

衛生工学 上水道

2. 流出解析と地下水取水



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

流出解析

水文現象の解析

- 極値現象（最大・最小、順序統計、極値統計）
 - ✓ 渇水
 - ✓ 雨水
- 決定論（現象論）
- 確率論（統計論）

再現期間 Return Period

- > x (流量、雨量など) がある値 x_a 以上 (洪水) または以下 (渴水) となることが平均的にみて T 年に一度の割合で期待される。
- > T 年を x の再現期間 (Return Period) という。

分布型を想定しない場合：Hazen Plot

1. N 個のデータを小さい順に並べる。 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$
2. それぞれの正規確率を $1/N$ とする。
3. x_i をはさむ小区間面積をすべて $1/N$ になるよう小区間近似をする。
 - N 個のデータの*i*番目の非超過確率（超過確率）は,
$$W(x_i) = \frac{1}{N}(i - 1) + \frac{1}{2N}$$
 - (特徴) 実用性が大きい。確率の大きい、または小さいところ（両端）で精度が落ちる。

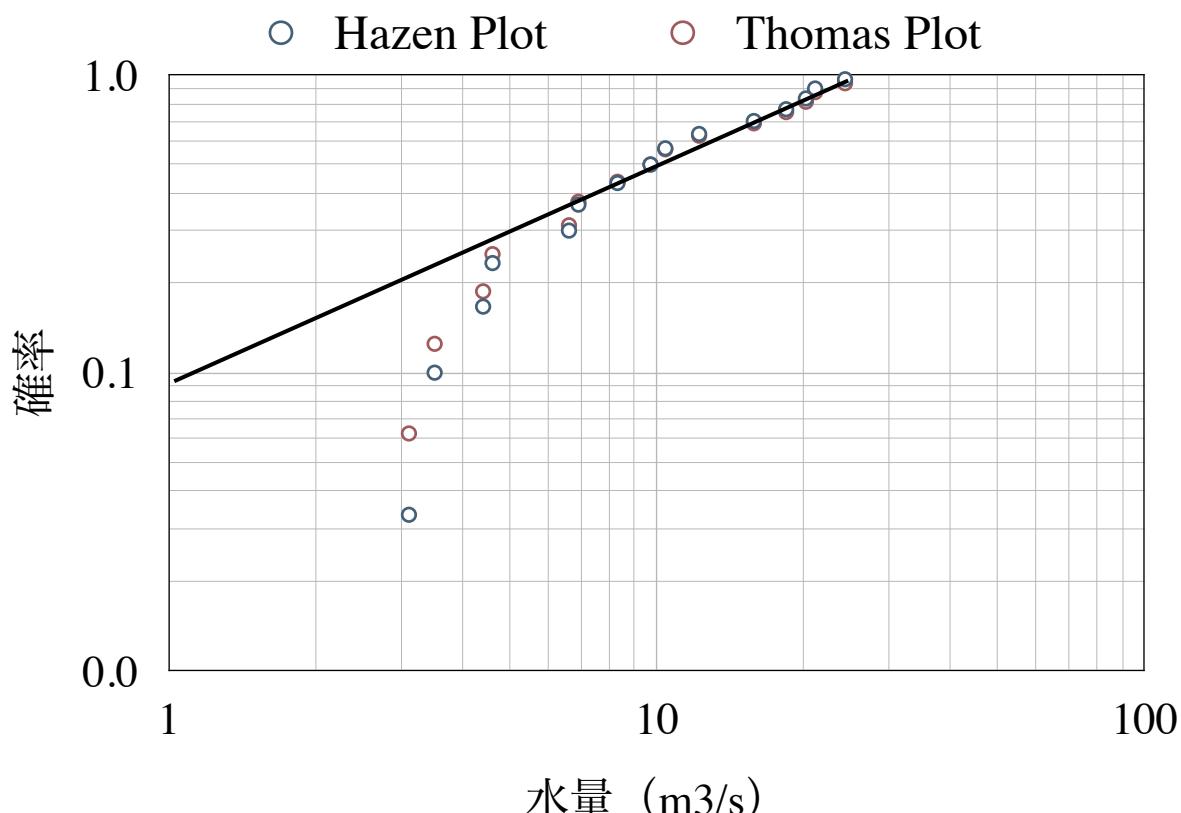
分布型を想定しない場合：Thomas Plot

- Hazen Plotと同様、データを大きさの順に並べ、 x_i の（非）超過確率を W_i とすると,
$$W(x_i) = \frac{i}{N + 1}$$
- Hazen Plotにくらべ、下端で大きめの確率を与える傾向が強く、技術上安全側であり多用される。
- 確率降雨強度の算出に用いる。

流量の毎年（15年）最小データ

i	$x_i (m^3/s)$	Hazen	Thomas
1	3.1	1/30	1/16
2	3.5	3/30	2/16
3	4.4	5/30	3/16
4	4.6	7/30	4/16
5	6.6	9/30	5/16
6	6.9	11/30	6/16
7	8.3	13/30	7/16
8	9.7	15/30	8/16
9	10.4	17/30	9/16
10	12.2	19/30	10/16
11	15.8	21/30	11/16
12	18.4	23/30	12/16
13	20.2	25/30	13/16
14	21.1	27/30	14/16
15	24.3	29/30	15/16

毎年最小データより渇水の10年確率



分布型を想定する場合：岩井法

- データの母集団の分布について、下限値 b を有する対数正規分布を頻度分布と想定して、水文予測する。
- 日本の確率計算法として広く用いられる方法。
- 片側有限分布

分布型を想定する場合：極値分布

- N 個のデータの*i*番目の順序統計量の分布は、Thomas Plotで表される。

$$W(x_i) = \frac{i}{N+1}$$

- 特に $i=1$ 、もしくは、 $i=N$ 、つまり最大値または最小値の分布は、母集団がある条件を満足するとき、 $N \rightarrow \infty$ になるにしたがって、特定の極限形式に漸近する。

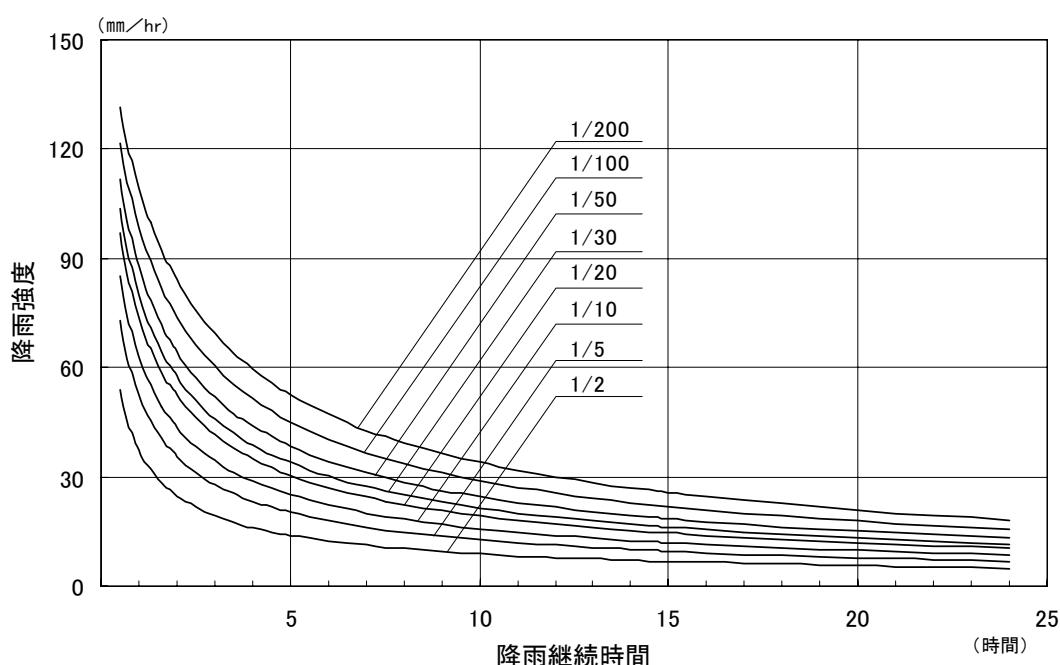
$$F(x; \mu, \theta, \gamma) = \exp\left\{-\left[1 + \gamma\left(\frac{x - \mu}{\theta}\right)\right]^{-1/\gamma}\right\}$$

- ガンベル型、フレシェ型、ワイブル型

流出解析

- 時間降雨曲線 (Hyetograph)
- 時間流量曲線 (Hydrograph)
- ピーク流量 → 施設の設計：合理法
- 実時間ハイドロ → 開水路水理：特性曲線法
- 損失雨量 : R_l , 雨量 : R
- 有効降雨 : $R_e = R - R_l = CR$
- ✓ C : 流出係数

降雨強度曲線



降雨強度公式

- タルボット型

$$I = \frac{b}{t + a}$$

- シャーマン型

$$I = \frac{a}{t^n}$$

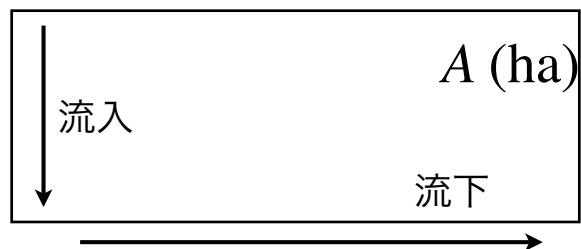
- 久野・石黒型

$$I = \frac{a}{\sqrt{t} \pm b}$$

- クリーブランド型

$$I = \frac{a}{t^n + b}$$

雨水流出の合理法



- 対象地域の降雨強度公式を選定し、降雨継続時間とその地域の関係を関連させ、流達時間や遅滞減少を検討して最大雨水流出量を算定する。
- 最下流点流量（ピーク流量） Q (m^3/s)
- 流達時間 = 流入時間 + 流下時間
- 流出係数； C
- ✓ 住宅地：0.25～0.75, 郊外：0.25～0.40, 緑地：0.10～0.40, 道路：0.70～0.95

$$Q = \frac{1}{360} CIA$$

特性曲線法

- 地表に落下した雨滴が時間の経過とともに流下していく様子を $x-t$ 平面に表現したものを持性曲線といふ。
- 分割した流路の1区間を取り上げて、その上流端を $x = 0$ にとり、上流端からの流入がないとして、 $x-t$ 平面の原点から出る持性曲線を求め、これをもとに $h-t$ 図、 $Q-t$ 図（ハイドログラフ）を求める方法を持性曲線法という。

地下水取水

Darcyの式

$$Q = Aki = kA \cdot H/L$$

> Darcyの式

- 地下水の流れの計算式。地下水の流れは粒子間の間隙を流れるから、ミクロの流線をみれば層流とはならないが、マクロの視点からみれば一定の方向へ流れる層流と考えられる。

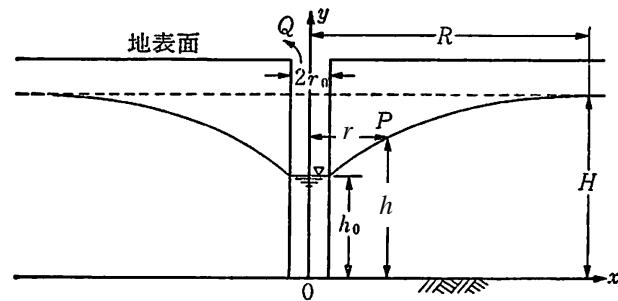
透水係数

- 土層の中を単位時間に流れる水の流量は、浸透流量を Q 、断面積を A 、透水係数を k 、動水勾配を i とすると、

$$Q = Aki$$

- したがって、透水係数は、単位時間に単位面積中を単位動水勾配のもとで、土層の中を流れる浸透速度である。透水係数は一般に粗粒の砂質土層では大きく、細粒の粘性土層では小さい。
- 単位はcm/s

地下水取水（不被压）



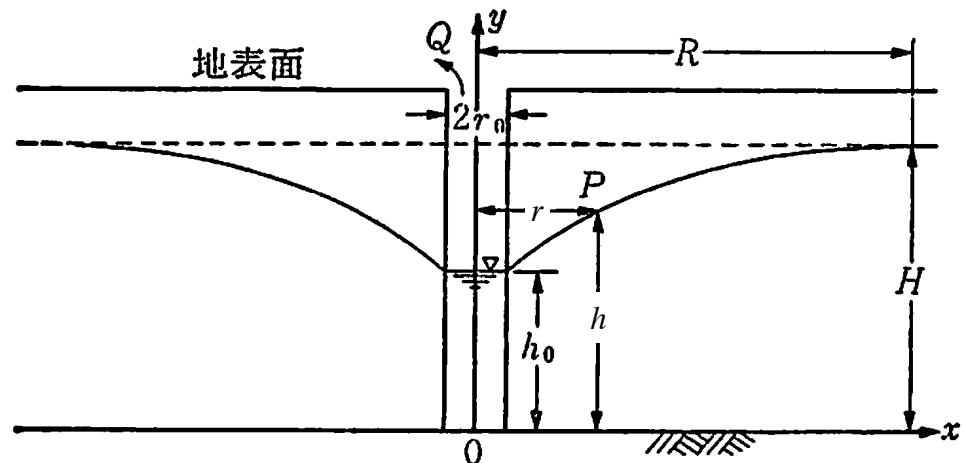
— 運動式；Darcy則

$$v = k \frac{dh}{dr}$$

— 連續式

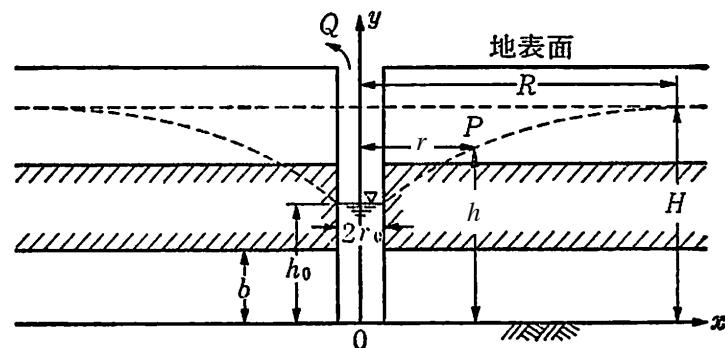
$$Q = h(2\pi r)v$$

不被压地下水取水



$$Q = \pi k \frac{H^2 - h_0^2}{\ln(R/r_0)}$$

地下水取水（被圧）



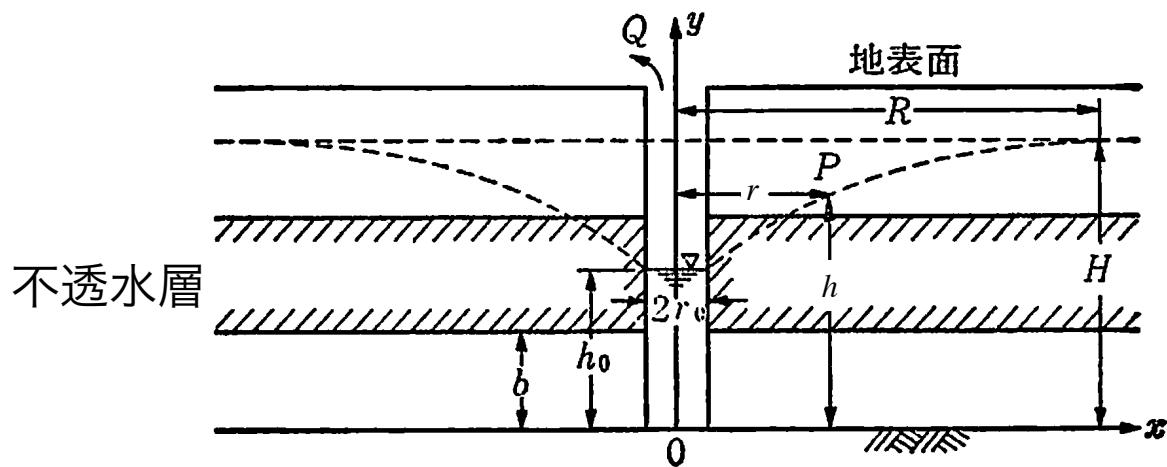
— 運動式 ; Darcy則

$$v = k \frac{dh}{dr}$$

— 連続式

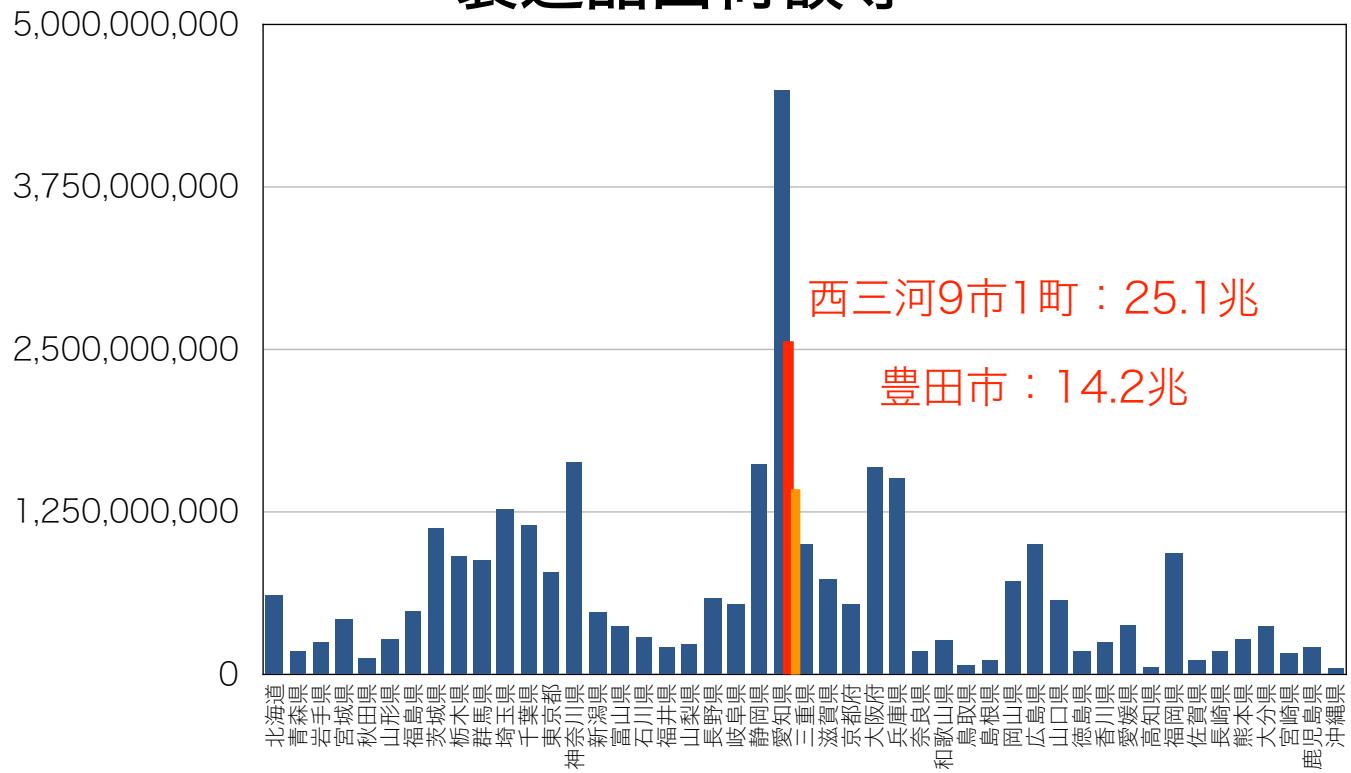
$$Q = 2\pi r b v$$

被圧地下水



$$Q = 2\pi b k \frac{H - h_0}{\ln(R/r_0)}$$

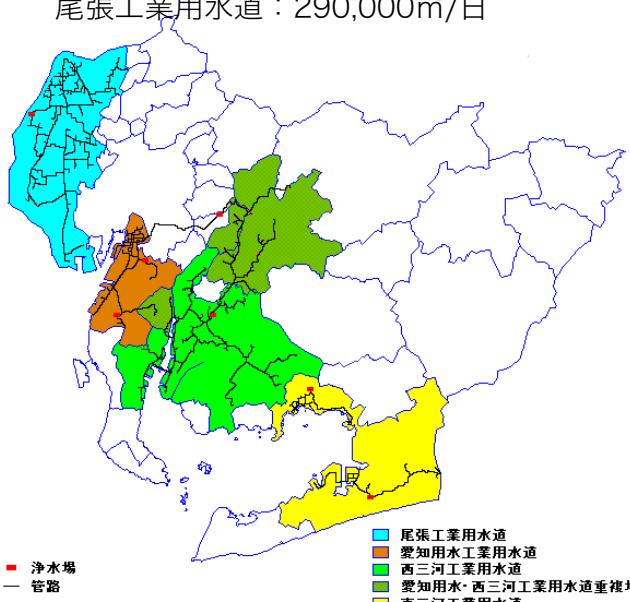
平成29年度工業統計調査 製造品出荷額等



愛知県の工業用水

愛知県企業庁

愛知用水工業用水道 : 845,600m³/日
 西三河工業用水道 : 300,000m³/日
 東三河工業用水道 : 155,000m³/日
 尾張工業用水道 : 290,000m³/日



愛知県

工業用水 : 923,043m³/日
 上水道 : 136,499m³/日
 井戸水 : 242,354m³/日
 その他淡水 : 252,797m³/日

年間給水量

567,462,945m³

製造品出荷額等

44.9兆円

1m³当たり 7.9万円