

粒度調整による浚渫土砂の築堤材料への適用

Mechanical Stabilization of Dredged Soils for Construction Material of Embankments

地質部 西村 右敏¹⁾



1)

1. はじめに

河川工事で発生した不良土と判定される土砂は、そのほとんどが河川敷地内に存置されているのが現状である。一方で、近年、良質な築堤盛土材料の確保が困難な状況となってきた。

これらの状況を鑑み、石狩川開発建設部では混合土利用マニュアル(案)¹⁾を定め、単独では利用できない河川工事発生土を粒度調整によって改善し、築堤盛土材料としての積極的な利用を推進している。

本報告では、混合土利用マニュアル(案)における調査・検討方法とそれに基づき実施された施工例を紹介する。

なお、本報告は地盤環境問題に関する技術報告会にて報告²⁾した内容を抜粋したものである。

2. 粒度調整による土質改良

混合土利用マニュアル(案)は、築堤材料としては不適切であると判定された河川工事発生土を粒度調整によって利用することを目的としている。

粒度調整による土質改良³⁾とは、図-1に示すように性質の異なる2種類以上の土を混合して、粒度分布を改善し所要の材料特性を得ようとするものである。

表-1 混合土利用検討の概略内容

概略検討	<ul style="list-style-type: none"> 不良土と判定されている土(粘土と砂)の粒度分布を合成 室内配合試験における配合割合を決定
室内配合試験	<ul style="list-style-type: none"> 代表試料を採取し、粒度調整を行い土質試験を実施 現地試験における配合割合を決定
現地試験	<ul style="list-style-type: none"> 小規模なヤードを造成し、攪拌機械による試験施工を実施 攪拌回数と混合状態、攪拌機械の処理能力等の確認 土質試験による混合土の品質確認 本施工で実施する配合割合を決定
本施工	<ul style="list-style-type: none"> 大規模攪拌施工 粒度分布による品質確認 通常5,000m²に1回程度、小規模:全体で3回程度

配合割合の検討に際しては、所要の材料特性を満足すると同時に、現地発生土の土砂収支を考慮して決定する必要がある。

3. 検討手順

混合土の利用にあたっては、図-2に示すフローに従って検討する必要がある。

表-1に各検討の概略を記す。また、検討に際して必要な土質試験項目を表-2に示す。

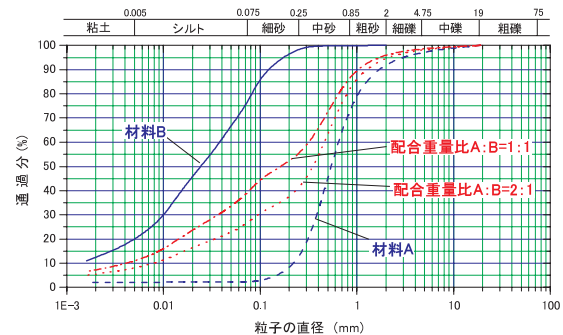


図-1 粒度調整例

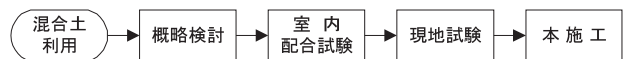


図-2 混合土利用の検討フロー

表-2 各検討に必要な土質試験項目

試験項目	概略検討※1	室内配合試験	現地試験	本施工
土粒子の密度試験	○	○	○	○
土の含水比試験	○	○	○	○
土の粒度試験	○	○	○	○
土の液性限界・塑性限界試験		○	○	
突固めによる土の締固め試験		○	○	
締固めた土のコーン指数試験		○	○	
土の透水試験		○	○	
土の密度試験(砂置換またはコアカッター)	○			

※1 粒度試験結果、土の密度(単位体積重量)試験結果が無い場合に実施する。

4. 築堤盛土材料の品質

混合土を築堤材料として用いる場合の品質は、築堤強化の観点から文献3)~5)に準拠し表-3を目標としている。なお、築堤本体以外で利用する場合の混合土に求められる品質は、使用目的(河川、道路、宅地等)により異なるため、材料規定、締固め規定等は、各基準類または設計図書に従わなければならない。

また、品質目標を得る為の配合割合を決定する手がかかりとして、目安となる粒度分布の範囲があれば便利である。そこで、混合土利用マニュアル(案)では、築堤盛土材料として粒度調整する際の目標粒度分布範囲を図-3のように設定している。

この範囲は、石狩川下流域(KP30~42)の平成11~14年度排泥池内の浚渫土砂を対象とした配合試験結果に基づき作成したもので、現時点では厳しい範囲としてある。施工実績データの積み重ねによって、目標とする粒度分布の範囲を修正していく予定である。この範囲を決定した根拠は、「6. 浚渫土砂の配合検討」に示す。

5. 浚渫土砂の特性

現在石狩川の浚渫工事において排泥される浚渫土は年間40~50万m³であり、その殆どが高水敷(排泥地)に存置されている状況にある。

石狩川下流域でポンプ浚渫された土砂は、排泥池内で分級され堆積する傾向にある。図-4は、昭和62~平成14年度排泥池内(石狩川 KP13~42)に堆積する浚渫土砂の粒度分布を示したものである。ポンプ浚渫船から排出された排泥水は、排泥池(沈砂池)、遊水池を経由し、河川へ排出する河川環境への影響を配慮した処理が行われている。この排泥池に堆積する土砂は、粘土、シルト、砂質土、砂に概ね分類される。なお、遊水池では、微細なコロイド粒子を凝集沈殿させているが、混合土利用マニュアル(案)では、このコロイド粒子の凝集堆積物(フロック)は、検討対象外としている。

浚渫土砂の土質分類および性状は表-4に示すようであり、粘土、シルトはトラフィカビリティ不足で、砂は難透水性が確保できないことから、築堤材料への単独利用は困難である。

一例として図-5に平成11~14年度排泥池平面図を、図-6に平成13年度排泥池における表層部の浚渫

土砂堆積状況を示す。

図-6に示すように、ポンプ浚渫された土砂は、粒径の粗い砂は排出口の手前側に、細かい粘土は奥

表-3 混合土の品質目標(築堤材料)

品質	難透水性が確保される透水系数	$k=1 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ 未滿 ⁴⁾ (10^{-4} のオーダー以下)
	通常の施工性が確保されるコーン指数	$qc=400 \text{kN/m}^2$ 以上 ⁵⁾
材質	築堤材料として望ましい土 ³⁾	・細粒分が15%以上: 不透水性の確保 ・細粒分が50%以下: 乾燥時のクラック防止 ・土質分類的には(GF), (SF), (M), (C)に相当
	築堤材料として望ましくない土 ³⁾	・細粒分がほとんどない土 ・施工機械のトラフィカビリティの得られない土 ・高有機質土(Pt), (Mk)

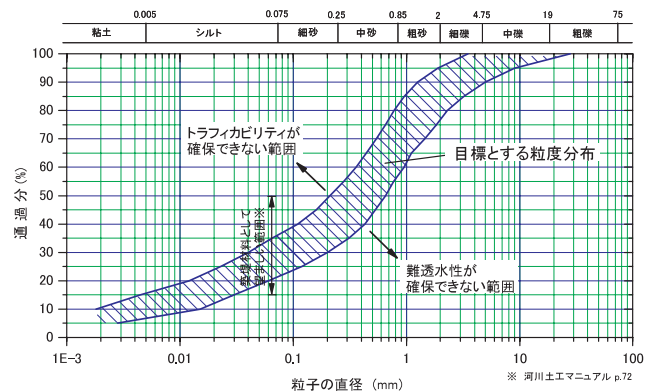


図-3 粒度調整で目標とする粒度分布(築堤材料)

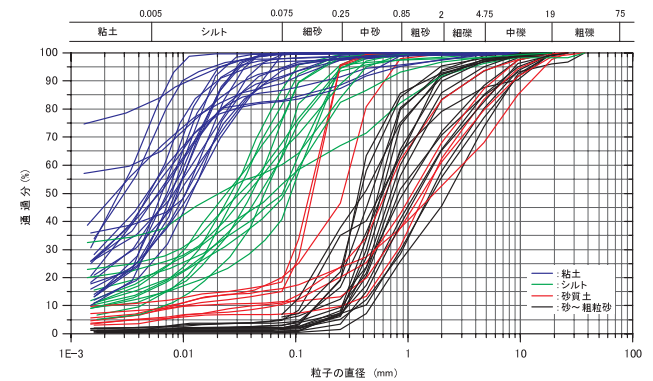


図-4 昭和62~14年度排泥池における浚渫土砂の粒度分布(石狩川 KP13~42)

表-4 浚渫土砂の土質分類および性状

土質区分		土質性状				
土質名	記号	土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	自然含水比 w_n (%)	細粒分 F_c (%)	コーン指数 qc (kN/m ²)	透水系数 k (cm/sec)
砂~粗粒砂	S	2.64~2.70	5~23	5以下	3000以上	1×10^{-2}
砂質土	SF	2.56~2.67	20~45	5~30	200~800	$1 \times 10^{-2} \sim^{-4}$
シルト	M	2.61~2.67	26~60	30~70	3~170	1×10^{-6}
粘土	C	2.50~2.64	54~106	80以上	6~70	$1 \times 10^{-6} \sim^{-8}$

に堆積する傾向にある。ただし、浚渫土砂の性質上、砂と粘土が明瞭に区分できない区間や、深度方向の分布が互層または土質が異なる場合があるため、堆

積状況の把握には注意を要する。

石狩川における浚渫状況を写真-1に、ポンプ浚渫された排泥状況写真を写真-2に示す。

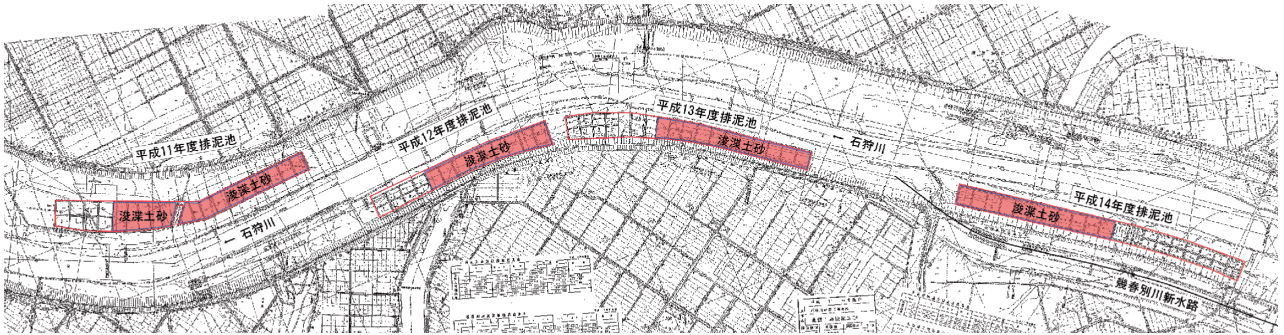


図-5 平成 11～14 年度排泥池平面図(石狩川 KP30～42 付近)

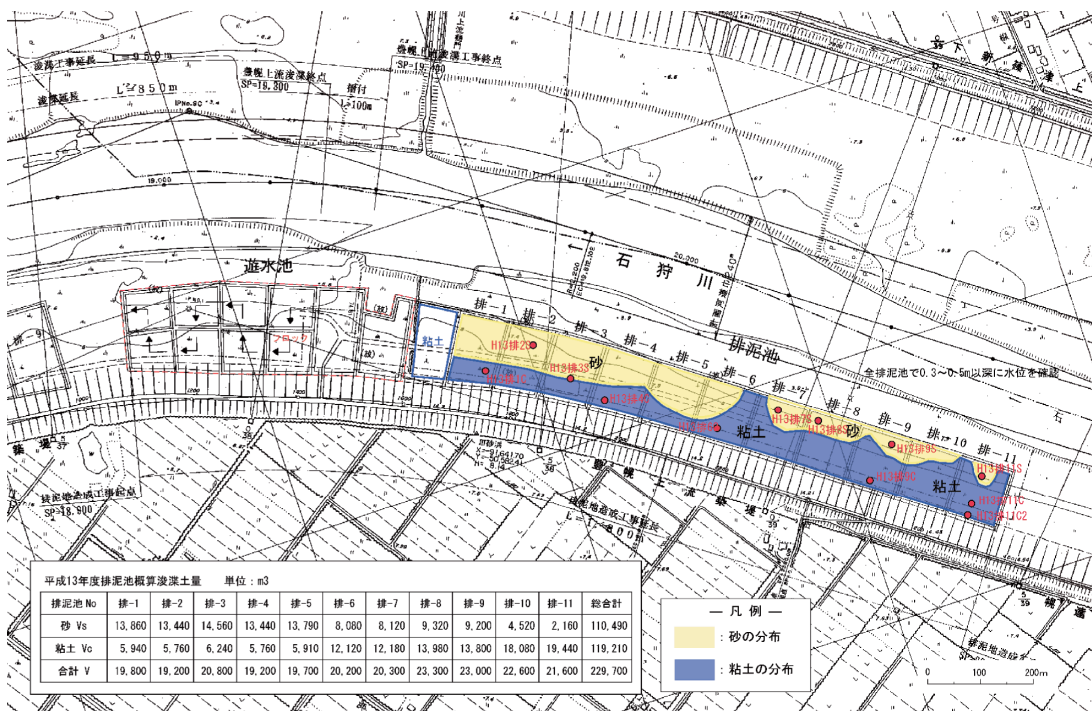


図-6 平成 13 年度排泥池における浚渫土砂堆積状況平面図(石狩川 KP38～39.5 付近)



写真-1 浚渫状況



写真-2 排泥状況

6. 浚渫土砂の配合検討

配合に用いた代表5試料の粒度分布を図-7に示す。代表試料の名称は便宜上のもので、各試料の粒度分布は、粘土の上限値と下限値、シルトの中間値、砂の上限値と下限値にある。粒度調整による利用検討の配合条件は、これらの組合せで概ね網羅できると考えた。表-5に代表試料の土質試験結果を示す。

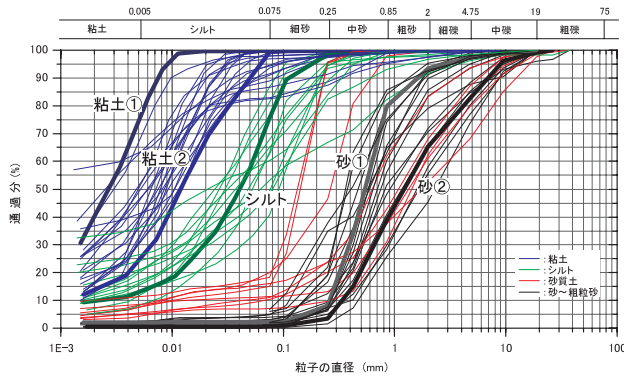


図-7 代表試料の粒度分布

表-5 代表試料の土質試験結果

名称	粘土①	粘土②	シルト	砂①	砂②
湿潤密度(g/cm ³)	1.539	1.601	1.656	1.686	1.750
乾燥密度(g/cm ³)	0.911	0.993	1.098	1.570	1.574
自然含水比(%)	69.3	59.4	52.7	7.9	5.7
細粒分(%)	99.8	99.2	75.7	2.3	0.9
土質	粘土 (高液性限界)	シルト (高液性限界)	砂質シルト (低液性限界)	礫まじり砂	礫質砂
透水係数(cm/sec)	9.34×10^{-8}	7.20×10^{-6}	3.87×10^{-6}	6.64×10^{-3}	6.32×10^{-3}
コーン指数(kN/m ²)	67.3	6.8	3.4	823	524

一例として砂②と粘土②の配合試験結果を表-6および図-8に示す。

これらの結果から、自然含水状態において品質目標を満足する配合割合の目安が得られる。

しかし、施工時期等によって土取場の含水状態に変化が想定される場合は、これを考慮して現地試験で実施する配合割合を決定する必要がある。

図-9に室内配合試験の粒度分布を示す。図中の粒度曲線の色分けは、青色が品質目標を満足しているもの、赤色が難透水性を満足しないもの、緑色はトラフィカビリティが満足しないものである。

粒度調整で目標とする粒度分布の範囲(図-3)は、この図-9によって決定されたものである。ただし、トラフィカビリティが満足しない配合については、土取場の含水比を最適含水比に近づける工夫によって、改善の余地がある。

また、図-7に示す粒度分布の範囲、粒度分布曲線の形状が著しく異なる土質については、別途詳細な検討が必要である。

なお、現地試験における配合割合は管理上、土取場の現場密度試験結果を基に、乾燥重量比から土量(体積)比へ換算しておく必要がある。

表-6 混合土の品質目標(築堤材料)

名称	砂②+粘土②配合		
	砂:粘土(乾燥重量比)	2:1	3:1
土粒子の密度(g/cm ³)	2.661	2.663	2.666
自然含水比(%)	24.1	20.9	15.5
細粒分(%)	38.4	28.5	18.1
土質	粘性土質 礫質砂	粘性土質 礫質砂	粘性土質 礫質砂
透水係数(cm/sec)	1.10×10^{-4}	4.04×10^{-4}	1.12×10^{-3}
コーン指数(kN/m ²)	259	416	1295以上

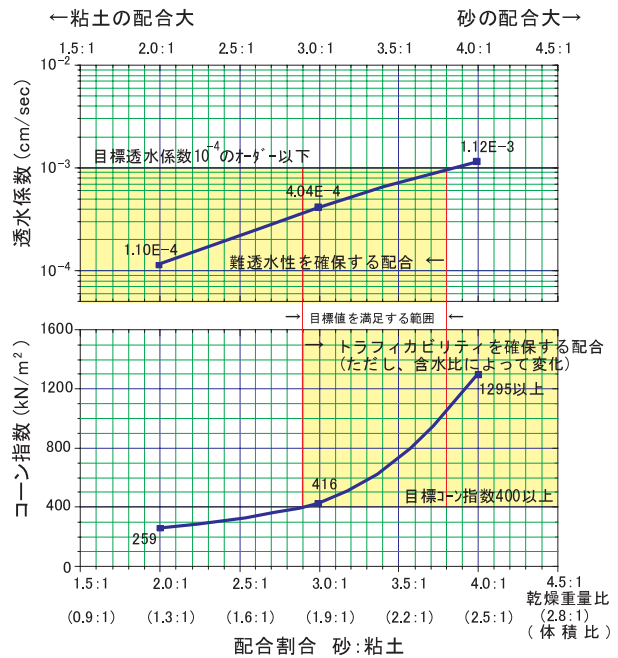


図-8 配合割合と透水係数およびコーン指数の関係

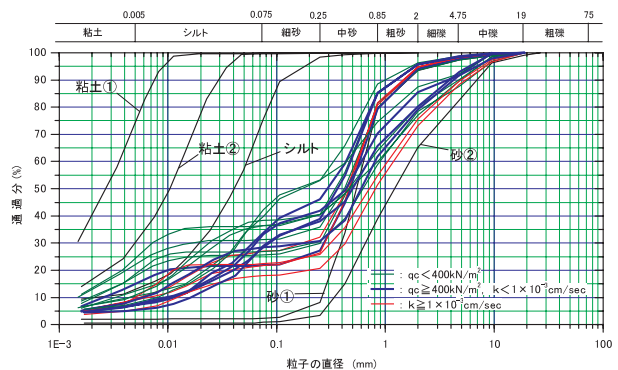


図-9 代表試料および配合試料の粒度分布

7. 攪拌機械

粒度調整では、できるだけ均質に混合することが重要であり、一方の性質の土が一部に集中して盛土されないように注意しなければならない。混合の方法としては、一般にバックホウ、スタビライザ等が用いられるが、粘性土の粉碎・混合効果の高いスタビライザを採用するのが望ましい²⁾。攪拌機械の例として、その特徴を写真と共に紹介する。

ロータリー式スタビライザ(写真-3)は、ツインヘッドの回転翼により土砂を混合するもので、攪拌状況を直接確認できることから信頼性が高く、最も実績がある。

バケットミキシングスタビライザ(写真-4)は、バケット内に小型の回転翼を有している。ロータリー式に比べ攪拌能力は小さいが、施工規模等に応じた利用実績がある。

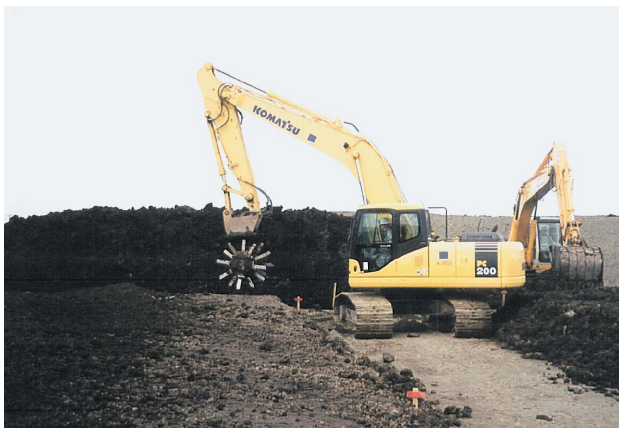


写真-3 ロータリー式スタビライザ



写真-4 バケットミキシングスタビライザ



写真-5 ロードスタビライザ



写真-6 自走式土質改良機

ロードスタビライザ(写真-5)は、ロータを地盤内で回転し混合するもので、処理能力が大きい。しかし、ロータおよび車体重量が大きいので、軟弱地盤上での攪拌施工には注意を要する。

自走式土質改良機(写真-6)は、ホッパに投入された原料土をソイルカッタとロータリーハンマで粉碎混合するものである。混合割合に応じて、ホッパ内にある仕切板の高さ調節を行う必要がある。

これら攪拌機械の選定にあたっては、混合土の品質確保、攪拌処理能力、経済性等を十分考慮して、実際の現場に適用したものを採用する必要がある。

現地試験において処理能力、攪拌状況を直接確認することは重要である。

8. 現地試験

現地試験の目的は、本施工に先立ち現地で小規模な試験施工を実施し、攪拌機械の処理能力、混合状況等を確認すると共に、混合土が所定の品質を満足しているかを確認することにある。

ロータリー式スタビライザ(写真-7)による現地試験例を以下に示す。

図-10は、混合攪拌ヤードに2材料を搬入し攪拌した場合である(写真-8参照)。

図-11は、材料となる砂地盤に粘土を搬入し攪拌した場合である(写真-9参照)。砂の土取場を攪拌ヤードとして利用できる場合は、この形状が合理的である。

このように材料搬入やヤード状況等を考慮した現地試験を実施し、施工上の問題点を把握することが重要である。

混合後は、試料を採取し、室内土質試験を実施する。また、実際に使用する施工機械で敷均しを行うことによって、現地にて直接トラフィカビリティの確認が行える。

これらの総合的な判断によって、本施工で実施する配合割合を決定する。



写真-7 ロータリー式スタビライザヘッド部

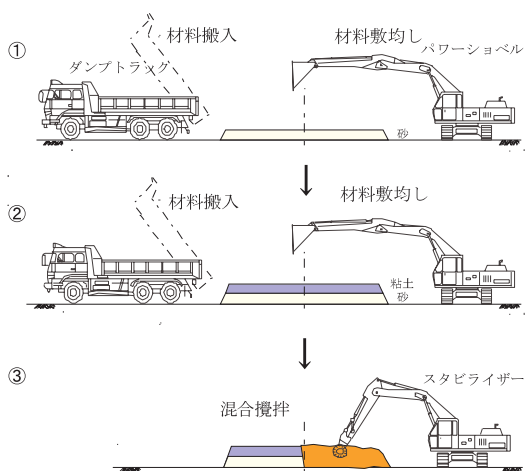


図-10 現地試験例-1 (2材料搬入)

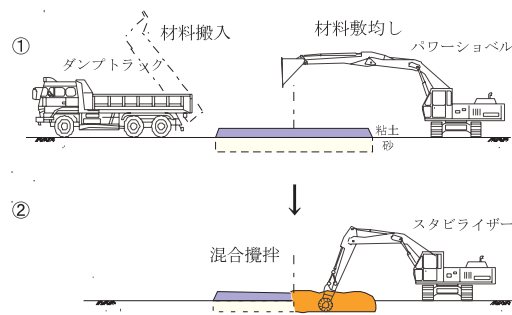


図-11 現地試験例-2 (1材料搬入)



写真-8 現地試験例-1 (2材料搬入)



写真-9 現地試験例-2 (1材料搬入)

9. 本施工

本施工は、現地試験で所定の条件を満足した配合割合で実施する。施工ヤードの堆積形状、規模は、工事規模、現地の状況に応じて設定する必要がある。

本施工例として、石狩川 KP35 付近の平成 12 および 13 年度排泥池で行われている施工状況を図-12 に模式的に示す。この混合土は 18 万 m³ 造られ、幾春別川新水路築堤の盛土材料として利用されている。施工は、排泥池内で粘土を砂上に搬入敷均し、混合攪拌後、ダンプトラックで盛土場に搬出する一連の流れで行っている。1 層目がなくなれば、2 層目へと高水敷までこの作業を繰り返している。

本施工状況の全景を写真-10 に示す。排泥池内の砂の上に粘土を所定の厚さで堆積させている。同写真の手前右側は排泥池の枠堤で、枠堤に沿う形でトレンチ排水処理が施されている。

施工実施状況を写真-11 に示す。攪拌直後にトラフィカビリティが得られる配合では、混合土上に攪拌機械が載って施工を進行させることが可能である。なお、同写真のように現地では、丁張りやレーザーレベルによって攪拌深度(混合割合)が一定になる工夫が行われている。

なお、本施工における混合土の品質確認は、粒度試験によって室内試験および現地試験で得られた粒度分布範囲との比較によって行っている。その頻度は通常 5,000m³ に 1 回程度とするが、小規模な場合は全体で 3 回程度としている。



写真-10 本施工ヤード全景



写真-11 本施工状況

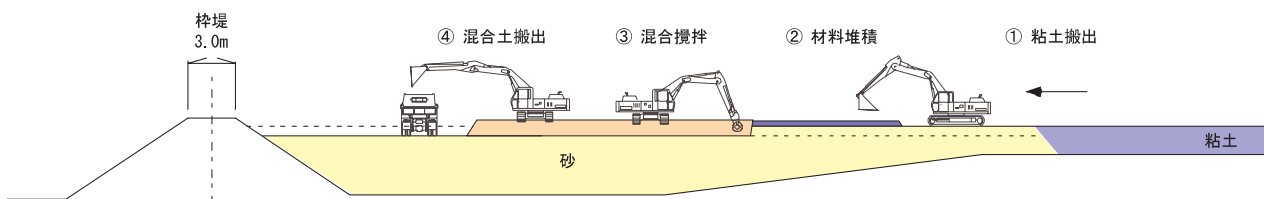


図-12 施工実施例模式図(岩見沢河川管内平成 13 年度排泥池)

排泥池の土砂を混合利用する場合は、事前に枠堤を開削して水位を低下させておく必要がある(写真-12 参照)。また、排泥池内ではトレンチ等により排水や曝気を行い、含水比を下げることも非常に重要である(写真-13 参照)。

これら混合材料の含水比を低下する工夫によって、粒度調整がより一層効果的になり、また図-3 に示した粒度調整で目標とする粒度分布の上限も左側にシフトし適用範囲が広がるものとする。



写真-12 枠堤開削



写真-13 トレンチ排水処理

10. おわりに

建設発生土のリサイクル推進の観点から、河川工事で発生する土砂を有効利用するための研究は重要である。本報告では、これまで単独では利用不能とされていた浚渫発生土(砂、シルト、粘土)に対して、粒度調整を行うことで築堤材料として利用する方法を紹介した。

特に混合利用を成功させるためには、以下の点に配慮する必要がある。

- ・ 混合する土量に見合ったヤードの確保が必要である。
- ・ 粒度調整によって良い品質の盛土材料を造るには、対象土砂を最適含水状態に近づける工夫が重要である。
- ・ また、浚渫土砂を利用する場合、排泥池内には水が溜まっているため、枠堤開削などにより水位を低下させなければならない。
- ・ 本施工で大規模な混合を行う前に、現地試験で小規模な混合を必ず行い、築堤盛土材としての品質を確認する必要がある。

石狩川開発建設部では、今後も工事データを収集・整理し、以下の点について検討し、現場に即したマニュアルに改善して行く予定である。

- ・ 施工実績によって、粒度調整の適用土質と適正範囲の幅を検証する。
- ・ 計画時において、室内と現地の精度の高い配合割合の設定方法を検討する。

参考文献

- 1) 北海道開発局石狩川開発建設部工務課：混合土利用マニュアル(案)，平成 15 年 3 月。
- 2) 数田茂，水嶋稔，西村右敏：粒度調整による河川工事発生土の有効利用，北海道土木技術会土質基礎研究委員会地盤環境問題に関する技術報告会(その2)報告集，pp.43～52，平成 15 年 11 月。
- 3) 国土開発技術研究センター：河川土工マニュアル，第 3 章 3.1.3 堤体材料の選定，pp.68～76，平成 5 年 6 月。
- 4) 北海道河川防災研究センター：河川堤防の漏水対策技術，第 5 章漏水危険度評価法，平成 15 年 6 月。
- 5) 建設大臣官房技術調査室監修：建設発生土利用技術マニュアル(第 2 版)，土木研究センター，3.土質区分基準および土質区分判定のための調査，pp.23～29，平成 9 年 10 月。