

わが国における都市河川流域の雨水管理

(公社)全国上下水道コンサルタント協会
技術研修会

2019年1月16日



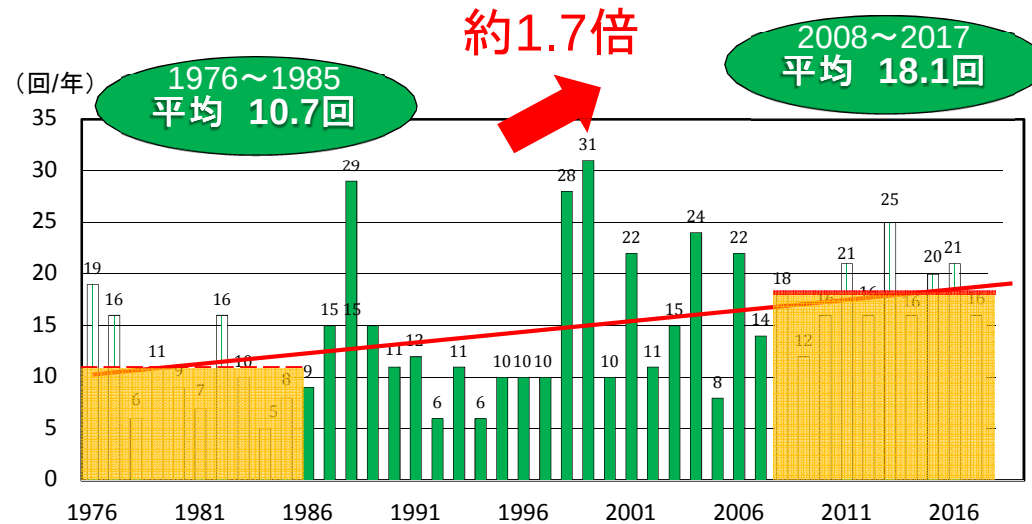
公益社団法人 雨水貯留浸透技術協会

忌部 正博

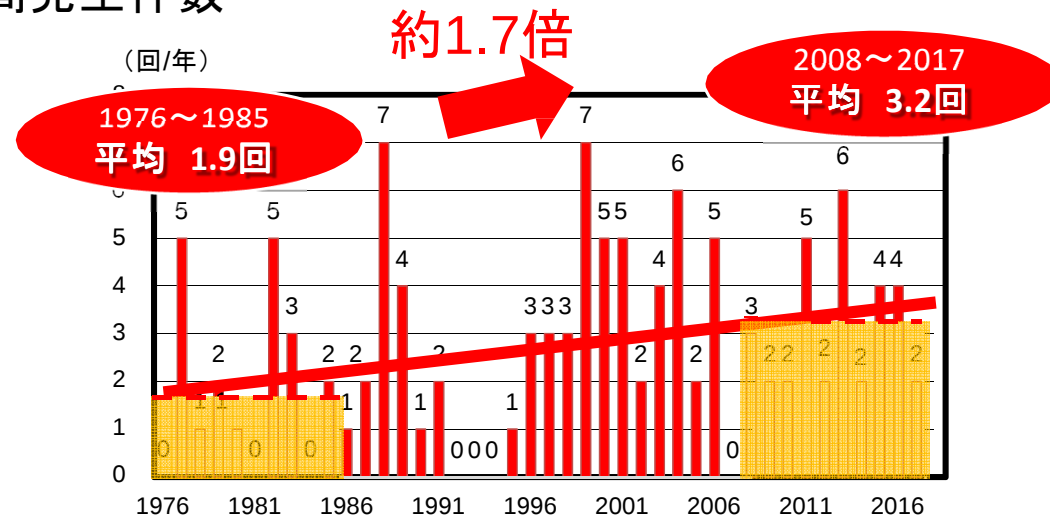
本日の発表の内容

1. 近年、雨の降り方の変化、水害の発生
2. 健全な水循環系の必要性
3. 関連法規を含めたこれまでの施策
4. 総合的な治水対策
5. 計画設計手法
6. 飽和透水係数の推定
(英国の土質ハンドブックとの比較)

1. 近年、雨の降り方の変化、水害の発生



1時間降水量80mm以上の年間発生件数
(アメダス1,000地点あたり)

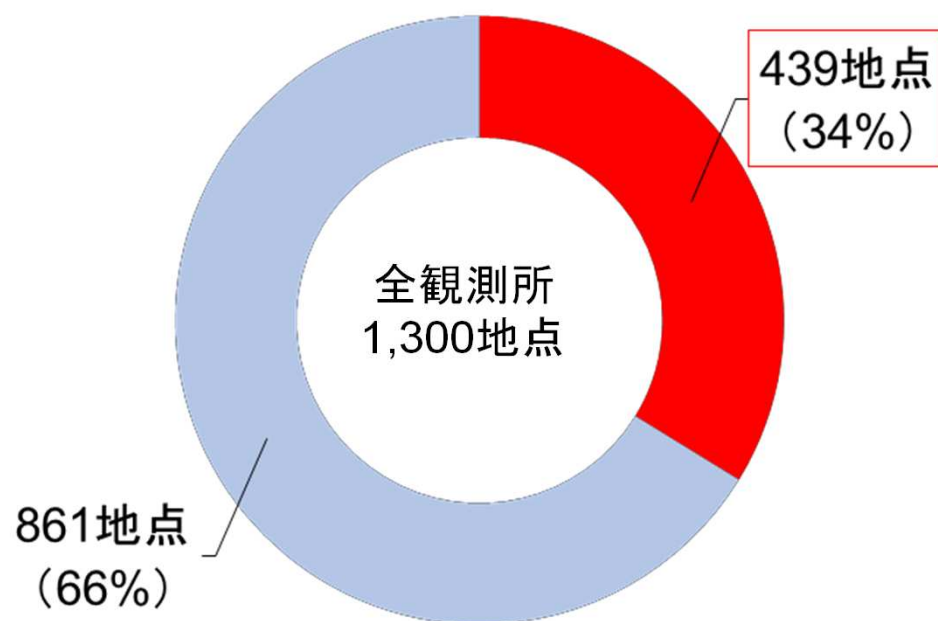


※国交省資料
気象庁資料より作成

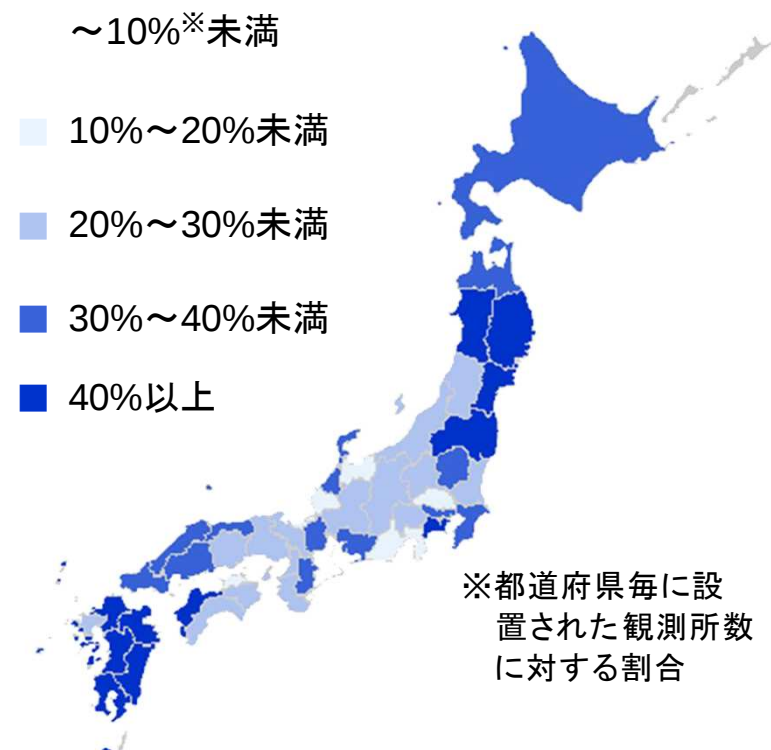
1時間降水量100mm以上の年間発生件数
(アメダス1,000地点あたり)

全国各地で観測史上最大の降雨を更新

観測史上最大の降雨
量を更新した観測所
(2012年以降)



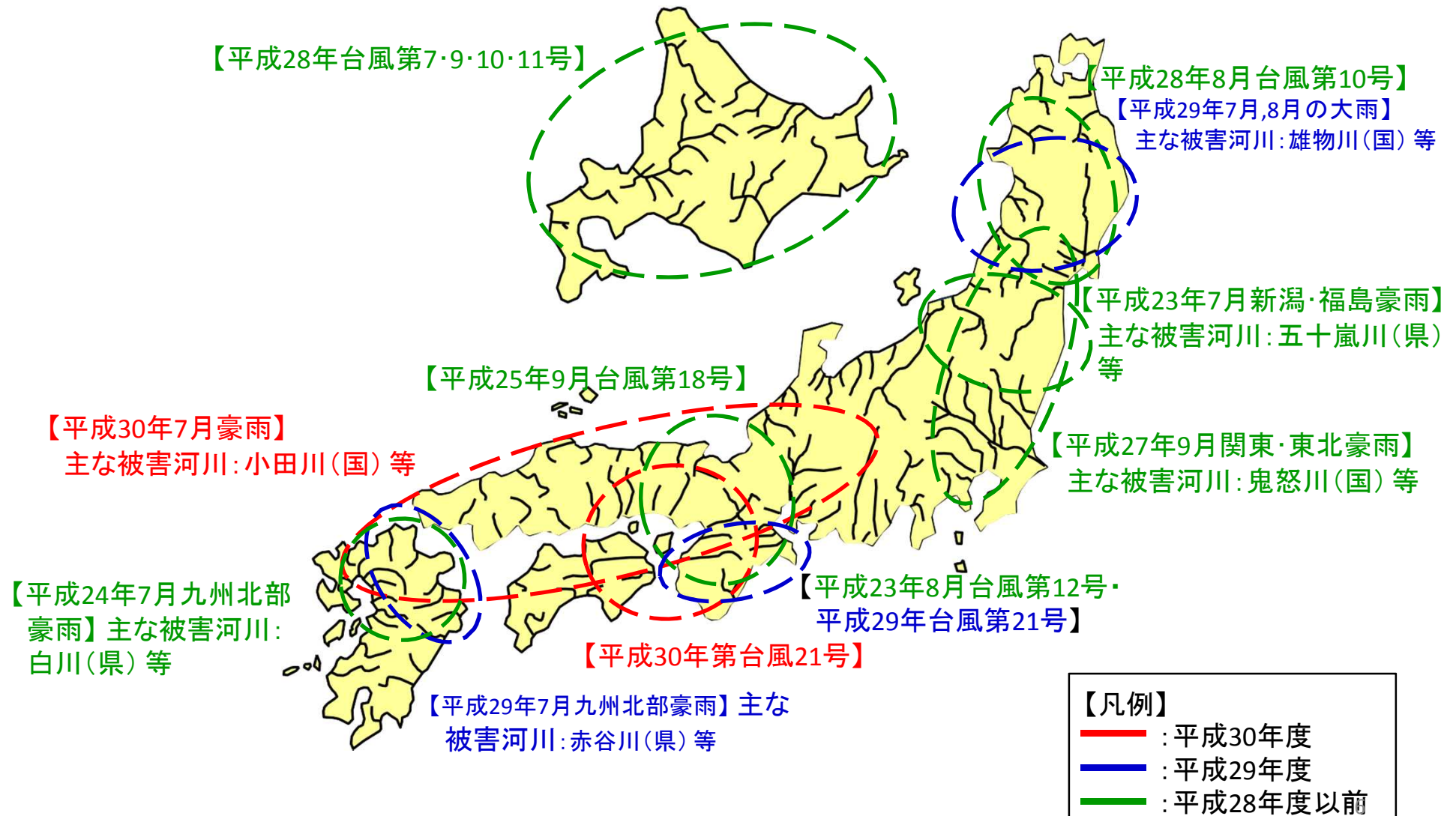
観測史上最大を更新した観測所の分布



※国交省資料(気象庁資料より作成)

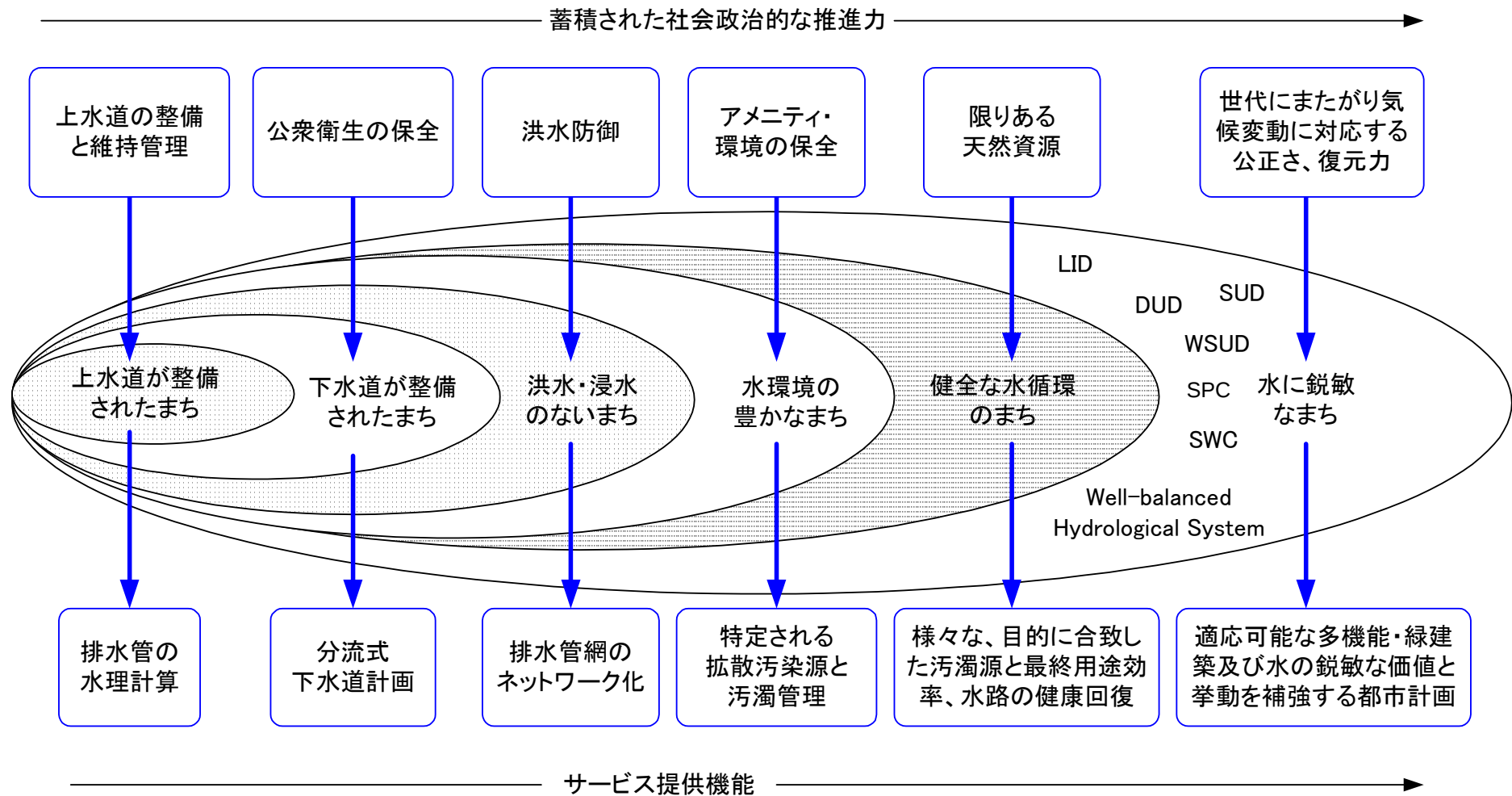
※ 統計開始から10年未満の観測所についても計上し、2017年11月1日時点のデータで作成

近年の水害発生分布



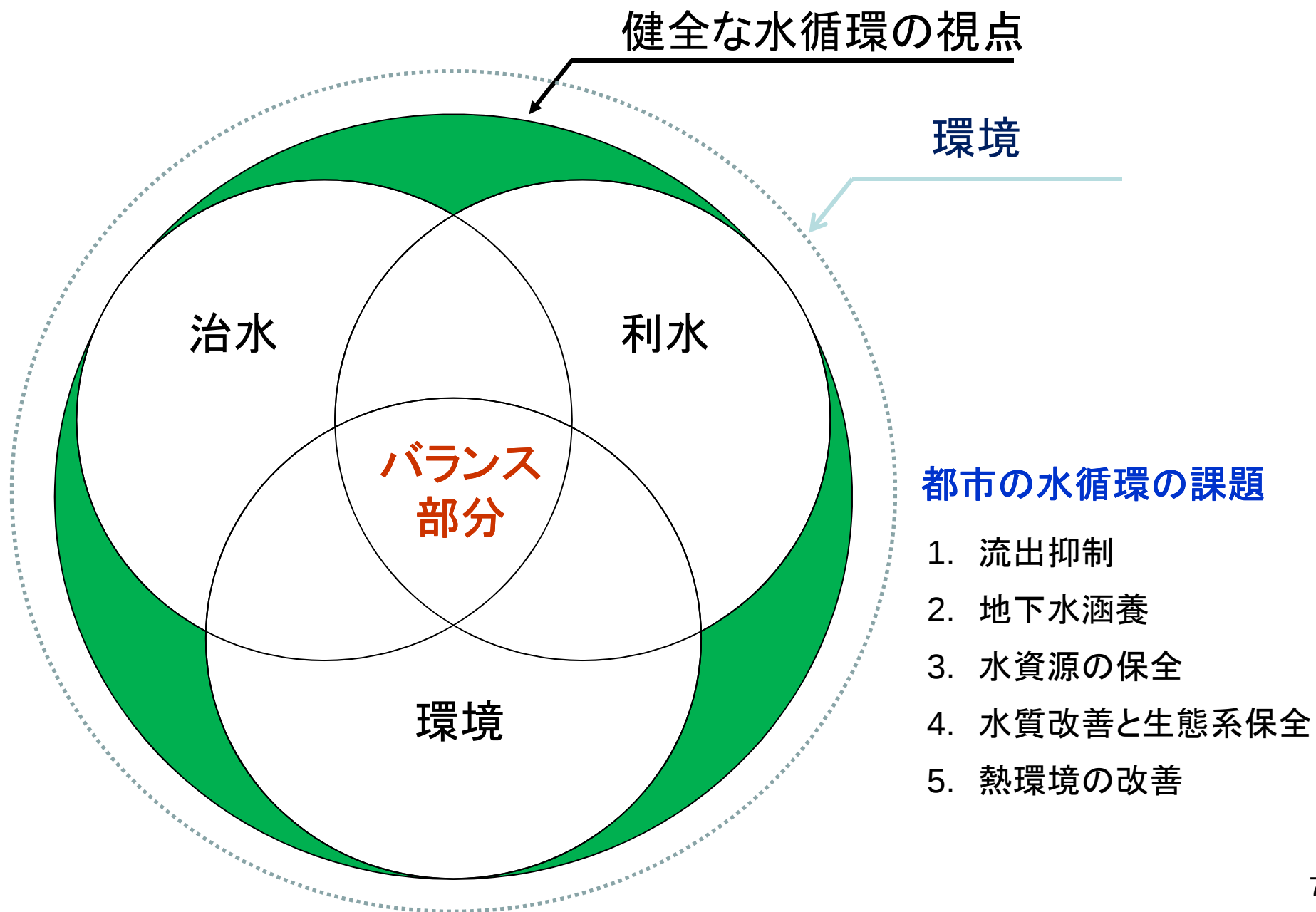
※国交省作成資料より引用

2. 健全な水循環系の必要性



都市の水管理形態の変遷

R. Brown, N. Keath and T. Wong, (2008) Transitioning to Water Sensitive Cities: Historical, Current and Future Transition States, 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK



2. 健全な水循環系の必要性

各国の水循環に配慮したまちづくりへの取り組み

		日本	米国	英国	ドイツ	オランダ	オーストラリア	中国	韓国	シンガポール
概念		WBHS	LID	SUDS	SUDS	Water Square	WSUD	SPC	SWC	ABC
	英語	Well-balanced Hydrological System	Low Impact Development	Sustainable Urban Drainage Systems	Sustainable Urban Drainage Systems	Water Square	Water Sensitive Urban Design	Sponge City	Smart Water City, U-Eco City	Active, Beautiful, Clean
	日本語訳	治水、利水、環境のバランスがとれた水循環を目指すまちづくり	都市化による負荷を最小限にするまちづくり	持続可能な都市排水システムを導入したまちづくり	持続可能な都市排水システムを導入したまちづくり	雨水広場	水に敏感に対応するまちづくり	スポンジのような表層地盤を持つまちづくり	スマートな水のまち、超生態都市	ABC水計画
特徴		・流域単位での展開 ・流出抑制、雨水利用、水環境のバランス重視 ・雨水貯留浸透施設の普及 ・雨水利用推進法、水循環基本法の制定	・緑地を基本とする汚染源管理、雨水管理 ・BMP(最適な対応方策) ・適切な水のネットワーク ・グリーンインフラの導入	・総合的な設計(水量、水質、アメニティ) ・現地での管理(設計、維持管理、教育) ・透水性舗装、フィルター、窪み、浸透施設 ・調節池	・環境共生型の建物による分散化雨水管理 ・流出雨水の利用と管理	・分散型統合雨水管理 ・洪水対策と持続可能な水管理 ・雨水貯留施設と公共空間のアメニティ向上の組合せ ・雨水貯留施設の多目的利用	・都市の水循環管理(上水、洪水抑制、下水処理) ・ソースコントロール ・雨水利用 ・調節池、浸透システム ・節水器具、処理水の再利用 ・配管、水路などの排水網 ・水質処理	・分散型統合雨水管理 ・洪水対策と持続可能な水管理 ・雨水貯留施設と公共空間のアメニティ向上の組合せ ・雨水貯留施設の多目的利用	・分散型雨水管理 ・環境にやさしい自然エネルギー技術 ・統合的雨水管理 ・グリーンインフラ ・雨水利用 ・雨水貯留浸透施設の普及	・集水エレメント ・タイプ別に水循環に配慮したデザイン手法を導入 ・雨水流出速度の緩和 ・雨水の緑化屋根を通じた浄化 ・植栽への灌水 ・緑の公園都市

雨水貯留浸透に係わる河川および下水道関連施策の歩み

年	動 き	備 考
1977(昭52)	総合的な治水対策	河川審議会からの答申
1979(昭54)	総合治水対策特定河川	全国17河川流域を指定
1983(昭58)	流域貯留浸透事業の創設	公共公益施設用地への貯留浸透施設導入
1991(平03)	(社)雨水貯留浸透技術協会の設立	国土交通省より認可
1995(平07)	雨水浸透施設技術指針(案)	(公社)雨水貯留浸透技術協会より発刊
1996(平08)	健全な水循環系の確保	河川審議会からの答申
1997(平09)	河川法の改正	治水、利水に加えて環境を内部目的化 河川整備にあたって住民の意見を反映
2002(平14)	新世代下水道支援事業の創設	下水処理水の再利用、雨水の再利用や貯留浸透による流出抑制、 親水性のある水辺空間の整備
2003(平15)	特定都市河川浸水被害対策法	流域の貯留浸透機能の強化 河川・下水道の連携
2006(平18)	下水道総合浸水対策緊急事業の創設	集中豪雨に対して、緊急かつ効率的に浸水被害の最小化
2007(平18)	下水道浸水被害軽減総合事業の創設	地方公共団体、関係住民等が一体となって、貯留浸透施設等の対策に加え、内水ハザードマップの公表等の総合的な対策を推進
2013(平25)	100mm/h安心プラン登録制度	従来の計画降雨を越える局所的な大雨に対し、市町村の河川、下水道管理者がプランを策定
2014(平26)	雨水の利用の推進に関する法律	法的根拠に基づく雨水利用の奨励
2014(平26)	水循環基本法	水循環に関する施策の総合的かつ一体的な推進と健全な水循環の維持回復
2017(平29)	浸水被害対策区域の指定	改正下水道法に基づき、地方自治体が条例で、対策区域の指定、民間業者の協力のもと、雨水貯留施設を設置 第1号：横浜市、第2号：藤沢市

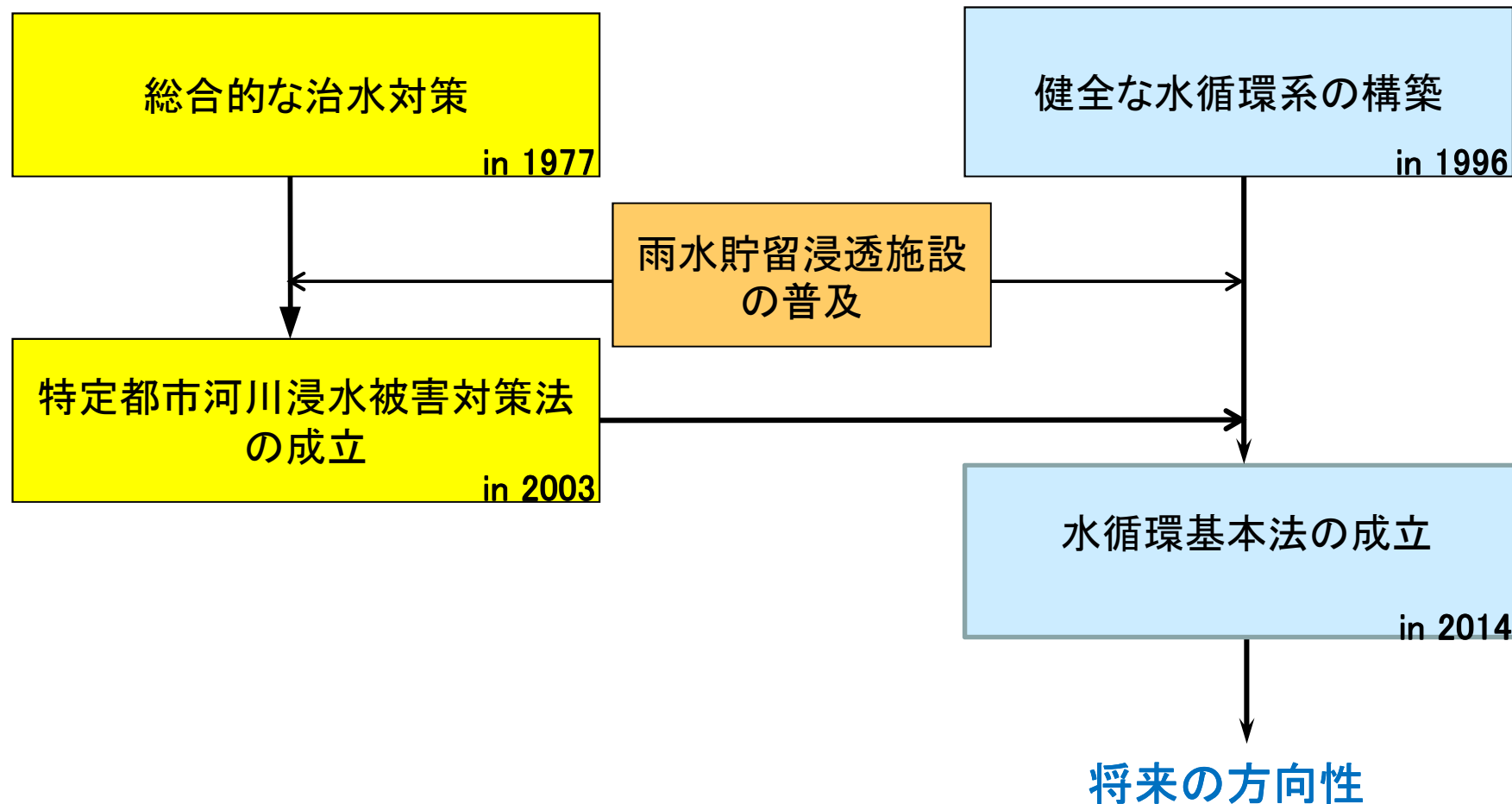
3. 関連法規を含めたこれまでの施策

これまでの流れと将来の方向性

治水・利水・環境の
バランスが取れた状況

(Flood Control)

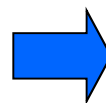
(Well-balanced Hydrological System)



総合的な治水対策の必要性



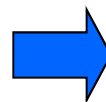
開発前



開発後



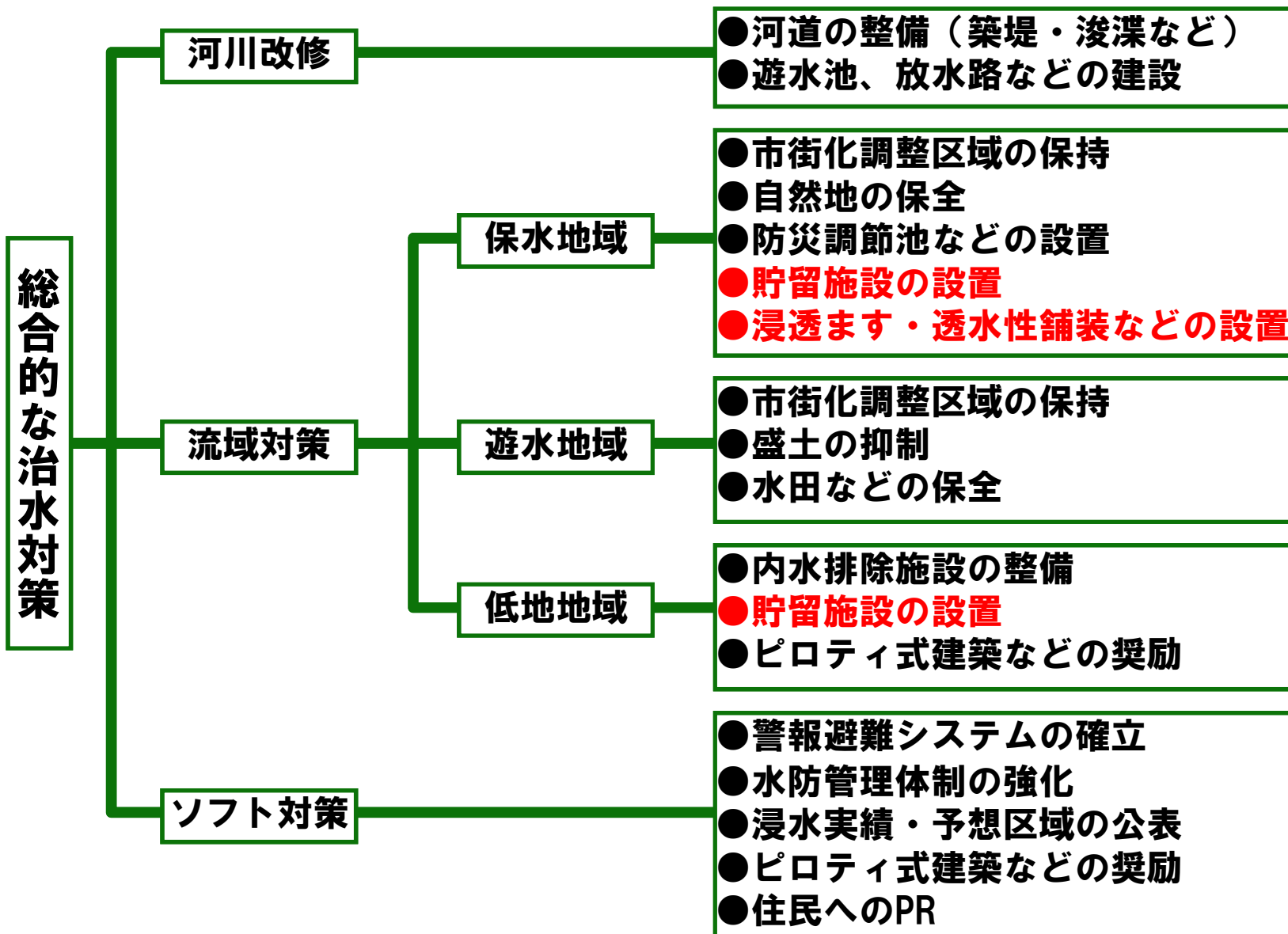
平常時



洪水時

神田川(平成5年8月27日 洪水状況)

総合的な治水対策の体系

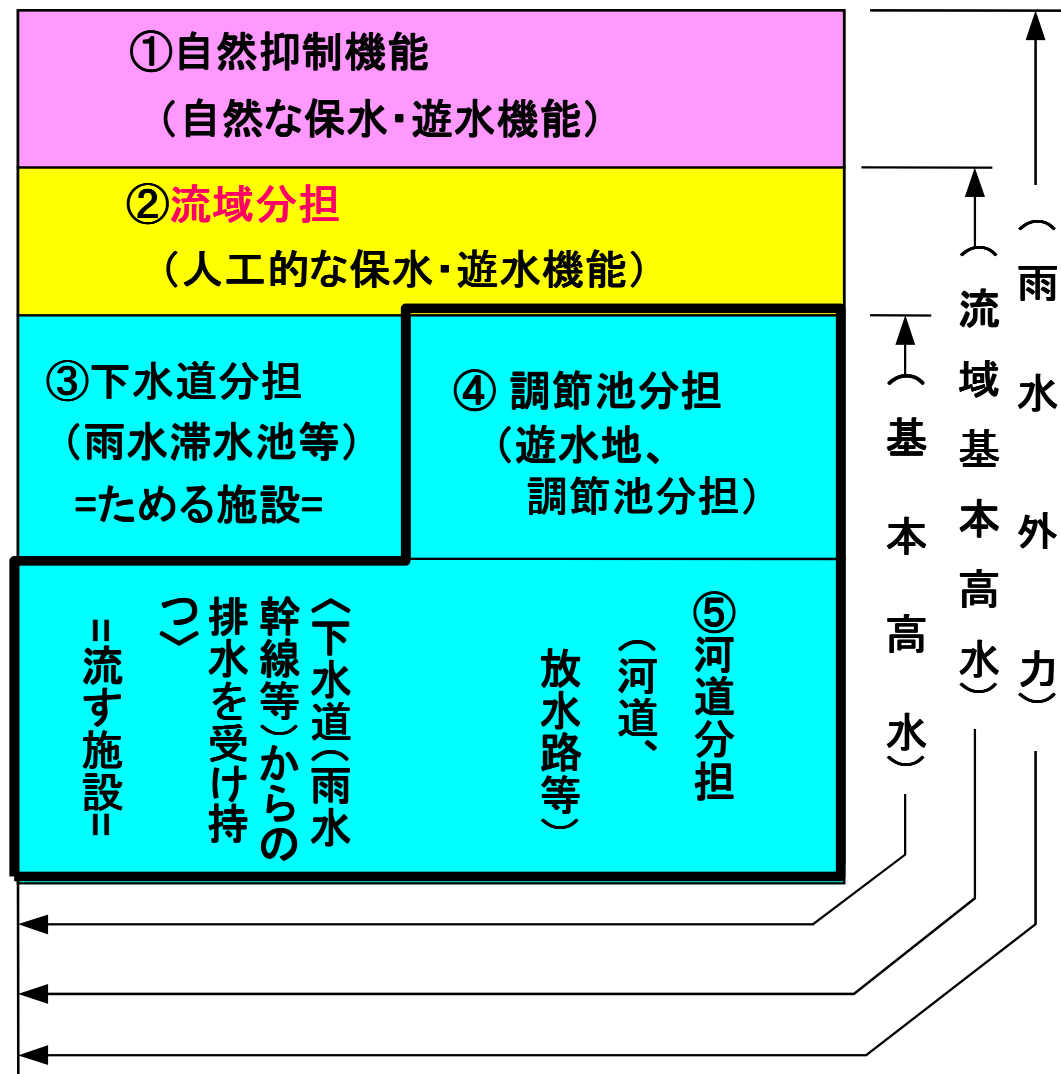


4. 総合的な治水対策

総合治水対策のイメージ



雨水対策の分担概念：総合治水で確立



昭和43(1968)年

都市計画法改正に伴い、民間開発行為に対する調整池設置指導

昭和48年(1973)年

治水緑地事業、防災調節池事業

昭和50年(1975)年

準用河川改修事業(雨水貯留事業)

昭和54年(1979)年

総合治水対策特定河川事業

昭和58年(1983)年

流域貯留浸透事業

昭和63年(1988)年

流域調節池事業



総合治水の限界

平成16年(2004)年

特定都市河川浸水被害対策法

4. 総合的な治水対策



平常時：テニスコート

洪水時



多目的調整池



平常時



校庭貯留



洪水時

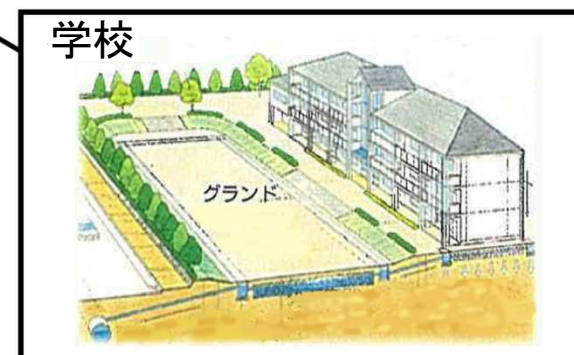
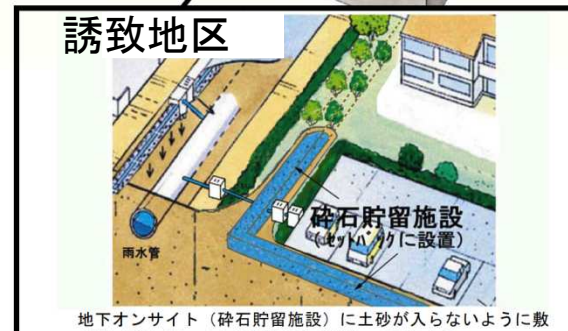
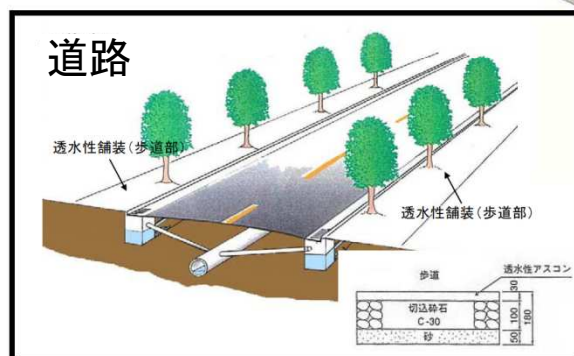
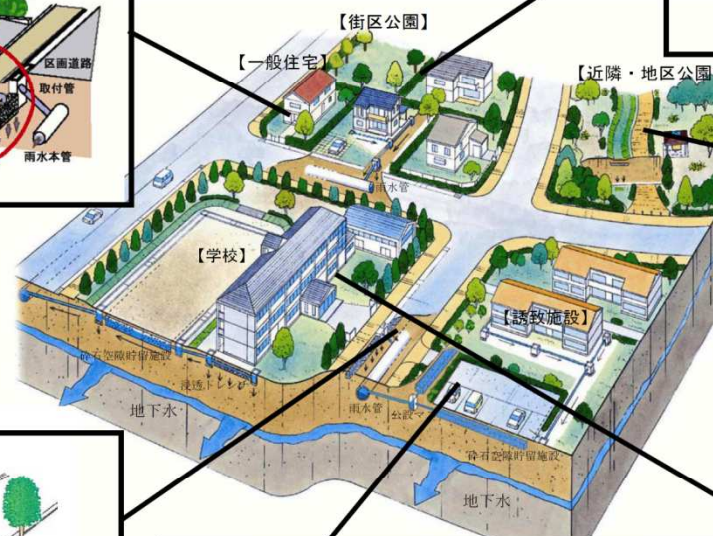
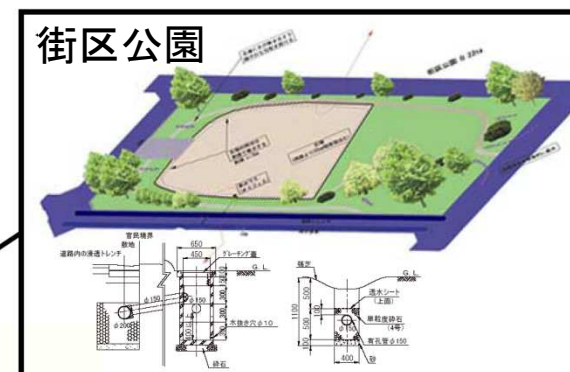
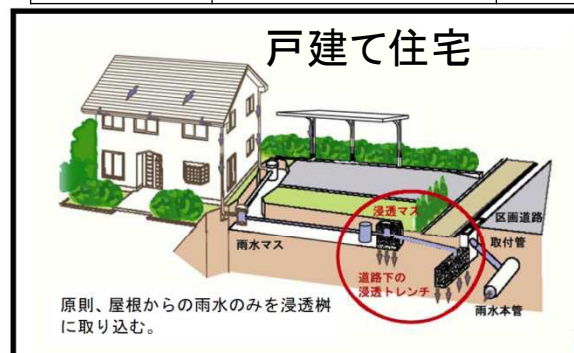


透水性舗装

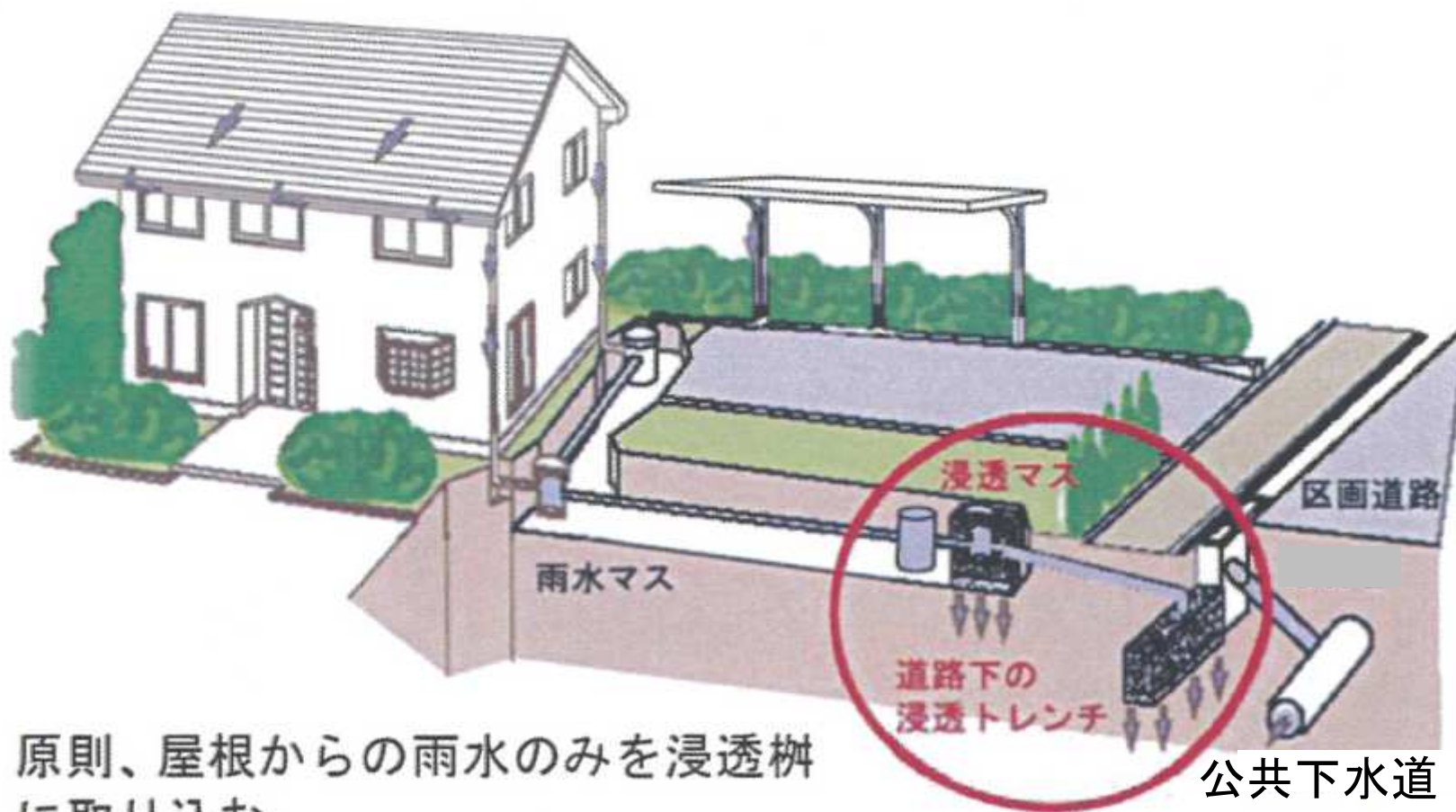


4. 総合的な治水対策

種別	場所	施設
浸透	住宅	浸透ます
	道路	浸透トレンチ
	歩道	透水性舗装
貯留	街区公園	表面貯留
	近隣公園	表面・地下貯留
	学校	表面・地下貯留
	誘致地区	地下貯留

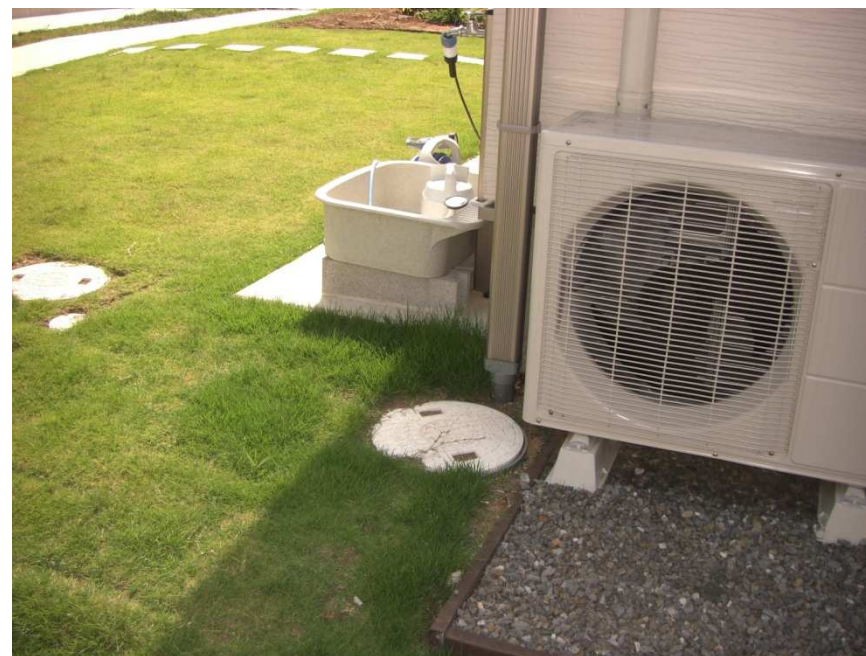


戸建て住宅



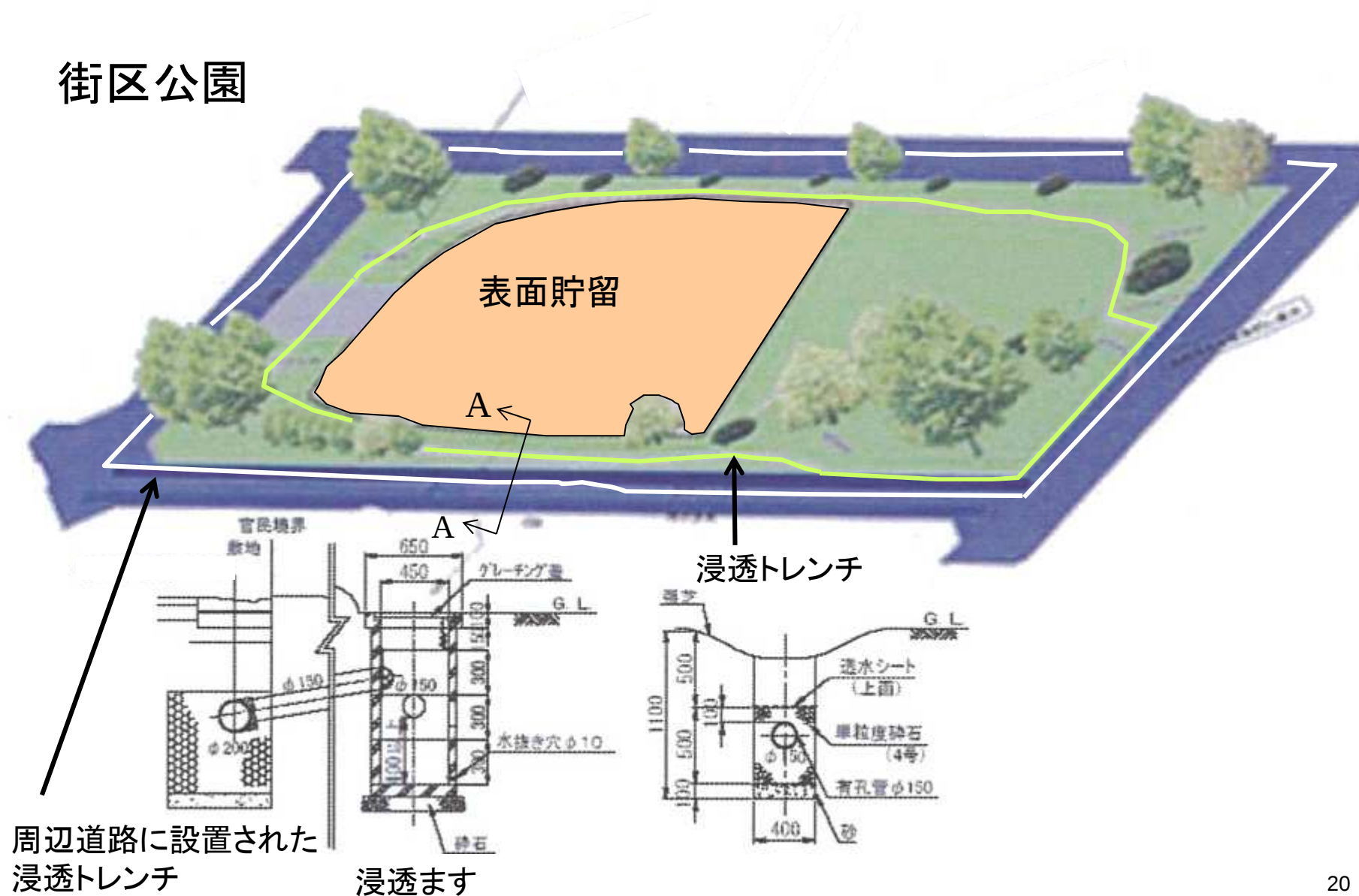
原則、屋根からの雨水のみを浸透枳に取り込む。

Photos taken on Aug.8 in 2012



戸建て住宅に設置された浸透ます

街区公園



街区公園

Photos taken on Aug.8 in 2012



表面貯留

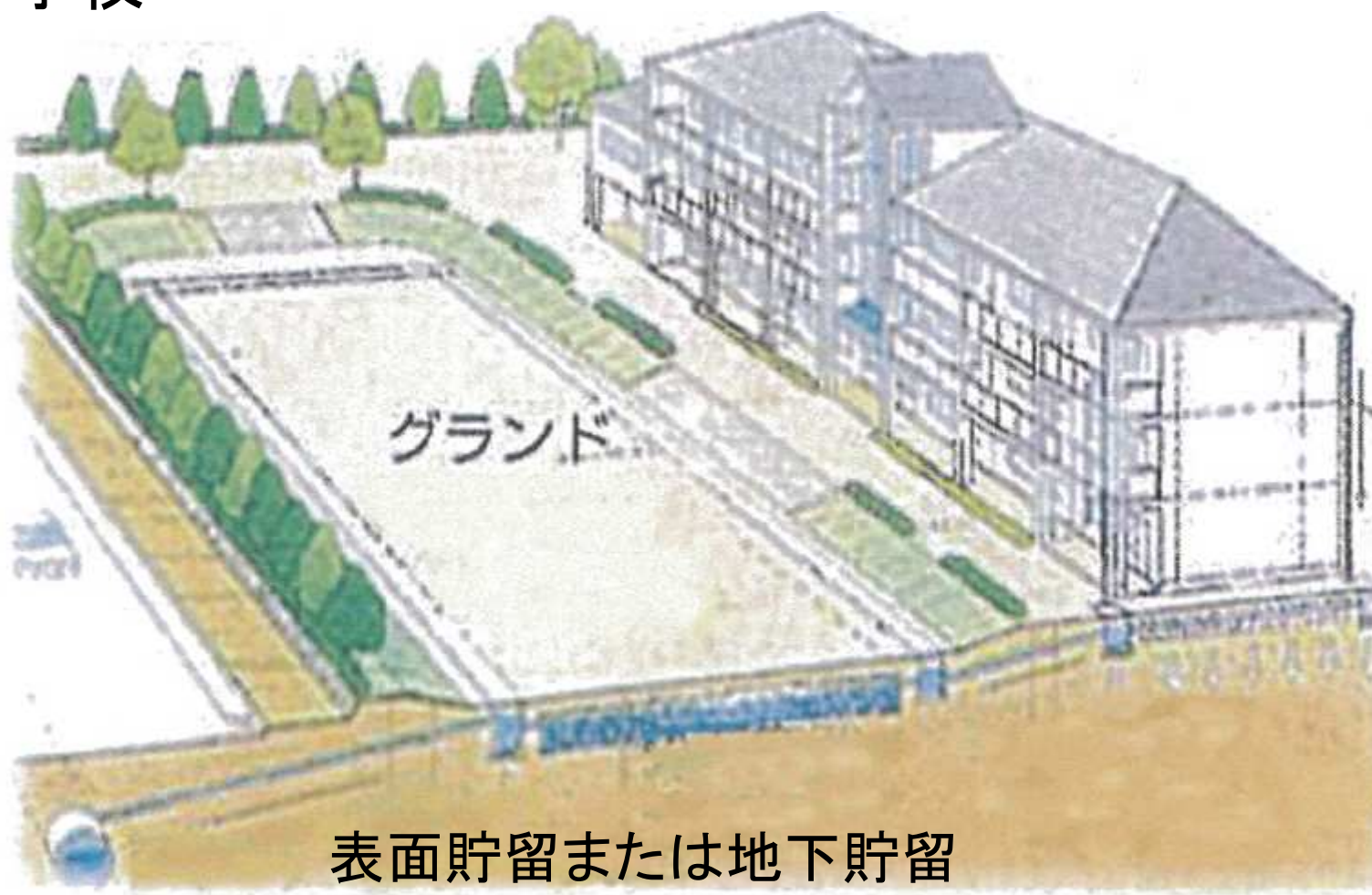


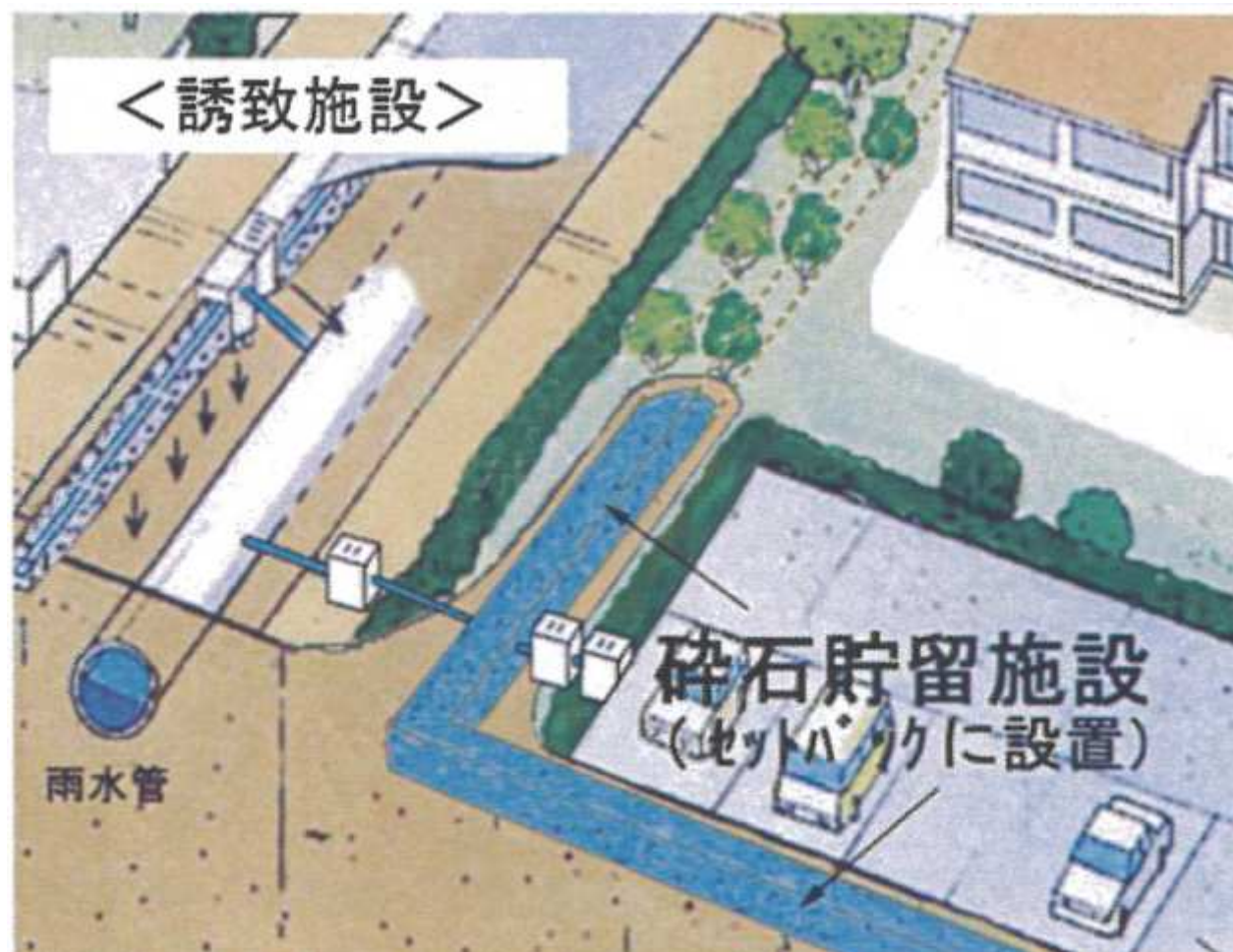
窪地に設置された浸透トレンチ

近隣・地区公園



学校



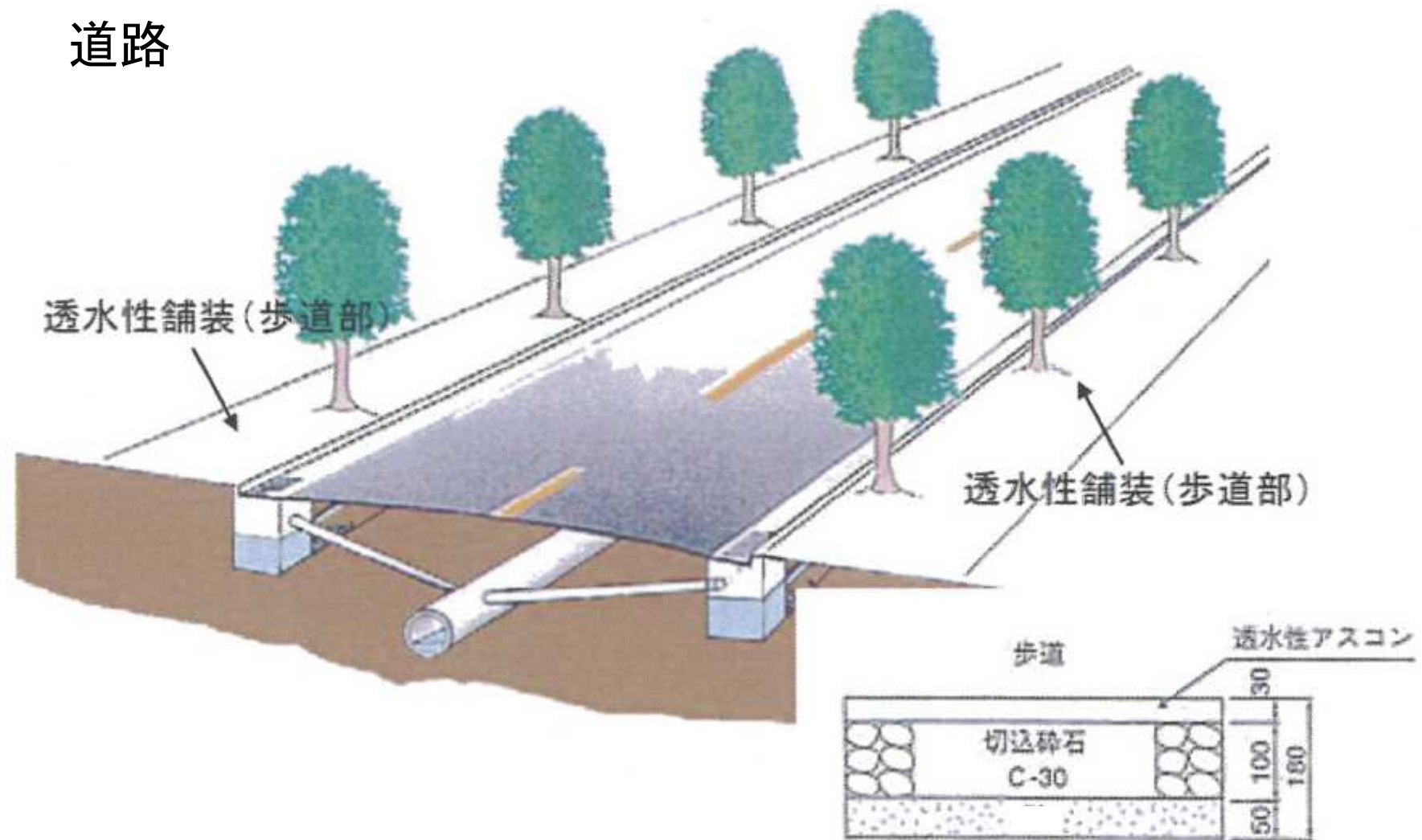


Photos taken on Aug.8 in 2012



誘致地区(ショッピングセンター)駐車場

道路



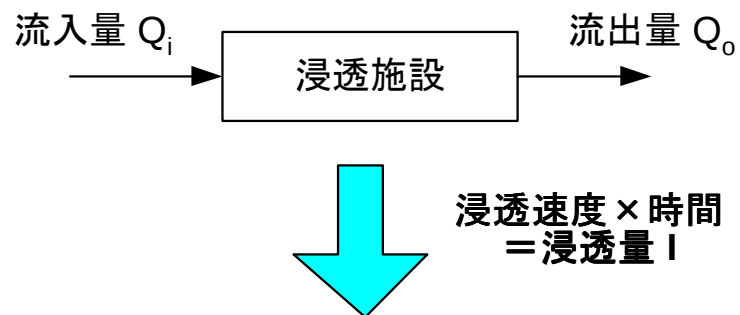
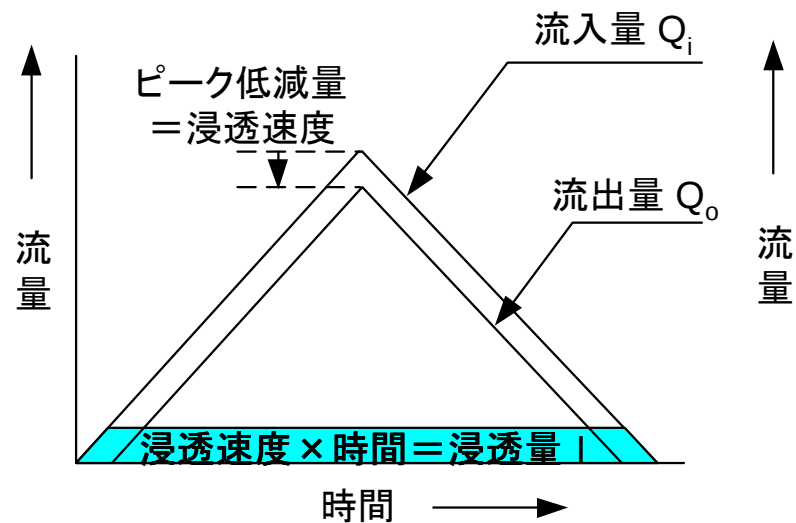
Photos taken on Aug.8 in 2012



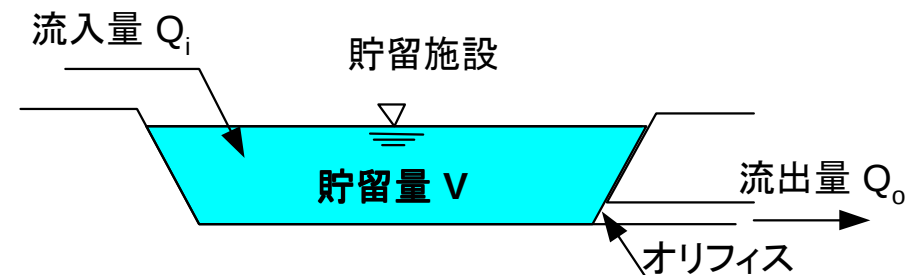
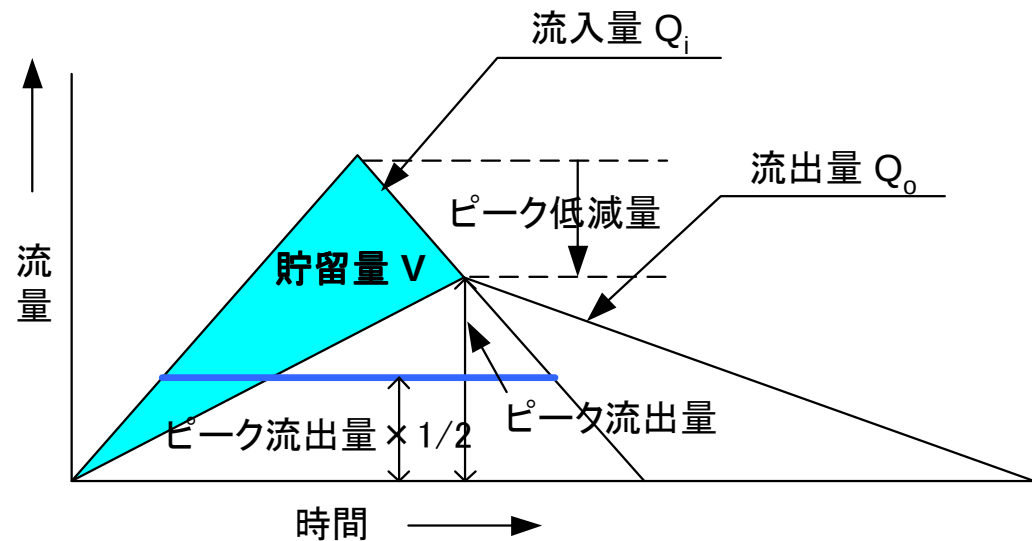
歩道部透水性舗装

浸透施設と貯留施設の流出抑制効果の比較

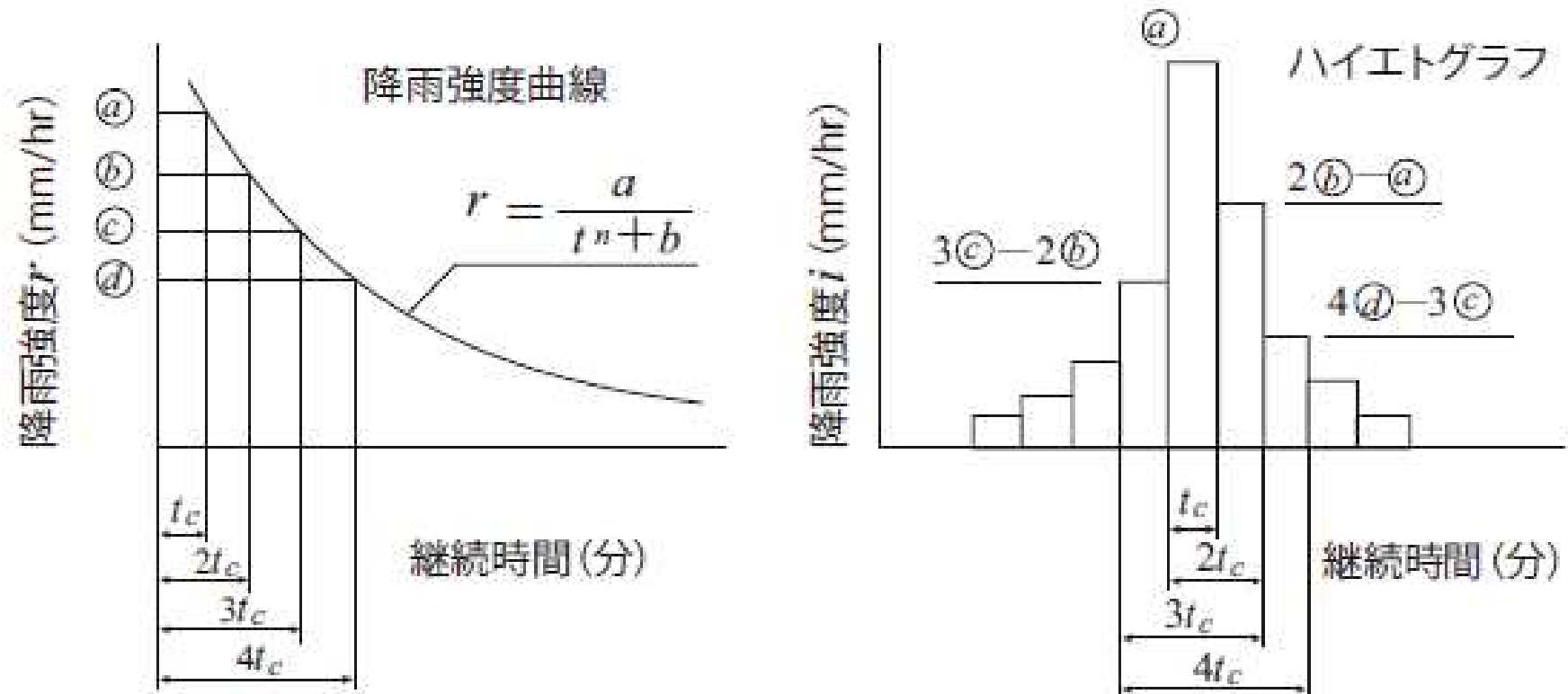
(浸透施設の流出抑制)



(貯留施設の流出抑制)



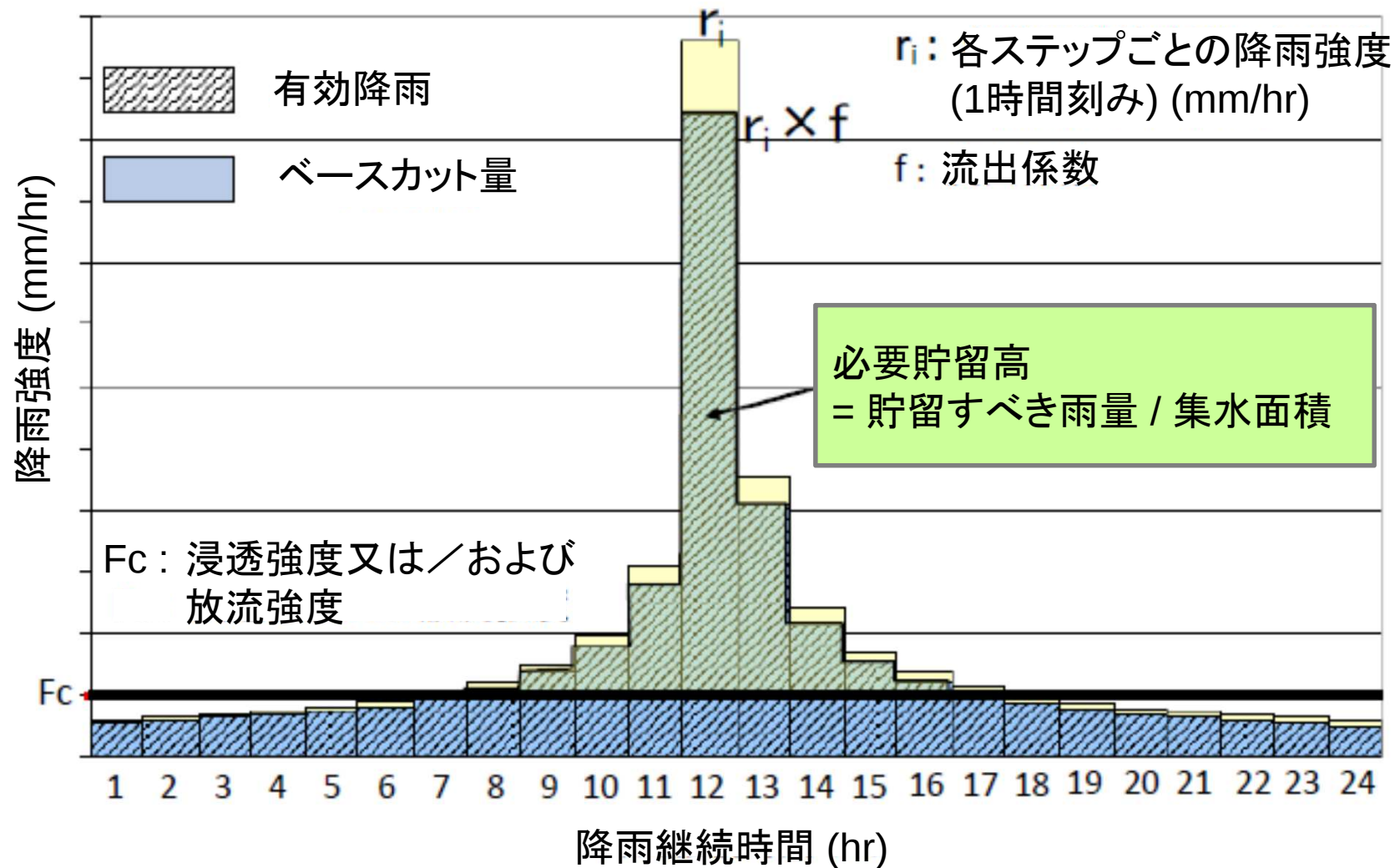
計画降雨波形(中央集中型ハイトグラフ)の作り方



ここに、 t_c ：洪水到達時間

①, ②……： t_c , $2t_c$ ……に対応する降雨強度 (mm/hr)

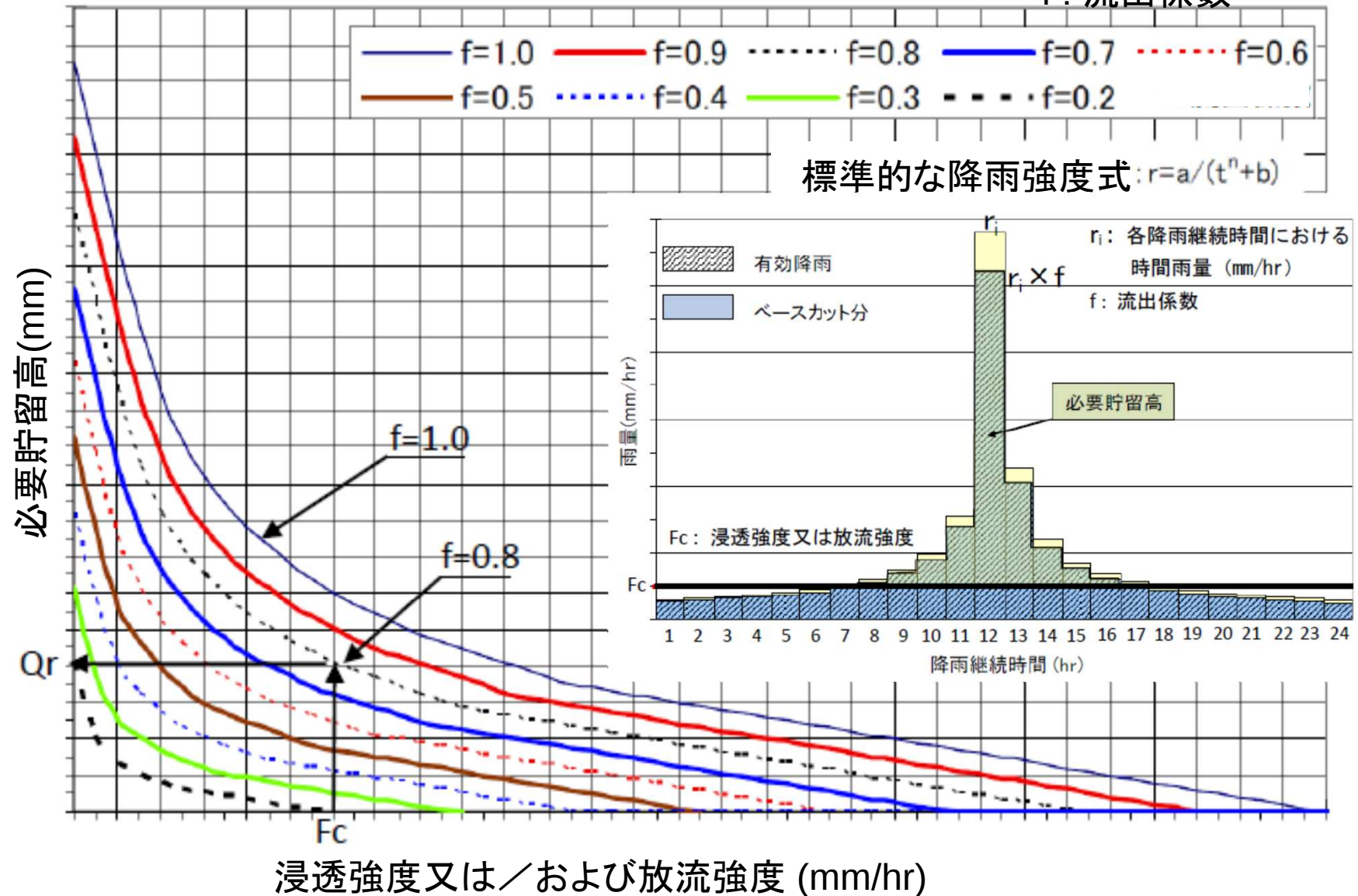
中央集中型計画ハイトグラフを用いた流出抑制のイメージ (洪水到達時間を1時間とした場合)



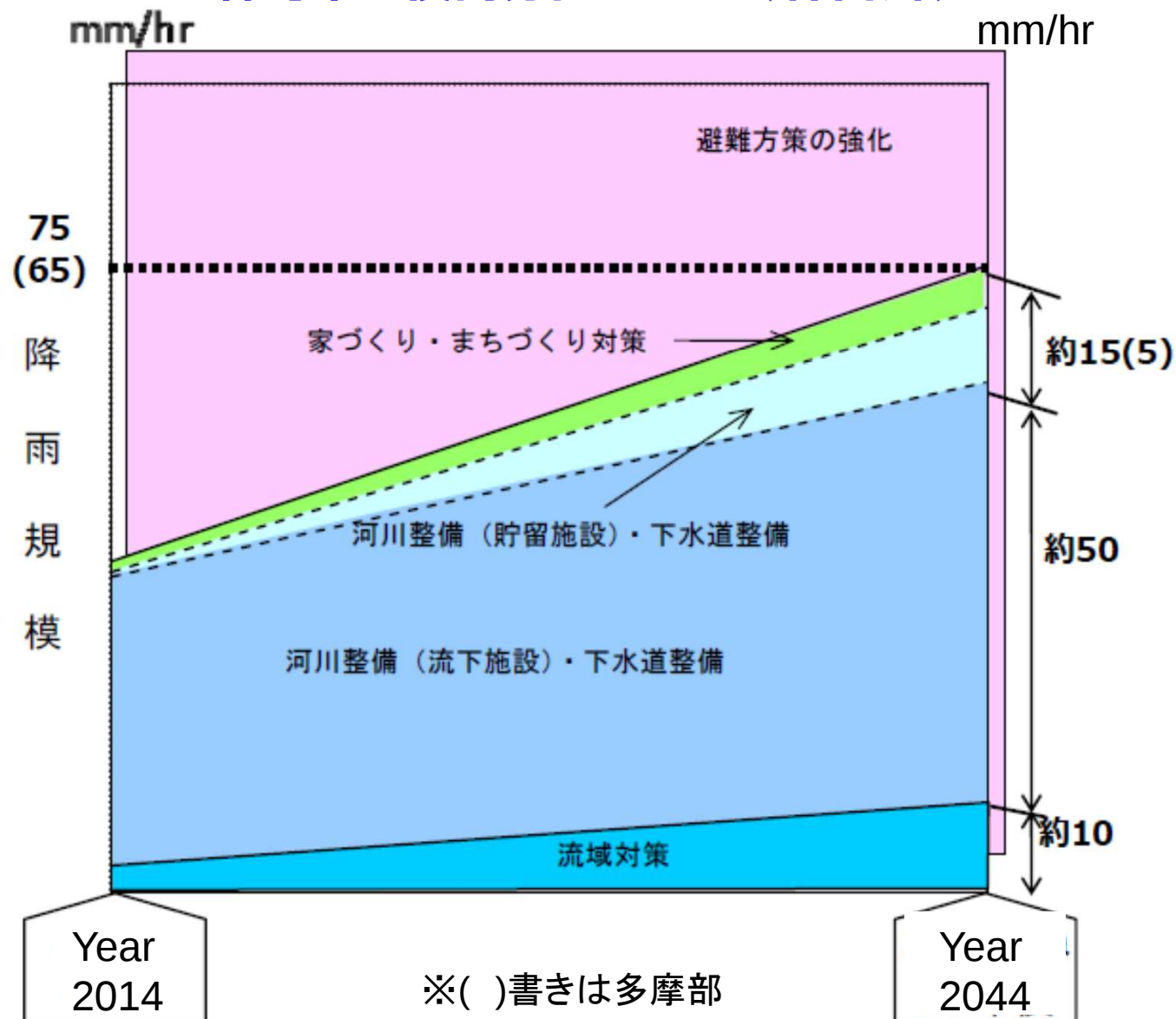
必要貯留高と浸透強度又は／および放流強度の関係

国土交通省(2010):雨水浸透施設の整備促進に関する手引き(案)、pp22-24

f: 流出係数



各対策の役割分担イメージ(神田川)



妙正寺川多目的遊水地

所在地：東京都(新宿区、中野区)

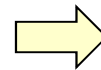
構造形式：越流堤タイプ、掘込み式

貯留容量：30,000m³

貯留面積：10,000m²

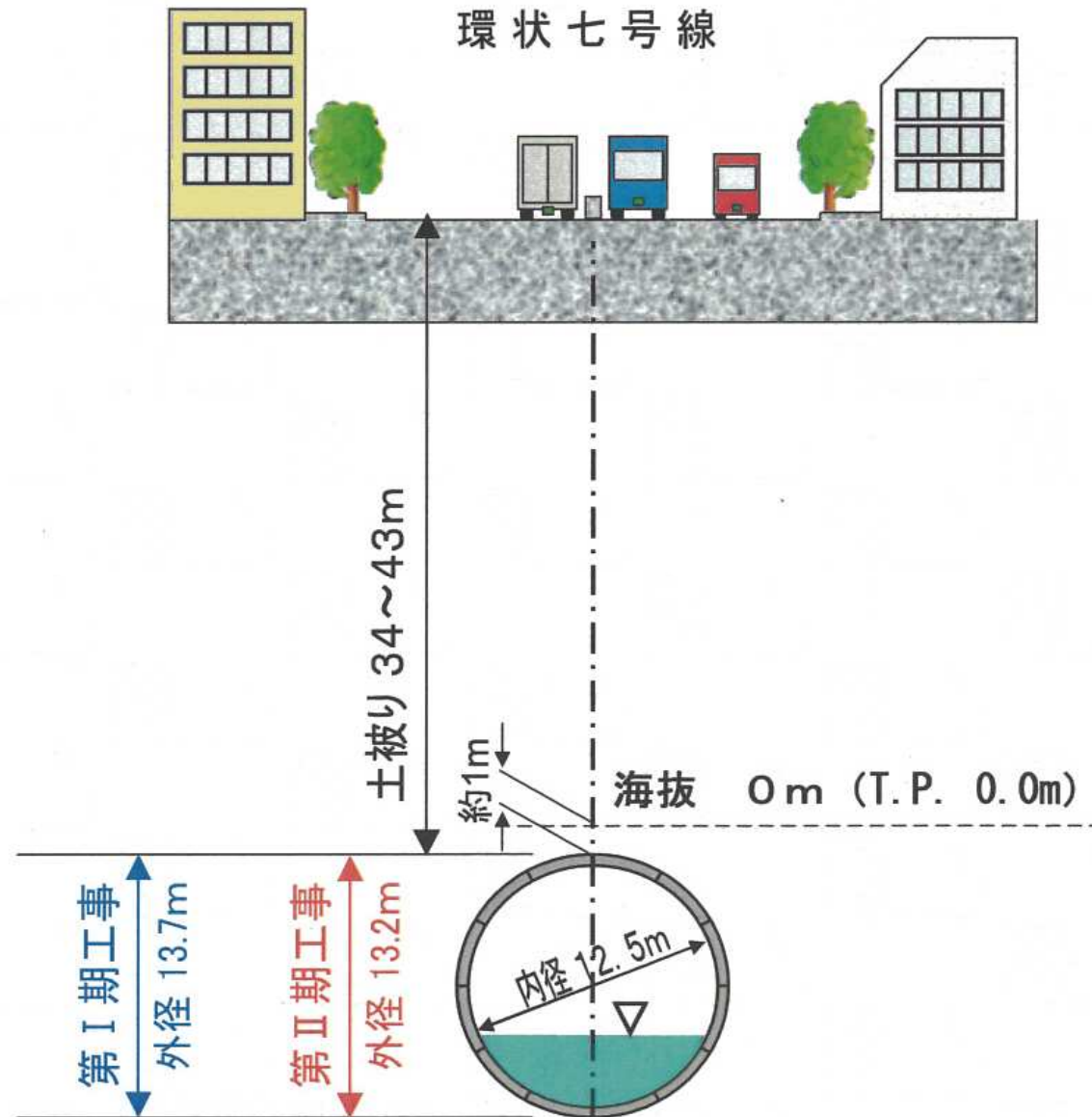
貯留水深：3.5m

施工期間： July 1986 ~ March 1997



環状七号線地下調整池(延長4.5km)

標準断面図



5. 計画設計手法

環状七号線地下調整池 流入実績 (平成28年3月15日現在)

注)

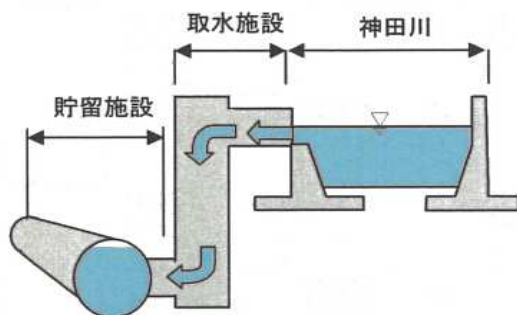
○調節池容量 240,000m³
(平成17年9月以降540,000m³)

○降雨記録は、取水施設周辺
で最大のもの

*1 工事中の二期トンネルに
緊急取水

番号	年 月 日	気象名	流入量(m ³)	降雨記録		観測所
				時間最大 (mm)	総雨量 (mm)	
1	平成9年6月20日	台風7号	40,800	22	97	和泉
2	平成9年8月23日	集中豪雨	37,000	55	93	和泉
3	平成9年9月3日	集中豪雨	20,000	43	45	久我山
4	平成9年9月8日	集中豪雨	8,000	35	43	久我山
5	平成10年8月6日	集中豪雨	14,000	45	51	高井戸
6	平成10年9月15日	台風5号	151,700	33	175	和泉
7	平成11年7月21日	集中豪雨	70,000	65	71	高井戸
8	平成11年8月14日	熱帯低気圧	52,000	38	208	久我山
9	平成11年8月29日	集中豪雨	24,000	46	62	和田見橋
10	平成11年9月4日	集中豪雨	9,500	58	89	和泉
11	平成12年7月8日	台風3号	214,000	29	197	和泉
12	平成12年9月12日	集中豪雨	61,000	53	146	成田東
13	平成13年9月11日	台風15号	120,000	38	172	高井戸
14	平成15年6月25日	集中豪雨	38,000	45	66	武蔵野
15	平成15年10月13日	集中豪雨	148,000	68	69	和田見橋
16	平成16年10月9日	台風22号	215,000	58	284	弥生町
17	平成16年10月20日	台風23号	52,000	42	228	弥生町
18	平成17年8月15日	集中豪雨	35,000	38	39	和泉
19	平成17年9月4日	集中豪雨	*1 420,000	101	238	久我山橋
20	平成18年6月16日	集中豪雨	128,900	31	103	久我山
21	平成19年7月29日	集中豪雨	76,000	28	58	久我山
22	平成20年5月20日	集中豪雨	79,000	26	131	久我山
23	平成20年8月10日	集中豪雨	1,000	43	44	鷺ノ宮
24	平成21年5月24日	集中豪雨	1,900	26	36	下井草
25	平成21年10月8日	台風18号	505,000	45	152	和田見橋
26	平成22年9月28日	集中豪雨	95,700	44	155	下井草
27	平成22年12月3日	集中豪雨	113,800	38	91	相生橋
28	平成23年8月26日	集中豪雨	92,700	86	99	中野
29	平成24年5月3日	集中豪雨	81,000	26	173	武蔵野
30	平成25年4月7日	集中豪雨	210,000	45	104	和田見橋
31	平成25年8月12日	集中豪雨	110,000	59	59	杉並
32	平成25年9月5日	集中豪雨	79,600	40	69	番屋橋
33	平成25年9月15日	台風18号	540,000	45	152	相生橋
34	平成25年10月16日	台風26号	431,100	36	244	久我山橋
35	平成26年7月24日	集中豪雨	378,400	75	121	武蔵野
36	平成26年9月10日	集中豪雨	132,600	70	85	久我山橋
37	平成27年5月12日	台風6号	176,800	41	65	相生橋
38	平成27年8月17日	集中豪雨	145,200	54	103	池袋橋

環状7号線地下調節池の効果



神田川取水施設の流入状況



貯留能力24万m³の90%(21万5千m³)まで流入

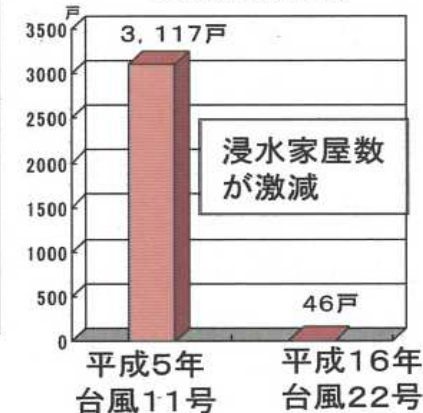


平成5年台風11号と平成16年台風22号の比較

	台風11号 (平成5年8月27日)	台風22号 (平成16年10月9日)
総雨量 (時間雨量)	288mm (47mm)	284mm (57mm)
浸水面積	85ha	4ha
浸水家屋 (床下・床上)	3,117戸	46戸

※雨量は弥生町雨量観測所

浸水家屋数の比較



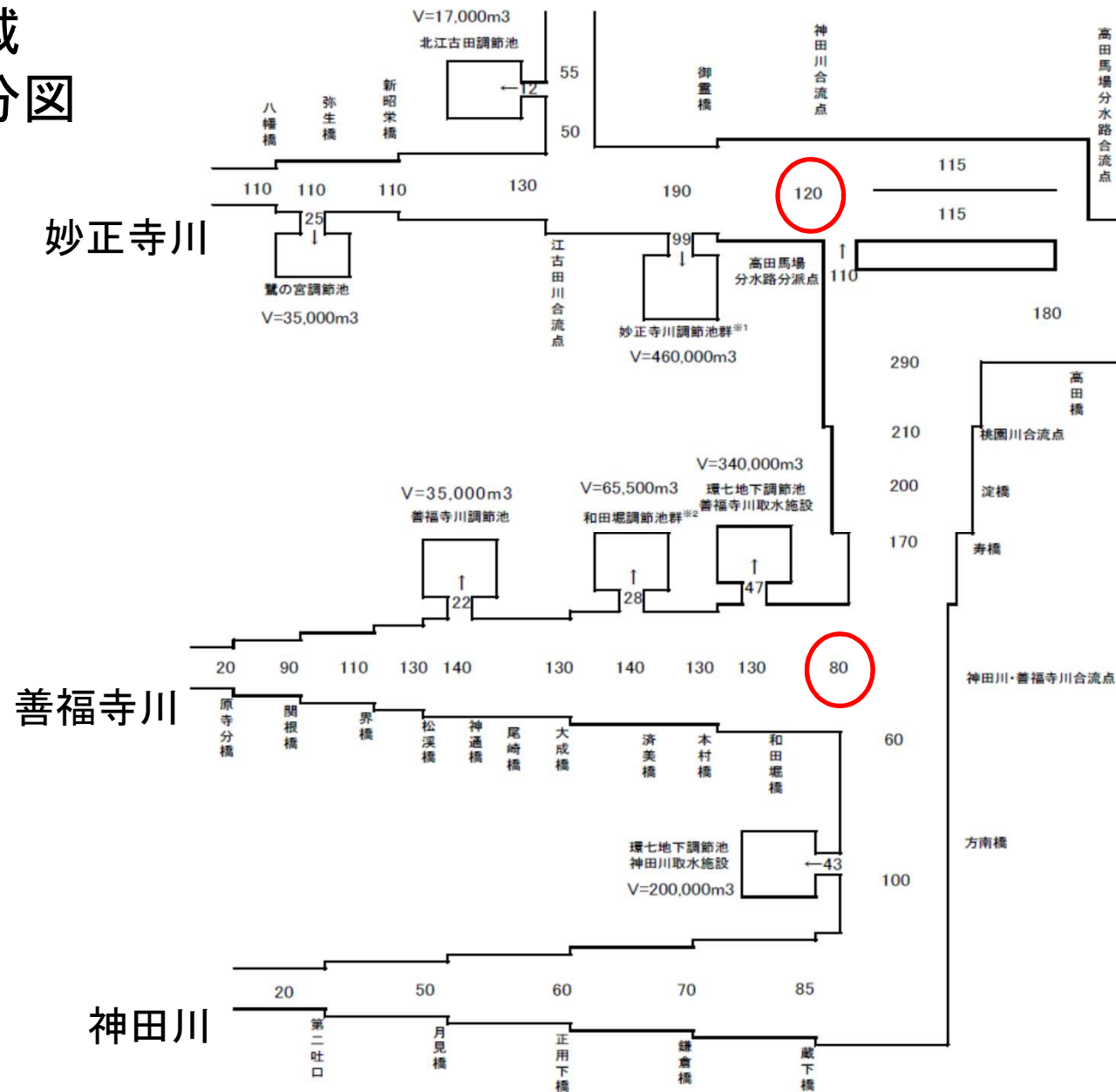
神田川流域に設定されている流域対策量

単位：m³/ha、

各種施設	ha当たりの必要貯留量 但し()内は貯留高に換算
公共建物	600 (60mm)
道路	290 (29mm)
歩道	200 (20mm)
公園	600 (60mm)
大規模民間施設 (≥500m ²)	600 (60mm)
小規模民間施設(<500m ²)	300 (30mm)

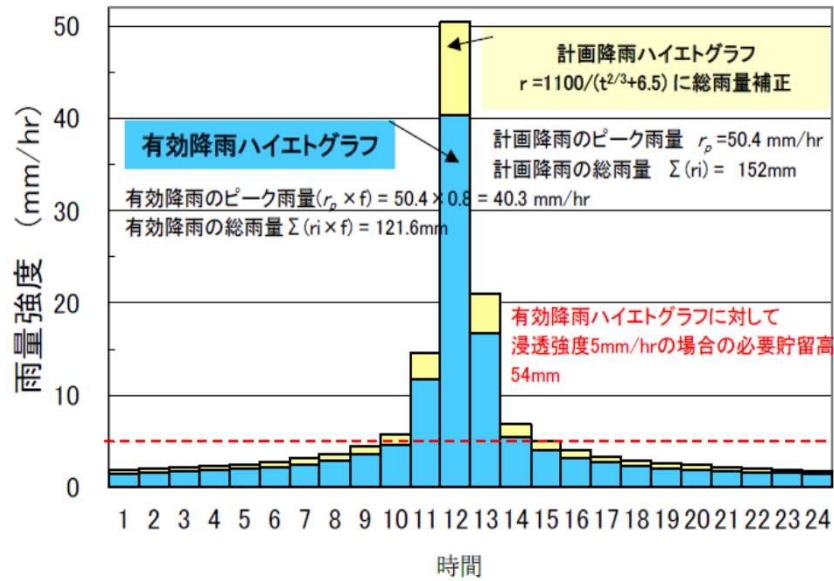
5. 計画設計手法

神田川上流域 計画流量配分図

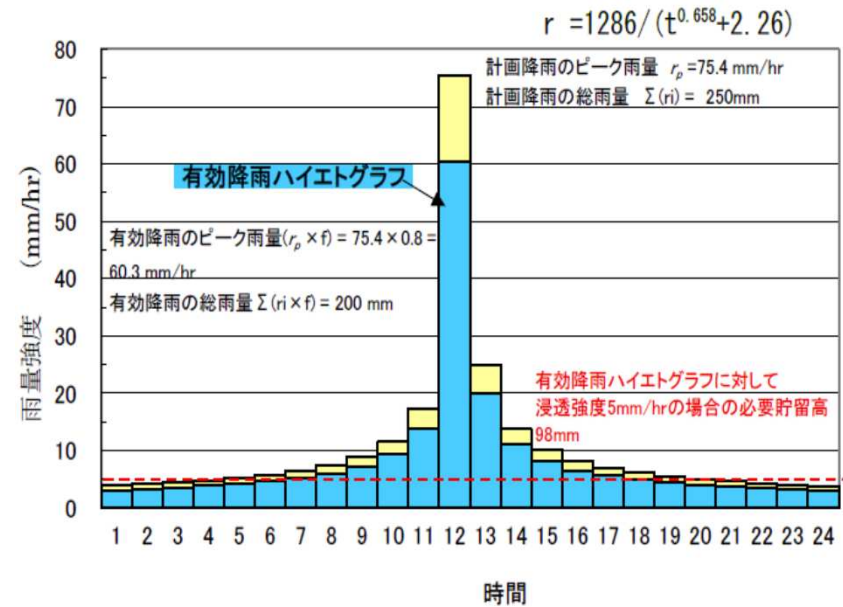


5. 計画設計手法

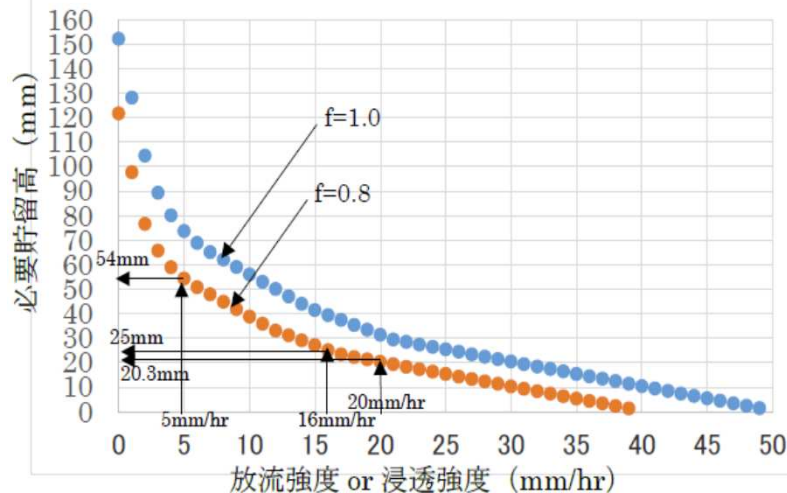
計画降雨ハイトグラフ(東京気象台:時間 50mm)



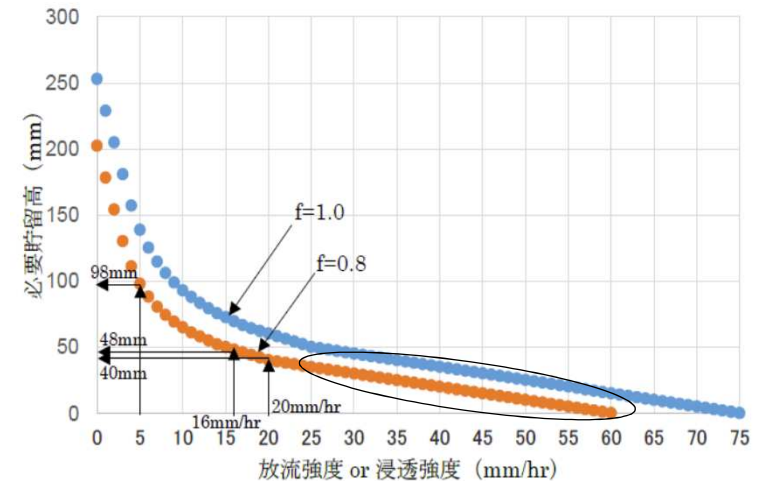
計画降雨ハイトグラフ(東京気象台:時間 75mm)



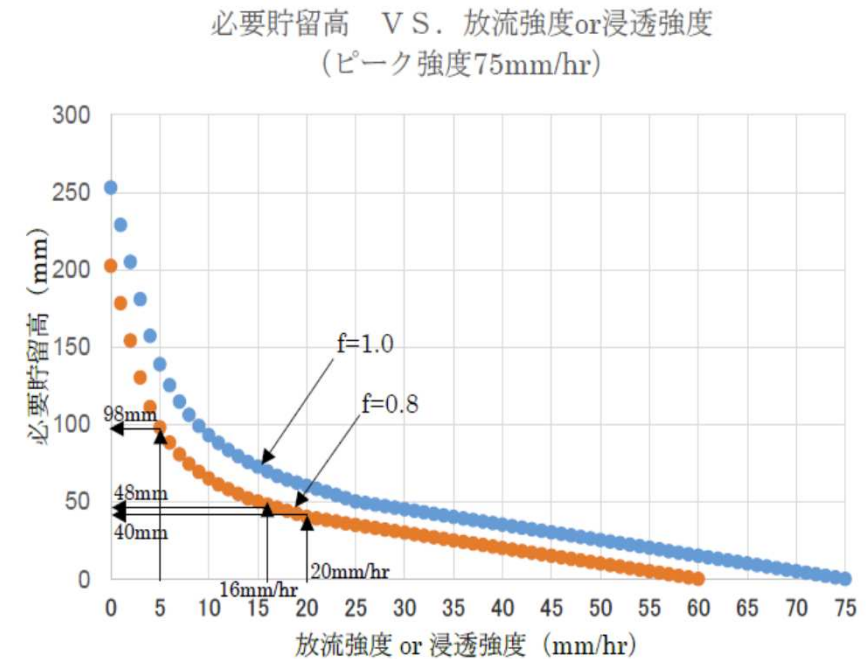
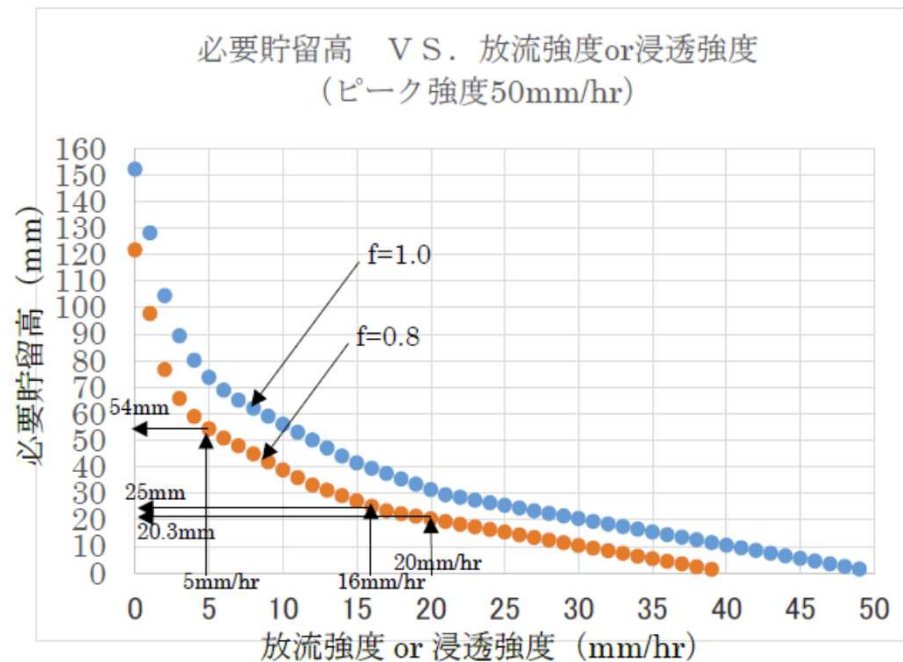
必要貯留高 V S. 放流強度or浸透強度
(ピーク強度50mm/hr)



必要貯留高 V S. 放流強度or浸透強度
(ピーク強度75mm/hr)



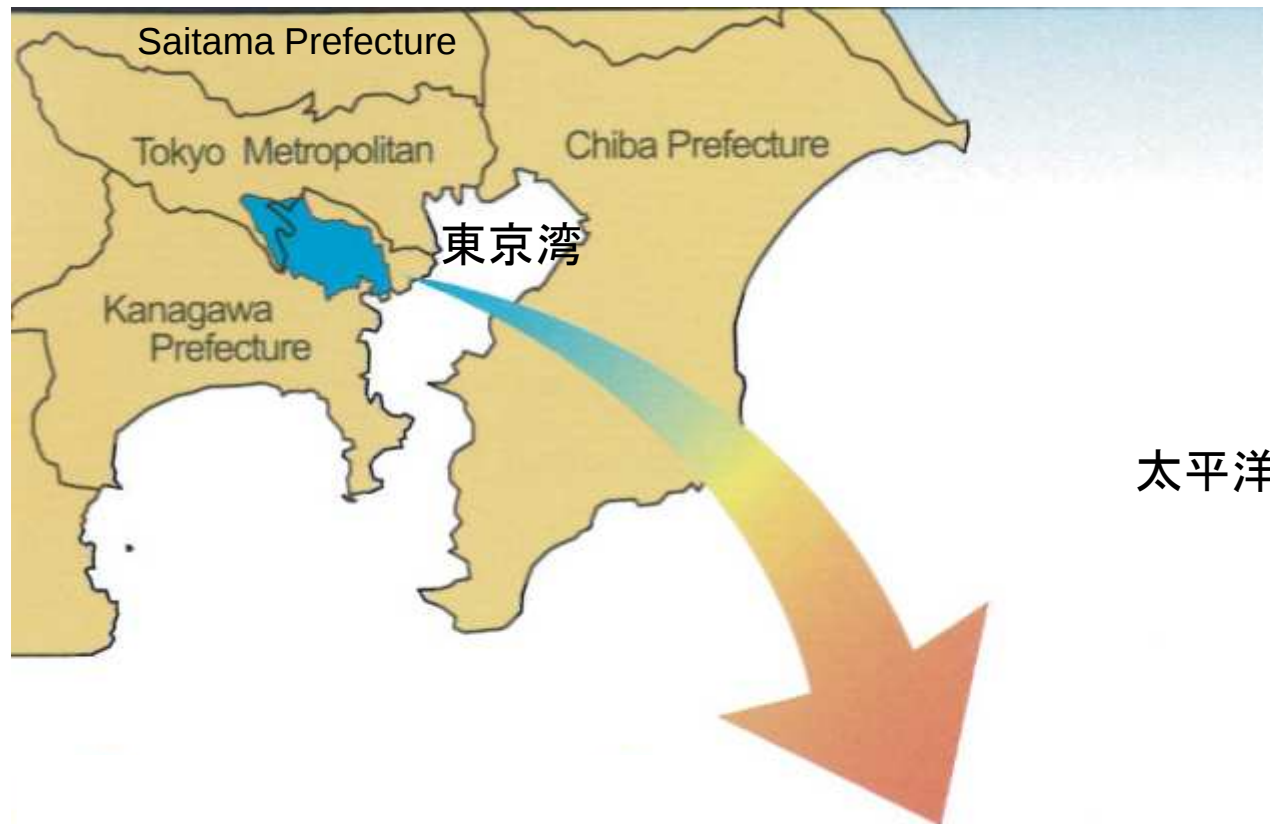
5. 計画設計手法



河川名	妙正寺川		善福寺川	
計画降雨強度	50mm/hr	75mm/hr	50mm/hr	75mm/hr
①基本高水流量(最下流端)	120m ³ /s		80m ³ /s	
②集水面積	21.4km ²		18.3km ²	
③放流強度 (①／②)	20mm/hr		16mm/hr	
④必要貯留高(上図より)	20.3mm	40mm	25mm	48mm
⑤必要貯留容量 (④×②)	434,400m ³	856,000m ³	457,500m ³	878,400m ³
⑥実施済貯留容量(50mm/hr対応)	512,000m ³		440,500m ³	

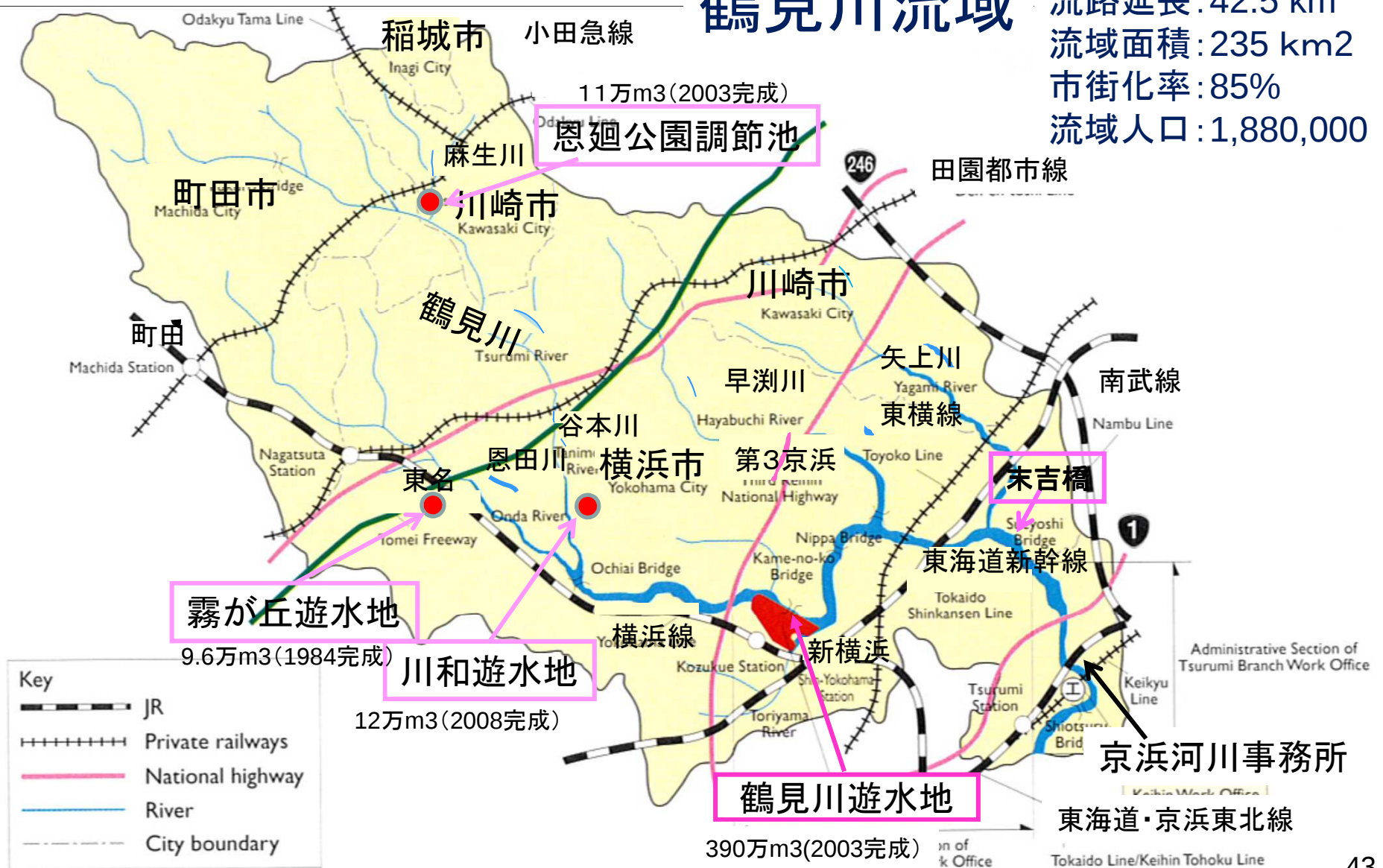
鶴見川(東京都 町田市、神奈川県 川崎市、神奈川県 横浜市)

位置図



鶴見川流域

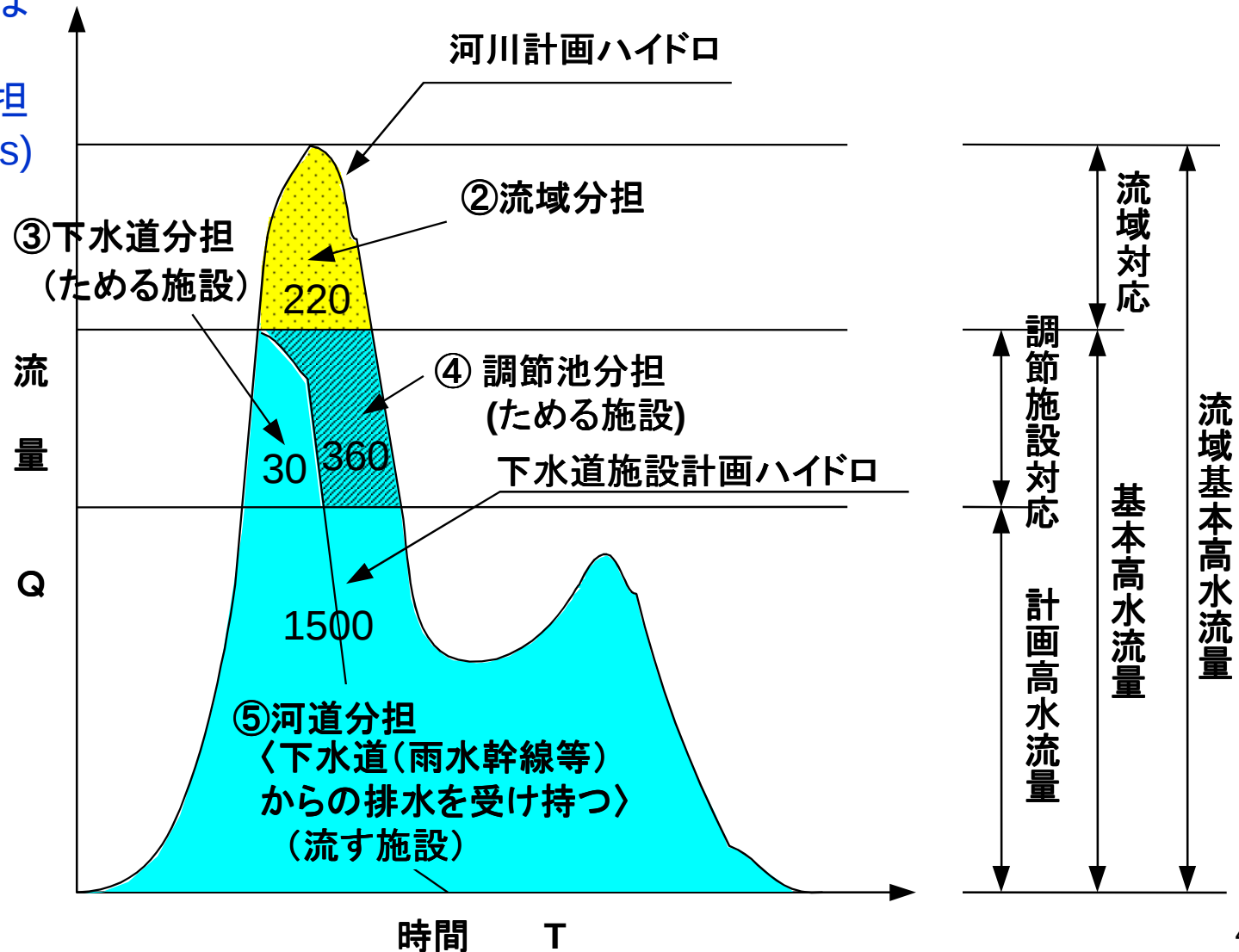
流路延長: 42.5 km
 流域面積: 235 km²
 市街化率: 85%
 流域人口: 1,880,000



ハイドログラフにおける流域対策の位置付け

$$\text{流域全体の分担流量} = 220 + 360 + 30 + 1500 = 2110 \text{ m}^3/\text{s}$$

図中に示す数字は
鶴見川
末吉橋での各分担
の計画流量 (m³/s)
対象降雨は、
1958年既往
最大降雨:
約60mm/hr
(1/10確率)





鶴見川多目的遊水地
面積: 84 ha
容量: 390万m³

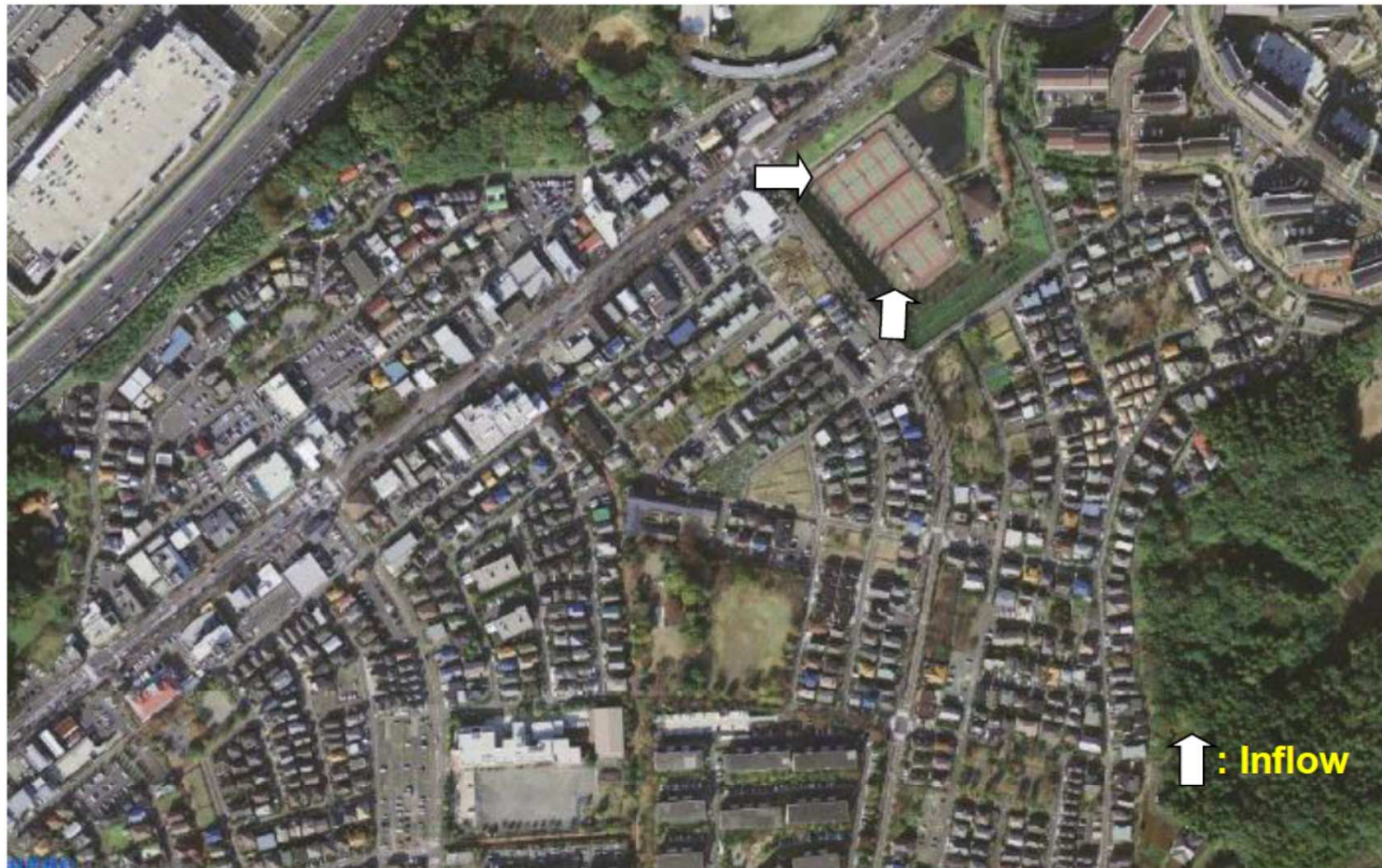


霧が丘遊水地
構造形式:コンクリートダム
貯留量:96,000m³





湛水するテニスコート



周辺の住宅開発に伴う流出増に対応して、テニスコートが調節池になるよう設計されている。一次滞水池、流水路は、横浜市河川管理課が、その他はテニスコートを運営する横浜市福祉文化事業団が管理している。

恩廻公園地下トンネル調節地 ($V=110,000\text{m}^3$)



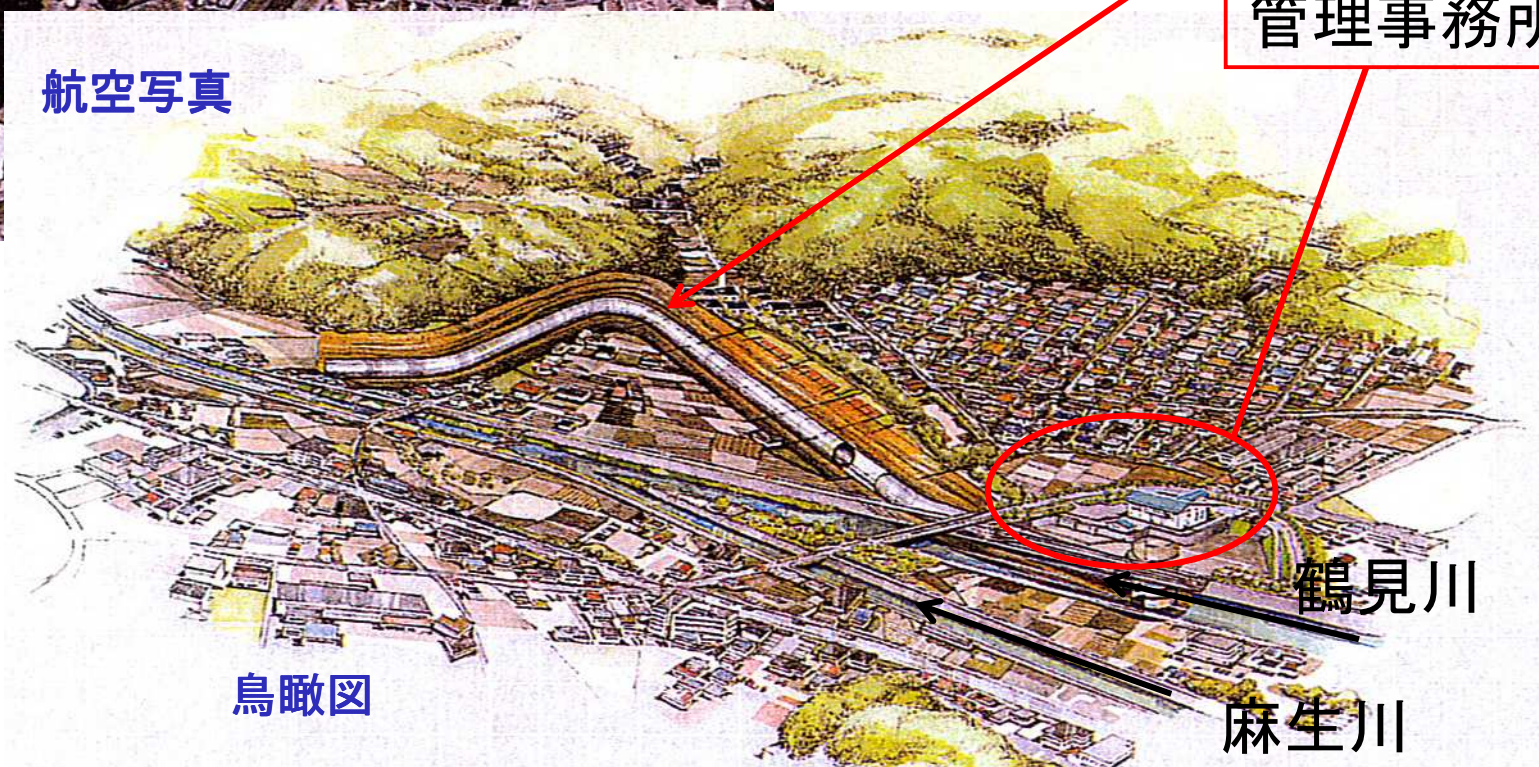
航空写真

旧河道



地下トンネル調節池

管理事務所



鳥瞰図

鶴見川

麻生川

川和遊水地 ($V=120,000\text{m}^3$)



川和遊水地(コンクリート製、 $V=120,000\text{m}^3$)



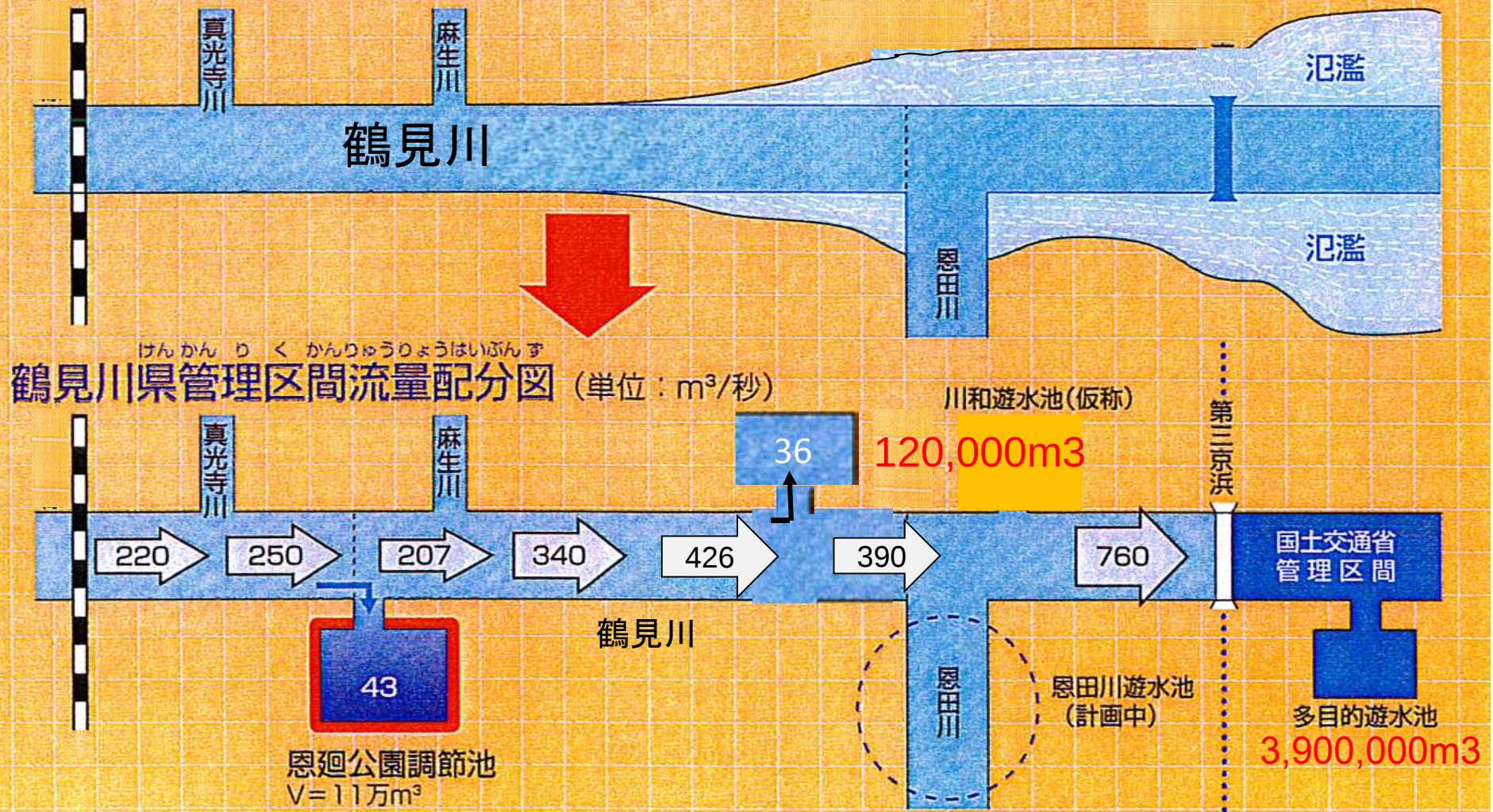
越流堤スクリーン



遊水地内部

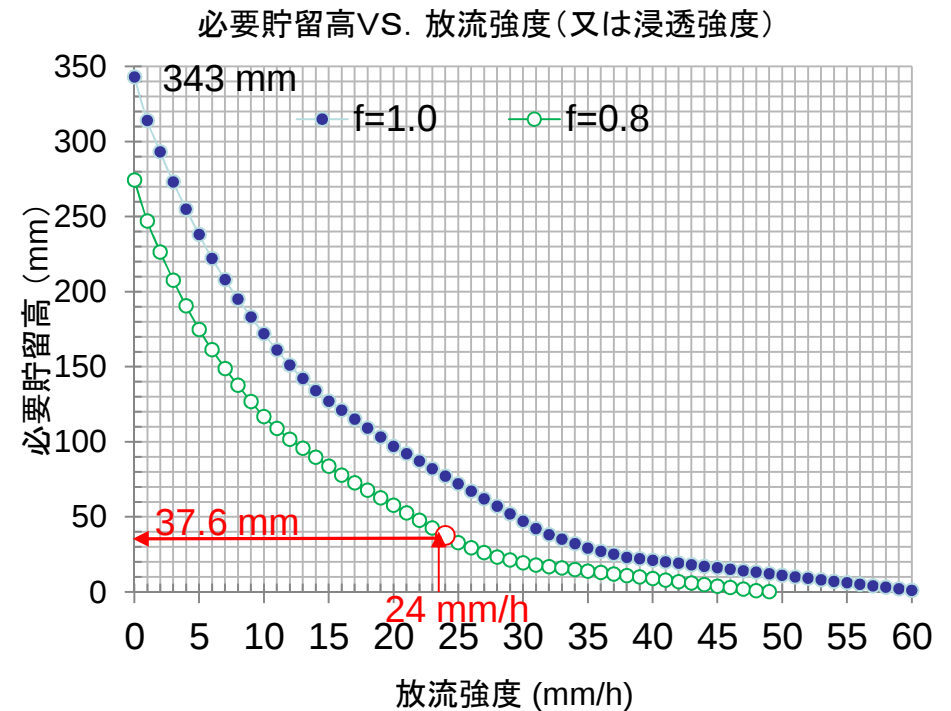
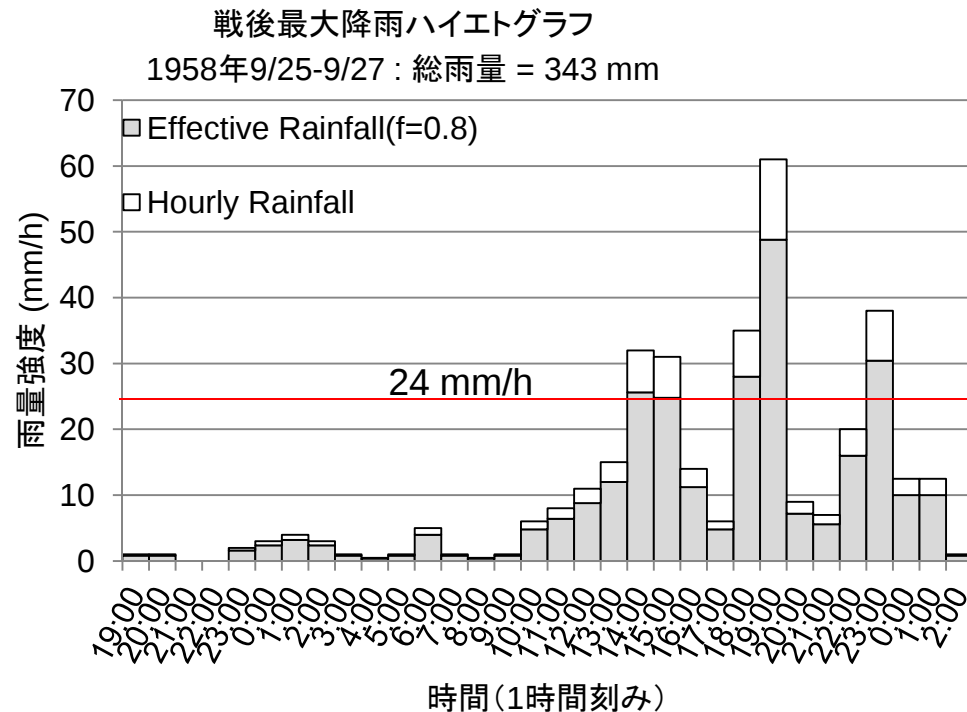
「鶴見川新流域整備計画」

目標降雨強度：60mm/hr (1/10)



簡便法による必要貯留浸透量の算定 鶴見川流域への適用

- 流域面積: 235 km^2 、末吉橋地点では 221 km^2
- 流出係数: 0.8 (河川砂防技術基準による総合流出係数標準値: 敷地内の間地が非常に少ない地域や類似の住宅地域)
- 洪水到達時間: 60分
- 計画降雨: 1958年既往降雨(戦後最大)
(ピーク雨量強度: 60 mm/hr)
- 末吉橋での計画高水流量: $1500 \text{ m}^3/\text{s}$



末吉橋での放流強度＝計画高水流量／流域面積

$$= 1500 \text{ m}^3/\text{s} / \text{流域面積}(\text{m}^2) = 1,500 \times 60 \times 60 / 221,000,000$$

$$= 0.024 \text{ m/hr} = 24 \text{ mm/hr}$$

$$\text{必要貯留量} = \text{必要貯留高} \times \text{流域面積} = 0.0376(\text{m}) \times 221,000,000(\text{m}^2) = 831 \text{ 万 m}^3$$

鶴見川流域治水対策量

2013年時点

分担区分	施設名	貯留容量(m3)	
		計画	実施済
河川管理の 貯留施設	矢上川地下調節池	194,000	0
	恩廻公園調節池	110,000	110,000
	梅田川遊水地	11,000	11,000
	川和遊水地	120,000	120,000
	烏山川調節池	51,000	44,000
	鶴見川多目的遊水地	3,900,000	3,900,000
下水道管理の 貯留施設	新羽末広幹線	410,000	410,000
	小机千若幹線	256,000	256,000
	渋川雨水貯留管	144,000	144,000
	江川雨水貯留管	81,000	81,000
流域対策	民間開発	2,750,000+α	2,750,000
	公共施設	300,000	300,000
合計		8,327,000+α	8,126,000

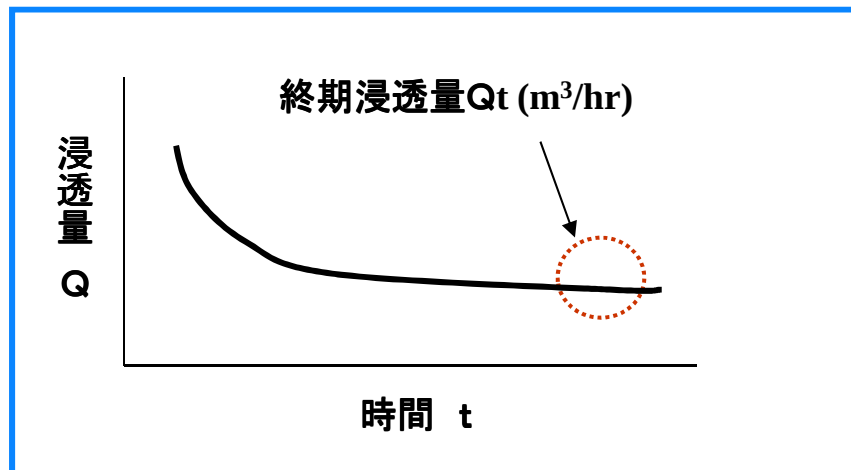
6. 飽和透水係数の推定(英国の土質ハンドブックとの比較)



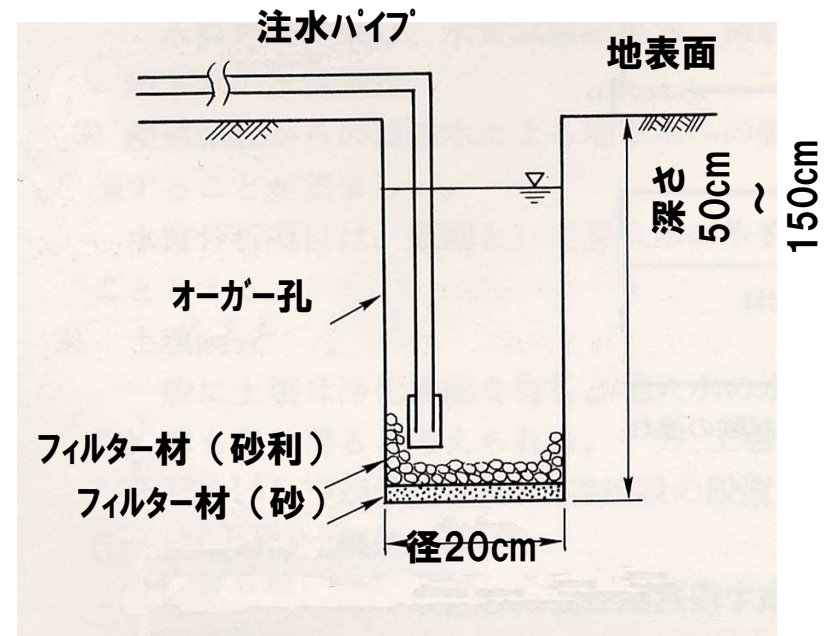
ボアホールの掘削



土質の確認および資料採取



定水位注水試験結果



注水試験状況

現地浸透実験の概要

比浸透量を用いた浸透能力算定式(雨水浸透施設技術基準より)

$$Q_f = k_0 * K_f \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 Q_f : 浸透施設の基準浸透量(1m、1個あるいは1m²当たりのm³/hr)

k_0 : 土壌の飽和透水係数(m/hr)

K_f : 浸透施設の比浸透量(m²)

$$Q_t = k_0 * K_t \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 Q_t : 終期浸透量(m³/hr)

k_0 : 土壌の飽和透水係数(m/hr)

K_t : 実験施設(所定湛水深のボアホール)の比浸透量(m²)

(2)式を移項して

$$k_0 = Q_t / K_t \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 $K_t = aH^2 + bH + c$

H : 設計湛水深(m) ≤ 5.0m

$a = 0.475D + 0.945$ $b = 6.07D + 1.01$ $c = 2.570D - 0.188$

D : ボアホール直径(m) = 0.2m

単位設計浸透量 Q_d の算定

$$Q_d = 0.81 \times (Q_t / K_t) \times K_f$$

$$= 0.81 \times k_0 \times K_f$$

Q_t : 試験施設の終期浸透量 (m^3/hr)

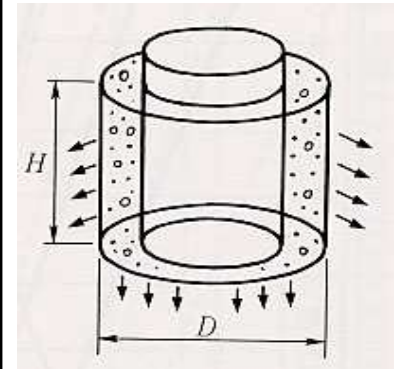
K_t : 試験施設の比浸透量 (m^2)

K_f : 設置施設の比浸透量 (m^2)

k_0 : 土壌の飽和透水係数 (m/hr)

0.81 : 各種影響係数(一般的な値)

比浸透量(浸透ます:円筒、側面・底面浸透)



$$K_t, K_f = aH^2 + bH + c$$

$$0.2m \leq D \leq 1.0m$$

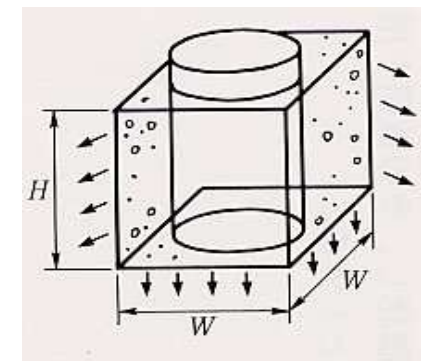
$$H \leq 5m$$

$$a = 0.475D + 0.945$$

$$b = 6.07D + 1.01$$

$$c = 2.570D - 0.188$$

浸透ます(正方形)



$$K = aH^2 + bH + c$$

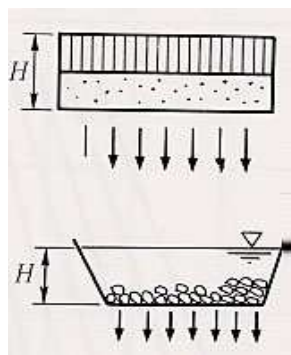
$$W \leq 1.0m \quad H \leq 5m$$

$$a = 0.120W + 0.985$$

$$b = 7.837W + 0.82$$

$$c = 2.858W - 0.283$$

透水性舗装(浸透池)

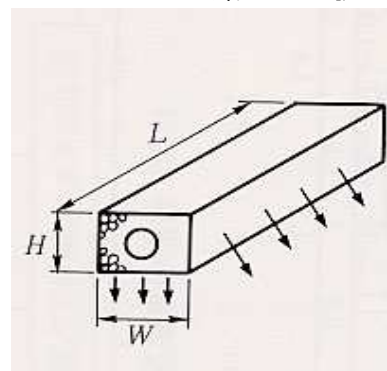


$$H \leq 1.5m$$

$$K = 0.014H + 1.287$$

比浸透量は単位面積あたりの値

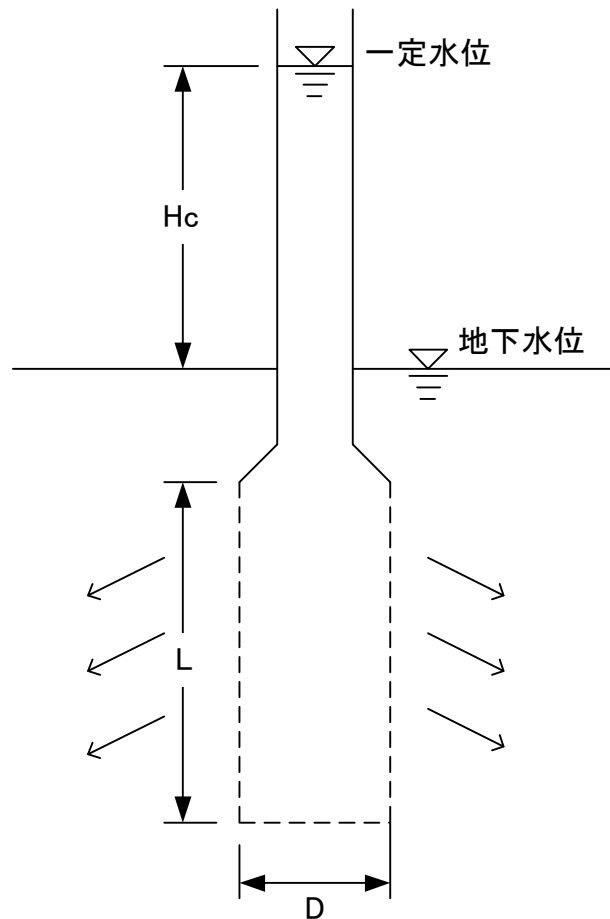
浸透トレンチ(浸透側溝)



$$W \leq 1.5m \quad H \leq 1.5m$$

$$K = 3.093H + 1.34W + 0.677$$

単位長さあたりの値



$$k_0 = \frac{Q_t \log_e \left(\frac{L}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{L}{D} \right)^2} \right)}{2 \pi L H_c}$$

ここに、 k_0 : 飽和透水係数 (cm/s)

Q_t : ボアホールへの注水量 (cm³/s)

一定水位で注水試験を行うので浸透量に等しい。

L : 浸透面の長さ (cm)

D : ボアホール直径 (cm)

H_c : ボアホール内の水位と地下水位との水頭差 (cm)

上式を移項して、比浸透量 k_t (cm²)は、次式で与えられる。

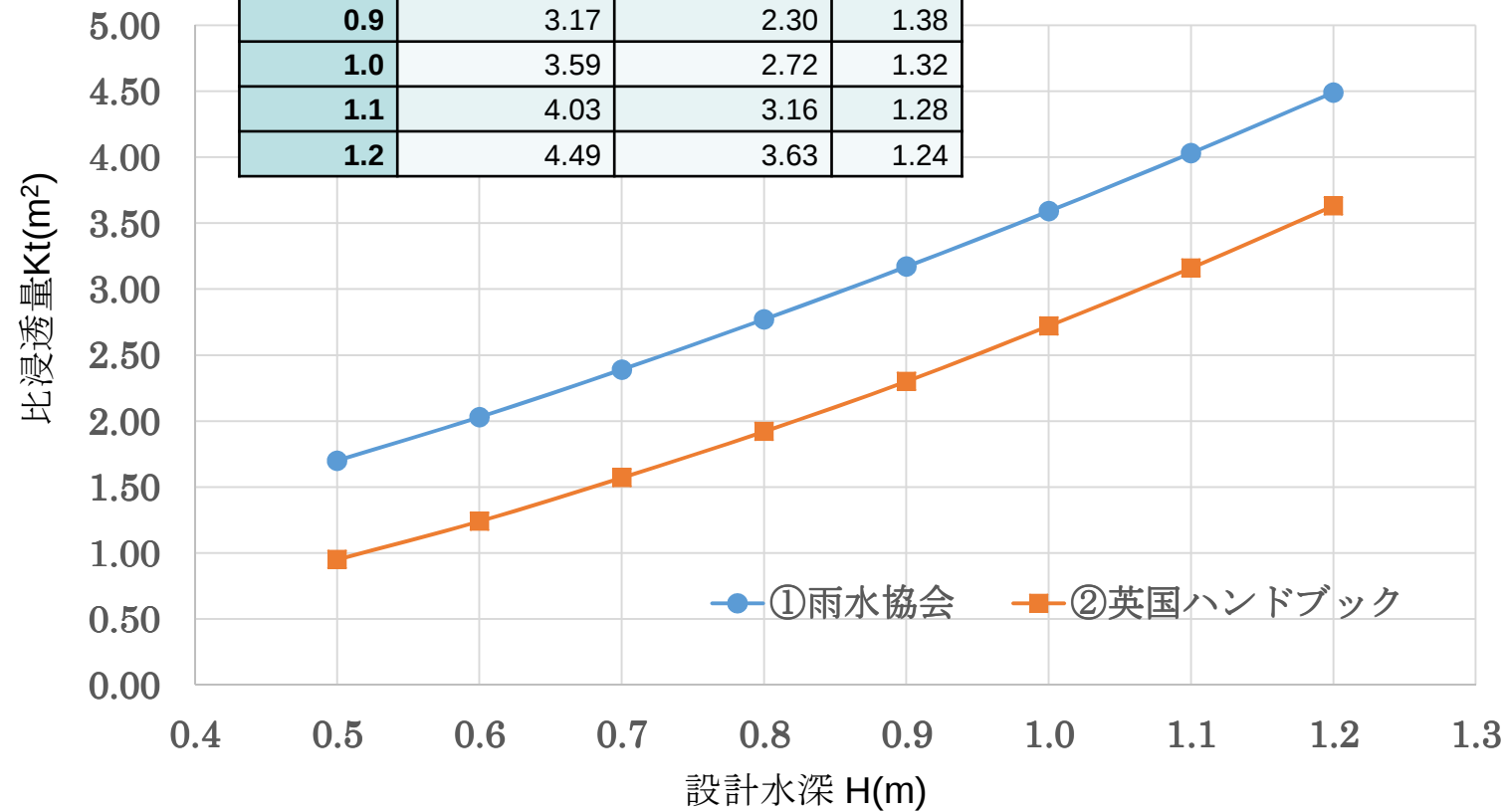
$$K_t = Q_t / k_0 = \frac{2 \pi L H_c}{\log_e \left(\frac{L}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{L}{D} \right)^2} \right)}$$

飽和透水係数算定式(英国の土質ハンドブックによる)

6. 飽和透水係数の推定(英国の土質ハンドブックとの比較)

比浸透量算定式の比較 (単位: m^2)

設計水深 H(m)	①雨水協会	②英国 ハンドブック	①/②
0.5	1.70	0.95	1.79
0.6	2.03	1.24	1.64
0.7	2.39	1.57	1.52
0.8	2.77	1.92	1.44
0.9	3.17	2.30	1.38
1.0	3.59	2.72	1.32
1.1	4.03	3.16	1.28
1.2	4.49	3.63	1.24



比浸透量算定式の比較

ご清聴ありがとうございました

