467$		$w_{(8)}=-0.028$	
(9)	10	250	10	150	33.351	136.642	25.103	131.303	33.499
	11	180	4	150	24.281	182.343	40.577	179.594	38.988
	13	150	4	200	57.096	207.091	62.575	206.914	62.438
				$w_{(9)}=+0.535$		$w_{(9)}=+3.105$		$w_{(9)}=+0.049$	
(10)	12	180	4	200	51.743	224.745	70.321	222.612	68.575
	13	150	4	200	57.096	207.091	62.575	206.914	624.38
				$w_{(10)}=-22.161$		$w_{(10)}=+1.896$		$w_{(10)}=+0.017$	

注，表中の単位は，l と h は m，D は mm，q と $w_{(j)}$ は ℓ/s.

表—6　(等置管を規格管に置換)

管路	等置管		規格管				管路	等置管		規格管			
	D	l	D_1	l_1	D_2	l-l_1		D	l	D_1	l_1	D_2	l-l_1
1	243.107	150	200	10.8	250	139.2	8	163.896	150	150	79.8	200	70.2
2	267.376	120	250	62.5	300	57.4	9	206.633	180	200	139.4	250	40.6
3	122.638	150	100	7.2	125	142.8	10	131.303	250	125	158.4	150	91.6
4	146.907	120	125	8.7	150	111.3	11	179.594	180	150	40.2	200	139.8
5	138.342	250	125	83.7	150	166.3	12	222.612	180	200	69.0	250	111.0
6	158.165	120	150	83.3	200	36.7	13	206.914	150	200	114.8	250	35.2
7	185.703	100	150	14.1	200	85.9							

本表の単位は D は mm, l はm.

5. 結　　び

本文の要旨は次ぎの通りである。

1) 従来の計算法はあらかじめ管径を与えて流量計算を行なうため，その結果各節点における動水圧の値は必ずしも所定のものを得られず，従って動水圧不足の点に対してはそれを満足するように配水池の位置を変更するか，またはポンプ増圧を必要とするが，本法のように各節点の所要圧力を与えるようにあらかじめ定めると流向は自然に定まるから，管径をこれに合致するように決定すればよく地形上己むを得ない場合のほかポンプ増圧の必要をなくすることができる。

2) 節点の所要動水圧面を決定して管網図に流向を記入すれば，管径の補正値 δ を求める式およびコリレート正規方程式は一定の計算手続きをしなくても図上を参照しながら前記のように機械的にきわめて正確に求められ且つ誤りの発見も容易であり，このことから管網の節点数が増加し複雑になってもこれらの式の作製に対する時間の増加は極めて僅かである。

終りに，前記のように本文中の計算例その2に対し，北大計算センター所属の電子計算機を利用して計算を行なったが，これに対しては北大工学部芳村仁博士の御厚意を受けたことを付記し深く感謝の意を表す。

(昭和41年4月30日受理)

文　　献

1) 森田健造： 管網の流量計算について，室蘭工業大学研究報告，2，3.
森田健造： 管網の流量計算について (第2報)，室蘭工業大学研究報告，5，1.
森田健造： 管網流量計算の一方法について，日本水道協会第16回全国水道研究発表会.
2) 保野健次郎： 管網計算法に関する2，3の研究，日本水道協会第16回全国水道研究発表会.
(保野は上記の講演集に，各放流点に任意の所要水圧を与える計算例に対する計算結果の値を記載しているが，計算方法には触れていない。)