

四日市港霞ヶ浦地区 国際物流ターミナル整備事業 ～事業連携によるコスト縮減の取り組み～

大西 凌雅¹

¹中部地方整備局 四日市港湾事務所 保全課 (〒510-0064 三重県四日市市新正3-7-27)

四日市港では、コンテナ貨物量の増加や船舶の大型化に対応し、円滑な物流を確保するため、霞ヶ浦地区において国際物流ターミナルの整備を行っている。新しい岸壁の整備にあたり、大量の砂を使用し軟弱な地盤を改良する海上地盤改良工事に令和3年度より着手した。一方で、河川改修事業を行っている三重河川国道事務所では、河道掘削で発生する砂の受取り手の確保に苦慮している状況であった。そこで、事業連携を図ったところ、大幅なコスト縮減ができたことから、本稿ではその取り組みについて報告する。

キーワード：事業連携、地盤改良、コスト縮減

1. はじめに

四日市港は、中部圏における代表的な国際貿易港として、また、我が国有数の石油コンビナート等を擁するエネルギー供給基地として重要な役割を担っており、全国に18港ある国際拠点港湾に指定されている。

近年は、臨港道路「霞4号幹線(愛称：四日市・いなばポートライン)」や新名神高速道路等が整備され、四日市港の利便性が大きく向上し、背後圏が拡大するとともに、コンテナ取扱量が増加している。

四日市港の北部に位置する霞ヶ浦地区は、コンテナ貨物や完成自動車、エネルギー関連貨物を取扱う背後圏産業を支える物流拠点である。霞ヶ浦地区のコンテナターミナルは、水深12m岸壁を2バース(W26,W27)有する南ふ頭と水深14m岸壁を1バース(W80)有する北ふ頭に分散している(写真-1)。また、コンテナ船の大型化が進展しており、令和2年度の四日市港における東南アジア航路に着目すると、水深12mより深い岸壁を必要とする2,500TEU級以上の船舶の割合が7割程度となっている。



写真-1 四日市港霞ヶ浦地区

今後のコンテナ貨物量の増加、船舶の大型化や増便に対応するとともに、災害時においても物流機能を維持するため、新たな大水深耐震強化岸壁が求められている。

このため、令和3年度よりW80号岸壁に隣接する場所に水深14mを有する連続バースとしてW81号岸壁を整備する四日市港霞ヶ浦地区国際物流ターミナル整備事業に着手した。W81号岸壁は、耐震強化岸壁として整備するものであり、大規模地震が発生した際にも物流機能が維持できる様、鋼管杭を地中深くの支持層まで打ち込む栈橋構造を採用した(図-1)。

今回岸壁を整備する箇所は、表層に軟弱な粘土層が堆積しており、地盤の支持力を高めるために、高置換のサンドコンパクションパイル(以降「SCP」と記す)による地盤改良を行っている。本稿では、他事業の河道掘削で発生する砂を当事業の地盤改良工事で使用するSCP材として流用を行ったところ、大幅なコスト縮減に繋がったため、その取り組みについて報告するものである。



図-1 W81号岸壁 完成イメージ図

2. 地盤改良工事の概要

(1) SCP工法の概要

SCP工法は、強固に締固めた砂杭を地中に造成し、地盤を改良する工法で広範囲の地盤に適用可能なうえ、経済的にも優れており、実績も豊富な地盤改良工法のひとつである。施工は大量の砂を使用し、SCP船で打設を行う。作業の流れを以下のとおり示す(図-2)。

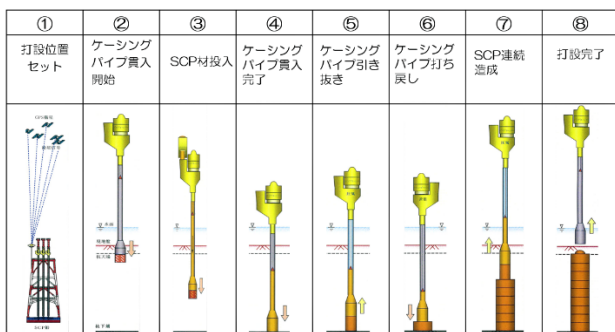


図-2 SCP施工フロー図

(2) 本事業での施工内容

本事業の施工では、延長357m、改良範囲20,830㎡、改良率70%で4,752本の砂杭を打設する。平均砂杭長は10.5mであり施工深度は-28mである。使用する砂の全数量は約220,000㎡を予定している(図-3、4)。

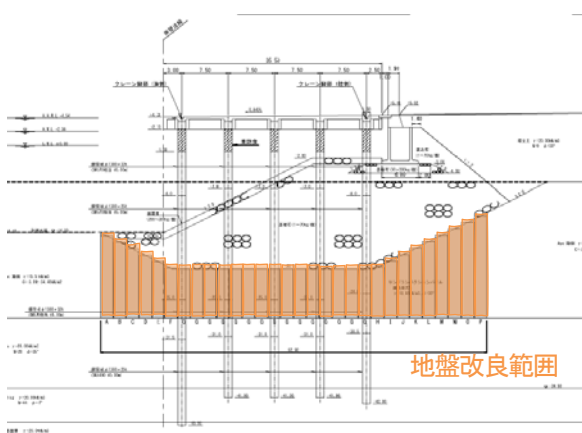


図-3 地盤改良範囲 断面図

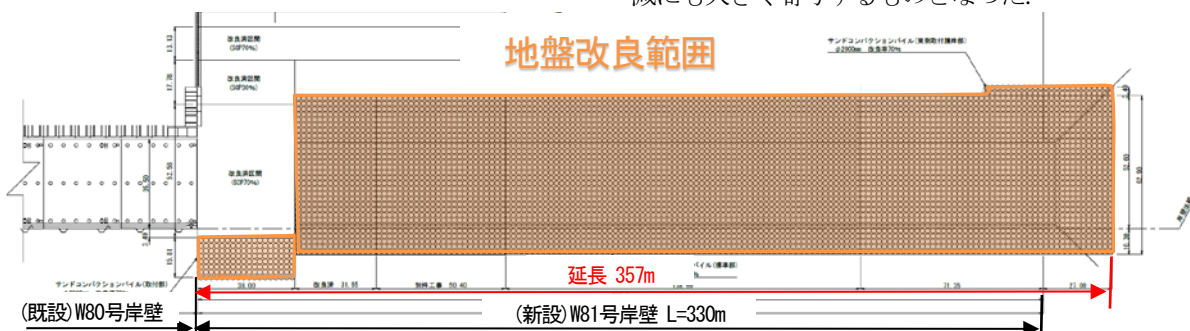


図-4 地盤改良範囲 平面図

令和3年度に施工したSCP船の主要諸元を以下に示す。

船体規格 (L×B×D) : 62.5m×27.0m×4.0m

連装本数: 3本 最大打込深度: 50m

平均喫水: 3m 主機出力: 5,552PS

また、施工に必要な船団は写真-2のとおりである。

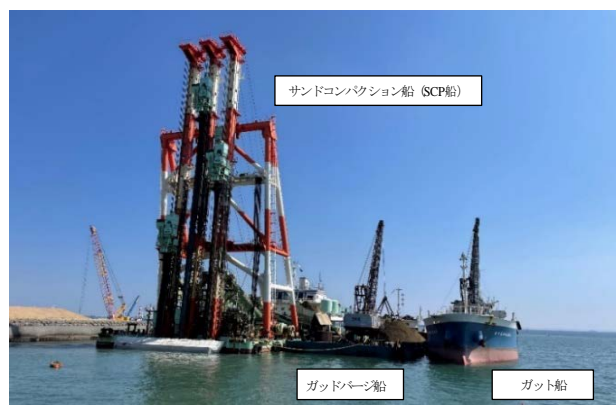


写真-2 サンドコンパクション船団

SCP船への砂の供給はガット船による海上渡しとなる。また、本事業では20万㎡を超える砂を調達する必要があるが、この規模で調達可能な産地は全国的にも限られており、最寄りの産地は千葉県木更津港となる。

3. 河川事業との事業連携について

上述のとおり、本事業ではSCP用の砂が大量に必要となる。また資材価格の全体的な高騰や人件費、船舶損料の上昇も本事業を進めるうえで大きな課題となっている。砂を始め石材、鋼材などの資材価格は当初設計時と比較し軒並み上昇を続けており、これらによる全体事業費の増加が懸念されるなか、コスト削減は喫緊の課題となっていた。

一方で、四日市港の近隣、鈴鹿川などで河川改修事業を行っている三重河川国道事務所では、河道掘削により発生した大量の砂の受取り手確保に苦慮していた。これまでは愛知県の名古屋港に運搬していたが、令和3年度以降は、受取り手はあるものの受取量が少なく、予定数量の搬出が困難となっていた。

これら双方の課題が相まって事業連携の検討を進めたところ、結果としてこの取り組みが双方のコスト削減にも大きく寄与するものとなった。

4. 事業連携における課題と対応

(1) 河道掘削で発生した砂のSCP用材への適用性

a) 物理的特性における適用性の確認

SCPに用いる砂は港湾工事共通仕様書で規定する砂の粒径加積曲線の範囲内である必要がある(港湾共仕より引用：敷砂、改良杭及び置換に使用する砂は、流用砂の粒径加積曲線に示す範囲で、透水性の良いものでなければならない)。

これに関して事前に粒度試験を行い、規定の粒径加積曲線の範囲内であることを確認した(図-5)。

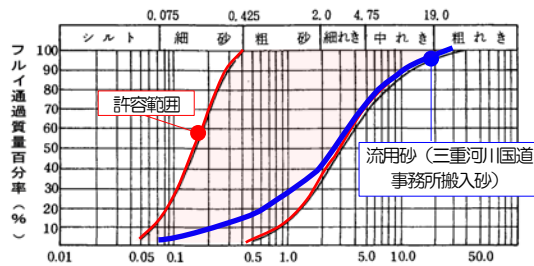


図-5 SCP材として適用可能な粒径範囲と河川砂の粒径加積曲線

b) 環境面での適用性の確認

砂を海中に投入するためには「海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律」の基準を満たす必要がある。また、事前に施工区域近傍のヤードに仮置き盛土をする必要があったことから「土壌汚染対策法」の基準も満たすことが必要であった。事前に行った土壌分析試験により、それぞれの法律で規定する基準値内であることを確認した。

(2) 流用砂の運搬

流用砂の活用するためには河道掘削の現場からSCPの施工現場まで運搬する必要がある。河道掘削の現場は水陸両用ブルドーザ及びバックホウで施工をするなど水深が非常に浅く、土運船に直接積み込みでの海上運搬は物理的に困難であった。そこで、四日市港まで陸上運搬し港内で海上積出しする方法を選択した。運搬に係る費用負担及び責任分界点として、三重河川国道事務所では、河道掘削から四日市港の仮置き場所までの陸上運搬を、四日市港湾事務所では、それ以降の流用砂の盛土、整形、管理、海上積み出し、SCP船までの海上運搬を担務することとした。

a) 仮置き場所における課題

大量の土砂受入れには、広大な仮置き場所を確保する必要がある。施工箇所に近接する四日市港霞ヶ浦北ふ頭ヤードにおいて、土砂の仮置きが可能な用地があり仮置き場所までダンプ運搬が可能な仮設道路もあったため受入れ場所の第一候補として検討を進めた。当該用地は四日市港管理組合の所有であり、同組合にお

いても本事業のために使用を予定していたため、双方の使用時期、施工内容及び必要面積を確認、調整することにより、土砂の仮置き場所として約50,000m²分の用地を確保することが出来た(写真-3)。



写真-3 流用砂の仮置き場所

b) 陸上運搬における課題

河道掘削現場からは約750m³/日、ダンプトラック約150台/日の搬入が行われることとなった。ふ頭内において港湾荷役車両との輻輳が懸念されたため、ふ頭内の通行ルールを作成しリーフレットにより関係者へ周知した。また、仮置きヤード近くの未舗装路をダンプトラックが150台/日通行するため、未舗装区間の制限速度を15km/h以下に設定するとともに散水車と防塵ネットによる粉塵対策を行った。

c) 海上積出しにおける課題

海上積出しにはSCP施工期間中、長期にわたって占用可能な水際線が必要であるが、港内の岸壁は一般船舶の着岸があるため長期占用はできない。そこで、仮置き場所及び施工区域に近接する護岸を活用した。当該護岸の前面には、過去に仮置きされた雑石があり、現状では積出しに必要な水深が確保出来ない。そこで、陸側には積出しに必要な施工機械等を配置した状態で、海側には雑石を撤去した状態で護岸の安定性検証を行い、雑石の撤去により水深を確保することとした。

積出しにはクローラークレーン(120t吊、3m³クラムシェルバケット)を使用し、運搬船へ積み込みを行う。積出し場所の水深が3m程度と浅いため、運搬船の喫水を考慮した積み込みが必要となる。そこで喫水の深い土運船(650m³積)では無く、喫水の浅い平台船(1,000t積)を使用し、台船の側面から砂が落ちないように周囲にH鋼で枠を設ける艀装を行うことで対応した(図-6)。

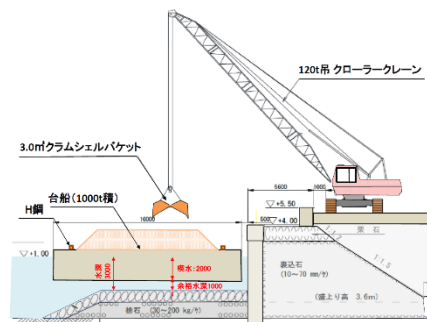


図-6 既設護岸を活用した積出し状況(断面図)

5. 実施工における更なる課題

(1) 流用砂の供給における課題

SCP船の打設能力から1日当りの砂の使用量は約1,500 m³となる。一方で流用砂は陸上積出し能力より一日当り約800m³の積出しとなる。SCP船への砂の供給が遅れる場合、損料の高価なSCP船に待ち時間が発生する懸念があるため、SCP船に待ち時間が発生しないよう、常に砂を供給することが課題であった。このため、購入砂と流用砂を半量ずつ使用することにより、総合的に経済性の高い施工を行うこととした。

(2) 異物混入への対応

運搬された流用砂は稀に異物が混入している場合があると同時に、規定された粒径の上限である40mmを超える礫の排除も完全には困難である。また、長期仮置きにより盛土に雑草の繁茂がみられた(写真-4)。このままではSCP材としての使用に懸念があるため、自走式ふるい分け機を使用し、40mm以上の規格外の礫や不純物を除去した。



写真-4 仮置き後に繁茂した雑草

6. 流用砂の適用性検証（実施工の品質管理）

(1) 砂杭強度

砂杭の品質確認として標準貫入試験を行った。砂杭の強度は設計上平均N値15以上としている。今回、購入砂と流用砂それぞれで造成した砂杭杭心で実施し、N値を確認した。結果、いずれの杭でも基準強度の平均N値15以上を確認した(図-7)。

ボーリングNo	土質名	最小N値	最大N値	平均N値	標準偏差	変動係数	データ数
018-24	改良砂(購入砂)	10	22	18	3.7	0.21	11
027-24	改良砂(流用砂)	6	24	17	5.7	0.33	11
全体	改良砂	6	24	18	4.7	0.27	22

変動係数＝標準偏差／平均値

図-7 標準貫入試験の結果

次に、N値の深度分布図を図-8に示す。購入砂は粒度分布が均一であるため、砂杭が均等に締固り深度方向でも均一な強度発現が得られていた。一方で、流用砂は規定の粒径加積曲線の範囲内ではあるものの、粗い

粒径が支配的な傾向が見られたため、砂杭が締固りにくいことが懸念された。深度別のN値ではその傾向がバラツキとして表れたが、上述の通り設計上で期待する強度発現が得られていた。

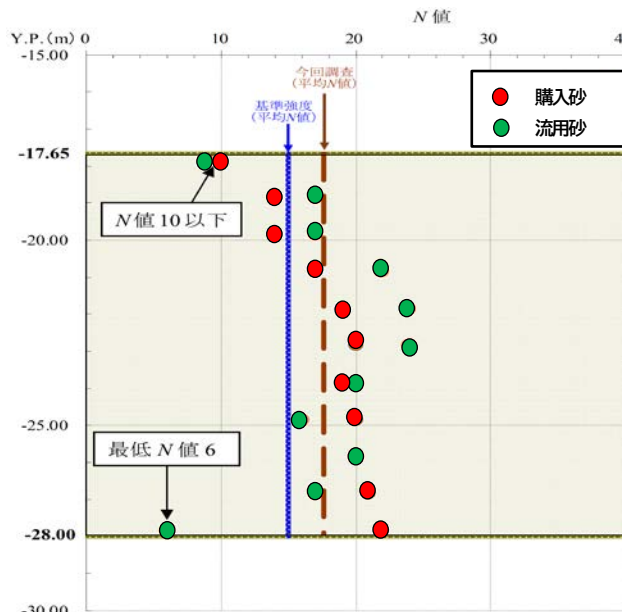


図-8 深度別標準貫入試験の結果

(2) 砂杭の土質試料採取（目視確認）

ボーリング調査を実施した地盤改良範囲内(Y.P.-17.65～-28.00m)の乱さない試料を採取した土質状況について以下の結果となった。

a) 購入砂造成箇所

土質区分：砂

色 調：暗褐色

所 見：砂は細砂～中砂が主体である。

Φ10mm以下の礫を極少量含む

細粒分(シルト・粘土)はほとんど含まない。

(写真-5)



写真-5 ボーリング調査による採取試料（購入砂）

b) 流用砂造成箇所

土質区分：礫混じり砂

色 調：褐色

所 見：砂は中砂～粗砂が主体である。

全体にΦ5～25mm程度の礫を含む。

最大礫径は40mm程度を確認した。

細粒分(シルト・粘土)はほとんど含まない。

(写真-6)



写真-6 ボーリング調査による採取試料（流用砂）

サンプリングによる目視観察の比較では、購入砂は均質に締め固まっていることが確認できる。一方で、流用砂は礫混じりの砂であるが締め固まっていることが確認できる。

(3) 土の細粒分含有率試験

使用する砂の品質確保を目的として、購入砂と流用砂それぞれの試料を採取し、土の細粒分含有率試験を実施した。通常の粒度試験では、試験結果が判明するまでに数日を要するため、試験結果が即時に判明するパンフロック試験を併用して採用した(写真-7, 8)。シルト分の含有率は現場管理上15%未満と規定した。流用砂に含まれるシルト分は購入砂と比べて少量であることが確認でき、いずれも規格を満足する結果であった(図-9)。

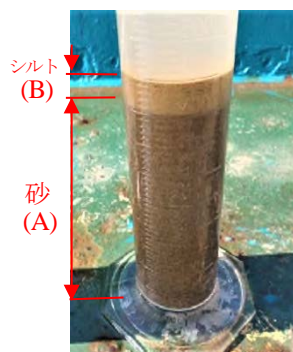


写真-7 粒度試料(購入砂)

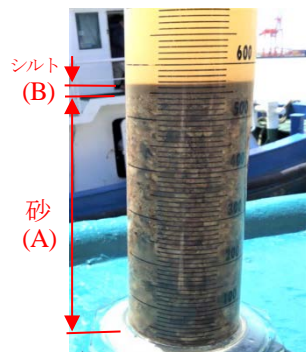


写真-8 粒度試料(流用砂)

試料	全体の量(A)+(B)	細粒分の量(B)	細粒分含有率
購入砂	450cc	40cc	8.8%
流用砂	570cc	20cc	3.5%

規格15%以内

図-9 土の細粒分含有率試験結果

7. コスト比較

令和3年度までの地盤改良工事における購入砂と流用砂の価格の比較表を下表に示す(図-10)。購入砂の費用は砂の材料費と施工場所までの海上運搬費(海上現場渡し)である。流用砂の費用は、砂の仮置きから不純物選別、SCP船への海上運搬費である。流用砂の河道掘削現場から四日市港の仮置き場所までの運搬費用は、三重河川国道事務所で負担をしており、本表からは除外している。

コスト比較では購入砂が約9,500円/m³に対して流用砂は約3,200円/m³と安価になった。

※令和3年度時点
円/m³

比較対象の砂名称	購入砂	流用砂
項目	単価	
材料購入費	9,500	-
仮置き用盛土	-	700
不純物選別	-	800
流用砂積出し・海上運搬	-	1,700
経済性	9,500	3,200

図-10 購入砂と流用砂のコスト比較

令和3年度に行った砂32,400m³を使用する工事において、流用砂を16,200m³使用したことで、全て購入砂を用いた場合の工事費約7.8億円と比較し、約1.7億円のコスト縮減となった。

8. まとめ

流用砂はSCP材として、品質面や実施工から十分活用可能であり、有用な材料であることを確認した。流用砂の活用のためには仮置き場所や海上積出し場所の確保が課題となったが、施工区域に近接する用地の確保や仮置場所に近い護岸を活用することで課題を克服した。また、護岸の活用にあたり、喫水を確保できる運搬船を選定することなどの工夫も行った。今後、他事業において河川砂を活用する場合も仮置き場所や積出し場所の確保は避けては通れない重要な課題であると考えられる。今後も本事業において、流用砂は地盤改良材のほか、栈橋杭打設時の先行置換における置換材や土留めケーソンの中詰め材として活用可能と考える。今回の事例が今後の他事業の参考になれば幸いである。

謝辞：事業連携を進めるにあたり、ご協力いただきました三重河川国道事務所ならびに本報告にあたり、ご指導・ご協力賜りました関係の皆様に深く感謝し、御礼を申し上げます。