

軟弱地盤における地下貯留式調整池の施工に関する技術的課題と対応

Technical subjects on the construction of an underground regulating reservoir on the soft ground

田上 孝樹*

Kouki Taue

柴澤 英之**

Hideyuki Shibasawa

加藤 雅人**

Masahito Katou

齋藤 禎二郎***

Teijiro Saito

要 約

軟弱地盤においてオープン掘削を実施する場合は、安全な掘削勾配を確保するために広大な施工ヤードが必要である。また、土留掘削の場合は、土留支保材の干渉により施工能力が低下したり、掘削時にダンプトラックの直接乗入・積込が困難となるため、工期が著しく伸びる傾向にある。

本工事では、施工ヤードの限られる中での掘削方法として、中層混合処理工法による改良体を重力式擁壁と見立てたオープン掘削を実施した。また、総貯留量 7,000 m³ を超える大型地下貯留槽をプレキャストにて施工し、工期を大幅に短縮した事例を報告する。

目 次

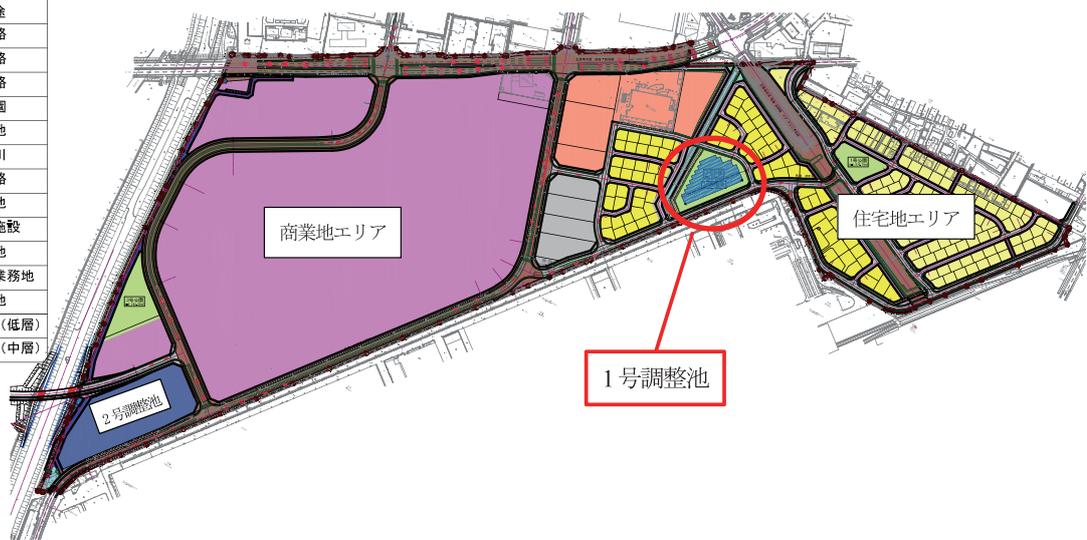
- § 1. はじめに
- § 2. 地質概要
- § 3. 地下貯留式調整池の工法選定
- § 4. 施工方法
- § 5. 中層混合処理工法の配合設計及び品質管理
- § 6. まとめ

§ 1. はじめに

「利府町新中道土地区画整理事業 造成工事」は、宮城県宮城郡利府町字新揺橋地内において、施工面積約 32.7 ha の造成工事を行う工事である。造成区域内には、商業用地、住宅地、公園、道路、調整池がレイアウトされ、調整池はオープン式と地下貯留式の 2 箇所となっている。

凡 例

用途
幹線道路
区画道路
特殊道路
街区公園
緑地
河川
水路
調整池
下水道施設
商業地
公益・業務地
業務地
住宅地（低層）
住宅地（中層）



図一1 全体平面図（土地利用計画図）

* 北日本（支）利府（出）（現：長面海岸（出））

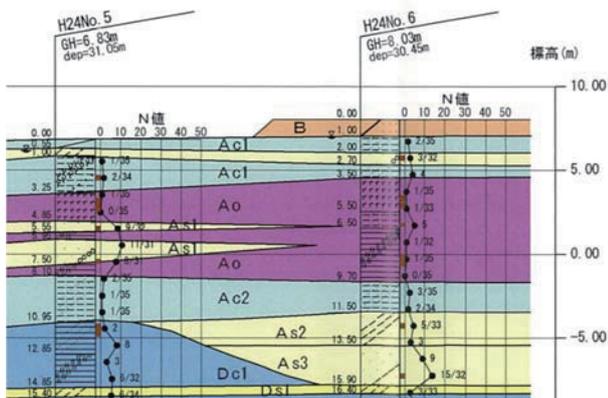
** 北日本（支）利府（出）

*** 土木設計部

地下貯留式の1号調整池は、流域面積 9.85 ha の雨水排水を隣接する砂押川へ放流する際の調整機能を有し、洪水調整方式はポンプ放流方式である。計画地内の敷地を有効利用するため地下貯留型とし、上部に2号公園を整備する。掘削深さが約 5.5 m と深く、周囲を町道新河原車両基地線及び農業用水路に囲まれている。

§2. 地質概要

施工箇所は宮城野原平野の最北端に位置する。宮城野原平野は標高 20 m 未満であり、地質は主に新第三紀の堆積岩類と第四紀の未固結な堆積物である礫・砂・泥・有機質土からなる。表層部は自然堤防(未発達部)～后背湿地上にあたる。沖積低地を構成する沖積層は、河川の氾濫及び本流の堆積物で谷出口が閉塞されたことによって生じた、低湿地性の軟弱な粘性土や有機質土や砂質土等の堆積物が複雑に交錯しながら堆積して形成されている。



- Ac:沖積粘性土層
シルト, 砂混じりシルト
全般に含水量が多く脆弱
N値:0~6程度
- Ao:沖積有機質土層
腐植土, 有機質土
軽量で多数の未分解腐食物を混入
N値:0~5
※沈下の主要因となる土層
- As:沖積砂質土層
シルト質砂, 礫混じり砂
粒子不均一の細~中砂主体
N値:2~31

図-2 地質断面図

§3. 地下貯留式調整池の工法選定

1号調整池の計画諸元は、調整容量算出対象流域面積：9.85 ha，調整容量：7,388 m³となる。施工計画を立案するにあたって、(1)地下貯留槽の施工方法選定、(2)土留工法の選定が課題となった。

(1) 地下貯留槽の施工方法選定

地下貯留槽の施工方法には、現場打ち鉄筋コンクリートによる方法と、プレキャスト製品を使用した方法があり、各施工方法を比較した結果、表-1に示すとおりとなった。プレキャスト工法は、工事費が高く(1.28倍)なるが、工期(0.28倍)、品質、安全性(施工性)の優位を評価し、プレキャスト工法を採用した。

表-1 地下貯留槽 工法比較検討表

	現場打ち工法		プレキャスト工法	
品質 出来型	施工者の技術に左右される	△	工場製作により均一で良質な製品となる	○
安全性	型枠や支保工などの作業場の障害が多く、安全性に劣る	△	型枠や支保工などの作業場の障害が少なく、安全性が高い	○
概算 工期	228日(1.00)	△	64日(0.28) (別途 工場製作 160日)	◎
概算 工事費	1.00(基準)	○	1.28	△

(2) 土留め工法の選定

土留め工法の選定の際の条件として、掘削深さ：5.5 m，地下水位：GL-1.5 m，軟弱地盤：N値0~11程度，周囲を町道・農業用水路に囲まれ施工ヤードが狭いことが上げられる。止水性・工事費・施工性を考慮し、中層混合処理土による重力式擁壁を採用した(表-2)。

表-2 土留め工法 比較検討表

工法名称	支保工形式	掘削方法	検討
親杭横矢板		全断面掘削	止水性がないため×
鋼矢板	切梁式	全断面掘削	施工性×, 工事費×
		アイランド工法	工期×
	アンカー式	全断面掘削	支持地盤が無いため×
	控え杭タイロッド式	全断面掘削	施工ヤードがないため×
鋼管矢板		全断面掘削	工事費×
柱列式連続壁		全断面掘削	工事費×
地中連続壁		全断面掘削	工事費×, 工期×
中層混合処理土による重力式擁壁		全断面掘削	止水性○, 工事費○ 施工性◎

重力式擁壁の検討を行った結果、図-3に標準断面を示す。重力式擁壁は、転倒・滑動・支持力・円弧すべりについて検討した。検討の結果、改良目標値を 250 kN/m²と設定した。重力式擁壁となる改良体部は、沈下の主要因である腐植土層(Ao層)下端まで改良することで擁壁部のプレロード盛土が不要となる利点も本工法の採用に至った理由のひとつである。

次に、改良体を形成する中層混合処理工法の選定を行った(表-3)。選定の際の条件として、改良深さ：7.5 m，改良目標値：250 kN/m²，被圧地下水：6.0 m，土質：砂質土 N=11，粘性土 N=2，腐植土有りが上げられる。以上の条件を考慮し、比較検討を行った結果、パワーブレンダー工法(スラリー噴射攪拌方式)を採用した。

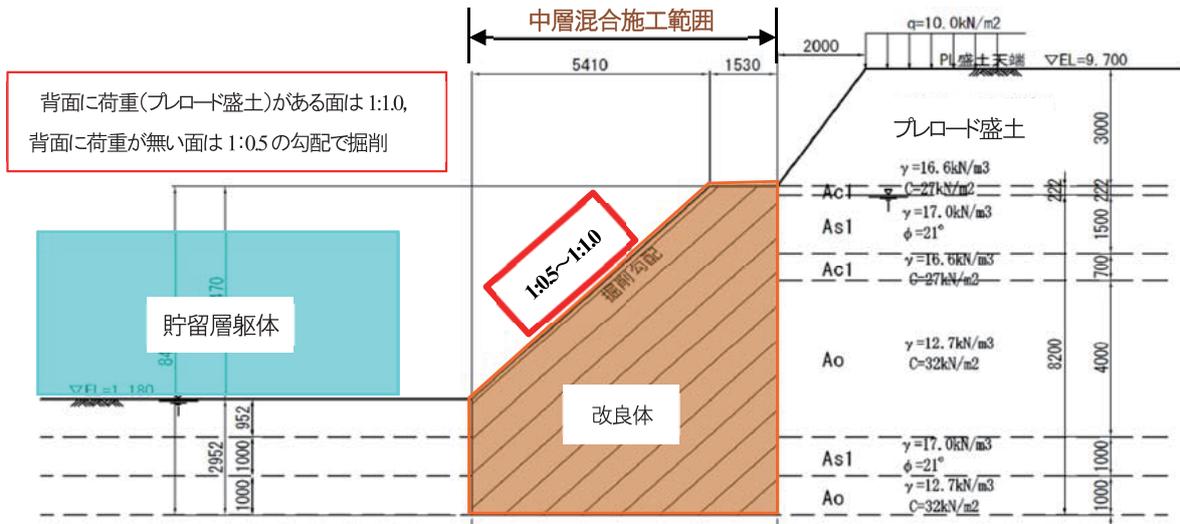


図-3 標準断面図 (概要図)

表-3 中層混合処理工法 比較検討表

No.	工法名	適用土質				被圧 地下水 ≥2m	改良可能 深度	改良 目標値 kN/m ²	標準施工能力	概算標準工事費
		砂質土	粘性土		腐植土					
		N値<20	N値<4	4≤N<10						
1	マッドスタビ工法	○	○	△	○	×	4mまで	100~400	196 m ² /日	2800 円/m ²
2	自走式施工法 (ARM 工法)	△	○	×	○	×	5mまで	50~300	147 m ² /日	3727 円/m ²
3	自走式施工法 (LVM 工法)	△	○	×	○	×	6mまで	50~300	100 m ² /日	4500 円/m ²
4	長尺横形式泥上施工法(FVM 工法)	○	○	×	○	×	10mまで	60~1000	178 m ² /日	3897 円/m ²
5	長尺横形式水中施工法(FAM 工法)	○	○	×	○	×	8mまで	60~1000	257 m ² /日	4229 円/m ²
6	マッドミキサー M-II 工法	○	○	○	○	○	4mまで	125	119.7 m ² /日	2513 円/m ²
7	SCM 工法	△	○	△	○	△	10mまで	100~1000	100~250 m ² /日	4000~6000 円/m ²
8	ISM 工法	○	○	○	×	○	5mまで	1000~18000	60~90 m ² /日	11000~16000 円/m ²
9	WILL 工法	○	○	○	○	×	8mまで	100~2000	180 m ² /日	3100 円/m ²
10	アイマーク工法Ⅱ	○	○	○	△	○	8mまで	600~1800	80 m ² /日	14000 円/m ²
11	VMS 工法	○	○	△	○	△	10mまで	200	108 m ² /日	4700 円/m ²
12	ST コラム工法	○	○	○	○	○	10mまで	600~1200	80 m ² /日	15000~25000 円/m ²
13	三次元攪拌工法	○	○	○	○	○	7mまで	800~5000	100 m ² /日	3500 円/m ²
14	パワーブレンダー工法 (スラリー噴射攪拌方式)	○	○	○	○	○	10mまで	100~2000	50 m ² /日	3200 円/m ²
15	MMB 工法	○	○	○	○	×	6mまで	100~2000	50 m ² /日	1900 円/m ²

中層混合処理工法

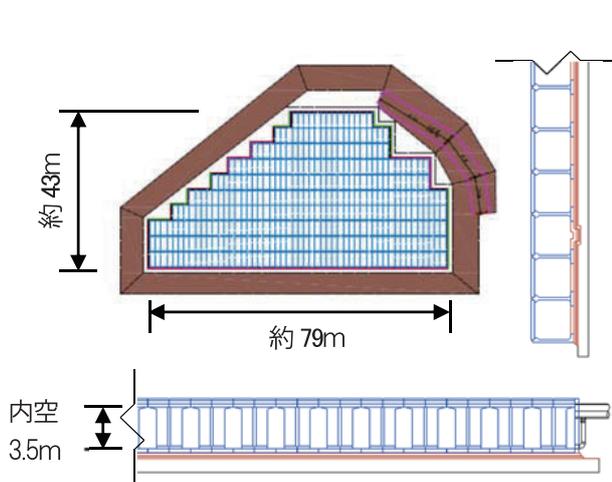


図-4 1号調整池平面図・断面図

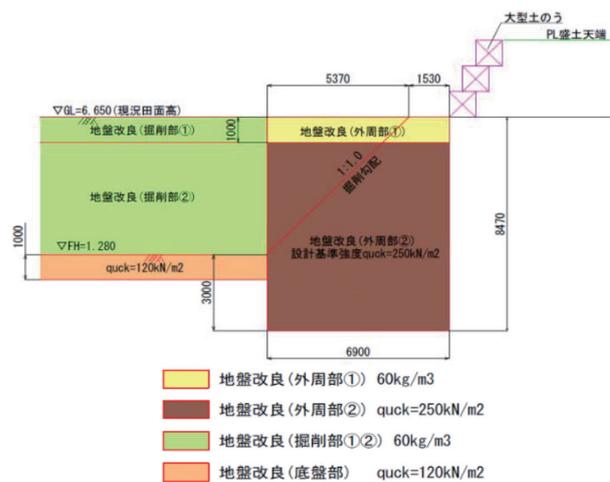


図-5 土留め部 標準断面図 (改良種別)

パワーブレンダー工法は、騒音・振動が少なく、周囲に町道・新幹線車両基地がある現場条件に適している。また、施工箇所の地質のように多くの地層が混在している箇所では、均一な改良体の形成が課題となるが、パワーブレンダー工法は上下攪拌による均質な改良が行えるため、均一な改良体が形成できる。

以上より、計画された1号調整池の平面図及び断面図を図-4に示す。容積 $V_1=7,411 \text{ m}^3$ 、内空 $H=3.5 \text{ m}$ 、掘削土量 $V_2=19,500 \text{ m}^3$ 、掘削底面積 $A=2,500 \text{ m}^2$ となる。

§ 4. 施工方法

4-1 掘削・地盤改良工

図-5に施工箇所毎の地盤改良種別を示す。重力式擁壁となる改良体は改良目標値を 250 kN/m^2 、掘削底盤は、ダンプトラックの走行に必要なコーン指数： $1,200 \text{ kN/m}^2$ より、改良目標値を 120 kN/m^2 に設定した。その他の掘削土は盛土として流用するため、最低添加量¹⁾である 60 kg/m^3 にて改良を行った。

以下に施工手順を示す。

(1) バックホウによる表層混合改良 (H=1.0 m)

まず初めに、バックホウによる表層混合改良を行う(図-6)。

(2) 中層混合改良部の盤下げ掘削

パワーブレンダー工法による“ふけ土”を考慮し、中層混合改良部の $H=1.0 \text{ m}$ を盤下げ掘削する(図-7)。

(3) パワーブレンダー工法による地盤改良

改良体形成のため、パワーブレンダー工法による地盤改良を行う(図-8)。

(4) 掘削

バックホウによる表層混合改良 ($H=1.0 \text{ m}$) と掘削 ($H=1.0 \text{ m}$) を繰り返し行いながら、計画床まで掘削する(図-9)。

(5) 底盤改良

掘削底盤部の表層混合改良 ($H=1.0 \text{ m}$) をバックホウにて行う(図-10)。

以上の工程により、1号調整池の掘削・地盤改良を完了する。

4-2 プレキャスト地下貯留槽躯体工

プレキャストブロックはスタンド型タイプを採用した。部材は中間ブロック (4.4 t) : 104 本、端部ブロック (5.5 t) : 328 本、頂版ブロック (6.0 t) : 380 本からなり、50 t ラフタークレーンを使用し据付けた(写真-1, 写真-2)。妻側の側壁及び底板は現場打ちコンクリートである。現場打ち部との結合は、プレキャスト部材に埋め込んだ S インサートに鉄筋を挿入し、現場打ち部の鉄筋と重ね合わせ打設した。目地は、内部・外部ともにコーキング処理を行った。防水として、外表面は目地部に防水シートを貼り付け、部材結合部に止水材を貼り付けた。

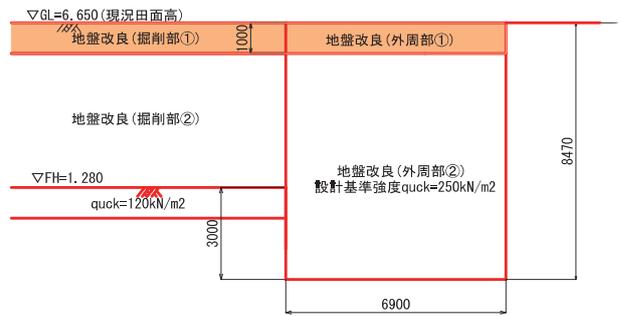


図-6 バックホウによる表層混合改良

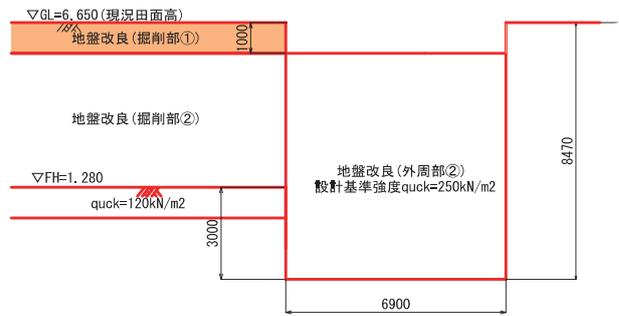


図-7 中層混合改良部の盤下げ掘削

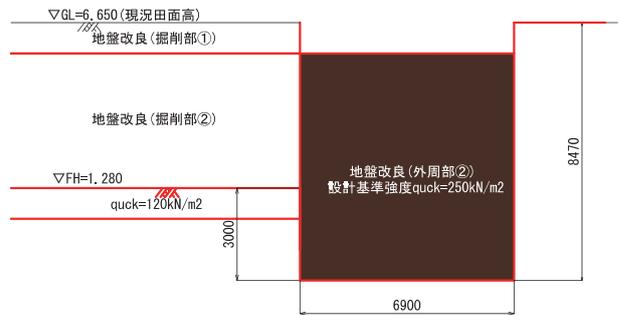


図-8 パワーブレンダー工法による地盤改良

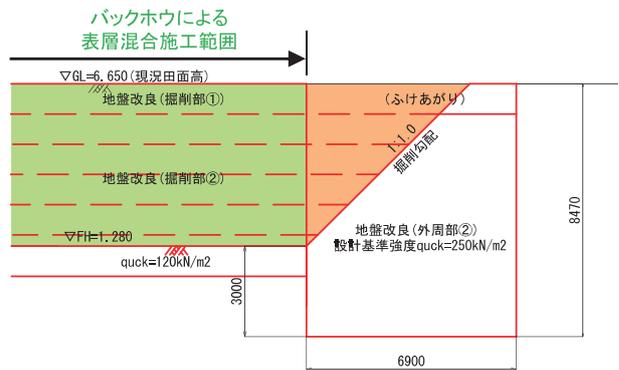


図-9 掘削

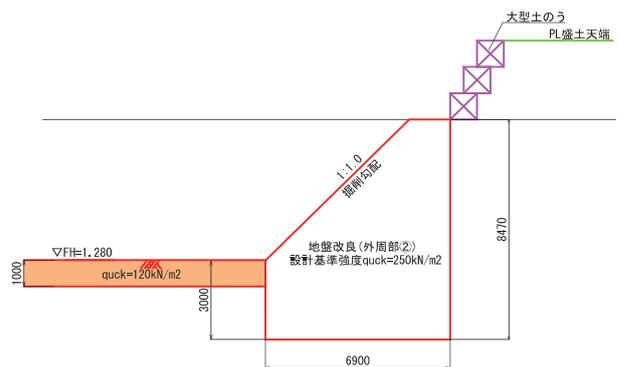
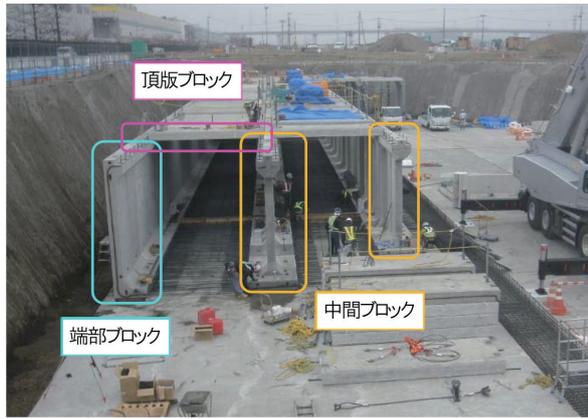


図-10 底盤改良



写真一 プレキャスト地下貯留槽 部材



写真二 プレキャスト地下貯留槽 側壁

平成 26 年度から平成 28 年度の実績²⁾を確認すると、90 件の施工実績の中で東北地方では 2 件しか実績がなく、総貯留量 7,411 m³ は全国で 7 番目の大きさであった。現場ではプレキャスト雨水地下貯留施設協会の現場見学会が開催されるなど、注目を集める工事であった。

§ 5. 中層混合処理工法の配合設計及び品質管理

(1) 中層混合処理土の配合設計

設計基準強度を $qu_{f28} = 250 \text{ kN/m}^2$ 、室内目標強度を $qu_{l28} = qu_{28}/0.4 = 625 \text{ kN/m}^2$ として配合設計を行った。仮設構造物であっても、止水を伴った土留めの役割をはたすもの等本設利用に近い場合については、高い「現場/室内強度比」を必要とする³⁾ため、現場/室内強度比を 0.4 に設定した。改良深度は約 7.5 m であるため、テーブルフロー値は望ましい施工性を得るため 127 mm に設定した。

現位置において採取した試料（湿潤密度 $\rho_t = 1.614 \text{ g/cm}^3$ 、含水比 $W_n = 61.4\%$ ）に対して、高炉セメント B 種、高有機質土用固化材、特殊土用固化材の 3 種類の固化材を用いた配合試験及び六価クロム溶出試験を行った。六価クロム溶出試験の結果は 3 種類すべて定量下限値である 0.02 mg/L を下回った。図-11 に添加量と一軸圧縮強度の関係を示す。配合試験の結果を経済比較（表-4）し、当該現場では高有機質土用固化材を採用し、水セメント比 129%、添加量 112 kg/m³ で施工することとした。採用された配合を、表-5 に示す。

(2) 中層混合処理土の品質管理

パワーブレンダー工法による中層混合処理においては、混合攪拌の施工管理として羽根切り回数 50 回/m² 以上として施工している。図-12 に施工中の羽根切り回数の計測値を示す。最小値は 56 回/m² という結果であり基準値を満足した。

品質管理については、45 箇所て改良体の試料を採取し、一軸圧縮試験により 7 日強度および 28 日強度の確認試験を行った。図-13 に示す試験の結果より、設計基準強度 250 kN/m² に対して、最小値は 274 kN/m² という結果

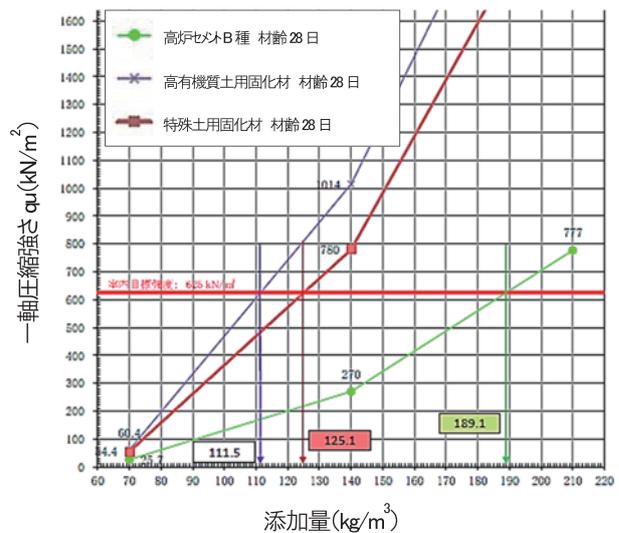


図-11 添加量と一軸圧縮強度の関係

表-4 固化材 経済比較表

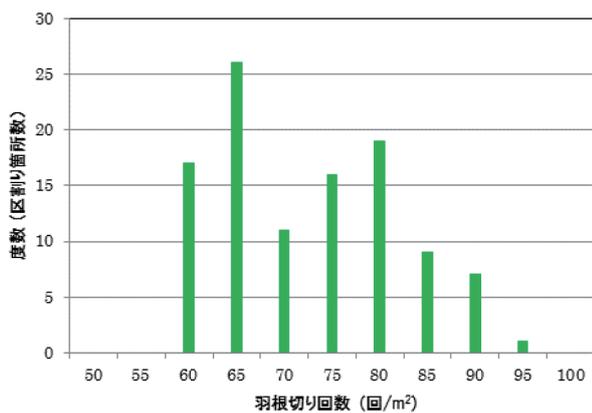
	高炉セメント (kg/m ³)	高有機質土用固化材 (kg/m ³)	特殊土用固化材 (kg/m ³)	備考
六価クロム試験	○	○	○	材料単価は平成 27 年 5 月建設物 価の仙台単価 (バラ) を参照
材料単価	11,100	15,300	14,300	
添加量	190	112	126	
材料費 (土量 1 m ³ 当たり)	2,109	1,714	1,802	
評価	△	○	△	
総合評価	△	◎	○	

表-5 配合計画書

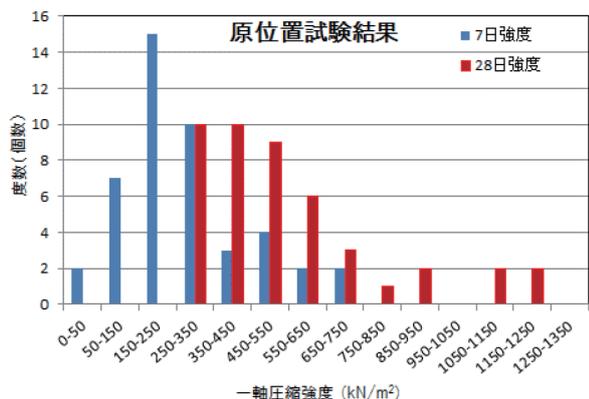
試料名	水セメント比 (%)	添加量 (kg/m ³)	固化材種類
採取土	129%	112.0	高有機質土用固化材

	添加量 (kg/m ³)	W/C (%)	混練水量 (kg/m ³)	吸水量 (kg/m ³)	純加水量 (kg/m ³)	練込水比 (%)
採取土	112.0	129	144.0	25.8	116.0	129

であり基準値を満足した。使用機械一覧を表-6、使用機械を写真-3、プラントを写真-4、施工状況を写真-5 に示す。



図一12 施工中の羽根切り回数



図一13 現位置における一軸圧縮試験結果

表一6 使用機械一覧

名称	規格	名称	規格
ベースマシン	1.9 m³	発電機	125 kVA
トレンチャー	9.0 m タイプ	分電盤	300 A
バックホウ	0.8 m³	水槽	24 m³
コンプレッサー	5.0 m³/min	水中ポンプ	
セメントサイロ	25 t	ハイウォッシャー	30.8 L/min 4.9 Mpa
スラリープラント	24 m³/h	集塵機	
グラウトポンプ		クレーン	50 t



写真一3 使用機械



写真一4 プラント



写真一5 施工状況



写真一6 据付完了

§6. まとめ

地下貯留槽の施工にあたり、その施工方法の検討を行った結果及び施工方法を紹介した。現場条件により検討結果は変わるが、本工事では土留工法として改良体による重力式擁壁を採用することにより、軟弱地盤における掘削勾配を小さくできた。それにより、施工ヤードが狭い場合でもオープン掘削が可能となり、土留材による障害の無い施工が可能となった。また、本工事では、改良を沈下の主要因であるAo層まで行うことにより、土留め壁部の沈下を抑制でき、調整池施工完了後のプレロードが不要となった。

1号調整池の掘削土は、そのままでは場内利用が難しい性状であったが、場外搬出を行わず、土質改良を行い盛土材として場内利用した。購入土費用、残土運搬・処理費用を縮小できた。

地盤改良の均一性を確保する管理項目として「羽根切り回数」を管理したが、施工業者は最低攪拌回数程度の認識であり、実態はオペレーターの経験により均一に攪拌できたかを評価している。オペレーターは施工後の品質確認試験において強度不足と判定される箇所が出ないように、攪はん翼を必要以上に回転させることが現状の課題である。本工事でも全体の半数以上の箇所にて、羽根切り回数は規定回数に対し140%を超えた。今後は、攪拌している土中の導電率測定をリアルタイムに行い、導電率のばらつき幅から定量的に改良の均一性を評価することにより、工期を短縮し、コストを抑えることが可能である。

中層混合改良を行った15箇所では改良体の試料を採取(1箇所あたり3本)し、一軸圧縮試験により7日強度および28日強度の確認試験を行った。設計基準強度250 KN/m²に対して、最小値は274 kN/m²という結果であり基準値を満足した。

1号調整池の施工による周辺設備への影響として、隣接する町道に埋設されているガス管の沈下を測定した。沈下量は最大9 mm (許容値50 mm)であり、ガス管への影響は確認されなかった。

調整池として地下貯留槽をプレキャストで施工した結果、現場打ちと比較して工期を72%短縮できた。据付完了後の写真を写真一6に示す。

参考文献

- 1) 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針、一般財団法人 日本建築センター、2002年
- 2) プレキャスト雨水地下貯留施設協会 HP、施工実績
- 3) パワーブレンダー工法(中層混合処理工法)技術資料、パワーブレンダー工法協会、2004年
- 4) 齋藤禎二郎他：中層混合処理土を擬似擁壁とした開削工事例、第51回地盤工学研究発表会、2016年