

水理学ノート 管網

協同組合島根県土質技術研究センター

浜野 浩幹

はじめに

残りの人生を、過去と決別して 180° 違ったことをしようと、退職するときに、過去のノートや本は処分してしまっただけで今は殆ど無い。資料が無いもう一つの理由は、ちょうど退職の年、職場が改装にあたり、身一つで仮の大部屋へ移動を余儀なくされ、本や物を置く所がなくなったこともある。勿論家にも置く場所が無い。一年かけてゆっくり選別すればいいと思っていたが、めんどくさくなってエイ・ヤツとみんな捨ててしまった。

ところが、

管網を計算する必要があるため、さがしていたら、何かの本の間に走り書きのノートをみつけた。これらの文献の元は無く、走り書きのノートだけである。よくノートが残っていたものだと感心した。また、これらの本にはプログラムがあったかどうかは、全く記憶に無い。しかし、このノートが見つからなくてもこれに類する本はいくらでも見つかるから、どうでもいいようなものである。

今年の 4 月に自分の使っていたパソコンがだめになった。このときはショックを受けたが、冷静になったら、もう年なのでやめとけという天の声かとあきらめた。また、もう一台あったパソコンも 7 月に、6 歳から 1 歳までの 5 人の孫軍団の攻撃にあって、つぶれてしまった。キーボードの上で飛び跳ねる、後ろに回って線は引張る、本体を引っ張り出して転がして喜ぶ。どうにもならない。貧血が起きた。しかし、買うことも考えたがパソコンが無いとまたほかに楽しみが見つかるもので、これもいいと思えるようになった。

しかし、どうしたわけか、そのあと MS-DOS の使える古い NEC のパソコン PC-9821 Xa200 をいただいた。このパソコンは N88BASIC や MS-FORTRAN が動く。これらでプログラムを組んでみようと思い管網の勉強してみることにした。

どうしてもパソコンから離れられないのか。

人に話したら笑われた。時代が違う。やめとけ！

(060824)

ということで管網を勉強しようと始めたが、損失水頭だとか流速係数というようなことをきれいさっぱりと忘れてしまっているのです、ついでに「水理」について勉強し直すことにした。教科書は、工業高校の検定教科書：「水理，実教出版」を使用する。しかし、以下は教科書をフォローしただけの勉強であるが、これを理解してプログラムを作りたい。

管網の計算（実教出版，水理，p.118）¹⁾

上水道の配水管のように，網状に設けられた管水路を管網（pipe network）という．管網において，各管の流量を計算するには，Hardy-Cross の試算法を用いる．

1 計算方法の概要：

1. 図のように，各管の流量と流れの向きを，およその見当で適当に仮定する．そのさい，管水路の交点では流入量の和と流出量の和を等しくする．

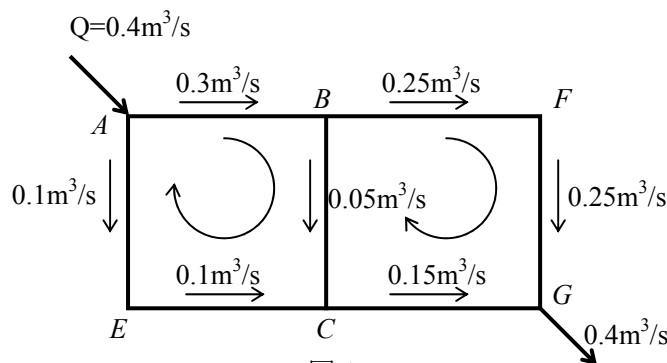


図 1

2. 仮定した流量を使って，各管の損失水頭を計算する．
3. 管網のなかに，図の $ABCEA$ や $BFGCB$ のような閉じた回路を考える．その際，回路ごとにある一定の方向（右回りか左回りか）を定め，これと同じ方向の損失水頭を+，反対方向を-とする．
4. 仮定した流量が正しければ，各回路ごとに，定められた方向に一周して損失水頭の和を求めると 0 になるはずである．しかし，一般に，仮定した流量は正確ではないから，これを用いて求めた損失水頭の和は 0 にはならない．
5. 0 にならないければ，次に述べる方法で仮定流量を補正し，0 になるまで繰り返す．

2 仮定流量の補正方法：

仮定した流量を Q' ，補正量を ΔQ ，正しい流量を Q とし，それらに対する損失水頭を h' ， Δh ， h とする．

これらの関係は，次のように表される．

$$Q = Q' + \Delta Q, \quad h = h' + \Delta h$$

損失水頭として摩擦だけを考えると，同様に

$$h = f \frac{l}{D} \cdot \frac{1}{2g} \cdot \left(\frac{4Q}{\pi D^2} \right)^2 = kQ^2$$

すなわち、 $h' = kQ'^2$ となる。

ΔQ は Q' に比べて小さく、したがって $(\Delta Q)^2$ を無視すると

$$h = kQ^2 = k(Q' + \Delta Q)^2 \cong kQ'^2 + 2kQ'\Delta Q = h' + \Delta h$$

ゆえに、 $\Delta h = 2kQ'\Delta Q$ である。

一つの回路では、 $\sum h = 0$ が成り立たなければならないから

$$\sum h = \sum (h' + \Delta h) = \sum h' + \sum 2kQ'\Delta Q = 0$$

一つの回路で、すべての管の ΔQ を等しくすると、上式は

$$\sum h' + \sum 2kQ'\Delta Q = 0$$

ゆえに

$$\Delta Q = \frac{-\sum h'}{2\sum kQ'} \quad (a)$$

これが流量の補正量である。

4で述べた試算において、0にならなかったときは、仮定した流量にこの ΔQ を加えた $(Q' + \Delta Q)$ が、次の仮定流量となる。そして、 ΔQ が十分小さくなるまで試算を繰り返す。

この場合、 h の値が管の管水路では、補正料は符号をかえて加える。また、 BC のように回路が重なる管水路では両方から求めた補正量を元に加算する。

【例題】次図に示す管網の各管の流量を求めよ。ただし、 $n=0.013$ とする。

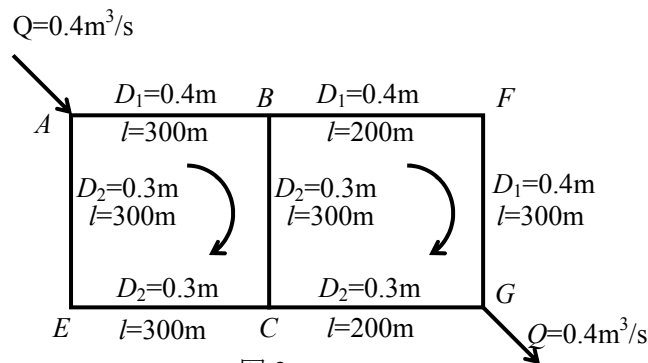


図 2

【解】損失水頭は摩擦だけを考えるので、管 AEC 、管 BFG はそれぞれ一つの管 AC 、管 BG と考える。損失水頭の和は、回路 $ABCEA$ と回路 $BFGCB$ について、時計周りに1周してしらべる。このため、管の名称も回路を1周する時計回りで表す。

摩擦損失係数 f は、表 3-5 から、 $f_1=0.0285(D=0.4m)$ 、 $f_2=0.0314(D=0.3m)$ であるから、各管の k を $k = 8fl / (\pi^2 gD)$ から求めると、

k_{AB}	k_{BC}	k_{CA}	k_{GC}	k_{BG}	k_{CB}
69.1	321.0	641.9	214.0	115.2	321.0

各管の流量と流れの方向を図1のように仮定して、損失水頭の和を調べる。損失水頭の正負は流れの方向が時計回りを正、反時計回りを負とする。

[第1回]

回路 $ABCEA$

$$\begin{array}{ll} h'_{AB} = k_{AB} Q'_{AB}{}^2 = 6.219 & k_{AB} Q'_{AB} = 20.73 \\ h'_{BC} = k_{BC} Q'_{BC}{}^2 = 0.803 & k_{BC} Q'_{BC} = 16.05 \\ h'_{CA} = -k_{CA} Q'_{CA}{}^2 = -0.803 & k_{CA} Q'_{CA} = 16.05 \\ \hline \sum h' = 0.603 & \sum kQ' = 100.97 \end{array}$$

式(a)から

$$\Delta Q = \frac{-\sum h'}{2\sum kQ'} = -0.0030$$

回路 $BFGCB$

$$\begin{array}{ll} h'_{BG} = k_{BG} Q'_{BG}{}^2 = 7.200 & k_{BG} Q'_{BG} = 28.80 \\ h'_{GC} = k_{GC} Q'_{GC}{}^2 = -4.815 & k_{GC} Q'_{GC} = 32.10 \\ h'_{CB} = -k_{CB} Q'_{CB}{}^2 = -0.803 & k_{CB} Q'_{CB} = 16.05 \\ \hline \sum h' = 1.52 & \sum kQ' = 76.95 \end{array}$$

式(a)から

$$\Delta Q = \frac{-\sum h'}{2\sum kQ'} = -0.0103$$

補正量 ΔQ をはじめの仮定流量に加えて、各間の流量を求める。この場合、 h' が負の管では符号を変え、管 BC では両方の ΔQ を加える。

$$Q_{AB} = 0.3 - 0.0030 = 0.2970$$

$$Q_{BC} = 0.05 - 0.0030 + 0.0103 = 0.0573$$

$$Q_{CA} = 0.1 + 0.0030 = 0.1030$$

$$Q_{BG} = 0.25 - 0.0103 = 0.2397$$

$$Q_{GC} = 0.15 + 0.0103 = 0.1603$$

$$Q_{CB} = 0.0573$$

これらの流量を仮定流量として、上記と同様の計算を繰り返すと

回数	回路 $ABCEA$			回路 $BFGCB$		
	$\sum h'$	$\sum kQ'$	ΔQ	$\sum h'$	$\sum kQ'$	ΔQ
2	0.339	105.03	-0.0016	0.066	80.30	-0.0004
3	0.017	105.56	-0.0001	0.061	79.97	-0.0004

となり、補正量 ΔQ が仮定流量に対して小さいので、これを最終補正量とする。各管の流量

は次の通りで、流れの方向ははじめに仮定したとおりである。

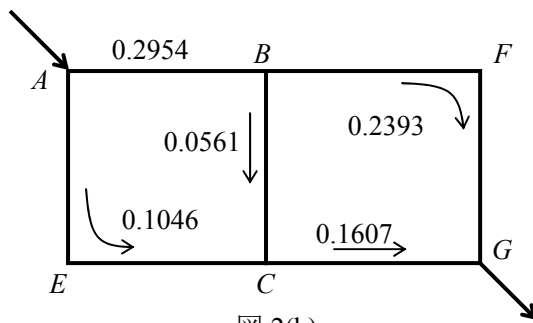


図 2(b)

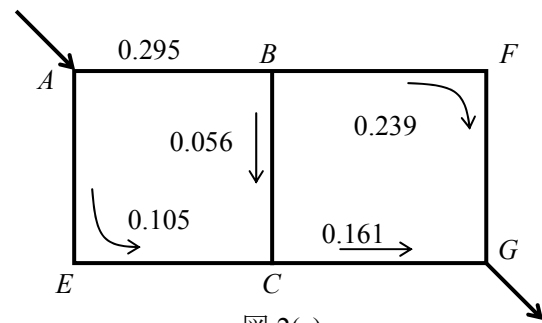


図 2(c)

ゆえに、管網の各管の流量は、次のようになる。

Q_{AB}	Q_{BC}	Q_{CA}	Q_{GC}	Q_{BG}	Q_{CB}
0.295	0.056	0.105	0.161	0.239	0.056

(単位 : m^3/s)

(060826)

ここまでは、全く教科書のフォローである。これを十分理解することによって、プログラムを作ることに挑戦する。ただし、本職でもなく楽しんでやっているの、無駄の多いプログラムであると思う。答えが得られれば私にとっては十分である。

3 管網計算プログラム

ソースプログラムは省略して、データ入力仕様と入力データ、計算結果を示す。

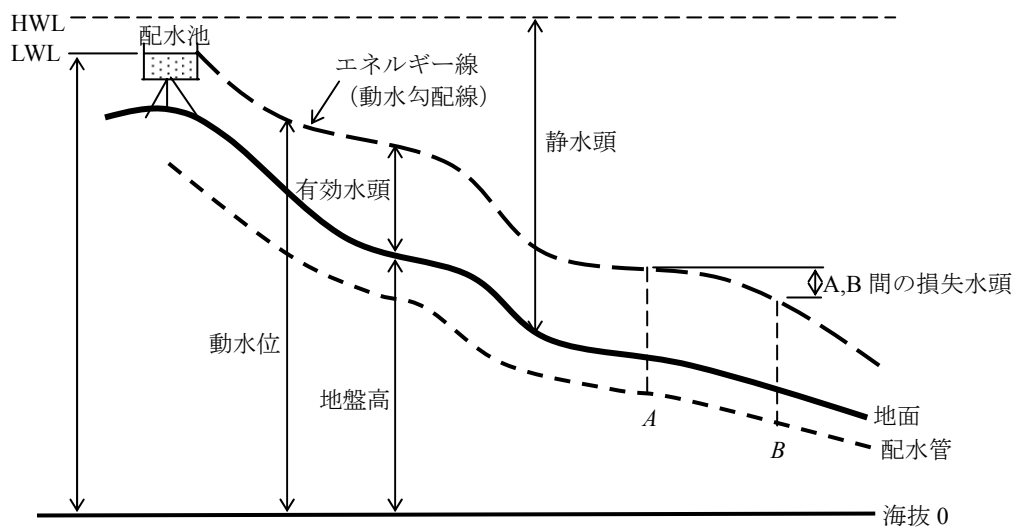
3.1 入力データ仕様

管数	ループ数	節点数	繰返し回数	繰返し判定数	圧力の出発点		
管番号	管径(mm)	管延長(m)	流速係数	地盤高(m)	吐出ポンプ水頭(m)	仮定流量(l/s)	
...							
...							
ループ管数	水頭定数						
...							
...							
節点番号	前節点番号	間の管番号					
...							
...							
...							
...							

1ループの管の番号
(仮定した流れの右回りを正とする)

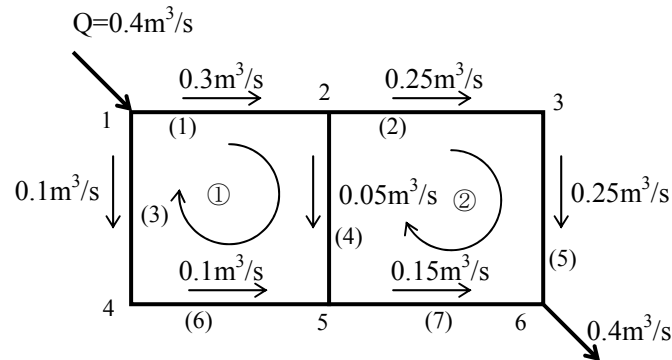
流速係数(p.59 C_H表 2-2)

3.2 語句とそれらの関係



3.3 例題

[例題 1] 次の管網を計算する（実教出版，水理，p.118）．流量は次のように仮定する．



入力データ

7 2 6 30 0.01 0.4

1 400.0 300.0 140 0.0 0.0 0.3
 2 400.0 200.0 140 0.0 0.0 0.25
 3 300.0 300.0 140 0.0 0.0 0.1
 4 300.0 300.0 140 0.0 0.0 0.05
 5 400.0 300.0 140 0.0 0.0 0.25
 6 300.0 300.0 140 0.0 0.0 0.1
 7 300.0 200.0 140 0.0 0.0 0.15

4 0.0 1 4 -6 -3

4 0.0 2 5 -7 -4

2 1 1

3 2 2

4 1 3

5 4 6

6 5 7

管総数，ループ数，節点総数，繰返最大回数，繰返しの判定，圧力の出発値

管番号，管径，管長，流速係数，高さの変化値，吐出ポンプ水頭，流量の仮定値

1 ループの管の数（ループの順番は自由），水頭定数，
 1 ループの管の番号（仮定流れの右回りを正とする）

節点の番号（2 から出発し，2, 3, 4, 5, …），一つ前の節点の番号，それに属する管の番号

出力結果

計算データ

管の数	7
ループの数	2
節点の数	6
繰返し回数	30
誤差	.10E-01
LWL	.4

管の性状定数

管 NO	孔径 (mm)	管長 (m)	流速係数	地盤高 (m)	吐出ポンプ水頭 (m)	仮定流量 (l/s)
1	400.00	300.00	140.00	.00	.00	.30
2	400.00	200.00	140.00	.00	.00	.25
3	300.00	300.00	140.00	.00	.00	.10
4	300.00	300.00	140.00	.00	.00	.05
5	400.00	300.00	140.00	.00	.00	.25
6	300.00	300.00	140.00	.00	.00	.10
7	300.00	200.00	140.00	.00	.00	.15

ループ データ

管の数= 4

管のループ 1 4 -6 -3

管の数= 4

管のループ 2 5 -7 -4

節点と管の関係

節点の番号	2	3	4	5	6
一つ前の節点番号	1	2	1	4	5
節点間の管の番号	1	2	3	6	7

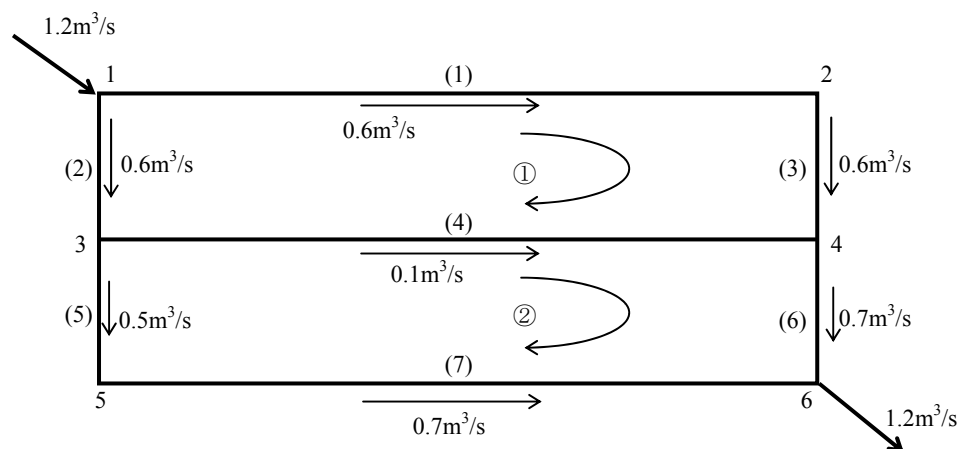
管網の流量解析

管の番号	流量(l/s)	損失水頭(m)	動水勾配(m/m)
1	.29499E+00	.87700E-05	.29233E-04
2	.23667E+00	.38899E-05	.19449E-04
3	.10501E+00	.52674E-05	.17558E-04
4	.58318E-01	.17744E-05	.59146E-05
5	.23667E+00	.58348E-05	.19449E-04
6	.10501E+00	.52674E-05	.17558E-04
7	.16333E+00	.79504E-05	.39752E-04

節点の圧力

節点番号	圧力(kg/cm ²)
1	.400
2	.400
3	.400
4	.400
5	.400
6	.400

[例題 2] 次の管網を計算する（小川 元，水理学，共立出版，p.158）²⁾。流量は次のように仮定する。



入力データ

7 2 6 50 0.001 3.0	→	管総数, ループ数, 節点総数, 繰返最大回数, 繰返しの判定, 圧力の出発値)
1 600 1000.0 140 0.0 0.0 0.6	}	管番号, 管径, 管長, 流速係数, 高さの変化値, 吐出ポンプ水頭, 流量の仮定値
2 600 800.0 140 0.0 0.0 0.6		
3 600 800.0 140 0.0 0.0 0.6		
4 400 1000.0 140 0.0 0.0 0.1		
5 600 400.0 140 0.0 0.0 0.5		
6 600 400.0 140 0.0 0.0 0.7		
7 600 1000.0 140 0.0 0.0 0.5		
4 0.0 1 3 -4 -2	}	1 ループの管の数 (ループの順番は自由), 水頭定数, 1 ループの管の番号 (仮定流れの右回りを正とする)
4 0.0 4 6 -7 -5		
2 1 1	}	節点の番号 (2 から出発し, 2, 3, 4, 5, ...), 一つ前の節点の番号, それに属する管の番号
3 1 2		
4 3 4		
5 3 5		
6 5 7		

出力結果

計算データ

管の数	7
ループの数	2
節点の数	6
繰返し回数	50
誤差	.10E-02
LWL	3.0

管の性状定数

管 NO	孔径 (mm)	管長 (m)	流速係数	地盤高 (m)	吐出ポンプ水頭 (m)	仮定流量 (l/s)
1	600.00	1000.00	140.00	.00	.00	.60
2	600.00	800.00	140.00	.00	.00	.60
3	600.00	800.00	140.00	.00	.00	.60
4	400.00	1000.00	140.00	.00	.00	.10

5	600.00	400.00	140.00	.00	.00	.50
6	600.00	400.00	140.00	.00	.00	.70
7	600.00	1000.00	140.00	.00	.00	.50

ループ データ

管の数= 4

管のループ 1 3 -4 -2

管の数= 4

管のループ 4 6 -7 -5

節点と管の関係

節点の番号 2 3 4 5 6

一つ前の節点番号 1 1 3 3 5

節点間の管の番号 1 2 4 5 7

管網の流量解析

管の番号	流量(l/s)	損失水頭(m)	動水勾配(m/m)
1	.54081E+00	.12454E-04	.12454E-04
2	.65919E+00	.14369E-04	.17962E-04
3	.54081E+00	.99631E-05	.12454E-04
4	.14664E+00	.80227E-05	.80227E-05
5	.51255E+00	.45107E-05	.11277E-04
6	.68745E+00	.77648E-05	.19412E-04
7	.51255E+00	.11277E-04	.11277E-04

節点の圧力

節点番号 圧力(kg/cm²)

1 3.000

2 3.000

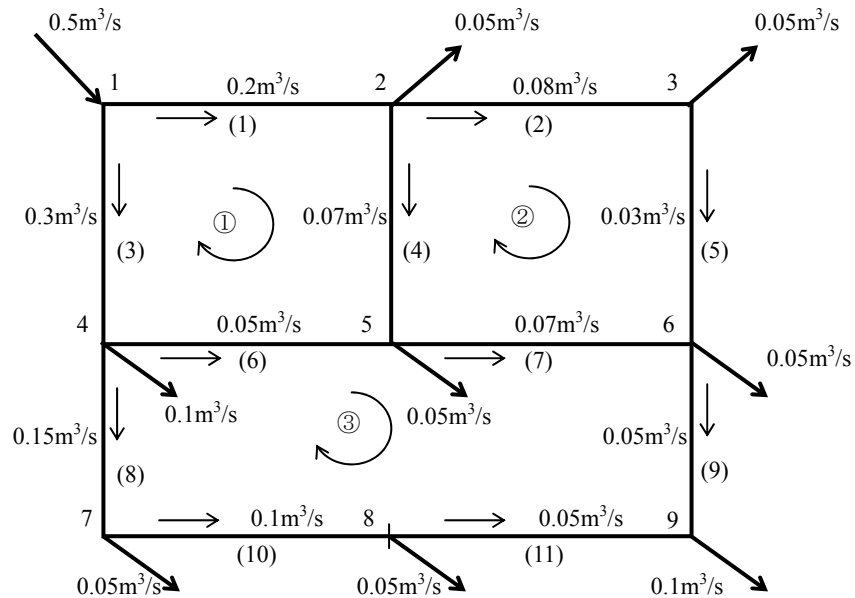
3 3.000

4 3.000

5 3.000

6 3.000

[例題 3] 次の管網を計算する (N 氏が提示した問題, 出所不明). 流量は次のように仮定する.



入力データ

11 3 9 50 0.001 50.

1	200	20.0	110	2.3	0.0	0.2
2	200	20.0	110	1.75	0.0	0.08
3	200	30.0	110	2.8	0.0	0.3
4	200	30.0	110	1.65	0.0	0.07
5	200	30.0	110	1.6	0.0	0.03
6	150	20.0	110	1.80	0.0	0.05
7	150	20.0	110	2.1	0.0	0.07
8	150	20.0	110	1.95	0.0	0.15
9	150	20.0	110	2.2	0.0	0.05
10	150	20.0	110	1.9	0.0	0.1
11	150	20.0	110	1.75	0.0	0.05

地盤高を入れてみました.

4 0.0 1 4 -6 -3

4 0.0 2 5 -7 -4

6 0.0 6 7 9 -11 -10 -8

2 1 1	}
3 2 2	
4 1 3	
5 4 6	
6 5 7	
7 4 8	
8 7 10	
9 8 11	

出力結果

計算データ

管の数	11
ループの数	3
節点の数	9
繰返し回数	50
誤差	.10E-02
初期圧力	50.0

管の性状定数

管 NO	孔径 (mm)	管長 (m)	流速係数	地盤高 (m)	吐出ポンプ水頭 (m)	仮定流量 (l/s)
1	200.00	20.00	110.00	2.30	.00	.20
2	200.00	20.00	110.00	1.75	.00	.08
3	200.00	30.00	110.00	2.80	.00	.30
4	200.00	30.00	110.00	1.65	.00	.07
5	200.00	30.00	110.00	1.60	.00	.03
6	150.00	20.00	110.00	1.80	.00	.05
7	150.00	20.00	110.00	2.10	.00	.07
8	150.00	20.00	110.00	1.95	.00	.15
9	150.00	20.00	110.00	2.20	.00	.05
10	150.00	20.00	110.00	1.90	.00	.10
11	150.00	20.00	110.00	1.75	.00	.05

ループ データ

管の数= 4

管のサイクル 1 4 -6 -3

管の数= 4

管のサイクル 2 5 -7 -4

管の数= 6

管のサイクル 6 7 9 -11 -10 -8

節点と管の関係

節点の番号	2	3	4	5	6	7	8	9
一つ前の節点番号	1	2	1	4	5	4	7	8
節点間の管の番号	1	2	3	6	7	8	10	11

管網の流量解析

管の番号	流量(l/s)	損失水頭(m)	動水勾配(m/m)
1	.26919E+00	.22551E-04	.11275E-02
2	.13360E+00	.61700E-05	.30850E-03
3	.23081E+00	.25448E-04	.84826E-03
4	.85593E-01	.40612E-05	.13537E-03
5	.83599E-01	.38879E-05	.12960E-03
6	.26289E-01	.12376E-05	.61878E-04
7	.61882E-01	.60311E-05	.30155E-03
8	.10452E+00	.15904E-04	.79520E-03
9	.95481E-01	.13454E-04	.67269E-03
10	.54519E-01	.47709E-05	.23855E-03
11	.45186E-02	.47615E-07	.23808E-05

節点の圧力

節点番号	圧力(kg/cm ²)
1	50.000
2	49.770
3	49.595
4	49.720
5	49.540

6	49.330
7	49.525
8	49.335
9	49.160

あとがき

実教出版の「水理 10.9 管網」(p.158)にしたがって、プログラムを組んだ。多少の誤差はあるが、答えは得られている。設計も現場も知らないのでこれ以上のものは無理であるが、教科書の範囲内で、一応どのような形の管網にも適用できる汎用性のあるプログラムのつもりである。ちなみに節点数は 500 節点程度可能である。

BASIC にしろ FORTRAN にしろ、プログラムは自分の思い通りに自由に作ることができる。幸い昔と違ってパソコンも早くなり、メモリーも十分あるため、いろいろなことができ結構面白い。頭の体操と思って挑戦することは、脳の活性化、ボケ防止にいいかもしれない。

先般は、Ruby という言語で土質の計算プログラムを組んでみたが³⁾、このプログラミング言語は比較的簡単でとっつき易い。趣味の範囲で使う分にはストレスなく使うことができる。

また、Windows で動く N88BASIC 互換のフリーソフトがあり、これも便利である。

FORTRAN は MS-FORTRAN (V.4.0) が DOS モードで使用可能である。

前書きに書いた水理の勉強ノートは、次の機会に追加することにして、今回は管網の項のみにとどめた。

1) 水理, 実教出版, p.118.

2) 小川 元, 水理学, 共立出版, p.158.

3) 浜野 浩幹: 土質力学ノート, (協) 島根県土質技術研究センター, 2006.