

平成25年度

軟弱地盤における大水深防波堤建設 —サンドコンパクションパイルの施工課題について—

小樽開発建設部 小樽港湾事務所 第1工務課 ○三浦 正人
今林 弘
工藤 博文

石狩湾新港では、港内静穏度の向上を図り貨物船の荷役作業の効率化と安全を確保するため、今年度より北防波堤の延伸工事に着手した。施工箇所は、粘性土層の軟弱地盤であったことから、サンドコンパクションパイル工法による地盤改良を行ったが、砂杭の品質管理及び航路に隣接する箇所での施工であったため課題が発生した。

本報告では、今年度の工事実施を通じ得られたサンドコンパクションパイル工法の施工上の課題とその対応について報告を行うものである。

キーワード：軟弱地盤、硬質層、品質管理

1. はじめに

石狩湾新港は、北海道西部石狩湾沿岸のほぼ中央に位置し、北海道、石狩市、小樽市が設立する石狩湾新港管理組合が管理する重要港湾（昭和48年指定）である。

北海道の政治・経済の中心札幌圏を始めとする道央地域を背後圏に持ち、外貿コンテナを始めとした物流の拠点として重要な役割を担っている石狩湾新港では、近年の国際貿易の活発化やバルク貨物船の大型化を受けて、外貿貨物の取り扱いを中心とする国際物流ターミナルを形成し、物流の効率化を図る「西地区国際物流ターミナル整備事業」に平成12年度から着手されている。

これまでに国際物流ターミナルの整備に取り組み、平成18年度には西地区に14m岸壁が供用を開始されたが、波浪により接岸している貨物船が動揺し荷役作業の効率低下と安全が確保されていない状況にあった。

このため、港内の静穏度向上を図り荷役作業の効率化と接岸する貨物船の安全を確保するため平成25年度より北防波堤の港口側を400m延伸する工事に着手したところである。施工箇所を写真－1、延伸部全体平面図を図－1に示す。

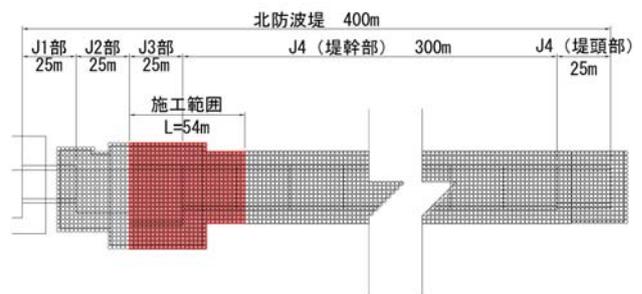
北防波堤施工箇所の基礎地盤は、表層から-30m以浅までN値10未満の粘性土層、-30m～-45mまでN値20未満の粘性土層が堆積している。施設の安定を確保するために堤体の滑動及び転倒破壊に加えて地盤の支持力、円弧すべり対策が不可欠な地盤となっていることから、サンドコンパクションパイル工法（以下、「SCP工法」と言う。）による地盤改良を行い堤体の安定を確保することとした。

本報告では、今年度実施したSCP工法において得ら

れた施工上の課題とその対応について報告を行うものである。



写真－1 北防波堤施工箇所



図－1 北防波堤延伸部全体平面図

2. 平成25年度工事概要

工事名 石狩湾新港北防波堤地盤改良その他工事
工期 平成25年5月1日～同年11月29日

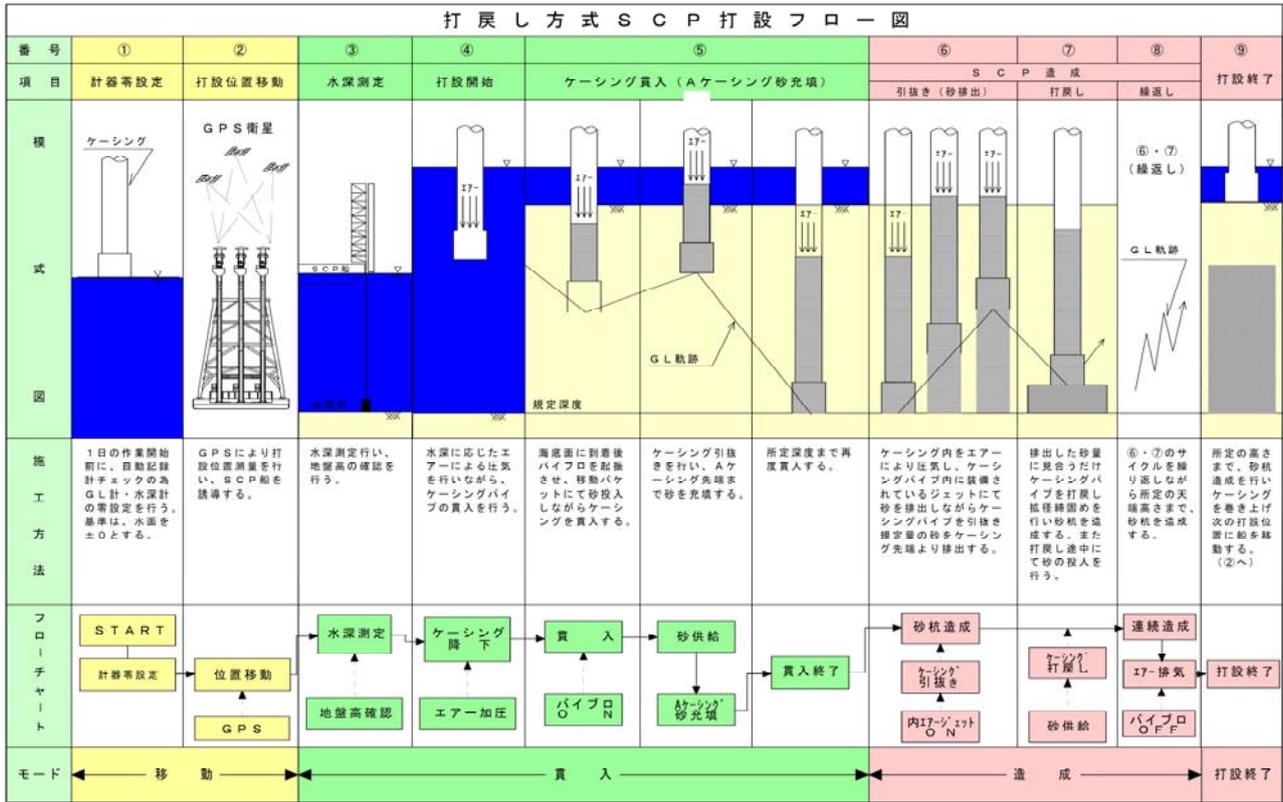


図-2 打戻し方式SCP打設フロー図

[工事概要]

北防波堤（地盤改良）

L=54.0m

◆地盤改良工

敷砂投入

33m³

SCPφ2000 L=13.2m SDφ1200 L=1.0m

199本

SCPφ2000 L=15.4m SDφ1200 L=1.0m

349本

SCPφ2000 L= 8.8m SDφ1200 L=1.0m

54本

◆仮設工

1式

◆雑工

1式

3. SCP工法について

今年度行ったSCP工法による地盤改良では、3連装ケーシングを装備し同時打設を可能とする専用SCP船を使用して施工を行った。（写真-2）SCP船による打設方法を図-2に示す。施工手順は、①各計器0設定→②GPSによりSCP船を打設位置へ移動→③水深測定により原地盤高確認→④エアによる圧気を行いながらケーシングを貫入→⑤海底面到達後、パイプロを振動させ砂を投入しながら貫入→一度ケーシングを引抜き先端まで砂を充填→所定深度まで再度貫入→⑥ケーシングパイプ内に装備されるエアージェットにて砂を排出しながらケーシングパイプを引抜き→規定量の砂を排出→⑦排出した砂の量に見合うだけケーシングパイプを打戻し

て砂杭を造成。同時に砂を供給→⑧引抜きと打戻しを所定高さとなるまでサイクルを繰り返す。

これらの操作、施工管理は全てオペレーション室のSCP施工管理システムで一括管理を行い、造成する改良杭の品質確保を図っている。



写真-2 SCP船全景

4. SCP工法による地盤改良施工上の課題及び検討

SCP工法による地盤改良の施工に先立ち事前検討を行った結果、砂杭の品質管理、施工方法について次の課題が上げられた。

(I) SCP強度の品質管理について

SCP工法による地盤改良は、軟弱地盤における支持力確保、円弧滑りの防止を目的として行うため、深度にかかわらず砂杭の強度は必要となる。

SCPの強度は、せん断抵抗角 $\phi = 35^\circ$ を設定しているが、せん断抵抗角は直接測ることができないため、品質管理については、改良深度タイプ別のSCP杭1本当りの平均N値をそれぞれ設定して管理することとしている。各深度毎のN値を算定するための「 ϕ とN値の関係式」について(1a)、算定結果のグラフを図-3に示す。

$$\phi = 25 + 3.2 \sqrt{\frac{100N}{70 + \sigma'_{vo}}} \quad (1a)$$

ϕ = 砂のせん断抵抗角 (°)

N = 標準貫入試験値

σ'_{vo} = 有効土被り圧 (kN/m²)

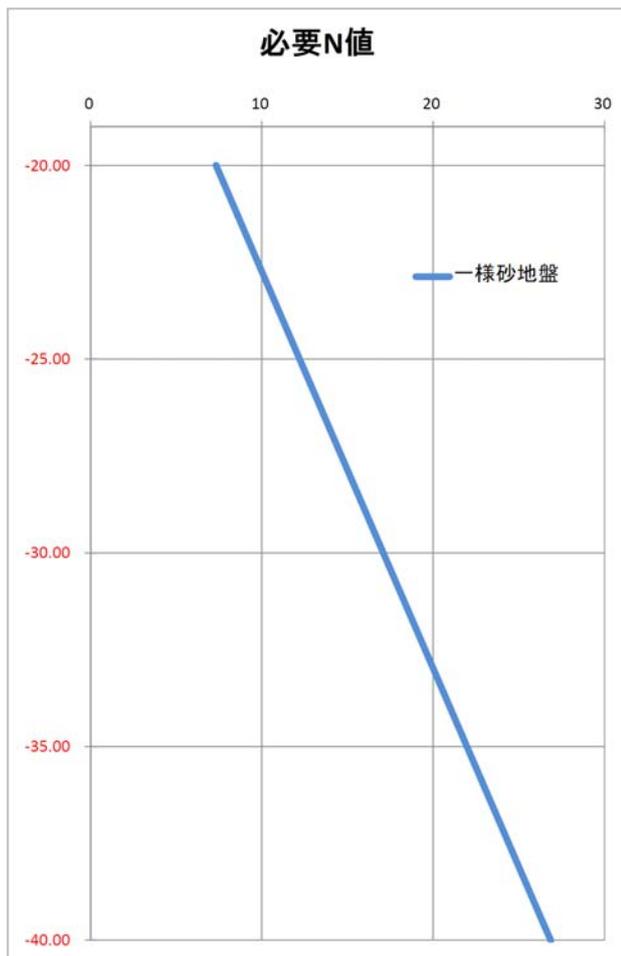


図-3 N値算定結果グラフ

しかし、SCP杭の平均N値は材料特性、原地盤強度、拘束圧力及び施工条件により変化すること。また、天端部付近は有効土被り圧の関係上N値がそれほど高くならずに平均N値を下回る事が予想されたため、より詳細な

目標N値設定が必要なことから、深度毎のN値について品質管理を行うこととした。

SCP工法による地盤改良完了後、速やかにチェックボーリングを実施した。

図-4に示すチェックボーリングの調査箇所は、既往のボーリングデータと同一位置となる杭番号I-10の他に、長杭箇所より1ヶ所(N-21)、短杭箇所より1ヶ所(W-9)について実施した。調査の方法は、深度1m毎にN値の確認を行い当初設定したN値との比較を行った。

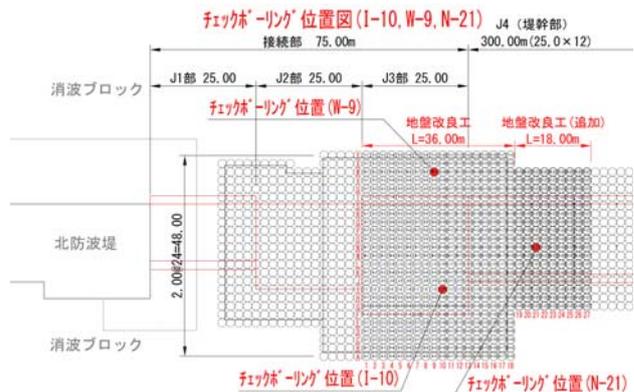


図-4 チェックボーリング位置図

チェックボーリングにより、各深度におけるN値の確認を行った結果、各深度とも当初想定したN値よりも高い値が確認され、SCP施工管理システムが十分に機能し改良した砂杭の品質が確保されていることが確認された。杭番号I-10のN値について図-5に示す。

深度 (DL-m)	目標N値	N値	判定
19.65	7.9	12	OK
20.65	8.8	17	OK
21.65	9.8	18	OK
22.65	10.8	23	OK
23.65	11.8	24	OK
24.65	12.7	21	OK
25.65	13.7	23	OK
26.65	14.7	30	OK
27.65	15.7	32	OK
28.65	16.7	26	OK
29.65	17.6	27	OK
30.65	18.6	28	OK
31.65	19.6	30	OK
32.65	20.6	33	OK
33.65	21.5	32	OK
34.65	22.5	35	OK
35.65	23.5	34	OK
36.65	24.5	36	OK

図-5 杭番号I-10のN値結果

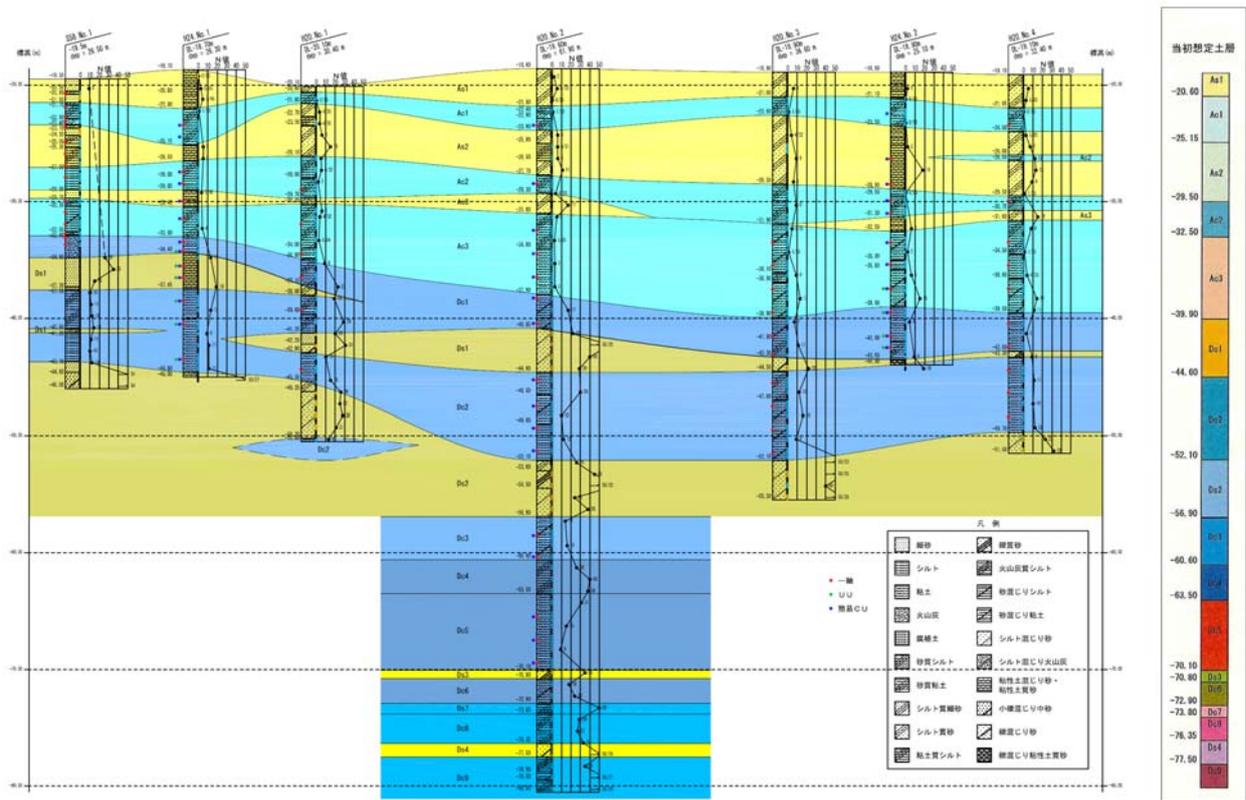


図-6 地質想定断面図

(2) SCP改良深度について

北防波堤延伸区域の地質想定断面を図-6に示す。本工事施工範囲内で最も改良長の長い杭はJ3部にあたる-39.5m迄の地盤改良となっていた。地質調査結果によると、-34.4m~-37.45m付近に硬質層とされる中間土(砂質土)が存在し、所定の改良深度までSCPケーシングが貫入出来ず改良を行えない事が想定された。

改良深度以浅で硬質層によりSCPのケーシングが貫入不能となった場合は、堤体の安定上必要な改良先端深度、改良範囲を検討する必要性が生じたため、現地施工の状況を勘案して対応することとした。

現地施工では、貫入可能深度を早期に確認するため、改良深度が一番深い防波堤堤体下部の地盤改良より着手を行った結果、-34.0m付近より硬質層が確認され貫入の進捗率が低下し、-36.0m付近で貫入不能となった。

現地施工の結果を踏まえ、ボーリングデータと比較した結果、現地とボーリングデータが一致していることを確認した。よって、施工範囲と直近のボーリングデータ Bor. H20-N0.1と Bor. H24-N0.1にて、円弧滑りの再計算を行い、J3部における改良深度を再検討した。その結果、それぞれの地点の地盤条件での計算結果は、
 Bor. H20-N0.1 $F_s=1.024$ 、改良深度-34.90m
 Bor. H24-N0.1 $F_s=1.018$ 、改良深度-34.90m
 となり、J3部はこの2地点の間となるため、堤体下部の改良深度を-34.9mに変更し両端の地盤改良断面につい

ては変更しなくても堤体の安定を確保できることが確認されたため当初どおり施工することが出来た。

(3) 航路に影響を与えない施工方法について

改良砂を大量に圧入して、連続して地盤改良を進めていった場合、改良杭最深部より改良済み砂杭方向へは $\phi=30^\circ$ 、未改良方向へは $\phi=60^\circ$ の範囲が影響を受け、図-7に示すような原地盤の盛り上がりが発生させる。本工事では改良率78.5%としており、5m程度の盛り上がりが推定された。

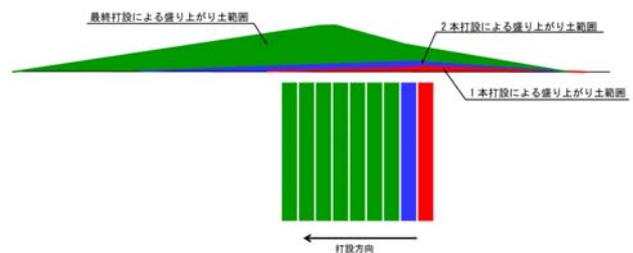


図-7 盛り上がり概念図

地盤改良箇所は航路に隣接していることから、盛り上がりが航路に影響しない施工方法を検討する必要があった。

そのため、連続施工による盛り上がりの増幅を最小限とするよう、地盤改良の施工にあたっては航路側から沖

側に向かって施工することとした。

SCP工法による地盤改良施工完了後の盛り上がり状況を図-8に示す。施工前の原地盤と比べ高さ約3.0mから最大7.0mの盛り上がりが確認され、水平方向においては、地盤改良を行った各両端より約30m程度の影響範囲が確認された。

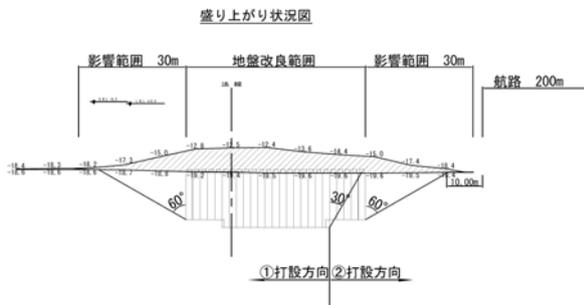


図-8 盛り上がり状況図

隣接する航路への影響を与えないようにするため航路側より地盤改良を行ったが、航路での盛り上がりによる影響範囲は確認されなかったことから、施工箇所の順位を工夫したことによる効果を確認することが出来た。

(4) 敷砂の施工について

SCP工法では一般的に、現地盤の乱れ・変位抑制・土被り圧の増加・汚濁低減のために敷砂施工を行う。

本工事において、盛り上がり土の発生メカニズムを考慮した場合、敷砂施工量を大きく上回る事が想定されたため、敷砂の必要性について検討した。

図-7で示したとおり、SCP工法による地盤改良を連続して行った場合、盛り上がり量が増幅され、過去の施工実績では改良前の原地盤より約5.0mくらい盛り上がることもあることから、敷砂の施工厚である1.0mを上回る盛り上がり確認されれば敷砂と見なすことが出来ると考え、実施工においては打設位置毎にSCP施工前に1.0m以上の盛り上がり確認された場合は敷砂を施工しないこととした。

なお、盛り上がり土が海中に浮遊せず汚濁の原因とならない事を条件とするため、併せて施工箇所での汚濁測定も実施することとした。

チェックボーリングの結果から、各深度におけるN値が目標値以上確保されたことを踏まえ、盛り上がり土を敷砂と見なした施工を行っても砂杭の品質は十分に確保され、汚濁測定結果においても全く影響が無いことが確認された。この結果より、今年度工事で敷砂を取りやめたことにより、直接工事費で2,300千円のコスト縮減、更に作業工程も約20日間の短縮を図ることが出来た。

また、敷砂を施工した場合、投入時の濁り及び拡散が発生し周辺海域の環境に影響を与えることもあるが、敷

砂量を減少したことによりこれらの影響を回避でき環境に優しい施工を行うことができた。

今回の工事では、盛り上がり土を敷砂として代用できたのは表層の砂層が良質であったことから、このような対応が可能となったが、表層の土質が良好でない場合は、濁り防止のため敷砂の施工を行うことが必要である。

5. まとめ

- ① SCP工法による地盤改良は、各深度毎のN値を適切に設定することでより細かな品質管理を行うことが出来る。
- ② 改良深度の変更が想定される等、設計条件と異なる場合は、早い段階で技術調整会議を開催するなどして迅速に再チェックを行える体制作りをすることが有効である。
- ③ SCP杭の施工順位を工夫することで盛り上がり土の影響を低減することができる。
- ④ 敷砂の効果として、現場条件によっては盛り上がり土が敷砂と同等の役割を果たし、コスト縮減や作業工程の短縮につながる。但し、表層の土質が良好でない場合は、濁り防止のため敷砂を行う必要がある。

6. あとがき

石狩湾新港では、平成25年度から北防波堤の延伸工事に着工しSCP工法による地盤改良に着手した。

本報告では、SCP工法による地盤改良の工事実施における、課題とその対応について整理を行った。

工事の実施においては想定しなかった課題も発生するが、施工前の照査及び、技術調整会議の開催を通じ設計コンサルタント、施工業者、監督員が共通の認識を持ち連携を図ることで素早い対応が可能となり、SCP杭の品質確保・工程管理につながる結果となった。

今回の課題に対する対応が、今後のSCP工法による地盤改良の施工において参考となれば幸いである。

参考文献

- 1) 港湾の施設の技術上の基準・同解説 (H19) (社)日本港湾協会