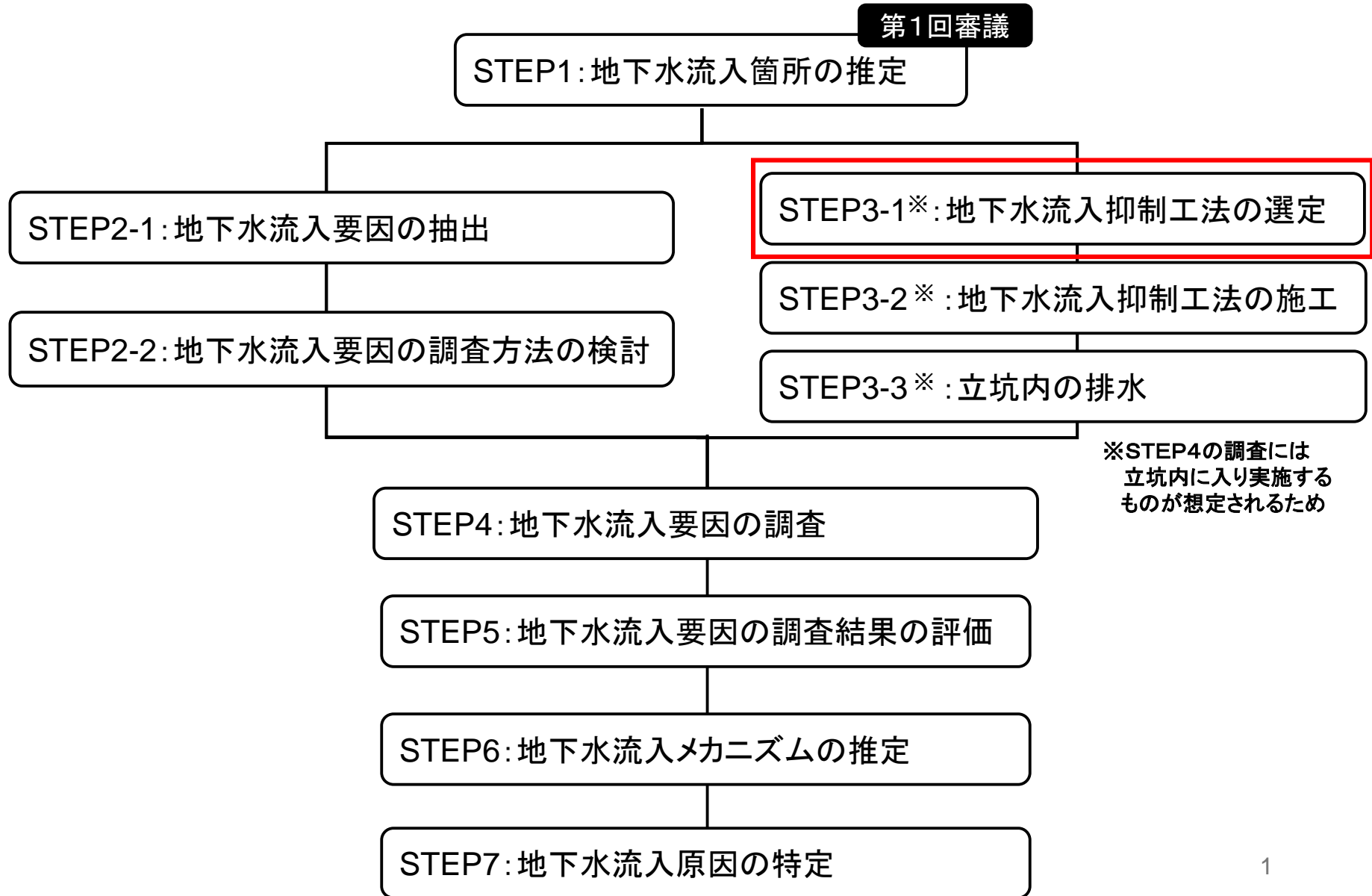


令和8年度 第2回 大阪府河川構造物等審議会

【資料4】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



地下水流入抑制工法の選定

地下水の流入を抑制・遮断する方法の抽出

第1回審議会資料7 再掲

	立坑内部からの施工	立坑外部からの施工
<p>直接止水</p> <p>ケーソン底部付近の地下水流入箇所を直接止水</p>	<p>ケース1</p> <p>水中施工により地下水流入箇所に止水系材料を直接施工。</p>	<p>ケース2</p> <p>立坑の外側を削孔し、地下水流入箇所に止水系材料を直接施工。</p>
<p>止水壁</p> <p>地下水が流入する土層に止水壁を設置</p>	<p>ケース3</p> <p>水中施工により水中コンクリートを貫通削孔し、水中コンクリートの下部に止水壁を設置。</p>	<p>ケース4</p> <p>立坑の外側を削孔し、地下水が流入する土層に止水壁を設置。</p>
<p>地下水位制御</p> <p>地下水排水施設と地下水還元施設を設置し、地下水位を制御</p>	<p>ケース5</p> <p>立坑内に地下水排水施設を設置し、立坑内の水を排水。排水により、地下水位が低下する土層に、地下水還元施設を設置し、地下水位を強制的に回復。</p>	<p>ケース6</p> <p>立坑外に地下水排水施設を設置し、立坑内の水を排水。排水により、地下水位が低下する土層に、地下水還元施設を設置し、地下水位を強制的に回復。</p>

地下水流入抑制工法の選定

対策工法の選定方針

1次選定においては、ケース1からケース6のそれぞれを、
①実現性、②効果の確実性 の視点から選定する。
2次選定においては、選定されたケースに対して具体的な工法により、
③リスク対応、④コスト(費用・施工期間) の視点を加えて選定する。

■評価の視点

【1次選定の視点】

- ① 実現性
 - ・ 施工の難易度 ・ 本体構造への影響
 - ・ 施工ヤードの確保 ・ 大深度での施工実績

- ② 効果の確実性
 - ・ 安全性(周辺への影響) ・ 止水効果の確実性
 - ・ 後工事への影響

1次選定したケースの
各工法を整理

【2次選定において新たに考慮する視点】

- ③ リスク対応
 - ・ 想定外の地下水流入 ・ その他

- ④ コスト
 - ・ 工事費用 ・ 施工期間

地下水流入抑制工法の選定

対策工法の1次選定

実現性、効果の確実性の視点から各ケースを比較しケース4を選定

対策工法		【実現性】				【効果の確実性】			【城北立坑での適用】	備考
ケース	対策	施工の難易度	本体構造への影響	施工ヤードの確保	大深度での実績	安全性(周辺への影響)	止水効果の確実性	残工事への影響		
1	立坑内部からの直接止水	水中施工不可			港湾工事 で実績有	施工時に 水位を下 げる必要 有	漏水箇所 の増加に 対応不可	止水材が突出 する場合は底 盤と干渉	× 実現性 無	漏水原因 の特定に 支障
2	立坑外部からの直接止水	改良不可			実績なし		漏水箇所 の増加に 対応不可		× 実現性 無	
3	立坑内部からの止水壁		水中コンクリートの耐力低下		実績なし		薬液注入 では止水 不可	凍結工法の場 合は底盤の施 工の支障	× 実現性 無	
4	立坑外部からの止水壁				リニア中央 新幹線で 実績有			凍結工法の場 合は後工事 対策が必要	○	
5	立坑内部からの地下水制御			ヤード不足	水流入時 の実績 なし	水位低下 に対する試 験施工が 必要	-	排水ポンプが 底盤の施工に 支障	× 実現性 無	
6	立坑外部からの地下水制御			ヤード不足	リニア中央 新幹線で 実績有	水位低下 に対する試 験施工が 必要	-		× 実現性 無	

地下水流入抑制工法の選定

対策工法の1次選定

各ケースの選定要因は以下のとおり

	直接止水			
	ケース1「立坑内部からの施工」		ケース2「立坑外部からの施工」	
【対策方法(イメージ)】				
【対策概要】	水中施工により地下水流入箇所に止水系材料を直接施工		立坑の外側で削孔し、地下水流入箇所に止水系材料を直接施工	
【実現性】 ・施工の難易度	90mの高水圧環境での水中施工となり、作業時間の確保が困難である。 (水位を下げる工法との併用が必要)		×	100m以上の深度での掘削精度および壁厚が大きいことから、漏水箇所を狙った改良は施工が困難(止水剤等が届かない)
【実現性】 ・本体構造への影響	影響なし		○	影響なし
【実現性】 ・施工ヤードの確保	問題なし		○	問題なし
【実現性】 大深度での施工実績	立坑では施工実績はないが、ダムや港湾工事などで同様の工事実績あり		○	施工実績なし
【効果の確実性】 ・周辺への影響	単独で水中施工を実現する際は、立坑内水位を下げる必要があることから、周辺地下水を下げることで周辺への影響が大きい。		×	周辺への影響なし
【効果の確実性】 ・止水の確実性	施工の難易度が高く、確実な止水が困難 ピンポイントの施工では漏水箇所の増加に対応できない		×	止水剤が届かず止水が困難 ピンポイントの施工では漏水箇所の増加に対応できない
【効果の確実性】 ・残工事への影響	止水材料等が水中コンクリート上に突出する場合は、底盤コンクリート断面が縮小する。		×	影響なし
【想定される工法】 (城北立坑への適用)	<ul style="list-style-type: none"> ・止水ゴム設置 ・コンクリート打設による閉塞 (漏水原因の特定に支障あり) 		<ul style="list-style-type: none"> × × 	<ul style="list-style-type: none"> ・薬液注入工法 ・高圧噴射攪拌工法 ・凍結工法

地下水流入抑制工法の選定

対策工法の1次選定

各ケースの実現性を以下のとおり整理した。

	止水壁			
	ケース3「立坑内部からの施工」		ケース4「立坑外部からの施工」	
【対策方法(イメージ)】				
【対策概要】	水中施工により水中コンクリートを貫通削孔し、水中コンクリートの下部に止水壁を設置		立坑の外側で削孔し、地下水が流入する土層に止水壁を設置	
【実現性】 ・施工の難易度	施工は可能だが、一部水中施工を伴うことが課題。	○	施工は可能だが、100m以上の深度の削孔精度で、連続した改良体を構築する必要有	○
【実現性】 ・本体構造への影響	<u>水中コンクリートをケーソン壁面から縁切りするような削孔を行うため、水中コンクリートの耐力が低下する</u>	×	本体構造への影響なし	○
【実現性】 ・施工ヤードの確保	問題なし	○	問題なし	○
【実現性】 ・大深度での施工実績	施工実績なし	×	薬液注入の実績あり (リニア中央新幹線名城立坑工事)	○
【効果の確実性】 ・周辺への影響	影響なし	○	影響なし	○
【効果の確実性】 ・止水の確実性	<u>本体構造への影響を避けるため薬液注入や地中連続壁を採用した場合は、地下水流入経路を新たに作ることで止水が困難</u>	工法による	工法によって異なるが、確実な止水も可	工法による
【効果の確実性】 ・残工事への影響	<u>凍結工法の場合は凍結管が底盤施工の支障となる</u>	工法による	<u>凍結工法の場合は凍結管の引き抜きが困難になるとシールド工に影響する。</u> <u>解冻後の沈下対策が必要</u>	工法による
【想定される工法】 (城北立坑への適用)	<ul style="list-style-type: none"> ・薬液注入工法(止水の確実性×) ・高圧噴射攪拌工法(大深度は不可) ・凍結工法(本体構造への影響×) ・地中連続壁工法(止水の確実性×) 	<ul style="list-style-type: none"> × × × × 	<ul style="list-style-type: none"> ・薬液注入工法 ・高圧噴射攪拌工法(大深度は不可) ・凍結工法 ・地中連続壁工法 	<ul style="list-style-type: none"> ○ × ○ ○

地下水流入抑制工法の選定

対策工法の1次選定

各ケースの実現性を以下のとおり整理した。

	地下水制御			
	ケース5「立坑内部からの施工」		ケース6「立坑外部からの施工」	
【対策方法(イメージ)】				
【対策概要】	立坑内に地下水排水施設を設置し、立坑内を排水。排水により、地下水位が低下する土層には、地下水還元施設を設置し、地下水位を強制的に回復		立坑の外側に地下水排水施設を設置し、立坑内への地下水流入を防ぐ。排水により、地下水位が低下する土層には、地下水還元施設を設置し、地下水位を強制的に回復	
【実現性】 ・施工の難易度	施工は可能だが、排水と復水により、周辺地下水位に影響せず低下できるか課題(止水壁との併用が必要)	○	施工は可能だが、排水と復水により、周辺地下水位に影響せず低下できるか課題(止水壁との併用が必要)	○
【実現性】 ・本体構造への影響	現存の構造物への影響はない	○	本体構造への影響なし	○
【実現性】 ・ヤードの確保	<u>大量のポンプを設置する必要があり、ヤード内での施工が困難</u>	×	<u>大量のポンプを設置する必要があり、ヤード内での施工が困難</u>	×
【実現性】 大深度での施工実績	水中コンクリートから流入がある中での実績なし	×	地中連続壁との組合せ実績はあり((リニア中央新幹線名城立坑工事)	○
【効果の確実性】 ・周辺への影響	リチャージウェルをすることで地下水位低下の影響は押さえられるが、試験施工が必要		リチャージウェルをすることで地下水位低下の影響は押さえられるが、試験施工が必要	
【効果の確実性】 ・止水の確実性	—		—	
【効果の確実性】 ・残工事への影響	排水ポンプは稼働し続けるため、 <u>ポンプが支障となり、底版コンの構築が困難</u>	×	影響なし	○
【想定される工法】 (城北立坑への適用)	<u>・立坑内排水ポンプ、リチャージウェル工法</u>	×	<u>・ディープウェル工法、リチャージウェル工法</u>	×

地下水流入抑制工法の選定

対策工法の1次選定

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 水中施工不可	× 不可 水位を下げると周辺影響あり 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 止水剤が漏水箇所に届かない	× 不可 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 水中コンクリートの耐力低下	× 不可 薬液注入では止水不可 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 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 ヤード不足	× 不可 水位低下に対する試験施工が必要 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 ヤード不足	○ 可 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
- ・高圧噴射攪拌工法
- ・凍結工法
- ・地中連続壁工法

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

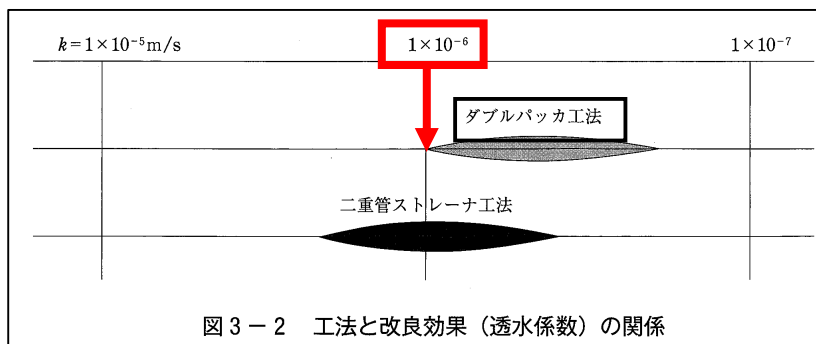
各工法が単独での施工が可能か整理した結果、以下の3案を1次選定結果として選定した。

A案: 薬液注入工法(+ディープ・リチャージウェル)

B案: 凍結工法

C案: 地中連続壁

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) ※水頭差が最大となる状態	単独での採用	備考	
薬液注入	可	10^{-6} m/s	約6 m^3 /分 ↳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
高圧噴射攪拌工法	不可	-	-	-	-	
凍結工法	可	10^{-14} m/s	無し	可		B案
地中連続壁	可	10^{-8} m/s	約0.2 m^3 /分 ↳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



・凍結工法の透水係数は、メーカーヒアリングにより設定

2-1 ソイルセメントの品質管理基準	
本工法の品質管理は、掘削溝への充填性及び遮水性及び側圧に対する必要軸圧縮強度を考慮して、下記の品質管理基準を標準とする。	
(1) 軸圧縮強度	通常設計基準強度(0.5N/mm ²) (ただし、設計基準強度及び安全率:通常1.5~2.0は、設計者が判断するものとする)
(2) フロー値	160~300mm
(3) フリージング率	1%未満 (ただし、原土が海水混じり等の特殊な土質の場合は、設計者と協議するものとする)
(4) 透水係数	1×10^{-8} (m/sec) 程度 : 旧表示では 1×10^{-6} (cm/sec) 程度

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)

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)

地下水流入抑制工法の選定

対策工法の1次選定結果

1次選定の結果を踏まえ、下記の工法について、概略検討を行う。

A案: 薬液注入工法(+ディープ・リチャージウェル)

B案: 凍結工法

C案: 地中連続壁

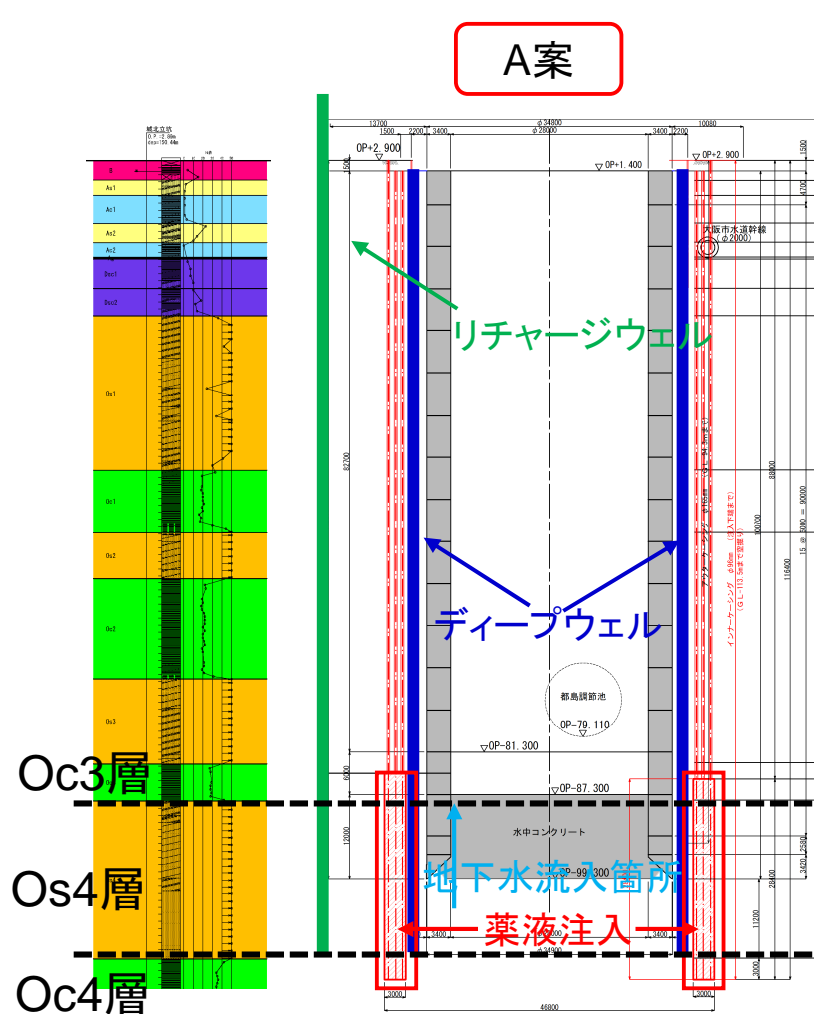


図4-4 薬液注入+DW併用案の断面図

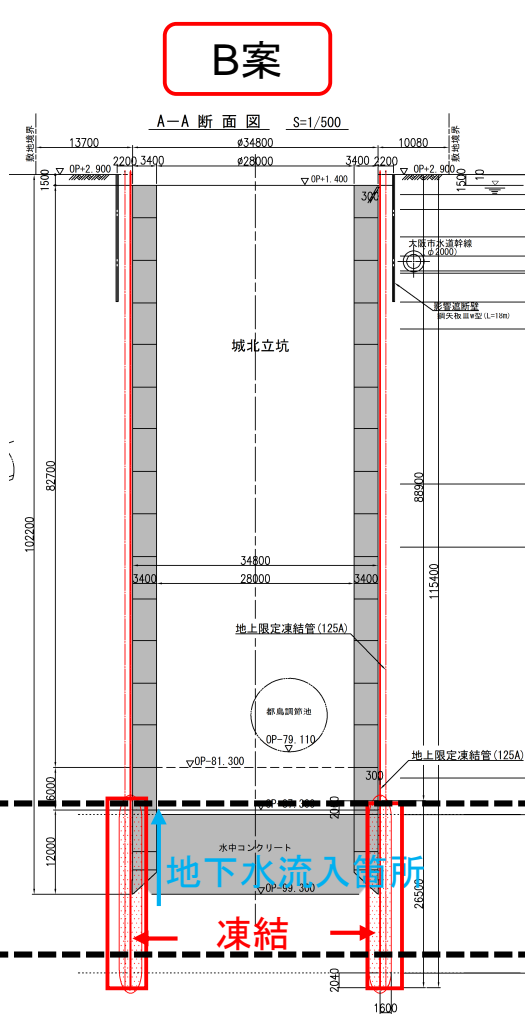


図4-5 凍結工法の断面図

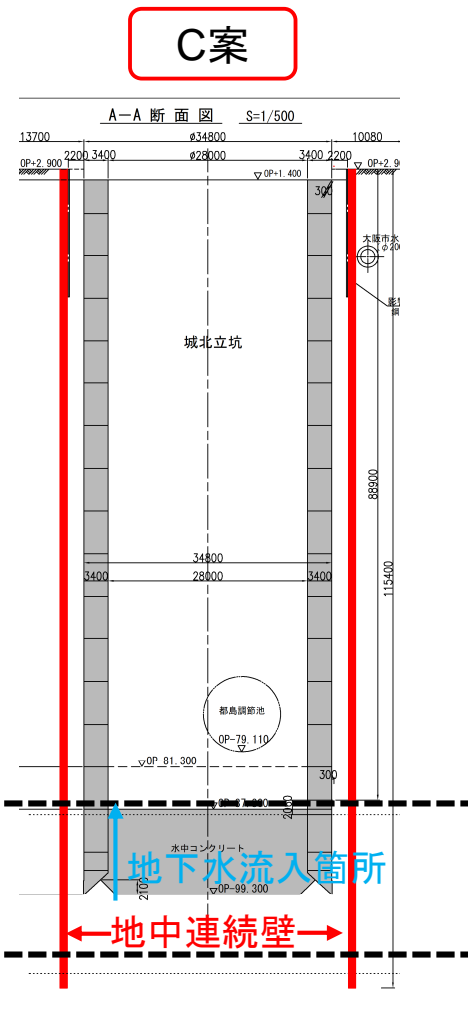


図4-6 地中連続壁+DW併用案の断面図¹¹

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

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 1×10^{-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 $6\text{m}^3/\text{分}$ 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($\phi 550$)とリチャージウェル計44箇所($\phi 550$)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)

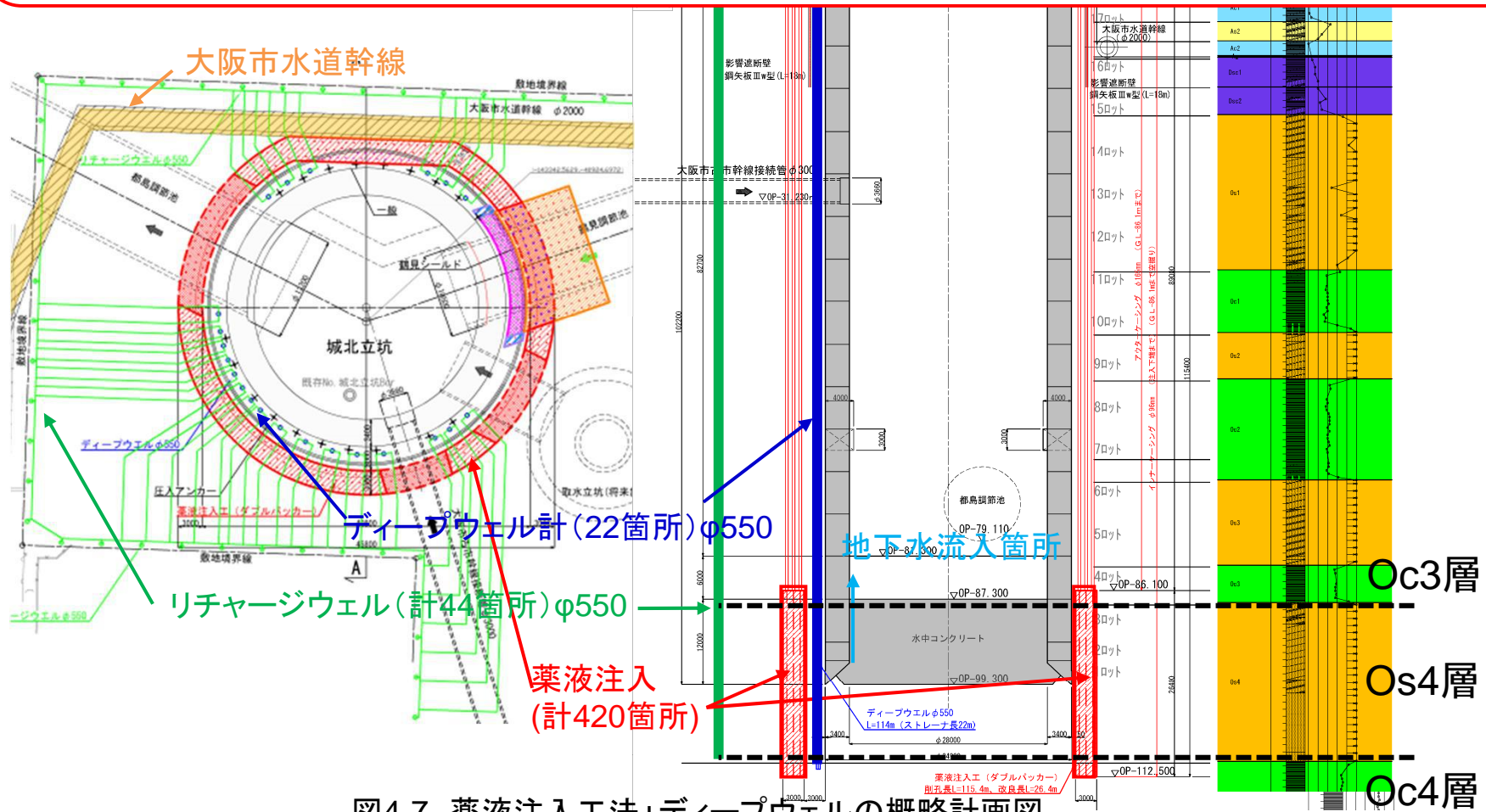


図4-7 薬液注入工法+ディープウェルの概略計画図

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

①工事概要

(1)薬液注入

- ・過去の大深度実績に加え、大阪市水道幹線との近接施工を考慮し、3列配置して薬液注入を行う。(改良幅3m=420本程度)
- ・鉛直精度を保つため、上部掘削は中口径のケーシングで削孔し、その中を注入部まで小口径のケーシングで削孔する(全油圧式ロータリパーカッションドリル)
- ・注入部は小口径のケーシング内にマンシエツチューブを挿入し、ケーシング引き抜き後、一次注入、二次注入を実施する
- ・マンシエツチューブについては、一般部は鋼管、シールド通過部は塩ビ製とする

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

①工事概要

(2)ディープウェル+リチャージウェル

- ・薬液注入による止水壁の透水性を $10^{-6}m/s$ とした場合、最大浸透量は約 $6m^3/分$

表 止水壁からの地下水浸透量(最大)

		薬液注入により期待する透水性(m/s)		
		$1 \times 10^{-6}m/s$	$5 \times 10^{-6}m/s$	$1 \times 10^{-7}m/s$
止水壁厚	3m	6.24m ³ /分	3.12m ³ /分	0.62m ³ /分
	4m	4.68m ³ /分	2.34m ³ /分	0.47m ³ /分
	5m	3.74m ³ /分	1.87m ³ /分	0.37m ³ /分

表 ディープウェルの設置数

地山透水性k		1.2.E-05	6.0.E-06
		地山の透水性	薬液注入の回り込みを想定
ストレーナ長h(m)		20m	
井戸効率 η		0.6	
井戸半径r(m)	0.075m	78.4L/分 80本	55.4L/分 113本
	0.100m	104.5L/分 60本	73.9L/分 84本
	0.275m	287.3L/分 22本	203.2L/分 31本

- ・浸透量に対して、 $\phi 550mm$ ディープウェル22本+リチャージウェル44本程度設置する
- ・井戸の掘削は、大口徑から段掘りして掘削する予定

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

②施工期間

(1)薬液注入

- ・420本程度の削孔をマシン6台で掘削する計画

(2)ディープウェル+リチャージウェル

- ・φ550mmの100m超の大深度井戸を設置するためにはオールケーシングなどで段掘りしての施工となる(3台程度掘削を想定)

(3)概略工期

- ・薬液注入工 約10ヶ月
- ・ディープウェル・リチャージウェル 約9ヶ月
- ・合計 約19カ月

③概算工事費(直接工事費)の内訳

- ・薬液注入工 約31億円
- ・水位制御工(ディープウェル+リチャージウェル) 約26億円
- ・合計 約57億円

④課題

- ・ディープウェル・リチャージウェルの本数が非常に多く現実的な配置にならない
- ・リチャージウェルについては、城北立坑で適用可能か試験施工を行う必要あり

地下水流入抑制工法の選定

B案 凍結工法の概略検討結果

確実な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)の粘性土の一部を凍結させることで、地下水の流入を完全に遮断する。一方で粘土層が凍結後に自然解凍することで、沈下を生じるため、シールド影響部は強制解凍により沈下を制御する必要がある。

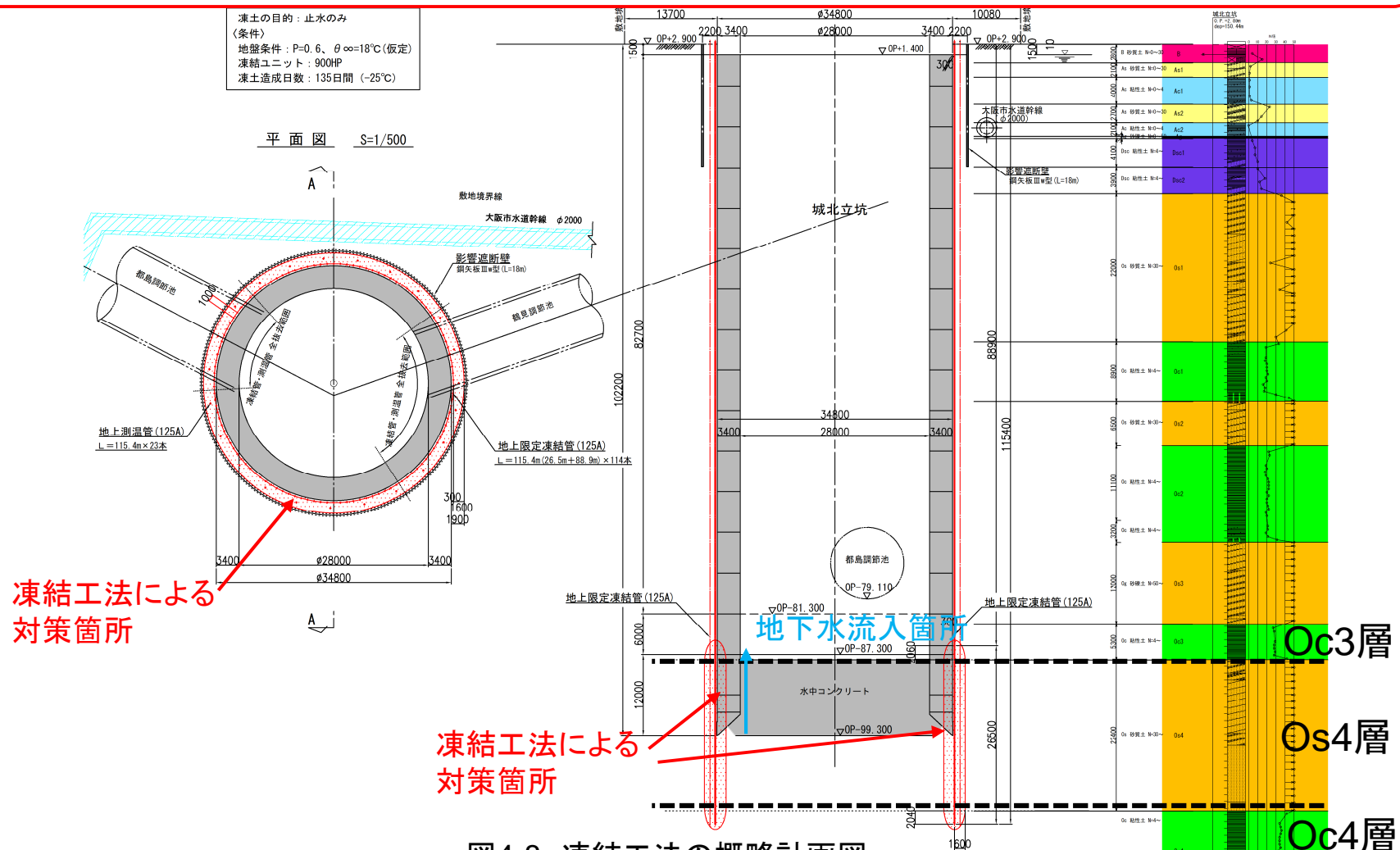


図4-8 凍結工法の概略計画図

地下水流入抑制工法の選定

B案 凍結工法の概略検討結果

①工事概要

(1) 止水壁

- ・凍結工法により立坑に沿って凍土壁を構築する(凍結管114本)
- ・鉛直精度を保つため、掘削は中口径ケーシングで削孔し、その中に小口径の凍結管を挿入する
- ・シールド影響部分の凍結管は全て引抜き撤去する(影響部以外は頭部切断後、存置)
- ・鶴見調節池シールド影響部は強制解凍を行った上で凍結管を引抜き撤去する。
- ・透水係数は透水係数 10^{-14} m/s程度であるため、地下水流入を完全に遮断する。

②施工期間

- ・凍土壁構築までに約14ヶ月
- ・立坑内(本体底版)構築まで、約9ヶ月維持運転が必要

③概算工事費の内容

- ・凍土壁築造+維持運転 約35億円
- ・凍結管が抜けなかった場合のオールケーシングによる強制引抜き 約9億

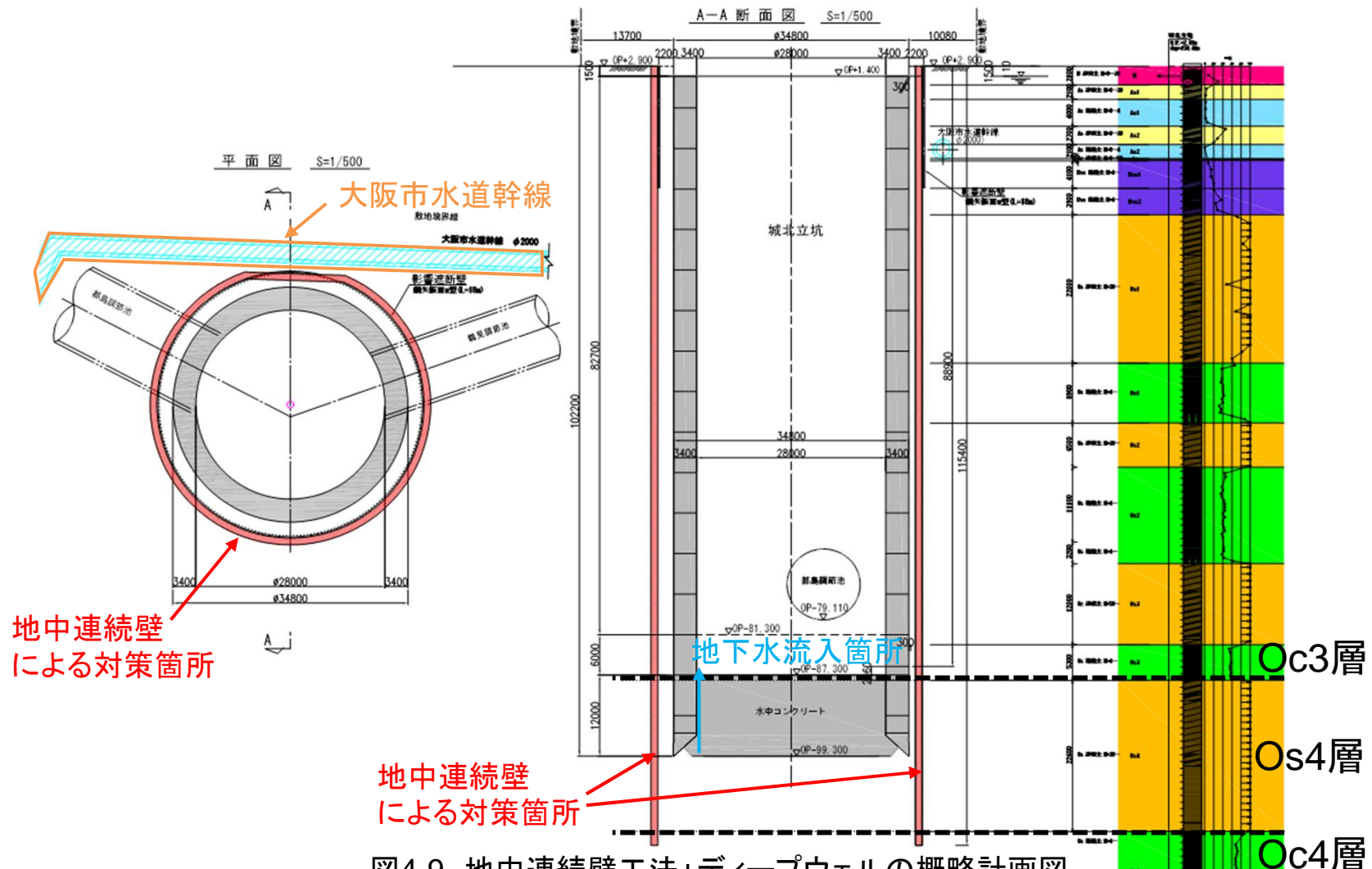
④課題

- ・自然解凍の場合は、特に鶴見調節池シールド施工中に沈下リスクがあることから強制解凍が必要。
- ・シールド影響部の凍結管が抜けない場合は、オールケーシング工法等で掘削して撤去が必要。

地下水流入抑制工法の選定

C案 地中連続壁工法の概略検討結果

止水性を確保するため下部(Oc4層)の粘性土に地中連続壁を貫入し、地下水の流入を抑制する。
掘削機による施工中に大阪市水道幹線との近接施工となるため防護工等の対策が必要



地下水流入抑制工法の選定

C案 地中連続壁工法の概略検討結果

①工事概要

(1) 止水壁

- ・ 地中連続壁を止水壁として、掘削土を再利用し立坑周辺にソイルセメント壁を構築する (深度115m)
- ・ 掘削機については100m超の大深度に対応可能な水平多軸回転掘削機を用いて、壁厚1.0m程度の止水壁を構築する
- ・ 透水係数は透水係数 10^{-8} m/s程度であるため単独での止水が可能。
- ・ 沖積層の孔壁の防護工としてソイルセメント柱列壁を15m程度構築する
- ・ 地中連続壁による止水壁の透水係数を 10^{-8} m/sとした場合、最大浸透量は約0.2m³/分であることから、必要に応じてポンプ排水等の併用が必要

表 止水壁からの地下水浸透量(最大)

		地中連続壁により期待する透水係数 (m/s)
		1×10^{-8} m/s
止水壁厚	1.0m	0.18m ³ /分

地下水流入抑制工法の選定

C案 地中連続壁工法の概略検討結果

②施工期間

- ・約17ヶ月

③概算工事費の内容

- ・地中連続壁 約53億円

④課題

- ・北側の影響遮断矢板と接触するため一部撤去する必要がある
- ・地中連続壁築造時には大阪市水道管と近接施工となるため、防護工の対策が必要
- ・大深度掘削可能な掘削機を2台確保するために時間を要する。
(施工業者へのヒアリングにおいては、他で使用中のため、機械の調達に時間を要するとの回答もあった)

地下水流入抑制工法の選定

対策工法の2次選定

各工法の選定を行った結果、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、リスク対応も可能な凍結工法を採用(案)とした。

項目	A案:薬液注入工法 (+DW、リチャージウェル)	B案:凍結工法	【C案:地中連続壁工法】
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
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・透水係数10^{-6}m/s ・止水壁からの地下水浸透を考慮しディープウェル併用 ・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 	<ul style="list-style-type: none"> ・透水係数10^{-14}m/s ・止水性能が最も高く単独で採用可。 ・シールド工事時に支障となるリスクへの対応が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ・透水係数10^{-8}m/s ・止水性能が高く単独での採用可 ・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

地下水流入抑制工法の選定

対策工法の2次選定

各工法の選定を行った結果、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、リスク対応も可能な凍結工法を採用(案)とした。

【評価指標】 実現性	【A案:薬液注入工法】 (+DW、リチャージウェル)	【B案:凍結工法】	【C案:地中連続壁工法】
施工の難易度	施工可能	施工可能	施工可能
本体構造への影響	影響なし	影響なし	影響なし
施工ヤードの確保	<u>ディープウェル及びリチャージウェルのため66箇所の井戸を設置する必要があり、配管等を考慮するとヤードが足りず実際の施工は困難</u>	ヤード内で施工可	ヤード内で施工可 (※ <u>大阪市水道幹線との近接施工に対し防護工の対策が必要</u>)
大深度での施工実績	実績あり (※リチャージウェルは試験施工が必要)	実績あり	実績あり
【実現性の評価】	<u>×</u> (<u>施工ヤードが確保できず採用不可</u>)	<u>○</u> (<u>大きな課題無し</u>)	<u>○</u> (<u>大きな課題無し</u>)

地下水流入抑制工法の選定

対策工法の2次選定

各工法の選定を行った結果、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、リスク対応も可能な凍結工法を採用(案)とした。

【評価指標】 効果の確実性	【A案:薬液注入工法】 (+DW、リチャージウェル)	【B案:凍結工法】	【C案:地中連続壁工法】
安全性(周辺への影響)	<u>ディープウェル使用時に周辺の地下水を低下する恐れがあるが、リチャージウェルで対応可</u> (※リチャージウェルは試験施工が必要)	<u>地下水への影響は無いが、自然解凍時に凍結直上の地表面が沈下する恐れがあるが、約2mm程度と影響は小さい。</u>	完全には止水できないことから、 <u>周辺の地下水を低下する恐れがあるが、リチャージウェルとの併用で対応可</u>
止水効果の確実性	止水壁の透水係数が 10^{-6} m/sであるが、ディープウェルとの併用が必要	<u>止水壁の透水係数が10^{-14}m/sと最も優れており、単独での使用ができる。</u>	止水壁の透水係数が 10^{-8} m/sであるため止水性が高く、湧水量もポンプ排水で対応可能
後工事への影響	無し	<u>凍結管を引き抜けない場合は、オールケーシング等により引き抜くことで対応可能</u> <u>粘土層を凍結するためシールド施行箇所の沈下が約20mm程度想定されるが、強制解凍により沈下の制御が可能</u>	無し
【効果の確実性の評価】	○ <u>(周辺への影響も対応可、止水効果は劣るが、後工事への影響も無い)</u>	○ <u>(周辺への影響が小さく、止水効果も最も高い。シールド工事へ影響にも対応可能)</u>	○ <u>(周辺への影響も対応可、止水効果も高く、後工事への影響もない)</u>

地下水流入抑制工法の選定

対策工法の2次選定

各工法の選定を行った結果、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、リスク対応も可能な凍結工法を採用(案)とした。

【評価指標】 リスク対応 ・コスト	【A案：薬液注入工法】 (+DW、リチャージウェル)	【B案：凍結工法】	【C案：地中連続壁工法】
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	止水壁表面からの地下水流入が 無いことから、ポンプ排水により対 応可	ディープウェルを設置することで対 応が容易
その他	-	-	掘削機の調達に時間を 要する見込み(ヒアリング)
【リスク対応 の評価】	<u>○</u> (リスクへの対応可)	<u>○</u> (リスクへの対応可)	<u>○</u> (リスクへの対応可)
工事費用 (直接工事費)	薬液注入工 約31億円 ディープウェル等 約29億円 合計 約60億円	凍結工 約35億円 凍結管の強制引抜きが必要な 場合は+約9億円	地中連続壁工 約53億円
施工日数 (水替着手まで)	約19カ月	約14カ月	約17カ月
総合評価	<u>×不採用</u> (<u>施工ヤード確保が困難であり、実 現性から採用不可</u>)	<u>○採用(案)</u> (<u>上述のとおり</u>)	<u>×不採用</u> (<u>採用可能ではあるが、 止水の確実性に劣る</u>)

地下水流入抑制工法の選定

対策工法の2次選定

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といった点を総合的に踏まえ、「採用(案)」とした。今後、採用(案)である凍結工法について、シールドへの影響や施工管理の方法等について詳細検討を行い、採用案として問題ないか確認する。

表 凍結工法における詳細検討項目

指標	項目	確認する視点
効果の確実性	周辺への影響	凍結させた粘土層が自然解凍した際の地表面への影響
	後工事への影響	凍結させた粘土層が自然解凍した際のシールド施工部への影響や、シールド影響部における凍結管の引抜き・撤去や、強制解凍の範囲等
リスク対応	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
施工管理	大深度地下での施工	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
	周辺への影響監視	周辺地下水の監視方法
	事前調査	土質調査等の範囲等

參考資料

【参考資料】地下水流入抑制工法の選定

立坑内部からの直接止水

ケース1

第1回審議会資料7 再掲

【概要】

水中施工により地下水流入箇所を止水系材料を直接施工。

【メリット】

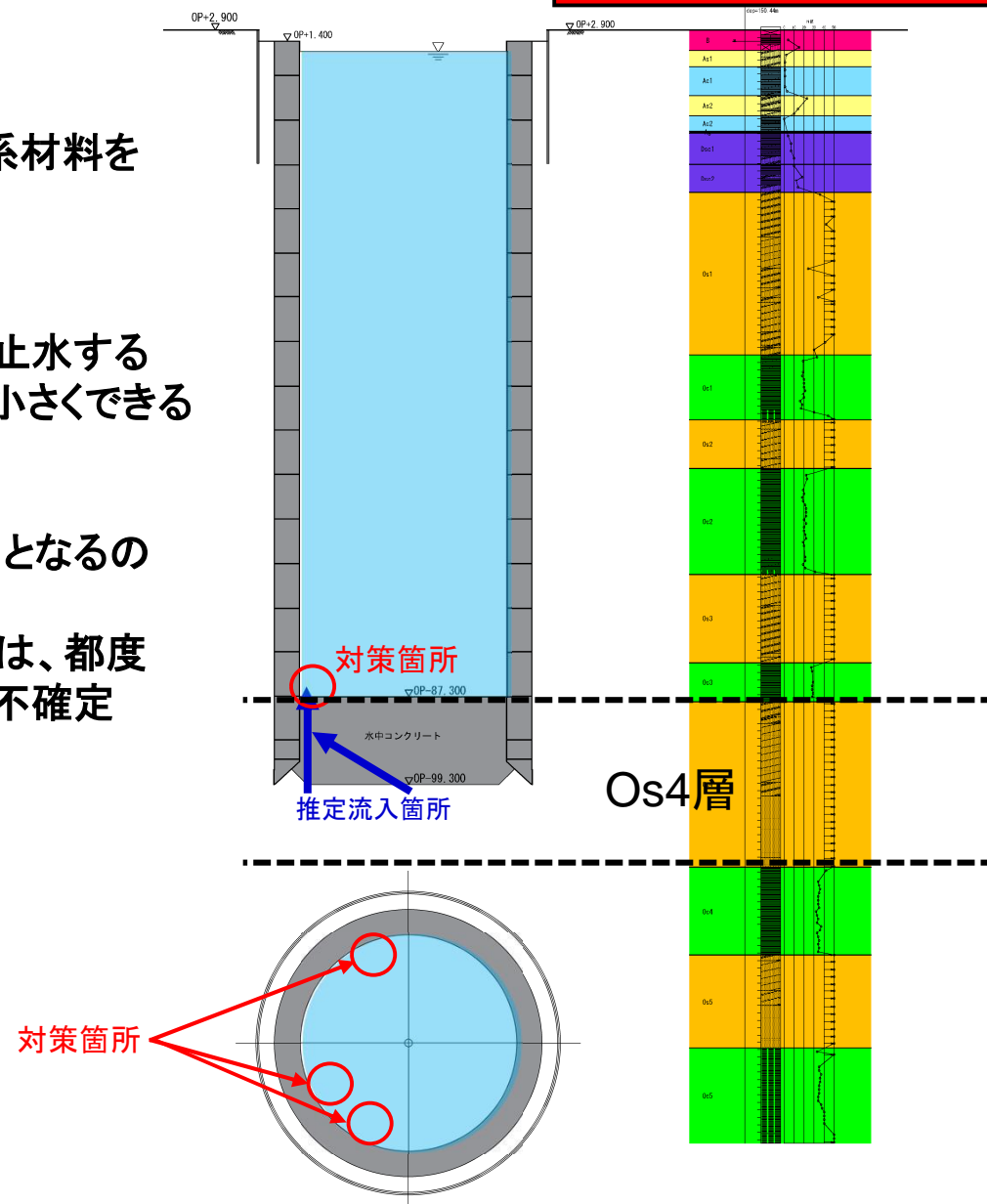
- ・地下水流入箇所を直接止水するため、止水する場所を限定できる場合は、施工規模を小さくできる

【デメリット】

- ・高水圧化での潜水土等による水中施工となるので作業時間の確保が課題
- ・地下水流入箇所が他にもあった場合には、都度の対応が必要となり、止水完了時期が不確定

【適用工法の例】

- ・止水ゴム設置
- ・コンクリート打設による閉塞など



【参考資料】地下水流入抑制工法の選定

立坑外部からの直接止水

ケース2

第1回審議会資料7 再掲

【概要】

立坑の外側で削孔し、地下水流入箇所には止水系材料を直接施工

【メリット】

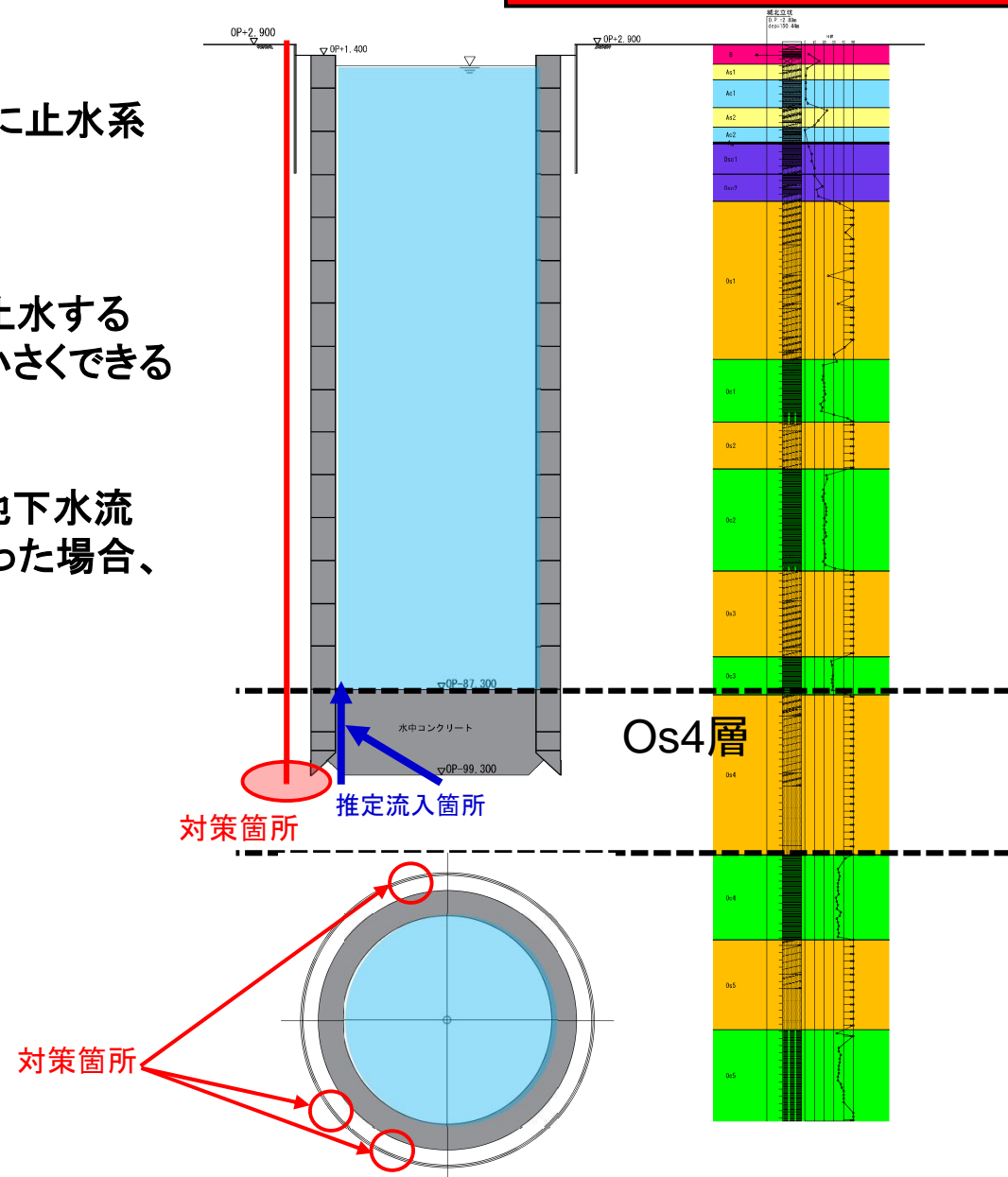
- ・地下水流入箇所を直接止水するため、止水する場所を限定できる場合は、施工規模を小さくできる

【デメリット】

- ・施工箇所が立坑際に限定されるため、地下水流入箇所が水中コンクリート中央付近にあった場合、施工が困難
- ・100m超の削孔が必要

【適用工法の例】

- ・薬液注入工法
- ・高圧噴射攪拌工法
- ・凍結工法



【参考資料】地下水流入抑制工法の選定

立坑内部からの止水壁設置

ケース3

【概要】

水中施工により水中コンクリートを貫通削孔し、水中コンクリートの下部に止水壁を設置

【メリット】

- ・止水壁の設置により地下水位との分離が図られ止水の確実性が高い
- ・止水壁で水中コンクリートを囲むため、地下水流入箇所が水中コンクリート中心部でも止水が可能
- ・立坑外部からの施工に比べて掘削長を水中コンクリートの厚さ分に限定できる

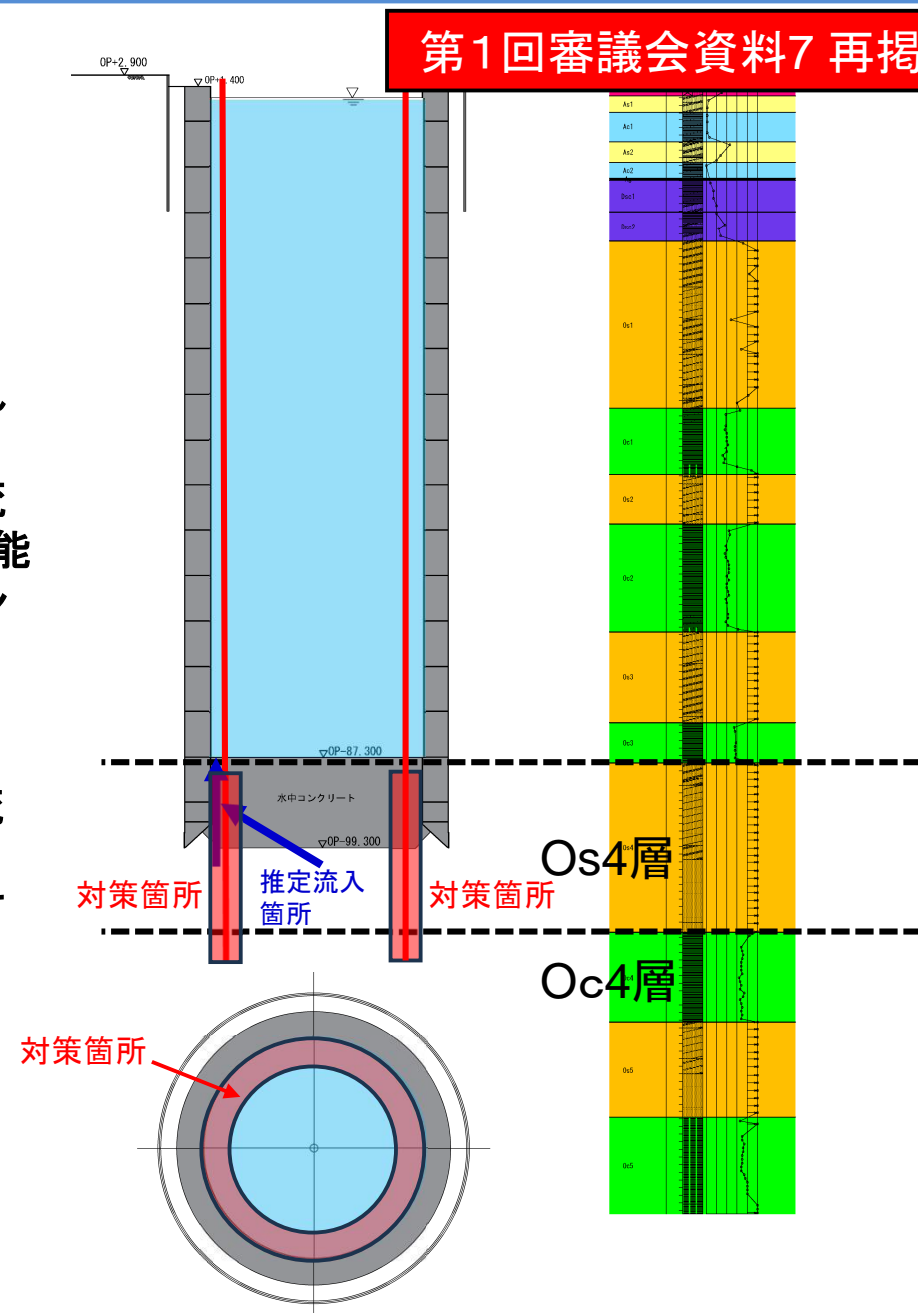
【デメリット】

- ・水中コンクリートを貫通削孔するため、地下水流入箇所が増える
- ・水中コンクリートの削孔に際し、水中部に露出するロッドを支持することが必要

【適用工法の例】

- ・薬液注入工法
- ・高圧噴射攪拌工法
- ・凍結工法

第1回審議会資料7 再掲



【参考資料】地下水流入抑制工法の選定

立坑外部からの止水壁設置

ケース4

第1回審議会資料7 再掲

【概要】

立坑の外側で削孔し、地下水が流入する土層に止水壁を設置。

【メリット】

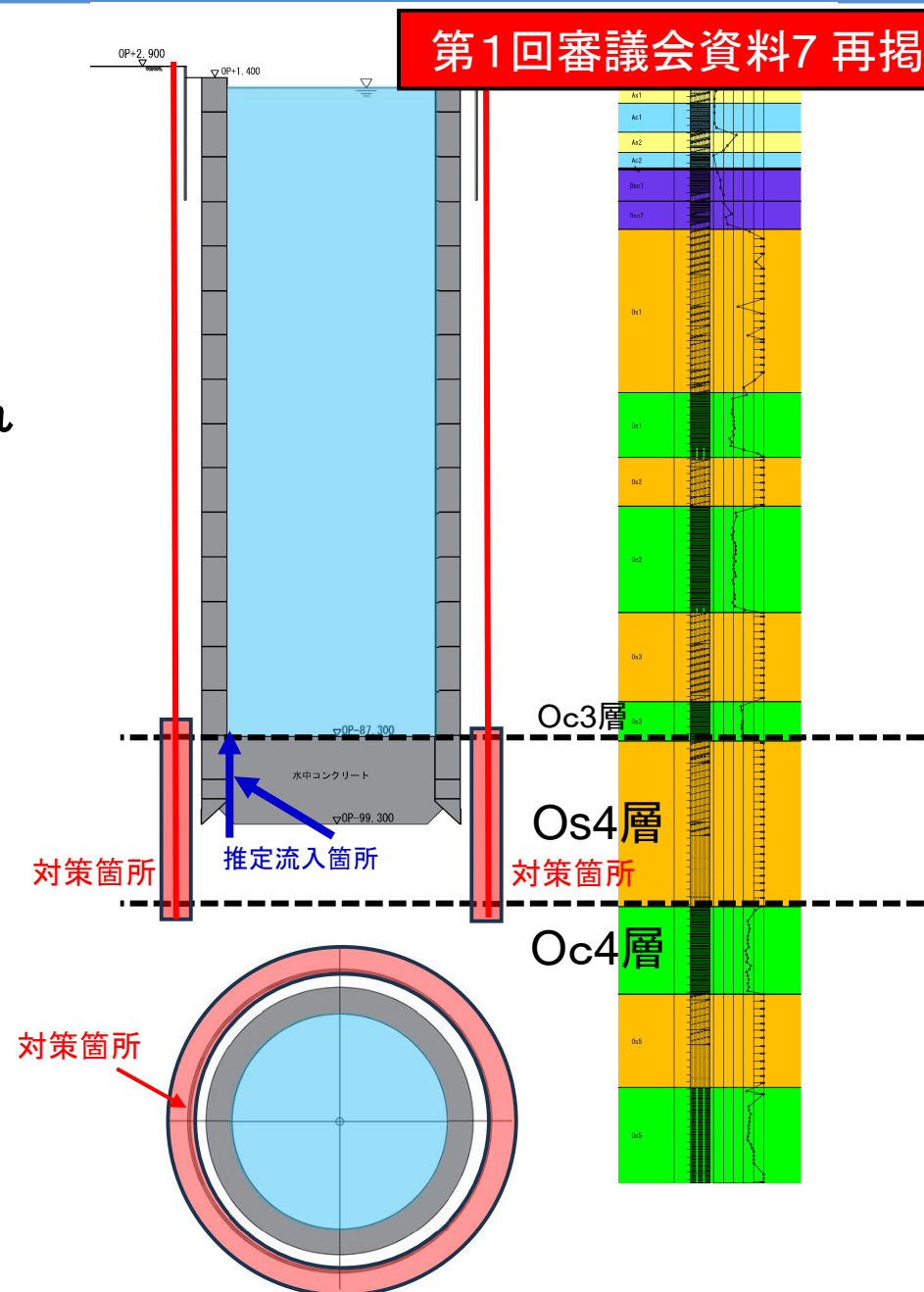
- ・止水壁の設置により地下水位との分離が図られ止水の確実性が高い
- ・止水壁で立坑を囲むため、地下水流入箇所が水中コンクリート中心部でも止水が可能

【デメリット】

- ・立坑の全周を囲む止水壁が必要なため、大規模な施工となる
- ・100m超の削孔が必要

【適用工法の例】

- ・薬液注入工法
- ・高圧噴射攪拌工法
- ・凍結工法
- ・地中連続壁工法



【参考資料】地下水流入抑制工法の選定

立坑内部からの地下水位制御

ケース5

第1回審議会資料7 再掲

【概要】

立坑内に地下水排水施設を設置し、立坑内を排水。
排水により、地下水位が低下する土層には、
地下水還元施設を設置し、地下水位を強制的
に回復。

【メリット】

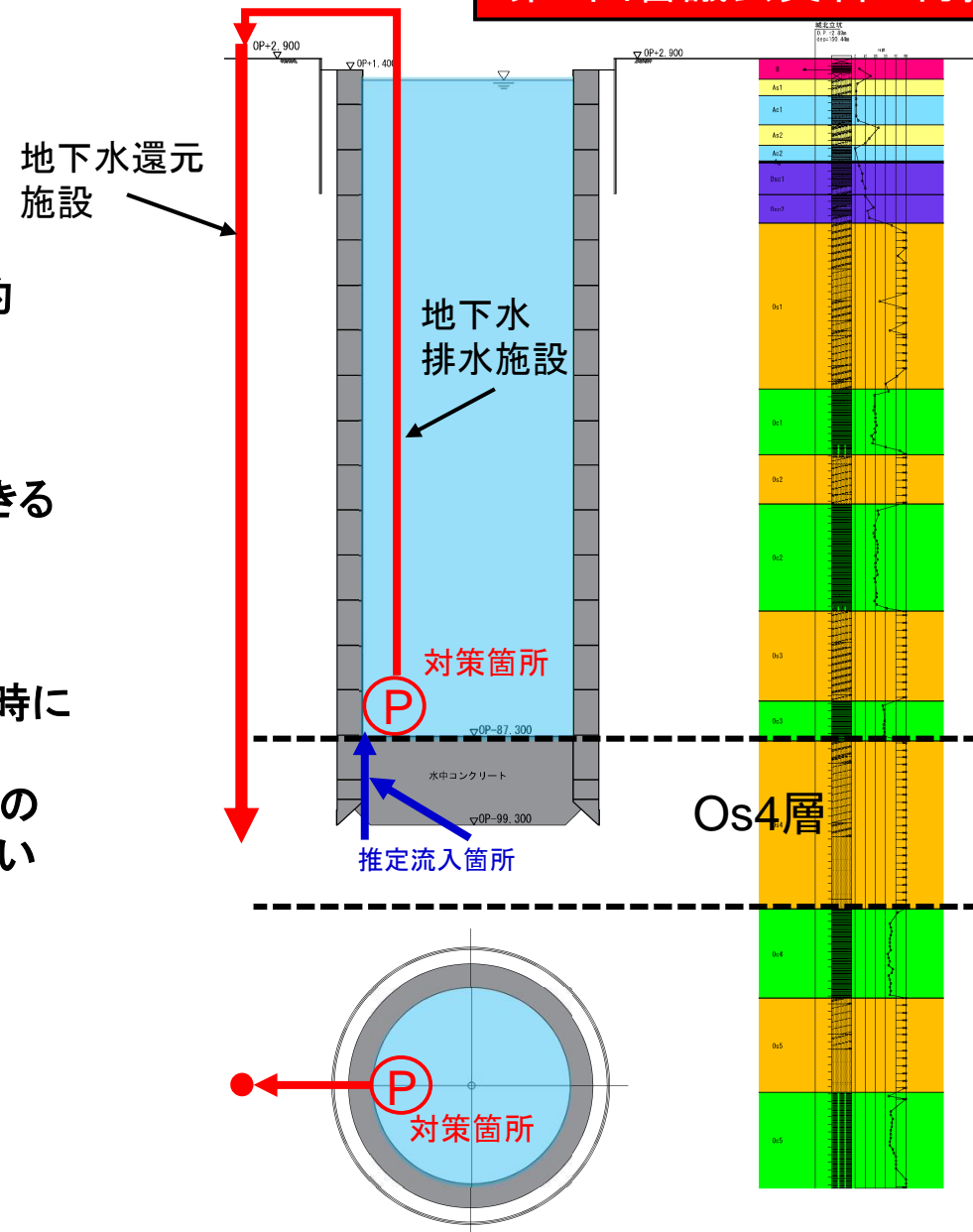
- 地下水を還元することで地下水位を制御できる

【デメリット】

- 排水施設を立坑内で常時稼働させるため、
今後の立坑内での地下水流入要因の調査時に
この施設が支障となる
- 地下水流入が想定を超える場合は、地下水の
還元が間に合わず、地下水位を制御できない

【適用工法の例】

- ディープウェル工法、リチャージウェル工法



【参考資料】地下水流入抑制工法の選定

立坑外部からの地下水位制御

ケース6

第1回審議会資料7 再掲

【概要】

立坑の外側に地下水排水施設を設置し、立坑内への地下水流入を防ぐ。
排水により、地下水位が低下する土層には、地下水還元施設を設置し、地下水位を強制的に回復。

【メリット】

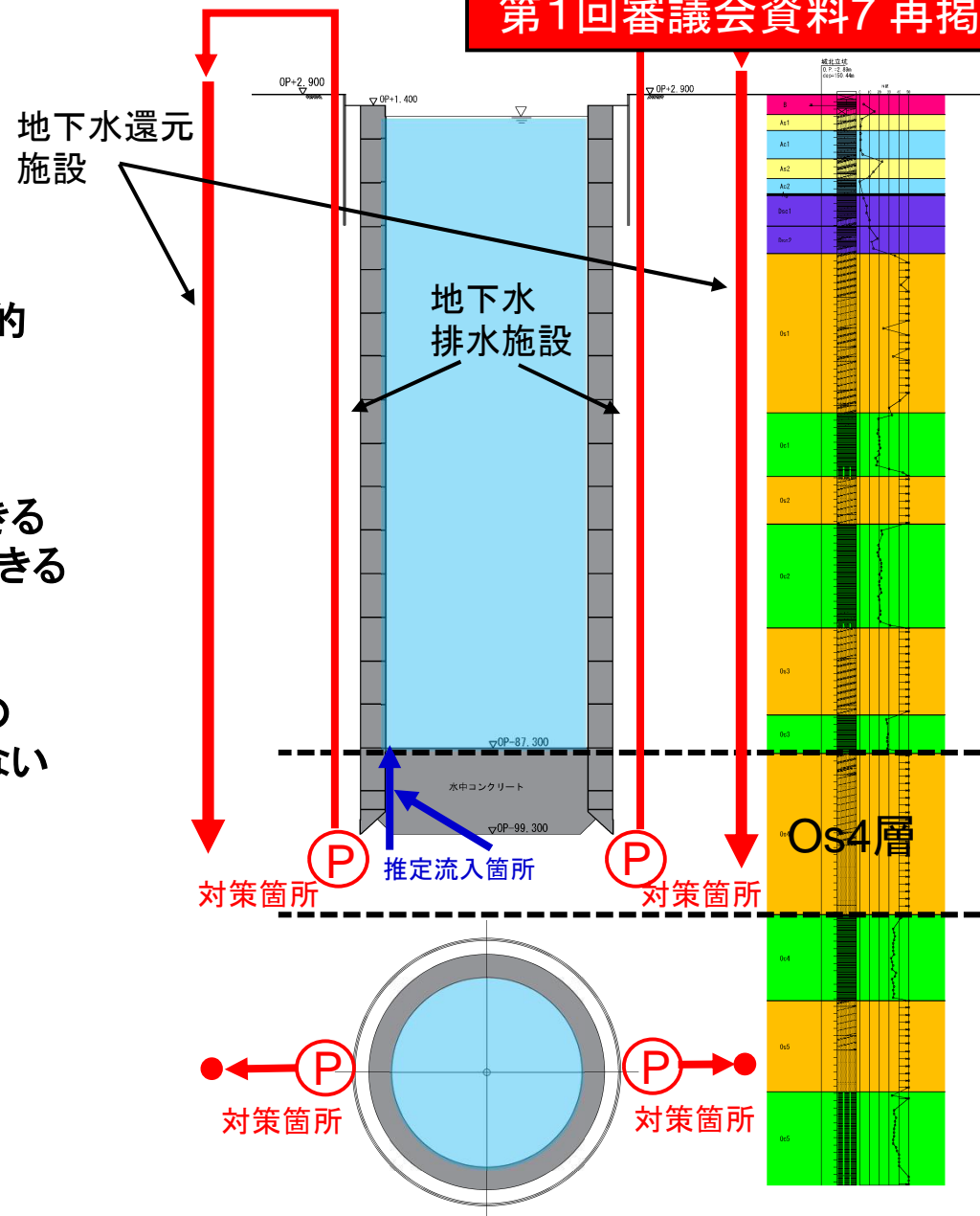
- ・立坑外部で地下水を排水するため止水できる
- ・地下水を還元することで地下水位を制御できる

【デメリット】

- ・地下水量が想定を超える場合は、地下水の還元が間に合わず、地下水位を制御できない

【適用工法の例】

- ・ディープウェル・リチャージウェル工法



【参考資料】地下水流入抑制工法の選定

薬液注入工法の概要

薬液注入工法は地盤に薬液を注入して固結させ、地盤の止水性や強度を高める工法。大深度でも実績がある。

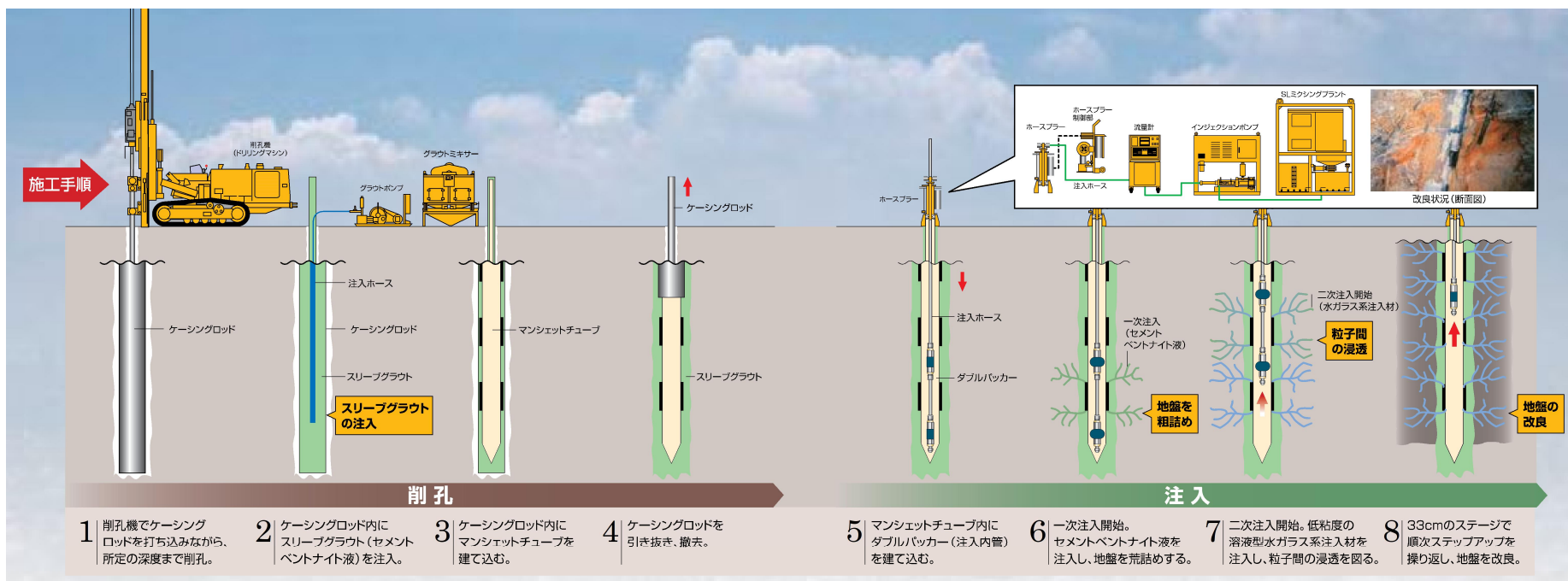


図.薬液注入工法の施工手順

(出典:地盤改良業者ライト工業(株)ホームページ)

【参考資料】地下水流入抑制工法の選定

薬液注入工法の概要

薬液注入工法の近年の大深度実績としては、中央新幹線の名城非常口において、地中連続壁下部で、GL-130~140mで止水対策として実施した事例がある。(出典:トンネルと地下、土木工学会)

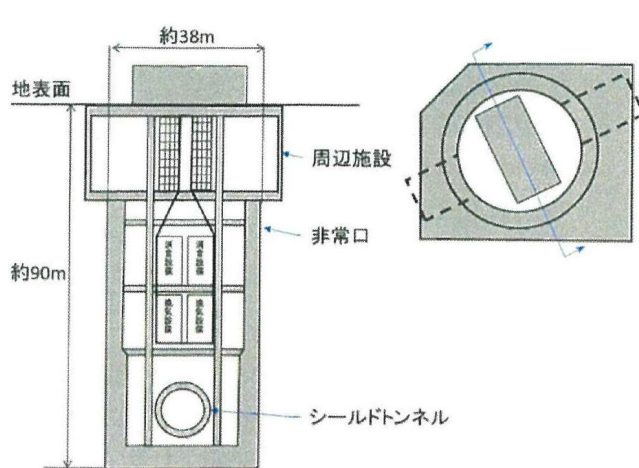


図-5 名城非常口の断面図

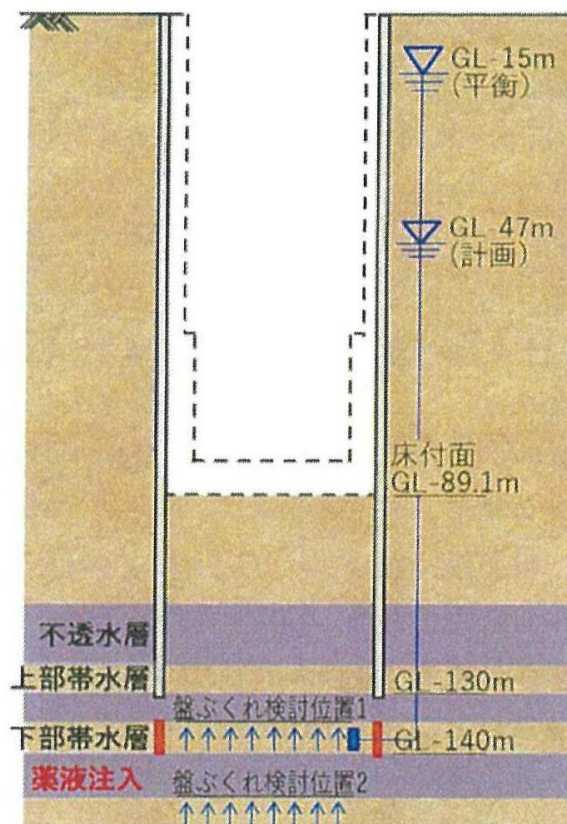


図-6 盤ぶくれ対策の概要図

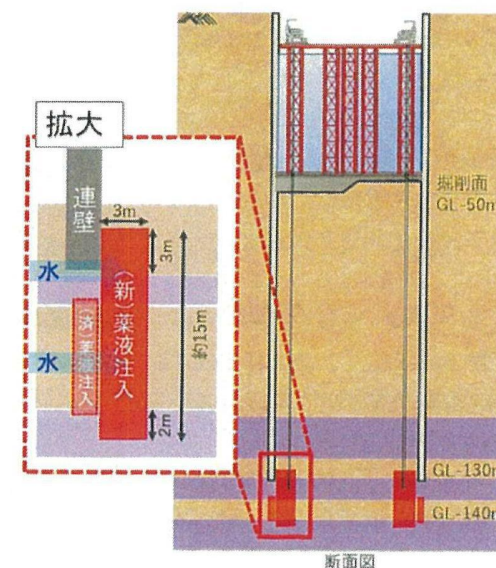


図-15 底版への薬液注入の概要

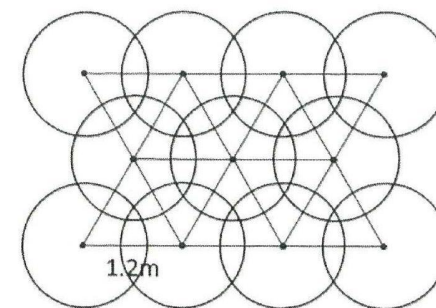


図-16 注入孔の配置

図.地中連続壁と薬液注入工法を併用した
大深度大断面立坑の対策事例 (出典:トンネルと地下、土木工学会)

【参考資料】地下水流入抑制工法の選定

高圧噴射攪拌工法の概要

高圧噴射攪拌工法は、液体に高い圧力を与えて得られる強力なエネルギーによって地盤を切削破壊し、硬化材と土とを攪拌混合して強固な改良体を作るものである。

しかし、本施設のように100mを超える水圧や硬質地盤では、実績がなく、十分な改良体が構築できないと考えるため、**採用は難しい**と考える。

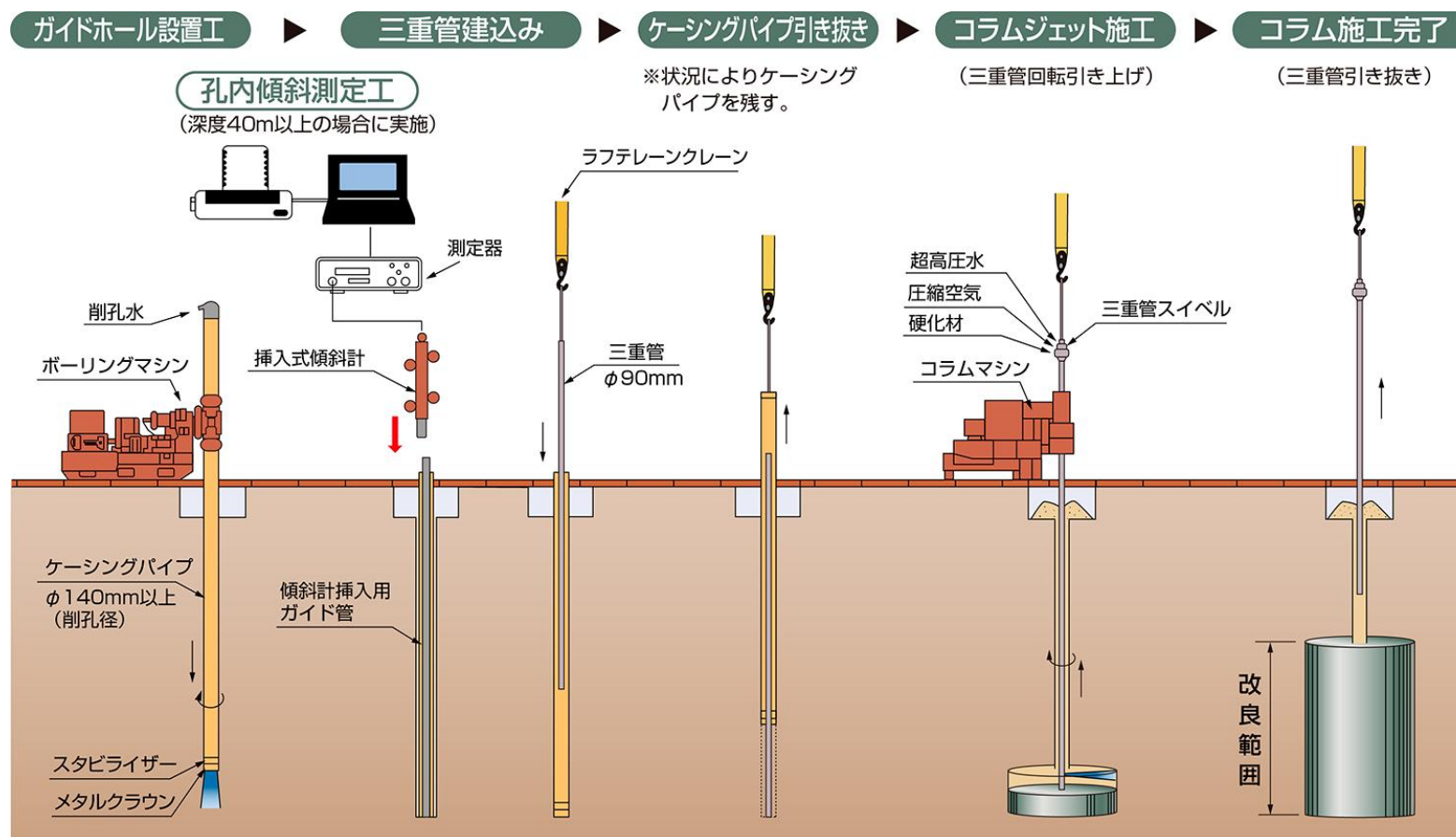


図.高圧噴射攪拌工法の施工手順 (出典:日本ジェットグラウト協会HP)

【参考資料】地下水流入抑制工法の選定

高圧噴射攪拌工法の概要

高圧噴射攪拌工法では、40m以上では特殊な深度として対応が必要である上、専門業者へのヒアリング結果においても実績はないとのことである。

2・3・2 コラムジェットグラウト工法の基準

表-2・4 コラムジェットグラウト工法 砂質土、粘性土での標準設計数値

N値	砂 礫	注-②					
	注-①	砂質土	$N \leq 30$	$30 < N \leq 50$	$50 < N \leq 100$	$100 < N \leq 150$	$150 < N \leq 175$
	粘性土	—	$N \leq 3$	$3 < N \leq 5$	$5 < N \leq 7$	—	$7 < N \leq 9$
	腐植土	注-③					
有効径(m) 深度Z(m) で区分 注-④	$0 < Z \leq 30$ m	2.0	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2
	$30 < Z \leq 40$ m	1.8	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0
	引き上げ時間(分/m)	16	20	20	25	25	25
硬化材	単位吐出量(m ³ /分)	0.18	0.18	0.18	0.14	0.14	0.14

注-① N値は改良対象地盤の最大N値である。

注-② 砂礫については、砂質土有効径の10%減を基本とする。

なお砂礫については、原則として試験施工等することが望ましい。

注-③ 腐植土については、十分検討の上決定する必要がある。

注-④ 施工深度が $Z > 40$ mについては、十分検討の上決定する必要がある。

基本的には、40 mを越えるものは、5 m単位でピッチを0.05 mずつ詰めることで対応する。

注-⑤ 粘着力が50 kN/m²程度以上の場合、所定の有効径が確保できないこともあるので注意する必要がある

注-⑥ 砂質土 $N > 150$ 、粘性土 $N > 7$ の有効径については、原則として試験施工等により、十分検討の上決定する必要がある。

(出典:ジェットグラウト工法技術資料 日本ジェットグラウト協会HP)

【参考資料】地下水流入抑制工法の選定

凍結工法の概要

凍結工法の原理は、地盤中に所定の間隔で冷却液を循環するパイプ(凍結管)を埋設して、これにブライン(冷却液)を流し、管の周囲を冷却して土中の間隔水を凍結管を中心に年輪状に氷結させ、更に隣接する凍土柱を連結して遮断壁あるいは耐力壁を作るというものである。凍結工法は凍土を造成して、その中で安全確実に土木工事を進めることを目的とした補助工法である。大深度でも実績がある。

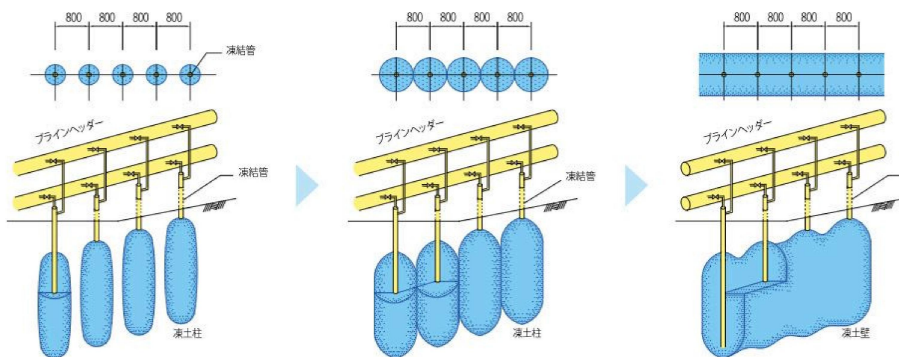


図.凍結工法の施工手順

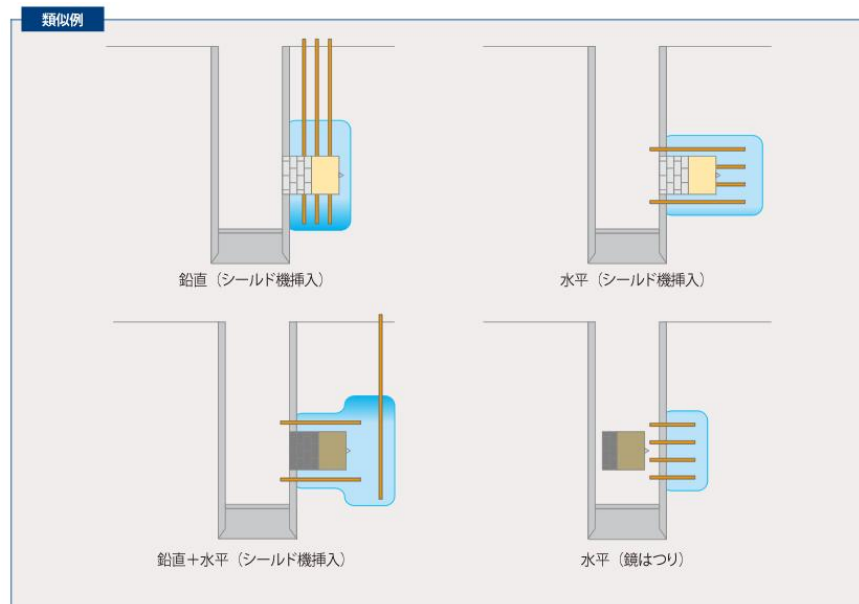


図.凍結工法の事例

(出典:凍結専門業者 (株)精研ホームページ)

【参考資料】地下水流入抑制工法の選定

地中連続壁工法(CRM工法)の概要

CRM工法(掘削土再利用連壁工法)は、地中連続壁工法の掘削機で掘削した掘削溝に、掘削土と再利用したソイルセメントを打設して、地中に連続した遮水壁を構築する工法である。
最大100m以上の大深度での実績がある。



図.施工手順(遮水壁の場合は芯材なし)

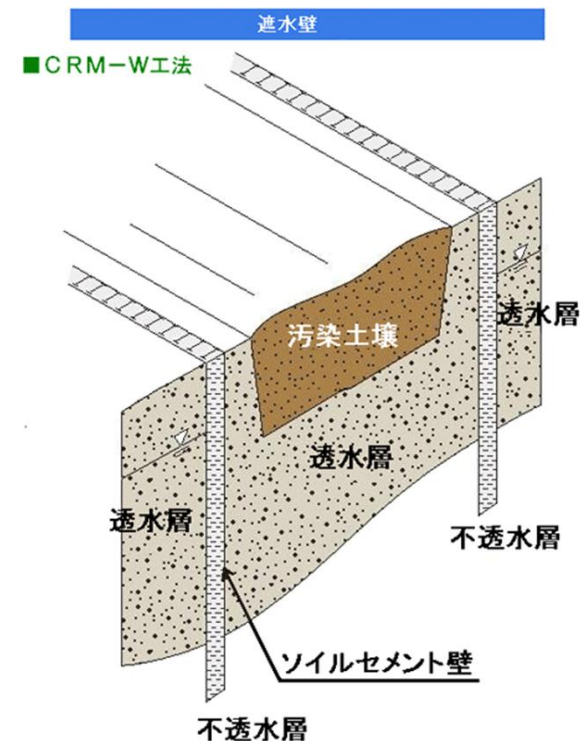


図.遮水壁の事例

(出典:CRM工法研究会ホームページ)