

II-6 軟弱浚渫土による埋立の新工法

— 苫小牧東港での実験工事 —

苫小牧東部開発(株) 正会員 吉村 芳男

倉橋 理雄

1. まえがき

苫小牧東部開発(株)では、昭和55年度より苫小牧東港において埋立事業に着手し、国が実施する航路・泊地等浚渫の土砂を受け入れて埋立造成を進めており、57年度には、第1期工事として61.8haの埋立を完了、引き続き58年度より第2期工事として115.1haの埋立を開始し、現在施工中である。(図-1)

第1期工事では、ポンプ式浚渫船による浚渫土砂を、排砂管の延ばし吹き及びフローター吹きによって埋立地に投入したが、この浚渫土の中にはシルト・粘土分の含有率が高いものがあり、投入完了時点で、埋立面積の約4分の1を占めるシルト・粘土のボンダができ、シート工法及び覆土による表層処理を行った。

第2期工事においても、これ迄と同様の工法で埋立を進めた場合、第1期工事をはるかに上回る面積のシルト・粘土のボンダができ、表層処理のため造成コストに悪影響を及ぼすことが予想された。

そこで、この表層処理面積を最小限に食い止めるため、撒布台船による敷砂と排砂管の延ばし吹きにより、シルト・粘土層の上に砂層を載せ、シルト・粘土を封じ込めつつ埋立を進めるという工法を計画、61年度の工事において、前年度堆積したシルト・粘土層の上に砂層を形成する事に成功し、表層処理面積を減少させる目途がついた。

ここにこの工法計画までの経緯と61年度工事の概要について報告する。

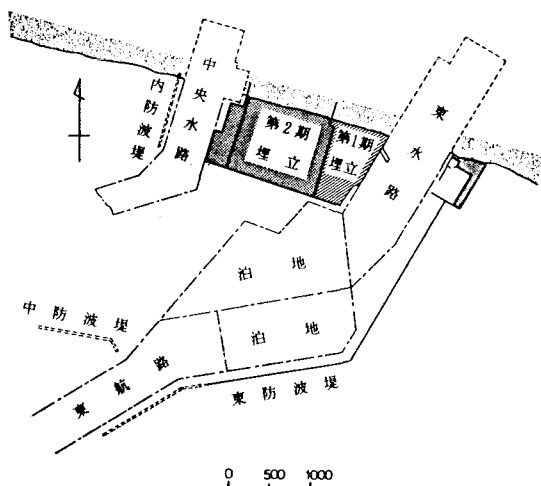


図-1 苫小牧東港計画図

2. 工法計画までの経緯

(1) 浚渫土中のシルト・粘土分によるボンダの出現

第1期工事は、55年度より57年度迄に約560万 m^3 (シルト・粘土の平均含有率34%)の埋立を行った。始めに東・南・西3方に施工した護岸に沿って、排砂管の吹き延ばしともらし吹きによって埋立を進め中央部はフローター吹きにより浚渫土を投入した。最終的には、埋立地の中央部に約17.4haのシルト・粘土のボンダが出現した。

シルト・粘土分の多い軟弱土をポンプ式浚渫船で埋立地に投入すると浚渫土中の砂分は早く分離沈降して排砂管の吐出口付近に堆積し、シルト・粘土分は排砂管からの水流によって拡散しながら沈降し、漸次埋立地全域に拡がり、沈泥・浮泥となって海底に堆積する。更に排砂管を延ばしながら浚渫土を投入し続けると、さきに沈降堆積したシルト・粘土を押し上げるようにして砂分による陸地化が進行し、

遂には図-2(A)のように前面にシルト・粘土のボンドができる。このボンドは、支持力をまったく期待できないので、地盤改良等のための建設機械搬入を可能ならしめるには、土木安定シート・合成樹脂網を補強材として覆土をしたり、表層部をセメント系固化剤等で固化する等のきわめてコストのかかる表層処理が必要となる。第1期工事においても、足場丸太を敷き並べ、シートを展張して覆土をするという処理を行った。

第2期工事では、58年度から59年度にかけて、砂礫分の多い東航路・泊地と中央水路部分の浚渫土により護岸の裏込めと西側の苦小牧港管理組合埋立地との境界部の仕切堤の築造を行った。60年度からは東水路の浚渫土を受け入れている。この箇所は厚真川の河口に当たるため、シルト・粘土分が非常に多く（シルト・粘土分含有率約64%）、従来の工法により埋立を進めた場合、かなりの面積のボンドの出現が懸念された。

そこで何らかの方法によって、シルト・粘土層の上に砂層を載せることができれば、図-2(B)に示すように、前年に堆積したシルト・粘土の上に砂を載せて逐次陸地化をすすめ、表層処理を要する面積を減少させることが可能となる。また上載砂層によるシルト・粘土の圧密促進も期待できる。

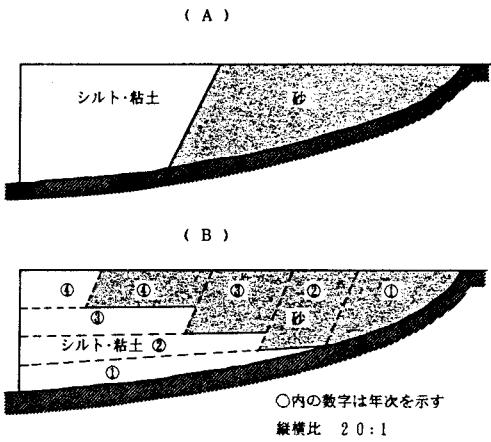


図-2 埋立地断面

(2) 第1期工事における浚渫土の堆積状況

第1期埋立で生じたボンド箇所は延ばし吹きとフローター吹きとによって浚渫土を投入した所で、竣工後のボーリング結果を見ると、表-1のようになりかなりの厚さのシルト・粘土層の上に砂層が堆積している状況が観察された。

この箇所は、休止期間において浚渫土を投入した所で、フローター吹きした所では、最初に砂が分離堆積しその上にシルト・粘土が堆積したが、休止期間において浚渫土の投入を再開した結果、さきに堆積しているシルト・粘土の上に砂が載り、一方、延ばし吹きによるものは、砂地盤の前方に堆積しているシルト・粘土の上に砂の舌状先端部が逐次前進堆積していった結果と考えられる。つまり、浚渫土の投入を休止した期間中に堆積シルト・粘土層の自重圧密が進んである強度を持てば、その上に砂層の上載が可能であることを示している。

そこで、この観察結果を踏まえて、分離堆積したシルト・粘土層の上に砂層を載せることを繰返しなが

ら埋立を進めるという工法を可能ならしめる土質工学的条件の検討を、開発技術研究センターに依頼した。

表-1 シルト・粘土層に上載した砂層

ボー リ ン グ 番 号	シルト・粘土層(下層)			砂 層(上層)		
	層厚 (m)	砂 (%)	シルト ・粘土 (%)	層厚 (m)	砂 (%)	シルト ・粘土 (%)
1	4.40	6	94	2.25	68	32
5	1.95	1	99	4.85	74	26
6	2.35	6	94	3.90	53	47
9	4.30	1	99	3.10	65	35
10	5.50	15	85	1.05	78	22
11	1.75	1	99	1.70	82	18
~	2.75	12	88	2.75	82	18
12	3.55	28	72	4.15	67	33

注 ボーリング番号1では厚さ4.40mのシルト・粘土層に厚さ2.25mの砂層が載っている状況を示す。以下同じ。

(3) 砂層形成のための条件

委託調査において、58・59年度で施工した埋立地内での現地調査、埋立土による室内試験等を実施し、この調査・試験結果を基に、砂層の法勾配、敷砂の厚さを変え安定計算を行った。シルト・粘土層の上に砂層を載せ得るかどうかを法面部の円弧すべりに対する安定で判別できるとした場合、無処理のまま直接砂層を載せることには無理があるが、厚さ1.0m以上の敷砂を行い、上載砂層の水中法勾配を1:10以下に押さえ込めれば、前年に堆積したシルト・粘土の上に砂層を載せることができるとの結果を得た。

以上の経緯を踏まえて敷砂工法による埋立を計画、61年度工事でこれを実施した。

3. 61年度工事の概要

(1) 敷砂の厚さと上載砂の法勾配

敷砂の厚さについては、60年度工事で堆積したシルト・粘土層でのサンプリング、バークセン断試験等により諸元（表－2）を決定し、円弧すべりに対する敷砂層の厚さ・法勾配と安全率の関係を求め、1mで施工することとした。法勾配については、同じく60年度で埋め立てた箇所の水中法勾配として1:16～1:22という実測値を得た。この箇所は東水路部の浚渫土を排砂管の吹き延ばしにより投入しており、61年度も同様の方法で施工した場合、上載砂の法勾配は1:15程度でできると判断した。

(2) 敷砂の撒布

敷砂の方法としては、山土を使用した方が施工が確実であるが、経済性、施工性に問題があるため、砂分とシルト・粘土分の分級を期待して、撒布台船による直接投入により施工する事とした。

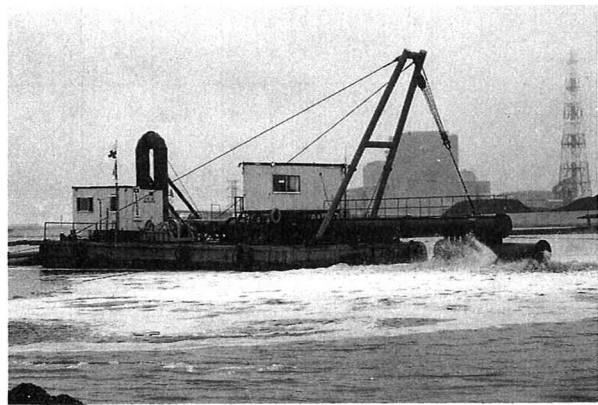
撒布台船は、200t台船(23mL×9mB×2mD)に排砂管を載せ、その先端に下面に多数の孔を開けた6mの管を取り付け、更にその下に受け板(8mL×2mB)を取り付けてある。(写真－1，図－3)

ポンプ船より送られてきた浚渫泥水は、撒布台船先端の取付管の孔から鉛直下向きに落ち、受け板により水平流となって、所定の範囲に撒布される。

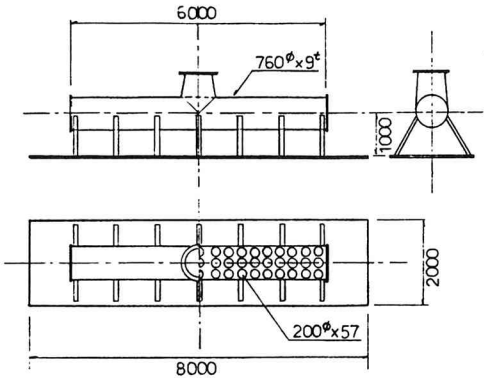
表－2 敷砂の安定計算に用いた諸元

地 層		水中単位 体積重量 t/d	粘着力 C t/d	内 部 摩擦角 φ°
敷 砂 層		0.8	0	20
シルト・粘土層	0～1m	—	—	—
	1～2m	0.4	0.1	0
	2～3m	0.6	0.3	0
海底地盤		1.0	0	45

注1 シルト・粘土層の 0～1mは、非常に弱い
ため、敷砂により排除されるものと仮定。
注2 海底地盤を切る円弧は考えられないので
強度を大きく設定。



写真－1 敷砂施工中の撒布台船



図－3 撒布台船先端部

敷砂の撒布区域は、敷砂及び延ばし吹きにより上載させる砂の土量バランスを考慮し、60年度の埋立により陸化した部分の外縁に沿って120mの幅で計画した。(図-4)

計画撒布区域76,800㎡を10m×20mを1区画として384の区画に分割し、各区画に対応する浚渫区の含砂率をボーリングデータから求め、1mの敷砂(1区画当たり200㎡)を得るのに必要な浚渫土砂の投入量を算出し、60年度埋立の実績により推定した時間当たりの揚土量から、区画毎の撒布時間を設定しておき、揚土量の実績が計画と大幅に異なる場合は、撒布時間を補正するという時間管理により施工する方法を取った。(表-3)

撒布台船は、図-4に示す①区域の1区画目から、矢印のように撒布を進めていくが、作業を簡単にするため、1区画の撒布中は台船を固定し、計画撒布時間がたてば次の区画に移動しこれを繰返していくこととし、移動には、撒布台船に装備した4台の電動ウィンチと4丁のアンカーを使用した。アンカーの打替は1日1回とし、1日分の撒布予定面積全域をウィンチ操作のみで移動可能となるように打設を行い連続作業をできるようにした。

撒布時の水位は+2.0m、水深は平均-3.0mである。

(3) 敷砂の確認調査

撒布前のシルト・粘土層の水深及び撒布後の敷砂の水深は、直径20cm、重さ4kgの鋼製の円板を用いて測定し、参考のため重さ3.2kg、底面積26cm²の従来型のレッドを併用した。敷砂の形成厚と粒度組成の確認のため、撒布台船を後追いついて、ポータブル二重管式コーン試験器による測定及びパルプサンプラーによるサンプリングを行った。

表-3 撒布時間計画表

撒布区域		粒度組成(%)		揚土量 (㎥/hr)	撒布時間 (min)
		砂	シルト・粘土		
①	1~26	23.6	76.4	850	60
	27~77	31.5	68.5	"	45
	78~144	43.1	56.9	"	35
②	1~26	43.1	56.9	"	35
	27~60	34.0	66.0	"	45
	61~72	34.0	66.0	555	65
③	1~15	34.0	66.0	"	65
	16~48	23.6	76.4	"	90
	49~120	55.6	44.4	"	40
	121~148	23.6	76.4	"	90
	149~168	55.6	44.4	"	40

①区域	144区画	28,800㎡
②区域	72区画	14,400㎡
③区域	168区画	33,600㎡
計	384区画	76,800㎡

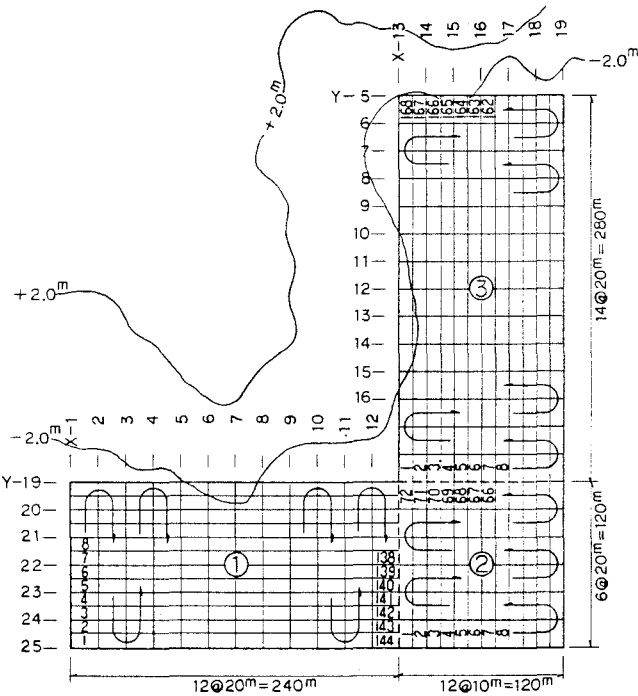


図-4 敷砂区域と撒布順序

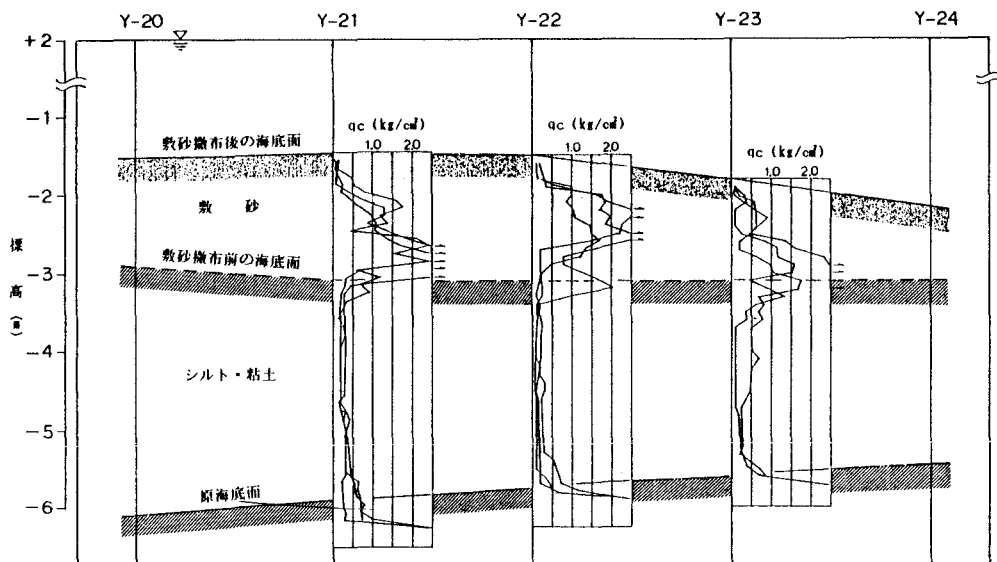


図-5 敷砂層断面図 (X-10)

敷砂の実測断面の一例を図-5に示す。当初、バーンセン断試験の結果から、前年度堆積のシルト・粘土層へのめり込みを1m程度と予想していたが、撒布前の円板による水深測定結果と、撒布後のコーン貫入試験の結果からは、図-5からもわかるように顕著なめり込みは認められなかった。そこで敷砂撒布前後の円板による水深測定値(54点測定)の差をもって敷砂の厚さとした場合、0.7m~2.6m平均1.6mとなっていた。敷砂厚さの変動が大きいのは、浚渫土の含砂率及び時間当たりの揚土量の変動によるものと考えられる。

サンプリングによる室内試験の結果、敷砂中の砂の含有率は、60.0~94.5%平均78.9%、含水比26.6~47.3%平均32.9%で、極めて良質の砂層が形成された。尚、砂の粒度は0.42mm以下の細砂が89.9%を占めていた。

敷砂の水中法面については、厚さが薄いこともあり、顕著な勾配は認められないが、敷砂区域の外縁の勾配は1:50~1:60と極めて緩い勾配を示している。

(3) 延ばし吹きによる埋立

撒布台船による敷砂完了後、引き続き排砂管の延ばし吹きを行った。

排砂管は、陸地部分の法肩に沿って設置し、これと直角方向に敷砂区域に向けて等間隔に8箇所の枝管を出し吐出口を設けた。砂が敷砂区域に出来るだけ平均に載るよう、1日毎に吐出口を切り替え、これを繰返しながら陸化の進行に伴って枝管を延長し吐出口を前進させるという方法をとった。

延ばし吹き終了後の埋立断面を図-6に示す。当初延ばし吹きによる上載砂の断面を点線のように、法勾配を1:15とし、敷砂区域の外縁から20mの余裕幅をとって計画したが、敷砂区域を若干はみ出して砂が上載した。

最終的には、前年度工事で分離堆積した厚さ3~5mのシルト・粘土層の上に敷砂層(平均厚1.6m)を含めて、約6mの砂層を形成できた。

法勾配は、法肩から±0mの間で1:12、それ
以深は1:20～1:25と次第に緩やかになり、新
たに堆積したシルト・粘土層にすりついてい
る。延ばし吹き時の水位は+2.0mである。

61年の工事により投入した浚渫土量は、撒
布台船による敷砂に約19万 m^3 、延ばし吹きに
約64万 m^3 、計83万 m^3 で、工事日数は敷砂に18
日、延ばし吹きに36日、計54日で完了した。

4. まとめ

本工事では、浚渫土中に含まれるシルト・
粘土によりできる軟弱層の表層処理面積を極
力縮小させることを目的として、敷砂工法に
より、前年度に堆積したシルト・粘土層の上
に砂層を載せることを試みた。

敷砂の施工には、撒布台船による浚渫土の直接投入という方法を取ったが、浚渫土中の砂分とシルト・粘土分の分級が予期以上にうまくいき、良質の砂層を形成することができた。

敷砂の方法としては、他にも種々の工法が考えられるが、埋立コストの面から、また浚渫側のポンプ船の運転効率をほとんど低下させずに連続作業が可能であるという点からも、撒布台船による方法は有利である。

本工事は実験工事ともいうべきものであるが、当初の目的を達成し、満足のいく成果を得られた。しかしながら初めての試みでもあり、施工上今後解決していかなければならない課題も多い、それらを述べると、

- (1) 砂層の法勾配が緩やかであれば、敷砂なしにシルト・粘土層に直接砂の上載が可能となるが、本工法の目的である表層処理面積の縮小という点からは、上載砂の法勾配は、極力垂直に近く施工できる方がよい。一方、浚渫土の法勾配は、その粒度組成、投入方法により大きく変動する。従って砂層を計画法勾配に保って上載させる浚渫土の投入方法の検討。
- (2) 敷砂層の厚さを一定に保つため、浚渫土の粒度組成、時間当たりの揚土量の変動に対して撒布時間を調整しなければならないが、これらの変動をリアルタイムに把握する方法の検討。
- (3) 埋立工程と浚渫工程との調整。
- (4) 撒布台船による敷砂作業が可能な水深の確保。

本報告が同じような問題を抱えた埋立の現場で、多少とも参考になれば幸いである。

最後に本工事の計画・施工に当たり、御協力をいただいた関係者各位に対し深く感謝の意を表します。

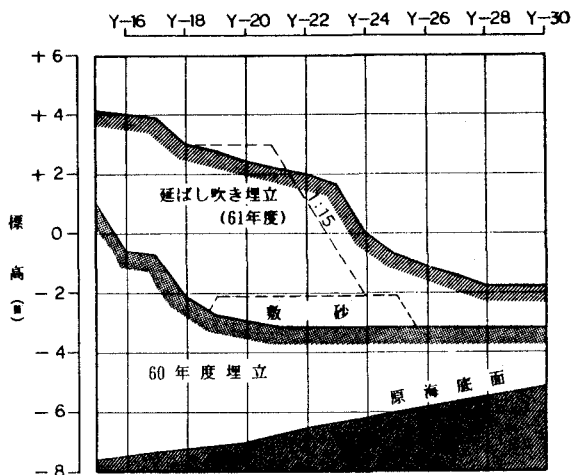


図-6 埋立断面図 (X-10)