

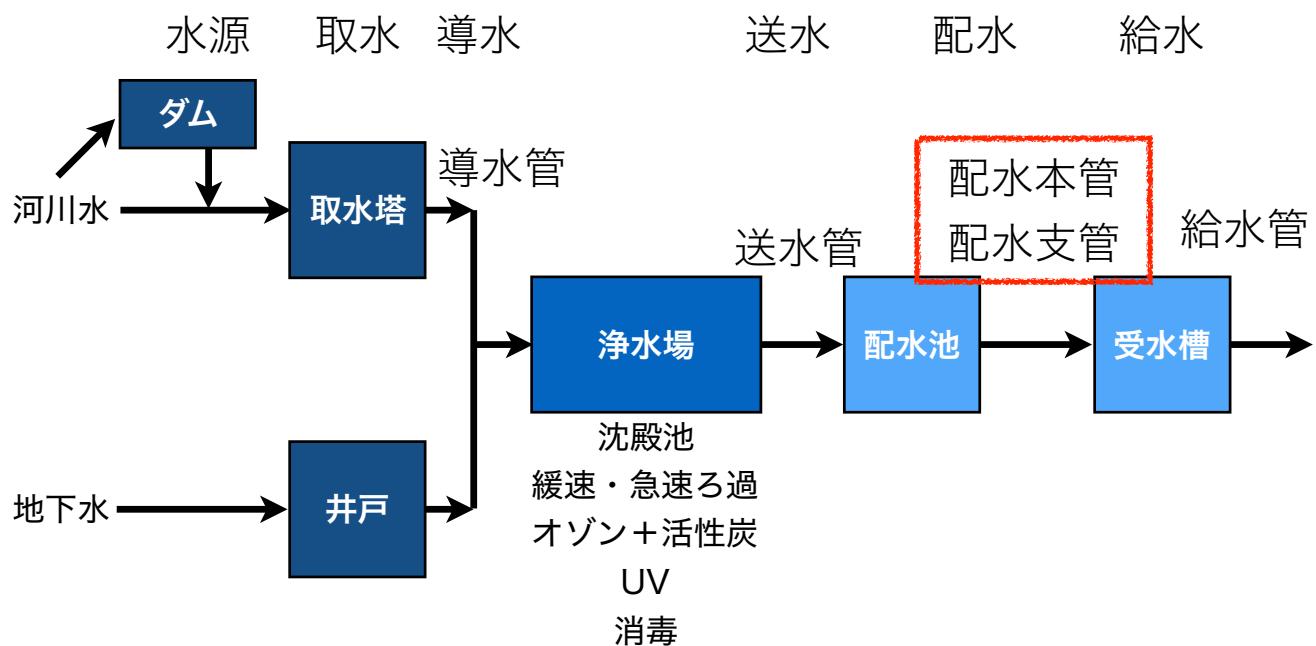
# 衛生工学 上水道

## 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

# 上水道システム

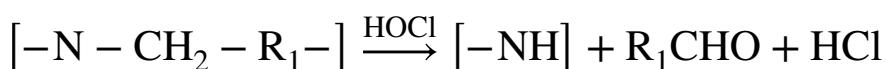


# 水質異常時における摂取制限を伴う 給水継続の考え方

- › 厚生労働省健康局水道課長通知（平成28年3月31日健水発0331第6号）
- › 給水の緊急停止、水道法第23条
  - 「人の健康を害するおそれ」とは、**水道水質基準に適合しない場合ではなく**、その水を使用すれば直ちに人の生命に危険を生じ、又は身体の正常な機能に影響を与えるおそれがある場合
- › 摂取制限を伴う給水継続

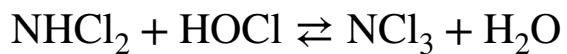
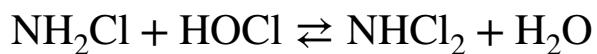
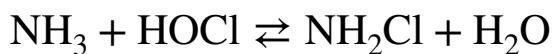
## 利根川水系における ホルムアルデヒド検出に伴う取水停止

- 2012年5月19日～20日に千葉県内5市36万戸において断水
- 工場の廃水中に高濃度のヘキサメチレンテトラミン 約10.8トン（推定値）
- ヘキサメチレンテトラミン $C_6H_{12}N_4$ ,  $(CH_2)_6N_4$
- 3級アミンと塩素と反応

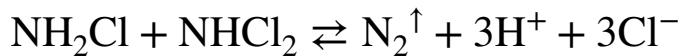


## 塩素反応（アンモニアがある場合）

- 塩素はアンモニアと反応して、**結合塩素**（モノクロラミン、ジクロラミン、トリクロラミン）が生じる。



- さらに塩素を加えると、結合有効塩素が減少



## ホルムアルデヒド

- 水道水質基準：0.08mg/L
- 工場排水基準：10mg/L
- 2012年5月15日：埼玉県で浄水中から水道水質基準に近い濃度0.045mg/Lを定期検査で検出
- 粉末活性炭による吸着処理や塩素注入点の変更
- 高度浄水処理（オゾン処理や生物活性炭処理等）の浄水処理設備を有していない浄水場では、浄水中のホルムアルデヒド濃度が上昇 最高0.168ml/L
- 浄水場で取水、送水を停止。

# あなたならどうする？

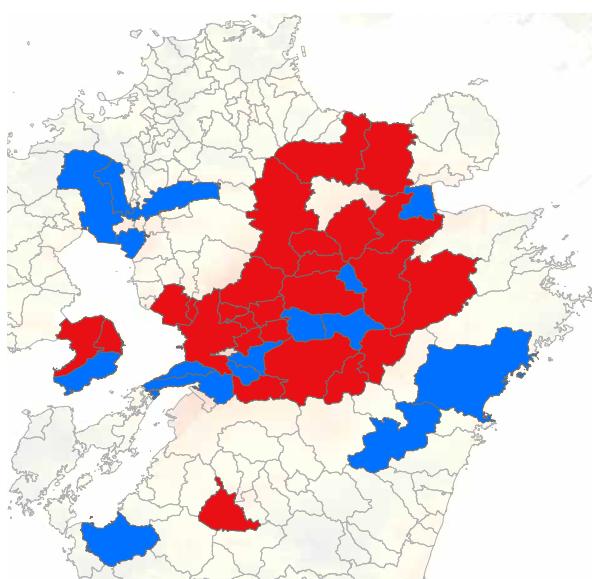
あなたは水道技術管理者です。地震後、原水の濁度が上昇し、配水・給水の水質が、水道水質基準（濁度2度以下）に適合することができません。

A.給水停止（断水）する。

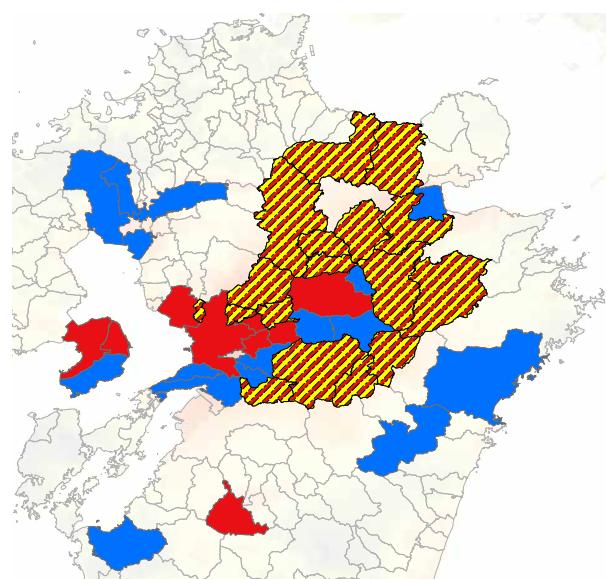
B.摂取制限を伴う給水継続を行う。

## 原水の濁度上昇と摂取制限

原水の濁度上昇



■ 原水濁度上昇なし  
■ 原水濁度上昇あり



■ 摂取制限 ■ 原水濁度上昇なし  
■ 原水濁度上昇あり

## Boil water advisory/notice/order

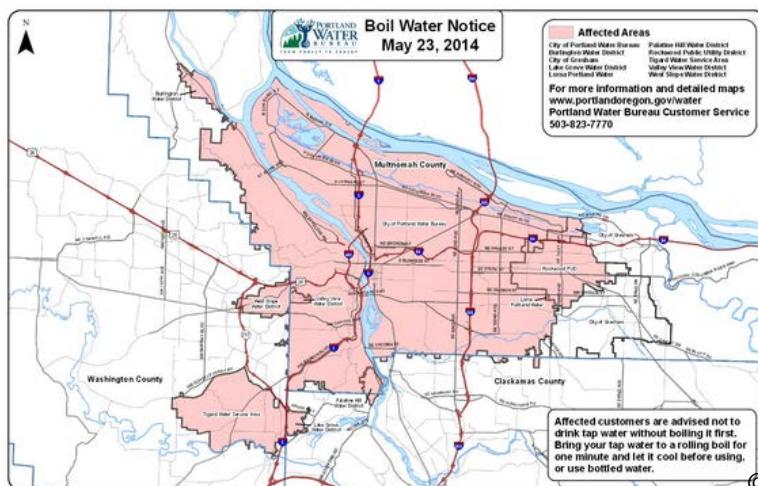
- a public health advisory or directive given by government or health authorities to consumers when a community's drinking water is, or could be, contaminated by pathogens.
- Under a boil-water advisory (BWA), the Centers for Disease Control and Prevention recommends that water be brought to a rolling boil for one minute before it is consumed in order to kill protozoa, bacteria and viruses.

## Portland, Oregon issues boiled water notice for entire city, May 23, 2014

- The Portland Water Bureau issued a city-wide boil notice on Friday morning, May 23, 2014, after water staffers detected E. coli in three separate tests during the past three days.
- The State of Oregon Health Authority's Drinking Water Program has required the City of Portland to issue a Boil Water Notice for all Portland Water Bureau customers and some regional water providers.
- Until further notice, all Portland Water Bureau customers and those in the affected areas should boil all tap water used for drinking, food preparation, tooth brushing and ice for at least one minute. Ice or any beverages prepared with un-boiled tap water on or after May 20 should be discarded. Detailed maps, fact sheets and additional information can be found on the Water Bureau's website

# Boiled Water Notice

- In three separate incidents from May 20 to May 23, repeat water samples confirmed the presence of total coliform and E. coli in routine drinking water samples. The water samples that tested positive for bacteria were collected at the outlets of Mt. Tabor Reservoirs 1 and 5, and at the SE 2nd Avenue and Salmon Street water sampling station. Both reservoirs have been taken offline.



©City of Portland, 2014

# Boil water notice/advisory

## Boil water advisory issued for Chatham after water main break

Cellie Simkiss Jul 7, 2017 0



Due to a water main break in the water treatment plant, the town of Chatham has issued a boil water advisory until the rupture has been repaired.

 Red Deer

About Red Deer Business Recreation and Culture City Services City Government - Whele

Boil Water Advisories

Find out more information about boil water advisories and what they mean...

Boil water advisory issued for: 19 Baines Crescent only.

Date issued: June 8, 2017 7:31 PM

Boil water advisory issued for: 65, 69, 73, 77, 81, 85, 90, 93, 94, 97, 98, 101.

Date issued: July 12, 2017 10:21 PM

Map of affected properties

Repairs are currently underway. The town's water department will be testing samples.

The town will issue a notice when the advisory is lifted.

© 2017 Hearst Communications, Inc.

FLINT NEWS

## Water main break leads to boil water advisory, closed road in Mt. Morris

Comment Updated on June 29, 2017 at 4:47 PM. Posted on June 29, 2017 at 4:46 PM



- A boil water advisory has been issued for some Mt. Morris customers after a water main break in the city.



(MLive.com File Photo)

Morris has notified customers about the boil water advisory, which affects the area between Helen Avenue and Mt. Morris Road.

For more information, contact the Saginaw City Water Department at 989-753-2200. There was no word on when the advisory or road closure would be lifted.

## 管網解析

## 我が国の水道管路

— 管路の総延長：712,290km 地球17.77周分

✓ 導水管：11,684km, 送水管：33,924km, 配水管：630,888km

— 一日平均給水量1,000m<sup>3</sup>当たりの配水管延長：16.3km

— 給水人口一人当たりの管路長：5.74m

— 管種：鋳鉄管1.9%, ダクタイル鋳鉄管54.8%, 鋼管2.6%, 石綿セメント管0.6%, 硬質塩化ビニル管32.9, ポリエチレン管6.4%, その他0.8%

— 耐震管：24.9%, 耐震適合性：39.3%

— 法定耐用年数40年を越えた管：16.3%

## 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・ウェイリアムズ (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 (m<sup>3</sup>/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

# 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

- 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。
- 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。
- ヘーゼン・ウイリアムズ公式

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

$h$  : 摩擦損失水頭 (m),  $C$  : 流速係数,  $D$  : 管径 (m),  $Q$  : 流量 ( $m^3/s$ ),  $L$  : 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

## － 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

## － 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  $\Delta Q$  とすれば, 実際流量は  $Q + \Delta Q$
- 損失水頭は,  $h = rQ^m = r(Q + \Delta Q)^m$
- 二項定理によって展開し,  $\Delta Q$  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。

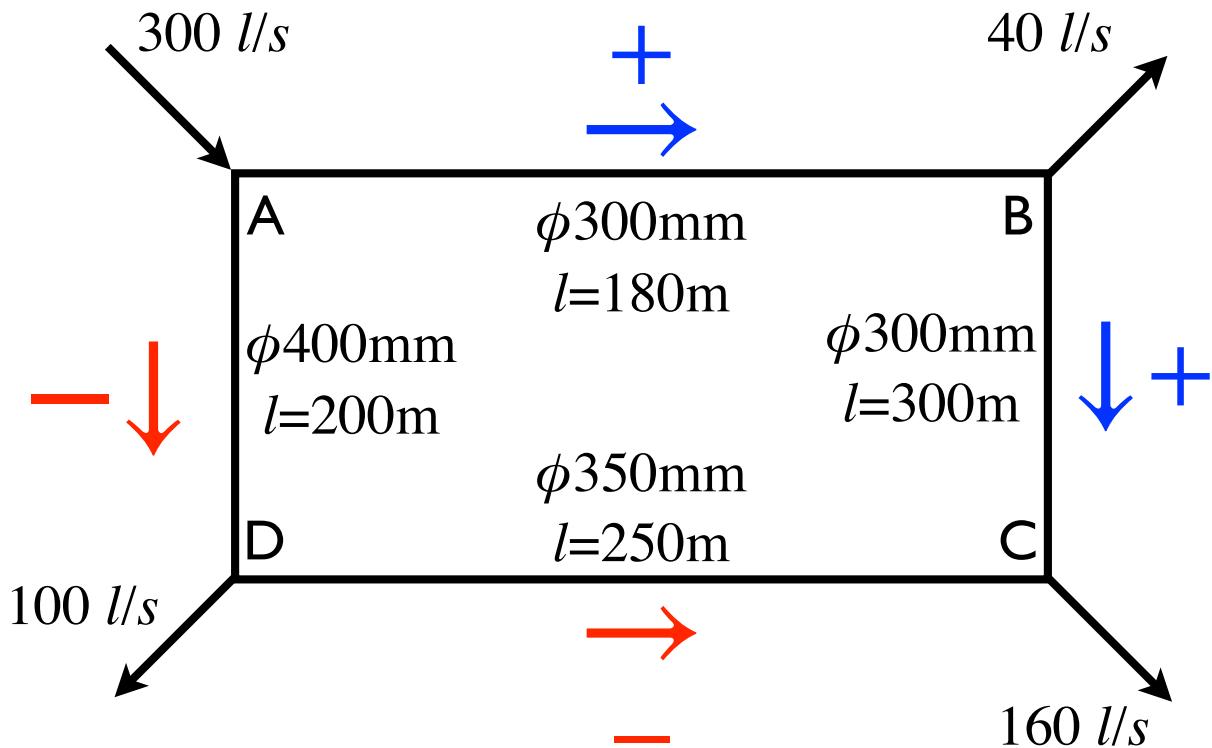
$$\sum h + m \sum \frac{h}{Q} \Delta Q = 0$$

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

## 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,  $\sum h$ ,  $\sum h/Q$  を計算する。
4.  $\Delta Q$  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、 $\Delta Q$  の符号も逆にして加える
6.  $\sum h \doteq 0$ , 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

1. 管路別に、管路番号、始点終点、 $C = 110$ （流速係数）、 $D$ （管径）、 $L$ （管長）、 $Q$ （流量）を入力する。 $Q$ は各節点でのマスバランスを考慮して設定する。

$r = 10.666C^{-1.85}D^{-4.87}L$ ,  $h = rQ^{1.85}$ ,  $h/Q$ は計算式で計算する。ただし、損失水頭の正負情報を残すため,  
 $h = rQ|Q|^{0.85}$ として計算する。

2. 全ての管路について計算し、 $\sum h$ ,  $\sum h/Q$ を計算する。
3. 補正流量 $\Delta Q$ を計算する。
4. 各管路の流量 $Q + \Delta Q$ を計算する。
5.  $\sum h \doteq 0$ となるまで、繰り返し計算する。

管路別に、管路番号、始点終点、C（流速係数）、D（管径）、L（管長）、Q（流量）を入力

全ての管路で $r$ ,  $h$ ,  $h/Q$ を計算

$\sum h$ ,  $\sum h/Q$ を計算し, 補正流量 $\Delta Q$ を計算

$$\Delta Q = - \sum h/1.85 \sum \frac{h}{Q}$$

各管路の流量 $Q + \Delta Q$ を計算

2回目

計算2回目										
管路番号	C	D(m)	L(m)	Q(m <sup>3</sup> /s)	r	h	h/Q	Q'(m <sup>3</sup> /s)		K
1 AB		110	0.3	180	0.12	113.0101	2.2367	18.6389	0.1008	
2 BC		110	0.3	300	0.08	188.3501	1.7607	22.0086	0.0608	
3 CD		110	0.35	250	-0.08	74.0890	-0.6926	8.6573	-0.0992	
4 DA		110	0.4	200	-0.18	30.9331	-1.2962	7.2012	-0.1992	
					Σ		2.0086	56.5060		
					ΔQ		-0.0192			
計算2回目										
管路番号	C	D(m)	L(m)							
11 AB		110	0.3	180						
12 BC		110	0.3	300						
13 CD		110	0.35	250						
14 DA		110	0.4	200						

## 2回目の $\mathcal{Q}$ の設定

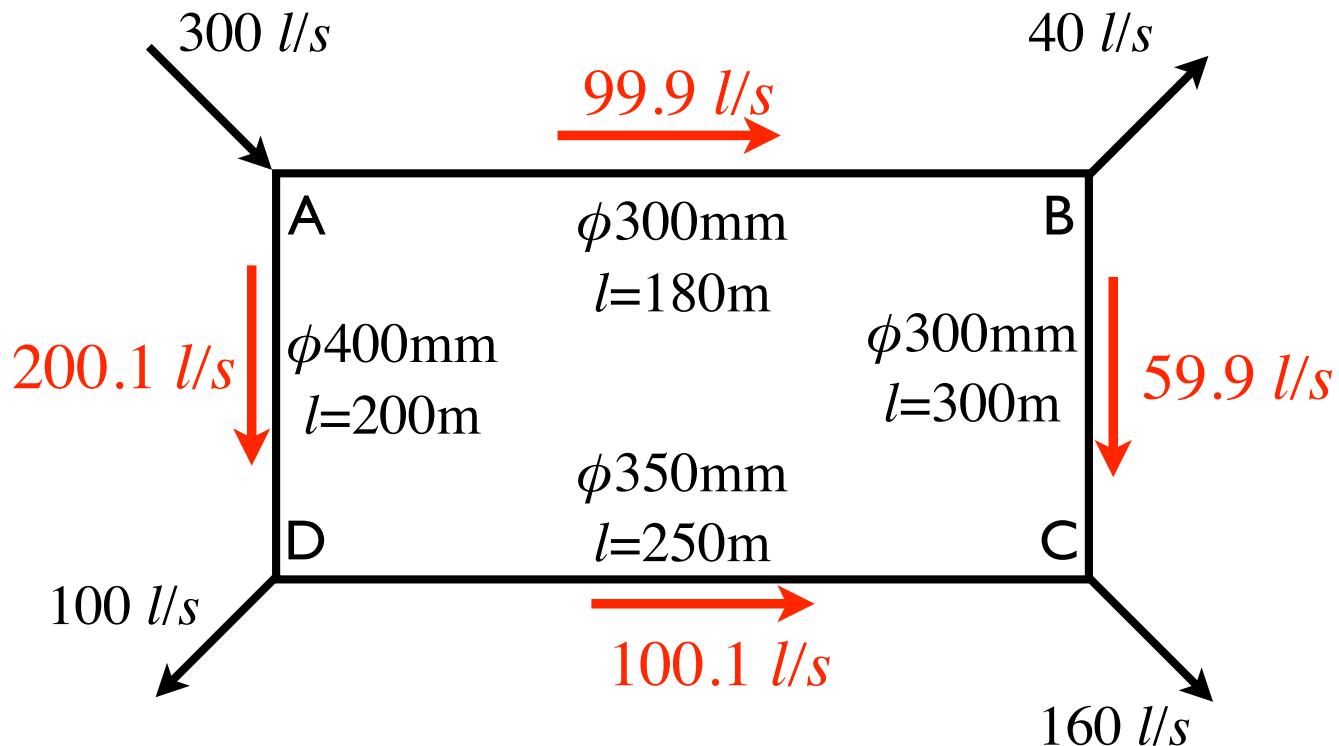
## 2回目の補正流量 $\Delta Q$ の算出

2回目：各管路の流量 $Q + \Delta Q$ を計算

3回目

## 3回目の補正流量 $\Delta Q$ の算出

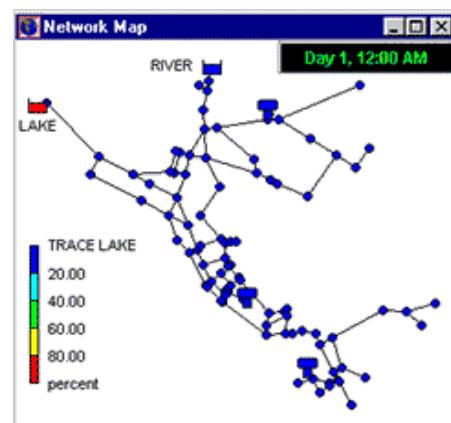
## 管網計算結果



## 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



## 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。

日本水道協会、水道施設設計指針、2012

## 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）。

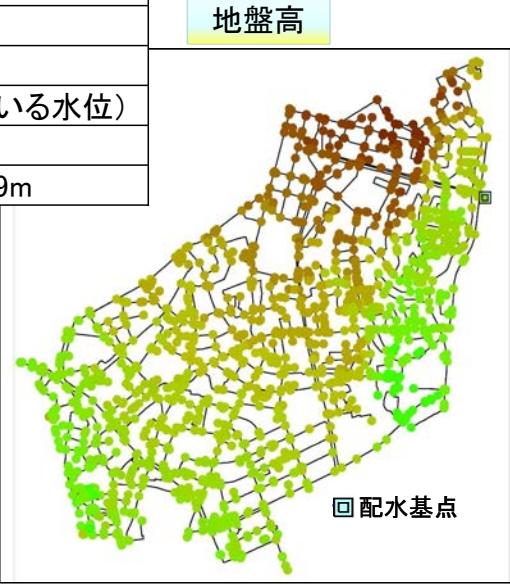
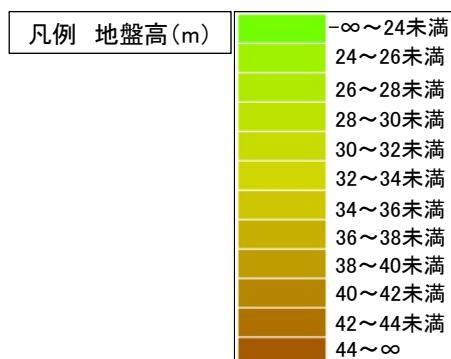
# Rainbows プロジェクト 将来の不確実性に対応した水道管路システムの 再構築に関する研究

新技術を取り入れた管網管理に向けた研究

管網管理研究委員会

## 対象エリアの概要(1/3)(管網状管路)

配水エリア面積	約1.49km <sup>2</sup>
総管路延長	35.8km
管路口径	Φ100~Φ350
配水方式	自然流下方式
減圧弁有無	なし
配水池水位	68.0m(解析に用いる水位)
配水池出口の残塩濃度	0.52mg/l
地盤高	TP + 22.7m~48.9m



## 管網の評価指標

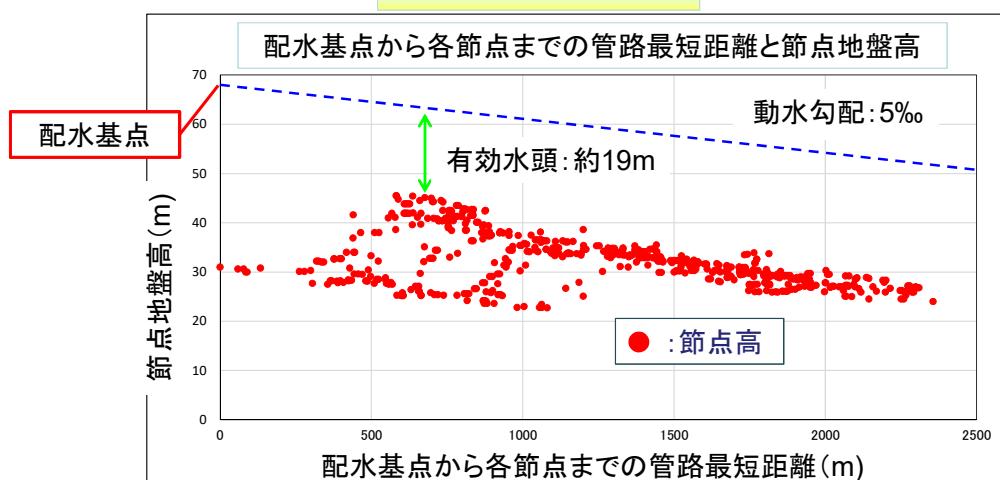
管網評価指標	目標値
(1)水圧	平常時:0.15MPa~0.74MPa 火災時:正圧であること
(2)流速	ほぼすべての管路において0.2~3.0m/s
(3)残留塩素濃度	0.1mg/L~0.4mg/L

※上記は目安として示したものであり、実際の検討に当たっては事業体の特性に応じて設定する必要がある。

3

## 計画管網モデルの設定(1/3)(管網状管路)

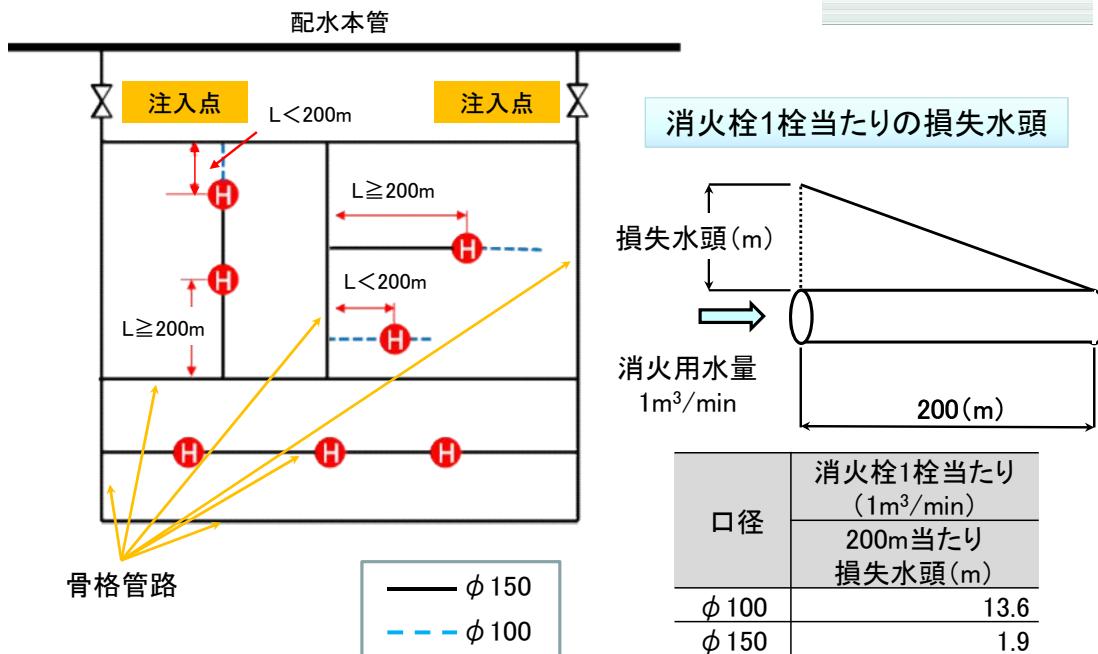
### 標準動水勾配の設定



- 各節点の最小動水圧を0.15MPa以上確保するために、配水基点の水頭TP + 68.0mから、おおむね「5‰」の動水勾配と設定。

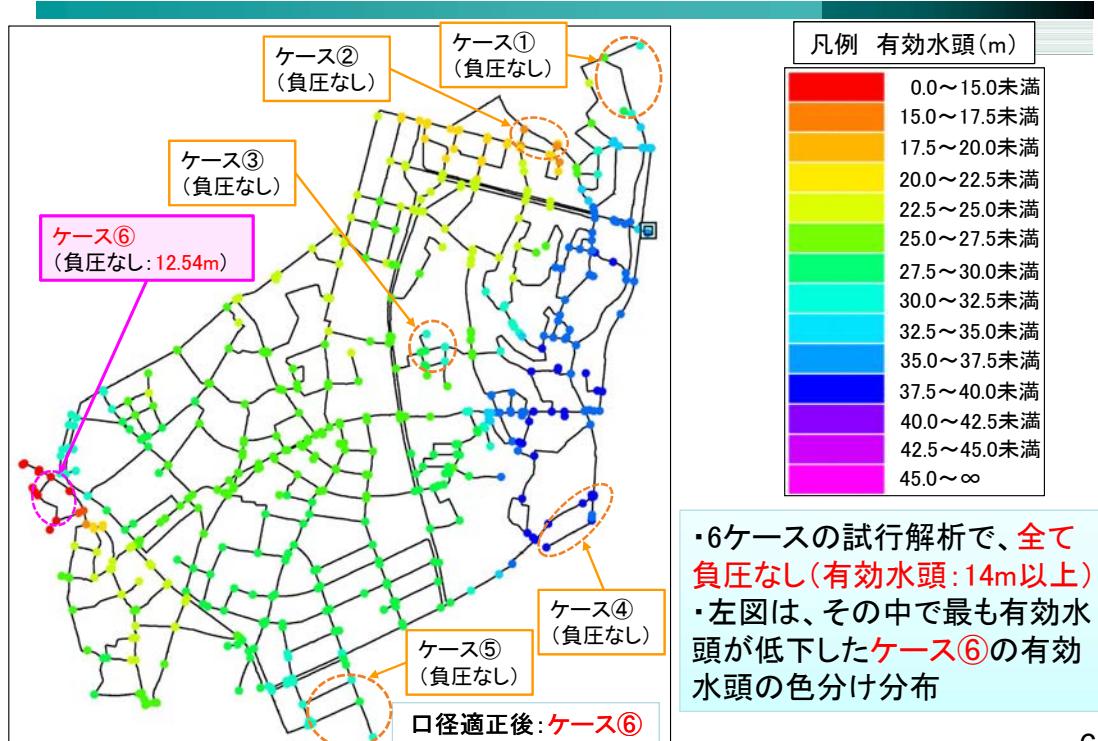
4

## 消火栓設置管路(骨格管路)の最小口径の設定



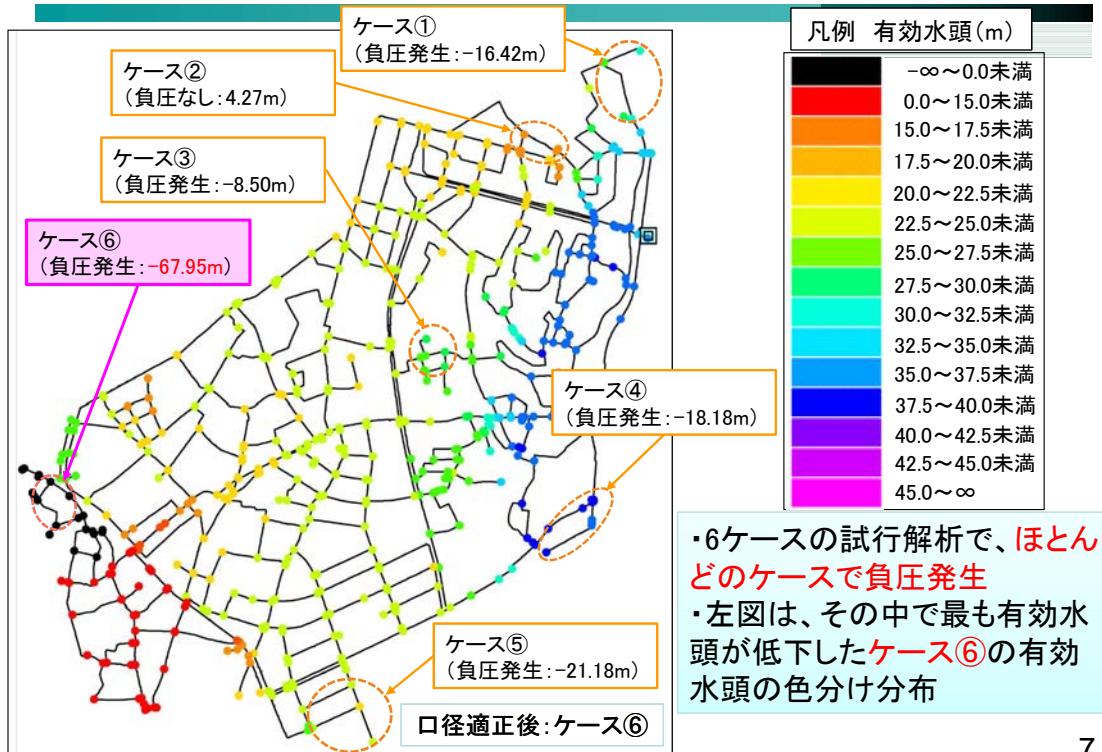
5

## 火災時の評価解析結果(管網状管路)



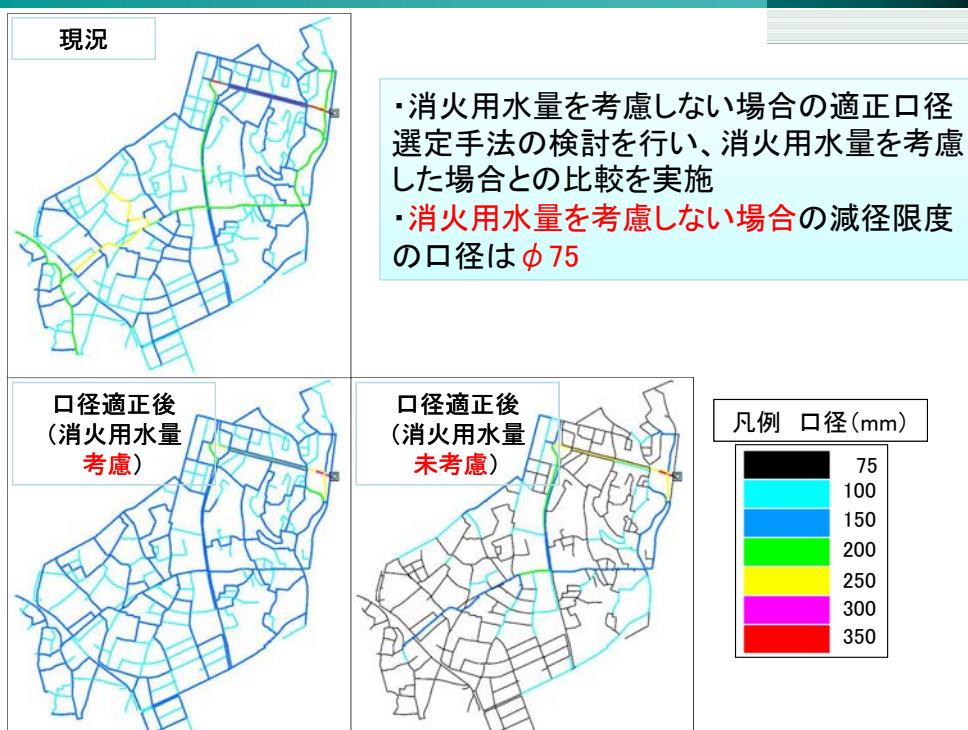
6

## 火災時の評価解析結果(管網状管路)(骨格最小口径 $\phi 100$ )



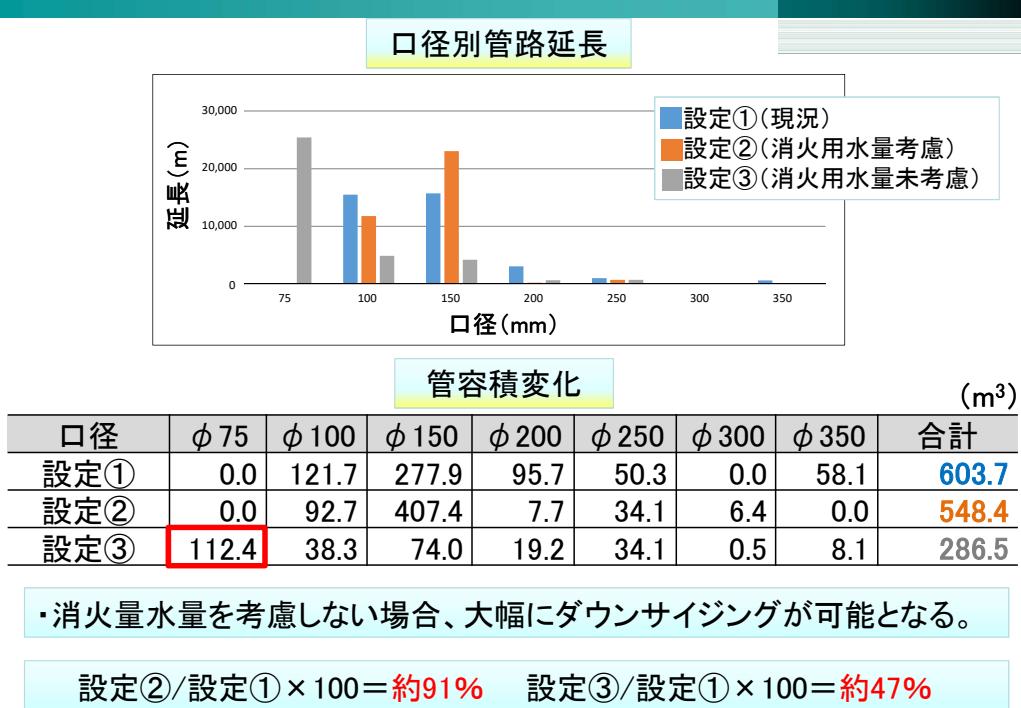
7

## 消火用水量を考慮しない場合の検討(1/2)(管網状管路)



8

## 消火用水量を考慮しない場合の検討(2/2)(管網状管路)



## 課題\_第5回

### NUCTにて提出 (締切：6月5日24時)

- 以下について知っていることを記述せよ。 (数行)
  - ヘーゼン・ウイリアムズの式
  - ハーディ・クロス法
- あなたは水道技術者です。人口減少により、管網のダウンサイジングを検討しないといけません。しかしながら、消防部局からはダウンサイジングはやめてほしいと言われています。あなたは、A.ダウンサイジングの検討を進める？B.ダウンサイジングの検討をやめる？その理由や条件等とともに示すこと。