

Pacific
Consultants

Producing
The Future™



激甚化する豪雨・洪水災害への 治水・水防災技術の進化

2020. 5.20

PCKK河川防災分野新人教育講座

辻本 哲郎

背景

近年頻発する激甚な豪雨・洪水災害

「災害が起こるたびに場当たりの対応を重ねてきたにすぎない」

「水防災意識社会の再構築」

「防災・減災，国土強靱化のための3か年緊急対策」

気候変動による襲来外力の激甚化→基本方針や整備計画の改定を示唆



それぞれの災害の「皮相」のみを見た「直感的」で目先の判断によるものでなく、

様々な災害を横並びに比較し総合的に見て、

災害発生・展開の仕組みや対策の持つ合理的な意義を踏まえた

「論理的」なものが必要！



治水・水防災の技術を総合化

様々な場面で活躍する行政・技術・研究にかかわる様々な世代の力を結集

治水・水防災の技術を総合化

様々な場面で活躍する行政・技術・研究にかかわる様々な世代の力を結集

そうした視点での議論を進めるためには

・近年の豪雨・洪水災害の実態を系統的に認識

←どんな手順で

・治水・水防災技術について体系的に理解

水災害現象の素過程の一連性

計画・設計・工事・維持管理の一貫性

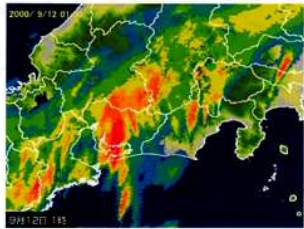
概略的な背景の認識

- ・明治29年(1896)の河川法に基づいて大河川の近代的整備が進められてきた
- ・戦後の**巨大台風**の来襲による水害にみまわれた
- ・昭和39年(1964)の河川法改正
ダムによる洪水調節の治水における役割が認識・実施
→**「水系治水」**の考え方が確立
「河川工事実施計画」
- ・1970年代多摩川水害(狛江), 長良川水害(安八)と**「破堤」** ←訴訟
- ・90年代までには雨量観測など水文・水理観測・解析技術の進歩
↓
- ・平成9年河川法の改正(1997)
「基本方針」と「整備計画」の2本立て

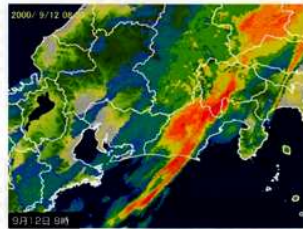
頻発する豪雨・洪水災害(2000以降)

2000東海豪雨

- ・**破堤** 新川(←庄内川から洗堰で分派)
直轄⇔県管理
- ・**都市型水害** ライフライン寸断
→ハザードマップ
- ・**河川/内水複合災害**
洪水・ポンプ運転調整
- ・**集中豪雨**



各地に使用したレーダー/衛星計、加齢、大崎山、三つ峠、聖徳原
資料：国土交通省 中部地方整備局



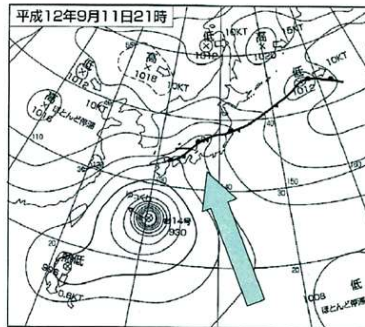
線状降水帯

恵南豪雨

- ・**矢作ダム** ←**但書き操作**
ダム下流部で洪水災害
- ・**土砂災害**
沢抜け→ダム堆砂進行



◆【東海豪雨時】平成12年9月11日 21時の天気図



湿った空気が大量に流れ込み、前線を刺激



豪雨による深いつめ跡(国道418号・上矢作町達原)



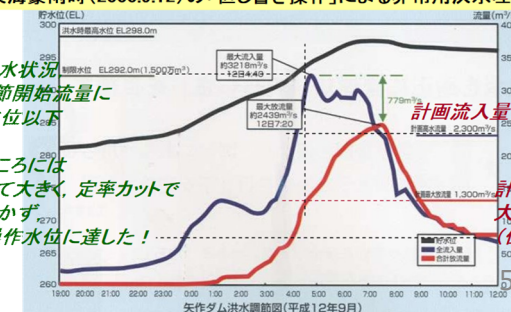
天白川が氾濫し、交差点内に水没したバスや乗用車
12日午後4時10分(提供:共同通信社)

②内水災害—雨水排除インフラ機能の破綻

ポンプ場の排水能力を上回る水(集中豪雨のほか、排水区域外からの流入)
ポンプの機能不全による被害の増加
ポンプ運転調整



東海豪雨時(2000.9.12)の「但書き操作」による非常用洪水吐からの放流



洪水来襲前には渾水状況
貯水位は、洪水調節開始流量に
達したときも制限水位以下

制限水位に達するころには
流入流量はきわめて大きく、定率カットで
洪水調節が追いつかず
瞬く間に但書き操作水位に達した!

計画流入量を大きく上回る

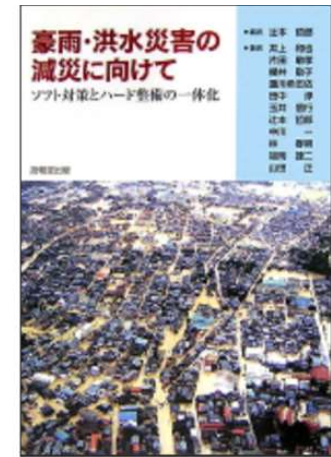
計画放流量を
大きく上回る放流
(但書き操作)

2004 台風10個来襲 各地 200名超す犠牲者 ~ 避難遅れ
新潟・福島豪雨 刈谷田・五十嵐川で破堤 ハードの破綻
福井豪雨

由良川・円山川の氾濫

- ←ソフト・ハードの連携
- ←ハザードマップ←浸水想定

(社整審答申)



2005 ハリケーンカトリナ 高潮→大規模広域浸水
~伊勢湾台風被災彷彿 ゼロメートル地帯
→東海ネーデルランド高潮洪水地域協議会 (TNT)
「危機管理行動計画」

- ・現状の制度枠組みにとらわれず
- ・関係機関の連携した行動の規範



出典:米国土木学会ハリケーン・カトリナ外部審査委員会報告書

2008 ゲリラ豪雨 伊賀川(岡崎), 都賀川(神戸)

↑
XバンドMPLレーダ
時空間高解像度雨量観測

浅野川水害

市街地の浸水(←陸閘)
中間山地



伊賀川(岡崎市)

都賀川(神戸市)



2009 台風18号 三河湾高潮

2011 東日本大震災

台風12号 紀伊半島水害→深層崩壊

相野谷川輪中堤崩壊

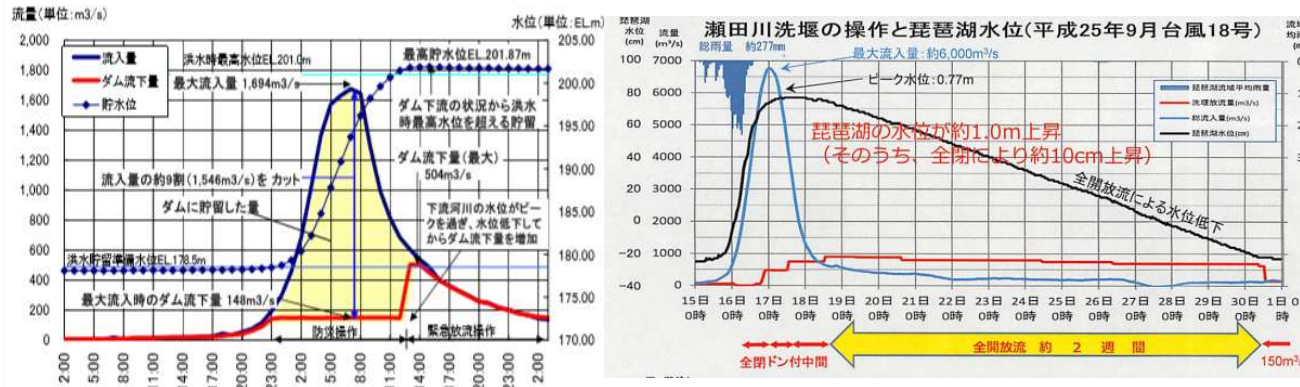
台風15号 庄内川洪水→八田川ほか越水

2012 7月九州北部豪雨→矢部川破堤

(←パイピング)

2013 9月台風18号 淀川洪水 (嵐山冠水,

日吉ダム異常洪水時防災操作,瀬田川洗堰全閉)

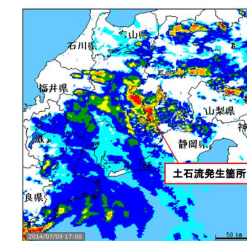


2013 ハリケーンサンディ →「タイムライン」導入

2014 梨子沢土石流, 広島土石流災害

ゲリラ豪雨

線状降水帯~X-MPLレーダ

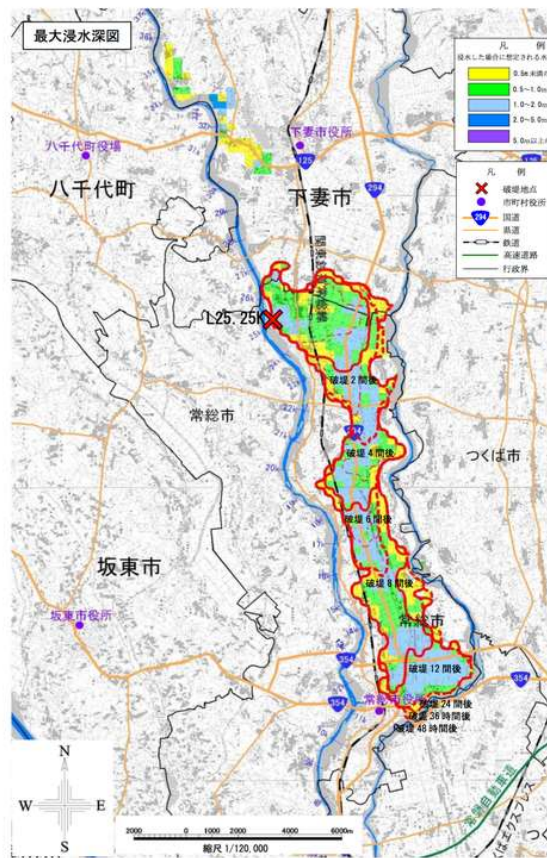


2015 鬼怒川水害

破堤→広域氾濫

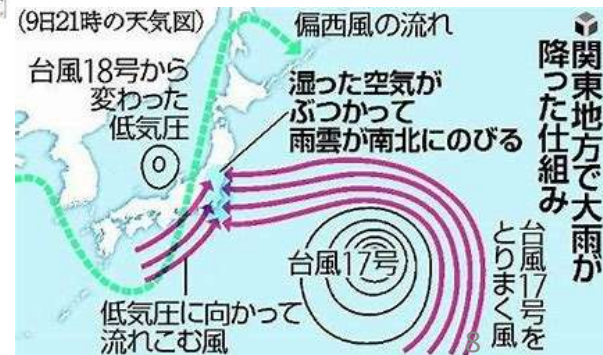
事前避難～救出(ヘリコプター等)

←線状降水帯 ←Xバンドレーダの減衰 →CMPLレーダ



→「水防災意識社会の再構築」
 ～ソフト・ハードの連携
 想定最大規模(L2)豪雨
 ←想定手法(水防法)
 大規模氾濫減災対策協議会

氾濫発生情報図 鬼怒川 左岸 25.25K



2016 熊本地震

岩手岩泉水害

高齢者施設被害→水防法改正

北海道水害

破堤→広域同時多発



2017 九州北部豪雨

洪水←土砂生産・土石流・流木



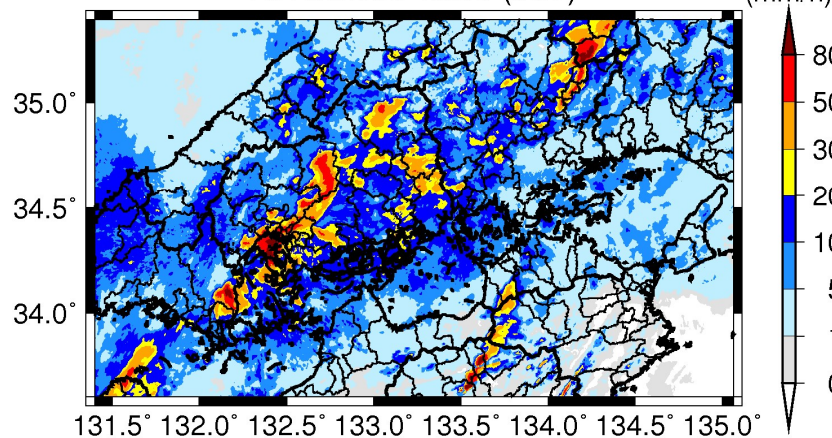
2018 西日本豪雨

←前線上で線状降水帯

→西日本で激甚な水害

→200名を超える犠牲者

Rainfall rate (max=155.3 mm/h)
2018/07/06 18:00 (JST)

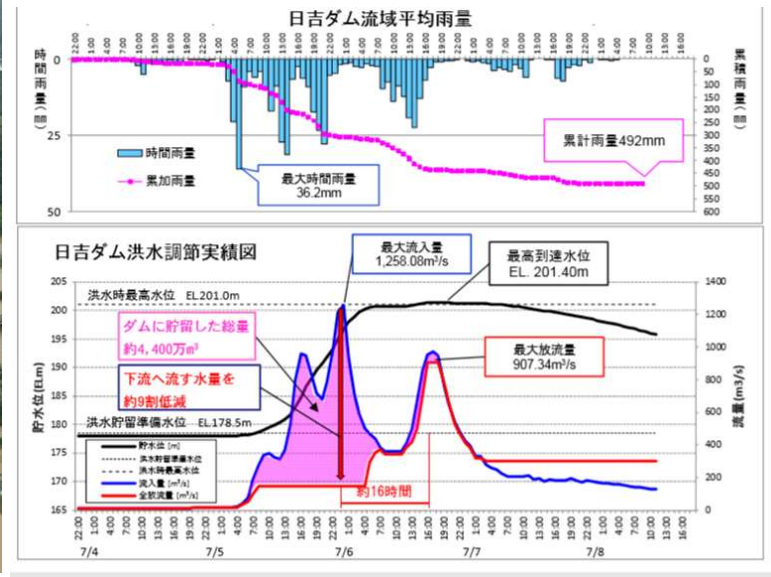


高梁川支川・小田川で
破堤→真備町水没

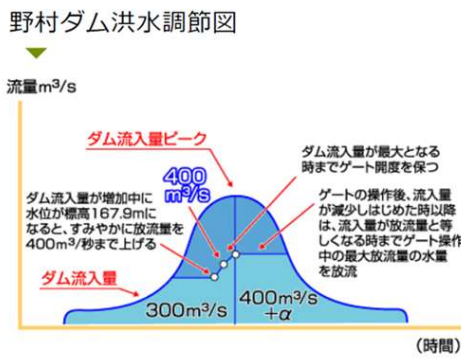
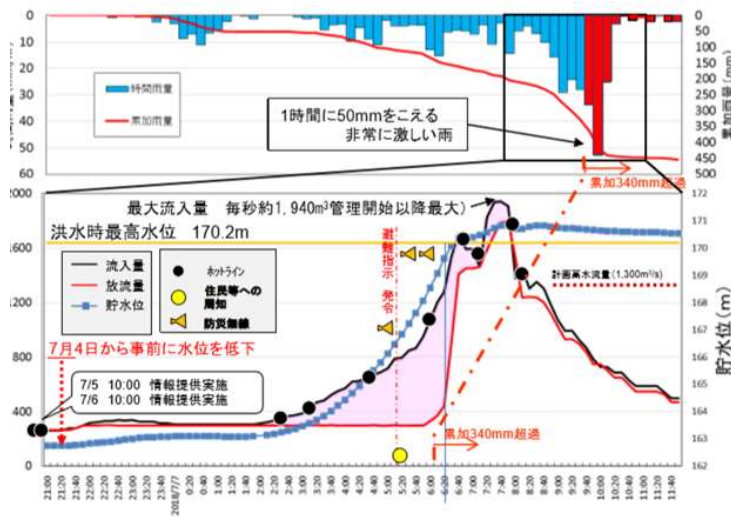
倉敷市真備町での浸水とハザードマップ



淀川水系・桂川の日吉ダム異常洪水時防災操作

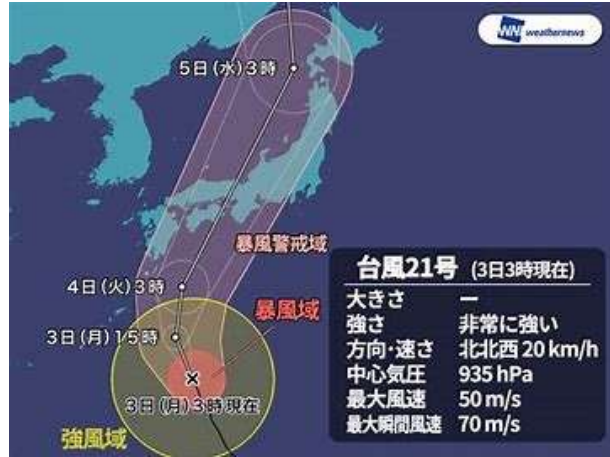


肱川・野村ダムでの異常洪水時防災操作



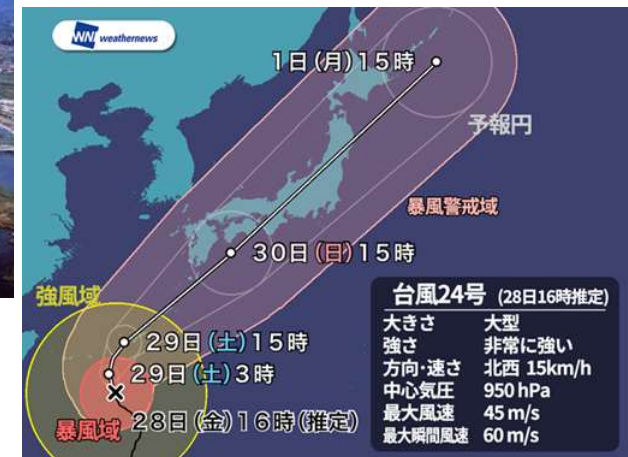
台風21号

強い勢力
(低気圧)
↓ ↓
高潮 ← 強風



台風24号

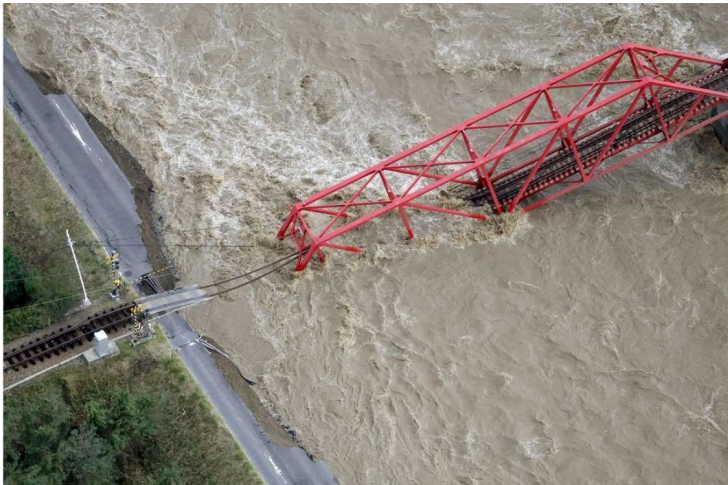
気象庁 9月30日16時28分発表
台風の接近する30日夜、
伊勢湾・三河湾を中心に伊勢湾台風による過去最高潮位に匹敵する記録的な高潮となるおそれ。
予想される最高潮位は高い所で、愛知県 標高 4.1m



2019年10月台風19号



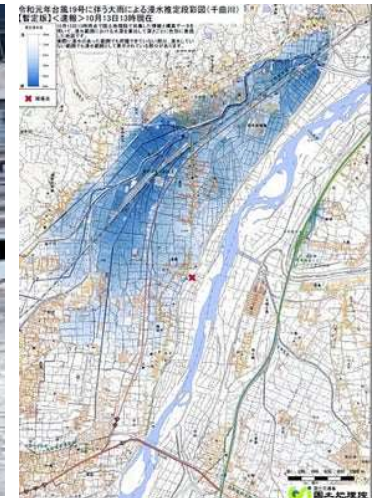
千曲川穂保地区左岸破堤(長野市)



千曲川上田電鉄別所線橋梁(上田市)



北陸新幹線長野車両センター(赤沼地区)



個々の豪雨・洪水災害をどう見るか

災害事例の羅列 → 合理的な対策議論
↑ ← 分析力・技術(についての知識)

豪雨・洪水災害をどう見るか？(個々の事例の要素)

項目:

発生年月・属性(積乱雲, 前線, 台風)

対象地域: 県・市・地先／河川流域

属性: 都市域, 工場地帯, 農村, 中間山地, 山間部

雨(誘因): 雨量(累積降雨・時間雨量強度), 雨域, 継続時間
Depth *Area* *Duration*

災害形態: 河川災害, 土砂災害(土石流), 高潮

治水施設破綻: 堤防／ダム／雨水排除

素因：災害事象 ← 治水整備の進捗，維持管理
被害拡大 ← 水防災体制

被害形態：犠牲者数，被災戸数
公共土木災（土木構造物被災）・インフラ被害（機能障害）
社会・経済被害

課題認識：

外力増加（気候変動の影響）
気象（雨量）予報の不十分さ
治水整備の遅れ（治水計画の不備）
治水対応不備（ダム操作，排水機場・水門等の操作など）
維持管理の不徹底
水防活動不備，避難体制（行政／住民），情報（内容・伝達）

この災害をきっかけにした対策：

- ・委員会（← 諮問）→ 提言 → アクションプラン 訴訟・裁判
- ・法整備
- ・施設整備 ← 技術開発

洪水事象にかかわる一連の素過程



各素過程の理解・記述にミツ, ションごとに様々なレベルの技術が適用されている.

各素過程に対し学術研究が技術を支えるべきところ.

豪雨・洪水災害への対応

・施設対応

河川(外水) ←「水系治水」 河道・堤防／洪水調節(ダム・遊水地)

雨水(内水) ←雨水排除(下水道・農地湛水防除) 水路・貯留池・排水機場

・ソフト対応

避難← 避難情報(勧告・指示)・避難所経営 ←支援

☆施設対応 →ソフト対応

↑ ← 正確な認識(状況把握・予測)

施設能力 ←向上(計画達成, 計画引上げ)

↑

治水計画→施設設計→工事→維持管理

治水計画

■治水計画の流れ

対象: 水系(流域)

計画対象区間・計画基準点

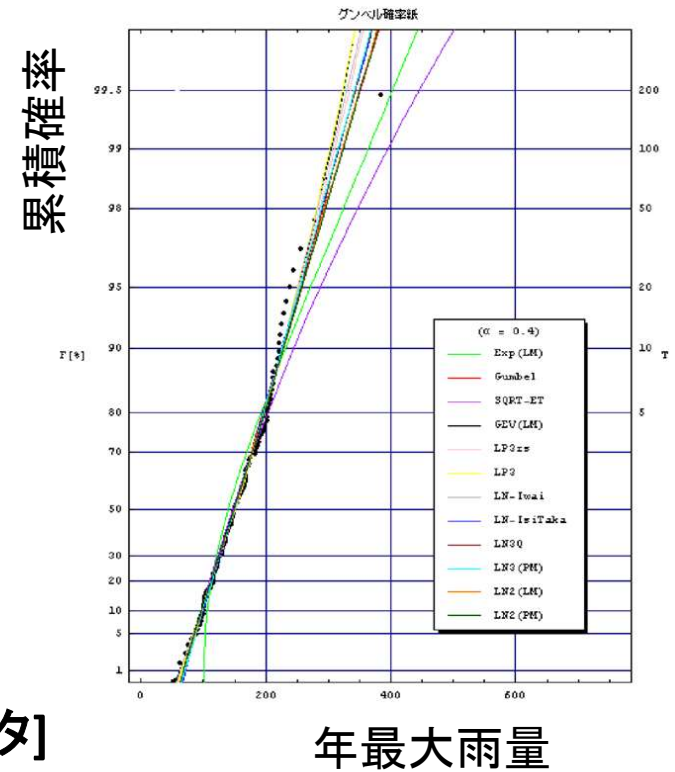
計画規模～確率年 Return period

↓
確率分布
←[年最大雨量(流域平均累積)データ]

↓
計画流域平均累積雨量

↓
計画対象降雨

実績降雨(←棄却)の時空間分布
→計画規模への引き延ばし
時間分布: 観測地点ハイトグラフ
空間分布: 雨量観測点～Thiessen分割



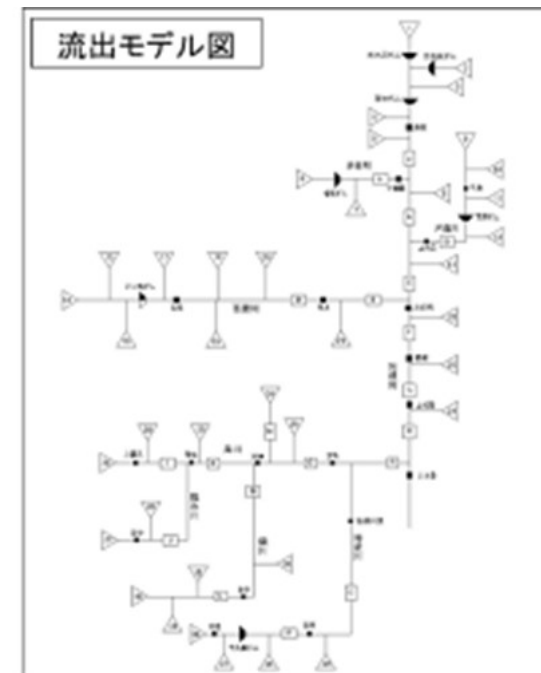
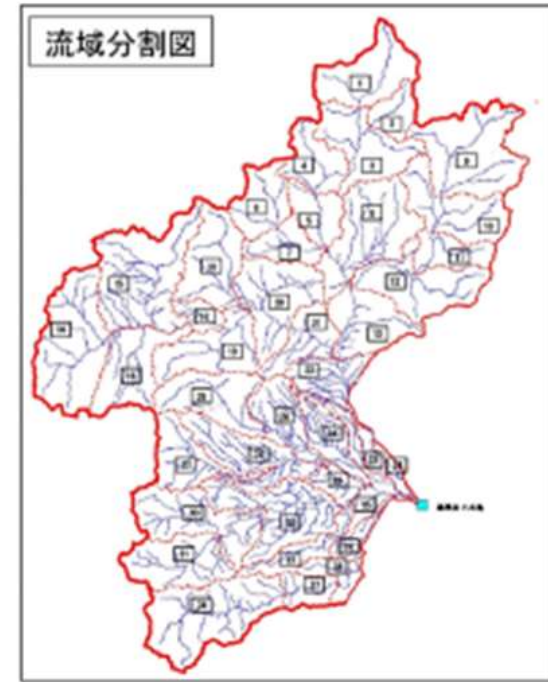
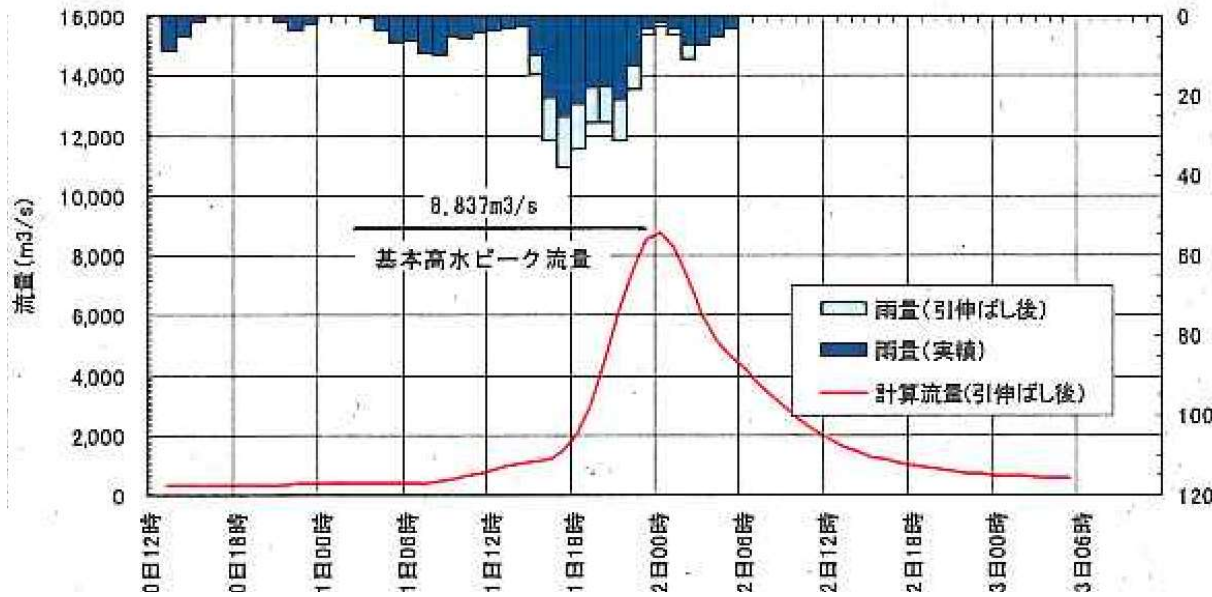
計画対象降雨

流出解析

小流域分割 ~ 落水線
(貯留関数・タンク) (kinematic wave)

↓ 地質・土地利用 地形

基準点での流量ハイドログラフ
基本高水



基本高水

基本高水ピーク流量



水系治水

洪水調節施設

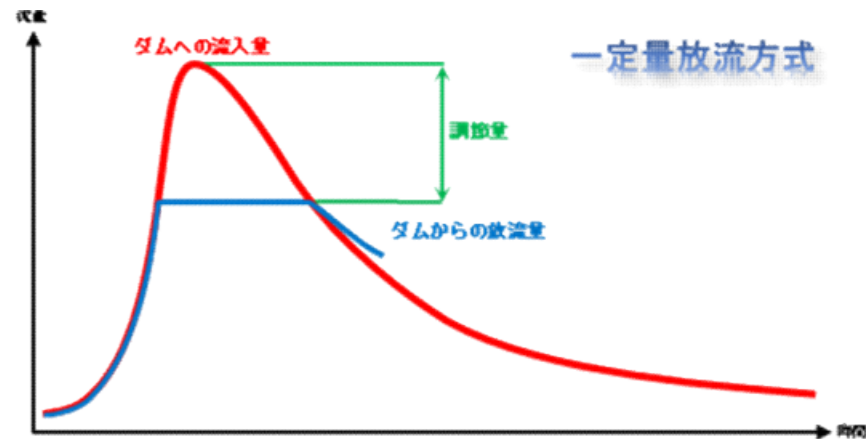
洪水調節量

(ピークカット)

+ 河道・堤防

計画高水流量

(ピークカットした後のピーク流量)



◇河道(堤防)計画

計画高水流量を河道に沿って計画高水位(HWL)以下で流す

※目標水位←沿川の状況・歴史的経緯

計画高水位までの洪水を河道・堤防で安全に流す

(堤内地に氾濫[溢流・破堤]させない)

↑
河道水理解析

↓
定規断面

計画高水流量 → 計算水位 < 「計画高水位」

- ・計画河道(線形・断面・粗度)
- ・一次元不等流解析 ← 断面積・径深・粗度係数

○ 一次元解析



○ 準二次元解析



◇ダムの計画

基本高水 $Q(t)$ (ハイドロ) 計画対象降雨に選んだすべてのハイドロ(複数)

↑

ピークカット → 計画高水流量 Q_R 以上の分の時間積分 → 必要貯水容量

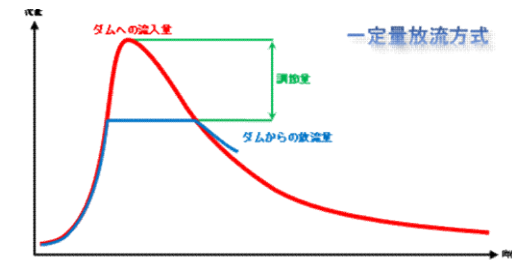
ダムの候補地選定

ダム候補地流域のハイトグラフ

→ ダム候補地のハイドログラフ $Q_D(t)$

「一定量放流」方式 Q_{D0} : 想定 → 常用洪水吐

$V_F = \int (Q_D(t) - Q_{D0}) \sim$ 洪水調節容量



ダムの流入ハイドロ(流出解析)を放流ハイドロに変えて
不定流解析(河道貯留効果)

↓

基準点の流量ハイドロを算定 < 計画高水流量 を確認

↓

有効貯水容量 V_E (多目的) + 死水容量・堆砂容量 → 総貯水容量 V_T
(洪水調節容量+利水容量) (堆砂量予測)

ダム候補地の $H \sim V$

→ ダム高
洪水吐, ゲート(バルブ)能力

現実には、

河川整備基本方針 と 整備計画の2階建て ←河川法改正1997
(長期目標) (20~30年で達成)

■河川整備基本方針 (社会資本整備審議会)

確率年→計画対象降雨→基本高水ピーク流量・計画高水流量

↑
工事実施基本計画(新河川法)
洪水確率, 歴史洪水なども参考

↑
想定ダム群
での洪水調節



計画高水位設定

↑
計画高水流量・計画河道(基本方針河道)に対する計算水位
沿川の状況
計画河床高

■河川整備計画（流域ごとに審議←「流域委員会」）

対象降雨 ←実績洪水（戦後最大洪水）
→対応（相当）する「確率年」

↓（現況流域・整備状況で流出解析）

整備計画対象流量（整備目標流量）：洪水調節なし
（整備計画の基本高水ピーク流量）

計画時点での既存洪水調節後の流量を
その時点河道（断面，堤防）で次元不等流（不定流）解析

計算水位 > [堤防天端高 - 余裕高] ※

↓（流下能力のチェック）

要整備 → 整備計画メニュー提案

洪水調節（ダム，遊水地），
河道断面確保，堤防高確保（HWL + 余裕高）

↓

整備計画

整備計画:

整備計画対象流量 = 河道整備目標流量 + 洪水調節(既設 + 追加計画)

メニュー(整備箇所)の明示

新規の洪水調節施設(ダム・遊水地)

河道整備: 河道断面(概略), 粗度(樹林伐開) → 計算水位 < HWL

HWLで氾濫しない堤防 = [HWL + 余裕高] + [定規断面]

工事の順序 ← 沿川の資産等

↑

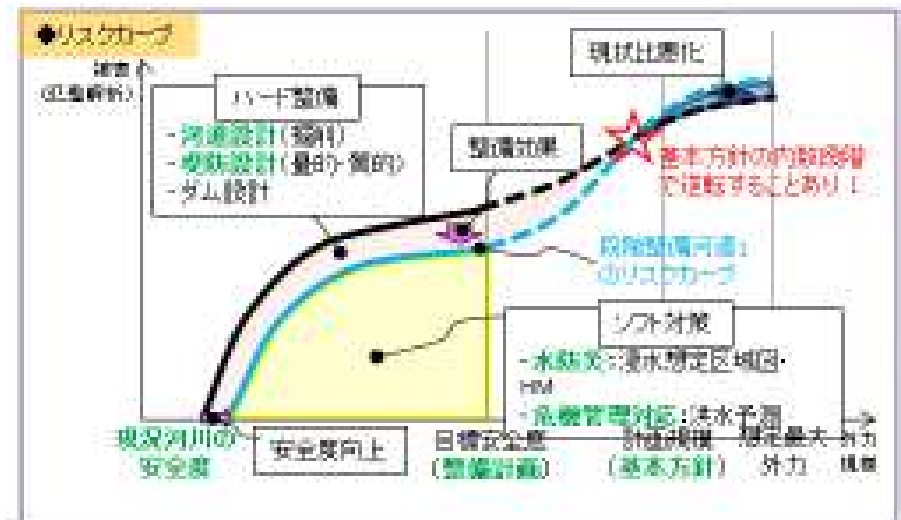
・費用便益分析 ← 浸水想定区域図

・**ストレスチェック**

↑

リスクカーブによる検討

整備に伴う(整備を進めることによる)
外力規模 ~ 期待損害額関係の
変化についての検討



河道設計・ダム設計

- ・河道設計 ←治水機能の確保 計算水位 < HWL

利水機能を阻害しない

環境機能(生態系, 親水) 保全・改善

↑

河道断面等の詳細設計 ←平面2次元水理解析など

- ・堤防設計 ←HWL以下の水位で破堤しない

定規断面 天端高 = HWL + 余裕高, 天端幅 (←河川の規格)

2割勾配の台形断面

↑

照査: 耐洗掘破堤 ←平面流解析等で水衝箇所・移動床解析で河床変動

→護岸(基礎工・根固) ←根入れ深さ

水制 ←水はね, 土砂堆積効果の確認

耐浸透破壊 ←鉛直2次元不飽和浸透解析

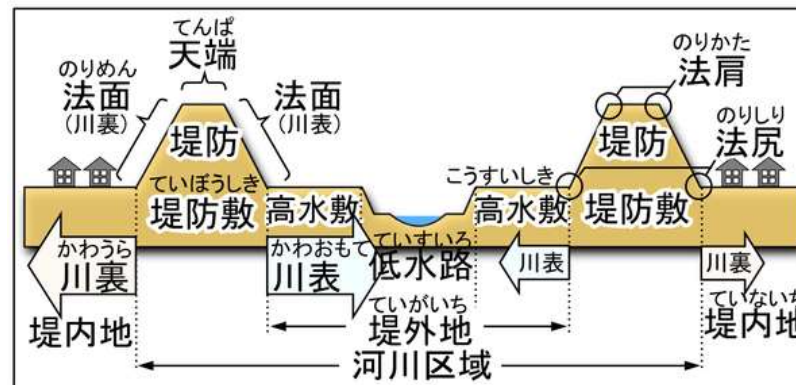
←透水係数 k , c , ϕ ←堤防・基盤材料調査

・裏法滑り ←安全率

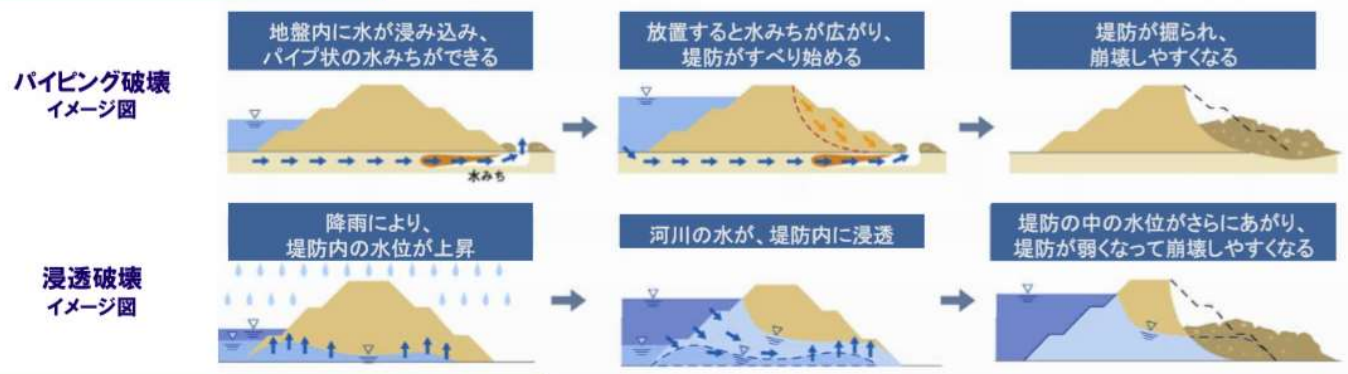
・パイピング ←動水勾配

→護岸・水制・遮水工等

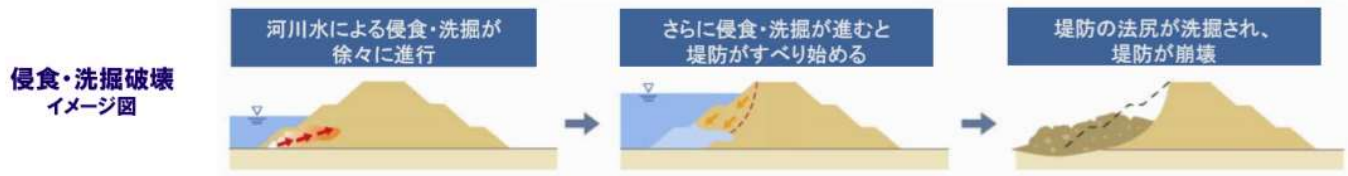
河川堤防と決壊（破堤）



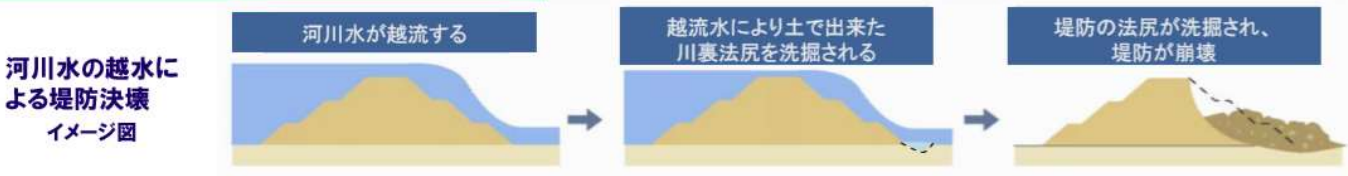
河川水の浸透による堤防決壊



河川水の侵食・洗掘による堤防決壊



河川水の侵食・洗掘による堤防決壊



・ダム設計

基本設計 ←基本方針

貯水池：計画に必要な洪水調節容量+2割の余裕

H~V上での容量配分

常時満水位(洪水調節準備水位)

サーチャージ水位(洪水時最高水位)

設計洪水位

ダム本体：

本体構造：コンクリート(重力, アーチ), ロックフィル

洪水吐 ←水理設計(越流頂・ゲート)~模型実験

常用洪水吐

基本方針の計画対象降雨に対して※,

対象ダム地点での流入ハイドロをピークカット

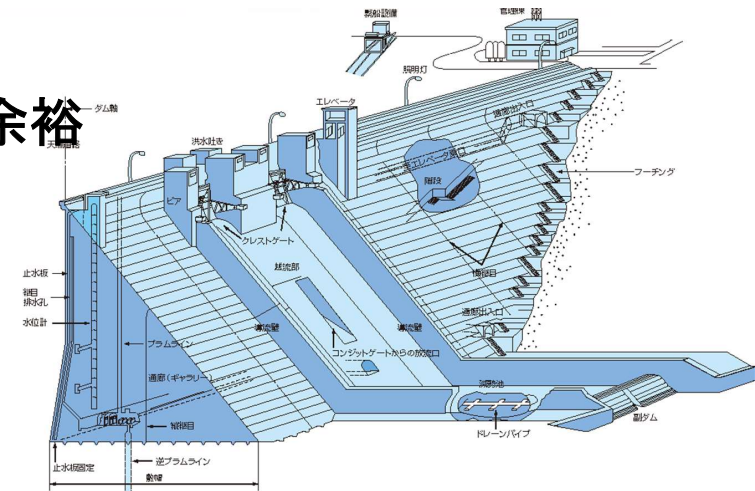
←定量放流(洪水調節最大放流量) 開度~放流量

→計画対象地点でのピークカット

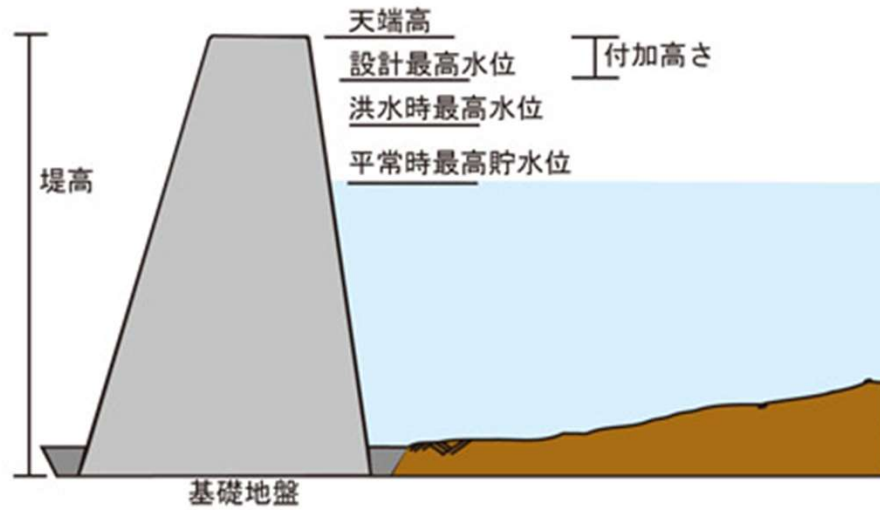
(基本高水ピーク流量→計画高水流量)

非常用洪水吐 ←最大放流量 ←超過洪水

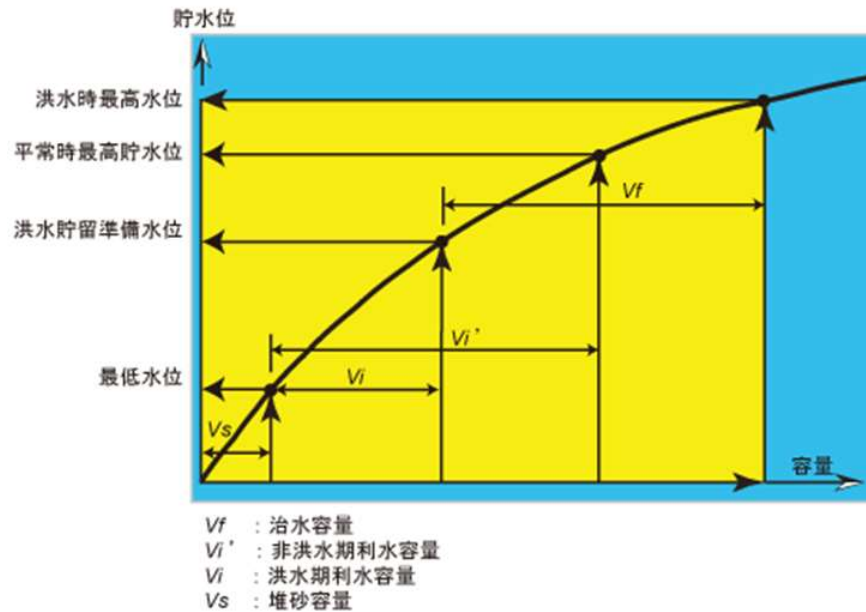
(たとえば, クリーガー曲線適用, 1/200など)



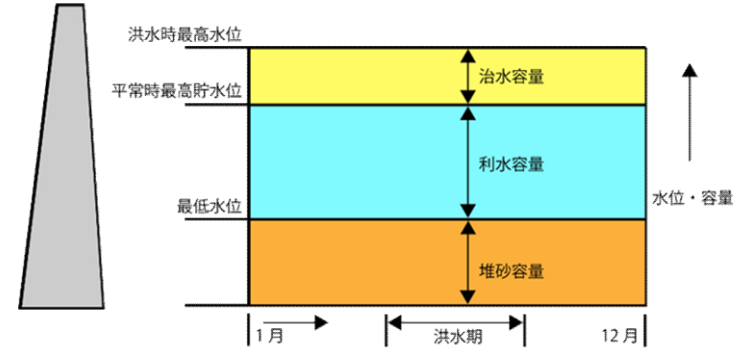
ダム高の決定



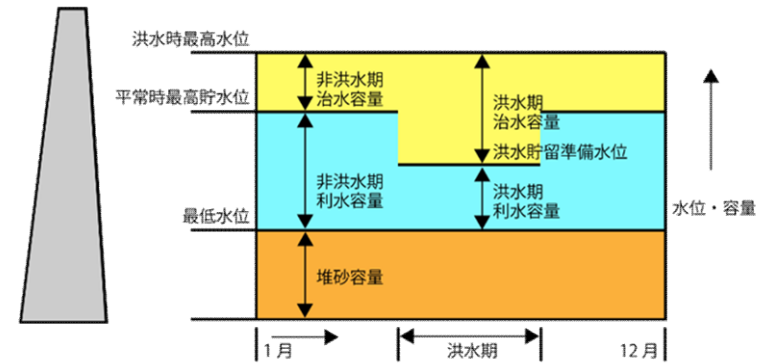
貯水容量曲線 $h \sim V$



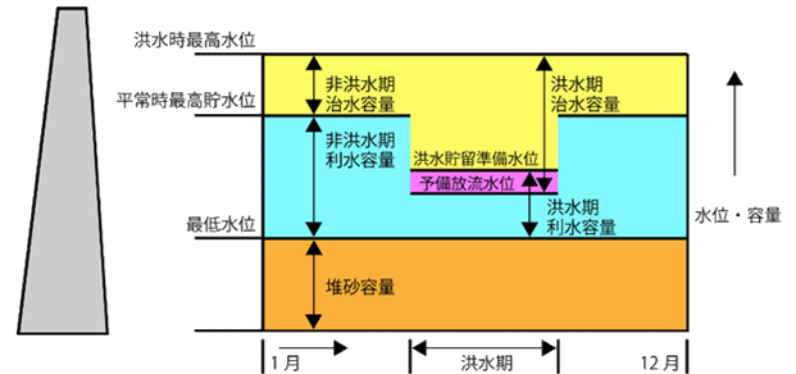
サーチャージ方式



制限水位方式



予備放流方式



※整備計画上での設計；

整備計画対象降雨 ←ダム地点での洪水調節 ～ 洪水調節容量

操作規則 ・洪水調節開始流量(→定率放流)

・最大放流量

↑

この操作規則では 基本高水対象降雨に対しては「**但書き放流**」へ移行
(これまでの多くのダムの対象ハイドロ) **異常洪水時防災操作**

* 現実には

(運用上) さまざまな操作方法(対象波形, 放流方式, 条件付)を適用
計画／設計／運用(維持管理)

○対象洪水(雨量)波形 基本方針／整備計画

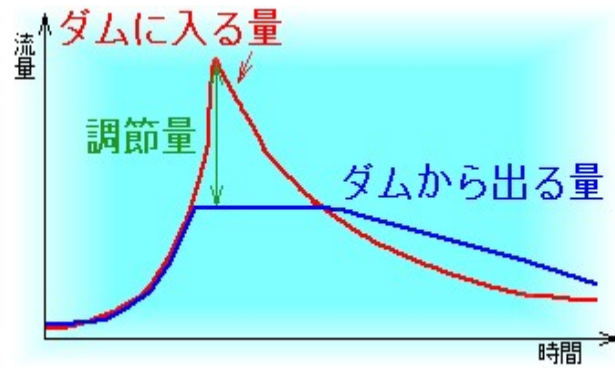
○放流方式 ・一定量放流 ・定率放流
 ・自然越流(ゲートレス) ・鍋底カット

○「但書き放流」

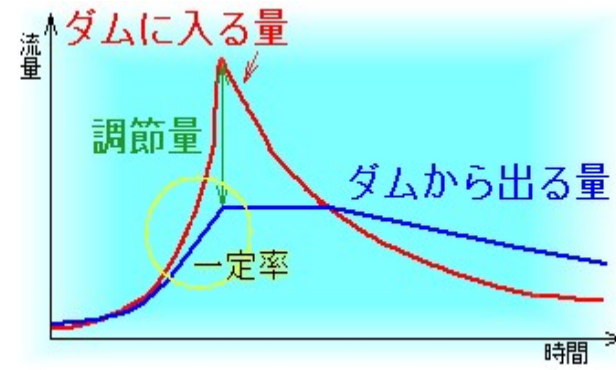
・異常洪水防災操作

・特別操作

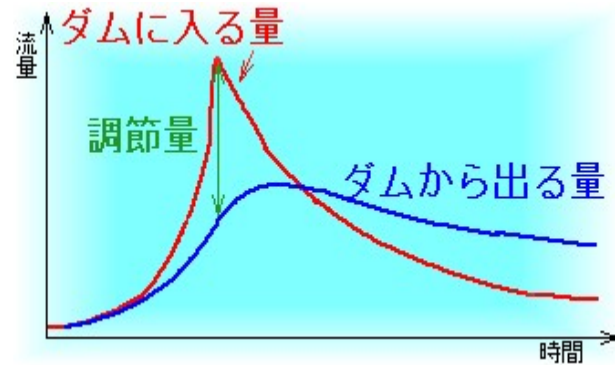
一定量放流方式



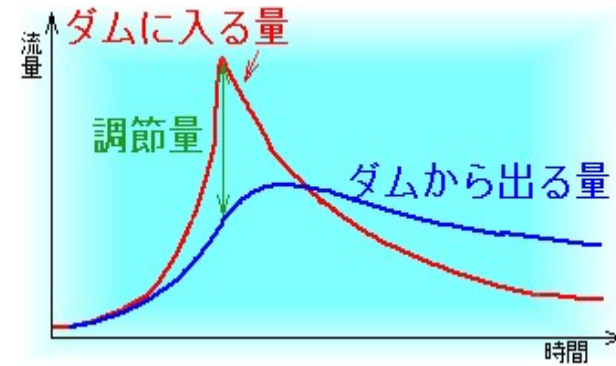
一定率・定量放流方式



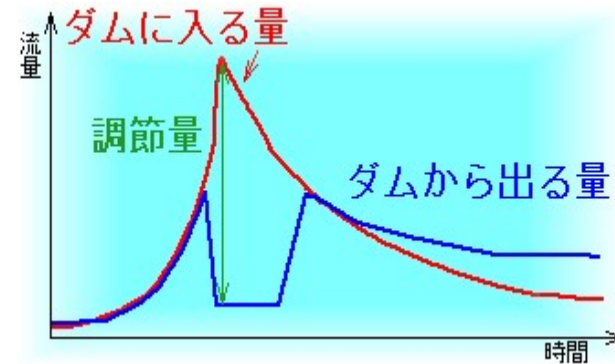
一定開度放流方式



自然調節方式



不定率放流方式(鍋底カット)



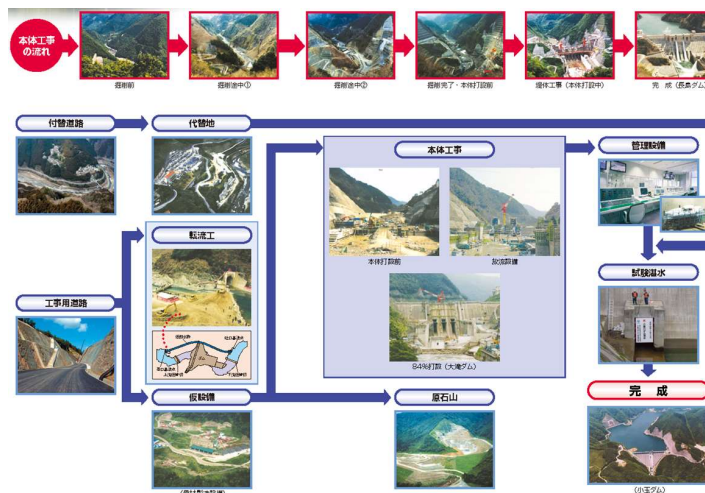
治水事業

- ・段階的河川改修
- ・災害復旧
- ・ダム工事 →

維持管理

対象:

- ・河道 ←河積(土砂堆積)
←樹林化
- ・堤防(護岸・水制を含む)
- ・河川構造物(水門／樋門・樋管, 床固, 堰・橋梁など許可工作物)
- ・ダム 本体・洪水吐
貯水池～容量(←堆砂), 水質, 環境 ←ダムフォローアップ
防災操作の効果
流入量～放流量, 貯水池水位(洪水調節容量)



維持管理目標流量の洪水 < HWL

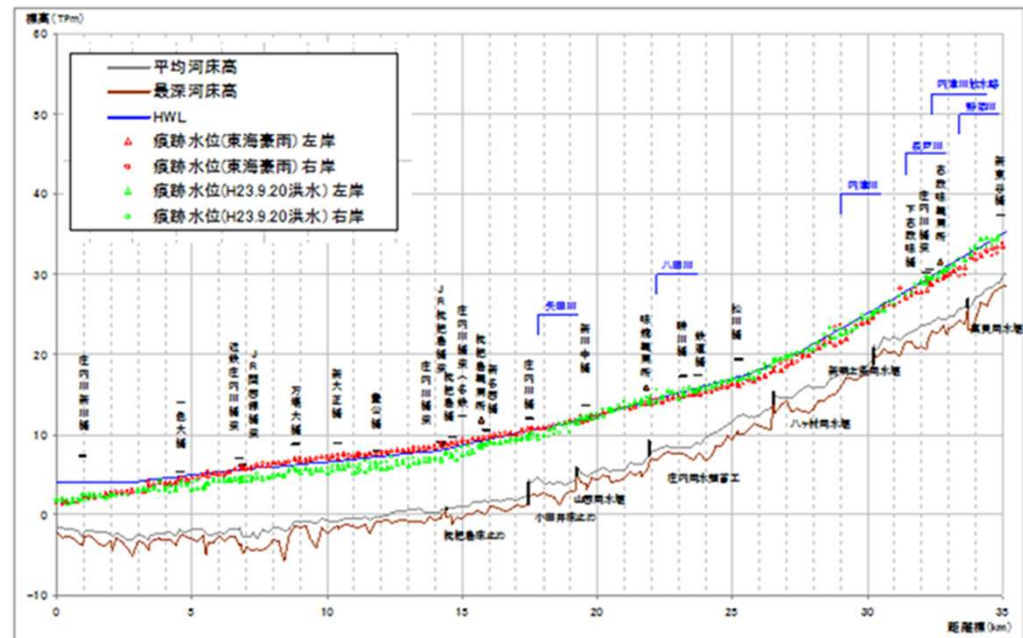
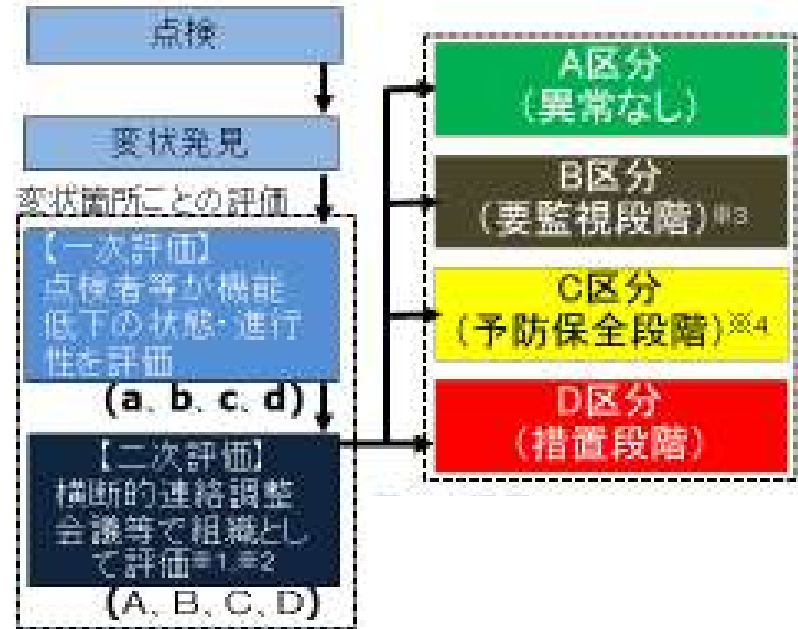
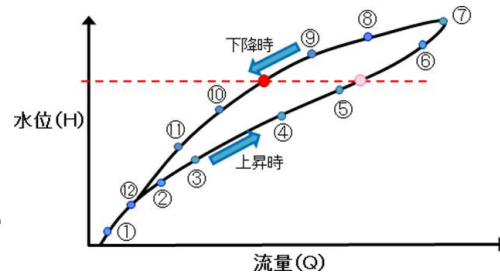
←ダムフォローアップ

実施:

- ・日常 (洪水期前) 巡視 → 点検 → 評価 → 維持修繕・補修

- ・洪水時 巡視 → 水防
洪水流観 → $H \sim Q$
→ 計画見直し
痕跡水位観測

- ・災害後 災害復旧 ← 荒締切, 排水, 応急復旧, 本復旧
災害査定



水防災

洪水調節

ダム操作規則～但書き操作
洪水予測←雨量予測

水防

水防体制
水防工法

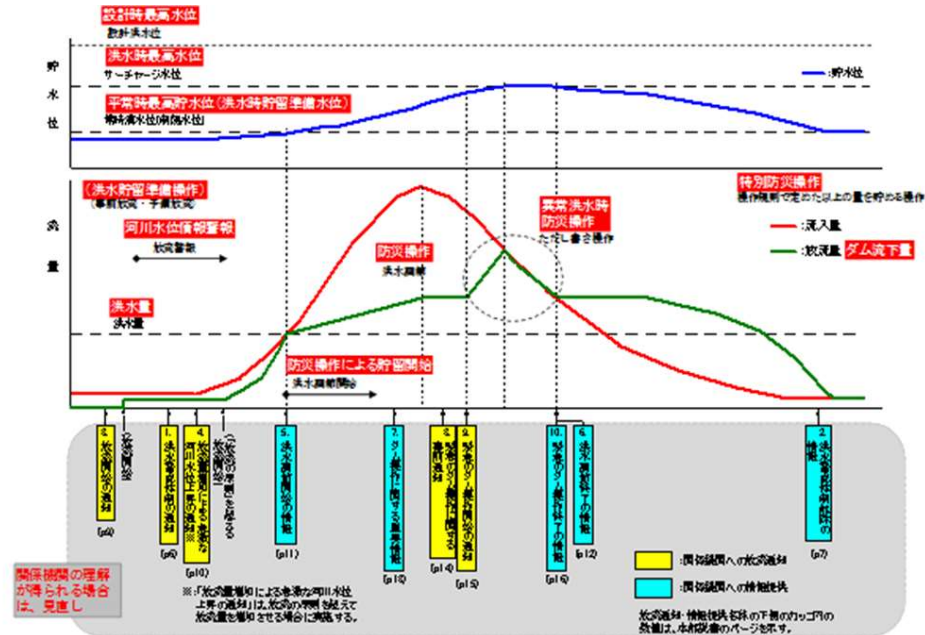
避難

避難計画 ← ハザードマップ・タイムライン ←(あらかじめ準備される情報)

↑ 浸水想定区域図 ↑ 氾濫危険水位到達時刻+リードタイム

・外力 流域平均累積降雨→時空間分布
(基本方針規模L1, 想定最大規模L2)

- ・洪水流解析
- ・破堤点・破堤口／氾濫流量
- ・氾濫解析
- ・オーバーレイ(最大浸水深)



・避難

避難計画

リアルタイム水防災

水防災実施体制 ← 避難情報(準備, 勧告, 指示) / 避難所経営 / 避難経路



基準水位観測所(受持ち範囲)水位 ~ 勧告等行動規範
氾濫危険水位(最も危険な箇所) リードタイム

リアルタイム情報提供 ~ 水位周知, 洪水予報河川



リアルタイム観測:

雨量 ← XRAIN (eXtended RAdar Information Network)

水位 ← 基準水位観測所, 危機管理型水位計 → リスクライン

予測 降雨予測: 6時間予測, アンサンブル予測

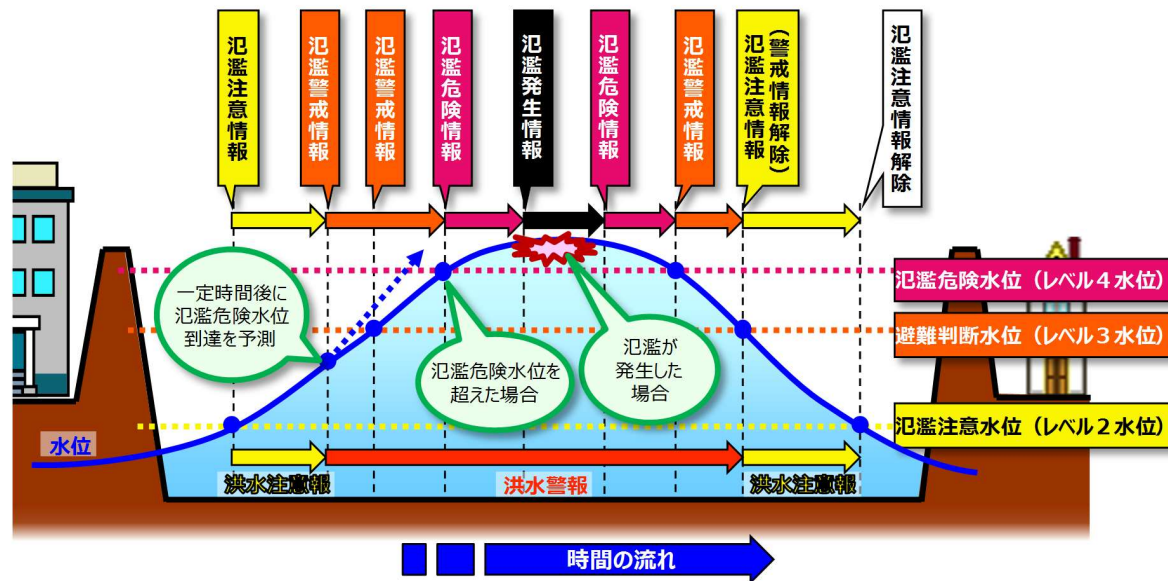
↓ (流域・気象に応じた時空間スケール)

洪水予測: 流出解析+水理解析 + データ同化

基準水位観測所



基準水位観測所の水位変化と情報発信タイムライン





観測雨量・観測水位～洪水流出予測～水防災行動のイメージ

Check-Review

- ・近年の豪雨・洪水災害の実態を系統的に認識

←どんな手順

- ・治水・水防災技術について体系的に理解

←水災害現象の素過程の一連性

計画・設計・工事・維持管理の一貫性