

開発許可申請などを対象とした設計計算セミナー

排水計画の考え方と計算方法

第1回 排水計画の概要と流出量の算定

株式会社 総合システム

➤ 第1回 排水計画の概要と流出量の算定

- (補足)開発許可・開発行為とは
- 排水計画の概要と目的
- 合理式による流量計算
- 流出係数
- 降雨強度
- 洪水到達時間

➤ 第2回 【予定】流下能力の算定

(補足)開発許可・開発行為とは

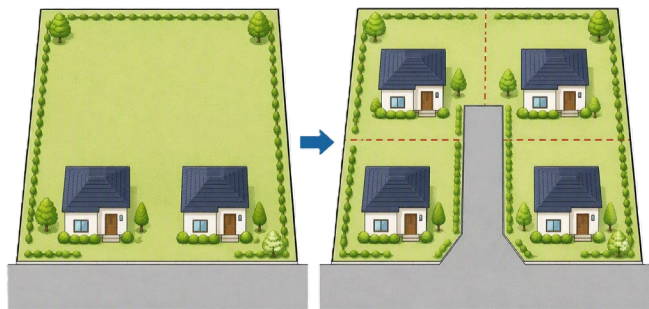
開発許可・開発行為とは
開発行為による影響

(補足)開発行為・開発許可とは

開発行為：主として、建築物の建築などを目的とした「土地の区画形質の変更」をいう

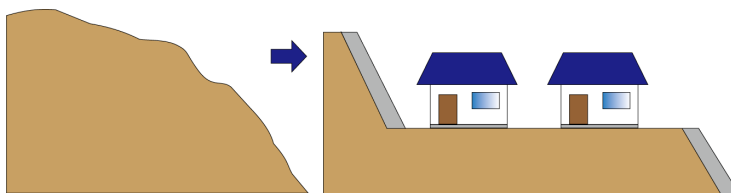
土地の区画形質の変更：土地の「**区画の変更**」「**形の変更**」「**質の変更**」の3つの行為に分けられる

区画の変更



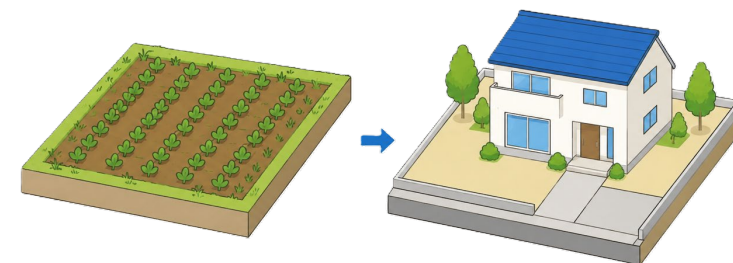
新たな宅地を分割し
付随する道路や公園等の
公共施設を造る行為

形の変更



宅地利用のために
盛土や切土の造成工事を行い
土地の形状を変える行為

質の変更



宅地以外の土地利用から
宅地の利用に変更する行為



開発行為を行う場合、都市計画法に基づく「**開発許可**」が必要となる場合がある

(補足)開発行為による影響

開発行為による影響

- 降雨によるピーク流出量（排水量）が変化する → 通常、**変更前より流出量が高くなる**
- 土砂の切土・盛土により崖の安定性確保が必要となる → 通常、**擁壁の設置が必要**となる



土木系技術判断による
施設計画や施設設計が必要

排水計画

- ・ 排水系統の設定
- ・ 降雨量の算定
- ・ ピーク流出量の算定
- ・ 水路の寸法と勾配

調整池・浸透施設の設計

- ・ 調整池施設の必要容量算定
 - ・ 浸透施設の浸透量算定
 - ・ これらの施設の設置位置
- ※受け入れ既設水路に
排水量の制限がある場合

擁壁設計

- ・ 擁壁の種類や形状決定
- ・ 基礎形式の決定
- ・ 擁壁の安定計算
- ・ 部材計算

排水計画の概要と目的

排水計画の必要性

排水計画の基本目標

本セミナーの適用範囲

排水計画の必要性

耐久性・安全性の確保



水圧破壊



法面崩壊

- 弱体化：地盤が弱体化し、陥没や構造物の沈下を引き起こす
- 水圧破壊：間隙水圧が擁壁等を押し出し、致命的な崩壊を招く
- 法面崩壊：雨水浸食により、大規模な土砂崩れを誘発する

人命と財産を守る防災・減災



大雨



住宅浸水

- 冠水防止：排水網の未整備による周辺への溢水を防ぐ
- 交通保護：道路冠水による交通麻痺や車両水没を防止
- 居住地保護：宅地・商業地への床上・床下浸水を徹底的に防ぐ

機能性・快適性の維持



スリップ事故



LCC削減

- 事故防止：道路の水たまりによるスリップや水はねを防止
- 舗装の延命：路盤への浸水を抑え舗装更新の頻度を下げる
- 公衆衛生：水の停滞による悪臭や害虫発生などの環境悪化を防ぐ

排水計画の基本目標

排水計画・・・流れてくる水の量を
計画した断面で**溢れさせずに流しきれるか**を確認する

①流出流量（流れてくる水の量） 雨水量

降った雨がどれだけ流れてくるか
合理式にてピーク流量を算出

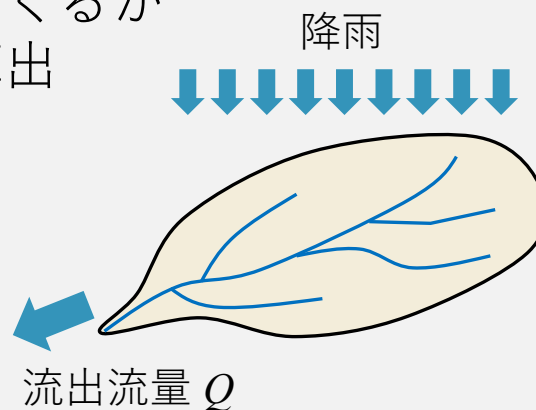
$$Q = \frac{1}{360} \cdot C \cdot I \cdot A$$

Q : 流出量(m³/s)

C : 流出係数

I : 降雨強度(mm/hr)

A : 集水面積(ha)



Ⅲ

汚水量

$$Q = \frac{p \cdot q}{24 \times 60 \times 60} \cdot A$$

Q : 計画時間最大汚水量(m³/s)

p : 人口密度(人/ha)

q : 1人1日当たり
時間最大汚水量(m³/日)

A : 排水面積(ha)

②流下能力（流すことができる量） 排水施設がどれだけ流せるか

マンニングの公式で算出

$$Q = A \cdot v$$

$$v = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

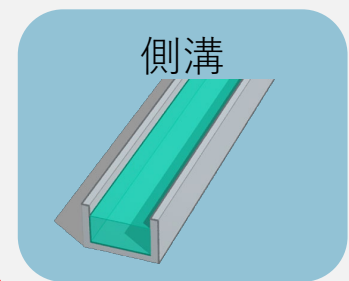
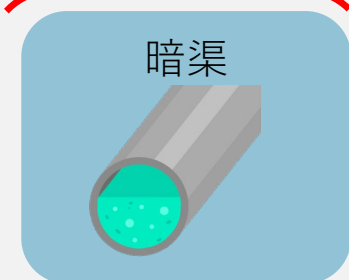
A : 通水断面積 (m²)

v : 平均流速 (m/s)

n : 粗度係数(sec/m^{1/3})

R : 径深(m)

I : 縦断勾配



断面諸元を決定

本セミナーの適用範囲

～流域図と排水系統図～

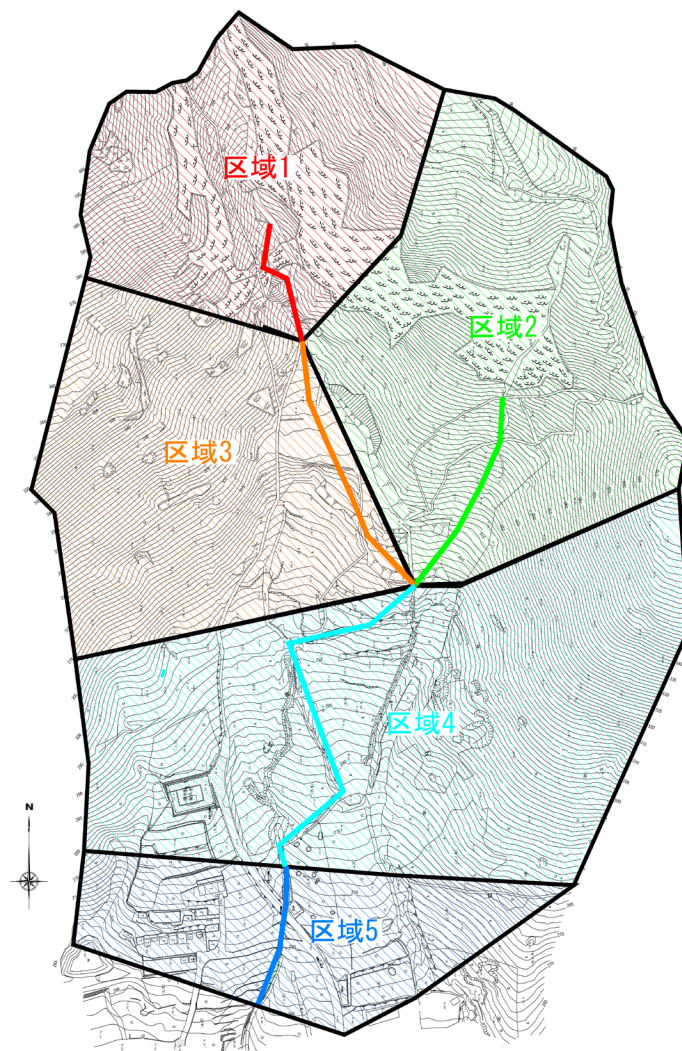
以下のポイントで流域を分ける。

- ・尾根などの自然地形
(高いところから低いところへ)
- ・道路や水路などの人工構造物
(流域の区切り)

各流域のつながりから
1つの区域がどの区域に接続するか設定して、排水系統図を作成する。

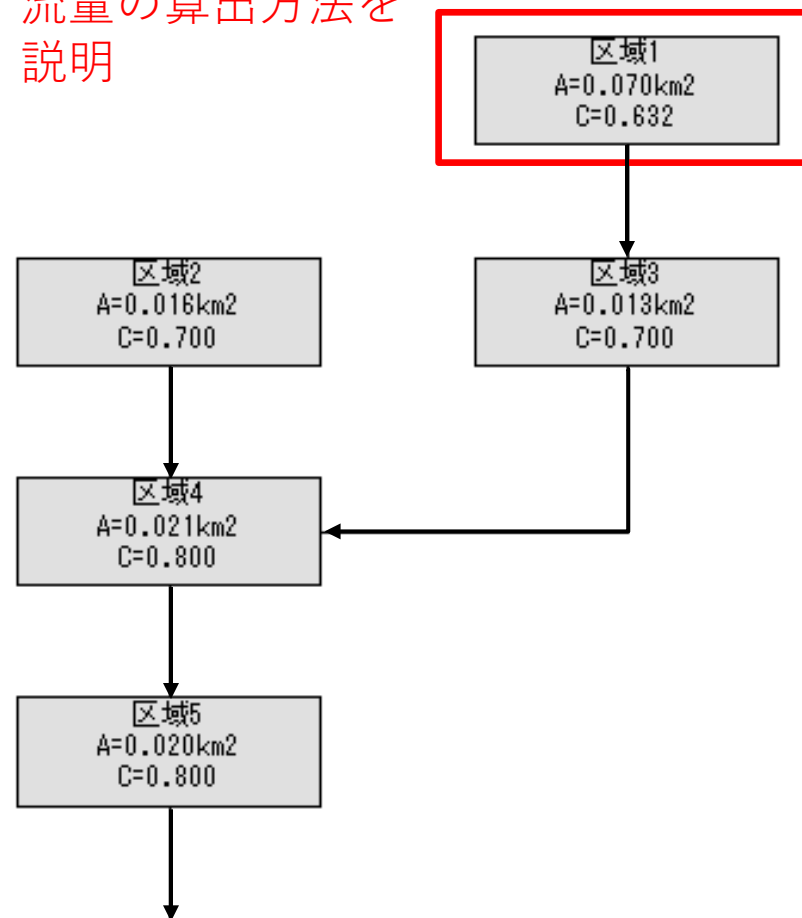
～セミナーの適用範囲～

本セミナーでは、
1つの区域から流出する最大流量の
計算方法を説明する。



流域図

1つの区域での流出
流量の算出方法を
説明



排水系統図

合理式による流量計算

合理式の概念

合理式の計算式と各要素

流出流量の算出① -合理式-

～合理式の概要～

ある流域の末端Aに流れ着く流量を求める。

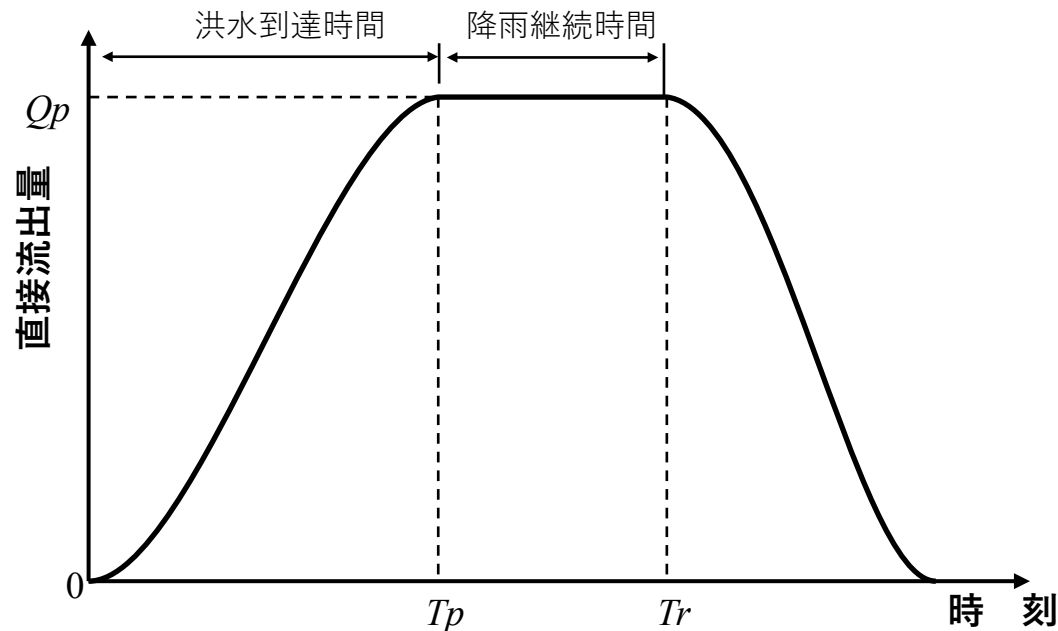
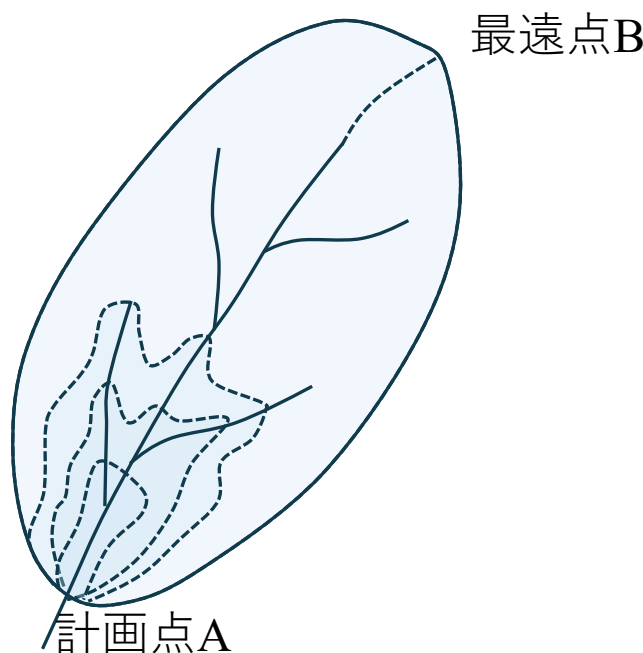
流域全体に一定強度の雨が降るとき、雨の降り始めはA地点の付近に降った雨だけが到達して流出する。

雨が降り続くとA地点に流れ着く範囲が広がり、流出流量が増加する。

流域の最遠点Bに降った雨が末端Aにたどり着くまで流量が増加し、その後は一定となる。

最大流量は流域全体に降った雨が全て末端Aに流出する時に生じる。

※降った降雨が全て流出するのではなく、一部損失するので流出係数Cを考慮する必要がある。



流出流量の算出② -合理式-

～合理式～

$$Q(\text{m}^3/\text{s}) = \frac{1}{3.6} \cdot C \cdot I(\text{mm/hr}) \cdot A(\text{km}^2)$$

$$Q(\text{m}^3/\text{s}) = \frac{1}{360} \cdot C \cdot I(\text{mm/hr}) \cdot A(\text{ha})$$

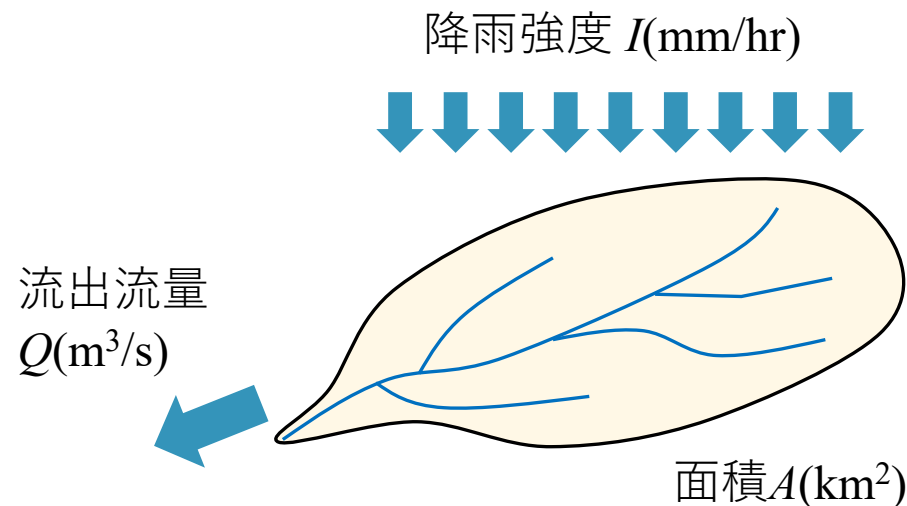
Q : 流出量(m^3/s)

C : **流出係数**

I : 洪水到達時間の**降雨強度**(mm/hr)

A : **集水面積**(km^2)(ha)

※ $1\text{km}^2 = 100\text{ha} = 1,000,000\text{m}^2$



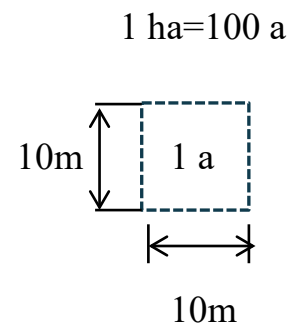
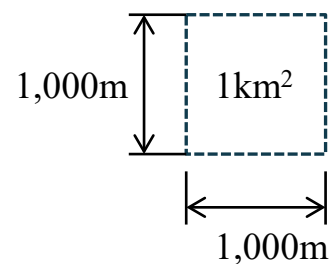
※式に”3.6”や”360”が出てくる理由

流出流量 Q は(m^3/s)で算出

与条件の**降雨強度** $I(\text{mm/hr})$ 、**集水面積** A を単位換算する

$$A(\text{km}^2) \text{ の場合} \quad Q(\text{m}^3/\text{s}) = C \cdot \frac{10^{-3}(\text{m})}{3600(\text{s})} I \cdot 10^6(\text{m}^2) A = \frac{1}{3.6} \cdot C \cdot I \cdot A$$

$$A(\text{ha}) \text{ の場合} \quad Q(\text{m}^3/\text{s}) = C \cdot \frac{10^{-3}(\text{m})}{3600(\text{s})} I \cdot 10^4(\text{m}^2) A = \frac{1}{360} \cdot C \cdot I \cdot A$$



流出係数

流出係数の定義と設定方法

流出係数の取り扱い

参考：道路土工要綱

～流出係数とは～

流域内に降った雨は全て流出せず、**浸透・貯留・蒸発散**などする。
流出係数はこの損失分を表現する。

路面及び法面 : 0.70～1.00

森林地帯 : 0.20～0.40

都市部の方が舗装等もあり浸透しづらく、流出係数が高め

～流出係数の算定～

土地利用が複数ある場合は
加重平均して算出する

土地利用状況	面積 A	流出係数 C	A*C
路面(舗装)	0.010	0.825	0.008
勾配の緩い山地	0.020	0.300	0.006
田、水田	0.040	0.750	0.030
合計	0.070		0.044

加重平均 $0.044 \div 0.070 = \underline{0.632}$

表 カルバートのように降雨確率の高い排水施設の場合

地表面の種類	流出係数
路面及び法面	0.70 ～ 1.00
急峻の山地	0.75 ～ 0.90
緩い山地	0.70 ～ 0.80
起伏ある土地及び樹林	0.50 ～ 0.75
平坦な耕地	0.45 ～ 0.60
たん水した水田	0.70 ～ 0.80
市街	0.60 ～ 0.90
森林地帯	0.20 ～ 0.40
山地河川流域	0.75 ～ 0.85
平地消河川流域	0.45 ～ 0.75
半分以上平地の大河川流域	0.50 ～ 0.75

表 路面排水工等の降雨確率年の低い排水施設の場合

地表面の種類		流出係数
路面	舗装	0.70 ～ 0.95
	砂利道	0.30 ～ 0.70
路肩、のり面等	細粒土	0.40 ～ 0.65
	粗粒土	0.10 ～ 0.30
	硬岩	0.70 ～ 0.85
	軟岩	0.50 ～ 0.75
砂質土の芝生	勾配0～2%	0.05 ～ 0.10
	勾配2～7%	0.10 ～ 0.15
	勾配7%以上	0.15 ～ 0.20
粘性土の芝生	勾配0～2%	0.13 ～ 0.17
	勾配2～7%	0.18 ～ 0.22
	勾配7%以上	0.25 ～ 0.35
屋根		0.75 ～ 0.95
間地		0.20 ～ 0.40
芝、樹林の多い公園		0.10 ～ 0.25
勾配の緩い山地		0.20 ～ 0.40
勾配の急な山地		0.40 ～ 0.60
田、水田		0.70 ～ 0.80
畑		0.10 ～ 0.30

降雨強度

降雨強度の算定方法
降雨強度の種類と特徴
降雨強度の設定例

降雨強度の算定

～降雨強度とは～

降雨が集水区域の最遠点から流下してくるまでの時間【**洪水到達時間 t (min)**】に降る雨の強さを表現。一般的に単位は (mm/hr)

～降雨強度の主な設定方法～

降雨強度の設定方法	適用例
①近傍観測所の 確率降雨強度式 の適用	重要な排水施設の設計に使用 カルバートの通水断面の決定など
② 標準降雨強度図 の利用	降雨強度式が定められておらず、簡易的に設定する場合などに使用
③ 特性係数法 の適用	降雨強度式が定められていない場合などに使用

本セミナー
で説明

③特性係数法

60分雨量と10分雨量のみを使用して**確率降雨強度式**を求める

$$I_n = R_n \cdot \frac{a'}{t + b}$$

$$a' = b + 60$$

$$b = \frac{60 - 10\beta_n^{10}}{\beta_n^{10} - 1}$$

I_n : n年確率の降雨強度

R_n : n年確率60分降雨強度

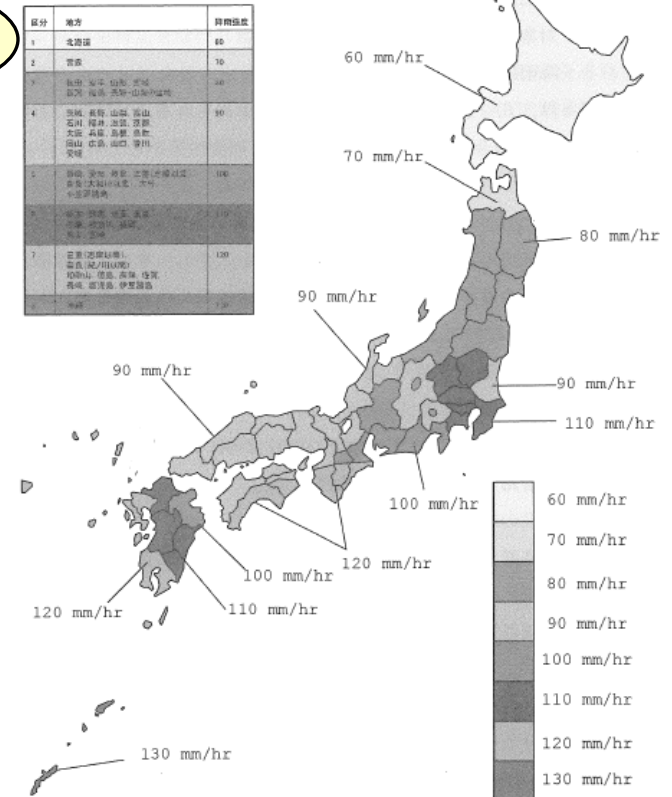
t : 降雨継続時間

a', b : 定数

β_n^{10} : n年確率における60分と10分との降雨強度比

②標準降雨強度図

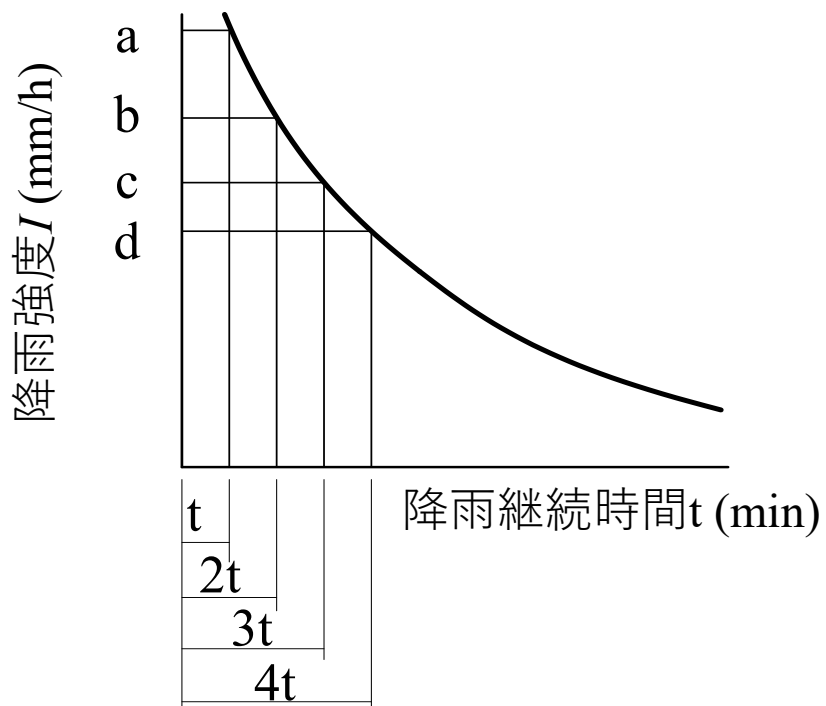
標準降雨強度図
(1961-2008年気象官署データに基づく3年確率10分間降雨強度)



降雨強度の種類と特徴

～降雨強度式～

降雨強度式はいくつか種類があるが、設計便覧や観測所等で定められた降雨強度曲線を用いる



降雨強度曲線

一般的な降雨強度式

タルボット型	$I = \frac{a}{t+b}$	シャーマン型	$I = \frac{a}{t^{n/m}}$
久野・石黒型	$I = \frac{a}{\sqrt{t}+b}$	君島型	$I = \frac{a}{t^{n/m}+b}$

降雨強度(I)：単位時間当りの雨量 (mm/hr)

降雨強度曲線：降雨の継続時間と降雨強度の関係

グラフの関係から

降雨継続時間が長くなるほど、降雨強度は小さくなる

⇔都市部などは舗装等されており、流出地点に到達するまでが早い
ため、降雨強度が大きくなる傾向がある

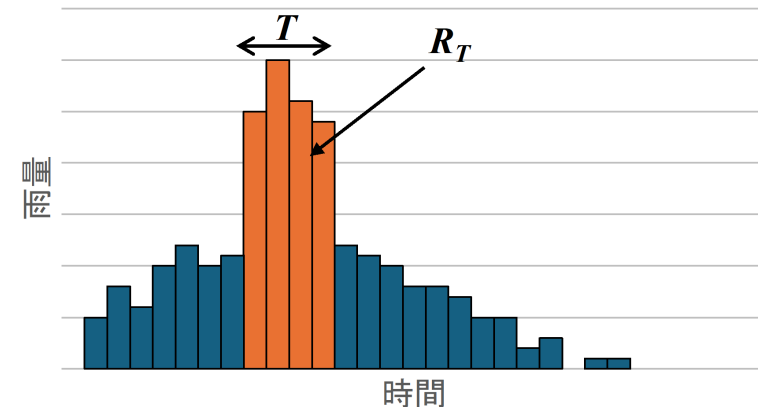
降雨強度と時間の関係

～降雨継続時間が長くなると降雨強度が小さくなるのはなぜ？～

合理式で用いている降雨強度は
洪水到達時間 T で最大となるように取った雨量の平均的な雨の強さを表現

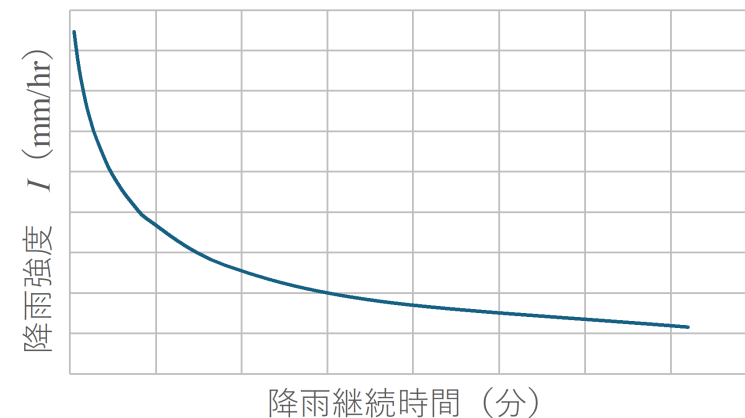
一般的には激しい雨は長時間にわたって継続しない。

→洪水到達時間(降雨継続時間) T を長くすると降雨強度 I は減少する。



～洪水到達時間の単位（分）～

- ・降雨強度式に用いる時間は**分単位**
 - ・降雨強度を小さく見すぎないため
 - ・降雨の連続性や計測精度を考慮
- ・1時間単位だと降雨強度が小さく出る。
- ・秒単位だと降雨の連続性や計測精度に問題がある。



降雨強度の設定例

～降雨強度の設定例～

参考資料として『和歌山県管内確率降雨強度の算定(H26.3)』に掲載されている確率降雨強度式より降雨強度を算出する。

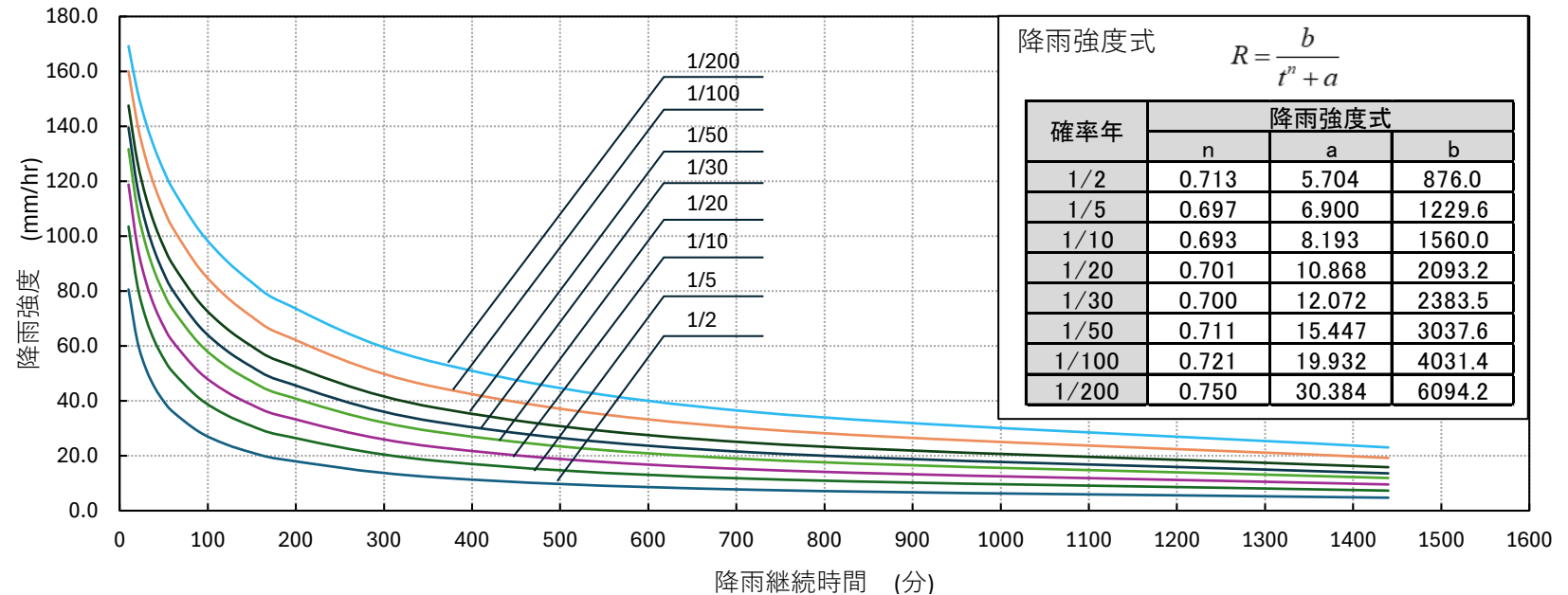
[条件]

- ・年超過確率 1/10
- ・洪水到達時間は20分 の場合

$a=8.193$, $b=1560.0$, $n=0.693$ より

$$I = \frac{1560.0}{20^{0.693} + 8.193} = 96.5(\text{mm/hr})$$

確率年	降雨強度式			降雨継続時間(分)												
	n	a	b	10	20	30	40	50	60	90	120	150	180	360	720	1440
1/2	0.713	5.704	876.0	80.6	61.8	51.5	44.7	39.9	36.2	28.8	24.3	21.2	18.9	12.1	7.6	4.8
1/3	0.703	6.330	1027.9	90.4	70.7	59.6	52.2	46.8	42.6	34.3	29.1	25.6	22.9	14.9	9.5	6.0
1/5	0.697	6.900	1229.6	103.5	82.1	69.8	61.5	55.4	50.7	41.1	35.1	30.9	27.8	18.2	11.7	7.4
1/7	0.691	7.109	1346.7	112.1	89.6	76.5	67.7	61.1	56.0	45.6	39.1	34.5	31.1	20.6	13.3	8.5
1/10	0.693	8.193	1560.0	118.9	96.5	83.2	74.0	67.1	61.7	50.6	43.6	38.6	34.9	23.2	15.0	9.6
1/20	0.701	10.868	2093.2	131.7	110.0	96.4	86.7	79.3	73.4	61.0	52.9	47.1	42.7	28.7	18.8	12.0
1/30	0.700	12.072	2383.5	139.5	117.9	104.1	94.2	86.6	80.4	67.3	58.7	52.5	47.7	32.4	21.3	13.7
1/40	0.711	14.557	2821.9	143.3	122.8	109.4	99.6	91.9	85.7	72.2	63.2	56.7	51.6	35.2	23.1	14.8
1/50	0.711	15.447	3037.6	147.5	127.3	113.9	104.0	96.2	89.8	76.0	66.7	59.9	54.7	37.4	24.7	15.9
1/60	0.711	16.089	3212.8	151.3	131.1	117.6	107.6	99.7	93.2	79.1	69.6	62.6	57.1	39.3	26.0	16.7
1/70	0.711	16.619	3365.9	154.7	134.5	120.9	110.7	102.7	96.2	81.8	72.1	64.9	59.3	40.9	27.1	17.5
1/80	0.712	17.236	3526.6	157.5	137.4	123.7	113.5	105.5	98.8	84.2	74.3	67.0	61.2	42.3	28.1	18.1
1/90	0.722	19.517	3918.3	158.1	138.9	125.7	115.7	107.7	101.1	86.5	76.5	69.0	63.2	43.7	29.0	18.6
1/100	0.721	19.932	4031.4	160.0	140.9	127.8	117.8	109.8	103.2	88.5	78.3	70.7	64.8	45.0	29.9	19.3
1/150	0.731	23.741	4869.2	167.2	149.0	136.2	126.2	118.2	111.5	96.3	85.7	77.6	71.3	49.9	33.3	21.4
1/200	0.750	30.384	6094.2	169.2	153.0	141.1	131.7	123.9	117.3	102.2	91.4	83.2	76.6	53.9	36.0	23.1



洪水到達時間

洪水到達時間の定義と構成

流入時間 t_1 の設定方法

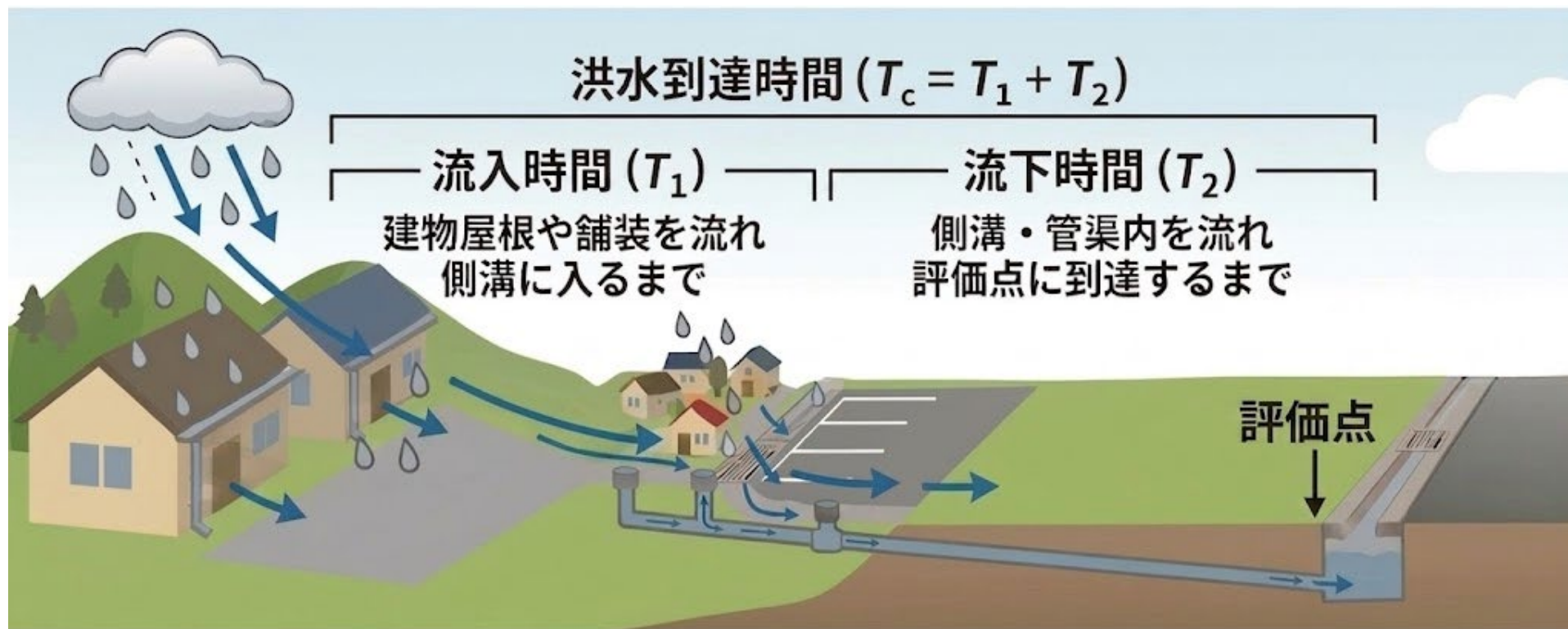
流下時間 t_2 の設定方法

洪水到達時間の定義と構成

～洪水到達時間 t とは～

洪水到達時間 t = [水路への**流入時間** t_1] + [水路での**流下時間** t_2]

※ t が10分以下の場合は、
時間決定の精度や経済性等から
 $t=10$ 分とする。



$$T_c \text{ (洪水到達時間)} = T_1 \text{ (流入時間)} + T_2 \text{ (流下時間)}$$

画像：Google Gemini により生成

流入時間 t_1 の設定

～流入時間 t_1 ～

A. **経験的な値**とB. **計算で求める** 場合がある。

実務では経験的な値を用いることが多いが、**行政機関で定められた算出方法に従って**設定が必要。

A-1. **経験的な値**（道路土工要綱）

山地：15～30分

切土面：3～5分

都市域：5分

A-2. **経験的な値**（河川砂防技術基準 計画編）

山地流域 2km² 30分

特に急斜面流域 2km² 20分

下水道整備区域 2km² 30分

経験的な値は行政機関の資料にも定められている場合がある

B. **計算で求める** 場合（参考：道路土工要綱）

計算手法	推定式	適用範囲
Kirpich	$t_1 = 0.0195 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$	$0.03 < S < 0.10$ アスファルト面の場合には、さらに t_1 を0.4倍する
Izzard	$t_1 = 525.2 \frac{L^{0.33} (2.76 \times 10^{-5} I + k)}{S^{0.33} \times I^{0.667}}$	$I \cdot L \leq 3810 (\text{mm/hr} \cdot \text{m})$
Kerby	$t_1 = 1.445 \left(\frac{n \times L}{\sqrt{S}} \right)^{0.467}$	$L \leq 370 \text{m}$
Kinematic wave	$t_1 = 6.92 \left(\frac{n \times L}{\sqrt{S}} \right)^{0.6} \times I$	均一な面上の乱流に対して有効

t_1 ：流入時間（min）， L ：流下長（m）， S ：勾配
 I ：降雨強度（mm/hr）， k ：遅滞係数， n ：粗度係数

流下時間 t_2 の設定

～流下時間 t_2 ～

流出地点までに側溝や管渠を流れてくる時間
側溝等の最長延長 ÷ 平均流速で求める。

$$t_2(\text{min}) = \frac{L(\text{m})}{60 \cdot v(\text{m/s})}$$

● マニング式

断面を仮定して算出

$$v = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} (\text{m/s})$$

n : 粗度係数 ($\text{sec/m}^{1/3}$)

R : 径深 (= A/S ; A : 通水断面積、 S : 潤辺長)

I : 水面勾配 (あるいは流路勾配)

● ルチハ式

流路勾配で算出

$$v = 20 \left(\frac{H}{L} \right)^{0.6} (\text{m/s}) = 72 \left(\frac{H}{L} \right)^{0.6} (\text{km/h})$$

H : 流路上下端高低差

L : 最上流地点から流量を求めようとする地点までの河道水平距離

● クラーヘン式

流路勾配で算出

v (m/s) は流路勾配によって下表で設定

H/L	$\frac{1}{100}$ 以上	$\frac{1}{100} \sim \frac{1}{200}$	$\frac{1}{200}$ 以下
$v(\text{m/s})$	3.5	3.0	2.1

流出流量の計算例（合理式）

対象流域の面積が路面(舗装)で0.010km²、勾配の緩い山地で0.020km²、田、水田で0.040km²とする場合の流出流量を求める。なお、流出係数はそれぞれ路面(舗装)で0.825、勾配の緩い山地で0.300、田、水田で0.75とする。平均降雨強度は次のタルボットの式で求める。

$$I = \frac{a}{t+b} \quad \text{左式の定数は } a=20、b=2500 \text{ とする。}$$

なお、雨水が側溝への流入する時間は10分、下流端までの側溝の延長は300m、流速は1.0m/sとする。

[流出係数Cの算出]

下表の通り加重平均して流出係数は0.632に設定

土地利用状況	面積 A	流出係数 C	A*C
路面(舗装)	0.010	0.825	0.008
勾配の緩い山地	0.020	0.300	0.006
田、水田	0.040	0.750	0.030
合計	0.070		0.044

$$\text{加重平均 } 0.044 \div 0.070 = \underline{0.632}$$

[洪水到達時間Tの算出]

$$\begin{aligned} T &= \text{流入時間} + \text{流下時間} \\ &= 10 + 300/1.0/60 = 15.0 \text{ 分} \end{aligned}$$

[降雨強度Iの算出]

洪水到達時間T=15分における降雨強度を求める。

$$I = \frac{a}{t+b} = \frac{2500}{15+20} = 71.43(\text{mm/hr})$$

[流出流量の算出]

合理式により流出流量を求める。

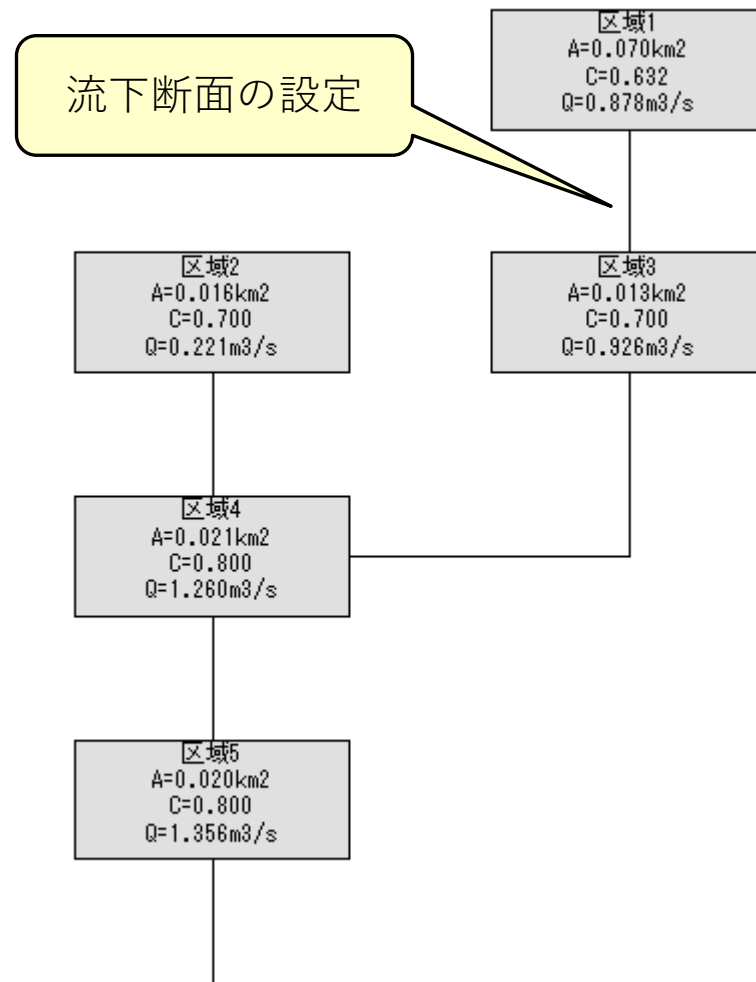
$$Q = \frac{1}{3.6} \cdot C \cdot I \cdot A = \frac{1}{3.6} \cdot 0.632 \cdot 71.43 \cdot 0.070 = 0.878(\text{m}^3/\text{s})$$

[次回予告 ～流下能力～]

1つの流域の流出流量を合理式により求め、
 $Q=0.878\text{m}^3/\text{s}$ が求まった。

別区域も同様に求め、それぞれの区域末端の流出流量を求めた場合
 右図のような流出流量となる。

次回のセミナーでは各区域で算出された流出流量を
 流すことができる**流下能力の算定方法**について説明。



ご清聴ありがとうございました。