

ファイバー要素を用いた ヒューム管部材断面の性能検討

令和元年7月5日

中日本建設コンサルタント株式会社
田口 正宣・中根 進

内 容

1. はじめに
2. 材料構成則
3. ヒューム管材料の強度特性
4. ヒューム管の部材断面性能と構造性能
5. ヒューム管の部材断面性能計算
6. 材料強度のばらつきによるヒューム管
部材断面性能
7. 径年管の管底と管頂のコンクリート圧縮強度例
8. 現行規格による古いヒューム管の部材断面性能
9. まとめ

1. はじめに

日本下水道協会規格（JSWAS）下水道用鉄筋コンクリート管

⇒ 性能保証された二次製品で流通している

（規定されている）

- ひび割れ保障荷重
- 破壊保障荷重
- 内 径
- 管 厚 等

（知らされていない）

- コンクリート圧縮強度
- 鉄筋引張強度 等

使用している材料仕様や強度等はメーカー毎に異なる事が多い。

1. はじめに

「管きよ更生工法における設計・施工管理ガイドライン
(2017年版) 日本下水道協会」より

管更生により複合管での対策を考える時、既設管のサンプリング試験などにより**コンクリート圧縮強度**、**鉄筋引張強度**等を確認し、**既設管耐力を推定**することを基本とする。



経年管の既設管耐力を知るための1つの方法として、**ファイバー要素**を用いて推定する方法を示す。

2. 材料構成則

2.1 コンクリート構成則

設計断面耐力算定のためのコンクリートの構成則

$$k_1 = 1 - 0.003 f'_{ck} \leq 0.85 \quad \dots\dots (1)$$

$$\varepsilon'_{cu} = \frac{155 - f'_{ck}}{30000}$$

$$0.0025 \leq \varepsilon'_{cu} \leq 0.0035$$

ここで、 f'_{ck} の単位は N/mm^2
曲線部の応力ひずみ式

$$\sigma'_c = k_1 f'_{cd} \times \frac{\varepsilon'_c}{0.002} \times \left(2 - \frac{\varepsilon'_c}{0.002} \right)$$

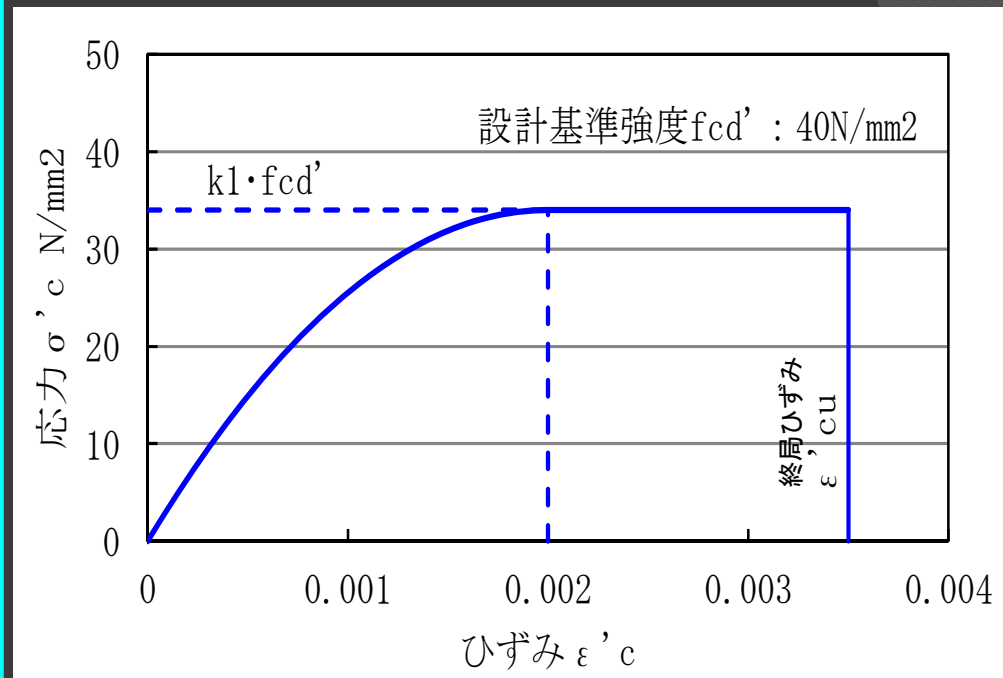


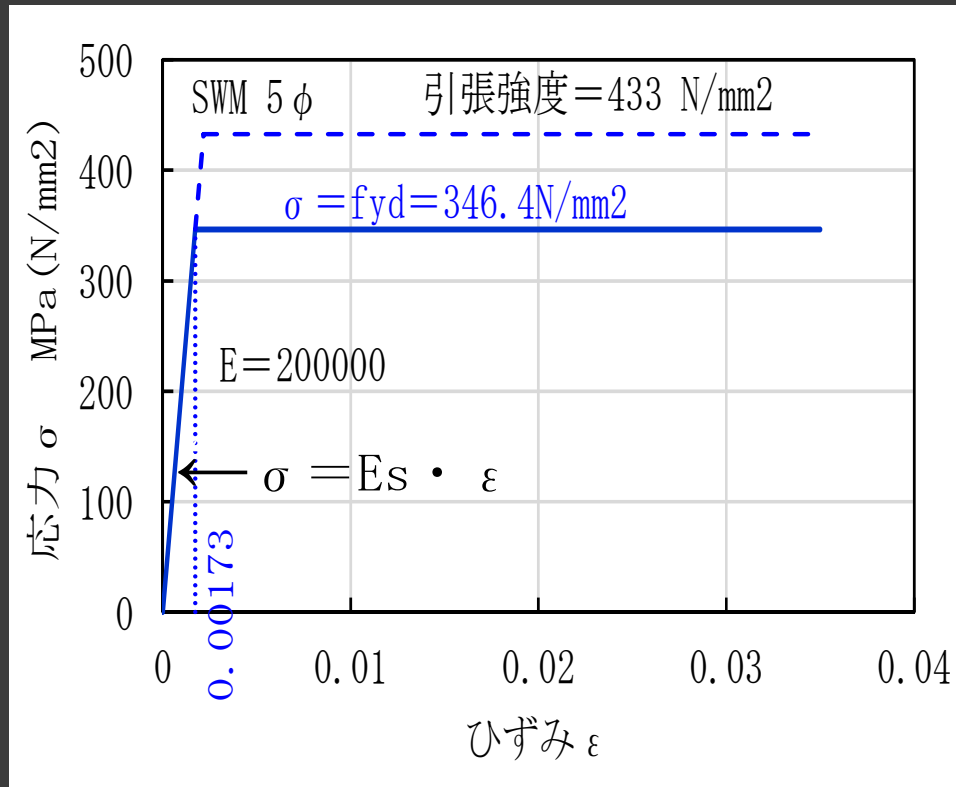
図1 コンクリートの応力-ひずみ曲線

コンクリート標準示方書・設計編 土木学会（2017年制定）

2. 材料構成則

2.2 鉄筋構成則

弾性係数と降伏後の勾配の2 直線を組み合わせたモデル。(Bi-Linear モデル)



f_{yd} : 鉄筋の引張降伏強度
鉄筋の引張強度に対する
降伏点強度の比は65~80%

$$\sigma = 433 \times 80\% = 346.4 \text{ N/mm}^2$$

図2 鉄筋（線）の応力-ひずみ曲線

3. ヒューム管材料の強度特性

3.1 コンクリートの圧縮強度特性 (1/3)

鉄筋コンクリート構造物の設計⇒コンクリートの設計基準強度
(土木学会では、特性値と称す)

特性値に材料係数 γ_m を除したものを設計用値
といい、また材料係数は、1.0または1.3で除
した値である。

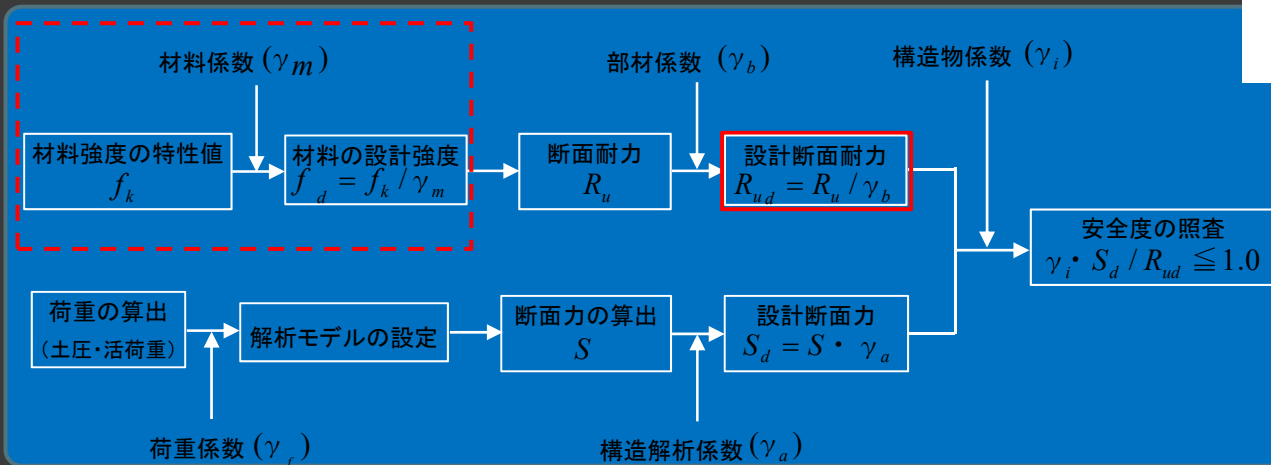
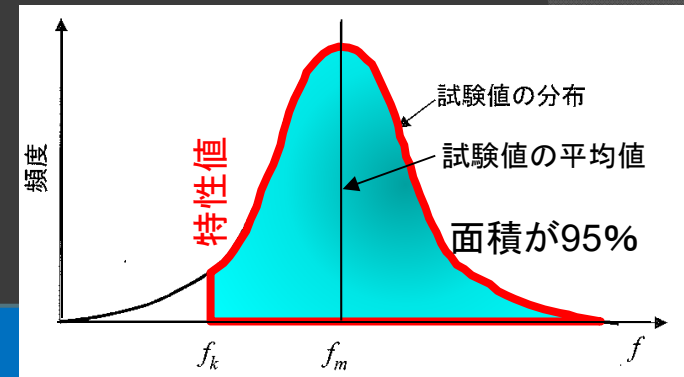


図3 安全性の照査フロー

材料強度の特性値

$$fk = fm - k\sigma = fm(1 - k\delta)$$

ここに、 fm : 試験値の平均値

σ : 試験値の標準偏差

δ : 試験値の変動係数

k : 係数 (1.645)

3. ヒューム管材料の強度特性

3.1 コンクリートの圧縮強度特性 (2/3)

圧縮強度特性 配合設計からコンクリート圧縮強度のばらつきを考慮して設定。

(施工基準)

- 圧縮強度の試験値は、設計基準強度を下回る確率が5%以下

(受入基準)

- 1回の試験結果は、購入者が指定した呼び強度の強度値の85%以上
- 3回の試験結果の平均値は、購入者が指定した呼び強度の強度値以上

3. ヒューム管材料の強度特性

3.1 コンクリートの圧縮強度特性 (3/3)

施工基準と受入基準を満足する
設計基準強度 40 N/mm^2 で実際の
コンクリート圧縮強度は、図4になる。

表1 コンクリート圧縮強度仕様

設計基準強度 f'_{ck} (N/mm ²)		40
コンクリート強度 (N/mm ²)	平均値	46.9
	標準偏差	4.19
	特性値	40.0

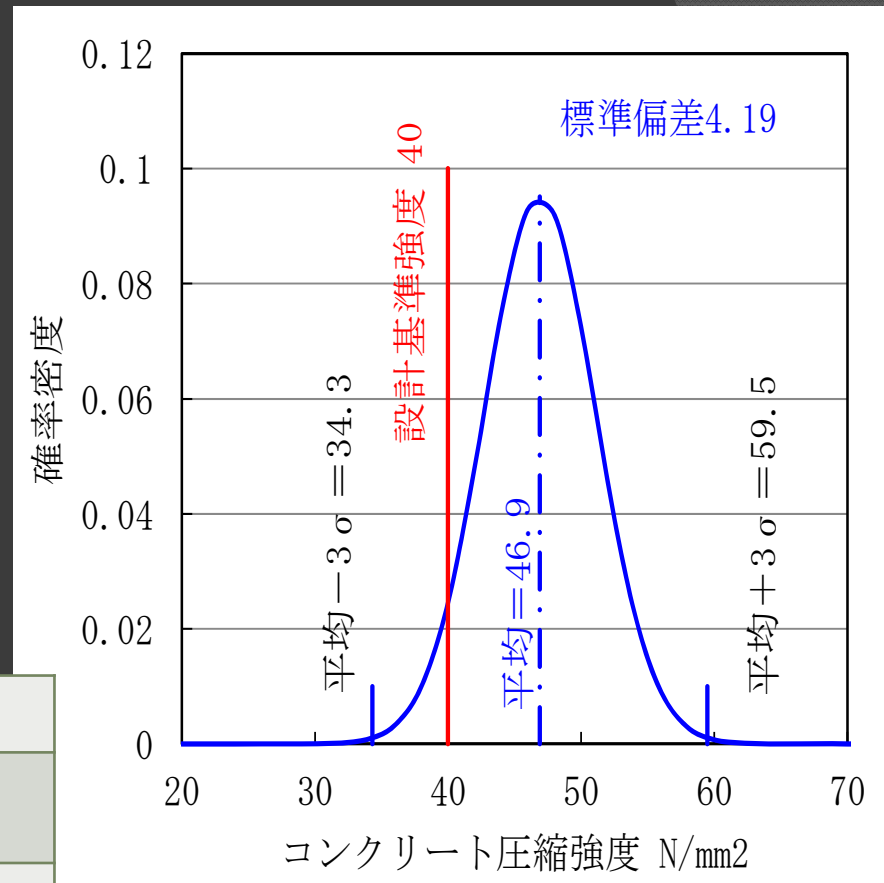


図4 コンクリート圧縮強度特性 (設計基準強度 40 N/mm^2)

3. ヒューム管材料の強度特性

3.2 鉄線の引張強度特性

鉄線の引張強さ： $\phi 5.00\text{mm}$ 390~930N/mm²
(JIS G 3532 : 2011より) (平均 660N/mm²)

上下限値を3 σ の値として標準偏差値を算定。
95%信頼区間下限値 (特性値)
 $\Rightarrow 433\text{N/mm}^2$

表2 鉄筋の引張強度仕様 (JIS)

線種		SWM-B (普通鉄線)
鉄線引張強度 σ (N/mm ²)		—
鉄線引張強度 σ (N/mm ²)	平均値	660
	標準偏差	138
	特性値	433
ヤング係数 (kN/mm ²)		200

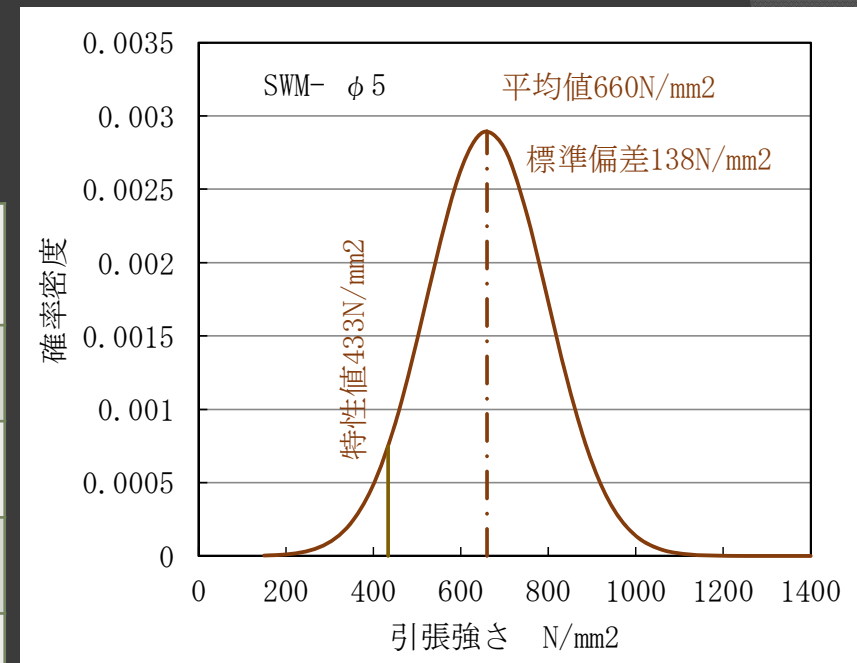


図5 鉄筋の引張強度特性 (JIS)

4. ヒューム管の部材断面性能と構造性能

4.1 ヒューム管の部材断面性能 (1/3)

ヒューム管の部材断面性能は、ファイバー要素により材料構成則を用い、曲げモーメント M -曲率 ϕ の関係を求め、コンクリートの終局強度の曲げモーメントを断面耐力とする。

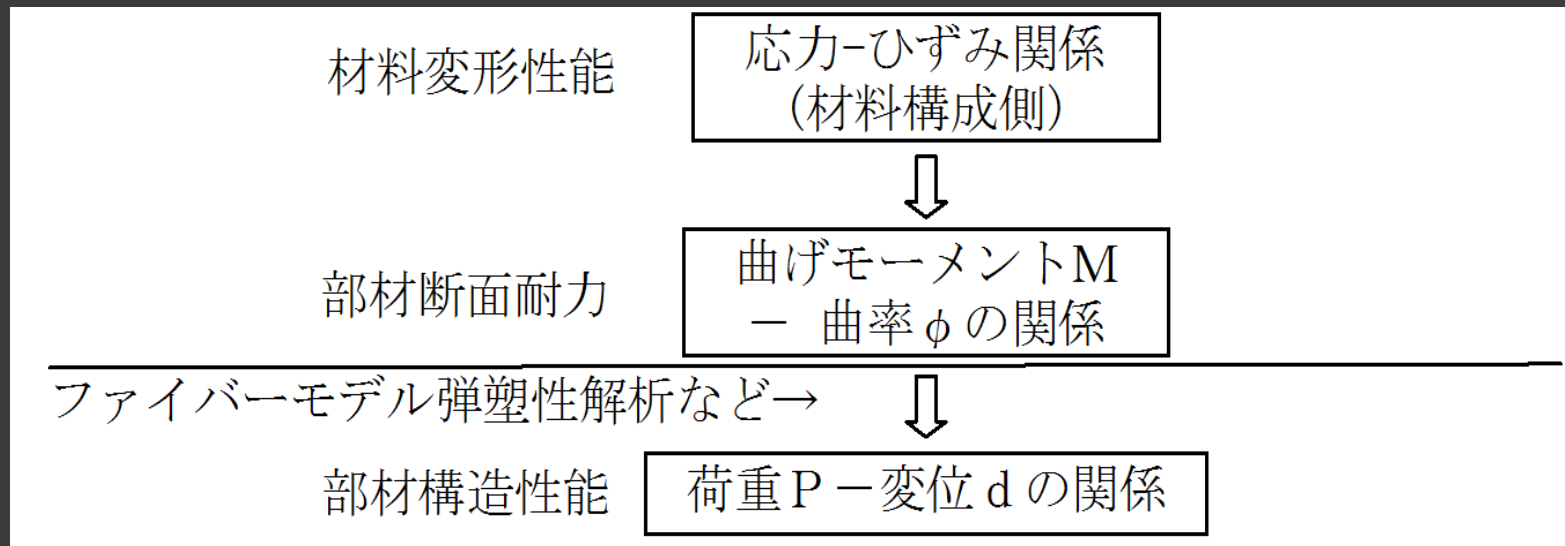


図6 材料構成則によるヒューム管の断面性能

4. ヒューム管の部材断面性能と構造性能

4.1 ヒューム管の部材断面性能 (2/3)

- 断面を多数のファイバー要素(層状)に分割
- 圧縮縁ひずみ ε_{c0} と中立軸位置 y_0 を仮定することにより、ひずみ分布を層状(断面を20分割)ごとに算出
- コンクリート及び鉄筋の構成則から応力分布を算出
- 算出した応力分布から、コンクリートの圧縮合力、鉄筋の引張合力を求め、釣合うまで中立軸を変えて収束計算させる。
- 収束後、さらに圧縮縁ひずみを逐次増加させ、コンクリートの終局ひずみ $\varepsilon'_{cu}=0.0035$ までモーメント M を計算

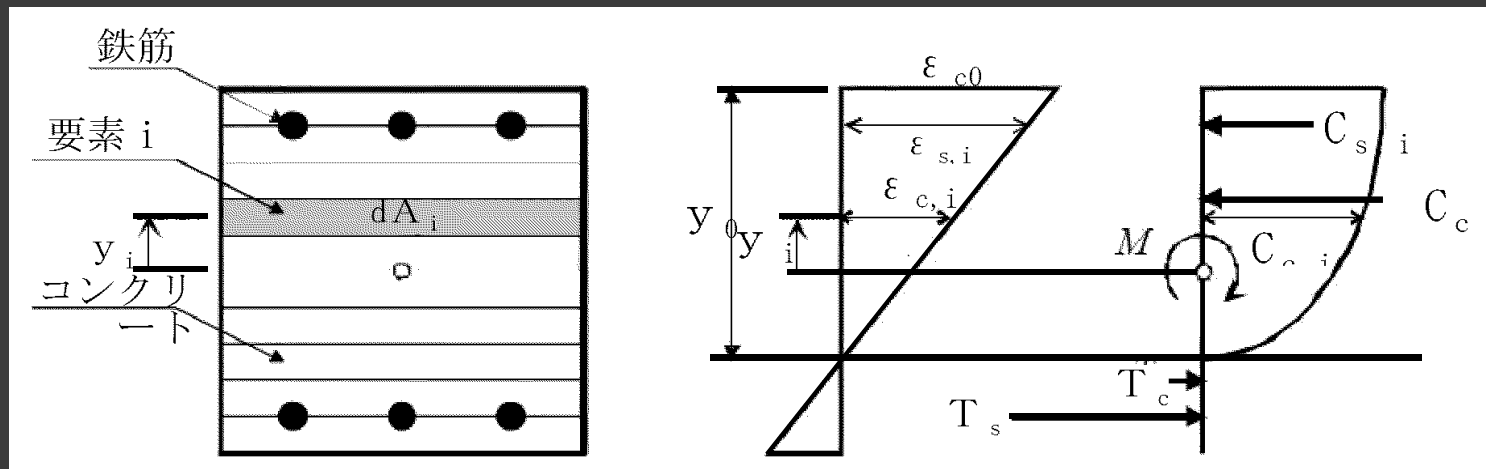


図7 部材断面のひずみ分布と応力分布

4. ヒューム管の部材断面性能と構造性能

4.1 ヒューム管の部材断面性能 (3/3)

軸方向の釣り合い状態を満足するとき、図心まわりのモーメントの釣り合いは次式となる。

モーメントの釣り合い：

$$M = \sum_{i=1}^n \sigma_{c,i}(\varepsilon_i) y_i A_{c,i} + \sum_{i'=1}^{n'} \sigma_{s,i'}(\varepsilon_{i'}) y_{i'} A_{s,i'}$$

曲率 ϕ は、軸方向の釣り合いを満足する中立軸位置と圧縮縁ひずみより、次のように求める。

$$\phi = \frac{\varepsilon_{c0}}{y_0}$$

4. ヒューム管の部材断面性能と構造性能

4.2 ヒューム管の構造計算 (3/3)

ヒューム管には、JSWAS A-1で破壊保証荷重が設定されている。破壊荷重に対応する破壊保証曲げモーメント M_B を計算する。(例 ○700、○1000)

$$M_B = 0.25P_B \cdot r + 0.165W \cdot r$$

M_B : 破壊保証モーメント (kN・m/m)

P_B : 破壊試験荷重 (kN/m)

r : 管厚中心までの半径 (m)

W : 管の自重 (kN/m)

表3 検討管径と破壊保障荷重 (ヒューム管 JIS 1965)

検討 管径・管種	配筋鉄線 mm	JSWAS ひび割れ 荷重 kN/m	ひび割れ 曲げモーメント kN・m/m	JSWAS 破壊荷重 kN/m	破壊保障 曲げモーメント(M_B) kN・m/m
○ 700B型 1種管	Φ5単鉄筋	21.58	2.93	42.17	4.22
○1000B型 1種管	Φ5複鉄筋	27.46	5.69	59.82	8.76

5. ヒューム管の部材断面性能計算

5.1 単鉄筋と断面と複鉄筋断面の部材断面性能比較

設計基準強度

コンクリート圧縮強度 : 40 N/mm² (表1より)

鉄線引張強度 : 433 N/mm² (表2より)

ヒューム管○700、
○1000共に曲げ耐力
をみると、部材の曲げ
耐力は規格の破壊保証
曲げモーメントを下回
った値を示す。
単鉄筋断面の○700
の曲げ耐力では、破
壊保証曲げモーメント
の60%しか示してい
ない。

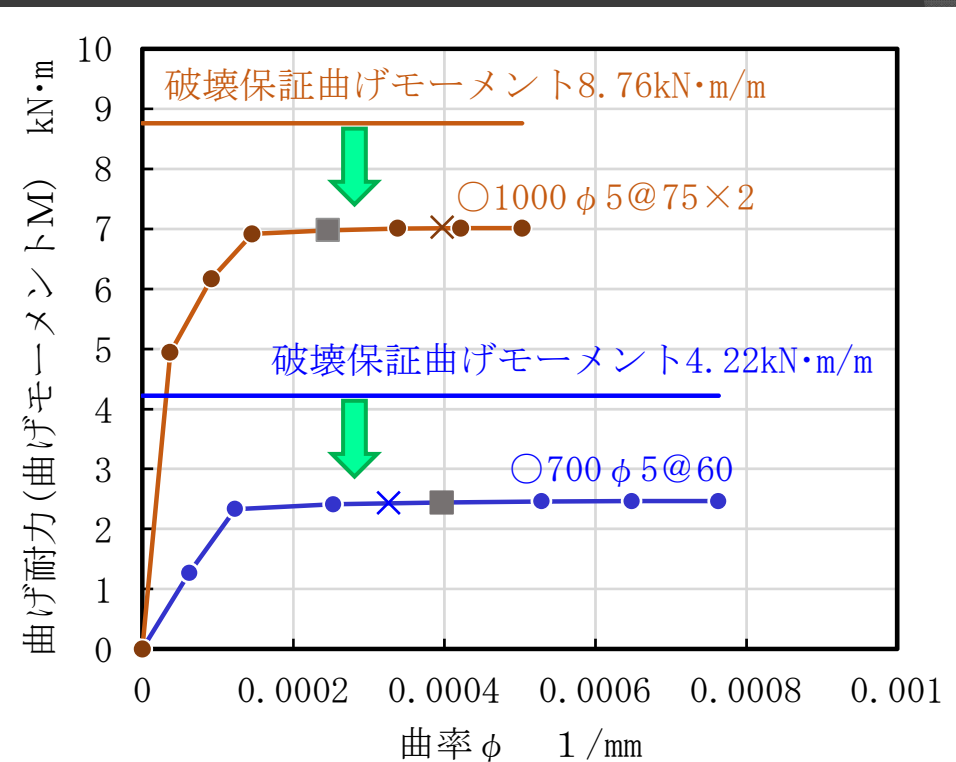


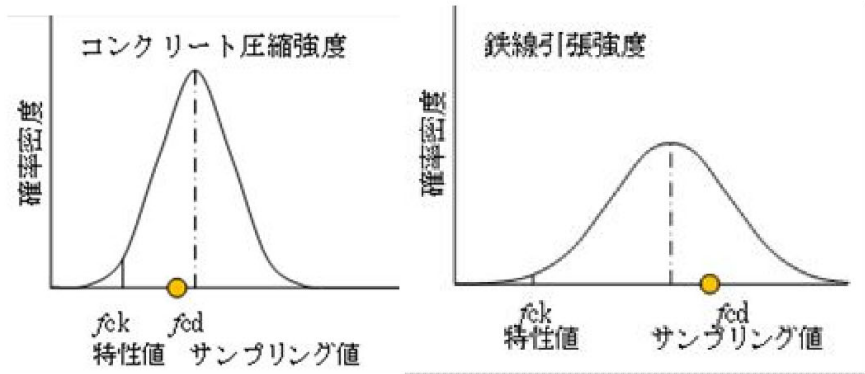
図8 ○700と○1000(管頂)のM- ϕ の比較

6. 材料強度のばらつきによるヒューム管 部材断面性能

鉄線引張強度、コンクリート圧縮強度にはばらつきがあり、断面性能にもその影響が現われる。

- 曲げ耐力(終局曲げモーメントと破壊保証曲げモーメントの比)を部材性能として表す。
- 材料強度の分布を使ってそれぞれの強度を抽出する。
- 抽出強度から材料構成則を設定する。
- 抽出数を10,000個として計算し、曲げ耐力を求め分布として表わす。

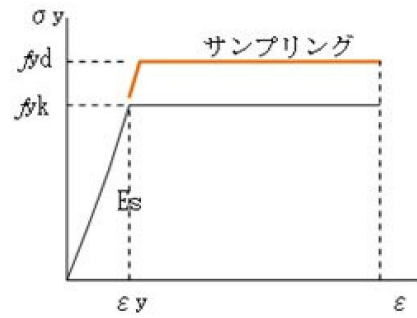
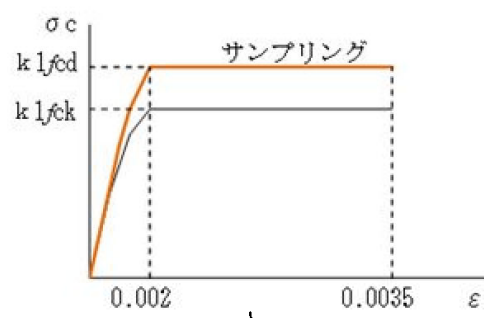
曲げ耐力(終局曲げモーメント) / 破壊保証曲げモーメント



材料構成則(応力-ひずみ曲線)

k1 値は、サンプルングしたコンクリート圧縮強度により式(1)を使い変更する

鉄筋の降伏強度は、引張強度の0.8とする。



曲げ耐力

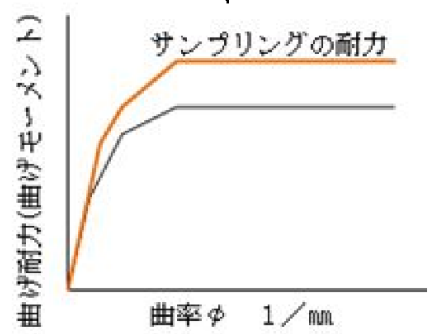


図9 シミュレーションによる曲げ耐力推定の手順

6. 材料強度のばらつきによるヒューム管部材断面性能

サンプリングしたコンクリート圧縮強度と鉄線引張強度を使って計算した比を示す。(図10)

曲げ耐力／破壊保証モーメント

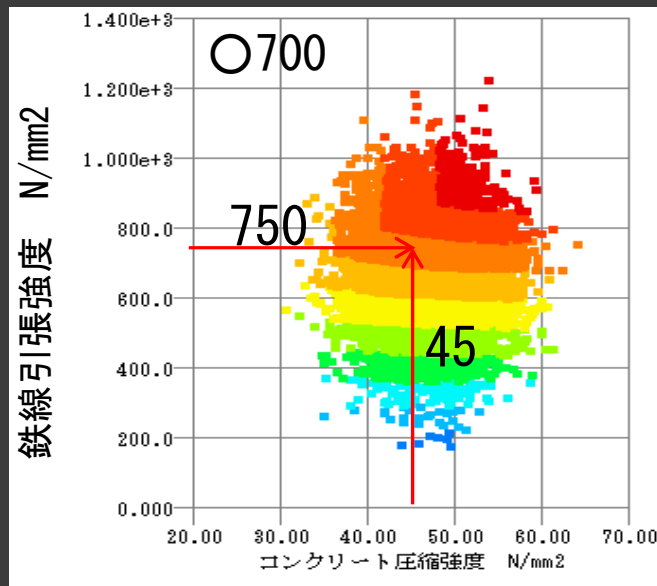


図10 コンクリート圧縮強度と鉄線引張強度に対する曲げ耐力の比

比(曲げ耐力／破壊保証モーメント)

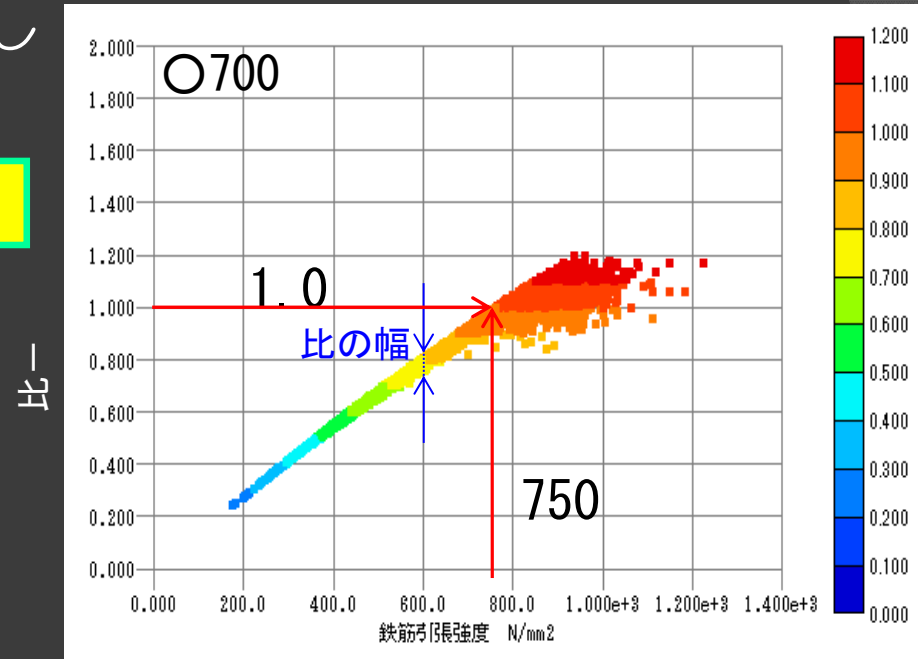


図11 サンプルした鉄線引張強度に対する破壊保証モーメントと曲げ耐力の比

鉄線の引張強度に対する比の幅は、コンクリート圧縮強度によるものを表している。(図11)

6. 材料強度のばらつきによるヒューム管 部材断面性能

比(曲げ耐力/破壊
保証モーメント)

コンクリート圧縮強度より鉄筋引張強度に依存しており、コンクリート圧縮強度40 N/mm²で鉄筋引張強度を520N/mm²の材料を使用する必要がある。(図11)

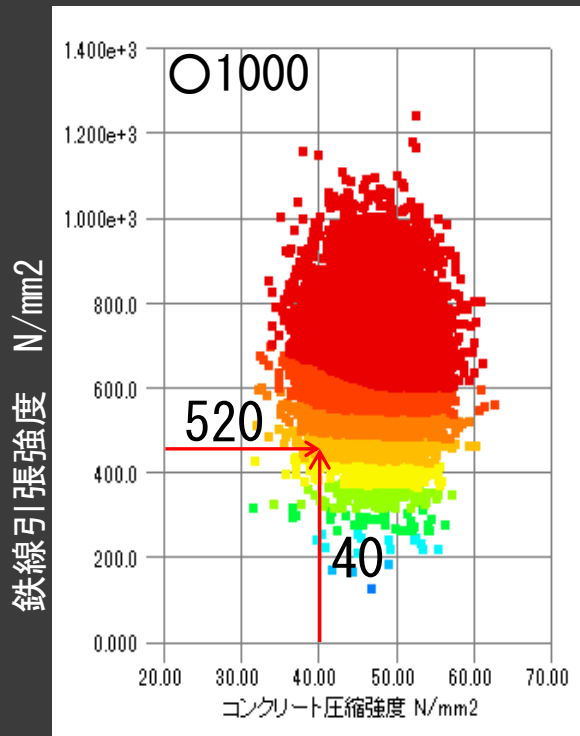


図11 コンクリート圧縮強度と鉄筋引張強度に対する曲げ耐力の比

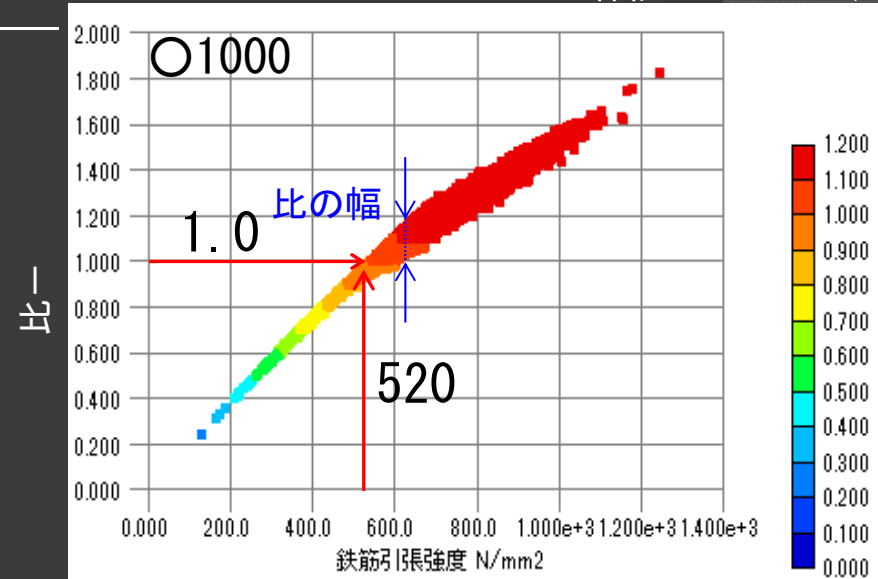


図12 サンプルした鉄線引張強度に対する破壊保証モーメントと曲げ耐力の比

鉄線の引張強度に対する比の幅は、コンクリート圧縮強度によるものを表しており、コンクリート圧縮強度を変化させても部材断面の性能の変化は少ないことを表している。(図12)

7. 経年管の管底と管頂のコンクリート圧縮強度例

コンクリート圧縮強度は管頂、管底により大きく異なり、流水のある管底側は管頂より低い強度である。しかし、一般的なヒューム管の設計強度（38MPa程度）は、すべての部位で満足している。

(コンクリート)

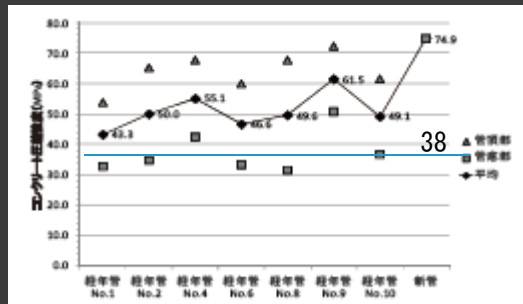


図12 経年管のコンクリート圧縮強度

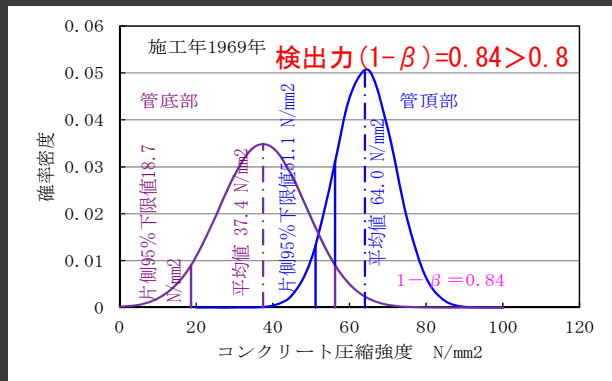


図13 検出力による経年管の管底部と管頂部のコンクリート圧縮強度の差の検定

管頂側 > 管底側

(鉄筋)

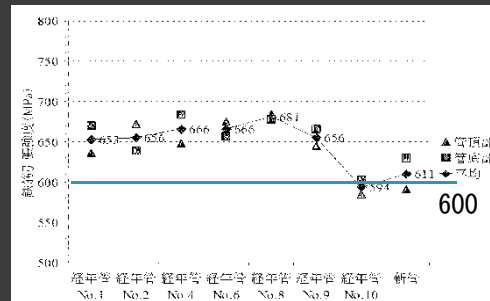


図14 経年管鉄筋の引張強度

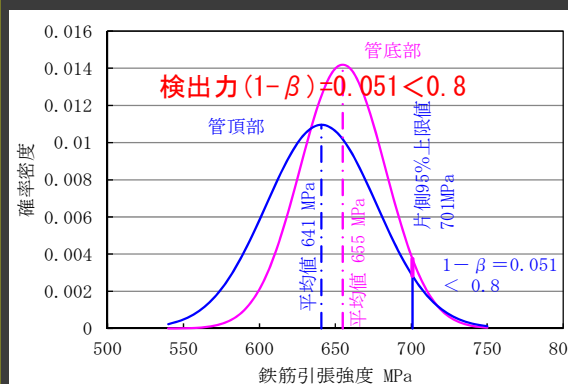


図15 検出力による経年管の管底部と管頂部の鉄筋引張強度の差の検定

管頂側 ≒ 管底側

経年管のコンクリートや鉄筋の強度は、径年変化が無いと思われ、径年管の残存強度を材料物性値の径年劣化による強度低下から裏付けるのは難しい。

経年管の耐荷力に関する調査(第49回下水道研究発表会講演集 平成24年度(池田匡隆、井藤元暢)より

8. 現行規格による古いヒューム管の部材断面性能

ヒューム管（JSWAS A-1）現行規格値の破壊荷重から求めた保障モーメントに対する配筋仕様（1972年）にコンクリート圧縮強度、鉄筋引張強度の分布を与えて計算した曲げ耐力の比を示す。

曲げ耐力／現行破壊保証モーメント

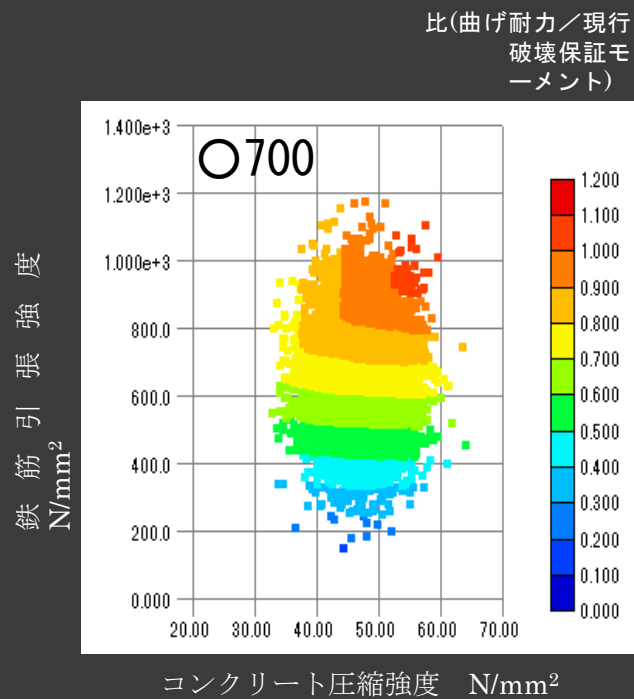


図16 コンクリート圧縮強度と鉄線引張強度に対する現行規格による曲げ耐力の比(○700)

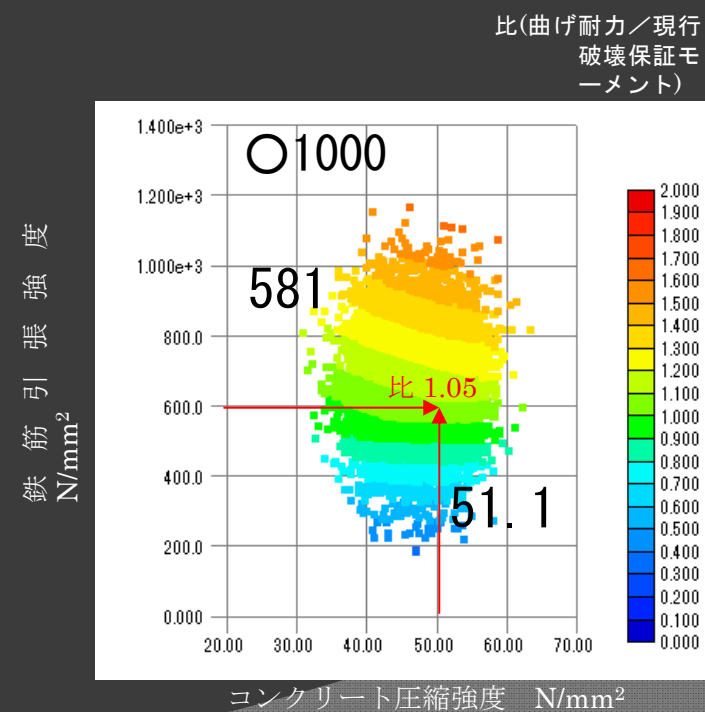


図17 コンクリート圧縮強度と鉄線引張強度に対する現行規格による曲げ耐力の比(○1000)

9. まとめ

経年管の既設管耐力を知るための1つの方法としてファイバー要素を用いて推定する方法を示した。

この方法で断面性能を知るためには、

- 配筋仕様
- 材料のコンクリート圧縮強度、鉄線の引張強度（サンプリング数）
- 応力ひずみ曲線

が必要となる。

これらから耐荷力を推定したものであるが、サンプリングした材料強度を図17にプロットし、現行規格に対して断面性能を有しているか確認可能である。

ご清聴ありがとうございました

圧送管合流人孔における硫化水素、 メタンガス対策事業の立案

株式会社 極東技工コンサルタント

東日本技術本部

濱田 寛己

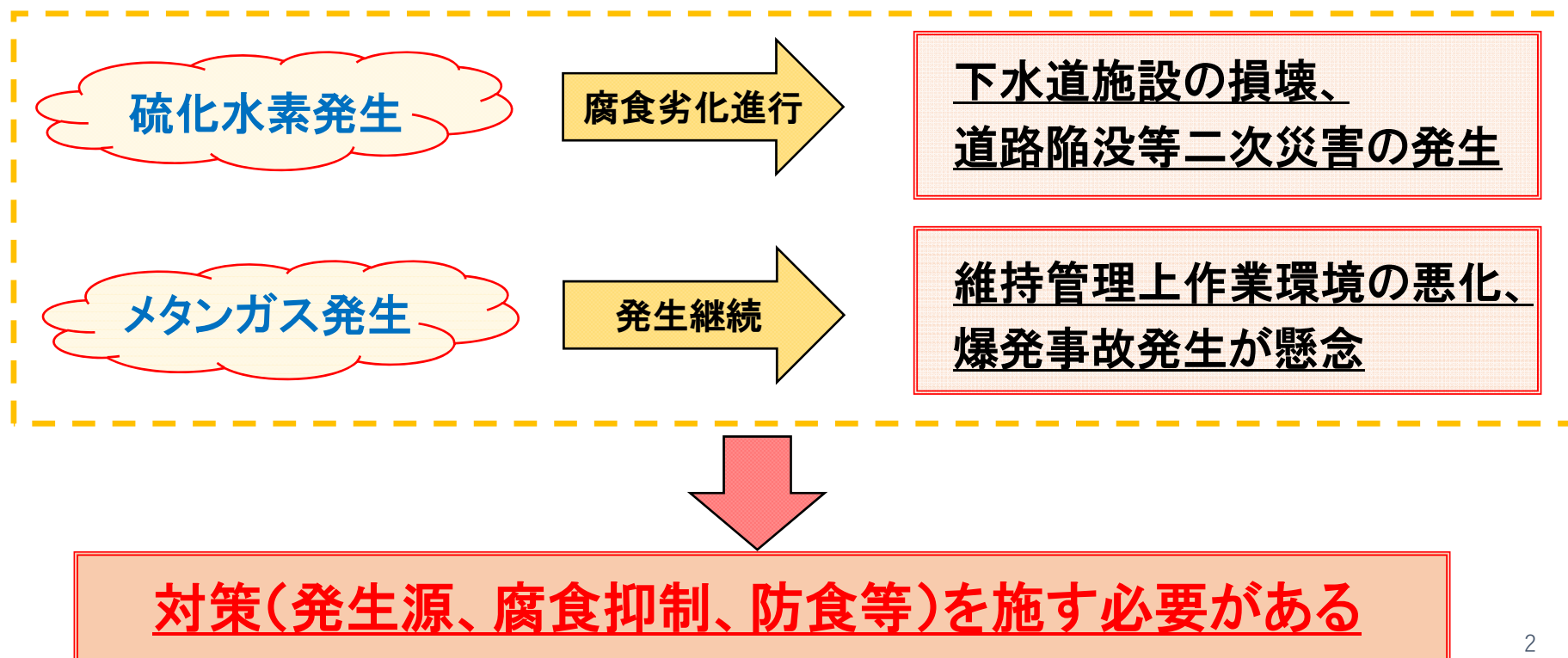
本発表の構成

- ◆ 1.はじめに
- ◆ 2.対象施設の概要
- ◆ 3.硫化水素およびメタンガス発生状況
- ◆ 4.硫化水素の発生予測、発生原因
- ◆ 5.対策提案
- ◆ 6.対策事業、維持管理スケジュール
- ◆ 7.おわりに

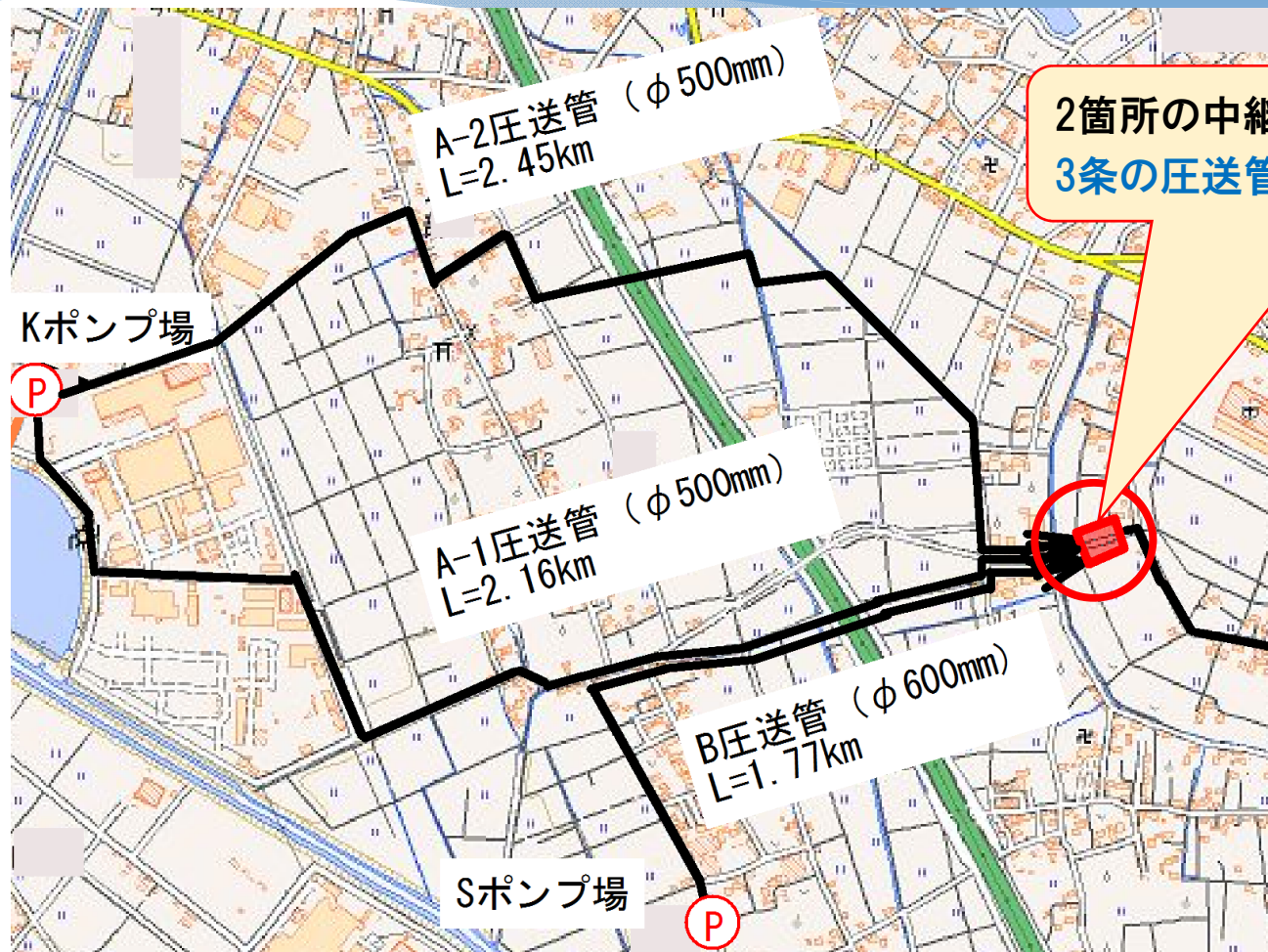
1.はじめに

近年・・・

- 硫化水素の発生に起因する下水道施設の腐食劣化が問題視
- 下水道管路施設内の堆積物より揮発性ガス(メタンガス)発生

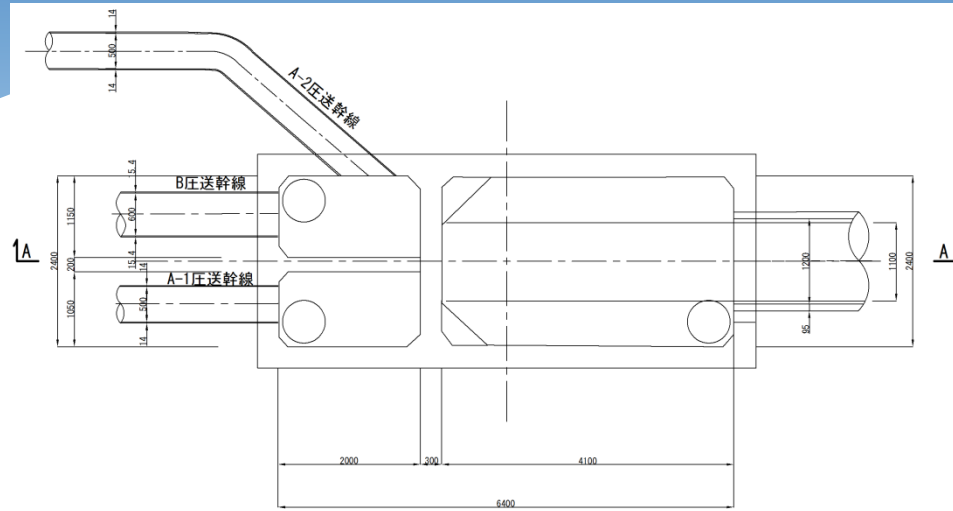


2.対象施設の概要（位置、諸元）



2箇所の中継ポンプ場から圧送される
3条の圧送管が合流する**特殊人孔**

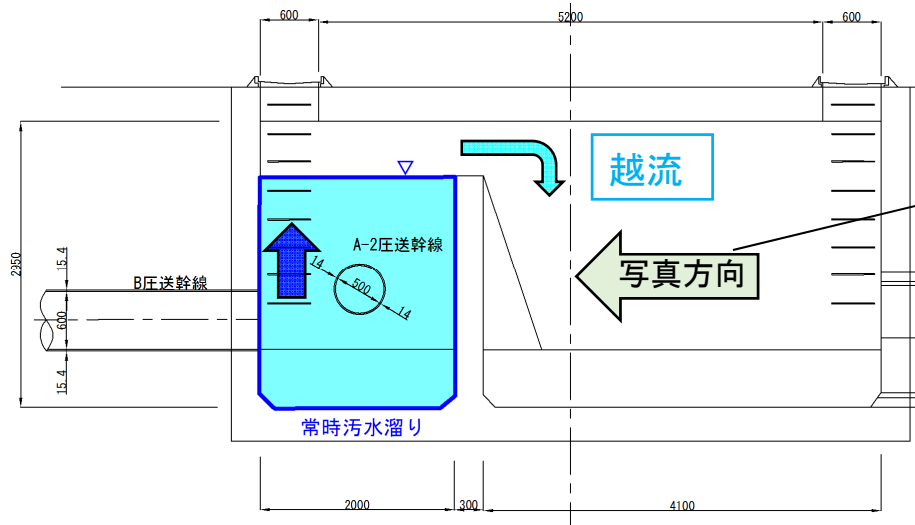
2.対象施設の概要（構造）



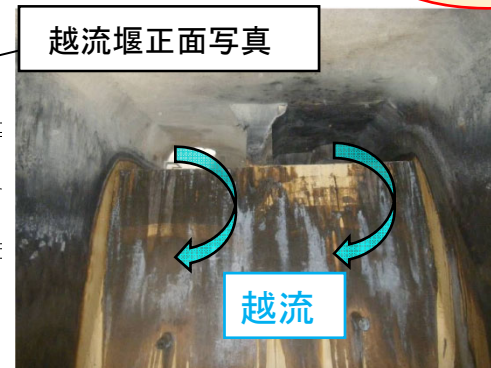
C特殊人孔は3室に分かれており、うち2室は
圧送管の流下先である

上記2室は汚水溜り構造を採用しており、堰越
流後、下流側に流出される

本人孔内において、硫化水素、
メタンガスを大幅に検知



越流堰正面写真



発生原因の特定、
対策が必要

2.対象施設の概要（状況確認）

昭和40年代竣工、平成15年度にライニング実施済
(平成27年時点において約50年経過)



今回調査で…

防食部の一部剥離等を確認したが、現段階で腐食傾向なし



ライニング10年単位で更新必要
硫化水素対策については…

防食対策のほか、発生源対策も必要



防食剥離

写真. 頂版部状況



気泡浮き

写真. 流出管口部状況

3.硫化水素およびメタンガス発生状況

(1)基準

①硫化水素

作業環境基準:10ppm

腐食環境分類:10ppm以上(Ⅲ類~Ⅰ類)

②メタンガス

作業環境基準:30%LEL※(1.5%)

燃焼範囲:100%LEL(5.0%)~15.0%

※%LEL:着火源がある場合にガスが燃焼・爆発を起こす最低濃度(爆発下限界)に対する割合を百分率で表したもの

(2)観測結果

		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
平成26年度調査	可燃性ガス(%LEL)	54	21	36	28	29	32	38	11	43	28	31	14
	硫化水素(ppm)	87.7	39.6	150<	150<	35.4	5.1	150<	99.2	53.0	120.2	30.2	0.0
平成27年度調査	可燃性ガス(%LEL)	51	69	9	21	36	8	32					
	硫化水素(ppm)	150<	93.6	0.0	150<	13.6	24.4	137.0					

※赤字はマンホール入孔基準(可燃性ガス許容濃度30%LEL,硫化水素許容濃度10ppm)を越える計測値

観測記録を確認した結果...

①硫化水素:腐食環境Ⅰ類(50ppm以上,現況防食被覆済)

②メタンガス:作業環境基準を超える期間あり

どちらも対策検討が必要

4.硫化水素の発生予測、発生原因

(1)硫化物生成の予測

1)硫化物生成の予測式

①アメリカEPA式【適用(観測値と予測値の近似)】

②Boon、Listerの式

③Thistlethwayteの式

④建設省土木研究所の式

2)計算条件

①季節:夏季(発生量大きい)

②流下量=ポンプ吐出量

ケース1:事業計画量(流量大)

ケース2:実績流量 (流量小)

③径、延長、水温、pH等

例)A-1圧送幹線
流量0.14m³/s

例)A-1圧送幹線
流量0.08m³/s

3)計算過程

①硫化物生成量算定

②溶存硫化水素の予測

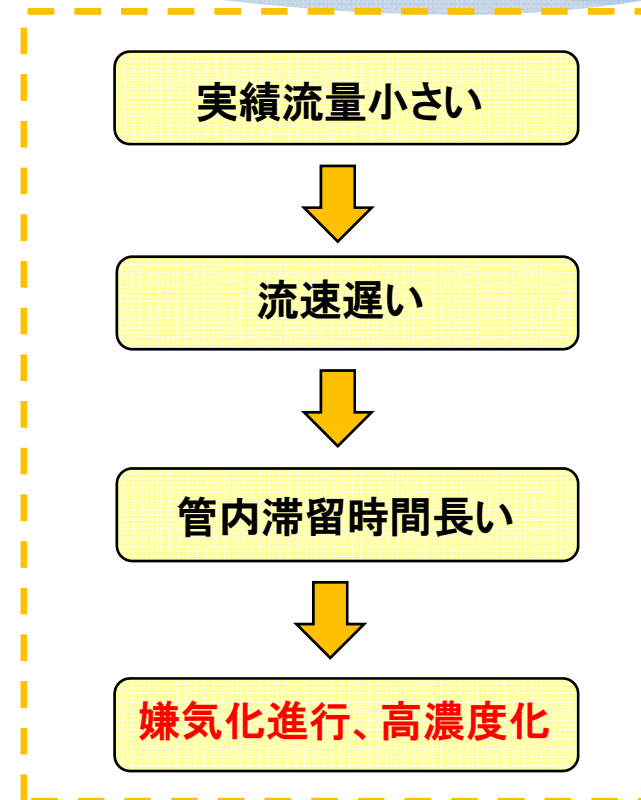
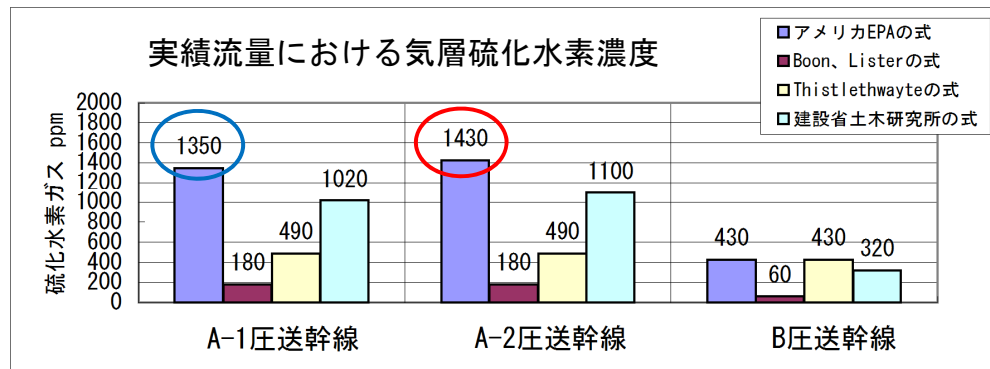
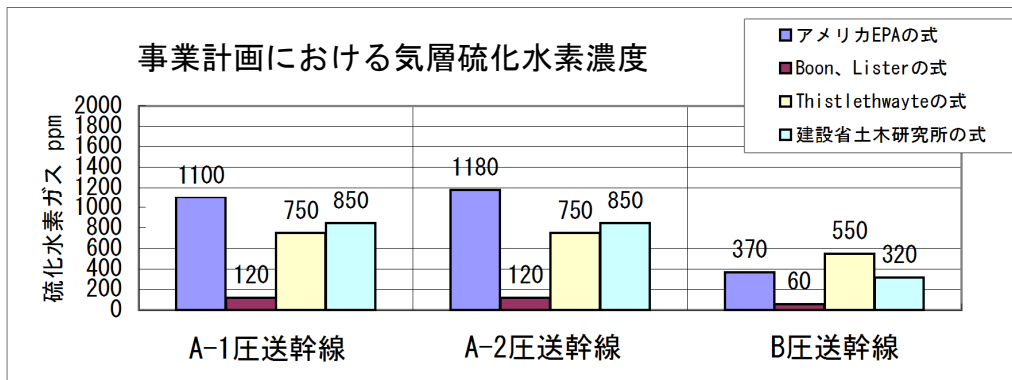
③硫化水素ガスの予測

4.硫化水素の発生予測、発生原因

4)計算結果(硫化水素ガス)

観測最高値1,425ppm ≒ A-2実績量1,430ppmと近似

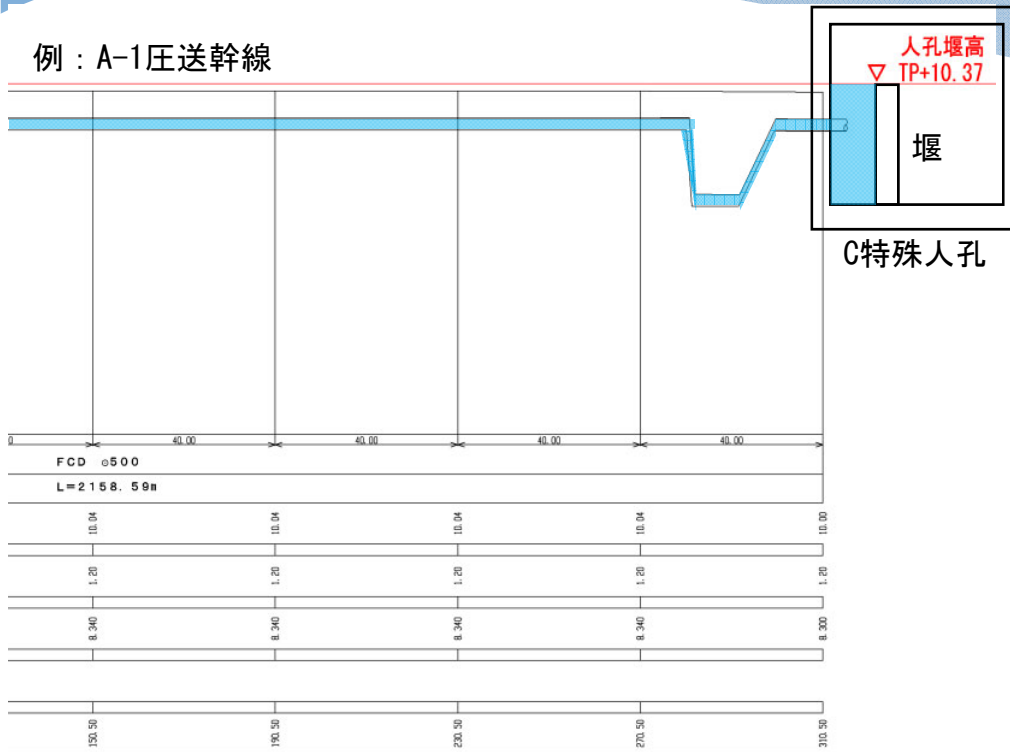
実績流量が高濃度となる要因...



4.硫化水素の発生予測、発生原因

(2)硫化水素発生原因

例：A-1圧送幹線

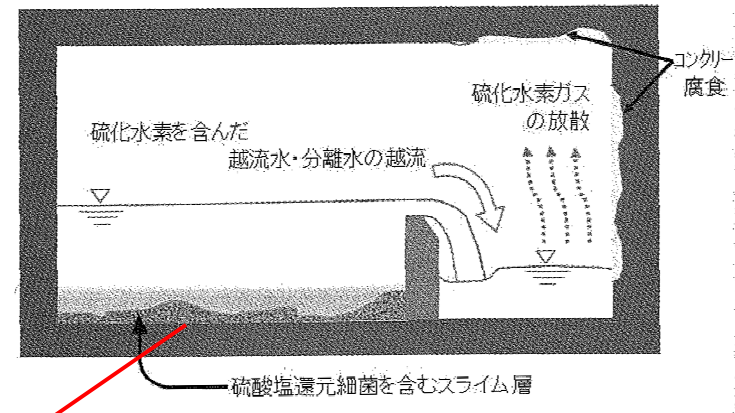
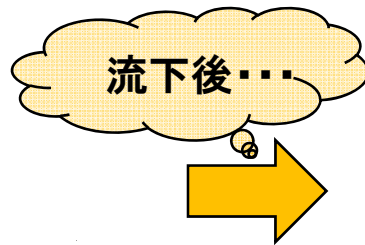
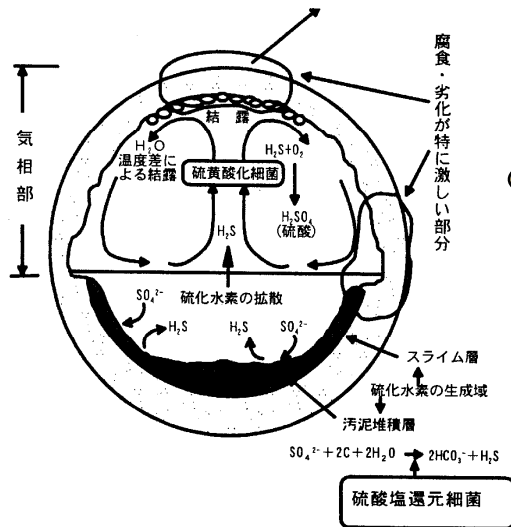
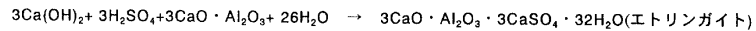
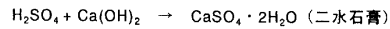


堰高の天端を基準水位とした場合・・・
本基準水位より高い位置の流入圧送管はない
→汚水溜り構造のため、圧送管内も常時満管



気中拡散は人孔内で発生と想定

4.硫化水素の発生予測、発生原因



①流入圧送管内

嫌気状態化において**硫化水素**を生成

②人孔内

分子態が気中放散、硫酸が生成、
コンクリート表面pH低下、二水石膏生成、**腐食**

堆積物の深層部で**メタン**発酵も生じる

**嫌気状態の解消が硫化水素、メタン
ガス発生抑制につながる**

5.対策提案

硫化水素、メタンガス対策を図るためには・・・

(1)一般的な対策事業

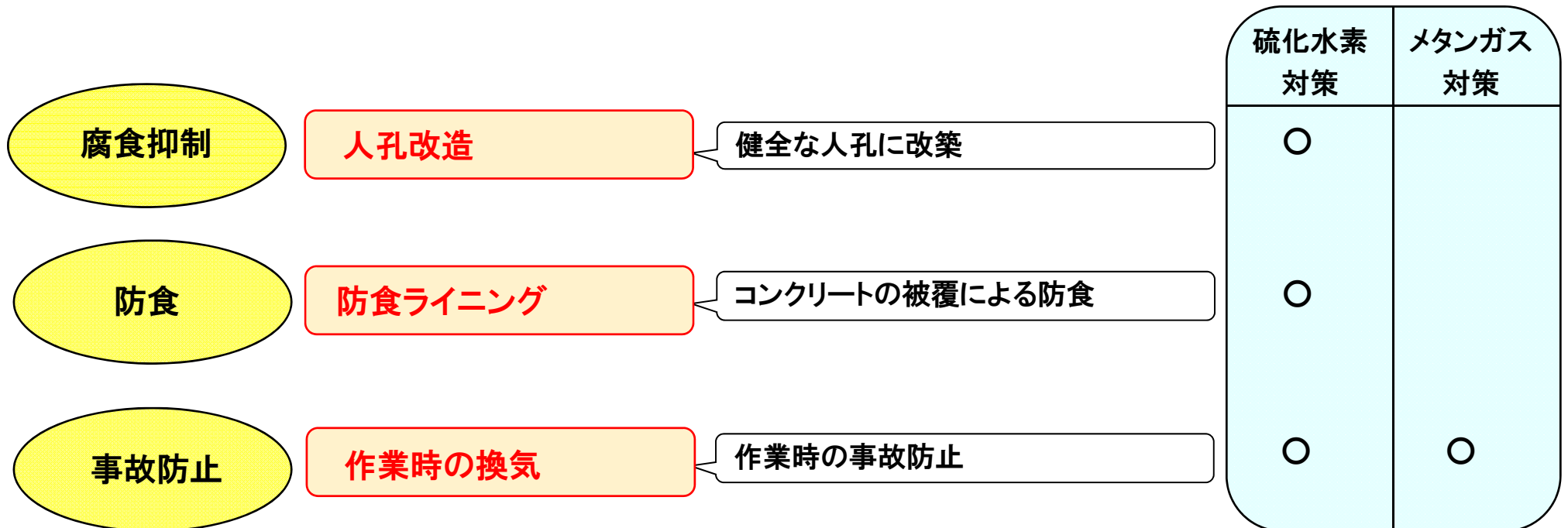
発生源対策、腐食抑制、防食、事故防止

発生源対策

空気注入	下水を好気状態に保つ
酸素注入	下水を好気状態に保つ
薬品添加(嫌気化防止)	硫化塩還元、メタン生成反応防止
薬品添加(硫化物対策)	溶存硫化物を酸化、固化
ピグ洗浄	汚泥排除、好気状態に保つ
フラッシング	汚泥排除、好気状態に保つ
定期清掃	汚泥排除に伴う発生源の除去
換気設備の設置	人孔内の硫化水素、メタンガスの希釈

硫化水素 対策	メタンガス 対策
○	○
○	○
○	○
○	○
○	○
○	○
○	○
○	○

5.対策提案



5.対策提案

(2)対策技術の選定

1)発生源対策

		対策評価	
		硫化水素	メタンガス
圧送管	空気注入	△	△
	酸素注入	○	○
	薬品（硝酸塩）添加による嫌気化防止	△	△
	薬品（ポリ鉄）添加による硫化物の酸化・固化	×	-
	ピグ洗浄	×	×
	フラッシング・送水速度（間隔）の変更等	○	○
人孔	定期清掃	○	○
	換気設備の設置	×	○

マンホールポンプ等小規模施設に有効

①今回現場条件に適合

現況実施中、効果小、滞留時間が短い

必要な薬品量が膨大、LCC高価

延長、管径、伏越し区間が多く、適用困難

②ポンプ管理者との調整により可能

②原因物の除去が可能より定期的に実施

③メタンガス対策に効果あり

【適用】

【圧送管】

①酸素注入

②フラッシング

【人孔】

②定期清掃

③換気設備

5.対策提案

2)腐食抑制、防食、事故防止

			対策評価	
			硫化水素	メタンガス
人孔	人孔改造	ハード対策	×	×
	防食ライニング	ハード対策	○	-
	作業時の換気	ソフト対策	○	○

道路全幅に渡り設置されており、改造困難

④現況ライニング済、継続して実施

調査時に適宜実施

【適用】

【人孔】

④防食ライニング

5.対策提案

(3)対策技術の概要

1)発生源対策

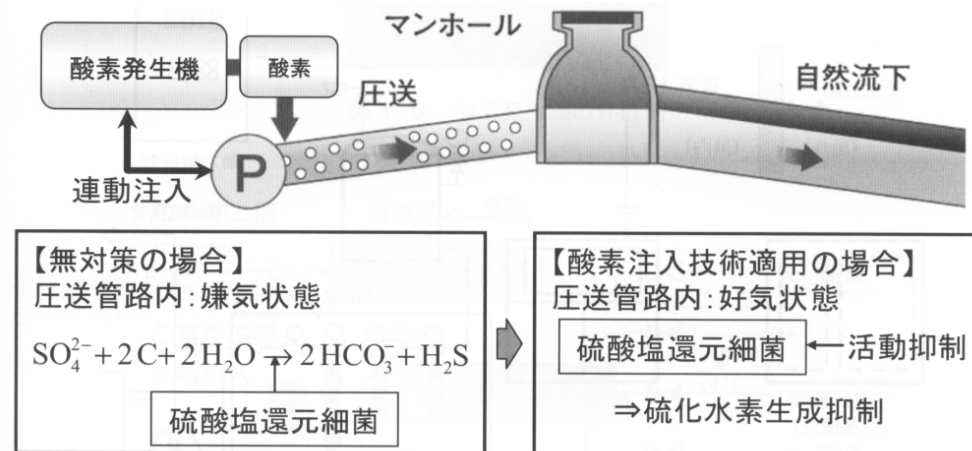
①酸素注入

酸素発生機から得られる高濃度酸素を注入し、
汚水を**好気性**に保持し、流下物の生成を抑制

硫化水素、メタンガス発生源対策に有効

※空気注入は小規模施設に有効のため、不採用

※薬品添加はLCCの観点より不採用



5.対策提案

②フラッシング、定期清掃

高流速洗浄(フラッシング)は、ポンプ通常運転よりも高流速化することで、管路内の汚泥を排出
→人孔内汚水溜り構造のため、人孔内清掃とあわせて実施することが必要

硫化水素、メタンガス発生源対策に有効

※ピグ洗浄は圧送距離、伏越し構造が多いため、適用困難



汚水溜り状況

ピット内堆積物(今回清掃時)



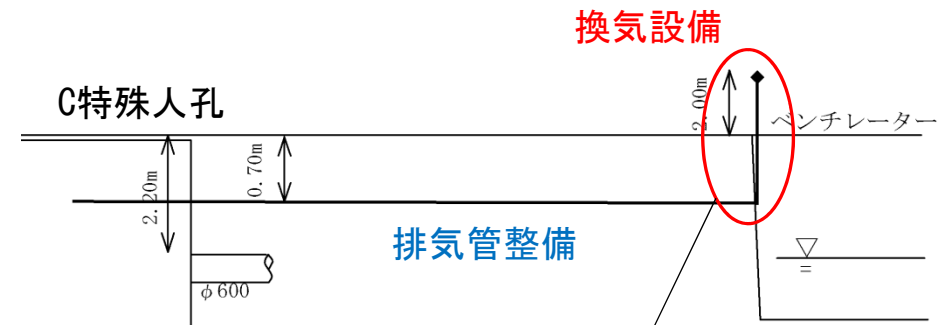
5.対策提案

③換気設備

人孔から近傍の用水護岸まで換気管を布設し、
排気口にベンチレーター等を設置し、換気を図る
→悪臭の問題が懸念されるため、活性炭フィル
ターを設け、臭気を除去する方針

メタンガス換気対策に有効

※周辺環境への配慮、地域住民との調整が必要



5.対策提案

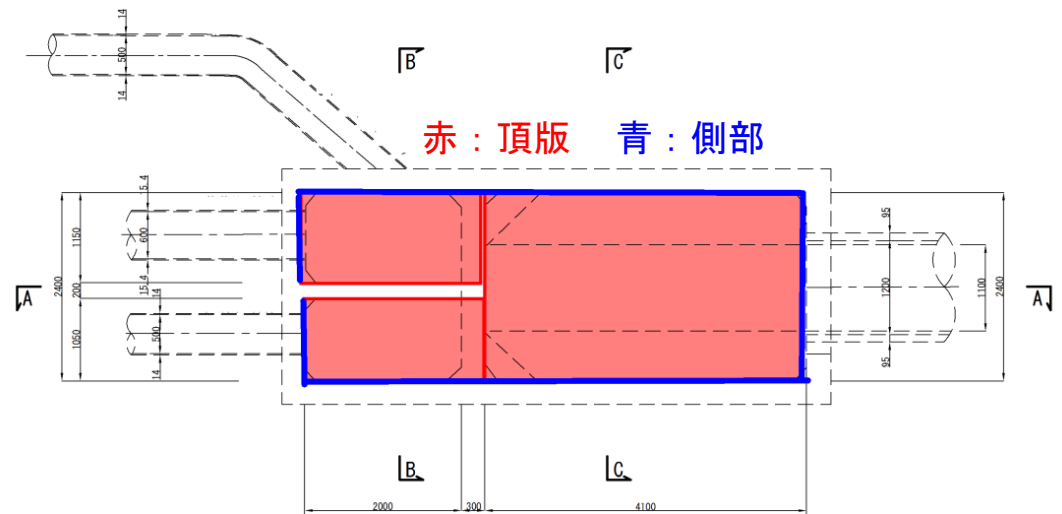
2)防食対策

④防食ライニング

コンクリート表面を被覆し、施設の腐食を防止
10年程度でライニングの更新が必要

硫化水素防食対策に有効

※現況でライニングが施されているが、剥離状況
が見受けられる
→耐用年数を考慮し、10年サイクルでライ
ニングを実施



6.対策事業、維持管理スケジュール

(1)段階的事業の提案

事業費、対策の主眼を鑑み、**事業効果**
を確認しながら対策を進める方針とする。

定期的な維持管理
もあわせて実施
(巡視、点検等)

段階1: 防食ライニング

硫化水素防食対策



段階2: +換気設備の設置

メタンガス排気対策



段階3: +フラッシング(+定期清掃)

メタンガス発生源対策
硫化水素発生源対策



段階4: +酸素注入(圧送管内の嫌気化防止)

メタンガス発生源対策
硫化水素発生源対策

6.対策事業、維持管理スケジュール

(2)維持管理スケジュール

直近20年の事業対策スケジュール

(千円)

事業効果を確認し実施

定期的な維持管理

項目		H28				H32					H37					H42				H47	計	備考		
対策事業	防食ライニング	設計	8,000								8,000											16,000	10年ごとに更新	
		工事		10,000									10,000											20,000
	換気設備	設計	1,000																				1,000	
		工事		2,000																			2,000	
	硫化水素・メタンガス抑制対策	設計										10,000	5,000										15,000	酸素注入施設を想定
		工事																					440,000	
計		9,000	12,000								18,000	15,000	440,000									494,000		
維持管理	巡視	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	2,800	1回/年頻度	
	点検			140			140			140			140			140				140		840	1回/3年頻度	
	清掃			140			140			140			140			140				140		4,380	1回/3年頻度	
	計	140	140	1,010	140	140	1,010	140	140	1,010	140	140	1,010	140	140	1,010	140	140	1,010	140	140	8,020		
合計		9,140	12,140	1,010	140	140	1,010	140	140	1,010	140	18,140	16,010	440,140	140	1,010	140	140	1,010	140	140	502,000		

硫化水素・メタンガス抑制対策の実施は、前段階の対策の事業効果や、点検・調査の結果から、総合的に判断する。

7.おわりに

○発生源の抑制、発生先の腐食対策、定期的な維持管理を**段階的に実施**することにより、具体的な対策事業の立案を図ることができた

ただし…

- 各事業の実施効果を確認しながら次に必要な事業を確認する必要がある、今後も適正な管理が求められる
- 人孔のみならず、流入圧送管についても、管体損傷による浸入等の有無を確認し、総合的な維持管理を行う必要がある

2019/7/5 13:40～

潤いある未来へ

水位周知下水道の導入検討の一事例

下水道事業部 西部計画管路部 九州技術課

上原亮平



発表内容

- 1.水位周知下水道とは
- 2.紹介事例の概要
- 3.水位観測
- 4.モデル調整
- 5.水位計設置箇所を選定
- 6.内水氾濫危険水位の設定
- 7.水位周知方法の検討
- 8.まとめ

1.水位周知下水道とは

- 近年、現在の想定を超える浸水被害が多発していることを受けてH27年に水防法が改正
- 想定し得る最大規模の内水氾濫に対する**避難体制等の充実・強化**を図ることが示された



水位周知下水道による**内水氾濫危険水位の設定と危険情報の周知**が求められている

1.水位周知下水道とは

- 誰が作る？

⇒都道府県知事または市町村長

- 何をする？

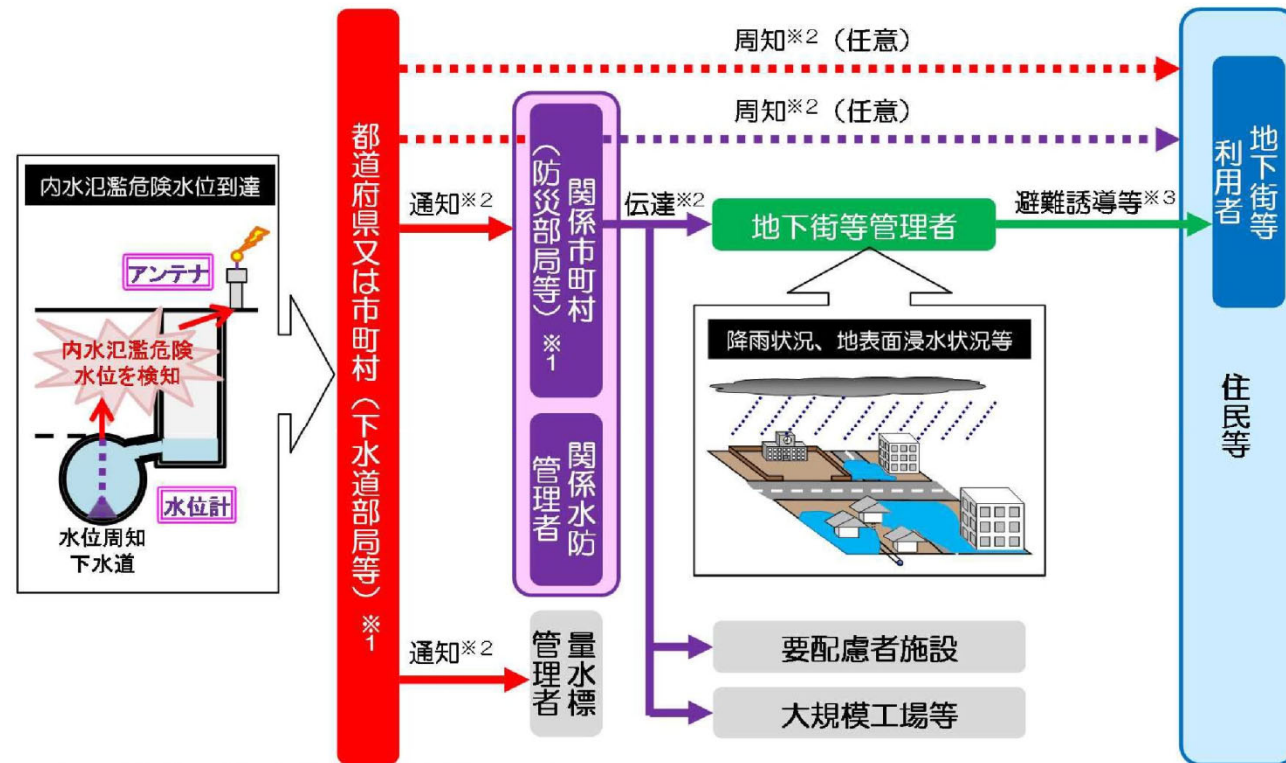
⇒管内水位が内水氾濫危険水位に達した時、水防管理者等に危険情報を周知する

- どこが対象？

⇒人口や資産の集積などから内水により相当な被害が想定される下水道(マニュアルには例として**地下街等が発達している区域の下水道**となっている)

1.水位周知下水道とは

• 水位周知方法(イメージ)



※1：市町村が水位情報を通知する場合は同一市町村

※2：関係市町村・関係水防管理者・量水標管理者への通知、地下街管理者等への伝達は必須事項、住民等への周知は任意事項

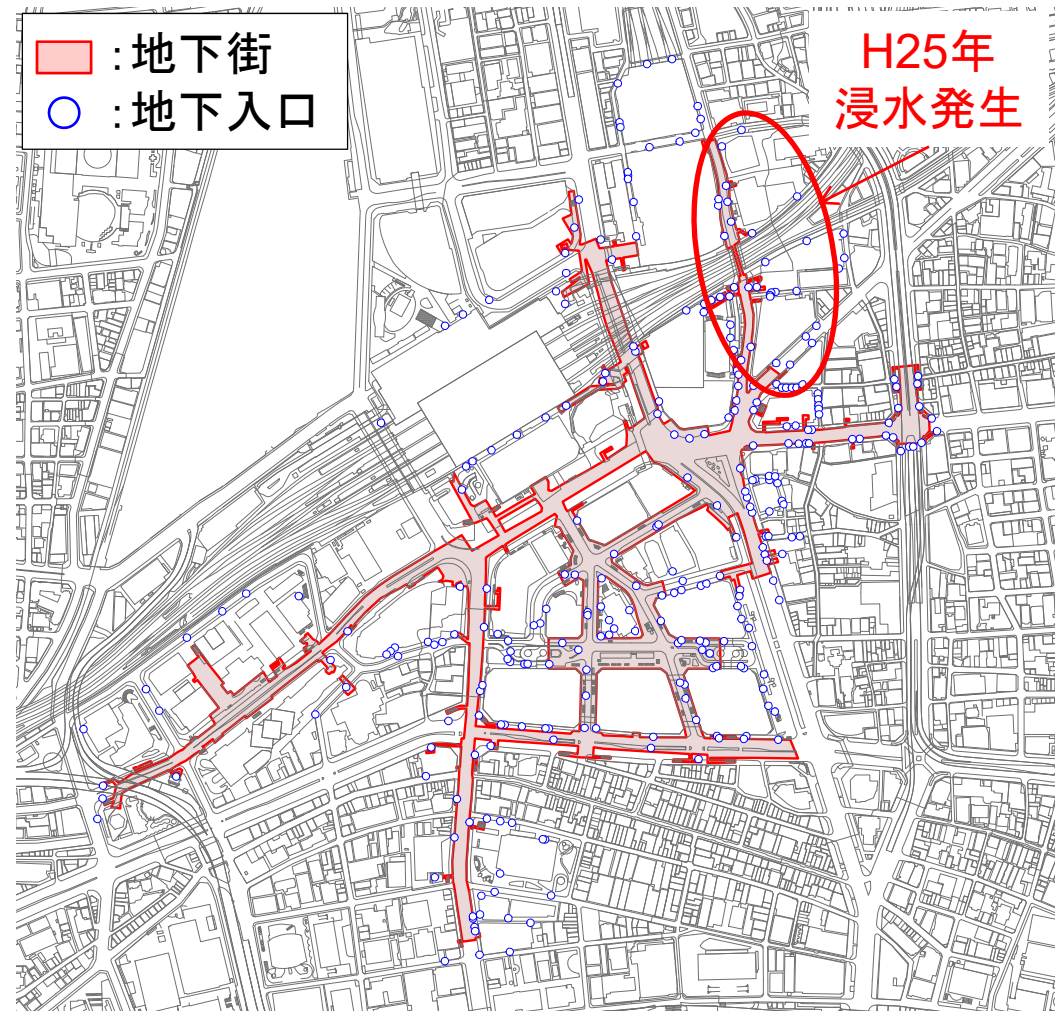
※3：地下街等管理者が水位情報のほか、降雨状況、地表面浸水状況等を総合的に判断して地下街等利用者へ避難誘導等を実施

出典：水位周知下水道制度に係る技術資料(案)

2.紹介事例の概要

■対象地区の概要

- ・A市の中心に位置する大規模地下街の周辺地区
- ・下水道計画の整備目標は10年確率60mm/h(整備済)
- ・平成25年に時間雨量49mm/hで地下街周辺で浸水発生



2.紹介事例の概要

■ 検討項目

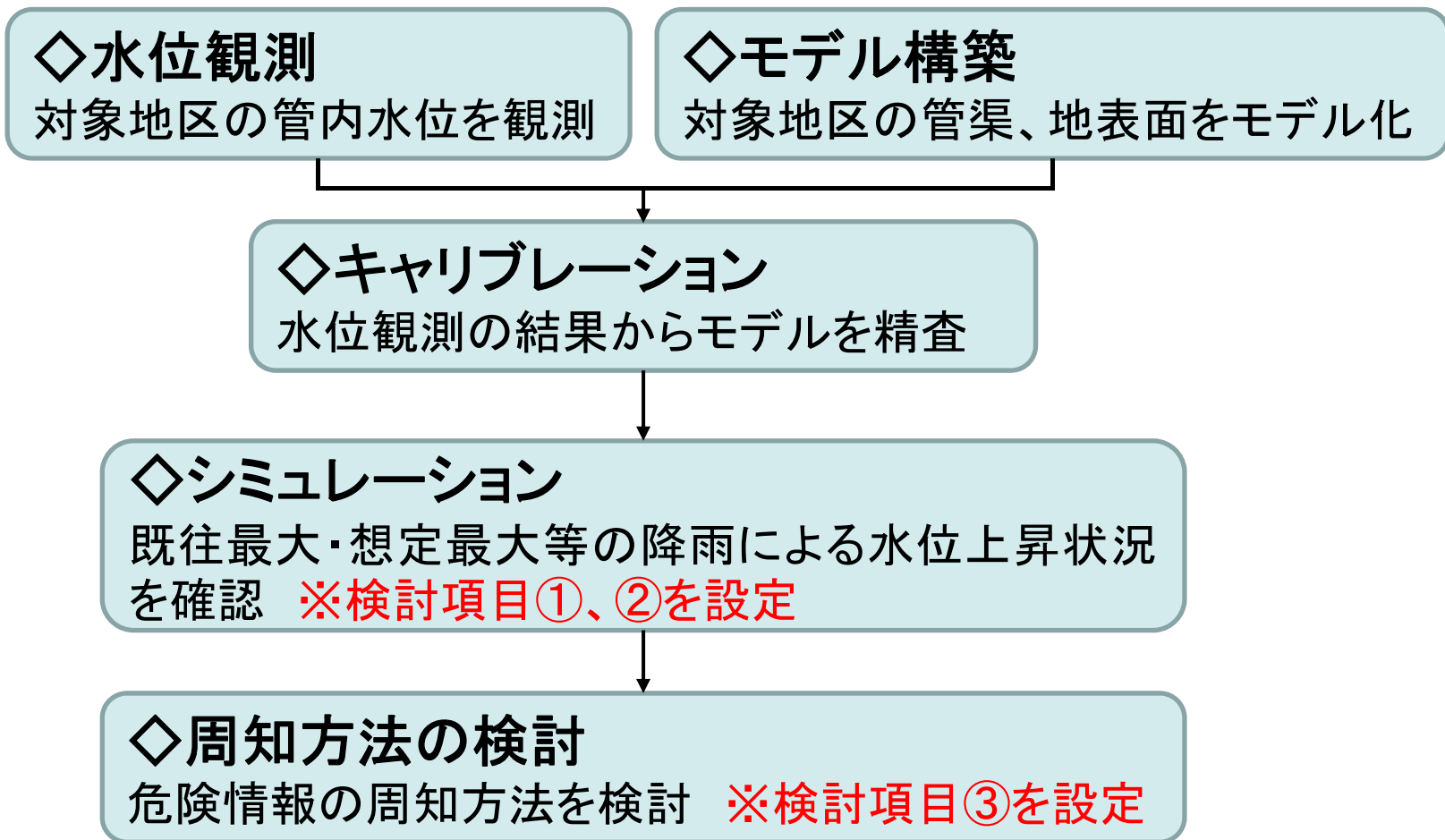
- ①常設水位計の設置箇所
- ②内水氾濫危険水位
- ③地下街管理者への周知方法

■ 検討のポイント

- ・地下街へ流入するような**これまで生じたことのない被害**を評価
- ・**シミュレーションモデルによる周知方法の検討**

2.紹介事例の概要

■ 検討フロー



3.水位観測

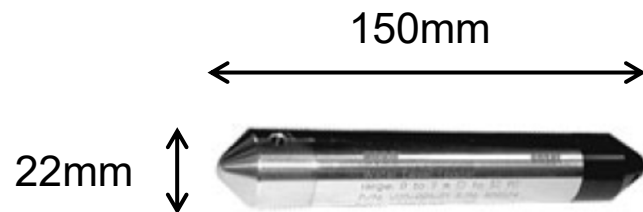
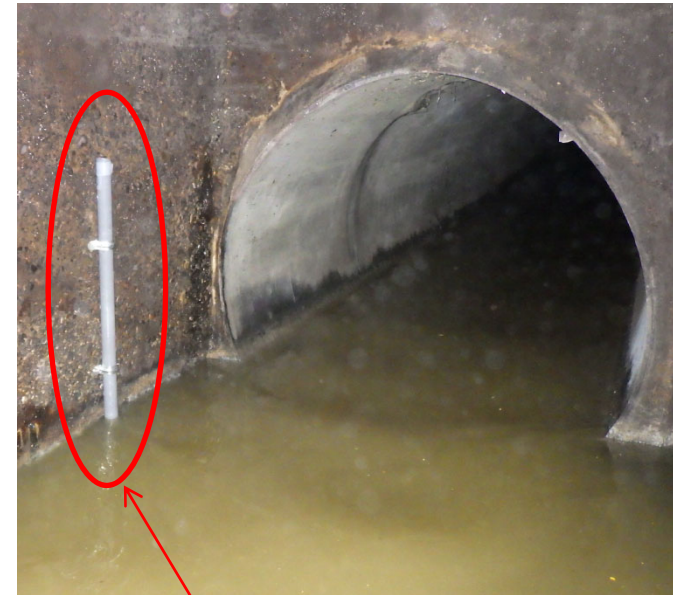
■ 水位観測条件

観測地点：10箇所

観測期間：120日以上

設置箇所：枝線～幹線管渠内

水位計仕様：投込圧力式

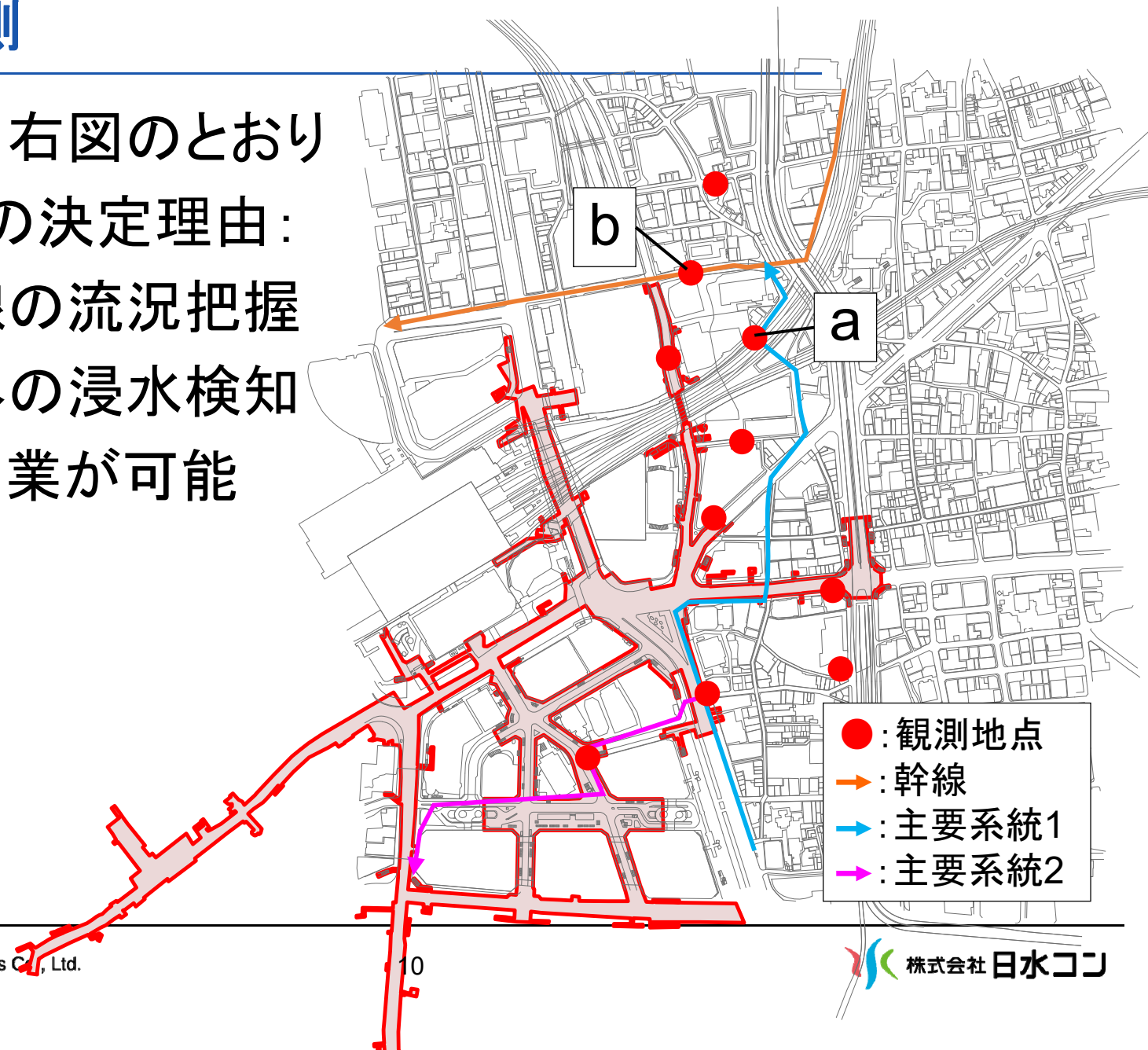


3.水位観測

観測位置：右図のとおり

観測位置の決定理由：

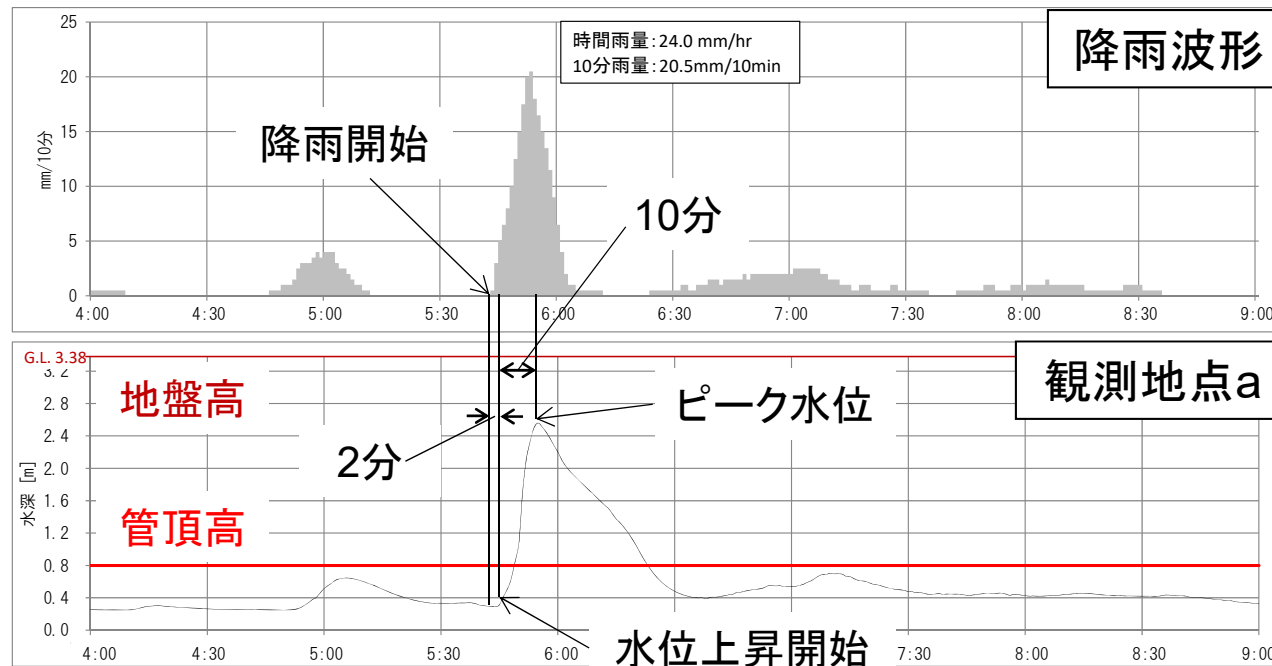
- 主要幹線の流況把握
- 地下街への浸水検知
- 安全に作業が可能



3.水位観測

■ 水位観測結果

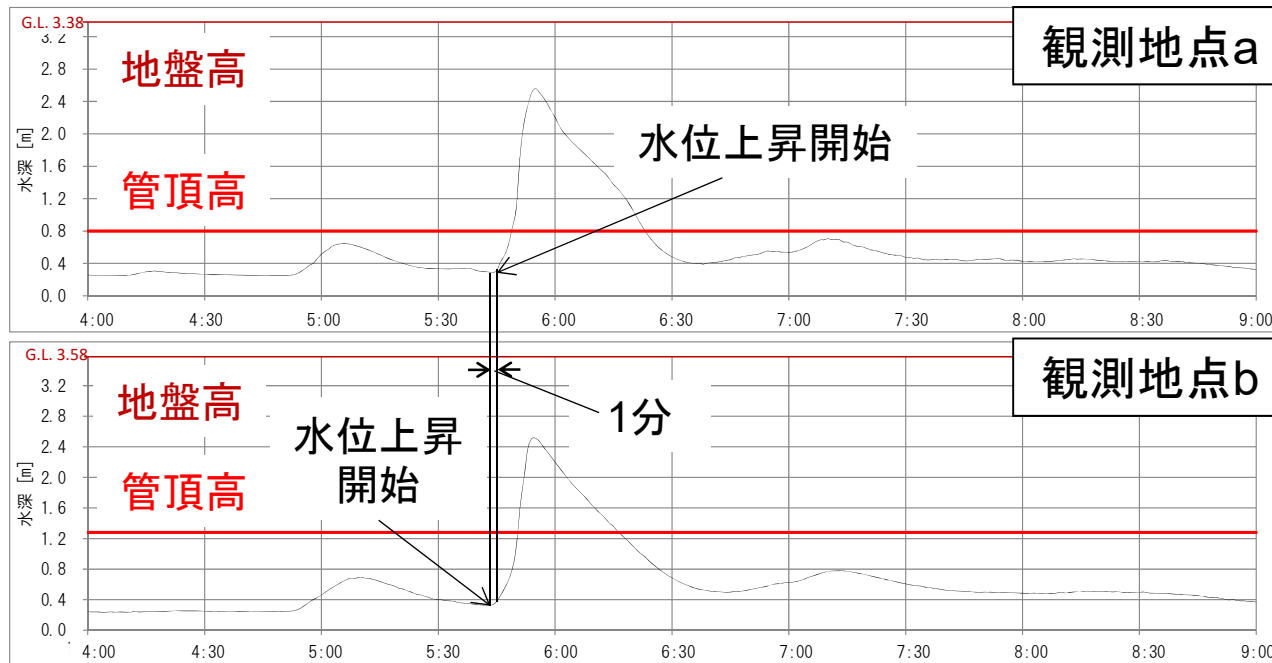
- 降雨開始から水位上昇開始までの時間が約2分
- 水位上昇開始からピーク到達までの時間が約10分



3.水位観測

■ 水位観測結果

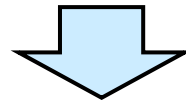
- 水位が上昇するタイミングは地点間でほぼ変わらない



3.水位観測

■まとめ

- 降雨開始後、すぐに水位が上昇する
- 水位上昇の感度について、地点間の差は少ない



雨に対する水位の感度が地点間で変わらないため
水位計設置箇所は以下の条件が揃えばよい

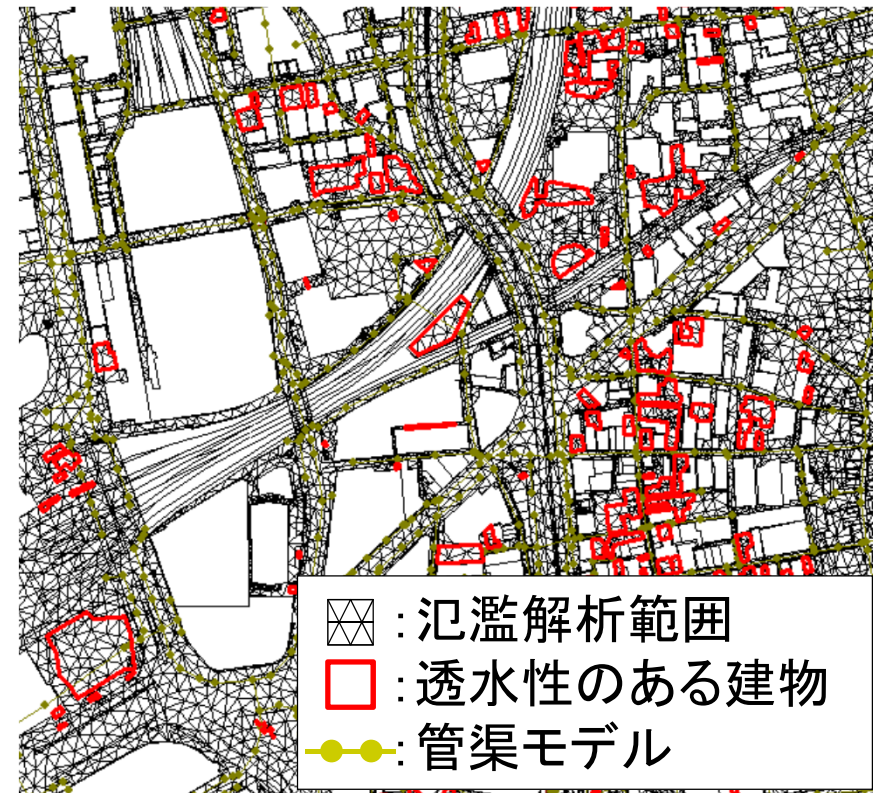
「浸水発生が早い」「地下街入口で大きく浸水」

4.モデル調整

■モデル構築

一次元解析と氾濫解析ができるモデルを作成

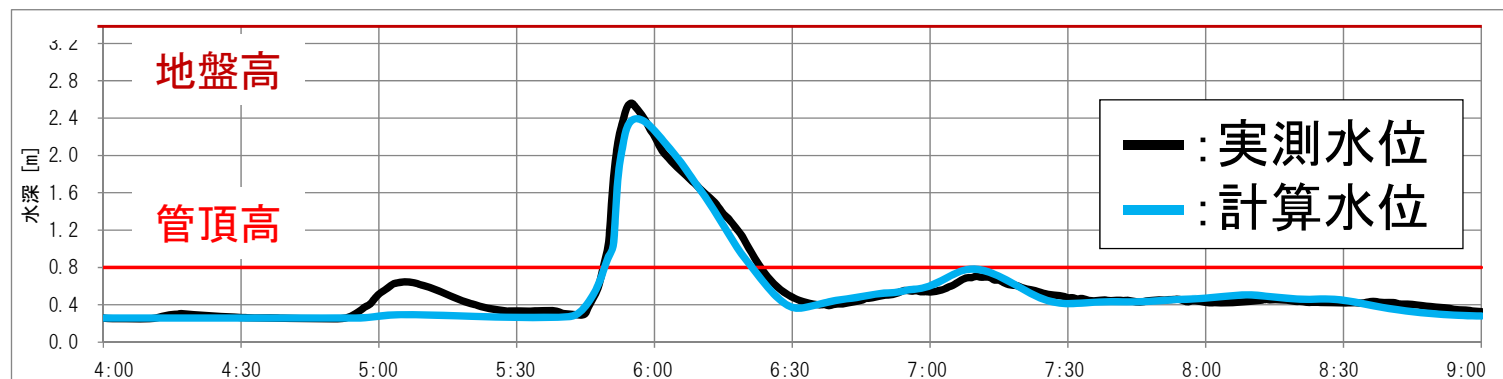
- ・管渠モデル：
下水道台帳よりモデル化
- ・地表面モデル：
道路や建物形状を表現できる程度までモデル化



4.モデル調整

■キャリブレーション

- 観測水位との整合度より、モデルの妥当性を確認
- 水位の整合度を見ながら流出係数を変えてモデルの調整を行った
- レーダ雨量を入力することで再現性が向上した



5.水位計設置箇所を選定

■設置箇所を選定条件

「浸水発生が早い」

早期浸水検知のために、最も早く浸水する箇所を選定

「地下街入口で大きく浸水」

地下街入口の高さを超えて浸水が流入する箇所を選定

5.水位計設置箇所を選定

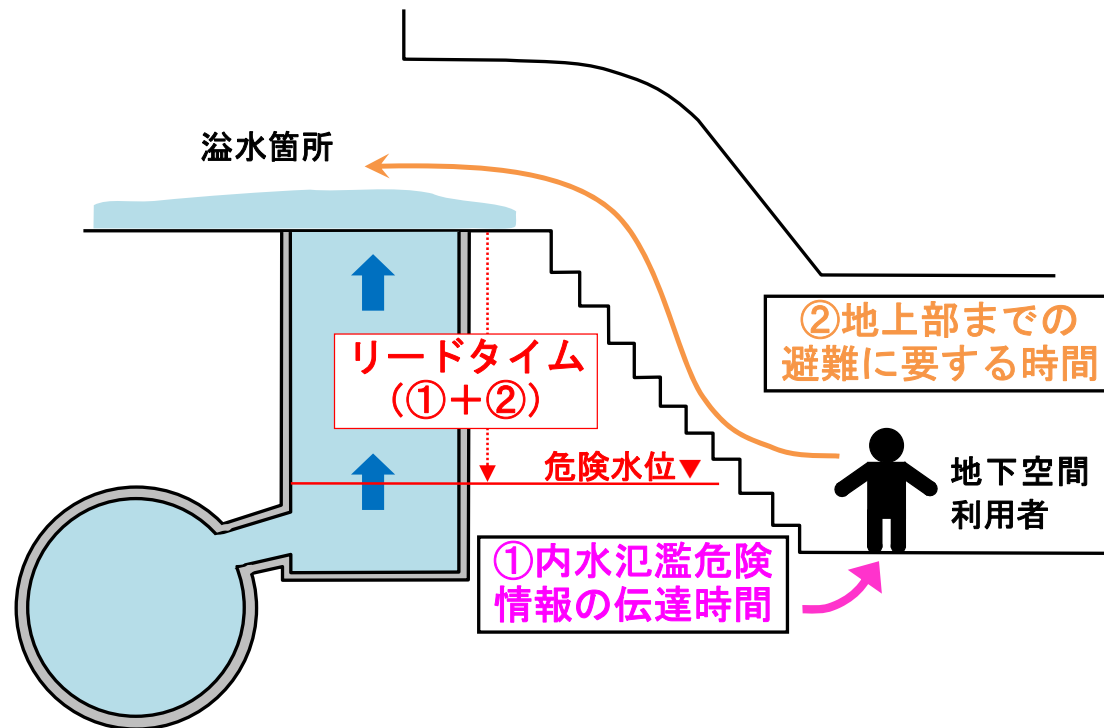
	浸水の早さ	最大浸水深	入口の有無	総合
ア	○:最初の浸水から2分以内	△:10~30cm未満	有	△
イ	○:最初の浸水から2分以内	○:30~50cm未満	有	○
図			—	—

※最初に浸水発生した時刻を0分とした時の経過時間

6.内水氾濫危険水位の設定

■リードタイム（避難に要する時間）の設定

A市の避難計画より②が24分と想定されているため、
リードタイムは**30分**とした



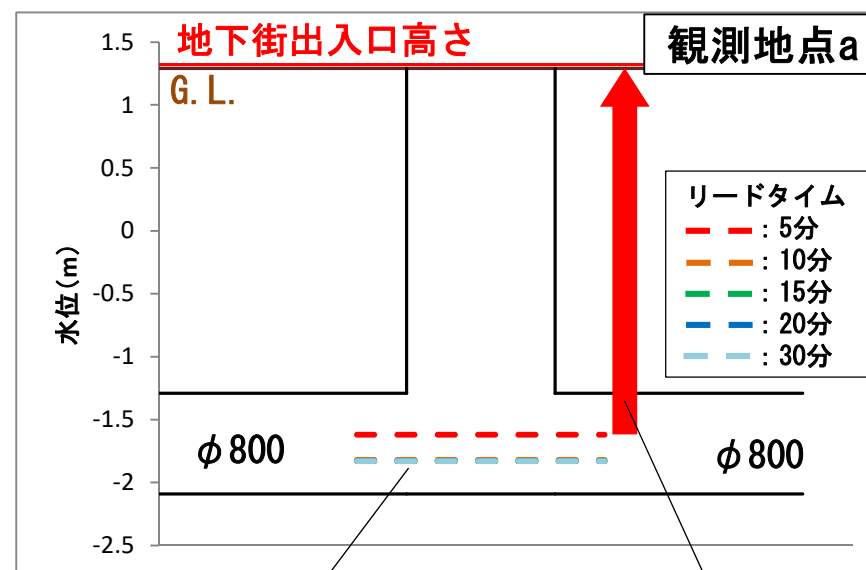
6.内水氾濫危険水位の設定

■内水氾濫危険水位の設定

- ・水位上昇速度が速い
- ・リードタイム10分以上の場合、晴天時水位でアラートを発信することになる



水位情報だけでは
リードタイムの確保は困難



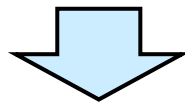
晴天時水位と同じ

5分で地下街入口高さまで
水位上昇

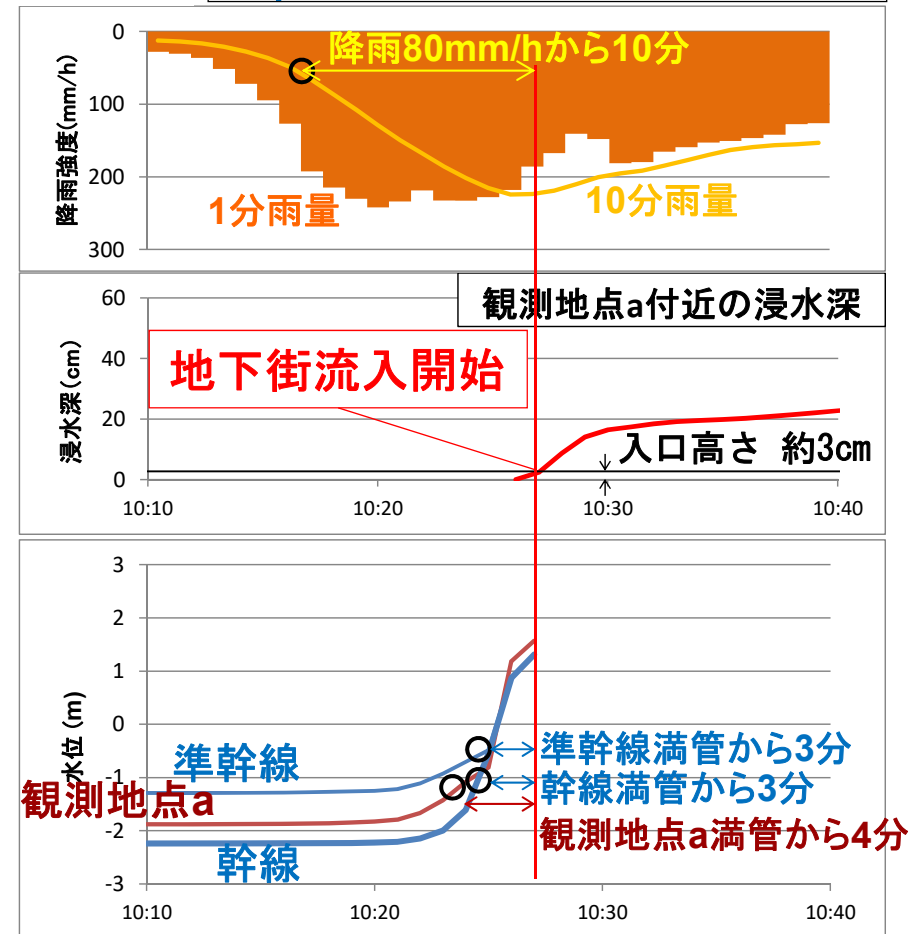
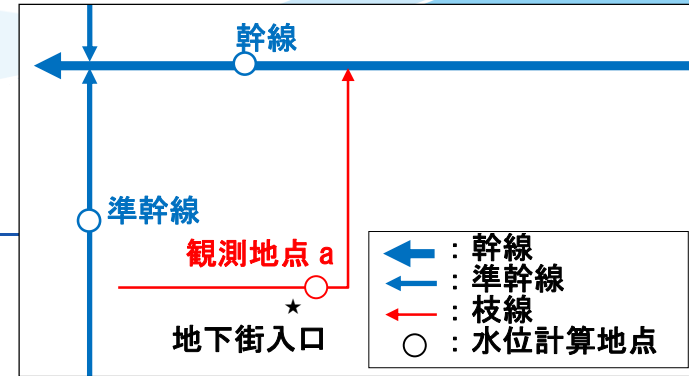
6.内水氾濫危険水位の設定

■ 降雨と管渠内水位の関係

- ・ 水位周知で4分のリードタイムを確保
- ・ 降雨情報で10分のリードタイムを確保



降雨情報でより多くの
リードタイムを確保可能
しかしまだ30分には
不十分...



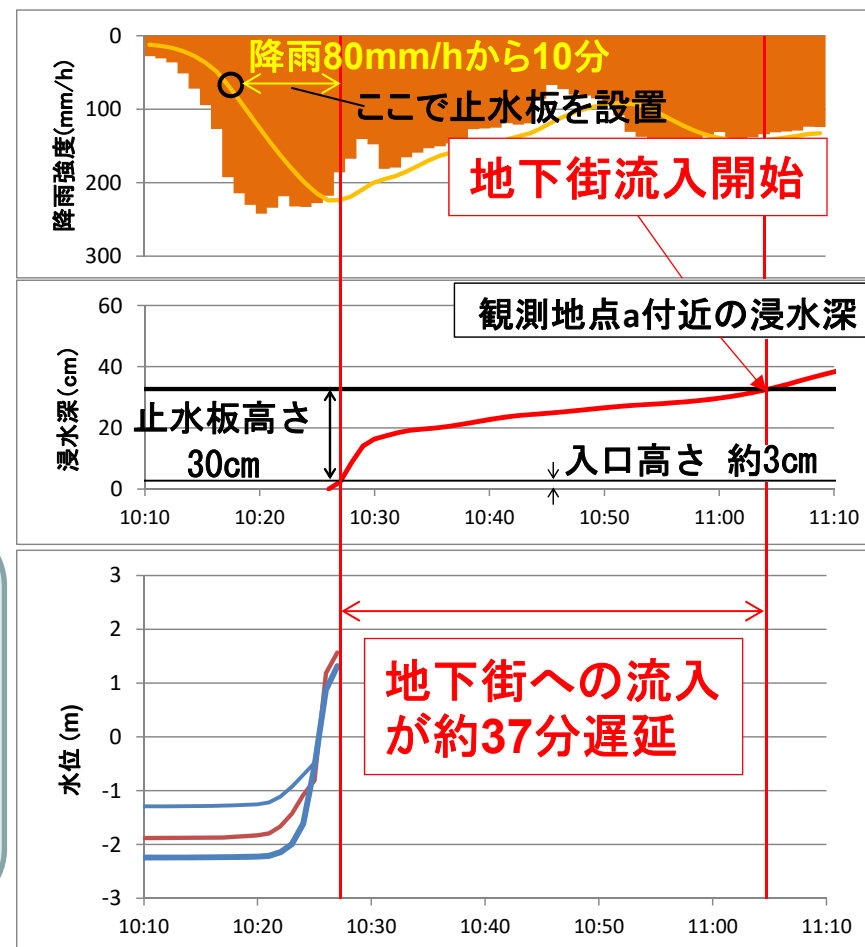
6.内水氾濫危険水位の設定

■ 止水板の設置

- ・ 止水板を設置することで、地下街への流入を約37分遅延させることができる



降雨情報で確保した10分間で止水板を設置することで30分以上のリードタイムを確保できる



6.内水氾濫危険水位の設定

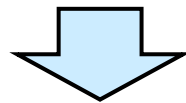
■内水氾濫危険水位の設定は不要？

・水位情報の欠点：

水位の上昇が早いため、十分なリードタイムの確保が難しい

・水位情報の利点：

直接的な浸水リスクを検知するため、**情報の精度(信頼性)は高い**



水位情報だけでなく、**いくつかの情報を複合した周知方法を検討**

7.水位周知方法の検討

■ 段階的な周知方法の検討

- 降雨情報（観測情報、予測情報）と水位情報を利用
- 情報の精度に応じて、段階的に浸水リスクを周知

タイム ステップ	浸水開始 30 分前	浸水開始 20 分前	浸水開始 10 分前	浸水開始	浸水深 10cm 以上
周知内容	準備情報 (止水板の準備)		注意報 (止水板設置)	警報・警報 2 (避難)	
周知判断 材料	降雨予測で 10 分降雨 強度 80mm/h を超過		降雨観測で 10 分降雨 強度 80mm/h を超過 地下街入口付近の 枝線満管	地下街入口 付近浸水開始	地下街に溢水 が流入

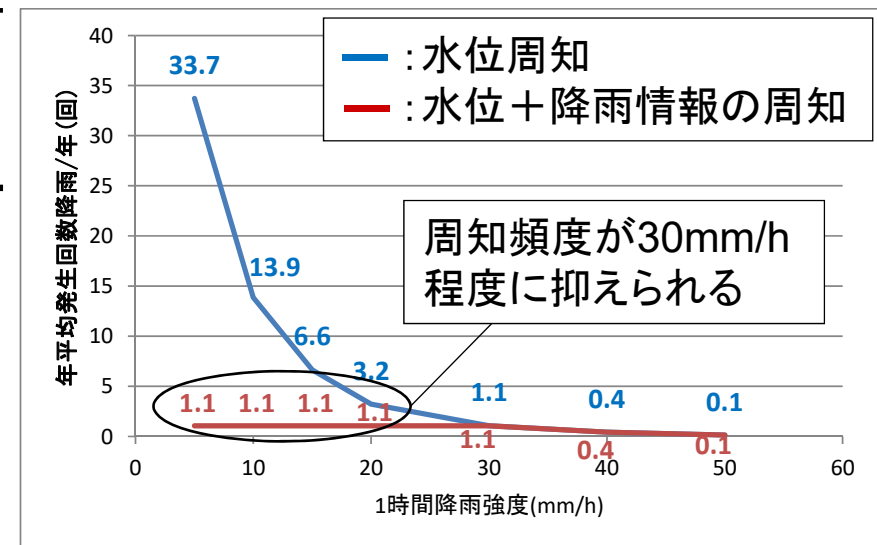
7.水位周知方法の検討

■周知方法及び頻度の確認

- 満管水位を内水氾濫危険水位とした場合、10mm/h程度で満管

⇒A市の降雨傾向より年14回も周知することに

- 浸水発生の恐れがある降雨強度30mm/h超過かつ満管水位を周知の条件に
⇒年1回程度に周知頻度を抑えることが可能



8.まとめ

■本事例の特徴

◎降雨情報を活用した浸水リスクの検知

- 降雨情報(観測情報、予測情報)を活用した、止水板設置時間の確保
- 止水板を設置することで十分なリードタイムを確保

◎段階的周知方法の提案

- 情報の精度に応じた段階的な周知方法を提案
- 周知を段階的に行うことで、浸水リスク情報の周知頻度を低減

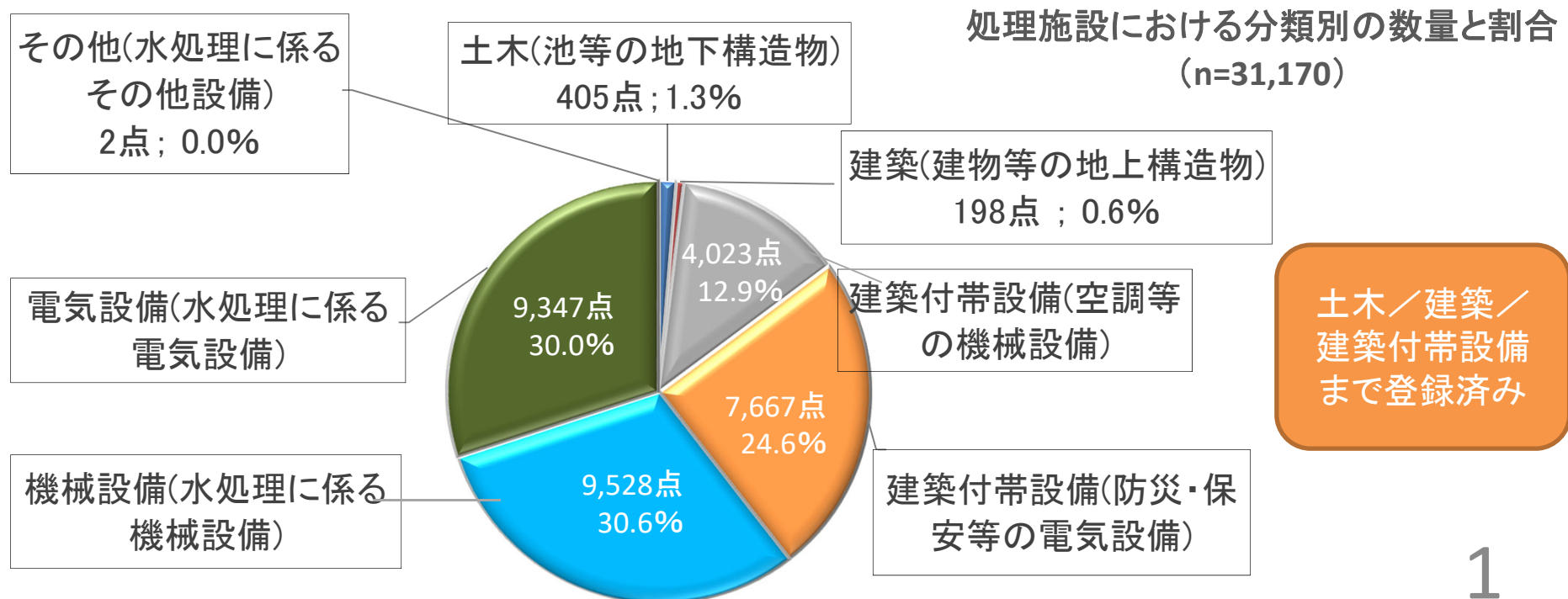
職員の作業量を縮減した 改築シナリオ策定支援ツールの構築 について

令和元年 7月 5日

日本水工設計株式会社
東京支社
塩谷 寛行

1. はじめに

顧客名	A市(人口150万人、普及率99.6%、S.5~)
業務名	下水道ストックマネジメント計画に係る基盤情報整理業務
市の 特徴	<p>①大量の施設数 (水処理センター:6, ポンプ場:66, 雨水調整池・滞水池:4)</p> <p>②膨大なストックの量(約40,000点→計画対象:31,170点)</p> <p>③市職員による維持管理を実施</p>



2. 長期改築シナリオ作成に係る課題

- A市の要求事項

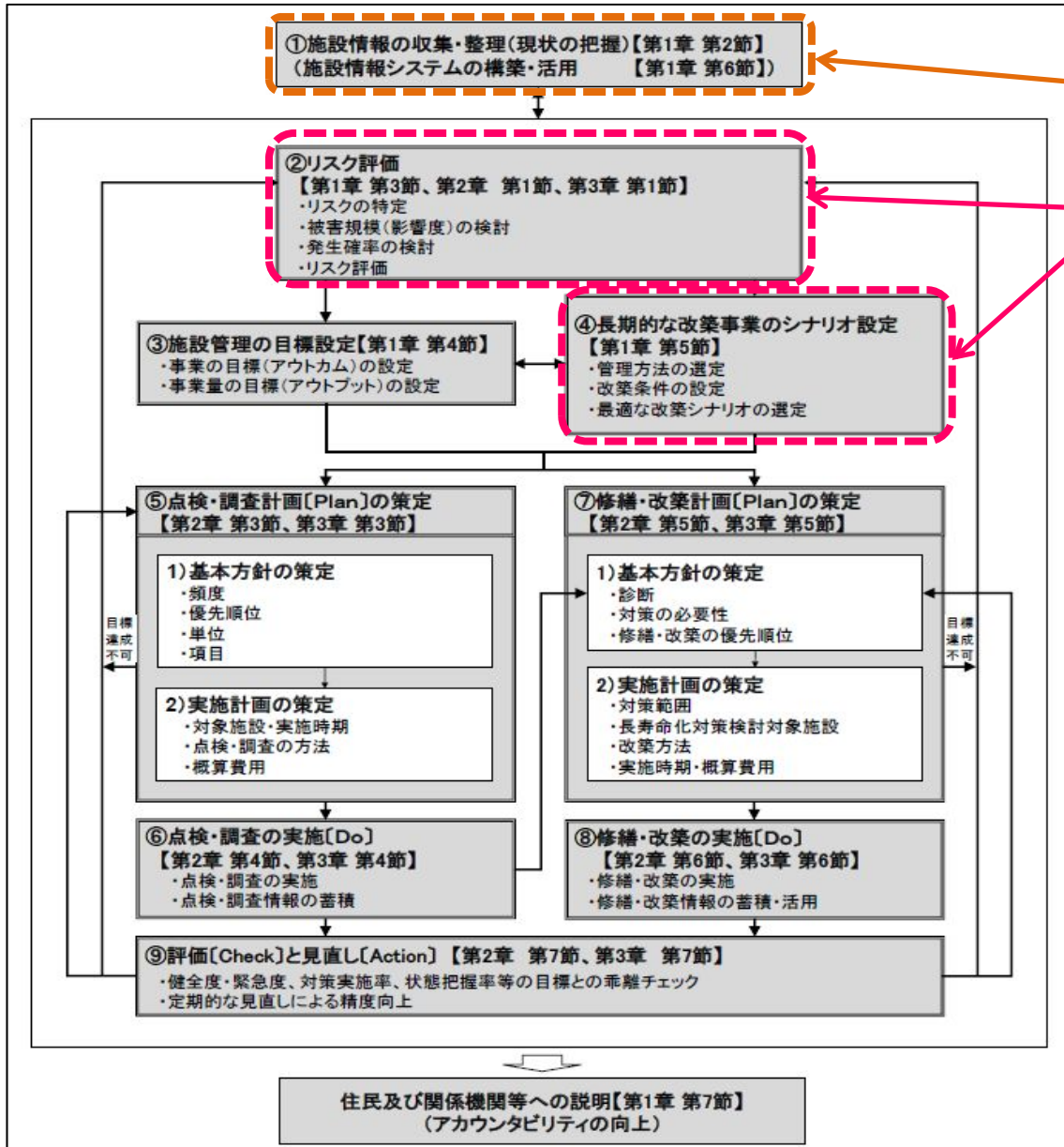
市職員、自らがSM実施方針を策定する



- 市職員がSM実施方針を作成するために...

- ① 作業量の縮減
- ② わかりやすい操作性
- ③ 作成者の意思の反映
- ④ 継続して運用できる仕組みづくり

3. 本業務の開発範囲



既存の機器台帳を活用

- 本業務の開発範囲
- ②リスク評価
 - ・発生確率/被害規模の設定
 - ・リスクマトリクスの設定
- ④長期的な改築事業のシナリオ設定
 - ・改築周期/一部改築周期のマスタ化
 - ・ユニット化(グループ化)
 - ・長期改築シナリオの作成
 - ・ライフサイクルコストの比較

出典：下水道事業のストックマネジメント実施に関するガイドライン（国土交通省）

4. 長期改築シナリオ作成の作業フロー

●A市の要求事項

市職員、自らがSM実施方針を策定する

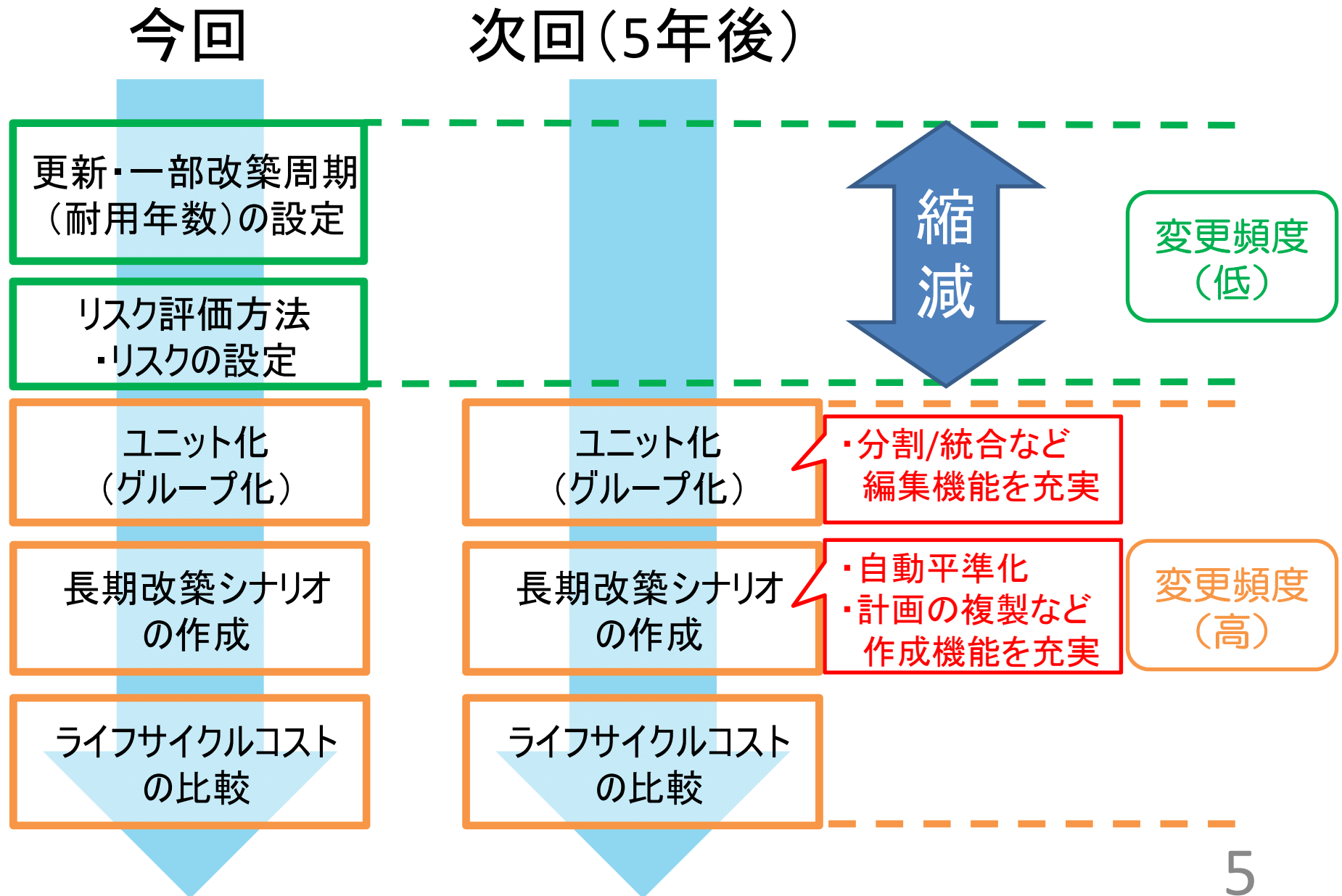
●開発時に考慮した事項

- ①今回設定できることは、本業務内で実施
- ②次回のSM実施方針策定時の作業も縮減

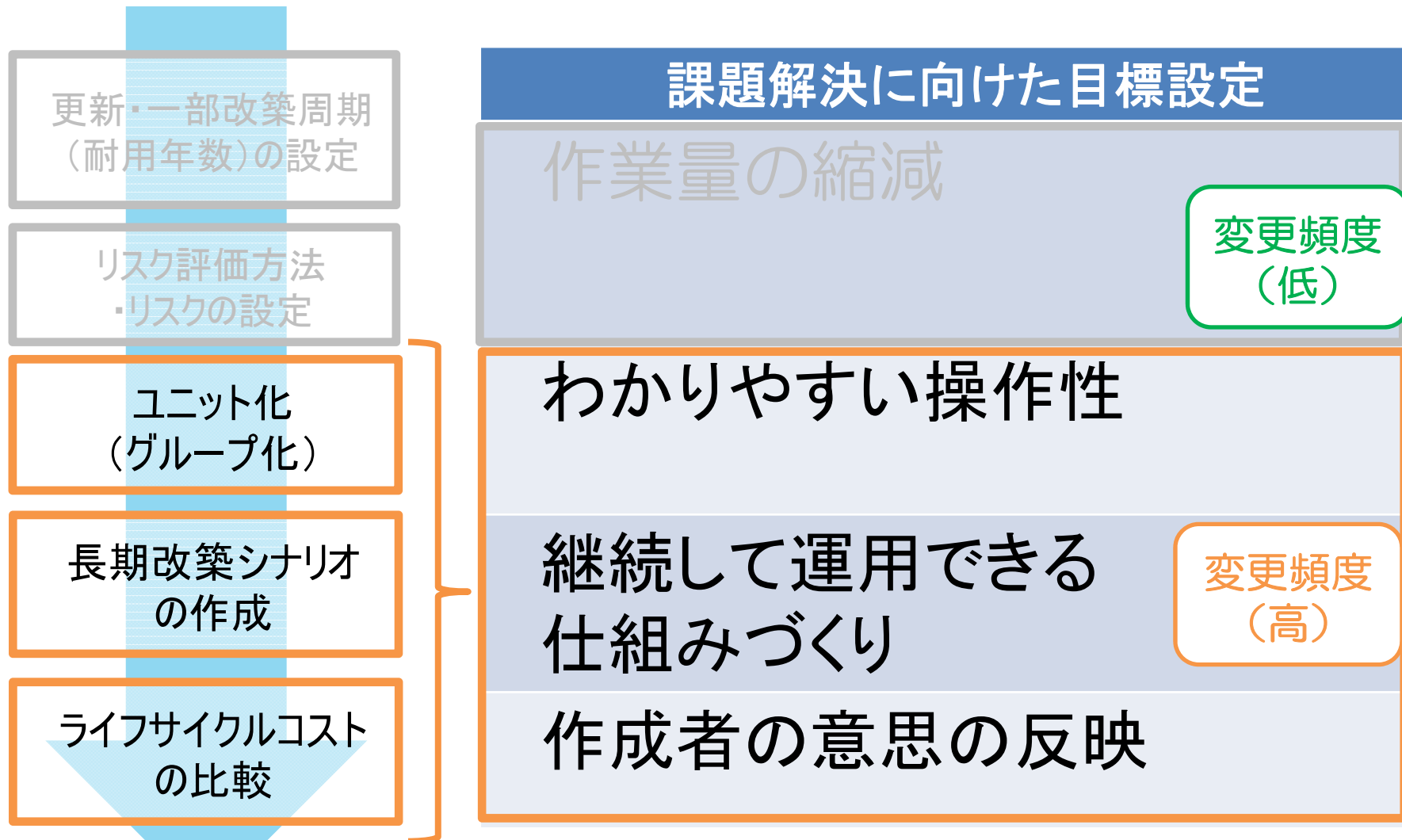
●情報(データ)の変更頻度によって作業フローを整理

- ①変更頻度が低い作業：前半の作業に集約
- ②変更頻度が高い作業：後半の作業に集約し、操作性を重視

4. 長期改築シナリオ作成の作業フロー



5. 課題解決に向けた目標設定



6. わかりやすい操作性

ユニット化(グループ化)ー自動設定

機器点数: 4万点

ポンプ場施設
自動設定フロー水処理センター
施設
自動設定フロー雨水調整池
・滞水池
自動設定フロー

ユニット数: 2千組

手動設定

6. わかりやすい操作性

ユニット化(グループ化)ーポンプ場設備自動設定フロー

機器点数: 4万点

ポンプ場施設の設備リスト

事後保全となる設備の除外

機器点数: 3万点
ユニット化

工種別

土木・建築・建築
付帯設備

機械設備

電気設備

場内の建物別に
ユニット化

“中分類”単位で
ユニット化

“受変電設備”
でユニット化

“自家発電
設備”
でユニット
化

監視制御設備”
+ “負荷設備”
その他 (計装
設備等)
でユニット化

ユニット数: 2千組

設定されたグループ内で、主機となる

6. わかりやすい操作性

ユニット化(グループ化)ー手動設定

グループ化の編集(機械設備)

管轄: ○△ 管轄

場: △△ 水処理センター

機器: ○○市 (2015年度) △△ 水処理センター

施設階層ツリー

グループ: △△ 水処理センター - 汚水ポン

更新金額: X,XXX,XXX

建物	設備分類	機器名称	経過年数	標準年数
	汚水ポンプ設備	No.1汚水ポンプ吐出弁	14	15
	汚水ポンプ設備	No.1汚水ポンプ逆止弁	14	1
	ポンプ類	No. 1地下2階床排水ポンプ	16	10

機器リスト

ドラッグ & ドロップ

ユニット化された機器リスト

グループ一覧出力

選択階層のグループ振り分け

更新 Cancel

6. わかりやすい操作性

ユニット化(グループ化)ー手動設定

グループ振り分け

MAISMP0160

機器配置図

加温ボイラー用原水ポンプ No.1

機器名称: 加温ボイラー用原水ポンプ No.1

振り分け先は「△△ 水処理センター - 汚水ボ」でよろしいですか?

<<前へ戻る はい いいえ 後回しにして次へ>>

決定ボタン 機器選択ボタン

ユニット参照

グループ: △△ 水処理センター - 汚水ボ

No.1汚水ポンプ吐出弁
No.1汚水ポンプ逆止弁

中断 破棄

管理本館 を振り分け中
1 / 112 (112)

6. わかりやすい操作性

未設定の機器に発生確率・被害規模を自動設定
リスク値更新

機器番号	機器名	発生確率	被害規模	故障の可能性あり
1101-936	No.1汚水ポンプ	1	4	<input type="checkbox"/>
1101-937	No.2汚水ポンプ	5	4	<input checked="" type="checkbox"/>

リスクマトリクスの設定

区分: 1 表示

段階: 5 色分けの変更

リスク評価 (案)

	1	2	3	4
5	16	17	19	20
4	10	13	15	18
3	6	9	12	14
2	3	5	8	11
1	1	2	4	7

影響度 (被害規模)

リスク値

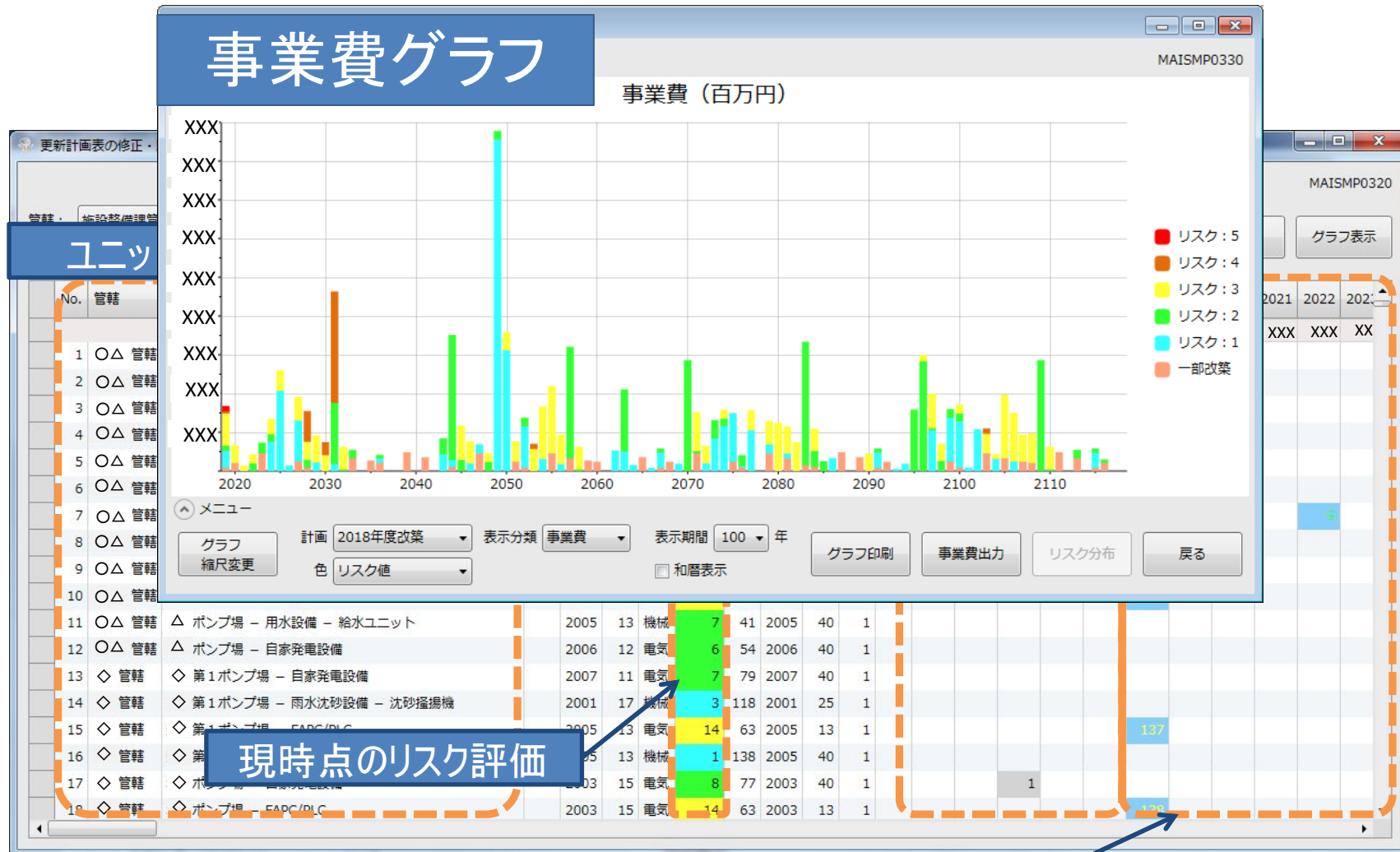
最高値 (未満)	色分け
99	
15	
10	
5	
1	

模

新規追加
削除
更新
Cancel

6. わかりやすい操作性

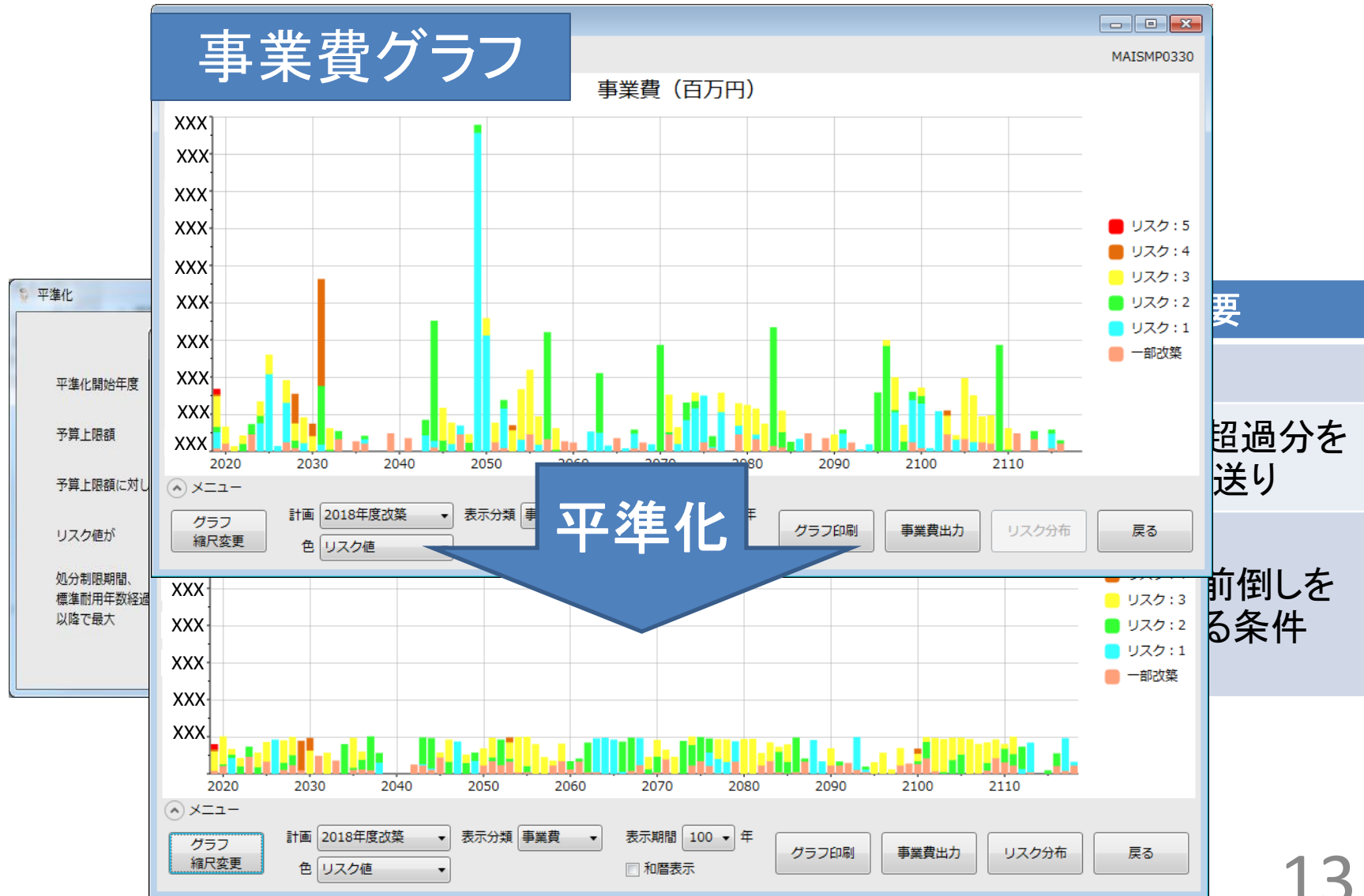
長期改築シナリオの作成ー自動設定



改築時期、金額(数値)、改築時点のリスク(色)を、一元的に表現

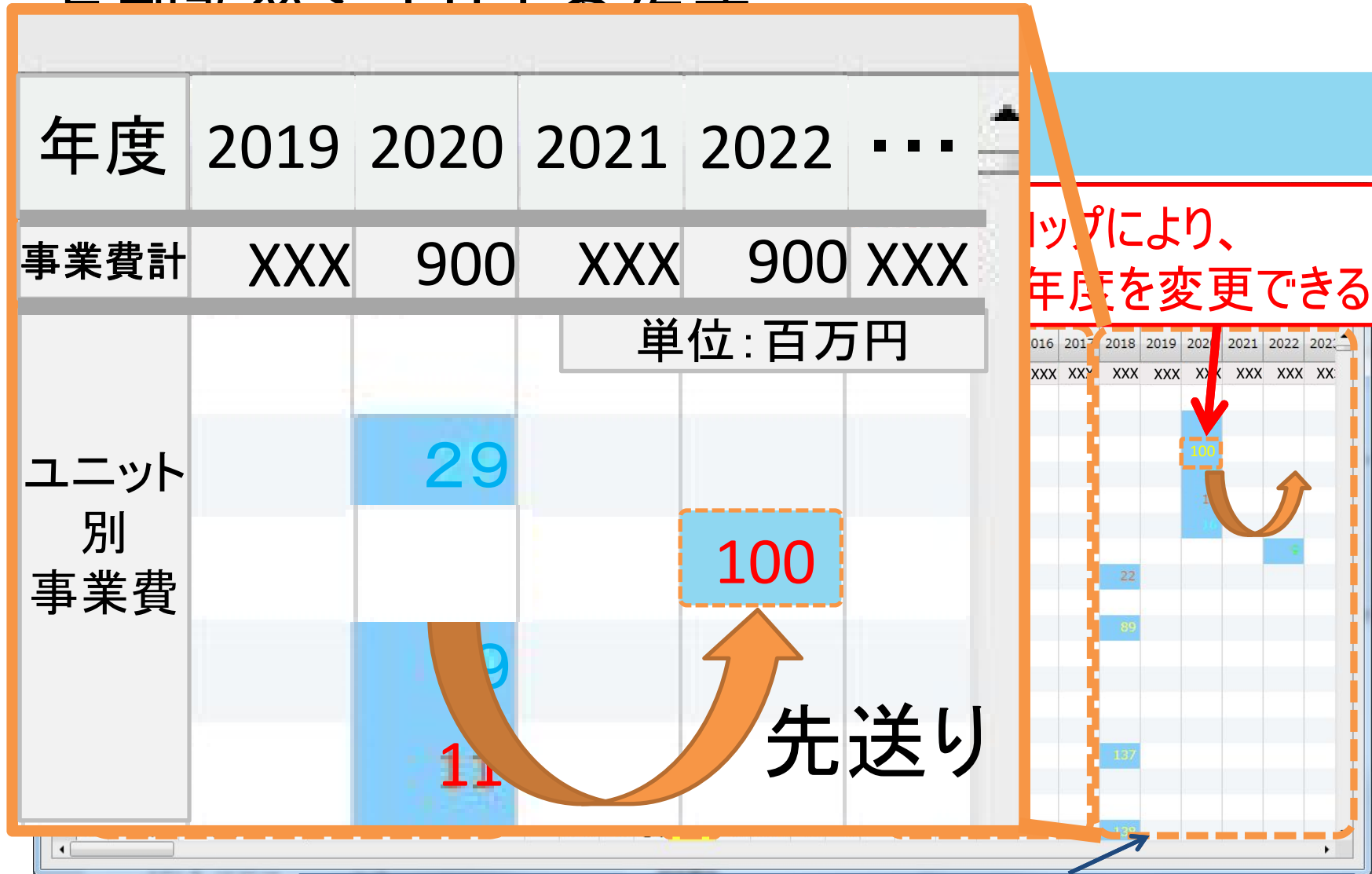
6. わかりやすい操作性

長期改築シナリオの作成—自動平準化



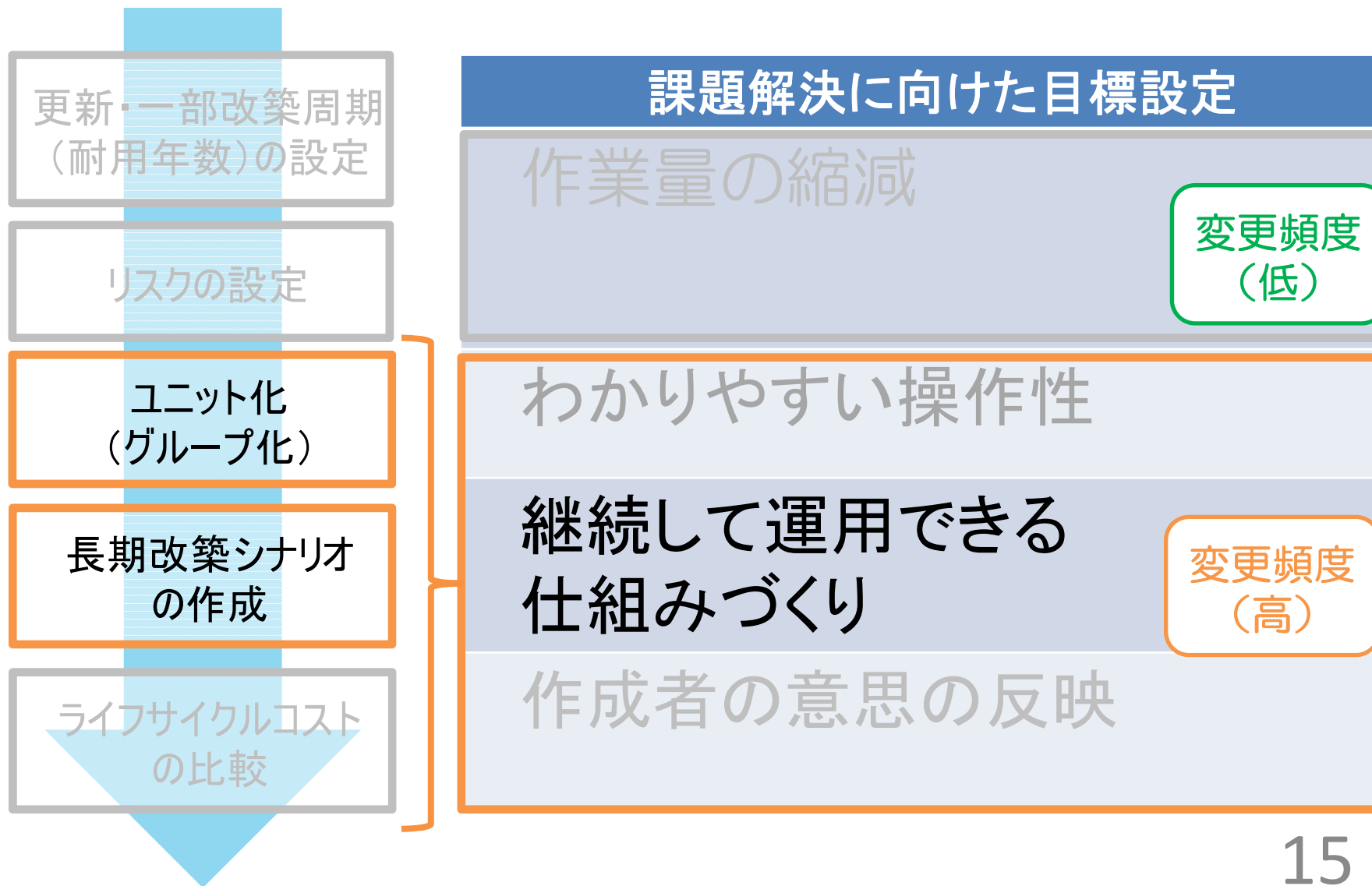
6. わかりやすい操作性

長期計画の表示形式



改築時期、金額(数値)、改築時点のリスク(色)を、一元的に表現

7. 継続して運用できる仕組みづくり

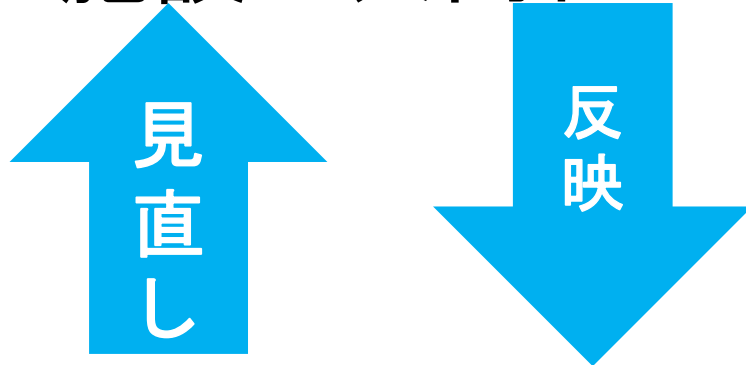


7. 継続して運用できる仕組みづくり

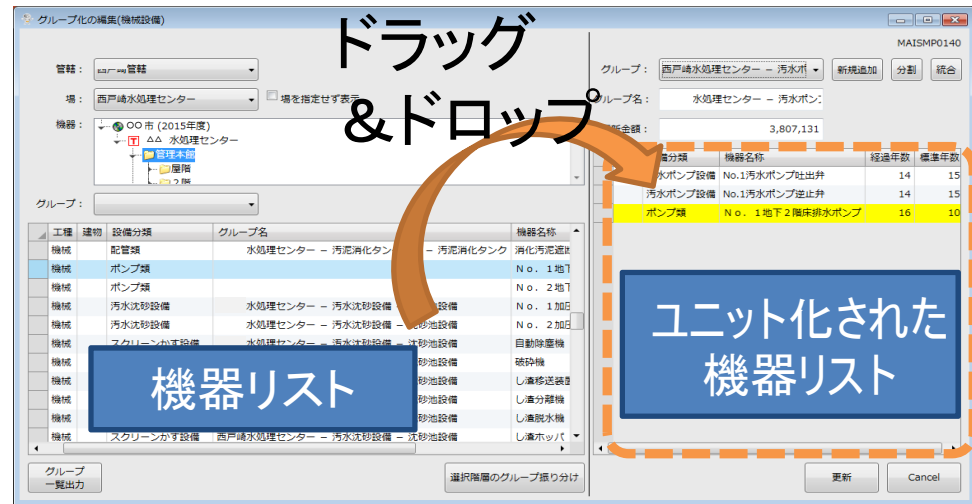
長期改築シナリオの複製（ユニット見直しの反映）

ユニット化

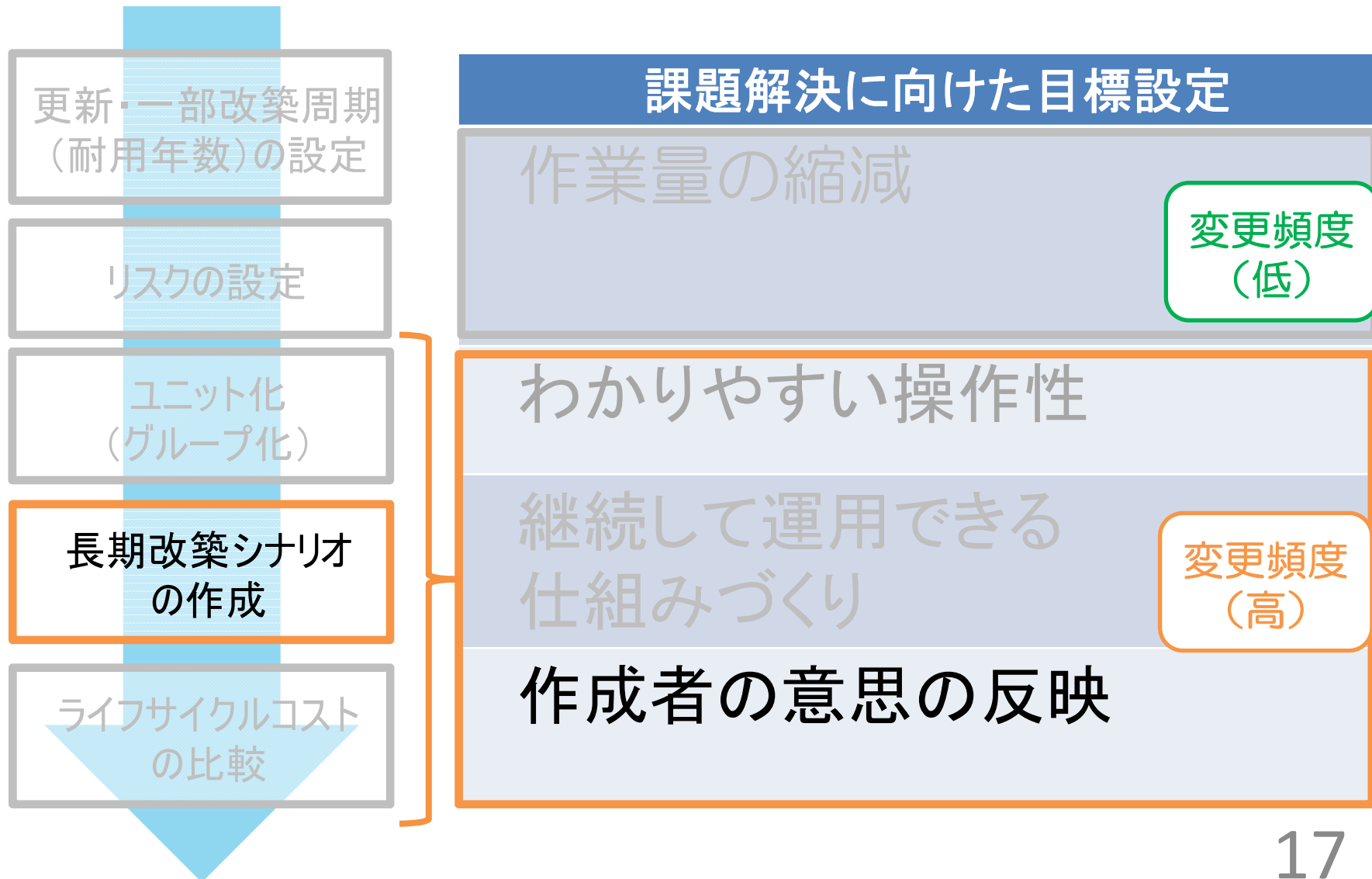
- 技術革新
- ダウンサイジング
- 施設の共同化



長期改築シナリオの作成



8. 作成者の意思の反映



8. 作成者の意思の反映

作成者の意思の反映

機器台帳

1101 - 937

機器名称 * No.2汚水ポンプ 大分類 *

形式 水中汚水汚物ポンプ 中分類 *

施設名称 ○○水処理センター 小分類 *

設置場所 管理本館 地下2階 ポンプ井 ... 標準耐用年数

工種 * 機械 目標耐用年数

経過年数

未設定の機器に
発生確率・被害規模を自動設定

リスク値更新

機器番号	機器名	発生確率	被害規模	故障の可能性あり
1101-936	No.1汚水ポンプ	1	4	<input type="checkbox"/>
1101-937	No.2汚水ポンプ	5	4	<input checked="" type="checkbox"/>
1		1	4	<input type="checkbox"/>
1		1	4	<input type="checkbox"/>
1		1	4	<input type="checkbox"/>
1		1	4	<input type="checkbox"/>
1		1	4	<input type="checkbox"/>
1		1	4	<input type="checkbox"/>
1		1	4	<input type="checkbox"/>

リスクマトリクスの設定

区分: 1 表示

リスク評価 (案)

5	16	17	19	20
4	10	13	15	18
3	6	9	12	14
2	3	5	8	11
1	1	2	4	7
	1	2	3	4

影響度 (被害規模)

MAISMP0250

リスク値

発生確率	被害規模	色分け
20	99	
15	20	
10	15	
5	10	
1	5	

新規追加 削除 更新 Cancel

9. 支援ツールの構築結果

支援ツール構築の課題解決に向けた目標設定と本業務で実施した結果

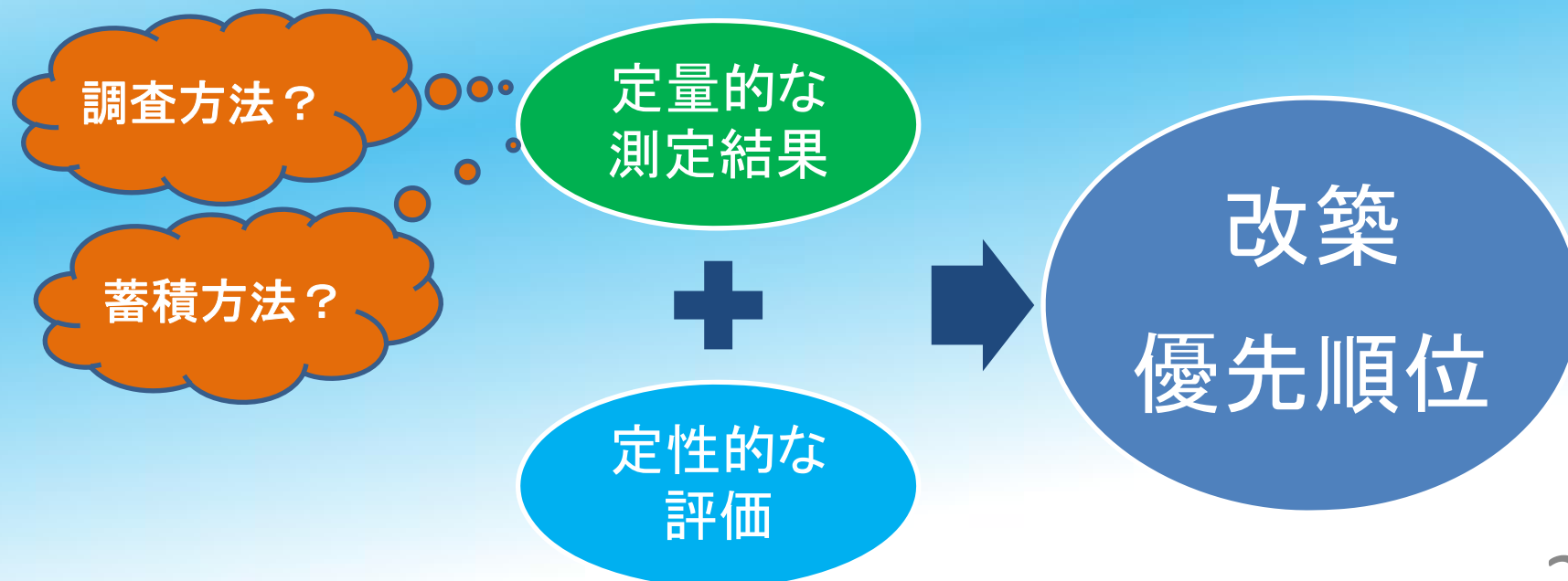
自動化によって、複数の長期改築シナリオの作成時間を大幅に削減することができた

No	目標設定	結果
①	わかりやすい操作性	<ul style="list-style-type: none">ドラッグ & ドロップでストックの加除機器配置図からストックを振り分け
②	継続して運用できる仕組みづくり	<ul style="list-style-type: none">ユニット化の編集作業分担を可能とする改築シナリオの統合設定の変更を反映した改築シナリオの複製
③	作成者の意思の反映	<ul style="list-style-type: none">改築シナリオの編集故障リスクが高い設備の見える化

10. 今後の展望

長期改築シナリオ策定における更なる目標

定期的な簡易調査(定量的な測定)の結果を定性的な評価で補足し、改築シナリオの優先順位等に反映する仕組みを構築していきたい。

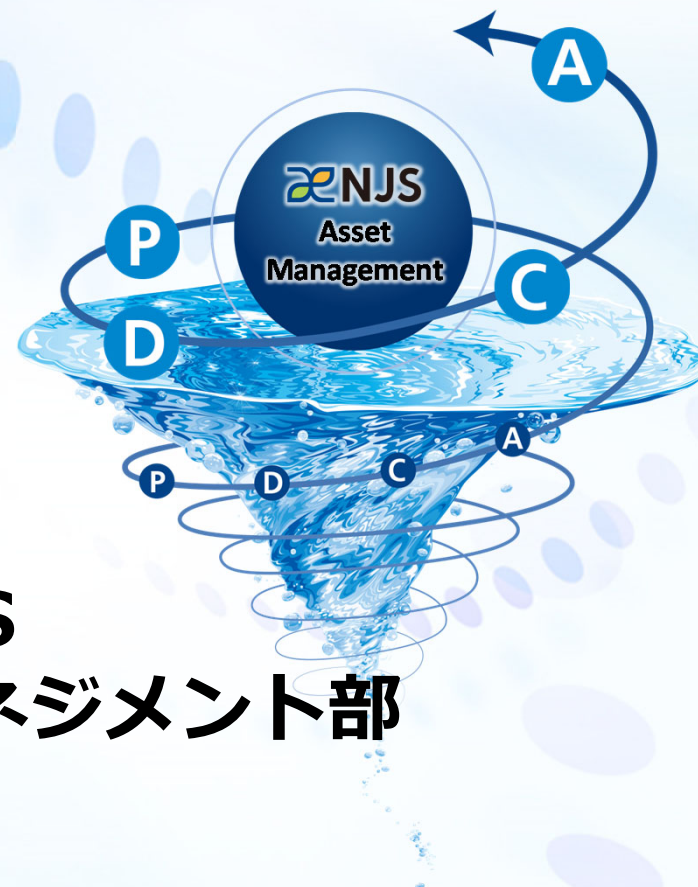


ご清聴ありがとうございました

IoT及びドローンを活用した設備診断技術の開発

2019年7月5日

株式会社 NJS
東京総合事務所アセットマネジメント部
川高 大佑



- 1 本技術開発の背景・目的
- 2 本技術開発の全体像
- 3 本技術開発の概要
 - ・対象設備（汚泥かき寄せ機）
 - ・振動診断技術の下水道設備への適用確認フロー
 - ・強制振動試験
 - ・振動測定及び解析による劣化診断
 - ・下水処理場内におけるドローン活用の有効性確認
- 4 今後の展開

1 本技術開発の背景・目的

背景

【設備管理の現状】

- ・ 作業員の五感による劣化診断が主流（作業員の劣化診断精度にバラつき）
- ・ 設備診断の頻度増によるコスト増加

【設備管理のニーズ】

「人」、「カネ」に制約がある中、老朽化が懸念される設備に対して、効率的・経済的で精度の高い予防保全管理

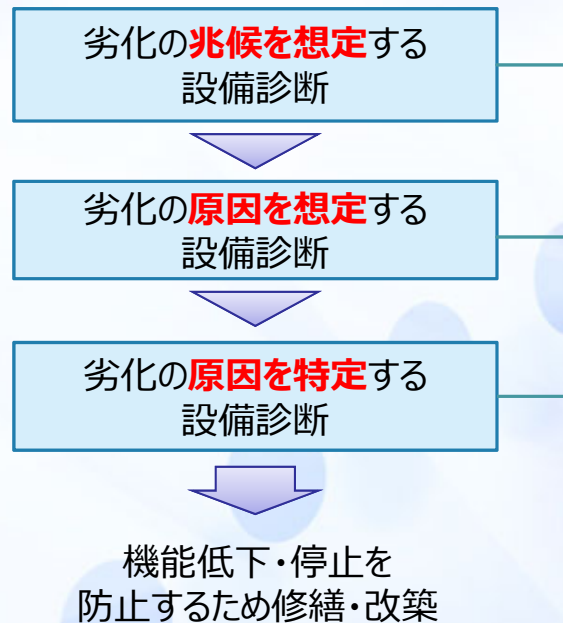
目的

高精度かつ効率的な劣化診断技術及び**劣化情報収集技術**の確立により
下水道設備における予防保全の**質的向上**及び**効率化**を実現

2 本技術開発の全体像

- 高速回転機器だけでなく、低速回転機器も含めた**動的機器全て**が対象
- 診断技術の確立と共に、**IoT・クラウド技術**（無線センサー、振動解析機能等）を開発し、**低コスト**な設備診断を実現

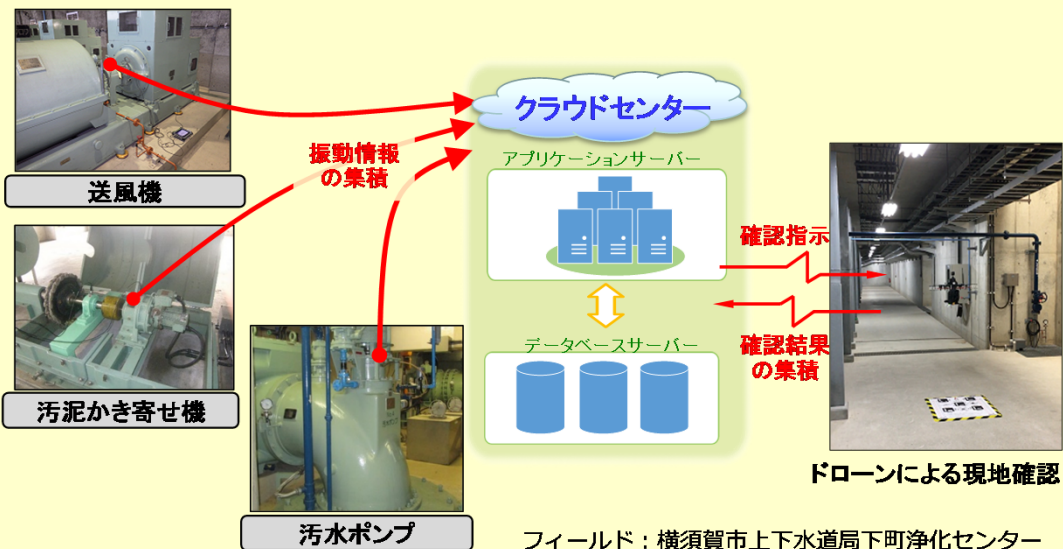
【設備管理フロー】



【共同研究の内容】

- ◆ **振動診断技術の下水道設備への適用確認**
 - ◆ 機器設置型無線センサーの開発
 - ◆ 振動解析機能+クラウド運用によるオンライン監視の実現
-
- ◆ **ドローンを活用した劣化情報収集技術**
 - ◆ AI（人工知能）による劣化画像解析

IoT及びドローンを活用した設備診断システムのイメージ



3 本技術開発の概要

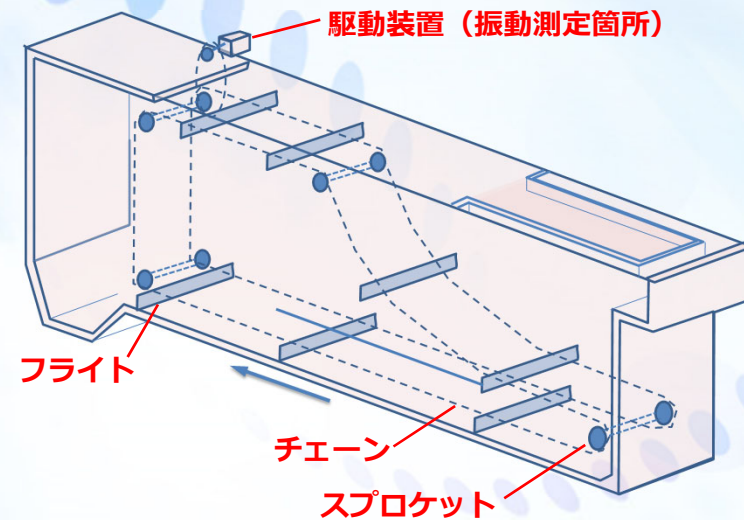
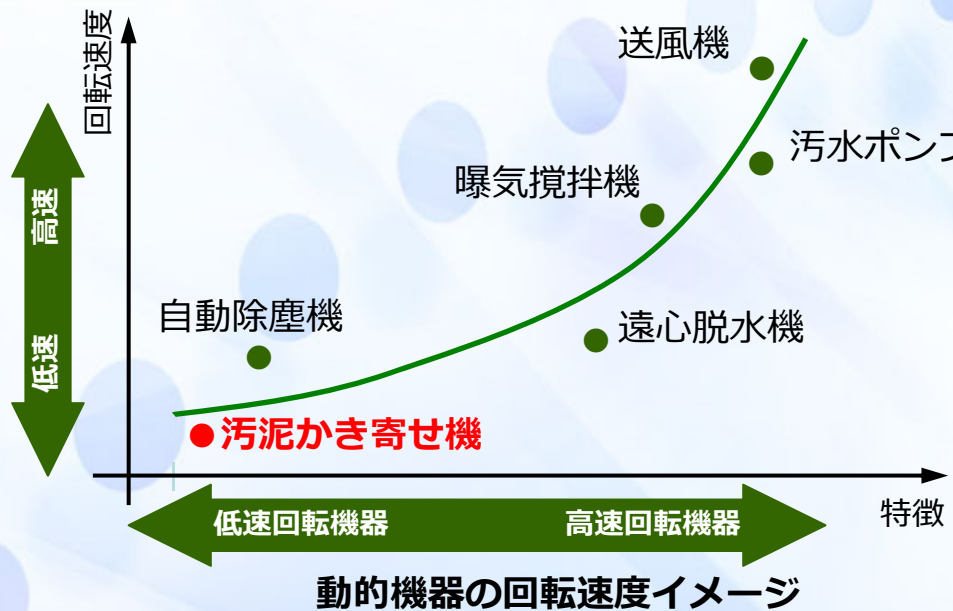
～対象設備（汚泥かき寄せ機） 1/3～

対象設備の特徴

高速回転機器は他分野で実用化済みの振動診断技術が下水道設備に適用できることを確認検証済み

汚泥かき寄せ機の劣化診断的特徴

- ・ **低速回転機器**（処理場内で最も低速回転の部類）
- ・ 大部分が**常時水没**（下水道設備の多くは汚水・汚泥に接している又は水没している）
- ・ 振動診断技術の適用が困難と想定（振動測定箇所とスプロケット等の劣化原因箇所が遠い）



汚泥かき寄せ機模式図

汚泥かき寄せ機に対して振動診断技術の確立ができれば、**処理場内の動的機器全てに対して**適用が可能であると期待できる

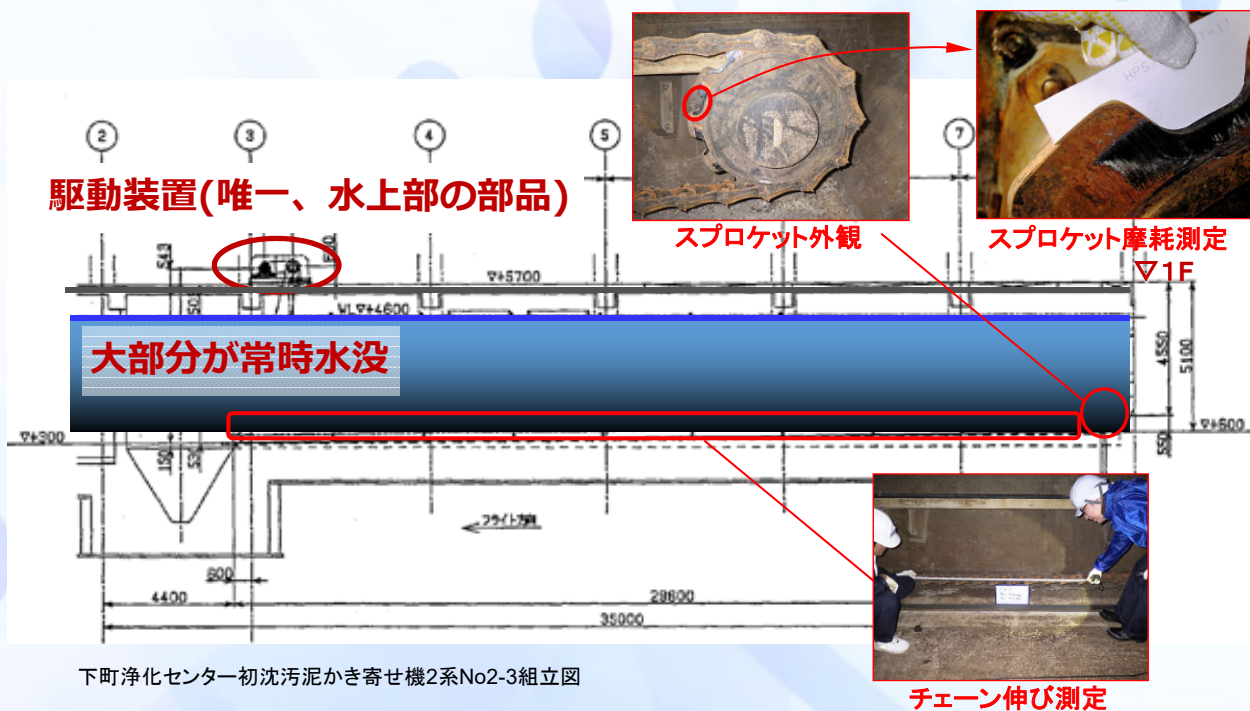
3 本技術開発の概要

～対象設備（汚泥かき寄せ機） 2/3～

現状の劣化診断作業の手順

大部分が**常時水没**。そのため劣化診断には①～⑤の作業を必要とする。

- ①該当系列を停止させる 【一時的な**処理性能低下**】
- ②水抜きを行い、本体を露出させる 【**手間**がかかる】
- ③安全対策及び高圧洗浄水にて槽内・本体の洗浄 【**手間**がかかる】
- ④作業員が池底に降りて、各部の調査を行う 【**危険**が伴う】
- ⑤調査後に復旧作業 【**手間**がかかる】



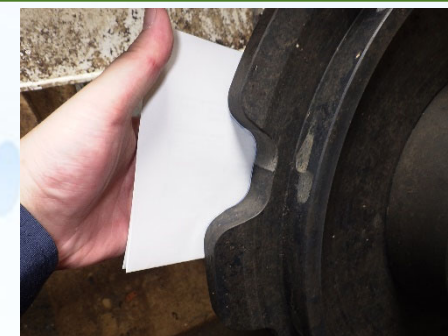
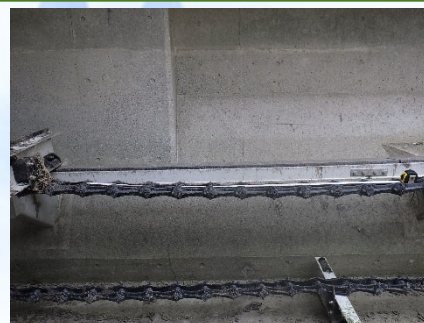
3 本技術開発の概要

～対象設備（汚泥かき寄せ機） 3/3～

劣化診断における現状の課題

実際に設備診断しても、**時期尚早**(劣化無し)や、**手遅れ**(劣化が極度に進行)の場合がある
⇒ **適切な設備診断時期の選定が困難**

時期尚早の事例



手遅れの事例



3 本技術開発の概要

～振動診断技術の下水道設備への適用確認フロー～



強制振動試験	スプロケット・チェーンをハンマーで強制的に振動させ、駆動装置に設置した振動センサーにより、振動伝達の評価及び 劣化の兆候の把握 が可能か検証
---------------	---



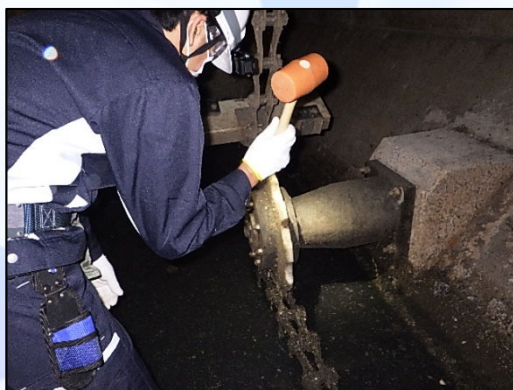
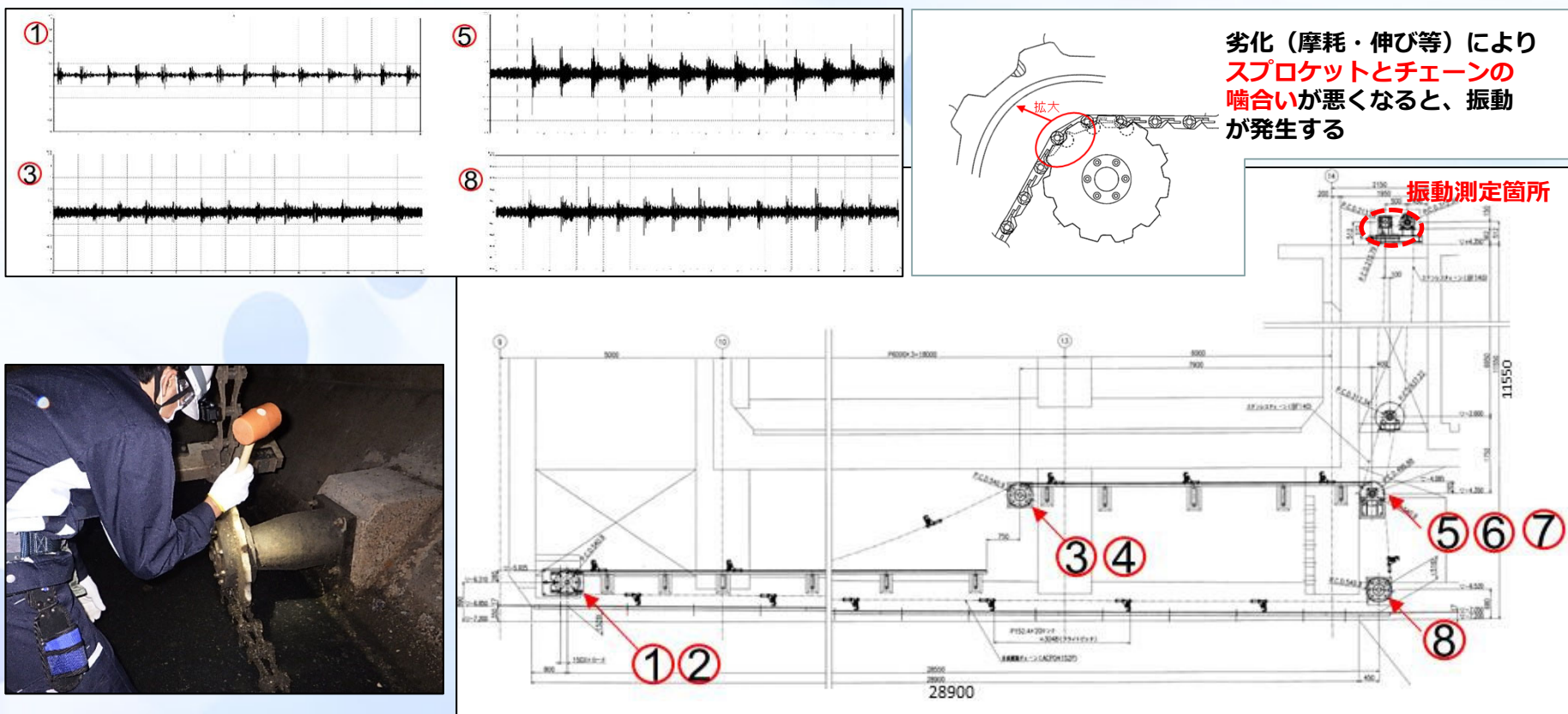
振動測定及び解析による劣化診断	【短時間振動試験】 稼働中の汚泥かき寄せ機全台を対象に、3分程度の短時間振動試験を実施し、 劣化の兆候があると想定 される機器を特定
	【長時間振動試験】 劣化の兆候があると想定された機器を対象に、該当機器1回転の時間を考慮して5時間程度の長時間振動試験を実施し、 劣化の兆候の特定と劣化の原因を想定

3 本技術開発の概要 ～ 強制振動試験 ～

- 強制振動により、駆動装置部（振動測定箇所）で波形が検知された
- 強制振動箇所と振動測定箇所が**近いほど波形が明瞭**
- スプロケット、フライトを強制振動すると**チェーンに振動が伝達**したことを確認



槽内の**異常振動は**、チェーンから駆動装置部に伝達され、**検知可能**と考察



図中の数字は、ハンマーによる強制振動箇所

3 本技術開発の概要

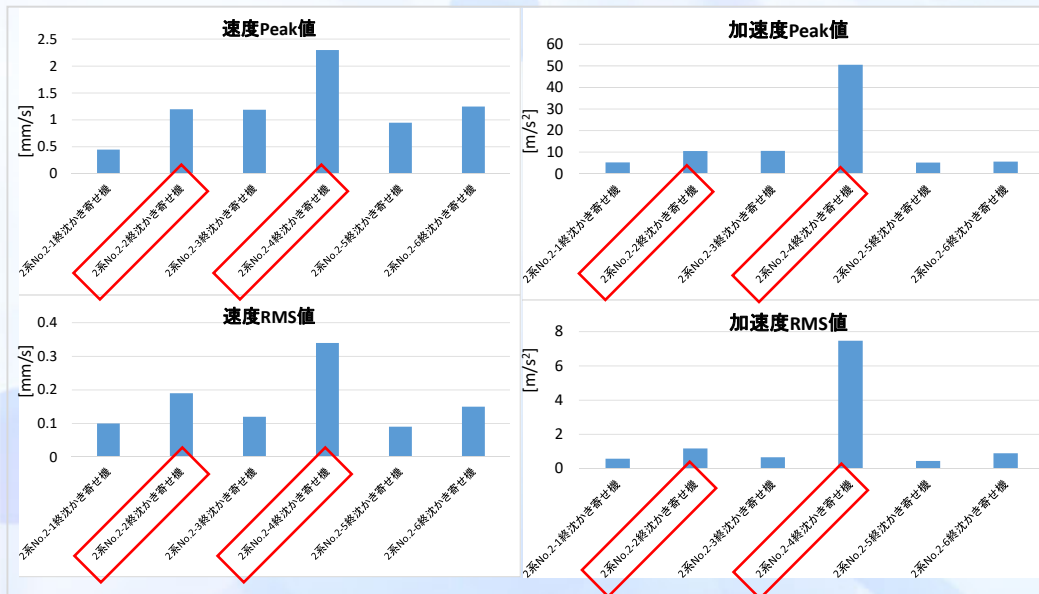
～振動測定及び解析による劣化診断 1/3～

短時間振動試験

- 稼働中の全汚泥かき寄せ機に対し、**短時間振動試験(3分程度)**を実施
(速度・加速度の**Peak値**、**RMS値**、**波高率**による**劣化の兆候**を診断)

No2-2及びNo2-4終沈汚泥かき寄せ機に、**劣化の兆候が有ると想定**される

より詳細な劣化の兆候の特定と劣化の原因を想定するため、No2-2及びNo2-4を対象に、**長時間振動試験**（機器1回転の時間を考慮して5時間程度）を実施



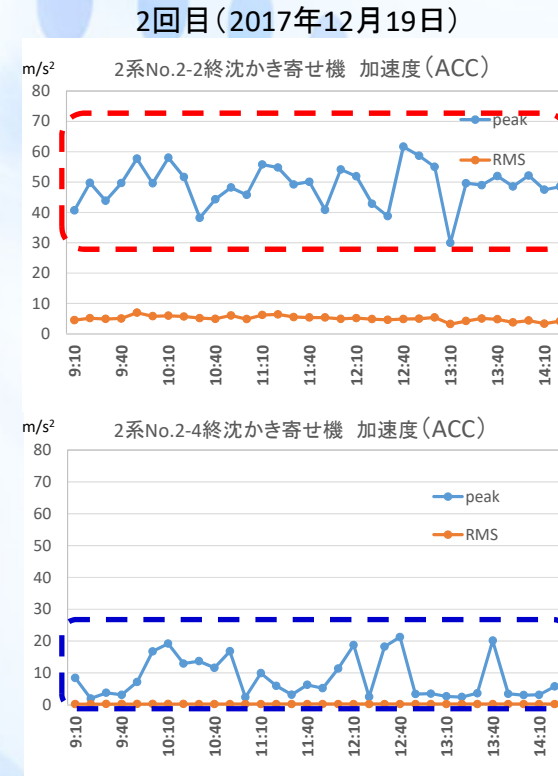
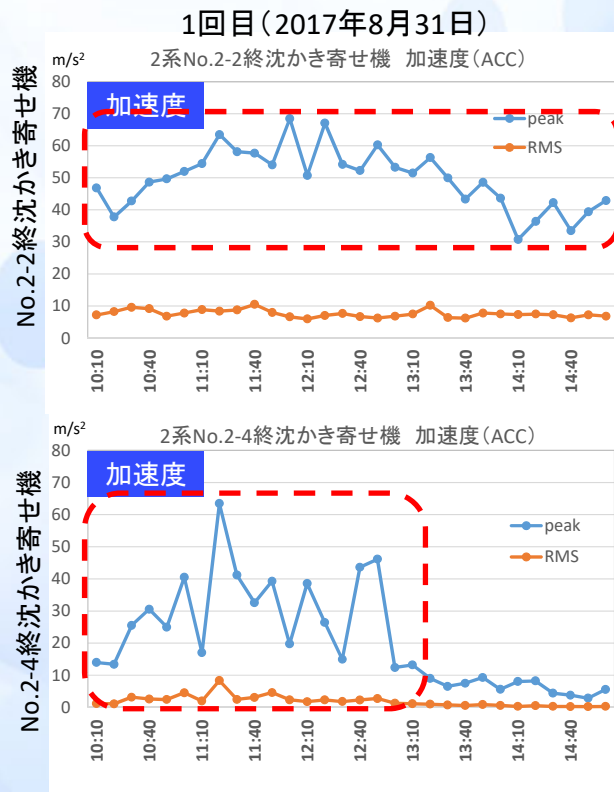
3 本技術開発の概要

～振動測定及び解析による劣化診断 2/3～

長時間振動試験

- No2-2終沈汚泥かき寄せ機は、Peak値及び波高率（Peak値/RMS値）において **2回とも高い値**を示した
- No2-4終沈汚泥かき寄せ機は、1回目で高い値だが、**2回目で低い値**を示した

➡ No2-2終沈汚泥かき寄せ機で、**劣化の兆候が有ることを特定**した



3 本技術開発の概要

～振動測定及び解析による劣化診断 3/3～

長時間振動試験

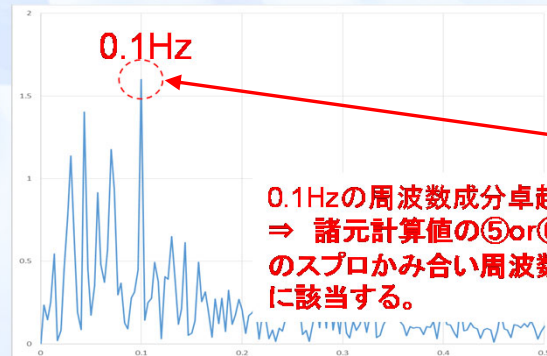
- No2-2終沈汚泥かき寄せ機の**加速度波形**を**エンベロープ処理**し、周波数分析した結果、**0.1Hz**が**卓越**していた
- No2-2終沈汚泥かき寄せ機の各種スプロケットとチェーンのかみ合い周波数では**中間軸スプロケット**と**駆動軸駆動スプロケット**の周波数が**0.1Hz**である

➡ No2-2終沈汚泥かき寄せ機は、**中間軸スプロケット**又は**駆動軸駆動スプロケット**に**劣化の原因があると想定**された

加速度波形



エンベロープ処理後の加速度波形



駆動装置回転数		減速比	入力(rpm)	出力(rpm)
		2538	1420	0.559

		歯数	PCD (mm)	回転周波数 (Hz)	回転周期 (s)	スプロかみ合い周波数 (Hz)	スプロかみ合い周期 (s)
①	駆動装置スプロケット	22	312.34	0.009	107	0.2	4.9
②	水上部スプロケット	15	213.79	0.014	73	0.2	4.9
③	テンショナースプロケット	15	213.79	0.014	73	0.2	4.9
④	中間軸スプロケット(1)	45	637.22	0.005	219	0.2	4.9
⑤	中間軸スプロケット(2)	22	312.34	0.005	219	0.1	9.9
⑥	駆動軸駆動スプロケット	35	495.88	0.003	347	0.1	9.9
⑦	駆動軸従動スプロケット	11	540.9	0.003	347	0.0	31.6

	チェーンリンク数	チェーンピッチ (mm)	チェーン1周期 (min)	
⑧	駆動チェーン	572	44.45	94
⑨	本体チェーン	418	152.4	217

本研究の内、汚泥かき寄せ機は、異常診断の方法を特許出願中

発明の名称：汚泥かき寄せ機の異常診断方法 / 出願番号：出願 2017-54576

3 本技術開発の概要

～下水処理場内におけるドローン活用の有効性確認～

下水処理場内でドローンを活用することで、危険箇所での有人による点検・調査の回避、作業人員の削減を期待

課題：①**非GPS環境下**であること
②下水道設備からの磁気発生によるジャイロの誤作動により**安定飛行が困難**
③ドローンの**操縦が専門的**技術であること

解決策：画像認識による**位置特定技術**（VISUAL SLAM※）による**自律飛行機構を搭載**したドローンを試作。これにより飛行に必要な**専門技術は不要**となる。

※Simultaneous Localization and Mapping

結果：実証実験の結果、下水処理場内で画像認識による位置特定の有効性が確認でき、作業員の侵入が困難な箇所の**劣化診断に有効**であることが分かった。



管廊での自律飛行状況

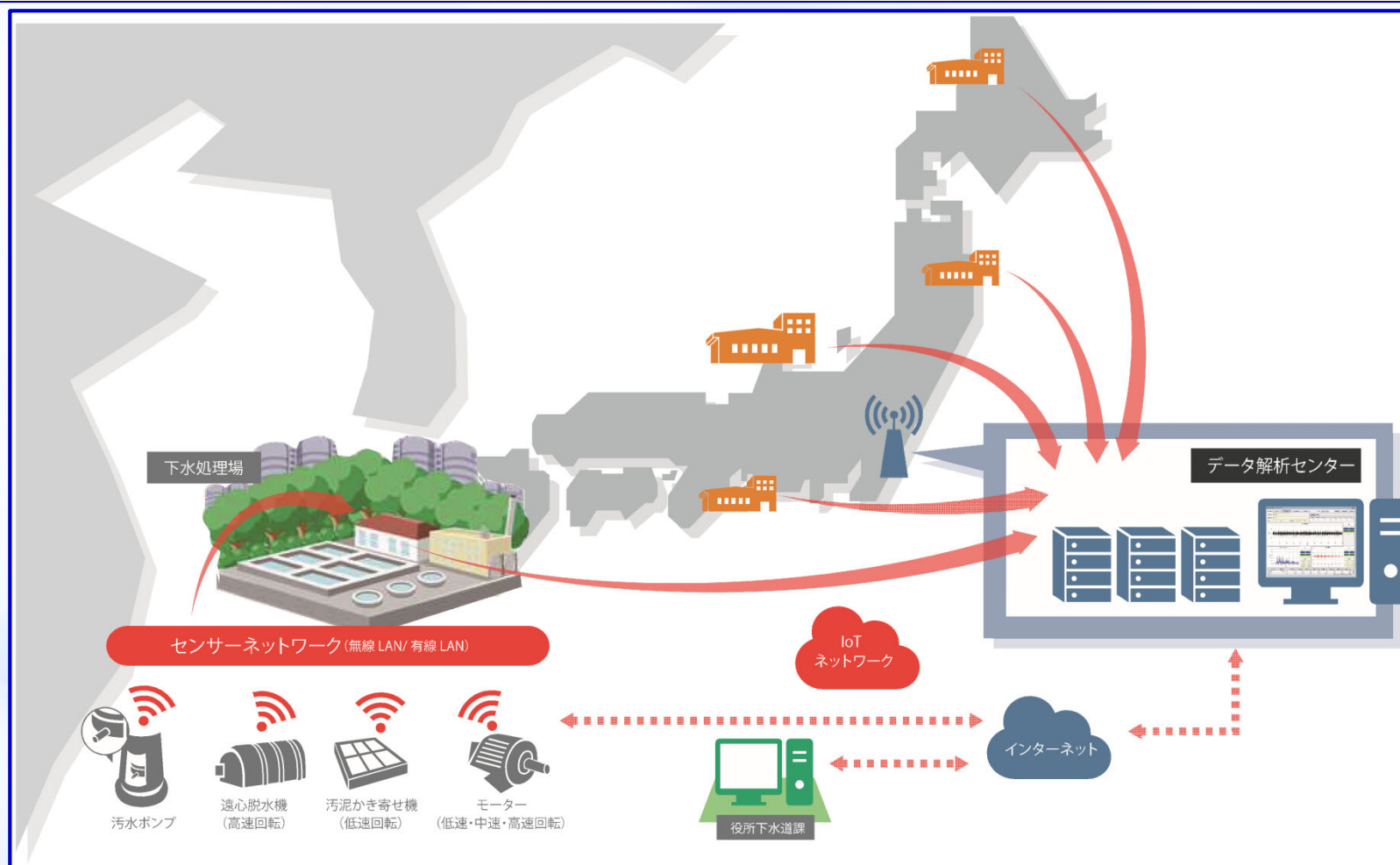


沈殿池内での飛行時取得画像

4 今後の展開

◆ **機器設置型無線センサーの活用**とネットワークを経由した**オンライン監視技術**を構築し、**広域的な保全監視の実現**を目指す

◆ ドローンの**自律飛行の精度向上**とともに、ドローンで撮影した画像情報を**AIで分類する技術**の確立を目指す



ご清聴、ありがとうございました。

松山圏域における 下水汚泥共同処理事業の可能性調査

日本水工設計（株）広島支社 技術部 下水道課 上野 紘明

発表の構成

1. はじめに
2. 下水汚泥処理の現状及び将来予測
3. 下水汚泥共同処理方法の検討
4. まとめ
5. 今後の取組み方針

発表の構成

1. はじめに

2. 下水汚泥処理の現状及び将来予測

3. 下水汚泥共同処理方法の検討

4. まとめ

5. 今後の取組み方針

松山圏域の紹介

愛媛県 中予地方

松山市 (まつやまし)
面積：約430km²
人口：約517,200人

東温市 (とうおんし)
面積：約210km²
人口：約35,300人

松前町 (まさきちょう)
面積：約20km²
人口：約30,400人

伊予市 (いよし)
面積：約190km²
人口：約38,000人

砥部町 (とべちょう)
面積：約100km²
人口：約22,000人

久万高原町 (くまこうげんちょう)
面積：約580km²
人口：約9,600人

業務の背景

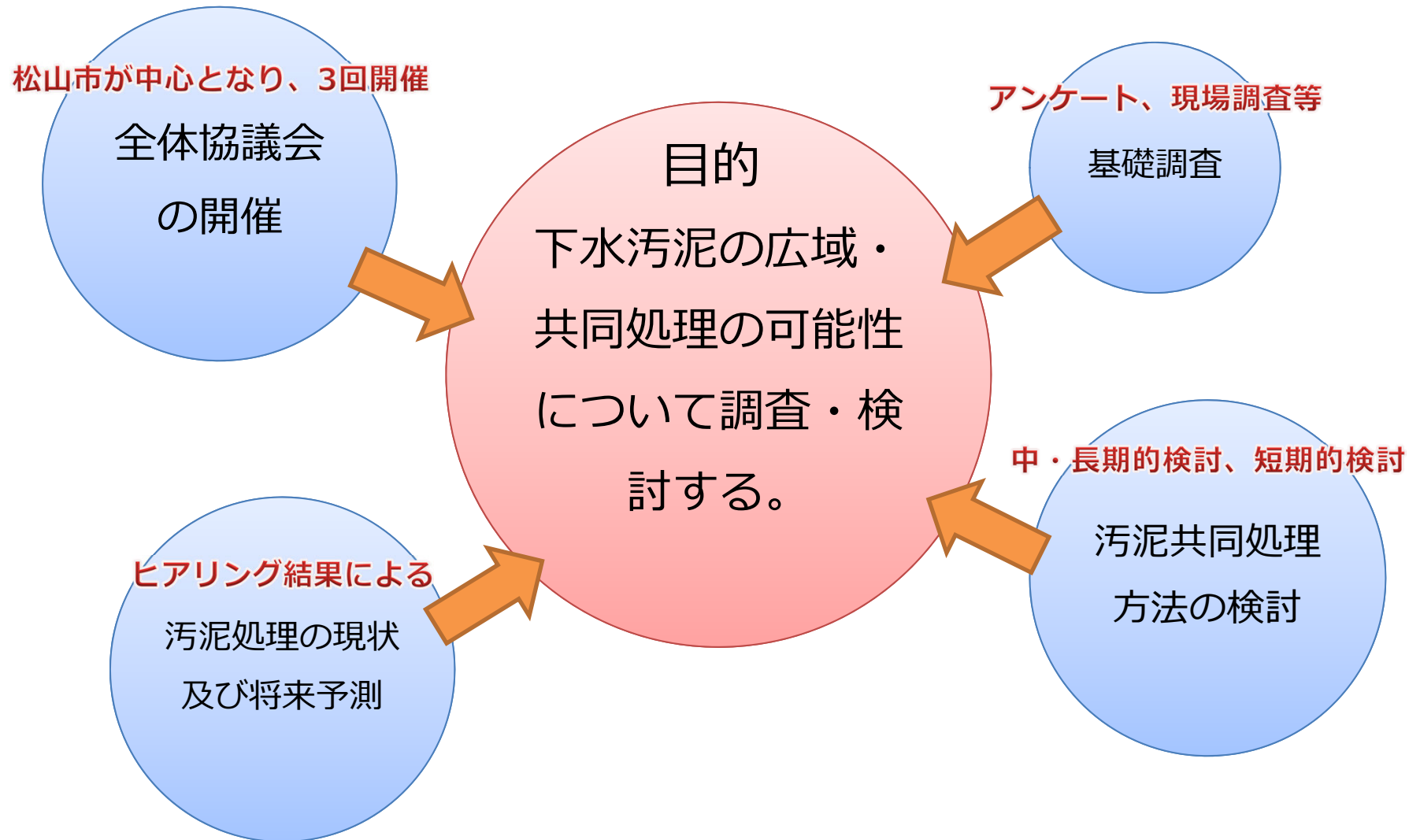
国の方針

- H34までに都道府県は、下水広域化・共同化の計画策定
人口や職員の減少→持続的な運営体制を確立しなければならない。
- 発生汚泥等の再生利用の努力義務
発生汚泥等の減量化+燃料または肥料としての再生利用。

松山圏域の方針

- まつやま圏域未来共創ビジョンの策定（H28）
効率的な汚泥処理を行うため、松山圏域市町で連携して、調査研究を行う。

業務の目的



全体協議会

- 各市町の下水道担当課の課長補佐級で構成。
- 当社も出席し、説明や質疑への応答等を担当した。



全体協議会の内容

第1回

- 業務スケジュールの説明
- アンケート内容の説明、依頼

平成29年
8月30日

第2回

- 各市町の基礎調査結果の報告
- 汚泥共同処理に関する検討方針の確認

平成29年
12月22日

第3回

- 汚泥共同処理に関する検討結果の報告
- 今後の取組み方針の確認

平成30年
2月15日

発表の構成

1. はじめに

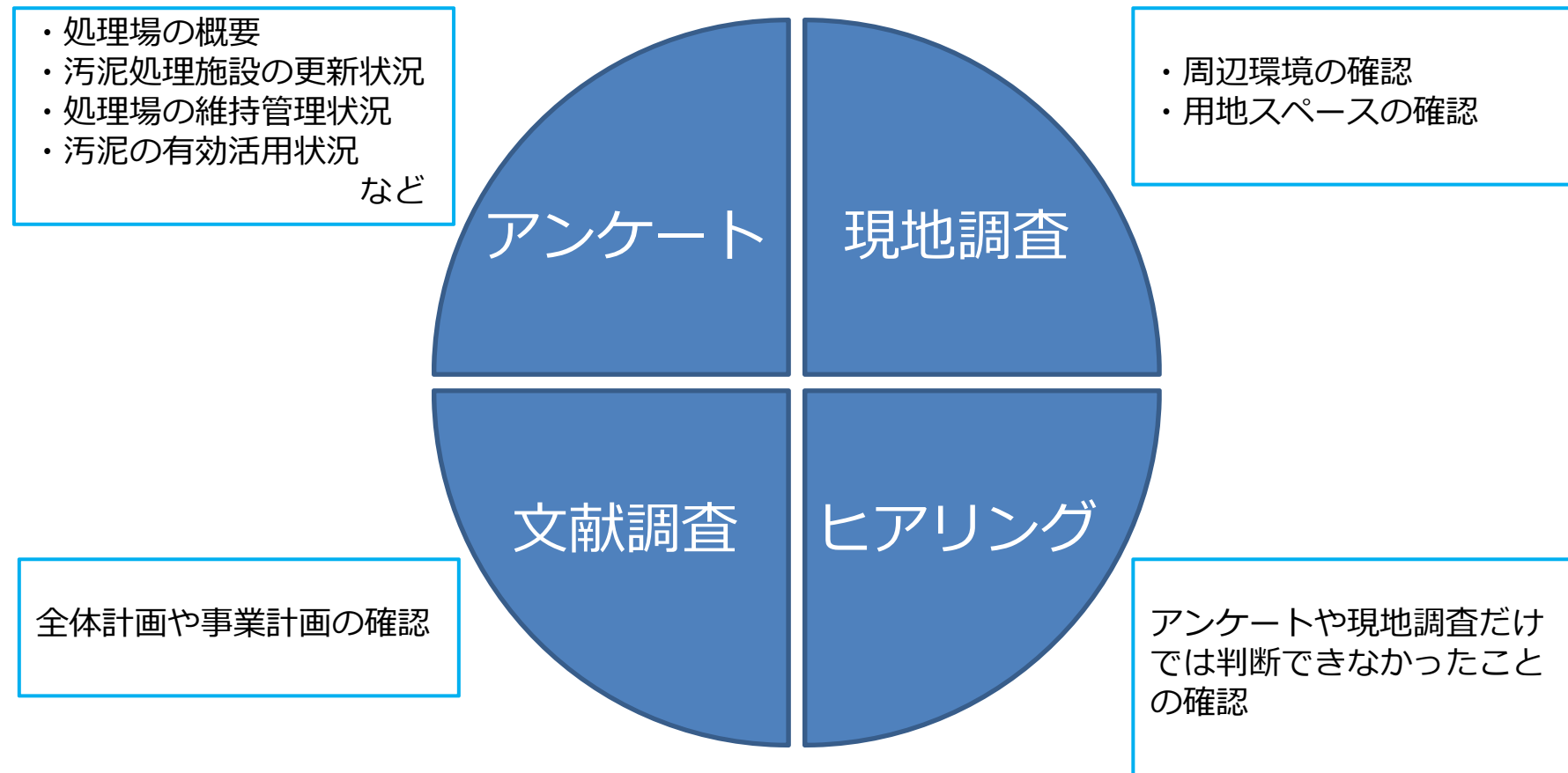
2. 下水汚泥処理の現状及び将来予測

3. 下水汚泥共同処理方法の検討

4. まとめ

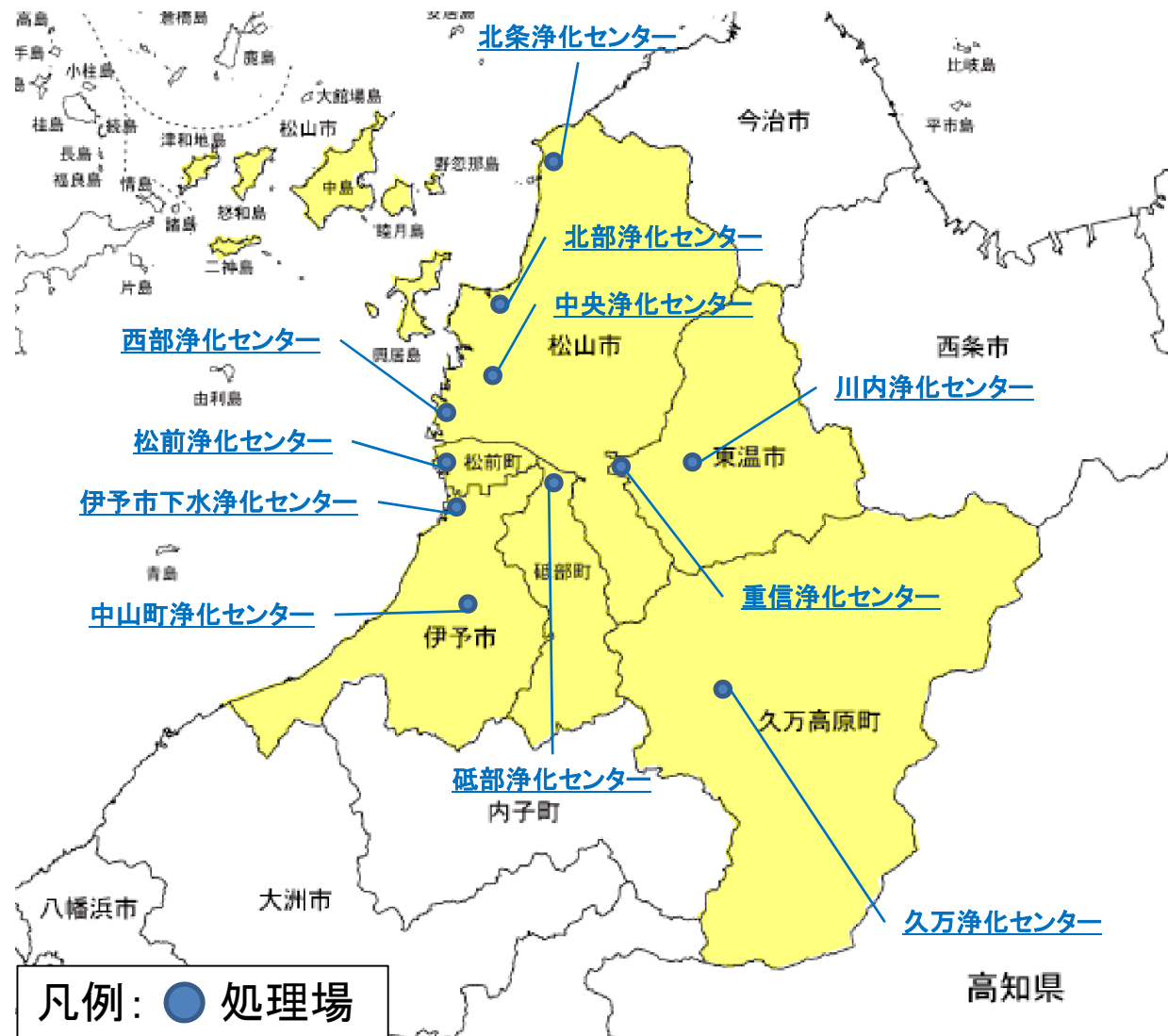
5. 今後の取組み方針

調査方法



下水処理場の位置

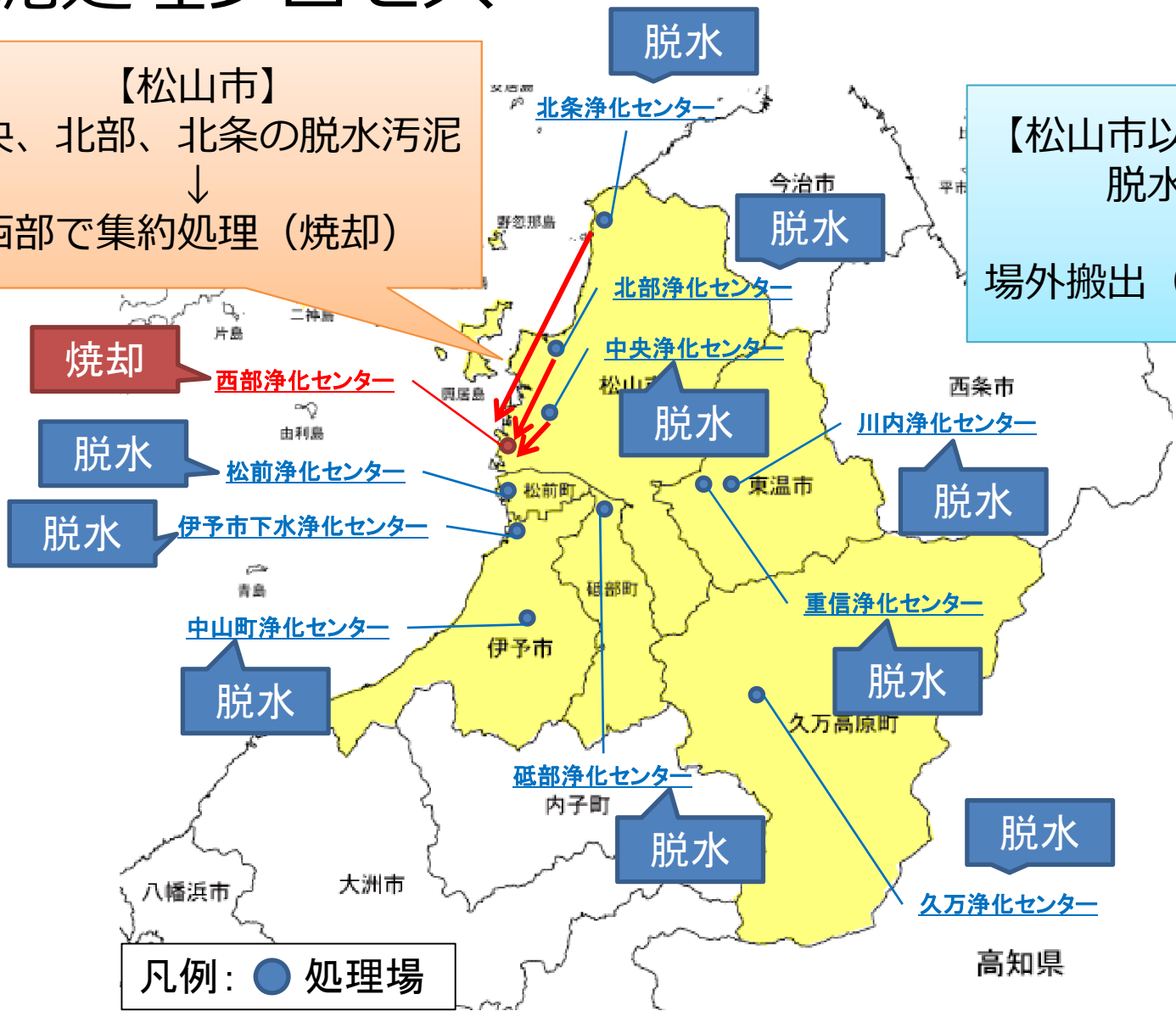
(松山市4箇所、他市町計7箇所 合計11箇所)



汚泥処理プロセス

【松山市】
中央、北部、北条の脱水汚泥
↓
西部で集約処理（焼却）

【松山市以外の市町】
脱水汚泥
↓
場外搬出（外部委託）



脱水機の更新予定

近年更新済み

北条浄化センター

10年以内に更新予定

中央浄化センター、西部浄化センター、伊予市下水浄化センター

10年より先で更新予定

北部浄化センター、砥部浄化センター

更新予定なし

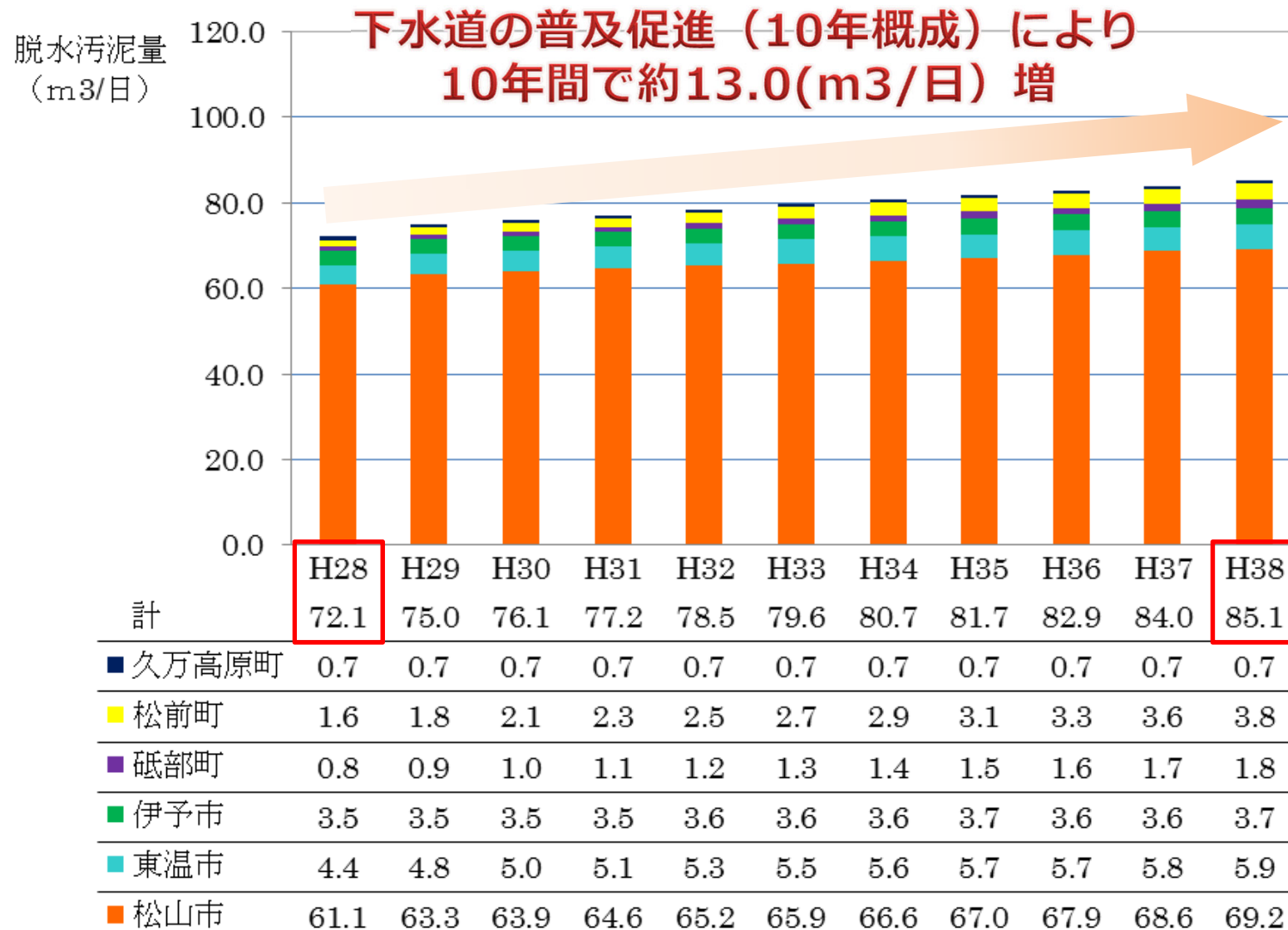
その他の処理場

耐用年数を考慮すると、更新が必要となる脱水機が約10年後から増大。



現況（H28）から10年後（H38）を目処に、検討を行った。

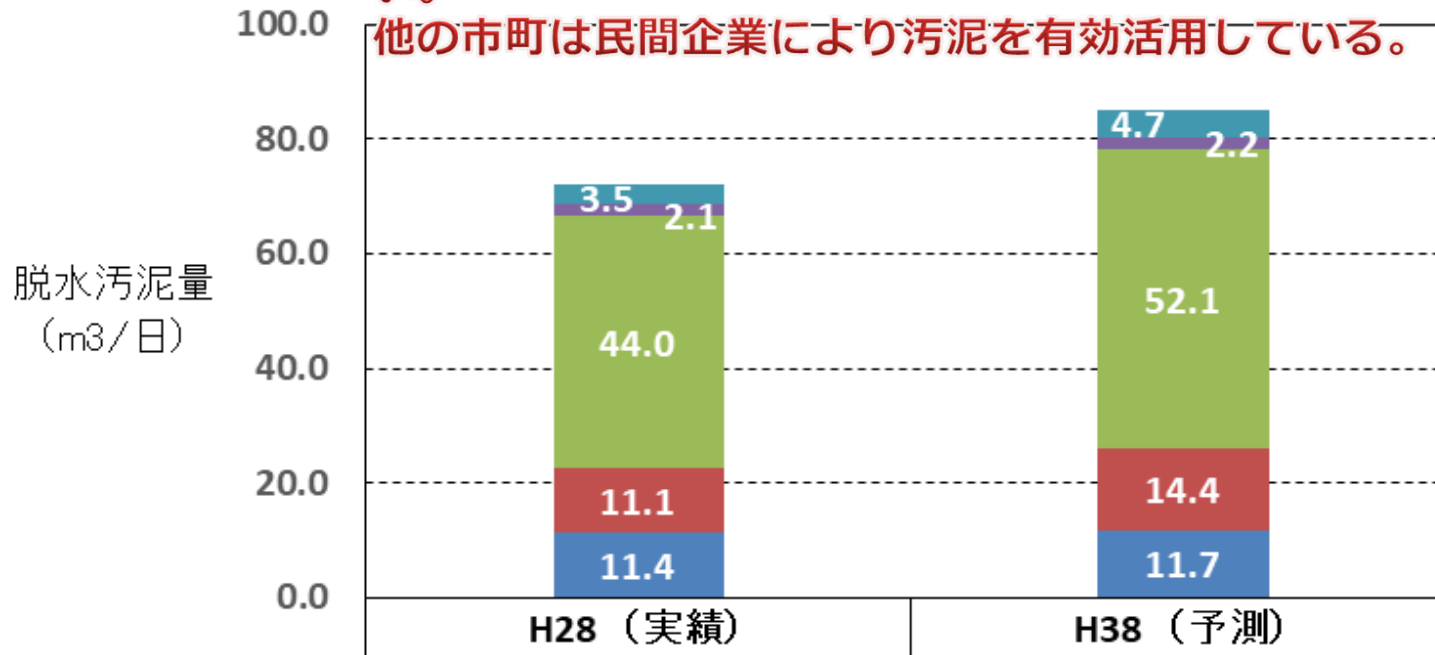
発生汚泥量の現状及び将来予測



汚泥の最終処分方法

松山市は焼却灰埋立が多く、汚泥が有効活用されていない。

他の市町は民間企業により汚泥を有効活用している。



脱水汚泥量
(m³/日)

H28 (実績)

H38 (予測)

計

72.1

85.1

■ 焼却発電

3.5

4.7

■ 埋立

2.1

2.2

■ 焼却埋立

44.0

52.1

■ 堆肥化

11.1

14.4

■ セメント化

11.4

11.7

東温市

松山市、松前町

松山市

松山圏域の全市町

松山市、伊予市

発表の構成

1. はじめに
2. 下水汚泥処理の現状及び将来予測
3. 下水汚泥共同処理方法の検討
4. まとめ
5. 今後の取組み方針

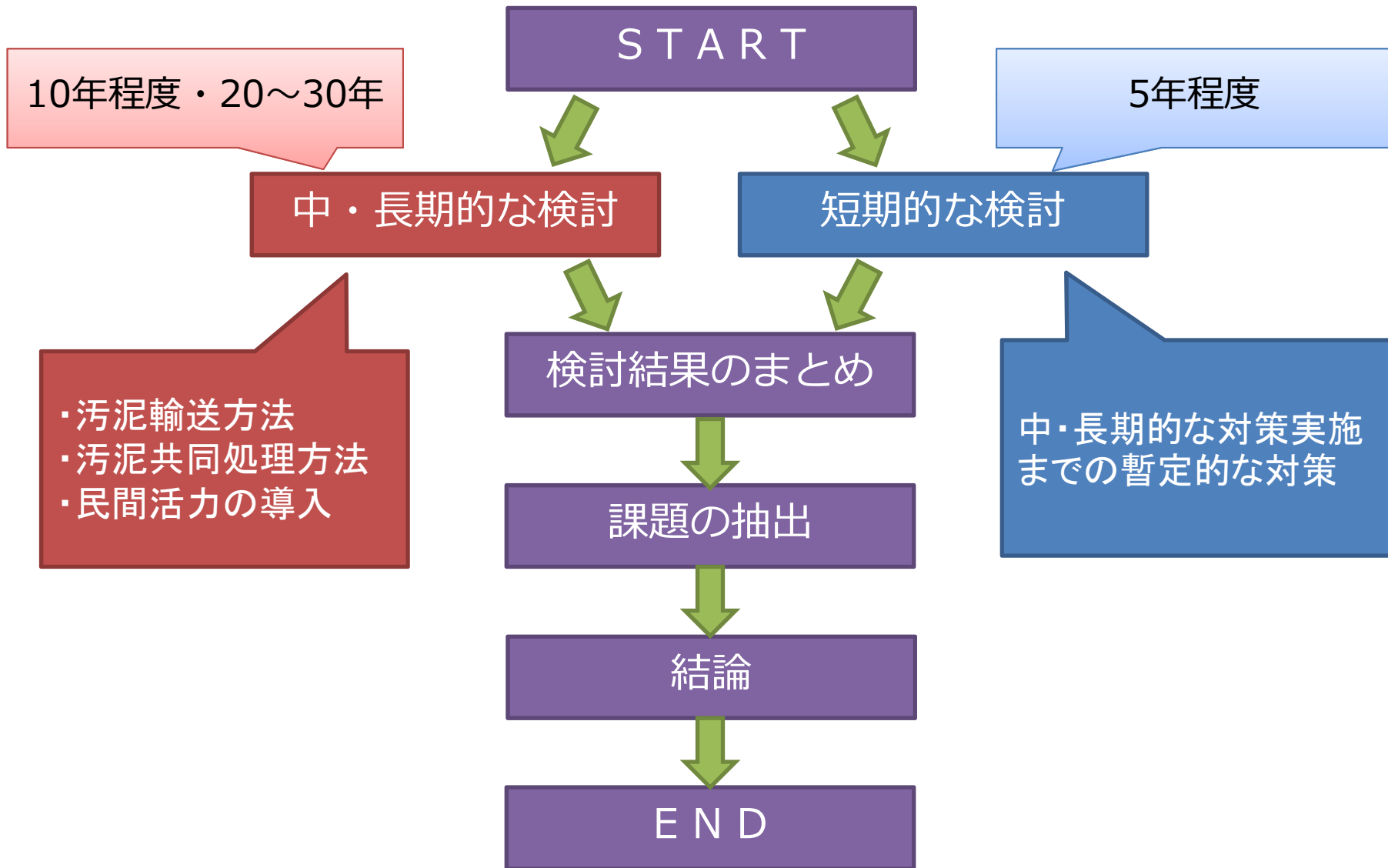
汚泥集約先の設定



- 中央、北部、北条の脱水汚泥を西部で集約処理（焼却）。
- 計画汚水量の下方修正により、処理場用地に余裕がある。
- 固形燃料化技術の実証実験が行われている。

高知県

検討フロー



3-1. 中・長期的な下水汚泥共同処理方法の検討

汚泥輸送方法の検討

脱水汚泥と濃縮汚泥、どちらを運搬する方が経済的か。

ケース1

- ・トラック
- ・各処理場で脱水
- ・脱水機更新
- ・脱水汚泥を運搬

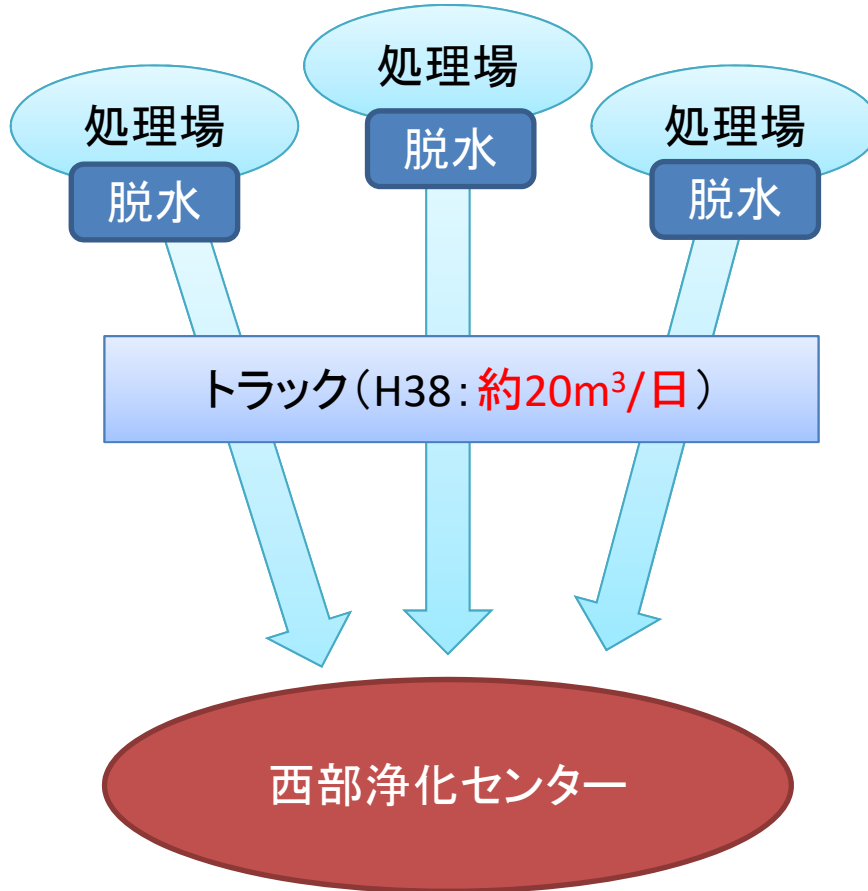
VS

ケース2

- ・バキューム車
- ・集約先で脱水
- ・脱水機廃止
- ・濃縮汚泥を運搬

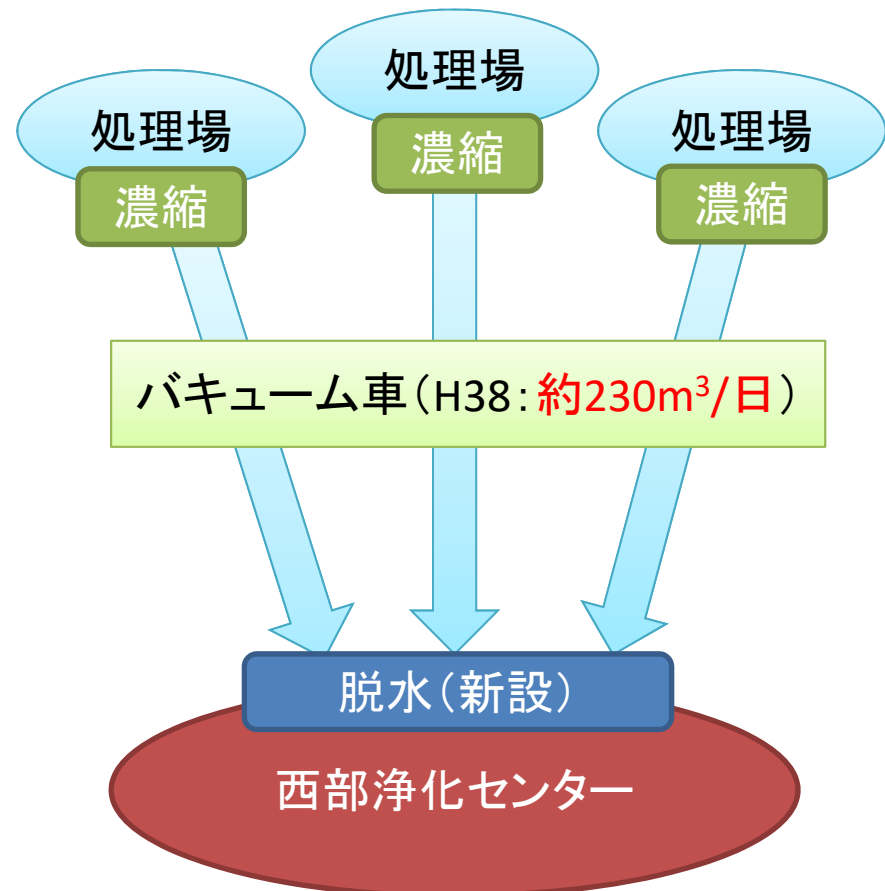
汚泥輸送方法の検討

ケース1 (トラック、脱水機更新)



LCC : 161 百万円/年

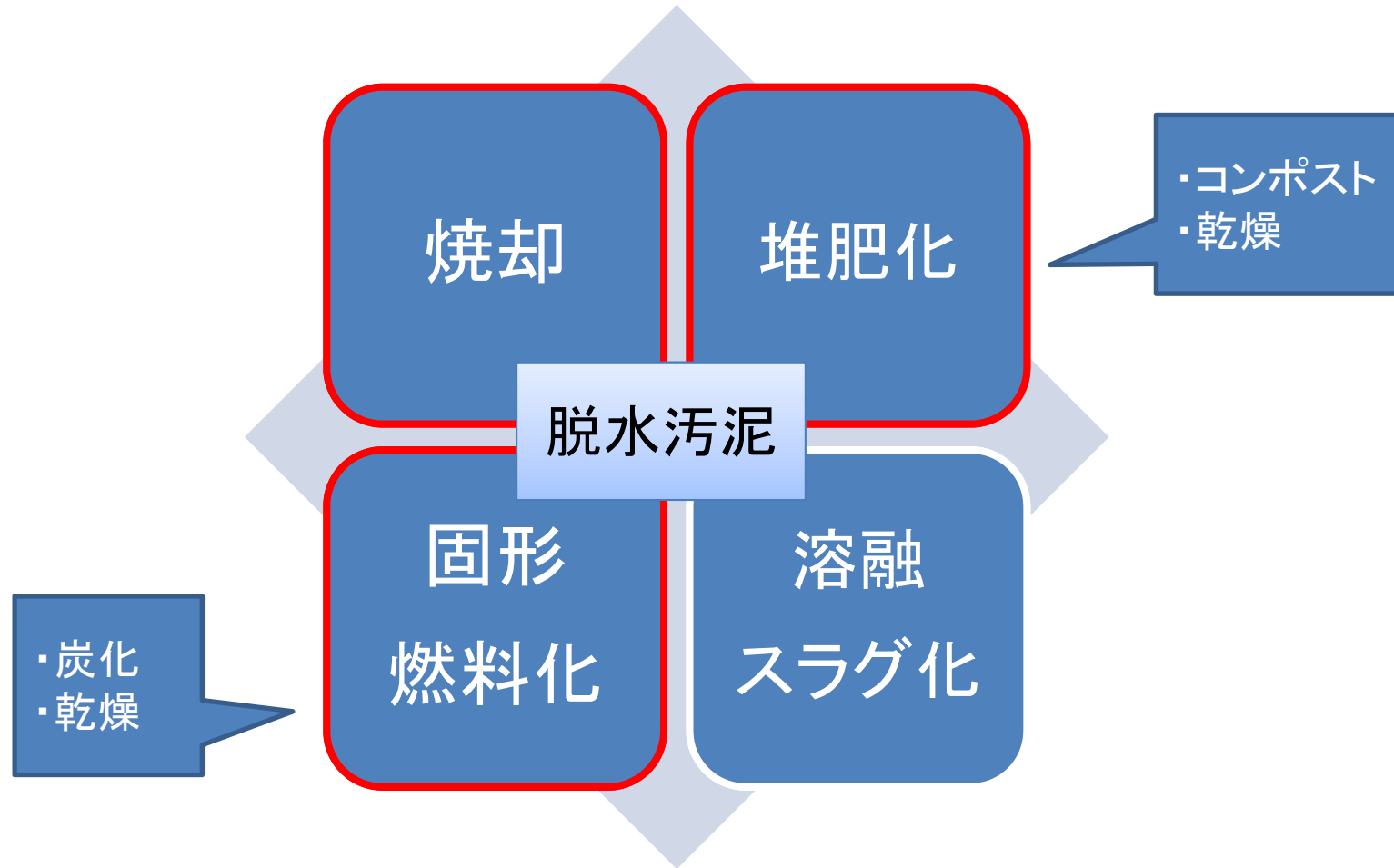
ケース2 (バキューム車、脱水機廃止)



LCC : 330 百万円/年

汚泥共同処理方法の検討

焼却、堆肥化、固形燃料化で費用比較を行った。



汚泥共同処理方法の検討

費用関数を用いて処理単価を算出。

(単位：千円/t)

項目	焼却	堆肥化		固形燃料化		現況 (外部委託)
		コンポスト	乾燥	炭化	乾燥	
処理単価	14	9	9	14	12	15~20

- 焼却は、焼却灰の有効利用が困難（リンの影響）な場合、焼却灰の処分費が別途必要となる。
- 堆肥化は、最も経済的だが、我が国の農業の衰退に伴い、今後の需要減が懸念される。
- 固形燃料化は、貴重な熱エネルギー源として需要があるため、受け入れ企業を確保できれば、最も有効な方法である。

汚泥共同処理における民間活力の導入について

共同処理施設の建設・運営方式について比較を行った。

直営

- 共同処理施設を設置する位置の市町が事業主体となり、建設・運営を行う。

外部委託（DBO、PFI等）

- 共同処理施設の建設・運営を市町と民間企業が連携して行う。

最終処分先の確保、処分単価等の調整を民間側の創意・工夫に委ねられる。
（前述した課題の解決にもつながる。）

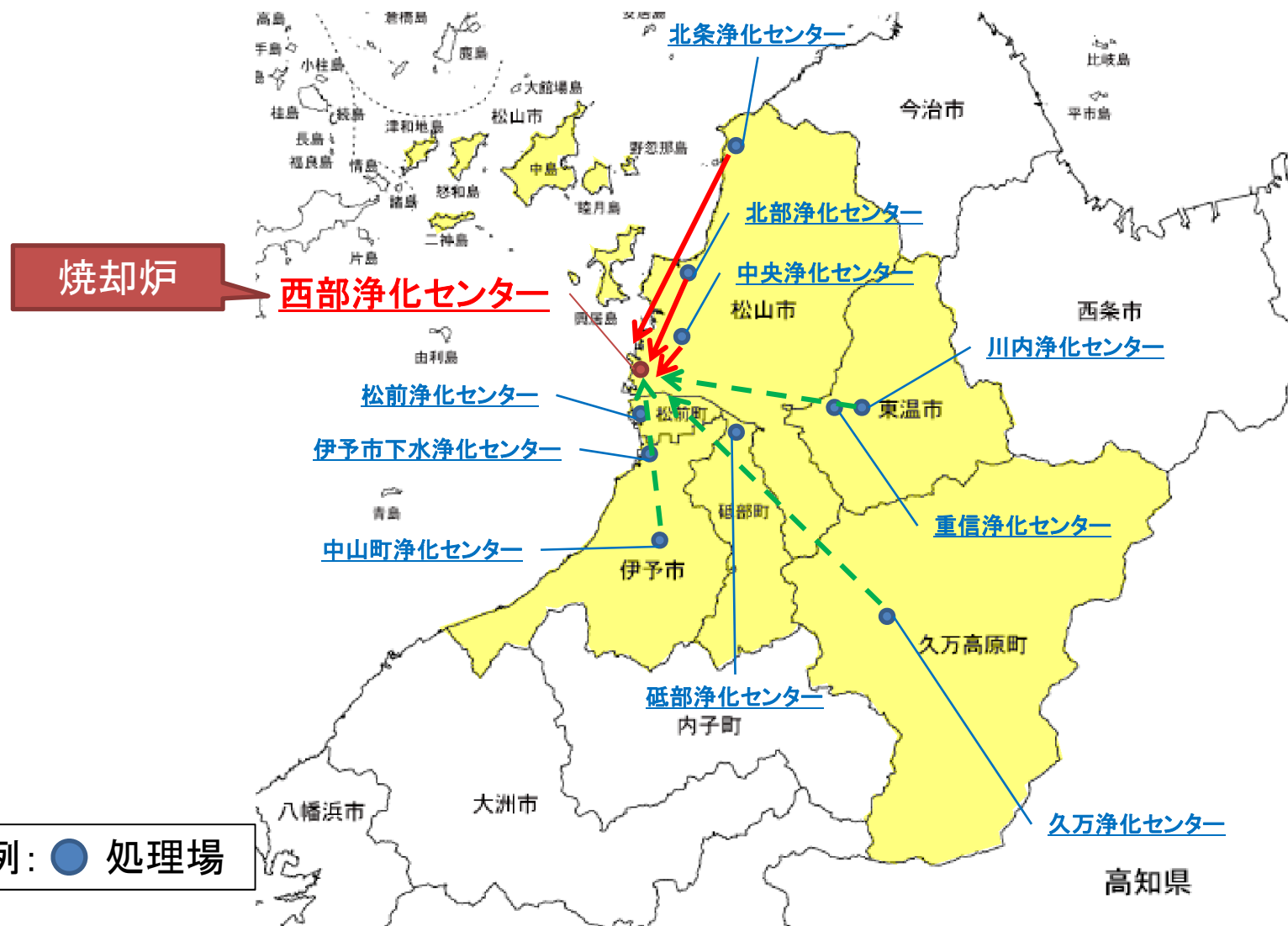
まとめ（中・長期的な対策）

- 輸送方法：各処理場の**脱水汚泥**を松山市の西部浄化センターにトラックで運搬する。
- 処理方法：**外部委託**（DBO、PFI等）による、**固形燃料化**が適している。

3-2. 短期的な下水汚泥共同処理方法の検討

検討方法

西部の焼却炉への受け入れ可能量から共同処理の可否を検討。



凡例: ● 処理場

受け入れ可能量の検討

松山市の投入汚泥

他市町の投入汚泥

②投入汚泥量（H34推計値）：49.5 t/日

受け入れ可能量
① - ② = 3.8 t/日
↓
3.0 t/日
(日変動等を考慮)

西部浄化センターの焼却炉

①焼却炉処理能力：53.3 t/日

まとめ（短期的な対策）

- 受け入れ可能量に**限度**（3.0t/日）がある。
- 松山圏域の**全市町分**の汚泥の受け入れが**困難**。
- **近隣の処理場**からのみ搬入する等の条件を設けることで、少量ではあるが、**共同処理を行える**。
⇒現況の処分費が高い市町等で有効。
- 中・長期的な対策を開始するまでの**暫定的な対策**。

発表の構成

1. はじめに
2. 下水汚泥処理の現状及び将来予測
3. 下水汚泥共同処理方法の検討
4. **まとめ**
5. 今後の取組み方針

結論 ※推奨案

中・長期的な対策

松山圏域の汚泥を集約し、西部浄化センターにて**固形燃料化**
(DBO、PFI等)

短期的な対策

西部浄化センター**焼却施設**の余力の範囲内で**一部集約**
(伊予市下水浄化センター等)

課題

中・長期的な対策

- 松山圏域における受託業者の選定が課題となる。

短期的な対策

- 既存焼却施設の処理能力に限度があるため、中・長期的な対策実施までの暫定的な処理となる。

発表の構成

1. はじめに
2. 下水汚泥処理の現状及び将来予測
3. 下水汚泥共同処理方法の検討
4. まとめ
5. 今後の取組み方針

松山圏域の市町の今後の取組み方針

- 各市町の意見交換会（全体協議会等）を今後も継続し、松山圏域下水汚泥の共同処理に関する検討を行う。
- 固形燃料の需要先（ごみ焼却場、電力会社等）についての調査を継続する。

ご清聴ありがとうございました。

消化槽の改築に伴う消化ガス発生量の 推測と有効利用案の事例

OEC オリジナル設計株式会社

水・緑・環境－ VISTAQUA 「見える化」で水事業を支援します

目 次

- 1.はじめに
- 2.消化ガス発生量の検討にあたり
- 3.消化ガス発生量検討
- 4.有効利用可能な消化ガス量の推測
- 5.消化ガス発電
- 6.施設稼働後の運転状況確認

1. はじめに

- 本施設は約80年が経過
- 濃縮槽や消化槽など汚泥処理施設や設備の老朽化
- 消化槽への受け入れ量が増加
- 消化ガスの場内利用量を増加させバイオガスの利用率を向上
- 焼却炉などから発生する熱エネルギーを活用

1. はじめに

消化設備更新の概要

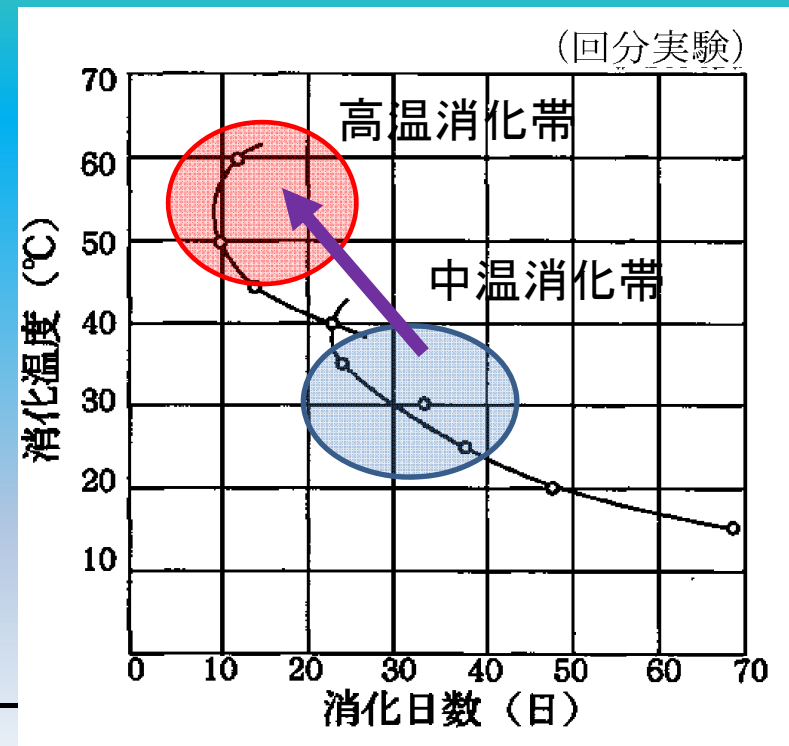
課題 更新後の消化汚泥量が増加

問題点 既設方式では、増加汚泥量対応する消化槽設置スペースがない

解決策 **高温消化法の採用**

(採用理由)

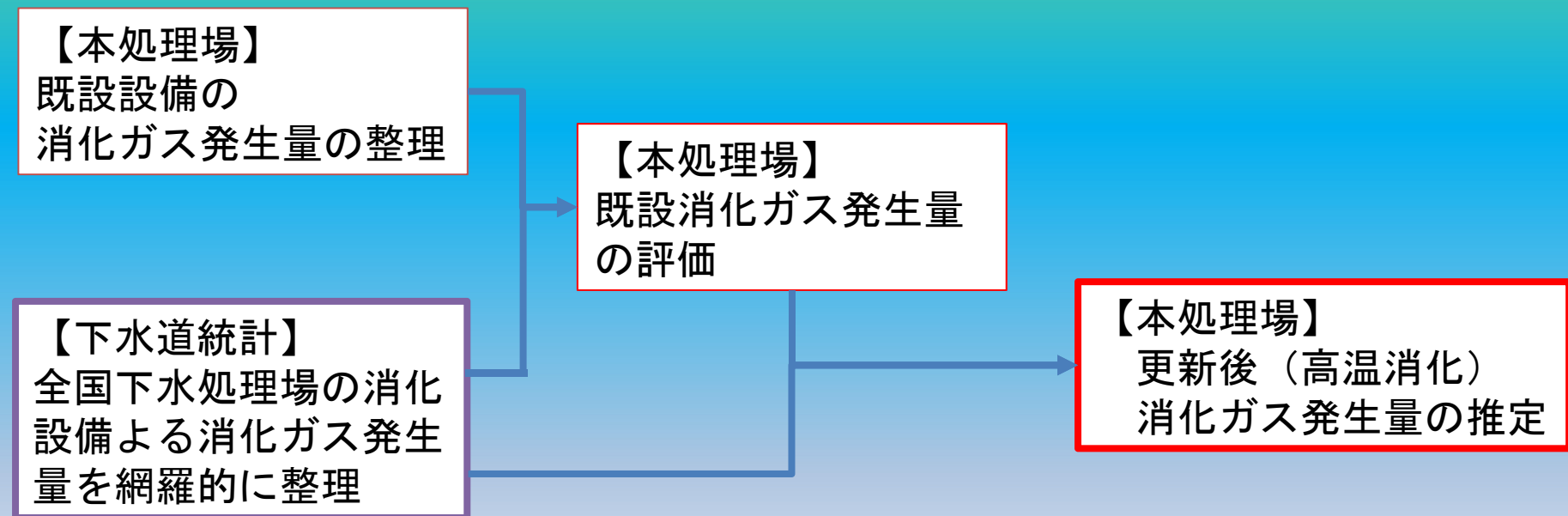
- ・ 消化日数が短く消化槽の容量を半分程度に縮小可能
⇒ 既設とほぼ同規模の消化槽で増加する汚泥の処理が可能
- ・ 加温用熱源を焼却設備排熱で賄うことが可能 **本処理場の特性**
⇒ 高温消化で課題となるエネルギー問題がクリア



2.消化ガス発生量の検討にあたり

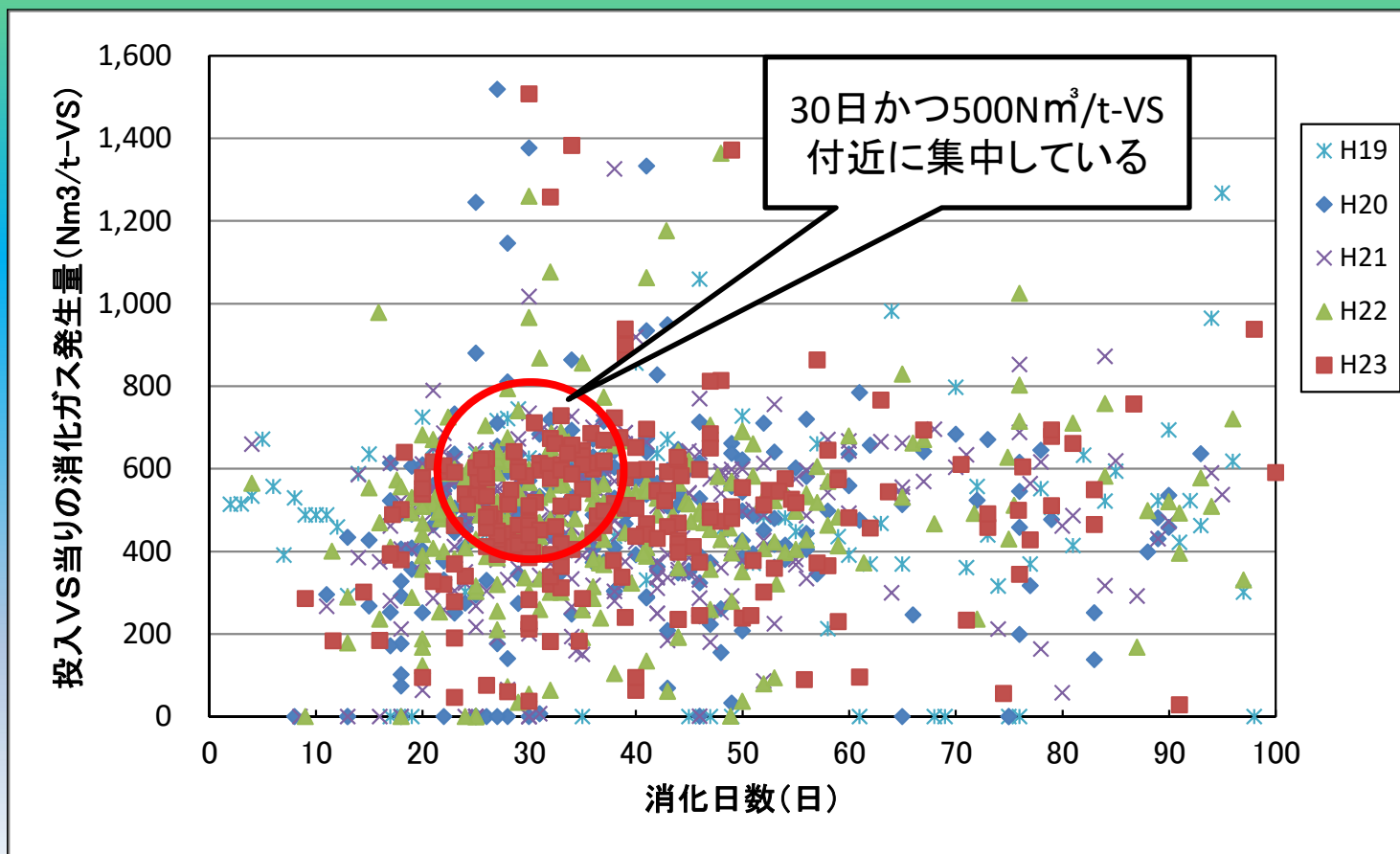
高温消化に更新⇒消化ガス発生量推定が必要

- ①汚泥発生量や汚泥性状 ⇒現状のデータや将来計画を活用
- ②消化ガス発生量 ⇒統計情報をベースに推定を行った。



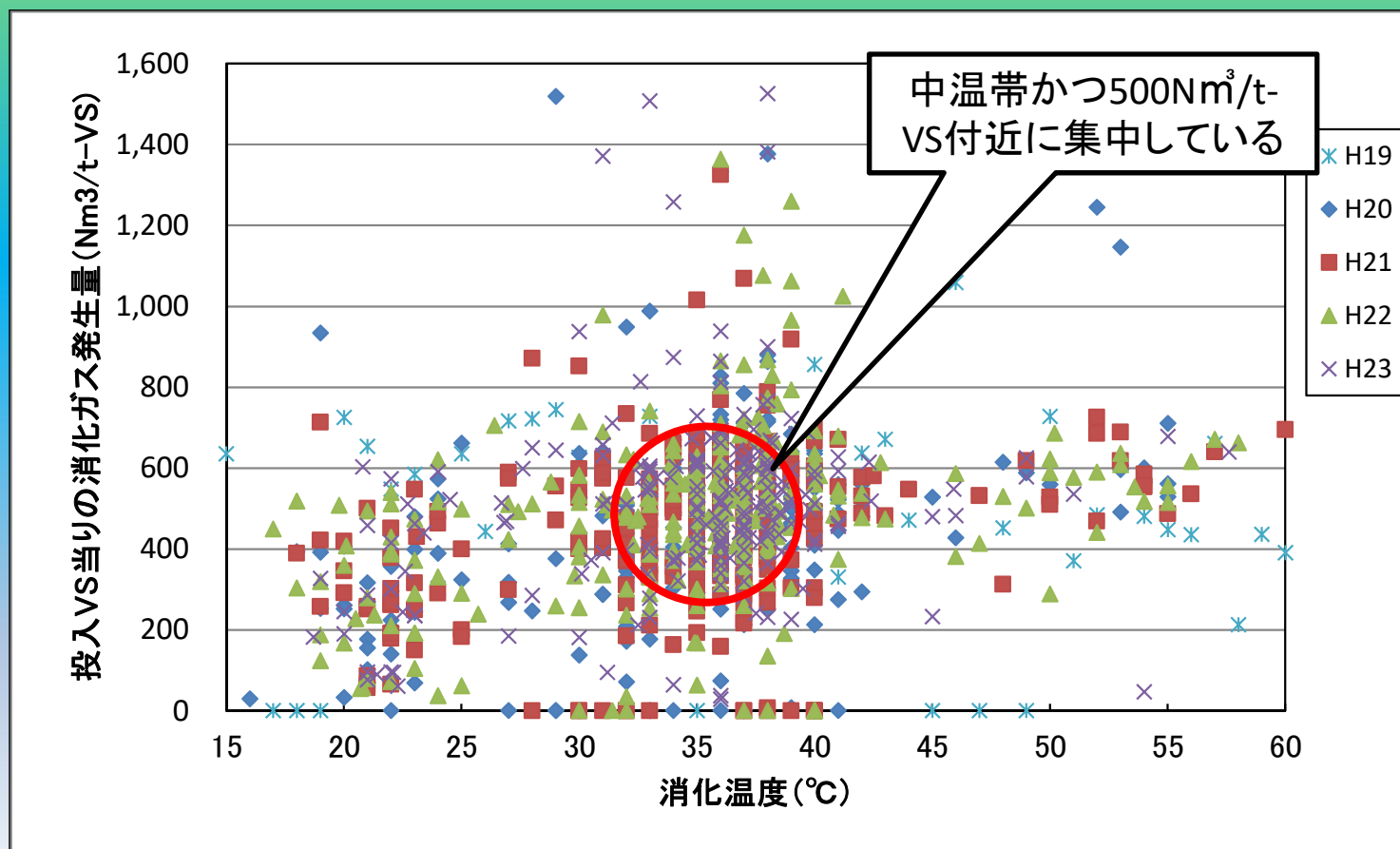
3. 消化ガス発生量検討

全国の汚泥消化設備を導入している処理場の
消化日数と投入有機物量当たりの消化ガス発生量



3.消化ガス発生量検討

全国の汚泥消化設備を導入している処理場の消化温度と投入有機物量当たりの消化ガス発生量



3.消化ガス発生量検討

本施設の投入有機物量当たりの消化ガス発生量

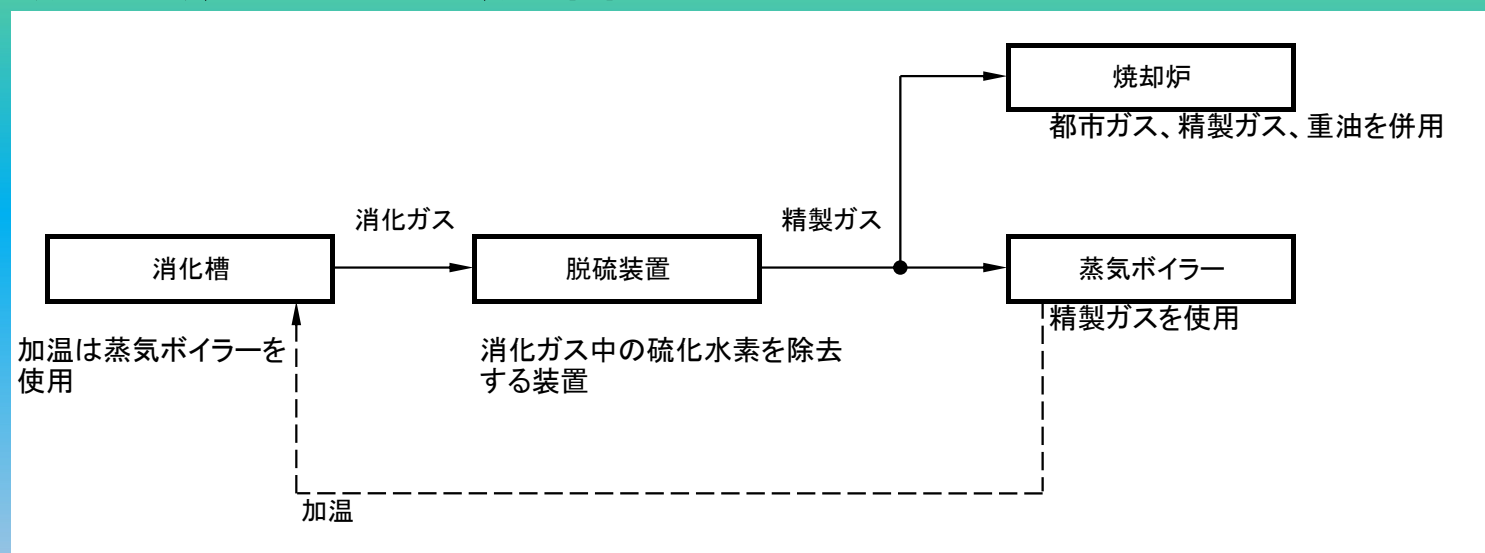
2013年	消化槽投入汚泥 固形物量	消化ガス 発生量	投入VS当たり のガス発生量
	t/日	Nm ³ /日	Nm ³ /t-VS
4月	15.6	8,210	667
5月	16.4	8,380	613
6月	14.4	7,660	641
7月	13.7	7,520	662
8月	12.3	7,300	702
9月	18.8	6,900	520
10月	15.7	7,550	608

600Nm³/t-VSを超える実績があり、消化ガス発生量を700Nm³/t-VSと設定

4.有効利用可能な消化ガス量の推測

【既設消化ガス利用状況】

- ・消化槽を加熱するための蒸気ボイラの燃料
- ・焼却炉の補助燃料



◎投入汚泥中有機物含有率は、実績を踏まえ**80%**とする。

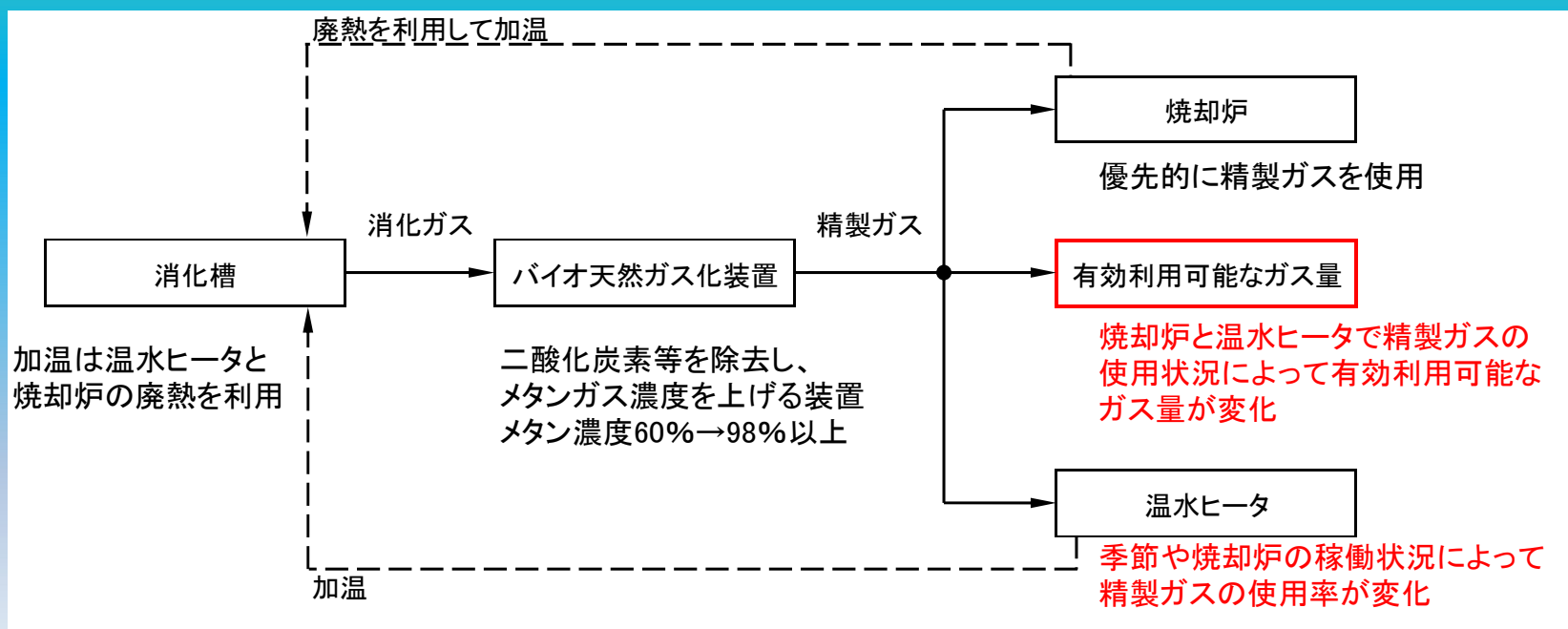
◎消化槽の加熱は「蒸気ボイラー」から将来『**温水ヒータ**』へ変更される計画である。

4.有効利用可能な消化ガス量の推測

有効利用可能な消化ガス量

= 消化ガス量(精製ガス量)

- 焼却炉・温水ヒータの消化ガス使用量



4.有効利用可能な消化ガス量の推測

消化槽の加温は、温水ヒータおよび焼却炉の廃熱を利用。

- ・焼却炉の稼働状況により供給される廃熱が変化
- ・季節により温水ヒータでの精製ガスの使用量が変化

焼却炉の稼働状況を固定し、温水ヒータの消化ガスの使用率を4ケース想定し、有効利用可能な消化ガス量を整理。

【事業計画時】温水ヒータへ消化ガスを100%供給した場合

有効利用な消化ガス量 …… 発生しない

【全体計画時】温水ヒータへ消化ガスを50%供給する場合

有効利用な消化ガス量 …… 10,817Nm³/日

4.有効利用可能な消化ガス量の推測

・温水ヒータの使用状況と有効利用可能な消化ガス量

投入VS 当たりの ガス 発生量	計画	焼却炉	温水ヒータ					消化ガス	有効利用可能な 消化ガス量(精製)			
		消化ガス 使用量	消化ガス 使用量					精製量				
Nm ³ /t-VS		Nm ³ /d	Nm ³ /d	Nm ³ /d	Nm ³ /d	Nm ³ /d	Nm ³ /d	Nm ³ /d	Nm ³ /d	Nm ³ /d	Nm ³ /d	
—		—	100%	50%	25%	0%	—	100%	50%	25%	0%	
700	全体計画 (R7年度)	11,479	10,670	5,335	2,667	0	27,631	5,482	10,817	13,485	16,152	
	事業計画 (H30年度)	10,873	5,557	2,779	1,389	0	14,541	-1,889	889	2,279	3,668	

温水ヒータの精製ガス使用率が低いと有効利用可能な消化ガス量が増加

5.消化ガス発電

◎ 消化ガス(余剰分)の取り扱い

- 消化ガス発電設備の導入
- 焼却炉以外での場内利用(場内のガス管へ接続)
- 余剰ガス燃焼装置の導入

5.消化ガス発電

◎ 発電した電力の主な利用方法

- 場内負荷設備に接続し消費する方法
- 固定価格買取制度を利用して売却する方法
- 消化ガスを民間事業者に売却する方法

5.消化ガス発電

◎ 廃熱回収利用

- 消化槽内の温度は50～55℃となる
- 消化ガス発電設備からも廃熱回収することが可能であり、上記温水の一部を供給することが可能

表5.1.消化ガス発電機1台当りの廃熱回収仕様

廃熱回収	廃熱回収量	40kW(MJ/h)
	温水取り出し温度	最大85℃
	温水流量(標準値)	116L/min

発電機の設置台数を増やすことができれば、温水の供給量も多くなり、総合的なエネルギー効率を向上

6. おわりに

【施設稼働後の取り組み】

本施設は既設消化槽の改築更新を終えたばかりであることから、

- ・ 運転状況を確認
- ・ 設計時の数値の検証を行う

ご清聴ありがとうございました

沿岸部の狭隘な用地における 雨水ポンプ場更新設計の一事例



2019年7月5日
玉野総合コンサルタント株式会社
上下水道部 上下水道第二課
○田中 竜樹
加藤 輝彰

目次

1. はじめに
2. 施設概要
3. 検討上の課題
4. 検討フロー
5. ポンプ場の施設計画
6. ポンプ場の施工計画
7. おわりに

1. はじめに

【背景・目的】

下水道施設の老朽化が進行し、適切な改築更新や長寿命化対策による機能維持が重要

【対象施設：Y町Sポンプ場(雨水ポンプ場)】

- ・経年による設備の老朽化
 - ・塩害による土木・建築施設の著しい劣化
- ⇒長寿命化計画において**全面的な更新と位置付け**
- ・雨水ポンプは暫定的に計画2台中、1台のみが設置
 - ・沿岸部に位置し、かつ低地であり、居住地では豪雨＋満潮時に海水の遡上や周辺山間部からの出水による浸水被害
 - ・全体計画の見直し(計画雨水量の見直し)
- ⇒ポンプ設備更新に合わせて雨水ポンプの増設(排水能力増強)

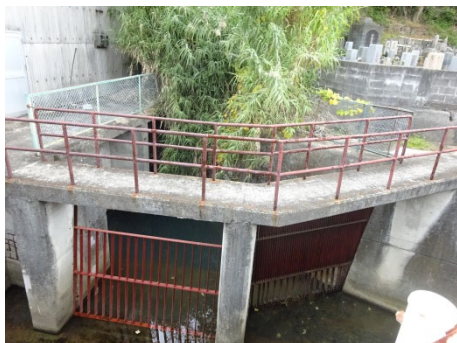
長寿命化計画に基づく雨水ポンプ場の更新設計

2. 施設概要

2-1. ポンプ場の施設概要

表 既設ポンプ場及び新設ポンプ場の施設概要

	既設ポンプ場	新設ポンプ場
施設	スクリーン、ポンプ棟 放流渠、流出ゲート	流入渠、スクリーン、接続水路、ポンプ棟、吐出井、 放流渠・吐口、バイパスゲート
ポンプ設備	形式:横軸斜流ポンプ 口径:Φ1,200 計画排水量:6.0m ³ /s ⇒3.0m ³ /s×2台(現状1台)	形式:立軸斜流ポンプ 口径:Φ1,350 計画排水量:7.9m ³ /s ⇒3.95m ³ /s×2台



既設スクリーン



既設ポンプ棟



既設放流渠



既設流出ゲート

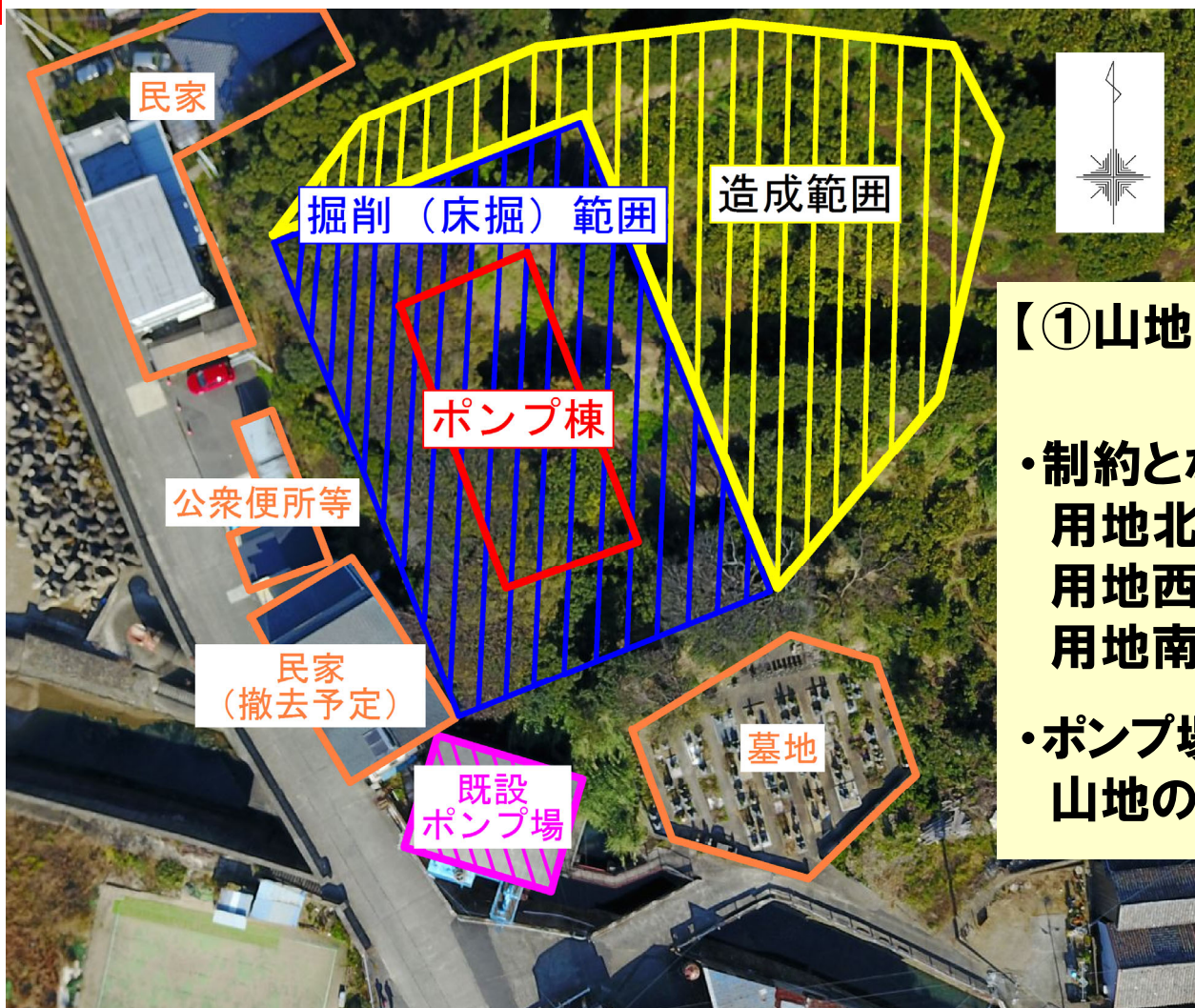
2-2. ポンプ場周辺の状況



【特徴】

- ①ポンプ場は沿岸部に位置し、放流先は海
- ②新設ポンプ場は山地を造成し建設
- ③周辺に墓地、民家が存在
- ④既設ポンプ場より北側に新設ポンプ場が位置する

3. 検討上の課題



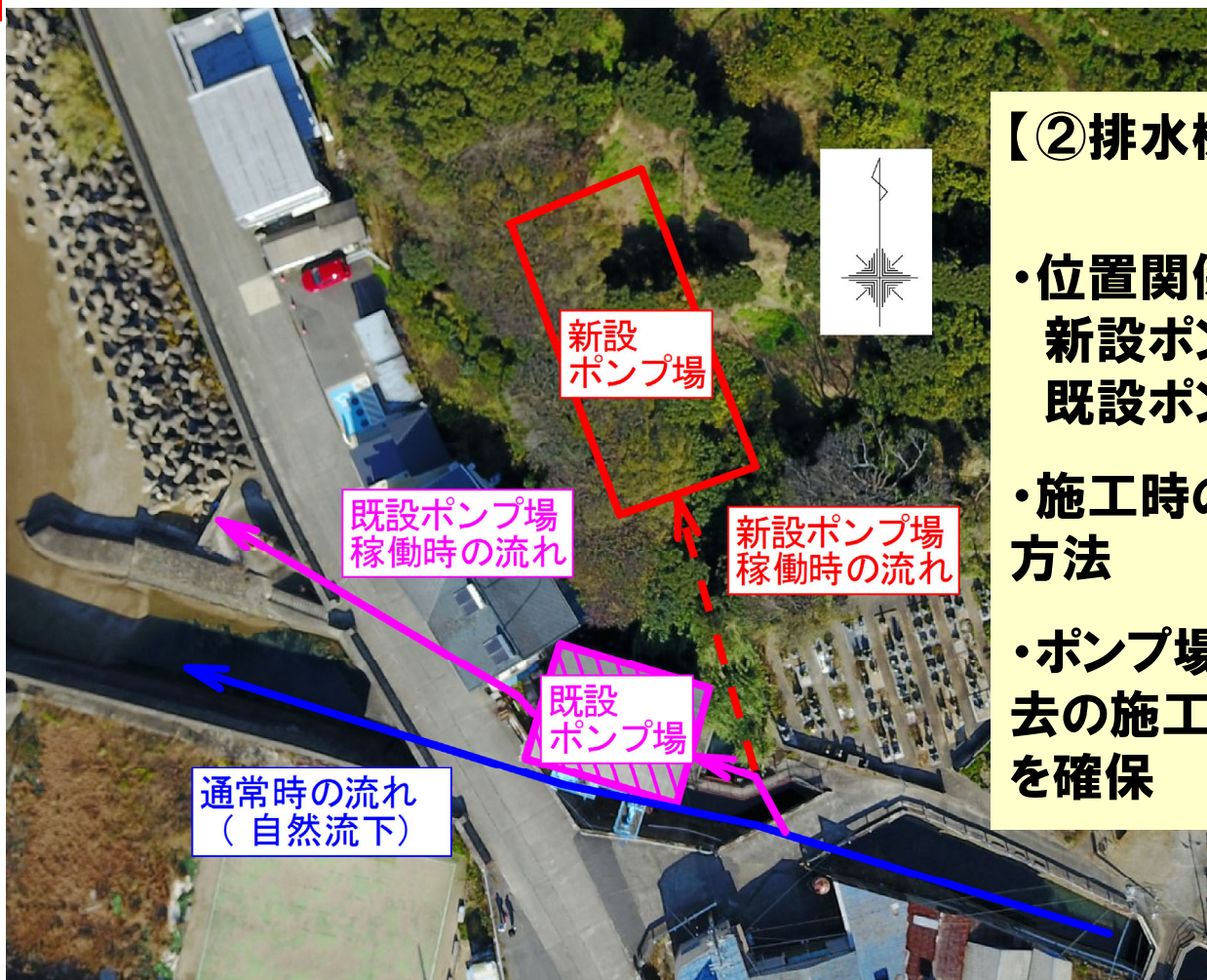
【①山地切土造成による ポンプ場用地確保】

- ・制約となるもの
用地北側：民家
用地西側：公衆便所
用地南側：墓地
- ・ポンプ場建設に当たり
山地の造成が必要

⇒掘削(床掘)範囲がこれらの構造物に影響しない配置計画とする。

⇒山地の造成範囲がコンパクトとなる配置計画とする。

3. 検討上の課題



【②排水機能を継続確保した 新設ポンプ場の建設】

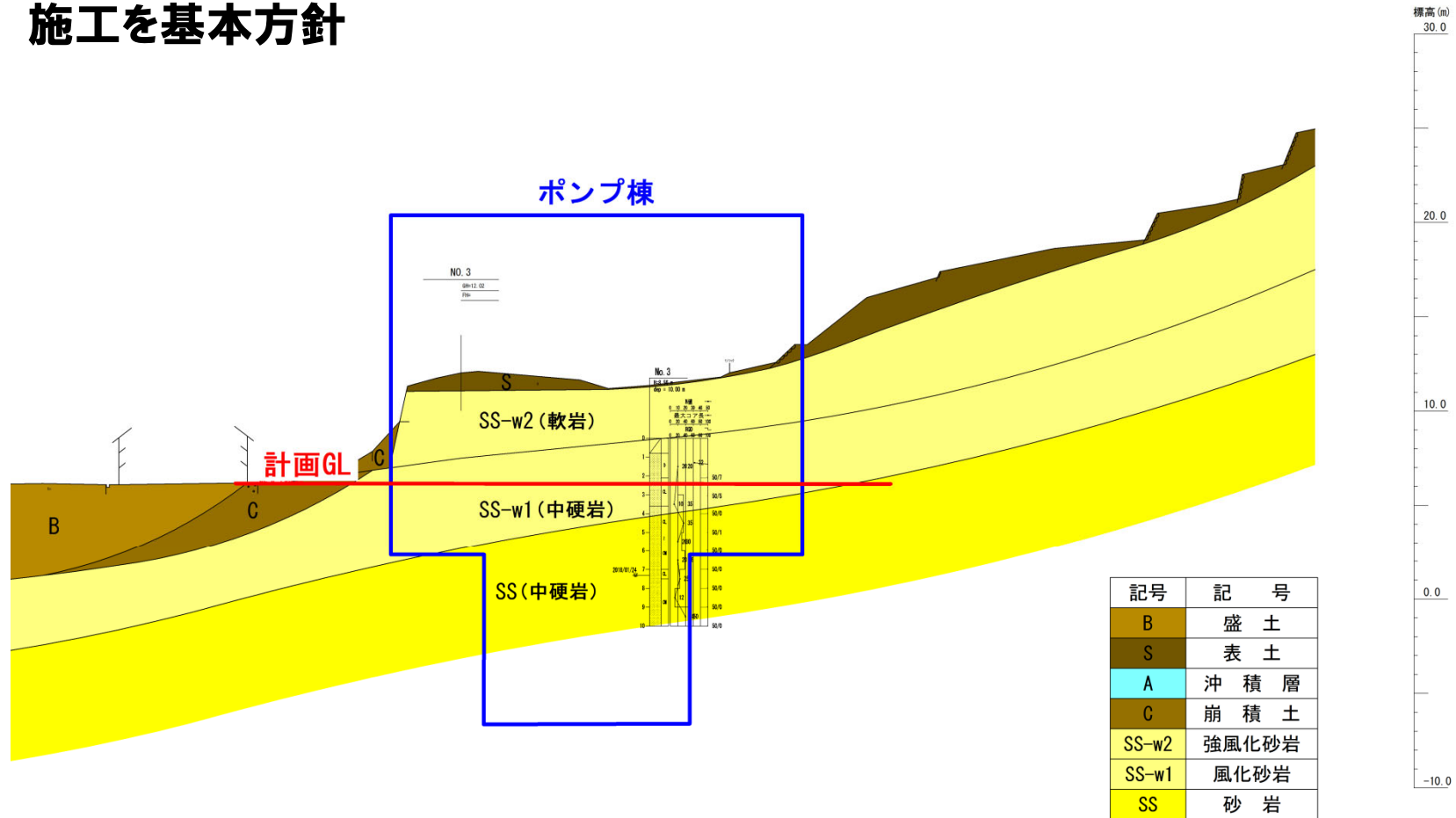
- 位置関係
新設ポンプ場：北側
既設ポンプ場：南側
- 施工時の新設ポンプ場への流入方法
- ポンプ場新設～既設ポンプ場撤去の施工期間中は常時、排水機能を確保

⇒新設ポンプ場稼働後に既設ポンプ場の撤去に着手する。
⇒仮設水路等により新設ポンプ場へ導水する。

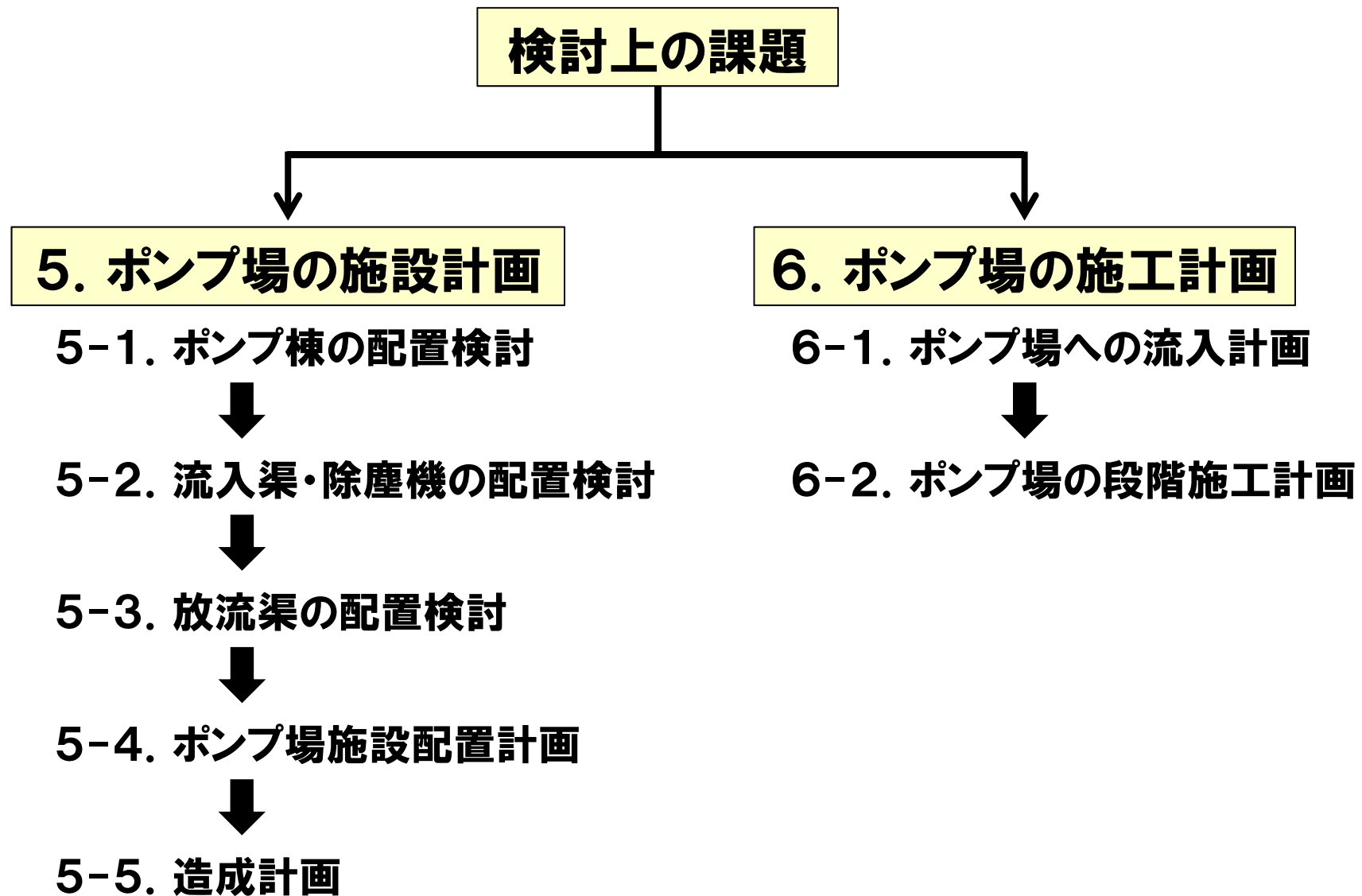
3. 検討上の課題

【③岩掘削】

- ・計画地盤高よりも下の地層はN値50を超える岩(軟岩～中硬岩)が支配的
⇒土留を用いた施工は不経済となるため、法切りオープンカット工法による施工を基本方針



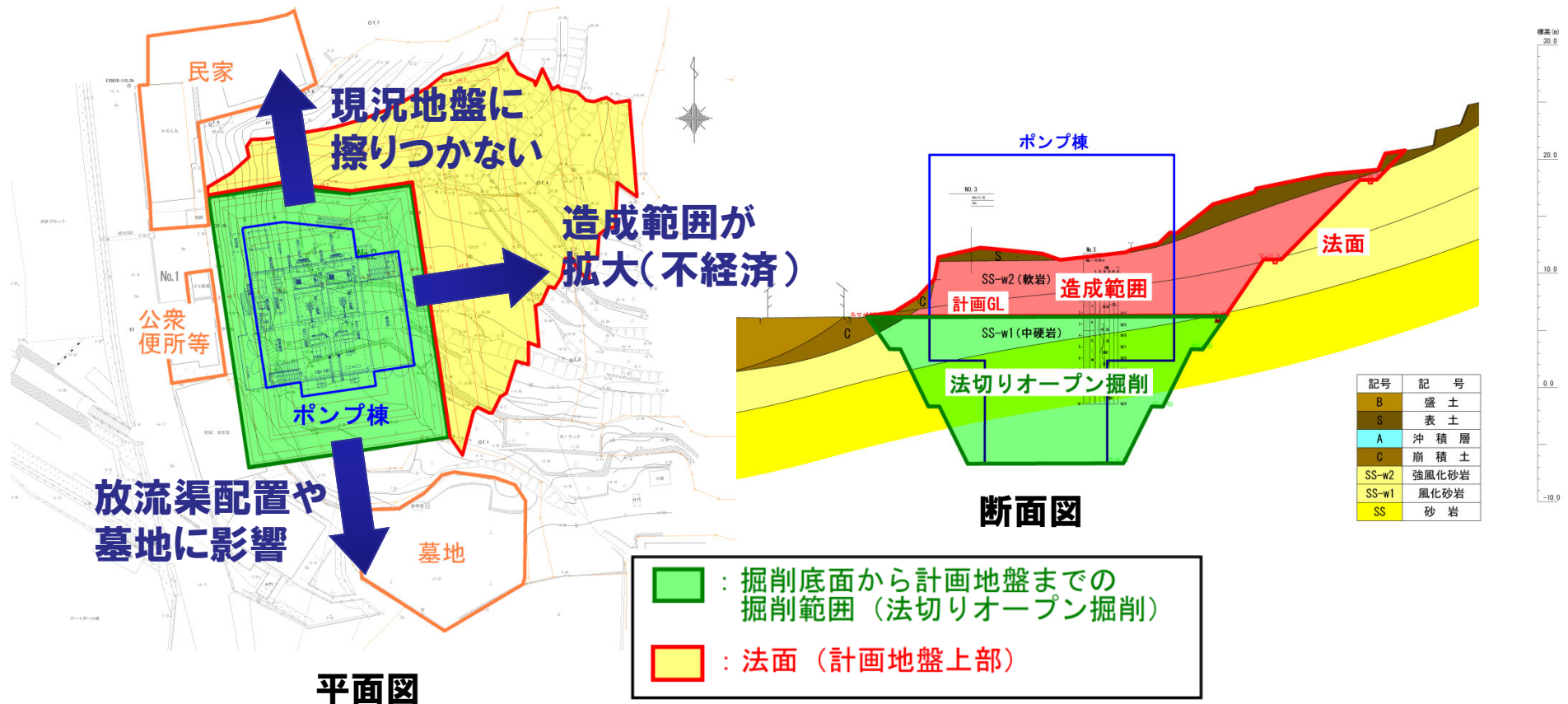
4. 検討フロー



5. ポンプ場の施設計画

5-1. ポンプ棟の配置検討

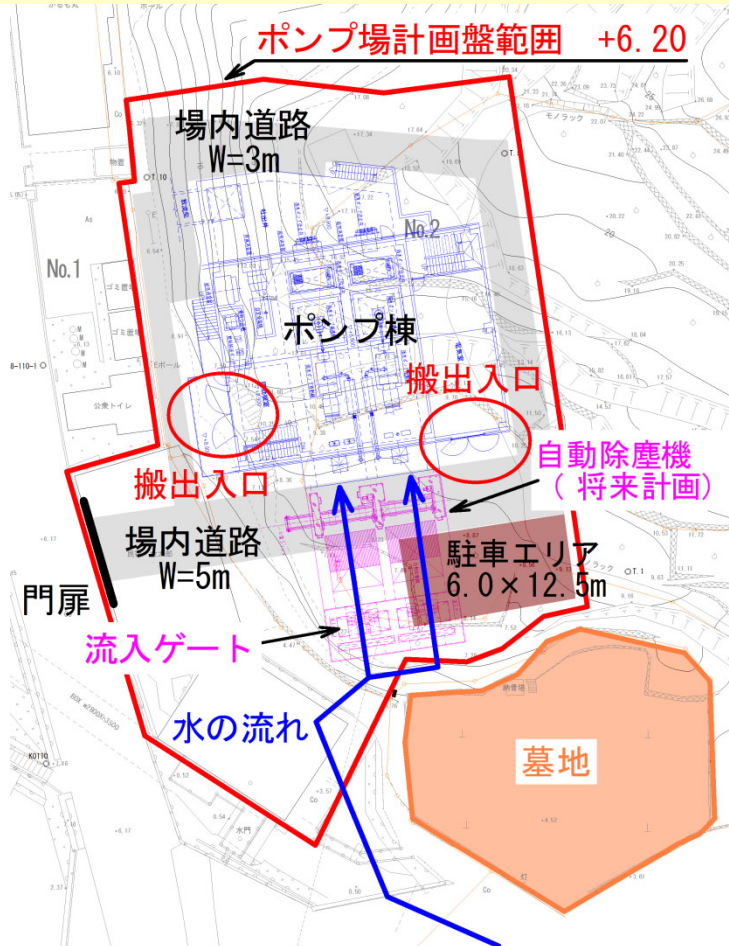
- ・造成範囲の抑制 ⇒ 西側に寄せた施設配置
- ・床掘の範囲は岩が支配的 ⇒ 経済的な法切りオープン掘削を採用



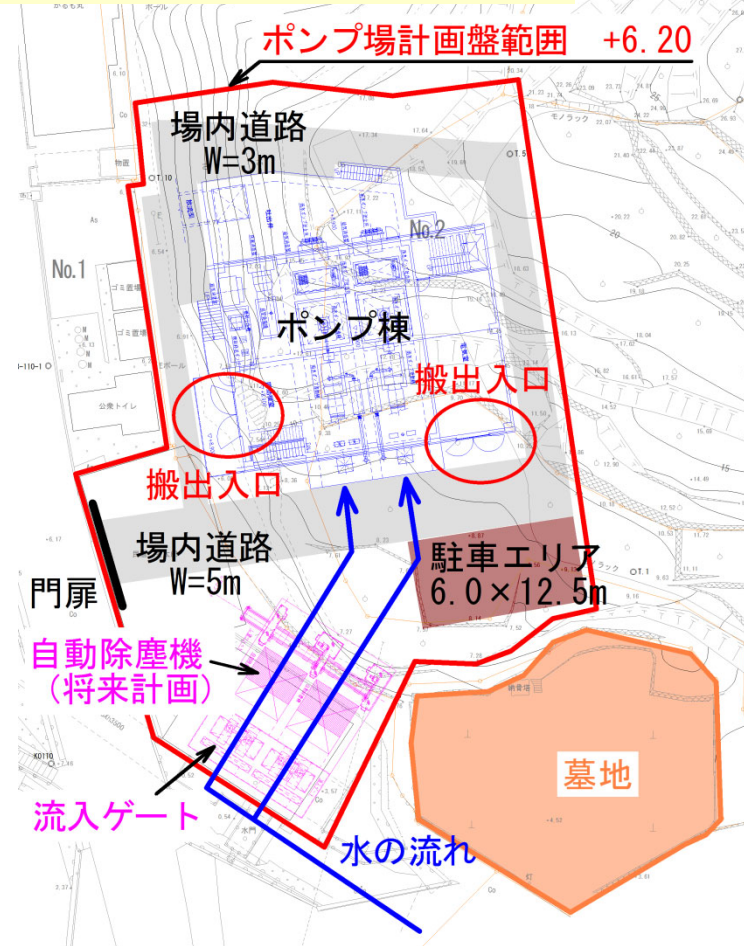
5-2. 流入渠・除塵機の配置検討

【条件】

- ①維持管理車両のための場内道路(幅員5m程度)が設置できるか
- ②取水する水路からの導水が可能か

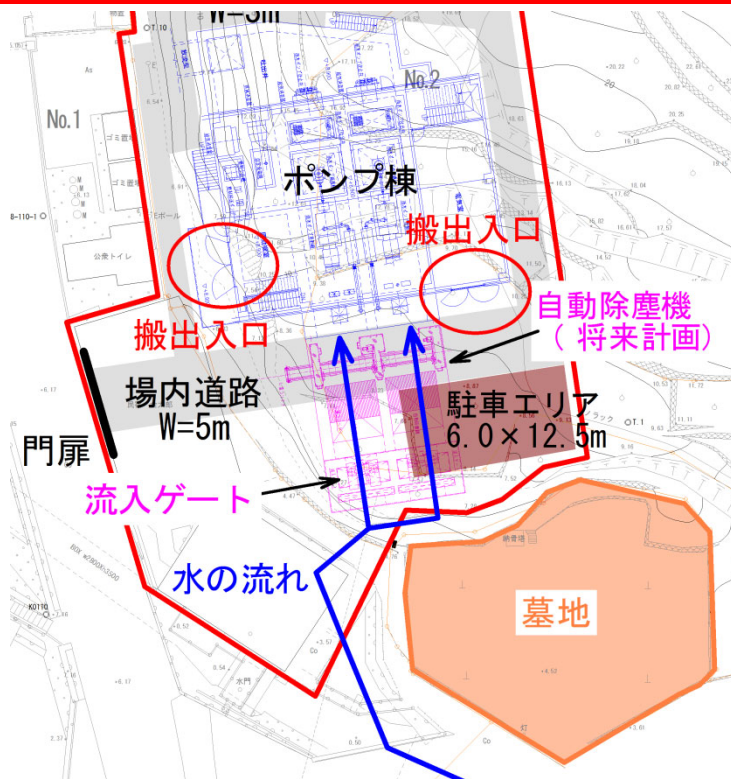


CASE.1: 直線状に施設を配置する案



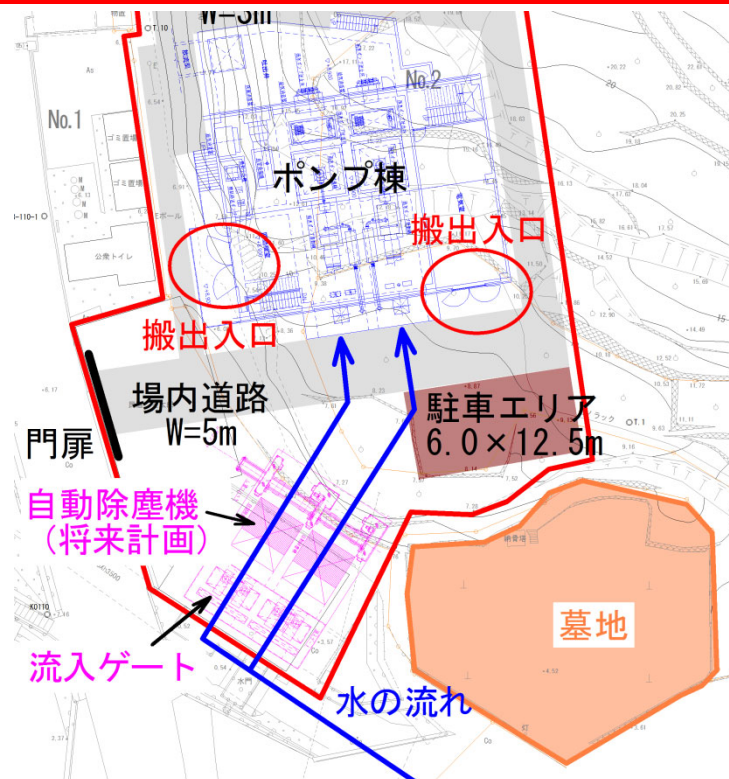
CASE.2: 分離して施設を配置する案

5-2. 流入渠・除塵機の配置検討



CASE.1

- ・施設全体がコンパクト
- ・水の流れがスムーズ
- ・自動除塵機が支障
⇒幅員5mの場内道路不可
⇒搬出入口付近の車両配置不可



CASE.2

- ・導水施設(接続水路)が必要
- ・水の流れにおいて曲がり増
- ・幅員5mの場内道路設置が可能
- ・搬出入口付近の車両配置が可能

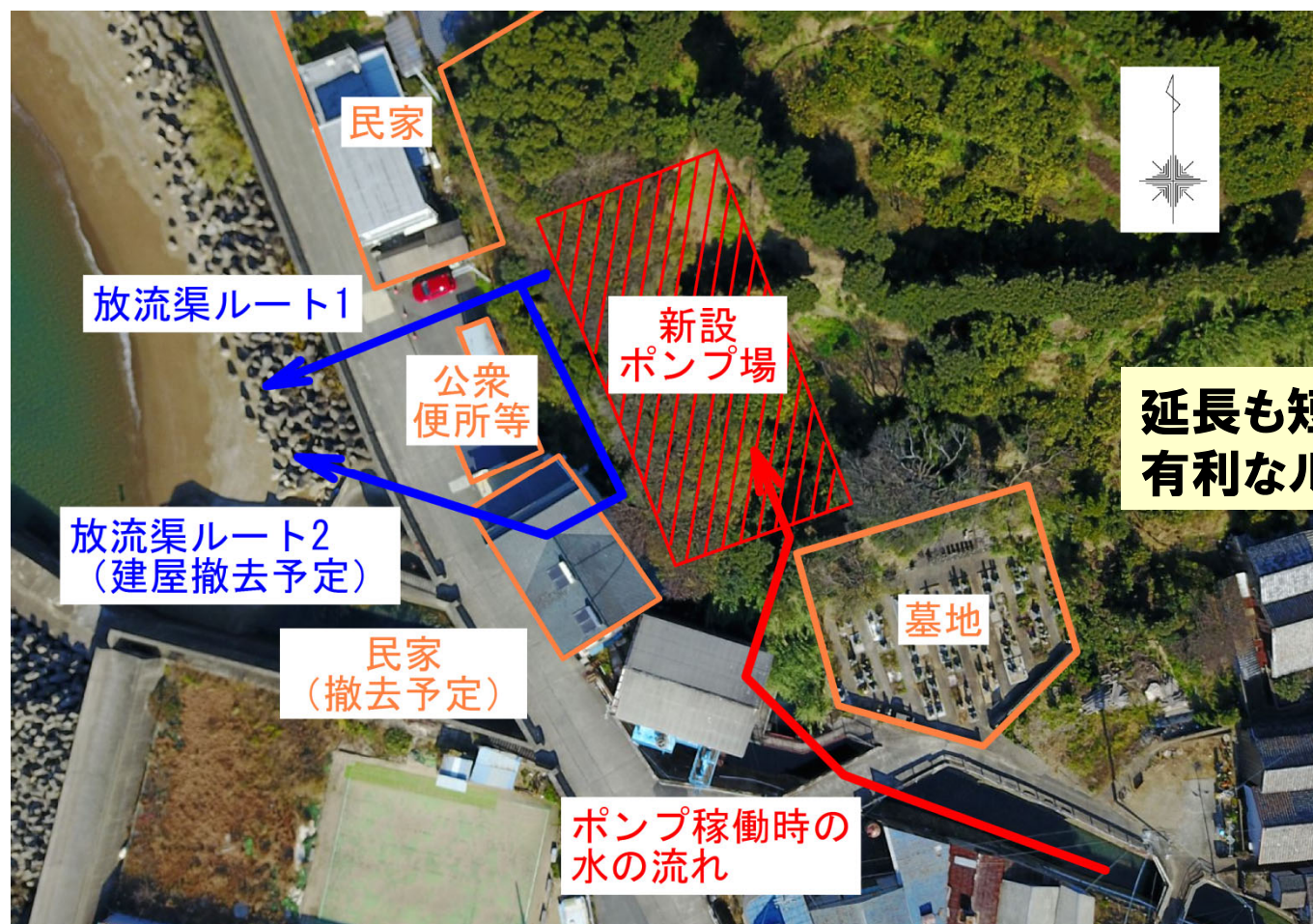
⇒制約条件を満足するCASE.2案を採用

5-3. 放流渠の配置検討

【検討案】

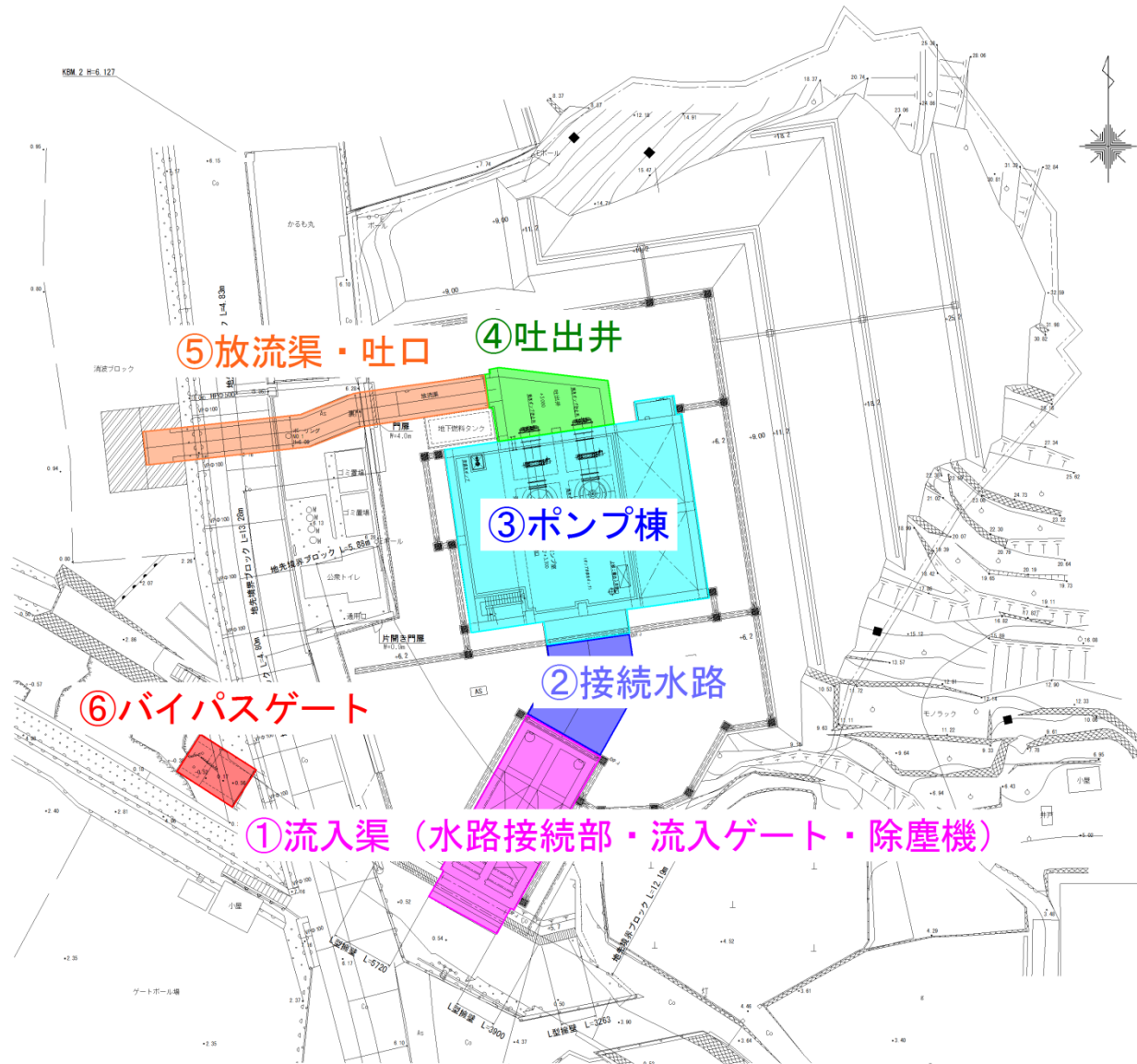
ルート1案: 民家と公衆便所の間を通すルート

ルート2案: 撤去予定の民家跡の用地を通すルート



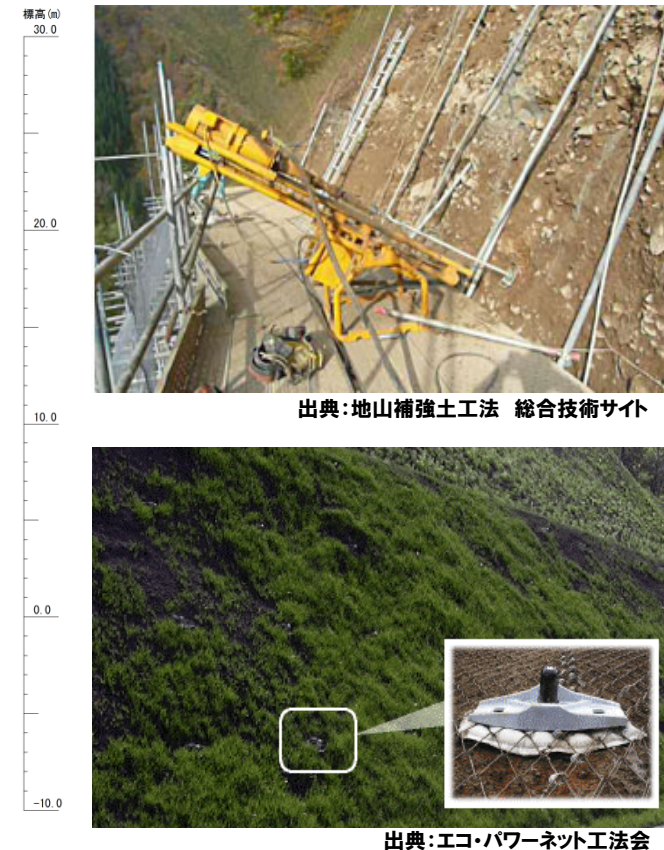
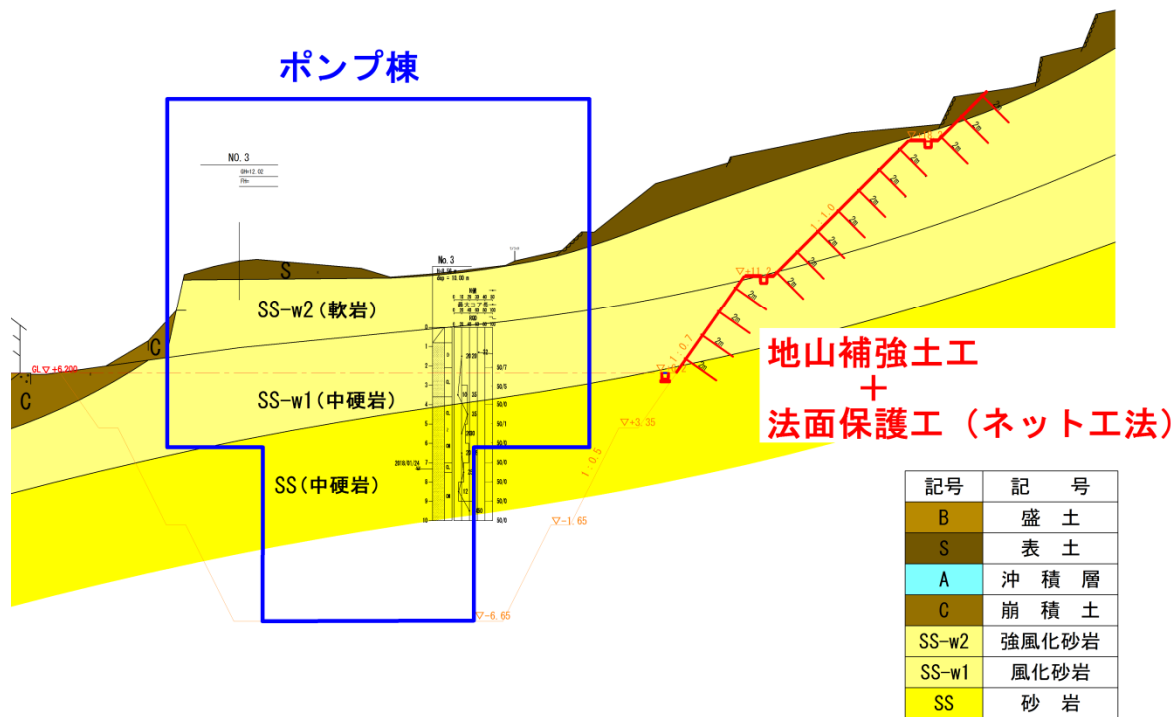
延長も短く、水理的にも有利なルート1案を採用

5-4. ポンプ場施設配置計画



5-5. 造成計画

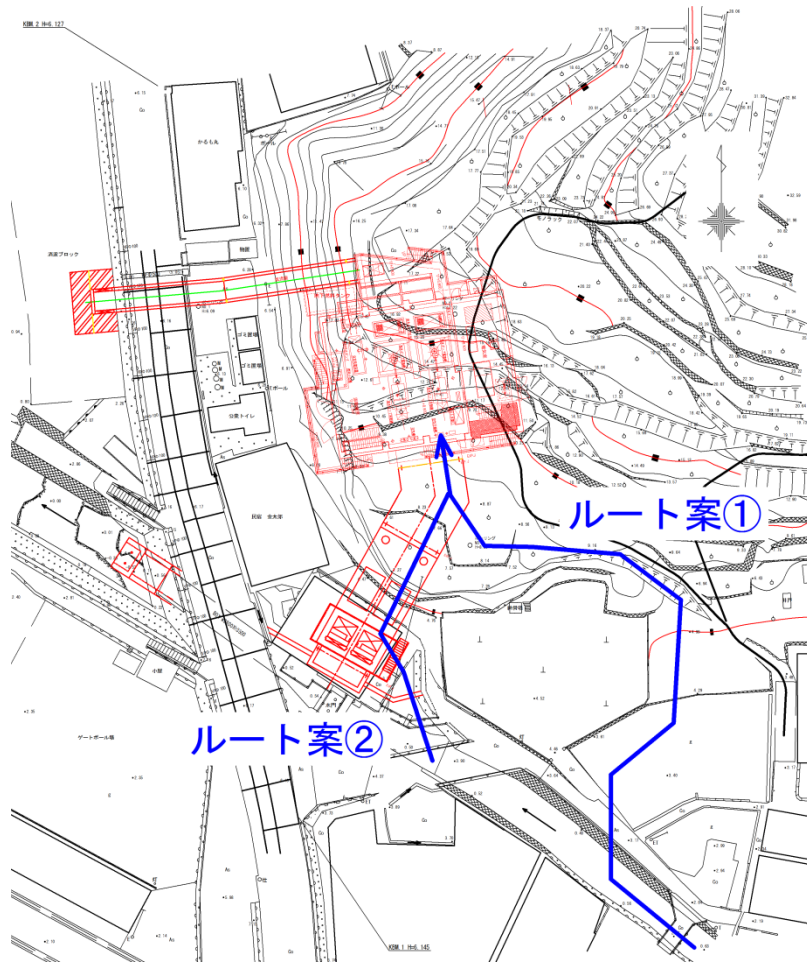
- 標準勾配では現況地盤面に追いつかない為、勾配を起こす対策を講じる。
⇒ 斜面の安定確保のため、地山補強土工法を採用
- 斜面の風化防止のための法面保護工
⇒ 法枠工、独立受圧板工法、ネット工法の内、経済的となるネット工法を採用



6. ポンプ場の施工計画

6-1. ポンプ場への流入計画

- ・ポンプ場建設工事中でも常に排水機能を確保
- ⇒既設ポンプ場を供用しながら新設ポンプ場へと切り替えが可能な流入計画



【検討案】

ルート①案: 墓地を迂回して導水するルート

ルート②案: 既設ポンプ場のポンプ井を仮設柵として利用するルート

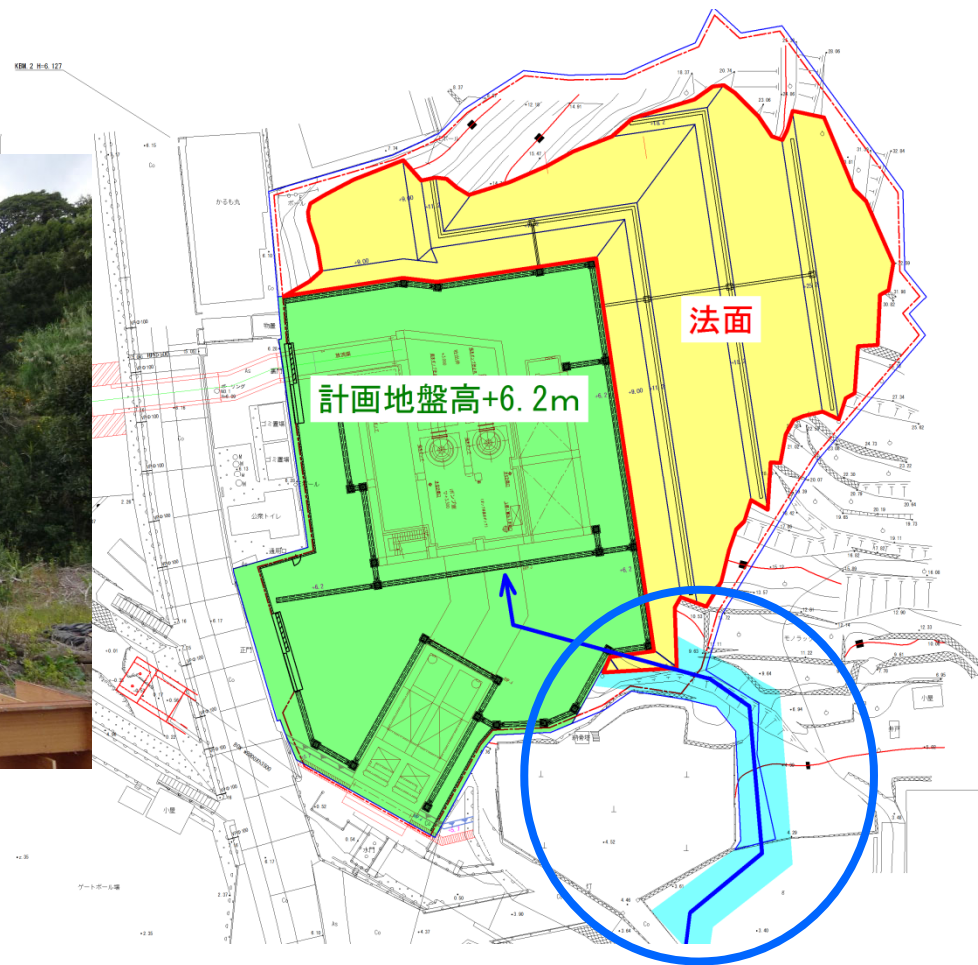
⇒適用性の高いルート②案により新設ポンプ場まで導水

6-1. ポンプ場への流入計画

・ルート①案



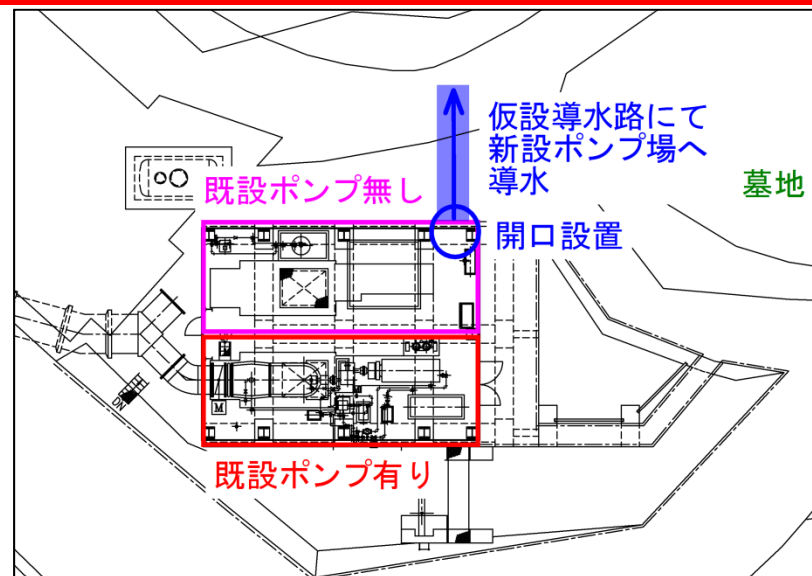
ルート①案水路



- ・墓地を迂回するために、別途、造成(山地の掘削)を行う必要がある。
- ・幹線水路の水路底高と地表面の高低差が5～7m程度あり、仮設水路の延長も長くなる。

6-1. ポンプ場への流入計画

・ルート②案



- ・ポンプ井側壁に開口を設け、ポリドレン管等により新設ポンプ場へ導水
- ・仮設導水路は既設ポンプ場の排水能力 $3.0\text{m}^3/\text{s}$ と同等の能力を有する断面として想定 ($\Phi 1100$)

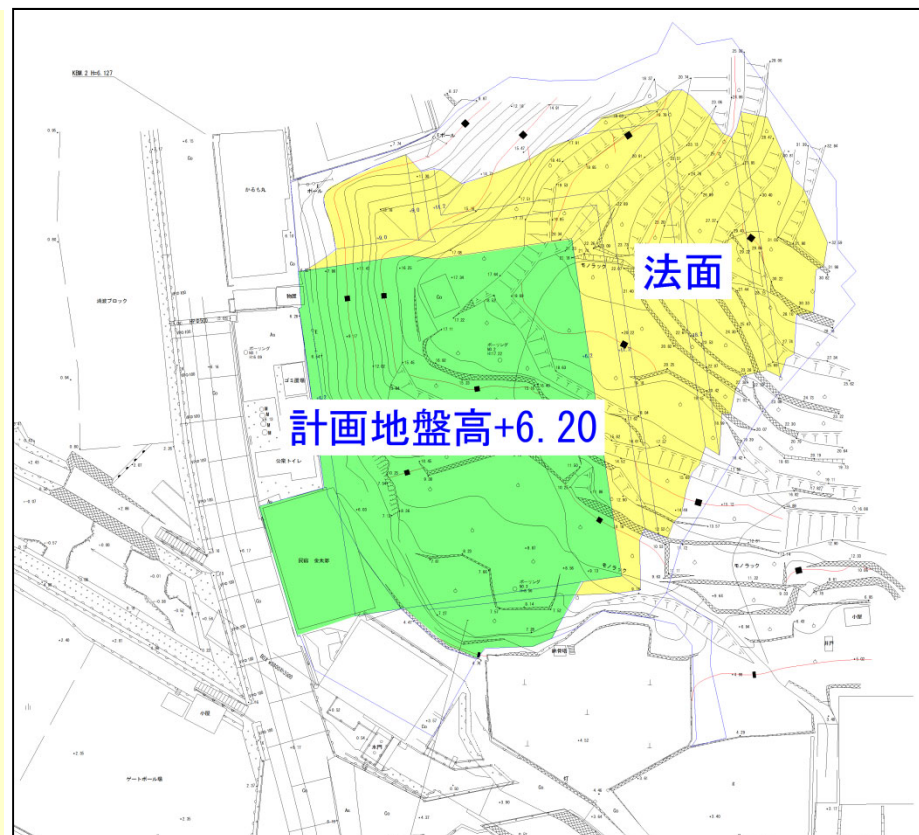
6-2. ポンプ場の段階施工計画

【留意事項及び対応方針】

- ① 工事期間中、常時既設ポンプ場相当の排水能力を確保
- ② ポンプ場用地内で施工ヤードが出来るだけ確保できるような施工手順

【施工手順】

- ① 計画地盤高まで切土造成(法面工)
- ② 計画地盤高下部床掘
- ③ ポンプ棟(土木)、放流渠、バイパスゲート、接続水路等築造
- ④ ポンプ棟地下部埋戻し(施工ヤード確保)
- ⑤ ポンプ棟地上部築造(建築、機械、電気)
- ⑥ 既設ポンプ井開口より新設ポンプ場への仮設導水路設置(排水機能切替)
- ⑦ 既設ポンプ場(建築、機械、電気)撤去
- ⑧ 既設ポンプ場土木部分撤去
- ⑨ 流入渠を部分的に築造
- ⑩ ⑥、⑧～⑨を繰り返して流入渠築造



6-2. ポンプ場の段階施工計画

【施工手順】

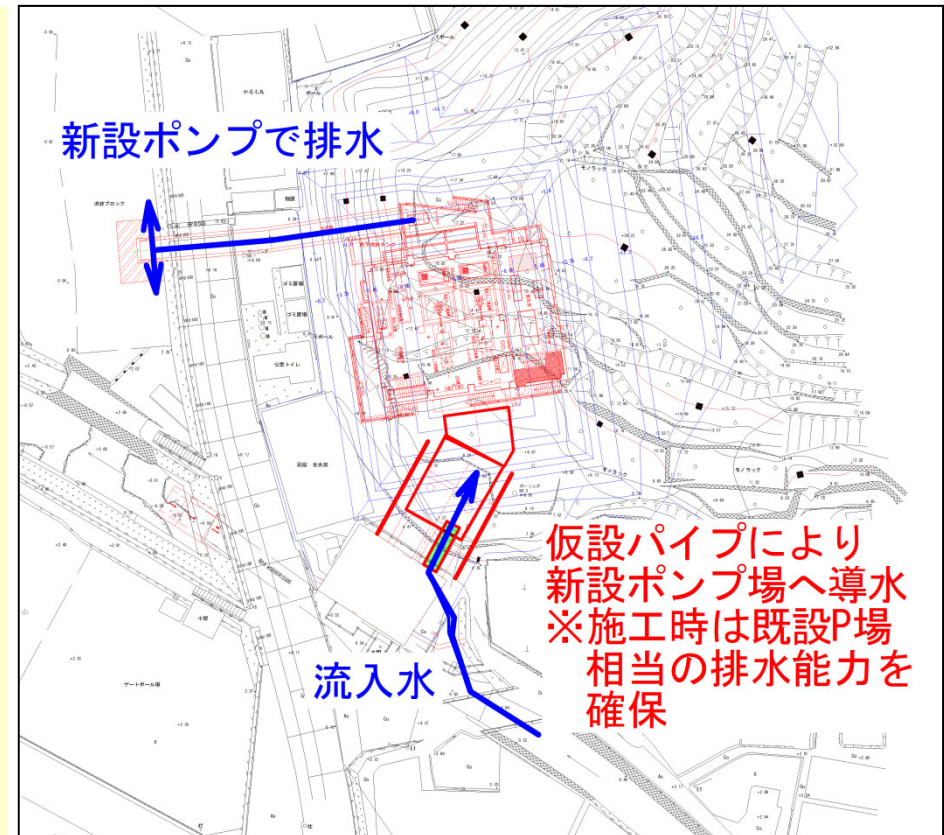
- ① 計画地盤高まで切土造成(法面工)
- ② 計画地盤高下部床掘
- ③ ポンプ棟(土木)、放流渠、バイパスゲート、
接続水路等築造
- ④ ポンプ棟地下部埋戻し(施工ヤード確保)
- ⑤ ポンプ棟地上部築造(建築、機械、電気)
- ⑥ 既設ポンプ井開口より新設ポンプ場への
仮設導水路設置(排水機能切替)
- ⑦ 既設ポンプ場(建築、機械、電気)撤去
- ⑧ 既設ポンプ場土木部分撤去
- ⑨ 流入渠を部分的に築造
- ⑩ ⑥、⑧～⑨を繰り返して流入渠築造



6-2. ポンプ場の段階施工計画

【施工手順】

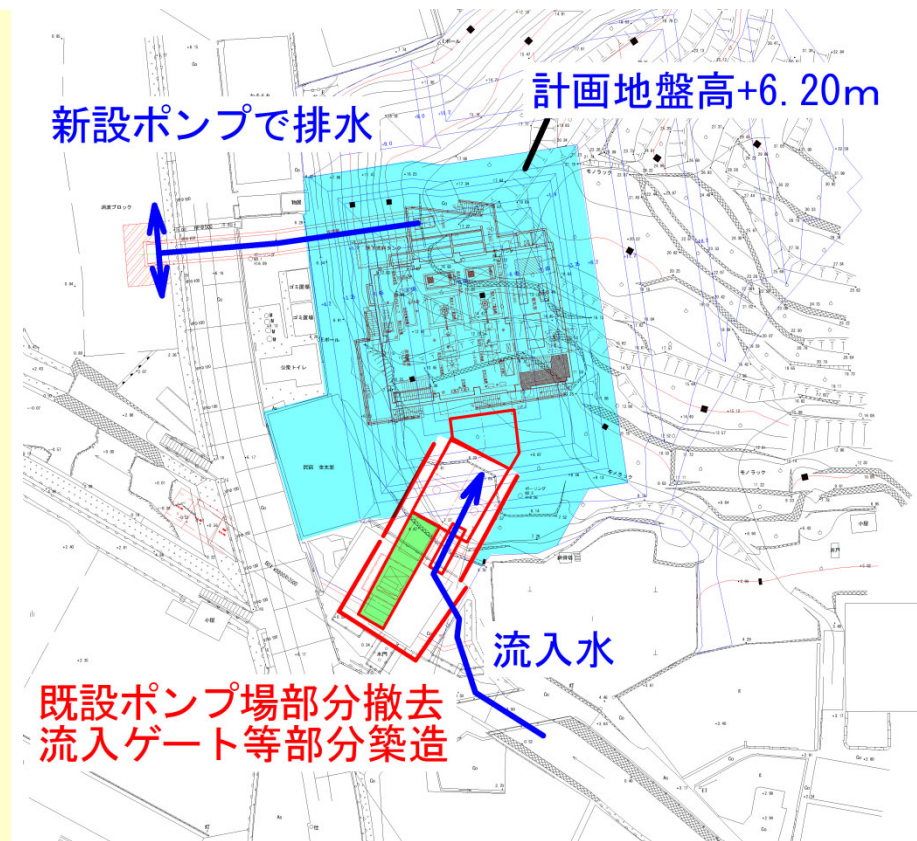
- ① 計画地盤高まで切土造成(法面工)
- ② 計画地盤高下部床掘
- ③ ポンプ棟(土木)、放流渠、バイパスゲート、接続水路等築造
- ④ ポンプ棟地下部埋戻し(施工ヤード確保)
- ⑤ ポンプ棟地上部築造(建築、機械、電気)
- ⑥ 既設ポンプ井開口より新設ポンプ場への仮設導水路設置(排水機能切替)
- ⑦ 既設ポンプ場(建築、機械、電気)撤去
- ⑧ 既設ポンプ場土木部分撤去
- ⑨ 流入渠を部分的に築造
- ⑩ ⑥、⑧～⑨を繰り返して流入渠築造



6-2. ポンプ場の段階施工計画

【施工手順】

- ① 計画地盤高まで切土造成(法面工)
- ② 計画地盤高下部床掘
- ③ ポンプ棟(土木)、放流渠、バイパスゲート、接続水路等築造
- ④ ポンプ棟地下部埋戻し(施工ヤード確保)
- ⑤ ポンプ棟地上部築造(建築、機械、電気)
- ⑥ 既設ポンプ井開口より新設ポンプ場への仮設導水路設置(排水機能切替)
- ⑦ 既設ポンプ場(建築、機械、電気)撤去
- ⑧ 既設ポンプ場土木部分撤去
- ⑨ 流入渠を部分的に築造
- ⑩ ⑥、⑧～⑨を繰り返して流入渠築造



7. おわりに

- ・本稿では狭隘な用地における雨水ポンプ場の更新設計の一事例について述べた。
- ・今回事例では、周辺民家等の制約に加えて地盤条件や造成工の影響範囲も施設の配置に影響しており、施工する際の仮設や掘削、造成といった一連の項目を見据えた検討を行うことが重要であると考える。

ご清聴ありがとうございました。

 TAMANO