

HARP 103 による管網計算について

名古屋工業大学 杉 山 錦 雄

1. まえがき

上水道の配水管網を始めとし、都市ガス配管網などの流量計算は、通常流水条件を満足するように流量を仮定し、その仮定流量を反覆補正する方法が用いられる。そこで、電子計算機の最も得意とするくり返し演算に依存し、管網の流量計算を行うものである。

管網計算の反覆法は、大別して、Hardy Cross法、およびその改良法、並びに連立一次方程式による解法およびその厳密解法に分類することができる。また、Hardy Crossの改良型には、流量補正值を与える計算式を変形し計算を能率的に行うことを目的としたものと流量補正值の過修正を調整し収斂性を高めることを目的としたものがある。

これらの方法の中で、Fair 法および連立一次方程式による解法を用いて、それぞれが、1・2の条件式を挿入すれば、すべての管網計算（計算機の記憶容量以内）を可能にするプログラムについて述べるとともに、この2解法の能率について比解検討を加えることとする。

2. 流量計算式

平均流速公式として、Williams-Hazen 公式を用い、流向を考慮した摩擦損失水頭は式(1)の如くなる。

$$H_{ij} = R_{ij} \cdot Q_{ij}^{1.46/0.54} \dots \dots \dots (1)$$

ただし

$$R_{ij} = \frac{10.67 C^{-1.49} L_{ij}^{4.73} (Q_{ij}^{0.54})^{1.46}}{(C)^{1.49} \cdot D_{ij}^{4.73/0.54}}$$

ここに、iは管網中の閉管路を示し、jは閉管路を構成する管路を示す。また、Cは流速係数、Hは摩擦損失水頭(m)、Dは管口径(mm)、Lは管路長(km)、Qは流量(m³/sec)である。

A) Fair 法によるi閉管路の流量補正值△Q_i

$$\begin{aligned} \Delta Q_i &= -0.54 \Sigma H_{ij} / \Sigma (H_{ij} / Q_{ij}) \\ &= -0.54 \Sigma H_{ij} / \Sigma K_{ij} \dots \dots \dots (2) \end{aligned}$$

ただし、

$$K_{ij} = H_{ij} / Q_{ij}$$

B) 連立一次方程式法による流量補正值

各閉管路の流量補正值は $i = 1, 2, \dots, n$ について、式-(3)に示す n 元一次方程式の解で与えられる。

$$\sum K_{ij} \cdot \Delta Q_i - \sum_{(i')} (\sum_{(k)} K_{ik'} \cdot \Delta Q_k) = -0.54 \sum H_{ij} \quad \dots\dots (3)$$

ただし、 $\sum_{(i)} K_{ik'}$ は i 閉管路に隣接する k 閉管路と共通する管路の K 閉管路ごとの総和を意味し、 $\sum_{(i)}$ は i 閉管に隣接する閉管路すべてについてという意味がある。なお、隣接管路が内接閉管路のものについては K_{ik} の符号は (+) となる。

また、連立一次方程式の未知数 ΔQ_i の係数を A_{ij} とすれば

$$A_{ij} = A_{ji} \quad (i \neq j) \quad \dots\dots\dots (4)$$

なる性質を有する。

3. プログラムの概要

プログラムの Output の条件としては、管網中の各閉管路の損失水頭の絶対値の最大値 $|\sum H_{ij}|_{max}$ が許容閉合誤差以内になれば計算を完了するようにした。

A) Input data

- (1) N : 閉管路数
- (2) LL : 流量の単位が m^3/sec , $m^3/hour$, lit/sec のいずれかによって、それぞれ 1, 2, 3 の値を使用する。
- (3) E : 許容閉合損失水頭誤差 (m)
- (4) M_i : $i = 1 \sim N$ の閉管路を構成する管路数。
- (5) C_{ij} , L_{ij} , D_{ij} , Q_{ij} : $i = 1 \sim N$ に対し、それぞれ $j = 1 \sim M_i$ についての流速係数、管路長 (km)、管口径 (mm)、流量 (m^3/sec , $m^3/hour$, lit/sec)

B) Output

- (1) i , j , 管路長、管口径、流速係数、流量、動水勾配、損失水頭
- (2) 各閉管路の閉合誤差
- (3) くり返し演算回数。

C) プログラムのフロー・チャート

図-1-A に Fair 法、図-1-B に連立一次方程式法によるフロー・チャートを示す。

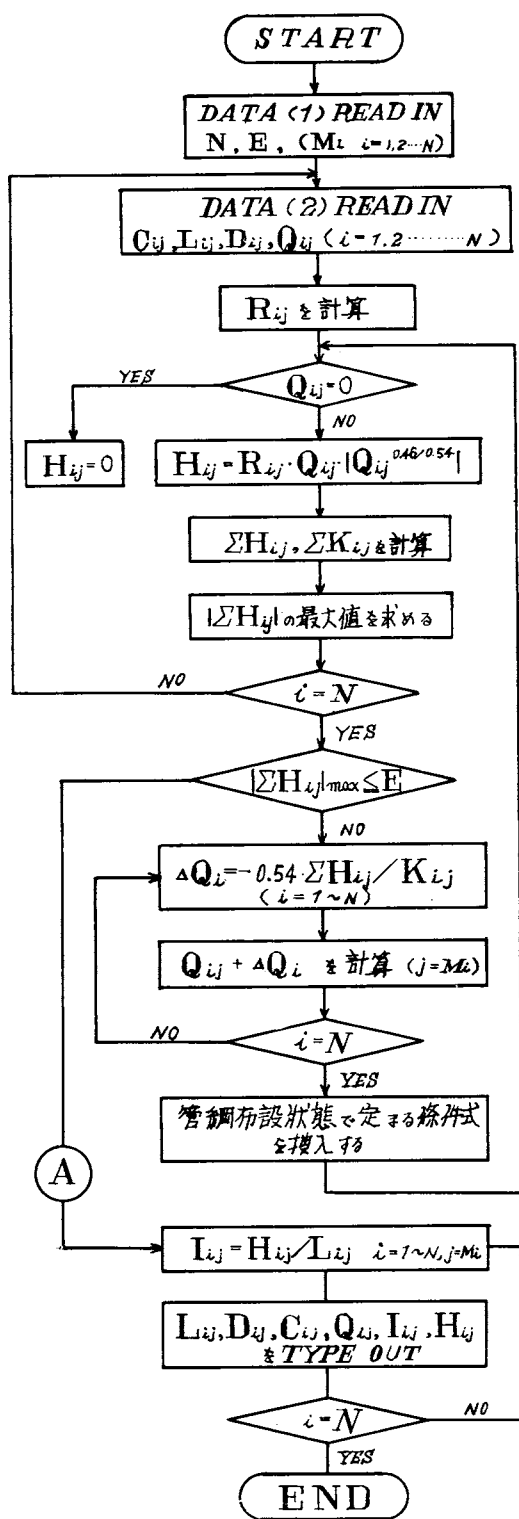


図 - 1 - A

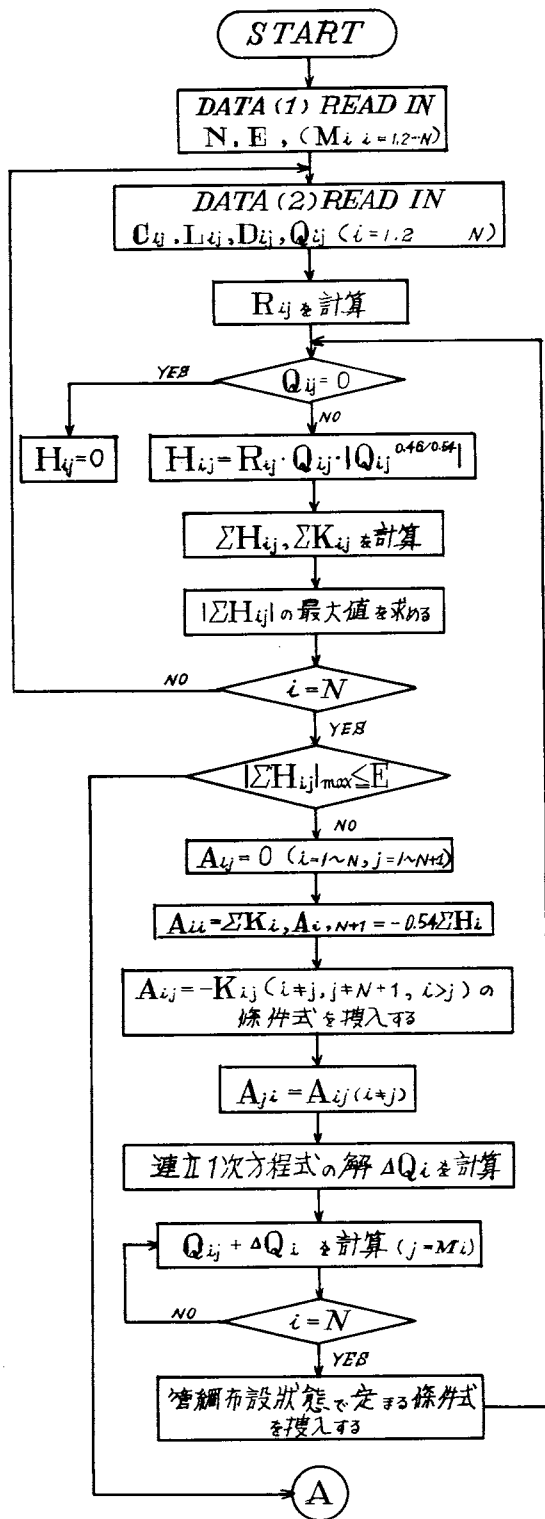


図 - 1 - B

D) 条件式について

フロー・チャート中に条件式挿入個所を示してあるが、その条件式は管網の配置状態で定まるものである。説明を簡単にするために、例を図-2にとつてHARP 103の文法に従つて書けば式-(5)、式-(6)のようである。

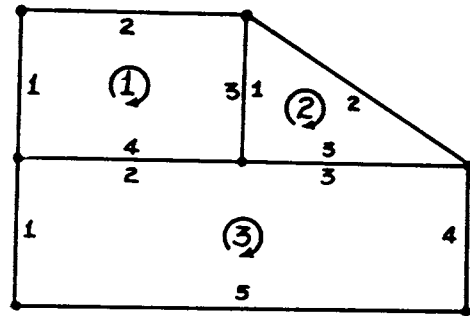


図 - 2

Fair 法は式-(6)を挿入し、連立一次方程式は式-(5)および式-(6)を挿入すればよい。

$$\begin{aligned}
 A(1,2) &= -AK(1,3) \\
 A(1,3) &= -AK(1,4) \\
 A(2,3) &= -AK(2,3) \\
 Q(1,3) &= Q(1,3) - DQ(2) \\
 Q(2,1) &= -Q(1,3) \\
 Q(1,4) &= Q(1,4) - DQ(3) \\
 Q(3,2) &= -Q(1,4) \\
 Q(2,3) &= Q(2,3) - DQ(3) \\
 Q(3,3) &= -Q(2,3)
 \end{aligned}
 \quad \left. \begin{array}{l} (5) \\ (6) \end{array} \right\}$$

ここに、 $DQ(I)$ は ΔQ_i を、 $AK(I, J)$ は K_{ij} を意味する。

4. Fair 法と連立一次方程式法の能率の比較

表-1に示す管網について、両者の解法で $|\Sigma H_{ij}|_{max}$ がどのように収束してゆくかを調べてみた。その収束状況を図-3に示した。

表 - 1

管 網	内管路数	1閉管路の平均管路数	摘 要
No. 1	9ケ	4.89本	文献1例題
No. 2	16ケ	4.75本	〃
No. 3	26ケ	5.50本	名古屋市
No. 4	39ケ	4.72本	〃

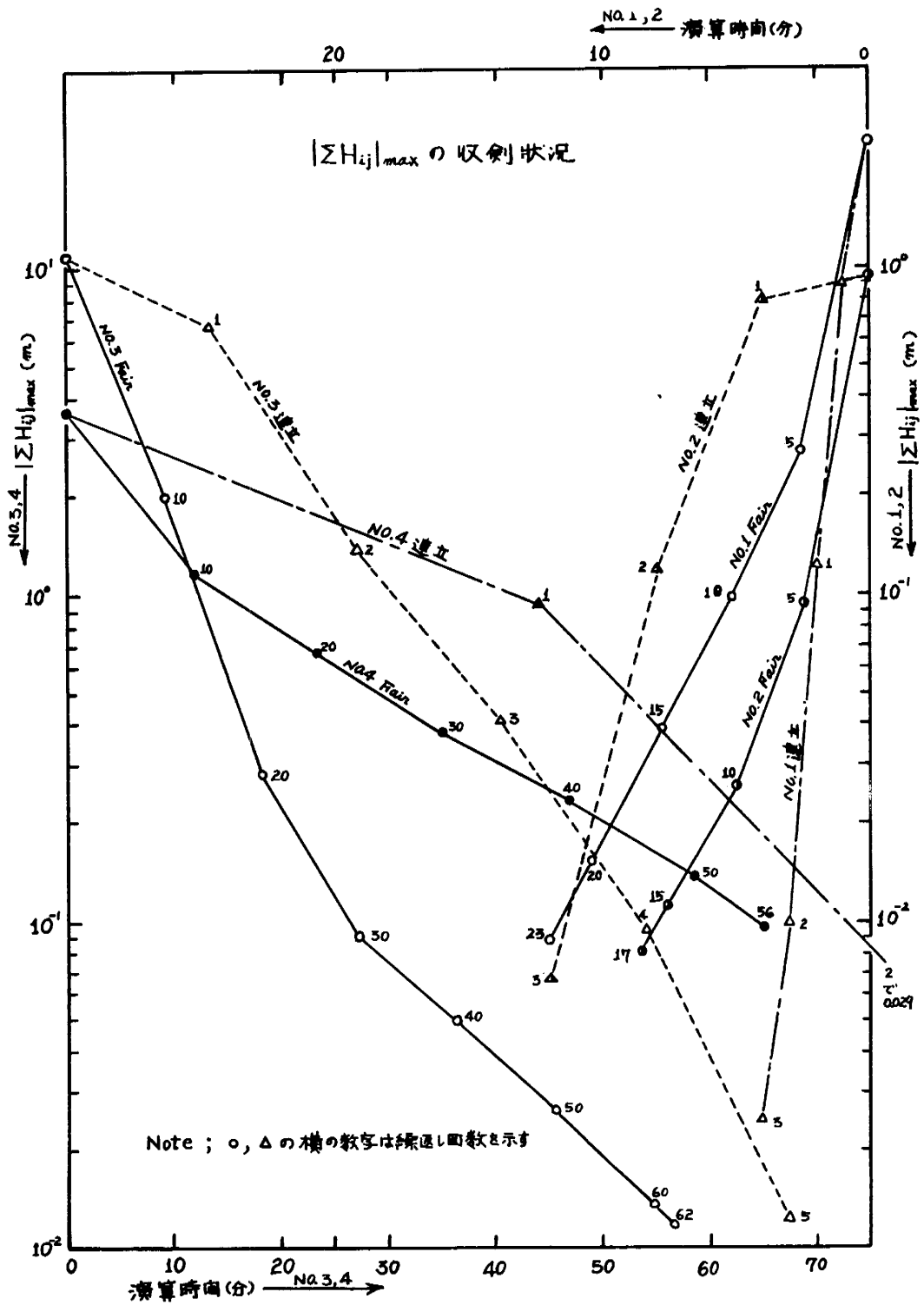


図 - 3

図-3より明らかに、 $|\sum H_{ij}|_{\max}$ が比較的大きい値の間は、No.1を除き、Fair 法が計算時間当りの収束性がよいことがわかる。連立一次方程式法は $|\sum H_{ij}|_{\max}$ が比較的小さい値になつてからの収束性がよくなる傾向がある。

5. あとがき

著者は Fair 法および連立一次方程式法による管網計算のプログラミングについて述べると共に、その両解法の特長について比較した。電子計算機で管網計算を行う場合、勿論、管網の大小によつても異なるが、要求する精度、すなわち許容閉合誤差をどの程度まで要求するかによつてどちらの方法を選ぶかを決定せねばならない。通常、要求する精度では Fair 法で充分であろう。最後に、この研究が多少なりとも関係技術者の参考になれば幸せである。

参考文献

- (1) 扇田：管網計算の所要時間について。
水道協会雑誌 第263号
- (2) 青木：管網計算の連立一次方程式による新解法。
水道協会雑誌 第295号
- (3) 絹川：流量修正値の補正方法と仮定流量の与え方に対する考察。
水道協会雑誌 第299号
- (4) 杉山：電子計算機による管網の自動解析について。
水道協会雑誌 第359号