

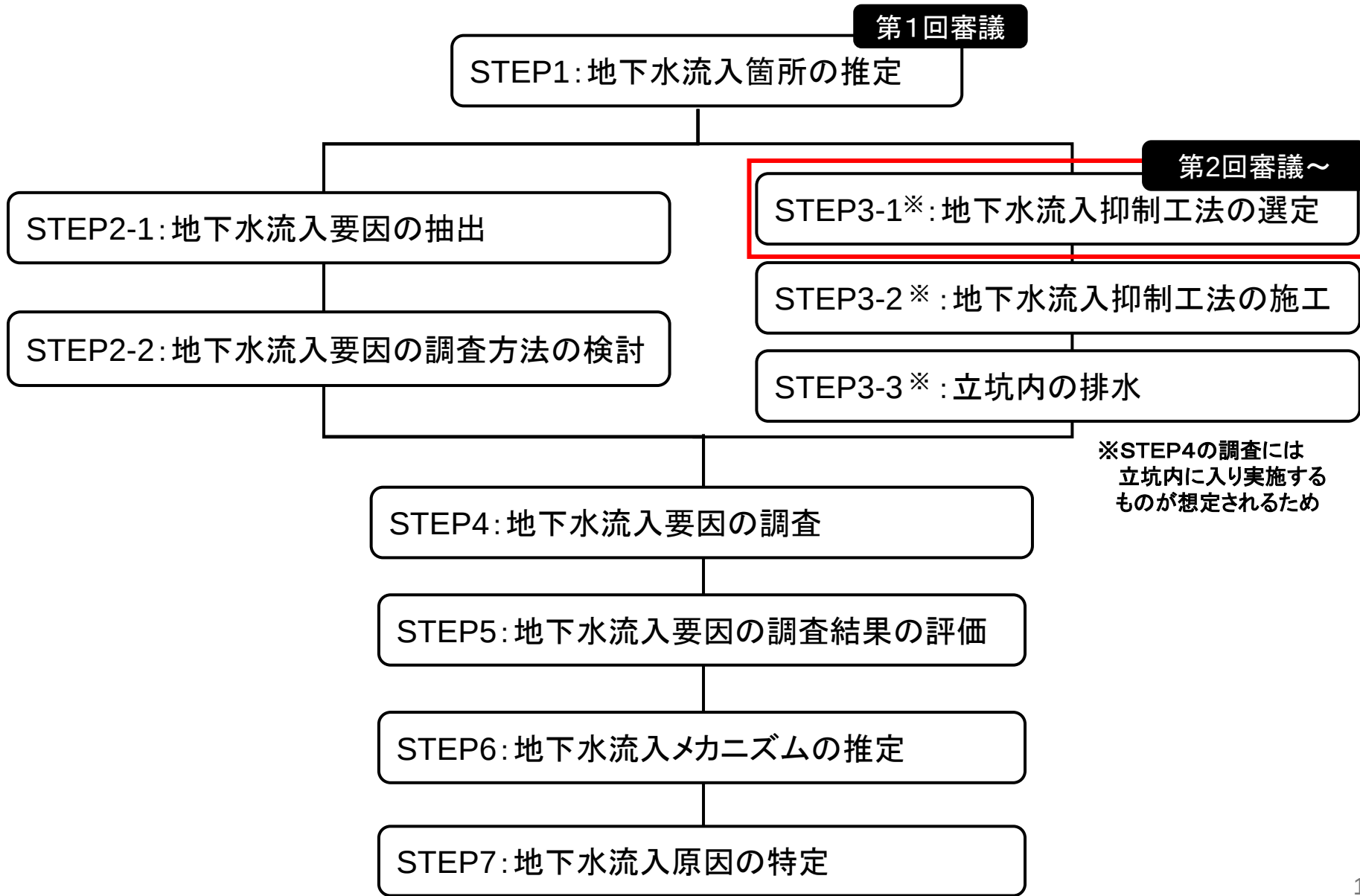
# 令和8年度 第3回 大阪府河川構造物等審議会

## 【資料3】地下水流入抑制工法の選定

# 地下水流入抑制工法の選定

地下水流入原因の特定までの流れ

第2回審議会資料4 加筆



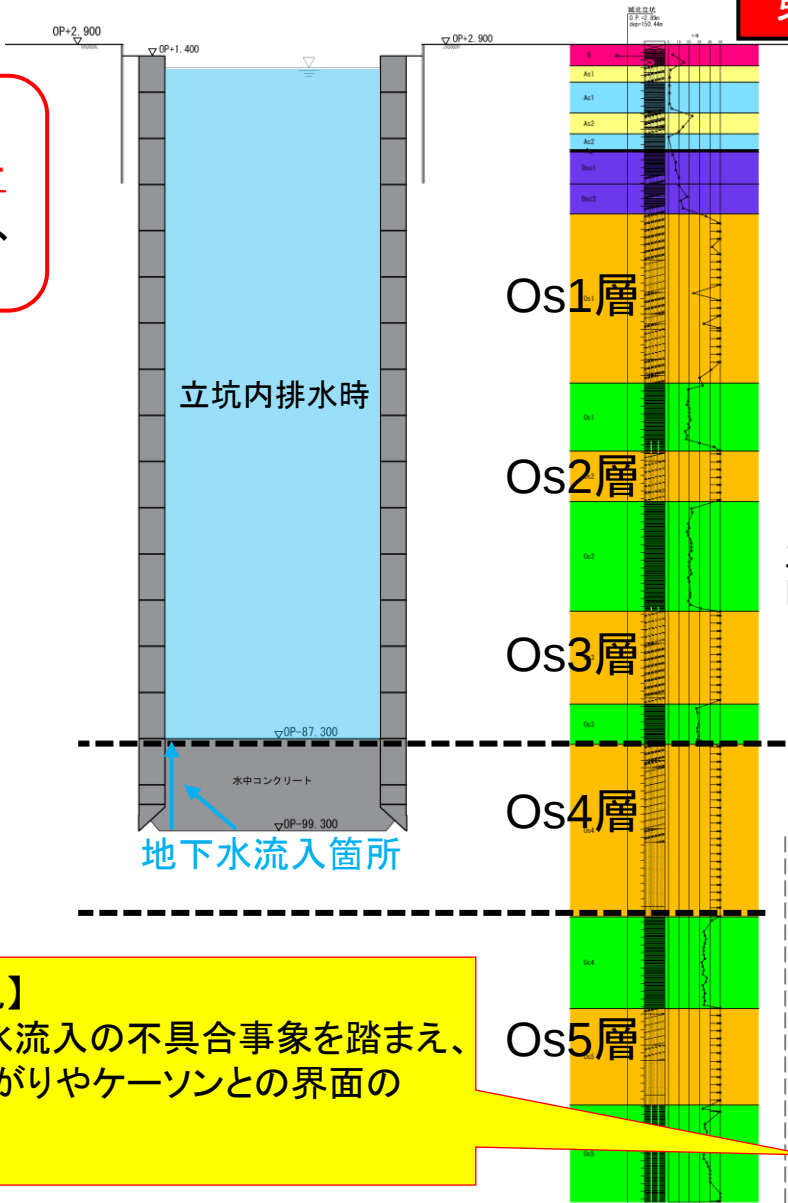
# 地下水流入抑制工法の選定

## 選定の方針

工法の選定にあたっては、  
Os4層から流入する地下水を抑制・遮断する方法を抽出後、各工法を比較する。

地層凡例

|       |            |
|-------|------------|
| B     | 盛土         |
| As    | 沖積層(砂質土層)  |
| Ac    | 沖積層(粘性土層)  |
| Ag    | 沖積層(礫質土層)  |
| Dsc   | 洪積層(粘質土層)  |
| Os    | 大阪層群(砂質土層) |
| Oc    | 大阪層群(粘性土層) |
| ~~~~~ | 地層境界線      |



## 第2回審議会資料4 加筆

【第2回審議会における主な意見】  
・水中コンクリートにおける地下水流入の不具合事象を踏まえ、本体底版コンクリートの浮き上がりやケーソンとの界面の止水性を確認する必要がある

＜補足説明＞  
水中コンクリートにより、立坑内をドライにした後は上部に本体底版コンクリート(厚さ6m、ケーソンとは機械継手で一体化)で下部からの地下水揚圧力および地盤反力に抵抗する構造となる。  
流入抑制工法の選定にあたっては、本体底版コンクリートを施工完了するまでの仮設として検討する。

図4-1 地下水流入箇所と対象土層

# 地下水流入抑制工法の選定

対策工法の1次選定

第2回審議会資料4 再掲

実現性及び効果の確実性を考慮し、ケース4「立坑外部からの止水壁」を1次選定した。

|                  | 実現性                   | 効果の確実性                                  | 城北立坑での採用 |
|------------------|-----------------------|-----------------------------------------|----------|
| ケース1立坑内部からの直接止水  | × 不可<br>水中施工不可        | × 不可<br>水位を下げる周辺影響あり<br>漏水箇所増加に対応不可     | ×        |
| ケース2立坑外部からの直接止水  | × 不可<br>止水剤が漏水箇所に届かない | × 不可<br>漏水箇所増加に対応不可                     | ×        |
| ケース3立坑内部からの止水壁   | × 不可<br>水中コンクリートの耐力低下 | × 不可<br>薬液注入では止水不可<br>凍結工法では後施工に支障      | ×        |
| ケース4立坑外部からの止水壁   | ○ 可                   | ○ 可<br>凍結工法の場合は後工事対策を要検討                | ○        |
| ケース5立坑内部からの地下水制御 | × 不可<br>ヤード不足         | × 不可<br>水位低下に対する試験施工が必要<br>排水ポンプが後施工に支障 | ×        |
| ケース6立坑外部からの地下水制御 | × 不可<br>ヤード不足         | ○ 可<br>水位低下に対する試験施工が必要                  | ×        |

2次選定においては、ケース4で想定される4つの工法の中から対策工法案を検討する。

- ケース4で想定される工法
- ・薬液注入工法
  - ・地中連続壁工法
  - ・地盤凍結工法
  - ・高圧噴射攪拌工法

# 地下水流入抑制工法の選定

## 選定したケース4で想定される対策工法の比較

## 第2回審議会資料4 加筆

各工法が単独での施工が可能か整理した結果、以下の3案を1次選定結果として選定した。

A案:薬液注入工法(+ディープ・リチャージウェル)、 B案:地盤凍結工法

C案:地中連続壁工法、D案:高圧噴射攪拌工法

【第2回審議会における主な意見】

- ・高圧噴射攪拌工法の適用可否の整理が必要
- ・薬液注入工法や凍結工法の実現性や確実性の整理が必要

| 工法       | 大深度での適用 | 止水壁の透水係数       | 止水壁全周からの地下水浸透量(最大)<br>※水頭差が最大となる状態         | 単独での採用 | 備考          |     |
|----------|---------|----------------|--------------------------------------------|--------|-------------|-----|
| 薬液注入工法   | 可       | $10^{-6}$ m/s  | 約6m <sup>3</sup> /分<br>↳立坑内水位が1日で約15m上昇    | 不可     | ディープウェル併用必要 | A案  |
| 地盤凍結工法   | 可       | $10^{-14}$ m/s | 無し                                         | 可      |             | B案  |
| 地中連続壁工法  | 可       | $10^{-8}$ m/s  | 約0.2m <sup>3</sup> /分<br>↳立坑内水位が1日で約0.4m上昇 | 可      | ポンプ排水が必要    | C案  |
| 高圧噴射攪拌工法 | 可       | $10^{-8}$ m/s  | 約0.2m <sup>3</sup> /分<br>↳立坑内水位が1日で約0.4m上昇 | 可      | ポンプ排水が必要    | 新D案 |

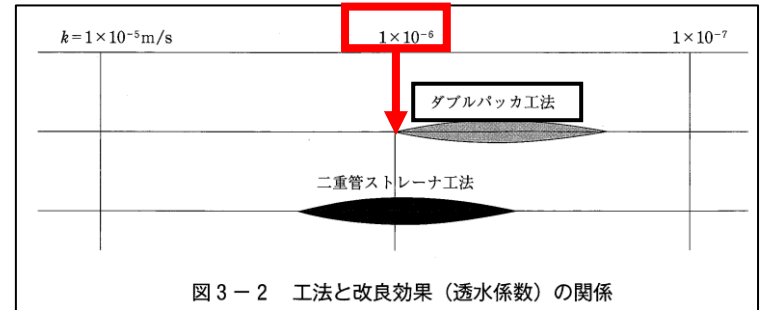


図4-2 ダブルパッカーの改良効果(薬液注入工設計資料より抜粋)

・凍結工法の透水係数は、メーカーヒアリングにより設定

(4)透水係数  $1 \times 10^{-8}$  (m/sec) 程度 (旧表示では  $1 \times 10^{-6}$  (cm/sec) 程度)

図4-3 地中連続壁の改良効果  
(掘削度再利用連続工法設計施工マニュアルより抜粋)

・透水係数は採取コアの室内試験結果によると  $k \approx 1 \times 10^{-8 \sim -9}$  m/sec 程度である。

図4-4 高圧噴射攪拌工法の改良効果  
(ジェットグラウト工法技術資料より抜粋)

# 地下水流入抑制工法の選定

## 対策工法の2次選定

## 第2回審議会資料4 加筆

1次選定の結果を踏まえ、下記の工法について、二次選定を行う。  
A案: 薬液注入工法(+ディープ・リチャージウェル)  
B案: 地盤凍結工法、C案: 地中連続壁工法、D案: 高圧噴射攪拌工法

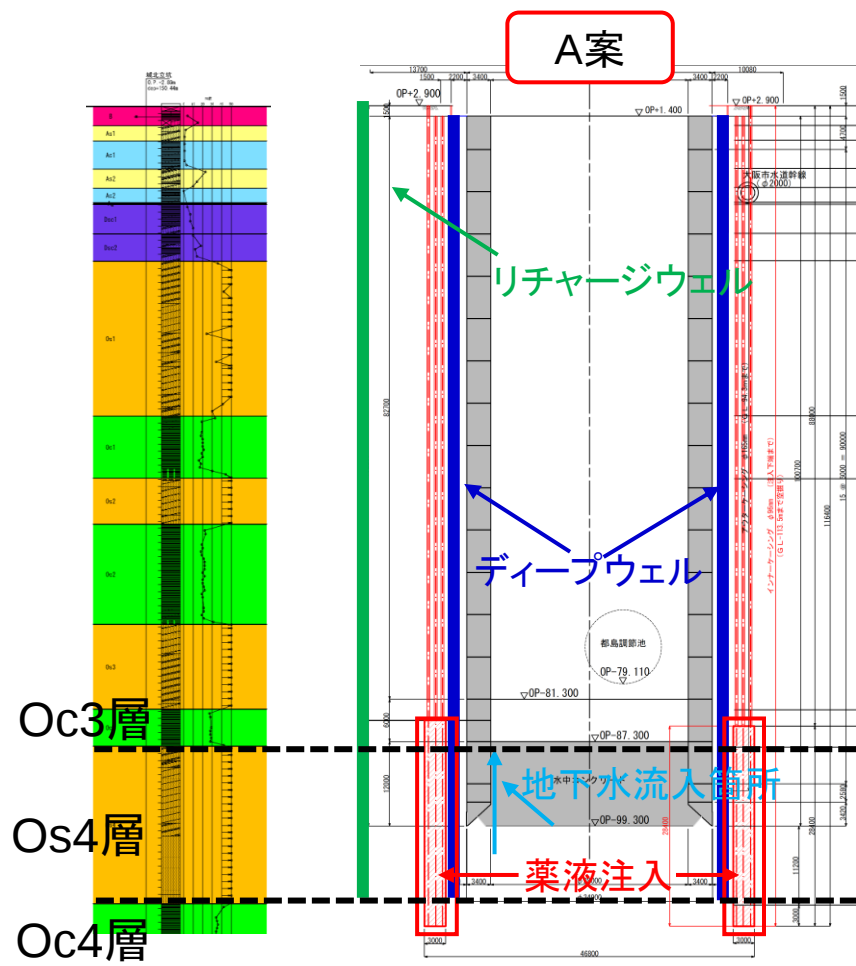


図 薬液注入+DW併用案の断面図

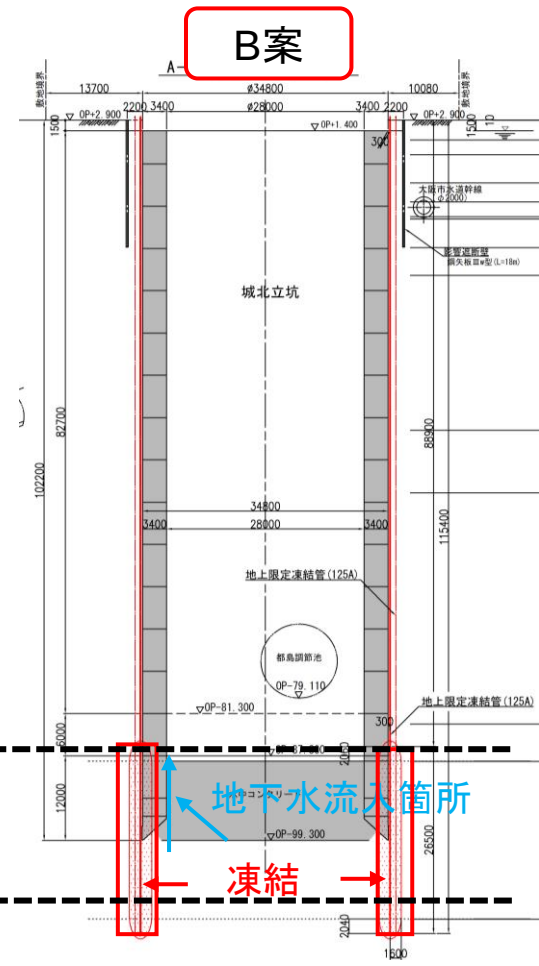


図 地盤凍結工法の断面図

# 地下水流入抑制工法の選定

## 対策工法の2次選定

## 第2回審議会資料4 加筆

1次選定の結果を踏まえ、下記の工法について、二次選定を行う。  
A案: 薬液注入工法(+ディープ・リチャージウェル)  
B案: 地盤凍結工法、C案: 地中連続壁工法、D案: 高圧噴射攪拌工法

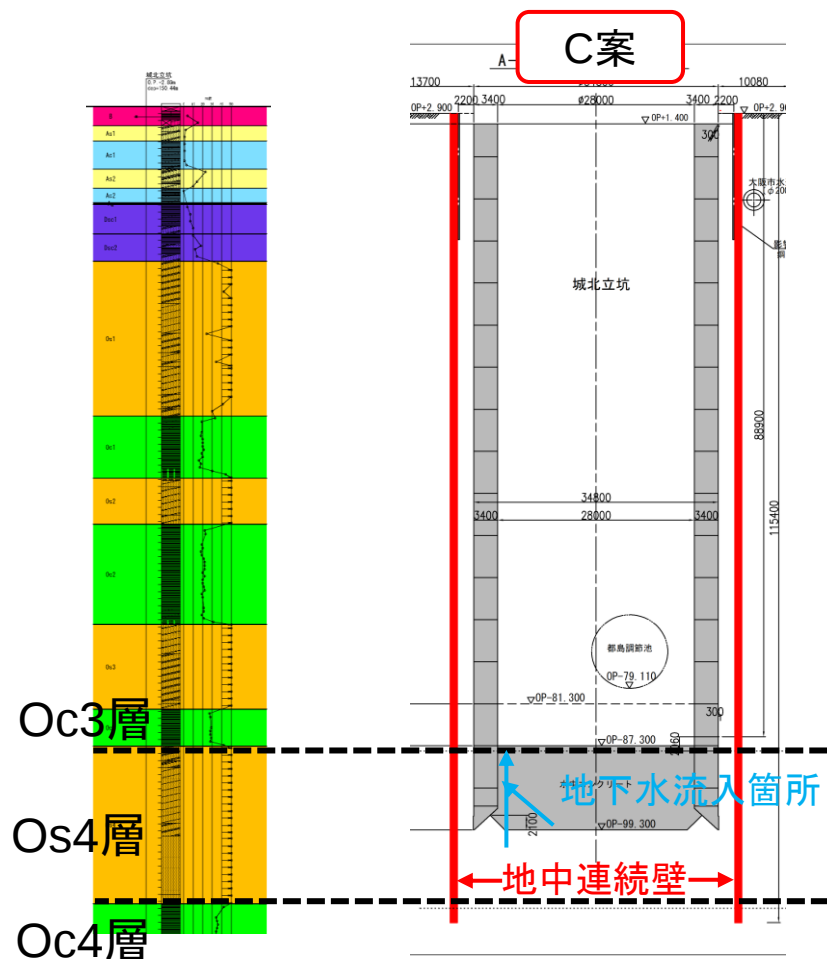


図 地中連続壁+DW併用案の断面図

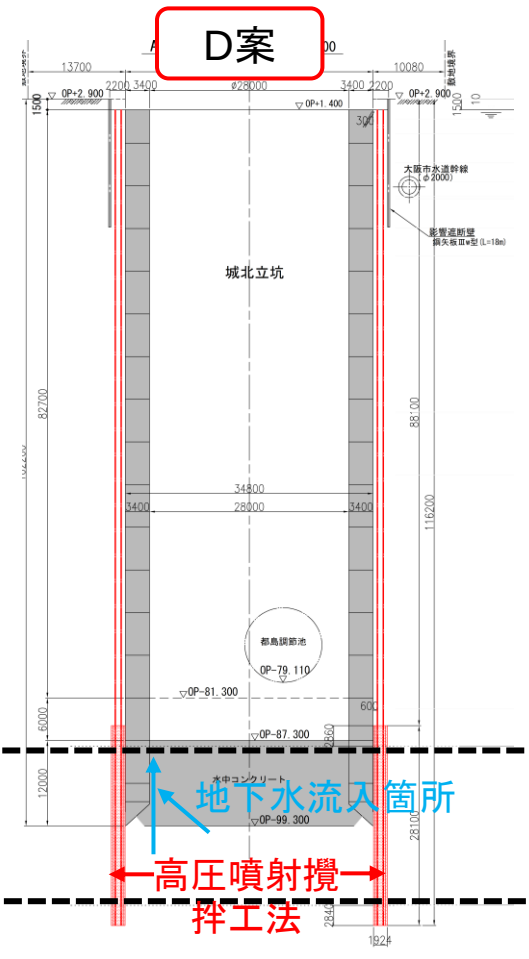


図 高圧噴射攪拌工法の断面図

# 地下水流入抑制工法の選定

## 対策工法の2次選定

第二回審議において、各工法の選定を行った結果、「凍結工法」は、実現性に大きな課題がなく、確実な止水性があり、周辺への影響もなく、リスク対応も可能であるため、“採用(案)”とし、提示を行ったが、他工法も含め再精査の上で、大深度での適用事例や、シールドへの影響、施工管理の方法等について詳細検討を行い、改めて採用案の二次選定を行う。

表 各工法における詳細検討項目

| 工法       | 指標     | 項目                  | 確認する視点                                                           |
|----------|--------|---------------------|------------------------------------------------------------------|
| 共通       | 設計条件   | ①本体底版コンクリート構造       | 本体底版コンクリートが適切に設計され、止水性を確保できているか                                  |
|          | 実現性    | ②大深度地下での事例          | 参考にできる施工事例はあるか                                                   |
| 高圧噴射攪拌工法 | 実現性    | ③適用範囲               | 改良体の想定有効径を試算の上、本工事で適用した場合の施工方法について整理                             |
| 薬液注入工法   | 実現性    | ④改良径とディープウェルのバランス調整 | ディープウェルおよびリチャージウェルが現実的な配置間隔となるように、改良径を調整することにより、工法の組合せパターンを検討する。 |
| 地盤凍結工法   | 効果の確実性 | ⑤自然解凍時の影響           | 凍結させた粘土層が自然解凍した際の地表面及び、シールド施工部への影響                               |
|          | リスク対応  | ⑥シールド工事への影響         | 凍結管が引抜けなくなった際の強制引抜きの計画                                           |

# 地下水流入抑制工法の選定

水中コンクリートと本体底版コンクリートの構造について

設計の考え方は以下のとおり。

表 目的・構造の違い

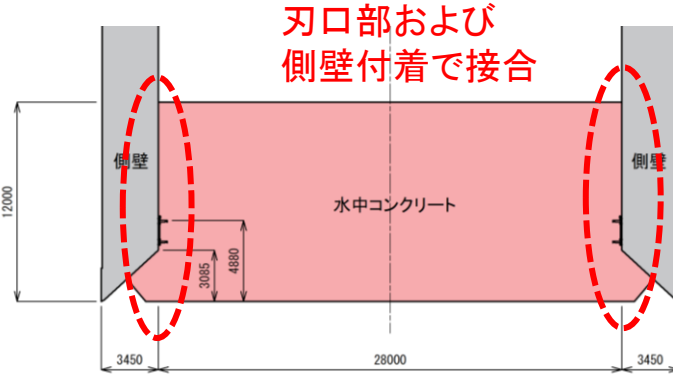
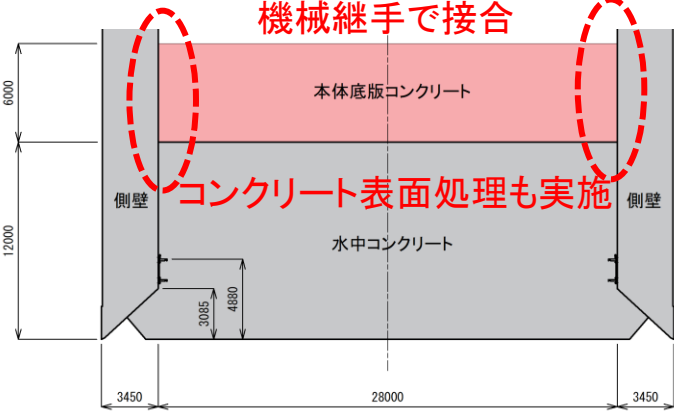
| 項目        | 水中コンクリート                                                                           | 本体底版コンクリート                                                                          |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 目的(役割)    | ケーソン内をドライ化するための <u>仮設構造物</u>                                                       | 立坑完成後の立坑底版となる <u>永久構造物</u>                                                          |
| 断面図       |  |  |
| 施工方法      | 水中施工                                                                               | ドライ施工                                                                               |
| ケーソンとの一体化 | ケーソン壁を支点とした無筋コンクリート                                                                | ケーソン壁の鉄筋と機械継手により一体化                                                                 |



図 ケーソン内の機械式接手施工写真

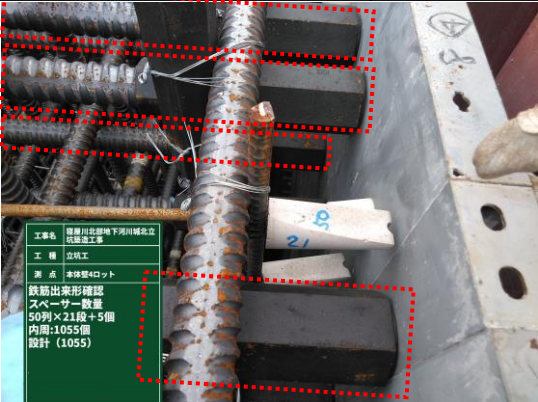
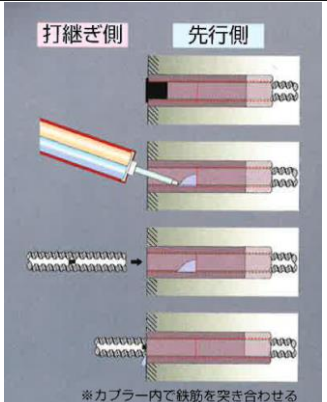


図 左図の拡大



(出典: 東京鉄鋼グループ-ネジテツコンリレージョイント)

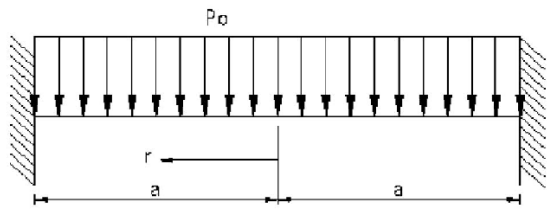
# 地下水流入抑制工法の選定

詳細検討 ①共通「本体底版コンクリートの構造について」

本体底版コンクリートは、各基準に則り設計した。

表 設計項目の違い

| 項目               | 「道路橋示方書・同解説 IV下部工編」<br>(社)日本道路協会)(平成24年3月) | 「シールド工事用立坑の設計」<br>(土木学会)(2015年1月) |
|------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------|
| 鉄筋コンクリート<br>断面算定 | コンクリートの曲げ圧縮応力度の照査                          | 同左                                |
|                  | せん断応力度                                     | 同左                                |
|                  | 鉄筋引張応力度の照査                                 | 同左                                |
| 荷重条件             | —                                          | 地盤反力＋揚圧力                          |
| 構造解析手法           | —                                          | 端部固定の円盤                           |
| 浮力               | —                                          | 安全率 施工時1.0、完成時1.1                 |



(周辺固定支持円版)

図.構造解析イメージ図

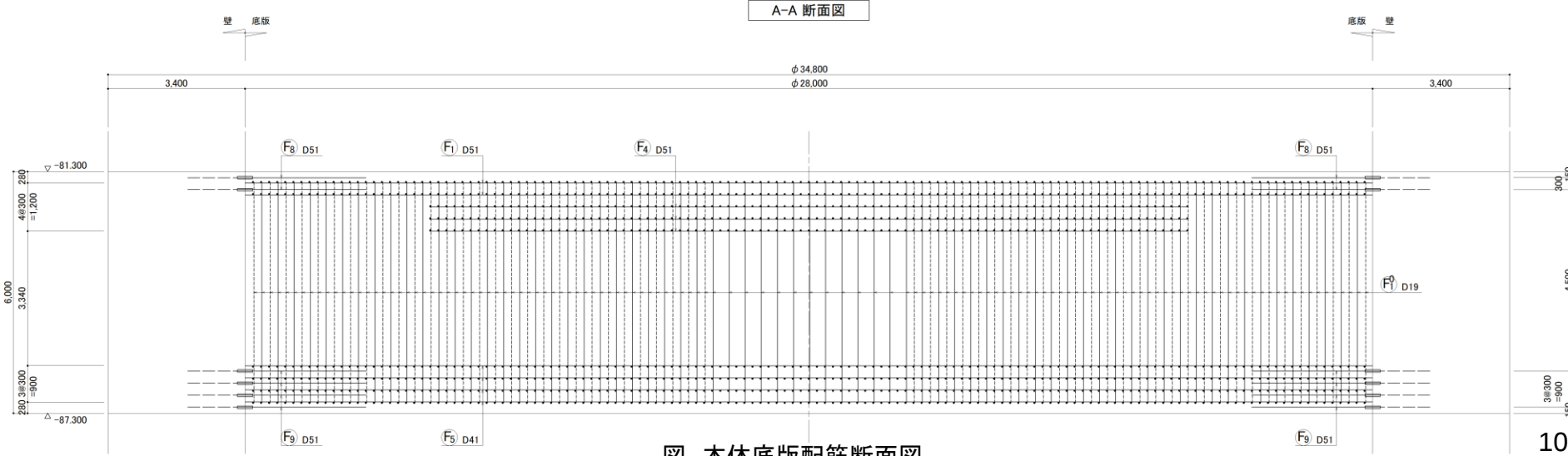
# 地下水流入抑制工法の選定

## 詳細検討 ①共通「本体底版コンクリートの構造について」

構造計算結果から、必要な配筋計画を実施していることを確認(端部、中央部で照査)

表 鉄筋コンクリート断面計算結果

| 照査位置 | 配筋計画                                       | 断面力                     | 照査内容           | 結果                         |
|------|--------------------------------------------|-------------------------|----------------|----------------------------|
| 端部   | 上面<br>D51@200-2段                           | M=15050kN・m<br>S=5775kN | コンクリート圧縮応力度    | $3.1 < 10.0\text{N/mm}^2$  |
|      | 下面(照査箇所)<br>D51@200-4段<br>せん断補強2.5-D19@400 |                         | 鉄筋コンクリートの引張応力度 | $129.3 < 160\text{N/mm}^2$ |
|      |                                            |                         | せん断耐力          | $5775 < 8778.2\text{kN}$   |
| 中央部  | 上面(照査箇所)<br>D51@200×5段                     | M=28300kN・m             | コンクリート圧縮応力度    | $5.0 < 10.0\text{N/mm}^2$  |
|      | 下面<br>D41@200-4段                           |                         | 鉄筋コンクリートの引張応力度 | $145.0 < 160\text{N/mm}^2$ |



# 地下水流入抑制工法の選定

## 詳細検討 ①共通「本体底版コンクリートの構造について」

構造計算結果から、必要な配筋計画を実施していることを確認(端部、中央部で照査)

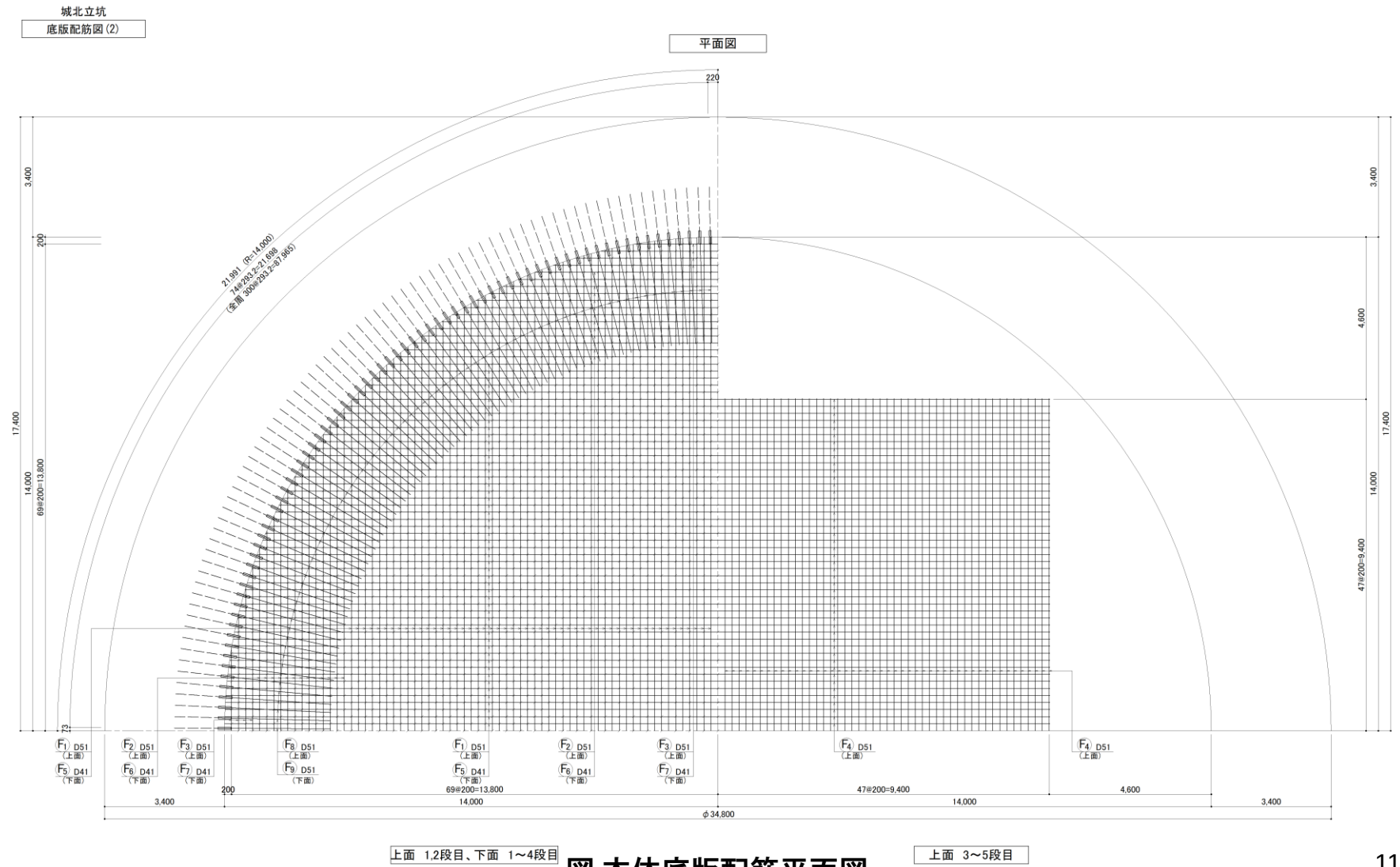


図.本体底版配筋平面図

# 地下水流入抑制工法の選定

## 詳細検討 ①共通「本体底版コンクリートの構造について」

本体底版完成後の各施設整備段階においての浮力の検討を実施しており、安全であることを確認  
(仮に水中コンクリートの自重を考慮しない場合においても安全であることを確認)

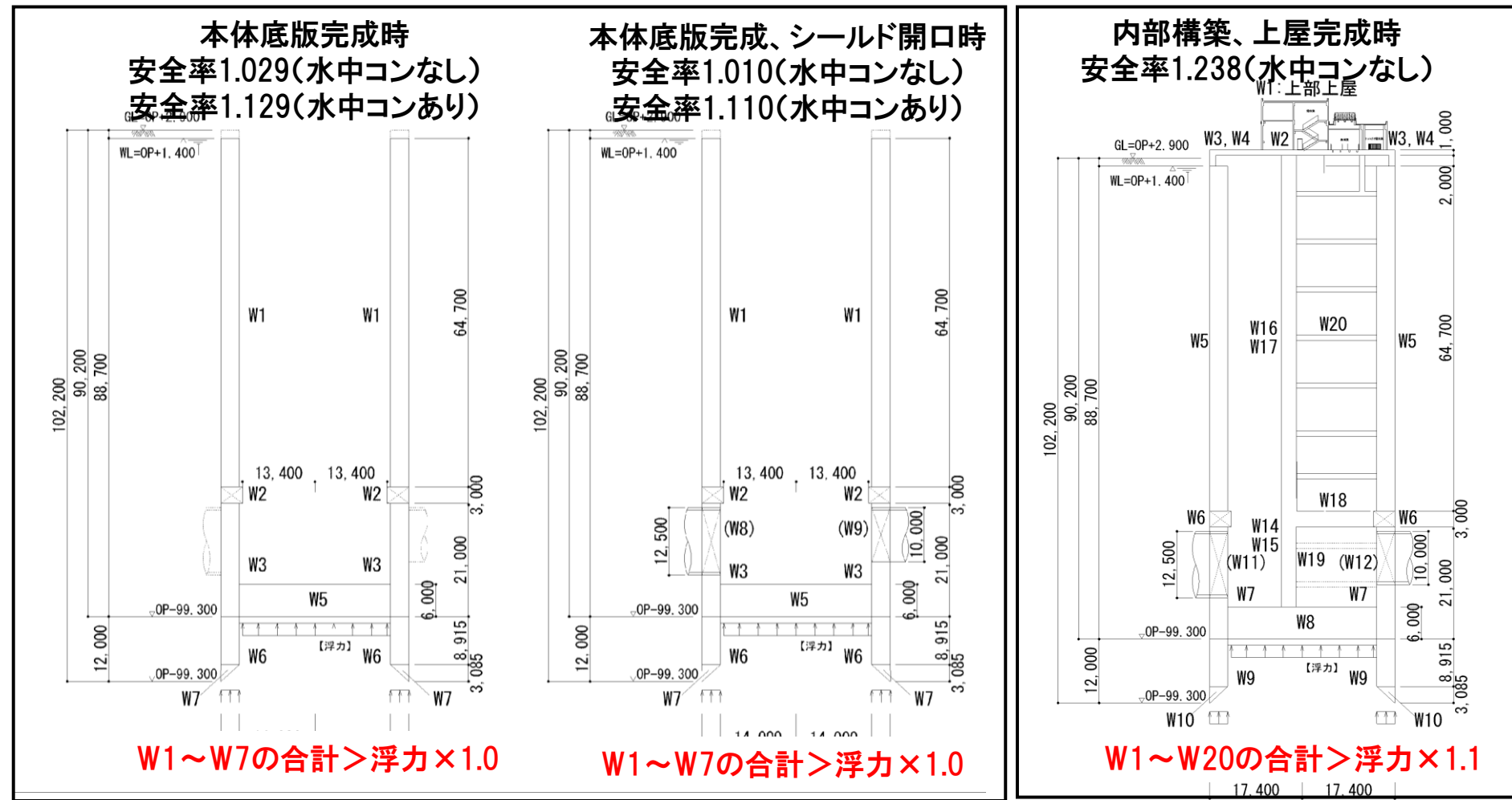


図.施工時の浮力検討図

図.完成時の浮力検討図

# 地下水流入抑制工法の選定

## 詳細検討 ②共通「大深度地下での採用事例」

大深度地下での採用事例を次のとおり整理した。城北立坑のような100m超の大深度での採用は、事例が乏しく、加えて大阪の地盤での採用事例は存在しないため、参考として取り扱うこととした。

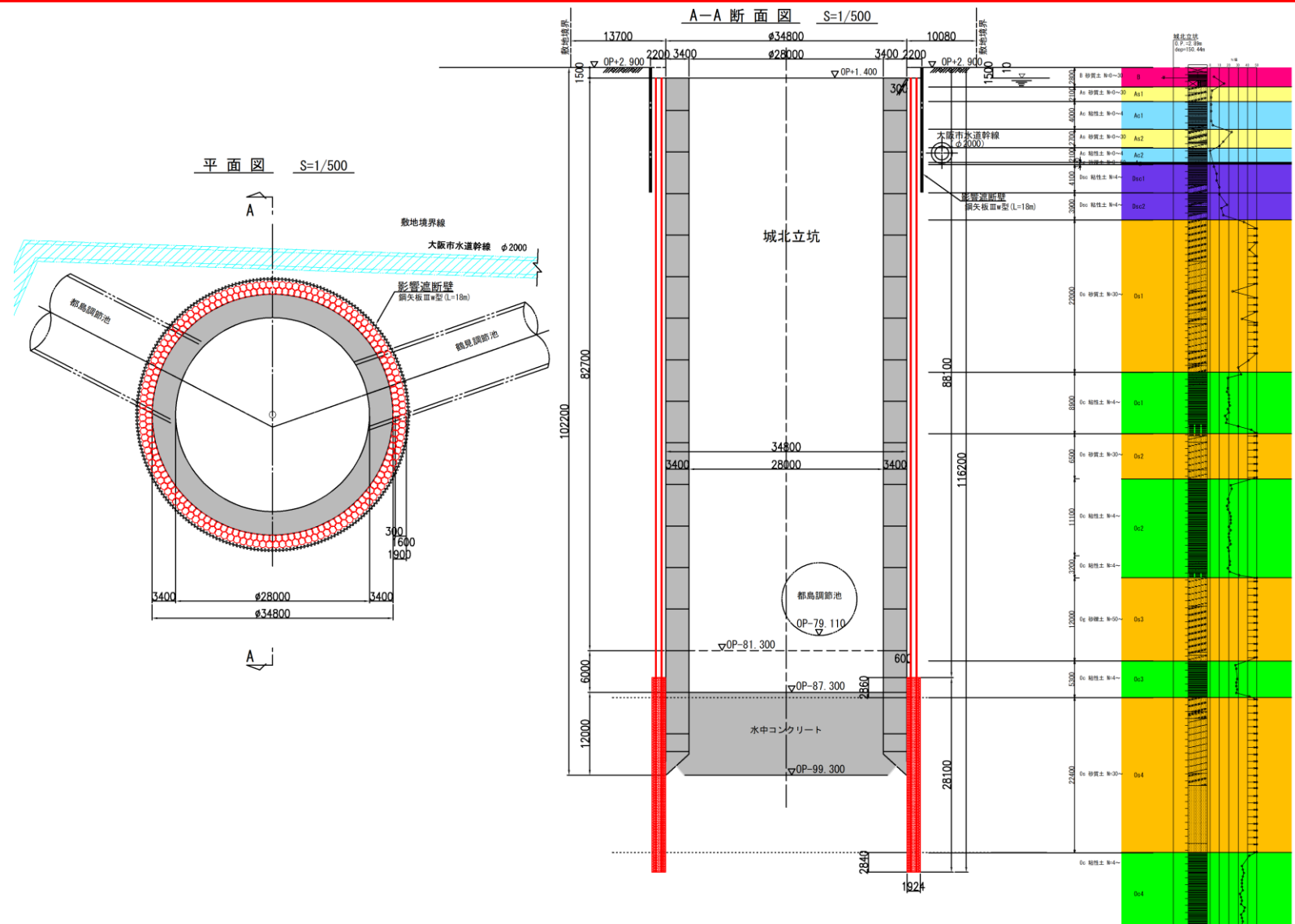
| 参考にした採用事例      | (A案)<br>薬液注入工法              | (B案)<br>地盤凍結工法 | (C案)<br>地中連続壁工法 | (D案)<br>高圧噴射攪拌工法       |
|----------------|-----------------------------|----------------|-----------------|------------------------|
| 使用目的           | 新幹線非常口の築造                   | シールド機発進防護      | 地下放水路立坑の築造      | 地下駅の築造                 |
| 施工規模等          | 幅3m×高さ15m<br>(改良深度125～140m) | Φ14m程度のシールド    | 壁厚2.1m×深度140m   | Φ2m×最大深度約90m           |
| 実施深度           | 約140m                       | 約70m           | 約140m           | 約90m                   |
| 備考             |                             |                |                 | 試験施工                   |
| 城北立坑適用時の課題(条件) | ・鉛直掘削精度の確保                  | ・鉛直掘削精度の確保     | 無し              | ・鉛直掘削精度の確保<br>・改良体の造成径 |



# 地下水流入抑制工法の選定

## 詳細検討 ③高圧噴射攪拌工法「適用範囲」

高圧噴射攪拌工法の有効径1.1mとした場合の平面断面図を以下に示す。2列配置とする。



# 地下水流入抑制工法の選定

## 詳細検討 ④薬液注入工法「実現性(改良径とディープウェルのバランス調整)」

薬液注入と併せて使用するディープウェル・リチャージウェルがそれぞれ現実的な配置となるように、止水壁の壁厚を見直し浸透量から必要なDW設置数を計算した。最大壁厚6mで現実的に配置可能となるが、経済性や工程に大きな影響がある。

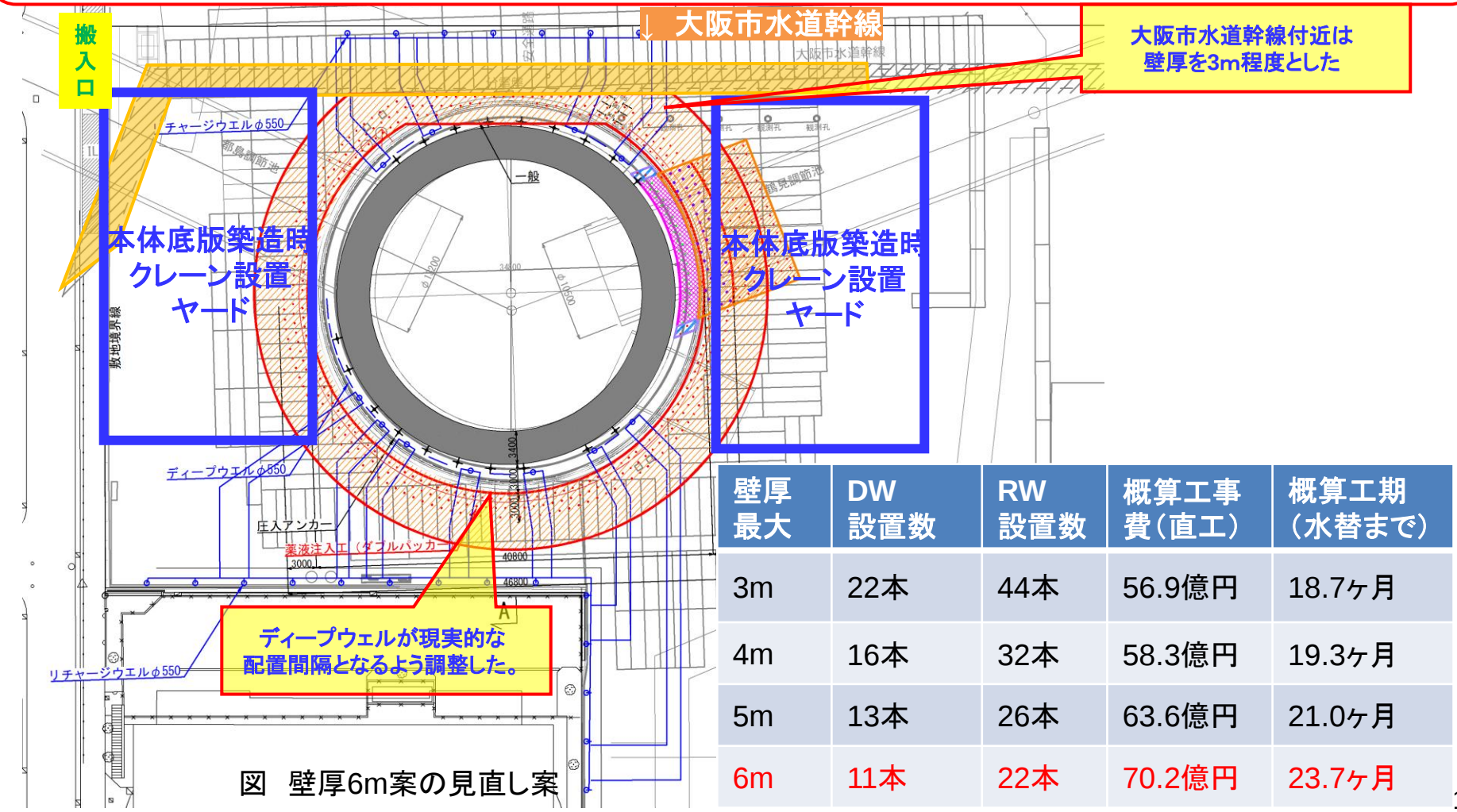


図 壁厚6m案の見直し案

# 地下水流入抑制工法の選定

## 詳細検討 ⑤地盤凍結工法「効果の確実性(自然解凍時の影響)」

粘土層の一部を凍結することにより起る体積変化により各地盤で変位が生じる。  
その影響を次のとおり確認した。  
**シールド下端位置での変位＝最大17.4mm(影響:有)、地上面での変位＝最大1.8mm<±5 mm(管理値)**

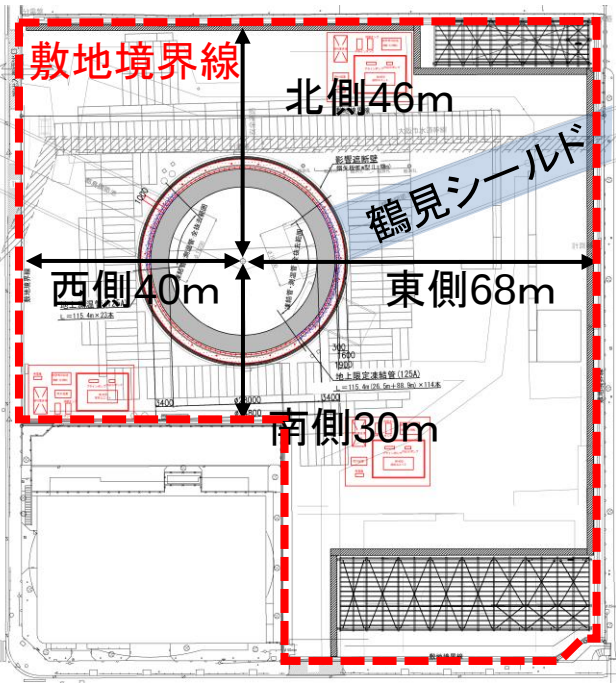
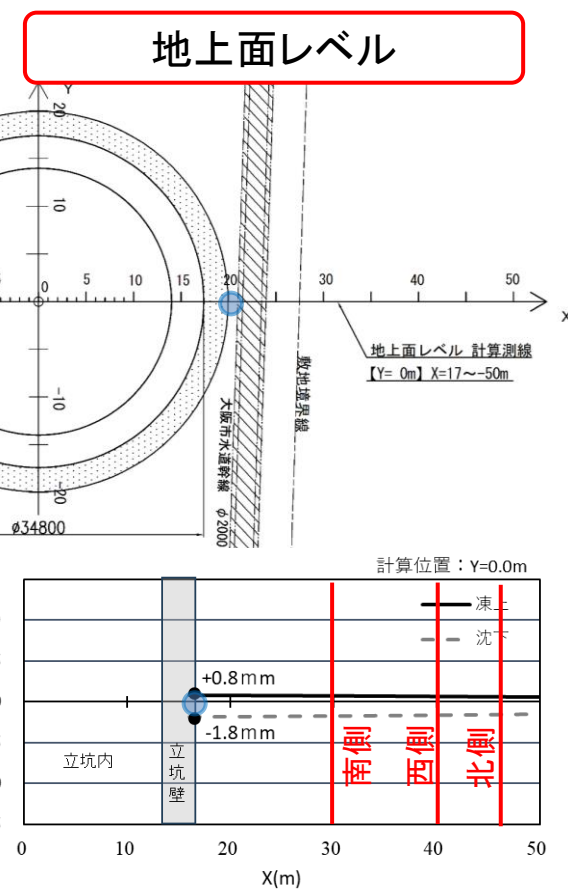
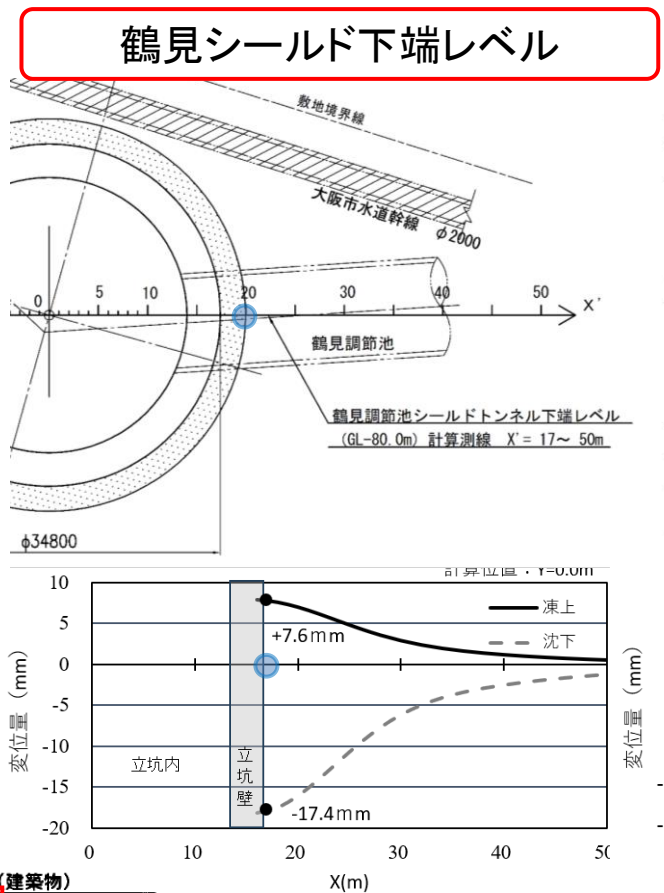


図 凍結工法位置図



資料表 6-6 近接施工における許容値、管理値の束縛 (建築物)

| 用途  | 既設構造物 | 項目   | 許容値 | 管理値  | 文献番号 |
|-----|-------|------|-----|------|------|
|     |       |      |     |      |      |
| 建築物 | 建築物   | 鉛直変位 |     | ±3mm | a-24 |
|     | 周辺地盤  | 鉛直変位 |     | ±5mm |      |

←周辺地盤への管理値は5mmで設定されている。

# 地下水流入抑制工法の選定

## 詳細検討 ⑤地盤凍結工法「効果の確実性(自然解凍時の影響)」

### ・凍上沈下計算結果

鶴見シールド下端レベルの結果＝最大沈下量17.4mm、

地上面レベルの結果＝最大沈下量1.8mm

- ・自然解凍の場合には、鶴見シールド下端で、4年程度かけて17.4mm沈下するため、シールド部への影響が課題となる

⇒対策：凍結管を温水管に転用し、温水を循環させることにより、強制解凍を行う。  
以上により、約95日で解凍可能となり、強制解凍後にシールド工事を実施する

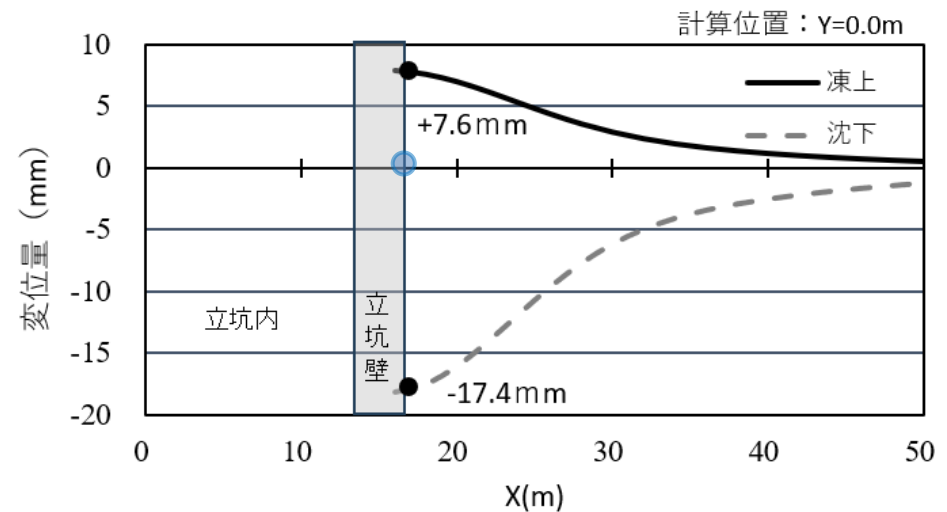
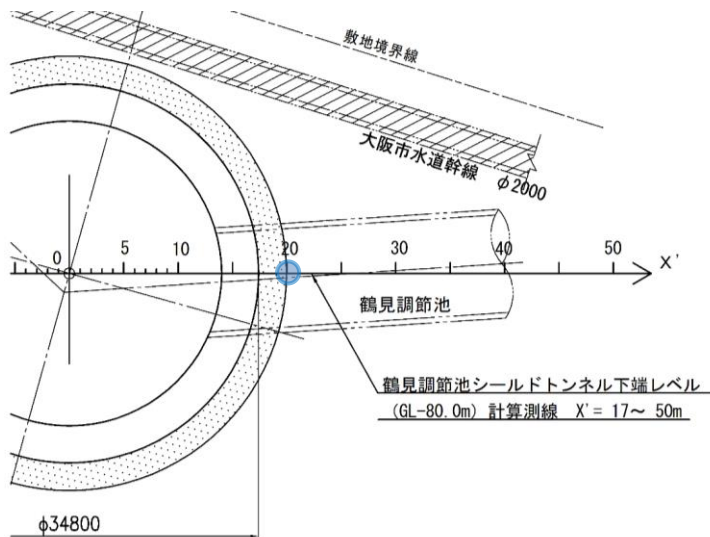


図. 鶴見シールド下端レベルの凍上と沈下計算結果

# 地下水流入抑制工法の選定

## 詳細検討 ⑤地盤凍結工法「効果の確実性(自然解凍時の影響)」

自然解凍では、鶴見シールド発進後にも沈下による影響が残ることから、シールドに影響する範囲について、沈下の影響が残らないように、凍結管に温水を循環させ、強制解凍を行う。強制解凍時には、凍結した粘性土Oc3層とOc4層で沈下が発生するため、強制解凍を実施の上、**空隙部の充填のための薬液注入を実施**する。

なお、**薬液注入はシールドの発進防護と併せて実施することで工期短縮を図る。**

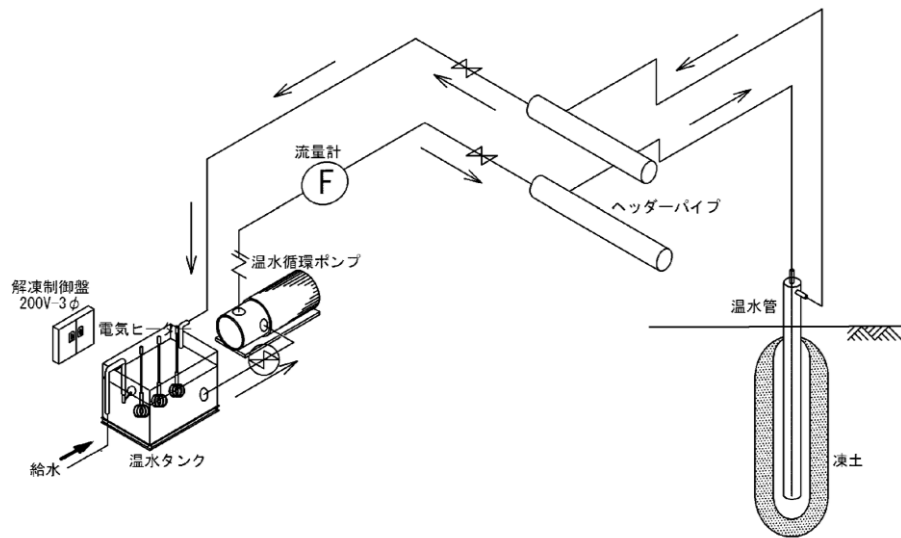


図.強制解凍イメージ図

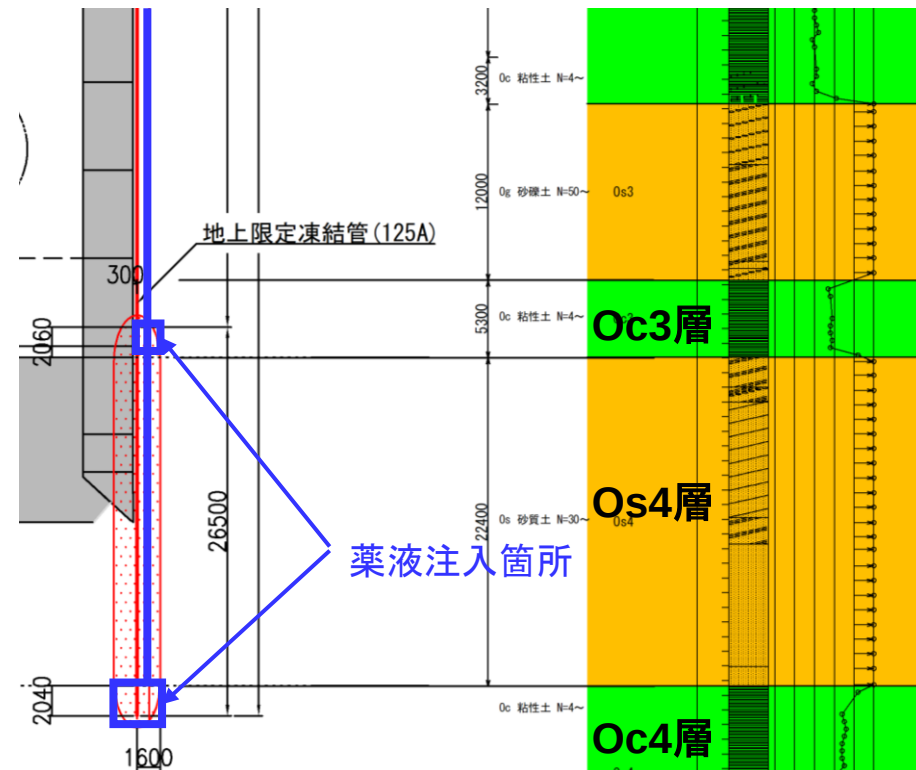
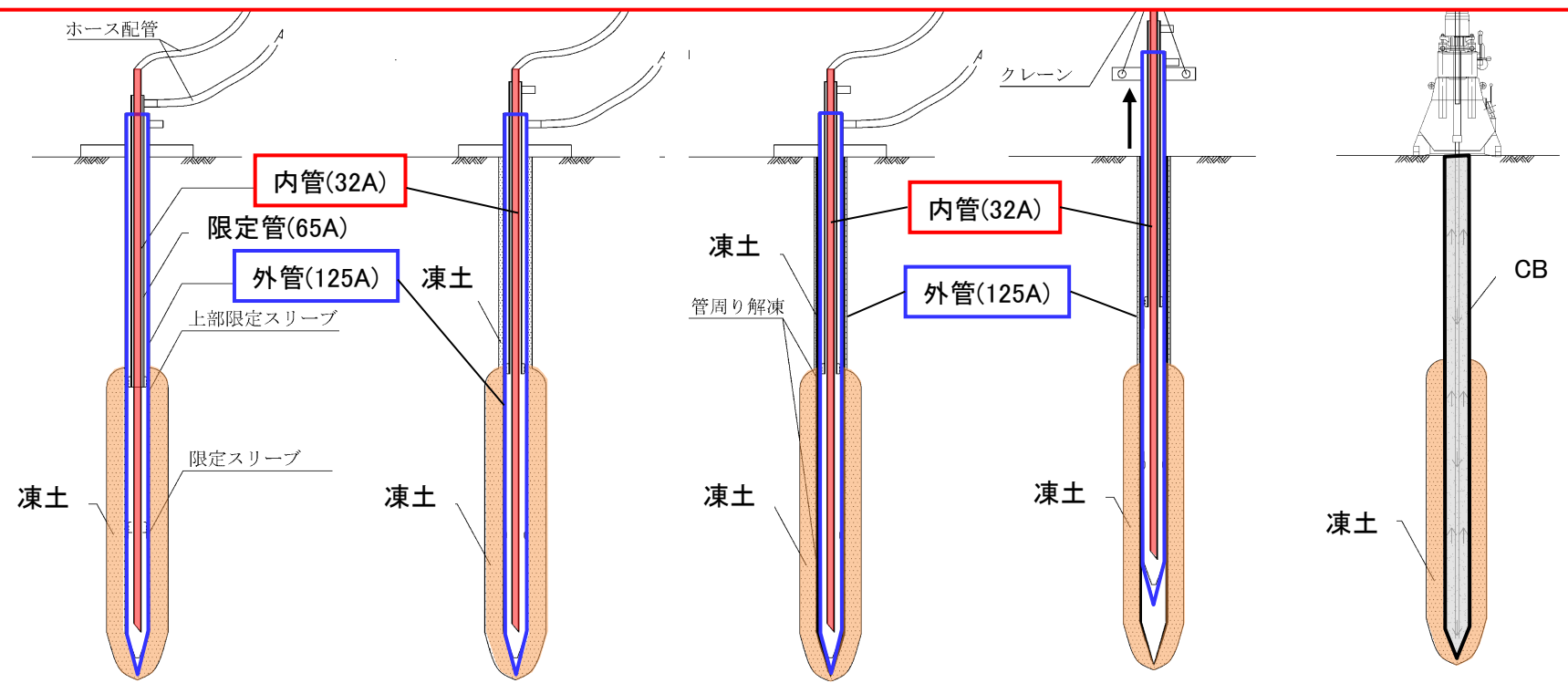


図.強制解凍による薬液注入箇所図

# 地下水流入抑制工法の選定

## 詳細検討 ⑥地盤凍結工法「リスク管理(シールド工事への影響)」

シールド工事に影響が無いよう、シールド発進部は凍結管の引抜きを行う。  
通常の凍結管の引抜き作業は、次に示すとおり。  
凍結管の引抜き前に一時的な再凍結・解凍を行い、管と周囲の凍着を切ることで、引抜ける状態を作り、管頂部に抜去金具を取付け、ボーリングマシン及びジャッキ、クレーンを用いて切断しながら引抜きを行う。引き抜き後にはセメントベントナイト(CB)で充填する。引抜きは、凍結管(SPG管)の許容せん断応力内で行うため、凍結管(SGP管)が途中で切断されることはない。



# 地下水流入抑制工法の選定

## 詳細検討 ⑥地盤凍結工法「リスク管理(シールド工事への影響)」

前頁を踏まえた上で、それでも引拔が出来なかった場合の措置を以下のとおり整理した。  
深度が80m程度の撤去工法について、通常の杭引抜工法では適用不可(深度60mまで)  
となることから、オールケーシング工法で掘削して撤去を行うこととした。

### オーガーケーシング工法 (テレスコプローラー・ラフター・クレーン)

縁切・引抜工法

#### 工法説明

ラフター・クレーンベース、テレスコプローラー・クレーンベースの本体機にリーダーを取り付け、そのリーダーにオーガーとケーシングをセットし、杭周を削削して本体機もしくは相判機にて杭を引き抜く工法です。最もオーソドックスな施工工法であり、一般的な現場で多く採用される工法です。敷地の広い現場、狭小地の現場、杭頭が深い場合など様々な現場諸条件に対応できます。

#### 特長

- 振動・騒音が少ないため、街中での施工に適しています。
- ケーシングを継ぎ足すことにより地盤状況によりりますが60m程度の杭を引き抜くことができます。
- 三脚式杭打機を使用すれば斜杭(鋼管杭)の引抜が可能です。
- 小型機から大型機まで幅広く存在している為、様々な現場状況に対応可能です。

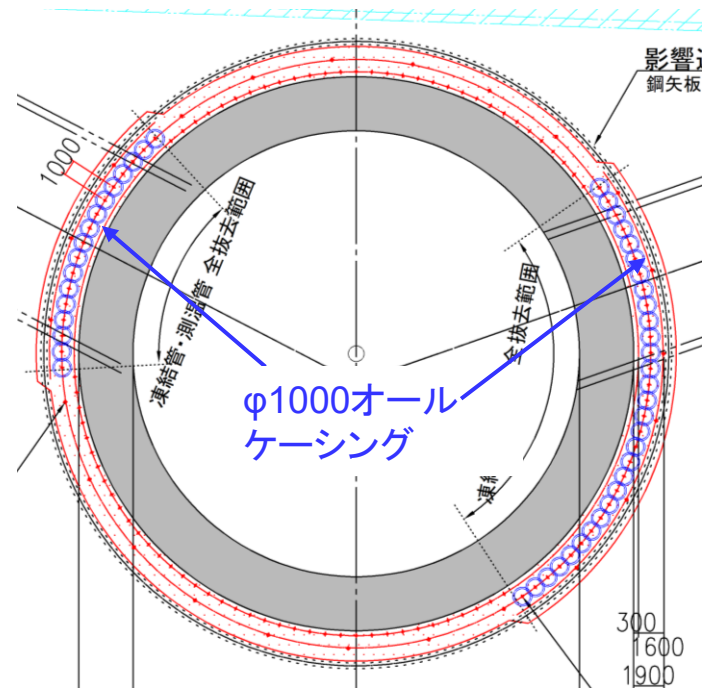
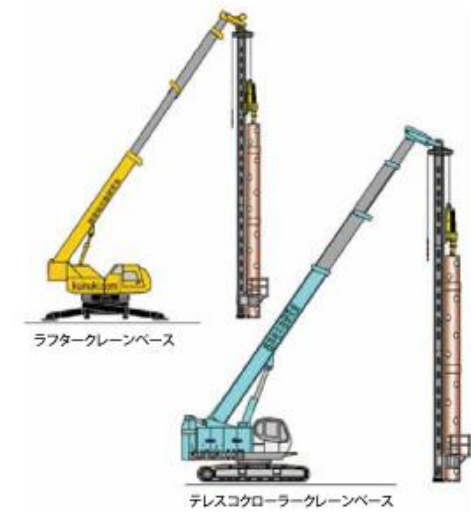


図 φ1000オールケーシング工法  
施工平面図(引き抜けなかった場合)

(出典:一般社団法人 杭抜研究会HP-工法の事例)

# 地下水流入抑制工法の選定

## 詳細検討 ⑥地盤凍結工法「リスク管理(シールド工事への影響)」

### ・オールケーシング工法による凍結管の引き抜き手順

凍結管125A(鋼管)を掘削撤去する手順を以下に示す。オールケーシング工法により、凍結管ごとケーシング内で掘削しながら、鶴見シールドに影響のない範囲まで撤去する。ケーシング撤去後には坑内を充填し、ケーシングを引き抜く。

①凍結管(φ125)を壊しながら  
ケーシング(φ1000)を押し込む

②充填の上、  
ケーシングを引き抜く

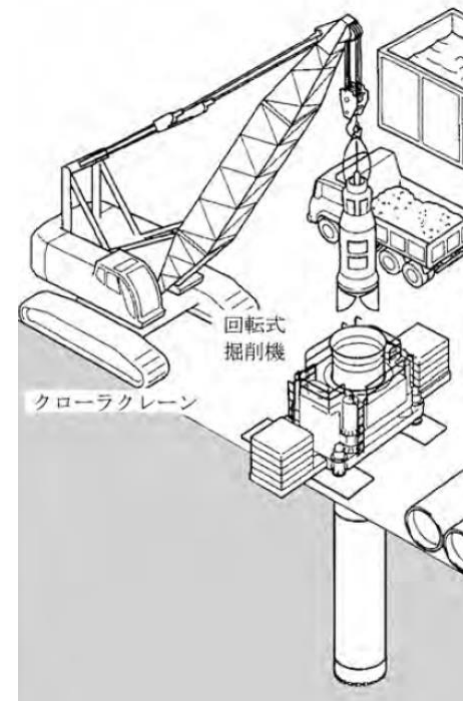
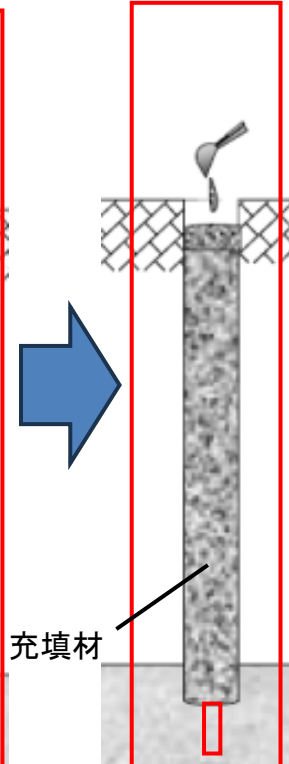
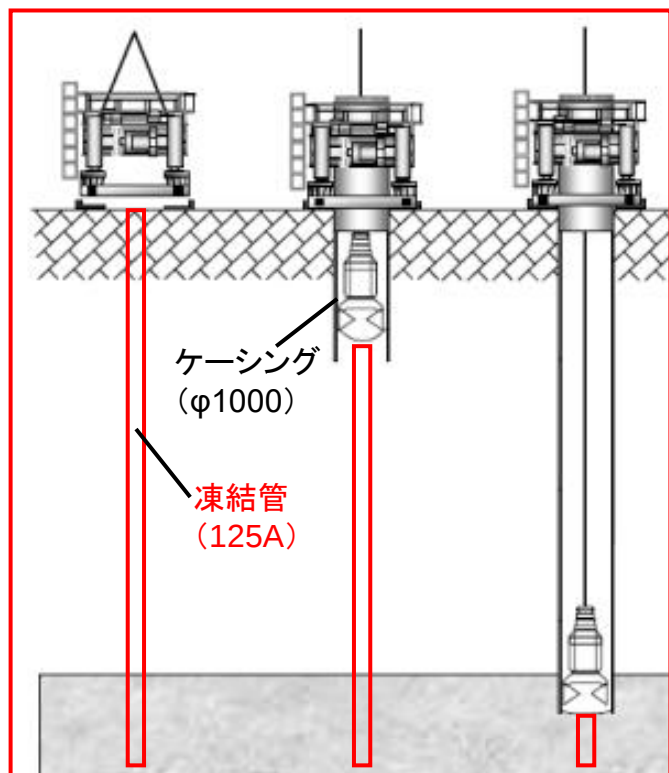


図 凍結管引き抜き手順(参考:一般社団法人 日本基礎建設協会HP-オールケーシング工法に加筆)

# 地下水流入抑制工法の選定

## 対策工法の2次選定

詳細検討を踏まえ、二次選定を行って結果を次に示す。

| 項目    | 【A案:薬液注入工法】<br>(+DW、リチャージウェル)                                                                                                                                                  | 【B案:地盤凍結工法】                                                                                                                                     | 【C案:地中連続壁工法】                                                                                                                                        | 【D案:高圧噴射攪拌工法】                                                                                                                          |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 概略断面図 |                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                     |                                                                                                                                        |
| 概要    | 透水層(Os4層)を薬液注入工法で遮断し、遮断壁からの地下水流入分はディープウェル(+リチャージウェル)で排水する対策                                                                                                                    | 透水層(Os4層)を凍結工法で完全遮断する対策                                                                                                                         | 透水層(Os4層)を地中連続壁工法で遮断し地下水の流入を抑制する対策                                                                                                                  | 透水層(Os4層)を高圧噴射攪拌工法で遮断し地下水の流入を抑制する対策                                                                                                    |
| 特徴    | <ul style="list-style-type: none"><li>・<u>透水係数<math>10^{-6}</math>m/s</u></li><li>・止水壁からの地下水浸透を考慮しディープウェル併用</li><li>・ディープウェル使用時に周辺地下水低下を抑えるためリチャージを採用しているが事前に試験施工が必要</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>・<u>透水係数<math>10^{-14}</math>m/s</u></li><li>・止水性能が最も高く単独で採用可。</li><li>・シールド工事時に支障となるリスクへの対応が必要</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>・<u>透水係数<math>10^{-8}</math>m/s</u></li><li>・止水性能が高く単独での採用可</li><li>・大阪市水道幹線との近接施工があることから防護工等の対策が必要</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>・<u>透水係数<math>10^{-8}</math>m/s</u></li><li>・止水性能が高く単独での採用可</li><li>・想定改良径が1.1mと小口径となる</li></ul> |

# 地下水流入抑制工法の選定

対策工法の2次選定

詳細検討を踏まえ、二次選定を行って結果を次に示す。

| 【評価指標】<br>実現性 | 【A案：薬液注入工法】<br>(+DW、リチャージウェル)                             | 【B案：地盤凍結工法】           | 【C案：地中連続壁工法】                                     | 【D案：高圧噴射攪拌工法】         |
|---------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------|-----------------------|
| 施工の難易度        | 施工可能                                                      | 施工可能                  | 施工可能                                             | 施工可能                  |
| 本体構造への<br>影響  | 影響なし                                                      | 影響なし                  | 影響なし                                             | 影響なし                  |
| 施工ヤードの<br>確保  | 【詳細検討の結果】<br><u>止水壁の壁厚を3mから6m<br/>にすることでヤード内で施工<br/>可</u> | ヤード内で施工可              | ヤード内で施工可<br>(※大阪市水道幹線との<br>近接施工に対し防護工<br>の対策が必要) | ヤード内で施工可              |
| 大深度での<br>施工実績 | 実績あり<br>(※リチャージウェルは<br>試験施工が必要)                           | 実績あり                  | 実績あり                                             | 実績あり                  |
| 【実現性の評価】      | <u>○</u><br>(大きな課題無し)                                     | <u>○</u><br>(大きな課題無し) | <u>○</u><br>(大きな課題無し)                            | <u>○</u><br>(大きな課題無し) |

# 地下水流入抑制工法の選定

## 対策工法の2次選定

詳細検討を踏まえ、二次選定を行って結果を次に示す。

| 【評価指標】<br>効果の確実性 | 【A案：薬液注入工法】<br>(+DW、リチャージウェル)                                                                 | 【B案：地盤凍結工法】                                                                        | 【C案：地中連続壁工法】                                                                 | 【D案：高圧噴射攪拌工法】                                                                |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| 安全性(周辺<br>への影響)  | <u>ディープウェル使用時に周辺<br/>の地下水を低下する恐れ<br/>があるが、リチャージウェ<br/>ルで対応可</u><br>(※リチャージウェルは試験<br>施工が必要)    | <u>【詳細検討の結果】<br/>地下水への影響は無い。<br/>自然解凍時に凍結直上の<br/>地表面の沈下量が1.8mm<br/>のため許容値内である。</u> | 完全には止水できないこ<br>とから、 <u>周辺の地下水を<br/>低下する恐れがあるが、<br/>リチャージウェルとの併用<br/>で対応可</u> | 完全には止水できないこと<br>から、 <u>周辺の地下水を低下<br/>する恐れがあるが、リ<br/>チャージウェルとの併用で<br/>対応可</u> |
| 止水効果の確<br>実性     | 止水壁の透水係数が<br>$10^{-6}\text{m/s}$ であるが、ディープ<br>ウェルとの併用が必要<br>【詳細検討の結果】<br>止水効果は15年後まで継<br>続する。 | <u>止水壁の透水係数が</u><br>$10^{-14}\text{m/s}$ と <u>最も優れており</u> 、<br>単独での使用ができる。         | 止水壁の透水係数が<br>$10^{-8}\text{m/s}$ であるため<br>止水性が高く、湧水量も<br>ポンプ排水で対応可能          | 止水壁の透水係数が<br>$10^{-8}\text{m/s}$ であるため<br>止水性が高く、湧水量もポ<br>ンプ排水で対応可能          |
| 後工事への影<br>響      | 無し                                                                                            | <u>【詳細検討の結果】<br/>強制解凍を行うことにより、<br/>沈下の制御が可能であり<br/>シールド工事への影響は<br/>回避可能</u>        | 無し                                                                           | 無し                                                                           |
| 【効果の確実<br>性の評価】  | <u>○</u><br>( <u>周辺への影響も対応可、<br/>止水効果の確実性は劣る<br/>が、後工事への影響も無<br/>い</u> )                      | <u>○</u><br>( <u>周辺への影響が小さく、<br/>止水効果も最も高い。<br/>シールド工事へ影響にも<br/>対応可能</u> )         | <u>○</u><br>( <u>周辺への影響も対応可、<br/>止水効果の確実性は劣る<br/>が、後工事への影響もな<br/>い</u> )     | <u>○</u><br>( <u>周辺への影響も対応可、<br/>止水効果の確実性は劣る<br/>が、後工事への影響もな<br/>い</u> )     |

# 地下水流入抑制工法の選定

## 対策工法の2次選定

本体底版コンクリートにより将来的な止水性があるため、仮設として止水壁を比較検討した中で、周辺地下水への影響が最も小さい、止水の確実性が最も高く、経済性や施工日数が最も優れる地盤凍結工法を採用とする。

| 【評価指標】<br>リスク対応<br>・コスト | 【A案：薬液注入工法】<br>(+DW、リチャージウェル)                                                                 | 【B案：地盤凍結工法】                                                                                        | 【C案：地中連続壁工法】                                                                              | 【D案：高圧噴射攪拌工法】                                                                         |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 想定外の地下水流入               | ディープウェルの数量を増やすことで対応が容易であるが、用地の制約がある。                                                          | 止水壁の構築は、温度計測によって品質を確保できるため、止水壁表面からの地下水流入が無い                                                        | ディープウェルを設置することで対応が容易であるが、用地の制約がある。                                                        | ディープウェルを設置することで対応が容易であるが、用地の制約がある。                                                    |
| その他                     | -                                                                                             | 【詳細検討の結果】<br>万が一、凍結管が引抜きできなくなった場合、オールケーシングによる引抜き施工可能                                               | 掘削機の調達に時間を要する見込み<br>(ヒアリング)                                                               | 改良径は試験施工の実績からの想定であるため、不確定要素があり、城北立坑での採用は困難との見込み(ヒアリング)                                |
| 概算工事費用<br>(直接工事費)       | 薬液注入工 約56億円<br>ディープウェル等 約14億円<br>合計 約70億円                                                     | 凍結工 約45億円                                                                                          | 地中連続壁工 約60億円                                                                              | 高圧噴射攪拌工 約140億円                                                                        |
| 施工日数<br>(水替着手まで)        | 約30カ月                                                                                         | 約20カ月                                                                                              | 約45カ月(掘削機配置に2年程度必要)                                                                       | 約30カ月                                                                                 |
| 総合評価                    | <u>× 不採用</u><br>採用可能であるが、他案に比べて止水性に劣る。想定外の流入に対してはディープウェルを増加することで対応できるが用地の制約を受ける。費用、工期面でB案に劣る。 | <u>○ 採用(案)</u><br>最も止水性に優れており、温度管理により品質確保が可能。凍結管の引き抜き困難リスクに対しても対応策があり、それらを含めた工期、費用を比較しても他案より優れている。 | <u>× 不採用</u><br>採用可能であるが、止水性に対してはB案に劣る。想定外の出水に対してはディープウェルにより対応できるが用地の制約を受ける。工期、費用面でB案に劣る。 | <u>× 不採用</u><br>専門業者ヒアリングでは採用困難との回答。実績からの改良径を想定しても、工期、費用面でB案に劣る。止水性、想定外の出水についてはC案と同じ。 |

# 地下水流入抑制工法の選定

## 採用工法の施工上の留意点

二次選定により採用された「地盤凍結工法」について、施工上の留意点を次のとおり整理する。

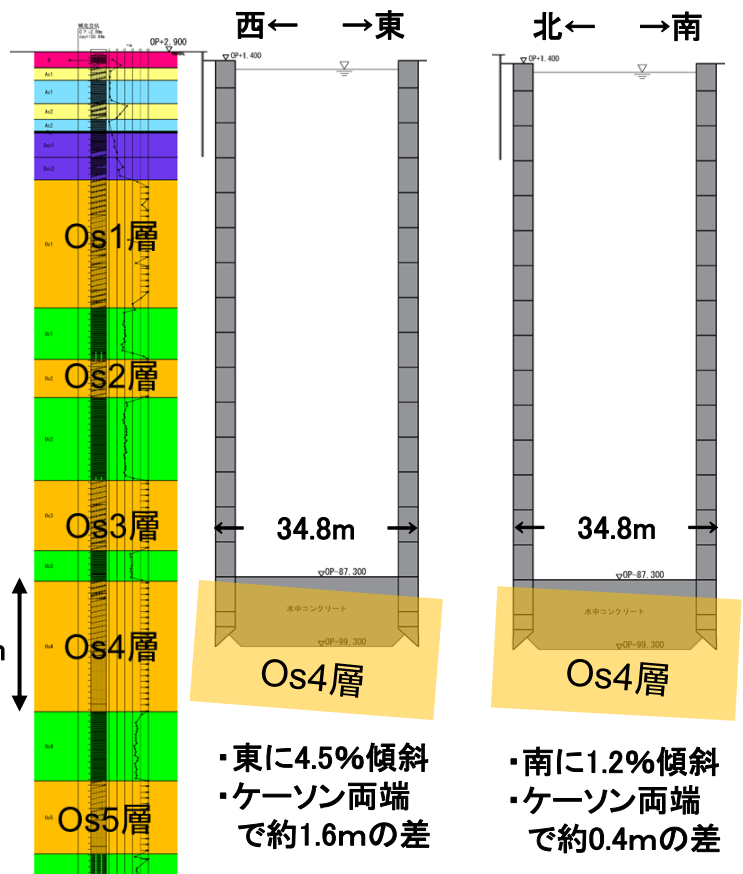
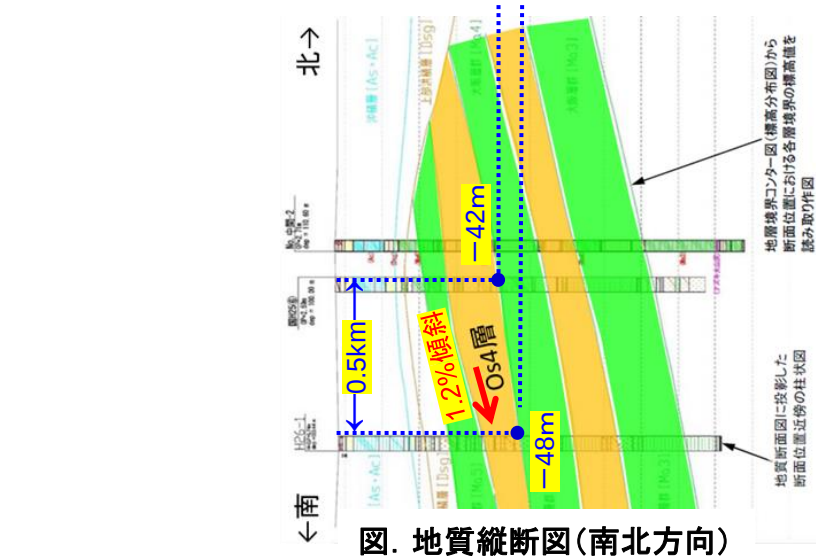
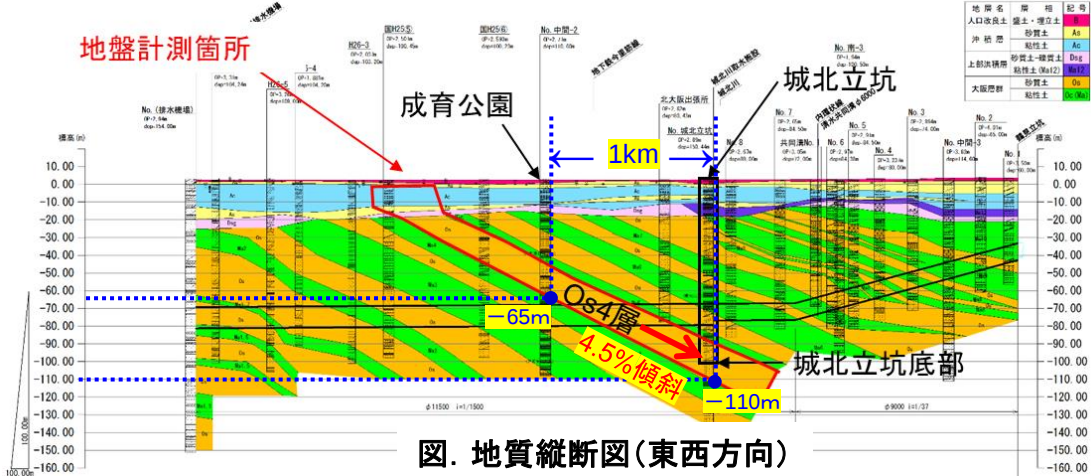
表 採用工法施工上の留意点

| 項目           | 確認する視点                                                               |
|--------------|----------------------------------------------------------------------|
| ①事前調査        | 次の2項目について確認する。<br>1) Os4層の範囲(ボーリング調査を実施)<br>2) 着手前の地下水位の状況(観測井の追加検討) |
| ②大深度地下での施工管理 | 確実な止水壁構築のための掘削精度管理や、凍土構築時の温度管理                                       |
| ③水替作業中の影響監視  | 周辺地下水の監視                                                             |

# 地下水流入抑制工法の選定

## 凍結工法における施工管理 ①「事前調査」

地質縦断図より、ケーソンの両端での土層の傾斜は東西方向で約1.6m程度、南北方向で0.4mと想定されるため、地層の位置を確認し、確実に止水壁を構築する必要がある。



# 地下水流入抑制工法の選定

## 凍結工法における施工管理 ①「事前調査」

止水壁をOs4層の上下にあるOc3層およびOc4層へ根入れさせるために、地層の確認のためのボーリングを実施する。また、止水壁内のOs4層の地下水位が低下するため、下部のOs5層からの湧水の監視と地下水位の低下の有無を確認するために地下水観測を実施する。

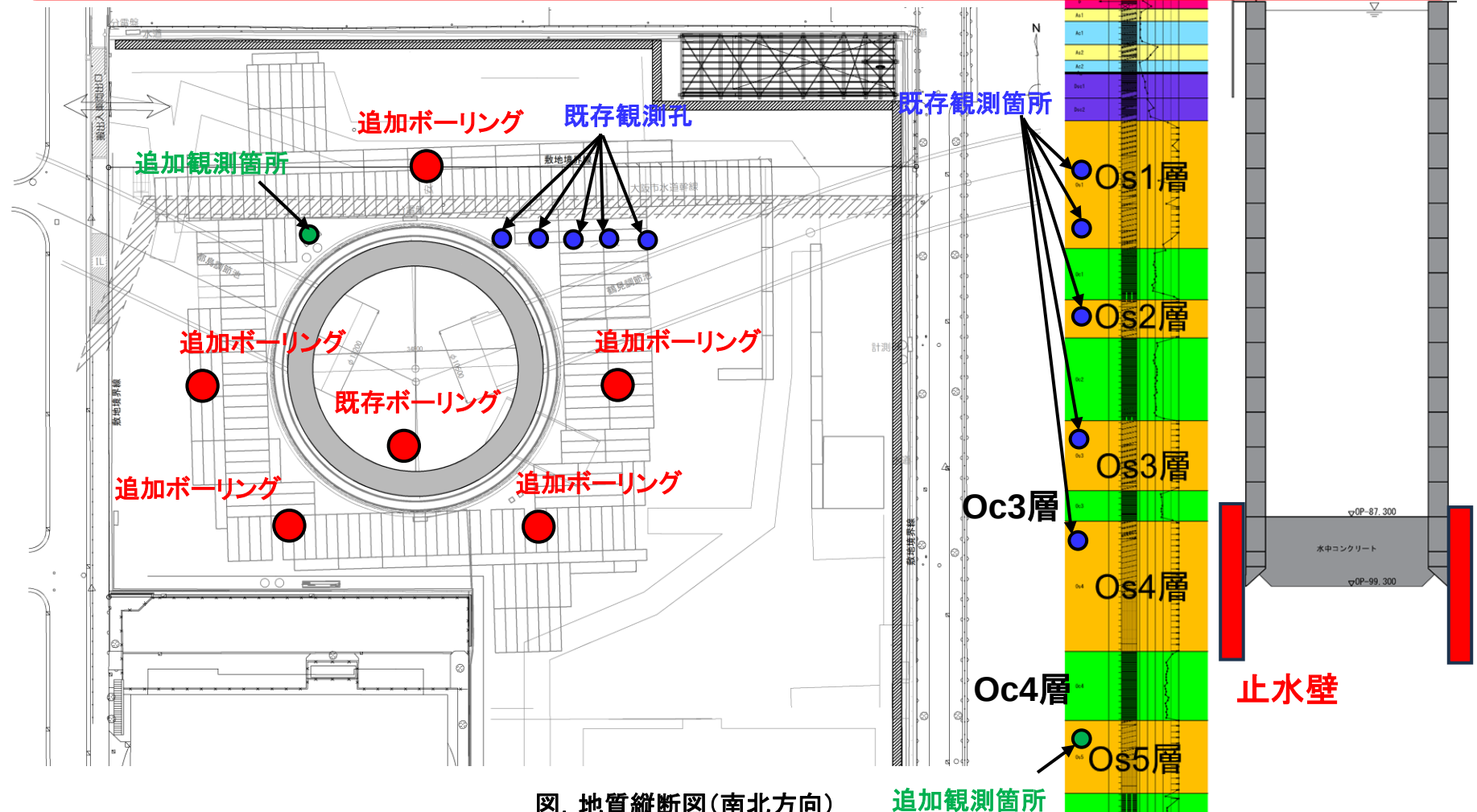


図. 地質縦断図(南北方向)

追加観測箇所

# 地下水流入抑制工法の選定

## 凍結工法における施工管理 ②「大深度地下での施工管理」

今回、施工する凍結管1本あたり直径3mの凍土を形成する計画であるが、GL-1.4mから-114.0mまでの大深度地下の施工時に掘削鉛直精度を1/150としたとき、先端で約0.8mの誤差が生じるため、削孔精度確保が重要となる。

削孔精度の確認は、掘削後に傾斜計による計測を行い、精度を超過する場合は追加削孔を行う等により管理を行う。また、凍土範囲は孔曲がりを考慮した計画とする。

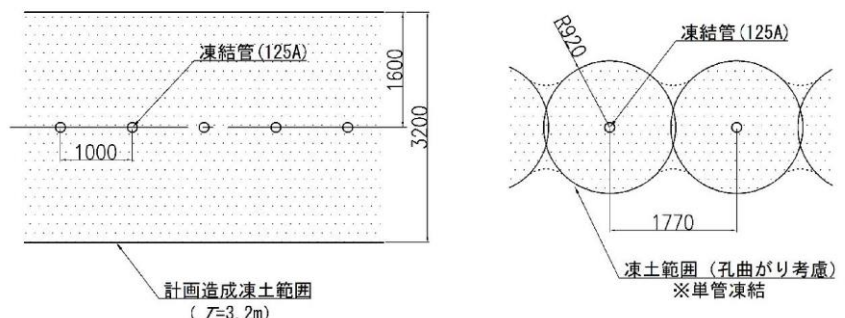
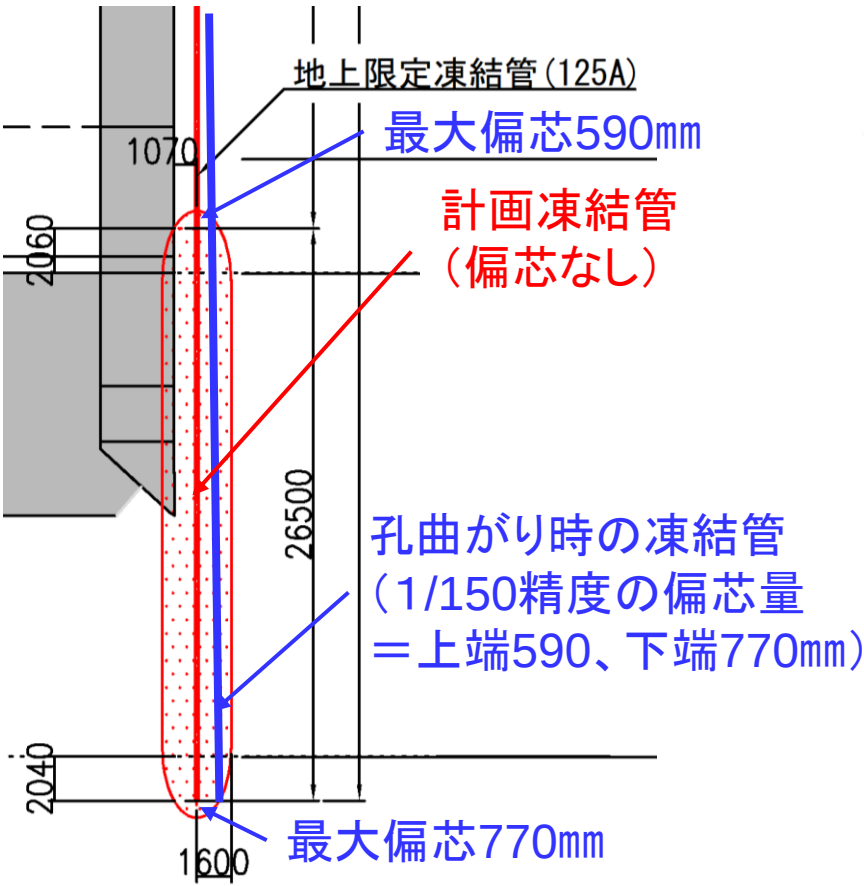


図 孔曲がりを考慮した凍土造成のイメージ図

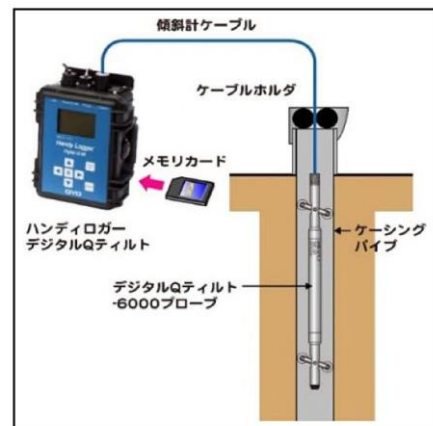


図 削孔精度の傾斜計による計測イメージ図

# 地下水流入抑制工法の選定

## 凍結工法における施工管理 ③「水替作業中の周辺への影響監視」

地盤凍結工法により凍土形成が完了し、水替作業を行う際には、次のとおり地下水の影響監視を行う。

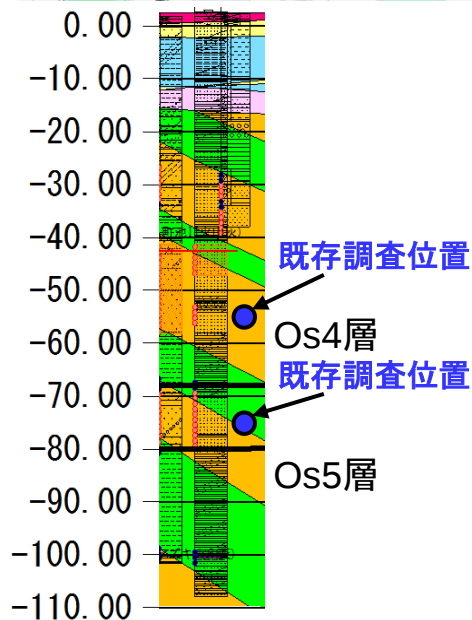


図 成育公園調査箇所図

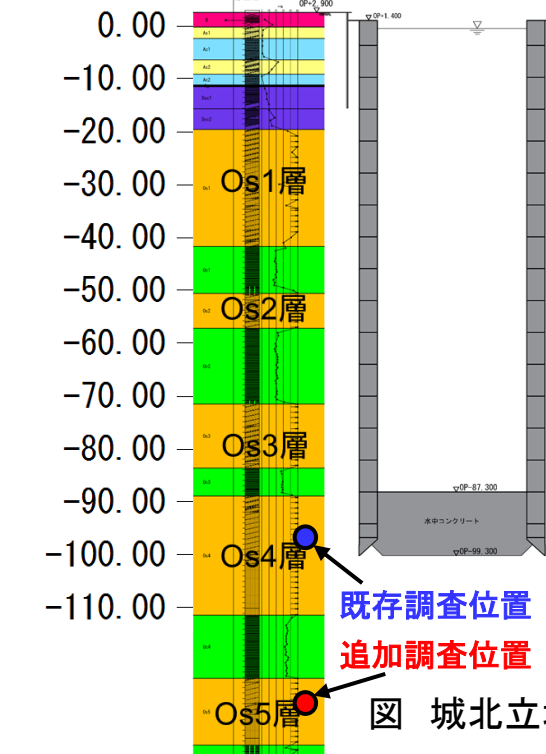
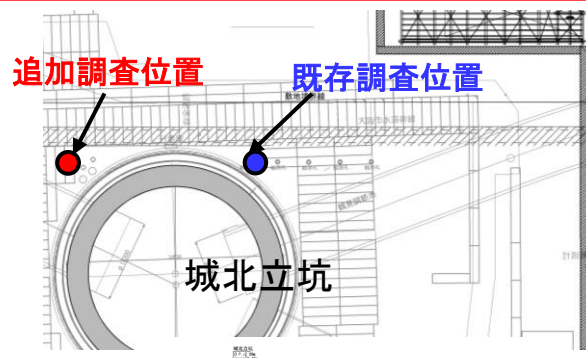


図 城北立坑調査箇所図

### 【地下水位管理基準と確認頻度】

- ・地下水位管理基準
  - 一次管理値 300mm/時間  
(揚水一時停止、経過観察)
  - 二次管理値 500mm/時間  
(揚水停止、地下水復元)
- ・確認頻度
  - 城北立坑用地はリアルタイム監視
  - 成育公園は異状時に確認

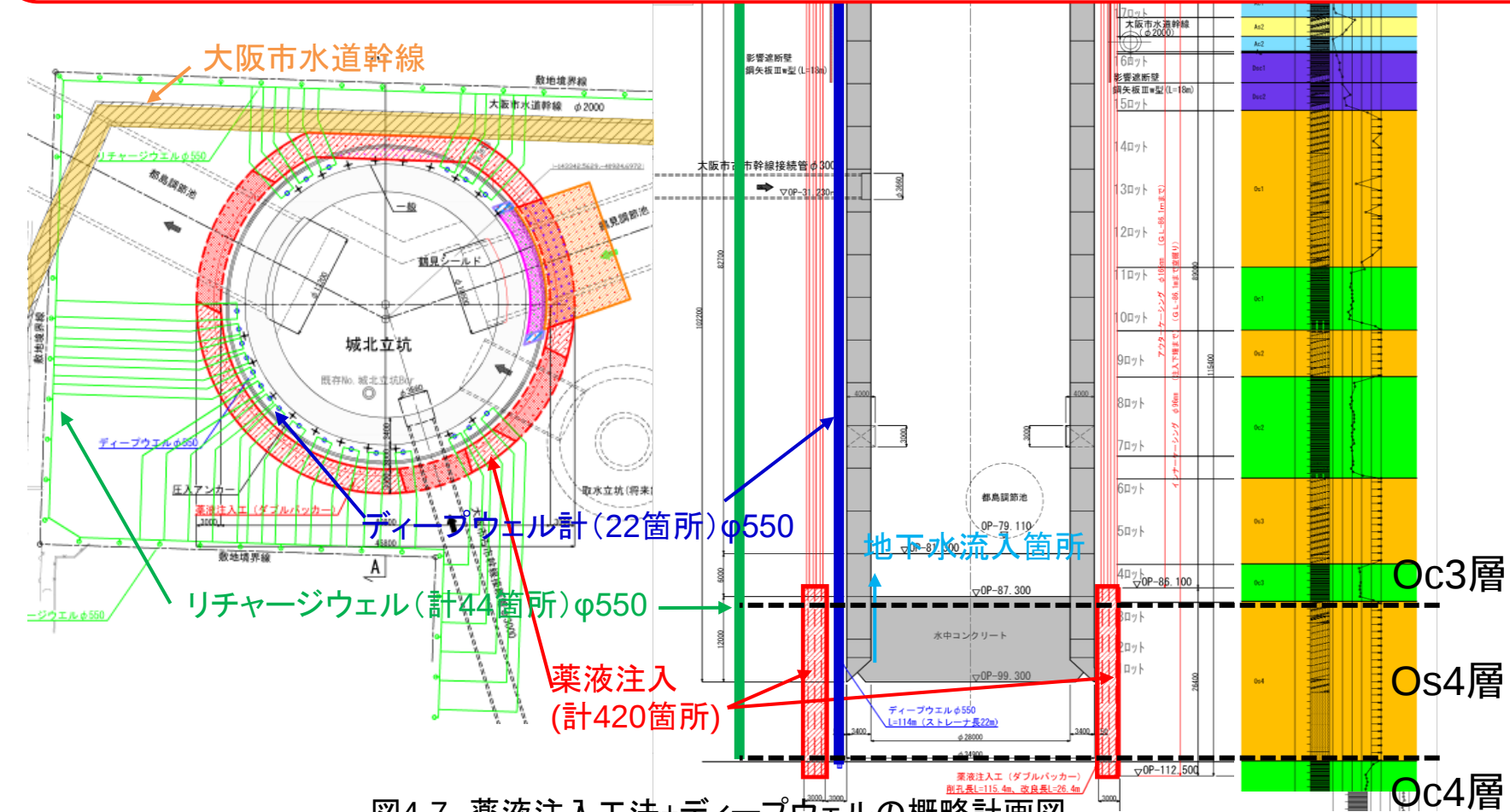
# 參考資料

# (参考資料)地下水流入抑制工法の選定

## A案 薬液注入工法(+ディープ・リチャージウェル)の概略検討結果

## 第2回審議会資料4 再掲

止水性を確保するため砂質土層(Os4層)に加え、上部(Oc3層)と下部(Oc4層)の粘性土の一部を改良することで、地下水の流入を抑制する。 止水壁の透水係数が $1 \times 10^{-6}$ 程度であることから、水中コンの天端まで水位を下げた際には、水頭差が最大となり、約6m<sup>3</sup>/分の地下水流入を処理するためにディープウェル計22箇所(φ550)とリチャージウェル計44箇所(φ550)が必要となる。 (透水量を低減させるよう改良幅を広げてもヤード確保が困難)







# 地下水流入抑制工法の選定

## 薬液注入工法における止水機能の効果継続について

薬液注入工法の効果の持続期間については、水ガラス系薬液では5年間以上の耐久性とされている。今回止水壁に採用予定のシリカゾルグラウトの場合には、約17年後でも効果を持続している実証調査事例がある。

### 6.5 長期耐久性について

水ガラス系薬液は種類によっては長期の耐久性が期待できる。  
協会が実施した原位置長期耐久性確認試験結果ではどの薬液も5年間は注入直後と同じかそれ以上の状態を保っている。

#### 6.5.1 水ガラス系薬液に長期耐久性はあるのか

薬液注入工事のほとんどは土木建築工事の仮設の目的で使用されているので、長い間長期の耐久性が問題になることはなかった。しかし近年、薬液注入工法を液状化防止や耐震補強、あるいは構造物の支持に用いるケースがでてきたことから薬液の耐久性に関する問い合わせが急増している。

そこで協会として、水ガラス系薬液の耐久性についての基本的な考え方を以下のようにまとめた。  
協会では長期の耐久性を確認するために、2000年より大規模な原位置長期耐久性確認試験を実施し、一般に使われている薬液3種類の5年間の耐久性を確認した。その結果を基本として、薬液注入工法で固めた地盤を別の工事で掘削確認できた例や長年にわたり実験室レベルで行われてきた各種の実験結果などを参考にして耐久性に対する考え方をまとめた。

水ガラス系薬液の耐久性については表6.5-1のように考える。

| 表6.5-1 水ガラス系薬液の耐久性の評価 |            |
|-----------------------|------------|
| 薬液の種類                 | 5年の耐久性     |
| アルカリ系無機硬化材            | 初期値を下回らない  |
| アルカリ系有機硬化材            | 年々強度が増していた |
| 中性・酸性系                | 初期値を下回らない  |

現在、この実験で使用した一般的に使用されている薬液以外に、長期耐久性を確保することを目指して開発されたシリカコロイド系薬液もある。

(出典:正しい薬液注入工法 日本グラウト協会 編)

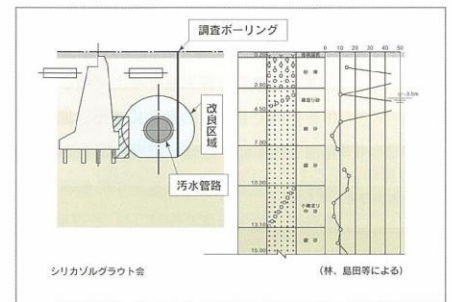
### 3-6. 現場施工における長期耐久性の実証調査

長年月経過後の固結体の状況を調査するために、シリカゾルグラウト会では、1997年(平成9年)11月に、16年10か月前(1981年)に施工したシリカゾルグラウトの注入地盤でコアボーリングを行ない、試料を採取した(図-14、写真-4、写真-5)。採取した供試体は、細砂層のもので、それを実験室に持ち帰り、一軸圧縮試験、変水位透水試験、室内弾性波試験を実施した。

そして、グラウト直後の初期値としては、現場の未改良地区から細砂を採取してきて、1981年の注入時と同じ配合のシリカゾルグラウトを用いて、実験室で浸透注入して作った供試体を7日間養生したものに対する実験値を当てることにした。その結果が表-3である。

この調査実験結果によって、現場で注入したシリカゾルグラウトは、約17年後も十分にその改良効果を発揮していることがわかった。

図-14 16年10ヶ月前に行ったシリカゾルグラウトの施工現場における改良区域と地層の状況と調査地点



(出典:シリカゾルグラウト技術資料  
シリカゾルグラウトの長期耐久性と安全性2007.6  
地盤注入開発機構シリカゾルグラウト会)

# (参考資料)地下水流入抑制工法の選定

## 詳細検討 ⑤薬液注入工法「実現性(施工ヤードの確保)」の補足

第2回審議会では、壁厚(改良幅)を3mと仮定していたが、  
重機配置を考慮して、現実的な施工ヤードの確保を行うため、  
壁厚を見直した結果、**壁厚最大6mの案を採用**する。

| 壁厚<br>最大 | DW<br>設置数 | RW<br>設置数 | 概算工事費<br>(直工) | 概算工期<br>(水替まで) |
|----------|-----------|-----------|---------------|----------------|
| 3m       | 22本       | 44本       | 56.9億円        | 18.7ヶ月         |
| 6m       | 11本       | 22本       | 70.2億円        | 23.7ヶ月         |

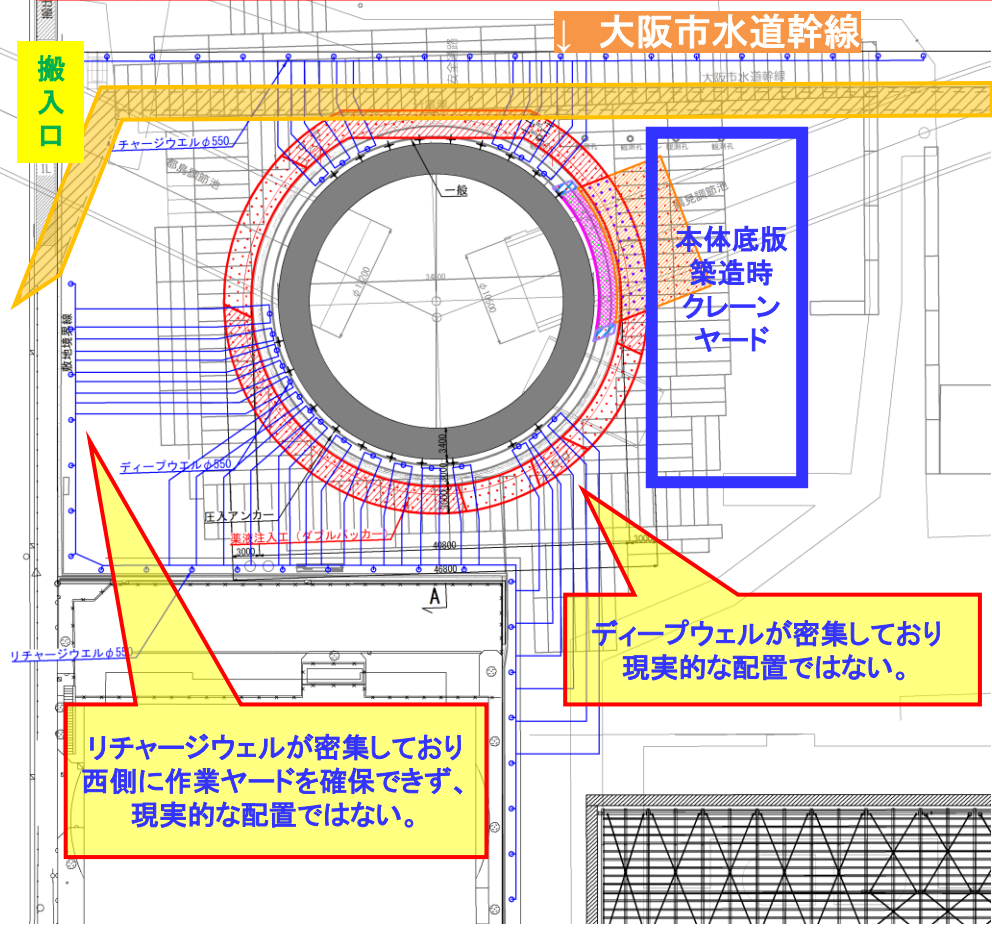


図 壁厚3m案(前回案)

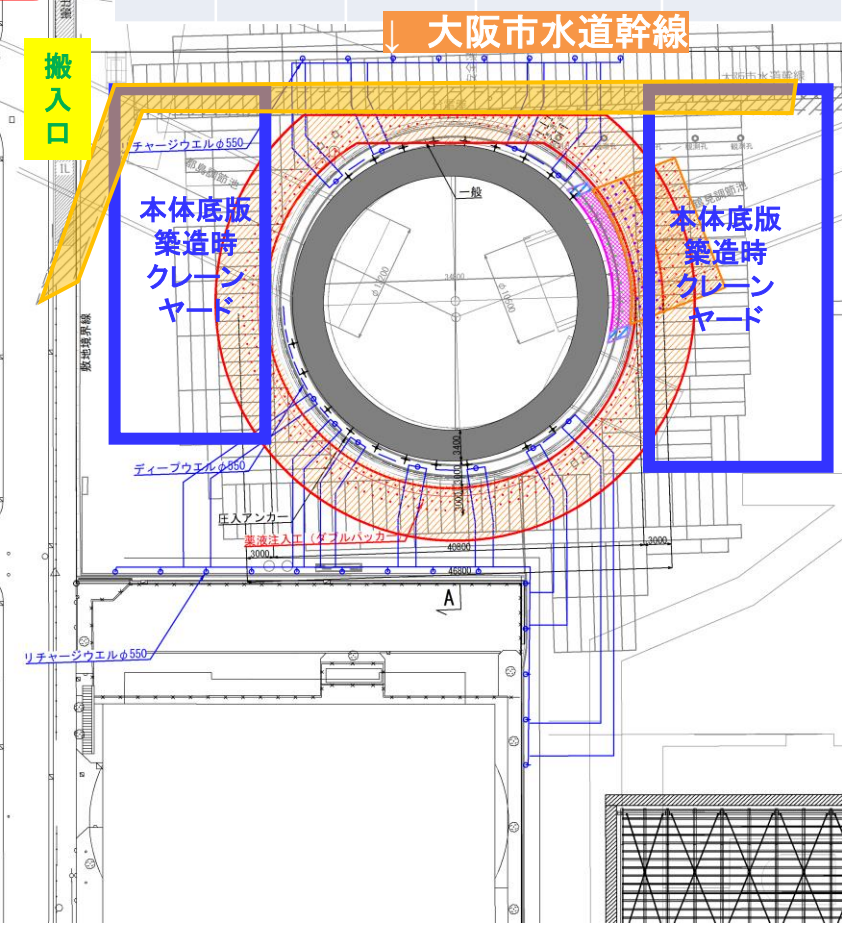


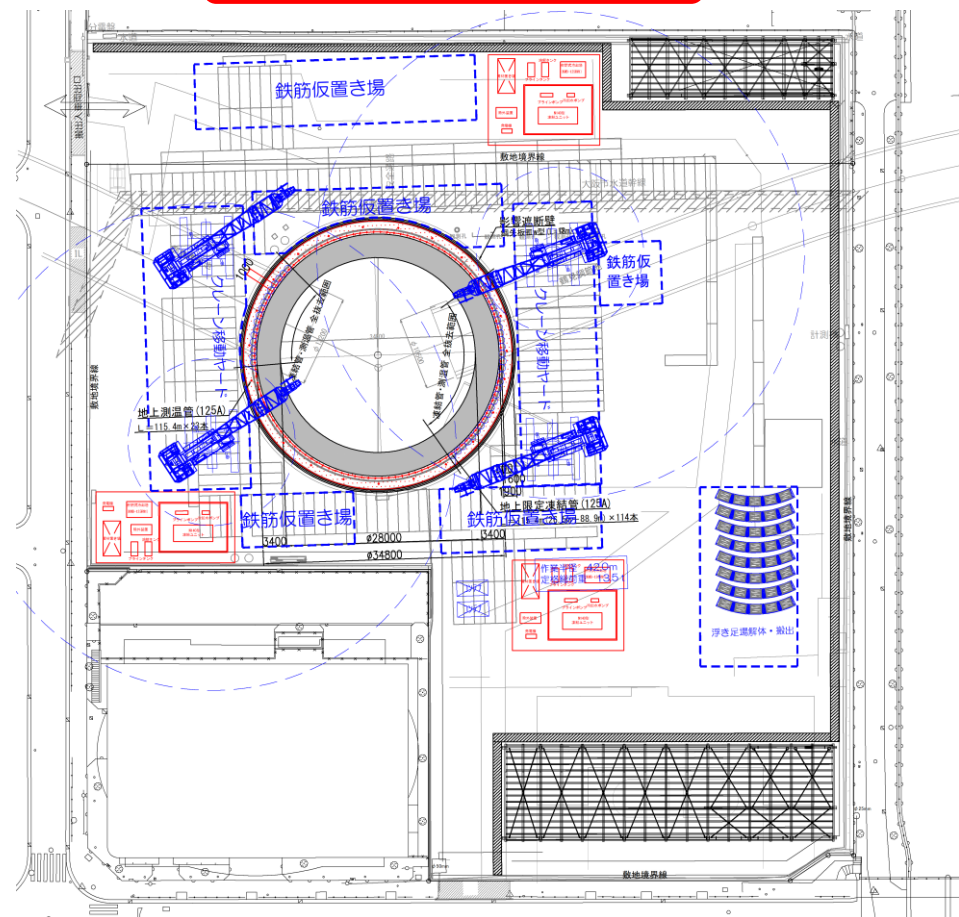
図 壁厚6m案(今回案)

# (参考資料)地下水流入抑制工法の選定

## B案 地盤凍結工法の資機材配置計画

地盤凍結工法の施工中の資機材配置は以下のとおり

### 本体底版鉄筋組立時



### 本体底版コンクリート打設時

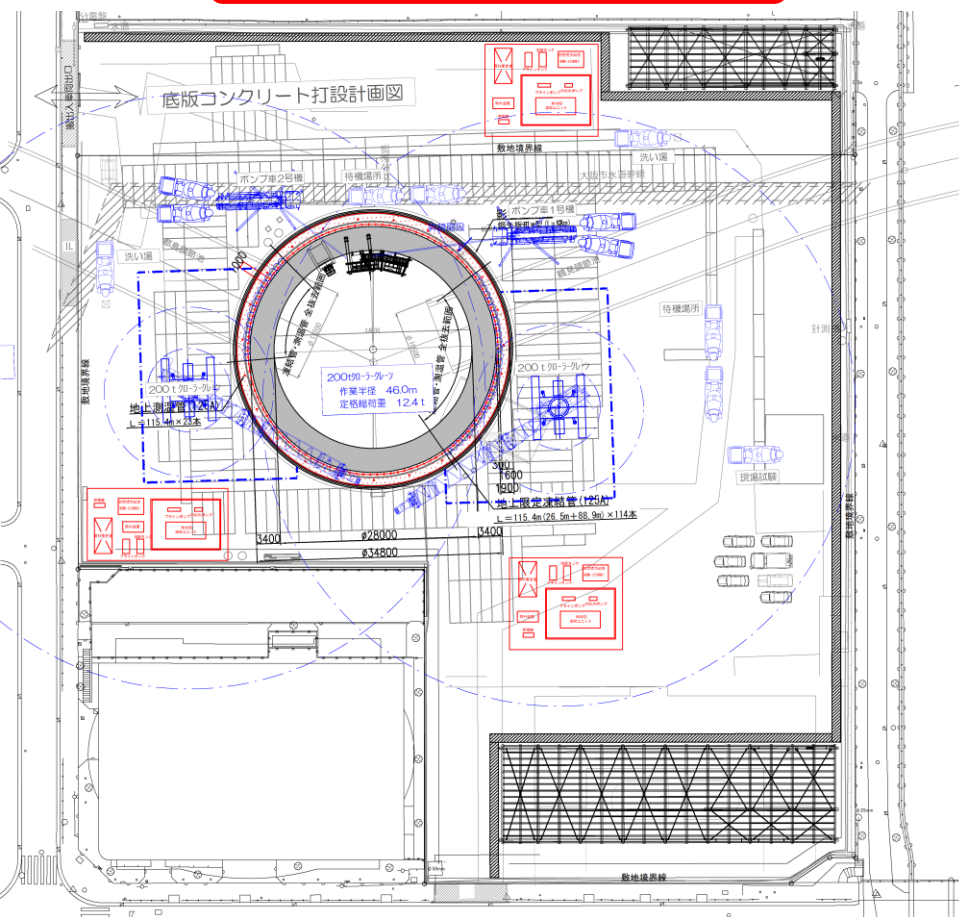


図 凍結工法の本体底版施工計画平面図

# (参考資料)地下水流入抑制工法の選定

## 地盤凍結工法における施工管理 ①「事前調査」の補足

地盤凍結工法を採用するにあたり事前調査が必要な項目は次のとおり。

表 事前調査項目

| 調査項目        | 調査内容                                                                               | 追加調査の必要性                                        |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1)Os4層の範囲確認 | <u>凍結工法の施工範囲(深さ方向)を確定するために、新たに5箇所</u> のボーリング調査を行いOs4層等の範囲を事前に調査する。                 | <b>必要</b><br>(既往データは1箇所しかなく、地盤の傾斜を考慮すると追加施工が必要) |
| 2)地下水位の継続監視 | 既設のOs1～4層の観測井に加え、 <u>Os5層の地下水位を観測する井戸を設置し、施工前の地下水位を調査</u> することで、施工前後の変位を確認する。      | <b>必要</b><br>(遮水層株の影響を見るためにOs5層の水位観測が必要)        |
| 3)OS4層の流速確認 | 凍結工法は、地下水の流速が大きい場所では採用できない。<br>既往調査結果から、Os4層の流速を確認し、 <u>凍結工法が採用可能な流速であるか確認</u> する。 | <b>不要</b><br>(既往データで確認)                         |

# (参考資料)地下水流入抑制工法の選定

## 地盤凍結工法における施工管理 ①「事前調査」

城北立坑ヤード内でOS4層の地下水の流速を既往成果により確認した結果、  
地盤凍結工法の採用に問題がないことを確認した。なお、施工前に改めて確認する。

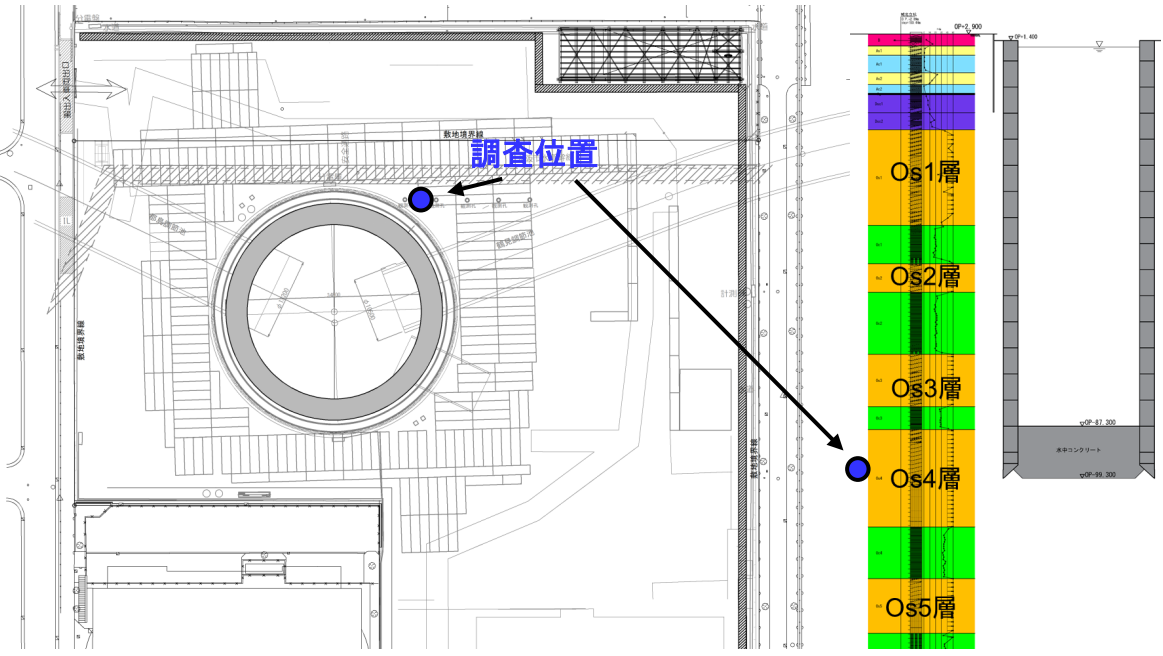


図 調査箇所図

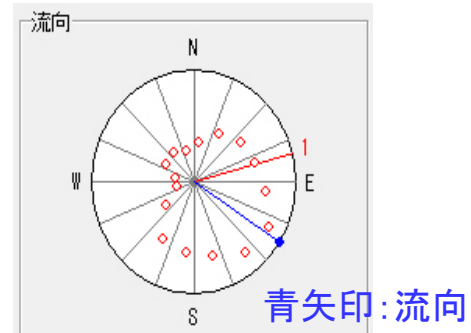


図 流向の観測結果

表 調査結果

| 調査地点 | 測定深度     | 流向  | 流速      |
|------|----------|-----|---------|
| OS4層 | GL-98.0m | 東南東 | 0.26m/日 |

【凍結工法の許容限界流速との比較】  
0.26 m/日 < 0.52m/日 ……OK

# (参考資料)地下水流入抑制工法の選定

## 地盤凍結工法における試験施工の必要性

凍結速度、凍結不可、温度分布、解凍速度は、熱伝導方程式を用いて求まる理論値と、実験及び実施工の値はほぼ一致する。そのため、**凍結工法採用時は試験施工を必要としない。**

### 1 土の熱的性質

凍結工法を施工する地盤の多くは飽和状態であるため、砂質土及び粘性土といった土質による熱定数の違いを容積含水率 $P$  (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)によって表すことができます。  
また地中温度は $\theta_{\infty}=+18^{\circ}\text{C}$ 前後が一般的であり、初期地中温度が高いほど、凍結日数及び負荷が多くなります。

●飽和土の熱的性質表 (一例)

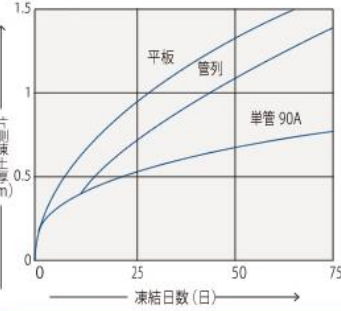
| 容 積<br>含 水 率<br>$P$ (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ) | 密 度<br>(kg/m <sup>3</sup> ) |          | 比 熱<br>(kJ/kg $^{\circ}\text{C}$ ) |        | 熱伝導率<br>(W/sm $^{\circ}\text{C}$ ) |             | 温度伝播率<br>(m <sup>2</sup> /s) |                         | 凍結潜熱<br>(kJ/kg) |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------|----------|------------------------------------|--------|------------------------------------|-------------|------------------------------|-------------------------|-----------------|
|                                                       | $\rho_2$                    | $\rho_1$ | $C_2$                              | $C_1$  | $\lambda_2$                        | $\lambda_1$ | $K_2$                        | $K_1$                   |                 |
| 0.6                                                   | 1720.0                      | 1649.0   | 2.0599                             | 1.2969 | 1.4249                             | 2.6904      | $4.0216 \times 10^{-7}$      | $1.2580 \times 10^{-6}$ | 121.09          |

(添字 1: 凍結後 2: 凍結前)

### 2 凍結速度と負荷

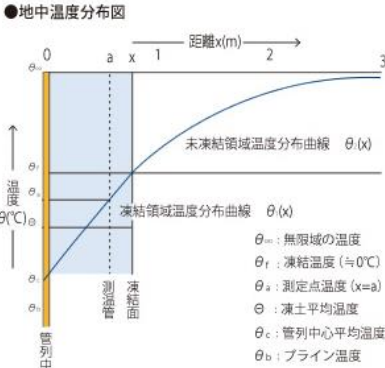
凍土は冷却時間の過程に伴い成長し、凍結負荷は凍土の成長に伴い減少します。凍結速度と負荷は平板理論、単管理論、管列理論で求められます。一般に用いる管列凍結様式では、凍結仕様(凍結管径、埋設間隔、冷却温度)によって凍結速度と負荷も変化しますので、凍結仕様は任意に選定できますが、凍結管径90A、埋設間隔0.8m、冷却温度-25 $^{\circ}\text{C}$ を標準仕様としています。

●凍結速度  
<凍結速度>  $P=0.6\text{m}^3/\text{m}^3$   $\theta_{\infty}=18^{\circ}\text{C}$   $\theta_b=-25^{\circ}\text{C}$



### 3 地中温度分布

凍結中の地中温度分布も平板及び単管理論で求められます。凍結領域の分布曲線はほぼ直線となりますので、凍土造成範囲の把握、造成凍土の平均温度の算定が正確に行えます。



### 4 解凍速度

冷却停止後の凍土についても、強制解凍速度及び負荷は凍結理論の裏返しとして、自然解凍速度は一次元解凍理論で求められます。冷却停止時の解凍厚さはそれまでの冷却期間に依存します。

### 5 凍土の強度

凍土の一軸圧縮強度は、未凍結時に数kN/m<sup>2</sup>の軟弱土であっても凍結すると、-10 $^{\circ}\text{C}$ で4,000 ~ 12,000kN/m<sup>2</sup>の強度を持つようになります。凍土の設計基準強度はこの一軸圧縮試験結果を基に凍土の力学的性質・塩分含有に対する性質等を考慮し下表のように設定しています。一般的に、凍土の強度は圧縮、剪断、曲げともに温度が低くなるほど、また同一温度では構成土粒子が大きくなるほど増加します。

●凍土の設計基準強度

|                        | 粘性土   | 砂質土   |
|------------------------|-------|-------|
| 圧縮強度 kN/m <sup>2</sup> | 3,000 | 4,500 |
| 剪断強度 kN/m <sup>2</sup> | 1,500 | 1,800 |
| 曲げ強度 kN/m <sup>2</sup> | 1,800 | 2,700 |

(凍土温度 -10 $^{\circ}\text{C}$  塩分濃度 0%)

●一軸圧縮強度図

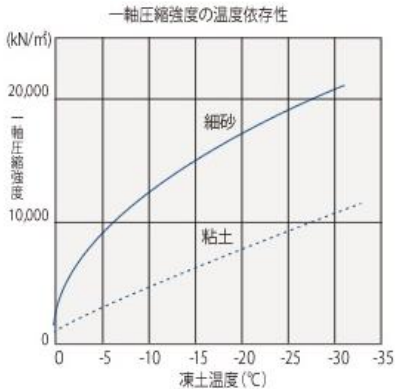


図 地盤凍結工法協会カタログより抜粋