

非線型連立方程式による管網計算のマイコン利用について

福井工大 正員 ・ 和 田 久 範
 福井工大 正員 吉 田 豊 穂
 京大防災研 正員 芝 野 照 夫

1. はじめに

この提案は非線型連立方程式による管網計算をマイクロコンピュータによって行うことを主題とする。管網計算には古い歴史があって、それぞれの方法について十分研究されており、かつコンピュータの利用が進むにつれ、その計算については極めて高速で正確な解が得られるようになった。なかでもハーデイクロス法は簡便な手法で大規模の管網を処理できることから、最もよく利用されていることは周知の事実である。これに対し非線型連立方程式を直接解いて解を得る方法は、変数が多い場合の計算が困難であるとの理由で、他の解法に比し、遅れているように思う。さて、非線型連立方程式の解法には通常多変数のニュートン法が用いられるが、その反復計算にも工夫が加えられているので、現在では計算上の困難は少ないように思う。ただ欠点としてあげられることは、ハーデイクロス法と同様、初期値の設定が解から遠い場合、正しい解が得られない結果が生ずることである。このような問題については対話式のマイコンを用いると便利である。マイコンの有利なことは大型電算機のような性能はないが、プログラムの誤り発見と修正が容易なことと、管網の流量条件をいろいろ変化させて試算することなども可能なので計画設計の段階で活用できる点にある。筆者らはマイコンによって実用に供し得る程度の規模の計算を試みたが、ここでは55節点/6変数の単純な幾何学的条件による例を掲げる。

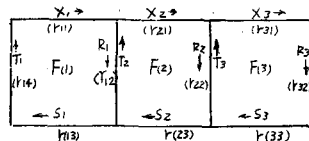
2. 管網計算の方法

管網計算は流量を未知数とする流量法と節点エネルギー位を未知数とする節点エネルギー位法に大別されるが今回は前者について具体的な例を述べようと思う。

管網の直径 d に対し管路長 l が大である場合は、その損失水頭は $h = rQ^m$ で表わされる。 r の値はダルシーワイスバッハの式を用いると $r = f \cdot \frac{8l}{g\pi d^5}$ $h = rQ^2$ となり、これに管路の流れの方向を規定すると $h = r \cdot Q \cdot \text{ABS}(Q)$ としなければならない。この式は管網の各閉回路について代数和は0となるので $\sum h = 0$ とする。次に各節点について流量が連続する条件から各管路流量が表示できるので、これにより各回路の方程式を連立させて解けば各管路の流量が求まる。非線型連立方程式の近似解は、多変数のニュートン法によると収束はよいのでこれを用いる。以上のプログラム作成は次の順序で行う。

(1) 未知数に対する仮定流量を定める。仮定流量は各節点において $\sum Q = 0$ とし、真値に近い値を与えるよう配慮する。

(2) 各閉回路について右廻り方向を+とし管路記号を図のように定める。(R.S.T.はすべてXにより表示される)



(3) 閉合条件と連続条件により連立方程式をつくる。

(4) 各方程式について導関数を求める。

(5) ニュートン法による計算を実施する。

閉回路 $X \rightarrow R \rightarrow S \rightarrow T$
 方程式

$$F(1) = V_{11}X_1\text{ABS}(X_1) + V_{12}R_1\text{ABS}(R_1) + V_{13}S_1\text{ABS}(S_1) + V_{14}T_1\text{ABS}(T_1) = 0$$

$$F(2) = V_{21}X_2\text{ABS}(X_2) + V_{22}R_2\text{ABS}(R_2) + V_{23}S_2\text{ABS}(S_2) + V_{24}T_2\text{ABS}(T_2) = 0$$

$$F(3) = V_{31}X_3\text{ABS}(X_3) + V_{32}R_3\text{ABS}(R_3) + V_{33}S_3\text{ABS}(S_3) + V_{34}T_3\text{ABS}(T_3) = 0$$

$$f = \begin{Bmatrix} f_1(X_1, X_2, \dots, X_n) \\ f_2(X_1, X_2, \dots, X_n) \\ \vdots \\ f_n(X_1, X_2, \dots, X_n) \end{Bmatrix} = 0$$

において連続 Σ 回微分可能とし、ヤコビアン行列が正則であれば適当な初期値から出発し、順次補正して収束判定値以内になった

ときを解とすることができ。これを掃出し法による場合は、

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \frac{\partial f_n}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta x_2 \\ \vdots \\ \Delta x_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -f_1 \\ -f_2 \\ \vdots \\ -f_n \end{pmatrix}$$

この式から Δx を計算すると $i+1$ 回目の補正計算は次のようになる。

$$x_1(i+1) = x_1(i) + \Delta x_1(i)$$

$$x_2(i+1) = x_2(i) + \Delta x_2(i)$$

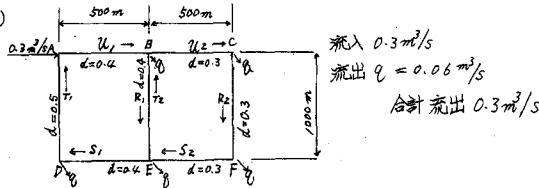
...

$$x_n(i+1) = x_n(i) + \Delta x_n(i)$$

この方法によらないで逆行列を用いる場合は行列が正則で J^{-1} が 0 であれば

$x_{i+1} = x_i - J^{-1} f(x_i)$ により補正計算ができる。

例 (1)



$$h = h_1 = h_2 \text{ 但し } r = f \cdot 8L / g\pi^2 d^5 \quad f = 18.7 \cdot 8n^2 / d^{1/3} \quad n = 0.012$$

$$F(1) = 98.21 u_1 \text{ABS}(u_1) + 196.42 R_1 \text{ABS}(R_1) + 98.21 S_1 \text{ABS}(S_1) + 59.76 T_1 \text{ABS}(T_1) \quad r_1 = 2 \times 98.21 \quad r_2 = 2 \times 196.42$$

$$F(2) = 455.52 u_2 \text{ABS}(u_2) + 911.05 R_2 \text{ABS}(R_2) + 455.52 S_2 \text{ABS}(S_2) + 196.42 T_2 \text{ABS}(T_2) \quad r_3 = 2 \times 59.76 \quad r_4 = 2 \times 455.52$$

$$r_5 = 2 \times 911.05$$

方程式	r	管路の流量	導 関 数
f(1)	98.21 196.42 98.21 59.76	$u_1 = x_1$ $R_1 = x_1 - x_2 - 0.6$ $S_1 = x_1 - 0.24$ $T_1 = x_1 - 0.3$	$X(1) = r_1 u_1 + r_2 R_1 + r_3 S_1 + r_4 T_1$ $X(2) = -r_5 R_1$
f(2)	455.52 911.05 455.52 196.42	$u_2 = x_2$ $R_2 = x_2 - 0.6$ $S_2 = x_2 - 0.12$ $T_2 = -R_1 = x_2 - x_1 + 0.6$	$X(2) = -r_1 T_2$ $X(2) = r_4 u_2 + r_3 R_2 + r_4 S_2 + r_5 T_2$ (注) ABSが略してある

(a)の方程式の解

$$x_1 = 0.146936 \quad x_2 = 0.0611802 \quad u_1 = 0.146936 \quad R_1 = 0.0257559 \quad S_1 = -0.0930639 \quad T_1 = -0.153064$$

$$u_2 = 0.0611802 \quad R_2 = 0.00118024 \quad S_2 = -0.0588198 \quad T_2 = -0.0257559$$

この解はハーデイクロス法と一致する

(b)の方程式の解

上の解と下の解の2通りある

$$x_1 = 0.102607 \quad x_2 = -0.0839975 \quad u_1 = 0.102607 \quad R_1 = 0.1266045 \quad S_1 = -0.137393 \quad T_1 = -0.197393$$

$$u_2 = -0.0839975 \quad R_2 = -0.1439975 \quad S_2 = 0.2039975 \quad T_2 = -0.1266045$$

但し管路内を流れる水はエネルギー損失が最少になるように流れるので、この解は回流となっているため不適当である。

管網計算の連立方程式では初期値を設定する際に流れの方向も規定するので、計算の結果得られる解は条件に適合する筈である。しかしこの方程式は2次のものであるため、別の解が存在する可能性が考えられる。例1の場合は方程式のABSを取り除いた式の解が2組ある。そのうち1組の解は不適当であることが判るので、ABS付の方程式の解と同じものの方が正しい。このようにABS付の方程式からは常に正しい解が得られる筈である。しかし、電算機による計算はあくまで近似値の計算であり、又は何かの原因によって不合理な解になる危険

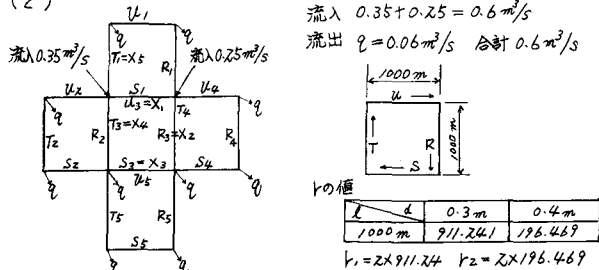
(a)

```

10 REM "B2-2"
20 DIM X(10,10)
40 DIM F(10)
50 X(1,1)=1
60 U(1)=X(1,1)-X(2,1)-.3
U(2)=X(2,1)-X(1,1)-.3
70 F(1)=98.21*ABS(U(1))+196.42*ABS(R(1))+98.21*ABS(S(1))+59.76*ABS(T(1))
80 F(2)=455.52*ABS(U(2))+911.05*ABS(R(2))+455.52*ABS(S(2))+196.42*ABS(T(2))
90 PRINT "F(1)=",F(1),"F(2)=",F(2)
100 FOR I=1 TO 200
110 F(1)=98.21*ABS(U(1))+196.42*ABS(R(1))+98.21*ABS(S(1))+59.76*ABS(T(1))
120 F(2)=455.52*ABS(U(2))+911.05*ABS(R(2))+455.52*ABS(S(2))+196.42*ABS(T(2))
130 X(1,1)=X(1,1)-F(1)/X(1,1)
140 X(1,2)=X(1,2)-F(2)/X(1,2)
150 X(2,1)=X(2,1)-F(1)/X(2,1)
160 X(2,2)=X(2,2)-F(2)/X(2,2)
170 X(1,3)=X(1,3)-F(1)/X(1,3)
180 X(2,3)=X(2,3)-F(2)/X(2,3)
190 FOR J=1 TO 2
200 X(1,J)=X(1,J)-F(1)/X(1,J)
210 FOR J=1 TO 2
220 X(2,J)=X(2,J)-F(2)/X(2,J)
230 NEXT J
240 IF I=1 THEN 300
250 V=X(1,1)
260 W=X(2,1)
270 FOR K=1 TO 3
280 X(1,K)=X(1,K)-V/X(1,K)+W
290 NEXT K
300 NEXT I
310 X(1,1)=X(1,1)
320 X(2,1)=X(2,1)
330 X(1,2)=X(1,2)
340 X(2,2)=X(2,2)
350 X(1,3)=X(1,3)
360 X(2,3)=X(2,3)
370 IF ABS(X(1,3)-X(1,3))>.001 THEN 370 ELSE 380
380 X(1,3)=X(1,3)
390 X(2,3)=X(2,3)
400 X(1,4)=X(1,4)
410 X(2,4)=X(2,4)
420 X(1,5)=X(1,5)
430 X(2,5)=X(2,5)
440 X(1,6)=X(1,6)
450 X(2,6)=X(2,6)
460 X(1,7)=X(1,7)
470 X(2,7)=X(2,7)
480 X(1,8)=X(1,8)
490 X(2,8)=X(2,8)
500 X(1,9)=X(1,9)
510 X(2,9)=X(2,9)
520 X(1,10)=X(1,10)
530 X(2,10)=X(2,10)
540 X(1,11)=X(1,11)
550 X(2,11)=X(2,11)
560 X(1,12)=X(1,12)
570 X(2,12)=X(2,12)
580 X(1,13)=X(1,13)
590 X(2,13)=X(2,13)
600 X(1,14)=X(1,14)
610 X(2,14)=X(2,14)
620 X(1,15)=X(1,15)
630 X(2,15)=X(2,15)
640 X(1,16)=X(1,16)
650 X(2,16)=X(2,16)
660 X(1,17)=X(1,17)
670 X(2,17)=X(2,17)
680 X(1,18)=X(1,18)
690 X(2,18)=X(2,18)
700 X(1,19)=X(1,19)
710 X(2,19)=X(2,19)
720 X(1,20)=X(1,20)
730 X(2,20)=X(2,20)
740 X(1,21)=X(1,21)
750 X(2,21)=X(2,21)
760 X(1,22)=X(1,22)
770 X(2,22)=X(2,22)
780 X(1,23)=X(1,23)
790 X(2,23)=X(2,23)
800 X(1,24)=X(1,24)
810 X(2,24)=X(2,24)
820 X(1,25)=X(1,25)
830 X(2,25)=X(2,25)
840 X(1,26)=X(1,26)
850 X(2,26)=X(2,26)
860 X(1,27)=X(1,27)
870 X(2,27)=X(2,27)
880 X(1,28)=X(1,28)
890 X(2,28)=X(2,28)
900 X(1,29)=X(1,29)
910 X(2,29)=X(2,29)
920 X(1,30)=X(1,30)
930 X(2,30)=X(2,30)
940 X(1,31)=X(1,31)
950 X(2,31)=X(2,31)
960 X(1,32)=X(1,32)
970 X(2,32)=X(2,32)
980 X(1,33)=X(1,33)
990 X(2,33)=X(2,33)
1000 X(1,34)=X(1,34)
1010 X(2,34)=X(2,34)
1020 X(1,35)=X(1,35)
1030 X(2,35)=X(2,35)
1040 X(1,36)=X(1,36)
1050 X(2,36)=X(2,36)
1060 X(1,37)=X(1,37)
1070 X(2,37)=X(2,37)
1080 X(1,38)=X(1,38)
1090 X(2,38)=X(2,38)
1100 X(1,39)=X(1,39)
1110 X(2,39)=X(2,39)
1120 X(1,40)=X(1,40)
1130 X(2,40)=X(2,40)
1140 X(1,41)=X(1,41)
1150 X(2,41)=X(2,41)
1160 X(1,42)=X(1,42)
1170 X(2,42)=X(2,42)
1180 X(1,43)=X(1,43)
1190 X(2,43)=X(2,43)
1200 X(1,44)=X(1,44)
1210 X(2,44)=X(2,44)
1220 X(1,45)=X(1,45)
1230 X(2,45)=X(2,45)
1240 X(1,46)=X(1,46)
1250 X(2,46)=X(2,46)
1260 X(1,47)=X(1,47)
1270 X(2,47)=X(2,47)
1280 X(1,48)=X(1,48)
1290 X(2,48)=X(2,48)
1300 X(1,49)=X(1,49)
1310 X(2,49)=X(2,49)
1320 X(1,50)=X(1,50)
1330 X(2,50)=X(2,50)
1340 X(1,51)=X(1,51)
1350 X(2,51)=X(2,51)
1360 X(1,52)=X(1,52)
1370 X(2,52)=X(2,52)
1380 X(1,53)=X(1,53)
1390 X(2,53)=X(2,53)
1400 X(1,54)=X(1,54)
1410 X(2,54)=X(2,54)
1420 X(1,55)=X(1,55)
1430 X(2,55)=X(2,55)
1440 X(1,56)=X(1,56)
1450 X(2,56)=X(2,56)
1460 X(1,57)=X(1,57)
1470 X(2,57)=X(2,57)
1480 X(1,58)=X(1,58)
1490 X(2,58)=X(2,58)
1500 X(1,59)=X(1,59)
1510 X(2,59)=X(2,59)
1520 X(1,60)=X(1,60)
1530 X(2,60)=X(2,60)
1540 X(1,61)=X(1,61)
1550 X(2,61)=X(2,61)
1560 X(1,62)=X(1,62)
1570 X(2,62)=X(2,62)
1580 X(1,63)=X(1,63)
1590 X(2,63)=X(2,63)
1600 X(1,64)=X(1,64)
1610 X(2,64)=X(2,64)
1620 X(1,65)=X(1,65)
1630 X(2,65)=X(2,65)
1640 X(1,66)=X(1,66)
1650 X(2,66)=X(2,66)
1660 X(1,67)=X(1,67)
1670 X(2,67)=X(2,67)
1680 X(1,68)=X(1,68)
1690 X(2,68)=X(2,68)
1700 X(1,69)=X(1,69)
1710 X(2,69)=X(2,69)
1720 X(1,70)=X(1,70)
1730 X(2,70)=X(2,70)
1740 X(1,71)=X(1,71)
1750 X(2,71)=X(2,71)
1760 X(1,72)=X(1,72)
1770 X(2,72)=X(2,72)
1780 X(1,73)=X(1,73)
1790 X(2,73)=X(2,73)
1800 X(1,74)=X(1,74)
1810 X(2,74)=X(2,74)
1820 X(1,75)=X(1,75)
1830 X(2,75)=X(2,75)
1840 X(1,76)=X(1,76)
1850 X(2,76)=X(2,76)
1860 X(1,77)=X(1,77)
1870 X(2,77)=X(2,77)
1880 X(1,78)=X(1,78)
1890 X(2,78)=X(2,78)
1900 X(1,79)=X(1,79)
1910 X(2,79)=X(2,79)
1920 X(1,80)=X(1,80)
1930 X(2,80)=X(2,80)
1940 X(1,81)=X(1,81)
1950 X(2,81)=X(2,81)
1960 X(1,82)=X(1,82)
1970 X(2,82)=X(2,82)
1980 X(1,83)=X(1,83)
1990 X(2,83)=X(2,83)
2000 X(1,84)=X(1,84)
2010 X(2,84)=X(2,84)
2020 X(1,85)=X(1,85)
2030 X(2,85)=X(2,85)
2040 X(1,86)=X(1,86)
2050 X(2,86)=X(2,86)
2060 X(1,87)=X(1,87)
2070 X(2,87)=X(2,87)
2080 X(1,88)=X(1,88)
2090 X(2,88)=X(2,88)
2100 X(1,89)=X(1,89)
2110 X(2,89)=X(2,89)
2120 X(1,90)=X(1,90)
2130 X(2,90)=X(2,90)
2140 X(1,91)=X(1,91)
2150 X(2,91)=X(2,91)
2160 X(1,92)=X(1,92)
2170 X(2,92)=X(2,92)
2180 X(1,93)=X(1,93)
2190 X(2,93)=X(2,93)
2200 X(1,94)=X(1,94)
2210 X(2,94)=X(2,94)
2220 X(1,95)=X(1,95)
2230 X(2,95)=X(2,95)
2240 X(1,96)=X(1,96)
2250 X(2,96)=X(2,96)
2260 X(1,97)=X(1,97)
2270 X(2,97)=X(2,97)
2280 X(1,98)=X(1,98)
2290 X(2,98)=X(2,98)
2300 X(1,99)=X(1,99)
2310 X(2,99)=X(2,99)
2320 X(1,100)=X(1,100)
2330 X(2,100)=X(2,100)
2340 X(1,101)=X(1,101)
2350 X(2,101)=X(2,101)
2360 X(1,102)=X(1,102)
2370 X(2,102)=X(2,102)
2380 X(1,103)=X(1,103)
2390 X(2,103)=X(2,103)
2400 X(1,104)=X(1,104)
2410 X(2,104)=X(2,104)
2420 X(1,105)=X(1,105)
2430 X(2,105)=X(2,105)
2440 X(1,106)=X(1,106)
2450 X(2,106)=X(2,106)
2460 X(1,107)=X(1,107)
2470 X(2,107)=X(2,107)
2480 X(1,108)=X(1,108)
2490 X(2,108)=X(2,108)
2500 X(1,109)=X(1,109)
2510 X(2,109)=X(2,109)
2520 X(1,110)=X(1,110)
2530 X(2,110)=X(2,110)
2540 X(1,111)=X(1,111)
2550 X(2,111)=X(2,111)
2560 X(1,112)=X(1,112)
2570 X(2,112)=X(2,112)
2580 X(1,113)=X(1,113)
2590 X(2,113)=X(2,113)
2600 X(1,114)=X(1,114)
2610 X(2,114)=X(2,114)
2620 X(1,115)=X(1,115)
2630 X(2,115)=X(2,115)
2640 X(1,116)=X(1,116)
2650 X(2,116)=X(2,116)
2660 X(1,117)=X(1,117)
2670 X(2,117)=X(2,117)
2680 X(1,118)=X(1,118)
2690 X(2,118)=X(2,118)
2700 X(1,119)=X(1,119)
2710 X(2,119)=X(2,119)
2720 X(1,120)=X(1,120)
2730 X(2,120)=X(2,120)
2740 X(1,121)=X(1,121)
2750 X(2,121)=X(2,121)
2760 X(1,122)=X(1,122)
2770 X(2,122)=X(2,122)
2780 X(1,123)=X(1,123)
2790 X(2,123)=X(2,123)
2800 X(1,124)=X(1,124)
2810 X(2,124)=X(2,124)
2820 X(1,125)=X(1,125)
2830 X(2,125)=X(2,125)
2840 X(1,126)=X(1,126)
2850 X(2,126)=X(2,126)
2860 X(1,127)=X(1,127)
2870 X(2,127)=X(2,127)
2880 X(1,128)=X(1,128)
2890 X(2,128)=X(2,128)
2900 X(1,129)=X(1,129)
2910 X(2,129)=X(2,129)
2920 X(1,130)=X(1,130)
2930 X(2,130)=X(2,130)
2940 X(1,131)=X(1,131)
2950 X(2,131)=X(2,131)
2960 X(1,132)=X(1,132)
2970 X(2,132)=X(2,132)
2980 X(1,133)=X(1,133)
2990 X(2,133)=X(2,133)
3000 X(1,134)=X(1,134)
3010 X(2,134)=X(2,134)
3020 X(1,135)=X(1,135)
3030 X(2,135)=X(2,135)
3040 X(1,136)=X(1,136)
3050 X(2,136)=X(2,136)
3060 X(1,137)=X(1,137)
3070 X(2,137)=X(2,137)
3080 X(1,138)=X(1,138)
3090 X(2,138)=X(2,138)
3100 X(1,139)=X(1,139)
3110 X(2,139)=X(2,139)
3120 X(1,140)=X(1,140)
3130 X(2,140)=X(2,140)
3140 X(1,141)=X(1,141)
3150 X(2,141)=X(2,141)
3160 X(1,142)=X(1,142)
3170 X(2,142)=X(2,142)
3180 X(1,143)=X(1,143)
3190 X(2,143)=X(2,143)
3200 X(1,144)=X(1,144)
3210 X(2,144)=X(2,144)
3220 X(1,145)=X(1,145)
3230 X(2,145)=X(2,145)
3240 X(1,146)=X(1,146)
3250 X(2,146)=X(2,146)
3260 X(1,147)=X(1,147)
3270 X(2,147)=X(2,147)
3280 X(1,148)=X(1,148)
3290 X(2,148)=X(2,148)
3300 X(1,149)=X(1,149)
3310 X(2,149)=X(2,149)
3320 X(1,150)=X(1,150)
3330 X(2,150)=X(2,150)
3340 X(1,151)=X(1,151)
3350 X(2,151)=X(2,151)
3360 X(1,152)=X(1,152)
3370 X(2,152)=X(2,152)
3380 X(1,153)=X(1,153)
3390 X(2,153)=X(2,153)
3400 X(1,154)=X(1,154)
3410 X(2,154)=X(2,154)
3420 X(1,155)=X(1,155)
3430 X(2,155)=X(2,155)
3440 X(1,156)=X(1,156)
3450 X(2,156)=X(2,156)
3460 X(1,157)=X(1,157)
3470 X(2,157)=X(2,157)
3480 X(1,158)=X(1,158)
3490 X(2,158)=X(2,158)
3500 X(1,159)=X(1,159)
3510 X(2,159)=X(2,159)
3520 X(1,160)=X(1,160)
3530 X(2,160)=X(2,160)
3540 X(1,161)=X(1,161)
3550 X(2,161)=X(2,161)
3560 X(1,162)=X(1,162)
3570 X(2,162)=X(2,162)
3580 X(1,163)=X(1,163)
3590 X(2,163)=X(2,163)
3600 X(1,164)=X(1,164)
3610 X(2,164)=X(2,164)
3620 X(1,165)=X(1,165)
3630 X(2,165)=X(2,165)
3640 X(1,166)=X(1,166)
3650 X(2,166)=X(2,166)
3660 X(1,167)=X(1,167)
3670 X(2,167)=X(2,167)
3680 X(1,168)=X(1,168)
3690 X(2,168)=X(2,168)
3700 X(1,169)=X(1,169)
3710 X(2,169)=X(2,169)
3720 X(1,170)=X(1,170)
3730 X(2,170)=X(2,170)
3740 X(1,171)=X(1,171)
3750 X(2,171)=X(2,171)
3760 X(1,172)=X(1,172)
3770 X(2,172)=X(2,172)
3780 X(1,173)=X(1,173)
3790 X(2,173)=X(2,173)
3800 X(1,174)=X(1,174)
3810 X(2,174)=X(2,174)
3820 X(1,175)=X(1,175)
3830 X(2,175)=X(2,175)
3840 X(1,176)=X(1,176)
3850 X(2,176)=X(2,176)
3860 X(1,177)=X(1,177)
3870 X(2,177)=X(2,177)
3880 X(1,178)=X(1,178)
3890 X(2,178)=X(2,178)
3900 X(1,179)=X(1,179)
3910 X(2,179)=X(2,179)
3920 X(1,180)=X(1,180)
3930 X(2,180)=X(2,180)
3940 X(1,181)=X(1,181)
3950 X(2,181)=X(2,181)
3960 X(1,182)=X(1,182)
3970 X(2,182)=X(2,182)
3980 X(1,183)=X(1,183)
3990 X(2,183)=X(2,183)
4000 X(1,184)=X(1,184)
4010 X(2,184)=X(2,184)
4020 X(1,185)=X(1,185)
4030 X(2,185)=X(2,185)
4040 X(1,186)=X(1,186)
4050 X(2,186)=X(2,186)
4060 X(1,187)=X(1,187)
4070 X(2,187)=X(2,187)
4080 X(1,188)=X(1,188)
4090 X(2,188)=X(2,188)
4100 X(1,189)=X(1,189)
4110 X(2,189)=X(2,189)
4120 X(1,190)=X(1,190)
4130 X(2,190)=X(2,190)
4140 X(1,191)=X(1,191)
4150 X(2,191)=X(2,191)
4160 X(1,192)=X(1,192)
4170 X(2,192)=X(2,192)
4180 X(1,193)=X(1,193)
4190 X(2,193)=X(2,193)
4200 X(1,194)=X(1,194)
4210 X(2,194)=X(2,194)
4220 X(1,195)=X(1,195)
4230 X(2,195)=X(2,195)
4240 X(1,196)=X(1,196)
4250 X(2,196)=X(2,196)
4260 X(1,197)=X(1,197)
4270 X(2,197)=X(2,197)
4280 X(1,198)=X(1,198)
4290 X(2,198)=X(2,198)
4300 X(1,199)=X(1,199)
4310 X(2,199)=X(2,199)
4320 X(1,200)=X(1,200)
4330 X(2,200)=X(2,200)
4340 X(1,201)=X(1,201)
4350 X(2,201)=X(2,201)
4360 X(1,202)=X(1,202)
4370 X(2,202)=X(2,202)
4380 X(1,203)=X(1,203)
4390 X(2,203)=X(2,203)
4400 X(1,204)=X(1,204)
4410 X(2,204)=X(2,204)
4420 X(1,205)=X(1,205)
4430 X(2,205)=X(2,205)
4440 X(1,206)=X(1,206)
4450 X(2,206)=X(2,206)
4460 X(1,207)=X(1,207)
4470 X(2,207)=X(2,207)
4480 X(1,208)=X(1,208)
4490 X(2,208)=X(2,208)
4500 X(1,209)=X(1,209)
4510 X(2,209)=X(2,209)
4520 X(1,210)=X(1,210)
4530 X(2,210)=X(2,210)
4540 X(1,211)=X(1,211)
4550 X(2,211)=X(2,211)
4560 X(1,212)=X(1,212)
4570 X(2,212)=X(2,212)
4580 X(1,213)=X(1,213)
4590 X(2,213)=X(2,213)
4600 X(1,214)=X(1,214)
4610 X(2,214)=X(2,214)
4620 X(1,215)=X(1,215)
4630 X(2,215)=X(2,215)
4640 X(1,216)=X(1,216)
4650 X(2,216)=X(2,216)
4660 X(1,217)=X(1,217)
4670 X(2,217)=X(2,217)
4680 X(1,218)=X(1,218)
4690 X(2,218)=X(2,218)
4700 X(1,219)=X(1,219)
4710 X(2,219)=X(2,219)
4720 X(1,220)=X(1,220)
4730 X(2,220)=X(2,220)
4740 X(1,221)=X(1,221)
4750 X(2,221)=X(2,221)
4760 X(1,222)=X(1,222)
4770 X(2,222)=X(2,222)
4780 X(1,223)=X(1,223)
4790 X(2,223)=X(2,223)
4800 X(1
```

性も考えられるので、先の例のように又通りの解を確認することができれば最も好都合である。ところが非線型連立方程式ではある区間内のすべての根の組を求める一般的な方法がまだ十分研究されていないので、管網計算におけるス組の解を得る方法は、はじめの解に用いた初期値を変えて試算する以外にないと思う。この場合ニュートン法の初期値に任意の値を用いると発散することが多く、どうにもならないことがある。この問題に対する一つの対策として、次の例のような方法をとれば、初期値を広い範囲で選ぶことができる。

例(2)



この例では問題の処理の便を考えてXの位置を図のように取った。その第1の解は $\alpha_1 = 0.0444925$, $\alpha_2 = 0.156073$, $\alpha_3 = -0.0037295$, $\alpha_4 = -0.162092$, $\alpha_5 = 0.0617654$ となる。次に与えられた解の存在が想定される或る区間を限定して考えようと思う。

いまF(3)の方程式を本文末の参考資料をもとに単純に変換すると次のようになる。

$$F(3) = r_2 (X_1^2 - \alpha_1^2) + r_1 (X_2^2 - \alpha_2^2) + r_2 (X_3^2 - \alpha_3^2) + r_2 (X_4^2 - \alpha_4^2)$$

この式と元の式を比較すると、元の式では $U_3 = X_1$, $R_3 = X_2$, $S_3 = X_3$, $T_3 = X_4$ としたのに対し、変換式では $U_3 = (X_1^2 - \alpha_1^2)^{\frac{1}{2}}$, $R_3 = (X_2^2 - \alpha_2^2)^{\frac{1}{2}}$, $S_3 = (X_3^2 - \alpha_3^2)^{\frac{1}{2}}$, $T_3 = (X_4^2 - \alpha_4^2)^{\frac{1}{2}}$ となっており、未知数としたXはその管路よりずれている。これはX5についても言えることで、これらのずれを全管路について修正しなければ連立方程式が成立しない。これをプログラムでは次のように実施する。

(1) 最初にきめたXに対する修正量は次の式による。

$$v = \{ABS(X^2 - \alpha^2)\}^{\frac{1}{2}} \cdot \text{SIGN}(X - \alpha) - X$$

(2) 各管網を修正した方程式を計算する

このプログラムによって反復計算をすると、1つの解が得られるが例(2)では元の方程式の解と最終的に管路流量は一致する結果になった。これによって想定された区間内では他の解のないことと、元の解の正しいことが推定できる。ただし以上のような検索は連立方程式の解が不合理な場合についてののみ実施すれば十分であろう。

3. 計算例

計算例として小都市を対象とする幹線管網の例を掲げる。この計算では初期値の取り方に相当余裕のあることがわかった。又ニュートン法の収束はよく、極めて厳密な解を得たので、実用的にはさらに規模の大きい複雑な管網に対しても十分利用し得ると考えている。

(a)

```

510 U1=X1-96
520 W1=X5-12
530 S1=X1-X1
540 T1=X5
550 U2=X1+X5-X4-35
560 R2=X4
570 S2=X1+X5-X4-23
580 T2=X1+X5-X4-29
590 U3=X1
600 R3=X2
610 S3=X3
620 T3=X4
630 U4=X1+X5-X2-13
640 R4=X1+X5-X2-87
650 S4=X1+X5-X2-81
660 T4=X2
670 U5=X3
680 R5=X1-X3+X5-80
690 S5=X1-X3+X5-11
700 T5=X1-X3+X5-17
710 F(1)=911.241+R5*(U1)+11+911.241+R5*(
R1)+R1+196.469+R5*(S1)+S1+911.241+R5*(T1
)>+1
720 F(2)=911.241+R5*(U2)+U2+196.469+R5*(
R2)+R2+911.241+R5*(S2)+S2+911.241+R5*(T2
)>+1
730 F(3)=196.469+R5*(U3)+U3+196.469+R5*(
R3)+R3+196.469+R5*(S3)+S3+196.469+R5*(T3
)>+1
740 F(4)=911.241+R5*(U4)+U4+911.241+R5*(
R4)+R4+911.241+R5*(S4)+S4+196.469+R5*(T4
)>+1
750 F(5)=196.469+R5*(U5)+U5+911.241+R5*(
R5)+R5+911.241+R5*(S5)+S5+911.241+R5*(T5
)>+1

```

(解)

```

X1= .0444925 X2= .156073 X3= -1.72959E
-03 X4= -1.62892 X5= .0617654
U1= 1.7650E-03 F(1)= .858234E-01 F(2)=
.162892 F(3)= .0617654 F(4)= .0617654 F(5)=
.0444925 F(6)= .156073 F(7)= .162892 U6=
.0001852 F(8)= .0001852 F(9)= .156073 U5=
2.72959E-03 F(10)= .858234E-01 F(11)=
2.5824E-03 F(12)= 2.8562E-06 F(13)=
4.76837E-07 F(14)= .93674E-07 F(15)=
-4.76837E-07

```

(修正量)

```

1500 V1=50R1+R5*(X1)+X1- .0444925 F(1)+50R(X
1)- .0444925 F(1)
1510 V2=50R2+R5*(X2)+X2- .156073 F(2)+50R(X2
)- .156073 F(2)
1520 V3=50R3+R5*(X3)+X3- .172959 F(3)+50R(X3
)- .172959 F(3)
1530 V4=50R4+R5*(X4)+X4- .162892 F(4)+50R(X4
)- .162892 F(4)
1540 V5=50R5+R5*(X5)+X5- .0617654 F(5)+50R(X5
)- .0617654 F(5)

```

(b)

(修正管路流量)

```

1600 U1=X5-12+V1
1610 R1=X5-12+V1
1620 S1=X1-X1+V1
1630 T1=X5+V1
1640 U2=X1+X5-X4-35+V2
1650 R2=X4+V2
1660 S2=X1+X5-X4-23+V1+V2+V2
1670 T2=X1+X5-X4-29+V1+V2+V2
1680 U3=X1+V3
1690 R3=X2+V2
1700 S3=X3+V3
1710 T3=X4+V2
1720 U4=X1+X5-X2-13+V1+V1+V2
1730 R4=X1+X5-X2-87+V1+V1+V2
1740 S4=X1+X5-X2-81+V1+V1+V2
1750 T4=X2+V2
1760 U5=X3+V3
1770 R5=X1-X3+X5-80+V1+V1+V3
1780 S5=X1-X3+X5-11+V1+V1+V3
1790 T5=X1-X3+X5-17+V1+V1+V3

```

(解)

```

X1= .0623219 X2= .22872 X3= .527446E
-03 X4= .229223 X5= .0871495
F(1)= 5.24521E-06 F(2)= 1.3324E-05 F(3)=
1.98735E-06 F(4)= -1.98735E-06 F(5)=
-4.76837E-07
V1= .0184294 V2= .0046476 V3= 1.54487
E-03 V4= .0671498 V5= .0255841 U3=
.0444925 F(6)= .156073 F(7)= -1.72959E-03
F(8)= .162892 F(9)= .0617654

```

(a)の解は $X_1 = U_3 = 0.0444925$, $X_2 = R_3 = 0.156073$, $X_3 = S_3 = -0.0037295$, $X_4 = T_3 = -0.162092$, $X_5 = T_1 = 0.0617654$
 (b)の解は $U_3 = 0.0444925$, $R_3 = 0.156073$, $S_3 = -0.0037295$, $T_3 = -0.162092$, $T_1 = 0.0617654$ となり一致する。Xは異3値に53

