

関西国際空港におけるスリットケーソン護岸のマウンド施工について

関西国際空港(株) 建設事務所

浜 田 一

同 上

福 澤 輝 一

若築・吉田・日本海工共同企業体 正会員

多 田 邦 夫

同 上

同 上 ○橋 元 良 二

はじめに

関西国際空港建設工事のうち北側護岸は、開港のおりには海上アクセス基地として海上交通の拠点となるべき機能をもった護岸である。

施工位置の海底地形は水深17mから18mの海底面の下に厚さ約20mほどの沖積粘土層が堆積しており、この軟弱地盤層の改良が工事の成否を決定する大きな要因と考えられた。地盤改良工法の選定にあたっては、先に述べたようにこの護岸が開港後高速艇の発着する岸壁として供用されるため、施工後に発生する残留沈下量を極力小さくする必要がありサンドコンパクションパイル工法を採用した。

本工事の特徴としては、施工海域が沖合であるため大水深でかつ軟弱地盤が厚いため大深度まで改良が必要があること、および気象・海象条件が厳しいなかでの大量急速施工であることがあげられる。さらにサンドコンパクションパイルの施工管理としては砂杭1本ごとにコンピュータシステムにより完全に自動化された方法により行ったことがあげられる。

またサンドコンパクションパイル工法で地盤改良を行うと在来地盤は隆起する。この隆起土は撤去することが従来からの方法であったが、本工事においては濁りの発生を防止するためおよび土砂処分場の確保が困難であったため等からこの隆起部分についてもサンドコンパクションパイルによる改良を行って有効活用する方針で設計がなされていたため、それに沿って工事を進めた。

1. 護岸の位置・構造、施工手順および地盤状況

(1) 位置・構造および施工手順

本護岸は、大阪泉州沖5kmの海上に建設中の関西国際空港外周護岸のうち北側に位置する延長721.25mの護岸である。その構造は海底の軟弱地盤に敷砂工を施工しサンドコンパクションパイル工法にて地盤改良し、その上に基礎捨石マウンドを築造し51函のスリットケーソンを据付けた直立消波岸壁構造である。

施工手順としては、まず海底地盤に敷砂工として海砂を1mの厚さで散布し、さらにその上に山砂を2mの厚さに施工する。つぎに地盤改良工としてのサンドコンパクションパイルを施工し、基礎捨石を投入して潜水土により均しを行いケーソンの基礎マウンドを築造する。背後の埋立地は海砂による敷砂工を厚さ1.5mで施工し、護岸の地盤改良工であるサンドコンパクション工を施工した後にサンドドレーン工法により地盤改良工を行い載荷盛土としての敷砂③工、盛砂①工を施工した。

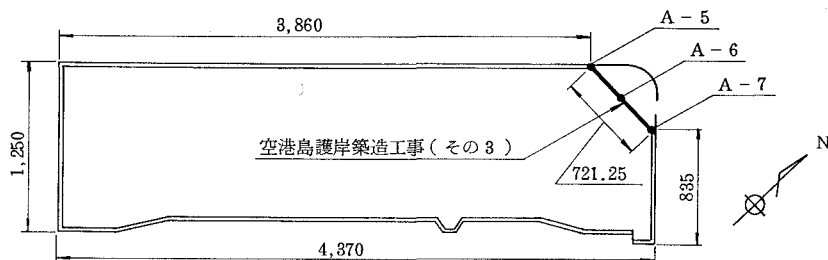


図-1 空港島全体平面図

※A-5, A-6, A-7はボーリング位置を示す。

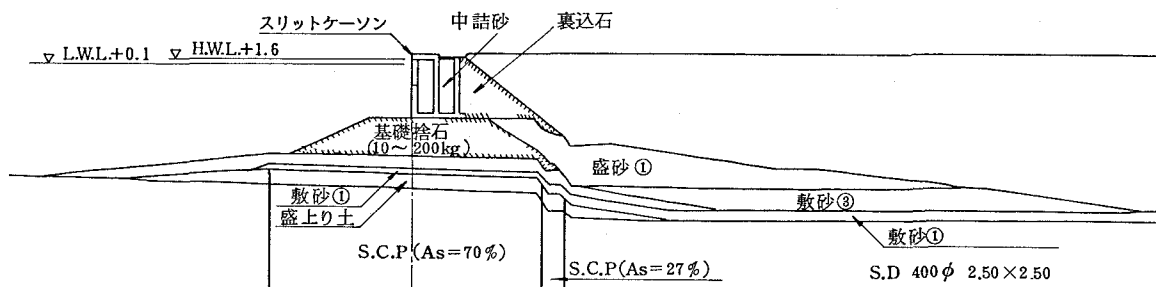


図-2 護岸標準断面図

(2) 海底地盤状況

海底地盤の状況は、図-3に示す土質柱状図からわかるように、海底面から下20m弱は一軸圧縮強度 $q_u = 0.04 \text{ Z kgf/cm}^2$ （Zは海底面からの深さ）で表わされるシルト分以下の細粒を約40%ほど含んだ軟弱な沖積粘土層である。また圧密係数 $C_v = 9.0 \text{ cm}^2/\text{day}$ 体積圧縮係数 $M_v = 0.18 \text{ P}^{-1.08} \text{ cm}^2/\text{kg}$ （P：平均圧密応力）から推測できるようにかなりの圧密沈下が発生すると思われる地盤状況であった。この沖積粘土層の部分をサンドコンパクションパイル工法で地盤改良するわけである。

この沖積粘土層の下に数mの厚さの洪積第一砂層が堆積し、さらに洪積粘土層と薄い砂礫層の互層がつづいている。

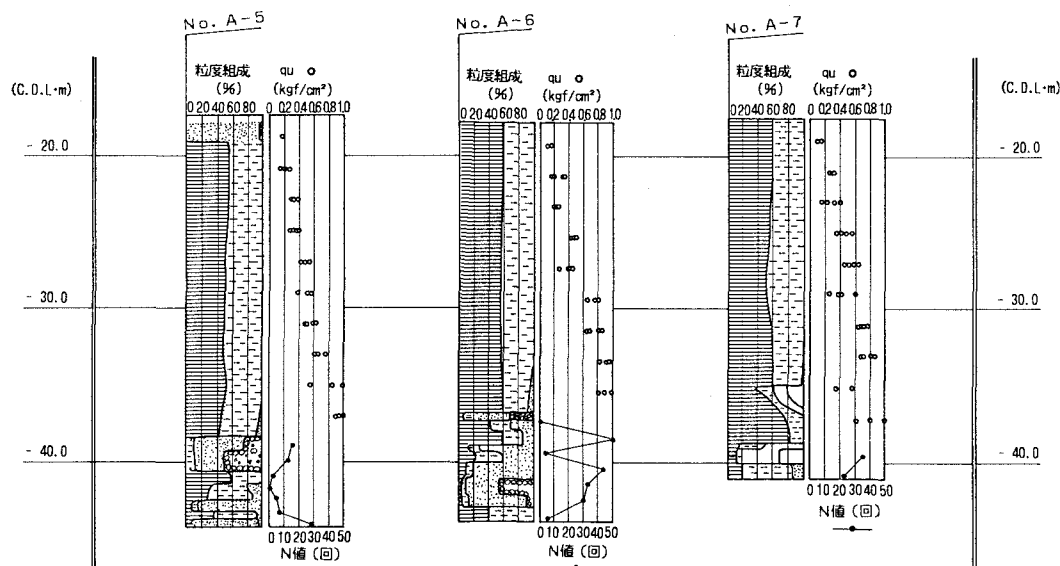


図-3 土質柱状図

2. サンドコンパクションパイルの設計と施工

サンドコンパクションパイル工法は、軟弱地盤にケーシングパイプを貫入し先端の起振機を作動させながら砂を軟弱地盤中に排出し所定の直径の砂杭を造成し、砂杭と粘性土との複合地盤としての置換効果や砂杭による圧密効果などを期待した地盤改良工法である。

本工事では、護岸延長721.25mを図-4のように護岸法線直角方向に置換率70%のサンドパイルを21本、置換率27%のサンドパイルを2本の計23本のサンドパイルを350列配置し全体で8,000本あまりのサンドコンパクションパイルを施工した。打設位置の水深は、CDL-17.5m～-18.3m砂杭の先端深度は、CDL-36.0m～-42.0mであり大水深かつ大深度のもとでの施工であった。

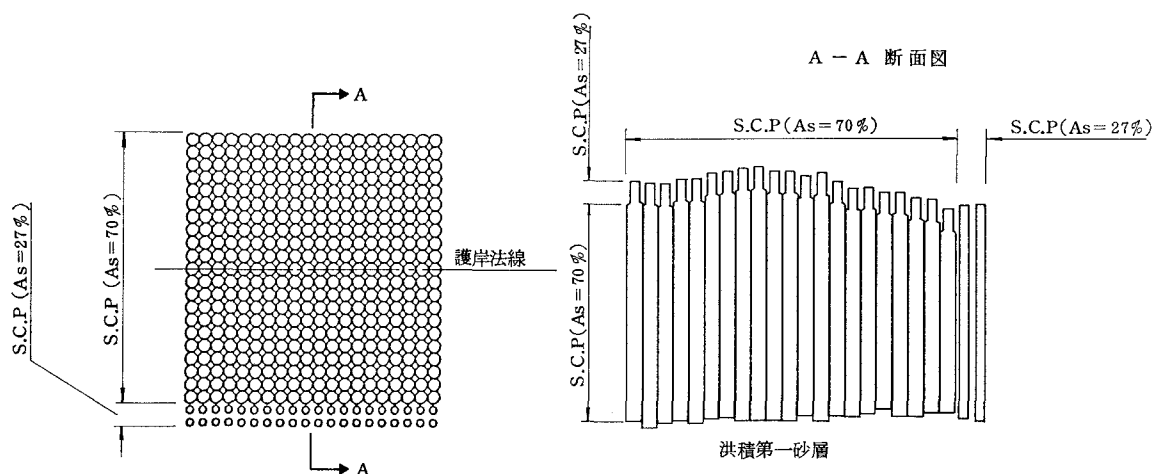


図-4 サンドコンパクションパイル施工図

(1) 地盤改良仕様

サンドコンパクションパイルの仕様は、砂杭径と打設ピッチで決定される置換率で規定されており、置換率70%においては、砂杭直径1.7mで中心間隔1.8mの正方形配置と本工事で採用した砂杭直径2.0mで中心間隔2.1mの正方形配置とが比較検討されたが、大量急速施工という要求を満たすべく直径2.0mという大口径サンドパイルにて施工することとなった。

本工事で特徴的なのは、前述したようにSCPの上部に生ずる隆起地盤部分についても締固め砂杭を施工して改良することとしたことである。(表-1参照)すなわち護岸70%改良部では杭打設直前にケーシング直近で測定した敷砂天端高さから3m(敷砂厚は3m)下がった面をSCP天端基準高さとしており、これ以深は直径2.0mに拡径締固めして砂杭の打設を行い、これ以浅敷砂天端高さまでは直径1.25mの締固め砂杭を打設することとした。置換率27%のサンドパイルの形状は、海底面から洪積第一砂層まで直径1.25mのサンドパイルとした。

このように改良区域の端部で置換率の低い砂杭が採用されているのは、設計計算の際、円形すべりに対する最も経済的な断面を求めた結果である。

(2) 作業船とその稼働率

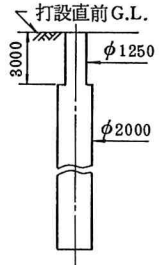
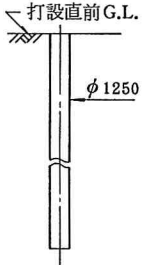
施工にあたった作業船は、サンドコンパクションパイル打設専用船で、6連装船1隻、3連装船2隻であった。従来からのサンドコンパクション船の装備は、2連装、3連装船が主体であったが本工事においては施工能力の向上という目的のもとに大型でかつ高能率の6連装船を採用した。

実施工は昭和62年4月6日から9月15日までの163日間に互に行われた。この時期は、春から夏にかけての大阪湾でも比較的静穏な時期と、夏から初秋にかけての台風の襲来期でもあった。

作業の限界条件としては平均風速10m/s以下、有義波高0.7m以下を目安とした。また台風による避難も第38光号と第3海聖号でそれぞれ3回ずつ行った。

各作業船の稼働実績をまとめると、作業船全体としての稼働率は0.66であり、大型作業船を使ったことで沖合の工事としては、通常の港湾工事と同程度の稼働率で施工できた。

表-1 地盤改良仕様

打設場所	護岸70%改良部	護岸27%改良部
杭種名	φ2000複合杭	φ1250ストレート杭
パイルピッチ	□2.1m	□2.1m
本数	7,323本	691本
パイル仕様図		

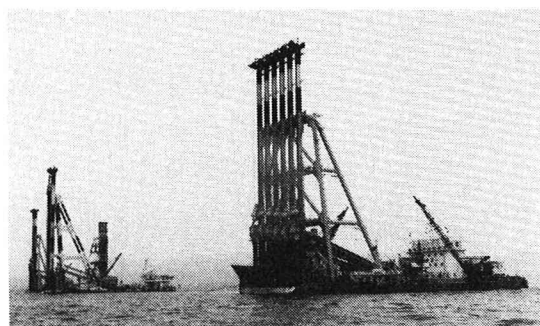


写真-1 サンドコンパクション船

表-2 使用作業船

船名	規格	寸法(L×B×D)	喫水	排水屯数
第38光号	8,100 PS (6連装)	70.0×32.0×5.00m	3.0 m	5,900t
第3海聖号	3,987 PS (3連装)	58.0×23.0×3.80m	2.3 m	3,000t
第32光号	3,620 PS (3連装)	65.0×23.0×3.45m	2.3 m	3,400t

3. サンドコンパクションパイルの品質

(1) 品質管理項目

サンドコンパクションパイルを施工するに際して表-3の項目について品質管理を行った。

サンドパイルの中詰砂については、JISに規定する粒度試験によりシルト分以下の細粒含有率試験を原則として1週間に1回行い管理した。

また打設位置の管理については、作業船の移動1回ごとに自動視準機能付きの光波距離計3セットとインターフェース(変換器)およびブラウン管ディスプレイ付パーソナルコンピュータの各機器で構成された作業船位置出しシステムにて行った。なおサンドパイルの打設管理については次に詳述する。

表-3 品質管理項目

項目	管理方法	管理基準
使用材料	海砂の粒度試験 JIS A 1204	シルト分10%以下に管理
打設位置	自動視準測距システム（光波測距儀）により設計打設位置とのずれを測定する。	cm単位で測定し±20cm以下に管理
砂杭	オシログラフによる打設記録（GL、SL）	砂杭の連続性および打設延長

（２） 砂杭の打設管理方法

サンドコンパクションパイルの打設管理は、砂杭の打設装置すなわちケーシングパイプと砂面重錘の動きをオペレータールのパーソナルコンピュータに取り込み、これら情報をオペレータが直接確認しつつ施工するトータルコントロールシステムにより行った。

サンドパイルを造成する一連の施工サイクルは、①水面（0）設定→②ケーシングパイプ降下→③地盤高さ確認→④ポイント砂投入・ケーシングパイプ貫入→⑤中詰砂投入→⑥管内砂天端確認→⑦砂杭造成（φ2000）→⑧砂杭造成（φ1250）→⑨ケーシングパイプ引上げ→⑩砂杭造成完了であり、これらの状況は打設管理図により示され、その中でケーシングパイプの動きはGL記録により表わされ、砂面重錘の動きは砂面落下記録により表わされる。砂杭は1mずつ造成されケーシングパイプ1m引き抜きの際の砂面落下量は、ケーシングパイプの径と造成される砂杭の径から算出して決定する。ここではケーシングパイプの内径が984mm、砂杭の径が2000mmであるため、砂面の落下高さとして3.2mを管理基準線とした。この管理基準線に砂面落下記録がとどくか否かにより造成砂杭の直径が設計値を満足するか否かを判断した。

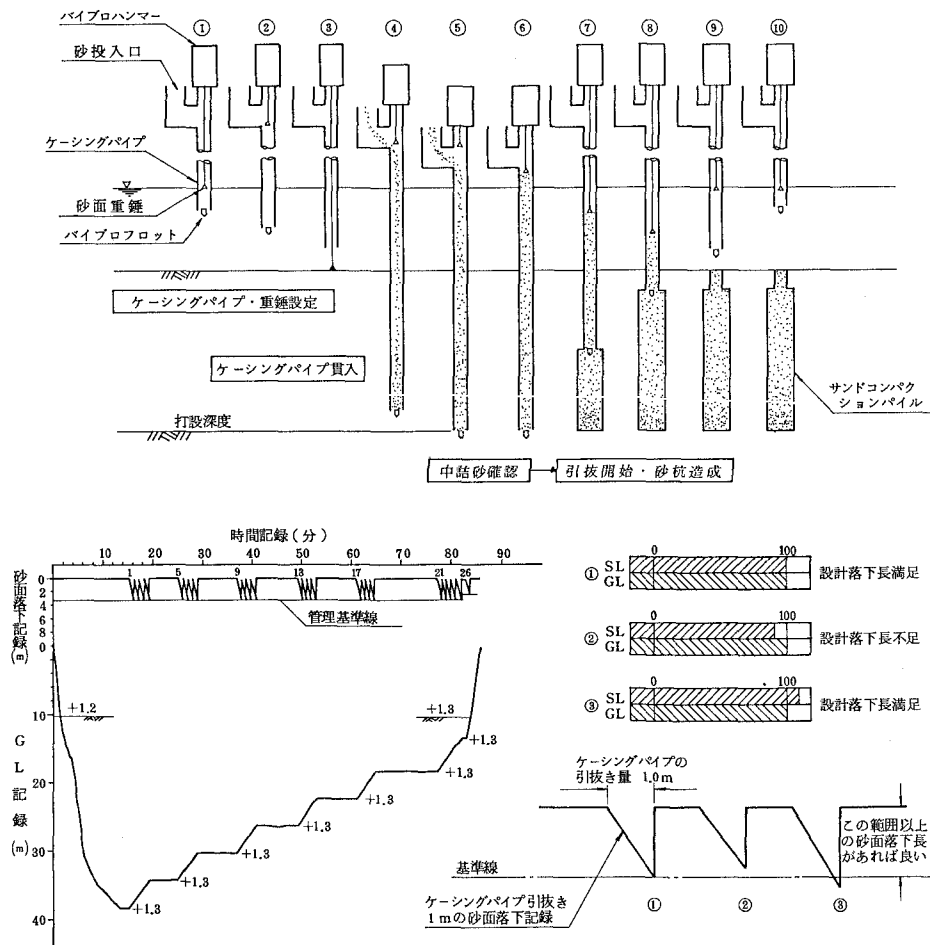


図-5 サンドコンパクションパイル打設管理図

(3) 砂杭の先端深度決定方法

サンドコンパクションパイルは、その先端を支持層まで着底することを原則とし、施工に先立ち事前ボーリングにより土質性状の判明している位置でケーシングパイプの貫入試験を行い、ケーシングパイプの貫入速度と地盤との関連を求めた。この結果ケーシングパイプの貫入速度が0.2 m/min 以下になると、パイプは沖積層の下にある洪積第一砂層に達していること

とがわかり、これをもって打止り深度の管理を行うこととした。

(4) 砂杭の強度

造成したサンドコンパクションパイルの強度はチェックボーリングを行い標準貫入試験により杭芯のN値を測定して確認した。

その結果置換率70%の部分の杭では、N値の最低が23、最高は50以上であり平均N値でも44であることが確かめられ、設計で規定したN値15を大きく上まわる結果となった。

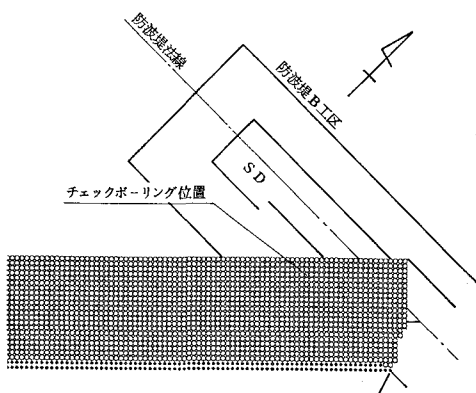


図-7 チェックボーリング位置図

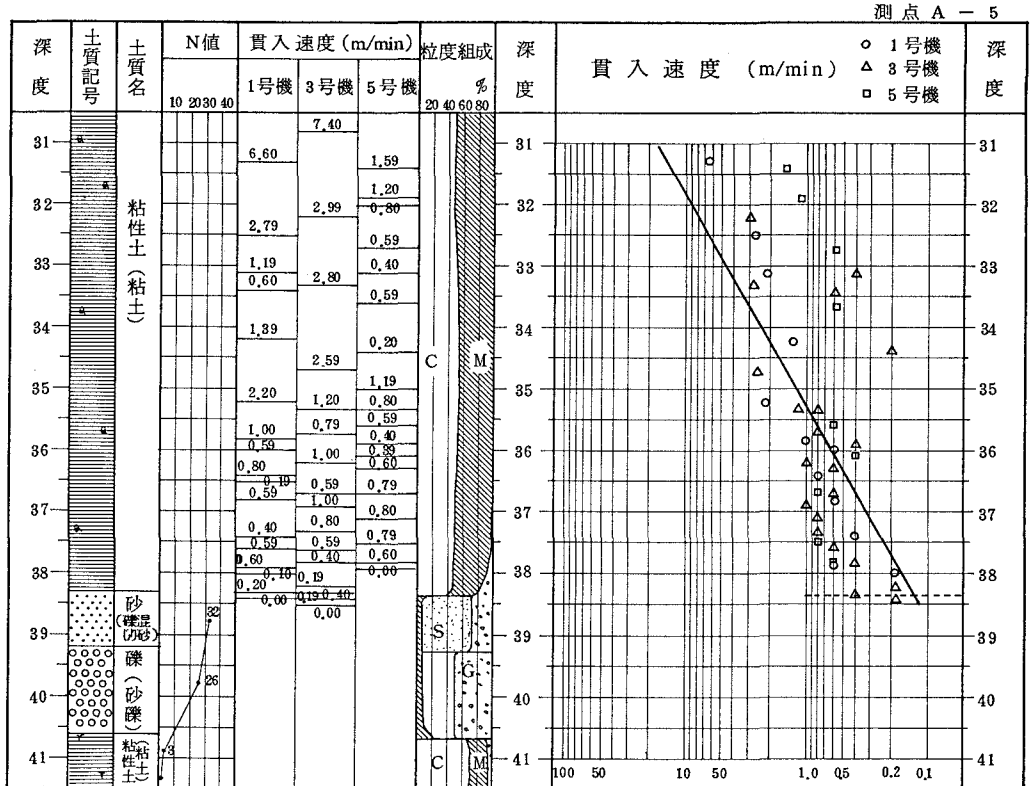


図-6 土質・貫入速度関連図

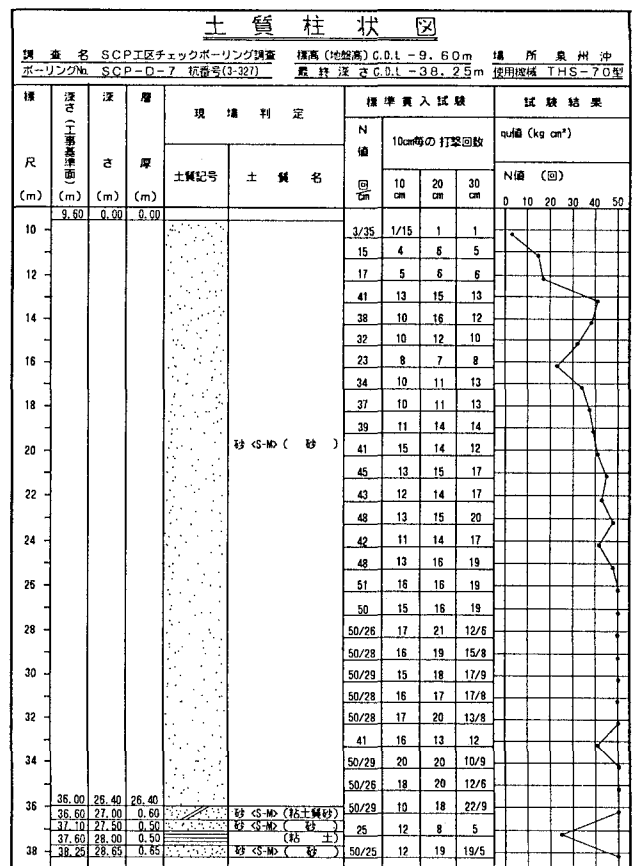


図-8 チェックボーリング結果

4. 隆起地盤の特性

サンドコンパクションパイル施工後の隆起土を有効活用するという見地から原地盤と同じ置換率で隆起土をも改良し、隆起地盤を基礎工の一部として利用した。

(1) サンドコンパクションパイルの施工方向と隆起土の形状

隆起土の形状は、サンドコンパクションパイルの施工方向により図-9に示すような2つのタイプに分けられる。1つは地盤改良区域の中央から外側へ向けて両側に振り分け施工したもので、隆起量は中央部に比べて両端部が大きくなる傾向がある。もう1つは地盤改良区域の内側から外側にむけて片押し施工したもので、この場合は、サンドコンパクションパイルの打設進行方向へ向けて徐々に隆起量が大きくなっていく。

したがって、これらどちらの施工方法も1長1短があり優劣つけがたいが、本工事の施工においては隆起量をできるだけ均一にすることを目的として全体の約70%の部分を両側振り分け方法により施工した。

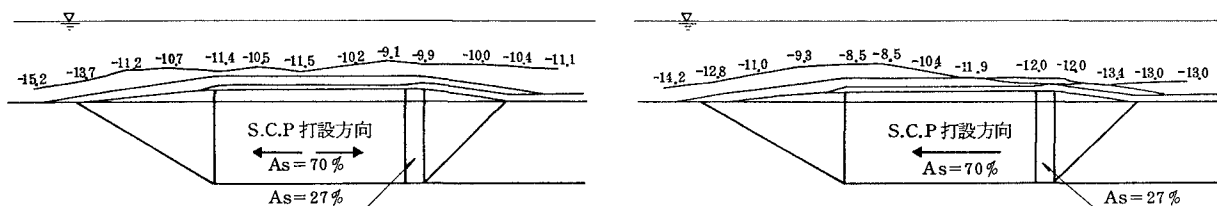


図-9 隆起土断面図

(2) 隆起地盤への重錘による均し工

サンドコンパクションによる隆起土のために海底地盤が均一の高さでなくなったため、不等沈下を防止することと、次の工種である基礎捨石工の層厚を均一にすることを目的として隆起土の一部を均した。

次に、捨石を0.8mと0.5mの層厚で2層に分けて投入し、隆起土を均すことを目的として重量約50tの重錘で基礎捨石を打撃しマウンドの均しを行った。

隆起土の重錘による均し工の施工前後に同一地点でボーリング調査を行い、地盤の強度を標準貫入試験により比較した。

試験結果をみると、表層の約3m間で事前ボーリングでのN値と重錘落下による打撃締固め後のN値を比較すると、後の方が大きいことがわかる。重錘落下による均し工により強度増加がはかられたためによるものと思われる。

このように、ゆるい砂質地盤において重錘落下工法を施工すると振動により砂の間隙がつまり地盤の強度増加が期待できる。

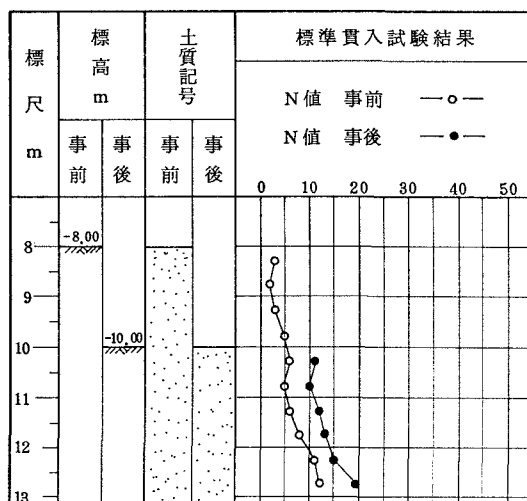


図-10 標準貫入試験結果

おわりに

ここに報告したスリットケーソン護岸のマウンド施工におけるサンドコンパクションパイル工法による軟弱地盤の改良工では以下の3点が明らかになった。

- ① 沖合で大水深かつ大深度しかも大口径のサンドコンパクションパイルであったにもかかわらずかなりの高い稼働率で施工できたのは大型作業船を使ったことによるものと思われる。
- ② サンドコンパクションパイルの品質管理においてはコンピュータシステムを活用したことにより確実かつきめ細かな砂杭の打設管理ができた。
- ③ 隆起地盤の活用に際し補助的に行った重錘による落下均し工法では、波及効果として砂地盤の強度増加が認められた。

本工事でも地盤改良工にひきつづき基礎工、本体工と進み昭和63年8月現在で51函すべてのケーソンの据付が完了している。ここに紹介した地盤改良工の真価もケーソンの沈下状況などにより明らかになっていきつつある。これについては、別の機会に発表することとしたい。