

北村遊水地における固化破碎土による 堤防盛土について

ー固化破碎土のコスト縮減に向けてー

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

北村遊水地周囲堤は、高含水比の河道掘削土を活用して盛土を行うため、セメント系固化材を攪拌混合した固化破碎土を用いて盛土工事を実施している。過年度より盛土材の改良方法について効率的な施工や盛土の安定性を調査検討し施工してきた。今年度よりコスト縮減のため、固化破碎土養生期間の長期化によるセメント系固化材の配合量の縮減に着目した調査検討を進めており、その内容と今後の展望について報告する。

キーワード：遊水地、盛土材料、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、洪水時の流量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）。

盛土材料に用いる河道掘削土の大半は粘性土や泥炭といった不良土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施工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軟弱粘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。著者らはプラント式セメント改良した土を一定期間置土したのちに砕いて使用する固化破碎土の手法を用い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。

4年目の本格的な施工となる今年度は約55万 m^3 のセメント改良土の製造を行う中で、養生日数を長く確保し水和反応を促進することによりセメント添加量削減効果について検討しコスト縮減を果たした事例を報告する。

2. セメント固化破碎土の概要

(1) プラント式セメント改良による固化破碎土選定の経緯

泥炭性軟弱地盤が広がる北村地区では、発生土の大半が軟弱粘土であり土質改良を要する。従来は爆気乾燥に



図-1 北村遊水地全景



図-2 固化破碎土製造プラント

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9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プラント式セメント改良による固化破碎土の製造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-3に、その概要を以下に示す。

- ① 不良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、通常の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。

固化土をそのまま盛土した場合、施工後の圧密沈下に伴う変形に追従できず、亀裂等の発生が懸念される。

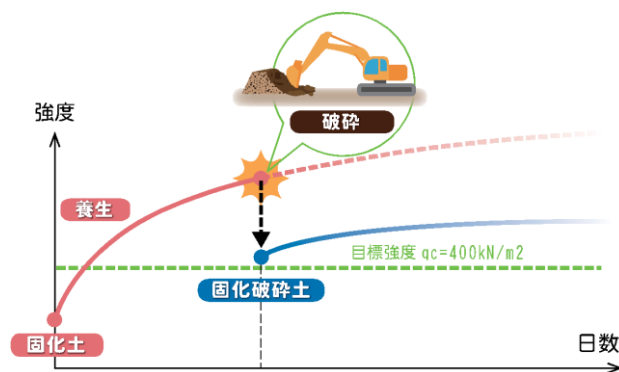


図-3 固化破碎土の強度変化（イメージ）

(3) セメント改良工法概要

セメント改良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。プラント式セメント改良を採用することで、曝気乾燥が不要で、攪拌作業に広いヤードを必要とせず、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工事で計53.3万m³のセメント攪拌土が製造された。1工事あたりの製造量は4.2～6.7万m³で、時間当たりの製造量は設計値の100m³/hに対し87～137m³/h（平均117 m³/h）の実績となっている。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。1日当たりの製造量はプラント稼働時間が平均7時間（設計5.5時間）程度であり約830m³/dayであった。

改良材となるセメント量は1プラント1日あたりトラクター2～6台程度の運搬量（40～130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を大幅に低減できる。また、外部からの砂調達が無くなり改良土は全て河道掘削土で賄うため、河道掘削の進捗に寄与するというメリットもある。

3. 養生日数延長によるセメント削減効果

(1) 養生日数延長による課題

これまで北村遊水地盛土製造量とほぼ同量の盛土工事が実施されてきており、施工ヤードが限られる中で盛土材の供給を切らさないため、養生日数を7日として固化破碎土を製造してきた。今年度は、養生日数を延長することによりセメント量を削減する検討を行うため、養生日数を7日養生と強度増加が概ね収束する28日養生の比較を行うものとした。養生日数を延長することによる課題は以下の通りである。

- ① 遊水地事業で委託しているコンストラクションマネージメント(業務)により、仮置ヤード内の土砂運用が効率的に図られたことにより、より長い養生期間でもヤード内に土を置けるようになった。
- ② 現場配合試験の養生日数も従来の7日から28日へ4倍長くなることから盛土材の供給が遅れる。
- ③ 現場配合試験は現地のプラント設備で攪拌した改良土を用いるため養生日数延長による待機期間が伸び機械損料によるコスト増が発生する。
- ④ 7日強度から28日強度を予測するためにはデータが不足している。

(2) 養生日数延長に向けた対応

前述の課題を解決するため今年度の施工においては次の対応を行った。

- ① 今年度早期に供給が必要な盛土量約20万m³を各プラントに1～6万m³程度割り当て、従来の7日養生で先行して製造開始製造することで、プラント待機時間

と盛土供給遅れを解消した。

- ② 7日強度から28日強度を予測するためのデータを積み重ねるため10プラント20土質の7日と28日の現場配合試験（転圧試験）を実施し、さらにそのうち3試料について室内試験にて詳細な検討を実施した。

(3) セメント削減効果

今年度改良対象となる20土質について、それぞれの土質に対し事前の室内配合試験により添加するセメントを高炉B種かETR3の2種類から経済性に優れる1セメントを選定し、配合量を変えて5～7配合のプラント試験攪拌を行い、7日及び28日養生後の転圧試験時のコーン指数及び締固め度等を確認した。なお品質基準値はコーン指数 $q_c \geq 400 \text{ kN/m}^2$ 、締固め度 $D_c \geq 90\%$ である。

現場配合試験における養生日数と強度（コーン指数）の関係を図-4に示す。7日養生と28日養生の強度はよい相関関係を有しており（ $R^2=0.83$ ）、28日強度は7日強度の1.0～2.2倍の範囲で約1.32倍（ q_{c28}/q_{c7} ）となっている。セメントの違いによる強度増加率（直線の傾き）はほとんど変わらない傾向であった。

7日養生と28日養生の最適配合量の差からセメント削減量を確認した結果、各土質のセメント削減量は0～20 kg/m^3 の範囲でばらついており（現場の配合量は10 kg/m^3 単位で設定）、セメント削減量と改良対象土の含水比にはほとんど相関は見られなかった（図-5）。

今回はデータの蓄積を目的にすべての土質で7日と28日の配合量の比較を行ったが、実際の施工では28日養生の配合量決定に必要な試験期間のプラント待機ロスを軽減するため7日養生と28日養生での製造を組み合わせた施工を行っている。本製造における製造土量約55万 m^3 に対し28日養生で22万 m^3 を製造しセメント量を2600トン削減（全使用量の約9.5%）するコスト削減効果を得た。

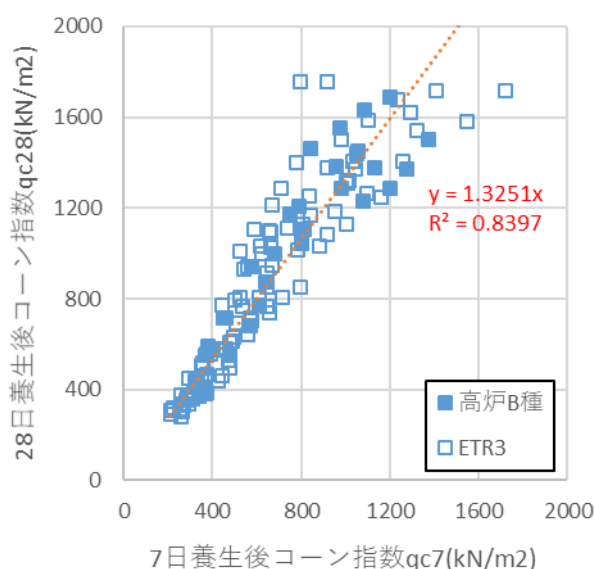


図-4 養生日数とコーン指数の関係

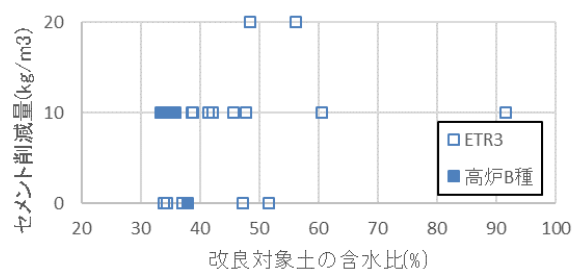


図-5 セメント削減量と含水比の関係

(4) 室内配合試験を含めた詳細検討

今年度改良した20土質のうち代表的な3試料について、現場配合試験用試料の一部を採取し2セメント（セメント系固化材ETR3、高炉B種）、養生日数3パターン（7日、28日、91日）の室内配合試験を実施した。セメント配合量は7日養生は7配合、28日及び91日養生は7日の最適配合量に加え、そこから-10 kg/m^3 、-20 kg/m^3 の3配合とした。養生日数を変化させた3配合では締固め試験、室内透水試験を実施し、締固め特性や透水性への養生日数の影響を確認した。

(a) 含水比及び密度（締固め管理）

室内配合試験における養生日数と最大乾燥密度の関係（図-6）を見ると、養生日数とともに最大乾燥密度は低下傾向を示す。締固め度は、現物で施工した乾燥密度と最大乾燥密度の比となることから、最大乾燥密度が低下することは90%密度の基準値も養生日数とともに下がるため、7日養生時点の90%密度は安全側の基準値と判断できる。

室内配合試験と現場配合試験の養生日数と含水比の変化を見ると（図-7）、室内配合試験では7日と28日養生で1%程度の変動しかないが、現場配合試験では最大5%程度低下しているケースもある（図-10）。今回の現場配合試験は比較的好天が続く5～6月に実施されており、攪拌や置土、転圧試験時の乾燥の影響を受けていると推定される。室内配合試験及び現場配合試験で養生日数とともに含水比が低下する傾向がみられていることから、より最適含水比に近い含水状態となり締固め度が向上することが見込まれる。

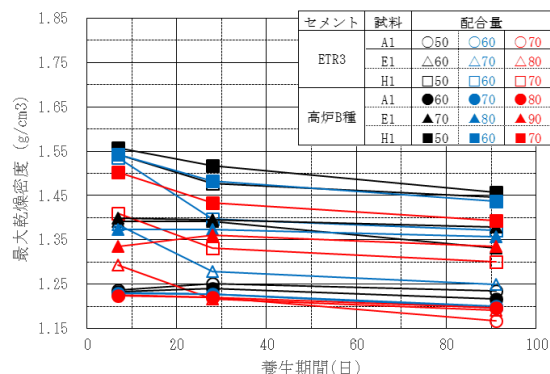


図-6 養生日数と最大乾燥密度の関係

図-8 養生日数と透水係数の確認

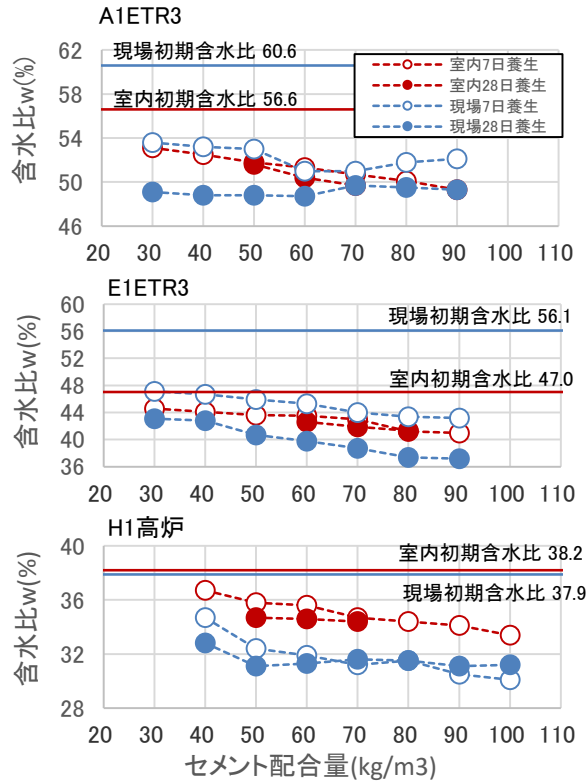
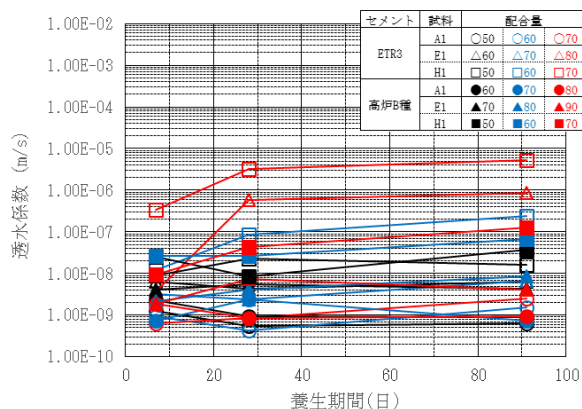


図-7 配合量と含水比の関係

(b) 透水性

室内配合試験による養生日数と透水係数の関係(図-8)は特に相関は見られず、概ね1オーダー程度の変動が見られ、高配合(高強度)のものでは養生日数とともに透水係数が大きくなる傾向がみられた。

対象としている $q_c=400\text{kN/m}^2$ 程度の低配合試料では明確な増加傾向はみられないため、7日養生時点で基準値 $k=1\times 10^{-5}(\text{m/s})$ より1オーダー厳しい $k=1\times 10^{-6}(\text{m/s})$ を基準とすれば、28日時点でも透水係数を満足するものと考えられる。



4. まとめ

セメント改良土による固化破碎土において、養生期間を延長することによるセメント量の削減について検討した結果、以下の成果及び知見を得た。

- ① 20土質に対し7日と28日養生の現場配合試験を実施した結果、28日養生では7日養生より $0\sim 20\text{kg/m}^3$ (削減率 $0\sim 30\%$)のセメントを削減できることを確認した。
- ② 28日養生の配合量決定に必要な試験期間のプラント待機ロスを軽減するため7日養生と28日養生を組み合わせた効率的な施工を行い、製造土量約 55万m^3 に対し28日養生で 22万m^3 を製造しセメント量を 2600トン 削減(全使用量の約 9.5%)するコスト削減効果を得た。
- ③ 各セメント配合量の7日と28日養生のコーン指数には相関があり、28日強度は7日強度の約 1.3 倍程度($0\sim 2.2$ 倍の範囲)であった。
- ④ 養生日数とともに最大乾燥密度及び含水比は低下傾向があることから、7日養生時点で締固め度 $D_c \geq 90\%$ を確認すれば28日養生においても基準値を満足すると判断できる。

20土質の現場配合試験の傾向から28日強度は7日強度の概ね 1.3 倍という結果が得られた。締固め度は7日養生の 90% 密度を満足し、透水係数は基準値より1オーダー透水性の低い $k=1\times 10^{-6}(\text{m/s})$ を満足すれば、28日養生でも基準値を満足すると確認できた。今後は、今年度把握した7日養生と28日養生のセメント配合量の決定データ等を踏まえ、継続的にコスト削減を図っていくこととする。

また、より効果的なセメント配合量の決定方法や配合試験の実施方法を検討し、更なるコスト削減・効率化を図っていく予定である。

参考文献

- 1)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65回北海道北海道開発技術研究発表会,2021