

# 第3回今池水みらいセンターで 発生した堺市公共下水道管破損事故の 検証委員会

平成30年4月23日（月）  
堺市上下水道局 4階研修室

# 1. 第3回検証委員会について

## 【第2回委員ご意見（抜粋）】

- ①机上の計算において、新管であれば内圧が発生しても下水道管は破壊せず、管耐力が低下していれば破壊する可能性が示唆されたが、現地調査等による精度を上げた検証が必要
- ②事故前から下水道管路上に空洞が存在していた可能性が不透明であることから、地盤調査等の調査が必要
- ③返流水及び流入下水の水質比較が必要



## 【事故原因のさらなる検証】

- 追加調査：①陥没箇所周辺の下水道管調査の実施  
②地盤（空洞）調査の実施  
③返流水及び流入下水の水質調査の実施
- 追加検証：④管きよの劣化の要因と残存強度の検証



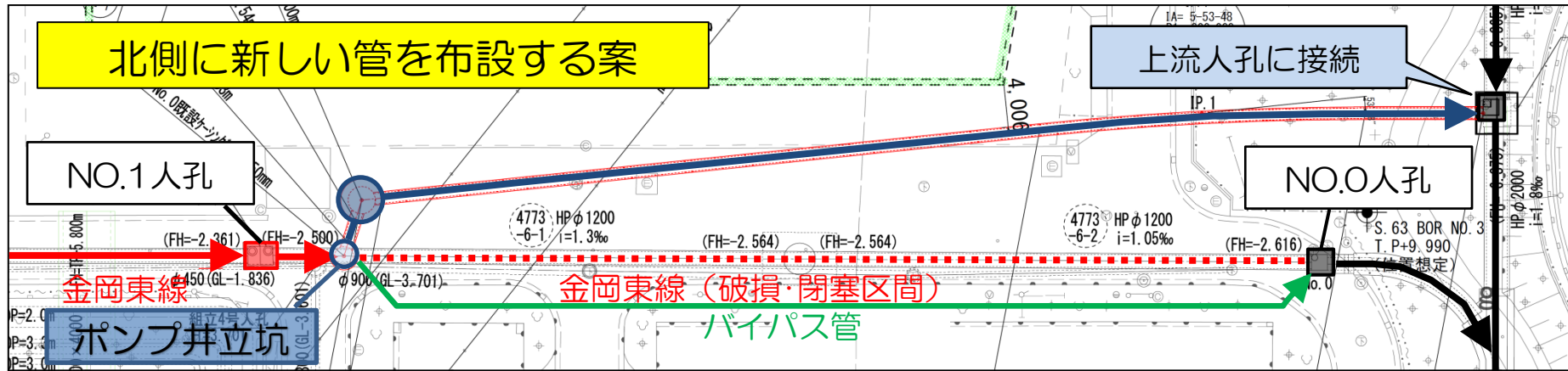
## 【事故原因並びに再発防止策について】

- ①調査結果を踏まえた事故原因の推定
- ②事故原因を踏まえた再発防止策の取りまとめ

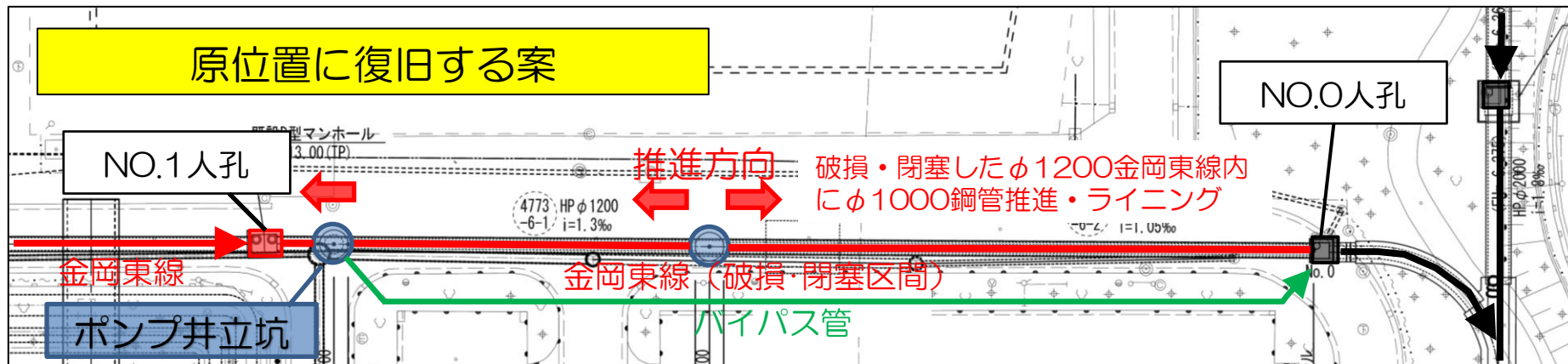
## 2. 第2回委員会からの変更点

### (1) 本復旧工事のルート・工法変更①

【第2回検証委員会 提示復旧案】



【最終本復旧案】



## 2. 第2回委員会からの変更点

### (2) 本復旧工事のルート・工法変更②

#### 【変更理由】

##### ○費用面

- ・北側ルートと原位置復旧の費用比較の結果、原位置復旧の方が安価

##### ○浸水リスクの軽減

- ・北側ルートは推進管の材料調達に時間を要し、梅雨時期までの完成が困難であるが、原位置復旧は梅雨時期までの復旧が可能。

##### ○調査精度の向上

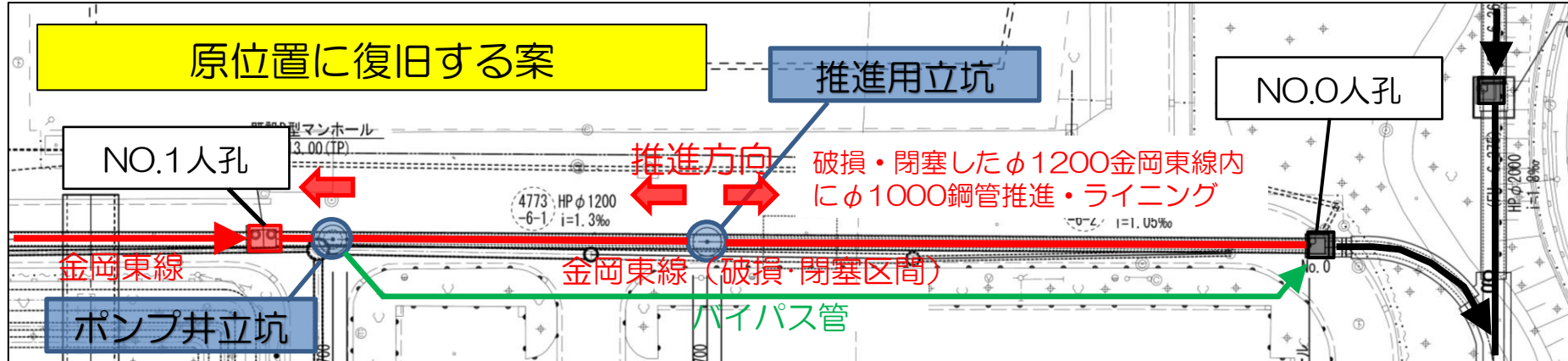
- ・原位置復旧の場合、破損箇所周辺に立坑を設ける必要があることから、破損箇所周辺の更なる調査が可能



原位置復旧案を採用

## 2. 第2回委員会からの変更点

### (3) 本復旧工事について



#### 【汚水ポンプによる堆積物の撤去等】

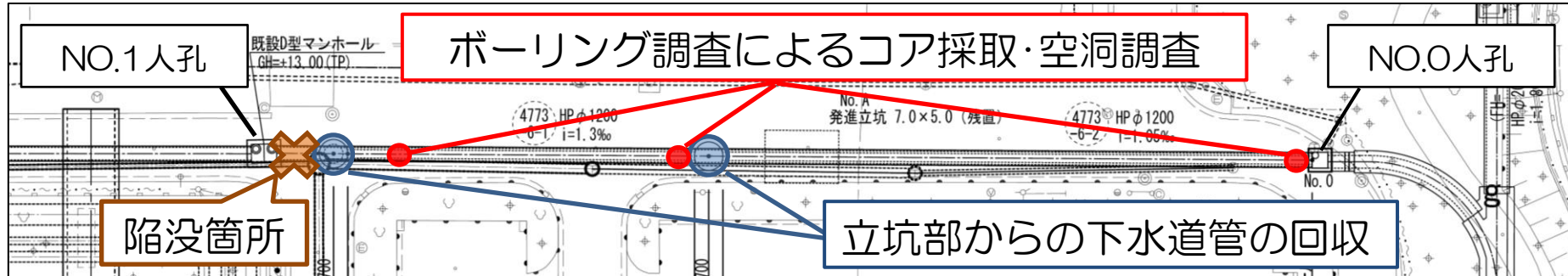
- ①ポンプ井立坑の築造
- ↓
- ②仮排水管（バイパス管）の設置
- ↓
- ③ポンプ井に汚水ポンプ設置
- ↓
- ④ポンプ運転開始（し渣・夾雑物等の堆積物をポンプにより排水）
- ↓
- ⑤ NO.1人孔部周辺の調査の実施

#### 【下水道管の復旧】

- ①推進用立坑の築造
- ↓
- ②ポンプ井立坑からNO.1人孔まで管を布設して接続
- ↓
- ③推進工法により既設管内に鋼管を布設
- ↓
- ④鋼管の中にライニングを行い、適切な強度を有した下水道管を復旧

# 3. 事故原因のさらなる検証

## (1) 追加調査・検証事項



### ① 陥没箇所周辺の下水道管調査の実施

- ボーリングによる下水道管のコア（一部：Φ116mm）の採取
- 立坑部からの下水道管全体の回収
- NO.1～NO.2区間の管内調査の実施

### ② 地盤（空洞）調査の実施

- 鋼管圧入による空洞調査の実施（ボーリング部・立坑部）

### ③ 返流水及び流入下水の水質調査

- 水質調査の実施

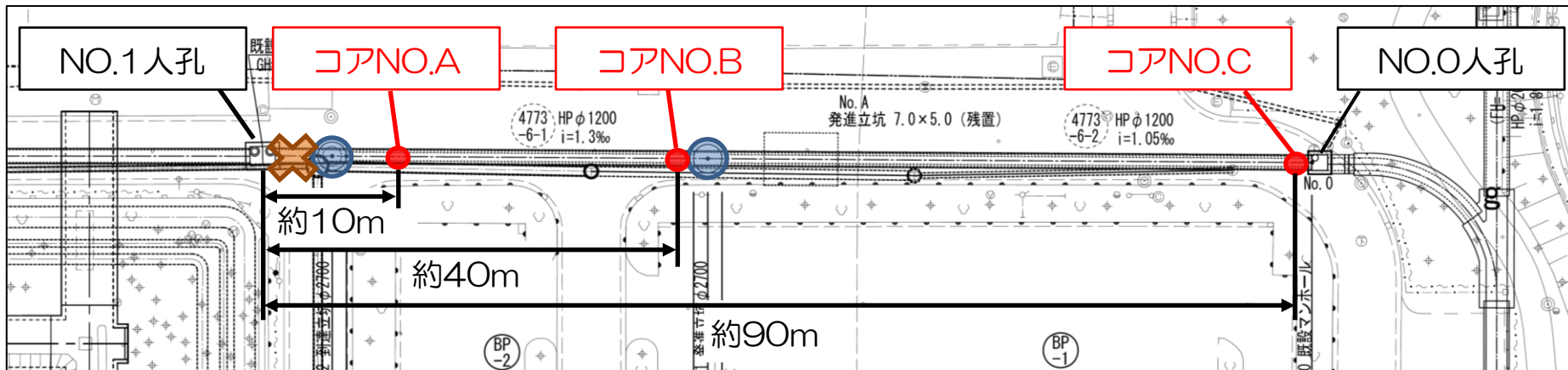
### ④ 管きよの劣化の要因と残存強度の検証

- 上記調査結果を踏まえた、管きよの劣化要因の検証
- 採取・回収した下水道管を用いた、下水道管の残存強度の推定









# 3. 事故原因のさらなる検証【追加調査】

## (2) 陥没箇所周辺の下水道管調査の実施①（ボーリング部）



ボーリング調査結果（新管の厚み=115mm）

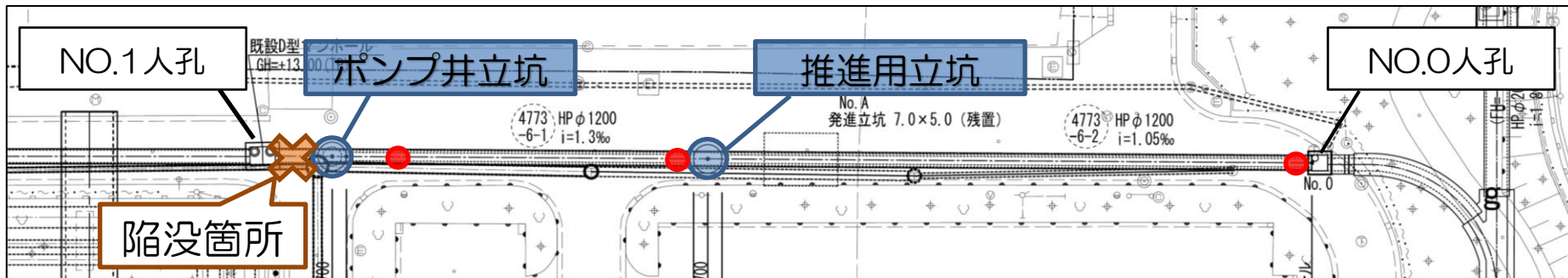
調査箇所	管頂部	管底部
コアNo.A	 60mm	 115mm
コアNo.B	 80mm	 115mm
コアNo.C	 90mm	 115mm

### 【調査結果】

- NO.1人孔に近くに従い、管頂部の厚みは減少
- 管底部は、コア毎に差は見られず、新管と同じ厚みを維持

### 3. 事故原因のさらなる検証【追加調査】

#### (3) 陥没箇所周辺の下水道管調査の実施②（立坑部）



立坑からの下水道管の回収結果

調査箇所	管頂部	管側面	管底部
ポンプ井立坑	—	35mm	115mm
推進用立坑	85mm	85mm	115mm

#### 【調査結果】

- ポンプ井立坑部の管頂部は発見できなかった。
- ポンプ井立坑部の管側面が、コアNO.A～Cと比較し、最も厚みが減少していた。



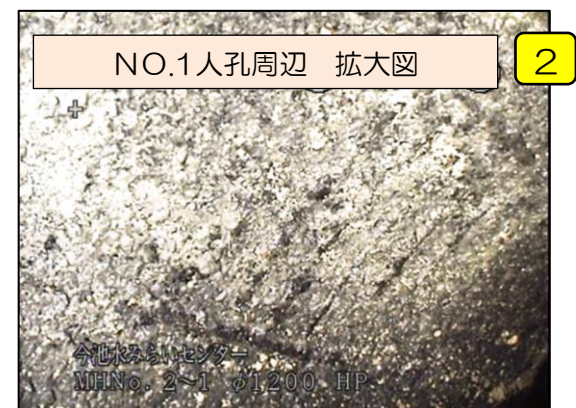
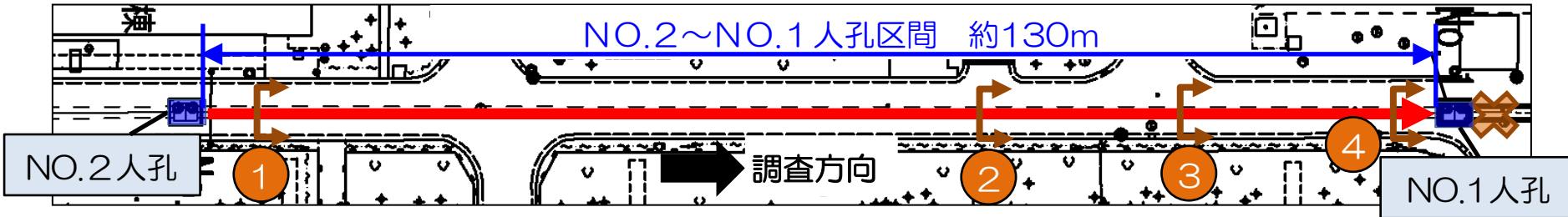


### 3. 事故原因のさらなる検証【追加調査】

調査日：H30.4.18

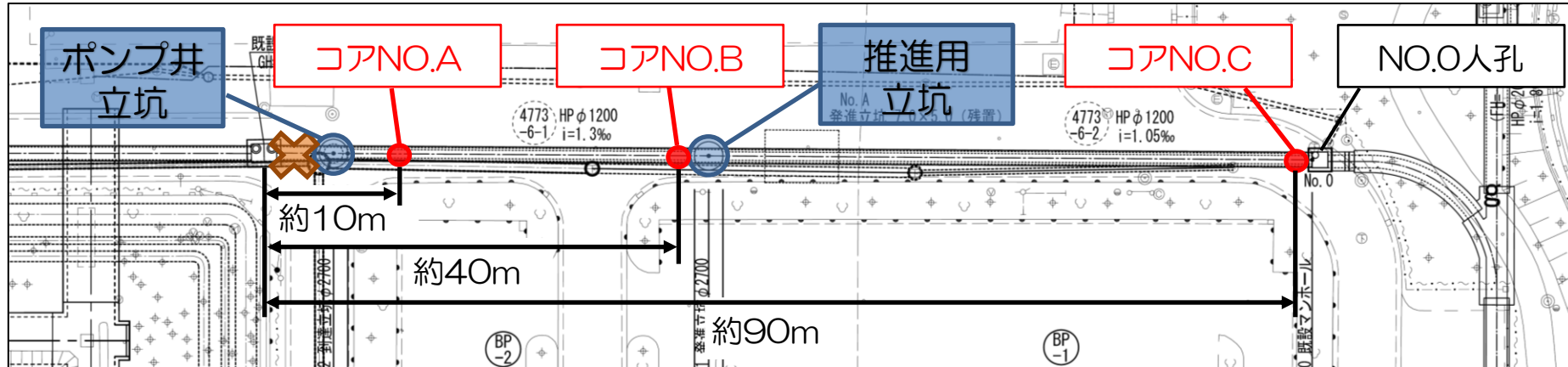
#### (4) 陥没箇所周辺の下水道管調査の実施③ (NO.1～NO.2管内調査)

- NO.1 人孔～約50m区間まで腐食し、NO.1 人孔付近は腐食が著しい



### 3. 事故原因のさらなる検証【追加調査】

#### (5) 地盤（空洞）調査の実施



#### 【内容】

- 平成30年1月18日から20日にかけて、ボーリング調査を実施。
- 平成30年2月5日から26日にかけて、ケーシング工事を実施。

#### 【結果】

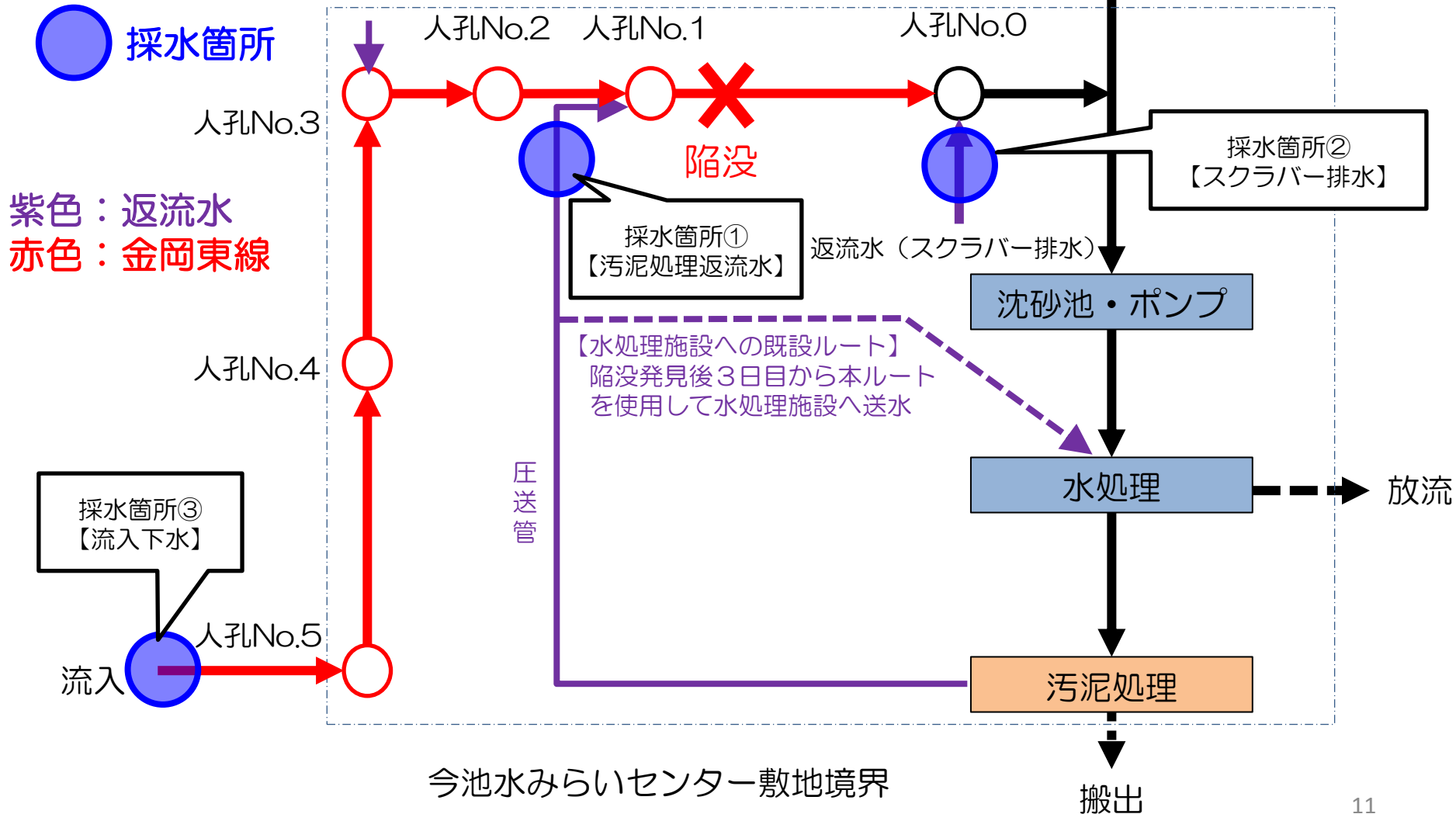
- どちらの施工においても、鋼管圧入時、急激にトルクが下がるなど、空洞が疑われるような兆候はなかった。



### 3. 事故原因のさらなる検証【追加調査】

#### (6) 返流水及び流入下水の水質調査の実施①

##### 【採水箇所】





### 3. 事故原因のさらなる検証【追加調査】

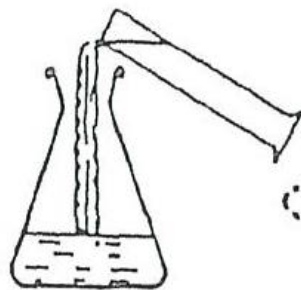
#### (7) 返流水及び流入下水の水質調査の実施②

	汚泥処理返流水※1	スクラバー排水	流入下水
採水日	11/2、15、18	11/15	11/15
硫化物ポテンシャル (ppm)	3.4	0.1	0.1未満
水温 (°C)	24.0	57.0	21.3
pH (-)	6.8	7.0	7.2
BOD (mg/L)	370	—	185※2

※1：3日間の平均値を採用

※2：流入下水のBODについては、H28年度の平均値があったことから、この値を代用

#### 【硫化物ポテンシャル調査※】

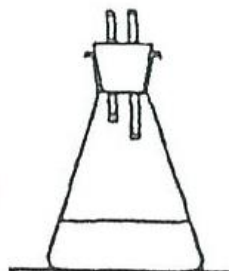


①300mL

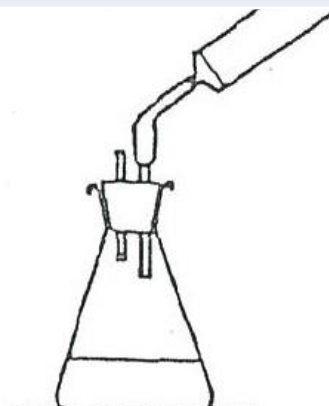
三角フラスコへ注水  
(今回は100mL注水)



②1分間  
振とう



③静置



③検知管で測定  
(今回はガスクロマト  
グラフで測定)

#### 【調査結果】

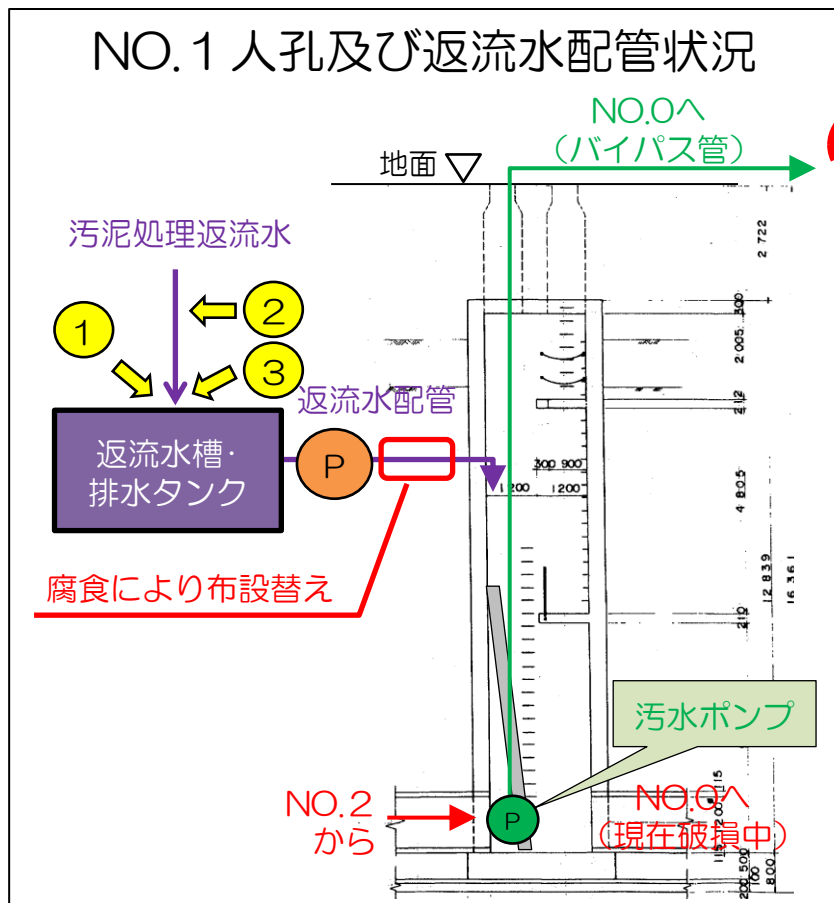
- 流入下水と比較して、汚泥処理返流水が硫化物ポテンシャル、BODともに最も高い値を示した。

# 4. 事故原因のさらなる検証【追加検証】

## (1) 管きよの劣化要因の検証①

- ・ 返流水による腐食が懸念されたことから、返流水配管（大阪府管理）の調査を行ったところ、腐食が発生している状況を確認
- ・ 返流水配管の一部（下図参照）は、平成29年7月に腐食による劣化のため、大阪府側で布設替えを実施

調査日：H29.12.1



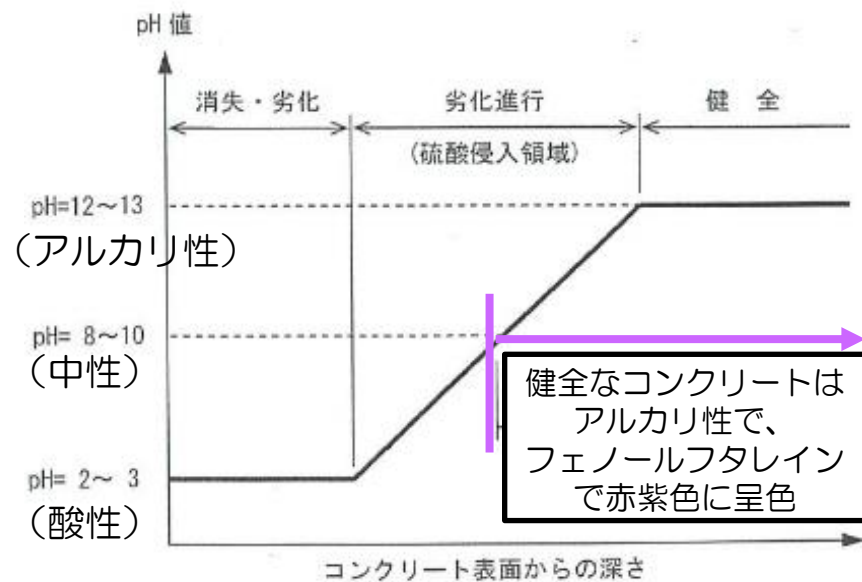


# 4. 事故原因のさらなる検証【追加検証】

## (2) 管きよの劣化要因の検証②

- 劣化要因を確認するため、中性化試験※を実施
- 中性化は進んでおり、腐食が進行している状況を確認

管の内側がフェノールフタレインで呈色せず（＝中性化が進行）



腐食を受けるとコンクリートが中性化し、フェノールフタレインで呈色しない

腐食によるコンクリートのpH値の変化\*\*

\* 「コンクリートの中性深さの測定方法」 (日本工業規格 (JIS) A 1152) に準拠

\*\*管きよ更生工法における設計・施工管理ガイドライン (案) (平成23年12月、日本下水道協会)

## 4. 事故原因のさらなる検証【追加検証】

### (3) 管きよの劣化要因の検証③（維持管理）

#### ○劣化が進行した要因

- ・事故前に腐食状況を把握できなかったことが、腐食が進行した要因の一つと考えられるため、点検調査等の維持管理について検証を実施。

#### ○維持管理について

- ・下水道維持管理指針（日本下水道協会）では、管路状態を把握するため、点検調査等の維持管理頻度を設定する必要があるとされている。
- ・維持管理頻度は、維持管理実績が集積されている場合は実績に基づき維持管理頻度を設定するものとされている。
- ・維持管理実績が集積されていない場合における、点検調査頻度例は下表のとおり。

供用開始後の経過年数	マンホール管きよ	伏せ越し	マンホールポンプ	雨水吐き室	吐き口	汚水ます	雨水ます	ゲート
0～30年	3年に1回	1年に1回	月に1回	2年に1回	1年に1回	3年に1回	3年に1回	半年に1回
30年以上	1年に1回	1年に1回	月に1回	1年に1回	1年に1回	3年に1回	3年に1回	半年に1回

## 4. 事故原因のさらなる検証【追加検証】

### (4) 管きよの劣化要因の検証④（維持管理）

- 堺市は、60年以上の実績に基づいた維持管理を実施しており、伏せ越し等の腐食環境にある管きよは、定期的な清掃や点検を実施。
- また、老朽化対策として、H26年度から布設後約40年を経過する管路を対象に、10年間で約700kmを調査する、計画的調査を実施中。
- 金岡東線は布設後約36年であるが、NO.3～NO.4人孔区間が、大阪府の道路事業にて損傷したため、平成25年度に管内調査を実施。
- 調査結果に劣化が見られなかったこと。また、NO.3人孔から下流は施工年代が同一であることや、下水道台帳では流入する接続管が無いことなどから、堺市としては、今池場内の堺市公共下水道管は劣化が進んでいないものと判断していた。

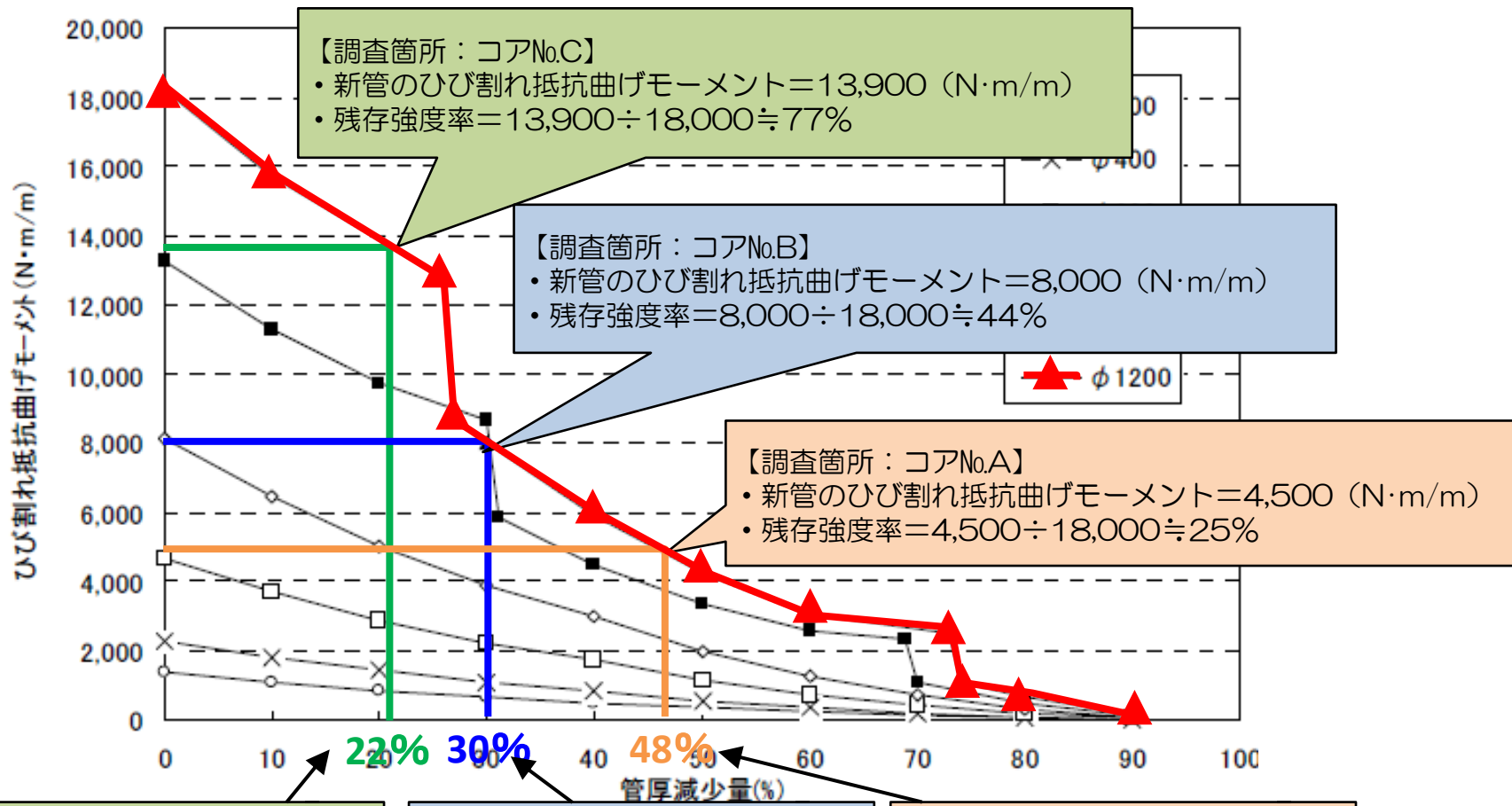


- NO.3人孔から下流について、返流水流入による腐食環境であることを知る大阪府と、堺市が情報共有できておれば、腐食の進行防止等、事前の対策は可能であったと考えられる。

# 4. 事故原因のさらなる検証【検証事項】

## (5) 管きよの残存強度の検証①

- コアA～Cの管厚減少量から、各ひび割れ抵抗曲げモーメントを推定
- 新管のひび割れ曲げモーメントに対し、コア毎のひび割れ曲げモーメントがどれほど低下しているか算出し、これを残存強度率と仮定した。



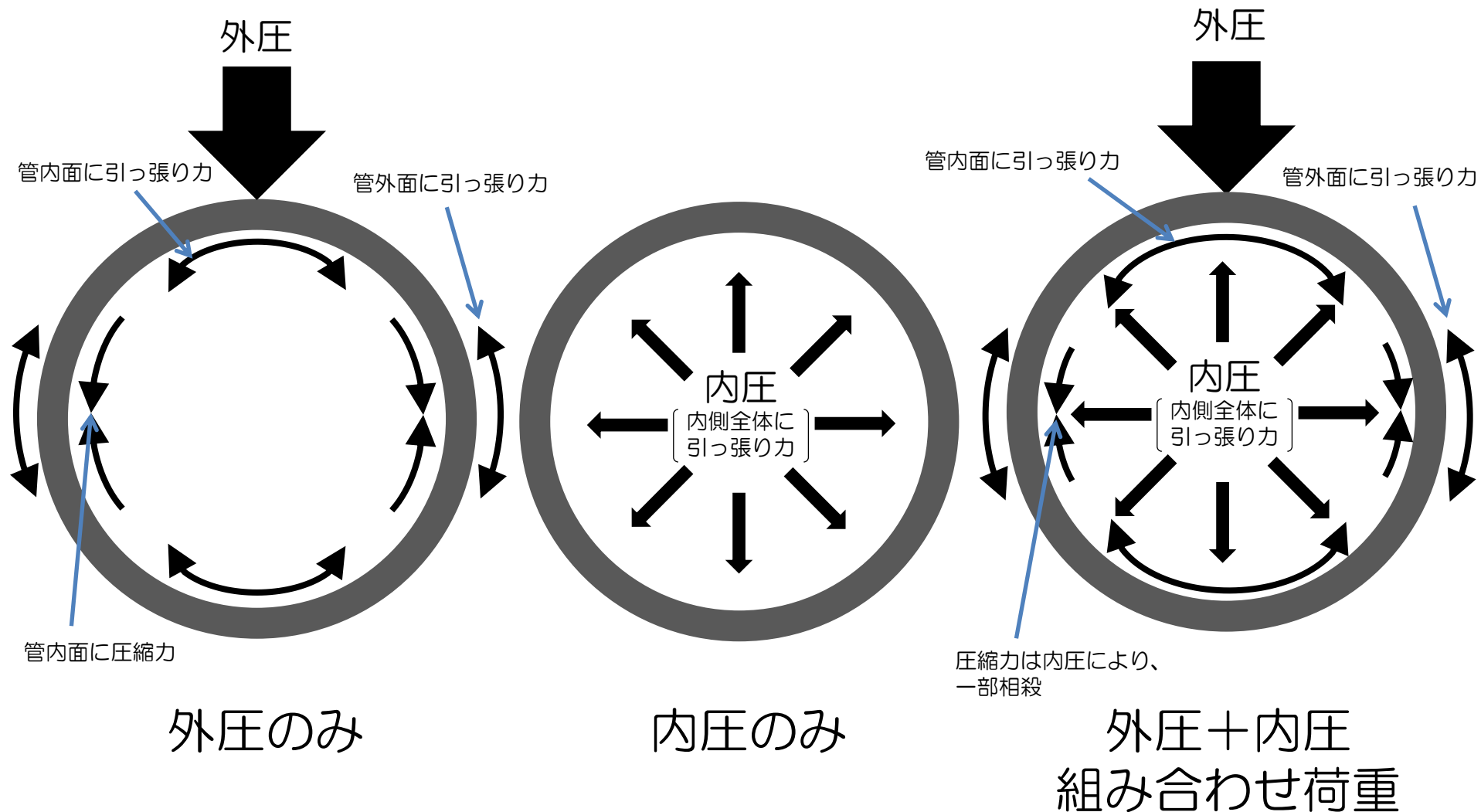
減肉25mm ÷ 元厚115mm ÷ 22%

減肉35mm ÷ 元厚115mm ÷ 30%

減肉55mm ÷ 元厚115mm ÷ 48%

# 4. 事故原因のさらなる検証【追加検証】

## (6) 管きよの残存強度の検証②





# 4. 事故原因のさらなる検証【追加検証】

## (7) 管きよの残存強度の検証③

### 【外圧の算定】

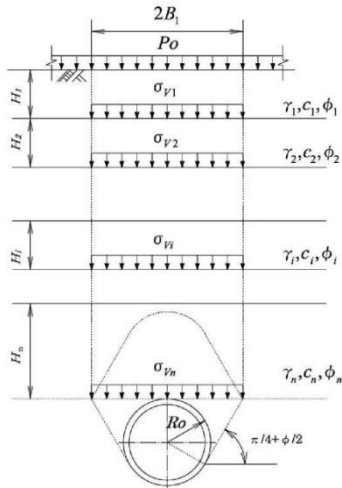
- 外圧は、下記図書を参考に算出した。  
◇ヒューム管設計施工要覧（全国ヒューム管協会 平成21年度版）
- 外圧の算出にあたっては、土の単位体積重量はボーリングデータを活用し、地表面まで水を含んだ状態を仮定して算出を行った。



### 【計算結果】

- 外圧は約26.3 (KN/m<sup>2</sup>) と推定

### 【参考（外圧の計算式）】



$$p = \sigma_{Vn} = \frac{B_1 \left( \gamma_n - \frac{c_n}{B_1} \right)}{K_o \cdot \tan \phi_n} \left( 1 - e^{-K_o \cdot \tan \phi_n \cdot \frac{H_n}{B_1}} \right) + \sigma_{Vn-1} \cdot e^{-K_o \cdot \tan \phi_n \cdot \frac{H_n}{B_1}}$$

$p$  : 管にかかる等分布荷重 (kN/m<sup>2</sup>)       $R_o$  : 掘削半径  $R_o = \frac{Bc + 0.1}{2}$  (m)

$\sigma_V$  : テルツァーギの緩み土圧 (kN/m<sup>2</sup>)       $Bc$  : 管外径 (m)

$K_o$  : 水平土圧と鉛直土圧との比 (通常  $K_o = 1$  としてよい)

$\phi$  : 土の内部摩擦角 (度)

$P_o$  : 上載荷重の影響 (= 10 kN/m<sup>2</sup>)

$\gamma$  : 土の単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)

$c$  : 土の粘着力 (kN/m<sup>2</sup>)

## 4. 事故原因のさらなる検証【追加検証】

### (8) 管きよの残存強度の検証④

#### 【外圧に耐えることができたのかの検証】

- ヒューム管設計施工要覧等では、管耐力 > 外圧 × 1.2 (安全率) となれば下水道管は破損しない
- 外圧 = 26.3 × 1.2 = 31.6 (KN/m<sup>2</sup>)

#### 【管耐力の算出方法】

- 管耐力は、外圧強さや管に生じるモーメントなどを考慮して算出。
- 新管の外圧強さにコア毎の残存強度を乗じて、コア毎の外圧強さを算出し、これを用いて管耐力を算出した。

#### 【参考 (管耐力の計算式)】

$$q_r = \frac{0.318 \cdot P \cdot r + 0.239 \cdot W \cdot r}{K \cdot r^2}$$

ここで

P : 外圧強さ (KN/m)  
W : 管の自重 (KN/m)  
K : 支承係数 (K = 0.275)  
r : 管の中心半径 (m)

#### 【外圧強さ (P)】

新 管 = 44.2KN/m

コアNO.A = 44.2 × 25% = 11.1KN/m

コアNO.B = 44.2 × 44% = 19.5KN/m

コアNO.C = 44.2 × 77% = 34.0KN/m

## 4. 事故原因のさらなる検証【追加検証】

### (9) 管きよの残存強度の検証⑤

#### 【計算結果】

調査箇所	元の厚み (mm)	減肉量 (mm)	残存厚 (mm)	①管耐力 (KN/m <sup>2</sup> )	②外圧 (KN/m <sup>2</sup> )	判定 ①>②：耐力有 ①<②：耐力無
コアNO.A	115	55	60	34.6	31.6	耐力有
コアNO.B	115	35	80	49.4	31.6	耐力有
コアNO.C	115	25	90	74.9	31.6	耐力有

(参考：新管の管耐力=92.8KN/m<sup>2</sup>)

#### 【結果】

- 腐食により管耐力は低下していたが、外圧で破損するまでには至っていなかった。

## 4. 事故原因のさらなる検証【追加検証】

### (10) 管きよの残存強度の検証⑥

#### 【内圧と外圧に対する管耐力の算定】

- 管耐力は、下水道管に内圧と外圧が同時に発生した時の複合的な応力を考慮して算出
- ◇下水道推進工法の指針と解説 2010年度版（日本下水道協会）
- 新管のひび割れ発生荷重及び破壊荷重に対し、残存強度率を乗じて、それぞれのコア毎の荷重を算出

#### 【参考（内圧と外圧が同時に生じた場合の計算式）】

$$P_H = \frac{P_c}{1.5} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{H_P \times 1.5}{H_c} \right) \right]^{(1/1.5)}$$

$P_H$ : 内圧 $H_P$ のときひび割れを発生させる外圧	( $\text{kN}/\text{m}^2$ )
$P_c$ : 内圧0のときひび割れを発生させる外圧	( $\text{kN}/\text{m}^2$ )
$H_P$ : 外圧 $P_H$ のときひび割れを発生させる内圧	(MPa)
$H_c$ : 外圧0のときひび割れを発生させる内圧	(MPa)

#### 【外圧0の時のひび割れ発生荷重】

新 管=44.2KN/m  
コアNO.A=44.2×25%=11.1KN/m  
コアNO.B=44.2×44%=19.5KN/m  
コアNO.C=44.2×77%=34.0KN/m

#### 【外圧0の時の破壊発生荷重】

新 管=86.3KN/m  
コアNO.A=86.3×25%=21.6KN/m  
コアNO.B=86.3×44%=40.0KN/m  
コアNO.C=86.3×77%=66.5KN/m

#### 【外圧0の時のひび割れ発生内圧】

新 管=0.2Mpa (20mの水圧)  
コアNO.A=0.2×25%=0.05KN/m  
コアNO.B=0.2×44%=0.09KN/m  
コアNO.C=0.2×77%=0.15KN/m

## 4. 事故原因のさらなる検証【追加検証】

### (1 1) 管きよの残存強度の検証⑦

#### 【内圧と外圧の算定】

- 内圧は、下水道管内の水位が最大になったと考えられる、着水井最大水位と管底の差（7.7m=0.077メガパスカル）から設定
- 内圧と外圧の計算は、外圧を線荷重に変換する必要があるため、外圧 26.3 (KN/m<sup>2</sup>) を線荷重に変換



#### 【計算結果】

- 外圧（線荷重）は、約15.0 (KN/m) と推定

#### 【参考（外圧の線荷重への変換式）】

$$M = k \cdot q \cdot r^2 \quad (\text{kN} \cdot \text{m} / \text{m})$$

$$P = \frac{M}{0.318 \cdot r} \quad (\text{kN} / \text{m})$$

M	: 埋設管に生じる曲げモーメント	(kN・m/m)
P	: 線荷重換算値	(kN/m)
q	: 等分布荷重	(kN/m <sup>2</sup> )
k	: 支承係数	= 0.275
r	: 管中心半径	(m)

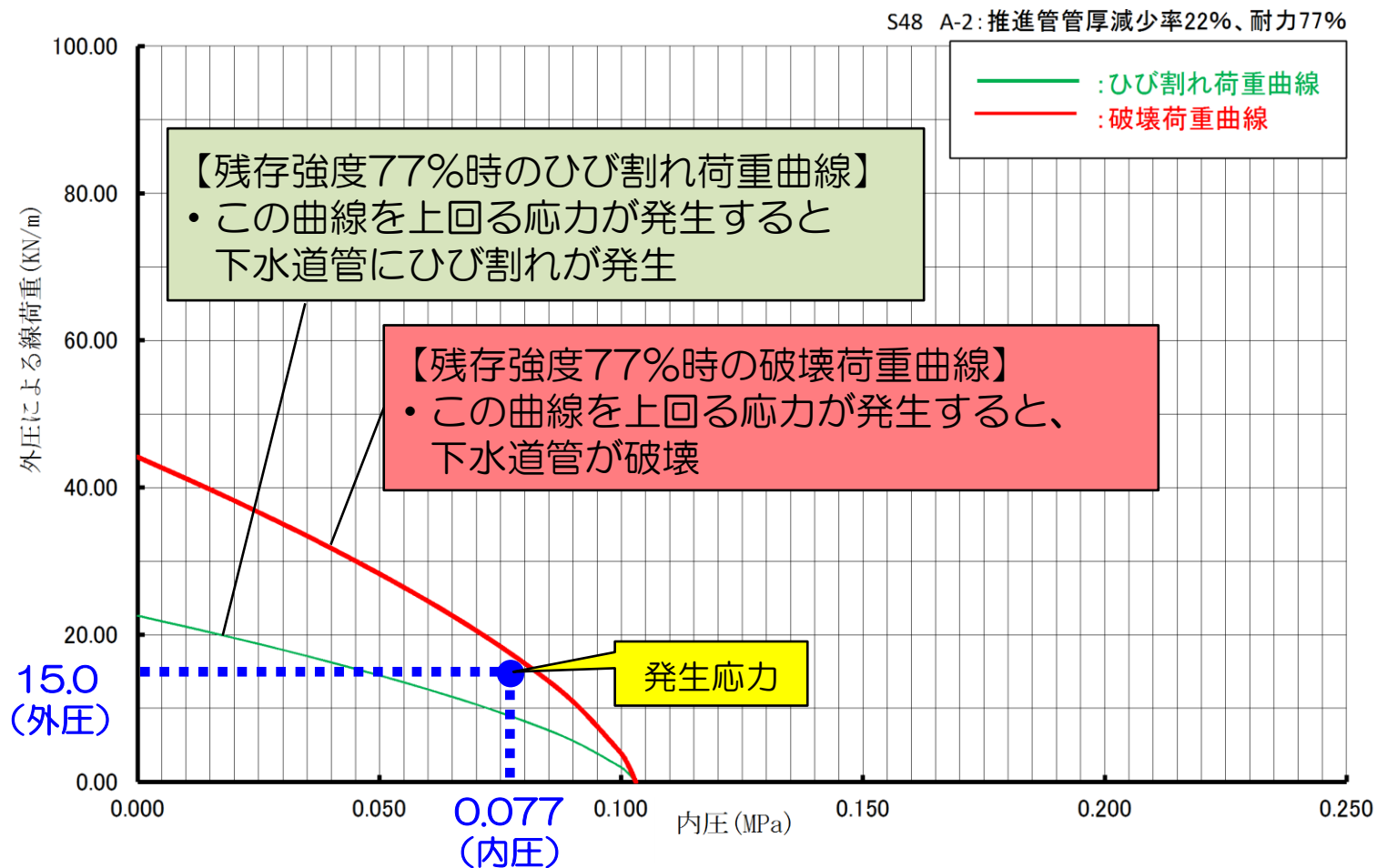


# 4. 事故原因のさらなる検証【追加検証】

## (12) 管きよの残存強度の検証⑧

### 【計算結果】

- 下図より、コアNO.C周辺は、内圧と外圧により「ひび割れ」が発生したと考えられる。

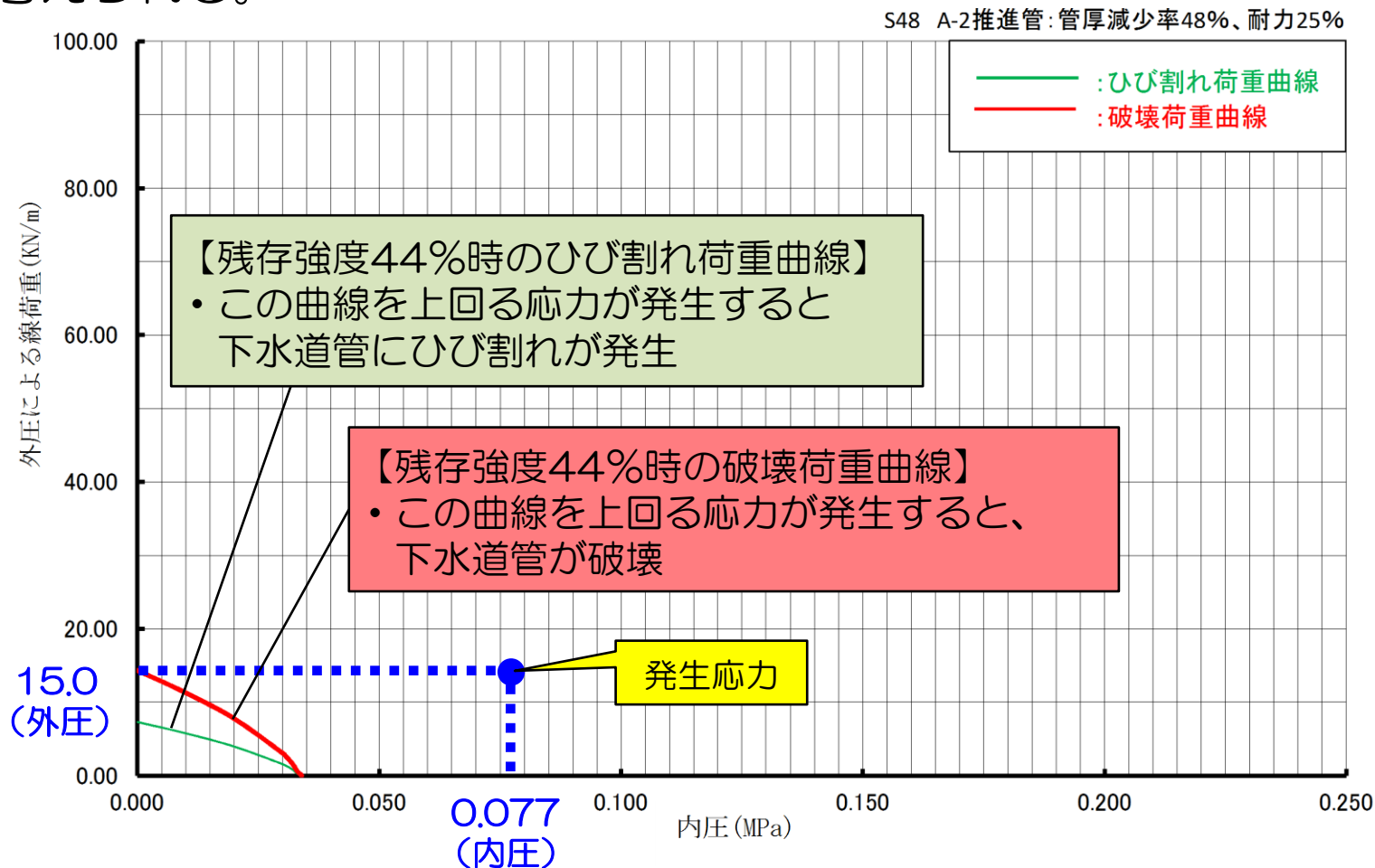


# 4. 事故原因のさらなる検証【追加検証】

## (13) 管きよの残存強度の検証⑨

### 【計算結果】

- 下図より、コアNO.B周辺は、内圧と外圧により「破壊」が発生したと考えられる。

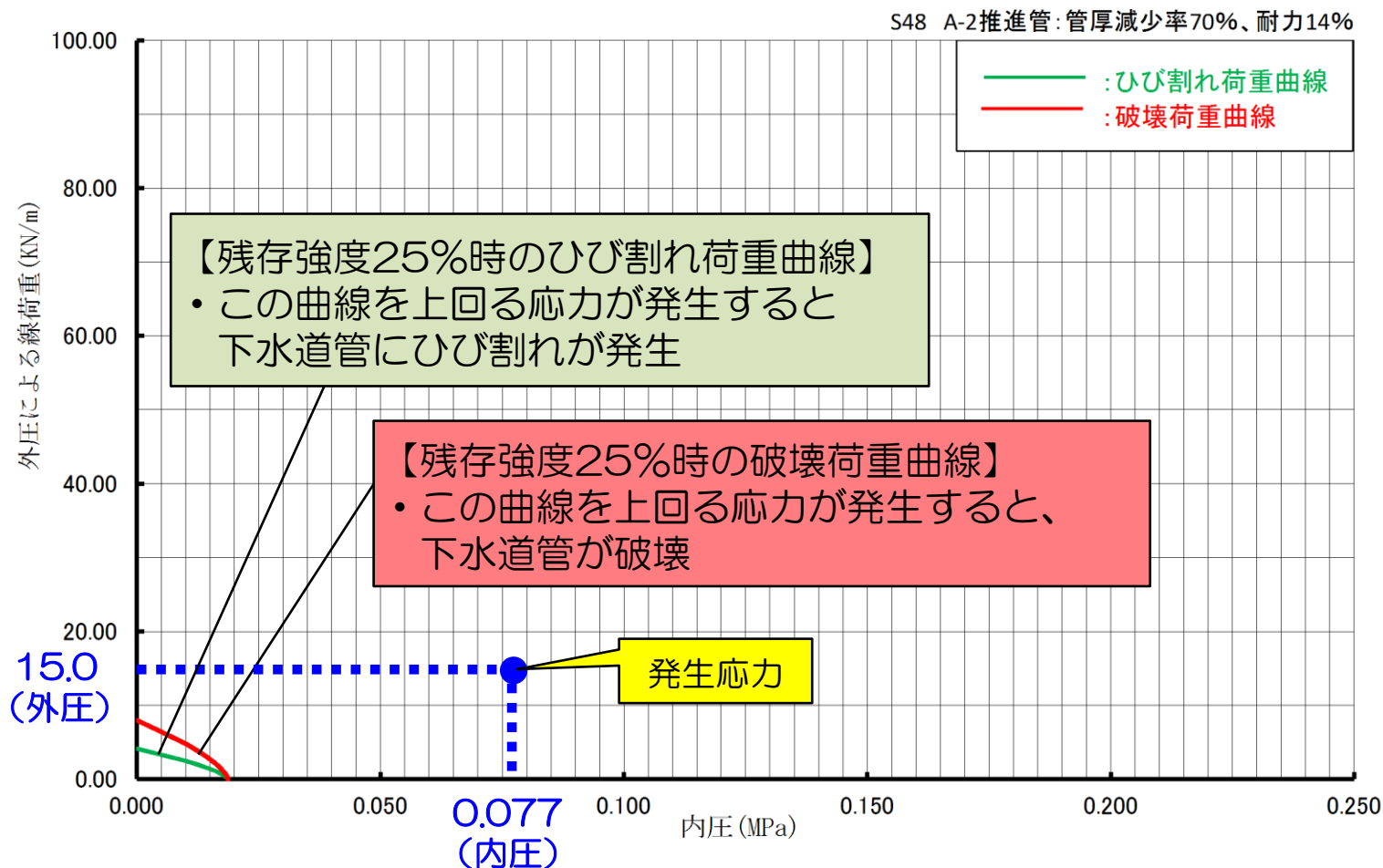


# 4. 事故原因のさらなる検証【追加検証】

## (14) 管きよの残存強度の検証⑩

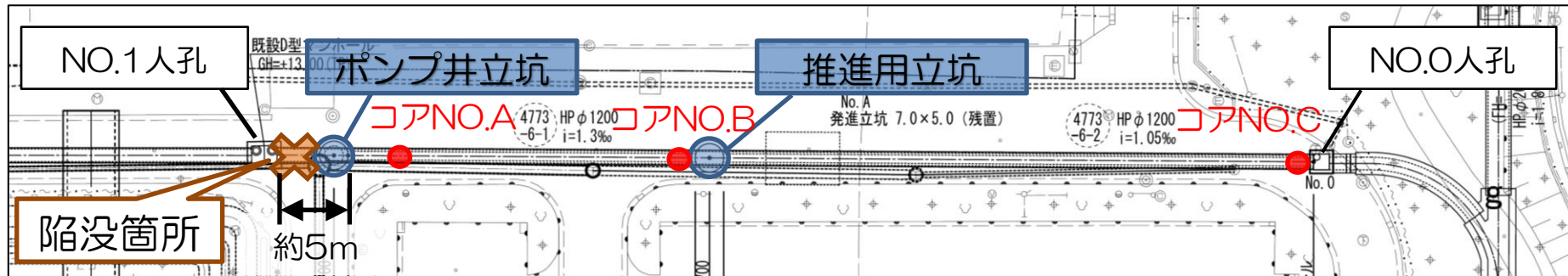
### 【計算結果】

- 下図より、コアNO.A周辺は、内圧と外圧により「破壊」が発生したと考えられる。



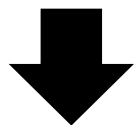
# 5. 追加調査・検証事項まとめ

## (1) 追加調査・検証事項まとめ① (管きよの劣化原因)



### 【原因】

- NO.0人孔からNO.1人孔へ近づくほど、管厚が減少。
- 流入下水と比較し、汚泥返流水の硫化物ポテンシャル及びBODが高く、返流水水槽やNo.1人孔の腐食が著しい。

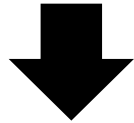


- 汚泥返流水による腐食によって管きよが劣化。

## 5. 追加調査・検証事項まとめ

### (2) 追加調査・検証事項まとめ②（管の残存強度と破壊現象の推定）

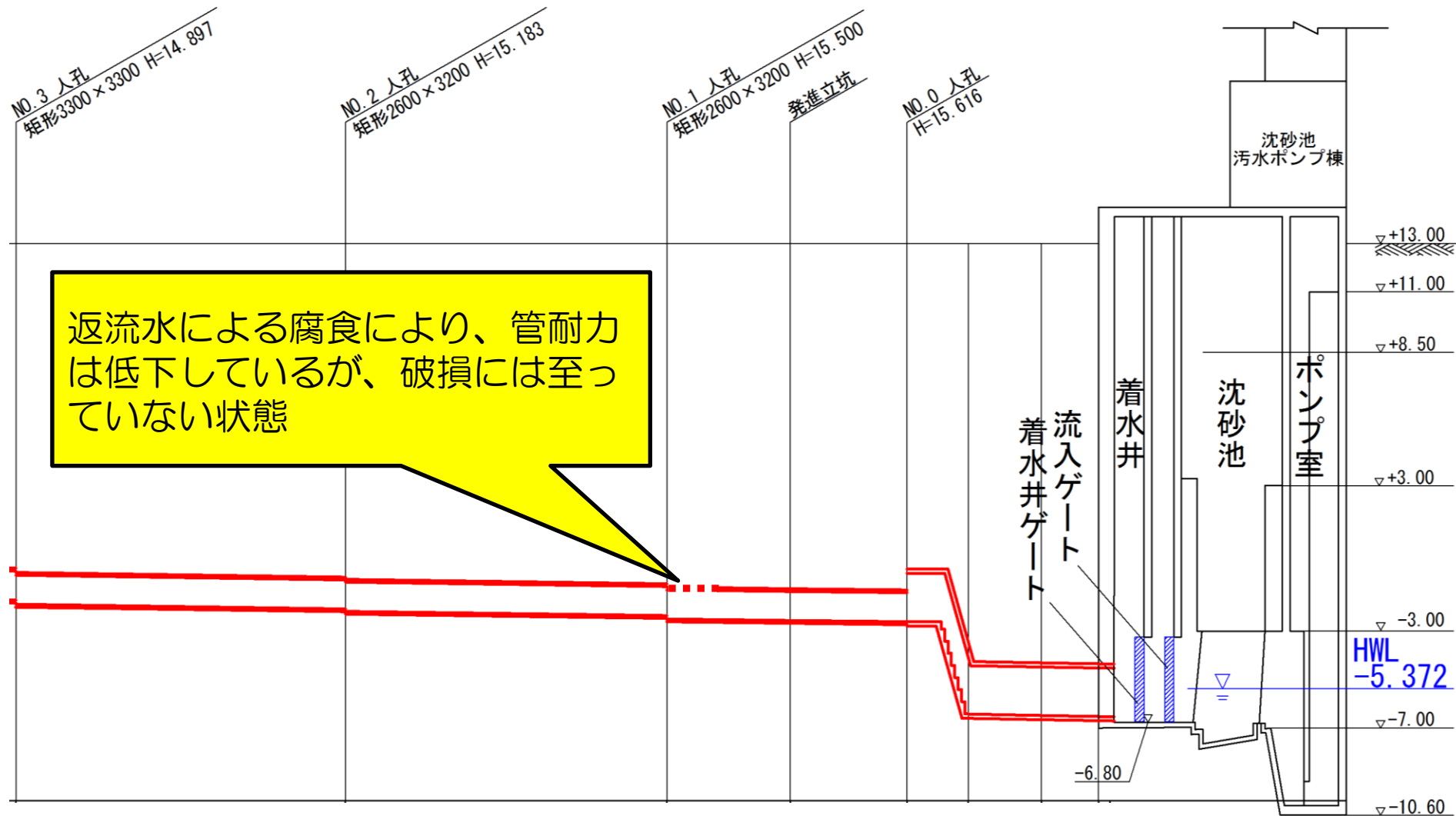
- 残存管厚より管の残存強度を算出  
⇒外圧に対しては、限界に近い状態ながら、破損しない状態であった。  
⇒内圧も発生した場合、NO.0～NO.1 人孔区間は「ひび割れ」が発生し、NO.1 人孔～推進用立坑区間は「破壊」が発生。
- ポンプ井立坑部の下水道管の管頂部が発見できなかったことから、NO.1 人孔～ポンプ井立坑の約5mの区間は、破壊後、管きよ内に引き込まれたと推定。



- 台風21号に伴う大雨による、内圧の発生を契機として破壊が発生。また、陥没は腐食が著しい箇所を中心に発生したものと考えられる。

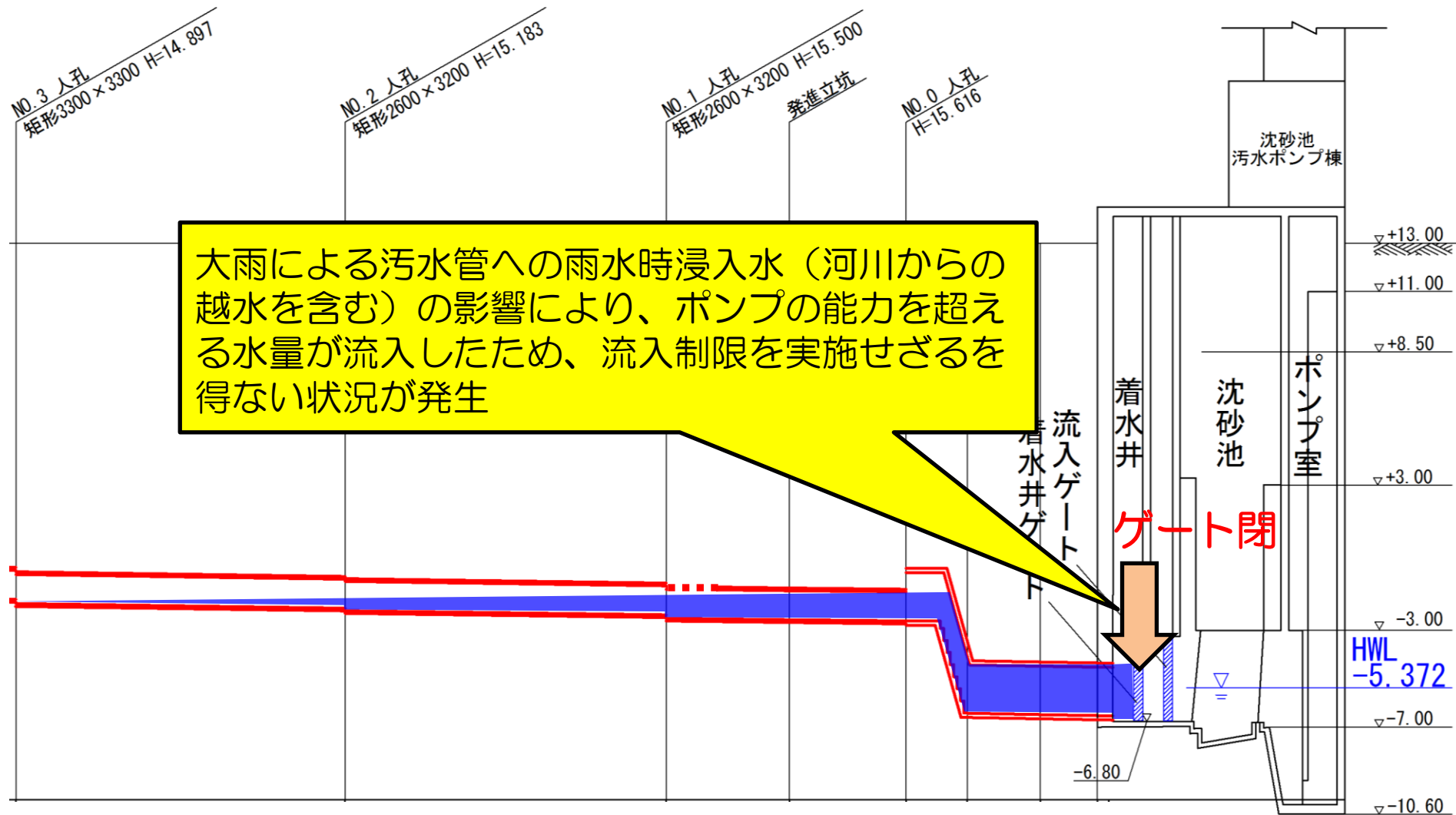
# 6. 事故発生のメカニズム【推定】

## (1) 事故発生前



# 6. 事故発生メカニズム【推定】

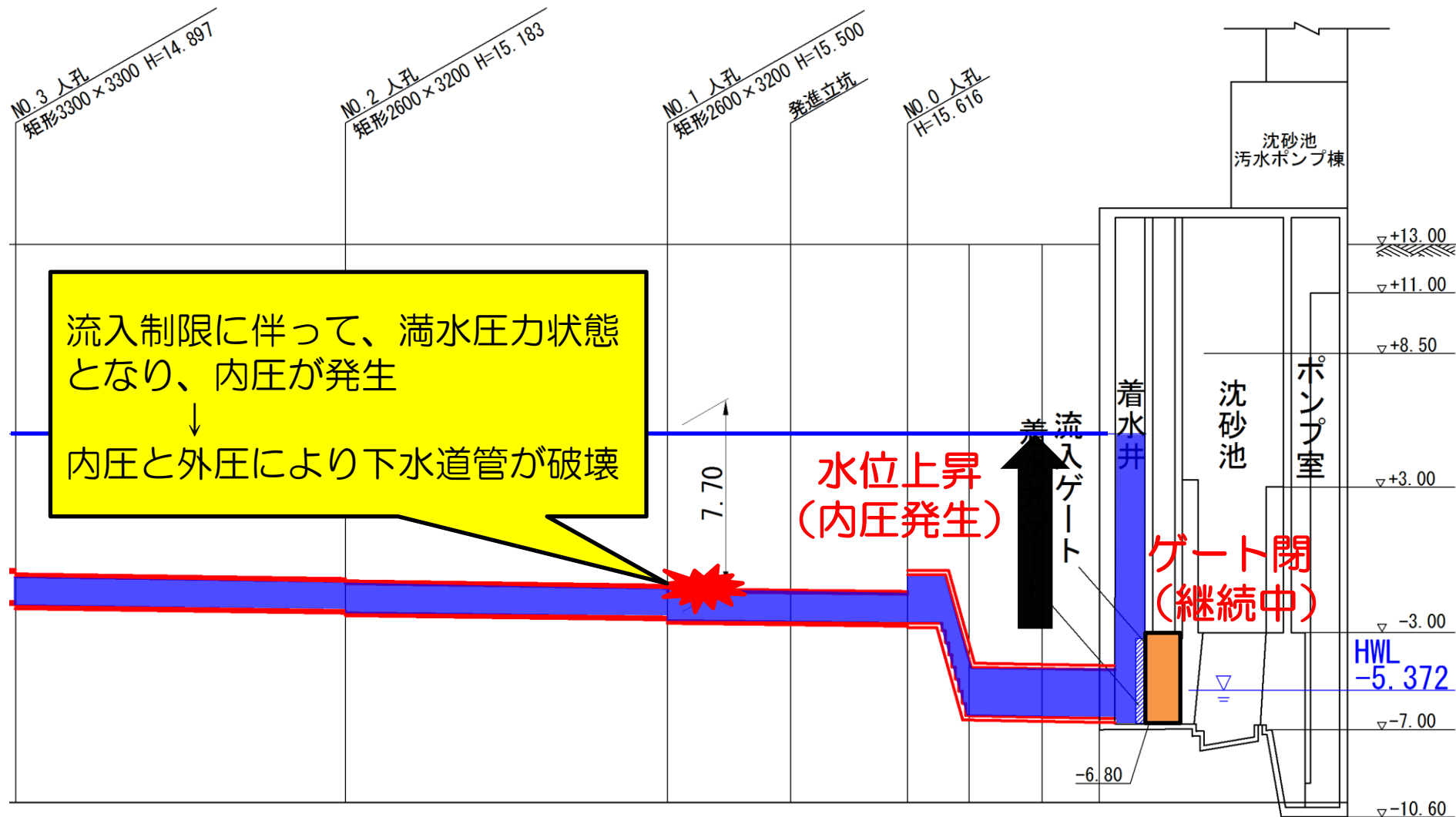
## (2) 台風21号襲来時①【流入制限前】





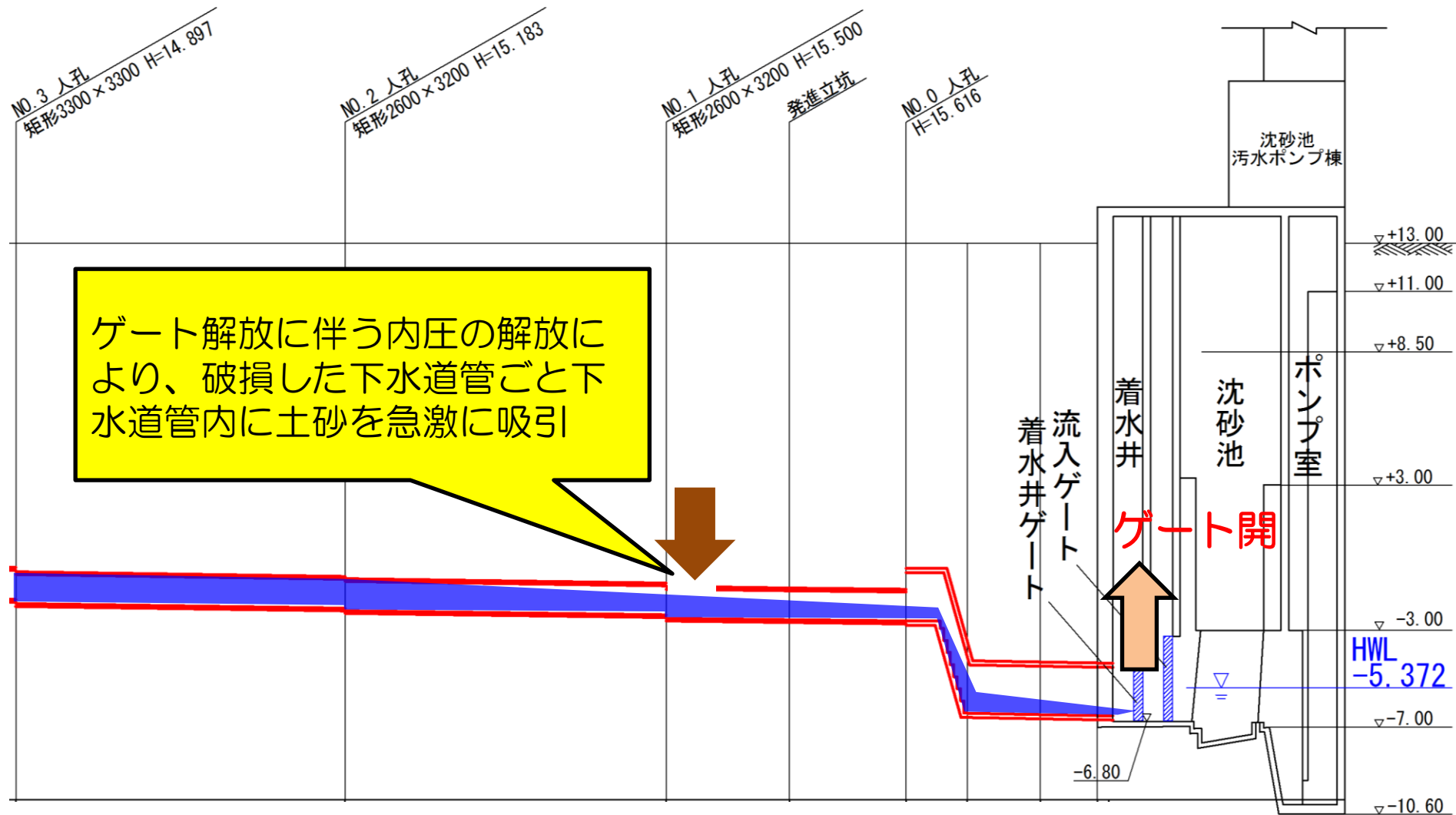
# 6. 事故発生メカニズム【推定】

## (3) 台風21号襲来時②【流入制限後】



# 6. 事故発生メカニズム【推定】

## (4) 陥没事故発生時【流入制限解除】



## 7. 事故原因について

### ○返流水の流入による下水道管の腐食

- 今池水みらいセンターで発生する汚泥処理返流水を、長期にわたり堺市公共下水道管（金岡東線）に接続していたことによる腐食が、今回の事故の主な原因であると考えられる。

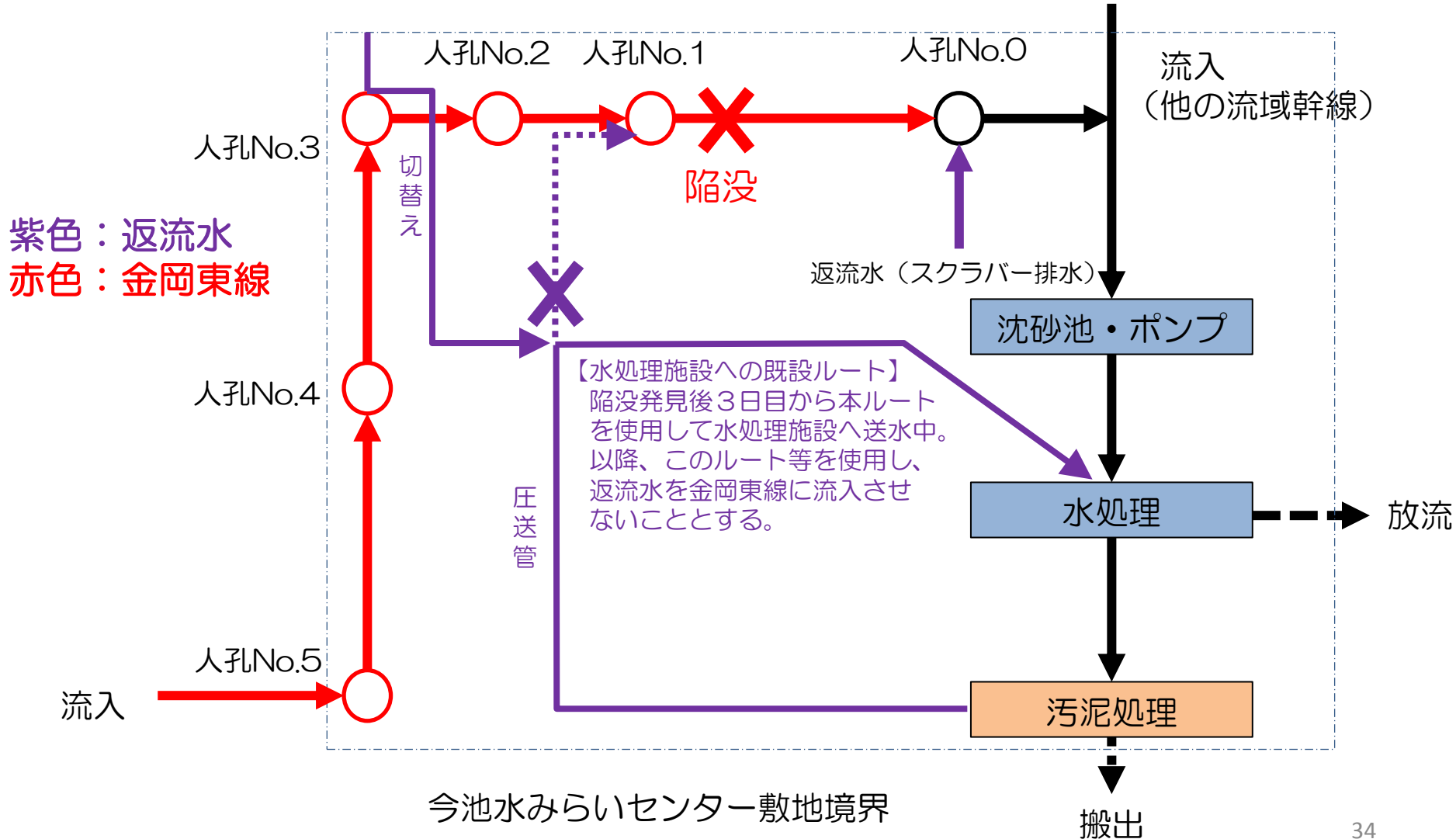
### ○台風21号に伴う大雨と初の流入制限による内圧の発生

- 台風21号に伴う一日当たり降雨量206.5mmという、既往最大の大雨により、多量の雨天時浸入水が流入し、今池水みらいセンター初の流入制限を実施する事態となり、下水道管に内圧が発生したことが、今回の事故の契機になったと考えられる。

# 8. 再発防止策について (1)

## (1) 返流水の下水道管への流入防止

- ・ 返流水ルートの変更により、金岡東線の腐食進行を防止【対策済】



## 8 . 再発防止策について（2）

### （2）本復旧工事の実施【NO.1～NO.2区間の追加】

- 新たにNO.1～NO.2区間に腐食が見られたことから、本復旧工事に同区間を追加し、陥没区間とともに最短での対策を実施

### （3）雨天時浸入水の削減

- 雨天時浸入水の主な発生源となるエリア等の調査を実施し、原因を調べ、原因に応じた対策を検討する。
- 宅内配管の誤接続は、市民の方に切替えて頂く必要があることから、啓発を行うとともに、排水設備の検査や建替時の指導等を徹底する等、総合的な対策を進めていく。

### （4）大阪府・堺市との連携体制の強化

- 点検調査・改築等の取組について、情報共有を定期的実施
- 大阪府の処理場内に、堺市公共下水道管が布設される特殊な状況を踏まえ、管理体制等について大阪府・堺市で協議を実施。

## 9. 今後について

### (1) 報告書の作成・情報発信

- 事故発生から本復旧に至る間の本市及び関係者の対応、並びに、当検証委員会での議論の内容を取りまとめ、事故に関する一連の報告書を5月末までに作成する。
- 報告書は下水道事業の知見として公表し、広く情報発信していく。