草野作工・錦城護謨　石狩川遊水地工事　現場見学会

文責　長谷川　元輝
HASEGAWA Genki
修士課程 2 回生

2017 年 8 月 22 日～23 日，石狩川改修工事の現場見学会に参加する機会を頂いた．北海道の現場見学では，北村遊水地周囲堤試験盛土外工事(元請：草野作工)と晩翠遊水地工事，江別太遊水地工事を見学した．各工事では，真空圧密工法(施工：錦城護謨)を併用した盛土施工が行われていた．以下にその詳細を報告する．

1.　石狩川遊水地工事

石狩川流域では，過去に幾度も洪水被害が発生しており，昭和 56 年 8 月の未曾有の豪雨では，甚大な被害がもたらされた [1]．国は平成 17 年 4 月に「石狩川水系千歳川河川整備計画」，平成 19 年 4 月に「石狩川(下流域)整備計画」を策定し，流域では現在，治水対策として遊水地が施工されている．遊水地とは排水門，囲ぎょう堤，越流堤，周囲堤から構成され，洪水時に河川から水を流入させ，一時的に貯留し，流量の調整を行う池のことである [2](図 1)．図 2 と図 3 に現場見学の場所を示す [1)3)]．

2.　真空圧密工法

図 3 に真空圧密工法の概要図を示す．真空圧密工法は地盤内に打設したドレーン材に真空ポンプで負圧をかけて，地盤内の水圧を低下させることで地盤を圧密させる工法である．一般に，盛土載荷を行った地盤では改良域外側への変位が発生する一方で，真空圧密を適用した地盤では改良域内向きの変位が発生する．真空圧密を単独で実施し，地盤強度を増加させた後に盛土載荷を行う(真空圧密と盛土載荷の併用)ことで，安定した盛土施工が可能とされている [4]．千歳川流域の地盤には軟弱な泥炭が分布しており，盛土施工時に地盤の安定や改良域外側への変位が問題となる．遊水地の周囲堤築堤ではその対策工法として真空圧密工法が施工されている．

図1　遊水地の概要[2]

図2　北村遊水地の場所[3]

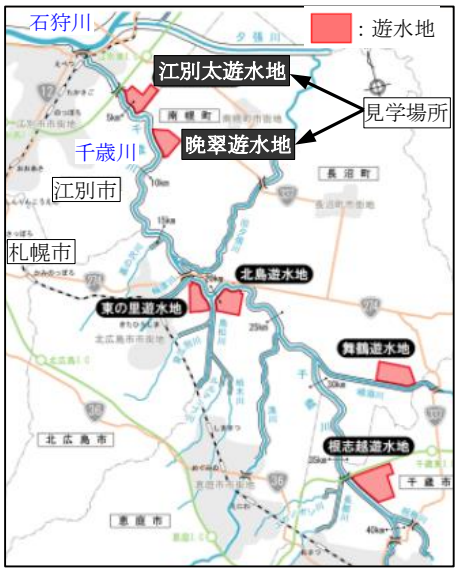


図3　江別太，晩翠遊水地の場所[1]

3.　北村遊水地周囲堤試験盛土外工事

3.1 工事概要

図 4，写真 1，図 5 に試験盛土の平面図とサンプリングした泥炭，地質分布を示す．北村遊水地の工事では，盛土施工で発生する側方変位による周辺への影響が懸念されている．本工事では，真空圧密工法による変位抑制効果を検討するため，多数の動態観測機器を設置し，無対策地盤における盛土施工と真空圧密を併用した盛土施工が実施されている．当該箇所は軟弱地盤の層厚が 5 m を超えるため，泥炭性軟弱地盤対策工マニュアルでは盛土速度が 3 cm/day とされている [5]．しかし，本工事は試験盛土であり，盛土の安定性を確認する体制を強化しながら，以下の速度で盛土厚(4 m)まで盛土をすることが計画されている．

・無対策の地盤における盛土載荷

盛土一層の施工は 30 cm を基本として，緩速段階施工を行い，盛土の安定性が高い初期では速度を上げ，各段階で安定性を確認した後に次段階に進む．

・真空圧密工法を適用した地盤における盛土載荷

盛土一層の施工は 30 cm を基本として，10 cm/day とする．

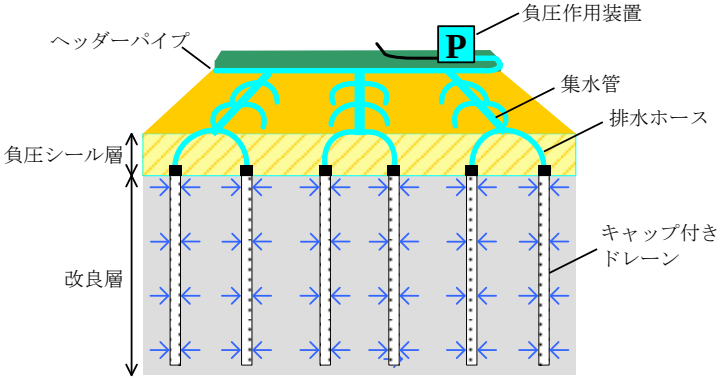


図4　真空圧密ドレーン工法の概要

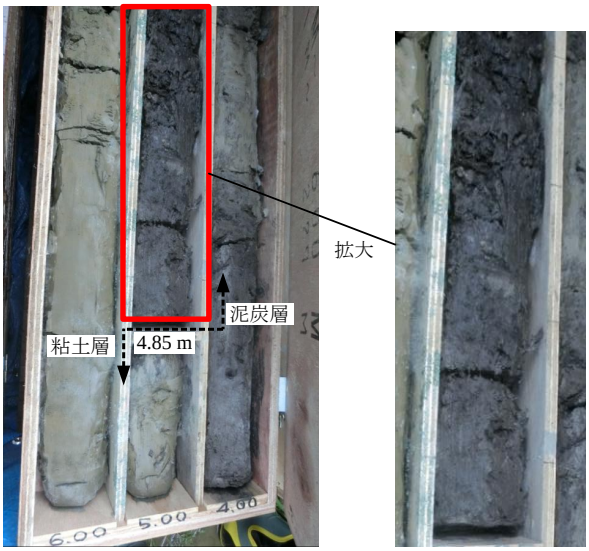


写真1 サンプリングした泥炭層と粘土層
（数字は表層からの深度を示す）

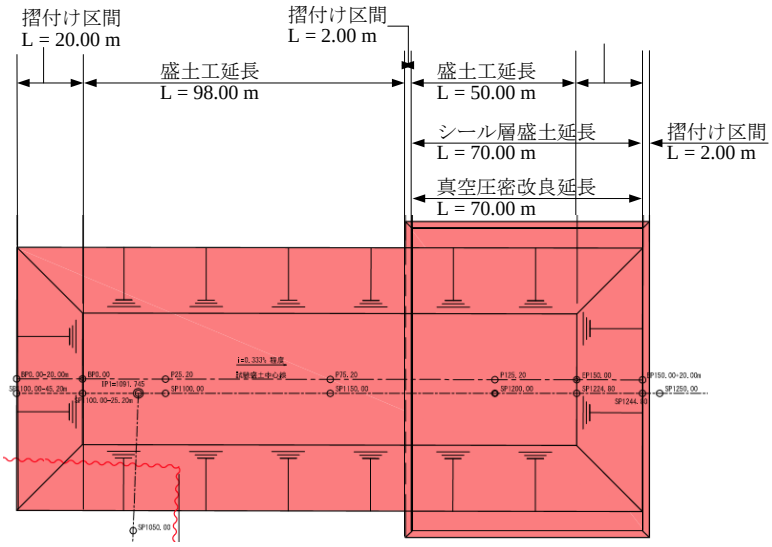


図5　北村遊水地試験盛土の平面図（配布資料より）
（左：無対策地盤，右：真空圧密で対策）

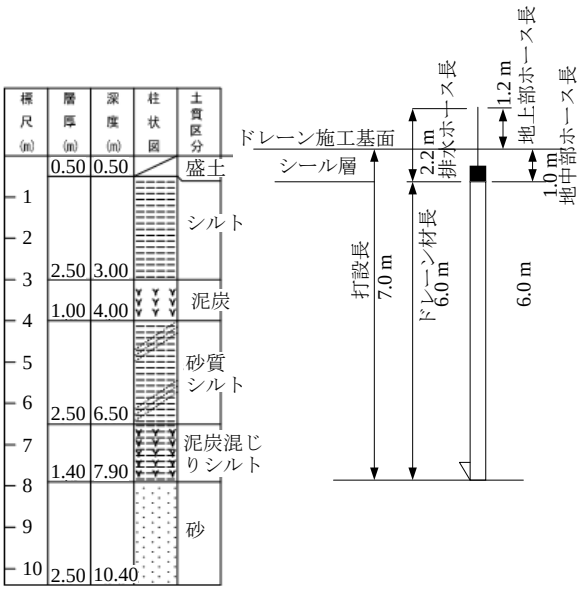


図6　地質分布とドレーン打設長（配布資料より）

3.2 真空圧密の施工状況

1)　打設されたドレーン材

写真 2 に打設されたドレーン材の写真を示す．当現場におけるドレーンの打設はドレーン長 7~8 m の正方形配置@1.2 m であった．ドレーン材は盛土載荷時に側方変位が問題となる層(表層から 7.0 m)に打設されており，打設間隔 1.2 m は現場の工期に基づいて Barron 解[6]から算定されている．

2)　シール層盛土

写真 3 にシール層盛土を示す．当現場で施工されている真空圧密ドレーン工法は，地盤内の気密性を保つために気密シートの代わりに負圧シール層を用いるが, 負圧シール層が弱改良層になってしまう(負圧シール層における負圧の分布は三角形分布となる[7])．本工事では，地盤表層下にある泥炭を負圧で十分に改良するため，泥炭層上部に負圧シール層を設定せず，地盤上に所定のコーン指数 qc と透水係数 k を持つ盛土をまず施工し，その盛土を負圧シール層と設定していた．

2)　負圧作用装置

写真 4 に負圧作用装置の写真を示す．負圧作用装置はセパレートタンク，水冷式ポンプ，真空ポンプ，ノッチタンクから構成されている．セパレートタンク内部では負圧により地盤から吸い上げられた水と空気が分離され，水と空気は真空ポンプと水冷式ポンプによりそれぞれ排気，排水されていた．負圧作用装置はドレーンを敷設した改良面積 3000 m^2 に 1 台設置することになっている．

3.3　動態観測機器

現場の計測器は土中間隙水圧計，孔内傾斜計，地滑り計，変位杭，地表面沈下板，層別沈下計，地下水位計，流用計，集水管端部水圧計，負圧作用装置の負圧計の 10 点である．**表 1** に動態観測による管理項目を示す．盛土の安定管理には，沈下量 S と水平変位量 δ/沈下量 S の関係を用いる方法(松尾・川村の方法[8])により行われている．盛土施工に伴い規制が右側に向かうと地盤の水平変位が大きくなり，破壊基準に近づくが，逆に基準線から離れて左上へと向かうと安定状態になる(**図 6**)[9]．

写真2 打設されたドレーン材

写真3 シール層盛土

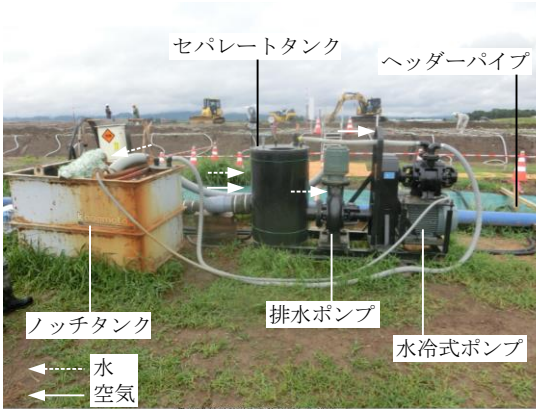


写真4 負圧作用装置

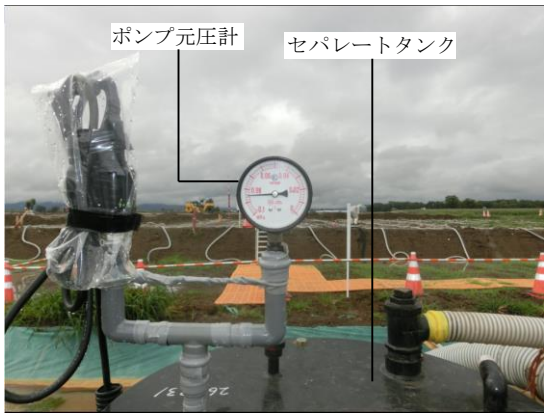


写真5 ポンプ元圧計

1)　水平変位の測定

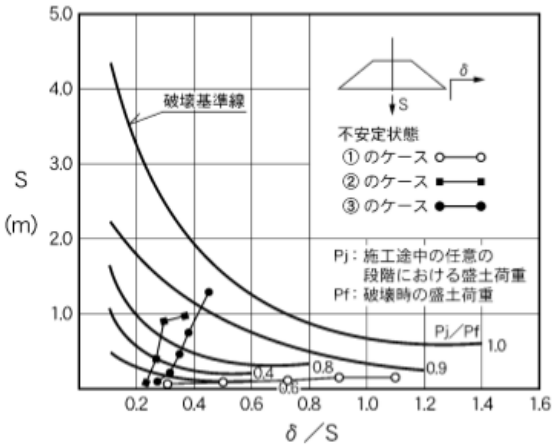
写真 6 に地滑り計の写真を示す．計測システムは控え杭，インバー線，地すべり計から構成され，インバー線の伸縮を計測することで，盛土の法尻における水平変位を測定する．計測は 10 分おきに行われ，盛土の安定管理(松尾・川村の方法[8])に役立てられる．

2)　集水管圧力計

写真 7 に集水管内圧力計を示す．集水管端部では，負圧作用装置からの負圧が配管による損失で低減した負圧が計測されると推測され，設計負圧 60 kPa[10]を確保しているかを確認している．

表1 動態観測による管理項目（配布資料より）

管理項目	目的	計測項目	計測器
作用負圧	真空圧密工法により所定の負圧が作用しているかを確認	真空ポンプ圧力 集水管内圧力 ドレーン先端圧力	圧力計 間隙水圧 排水量
地盤の沈下	最終沈下量の推定 （浅岡法，双曲線法など） 圧密度の把握 改良終了の判定	地表面沈下量 層別沈下量 間隙水圧	地表面沈下板 層別沈下計 間隙水圧計
地盤の安定	盛土載荷中の地盤の安定度の把握	地表面沈下量 盛土法尻の変位量 間隙水圧	地表面沈下板 変位杭 孔内傾斜計
周辺影響	周辺地盤への影響の把握	周辺変位量 地下水位の変動	変位杭 水位孔



(a) S~δ/Sの管理図

過去の実測データから判断される不安定状態になるパターン

①のケース：盛土初期に急速に右へ動き出すケース
②のケース：Pj/Pf=0.8~0.9の線の付近で急に右へ動き出すケース
③のケース：破壊線付近に達するケース

(b) P_j/P_fコンターの実験式[5]

(Pj/Pf)	a	b	c	range of (δ／S)
1.0	5.93	1.28	-3.41	0＜δ／S≦ 1.4
0.9	2.80	0.40	-2.49	0＜δ／S≦ 1.2
0.8	2.94	4.52	-6.37	0＜δ／S≦ 0.8
0.7	2.66	9.63	-9.97	0＜δ／S≦ 0.6
0.6	0.98	5.93	-7.37	0＜δ／S≦ 0.6
$S = a \exp\{b(\delta/S)^2 + c(\delta/S)\}$				

図7 松尾・川村の方法[8),9)]

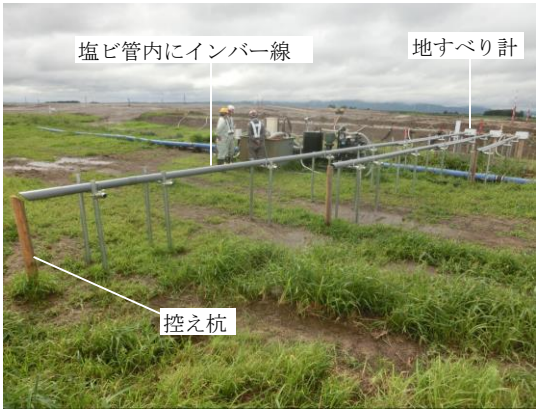


写真6 法尻変位の計測状況

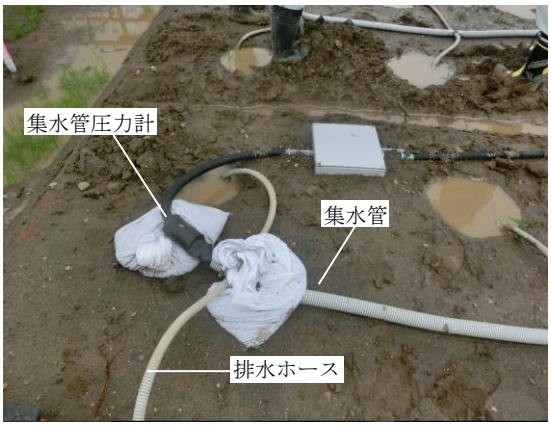


写真7 集水管圧力計

4.　晩翠遊水地

4.1 工事概要

現場の地層は表層から以深に約 2.20 m の泥炭層，約 3.40 m のシルト層，約 1.60 m の砂質土層，約 14.10 m の粘性土層となっている．晩翠遊水地の工事では，地表面下に堆積した軟弱な泥炭層(約 2.20 m)により，無処理地盤上における緩速載荷(載荷速度 3 cm/day)で必要とされている滑りに対する安全率が満たされないため，真空圧密による安定対策が施されている．安定計算は各施工段階において Barron 解 [6]により，地盤の圧密度を算定し，円弧すべり法により実施されている．さらに，工期の制約から泥炭層以深に堆積するシルト層や粘性土層の沈下対策も行われていた．

4.2 真空圧密の施工状況

1)　遮水シール

当現場では，改良対象となる層に砂層が介在しているため，真空圧密による異常集水が懸念される．そこで，砂層に当たる層に遮水シールをドレーン材に張りつけることでその対策としていた．さらに，中間砂層が改良層に介在する現場では，2700 m^2 に一台，負圧作用装置を設置することになっている(通常は 3000 m^2 に一台)．

2)　真空圧密による変位

写真 8 に改良域端部での地表面のひび割れを示す．真空圧密を適用した地盤では，改良域内側への変位が発生することが知られている．写真のひび割れは，その変形により発生したものと考えられる．**写真 9** に見学したブロックを上から撮影した写真を示す．真空圧密による沈下量は改良域中央に比べ端部は小さくなり，沈下形状が椀状になると考えられる．現場を見学する前日は雨天であったため，改良域中央には雨水が溜まっていた．

3)　ドレーン先端の間隙水圧計

写真 10 にドレーン先端の水圧計を示す．先端ではウェルレジスタンスや集水管での水頭損失により，負圧が最も小さく計測される地点であると考えられる．設計負圧 60 kPa[10]が作用しているかを確認するためのものである．

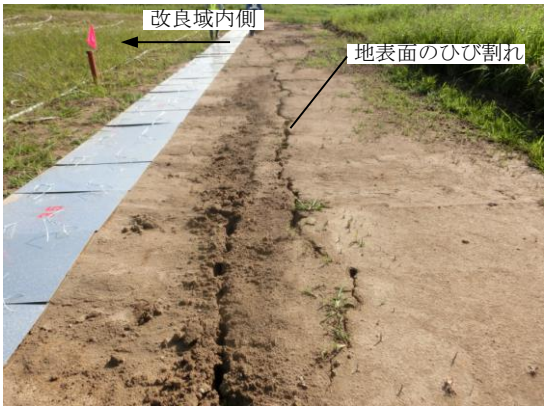


写真8 改良域内側への変位

写真9 椀状の地表面形状

写真10 ドレーン先端の間隙水圧計

写真11 地盤内傾斜計

4)　傾斜計

写真 11 に傾斜計を示す．写真に示すものは盛土縦断方向と横軸方向の地盤内の変位を計測することが可能である．計測方法を以下に示す．以下の手順を 2 回行い，それらの値を平均して地盤内の変位を計測する．

・計測器を計測孔内に挿入し，最深部まで計測器を下ろす

・最深部の温度に計測器を均す

・50 cm ずつ計測器を孔内で上昇させ，値が安定した後に値を計測する．

4.3 盛土材の作製

当現場の盛土材は，建設が予定されている遊水地内で泥炭の下に堆積している粘性土と域外の砂を撹拌して作製されていた．撹拌ヤードでは粘性土と砂を体積比で 1 : 1 になるように撹拌されていた．築堤盛土材料として適正な値を以下に示す．本施工にあたっては，5000 m^3 に一回，品質管理が行われている．

・施工性を確保することができるコーン指数 qc が 400 kN/m^2 以上　　$qc \geqq 400\ kN/m^2$

・難透水性を確保する透水係数 k が 10^{-5} m/s 未満のオーダー　　$k < 1\times10^{-5}$ m/s

1)　撹拌工

写真 12 に混合撹拌の様子を示す．施工機に取り付けられた GNSS アンテナにより GPS と GLONASS 衛星のデータが受信され，施工機の位置情報が算出される．また，施工機本体，ブーム，アーム，バケットにはチルトセンサーが設置され，各設置部分の傾斜角度が計測される．GNSS アンテナによる位置情報とチルトセンサーで計測されたデータにより，バケットの刃先位置が算出され，設計データとの離れがリアルタイムで表示される [11)]．

2)　肋骨排水

写真 13 に土取場に置かれた盛土材を示す．撹拌された盛土材を最適含水比に近づけるため，盛土材に十字に排水が施されていた．

5.　江別太遊水地

写真 14 に工事の全景を示す．現在施工されている江別太遊水地では遊水地内にもともとあった道道西 13 号が通される予定となっている．遊水地が道道西 13 号に水理的に分断されることを防ぐため，道道横断部は盛土と橋梁部から構成されている．盛土部は真空圧密による滑り沈下対策が施され，すでに施工は完了していた．現場では，橋梁部の施工を見学した．**写真 15** に鋼管の打設状況を示す．鋼管を油圧ハンマーにより基礎地盤まで打ち込む作業が現場ではなされていた．打ち込むたびに地面は振動していた．

6.　感想

本見学会は，日ごろ，真空圧密を研究テーマとする自分にとって大変有意なものだった．ドレーン材に載荷された負圧により，集水管内を水と空気が通っている様子や負圧作用装置の排水槽に水が排出されている様子を見学し，真空圧密を肌で感じることが出来た．また，改良エリア内側への変位による地表面のひび割れや改良中央に雨水が溜まっている様子を実際に見て，真空圧密による地盤の変形をより深く理解することが出来た．

7.　謝辞

草野作工株式会社と錦城護謨株式会社の方々には大変お忙しい中，見学会を開いていただき，誠にありがとうございました．真空圧密への認識をより深めることが出来ました．心より感謝申し上げます．

錦城護謨株式会社の白神新一郎様には，貴重な時間を割き，このような大変貴重な機会を頂きました．見学させていただいた各現場では，質問に対し真摯に答えて頂きました．白神様には現場見学会の計画，北海道内での車の運転など数多くのご苦労をお掛けしました．重ねて御礼申し上げます．今回の見学会で得られた経験をぜひ今後の研究に生かしていきたいと思います．

参考文献

1) 北海道開発局 HP：千歳川遊水地群(江別太遊水地)の整備
URL：https://www.hkd.mlit.go.jp/sp/kasen_keikaku/kluhh40000001qfy.html

2) 北海道北広島市 HP：千歳川の河川整備と東の里遊水地
URL：http://www.city.kitahiroshima.hokkaido.jp/hotnews/detail/00007820.html

3) 北海道開発局 HP：川づくりの取り組み　石狩川下流域の治水対策(北村遊水地の整備)
URL：https://www.hkd.mlit.go.jp/sp/kasen_kanri/kluhh4000000hzmr.html

4) Chai, JC. Hayashi, S. and Carter, JP.: Vacuum consolidation and its combination with embankment loading. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 43, No. 10, pp.177-184, 2006.

5) 国立研究開発法人　土木研究所　寒地土木研究所編：泥炭性軟弱地盤対策マニュアル，p.57，2017.

6) Barron, R.A.: Consolidation of fine-grained soils by drain wells. *Trans. ASCE* 113, pp.718–742, 1948.

7) 米谷宏史，椎名貴彦，新舎　博，木村道弘：真空圧密工法における粘性土層の気密保持効果，第 37 回地盤工学研究発表会，E-02，pp.1061-1062，2002.

8) Matsuo, K. and Kawamura, K.: Diagram for construction control of embankment on soft ground, *Soils and Foundation*, Vol. 17, No. 3, pp.37-52, 1977.

9) 国立研究開発法人　土木研究所　寒地土木研究所編：泥炭性軟弱地盤対策マニュアル，pp.221-224，2017.

10) 真空圧密ドレーン工法研究会編：真空圧密ドレーン工法 －キャップ付ドレーンを用いた圧密排水工法 技術資料(設計・施工・管理編)，p.3, 2016.

11) 伊藤組土建株式会社：ICT を活用した撹拌管理～江別太遊水地周囲堤撹拌土造成工事～
URL：http://www.itogumi.co.jp/service/civil-engineering08.html

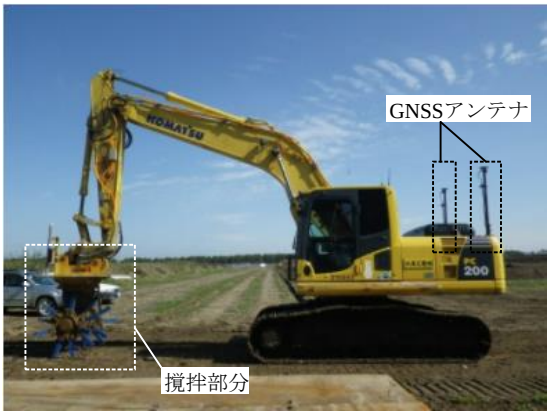


写真12 撹拌混合の情報化施工[11)]

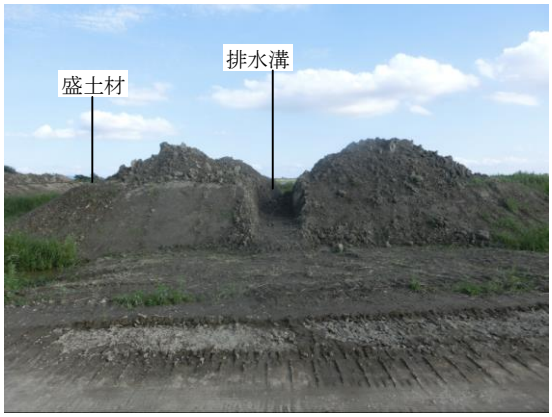


写真13 排水溝が設けられた盛土材

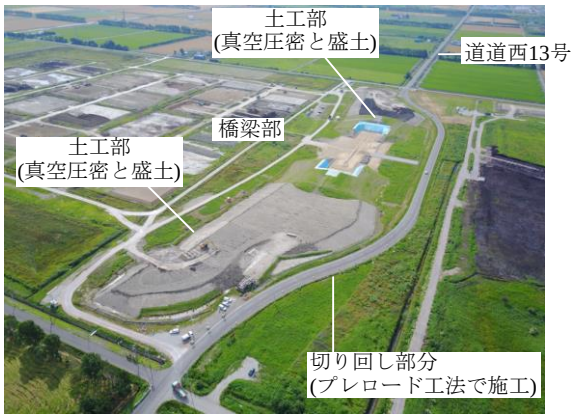


写真14 道道部の空中写真（ドローンで撮影）

写真15 鋼管の打設状況

ギャラリー

無処理地盤での盛土（奥）と真空圧密
と盛土の併用（手前）（北村遊水地）

流量計（北村遊水地）

盛土を容易にするために盛土1層ご
とに印を付けている（北村遊水地）

計測室（北村遊水地）

排水門（晩翠遊水地）

北村遊水地で撮影した地表面
（植物遺体が堆積していた）