

閉鎖性水域における底泥浚渫後の高分子凝集材の活用について

青木あすなろ建設㈱ 飯塚尚史 三村充 松本茂
日大生産工 遠藤茂勝

1. はじめに

本州最北端の漁港は港内に高含水比の底泥が堆積しているため、港内水質悪化が発生していた。

これらの対策工事について、地元漁師・住民による早期着工・早期完成による工期の短縮、作業ヤードの制約条件、および浚渫土改良材料は粉体使用禁止等の要望が寄せられた。

在来工法であるセメント等による浚渫土固化方法では不具合が予想されるため、漁港内底泥の調査を行い、発生メカニズムを解明するとともに、浚渫による底泥の巻上げのない、また、工事期間を短縮できる最適工法を選定する必要があった。

室内試験においては、浚渫後の海水を含んだ高含水比底泥の凝集・改質の確認試験を行った。

特に、室内試験にあたって留意した点は、浚渫後の海水を含んだ高含水比底泥の高分子凝集材による凝集・改質事例がないため、海水下での有効性の確認、低温下での効果確認を行い、さらに、改質土の再泥化確認を行う必要性があった。

2. 底泥室内試験結果と発生メカニズム

1) 底泥室内試験結果

まず、閉鎖的な漁港内の水質・底質調査を行った。(表-1,2)

表-1 水質調査結果 単位:mg/

項目	調査結果	基準値	
		環境基準	水産用水基準
COD	2.8	A:2以下 B:3以下 C:8以下	2以下
SS	5.7		人為的に混入される懸濁物質は2mg/L
DO	5.33	A:7.5以上	4.3以上
		B:5.0以上	
		C:2以上	

*)環境基準:A,B,Cは類型を示す

2) 発生メカニズム

港内の堆積土は、通常、地区外から海流や波浪等により港内に侵入することや漁港背後地からの排水等によることを原因とした堆積が考えられた。

表-2 物理試験結果

試験項目	試験結果	
土粒子の密度	2.756g/cm ³	
自然含水比	155.3%	
土の粒度分布	砂分	7%
	シルト分	60%
	粘土分	33%
最大粒径	4.75mm	
強熟減量	9.2%	

3. 最適工法の選定

薄層底泥の浚渫方法は機械バケット式では底泥周辺土砂の巻上げがあり、作業中でも航路を確保できる真空吸引システムが採用され、経済性・施工性の観点から高分子凝集材添加攪拌・ダンプ運搬方法が採用された。

浚渫方法：薄層汚泥真空吸引圧送システム

改質方法：高分子凝集材+無機凝結材の添加・攪拌

浚渫	静置	固化	運搬
1日	1日	1日	1日

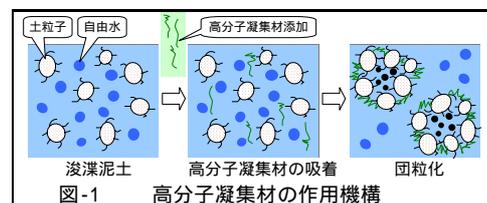
4. 高分子凝集材の室内試験結果

1) 高分子凝集材の改質メカニズムと優位性

高分子凝集材の成分は水溶性高分子であり、そのものは中性である。高分子凝集材を浚渫土に添加すると土粒子表面に高分子が吸着し、自由水を吸収しながら溶解して、高い粘性を示す。

この溶解した高分子は土粒子相互を架橋・吸着する能力を持っており、混練によって凝集・団粒化を繰り返し、浚渫土全体を団粒化構造に改質する。団粒化構造の形成により、自由水を固定化し、土粒の液性・塑性限界を高め、浚渫土全体が塑性化し、自立するようになる。

優位性としては、少量添加(2~5kg/m³)で30~60秒程度の短時間で改質できる。ただ、実施工では海水の影響もあり、30分程度を要した。また、処理直後の運搬が可能であり、振動を受けても再流動化しない。また、団粒化しているので、ダンプ荷台への付着が発生しにくい。今回は、無機凝結材を添加し、その粘着効果を減じた。さらに、団粒化構造となっているので、降雨を受けても水が透過するため流動化がなく、長期間安定している。



2) 改質・固化試験結果

改質・固化試験の基本的考え方

浚渫方法が薄層汚泥真空吸引圧送システムと選定されたが、この方法は、浚渫直後は 300% 程度の高含水比であるため、直ちに改良するには不経済であり、水きりピットにて浚渫土砂の沈降を促し、浮き水の排水を行うことで含水比の低減を図る必要があった。

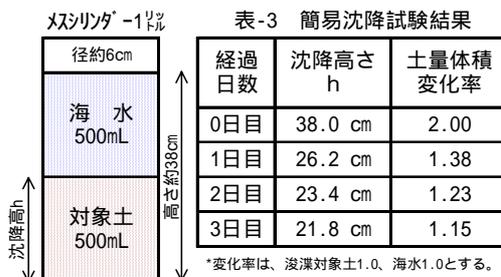
試験方法

各採取地点の底泥採取土の含水比および海水と底泥の攪拌後、1日静置し、上水を除去した後(現場施工条件を室内試験でシミュレートした場合)の土量体積変化率、含水比を求めた。

一般的に浚渫土の沈降量は対象土によって様々であるため当検討では、浚渫対象土を用いて簡易沈降試験を行い、沈降量の確認を行った。

・簡易沈降試験

1リットルのメスシリンダーに、当該地区の浚渫対象土を 500 ミリリットル入れ、さらに海水を 500 ミリリットル入れた後、攪拌する。これは、真空吸引浚渫の浚渫後の状況をイメージしている。その後、1日後から3日後までの土砂の沈降量を計測し、沈降量から土量体積変化率を求めた。



各含水比	底泥含水比	1日静置後含水比
最小	110	160
平均	120	190
最大	130	220

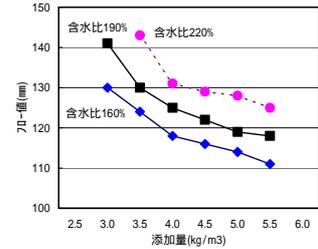
なお、改質後の処理土積込・運搬にあたっては、作業性確認のため室内試験ではフロー試験を、また、処理土強度についてはコーン指数試験を採用した。

試験結果

a. フロー値・コーン指数による最適添加量算出

簡易沈降試験後

の各高分子凝集材効果確認とその添加量確認の室内試験工程としては、高分子凝集材は土



粒子の水分を吸着しポリマー重合体を生成するが、その改質の特徴から、試料に添加後、はじめにゆっくり攪拌し、30分後に試料混合体が改質するまで攪拌を行い、改質(団粒化構造)が確認できたものから、フロー値試験を行った。その後、無機凝結材は高分子凝集改質材添加後、改質を確認した段階で、泥土に添加し、フロー値試験を行った。高分子凝集材の団粒化凝集改質と無機凝結材の土塊分離とは、互いに反作用の関係にある。高分子凝集材は高価であり、廉価な無機凝結材を併用することでより経済的な添加量を算出した。

計画添加量は表-5のとおり。

含水比	高分子凝集材	無機凝結材
150~220%	5kg/m³	5kg/m³

流動性の指標としたフロー値は、JISR5201セメントの物理試験方法に準拠し測定した。なおJISでは、n(落下回数)は15回とされているが、流動性・改質の度合いを明確に評価するため、本試験ではnを50とした。フロー値に関する公的基準はないため、評価基準を作成した。

なお、フロー値試験の基準値と運搬時の作業性との関連性については、フロー値120mm以下の処理泥土と120mmを超える処理泥土について、ダンプ運搬にて運搬距離毎にスランプ測定とフロー値及び泥状化状態を確認した結果、フロー値試験でフロー値120mm以下を満足した処理泥土はいずれも泥状化は全く確認されず、運搬性は確保されていた。よって、“フロー値120mm以下”はダンプ運搬時の運搬可能評価の目安として十分適用可能と判断できた。

実験方法としては、処理泥土を2tダンプにて運搬し、0km、10km運搬時のスランプを測定した結果を図-3に示す。フロー値120mm以下の泥土では、2.5km或いは5.0km運搬した時点

で、スランプコーンにて成型したものが崩れたものの、泥状化は見られなかった。一方、フロー値 120 mm を超える泥土については、運搬距離が増えるに従ってスランプ増大と泥状化が見られた。特にフロー値が 150mm 以上の処理泥土については、10km 運搬時スランプが

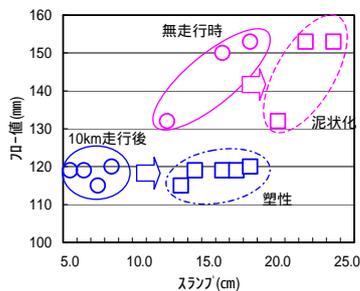


図-3 フロー値と運搬性の関係

いずれも 20cm を超える結果となった。(図-3)

なお、コーン指数試験は高含水比汚泥を改質(団粒化構造)したものを測定するには適しておらず、代替試験としてフロー値試験を行った。

表-6 各試験方法及基準値

試験項目	試験方法	基準値
フロー値試験	高分子凝集材添加後と、さらに、無機凝結材添加後に測定	120mm 以下
コーン試験	捨場で含水比とともに測定	200kN/m ² 以上

b. フロー値とコーン指数の相関性およびコーン指数による必要強度の確認

運搬作業に必要な強度としては、「標準ダンプトラックに山積みができず、また、その上を人が歩けない状態のもの」(概ねコーン指数が 200kN/m² 以下または一軸圧縮強さが 5kN/m² 以下)を泥土と位置付けしていることから、コーン指数 $q_c=200\text{kN/m}^2$ 以上あればダンプ運搬が可能であることとなる。また、この必要強度は、第 4 種建設発生土と同等の強度であり、この時点で埋立造成材の条件を満足することになる。よって、今回は埋立造成材の必要強度として第 4 種建設発生土以上の強度に設定されたものである。

フロー試験の妥当性の検証を行うため、フロー値とコーン指数の相関性およびコーン指数による必要強度の確認を行った。

フロー値とコーン指数の相関については、フロー値 120 mm 以下とコーン指数 200kN/m² 以上を満足することの相関性を確認するため、その確認試験を行った。その結果は図-4 のとおり。

また、処理泥土について、含水比とコーン指数を測定し、フロー値と含水比の相関性について検証した結果、高分子凝集材処理泥土のフロー値が低い程、含水比が高くてコーン指数 200kN/m² 以上を満足することが判り、フロー値の改善が、コーン数増大に繋がることが確認できた。

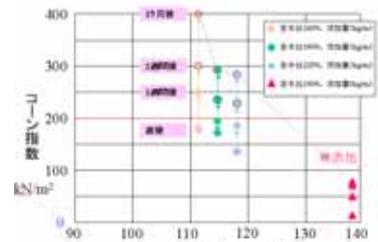


図-4 フロー値とコーン指数の関係

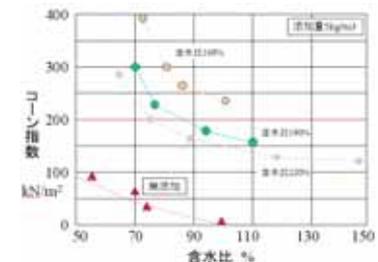


図-5 含水比とコーン指数の関係

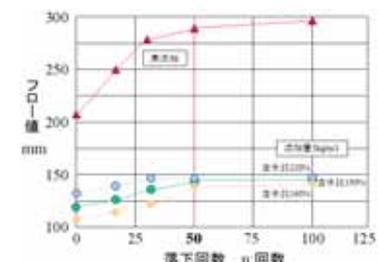


図-6 含水比とコーン指数の関係

(図-5)さらに、流動性・改質の度合いを明確に評価するため、フロー値(n=50)としているがその妥当性を検証するため、フロー値試験にてテーブル落下回数別(n=0, 15, 30, 50, 100)のフロー値を測定した結果を図-6 に示す。

n=50 で全ての検体でフロー値が一定の値に達しており、フロー値は収束する傾向にあることが確認できた。よって、“テーブル落下回数 n=50”はフロー値の評価する上で適正な数値であると判断できる。

3)再泥化の確認

試験方法としては、以下の手順にて海水浸漬前・後で含水比、コーン指数を測定した。

なお、海水浸漬による泥土のコーン指数測定に関する試験方法については JIS 等、特に規定がないため、再泥化の確認のための天日乾燥方法、海水浸漬方法は以下の通り実施した。

試料準備(以下 2 種類の泥土試料)

- ・高分子凝集材処理泥土を 48 時間天日乾燥
- ・関東ローム(高分子凝集材無添加、乾燥未実施)

泥土試料の含水比、コーン指数測定(海水浸

漬前の測定)

泥土試料を人工海水に 24 時間浸漬させ、含水比、コーン指数測定(海水浸漬後の測定)

泥土試料を 48 時間天日乾燥させ、含水比、コーン指数測定(海水浸漬+天日乾燥後の測定)

処理泥土を海水浸漬させた場合、自立性は維持していたものの、コーン指数は 200kN/m² 以下となり、コーン指数 200kN/m² 以上を確保のためにはセメント改良等の改良が必要になる。

表-7 海水浸漬によるコーン指数変化

土質	試験項目	天日乾燥 2日後	海水浸漬 1日後	再天日乾燥 2日後
浚渫 改質土	コーン指数kN/m ²	220.0	91.0	137.0
	含水比%	76.1	94.3	83.2
関東 ローム	コーン指数kN/m ²	600.0	0.0	55.0
	含水比%	79.7	145.1	124.8

4)低温時における性能評価

冬低温条件下の高分子凝集材の改質効果を確認することを目的とし、評価検体と温度低下方法を示す。(表-8)

表-8 評価検体種類

検体	温度調整	
	対象泥土	高分子凝集材
1	-2 ±0.5	-2 ±0.5
2	-2 ±0.5	室温
3	5 ±0.5	5 ±0.5
4	室温	-2 ±0.5
5	室温	室温

なお、温度低下方法については、改良泥土の場合はドライアイスを敷き詰めたケースに泥土の入ったステンレス容器を入れ、泥土の温度が -2 程度に低下した時点でケースから取出し試験を実施する。高分子凝集材の場合は冷蔵庫に高分子凝集材を入れ、温度が -2 程度に低下した時点で冷蔵庫から取出し、試験を実施する。

以上の結果から、泥土温度が -2 に低下した場合には、高分子凝集材の改質効果は低下し、それに伴い高分子凝集材の必要添加量がややアップすることが判った。従って、泥土温度が

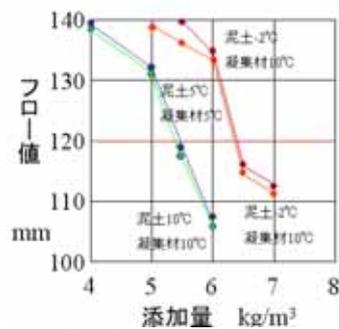


図-7 温度条件別添加量とフロー値

-2 (望ましくは 0)以下まで低下する気象条件下では、経済面からできるだけ処理を避けた方が良くと判断される。

また、海水の凍結温度は -1.9 前後であり、浚渫スラリーの分離表面水が凍結する場合、土壌温度も -1.9 前後になっていると考えられ、分離表面水が凍結しているかどうかで施工判断するのがよい。

5.施工報告

浚渫方法として台船に吸込み口を装着させたパワーショベルで漁港内の底泥を真空吸引・圧送し(薄層汚泥真空吸引圧送システム)、配管で陸上ピットに送泥し、1 日静置した後、高分子凝集材添加・攪掛後、無機凝結材を添加・攪拌し、改質後直ちにダンプトラックによる陸上輸送した。今回の工事により、漁港内は表-9 のとおり改善された。

室内試験で使用した採取土は全体のわずかな量であり、施工時においては、それらの室内試験結果をベースとして、臨機応変な対応が必要であった。

実際と室内試験結果との添加量は表-10 のとおり。

表-9 漁港内環境調査 単位:mg/l

項目	施工前	施工後
SS	6.0	1以下
COD	2.8	1以下

表-10 設計時・施工時添加量

含水比	室内試験結果	実施工
100~220%	5kg/m ³	6.5kg/m ³
COD	2.8	1以下

また、改良浚渫土の捨場でコーン指数試験を行い、qc=200kN/m² 以上であることを確認した。

6.最後に

漁港底泥浚渫作業における高分子凝集剤の活用した調査から施工にあたっては、青森県下北地方漁港漁場事務所の方々のご助言・ご指導をいただき、無事工事をほぼ完成することができ、ここに感謝の意を表します。

<参考文献>

- (1)山崎, 湖沼等の俊藻における真空吸引圧送工法の開発, p21~28, 建設の機械化, '93.4
- (2)真空吸引圧送工法の積算マニュアル, 平成18年版, 日本真空システム協会
- (3)下水道維持管理指針第 6 節汚泥脱水設備, 後編日本下水道協会, 2003 年版