

衛生工学 上水道

5. 管網解析



名古屋大学減災連携研究センター
Disaster Mitigation Research Center, NAGOYA UNIVERSITY

水道法の一部改正について

- 人口減少に伴う水の需要の減少，水道施設の老朽化，深刻化する人材不足等の水道の直面する課題に対応し，水道の基盤の強化を図るため
- 1. 関係者の責務の明確化
- 2. 広域連携の推進
- 3. 適切な資産管理の推進
- 4. 官民連携の推進
- 5. 指定給水装置工事業者制度の改善

関係者の責務の明確化と広域化の推進

- 「水道の基盤の強化」
- 国，都道府県，市町村，水道事業者等に対し，「**水道の基盤の強化**」に関する責務を規定する。特に，都道府県には水道事業者等の**広域的な連携の推進役**としての責務を規定する。
- 国は，**基本方針**を定める。
- 都道府県は**水道基盤強化計画**を定めることができる。
- 水道事業者等を構成員として，**広域的連携等推進協議会**を設置できる。

適切な資産管理の推進

- 水道事業者等に，**点検を含む施設の維持，修繕を行うことを義務付ける**。
- 水道事業者等に**台帳の整備**を行うことを義務付ける。
 - ✓ 管路調書，施設調書，一般図，施設平面図
- 水道事業者等は，**長期的な観点から，水道施設の計画的な更新に努めなければならない**。水道施設の更新に要する費用を含む収支の見通しを作成し公表するよう努めなければならない。

官民連携の推進

- 最低限の生活を保障するための水道の経営について、**市町村が経営するという原則は変わらない。**
- **水道の基盤の強化のために官民連携を行うことは有効**であり、**多様な官民連携の選択肢を広げる**という観点から、地方公共団体が、水道事業者等としての位置付けを維持しつつ、水道施設の運営権を民間事業者に設定できる方式（**コンセッション方式**）を創設
- 地方公共団体は**PFI法に基づく議会承認等の手続**を経るとともに、**水道法に基づき、厚生労働大臣の許可を受ける**ことにより、民間事業者に施設の運営権を設定

指定給水装置工事事業者制度の改善

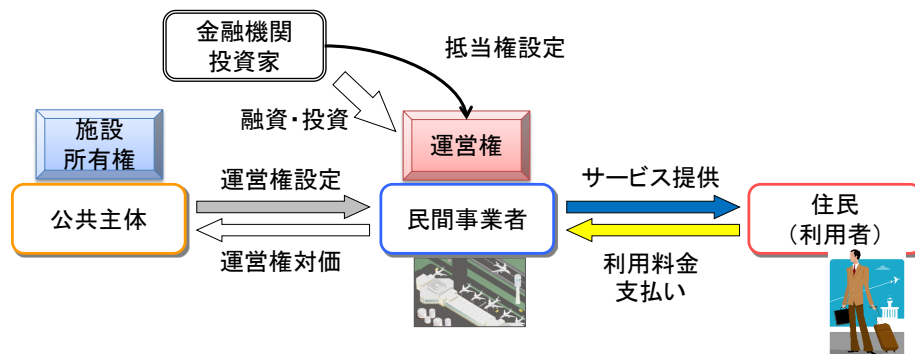
- 工事を適正に行うための資質の保持や実体との乖離の防止を図るため、**給水装置工事事業者の指定の更新制（5年）**を導入。
- 従来の指定の要件を変更するものではない。

水道経営

＞ 運営業務委託

＞ コンセッション方式

- 一 利用料金の徴収を行う公共施設について，施設の所有権を公共主体が有したまま，施設の運営権を民間事業者に設定する方式。



内閣府，コンセッション（公共施設等運営権）事業，2014

給水原価と水道料金

＞ 給水原価

- 一 原価：（経常費用－（受託工事費＋材料及び不用品売却原価＋附帯事業費）－長期前受金戻入）/年間有収水量
- 一 1m³当たり：164.40円，20立方メートル：3,288円

＞ 水道料金-20立方メートル

- 一 全国平均：3,192円

- ＞ 我が国の水道事業は，全国平均では，3,288円で製品を生産し，3,291円で販売している。



名古屋市上下水道局 (給水原価と水道料金)

> 給水原価

- ー 原価：（経常費用－（受託工事費＋材料及び不用品売却原価＋附帯事業費）－長期前受金戻入）/年間有収水量
- ー 20立方メートル：3,304円

> 水道料金－20立方メートル

- ー 全国平均：2,381円

> 名古屋市上下水道局では、3,304円で製品を生産し、2,381円で販売している。



あなたならどうする？

あなたはA市の市民です。

A市の水道事業を民間企業が手掛けることに

A. 賛成する。

B. 反対する。

管網解析

管水路の平均流速公式

- 局部損失を無視しうる長管では、管内流量 Q と摩擦損失水頭 h

$$h = rQ^m$$

- ヘーゼン・ウィリアムズ (Hazen-Williams) の式

$$V = 0.35464CD^{0.63}I^{0.54}$$

$$Q = 0.27853CD^{2.63}I^{0.54}$$

$$I = 10.666C^{-1.85}D^{-4.87}Q^{1.85}$$

V : 平均流速 (m/s) , Q : 流量 (m³/s) , D : 管径 (m) ,

I : 導水勾配, C : 流速係数

配水管の設計

＞ 管種・継手

- 配水管には、ダクタイル鋳鉄管，鋼管，ステンレス鋼管，硬質ポリ塩化ビニル管及び水道配水用ポリエチレン管
- 浸出基準を満足する
- 水圧，外圧に対する安全性
 - ✓ 最大静水圧，水撃圧
 - ✓ 土圧，路面荷重及び地震力

日本水道協会，水道施設設計指針，2012

水圧

＞ 配水管の水圧は，「技術的基準を定める省令」で定められている。

- 配水管から給水管に分岐する箇所での配水管内の最小動水圧は，150kPa（0.15MPa）以上を確保する。
- 配水管から給水管に分岐する箇所での配水管内の最大静水圧は，740kPa（0.74MPa）を超えないこと。
- 2階：0.15～0.20MPa， 3階：0.20～0.25MPa，
4階：0.25～0.30MPa， 5階：0.30～0.35MPa

日本水道協会，水道施設設計指針，2012

管径

- ー 管路の動水圧は，平常時においては，その区域に必要な最小動水圧以上になるよう，かつ，水圧の分布ができるだけ均等となるよう決定する。
- ー 管径の算定にあたっては，配水池，配水塔及び高架タンクの水位はいずれも低水位をとる。
- ー ヘーゼン・ウィリアムズ公式

$$h = 10.666 \cdot C^{-1.85} \cdot D^{-4.87} \cdot Q^{1.85} \cdot L$$

h ：摩擦損失水頭（m）， C ：流速係数， D ：管径（m）， Q ：流量（m³/s）， L ：延長（m）

日本水道協会，水道施設設計指針，2012

管網計算の分類

ー 流量法

- ✓ 流量を未知数として解く方法
- ✓ 古典的なHardy-Cross法はこれ
- ✓ 方程式の種類が多い
- ✓ エネルギー位を指定しにくい

ー エネルギー位法

- ✓ 接点エネルギー位を未知数として解く方法
- ✓ 方程式の種類が少ない
- ✓ 直接エネルギー位を計算
- ✓ EPANET2はこちら

管網解析

＞ ハーディ・クロス法 (Hardy-Cross method)

- 配水管網（閉管路）における流量，損失水頭を計算するための逐次近似法。
- 管網をループごとに解析する。
- 管網を構成する各管路の管径，流量，流向を仮定し，この仮定流量にしたがって補正計算を反復して，流量，流向，損失水頭を決定する方法。
- 計算手順が簡単。
- 計算時間がかかる。

ハーディ・クロス法 (Hardy-Cross method)

- 仮定流量 Q ，補正量 ΔQ とすれば，実際流量は $Q+\Delta Q$
- 損失水頭は， $r(Q+\Delta Q)^m$
- 二項定理によって展開し，を微少量とすると

$$\begin{aligned} r(Q+\Delta Q)^m &= rQ^m + mrQ^{m-1}\Delta Q \\ &= h + \frac{mrQ^m}{Q}\Delta Q = h + \frac{mh}{Q}\Delta Q \end{aligned}$$

- ひとつの閉管路についての損失水頭の総和は0である。

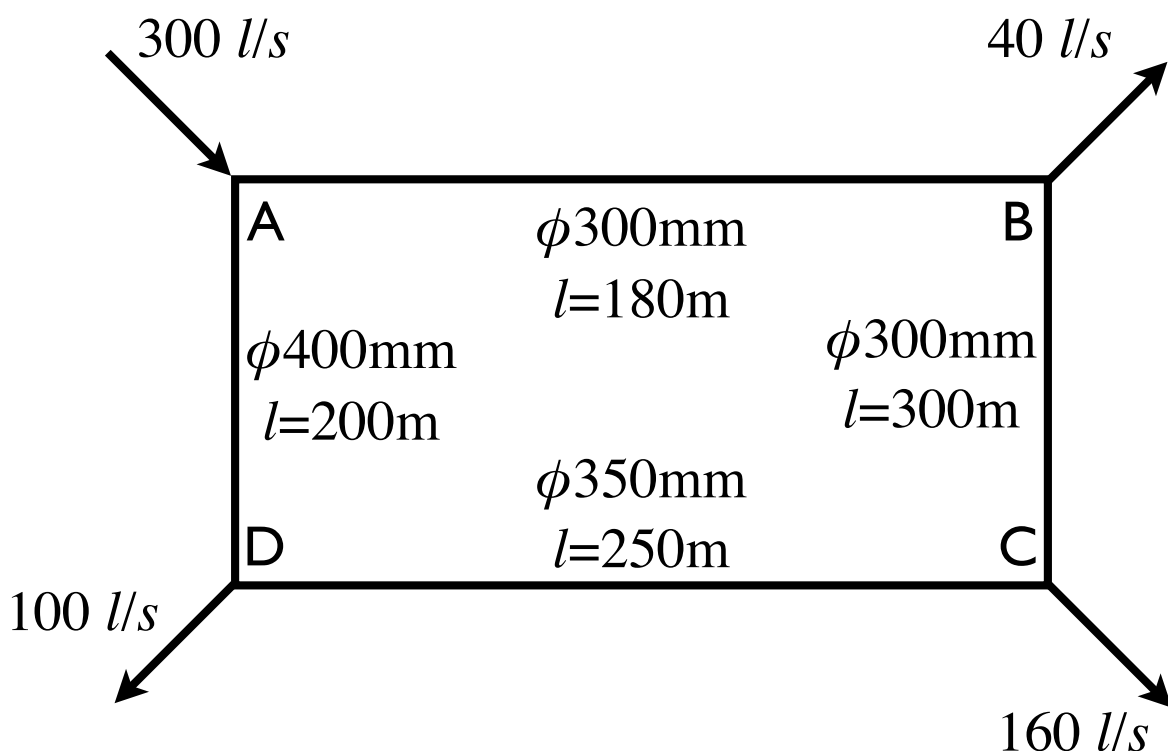
$$\sum h + m \sum \frac{h}{Q} \cdot \Delta Q = 0$$

$$\Delta Q = -\sum h / m \sum \frac{h}{Q}$$

ハーディ・クロス法の計算手順

1. 各管路に流量 Q とその方向を仮定する。ループの時計回りを正とする。二つの網目の共通管は、それぞれの流量の符号が逆になる。
2. 管路ごとに損失水頭 h と h/Q を計算する。
3. 各ループ毎に、 Σh , $\Sigma(h/Q)$ を計算する。
4. ΔQ を計算する。
5. 各ループ毎に補正流量 $Q+\Delta Q$ を計算する。共通管の場合には、当該管のみ二度修正されることになり、 ΔQ の符号も逆にして加える
6. $\Sigma h \approx 0$, すなわち許容範囲内になったとき、計算は終了。

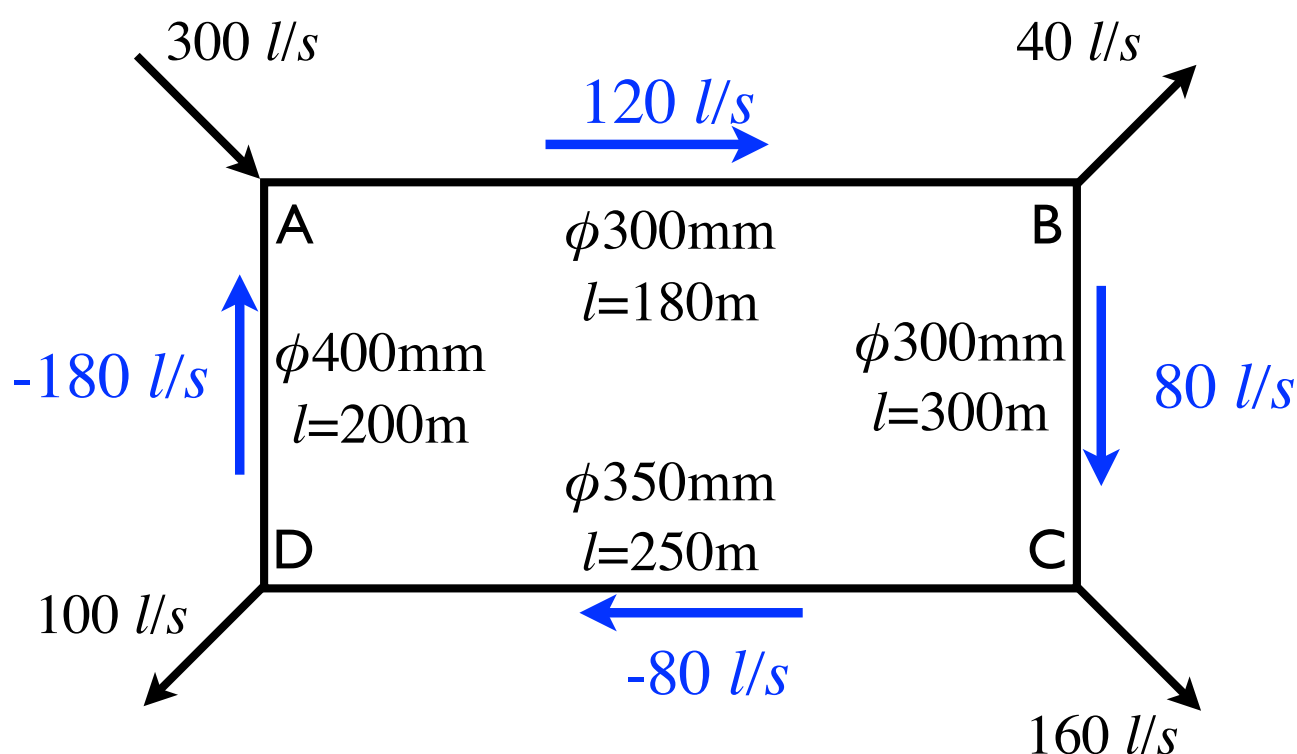
管網計算例



エクセルで計算する管網解析

- 管路別（管路番号，始点終点， C （流速係数）， D （管径）， L （管長）， Q （流量）， r ， h ， h/Q ）に入力する。
- 全ての管路について計算し， Σh ， $\Sigma(h/Q)$ を計算する。
- 補正流量 ΔQ を計算する。
- 各管路の流量 $Q+\Delta Q$ を計算する。
- Σh が ≈ 0 となるまで，繰り返し計算する。

管網計算例（仮の流量設定）



エクセルで計算する管網解析

- 管路別（管路番号，始点終点， C （流速係数）， D （管径）， L （管長）， Q （流量）， r ， h ， h/Q ）に入力する。
- 全ての管路について計算し， Σh ， $\Sigma(h/Q)$ を計算する。
- 補正流量 ΔQ を計算する。
- 各管路の流量 $Q+\Delta Q$ を計算する。
- Σh が ≈ 0 となるまで，繰り返し計算する。

管路別 (管路番号, 始点終点, C (流速係数), D (管径), L (管長), Q (流量), r, h, h/Q) に入力

全ての管路で r , h , h/Q を計算

The screenshot shows a spreadsheet interface with a green header bar containing icons for home, insert, print layout, formulas, data, review, and view. Below the header bar are various toolbars for editing, formatting, and calculations. The main area displays a spreadsheet with columns labeled A through K. The formula bar at the top shows the formula $f_x = 10.666 \cdot E2 / (C2^{1.85}) / (D2^{4.87})$. The spreadsheet data includes pipe section numbers, diameters, lengths, flow rates, roughness coefficients, head losses, and discharge rates.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	管路番号			(m)	(L(m))	(m^3/s)	r	h	h/Q	$Q'(m^3/s)$	
2	1 AB		110	0.3	180	0.12	113.0101	2.2367	18.6389		
3	2 BC		110	0.3	300	0.08	188.3501	1.7607	22.0086		
4	3 CD		110	0.35	250	-0.08	74.0890	-0.6926	8.6573		
5	4 DA		110	0.4	200	-0.18	30.9331	-1.2962	7.2012		

Σh , $\Sigma (h/Q)$ を計算し, 補正流量 ΔQ を計算

The screenshot shows a spreadsheet application with a green title bar. The spreadsheet contains a table with the following data:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	管路番号		C	D(m)	L(m)	Q(m ³ /s)	r	h	h/Q	Q'(m ³ /s)	
2		1 AB		110	0.3	180	0.12	113.0101	2.2367	18.6389	
3		2 BC		110	0.3	300	0.08	188.3501	1.7607	22.0086	
4		3 CD		110	0.35	250	-0.08	74.0890	-0.6926	8.6573	
5		4 DA		110	0.4	200	-0.18	30.9331	-1.2962	7.2012	
6							Σ	2.0086	56.5060		
7							ΔQ	-0.0192			

各管路の流量 $Q + \Delta Q$ を計算

The screenshot shows a spreadsheet application with a table of pipe flow data. The table has columns for pipe number, diameter, length, flow rate, radius, height, and flow rate derivative. The data is for four different pipe configurations (AB, BC, CD, DA). The flow rate derivative values are highlighted in green.

管路番号	D(m)	L(m)	Q(m ³ /s)	r	h	h/Q	Q'(m ³ /s)
1 AB	110	0.3	180	0.12	113.0101	2.2367	0.1008
2 BC	110	0.3	300	0.08	188.3501	1.7607	0.0608
3 CD	110	0.35	250	-0.08	74.0890	-0.6926	-0.0992
4 DA	110	0.4	200	-0.18	30.9331	-1.2962	-0.1992
				Σ		2.0086	56.5060
				ΔQ		-0.0192	

2 回 目

[illegible]

2回目のQの設定

2018衛生工学管網計算例

ホーム

挿入

印刷レイアウト

数式

データ

校閲

表示

カット

コピー

書式

游ゴシック Regular (本...

12

A

A

=

=

=

=

=

=

=

=

=

=

=

=

=

=

=

=

=

=

文字列の折り返し

標準

標準

%

000

0.00

0.00

条件付き書式

F10

fx

Q(m³/s)

A

B

C

D

E

F

G

H

I

J

K

1

管路番号

C

D(m)

L(m)

Q(m³/s)

r

h

h/Q

Q'(m³/s)

2

1 AB

110

0.3

180

0.12

113.0101

2.2367

18.6389

0.1008

3

2 BC

110

0.3

300

0.08

188.3501

1.7607

22.0086

0.0608

4

3 CD

110

0.35

250

-0.08

74.0890

-0.6926

8.6573

-0.0992

5

4 DA

110

0.4

200

-0.18

30.9331

-1.2962

7.2012

-0.1992

6

Σ

2.0086

56.5060

7

ΔQ

-0.0192

8

9

計算2回目

10

管路番号

C

D(m)

L(m)

Q(m³/s)

r

h

h/Q

11

1 AB

110

0.3

180

0.1008

12

2 BC

110

0.3

300

0.0608

13

3 CD

110

0.35

250

-0.0992

14

4 DA

110

0.4

200

-0.1992

15

16

17

18

2回目の補正流量の算出

The screenshot displays the Microsoft Excel application window titled "2018衛生工学管網計算例". The spreadsheet contains two tables of pipe network calculation results.

Table 1 (Rows 1-9):

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	管路番号		C	D(m)	L(m)	Q(m ³ /s)	r	h	h/Q	Q'(m ³ /s)	
2		1 AB		110	0.3	180	0.12	113.0101	2.2367	18.6389	0.1008
3		2 BC		110	0.3	300	0.08	188.3501	1.7607	22.0086	0.0608
4		3 CD		110	0.35	250	-0.08	74.0890	-0.6926	8.6573	-0.0992
5		4 DA		110	0.4	200	-0.18	30.9331	-1.2962	7.2012	-0.1992
6							Σ	2.0086	56.5060		
7							ΔQ	-0.0192			
8											
9	計算2回目										

Table 2 (Rows 10-16):

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
10	管路番号		C	D(m)	L(m)	Q(m ³ /s)	r	h	h/Q		
11		1 AB		110	0.3	180	0.1008	113.0101	1.6196	16.0697	
12		2 BC		110	0.3	300	0.0608	188.3501	1.0593	17.4260	
13		3 CD		110	0.35	250	-0.0992	74.0890	-1.0314	10.3954	
14		4 DA		110	0.4	200	-0.1992	30.9331	-1.5637	7.8496	
15							Σ	0.0837	51.7406		
16							ΔQ	-0.0009			

2回目：各管路の流量 $Q + \Delta Q$ を計算

[illegible]

3 回 目

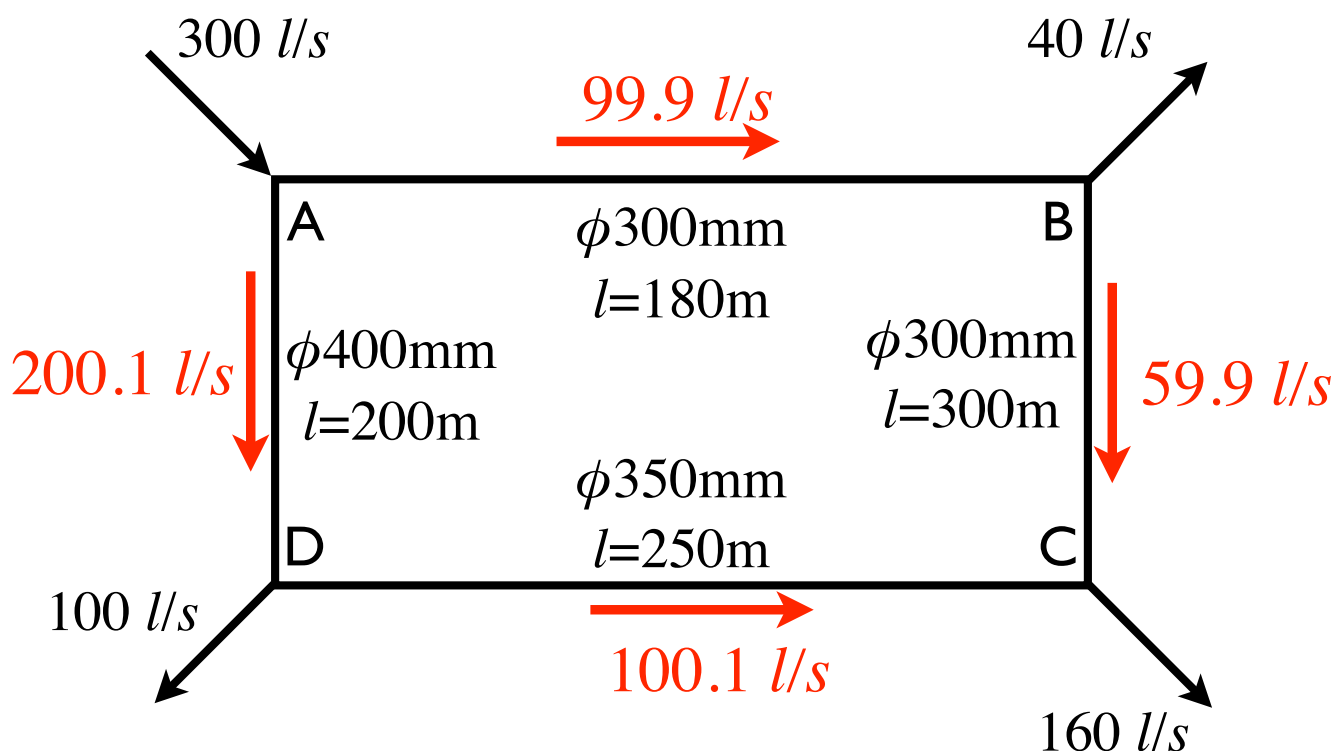
[illegible]

3 回目の補正流量の算出

2018衛生工学管網計算例

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	管路番号		C	D(m)	L(m)	Q(m ³ /s)	r	h	h/Q	Q'(m ³ /s)	
2	1 AB		110	0.3	180	0.12	113.0101	2.2367	18.6389	0.1008	
3	2 BC		110	0.3	300	0.08	188.3501	1.7607	22.0086	0.0608	
4	3 CD		110	0.35	250	-0.08	74.0890	-0.6926	8.6573	-0.0992	
5	4 DA		110	0.4	200	-0.18	30.9331	-1.2962	7.2012	-0.1992	
6						Σ		2.0086	56.5060		
7						ΔQ		-0.0192			
8											
9	計算2回目										
10	管路番号		C	D(m)	L(m)	Q(m ³ /s)	r	h	h/Q	Q'(m ³ /s)	
11	1 AB		110	0.3	180	0.1008	113.0101	1.6196	16.0697	0.0999	
12	2 BC		110	0.3	300	0.0608	188.3501	1.0593	17.4260	0.0599	
13	3 CD		110	0.35	250	-0.0992	74.0890	-1.0314	10.3954	-0.1001	
14	4 DA		110	0.4	200	-0.1992	30.9331	-1.5637	7.8496	-0.2001	
15						Σ		0.0837	51.7406		
16						ΔQ		-0.0009			
17											
18	計算3回目										
19	管路番号		C	D(m)	L(m)	Q(m ³ /s)	r	h	h/Q	Q'(m ³ /s)	
20	1 AB		110	0.3	180	0.0999	113.0101	1.5937	15.9510		
21	2 BC		110	0.3	300	0.0599	188.3501	1.0312	17.2126		
22	3 CD		110	0.35	250	-0.1001	74.0890	-1.0483	10.4733		
23	4 DA		110	0.4	200	-0.2001	30.9331	-1.5765	7.8788		
24						Σ		0.0002	51.5157		
25						ΔQ		0.0000			
26											

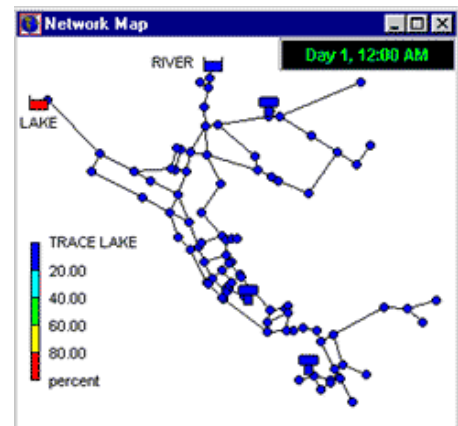
管網計算結果



管網解析ツール

> EPANET2

- is software that models the hydraulic and water quality behavior of water distribution piping systems
- U.S. EPA



EPA, <https://www.epa.gov/water-research/epanet#main-content>

EPANET2について

- USEPAが提供するPublic domain software（完全にフリー）
- Windows, MacOS X, Linux
- コードも提供されている。改変自由。
- 多くの市販管網解析ツールの解析エンジンとして利用されている。
- エネルギー位法で解いている。
- 水質計算もできる。

EPANET2の入手

- EPANET2で検索したら出てくるサイト

<https://www.epa.gov/water-research/epanet>

- ダウンロードとしたファイルをダブルクリックしてOKを何回か押すとインストールされる。

火災時における流量計算

- 計画給水人口100,000人を超える場合は、計画時間最大配水量に十分余裕があり、平常時の場合と同様に計算する。
- 計画給水人口100,000人以下の場合は、各管路の分担する流量は、計画一日最大給水量と消火用水量との合計とするのが望ましい。

計画一日最大給水量に加算する 人口別消火用水量

人口（万人）	消火用水量（ m^3/min ）
0.5未満	1 以上
1	2
2	4
3	5
4	6
5	7
6	8
7	8
8	9
9	9
10	10

備考 人口については当該人口の万未満の端数を四捨五入して得た数による（0.5万人未満を除く）。