

水道施設の耐震補強に係る 概算工事費の算定手法

令和5年7月21日

長谷川 高平

OEC オリジナル設計株式会社

本発表の構成

- ① 本検討の背景とデータ概要
- ② 池状構造物
- ③ 建築物
- ④ 管路（離脱防止金具）
- ⑤ 水管橋
- ⑥ まとめ

1. 本検討の背景とデータ概要

厚労省の費用関数 (H23手引き)

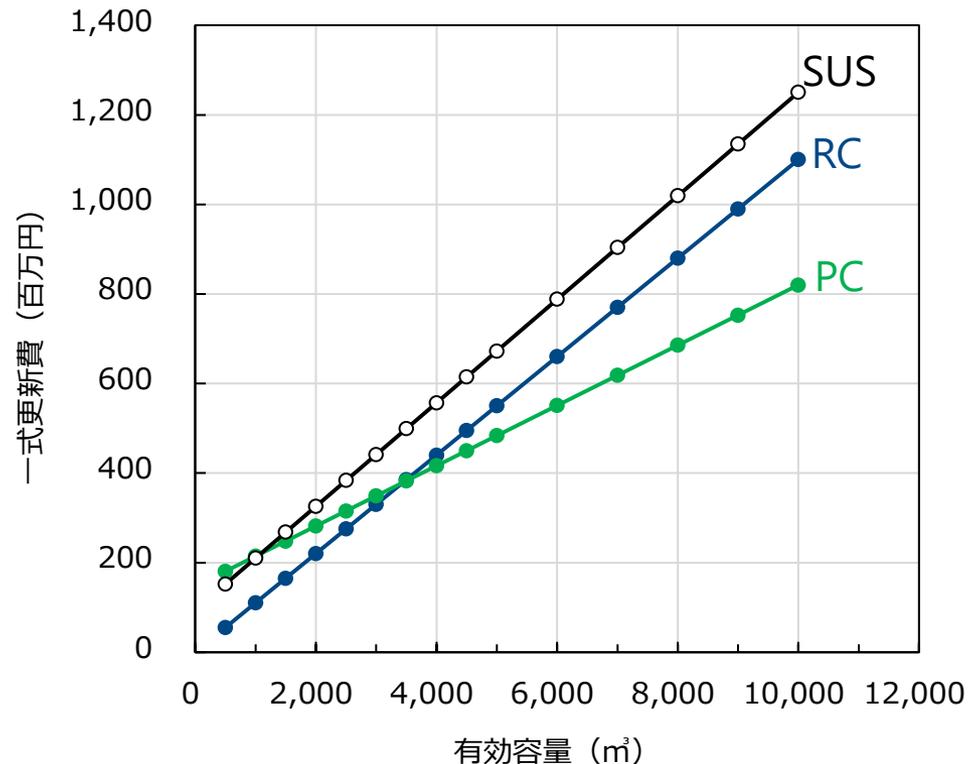
厚労省の費用関数は全国の工事实績から作成されており、その使いやすさから計画業務で多用されている。

水道事業の再構築に関する
施設更新費用算定の手引き

平成 23 年 12 月

厚生労働省健康局水道課

配水池一式更新の費用関数



注) 平成 23 年度価格、消費税と諸経費を含む

1. 本検討の背景とデータ概要

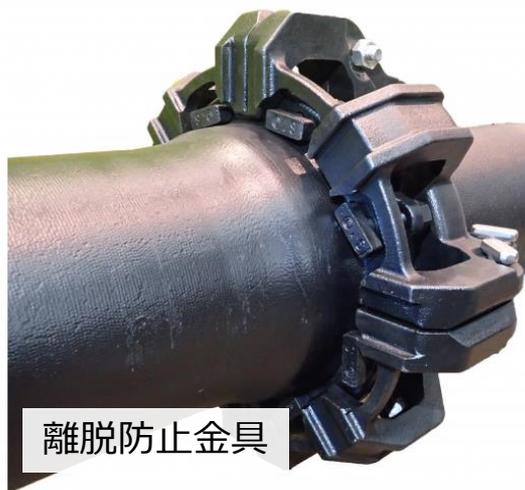
水道施設の耐震補強工事

全国で水道施設の各種耐震補強工事が実施されているが、これらの概算工事費を簡易に算定する方法は確立していない。

水道関連施設の耐震補強事例



出典) 飛鳥建設株式会社、鶴岡市



出典) コスモ工機株式会社



出典) 奈良県、AT工法研究会

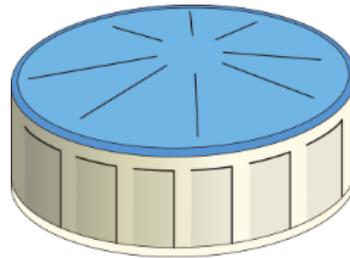
全国の工事实績や設計事例等からデータを収集整理することで耐震補強工事費の概算手法の構築を試みた。

データ元

- 決算書
- 入札結果
- 固定資産台帳
- 設計事例
- 事業年報

etc.

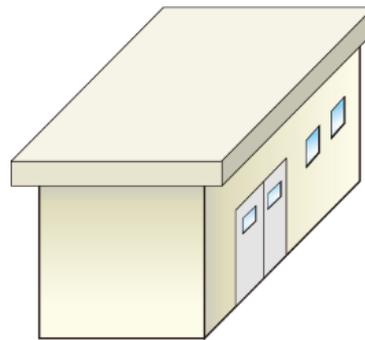
対象構造物



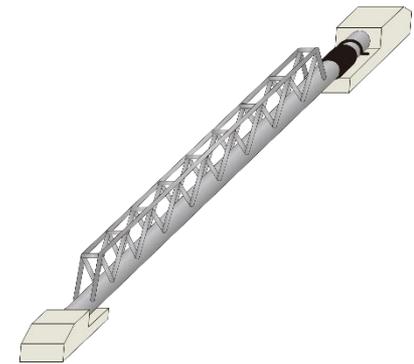
池状構造物（有蓋）



管路
（離脱防止金具）



建築物



水管橋

1. 本検討の背景とデータ概要

データ概要

- ・ 各工事の単価は厚労省費用関数と同等の簡便さを求めた
- ・ 水管橋は部材別の工事実績も収集した

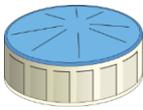
収集データの諸元と工事費の集計方法

項目	池状構造物	建築物	離脱防止金具	水管橋
単価	厚労省費用関数 に対する比率 (%)	延床面積 あたり (円/m ²)	口径別 m単価 (円/m)	1. 上下部工一体・上部工のみ 厚労省費用関数に対する比率 (%) 2. 橋脚・橋台 (部材別集計) 箇所あたり (円/箇所)
データ 諸元	PC造： 66工事 RC造： 131工事 (うち非線形解析12工事) V=150m ³ ~120,000m ³ ※有蓋構造物のみ	RC造 S造 SRC造 計73工事	φ50 ~ φ900 計90工事	上下部工一体：50工事 上部工のみ：31工事 橋脚：69工事 (うち増杭あり17工事) 橋台：16工事 (うち増杭あり 9工事)

本発表の構成

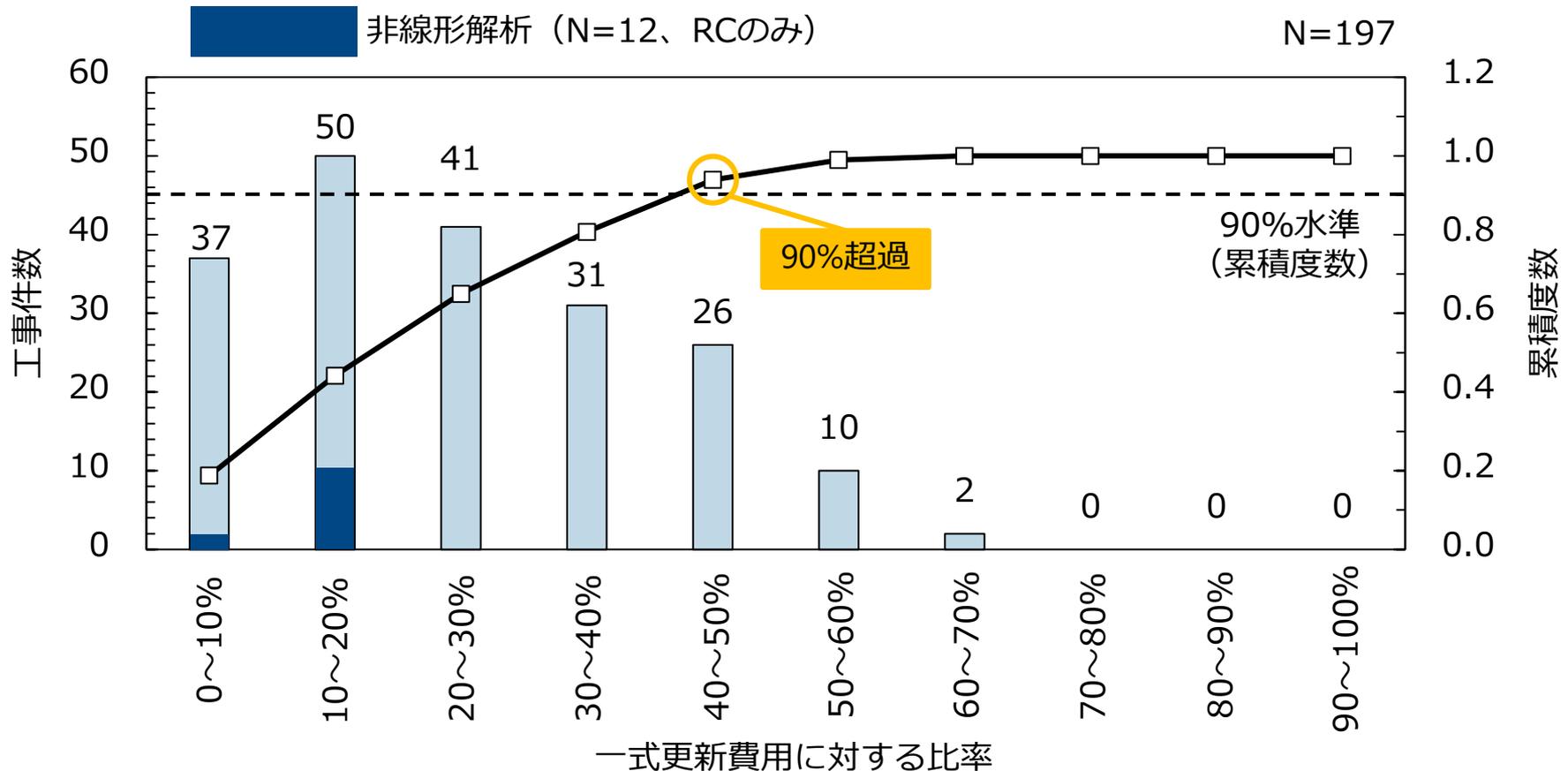
- ① 本検討の背景とデータ概要
- ② 池状構造物
- ③ 建築物
- ④ 管路（離脱防止金具）
- ⑤ 水管橋
- ⑥ まとめ

2. 池状構造物 データ集計結果



- ・ 9割の耐震補強工事が更新費用の50%以内で収まる
- ・ 非線形解析を適用した場合は更新費用の20%以内で収まる

池状構造物の対更新費比率





工事費の目安

一式更新費用の50%

- 安全側を見た概算工事費
- 計画の段階であるため大きく見積もる

工事費の目安 (非線形解析)

一式更新費用の20~25%

- RCのみに適用可能
- データが少ないため今後も事例の収集に努める

留意事項

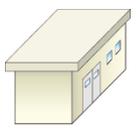
- 場内配管の耐震化を伴う場合は別途計上すること
- 縦横比が大きい配水塔などは別途見積もること

耐震工法指針の改訂により、一定規模（ $1,000\text{m}^3\sim 2,000\text{m}^3$ ）以上の池状構造物は非線形解析が主流となるため、実績データが今後蓄積されることを期待。

本発表の構成

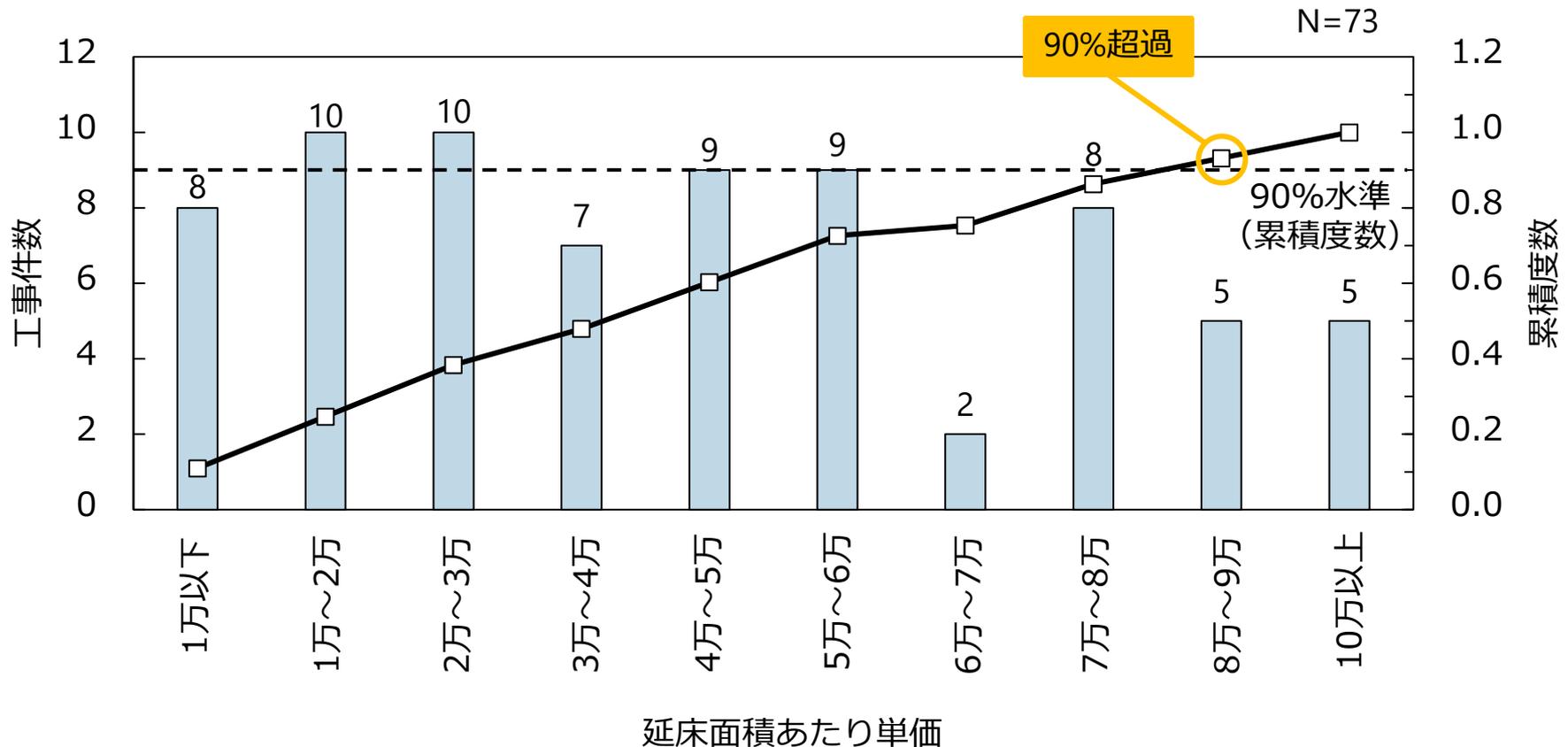
- ① 本検討の背景とデータ概要
- ② 池状構造物
- ③ 建築物
- ④ 管路（離脱防止金具）
- ⑤ 水管橋
- ⑥ まとめ

3. 建築物 データ集計結果



- ・ 9割の耐震補強工事は9万円/m²以内に収まる
- ・ 平均単価は5万円/m²程度

建築物の耐震補強工事費（延床単価）





工事費の目安

8～9万円/m²

- 安全側を見た概算工事費
- 計画の段階であるため大きく見積もる

留意事項

- 支障移設費は別途計上すること
- 高層建物は別途見積もること
- Is値が低い場合はより高額になる可能性もある

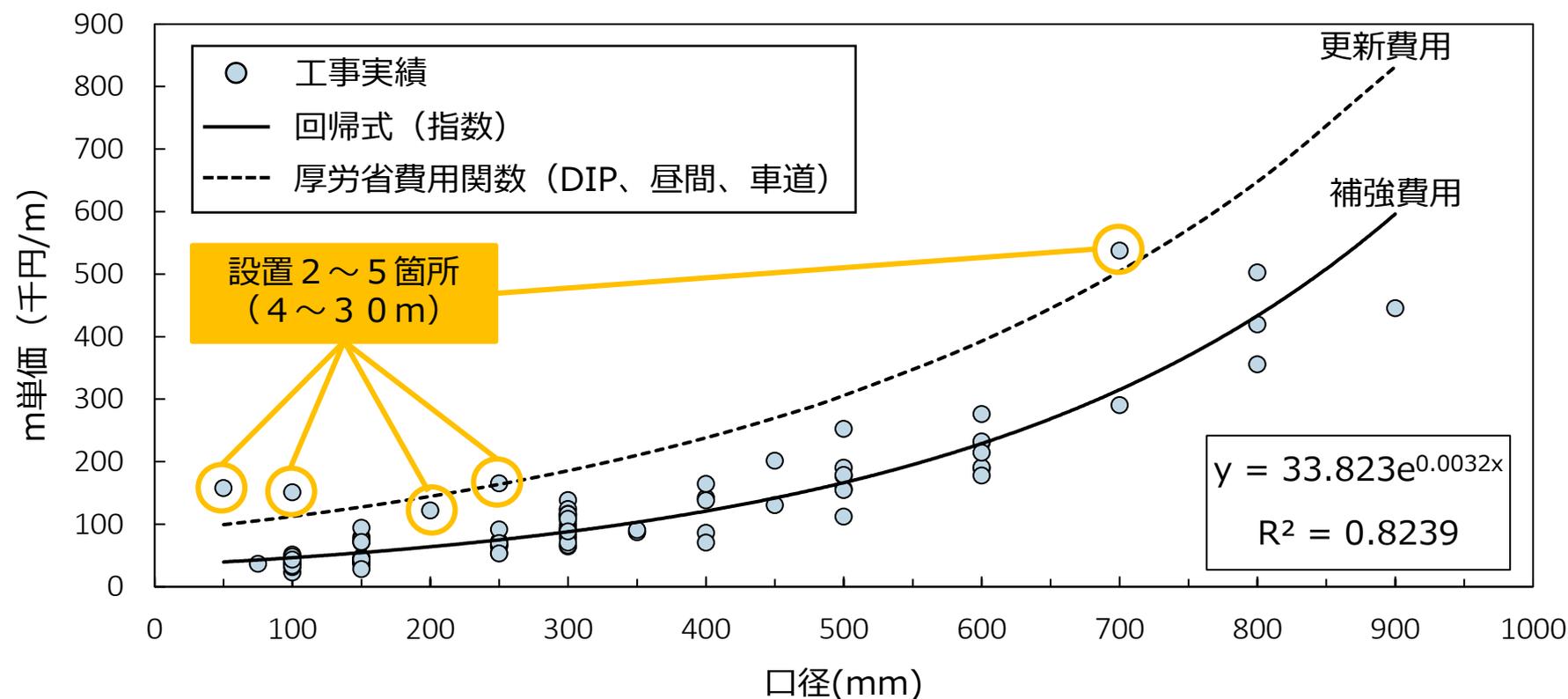
本発表の構成

- ① 本検討の背景とデータ概要
- ② 池状構造物
- ③ 建築物
- ④ 管路（離脱防止金具）**
- ⑤ 水管橋
- ⑥ まとめ



- ・口径とm単価の関係は更新工事と同様に指数関数で近似
- ・設置箇所数が極端に少ないとm単価が上昇する

離脱防止金具設置工事のm単価





工事費の目安

費用関数方式

- 工事実績に基づく平均的な概算工事費
- 口径別m単価は以下の表を参照

留意事項

- 極端に延長が短い場合は単価が高額になる

口径	50	75	100	150	200	250	300	350
千円/m	40	43	47	55	64	75	88	104

口径	400	450	500	600	700	800	900
千円/m	122	143	168	231	318	438	603

本発表の構成

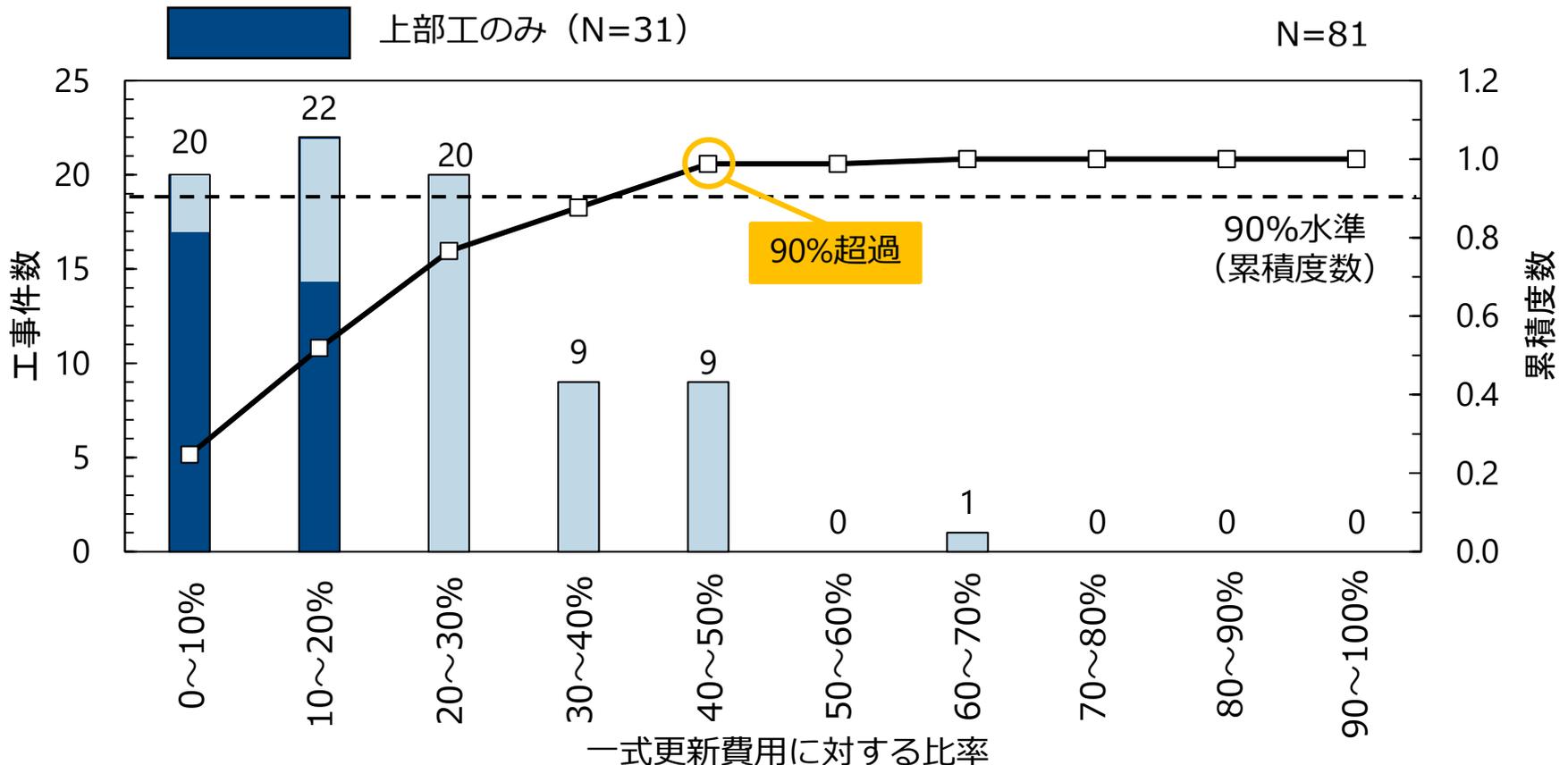
- ① 本検討の背景とデータ概要
- ② 池状構造物
- ③ 建築物
- ④ 管路（離脱防止金具）
- ⑤ 水管橋**
- ⑥ まとめ

データ集計結果（上下部工一体及び上部工のみ）



- ・ 9割の耐震補強工事が更新費用の50%以内で収まる
- ・ 上部工のみの場合は更新費用の20%以内で収まる

水管橋の耐震補強工事費（上下部工一体及び上部工のみ）

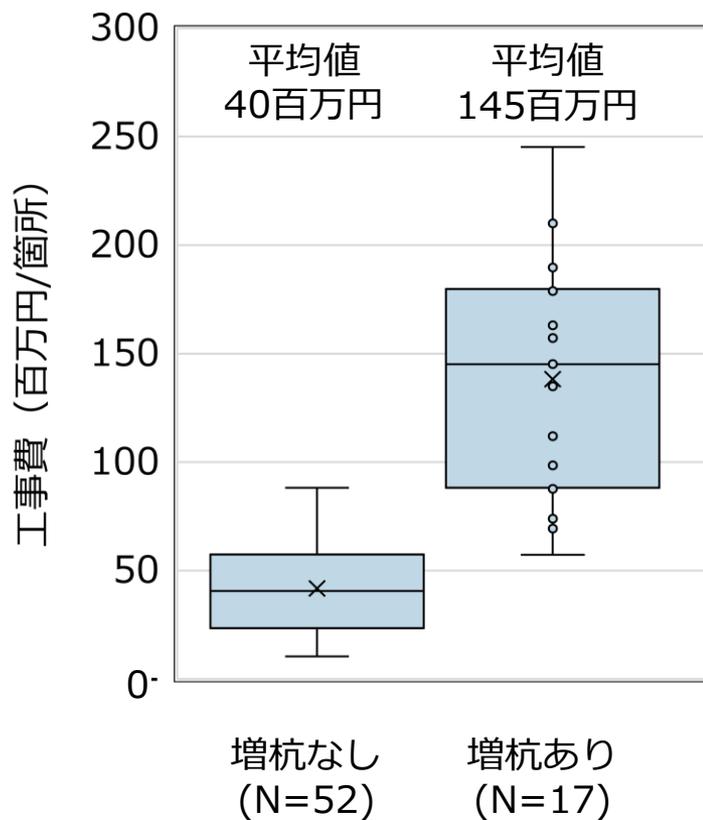


データ集計結果（橋脚および橋台）

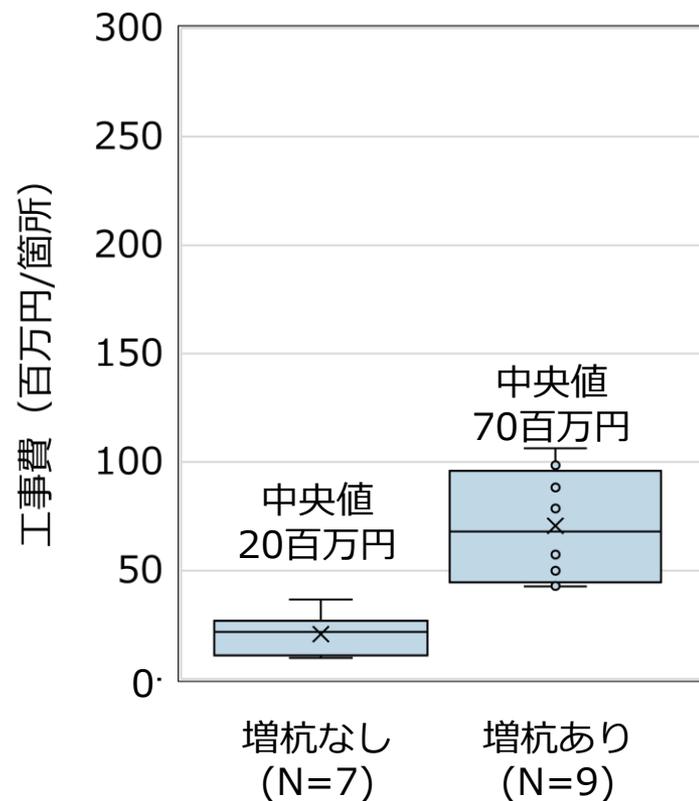


- ・ 橋脚は4千万円/箇所、橋台は2千万円/箇所が目安
- ・ 増杭が必要な場合はおよそ3倍程度に工事費が膨れ上がる

橋脚の工事費実績



橋台の工事費実績



注) データが少ないため中央値で評価した

多径間の水管橋を想定した計算例



- ① 多径間の積上げ方式は一式更新費の50%以内に収まる
- ② 増杭が必要な場合は一式更新費の50%を超えてしまう

部材別積み上げ方式による水管橋の耐震補強工事費の計算例（抜粋）

計算諸元					概算補強費（百万円）				対更新費	更新費（百万円）	② （参考）増杭あり	
形式	口径 mm	延長 m	橋台 数	橋脚 数	上部工	橋台	橋脚	合計			概算補強費 （百万円）	対更新費
					更新の20%	20百万円/箇所	40百万円/箇所					
アーチ	900	188	2	2	164	40	80	284	35%	820	524	64%
トラス	1500	89	2	1	122	40	40	202	33%	611	362	59%
ランガー	800	585	2	9	461	40	360	861	37%	2,306	1,661	72%
トラス補剛	1000	70	2	1	67	40	40	147	44%	334	307	92%
トラス補剛	700	400	2	6	282	40	240	562	40%	1,410	1,122	80%
パイプビーム	1300	78	2	1	56	40	40	136	49%	279	296	106%
パイプビーム	700	28	2	0	12	40	-	52	88%	59	132	224%
パイプビーム	1200	27	2	0	18	40	-	58	64%	91	138	152%
フランジ補剛	500	23	2	0	12	40	-	52	86%	60	132	218%

注1) 費用関数が無いアーチ形式やランガー形式はトラス補剛形式の費用関数で代替している

注2) 増杭がある場合における橋台と橋脚の補強費はそれぞれ60百万円/箇所、120百万円/箇所と3倍に増額している

架け替えも視野に

5. 水管橋 工事費の目安



工事費の目安 (上下部工一式)

一式更新費用の50%

- 安全側を見た概算工事費
- 計画の段階であるため大きく見積もる

工事費の目安 (部材毎)

上部工 | 一式更新費用の20%

橋脚 | 4千万円/箇所

橋台 | 2千万円/箇所

- 工事実績に基づく平均的な概算工事費
- 単径間には適用できない

留意事項

- 仮設や締切に要する費用は別途計上する
- 増杭が必要な場合は下部工の費用は3倍程度になる

本発表の構成

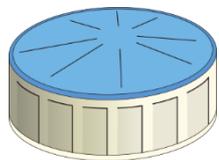
- ① 本検討の背景とデータ概要
- ② 池状構造物
- ③ 建築物
- ④ 管路（離脱防止金具）
- ⑤ 水管橋
- ⑥ まとめ

検討結果のまとめ

背景と着眼点

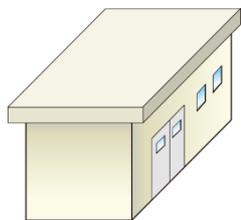
- ・耐震補強工事について簡易な概算工事費の算定手法がない。
- ・公表されている工事実績の情報を集計して算定手法の構築を試みた。

概算工事費の目安



一式更新費用の50%(H23厚労省費用関数)

一式更新費用の20～25% (非線形、RCのみ)



8～9万円/m²



費用関数方式
(口径別m単価表)



上下部工一式		一式更新費用の50%(H23厚労省費用関数)
上部工のみ		一式更新費用の20%(H23厚労省費用関数)
橋脚		4千万円/箇所
橋台		2千万円/箇所

2023/7/21 全国上下水道コンサルタント協会

第33回技術研究発表会



潤いある未来へ

既設埋設管路の耐震性評価方法の検討事例



株式会社 日水コン

水道事業部 西部水道部 技術第一課 小林寛弥

発表内容

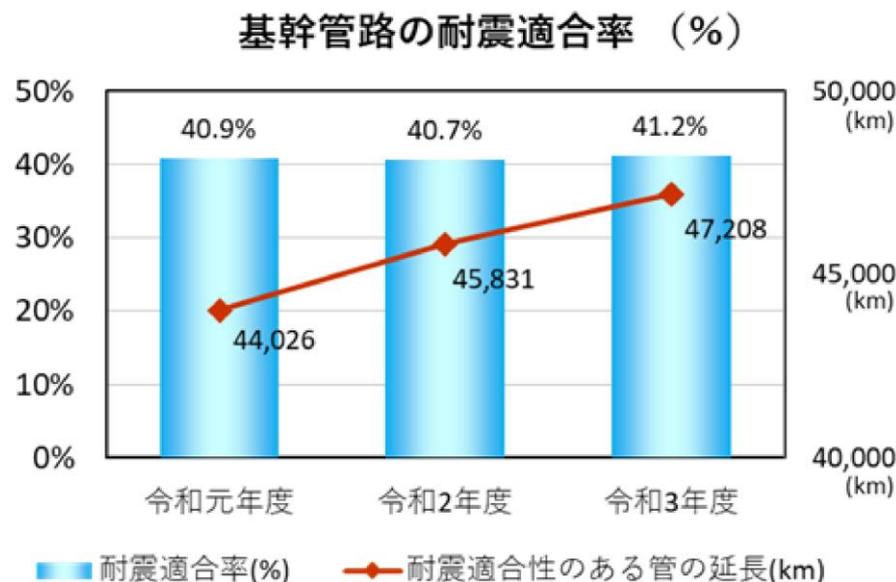
1. はじめに
(現状の水道事業における管路の耐震化方針)
2. 耐震性の評価方法について
3. 耐震性評価結果
4. まとめ

1. はじめに

- 上水道管路の耐震化対策（「防災・減災、国土強靱化のための5か年加速化対策」）
→ 基幹管路の耐震性強化等を図ることにより、地震等による大規模かつ、長期的な断水のリスクを軽減する

- 全国の基幹管路の耐震適合率
現状: 41.2% (令和3年度)

- 耐震化目標
達成目標: 54% (令和7年度)



1. はじめに

- 水道事業者が抱える慢性的な課題
→費用確保・技術職員不足等

非耐震管路の耐震化を長期化

- 耐震化の優先順位を設定することが必要
→条件によって、耐震適合性ありと判定できる管路を見逃さず
耐震化が必要な管路を見極めることが非常に重要
- 評価対象とする管路
 - ・「K形継手等を有するダクタイル鋳鉄管の耐震適合性支援ガイドブックの全国地盤判定マップ」において、耐震適合性がないとされる地盤に埋設されたK形ダクタイル鋳鉄管を主とする基幹管路

2. 耐震性の評価手法について

「作業項目(フロー)」

ステップ① 事前調査

- ・既存資料(配管完工図、地質データ)の収集・整理
- ・現地調査
- 地すべり・側方移動が発生しない地形(布設管路の土被りよりも深い水深がある側溝や、布設されている道路端が崖のような地形)であるかについて確認

ステップ② 条件設定

- ・地盤モデル(液状化の有無)の設定
- ・対象地震動の設定
- ・耐震計算による評価対象管路の設定
- K形継手・KF継手のダクタイル鋳鉄管

「従来の方法の場合」

- ・地盤モデル
- 地盤種別or微地形区分図で評価
- ・対象地震動の設定
- 設定しない
- ・評価対象管路の設定
- 継手構造の分析まで行っていない

2. 耐震性の評価手法について

「作業項目(フロー)」

ステップ③ 耐震計算

- ・1次元地盤の地震応答解析による地盤応答変位の算定
- ・応答変位法による管路の耐震計算

「従来の方法の場合」

- ・耐震計算
- 簡易的な手法で実施or実施しない

ステップ④ 耐震性評価

- ・対象管路区間の条件(継手構成)を考慮した耐震性評価(継手の伸縮量と屈曲角度)
- ・弁きょう(ボックス)内の空気弁,消火栓の耐震性評価(弁きょう衝突)



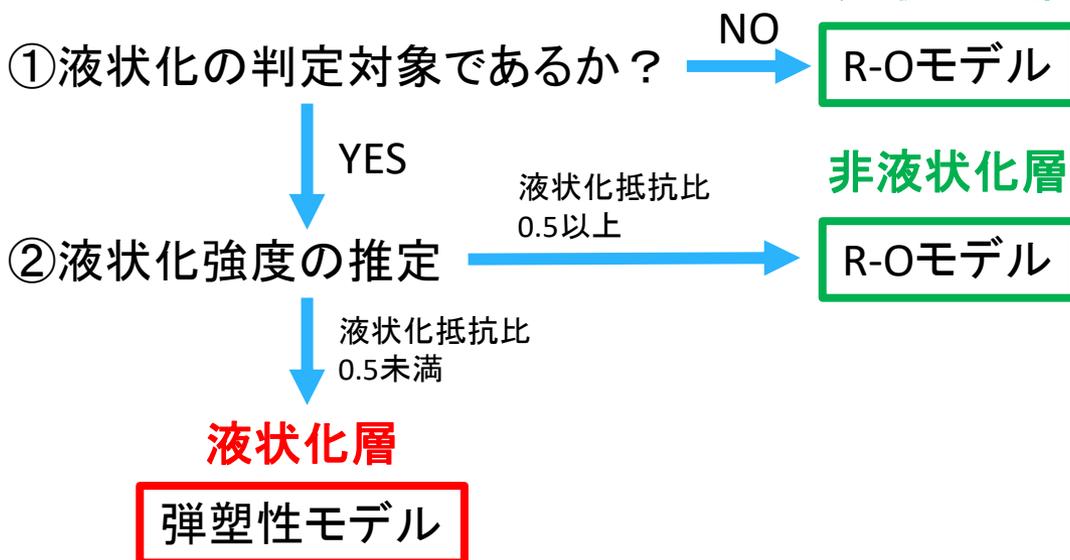
詳しく地形・地盤条件や管路条件を考慮した上で耐震計算を実施し、耐震性の評価を行う提案方法の有効性について考察

2. 耐震性の評価手法について

➤ 地盤モデル・条件の設定

→ 周辺の地質情報(層厚、N値、地下水位等)より地盤モデル作成

【地盤モデルの設定方法】



1次元の地盤モデルイメージ

2. 耐震性の評価手法について

➤ 地盤モデルの例

【R-Oモデル】

- ・対象土層
→地下水面上の地層と非液状化層の地層
- ・パラメータ
→旧建設省土木研究所の提案式を参考に設定

	深度 GL-(m)	柱状 図	地層	層厚 H(m)	単位体積 重量 γ (kN/m^3)	N値	せん断弾 性波速度 $V_s(\text{m}/\text{s})$	動的ポア ソン比 ν	細粒分 含有率 $F_c(\%)$	モデル化
①	1.40		As	1.40	18.0	2.0	119	0.40		R-O
②	1.70		Ac	0.30	14.0	2.0	151	0.40		R-O
③			As	2.60	19.0	15.6	184	0.40		R-O
	∇ 4.30									
④	7.00		As	2.70	19.0	15.6	184	0.49	10.0	弾塑性
⑤	8.20		Ac	1.20	14.0	0.1	120	0.49		R-O
⑥	9.80		As	1.60	18.0	3.0	130	0.49	30.0	弾塑性
⑦			基盤 Dsg		20.0		334	0.49		

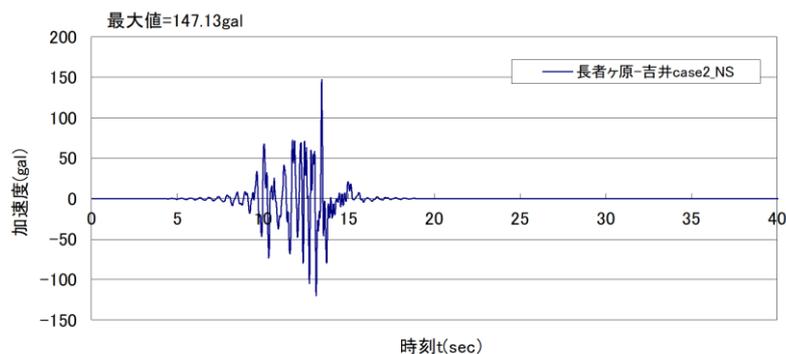
【弾塑性モデル】（液状化にともなう地盤の変形量を評価）

- ・対象土層→液状化層の地層
- ・パラメータ（地盤の入力物性値）
→砂層・N値等による液状化強度の推定値と要素シミュレーション解析による
フィッティング作業を行い、適当なパラメータを設定

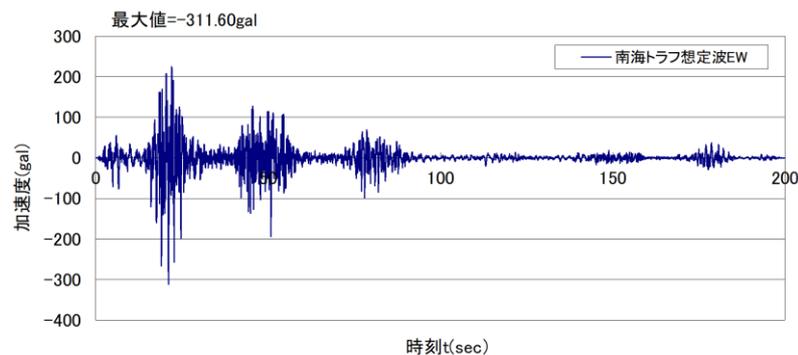
2. 耐震性の評価手法について

➤ 設計地震動の設定

- ・加速度や速度の大きさだけでなく、地震の周期特性や継続時間についても評価を行う。
- ・①内陸型(断層型)地震、②海溝型地震の両ケースを対象



内陸型地震 基盤入力波形



海溝型地震 基盤入力波形

2. 耐震性の評価手法について

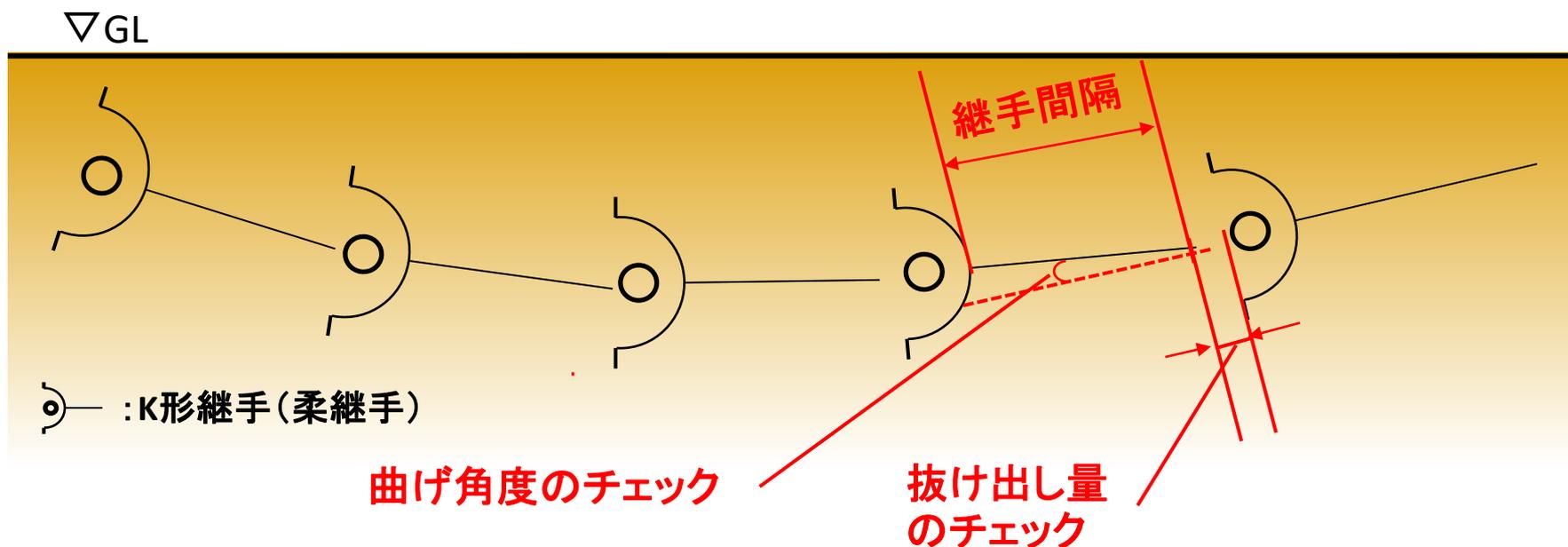
➤ 耐震計算による評価対象管路の設定

→管種、口径、管厚、土被り、継手間隔(有効量)、許容値を整理

No.	継手項目	管種	口径 (mm)	管厚 (mm)	土被り (管頂) (mm)	当該地層		継手間隔 (mm)	許容値		
						地下水	地層種		許容曲げ 角度	設計照査用 最大伸び量 (mm)	真直配管時 最大伸び量 (mm)
1-1	継ぎ輪	K	500	8	1500	あり	砂層	4820	6° 40′	66.0	128.0
1-2	直管	K	500	8	1500	あり	砂層	6000	3° 20′	33.0	64.0
1-3	継ぎ輪	K	500	8	1500	あり	砂層	6000	6° 40′	66.0	128.0
1-4	継ぎ輪	K	500	8	2150	あり	砂層	4000	6° 40′	66.0	128.0
1-5	直管	K	500	8	1500	あり	砂層	6000	3° 20′	33.0	64.0
1-6	継ぎ輪	K	500	8	1500	あり	砂層	6000	6° 40′	66.0	128.0
1-7	直管	K	500	8	1500	あり	砂層	6000	3° 20′	33.0	64.0

2. 耐震性の評価手法について

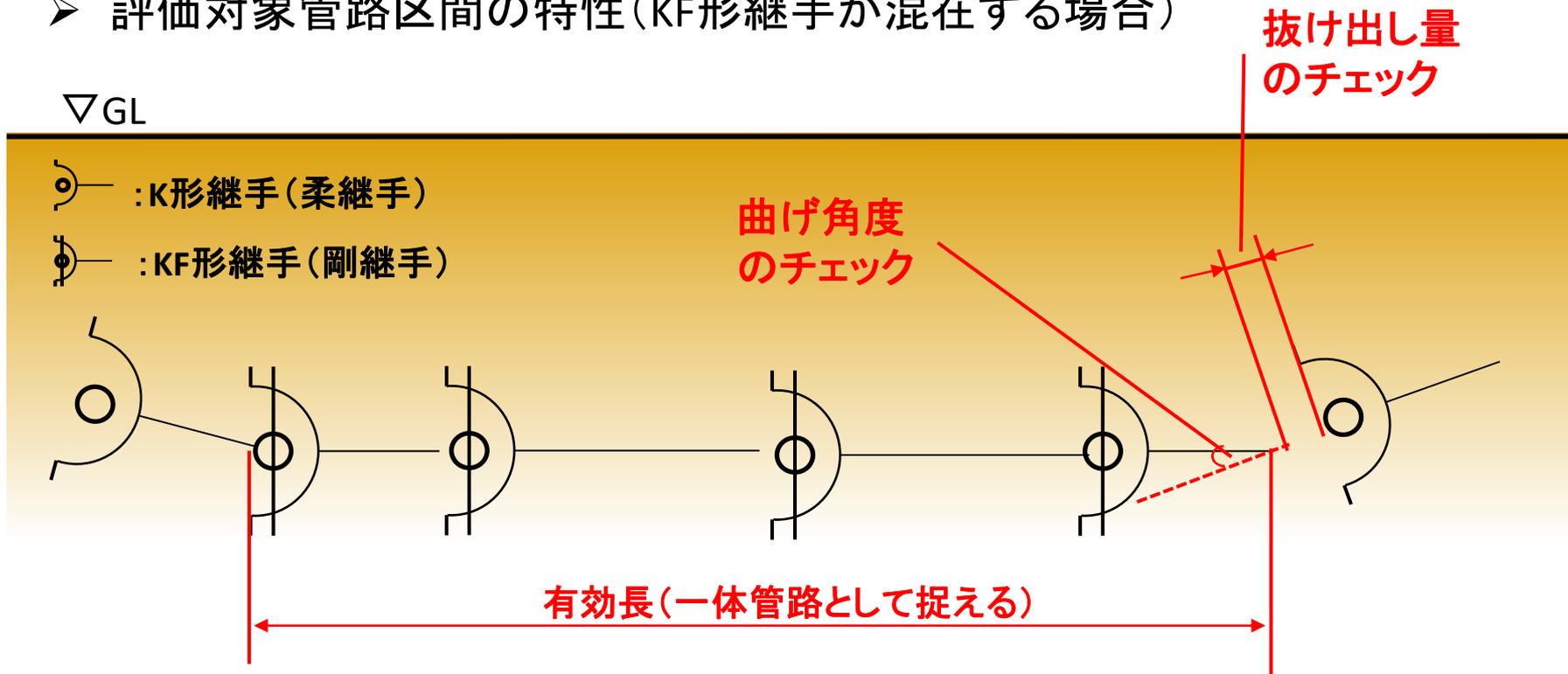
➤ 評価対象管路区間の特性(K形継手単独の場合)



「K形継手が連続する区間」 → 各継手で伸縮および曲がりが発生

2. 耐震性の評価手法について

- 評価対象管路区間の特性(KF形継手が混在する場合)

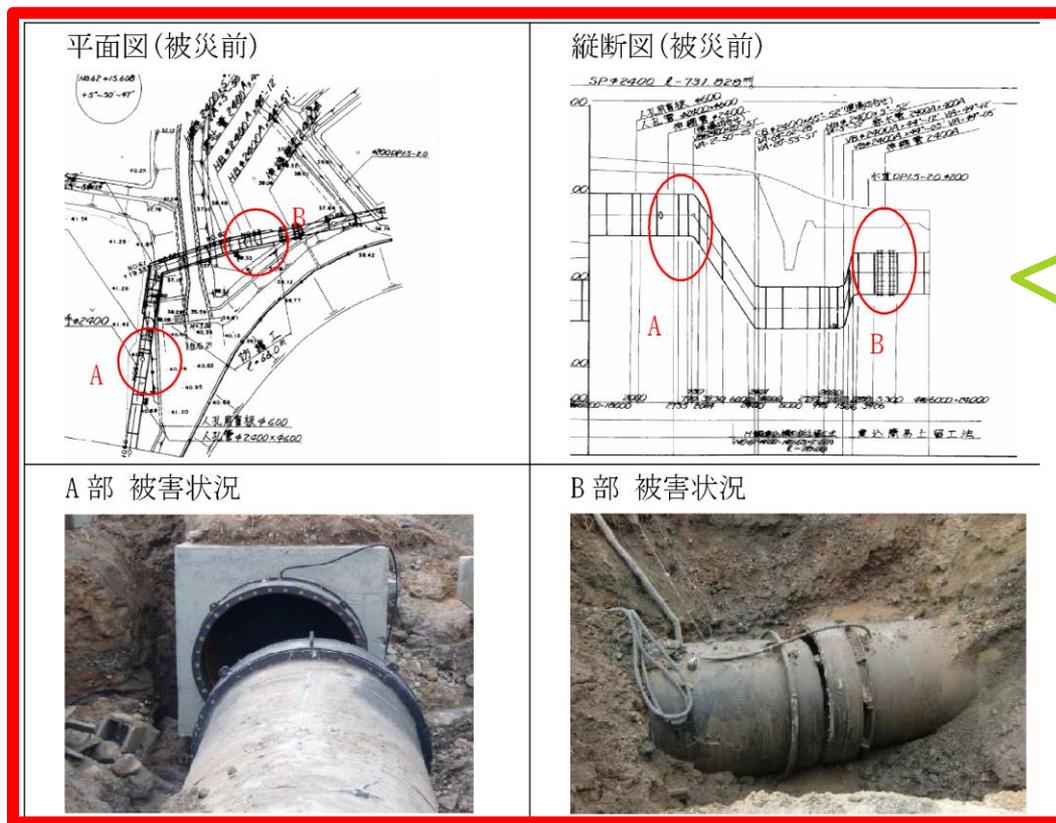


「KF形継手が連続する区間」

→ 剛結継手であるため、KF形継手部は一体管路と捉える(K形継手部に変位が集中)

2. 耐震性の評価手法について

➤ 実際の管路の被害事例

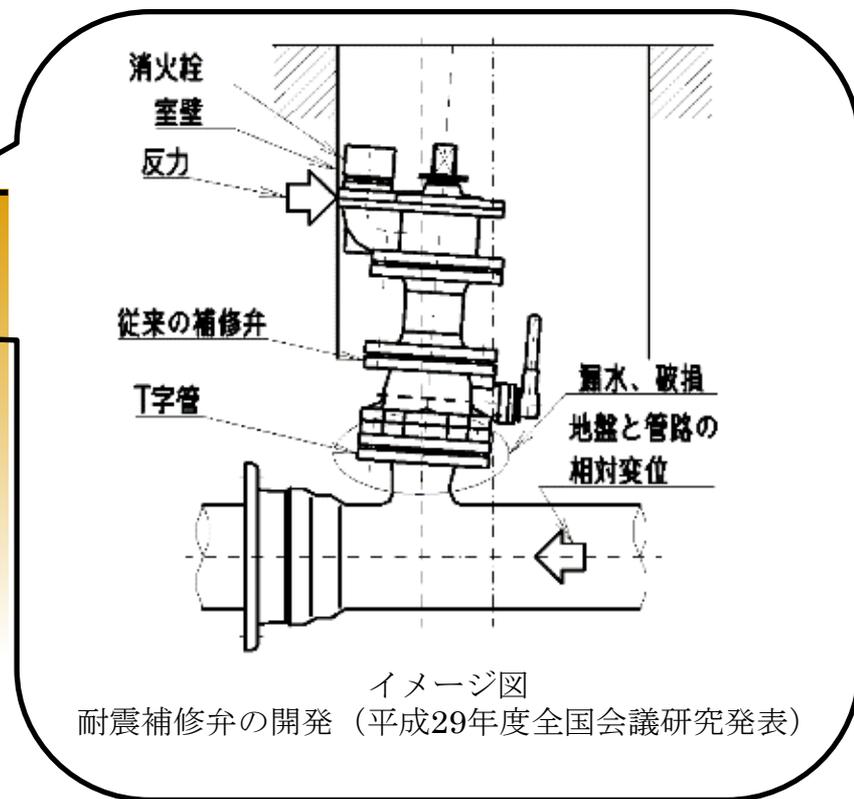
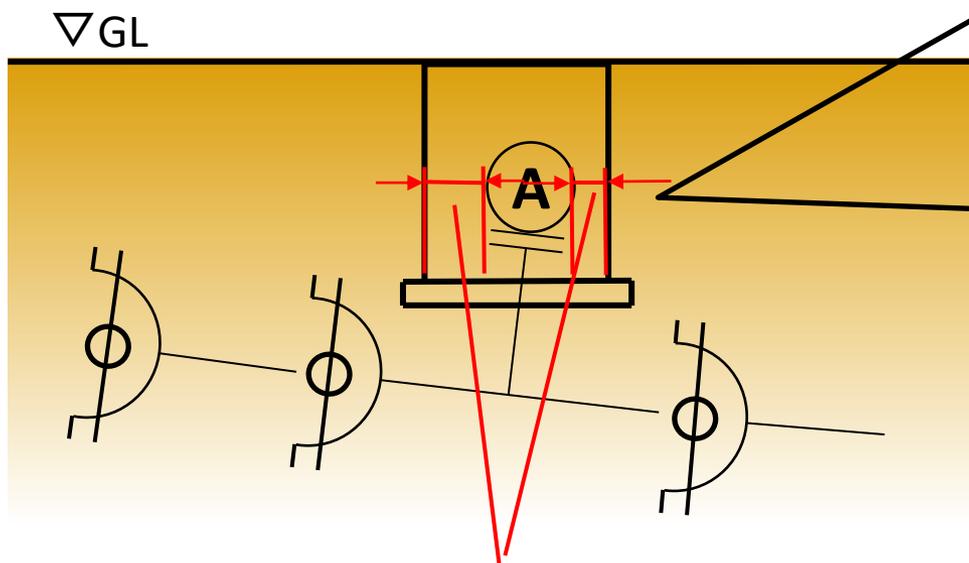


脱管した継手部は連続していない。
→脱管部の継手に変位が集中している。

東日本大震災における管本体と管路対策設備の被害調査: 日本水道協会

2. 耐震性の評価手法について

➤ 空気弁・消火栓の評価方法



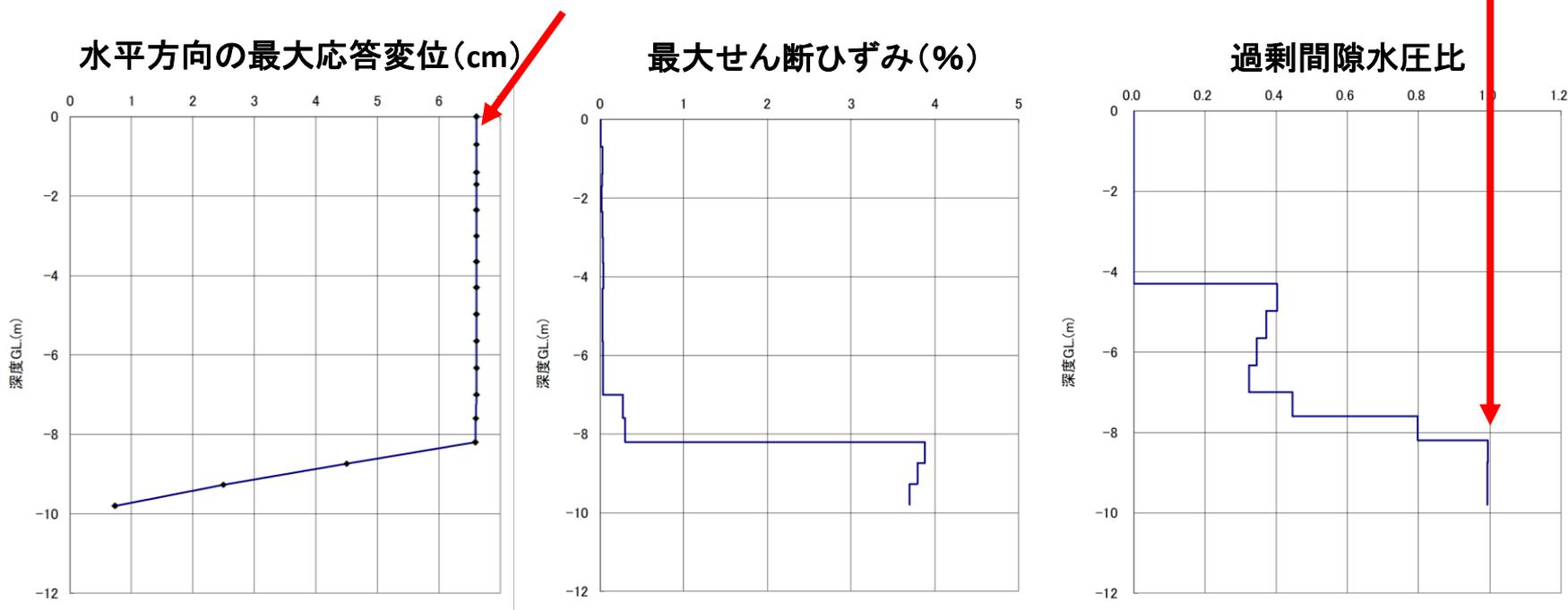
**弁きょう内の離隔(空気弁本体から弁きょう側壁までの距離)と
地盤の応答変位量を比較**

2. 耐震性の評価手法について

➤ 耐震計算結果（1次元地盤の地震応答解析）

最大応答変位→地盤の水平振幅 U_h として計算に使用

1.0 = 完全液状化



最大応答値等の深度方向分布の例（海溝型地震）

3. 耐震性評価結果(提案手法)

	提案手法			計算条件、計算結果	
	I 地震時の 継手伸縮量	II 継ぎ手部 の屈曲角度	III 空気弁, 消火栓の照査	地盤モデル	最大過剰間隙水圧比 (1.0=完全液状化)
送水管A L=400m Φ400 K・KF形混在	OK	OK	OK	R-Oモデル、 弾塑性モデルの 併用	0.7
送水管B L=600m Φ400 K・KF形混在	NG (7箇所)	NG (8箇所)	OK	R-Oモデル、 弾塑性モデルの 併用	1.0
送水管C L=200m Φ400 K・KF形混在	OK	OK	OK	R-Oモデル、 弾塑性モデルの 併用	0.5

3. 耐震性評価結果(提案手法)

➤ 耐震性NG判定箇所

抜け出し量の評価
→NG(算出した伸び量が許容
最大伸び量を超過)

▽GL

 : K形継手(柔継手)

 : KF形継手(剛継手)



曲げ角度の評価
→NG(算出した許容曲げ角
度を超過)

有効長(一体管路として捉える)

「NG箇所の特徴」

K形・KF形が混在する管路のK形継手部に変位が集中した(抜け出し量でNG)
完全液状化に伴い地盤変位(地盤の水平振幅 U_h)が大きくなった

4. まとめ

- 地盤条件や管路条件を詳しく考慮した上で、継手部を評価したことで、弱点部を明確に示すことができた。
→耐震適合性がない基幹管路において合理的に耐震化計画が策定できる。
- 今回は継手部の変形性能に対しての重点的に評価を行った。
→今後は管体本体の劣化状況(ゴム輪、管体の腐食状等)についても考慮し、より精密な評価を行えるように検討していきたい。
- 剛継手の取り扱いについても述べたが、防護コンクリートにより不均力対策を実施している例も多く、それを考慮した継手部の評価や、フランジ部についての評価方法なども提案したい。

ご清聴ありがとうございました。

配水管更新における 二条管の必要性検討

株式会社 東京設計事務所
TOKYO ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD.

東京支社 プランニンググループ上下水道第1チーム

石井 香奈

目次

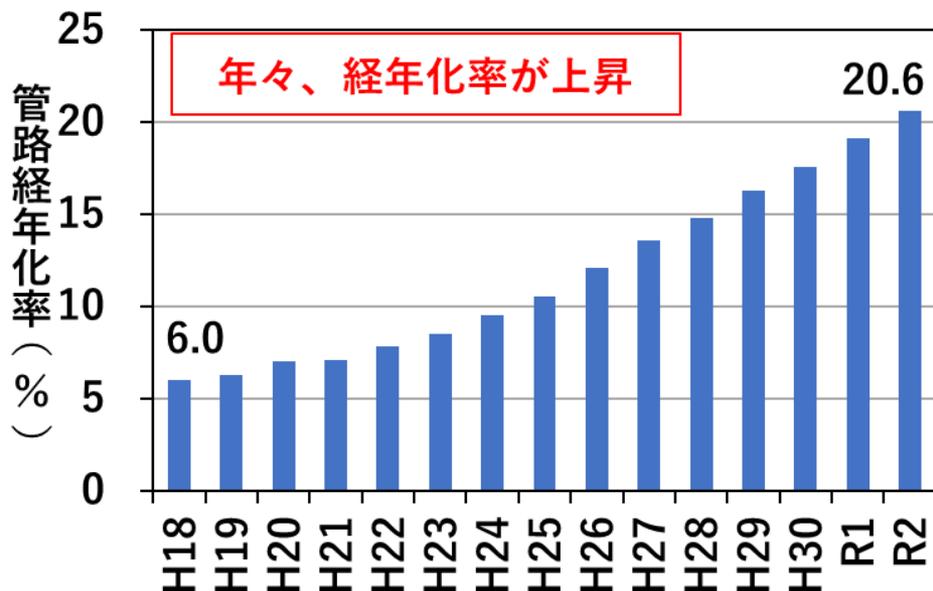
1. はじめに
2. 二条管の概要
3. 検討方法
4. 検討結果
5. おわりに



1. はじめに 管路老朽化の進行と進まない更新

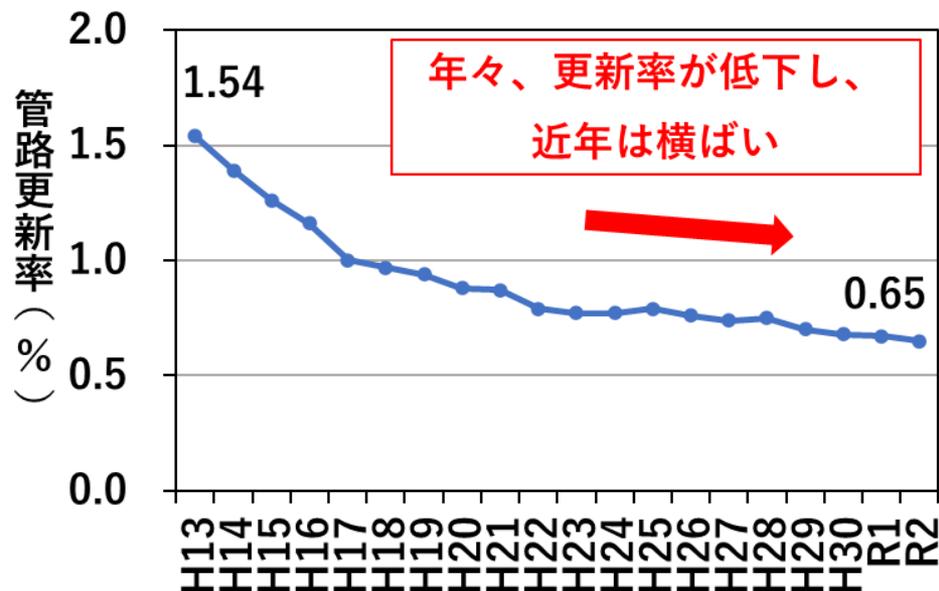
○ 管路経年化率 (%)

法定耐用年数を越えた管路延長
÷ 管路総延長 × 100



○ 管路更新率 (%)

更新された管路延長
÷ 管路総延長 × 100



(出典) 水道統計

- 全管路の更新に約150年間かかる試算結果 (R2試算)
- 更新の要否を判断し、効率的に更新を進めることが必要



1. はじめに 二条管とは

○二条管とは

1本の道路に2本の管路が布設されたもの

○配水管における主な二条管の布設理由

- ① 配水ブロックを形成
- ② 道路両側の需要者に給水
(給水管の道路横断を回避)
- ③ 更新を行い易く
- ④ 配水管占用位置の確保を容易に
- ⑤ 施工規模を抑制
(通行止めを回避＝施工重機、施工ヤードを抑制)
- ⑥ 将来の水量減少への対応性を確保
(通水能力を分散)



1. はじめに 二条管のまま更新すべきか

【検討対象：中核市 A市】

- 給水人口 : 約40万人
- 給水開始 : 昭和30年頃

- 配水管延長 : 約1,400km
- 法定耐用年数超過管路率 : 約10%
- 管路更新率 : 約0.9%

- 管路の整備・更新を計画的に実施しているものの、
全管路更新に約110年間かかる見込み

- 更新対象路線の一部で二条管になっている箇所がある
→ 二条管のまま更新すべきか？

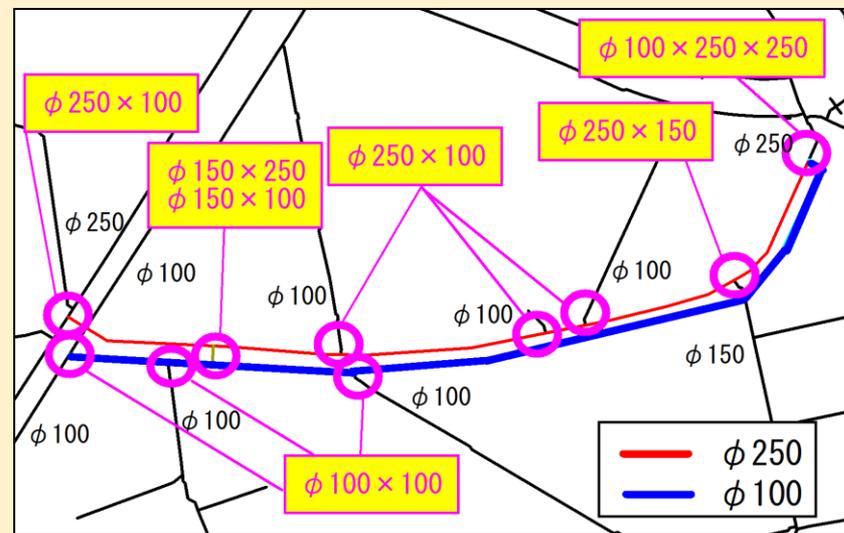
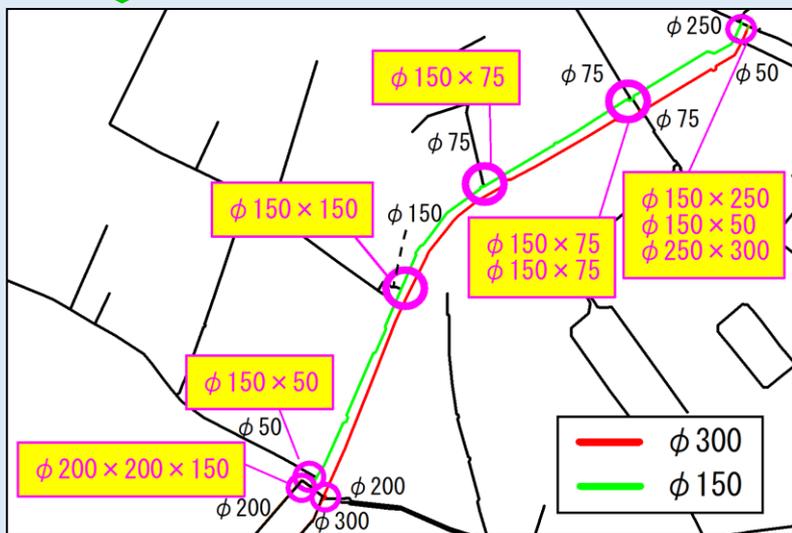
二条管部について、二条管の必要性及び
一条管とする場合の適正口径を検討

2. 二条管の概要 布設状況例

【検討対象管路】

19箇所、延長約30kmを選定

二条のうち大きい口径の管路が基幹的なループ管
小さい口径の管路は別の配水管と複数接続し周辺管路へ配水



道路の両側でそれぞれ配水管と複数接続
二条管の両方が周辺管路へ配水

3. 検討方法 検討フロー

① 現況の配水運用状況の整理

▶ 現況のモデル・水量の管網計算
モデルの妥当性確認、配水運用状況の把握

② 将来の配水運用状況の整理

▶ 将来計画のモデル・水量の管網計算
将来の水圧や流速等の推定

本発表範囲

③ 二条管の必要性の検討

▶ 将来モデル二条管部を一条化した管網計算
一条化管路の流速から一条化が可能か判定

④ 適性口径の検討

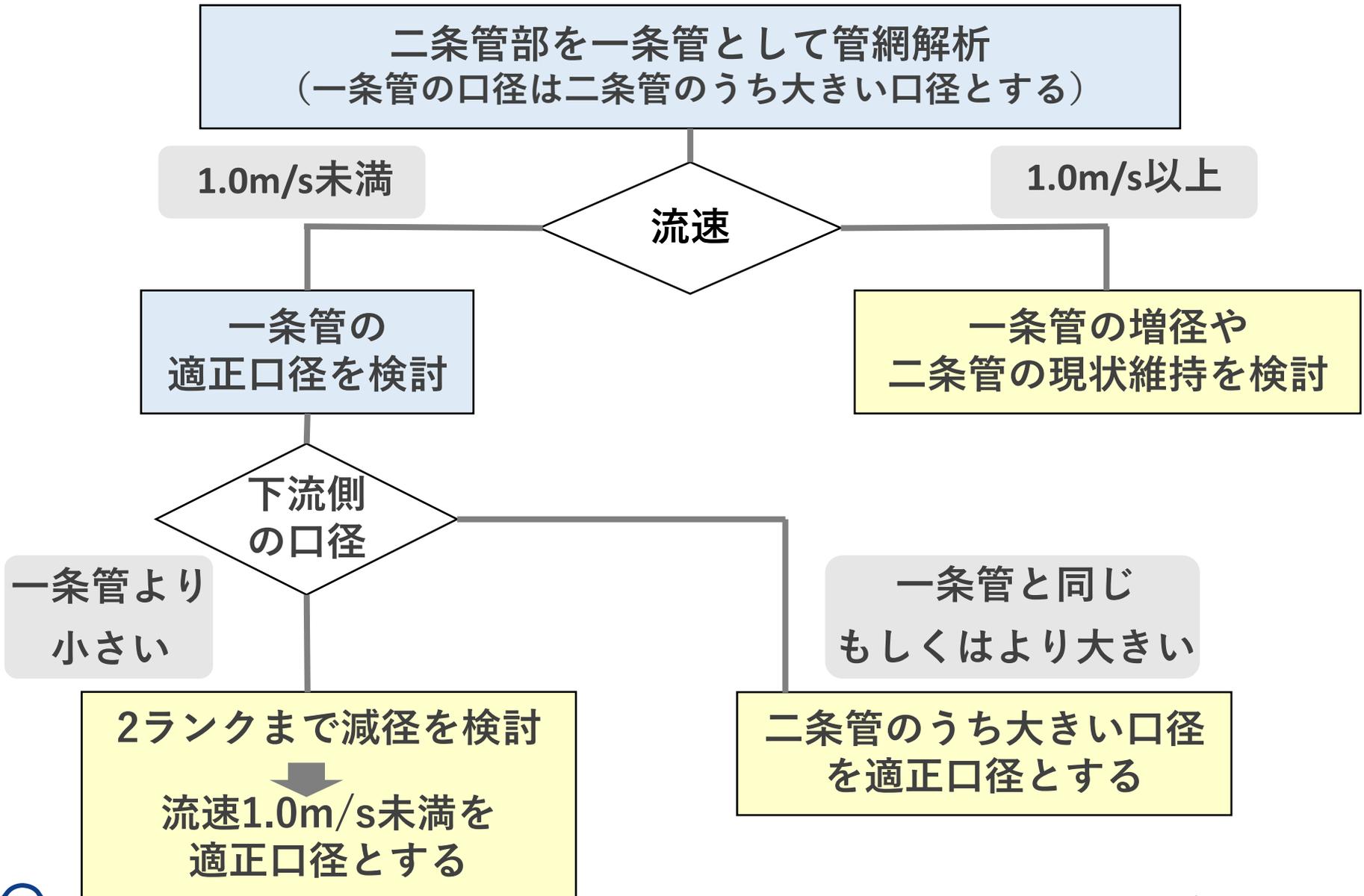
▶ ③で一条化可能な管路の口径について、
2ランクを上限に減径し、適正口径を検討

⑤ 結果整理

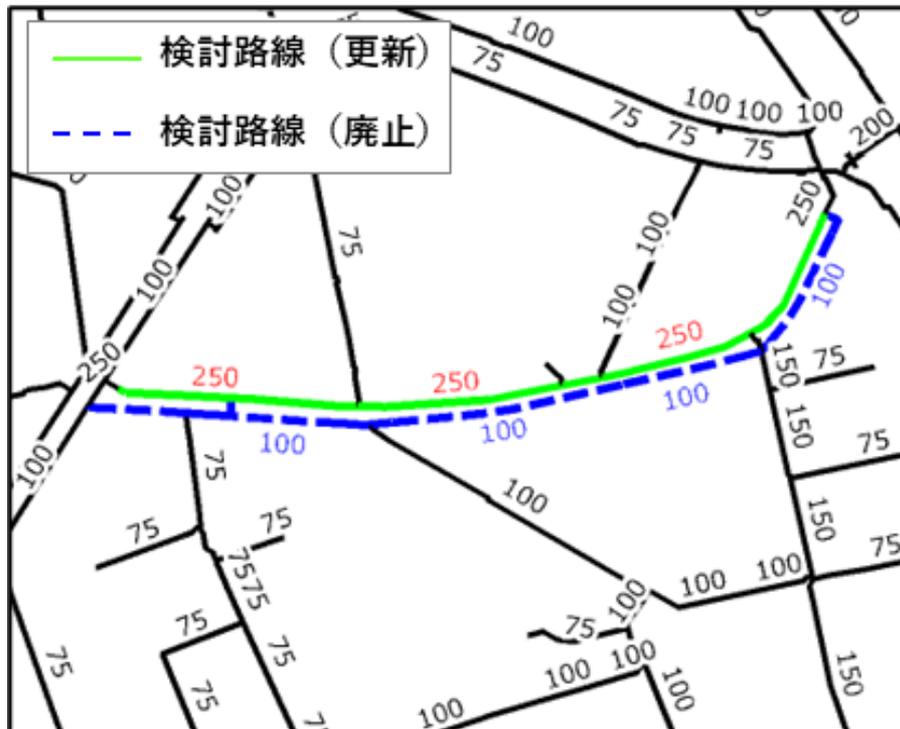
▶ 検討結果を反映した管網計算
配水ブロック全体の水圧や流速を確認
管路更新計画への反映



3. 検討方法 二条管の必要性、適正口径の判定



4. 検討方法 モデル作成（例：No.15路線）



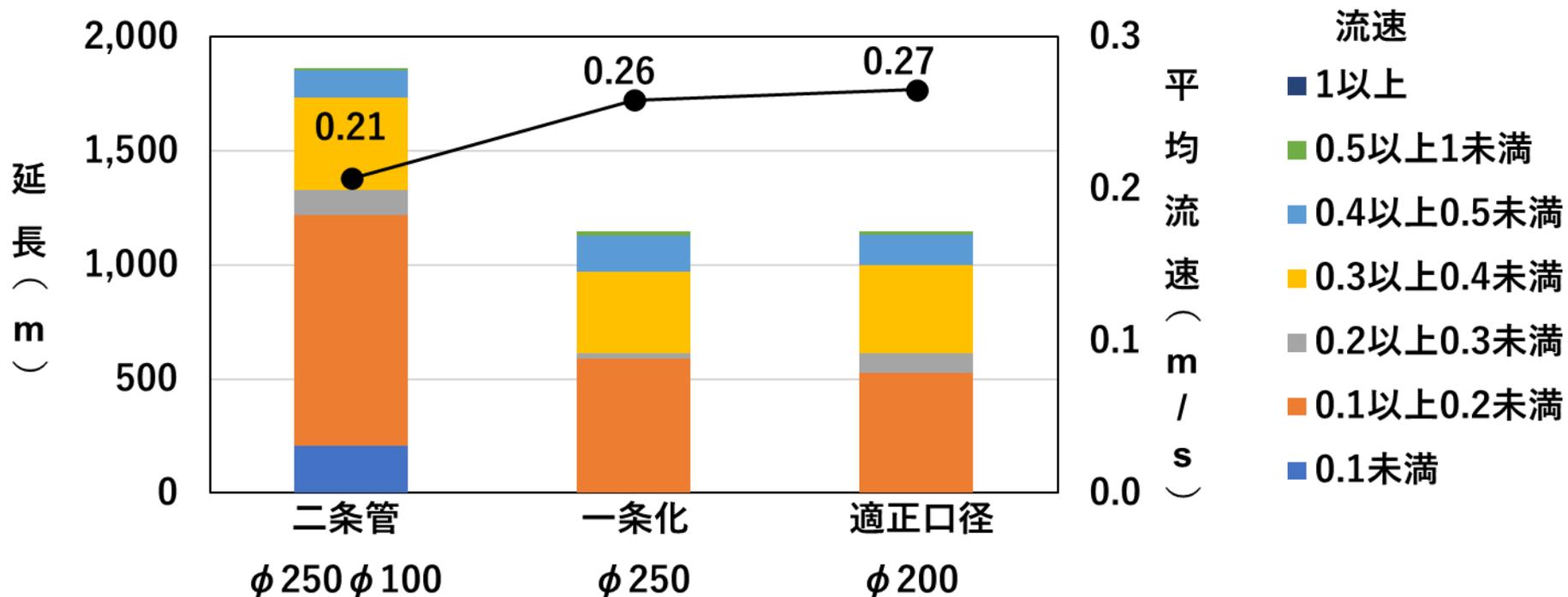
【No.15 路線（ $\phi 250$ と $\phi 100$ の二条管）】

二条管のうち口径の小さい $\phi 100$ を廃止

廃止する $\phi 100$ に接続している管路は、一条とする $\phi 250$ に接続



4. 検討結果 二条管の必要性、適正口径検討



- 一条化した場合でも、ほとんどの区間で流速0.5m/s 未満
⇒ 二条管の必要性がないと判断
- 下流の管路口径がφ200、流速が概ね0.5m/s 未満
⇒ 減径の検討対象と判定、φ200 まで減径できるか検討
- φ200 に減径した場合でも、ほとんどの区間で流速0.5m/s 未満
⇒ 適正口径はφ200 と判定

4. 検討結果 全工区の結果

No.	口径 a	口径 b	二条管の 必要性	減径の 可否	一条化後 適正口径
1	250	100	無	可	150
2	250	100	無	可	200
3	300	75	無	不可	300
4	300	100	無	可	200
5	300	100	無	可	250
6	300	150	無	不可	300
7	400	150	無	可	300
8	300	150	無	可	250
9	350	150	無	可	300
10	700	75	無	可	600

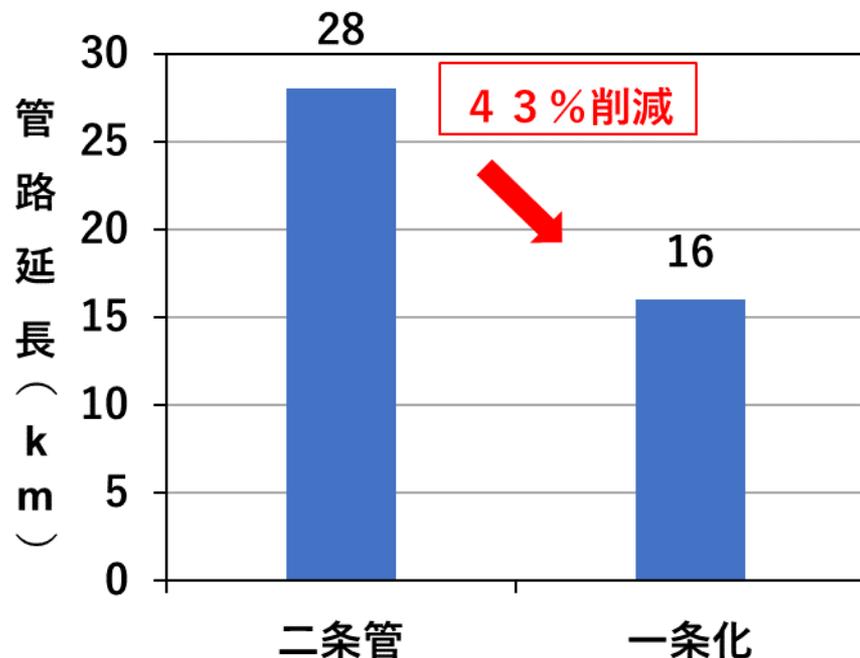
No.	口径 a	口径 b	二条管の 必要性	減径の 可否	一条化後 適正口径
11	150	100	無	不可	150
12	150	100	無	可	100
13	250	100	無	可	200
14	200	75	無	不可	200
15	250	100	無	可	200
16	300	75	無	不可	300
17	350	100	無	可	300
18	300	100	無	可	200
19	350	75	無	不可	350

- 19箇所すべてにおいて一条化可能
- 13箇所において減径が可能
- 検討結果を反映しても、有効水圧は全域で基準値20.0m以上を確保

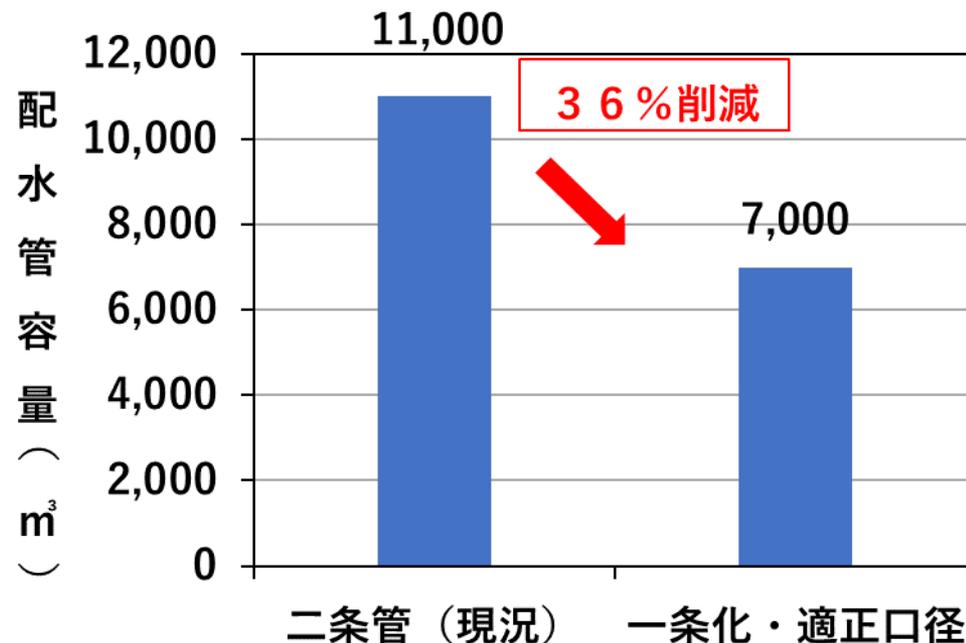
4. 検討結果 効果の検証

- 全ての箇所において二条管の必要性がない
- 13箇所において減径が可能

【一条化による効果】



【一条化・適正口径による効果】



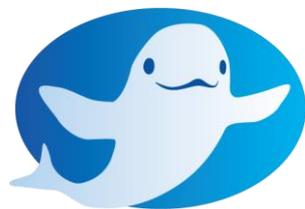
- 二条管としての役割が不要であれば一条化の可能性
- 一条化することで、更新時に仮設管は不要となる可能性
- ただし、設計時には消火用水量等への配慮が必要

5. おわりに

- これまで水需要増加に伴い拡張整備されてきた管路は、今後の人口減少、水需要減少を踏まえて、ダウンサイジングを図りながら更新していくことが必要
- 配水管の更新については、管路口径の視点だけではなく、管路延長の視点から二条管がないか、その二条管はそれぞれ必要不可欠な役割を担っているのかを再度見直すことが重要
- 二条管を一条化することで配水管更新延長を削減し、効率的に老朽化した管路を更新することが可能



ご清聴
ありがとうございました



株式
会社

東京設計事務所

TOKYO ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD.

東京支社 プランニンググループ 上下水道第1チーム

石井 香奈



第33回技術研究発表会

危機耐性に対応した耐震設計事例

株式会社 N J S 水道本部 水道 3 部

根岸 悠哉

目次

- 1 . はじめに
- 2 . 危機耐性に対応した設計手順（案）
- 3 . 被災シナリオの検討方法
- 4 . 構造解析による危機耐性への対応事例
- 5 . おわりに

1.はじめに —危機耐性の導入背景—

導入背景

- 東日本大震災の福島第一原子力発電所の事故
- 設計地震動・津波を超える事象の発生の可能性への認識とその対処

設計地震動・津波等を超える事象により安全性が損なわれた場合の危機耐性が提案

各基準における想定外の事象への対応

土木構造物 共通示方書	設計で対象とする事象を超えることにより、構造物・システムの機能や安全性が損なわれた場合でも、社会に重大な影響を及ぼす可能性を十分に小さくする配慮
鉄道構造物等 設計標準・同解説	設計段階で想定された以上の地震でも構造物・システムが破滅的な状況に至らないよう設計
水道施設の技術的 基準を定める省令	災害その他非常の場合に断水その他の給水への影響ができるだけ少なく、かつ速やかに復旧できるよう配慮

1.はじめに ー水道における危機耐性ー

定義

要求性能の「安全性」で定義した事象を超える地震動・津波・風水害などにより安全性が損なわれた場合に、水道施設が危機的な状況に至る可能性を小さくする性能

事象	設計で設定する地震動、津波、風水害		要求性能の安全性で定義した事象を超える事象
	レベル1	レベル2	
施設の対応	従来の耐震設計や浸水対策で安全性、復旧性や使用性を確保		危機耐性による対応

水道施設の危機的状況

- ①人命が脅かされる状況
- ②飲料水の供給が停止する状況
- ③給水が長期間停止する状況

1.はじめに —危機耐性に関する現状と課題—

現状

- 耐震工法指針で「**危機耐性**」が**要求性能として明確化**
(危機耐性を考慮した設計事例が数例記載)

課題

- 危機耐性を考慮した**設計事例がまだ少なく事例の共有が不可欠**
(地震や風水害、斜面崩壊、津波など各事象に対する検討事例)
- 設計実務で**危機耐性の検討をどのような手順で行うか**が不明瞭
- **危機耐性の対策実施の判断指標**が無い



本稿

- 設計実務における**危機耐性を考慮した設計手順案**の提案
- 危機耐性で**考慮すべき事象や被災シナリオの検討例**の共有
- 想定外の地震を対象とした**構造解析による危機耐性への対応事例**を共有

2. 危機耐性に対応した設計手順（案） 1 / 3

基本設計

従来の基本設計

+

危機耐性導入検討

危機耐性の導入検討

- 危機耐性検討要否の判断
 - 被災シナリオの検討
 - 被災シナリオへの対策検討
 - 対策実施の判断 等
- ※詳細は別途フロー図参照



詳細設計

従来の詳細設計

+

危機耐性に
対応した設計

従来設計で行っている落橋防止装置設計等は従来の設計に含む

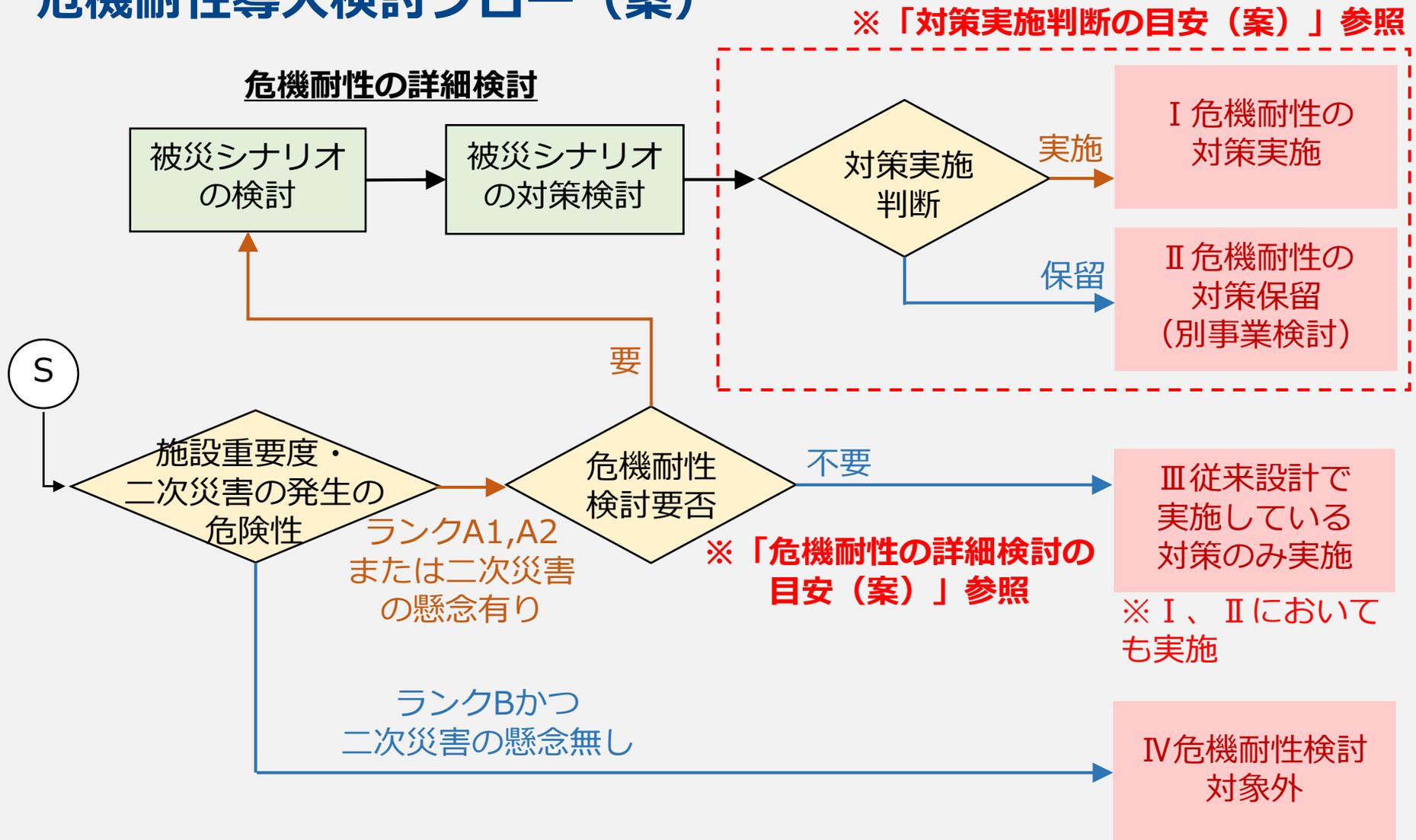
基本設計で有効と判断した対策の設計

- 地震時の損傷過程の確認を目的としたプッシュオーバー解析
- 浸水対策としての擁壁整備
- バックアップ施設整備 等

2. 危機耐性に対応した設計手順（案） 2 / 3

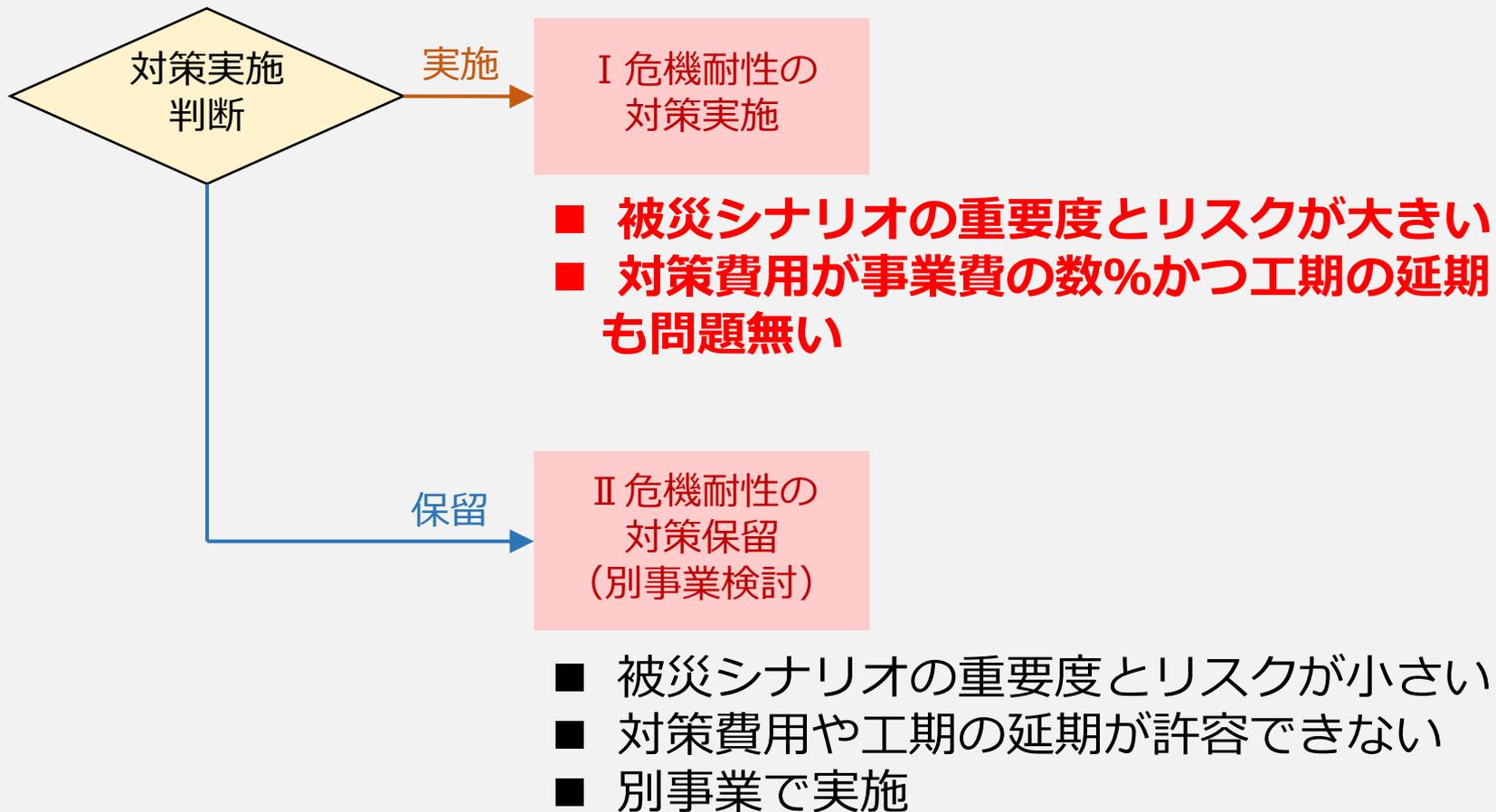
危機耐性導入検討フロー（案）

危機耐性の詳細検討



2. 危機耐性に対応した設計手順（案） 2 / 3

対策実施判断の目安（案）



2. 危機耐性に対応した設計手順（案） 3 / 3

危機耐性の詳細検討の目安（案）

項目		評価指標	評価		
重要度	事業体内の重要度	水道事業体で占める給水割合	数%	中程度	数十%
	人命	施設被災時に人命が脅かされる可能性	低い	中程度	高い
	第三者被害	隣地・周辺家屋等への被害の可能性	低い	中程度	高い
	影響の長期化	長期間の給水停止の可能性	低い	中程度	高い
リスク	地震	地盤条件 (液状化・不整形・断層等)	良い	中程度	悪い
	水害	津波・洪水浸水時の被害エリア	遠い	近い	エリア内
	土砂災害	土砂災害危険区域	遠い	近い	エリア内

※本表は目安とし対象施設の重要度とリスクを見定める必要がある

3. 被災シナリオの検討方法 1 / 2

水道施設耐震工法指針

- 「要求性能の『安全性』で定義した事象を超える事象」を危機耐性の対象

耐震設計入門（土木学会）

- 危機耐性を「**BDBE : Beyond Design Basis Event（設計基準外部事象）**に対しても、社会への影響をより小さくする性能」と説明
- DBE（設計基準内部事象）以外の事象を危機耐性の対象



水道施設耐震工法指針の「要求性能の『安全性』で定義した事象を超える事象」と「BDBE」は非常に近い概念

3. 被災シナリオの検討方法 1 / 2

考慮すべき事象 (BDBE)

	小分類	BDBEの例	DBEへの対応例	BDBEへの対応例
作用	地震作用	地震強度、鉛直地震動、余震・前震、橋脚間の位相差、局所的な増幅、継続時間、振動特性、位相特性	動的非線形解析を用いた耐震設計	限界状態設計法における荷重係数、破壊モード判定
	地震随伴事象	斜面崩壊、断層変位、津波、地盤沈下、地盤の不同沈下、地盤の液状化、側方流動	各事象に対する設計、有効応力解析	各事象に対する設計上での安全率
	風水害	風速、浸水位、浸水継続時間、土砂災害	最大洪水浸水位に対する施設設計	浸水位などで余裕を確保
状態		停電、施設機能停止、施設損傷、施設亡失	—	落橋防止装置施設、自家発電設備、バックアップ施設、管路の二重化等

3. 被災シナリオの検討方法 2 / 2

被災シナリオの検討例

	一般環境 (全環境共通)	急傾斜地・不整形地盤	軟弱地盤
地震・ 地震随伴 事象	<ul style="list-style-type: none"> 想定外の強度や振動特性、位相特性を持つ地震による施設損傷や倒壊、漏水による機電設備停止 断層変位による施設や管路の損傷 道路被害等による薬品や燃料等の不足・遅れ 	<ul style="list-style-type: none"> 土砂災害による施設損傷や倒壊、埋没、管路流出 局所的な地盤変位、不同沈下による施設や管路の損傷 側方流動による地下構造物（杭基礎等）の損傷 	<ul style="list-style-type: none"> 液状化による施設の不同沈下や浮き上がり、管路の継手抜け落ち 地盤変位、流動化による地下構造物（杭基礎等）の損傷
風水害	<ul style="list-style-type: none"> 内水氾濫等による機電設備の水没、機能停止 送電線等の被害による停電の長期化、機能停止 	<ul style="list-style-type: none"> 土砂災害による施設損傷や倒壊、埋没、管路流出 	-

※類似した施設の過去の被災事例や周辺環境の過去の災害などから適切なシナリオを想定することが重要

4. 構造解析による危機耐性への対応事例

想定を超える地震動の可能性

- レベル 2 地震動は高度な工学的判断により起こり得ると考えられる最大規模の地震動（物理的に発生し得る最大の地震動ではない）
- **レベル 2 地震動を超える地震動の発生は過去の地震被害の経験からも可能性がある事象**

危機的状況を避けるための具体的な方法論

- **①致命的な破壊の防止、②崩壊様態の制御、③影響波及の抑制の3段階での対応**が提案されている
(致命的な破壊の防止…部材を曲げ破壊先行型など)



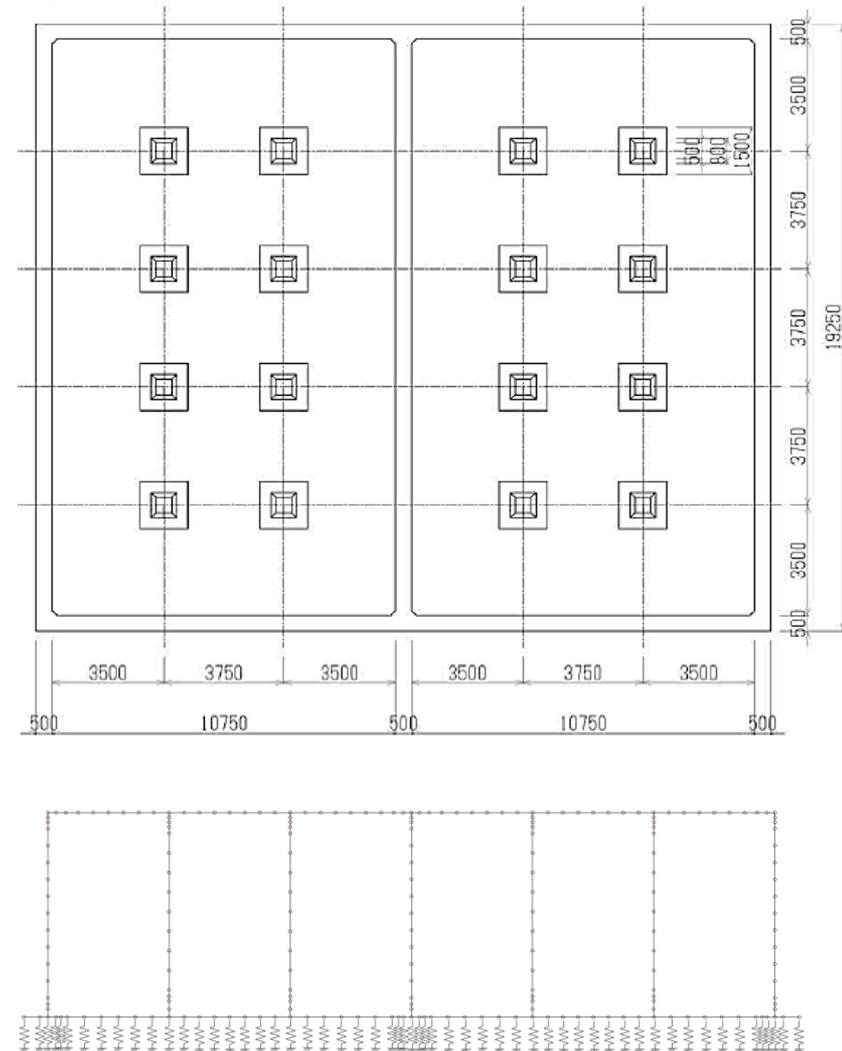
崩壊様態の制御や影響波及の抑制を目的とし、構造物の損傷過程の確認が可能なプッシュオーバー解析を行った事例を2つ紹介

4. 構造解析による危機耐性への対応事例 その1

2次元フレーム解析による方法 —解析条件—

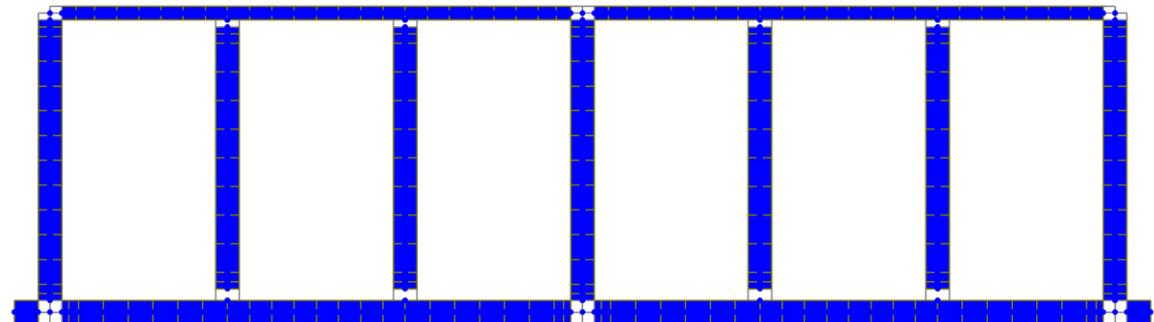
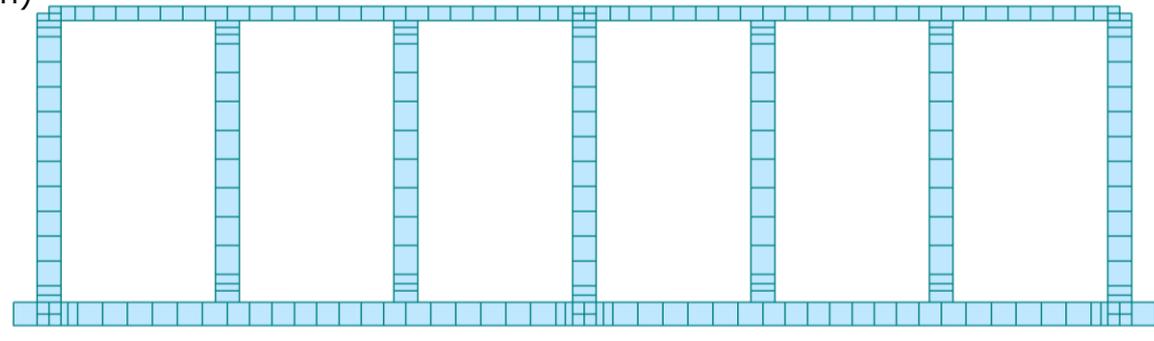
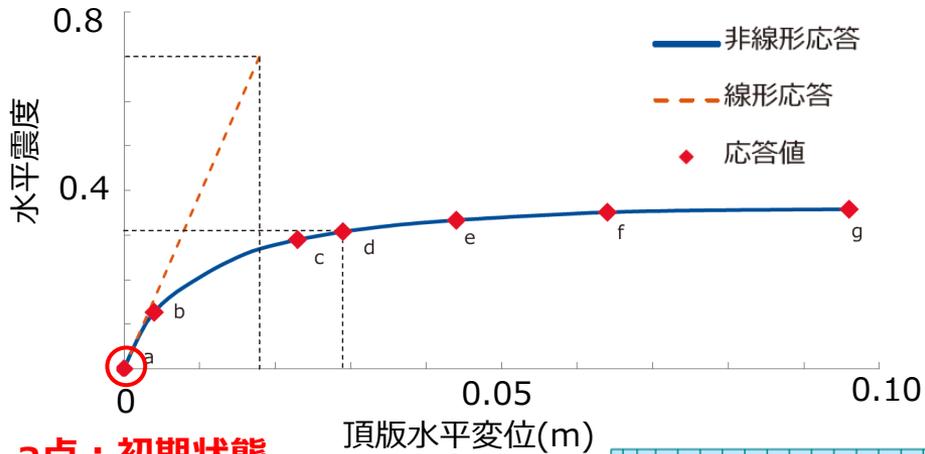
- 耐震工法指針の参考資料1-7 に掲載
- 2次元フレームモデル
- **安全限界（限界状態3）の目安とされる層間変形角1/100の変位及び、その1.5倍の変位まで変形**

項目	内容
構造形式	鉄筋コンクリート構造
内空寸法	B10.75m×H6.0m×L18.25m ×2池（有効容量2000m ³ ）
地盤・基礎	I種地盤・直接基礎
解析手法	静的非線形解析（変位増分法）



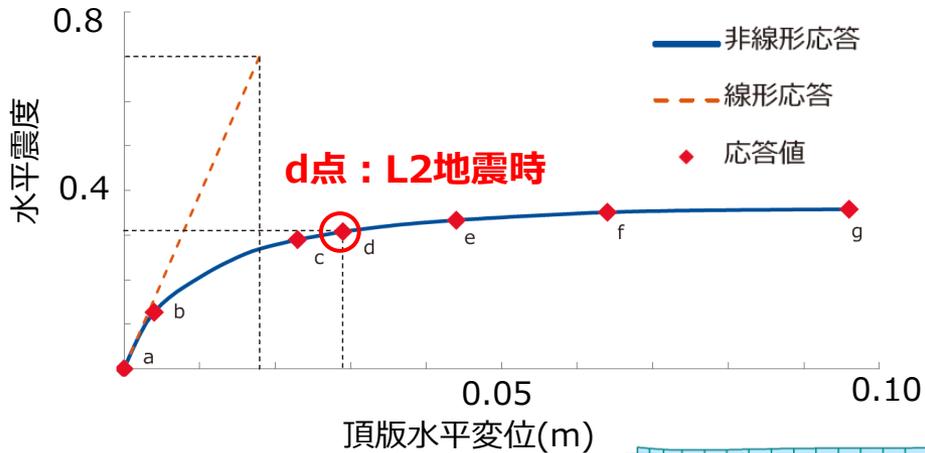
4. 構造解析による危機耐性への対応事例 その1

2次元フレーム解析による方法 —解析結果—



4. 構造解析による危機耐性への対応事例 その1

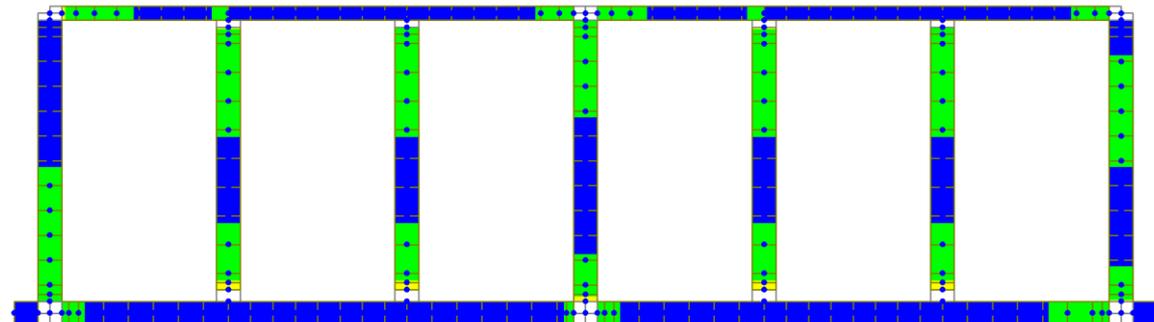
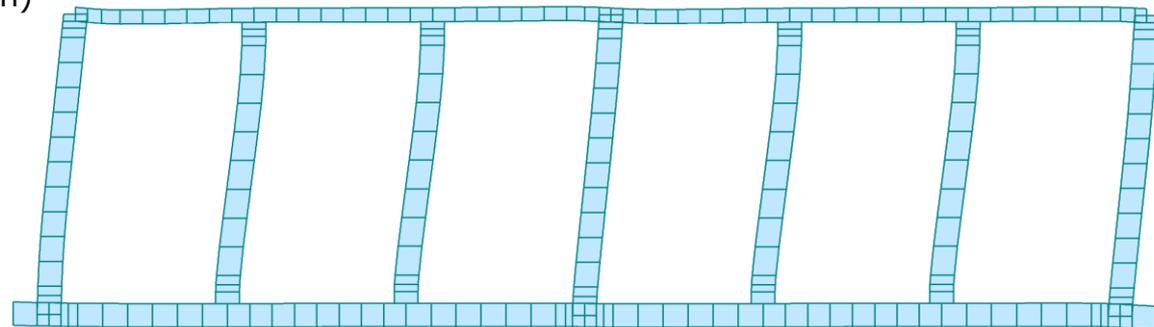
2次元フレーム解析による方法 ー解析結果ー



凡例

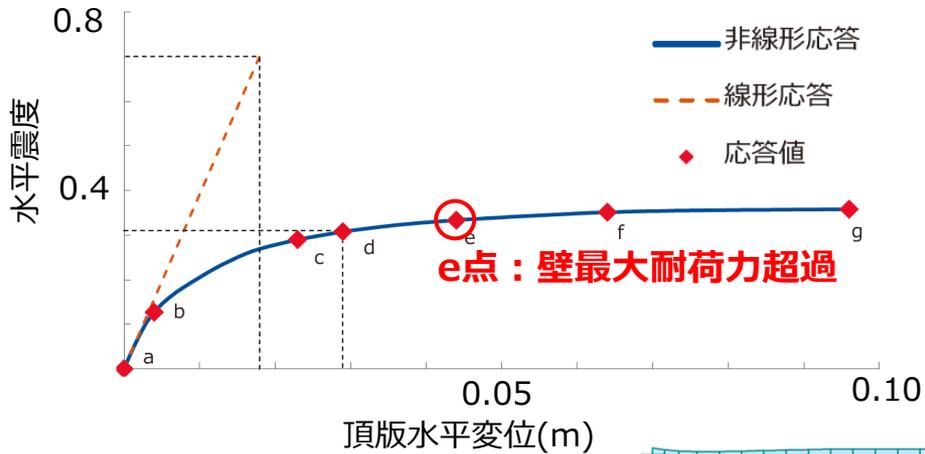


**曲げひび割れ発生・
一部部材は降伏**

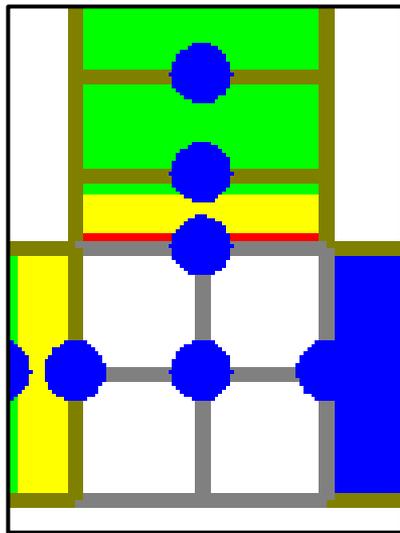
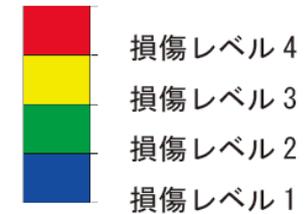


4. 構造解析による危機耐性への対応事例 その1

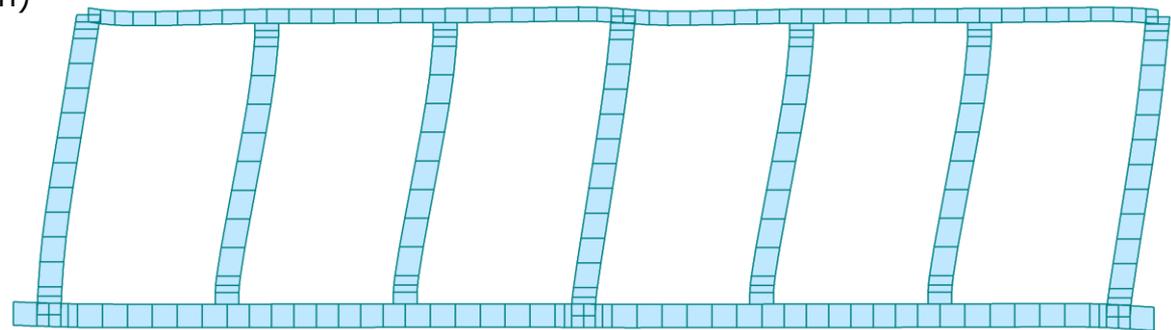
2次元フレーム解析による方法 —解析結果—



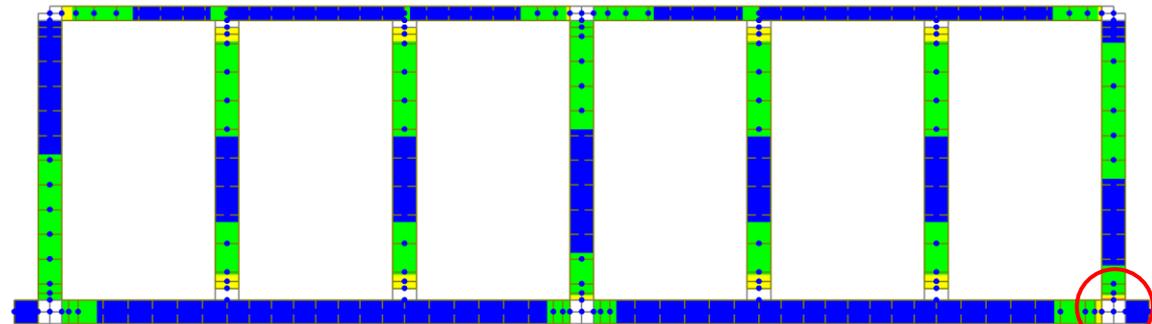
凡例



拡大図



変形図

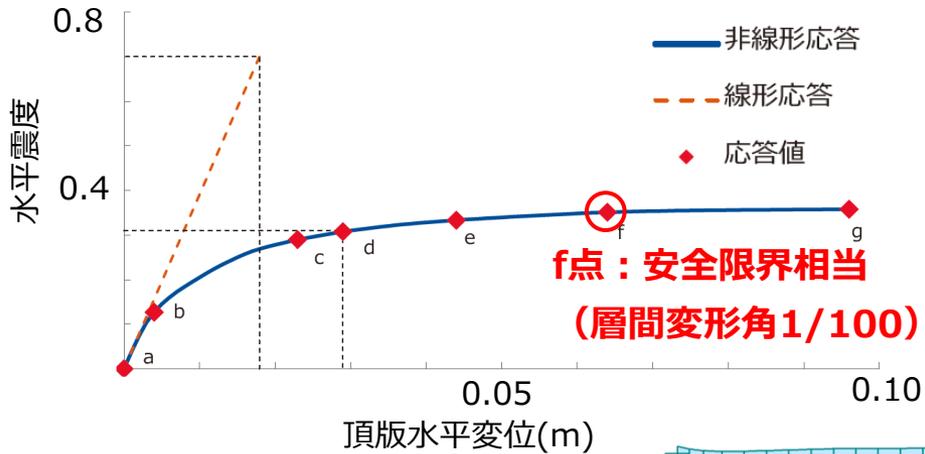


損傷図

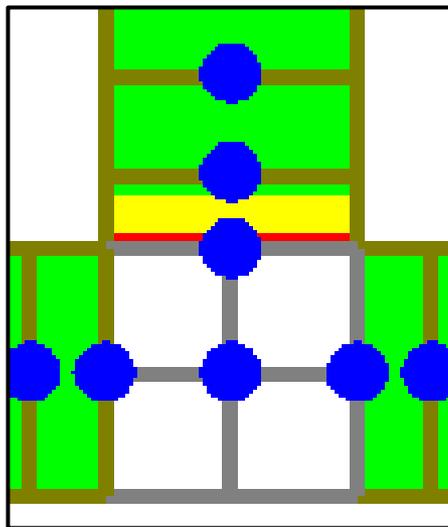
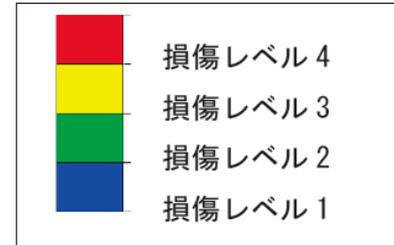
最大耐荷力超過 (拡大図参照)

4. 構造解析による危機耐性への対応事例 その1

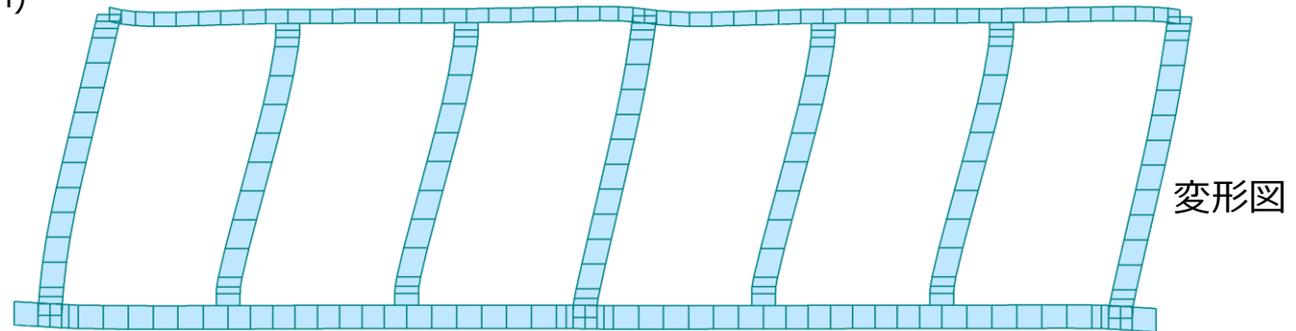
2次元フレーム解析による方法 —解析結果—



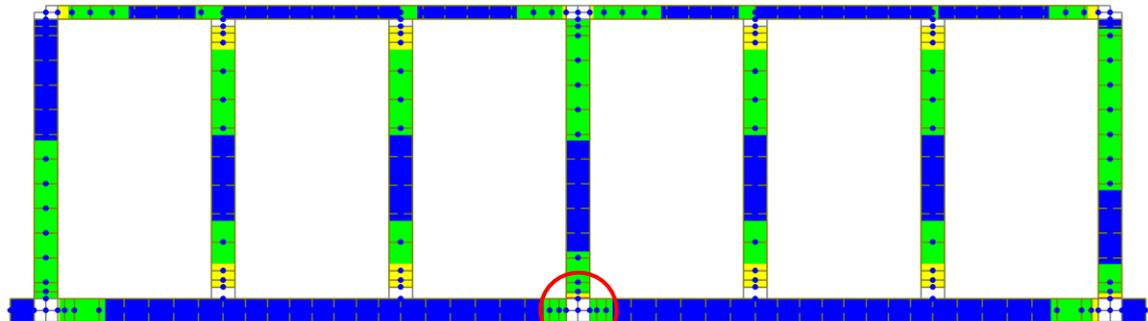
凡例



拡大図



変形図

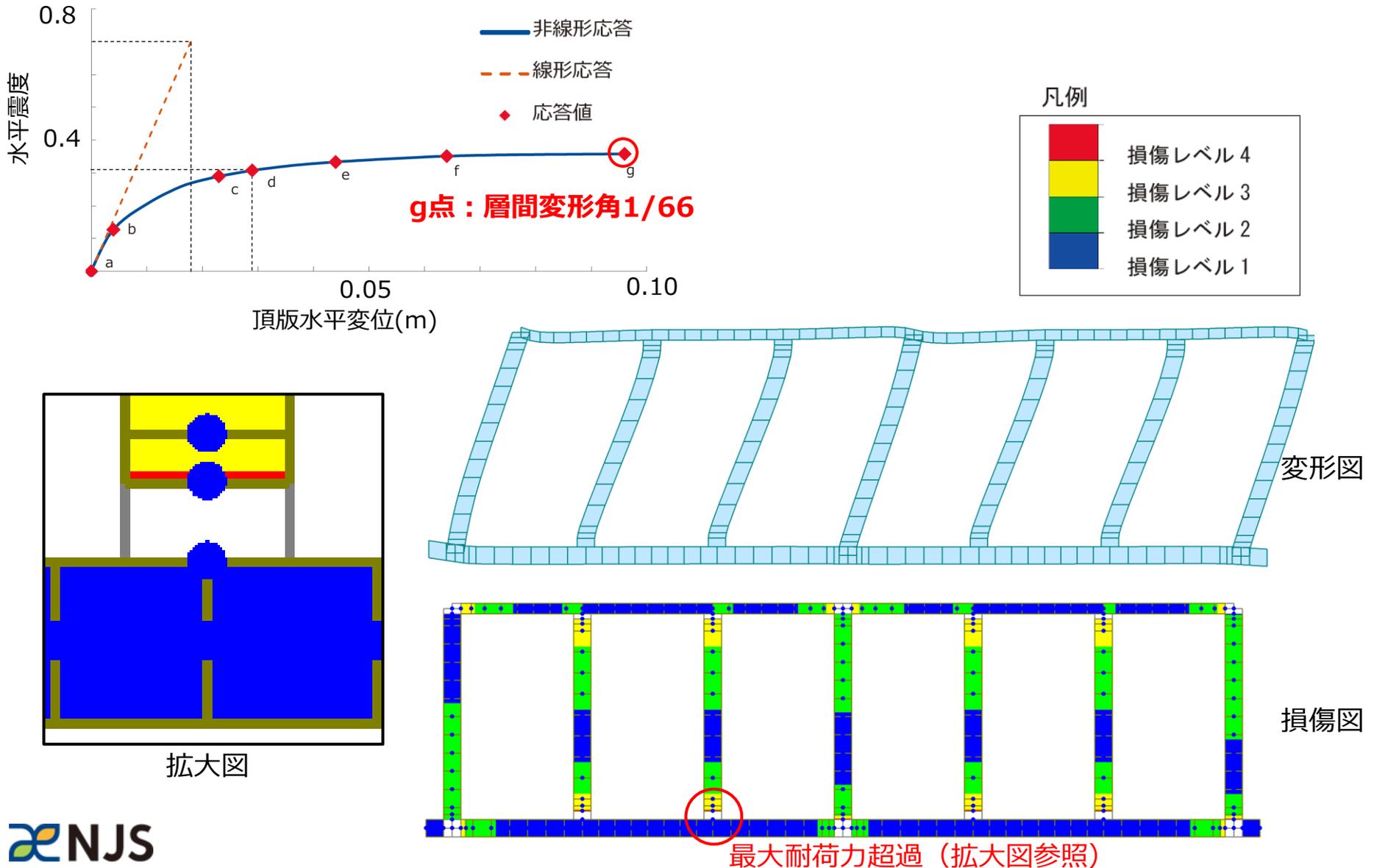


損傷図

最大耐荷力超過 (拡大図参照)

4. 構造解析による危機耐性への対応事例 その1

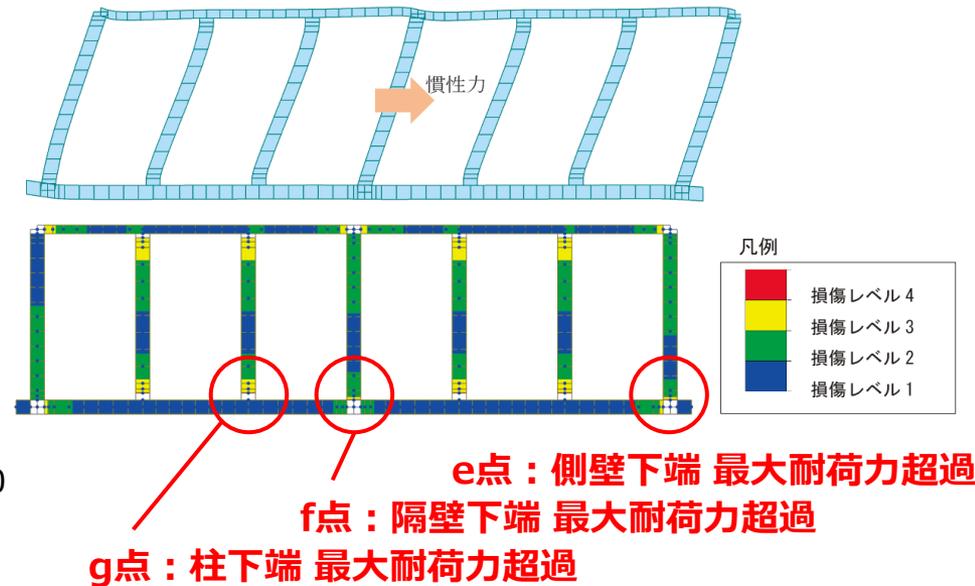
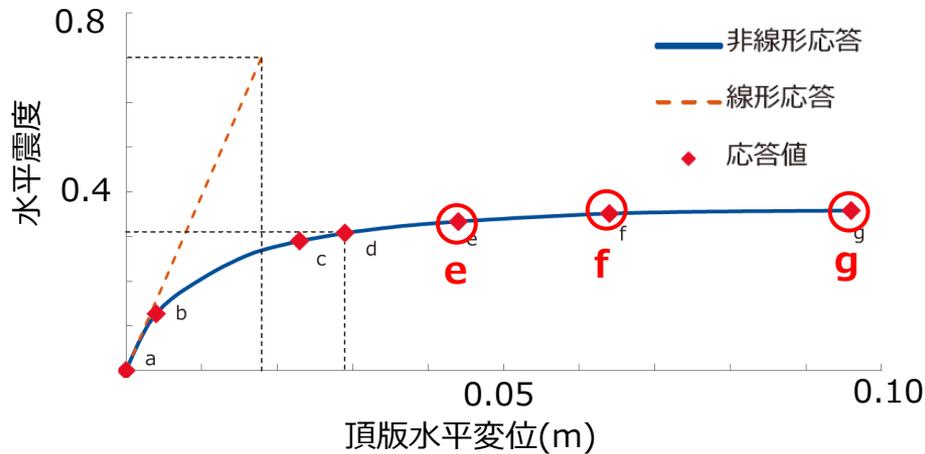
2次元フレーム解析による方法 —解析結果—



4. 構造解析による危機耐性への対応事例 その1

2次元フレーム解析による方法 —考察—

- L2地震時以上に変位を加えると**側壁下端が最初に最大耐荷力を超過**
- 更に変位を加えると、**隔壁下端、柱下端の順に最大耐荷力を超過し**
曲げ破壊により倒壊



対策案（一般論を含む）

- 想定破壊位置に安全率を2程度確保するよう**せん断補強筋を多く配置**
- 迅速な復旧工事が行えるよう施設周辺に**重機配置スペースを確保**
- 復旧が困難な**底版などの先行破壊を避ける**

4. 構造解析による危機耐性への対応事例 その2

3次元一貫解析による方法 一解析条件一

- A市浄水場の浄水施設
- RC造の土木建築複合構造
(地上：建築、地下：土木)
- 3次元FRM一貫解析を適用
- **L2地震動の2倍、3倍、4倍のエネルギー量と等価な状態まで変形**

項目	内容
床面積	建築面積 7500m ² 、延床面積 19000m ²
階数	地上1階、地下4階
基礎形式	直接基礎
構造分類	Ⅱ類・水槽付建築物
解析手法	静的非線形解析（変位増分法）

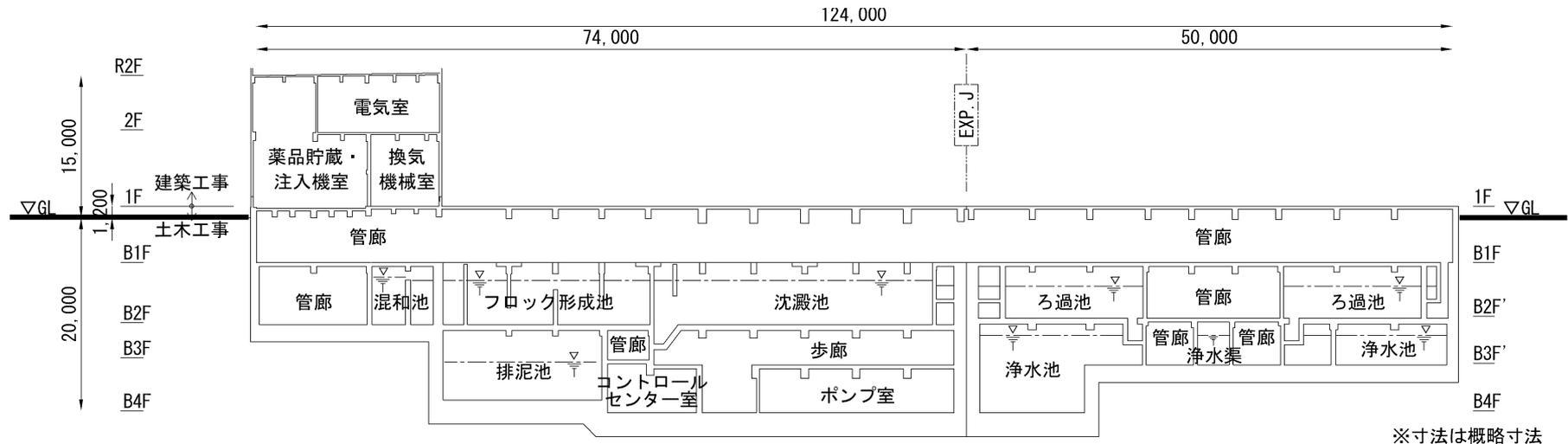


図 施設平面図・解析モデル

4. 構造解析による危機耐性への対応事例 その2

3次元一貫解析による方法 ー解析結果ー

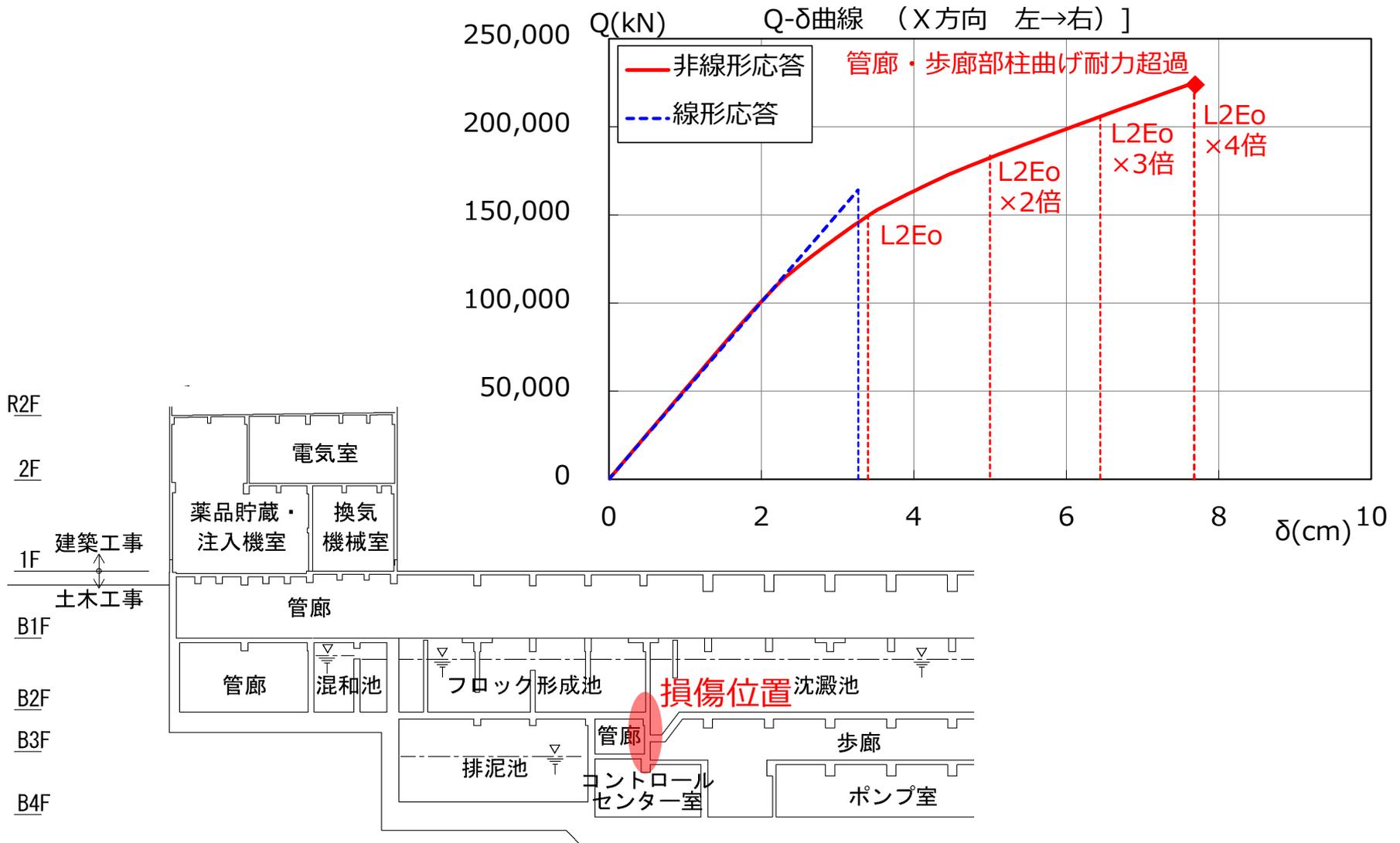


図 損傷図

4. 構造解析による危機耐性への対応事例 その2

3次元一貫解析による方法 一考察一

- 設計せん断力を超える荷重作用時においても弾性応答に近い応答
- L2地震動の4倍のエネルギー量の状態でも管廊・歩廊部の柱が曲げ耐力を超過（主要部材の損傷は確認されず）



- 壁部材の断面が厚く、構造全体の三次元剛性が高いことが理由と推察
- 水平剛性が高い構造物の場合、構造全体での崩壊にならず、局所的な損傷となる可能性があることに留意が必要

対策案（一般論を含む）

- 水槽部が漏水した場合でも機器に影響が無いようレイアウトに配慮
- 水槽部についてはL2地震動においても限界状態1（使用性）を満足するなど対応

4. 構造解析による危機耐性への対応事例

留意点

- 最大耐荷力を超過した部材の剛性を精度良く解析に反映するのは課題があるため、本事例の解析はあくまで損傷過程の確認を目的としている
- 本事例は損傷過程の解析的なアプローチに着目しているが、実設計においては損傷過程の結果を踏まえ、**投資費用を勘案して危機耐性への対応に反映することが重要**

5. おわりに

- **発生確率が低い事象ほど対策費用が高い傾向**にあり、費用対効果の可視化が難しいことから、**対策実施の判断指標の検討が必要**
- **風水害や斜面崩壊、津波などの外力に対する危機耐性検討方法**について、検討と事例の共有が望まれる
- 危機耐性に対応した設計では、**追加の設計委託費と期間**を要する場合がある
- 危機耐性の検討及び対策について、**更なる事例の蓄積と共有**が望まれる

ご清聴ありがとうございました

配水池改修工事に伴う配水能力低下時の 給水サービス維持について

日本水工設計株式会社

大阪支社 技術一部 水道課

山本 純平

発表の流れ

1. はじめに
2. 対象施設の概要
3. 配水池改修工事とその影響
4. 給水サービス維持方法の検討
5. まとめ

はじめに①

配水池

浄水場から送水された浄水を貯留し、配水する施設

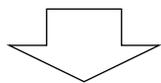
配水池の機能

- 送水量と配水量の時間変動調整
- 配水量や水圧の調整
- 他の配水池との相互融通
- 災害時に一定の水量を確保

重要な役割を担っている

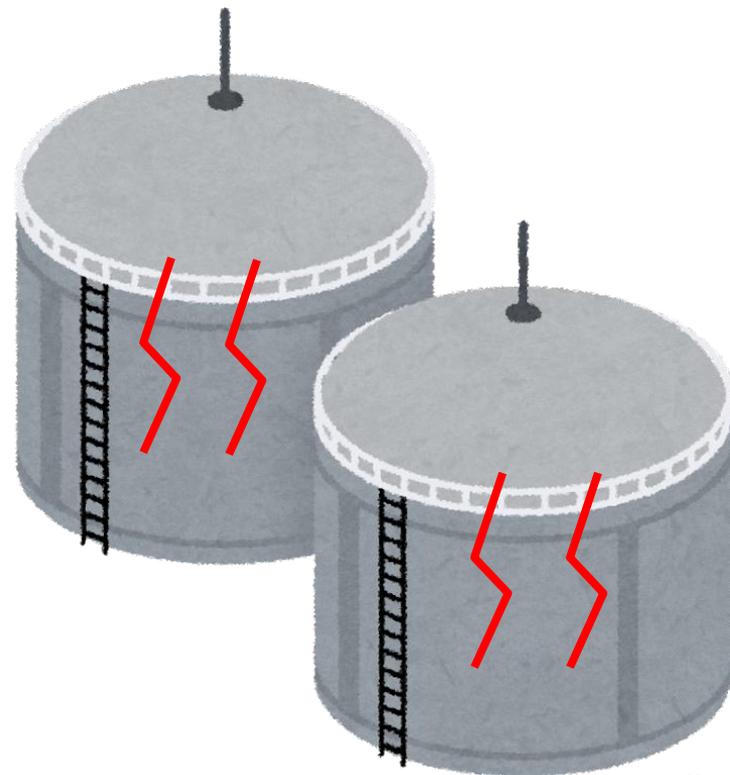
一方で…

水道施設の多くは高度経済成長期に整備



老朽化が進行

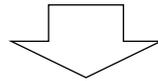
施設の計画的な更新・改修が必要



はじめに②

S市のO配水場

老朽化から2号配水池の改修工事が予定



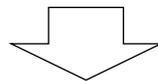
工事中は2号配水池を断水し、1号配水池単独での運用

工事に伴って配水能力が低下した場合でも、従来通りの配水量を確保し、給水サービスを維持する方法を検討した事例について紹介する

1号配水池

2号配水池

配水能力（有効容量）が大幅に低下



一方で…

O配水場はS市内でも、特に重要な配水拠点
→工事中においても従来通りの配水量を確保しなければならない

発表の流れ

1. はじめに
2. 対象施設の概要
3. 配水池改修工事とその影響
4. 給水サービス維持方法の検討
5. まとめ

対象施設の概要

〇配水場

1号配水池、2号配水池の2池で構成
竣工：1981年（竣工から40年以上経過）
構造：PC（円形）
計画一日最大給水量：49,600m³/日
有効水深：1・2号配水池とも10.5m
配水池容量：1号配水池…5,000m³
2号配水池…15,000m³
配水量：約1,570,000m³/年
人口増加に伴って年々増加傾向
水源：9割が県水（県営水道より受水）
1割が地下水（自己水源）



場内配管

県水

流量計・流量調整弁室→1、2号配水池へ流入

地下水

ろ過機で浄水処理→1、2号配水池へ流入

1号配水池

2号配水池

→ 流量計 → 配水

- (pink) : 流入管 (県水)
- (blue) : 流入管 (地下水)
- (green) : 配水管

発表の流れ

1. はじめに
2. 対象施設の概要
3. 配水池改修工事とその影響
4. 給水サービス維持方法の検討
5. まとめ

配水池改修工事とその影響①

▶ 配水池改修工事の概要

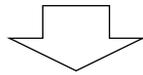
2号配水池の既設の内面防水塗装…**タールエポキシ樹脂**（塗装後40年以上が経過）

タールエポキシ樹脂

防食性・経済性に優れ、
配水池の内面防水塗装として広く使用されてきた

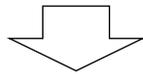
近年、タールエポキシ樹脂に含まれるタールが
発がん性を有することから特定化学物質に指定

既に塗装されている施設の
継続使用はOK



水に接する面への新規使用が禁止

→塗装の更新は早期に行うことが望ましい



2号配水池で**内面防水塗装工事**が予定されている

2号配水池は耐震性能を有しているか不明→今後、耐震診断を実施する予定
診断結果によっては、**耐震補強工事**も行う必要がある

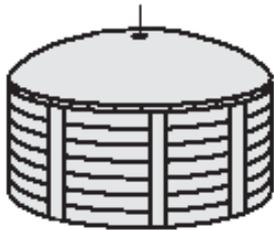
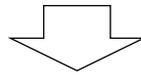


配水池改修工事とその影響②

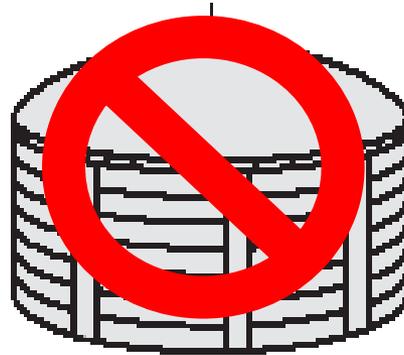
➤ 配水池改修工事による影響

内面防水塗装工事

→配水池を空水にする必要がある

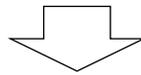


1号配水池
(5,000m³)



2号配水池
(15,000m³)

工事中は規模の小さい1号配水池単独での運用



現状と同様の給水サービスの提供は困難



1号配水池だけで給水サービスを維持できるような
配水場の運用方法を検討！

配水池改修工事とその影響③

➤ 1号配水池単独での給水サービス維持の可否

一日最大配水量を記録した日において、従来通りの配水場の運用が可能か検討

→運用が可能であれば、運用方法変更の必要はない

運用上、最も厳しい条件

• 一日最大配水量の抽出

○配水場の実績の配水量（平成30年度～令和2年度）を整理

→過去3年での一日最大配水量を抽出

○配水場における月別一日最大配水量（平成30年度～令和2年度）

	○配水場 総給水実績 (m ³)											
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
H30年度	8日	31日	15日	17日	1日	27日	30日	28日	24日	30日	13日	5日
	41,360	41,330	42,900	42,430	40,910	40,890	41,080	42,300	41,680	41,450	41,000	41,120
R元年度	22日	6日	27日	30日	1日	25日	28日	12日	26日	27日	12日	1日
	42,070	42,820	42,200	42,940	41,750	42,790	43,010	44,160	44,330	43,320	43,340	42,550
R2年度	2日	3日	8日	12日	21日	3日	20日	16日	31日	10日	21日	24日
	44,110	44,100	44,540	46,360	46,110	44,690	44,660	45,490	45,790	44,650	44,910	44,270

○配水場の一日最大配水量は46,360m³（令和2年7月12日）

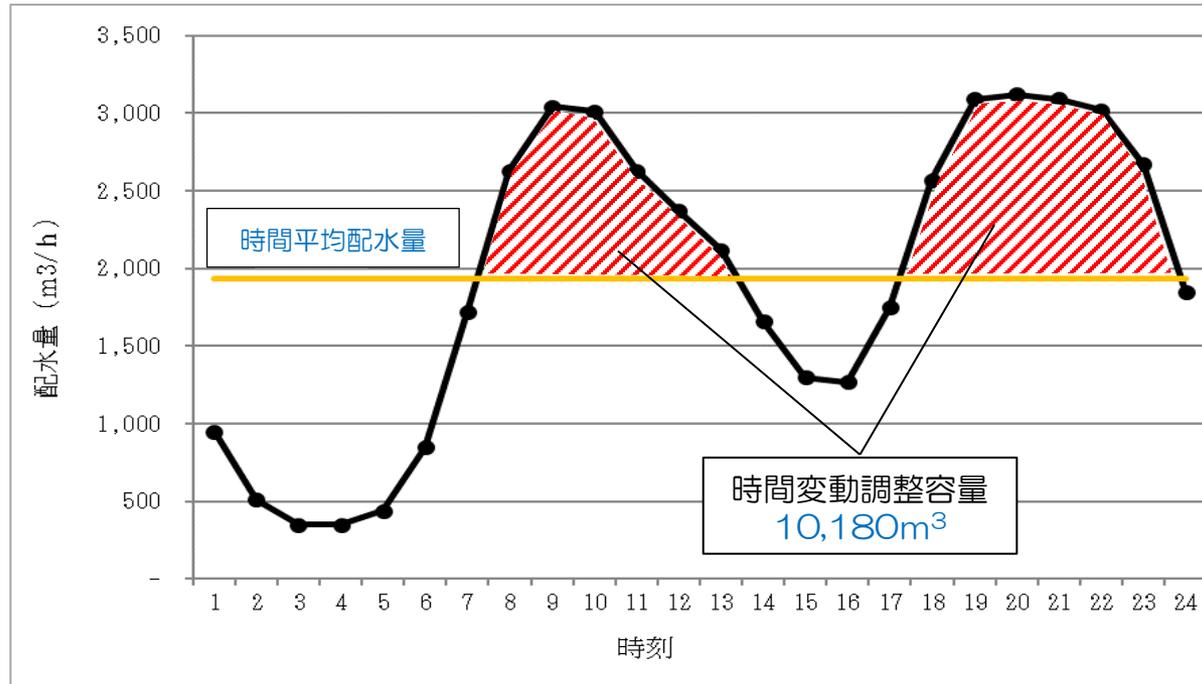
→この日の実績水量を基に従来通りの配水場の運用が可能か検討

配水池改修工事とその影響④

1号配水池単独での給水サービス維持の可否の検討

一日最大配水量を記録した日の時間別配水量の実績を用いて、時間変動調整容量（送水量と配水量の調整に必要な容量）を算出

令和2年7月12日における時間別配水量グラフ



時間変動調整容量は時間平均配水量を超えた量（斜線部の面積）の合計→10,180m³

時間変動調整容量10,180m³が1号配水池容量5,000m³を上回り、池が空水になる！

1号配水池単独では配水量が不足し、
現状と同様の給水サービスの提供は困難

発表の流れ

1. はじめに
2. 対象施設の概要
3. 配水池改修工事とその影響
4. 給水サービス維持方法の検討
5. まとめ

給水サービス維持方法の検討①

➤ 1号配水池単独での配水可能量の算出

給水サービス維持方法を検討するには、
1号配水池単独での配水可能量を明らかにする必要がある

• 配水可能量の検討条件

No	項目	検討条件の内容
①	1時間あたりの配水量	1日最大給水量の実績最大値である令和2年7月12日の配水量を基準とし、最小配水量は400m ³ /hとする。
②	1号配水池	底版面積は、476.19m ² とする。
③		有効水深は平成27年度の耐震補強工事を考慮し、10.5m-0.2m（底版補強厚）=10.3mとする。
④		運用水位はL.W.Lから3.8m以上8.9m以下とする。なお、検討開始水位は4.0mとする。
⑤	県水受水量	1) 検討開始受水量は0配水場の計画一日最大給水量の90%を原則とする。 2) 水位条件に該当しない場合は、84%まで減少させ、24時間で除したものを検討開始受水量とする。
⑥		1) 検討開始受水量に対して必要に応じ1時間あたりで増減させ、その増減幅は200m ³ /hとする。 2) 県水受水量は24時から1時の間においても変動幅±200m ³ となるようにする。
⑦		県水受水量の変動量の合計は、1日の中で±0m ³ とする。
⑧		1時間当たりの県水受水量は、800~1,800m ³ /h程度とする。
⑨	地下水取水量	1) 地下水取水量は、ろ過の最大値を420m ³ /h（210m ³ /h×2台）とする。 2) 運用時間は、近隣住民への騒音等を考慮し、6時から22時までとする。
⑩		最大取水量は、近年の実績最大値である8,900m ³ /日とする。

これらの条件を基に1号配水池単独での配水可能量を検討

給水サービス維持方法の検討②

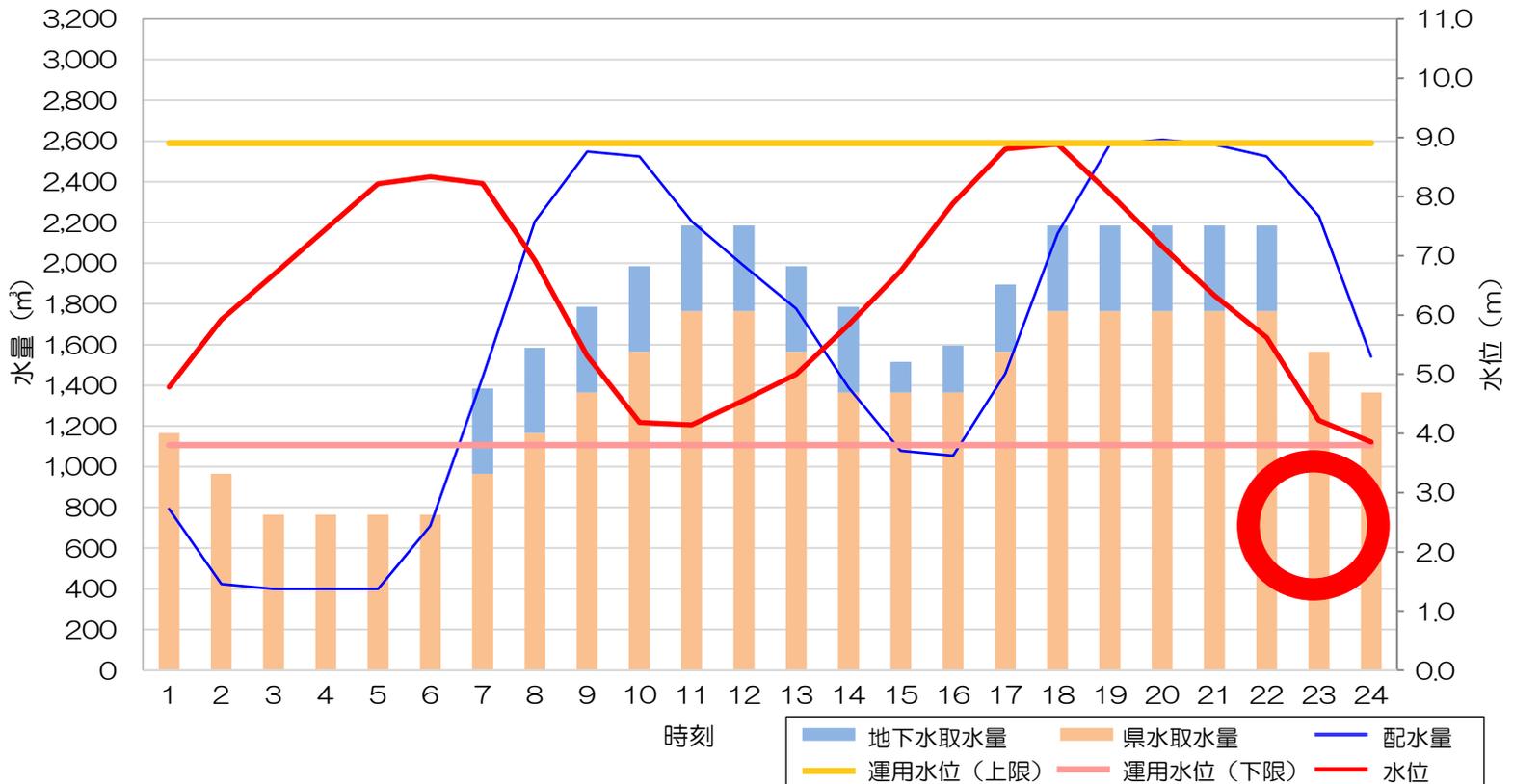
1. 配水量の設定

1号配水池単独での配水可能量は一日最大配水量の**84.1%** (39,000m³)
1号配水池だけでは配水できない分のカバー方法を検討する必要がある

収まらなければ連用可能となるまで配水量を減少

一日最大配水量の**84.1%** (39,000m³) の場合

設定した
 配水量



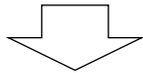
給水サービス維持方法の検討③

➤ 不足水量のカバー方法

• 仮設タンクの設置

容量が大きくなり、コストを要する
→仮設のレベルではなくなる

配水場内での設置スペース確保が困難

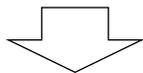


仮設タンクの設置は現実的ではない！

水道施設全体を見渡すことにした

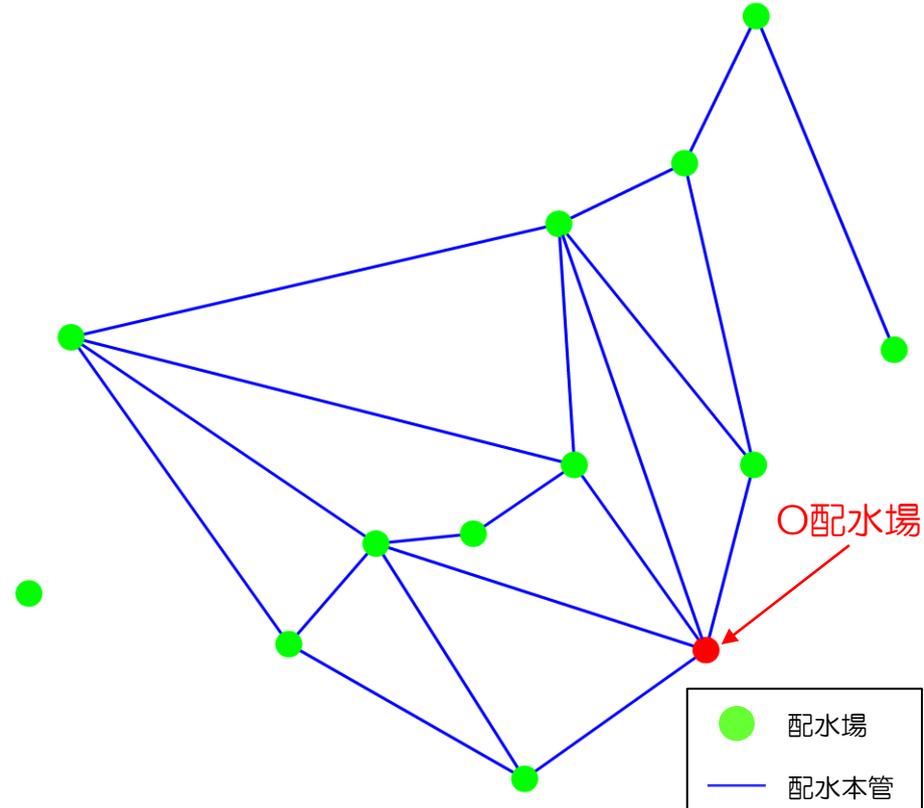
配水本管が配水場間で繋がっている

→水の相互融通が可能な状態であることに着目



不足分を他の配水場に
負担してもらうことはできないか??

他の配水場からのバックアップによる
給水サービスの維持について検討！



S市内の配水本管イメージ

給水サービス維持方法の検討④

➤ バックアップによる給水サービス維持の検討

• 不足水量の算出

○配水場の計画一日最大配水量…49,600m³/日→3,720m³/h

1号配水池単独での配水可能量…39,000m³/日→2,925m³/h

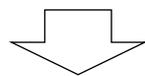
不足水量：3,720m³/h - 2,925m³/h = 795m³/h

不足水量795m³/hを他の配水場からバックアップする

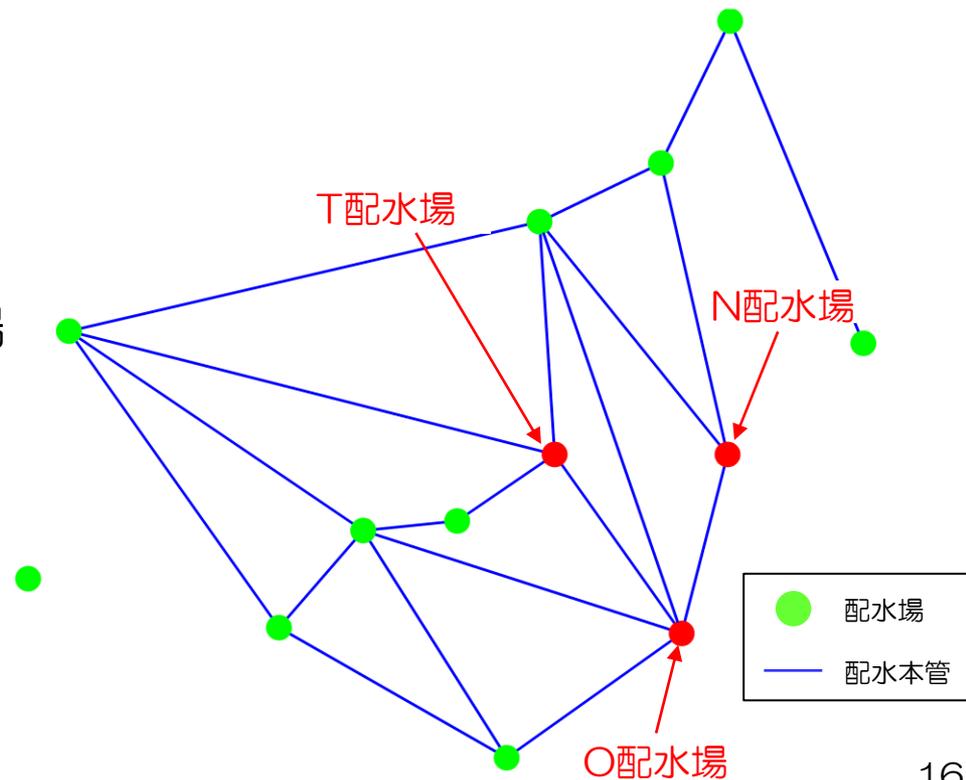
• バックアップする配水場の設定

○配水場から距離の近い配水場

配水ポンプの揚程に余裕がある配水場



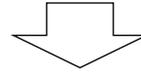
T配水場、N配水場を選定



給水サービス維持方法の検討⑤

• バックアップ水量の設定

算出したO配水場の不足水量から、
T、N配水場それぞれのバックアップ水量を設定

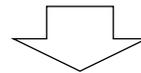


バックアップ水量を加えた配水量が
T、N配水場の配水可能量の範囲内であることを確認

配水場	配水可能量 (m^3/h)	配水量過不足 (m^3/h)		応援時の配水量 (m^3/h)		
		受持水量	過不足	受持水量	バックアップ 水量	配水量
O配水場	2,925	3,720	-795	3,720	-795	2,925
T配水場	6,750	3,923	2,827	3,923	591	4,514
N配水場	3,120	1,350	1,770	1,350	204	1,554

バックアップ水量 795m^3 をT、N配水場の受持水量に基づき按分

バックアップ水量を加えた配水量が配水可能量の範囲内



T、N配水場からのバックアップは可能！

給水サービス維持方法の検討⑦

バックアップした場合でも市内全域への配水が可能かを確認する必要がある
→**管網解析**を実施

配水ポンプ稼働に余裕のある**水圧20m以上の場所**を確保する**3mアップ**

配水管の水圧分布を着色



**T配水場のポンプ圧力を3mアップすれば、
市内全域への配水が可能！！**



属性種別：配水管
検索項目：有効水頭分布図 [m]

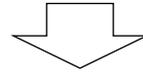
0.00 未満	~	0.00 未満
0.00 以上 ~	20.00 未満	0.00 以上 ~ 20.00 未満
20.00 以上 ~	25.00 未満	20.00 以上 ~ 25.00 未満
25.00 以上 ~	30.00 未満	25.00 以上 ~ 30.00 未満
30.00 以上 ~	35.00 未満	30.00 以上 ~ 35.00 未満
35.00 以上 ~	40.00 未満	35.00 以上 ~ 40.00 未満
40.00 以上 ~		40.00 以上 ~

水が届かない

給水サービス維持方法の検討⑥

バックアップ時に市内全域へ配水が可能なのことが確認できたが…

○配水場へのバックアップ時に平常時と流向が逆転

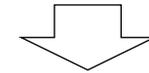


一定以上の流速になると、管内面の錆が剥離

赤水等の濁水が発生



濁水発生リスクを調査

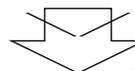


さらなる管網解析の実施を提案

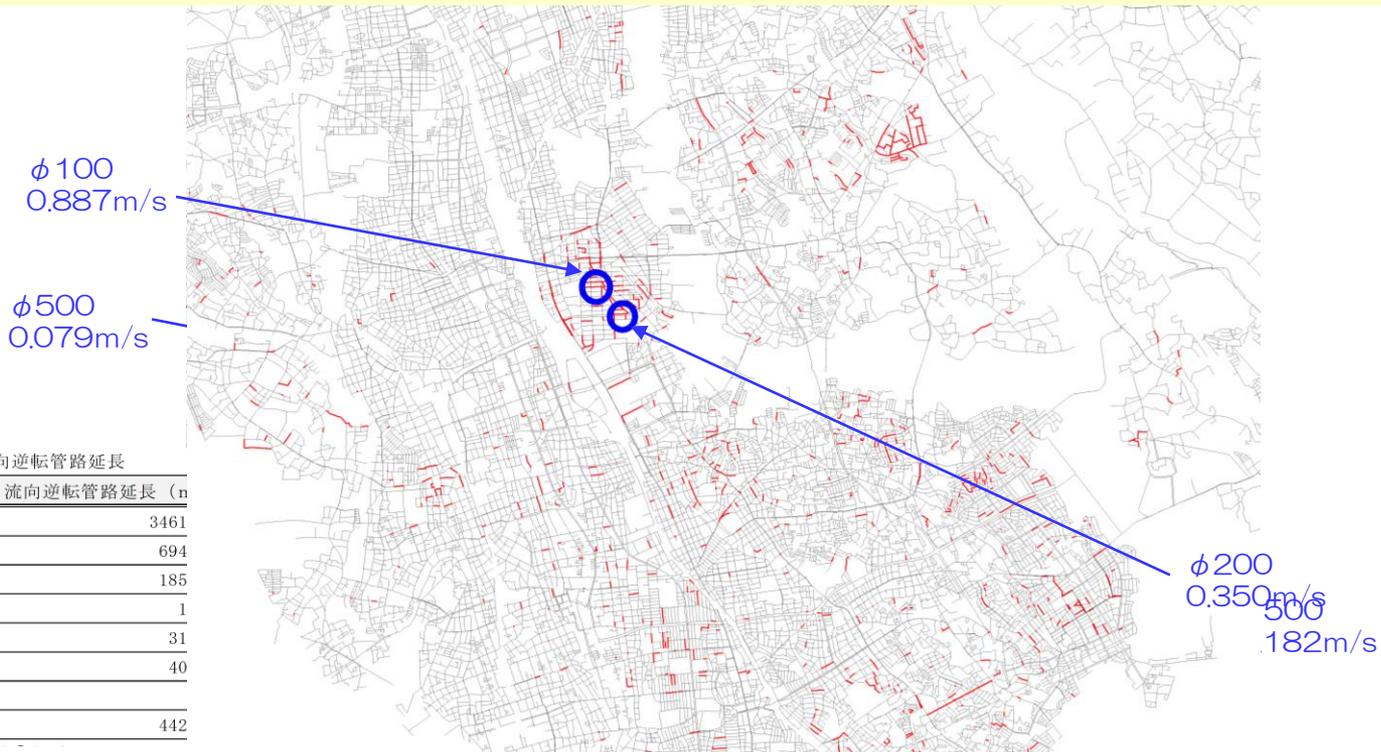
給水サービス維持方法の検討⑨

• 管網解析

口径が小さな管においても逆流が確認され、
濁水の高リスクとなる流速 0.3m/s を超える管が確認された



対策として、「当該管路に対して、
事前排水による洗管作業の実施が必要である」と提案



発表の流れ

1. はじめに
2. 対象施設の概要
3. 配水池改修工事とその影響
4. 給水サービス維持方法の検討
5. まとめ

まとめ

- 工事中に運用できる1号配水池を最大限活用しながら、不足水量を他の配水場からバックアップすることで配水能力低下時にも給水サービスを維持する方法を提案
- 管網解析により濁水の可能性がある管路を明らかにし、「事前に洗管作業を実施する」といった給水サービス低下へのリスク低減対策を提案
- O配水場のように容量の大きく異なる2つの配水池の小さい方単独での運用を検討した事例は少ないため、配水池の容量が大きく、用地のスペースが狭いことが多い他の大都市等にも適切な技術提案が可能

ご清聴
ありがとうございました



スクラップアンドビルドによる浄水場更新工事 の実施設計および施工監理事例

株式会社 極東技工コンサルタント
大阪本社 大阪技術本部
村上 優希

目次



1. はじめに
2. 実施設計業務
3. 施工監理業務
4. おわりに

1. はじめに



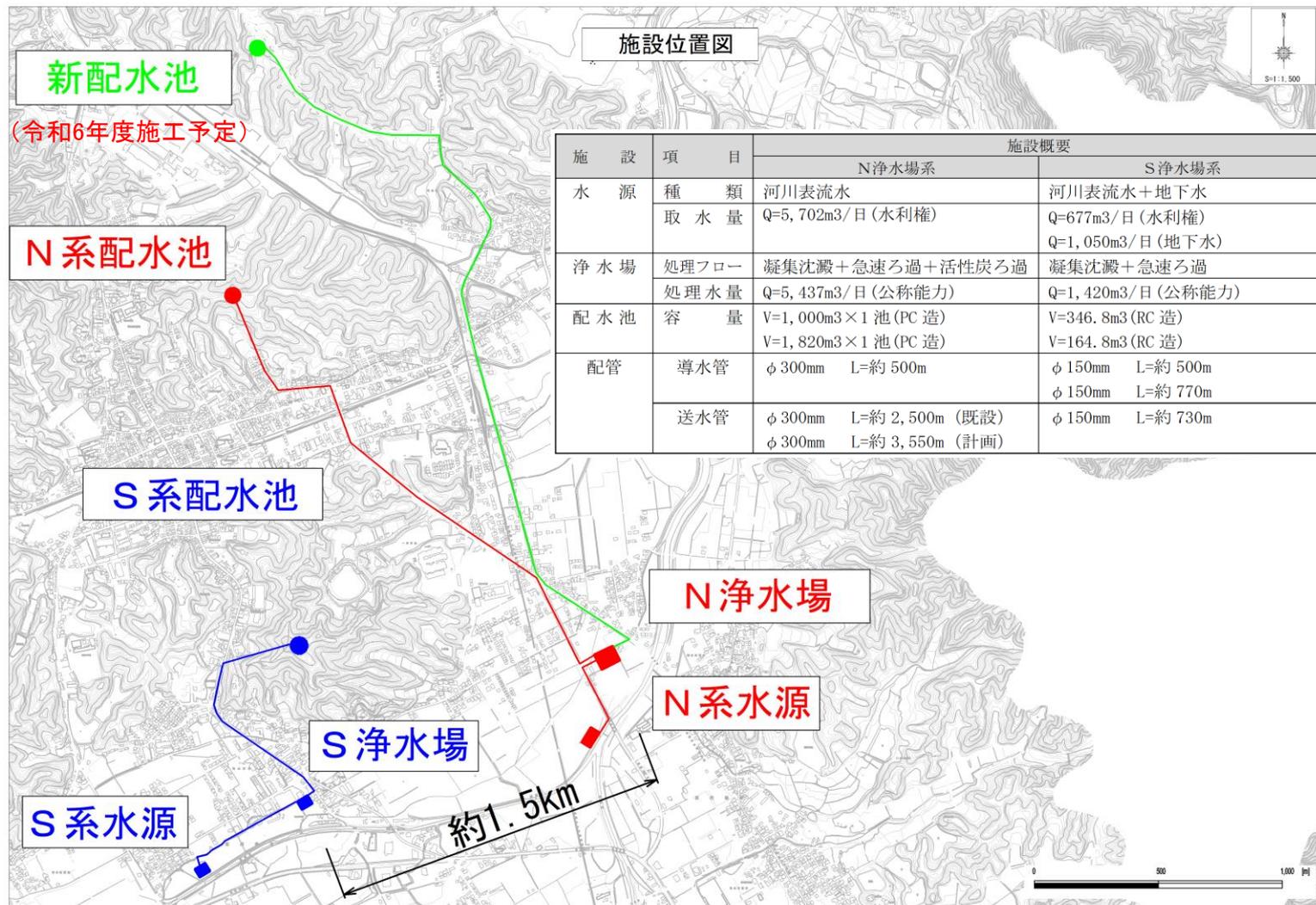
A市水道事業の抱える課題

- ・老朽化対策
- ・災害対策(施設の耐震化など)
- ・人口減少による適正施設規模の見直し

本事例での検討内容

- ・施設の統廃合(S浄水場系+N浄水場系)
 - 施設能力の設定および水運用の最適化の検討
- ・限られた用地内での施設更新
 - 同一敷地内でのスクラップアンドビルドによる浄水場の更新検討

1. はじめに

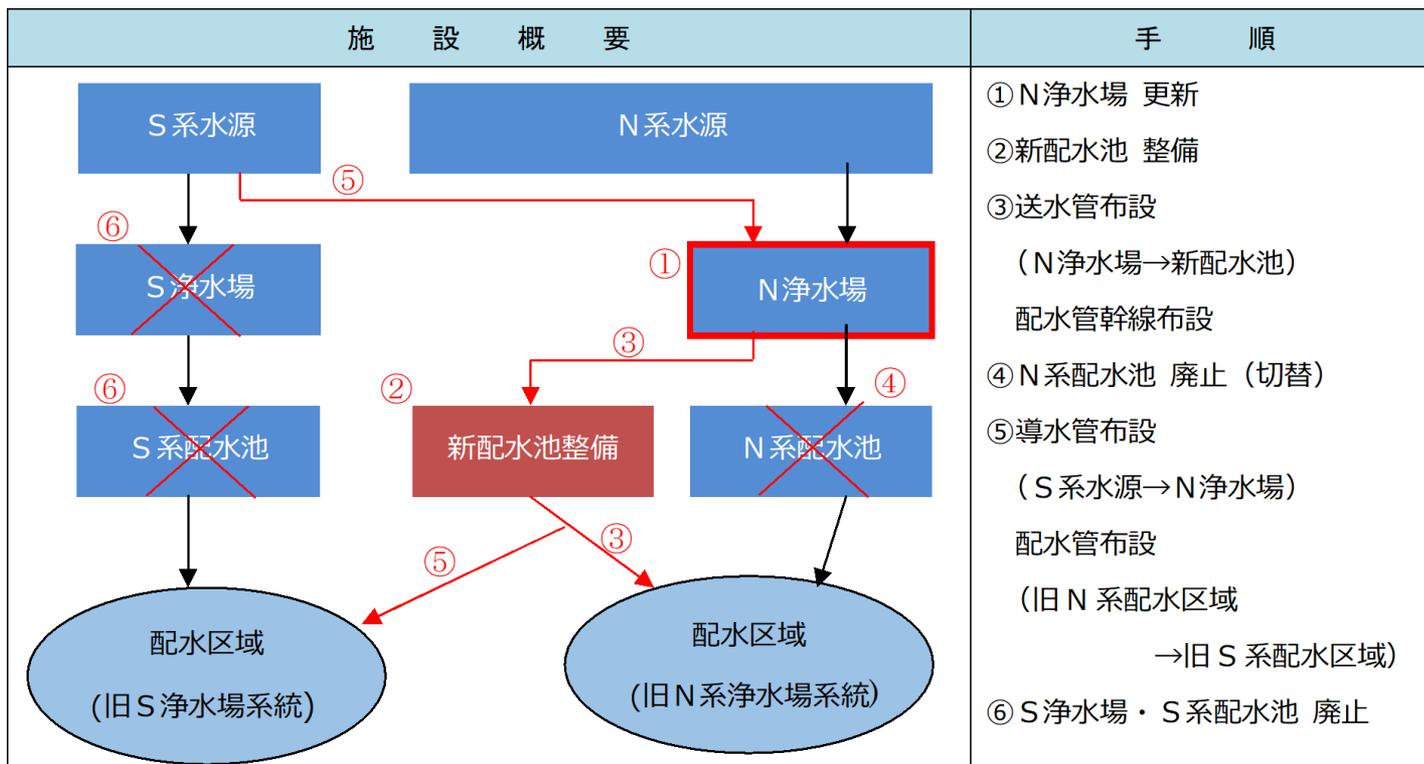


2. 実施設計業務



2-1. 事業概要

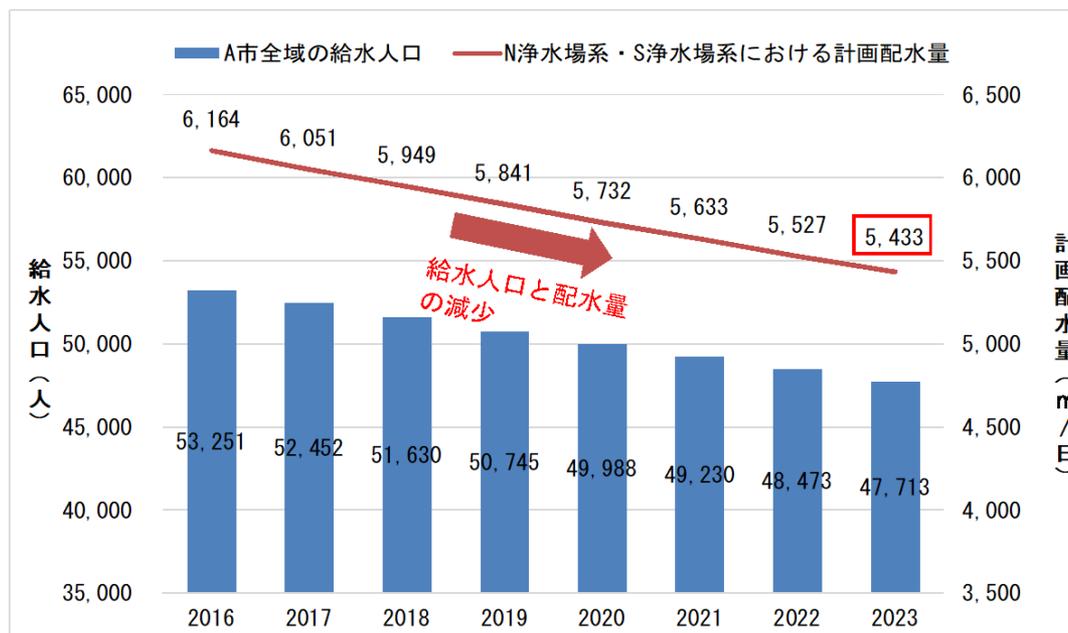
水源から配水施設に至る水道システム一連の施設を対象に検討を行った。



2. 実施設計業務



2-2. 施設能力の設定



N系・S系における需要予測に基づく、供用開始予定の2023年には必要な計画一日最大給水量は5,433m³/日であり、更新後の施設能力の適正化を図ることも考えられたが、将来的なN系・S系以外の他システムへの拡張などを考慮し、安定水利権水量(Q=6,379m³/日)を施設能力と設定した。

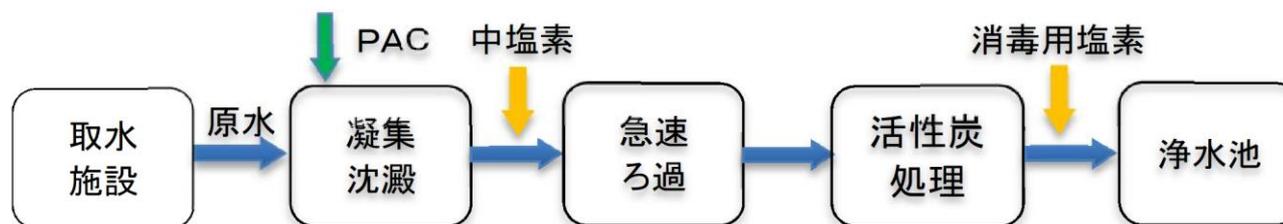
2. 実施設計業務



2-3. 浄水フロー

既設と同様に基本システムを凝集沈澱＋急速ろ過とし、原水中の色度・臭気物質等の対策として、活性炭処理を後段に組み合わせるものとした。

水質面の課題	対策・措置
◆ クリプトスポリジウム等	◆ 「ろ過設備」を設け、濁度管理することで対応可能
◆ 濁度（高濁度）	◆ 基本処理方式を「凝集沈澱＋急速ろ過」で対応可能
◆ 有機物等（少量）	◆ 基本処理方式を「凝集沈澱＋急速ろ過」で対応可能
◆ 色度（臭気物質等）	◆ 活性炭処理を後段に組み合わせて対応可能



2. 実施設計業務



2-4. 水位高低

条 件

- ・限られた用地内での更新を行うため、**大規模な整備**ができない。
- ・既設および新設において施設毎に供用切替を行うため、**既設の水位から大幅に変えることができない。**



検討内容

- ・ろ過設備(ポンプ)の見直し
 - ポンプ設置箇所最適化の検討
- ・浄水池の構造種別
 - 既存構造物と水位を合わせるために設置形態は、半地下構造とし、最も合理的な構造種別の検討

2. 実施設計業務



2-4. 水位高低

(1)ろ過設備

【既設の浄水工程】

ろ過ポンプ

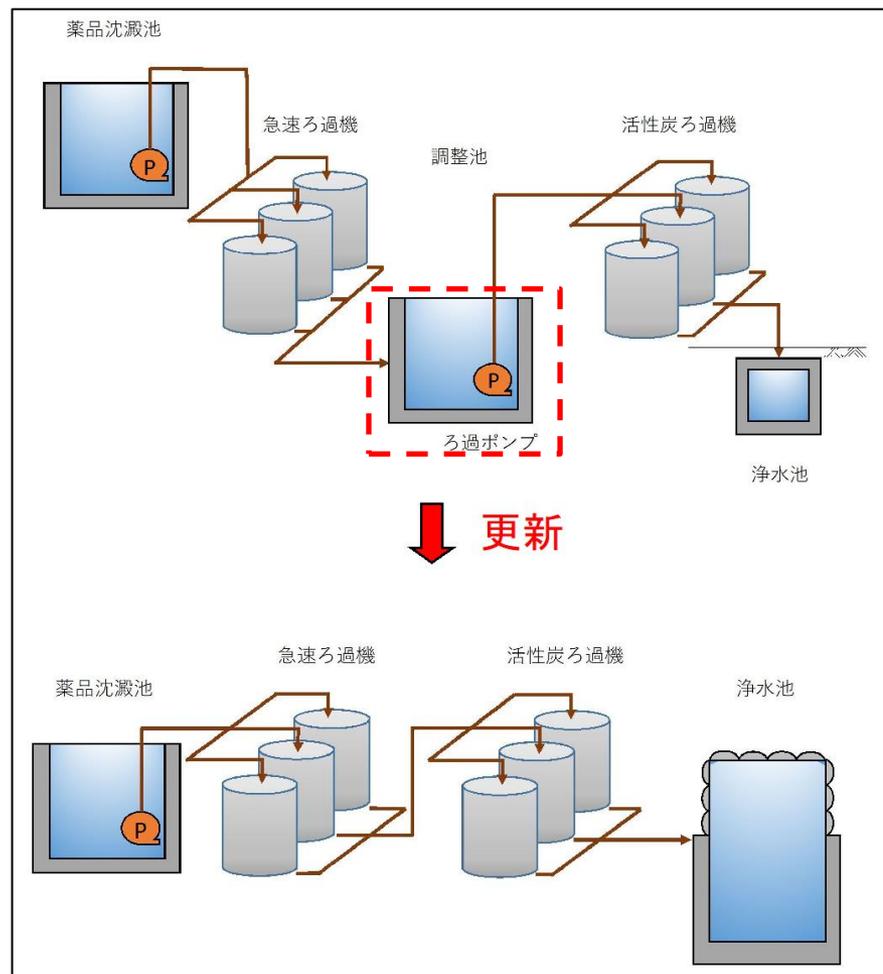
+ 活性炭ろ過機用ポンプ

(処理水槽に貯水した後)



【新設の浄水工程】

ろ過ポンプの圧力にて急速ろ過機と活性炭ろ過機を通水する。



2. 実施設計業務



2-4. 水位高低

(2) 浄水池

- ・構造種別：RC造・PC造・鋼製・FRP製
- ・形状：矩形・円形

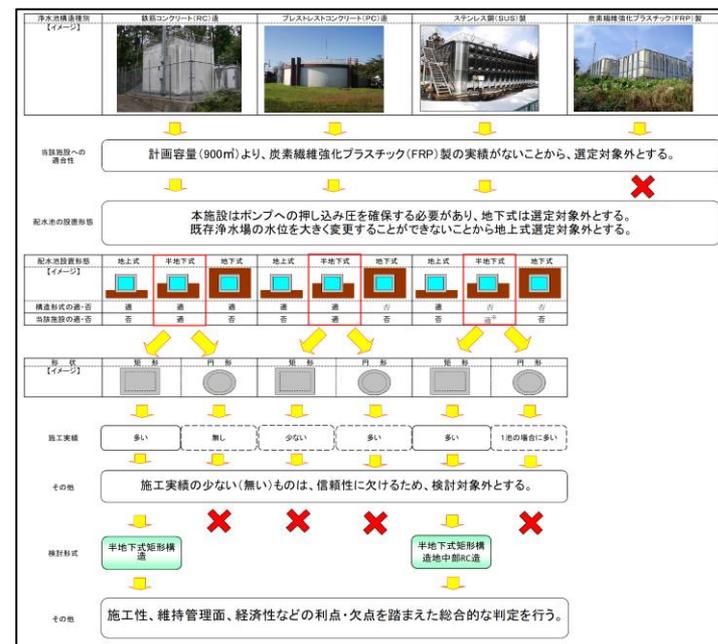


本施設への適合性等より一次選定

RC造・SUS製の矩形が選定された。



項目	RC造	SUSパネル型/地中部RC造
施工性	○	○
水密性	△	○
維持管理性	△	○
経済性	イニシャルコスト：○ ランニングコスト：× トータルコスト：△	イニシャルコスト：△ ランニングコスト：◎ トータルコスト：○
評価	△	○



SUS製矩形を採用

2. 実施設計業務



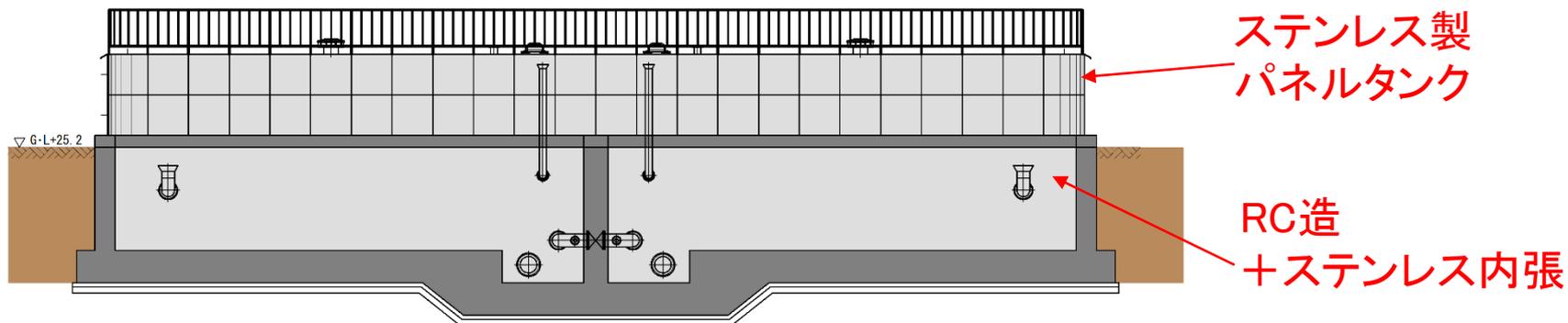
2-4. 水位高低

(2) 浄水池

- ・地下部: 鉄筋コンクリート造 (RC造) ステンレス内張工法
- ・地上部: ステンレス製パネルタンク



防食塗装の再塗装が不要となり、維持管理性・衛生性が大きく改善されることが特徴となる工法を採用した。



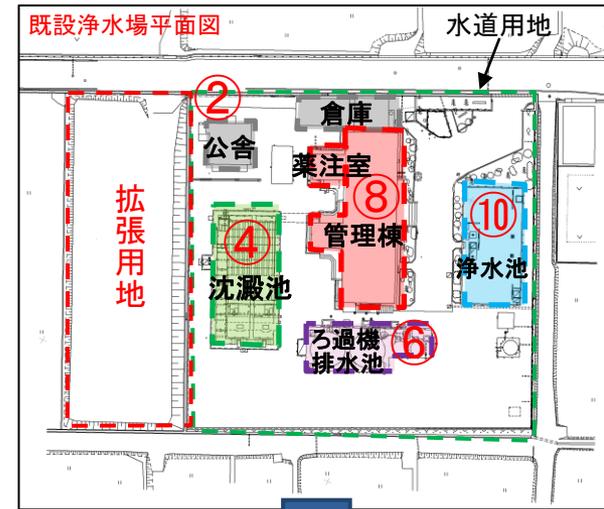
2. 実施設計業務



2-5. 更新手順

既設浄水場隣接地を用地拡張し、そこに新設構造物を築造→既設構造物の撤去→跡地に新設構造物の築造を繰り返すものであった。

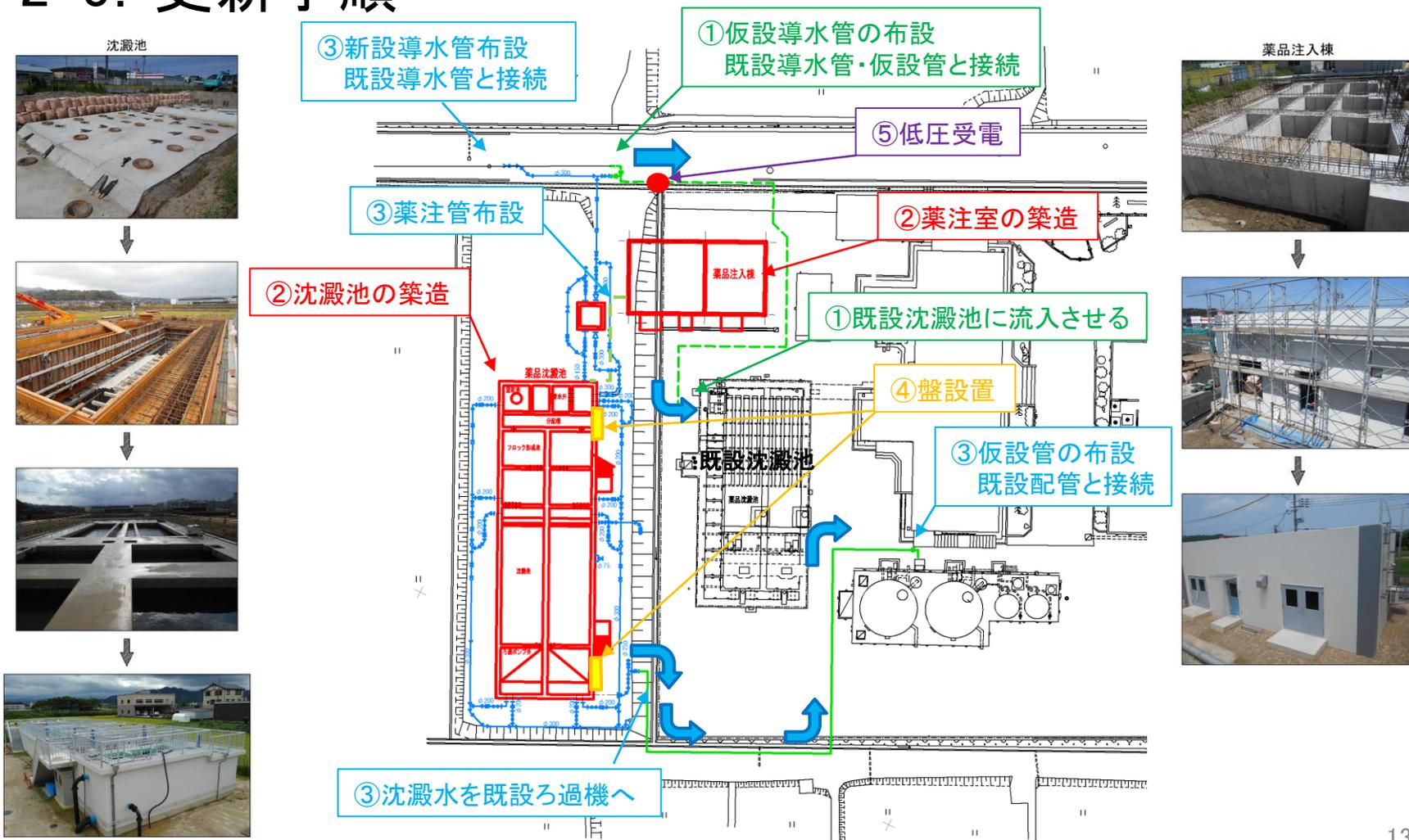
この中で新設構造物への切替において特に注意が必要であった。



2. 実施設計業務



2-5. 更新手順



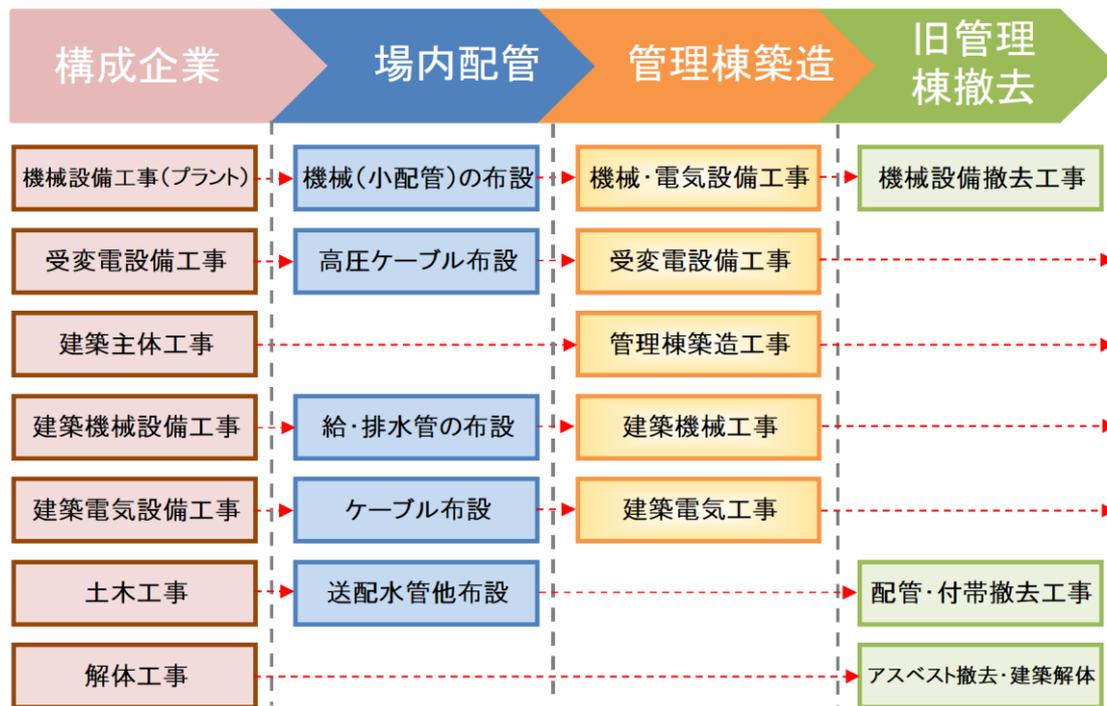
3. 施工監理業務



3-2. 施工業者間の調整

管理棟築造から既設管理棟撤去の間には、最大7業者が現場内での作業を行っており、各施工業者間で密な調整が必要となった。

極力同時施工が可能なように工種間の工程管理を徹底し、最大で週1回の工程会議を行うことで他工種間の調整を円滑に行った。



3. 施工監理業務



3-3. 課題解決の事例

予期せぬ杭が埋設されており、新設杭の支障となった。工事を止めれないため、安全かつ迅速に対応を図る必要があった。



杭の劣化状況および支持層から杭の杭長を想定し、杭の引き抜き工法を検討した。



地元の施工業者でも急遽段取りが可能な施工機種で施工する必要があり、最も簡便な輪投げ工法で施工を行い、無事引き抜くことができた。

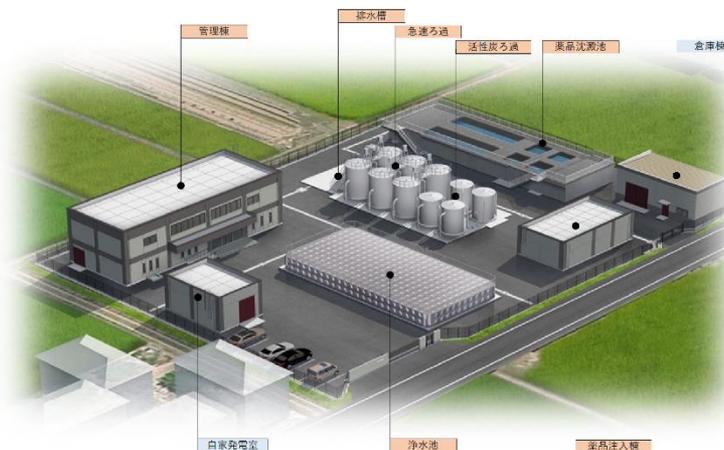


4. おわりに



狭小な用地内での浄水場全面更新工事という特徴的な現場で、スクラップアンドビルドを繰り返す難しい工事のため、工程調整や段階的な切替えが重要となった。

施工監理業務を通じて、施工中の問題点や課題等を解決するための現場力が必要であり、不測の事態とならないために設計段階で綿密な施工計画を検討し、安全性を重視していく必要があると感じた。



N浄水場更新工事工程表

工種	年度						
	H29	H30	R1	R2	R3	R4	R5
既設管理人公舎 取壊し	■						
薬品沈殿池 築造工事		■					
薬品注入棟 築造工事		■					
既設薬品沈殿池(倉庫棟) 取壊し			■				
脱水槽 築造工事			■				
急速・活性炭ろ過機 築造工事			■				
既設急速・活性炭ろ過機 取壊し				■			
管理棟 築造工事				■			
既設管理棟 取壊し					■		
浄水池 築造工事						■	
既設浄水池 取壊し							■
場内整備(浸水対策含む)工事							■
試運転調整							■

■ 実施
■ 計画

ご清聴ありがとうございました。

雨水排水施設整備が概成した地区における 短時間強雨による浸水原因の考察

中日本建設コンサルタント株式会社
水工技術本部 第3部 第2課 村松 航希

発表内容

1.はじめに

- ・社会的背景
- ・対象区域の概要、今回の浸水被害について

2.浸水箇所の現状

- ・雨水排水施設の整備状況等
- ・問題の抽出

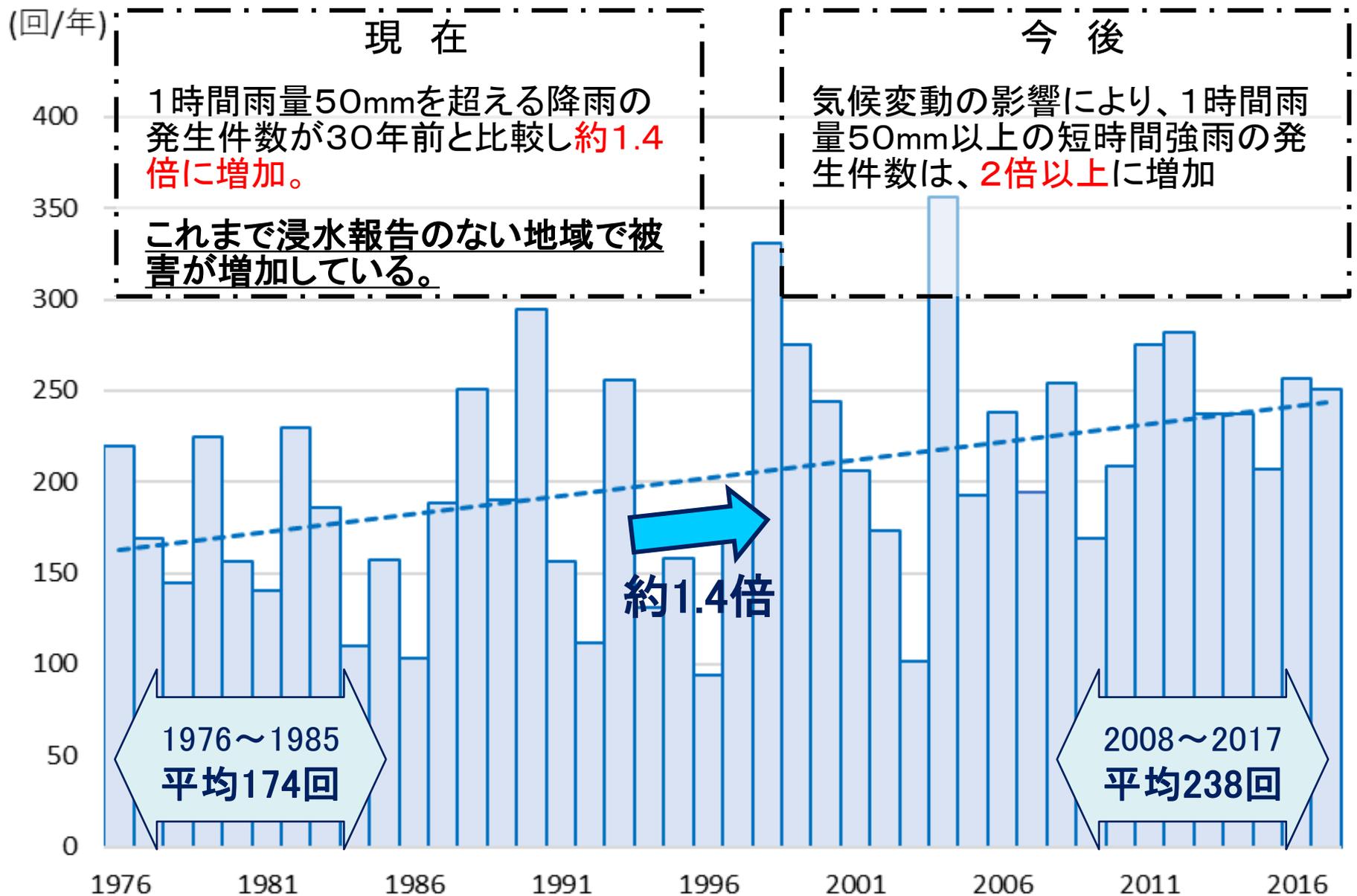
3.浸水シミュレーションによる検証

- ・モデル化の概要、課題と対応
- ・シミュレーションによる検証

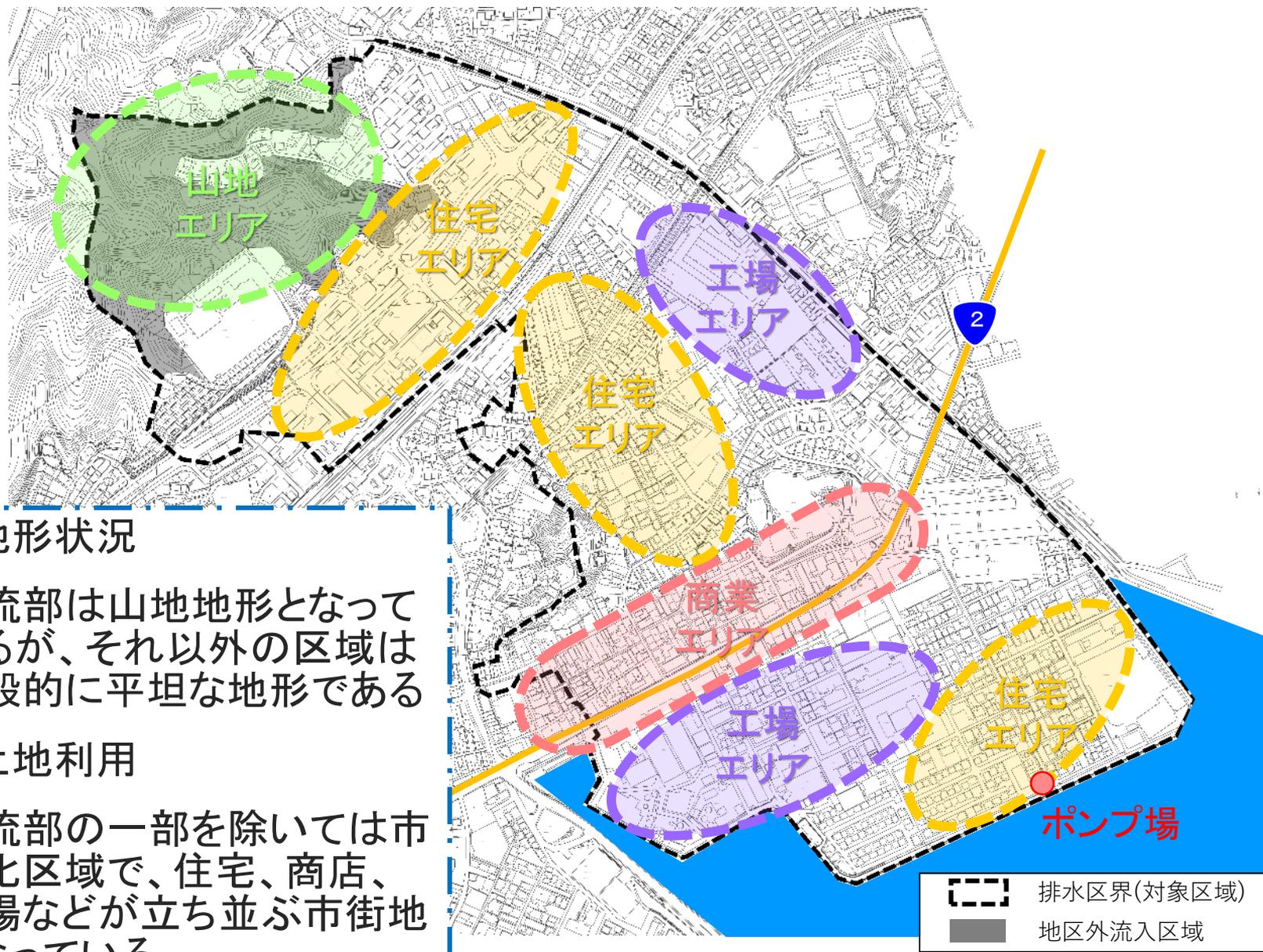
4.まとめと評価

1.はじめに

～社会的背景～



～対象区域の概要～



●地形状況

上流部は山地地形となっているが、それ以外の区域は全般的に平坦な地形である

●土地利用

上流部の一部を除いては市街化区域で、住宅、商店、工場などが立ち並ぶ市街地となっている

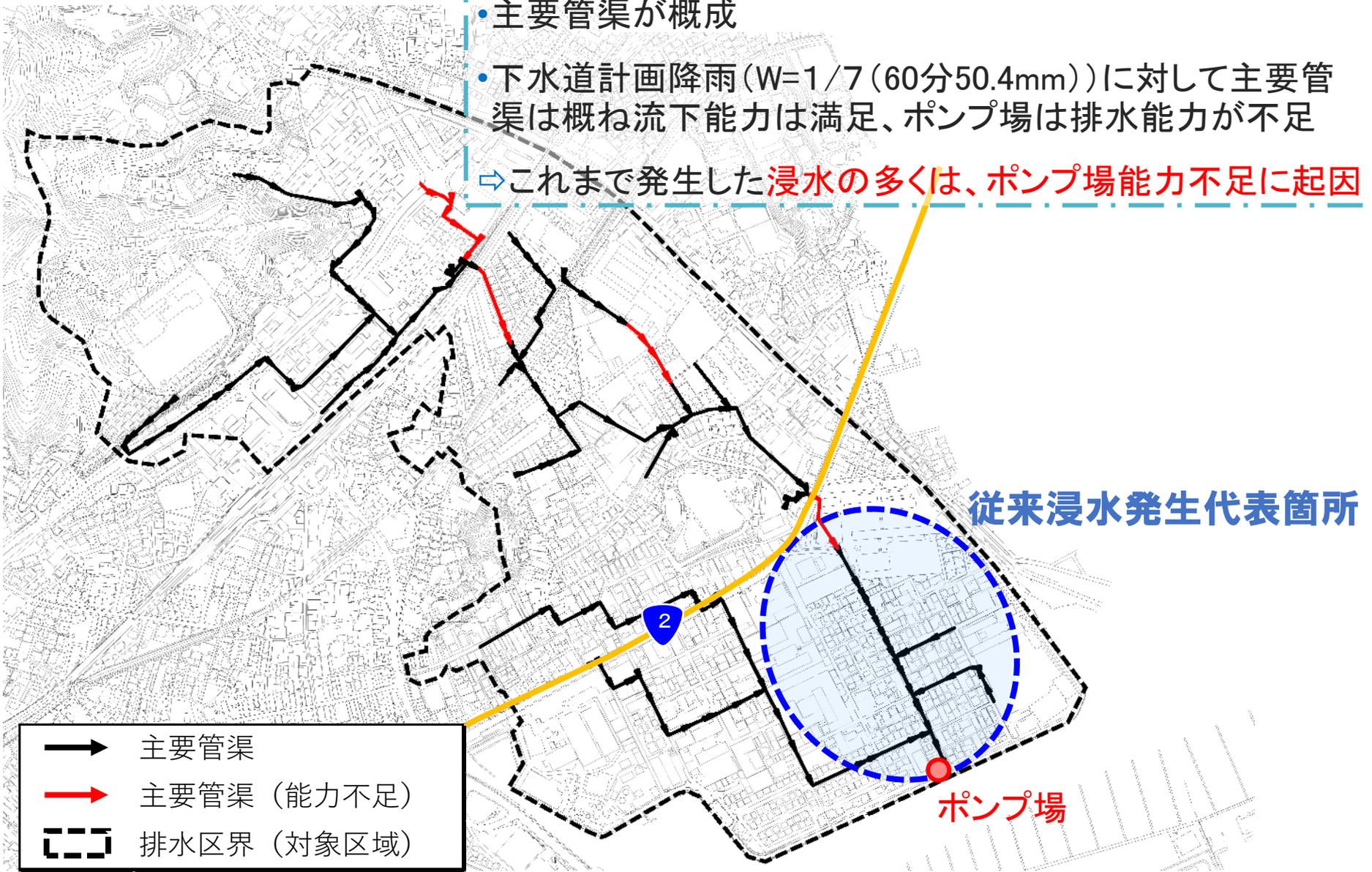
排水区界(対象区域)
地区外流入区域

～対象区域の概要～

【雨水排水施設の整備状況】

- 主要管渠が概成
- 下水道計画降雨(W=1/7(60分50.4mm))に対して主要管渠は概ね流下能力は満足、ポンプ場は排水能力が不足

⇒これまで発生した**浸水の多くは、ポンプ場能力不足に起因**



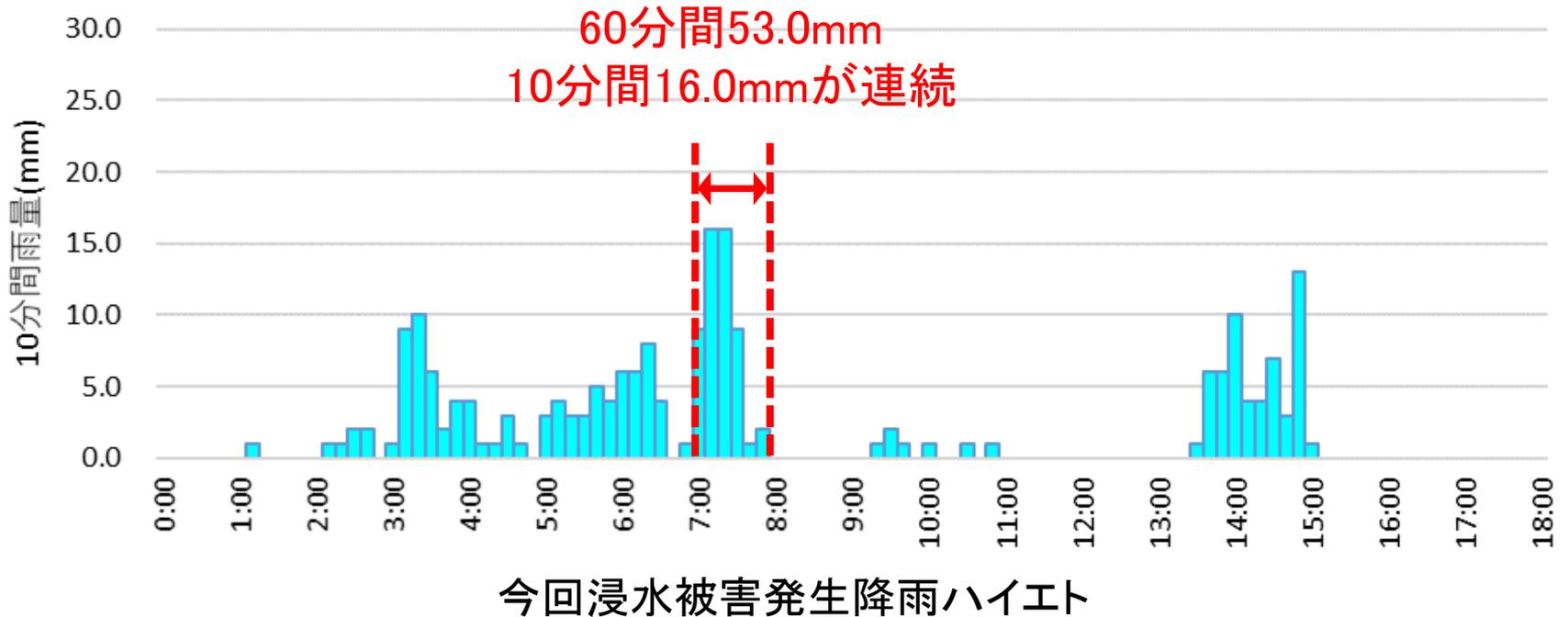
	主要管渠
	主要管渠 (能力不足)
	排水区界 (対象区域)

従来浸水発生代表箇所

ポンプ場

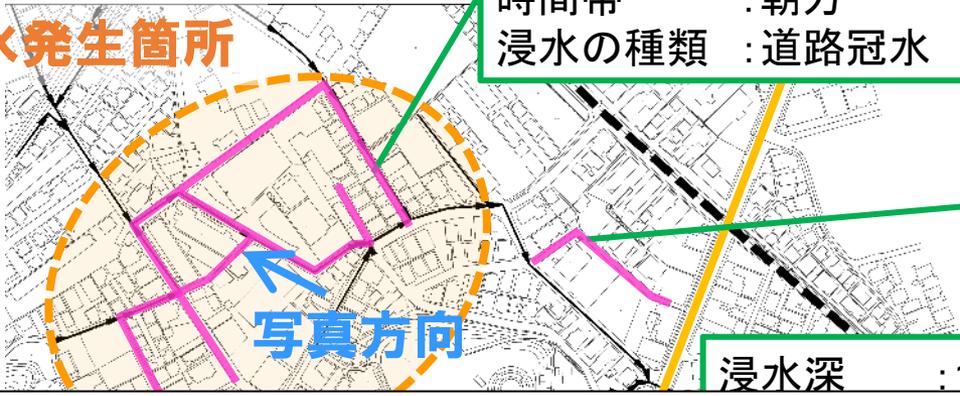
～今回の浸水被害～

- 時間雨量53mm (10分間16.0mm (降雨強度96.0mm/hr)が連続) の短時間強雨により浸水が発生
- ポンプの排水能力に余裕あり

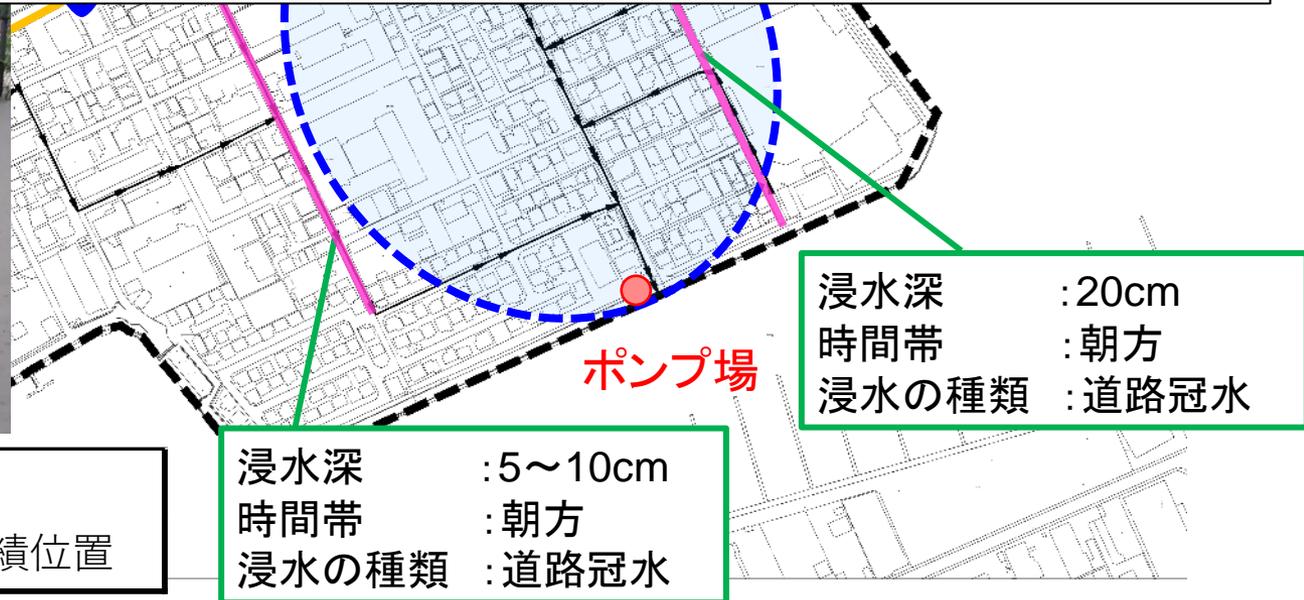


～今回の浸水被害～

今回浸水発生箇所



浸水シミュレーションにより浸水原因の検証・分析



→ 主要管渠

■ 今回発生浸水実績位置

2.浸水箇所現状

～管渠整備・ポンプ整備状況～

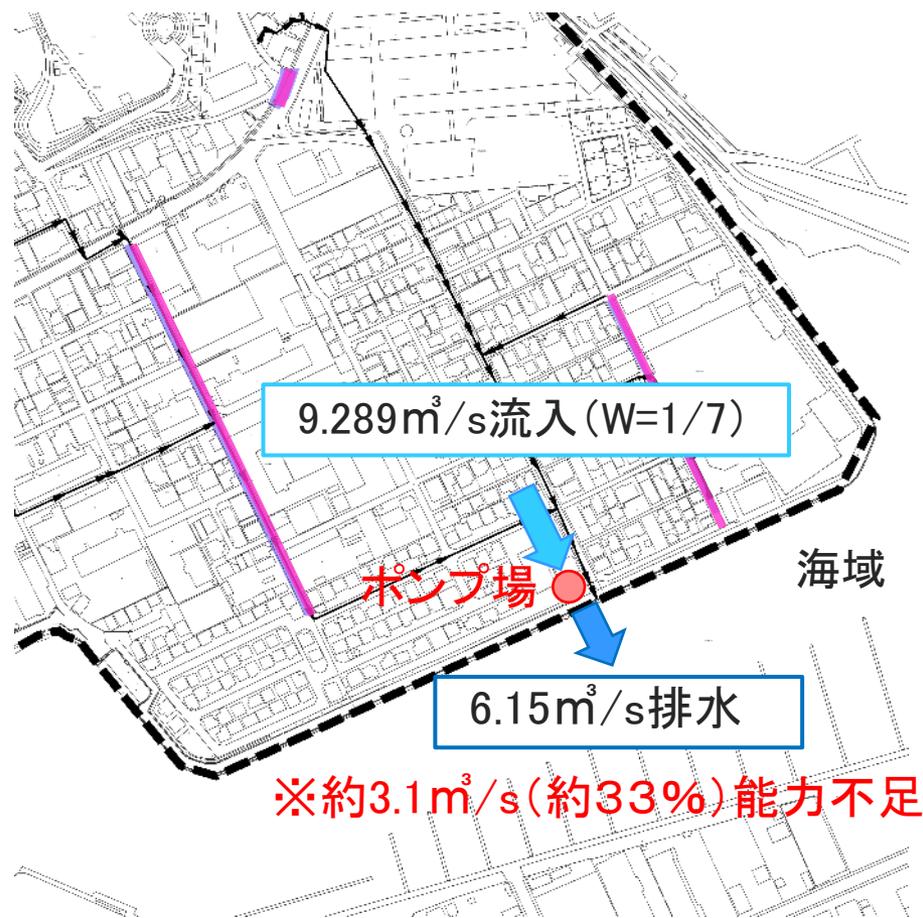
(1) 管渠整備状況

- 浸水箇所近辺に位置する主要管渠は、下水道計画降雨($W=1/7$ (60分 50.4mm))に対し、概ね流下能力を満足

(2) ポンプ整備状況

- 対象排水区は、区域内の雨水は全量ポンプ場へ流入するポンプ排水区域
- 3台($6.15\text{m}^3/\text{s}$)のポンプにより雨水排水
- 計画降雨におけるポンプ場への雨水流出量 $9.289\text{m}^3/\text{s}$ に対して能力不足

⇒ 対象区域は管渠能力が概ね満足するため、従来排水区内で発生した浸水のほとんどが、ポンプ場能力不足に起因するもの。主に国道2号南側にて発生



～雨水枡整備状況～

(3) 雨水枡整備状況

今回発生 of 浸水について

・従来発生のない排水区中流域で浸水が発生し、下流域では規模が小さい

⇒下流域まで雨水が達していない(管渠に流入していない)??

地表の雨水を集水し管渠へ流入させる雨水枡の設置状況・集水範囲について調査

机上調査・現地調査により今回の浸水箇所周辺における雨水枡設置位置を確認



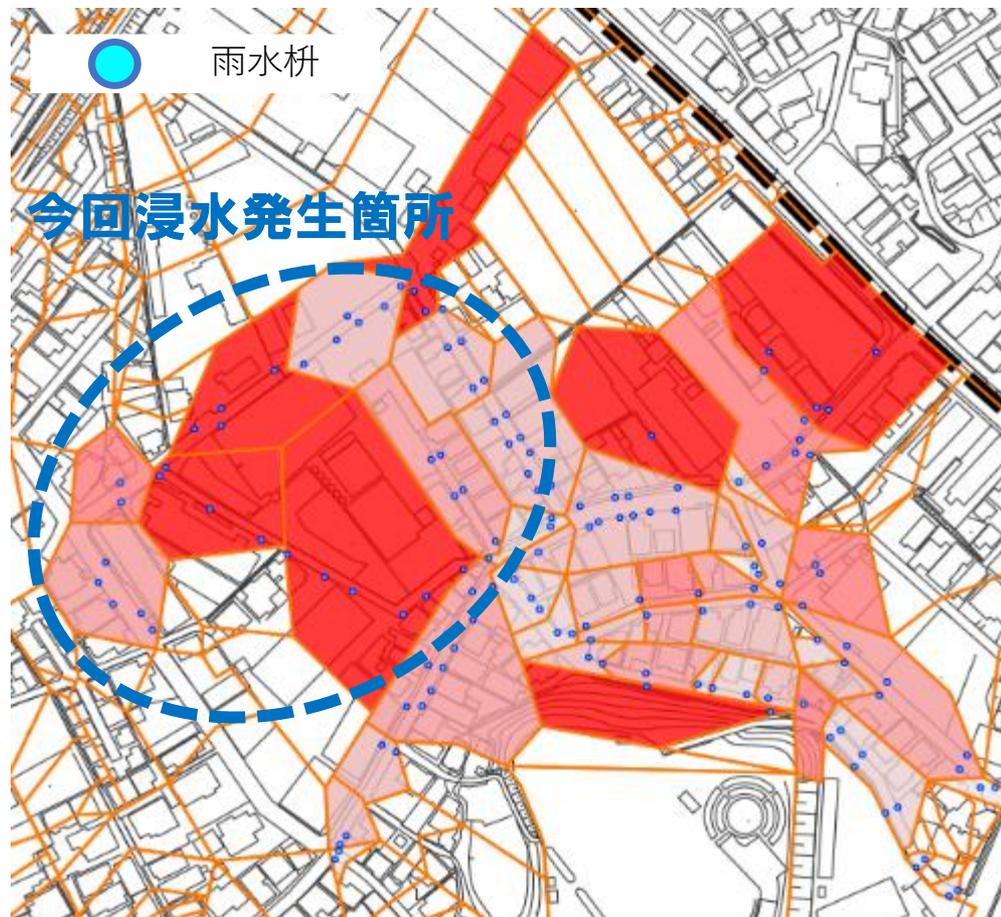
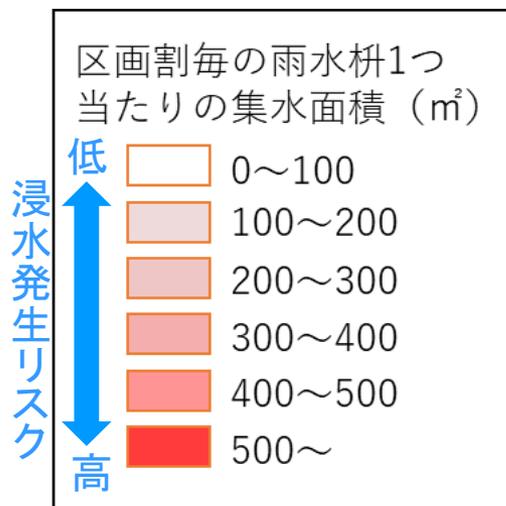
管渠の集水範囲を示す区画割毎に、雨水枡1つ当たりの集水面積を算出



浸水箇所における雨水枡毎の集水範囲を把握

【参考】雨水枡の設置間隔は一般に20m程度(道路土工要綱H21)

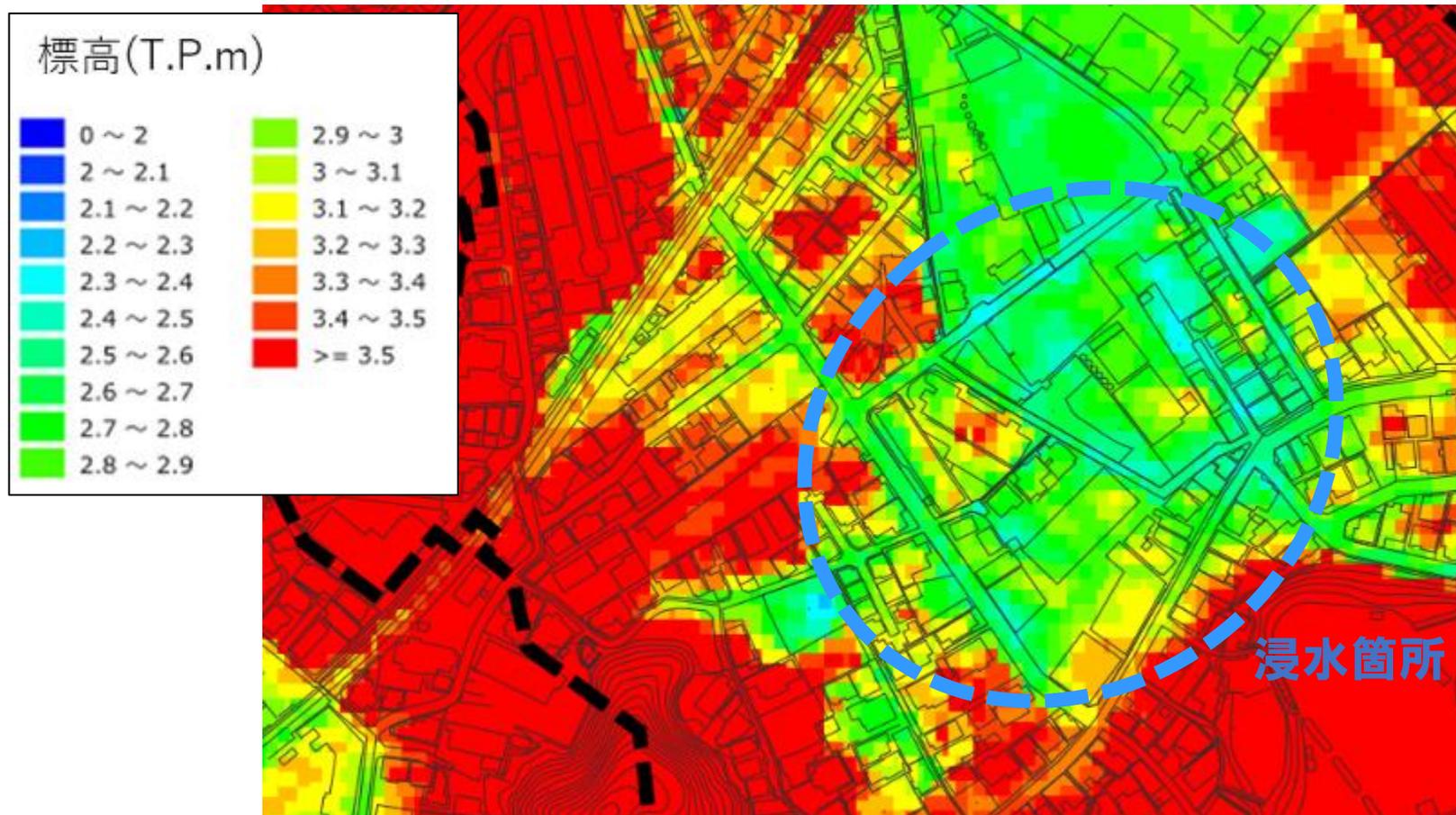
～雨水枡整備状況～



- 一般的な間隔とされている20m程度で設置されているが、道路の両側や片側のみと、場所によって設置状況が異なる
- 浸水箇所は周囲と比較しても雨水枡1つ当たりの集水範囲が大きく、**雨水流出の集中による浸水発生リスクが高いと推察される箇所が密集している**

～地形状況～

(4) 地形状況

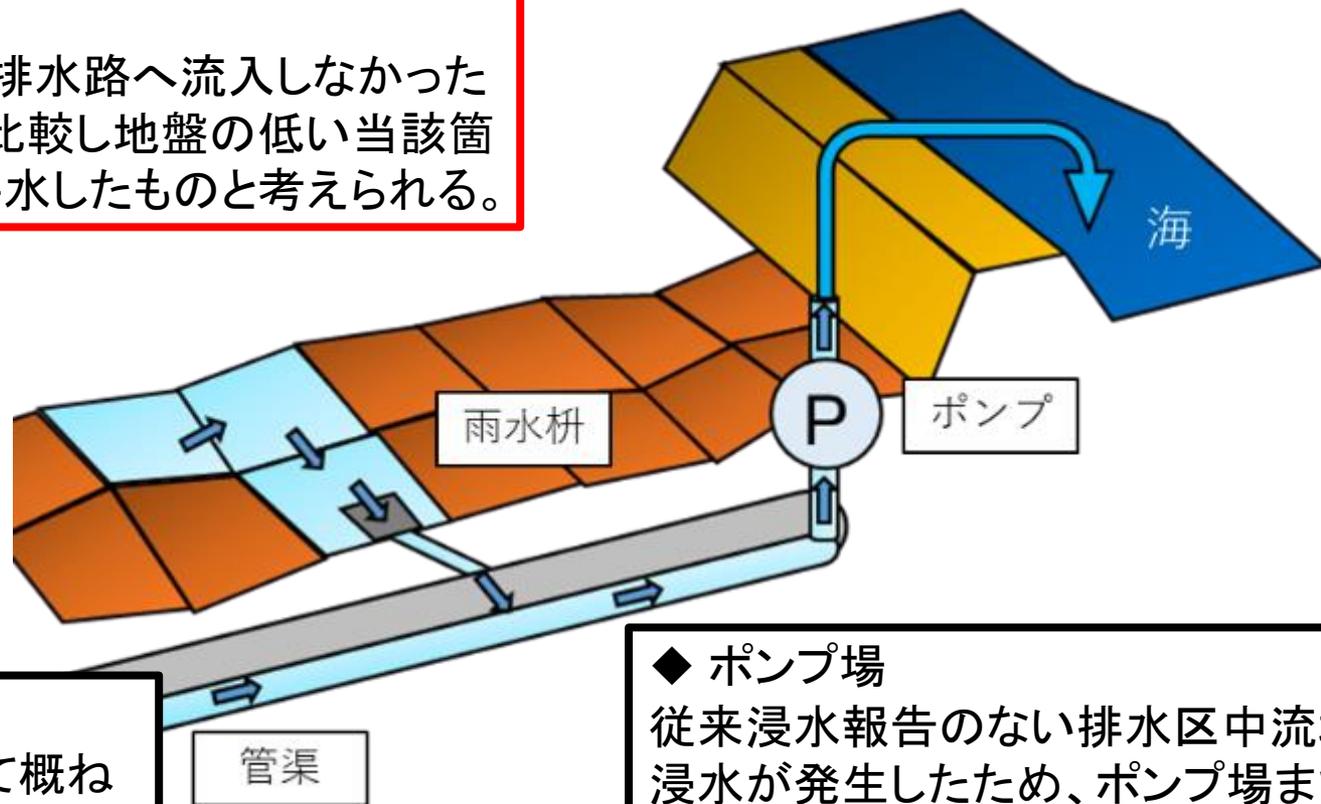


- 浸水箇所は周囲の地盤と比較し、地形が低い
⇒ 雨水の溜まりやすい凹地地形となっている

～問題の抽出～

◆ 雨水枡

集水機能が弱く排水路へ流入しなかった雨水が、周囲と比較し地盤の低い当該箇所へ一時的に湛水したものと考えられる。



◆ 雨水管渠

下水道計画に対して概ね流下能力を満足している。管渠能力不足による浸水ではないと考えられる。

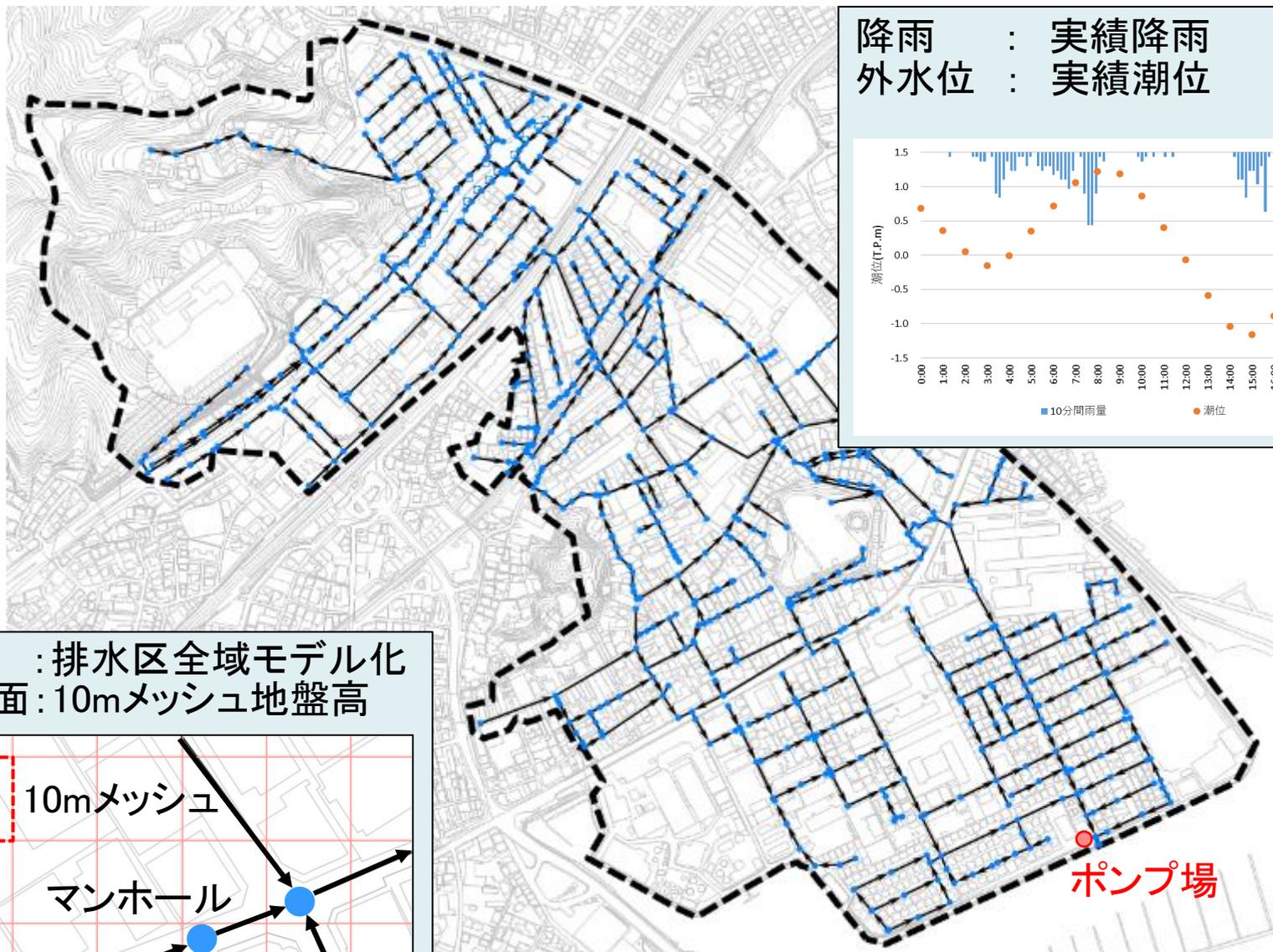
◆ ポンプ場

従来浸水報告のない排水区中流域で浸水が発生したため、ポンプ場まで達する流量が減少し、ポンプ場の能力不足が生じなかったことが考えられる。

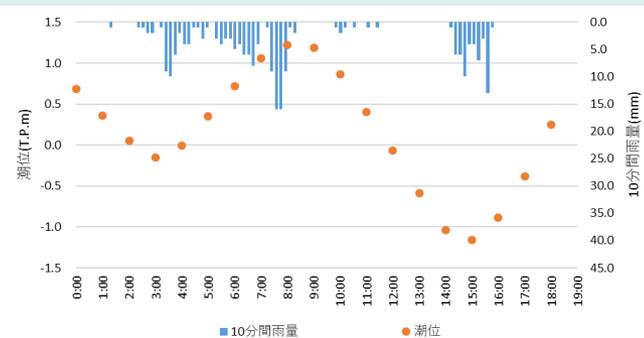
雨水枡の集水機能不足による浸水の発生を検証・分析するため、
流出解析モデルを用いて浸水シミュレーションを実施

3. 浸水シミュレーションによる検証

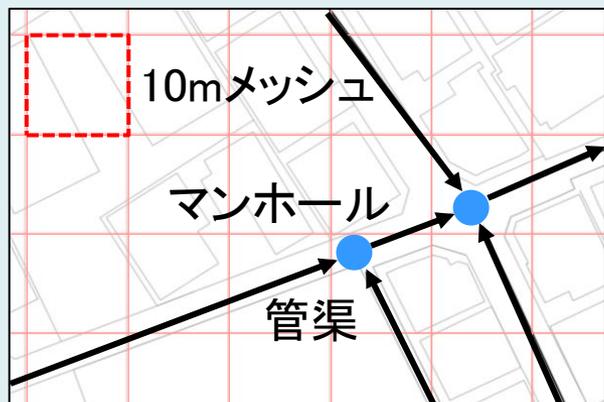
～シミュレーションモデル概要～



降雨 : 実績降雨
外水位 : 実績潮位



管渠 : 排水区全域モデル化
地表面 : 10mメッシュ地盤高



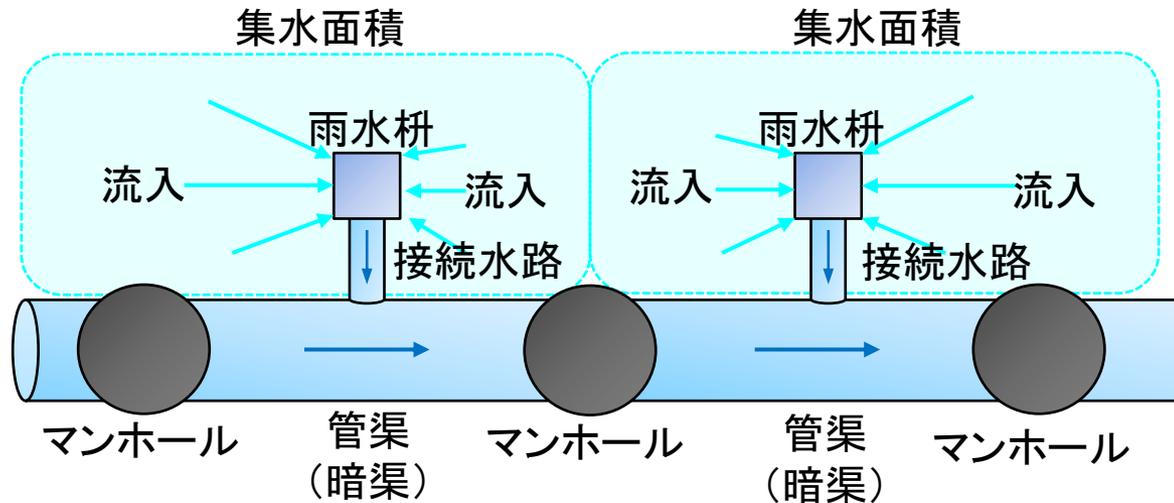
ポンプ場

ポンプ場 : 稼働実績
排水ゲート : ポンプ場稼働時間
内水位 < 外水位で閉

～モデル化の課題と対応～

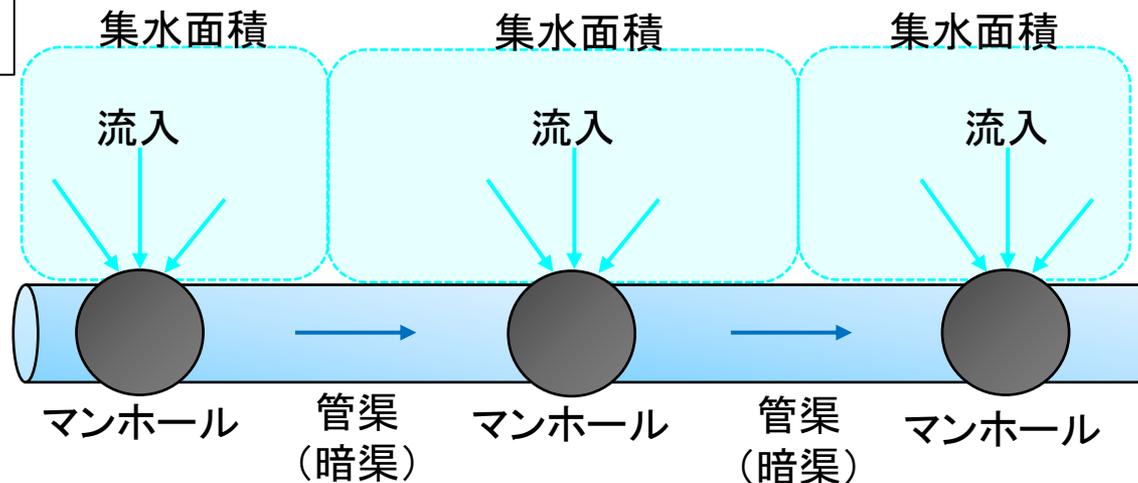
課題 雨水枡の集水能力を考慮する方法の立案

現実



モデル化

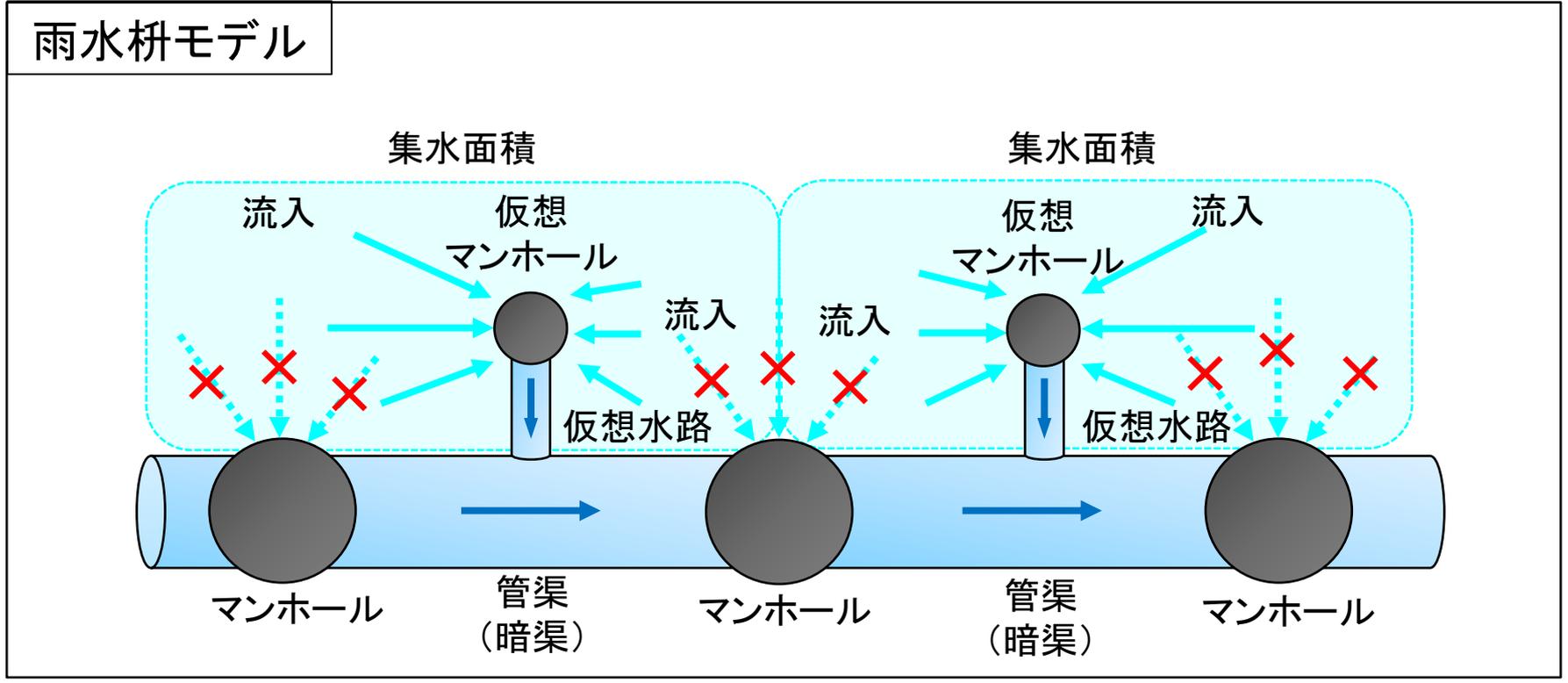
通常モデル



※流量は全て、マンホール内から管渠に流れ込むと仮定

～モデル化の課題と対応～

対応 雨水枡モデルの構築



雨水枡及び接続水路を、仮想マンホール・仮想水路として管渠モデルへ反映

～シミュレーションモデル結果～

雨水枡の整備状況による集水機能の影響を確認するため、通常モデル、雨水枡モデルそれぞれを用いて結果の比較を行った。

浸水原因の検証・分析フロー

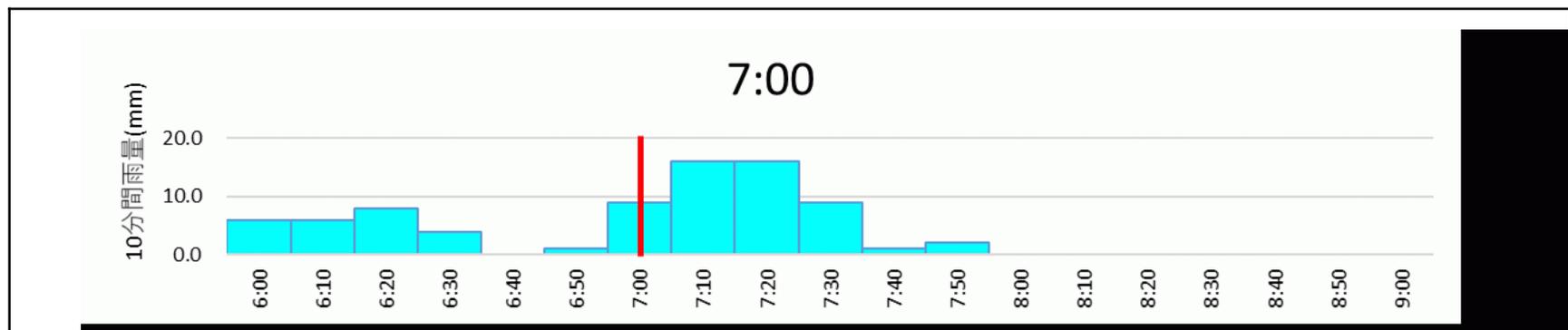
通常モデル・雨水枡モデルによる浸水シミュレーションの実施

今回浸水箇所及び、従来浸水箇所それぞれで、
シミュレーション結果の比較・実現象との整合確認

比較結果より浸水メカニズムの明確化

～シミュレーションモデル結果～

今回の浸水箇所 実績浸水深: 30cm

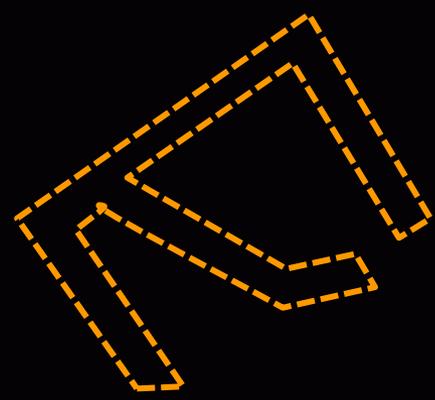


通常モデル

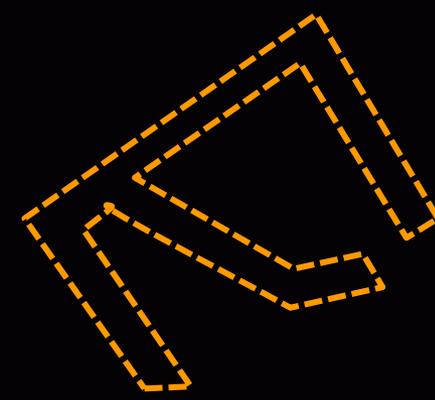
浸水深	
■	50cm以上
■	20~50cm
■	5~20cm
■	0~5cm

雨水枡モデル

浸水深	
■	50cm以上
■	20~50cm
■	5~20cm
■	0~5cm



浸水実績箇所



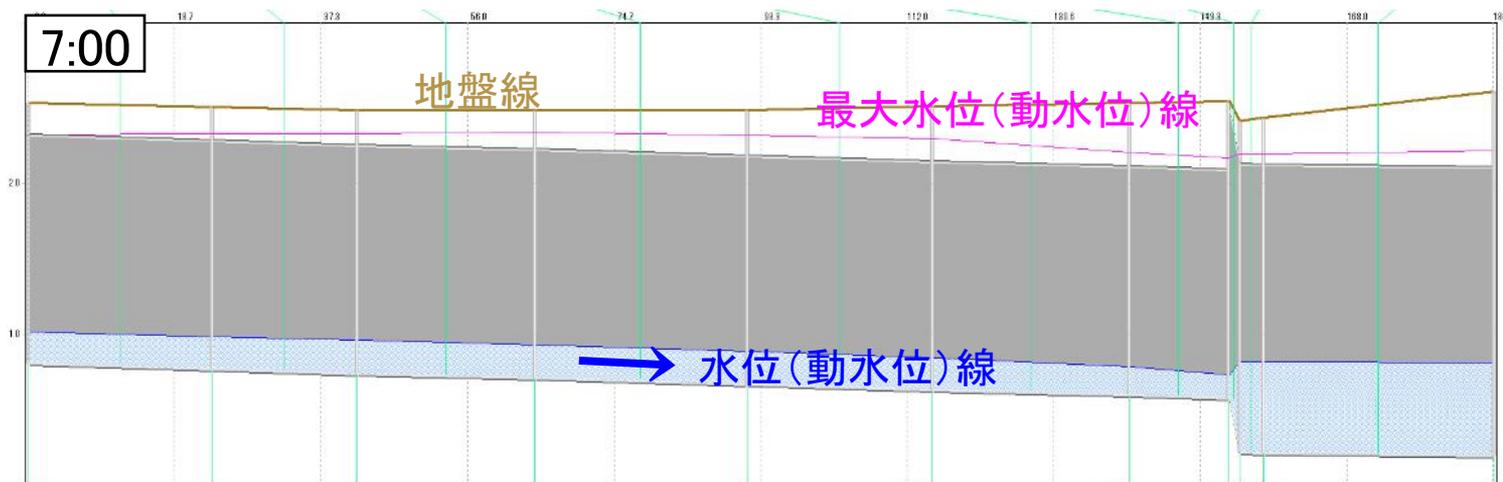
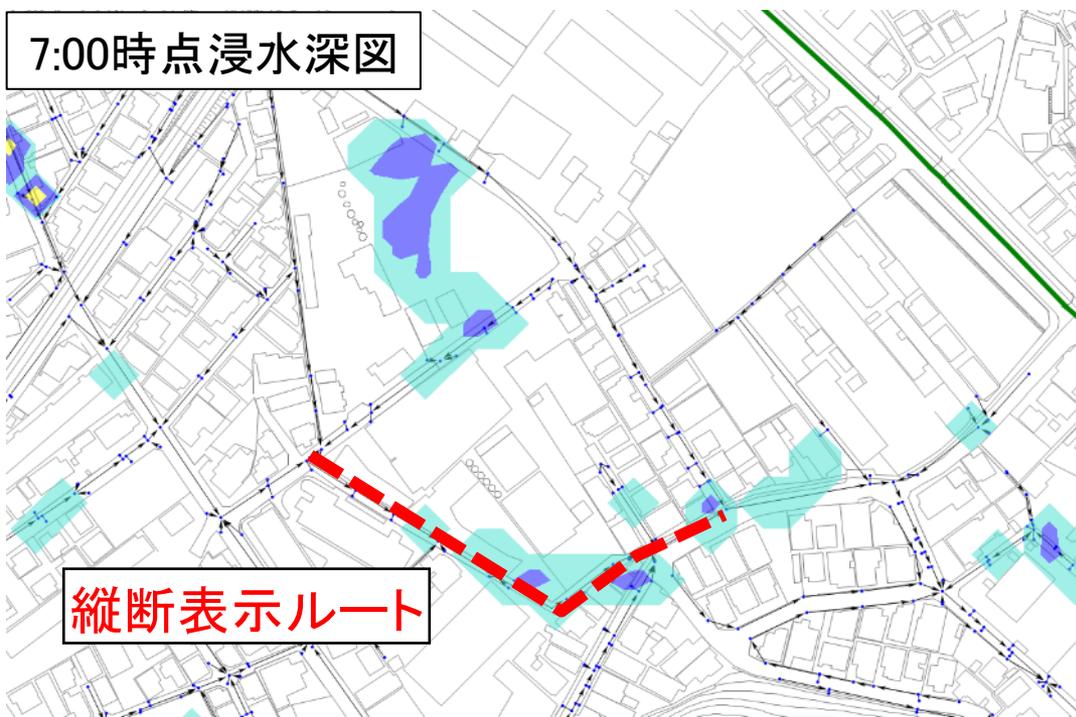
浸水実績箇所

～シミュレーションモデル結果～

今回の浸水箇所

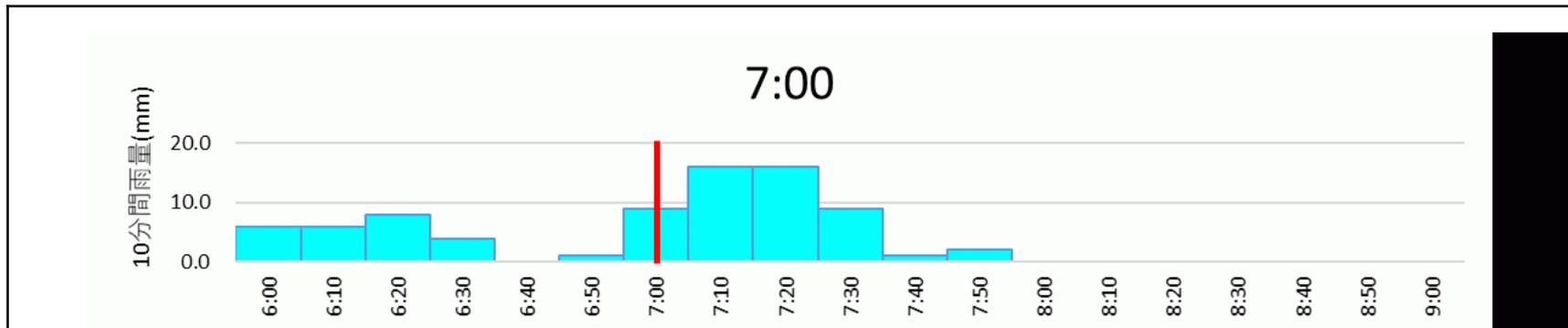
浸水の発生している7:00時点で
水路縦断図では、水位の上昇
が見られない

⇒ 浸水は、管渠の能力不足で
はなく、雨水枡の集水機能不
足が要因であると考えられる



～シミュレーションモデル結果～

従来の浸水箇所 実績浸水深:20cm



通常モデル

雨水枡モデル



浸水深	
■	50cm以上
■	20~50cm
■	5~20cm
■	0~5cm

浸水実績箇所

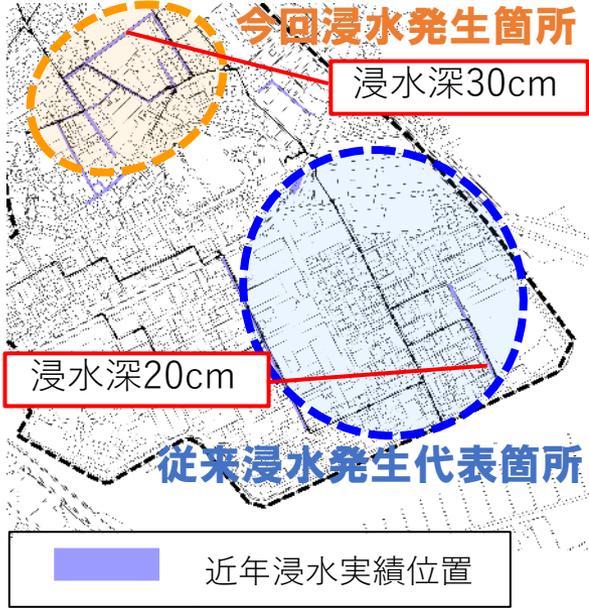
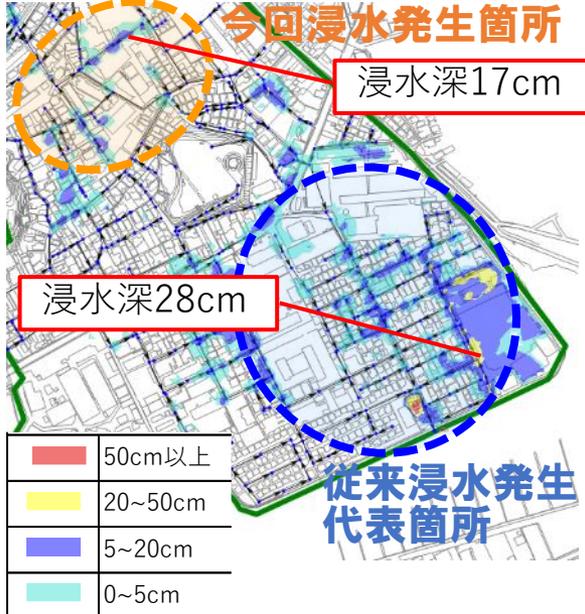


浸水深	
■	50cm以上
■	20~50cm
■	5~20cm
■	0~5cm

浸水実績箇所

4.まとめと評価

～まとめ～

浸水実績	通常モデル シミュレーション結果 最大浸水深図	雨水枡モデル シミュレーション結果 最大浸水深図
 <p>今回浸水発生箇所 浸水深30cm</p> <p>浸水深20cm</p> <p>従来浸水発生代表箇所</p> <p>近年浸水実績位置</p>	 <p>今回浸水発生箇所 浸水深17cm</p> <p>浸水深28cm</p> <p>従来浸水発生代表箇所</p> <p>50cm以上 20~50cm 5~20cm 0~5cm</p>	 <p>今回浸水発生箇所 浸水深28cm</p> <p>浸水深16cm</p> <p>従来浸水発生代表箇所</p> <p>50cm以上 20~50cm 5~20cm 0~5cm</p>
<p>今回浸水発生箇所 浸水範囲：広 浸水深：～30cm</p>	<p>今回浸水発生箇所 浸水範囲：狭 浸水深：～21cm</p>	<p>今回浸水発生箇所 浸水範囲：広 浸水深：～28cm</p>
<p>従来浸水発生代表箇所 浸水範囲：狭 浸水深：～20cm</p>	<p>従来浸水発生代表箇所 浸水範囲：広 浸水深：～28cm</p>	<p>従来浸水発生代表箇所 浸水範囲：狭 浸水深：～16cm</p>

⇒以上結果より集水機能の問題による浸水と特定

～評価～

◆ 検証方法の確立

- 今後、短時間強雨の増加により、雨水枡集水機能不足による浸水被害は増加することが想定される
- 一般的な手法ではこの現象を見込んでいない
- ⇒ 雨水枡のモデル化により、集水機能不足による浸水を再現したことで、地域特性の類似した地区においても、適用可能な汎用性のある検証方法を確立することが出来た

◆ 今後想定されるリスクと対策

- 浸水地区における雨水の集水機能の改善により、下水道管への流入量が増加し、下流域にて浸水の発生、悪化が想定される
- ⇒ 浸水シミュレーションを活用した、水路の改修や下流端ポンプの増強等による効果検証を実施し、計画的な検討が必要となる

ご清聴ありがとうございました