

北村遊水地における河道掘削土を活用した 軟弱地盤上の堤防盛土について —真空圧密ドレーン工法と固化破碎土の併用—

札幌開発建設部 岩見沢河川事務所 調査課 ○中野 龍己
鈴木 利幸
渡邊 一靖

現在工事中の北村遊水地周囲堤では、圧密促進を目的とした真空圧密ドレーンによる地盤強度の増加、河道掘削で得られた粘性土と固化材を混合した固化破碎土を用いた築堤工事を実施している。本報告では、これら工法の施工状況、圧密による地盤強度効果や地盤の動態、固化破碎土の生産や施工性等について報告を行い、今後の軟弱地盤上の築堤技術の向上に資するものである。

キーワード：遊水地、真空圧密ドレーン、固化破碎土

1. はじめに

石狩川流域に甚大な被害をもたらした昭和56年8月洪水を受け、平成19年9月に石狩川（下流）河川整備計画が策定され、洪水時の洪水調節施設として遊水地の整備が位置付けられた。石狩川と旧美唄川に挟まれた低平地に位置する北村遊水地は、湛水面積950ha、総貯水量4200万 m^3 の洪水調節容量を有する道内最大の遊水地で、全長17.6kmの築堤整備に400万 m^3 を超える膨大な量の土砂を必要とする（図-1、図-2）。

泥炭性軟弱地盤に位置する北村遊水地では、周囲堤の基礎地盤の6割程度が粘性土や泥炭地盤であり最大高さ約9.5mの盛土において4.5m程度の沈下を生じる極めて軟弱な地盤である。過年度の試験施工において真空圧密ドレーン工法の効果が確認され、主な対策工として令和2年度から本格的に施工が進められている。

また、盛土材料に用いる河道掘削土の大半は粘性土や泥炭であり土質改良を要する。北村遊水地は地役権方式を採用しており土質改良のためのヤードが限られる等の制約条件から、主要な土質改良工法に粘性土を爆気乾燥等せず直接改良できるプラント式セメント改良を採用している。さらにセメント攪拌した土を一定期間養生したのちに砕いて使用する固化破碎土の手法を併用することで河川堤防に要求される品質を確保できることを試験施工等で確認してきた²⁾³⁾。

3年目の施工となる本年度は約60万 m^3 の固化破碎土の製造及び真空圧密ドレーン工法による軟弱地盤対策を実施し、延長760mの周囲堤盛土工事を行ったので結果を報告する。



図-1 石狩川流域図



図-2 北村遊水地全景

2. 真空圧密ドレーン工法を用いた周囲堤盛土工事

(1) 軟弱地盤対策の課題と対応（真空圧密ドレーン工法の選定）

泥炭性軟弱地盤地帯が広がる北村地区では、過去の石狩川堤防の整備においても盛土のすべり破壊等を生じている。表層からN値1未満の泥炭層と有機質粘土層が互層状に5m程度堆積し、その下位には軟弱粘土層が15m程度堆積することにより、盛土時のすべり破壊や周辺変位、長期的な圧密沈下が生じることが盛土構築における課題であった。

すべり安定及び圧密対策工検討の結果、深層混合処理工法に比べ1/5程度以下の施工費となる真空圧密ドレーン工法を選定し、試験施工による効果確認を経て採用した。

(2) 対策工概要

真空圧密ドレーン工法は、ドレーンによる排水効果と負圧による吸い上げ効果によって地盤の沈下促進、強度増加を図る工法である。従来の真空圧密工法と異なりすべてのドレーンを配管で結合し負圧を载荷することにより、従来工法で負圧载荷に必要とされた気密シートやサンドマットが不要である。また、堤防下の排水阻害や洪水時の水みちのリスクを低減する効果もあり、堤防盛土への適用が可能と判断し採用している（図-3）。

施工時の盛土の安定性を確保するためには動態観測による安定管理が必要不可欠であり、盛土安定管理は盛土の沈下量と水平変位を用いた安定管理図の手法を用いることとした。

真空圧密ドレーン工法の品質管理は、作用負圧、地盤内の過剰間隙水圧、周辺地下水位を指標とし、盛土完成後に、真空ポンプを停止する前には基礎地盤の強度確認調査（サウンディング）による検証を行うこととした。

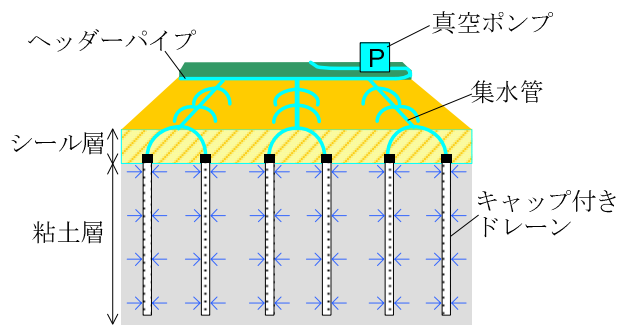


図-3 真空圧密ドレーン工法概要図

(3) 施工結果

今回報告する工区は2か年施工の2年目盛土の工区で、昨年度までに7.3m、今年度3.6mの計10.9mの盛土を真空圧密ドレーン工法を用いて立上げ盛土完了時点で計画盛土高17.03mを確保している。盛土完了時点の沈下量は3.3mである。

当該箇所では表層から3m程度まで含水比300~400%の泥炭層(Ap1)が堆積し、その下位には有機質粘土(Acp)、

含水比60~200%の泥炭(Ap2)が互層状に滞積する。深度9m以降は砂混じり粘土(Acs)、砂層(As)、粘土(Ac2)が互層状に滞積し軟弱層厚は20m程度である。

盛土完成時点までに発生した盛土のり尻直近の水平変位は1年目盛土施工中に3~4cm程度であり、2年目盛土施工期間中は-1~4cm程度であり引込方向の変位であった(図-4)。松尾・川村の安定管理図(図-5)では測定値はほぼ $\delta/s = 0.0$ 上にプロットされ不安定化の兆候とされる右上方向に向かう傾向は見られず非常に安定した状態で盛土が行われたことが確認できる。

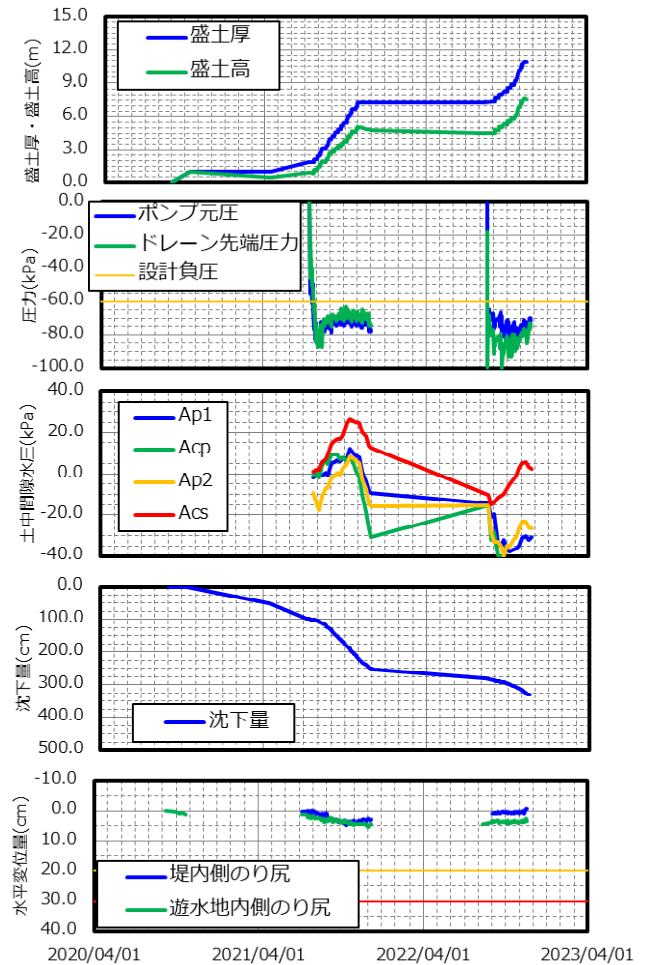


図-4 真空圧密ドレーン併用盛土の動態観測結果

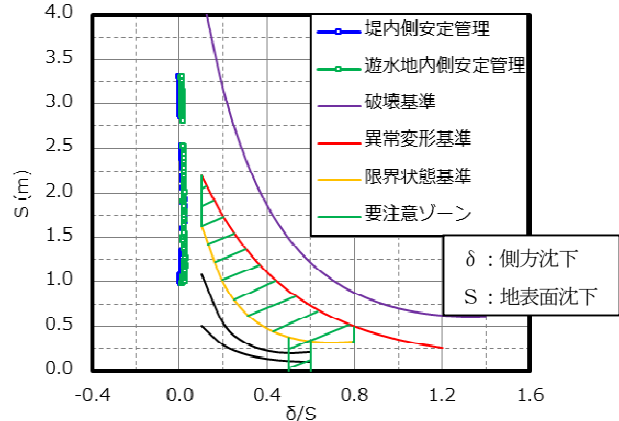


図-5 松尾・川村の安定管理図

盛土のり尻直近の孔内傾斜傾斜計による地中変位については2年目終了時で最大4cm程度であった(図-6)。今回の施工箇所から1km程度離れた箇所で行った過年度の試験施工(盛土厚7m)では、1.2m間隔の真空圧密ドレーンにより4.8cm程度の地中水平変位が発生していた。試験施工結果をもとに本施工では地盤の安定性向上と周辺変位低減を目的にドレーン間隔を見直し、0.8m間隔で施工しているが、試験盛土と同等の盛土厚となる1年目盛土終了時(盛土厚7.3m)の地中水平変位は2.2cm程度と約半分に低減されている。

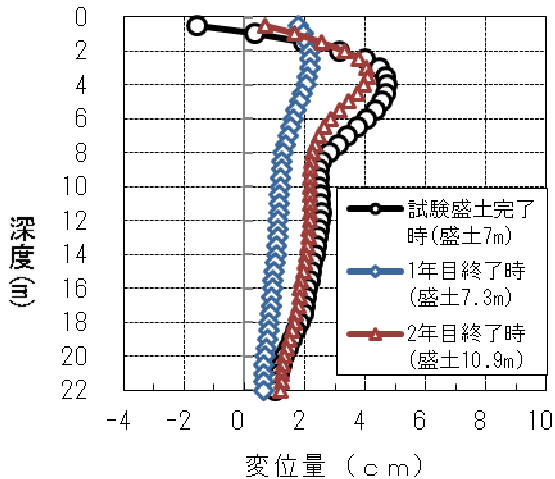


図-6 孔内傾斜計による地中水平変位計測結果

盛土荷重による基礎地盤の強度増加に関しては、設計時点では試験盛土による実測値より泥炭層で強度増加率 $m=0.45$ 、泥炭混じり粘土で $m=0.35$ 、粘土 $m=0.30$ としている。本年度施工箇所の盛土完了後の強度確認試験においては、上位泥炭Ap1で強度増加率 $m=0.50$ 、泥炭混じり粘土AcPで $m=0.35$ 、下位泥炭Ap2で強度増加率 $m=0.30$ が確認された。概ね設計値通りの強度増加が確認されたが、粘土を互層状に挟む下位泥炭Ap2層では粘土と同等の強度増加率であった。実測値をもとにした真空圧密ドレーン工法のポンプ停止時のすべり安全率は $Fs=1.87 \geq 1.25$ と基準値を満足しており施工終了後も不安定化の兆候は見られないことを確認している。以上より、真空圧密ドレーン工法の採用は盛土時のすべり破壊の抑制と周辺変位の低減に効果があった。また、地役権方式で整備される北村遊水地では周囲堤に農地や用水路等の施設が近接しており、営農に支障がない施工が必要となることから、真空圧密ドレーンのドレーン間隔を適切に設定することにより、鋼矢板や深層混合処理工法等の高価な遮断工法を用いずに周辺変位を低減した施工を実施することができた。

(4) まとめ

泥炭性軟弱地盤地帯が広がる北村地区において、真空圧密ドレーン工法を併用した周囲堤盛土により2か年で

約11mの盛土を安定した状態で立ち上げることができた。適切なドレーン間隔を設定することで負圧による引込変位を生じさせ、盛土による押出変位を相殺することで周辺変位を抑制した施工を可能とした。

3. セメント改良による固化破碎土を用いた盛土材料製造

(1) 盛土材料の課題と対応(セメント改良工法の選定)

泥炭性軟弱地盤地帯が広がる北村地区では、発生土の大半が粘性土であり盛土材料に使用する場合は土質改良を要する。従来は曝気乾燥による含水比低下や砂混合による粒度改良が長らく行われてきたが、北村遊水地では地役権方式により施工ヤードが限られること、北海道特有の寒冷な気候条件により10月以降の含水比低下が難しいこと、近郊に良質な砂が無く遠方からの購入となりコストが高いこと、営農に配慮しつつ施工するためダンプ運搬量の制約があること等の課題があったため、これらの手法に変わる改良手法としてセメント改良による固化破碎土を主要な改良工法と位置づけ試験施工により河川堤防に要求される品質を確保できることを確認し採用に至った。試験施工においては、品質管理基準(強度、締固め度、難透水性)を満足すること、軟弱地盤上での沈下に追従する変形性を有すること、長期的に安定する材料であること等を確認している。

(2) 固化破碎土の概要

ここで、セメント改良土の製造過程における強度変化のイメージを図-7に、その概要を以下に示す。

- ① 粘性土とセメントを攪拌混合した土砂(以下、固化土と呼ぶ)は、一定の養生期間を経ることで水和反応が進行し、強度が増加する。
- ② 十分に強度発現した状態の固化土を、重機等を用いて破碎することで、その後の固結作用に伴う強度増加が抑制され、通常土砂と同様の変形性を有する盛土材(以下、固化破碎土と呼ぶ)となる。

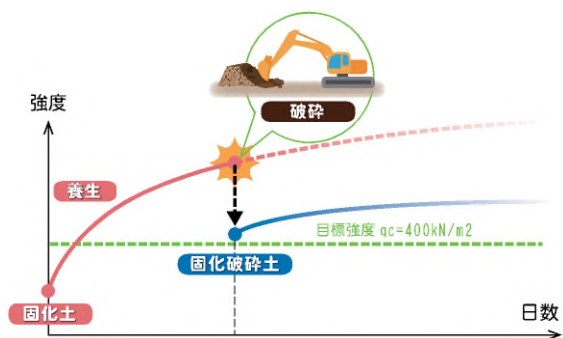


図-7 セメント改良土の強度変化(イメージ)

(3) セメント攪拌工法概要

セメント攪拌はプラント式攪拌工法である「回転式破碎混合工法」を採用している。この工法は、密閉容器内で高速回転する複数本のインパクトチェーンの打撃力により、土とセメントを破碎しながら攪拌混合するものである。回転式破碎混合工法を採用することで、曝気乾燥が不要で、攪拌作業に広いヤードを必要とせずに均質な材料を短期間に大量に製造できることから、施工ヤードが限られる北村遊水地において適用性が高いと判断している。標準処理土量は時間当たり100m³、日550m³である。

(4) 今年度の施工状況

今年度は10プラントで計60万m³のセメント攪拌土が製造された。

1プラントあたりの製造量は4.6~6.7万m³で、時間当たりの製造量は設計値の100m³/hに対し73~136m³/h(平均108m³/h)の実績となっており(表-1)、1日あたり平均製造量は約820m³/dayであった。設計値を下回るのは砂分をほとんど含まない粘土や礫・異物の多い材料である場合が多く、詰まり等で攪拌装置への土の一定供給ができず製造量が落ちる傾向がみられた。なお、時間当たり製造量はプラント稼働時間のみを対象に算出しており、土砂運搬の遅延等の外的要因による中断時間は含まれていないため、実際の施工における時間当たり製造量はこれより低下する。

施工期間内の10プラントの平均日製造量の変化をみると10月以降の低温時期においても製造量が低下する傾向は見られず、従来の含水比低下工法と比較すると安定した製造が可能であった(図-8-1)。

一方、盛土時の品質管理においても製造時と同様に10月以降の低温時期に盛土の含水比上昇や強度(衝撃加速度)低下が生じにくい傾向が見取れる(図-8-2~3)。砂攪拌では砂の混合精度が悪いと砂が水みちとなって含水比が上昇しやすいのに対し、固化破碎土はプラントによる攪拌精度がよいこと、細粒分含有率が多く透水性が低いことから雨水が浸透しにくいいため含水比が保たれやすいことが要因と考えられる。また、降雨後に曝気乾燥を要しないため施工中断日数が少ない、ガリ浸食が生じにくいという特徴も見られた。

改良材となるセメント量は1プラント1日あたりトレーラー3~6台程度の運搬量(50~130トン/日)であり、砂を外部から調達する粒度調整と比較すると運搬車両の台数(日500m³と仮定すると日100台)を大幅に低減できる。

(4) まとめ

河道掘削により発生した軟弱粘土を回転式破碎混合工法による固化破碎土として盛土材料に利用した。回転式破碎混合工法は天候の影響を受けにくく、安定した製造量を確保することができた。また、製造した材料は秋の低温時期においても盛土時の品質低下が生じにくく安定

した盛土を構築することが可能であった。

良質な砂材料の乏しい北村遊水地において、セメント改良の採用により外部からの砂調達が不要となったことで、外部からの運搬台数を削減することができた。

表-1 製造実績

No	製造土量 (m ³)	掘削箇所	最大含水比	細粒分含有率	セメント添加量 (kg/m ³)	使用セメント	平均時間あたり製造量 (m ³ /h)
			wn (%)	(最大) (%)			
1	62,507	右岸	79.4	97.8	120	ETR3	98
2	46,013	右岸	94.5	99.1	110	ETR3	102
3-1	22,576	右岸	38.4	86.2	70	ETR3	85
3-2	42,472	右岸	57.4	99.6	90	ETR3	94
4-1	60,134	左岸	65.8	94.3	90	高炉B種	117
4-2	6,340	左岸	35.6	52.6	70	高炉B種	114
5	46,400	右岸	38.7	90.4	60	ETR3	104
6	65,033	左岸	50.4	85.3	90	高炉B種	111
7-1	31,467	樋門	90.5	99.6	120	ETR3	115
7-2	28,951	左岸	60.4	90.3	90	ETR3	73
8-1	46,600	左岸	39.3	77.3	90	高炉B種	120
8-2	20,400	左岸	59.3	70.6	110	高炉B種	127
9-1	40,420	左岸	37.2	64.0	90	高炉B種	118
9-2	20,216	左岸	36.4	59.3	80	高炉B種	136
10-1	54,999	右岸	38.6	73.0	50	ETR3	106
10-2	8,999	右岸	52.5	91.6	90	ETR3	108
計	603,527					平均	108

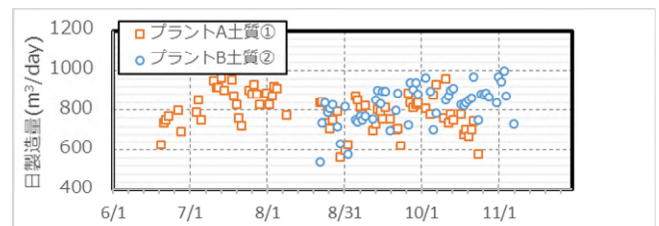


図-8-1 プラント製造量

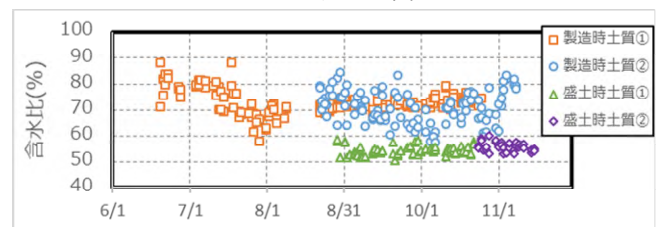


図-8-2 プラント製造時と盛土時の含水比測定結果

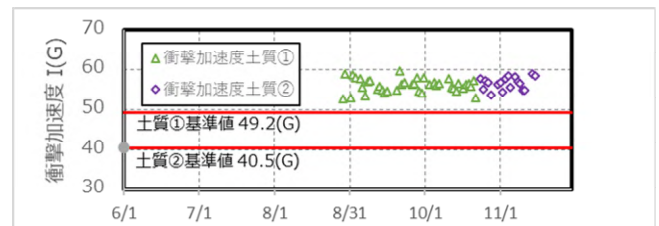


図-8-3 盛土時の衝撃加速度試験結果

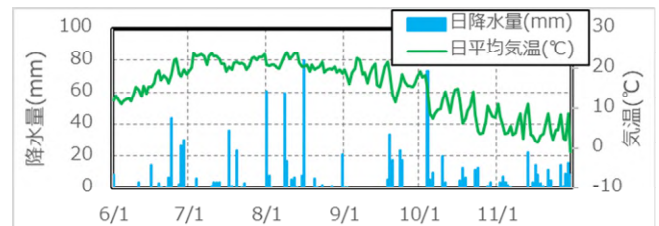


図-8-4 日降水量と気温

4. 今後の課題等

本年度の施工では、軟弱泥炭地盤上の周囲堤盛土においても真空圧密ドレーン工法を併用することで周辺変位を抑制し安定した施工ができています。

当初計画の60万m³の盛土製造を完遂し、60万m³の盛土が安定的に立ち上げられた。盛土品質も安定的に確保されており、過去3年間で施工された固化破碎土においても問題は生じていない。

真空圧密ドレーン工法に関しては、負圧による変形挙動や強度増加、残留沈下量評価を進め、泥炭性軟弱地盤での沈下、安定、変位対策としての改良手法の検証を進める予定である。

セメント改良土による固化破碎土に関しては、養生期間の長期化によるセメント配合量削減に関する検討、完成断面箇所での植生方法の検討、冬期土工用盛土材料へのセメント改良の有効性の検証、改良土の長期的な品質の検証等について検討を進める予定である。

参考文献

- 1) 土門文之, 西清張, 橋場二美夫: 石狩川水系北村遊水地の整備—河川掘削土を用いた軟弱地盤上での施工—, 土木施工Vol.63,2022.2
- 2) 田中大地, 仲条元, 岡田幸七: 北村遊水地における堤防盛土材の改良工法について—固化破碎土による施工報告と今後の展望—, 第64回北海道北海道開発技術研究発表会, 2020
- 3) 片桐悠太, 橋内英治, 諸橋雅幸: 北村遊水地における固化破碎土を用いた施工について, 第65回北海道北海道開発技術研究発表会, 2021

