

地下式貯留施設の施工について

Construction of the Underground Reservoir

大森 久義*	繁縄 章吾**
Hisayoshi Omori	Syogo Shigenawa
中村 衛*	斎藤 禎二郎***
Mamoru Nakamura	Teijiro Saito
高木 太志****	
Futoshi Takagi	

要 約

大和御所道路天理地区改良工事は、京奈和自動車道の雨水を一時貯留することを目的とした貯水量 14,500 m³ の地下式調整池を構築するものである。

本書は、調整池工事のうち ECW 工法によるソイルセメント柱列壁の施工実績および長尺切梁支保工による掘削工事の計測管理について報告するものである。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要と地質、地形概要
- § 3. ECW 工法によるソイルセメント柱列壁の施工
- § 4. 長尺切梁支保工による計測管理
- § 5. おわりに

§ 1. はじめに

京奈和自動車道は、大和平野を南北に縦貫する延長約 120 km の高規格道路であり、国道 24 号線の渋滞緩和を目的として計画された。本工事は、このうち大和御所高架道路の雨水を一時的に貯留する地下式調整池、調整池までの排水施設および調整池から大和川への放流施設を築造するものである。

また、本工事は入札時に施工計画の提案を必要とする入札時 VE 方式の試行工事であり、提案内容として、工期の短縮が求められていたため、次の提案を行った。

- ① 調整池を施工するにあたり、橋梁上部工事（他工事）施工期間中での作業を可能にするため、支障部分に仮設覆工を設ける。
- ② 調整池をアイランド工法にて施工することにより、3 段目切梁を一部省略し、工事費の低減と工期の短縮を図る。

* 関西（支）和歌山土木（出）

** 関西（支）土木部

*** 海外（支）アルジェリア 11 & 12

**** 土木設計部設計課



写真—1 航空写真

本文では、調整池の施工のうち、ECW 工法によるソイルセメント柱列壁の施工および長尺切梁支保工による掘削工事の計測管理について報告する。

§ 2. 工事概要と地質、地形概要

2-1 工事概要（図—1 および図—2 参照）

工 事 名：大和御所道路 天理地区改良工事

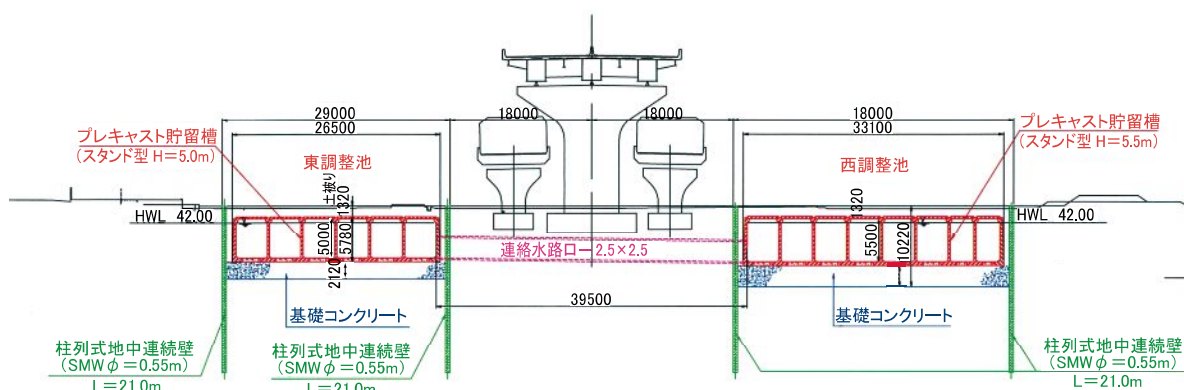
発 注 者：国土交通省近畿地方整備局奈良国道事務所

工事場所：奈良県磯城郡川西町下永地先

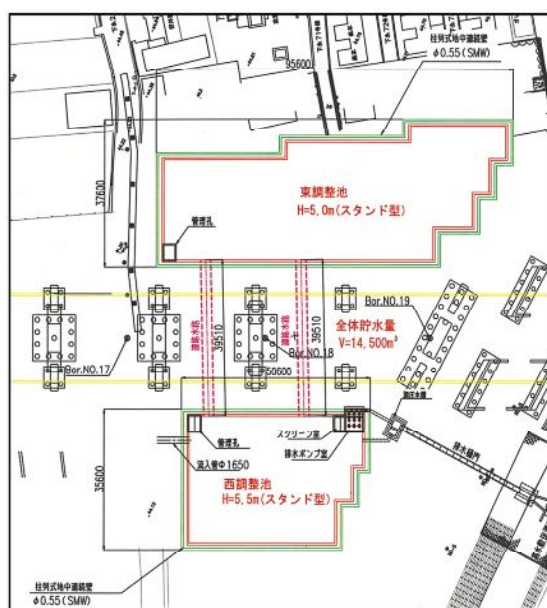
工 期：平成 16 年 9 月 21 日～平成 18 年 7 月 31 日

施 工 者：西松建設(株)（単独）

工事内容：地下式調整池：2 基（H=5.0 m～5.5 m）



図一 調整池一般図



図二 調整池全体平面図

連絡水路：ボックスカルバート $L=38\text{ m} \times 2$ 列（ $\square-2.5\text{ m} \times 2.5\text{ m}$ ）
 導水管：FRPM管 $L=553\text{ m}$ （ $\phi 1100 \sim \phi 1650$ ）
 樋管：ボックスカルバート $L=36\text{ m}$ （ $\square-1.0\text{ m} \times 1.0\text{ m}$ ）
 樋門：1式
 護岸：1式
 仮設工：柱列式中連続壁 $9,122\text{ m}^2$
 土留支保工 870 t
 中間杭 103本
 鋼矢板 1式

2-2 地質、地形概要（図-3 参照）

本調整池付近は大和川右岸堤体下に位置しており、以前は低地水田地帯であったが、近年宅地化が進んでいる場所である。土質は、砂質シルト層と砂層との互層状態が深く続いている。また、地下水位が高く、地表面より40 cm程度の深さに存在している。



図三 土質柱状図

§3. ECW 工法によるソイルセメント柱列壁の施工

3-1 工法概要

ECW 工法は従来のソイルセメント柱列壁工法で発生していた大量の排出泥土と使用硬化材料を低減する工法である。本工事では環境面に配慮して、当初計画の SMW 工法に対して ECW 工法を提案し、施工を行った。以下に ECW 工法の特長および施工手順を述べる。

(1) 特長

- ① 建設汚泥が従来工法の最大 50% まで低減できる。
- ② 硬化材料および用水費が従来工法の最大 30% まで低減できる。
- ③ 5 軸削孔機を使用することにより、従来の 3 軸削孔機に対して施工量が 2 倍となり、工期短縮が図れる。

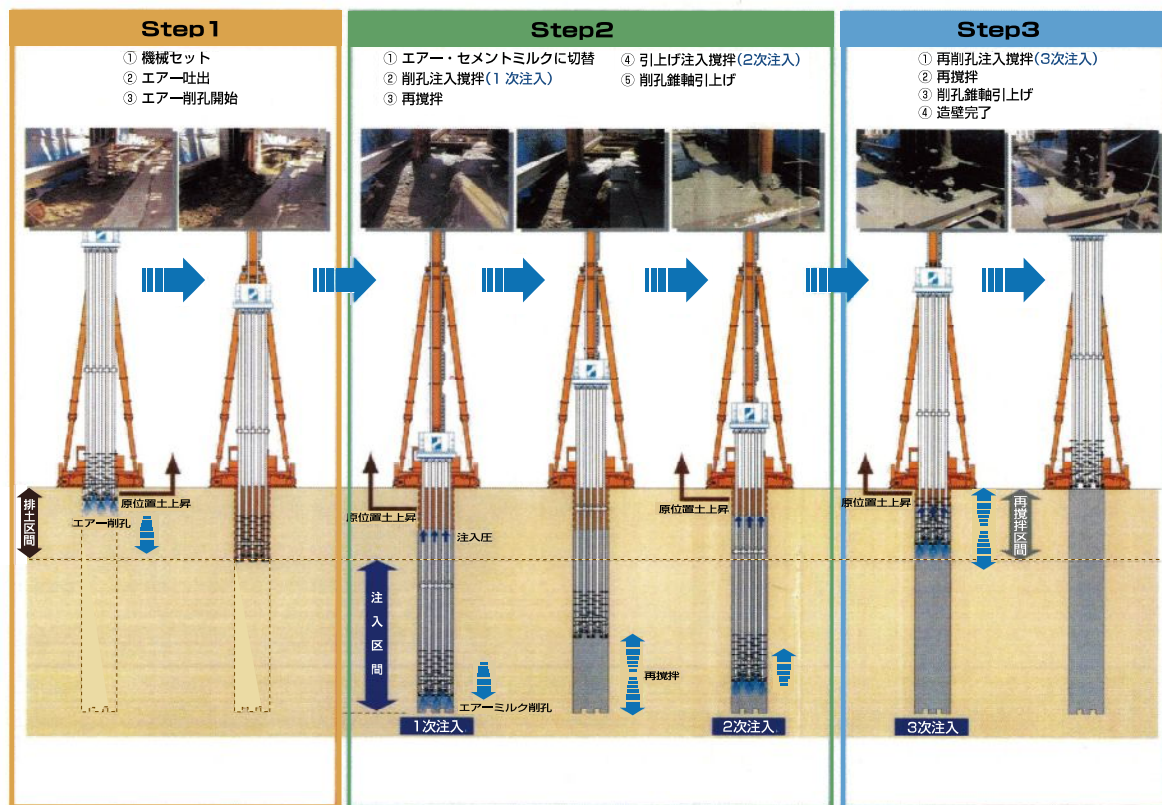
(2) 施工手順（図-4 参照）

① ステップ 1（排土区間）

排土区間はエアまたはエア+少量の水で削孔を行う。この区間はステップ 2 で行う注入区間に対するセメントミルク注入攪拌で、ソイルセメントの膨れ上がりにより地上部に排出される。

② ステップ 2（注入区間）

注入区間開始地点からエア+セメントミルクの

図ー4 ECW 工法施工フロー¹⁾

注入を開始し、所定深度まで削孔攪拌を行う。最深部では反復攪拌を行う。引き続き、引き上げ注入攪拌を注入区間の範囲で行いロッドを地上部まで引き上げる。

③ ステップ 3 (再攪拌区間)

ステップ 2 の作業完了後、地上部よりエア+セメントミルクの注入攪拌を開始し、排土区間を反復攪拌する。

3-2 計画

(1) 土留壁諸元

構造計算結果により、土留壁の仕様を表一1のとおり決定した。

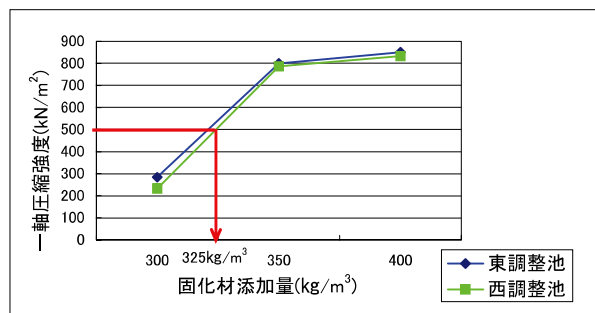
(2) 固化材

硬化材の配合を決定するにあたり、設計基準強度を 500 kN/m^2 とし、現位置採取土にて室内配合試験を行った。試験結果より、図一5および表一2のとおり配合を決定した。

また、ECW 工法においては、注入区間と排土区間に分かれており、削孔長に対する硬化材注入範囲の割合を注入長率という。注入区間は、対象土 1 m^3 あたりの硬化材注入量および削孔長から求められ、原位置土排泥区間残留長(排泥区間長の 20%：実績値)との合計が総注入長となる。本工事では、総注入長を 14.5 m、排泥区間長を 9.3 m に設定した。

表一1 土留壁仕様

	削孔径 (mm)	改良長 (m)	SET 数	造成面積 (m^2)	芯材	
					規格	長さ (m)
東調整池	600	21.0	44	1,796	H-450×200×9×14	15.5
	550		108	3,752	H-400×200×8×13	
西調整池	550		97	3,574	H-400×200×8×13	16.0
計			249	9,122		



図一5 配合試験結果

表一2 決定配合

	固化材	ベントナイト	水	W/C
標準配合	325 kg/m^3	5 kg/m^3	630 l/m^3	193%
予定数量	1,087,125 kg	16,725 kg	2,107,350 l	

3-3 施工実績

本工事では、東西調整池を2台の機械を使用して施工を行った。約40日にて全ての施工を完了し、1日当たりの施工面積は 134 m^2 とSMW工法（SMW協会標準積算資料）の約2.4倍の結果となり、工期短縮に貢献した。

建設汚泥の発生量については、SMW工法の48.5%と大きく減量化できたものの、当初の計画量に対しては上回る結果となった。この要因としては、シルトおよび粘性土の割合が当初想定していたよりも多かったことと、施工ヤードの関係上、搬出時の水切り状態が完全でなかったことが挙げられる。

また、硬化材注入量については、ほとんど削減できず、SMW工法と同等の数値となった。これは、一部の区間（旧民家の基礎周辺）において逸泥の傾向が見られ、硬化材が上昇するまでに時間を要したためである。今回は特に対策等を講じることもなかったが、状況によっては、配合の見直し（ベントナイトの増量、逸泥剤の添加等）を検討する必要がある。

表-3 施工実績比較表

	ECW 工法		SMW 工法	①/ ②×100
	計画	①実績	②計画	
施工日数	98日 ($93\text{ m}^2/\text{日}$)	68日 ($134\text{ m}^2/\text{日}$)	160日 ($57\text{ m}^2/\text{日}$)	42.5%
建設汚泥発生量	$1,982\text{ m}^3$	$2,405\text{ m}^3$	$4,956\text{ m}^3$	48.5%
固化材使用量	$1,087,135\text{ kg}$	$1,184,992\text{ kg}$	$1,209,356\text{ kg}$	98.0%
ベントナイト使用量	$16,725\text{ kg}$	$18,290\text{ kg}$	$18,605\text{ kg}$	98.3%

※施工日数は機械を1台使用したとして算出

表-4 深度別圧縮強度

深 度	圧縮強度（平均値） N/mm^2
GL-5 m	1.72
GL-10 m	1.68
GL-15 m	1.77
GL-20 m	1.65



写真-2 ECW工法施工状況

壁体強度については、平均 1.70 N/mm^2 と目標強度（ 0.5 N/mm^2 ）に対して充分余裕のある結果となった。これは、配合決定の試料採取を最も安全側である腐植土としたためである。深度別の圧縮強度試験結果を表-4に示す。各深度において大きな強度の差は見られず、土砂と硬化材の混練攪拌が充分行えることが立証できる結果となった。

§4. 長尺切梁支保工による計測管理

4-1 計画

今回、調整池の施工における重点項目のひとつに掘削時の安全確保があげられる。切梁最大スパンが89mと長尺であることより、施工中の土留工の計測管理は最重点課題であった。

当初設計を見直すにあたり、周辺構造物の状況、隣接工事による影響等を考慮して設計条件を6つに区分けした。このうち、周辺に近接構造物等が存在する箇所（民家近接部、河川保全部）については、プレロードを導入することにより、土留壁の許容変位量を50mm以下とし、それ以外は応力度から構造を決定した。

また、床付付近および土留壁下端付近に存在する粘性土により、掘削時の盤膨れが懸念されたため、対策として揚水井戸による地下水位低下工法を採用した。この揚水井戸の本数等を決定するため、揚水試験および現場透水試験を実施した。現場透水試験の結果、砂層および砂礫層における透水係数は $k=4.5\times 10^{-4}\text{ cm/sec}\sim 5.4\times 10^{-3}\text{ cm/sec}$ と全体的に排水良好であり、実際の揚水試験においても各調整池に1箇所揚水井戸を設けることで安全な施工が可能であることを確認した。

掘削工の施工フローを図-6、アイランド工法施工順序を図-7、計測項目を表-5、計器配置図を図-8に示す。なお、表-5における中間杭変位計測は、杭の鉛直変位により切梁と腹起しが偏心し、腹起しウェブの切梁接合部が局部座屈しないかを監視するためである。

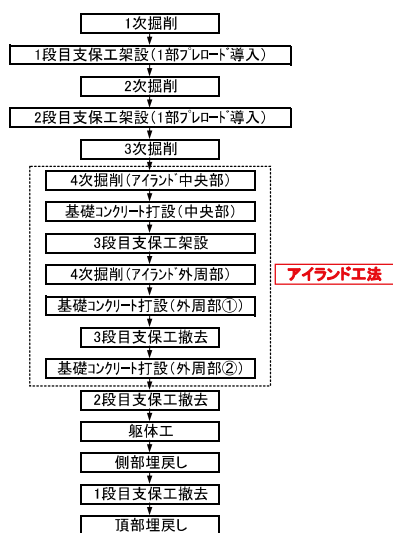
計測管理値については、各施工ステップにおける理論最大値の80%を1次管理値、理論最大値を2次管理値とした。

4-2 施工実績

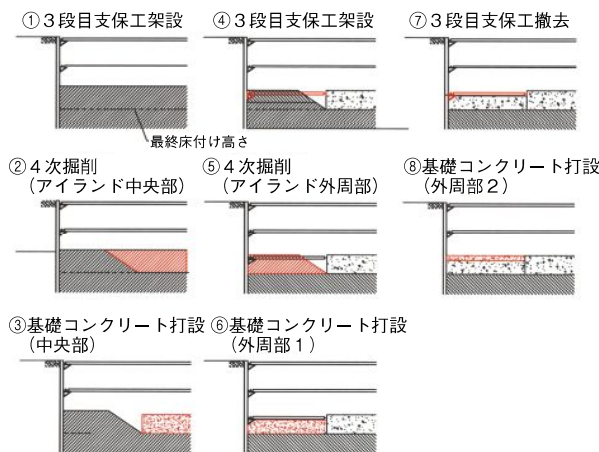
当工事では、平成17年2月に掘削を開始し、平成18年1月に埋戻しを完了した。

土留壁変位の計測値を表-6に示す。変位量については、全ての測点において理論値の10%~60%の範囲に収まっており、管理値に対して余裕のある結果となった。

この一番大きな要因として、地下水位が想定していた位置より2m程度低かった事と、上載荷重が常時作用していなかったことが考えられる。実際に地下水位および上載荷重を見直し、解析したところ、変位量は理論値の約60%に低減した。さらに最大変位発生深度については、解析結果と類似した結果が得られた。



図一六 掘削工施工フロー



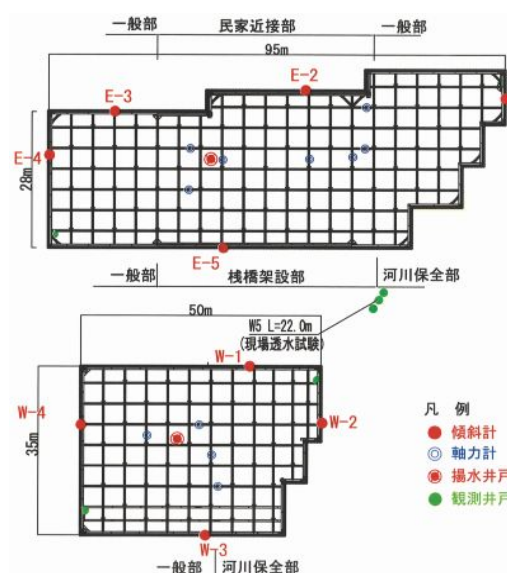
図一七 アイランド工法施工順序図

表一五 計測項目

測定項目	測定方法	測定頻度
土留壁変位	挿入式傾斜計	掘削中 1 回 / 日
土留壁頭部変位	トランシット	1 回 / 週
切梁軸力	圧力計	2 回 / 日 (午前, 午後)
中間杭変位	レベル	掘削中 1 回 / 日
調整池内外水位	手測り式水位測定器	1 回 / 日
周辺地盤変状	レベル	掘削中 1 回 / 日

切梁軸力の計測値を表一七に示す。1 段目切梁について理論値を超えることがあったものの、概ね理論値どおりの結果であったと言える。1 次管理値を超えた段階で、測定頻度を 3 回/日にし、土留支保工の点検およびスチフナージャッキ等補強材料の段取を行った程度で、特別な対策を講じる事無く、施工を完了することができた。

切梁軸力と気温の関係を表一八に示す。鋼材そのものの温度では無いものの、気温上昇に伴う軸力の上昇は、切梁長さが長い程顕著に見られ、温度軸力が切梁軸力の 50% 以上を占めるものも見られた。土留背面の状態、切梁固定方法等により、一概には言えないが、規模によっては土留支保工の安全性を損なう原因ともなりかねない。



図一八 計器配置図

表一六 土留壁変位計測結果

東調整池河川保全部 (E1)

ステップ No.	理論値		実測値		備考
	発生深度 (GL-m)	変位 (mm)	発生深度 (GL-m)	変位 (mm)	
1	0.00	21.8	—	—	一次掘削完了
2	3.20	4.7	3.5	0.9	1 段目支保工架設 (プレロード時)
3	4.87	21.2	5.0	3.2	二次掘削完了
4	5.20	18.4	5.5	2.8	2 段目支保工架設 (プレロード時)
5	7.11	34.4	7.5	12.6	三次掘削完了
6	8.35	38.5	8.0	18.4	四次掘削完了
7	8.06	37.8	7.5	20.2	2,3 段目支保工撤去

東調整池民家近接部 (E2)

ステップ No.	理論値		実測値		備考
	発生深度 (GL-m)	変位 (mm)	発生深度 (GL-m)	変位 (mm)	
1	0.00	27.3	—	—	一次掘削完了
2	3.20	5.9	4.0	1.8	1 段目支保工架設 (プレロード時)
3	4.94	25.9	6.0	4.2	二次掘削完了
4	7.08	43.9	7.5	8.7	三次掘削完了
5	8.30	49.6	8.5	12.5	四次掘削完了
6	8.02	48.9	7.5	13.0	2,3 段目支保工撤去

東調整池一般部 (E3, E4)

ステップ No.	理論値		実測値		備考
	発生深度 (GL-m)	変位 (mm)	発生深度 (GL-m)	変位 (mm)	
1	0.00	27.3	—	—	一次掘削完了
2	3.76	36.7	5.0	9.1	二次掘削完了
3	6.59	50.3	7.5	13.2	三次掘削完了
4	7.76	54.3	8.0	18.0	四次掘削完了
5	5.88	55.5	6.0	21.2	2,3 段目支保工撤去

東調整池棧橋架設部 (E5)

ステップ No.	理論値		実測値		備考
	発生深度 (GL-m)	変位 (mm)	発生深度 (GL-m)	変位 (mm)	
1	0.00	24.4	—	—	一次掘削完了
2	3.49	31.7	5.0	3.8	二次掘削完了
3	6.48	42.7	7.0	5.6	三次掘削完了
4	7.60	46.5	8.0	7.0	四次掘削完了
5	5.84	47.6	7.0	10.1	2,3 段目支保工撤去

西調整池一般部 (W1, W3, W4)

ステップ No.	理論値		実測値		備考
	発生深度 (GL-m)	変位 (mm)	発生深度 (GL-m)	変位 (mm)	
1	0.00	27.3	—	—	一次掘削完了
2	3.94	38.6	5.0	3.9	二次掘削完了
3	7.16	56.5	8.0	18.6	三次掘削完了
4	9.00	63.8	8.0	18.8	四次掘削完了
5	6.71	62.0	7.5	28.5	2,3 段目支保工撤去

西調整池河川保全部 (W2)

ステップ No.	理論値		実測値		備考
	発生深度 (GL-m)	変位 (mm)	発生深度 (GL-m)	変位 (mm)	
1	0.00	27.3	—	—	一次掘削完了
2	3.20	5.9	5.0	2.0	1 段目支保工架設 (プレロード時)
3	4.99	28.3	5.5	3.9	二次掘削完了
4	5.25	24.9	6.0	3.2	2 段目支保工架設 (プレロード時)
5	7.63	46.6	8.0	7.9	三次掘削完了
6	9.42	48.6	8.0	14.4	四次掘削完了
7	9.41	48.1	7.0	19.2	2,3 段目支保工撤去

表一七 切梁軸力計測結果

東調整池河川保全部					
ステップ	1 段目 (kN/本)		2 段目 (kN/本)		備 考
No.	理論値	実測値	理論値	実測値	
2	563	431	—	—	1 段目支保工架設（プレロード時）
3	752	539	—	—	二次掘削完了
4	667	608	430	431	2 段目支保工架設（プレロード時）
5	492	490	971	686	三次掘削完了
6	454	441	919	882	四次掘削完了
7	691	568	—	—	2,3 段目支保工撤去
東調整池民家近接部					
ステップ	1 段目 (kN/本)		2 段目 (kN/本)		備 考
No.	理論値	実測値	理論値	実測値	
2	590	431	—	—	1 段目支保工架設（プレロード時）
3	806	500	—	—	二次掘削完了
4	513	500	1000	715	三次掘削完了
5	467	461	945	833	四次掘削完了
6	742	617	—	—	2,3 段目支保工撤去
西調整池一般部					
ステップ	1 段目 (kN/本)		2 段目 (kN/本)		備 考
No.	理論値	実測値	理論値	実測値	
2	630	461	—	—	二次掘削完了
3	239	294	1282	853	三次掘削完了
4	186	206	1128	902	四次掘削完了
5	577	490	—	—	2,3 段目支保工撤去
西調整池河川保全部					
ステップ	1 段目 (kN/本)		2 段目 (kN/本)		備 考
No.	理論値	実測値	理論値	実測値	
2	563	421	—	—	1 段目支保工架設（プレロード時）
3	782	502	—	—	二次掘削完了
4	698	485	430	343	2 段目支保工架設（プレロード時）
5	426	353	1241	853	三次掘削完了
6	444	333	1006	970	四次掘削完了
7	680	539	—	—	2,3 段目支保工撤去

表一八 切梁軸力と気温の関係

測定日	気温 (℃)			切梁軸力 (kN)			切梁軸力 (kN)		
				L=31m			L=89m		
	①	②	①-②	①	②	①-②	①	②	①-②
H17.4.5	22.0	11.5	10.5	450.8	215.6	235.2	411.6	98.0	313.6
H17.4.14	23.0	10.0	13.0	499.8	254.8	245.0	480.2	215.6	264.6
H17.5.10	30.0	26.0	4.0	450.8	254.8	196.0	509.6	205.8	303.8
H17.5.11	27.0	17.0	10.0	499.8	294.0	205.8	607.6	313.6	294.0
H17.5.21	31.0	25.0	6.0	362.6	313.6	49.0	303.8	274.4	29.4
H17.5.28	32.0	27.0	5.0	441.0	294.0	147.0	392.0	254.8	137.2
H17.5.30	26.0	23.0	3.0	450.8	294.0	156.8	519.4	254.8	264.6
H17.5.31	30.5	21.0	9.5	441.0	294.0	147.0	460.6	264.6	196.0
H17.6.2	19.0	19.0	0.0	441.0	294.0	147.0	401.8	196.0	205.8
H17.6.3	32.0	22.0	10.0	470.4	294.0	176.4	470.4	205.8	264.6
H17.6.4	32.0	24.0	8.0	480.2	294.0	186.2	499.8	274.4	225.4
H17.6.6	36.5	25.0	11.5	470.4	333.2	137.2	499.8	313.6	186.2
H17.6.7	31.0	24.0	7.0	441.0	303.8	137.2	441.0	294.0	147.0
H17.6.21	34.0	28.0	6.0	421.4	294.0	127.4	480.2	294.0	186.2
H17.6.24	34.0	26.0	8.0	343.0	284.2	58.8	323.4	294.0	29.4
H17.6.25	38.0	28.0	10.0	441.0	303.8	137.2	470.4	294.0	176.4
H17.6.27	35.0	28.0	7.0	431.2	294.0	137.2	499.8	352.8	147.0
H17.7.2	22.0	22.0	0.0	421.4	313.6	107.8	470.4	323.4	147.0
H17.7.7	34.0	26.0	8.0	294.0	303.8	-9.8	411.6	441.0	-29.4
H17.7.8	33.0	28.0	5.0	441.0	294.0	147.0	499.8	362.6	137.2

①：14:00 測定，②：8:00 測定

ため、一般的に用いられている温度軸力 150 kN という値は、十分検討する必要があると思われる。

水位については、井戸による定常的な揚水により、安定した値を保持することができ、掘削に影響を与えることはなかった。

§ 5. おわりに

調整池本体工事は、平成 16 年 12 月に着手し、平成 18 年 1 月に埋戻しを完了し、工事全体も平成 18 年 7 月に無事竣工した。

本工事は、対象範囲が定められた VE 対象工事であり、調整池工事については、設計条件を見直し、仮設工の工法、仕様および底盤コンクリート厚等について提案し、変更した。「より良いものを顧客に提供する」という点で、貢



写真一三 東調整池施工状況



写真一四 アイランド工法施工状況



写真一五 調整池内部

献できたのではないかと同時に、必要性を痛感した。

また、供用開始日が決まっていたため、橋梁上下部工事、道路改良工事、各設備工事および舗装工事がほぼ同時期に発注され、施工が輻輳するなか、冒頭で述べた提案内容を履行した結果、当初の計画工期内で施工を完了することができた。ただし、アイランド工法については、アイランド外周部の掘削作業が、狭隘であったため、工期面では思ったほどの成果が上がらなかった。

最後に、本工事の施工にあたり、関係各位の皆様には多大なる御指導、御協力を頂きましたことを心より感謝し、厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 株式会社 丸德基業：ECW 工法カタログ