

層相変化の激しい地域での TRD地中連続壁の施工事例

岩井 尊¹・大島知幸²・仲井幹雄³

¹正会員 前田建設工業株式会社 関西支店 土木部 (〒541-8529 大阪市中央区久太郎町 2-5-30)

²正会員 前田建設工業株式会社 中部支店 土木部 (〒460-0008 名古屋市中区栄 5-25-25)

³正会員 前田建設工業株式会社 土木本部 土木技術部 (〒179-0075 東京都練馬区高松 5-8 J.CITY14F)

市街地における大深度の開削工事においては、安全および環境の視点から、地下水に起因するトラブルを回避することが最も重要な課題のひとつとなる。このため、高品質の遮水壁を経済的に構築することが広く望まれている。本工事では、大阪平野における海成粘性土層と砂礫層の互層地盤において、TRD工法により遮水壁を造成し、品質の向上を図った。また、ソイルセメント固化液の配合に混和剤（高性能分散剤）を使用し、芯材建込み精度の向上と排泥量の低減を図った。

本稿では、TRD地中連続壁の造成にあたって、本工事で実施した品質向上のための工夫とその結果を報告するものである。

キーワード：開削工法，遮水壁，低空頭，高性能分散剤，排泥量低減

1. はじめに

本工事は、大阪府の治水対策の一環として計画された、「寝屋川流域総合治水対策」に基づく流域調節池の建設を行ったものである。工事位置を図-1に、工事概要を表-1に示す。

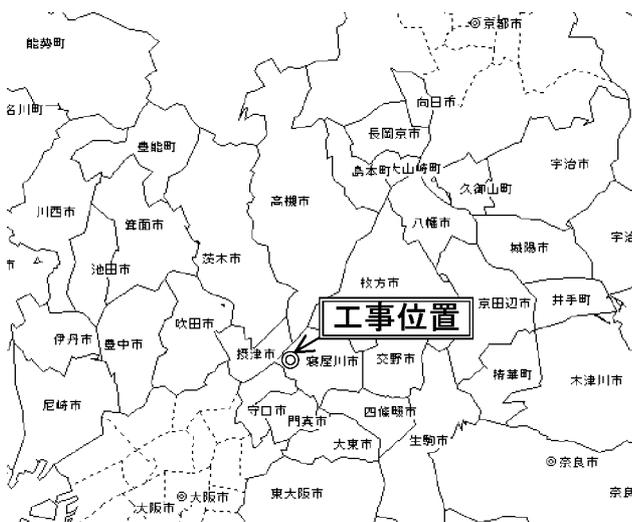


図-1 工事位置図

表-1 工事概要

工事名	一級河川寝屋川 千里丘寝屋川線下(仁和寺) 調節池築造工事(土留工)		
発注者	大阪府枚方土木事務所		
施工業者	前田建設・山本土木共同企業体		
工事場所	大阪府寝屋川市仁和寺本町3丁目		
工期	平成17年5月31日～平成19年2月28日		
工事数量	土工	掘削工	43,907m ³
		基面整正工	2,179m ²
		均しコンクリート	653.91m ³
	地中連続壁工		301m
		(t=65cm,H=40.5m)	
	中間杭設置工		52本
		(H=400,L=25m)	
	土留支保工	切梁・腹起し	1,725t
		(H=300~500,8段)	
	仮設栈橋工	覆工設置	2,430m ²
付帯工	撤去工	1式	
	設置工	1式	
計測管理工		1式	

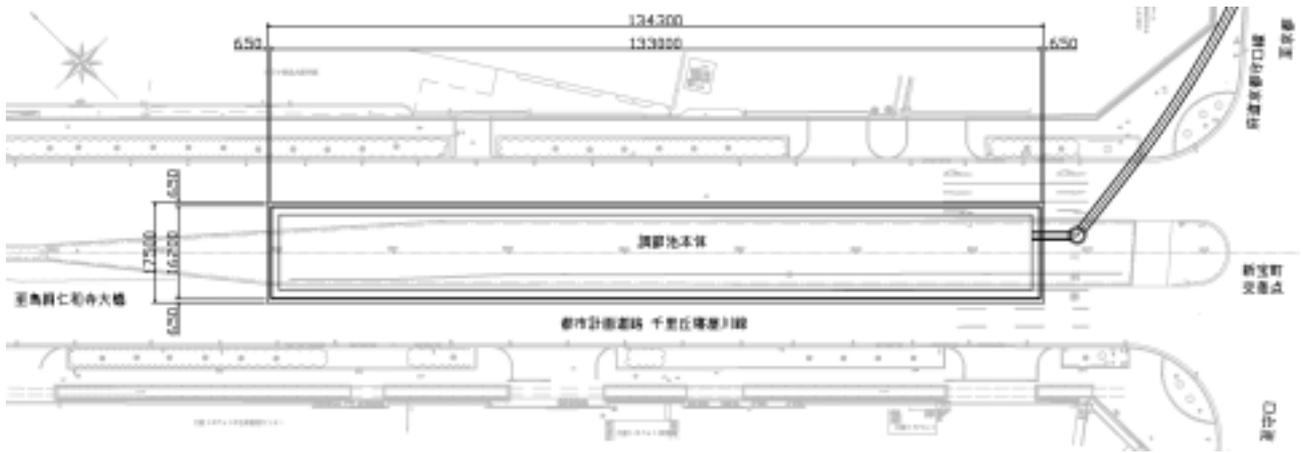


図 - 2 計画平面図

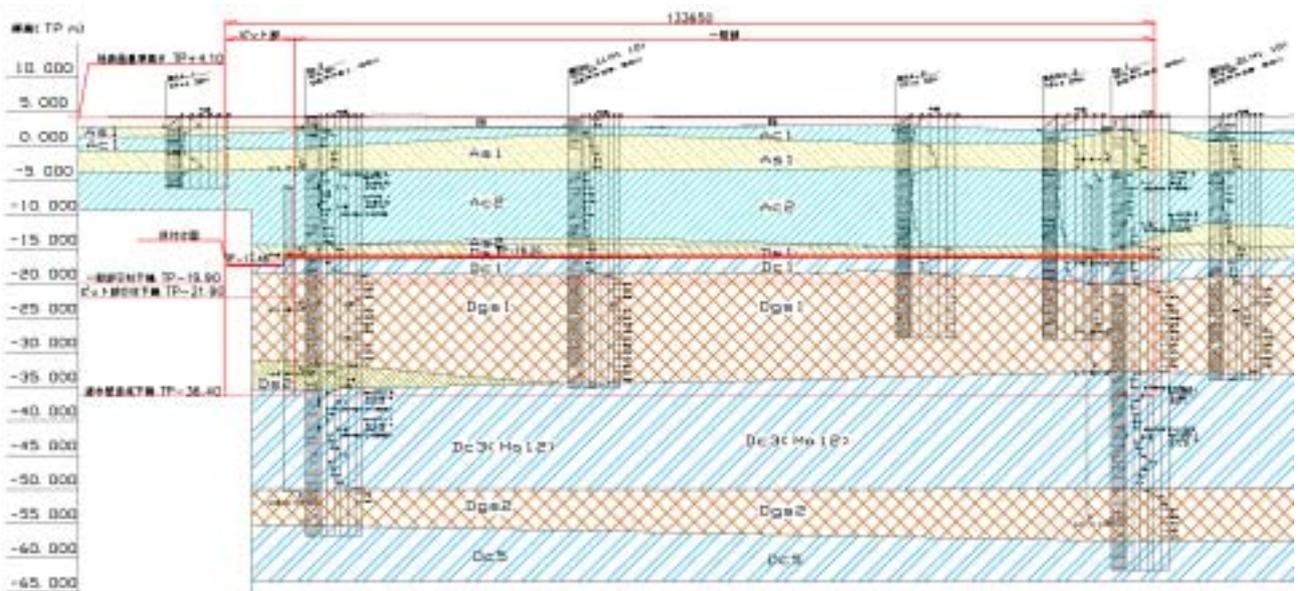


図 - 3 地質想定縦断面図

工事は、主要幹線道路である都市計画道路千里丘寝屋川線に中央占用を設け、延長 133m、幅 16m の範囲を深度約 20m まで掘削するものである。計画平面図を図 - 2 に示す。

土留壁の築造には、以下の理由から TRD 地中連続壁工法が採用された。

< TRD 地中連続壁工法採用理由 >

- 土留壁線形が長方形であり、コーナーが少ない。
- 地下埋設物等による土留欠損がない。
- 機械高が約 10m と低く、低重心で安定性が良い。
- 連続性がよく、止水性の高い壁を造成できる。
- 深度方向における品質のばらつきが少ない。
- リアルタイム計測による削孔精度管理が可能。
- 優れた切削能力を有するため、補助工法が不要。

2. 地質概要

計画段階における地質想定縦断面図を図 - 3 に示す。調整池部分の掘削対象地盤はほとんどが沖積軟弱地盤であり、約 70% を粘性土層が占め砂質土層と互層をなしている。床付け面以深には 15m 以上の洪積砂礫層 (Dgs1 層) が存在するが、これは大阪平野に広く分布する天満砂礫層と呼ばれる地層であり、地下水が豊富で被圧しており、巨礫の存在も認められている。

天満砂礫層の下には、洪積粘性土層 (Dc3 層) が厚く分布している。地中連続壁は、この層を不透水層とし、そこに根入れを行うことで、遮水性を確保する設計となっている。

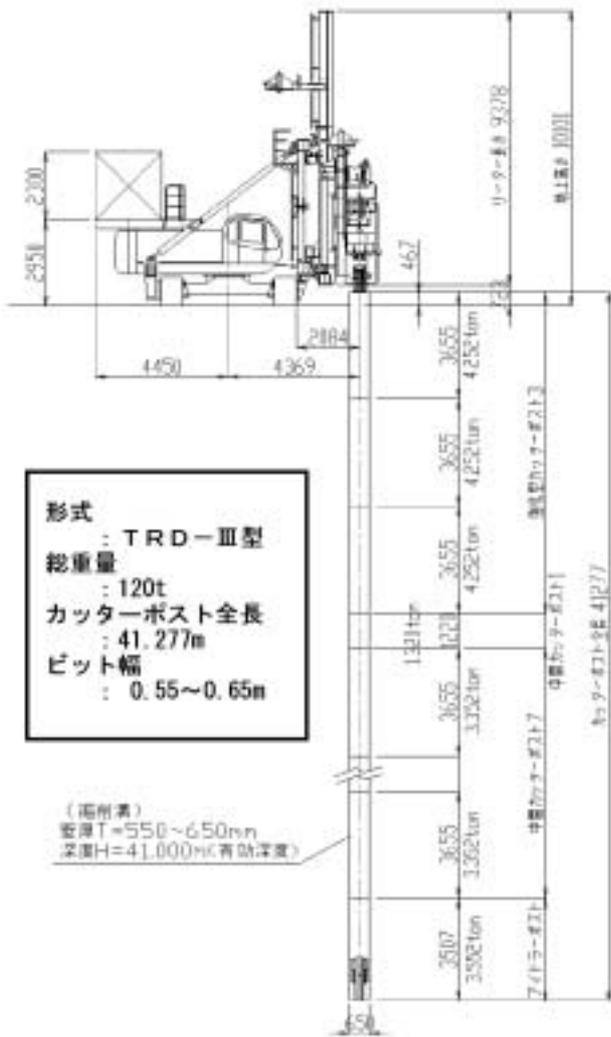


図 - 4 施工機械の仕様

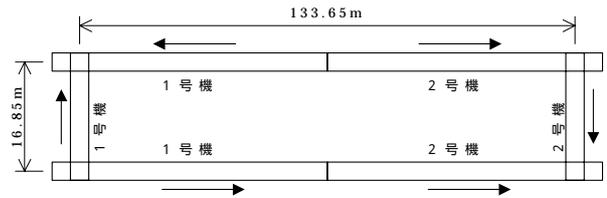


図 - 5 施工順序 (平面図)

表 - 2 造成手順の比較

	1パス	2パス	3パス
施工概要	掘削、固化剤注入・芯材挿入を一連作業として、直接固化材で掘削する方法	往路で掘削し、復路で固化剤注入と芯材挿入を行う方法	片押し施工の単位で、先行掘削 戻り 固化剤注入・芯材挿入を行う方法
説明図			
開放長	短い	長い	短い
液の種類	固化液	掘削液 固化液	掘削液 固化液
適用深度	浅い場合	大深度でも可能	大深度でも可能
地盤の硬軟	軟質	軟質-硬質	軟質-硬質
周辺への影響	少ない	検討の必要あり	少ない
障害物への適用性	悪い	比較的良好	比較的良好
総合評価	直接固化材を注入するため、トラブルが生じた場合、カッター周辺が固化し、掘削不能になる恐れがある。	長い開放長が長時間続くため、周辺地盤への影響が無視できなくなる可能性がある。	障害物の探索や芯材建込み時の確保ができ、カッターおよび周辺地盤への影響が少ない。
当現場への適用性	x	x	

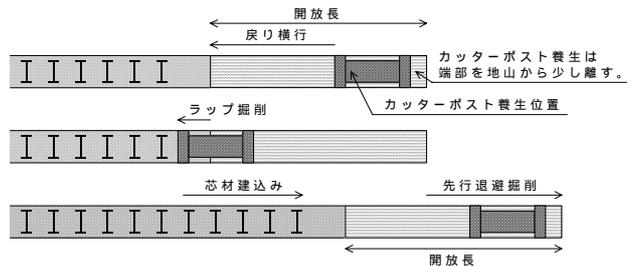


図 - 6 3パス施工手順 (平面図)

3. TRD地中連続壁の造成

(1) 施工機械

TRD工法は、無端のカッタービットチェーンを取り付けたチェーンソー型のカッターポストを地中内に挿入し、カッターポストの横行移動およびカッタービットチェーンの回転・循環を行うものである。

施工機械の仕様を図-4に示す。また、施工は、TRD施工機2台により、図-5に示す順序で行った。

(2) 造成方法

TRD地中連続壁の造成方法には、1パス～3パスの3つの方法があるが、造成深度や地質条件ならびに周辺地盤に及ぼす影響等を考慮し、3パス方式を採用することとした(表-2参照)。

3パス方式の施工順序を図-6に示す。なお、ラップ掘削の長さは、約50cmとした。

(3) 不透水層の確認

TRD地中連続壁の造成下端深度は、不透水層となる洪積粘性土層(Dc3層)に1.0m以上貫入させる計画となっていた。しかし、この粘性土層は大阪平野に広く分布するMa12層と呼ばれる海成粘土層であり、旧河川の流域周辺においては、過去の浸食作用による削剥や不陸の存在がしばしば認められている。このため、地中連続壁の造成にあたっては、不透水層の分布深度を確認し、造成下端を確実に貫入させ、根入れ不足による遮水不良が生じないように細心の注意を払う必要があった。そこで、ボーリング調査の追加に加え、施工中においても不透水層の分布深度を確認できるよう、以下に示す方法を用いて不透水層の試料採取を行うこととした。

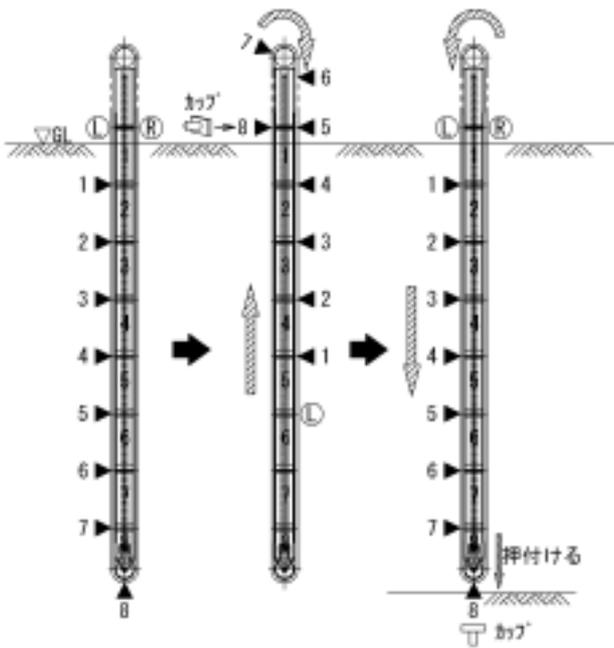


図 - 7 試料採取手順

<不透水層試料採取手順(図-7参照)>

先行掘削時にポスト先端を想定深度(計画造成深度より1.0m上方)に合わせ、掘削する。

地表面にて左右チェーンのL,Rマークを合わせる。

チェーンを回転し、最下端の接続部に試料採取用カップを取付ける。

チェーンを逆回転し、L,Rマークを地表面で合わせ、カップを最下端部に移動させる。

ポストを下部地山に押付けて、カップ内に試料を採取する。

チェーンを回転して地上部までカップを移動させ、試料を回収する。

試料を回収し、不透水層の分布が認められた後、先行掘削部下端の残り1.0mを掘削する。

試料の採取状況を写真-1に示す。この方法により、確実に不透水層の分布を確認することができた。

(4)掘削液および固化液の配合

掘削液ならびに固化液の配合を決定するにあたっては、以下の事項に留意する必要がある。

- ・対象土に粘性土およびシルトが多く含まれているため、粘性が大きく流動性が確保できない恐れがある。
- ・孔壁の安定を確保するだけでなく、洪積砂礫層に存在する地下水の被圧水頭に抵抗するため、適切な比重を確保する必要がある。



写真 - 1 試料採取状況

表 - 3 掘削液の配合(対象土1m³あたり)

ベントナイト [kg]	水 [kg]	ベントナイト水比 [%]	注入率 [%]
35.3	237~287	14.9~12.3	25.0~30.0

そこで、良好な施工性を確保しつつ、かつ排泥量の低減を図るため、混和剤を用いた配合を行うこととした。

a)掘削液

配合は、事前にボーリング削孔により原位置土を採取し、以下の条件を満足するよう、配合試験を行って決定した。

フ ロ ー 値 (TF[mm]) : 150~230

比 重 ([kN/m³]) : 14.5~20.0

決定した掘削液の配合を表-3に示す。なお、水量は、施工状況により237~287kgの範囲で調整することとした。

b)固化液

ソイルセメントの混和剤には、以下の3種類のものを用意し、設定した掘削液の配合に合わせて、固化液の配合試験を行った。

ソイルセメント用超遅延剤

高性能分散剤(A剤およびB剤併用タイプ)

ソイルセメント用分散剤(単独使用タイプ)

配合を決定する上での条件は、以下のとおりである。なお、フロー値については、練混ぜ3時間後においてもテーブルフロー値(TF値)を150mm以上を確保できるものを選定することとした。

フ ロ ー 値 (TF[mm]) : 150~230

比 重 ([kN/m³]) : 14.5~20.0

一軸圧縮強度 (γ [kN/m²]) : 500以上

表 - 4 固化液配合試験結果

配合 No.	セメント [kg]	水 [kg]	混和剤			水セメント比 [%]	注入率 [%]	掘削液の水量 287kg の場合						掘削液の水量 237kg の場合						判定	
			超遅延剤 [kg]	高性能分散剤				分散剤 [kg]	TF 値 [mm]			比重	一軸圧縮強度 [kN/m ²]	TF 値 [mm]			比重	一軸圧縮強度 [kN/m ²]			
				高性能分散剤 A [kg]	高性能分散剤 B [kg]				0hr	1hr	2hr			3hr	[kN/m ³]	[kN/m ²]			0hr		1hr
S-1	250	250	2.75	-	-	-	100	33.5	186	182	152	132	17.15	690	170	164	130	115	17.14	809	×
S-2	250	375	2.75	-	-	-	150	46.0	204	204	170	140	16.48	459	190	181	158	134	16.67	513	
E-1	125	125	-	7.0	3.5	-	100	17.3	355	213	204	198	17.32	1093	318	168	160	168	17.59	1388	
E-2	125	188	-	7.0	3.5	-	150	23.6	350	270	227	219	17.10	851	345	224	200	196	17.14	1054	
E-3	125	250	-	7.0	3.5	-	200	29.8	370	284	267	249	16.78	629	322	268	232	220	17.03	749	
L-1	200	400	-	-	-	8.0	200	47.2	237	238	225	199	16.43	254	214	207	179	155	16.54	316	×

表 - 5 固化液の基本配合 (混合スラリー 1m³あたり)

セメント [kg]	水 [kg]	高性能分散剤 A [kg]	高性能分散剤 B [kg]	水セメント比 [%]	注入率 [%]
125	125 ~ 250	7.00	3.50	100 ~ 200	17.3 ~ 29.8

固化液の配合試験結果を表 - 4 に示す。検討の結果、注入率を抑制することにより発生排泥量も低減できるものと判断し、混和剤には高性能分散剤を使用することとした。設定した基本配合を表 - 5 に示す。

(5) 固化液噴射方法

通常、固化液の噴出はカッターポストの先端アイドラーより造成側と掘削側の両側に向けて行われる。しかし、退避掘削部分の混合スラリーに固化液が混入した場合、戻り掘削に要する時間が長くなり、施工能率が低下する。そこで、ポスト先端アイドラーからの固化液噴出を造成側の片側のみから行うように、施工方法の改善を図った (図 - 8 参照)。

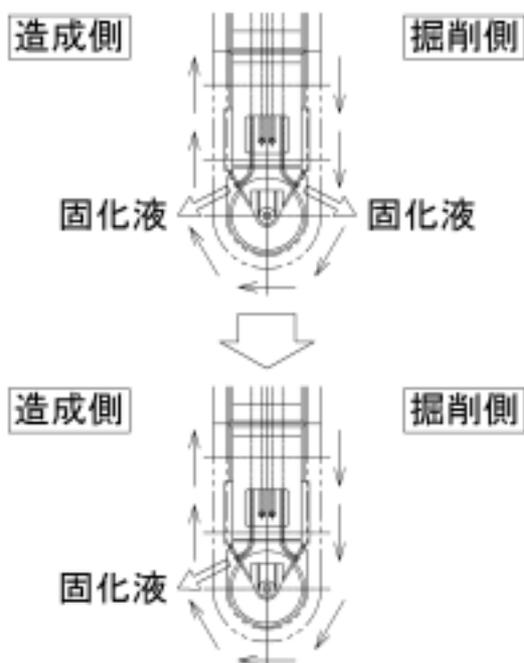


図 - 8 固化液噴出方法

表 - 6 現場採取試験結果

	フロー値 TF [mm]	比重 [kN/m ³]	1週強度 γ [kN/m ²]	4週強度 γ ₂₈ [kN/m ²]	透水係数 k [cm/sec]
	249	16.4	737	1880	9.90 × 10 ⁻⁸
	231	15.2	778	1497	2.90 × 10 ⁻⁸
	300 以上	16.3	343	775	7.80 × 10 ⁻⁸
	300 以上	16.4	775	2650	-
	209	16.4	552	1830	-
	300 以上	16.1	355	1860	-
	254	16.0	576	1547	6.20 × 10 ⁻⁸
	183	16.5	359	1550	-
管理基準値	150 以上	14.5 ~ 20.0	250 以上	500 以上	1.0 × 10 ⁻⁶ 以下

4. 効果の確認

(1) 地中連続壁の性能確認

地中連続壁の造成にあたって計画・実施した様々な試みに対して、その確認を行った。

a) 品質管理試験結果

固化液混合スラリーをサンプリングし、以下の頻度にて確認試験を行った。

一軸圧縮強度 : 1回 / 2000m²

透水係数 : 1回 / 4000m²

試験結果を表 - 6 に示す。

圧縮強度は、目標強度を大幅に上回る結果となった。また、透水係数も1オーダー以上小さく、優れた遮水性能を有している。

なお、いずれの試験でも六価クロム溶出試験を実施したが、溶出量は0.02mg / 試体以下であった。

b) コア採取ボーリング

当現場のような粘性土層と砂礫層の互層を主体とする地盤においてTRD工法を採用した場合、原位置土と固化液がどのように攪拌されているのかを確認するため、原位置におけるソイル壁固化体を深度方向にボーリングし、コアの採取を行った。

また、得られた供試体を用いて圧縮強度と透水性の確認試験を実施した。

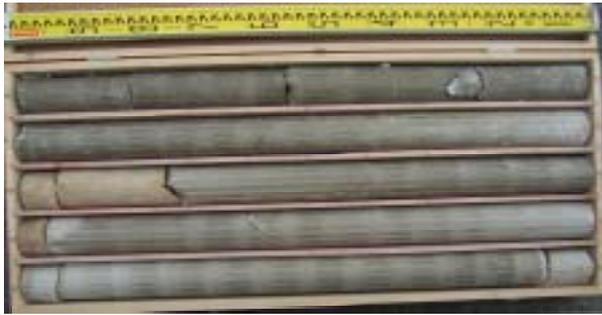


写真 - 2 固化体コア (深度 G L - 15.0 ~ 21.0m)

表 - 7 確認試験結果

採取深度	圧縮強度 [kN/m ²]	透水係数 [cm/sec]	備 考
GL- 6.0 ~ 7.0m	1,382	-	材齢 80 日
GL-13.0 ~ 14.0m	1,222	3.8×10^{-7}	
GL-21.0 ~ 22.0m	2,448	-	

得られたコアの代表的な写真を写真 - 2 に示す。採取したコアは、目視でも均一な仕上がりが確認でき、表 - 7 に示すような試験結果が得られた。

この結果より、深度 GL-15m 付近まではソイル壁の品質に大きな差異は認められず、ほぼ均一な固化体が造成されていると判断できた。

深部においては、格段に圧縮強度が増加している。これは砂礫層に混在する比較的密度の高い礫分や造成液が沈降し、結果として密実な固化体が造成されたものと推定される。

c) 芯材建込み精度

土留壁芯材の仕様は、以下の通りである。

芯材：H-482x300x11x15，L=28.0m @650

芯材建込み精度の確認結果を図 - 9 に示す。

測定結果を見ると、連続壁造成方向 (X 方向) に、局部的に 60mm 程度のずれが生じているものの、いずれの測定値も概ね ±40mm 程度に収まっており、高精度の建て込みが行えたものと判断される。

この主な要因としては、

- ・TRD 工法ではカッターポストの横移動によりソイル壁が造成されるため、従来の SMW 工法と比較して、連続壁の法線方向にはずれが生じにくい。
- ・高性能分散剤を使用したことにより、固化液混合スラリーに適度な流動性が得られ、スムーズな建込みが可能となった。

ことが挙げられる。

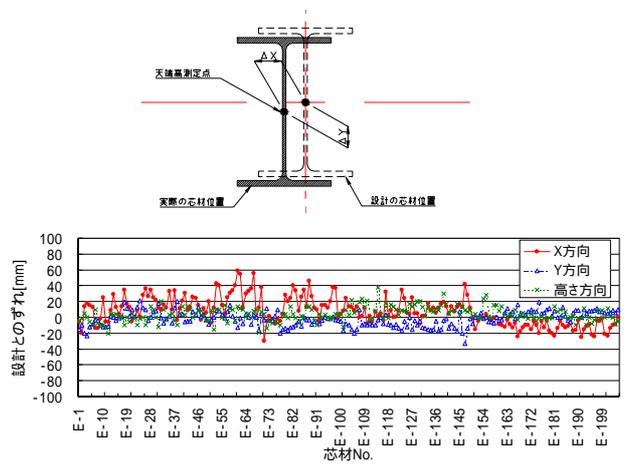


図 - 9 芯材建込み精度確認結果 (東側)

表 - 8 排泥処分量実績

計画排泥処分量	実施排泥処分量	低減率
7,586m ³	6,727m ³	11.3%

大深度での補正 (+20%) を考慮

X 方向ばらつきがやや大きくなっている要因としては、退避掘削時に造成液が流動し、芯材が揺動したことが考えられる。

(2) 排泥量

排泥処分量の計画値と実績値を表 - 8 に示す。

高性能分散剤を使用し、造成液の注入率を低減したことで、排泥量を抑制できたと判断される。

5. おわりに

工事は、平成 19 年 2 月に無事竣工し、次期工事である調節池本体工事 (地下構造物) に引継がれている。今回、海成粘土層と砂礫層の互層を特徴とする大阪層群で、TRD 地中連続壁の性能を確認できたことは、今後の同種工事の計画を行う上でも有意義であった。また、最後まで大きなトラブルもなく、円滑に工事を進めることができたのも、TRD 工法の採用により周辺環境への影響を最小限に抑制できたためであると考えられる。

最後に、本工事の実績が今後の同種工事の参考になれば幸いである。