

2. 改良地盤のチェックについて

田村ボーリング株式会社 山田 敏昭
○宮本 妙美

1. はじめに

流路長約20kmの2級河川が瀬戸内海に注ぐ左岸部において、沿岸部を新しく埋立て、420m×380mの敷地が造成されている。

造成地の地盤改良前の地層構成は、最上位は、浚渫埋立土砂を主体とする「埋土」、その下位に在来地盤である海成堆積物の「砂質土」および「粘性土」が薄層で分布し、調査の最下位では河成堆積物の「礫質土」が確認されている。その層厚は、約100mと推察され基盤岩（領家花崗岩）に達するものと予想される。

このうちA, B, C工区の改良対象地盤は、最上位の「埋土」およびその下位の軟弱な海成堆積物で、サンドコンパクションパイル工法（以下、SCP工法と呼ぶ）で施工されている。

D工区の改良対象地盤は、浚渫埋立土砂のうちの超軟弱粘性土（ヘドロ状）の表層部で、セメント系浅層混合処理工法（以下、浅層混合処理工法と呼ぶ）で施工されている。

改良効果の確認は、SCP工法では、標準貫入試験のN値を指標とし確認した。また、浅層混合処理工法では、改良地盤のコアを採取して供試体を作成し、施工後1週目および4週目の一軸圧縮強度を求め、設計基準強度と比較した。

ここに、これらの結果について施工済み工区のAおよびD工区について報告する。

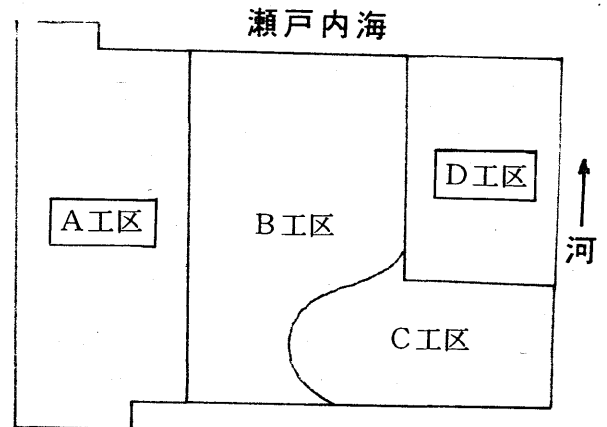


図-1 調査平面図

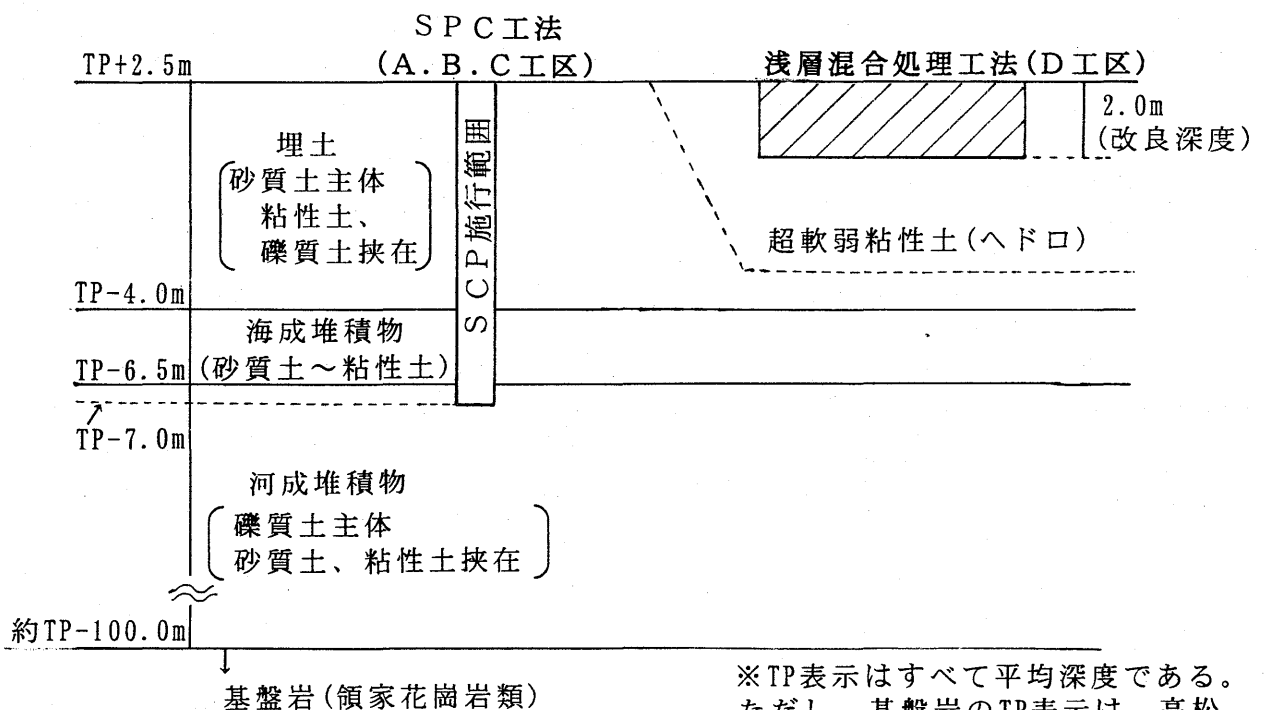


図-2 模式断面図

2. 改良地盤のチェック方法（SCP工法、浅層混合処理工法）

改良地盤のチェック方法については、地盤改良工法の違いにより、改良効果のチェック方法にも相違がある。各地盤改良工法の概要および改良地盤のチェック方法について述べる。

なお、地盤改良前・後のボーリング数量を表-1に示す。

表-1 地盤改良前・後のボーリング数量表

地盤改良工法		SCP工法	浅層混合処理工法
改良工区		A工区	D工区
埋立て後、SCP施工前の調査ボーリング		5孔 $\Sigma L=75.0m$	・一軸圧縮試験用試料採取孔：10孔 $\Sigma L=20m(2m/孔 \times 10孔)$ オールコアボーリング
SCP施工後の チェックボーリング	杭芯	2孔 $\Sigma L=20.2m$	・一軸圧縮試験 1週強度： σ_7 3個/孔 $\times 10孔=30個$ 4週強度： σ_{28} 3個/孔 $\times 10孔=30個$ ※上記数量は地盤改良後の数値である。
	杭間	5孔 $\Sigma L=53.5m$	

2-1 サンドコンパクションパイル工法（SCP工法）：A, B, C工区

(1) 工法概要

- ・軟弱地盤中に砂を振動で強制圧入する締固め砂杭工法である。
 - ・一般には、砂杭の径は $\phi 60\sim 85cm$ （標準 $70cm$ ）、砂杭のピッチは $1.2\sim 2.5m$ 、改良深度は $25\sim 35m$ 程度まで、改良対象は粘性土・砂質地盤の双方に適用できる。
 - ・振動締固め効果により、砂杭周辺の地盤改良が行われる。砂質地盤にあっては良く締まった地盤ができ、粘性土地盤では地盤支持力の増加と沈下量の低減効果が期待できる。
- ※今回の対象工区はA工区（約 $50 \times 約100m \doteq 5000m^2$ 、改良深度： $9m$ ）で、砂杭の本数は約 950 本、杭長： $9m$ 、砂杭径： $70cm$ 、ピッチ： $1.5m$ である。

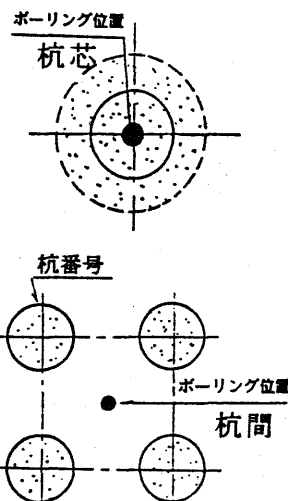


図-3 チェックボーリング位置

(2) 改良効果のチェック方法

- ・改良対象地盤の大半が低N値（平均 3.8 ）を示す埋土層で砂質地盤が主体であるため、標準貫入試験併用のボーリングを実施し、標準貫入試験で得られるN値を指標として改良効果のチェックをする。
- ・ボーリングは、埋立て後SCP施工前に調査ボーリングを実施し改良前のN値を求める。改良後のN値は、図-3に示す改良効果が余り得られないと考えられる杭間でチェックボーリングを実施して求める。
- ・改良前・後のN値の比較により改良効果のチェックを行う。
- ・なお、改良効果のチェックではないが、砂杭本体（杭材）の締固め強度を評価する指標としてN値が管理基準として用いられている。したがって、杭芯部でもチェックボーリングを実施してN値を求め、管理基準N値と比較する。

2-2 浅層混合処理工法(セメント攪拌混合) : D工区

(1) 工法概要

- ・セメント系固化材を軟弱地盤の表層部に攪拌混合して改良層を造成する工法の総称で、改良深度2~3mまでを浅層改良といわれている。浅層改良は、ぬかるみ状態の防止、建設機械足場の支持地盤の確保のための改良などがあり、目的に応じて施工方法は種々ある。
 - ・施工前に改良対象土を用いた室内配合試験を行い、セメント固化材の添加量等を決定する。
- ※今回の対象工区はD工区(約50m×約70m≒3500m)で、改良深度は2mである。施工方法は、フロートを装置したバックホウタイプに羽根付き攪拌機を取り付けスラリー(セメントミルク)を軟弱地盤中に攪拌混合する工法が採用されている。セメント添加量は、150kg/m³である。

(2) 改良効果のチェック方法

- ・改良対象地盤は、埋立て造成時のヘドロで高含水比(100%前後)を示す軟弱粘性土である。
- ・改良後は、オールコアボーリングで試料を採取し、一軸圧縮試験(1週・4週強度)を実施して4週強度と設計基準強度を比較して改良効果のチェックを行う。

3. SCP工法による改良地盤の評価 : A工区

3-1 N値測定結果

埋め立て後、SCP施工前の調査ボーリング(5孔)で測定したN値とSCP施工後、杭間部(5孔)および杭芯部(2孔)で実施したN値を表-2に示した。また図-4は、近接したボーリング地点の改良前・後のN値分布を模式的に表したものである。

表-2 SCP改良前・後のN値の比較および杭芯部のN値

地層	改良前(5孔)			改良後(杭間部:5孔)			杭芯部(2孔)		
	平均N値 \bar{N}	標準偏差 σ_n	絶対N値 N'	平均N値 \bar{N}	標準偏差 σ_n	絶対N値 N'	平均N値 \bar{N}	標準偏差 σ_n	絶対N値 N'
埋土	3.8	3.3	2.2	16.0	12.3	9.9	27.9	5.9	25.0
海成堆積物 砂質土~粘性土	5.2	7.1	1.7	10.1	6.3	7.0			

※絶対N値： $N' = \bar{N} - \sigma_n / 2$

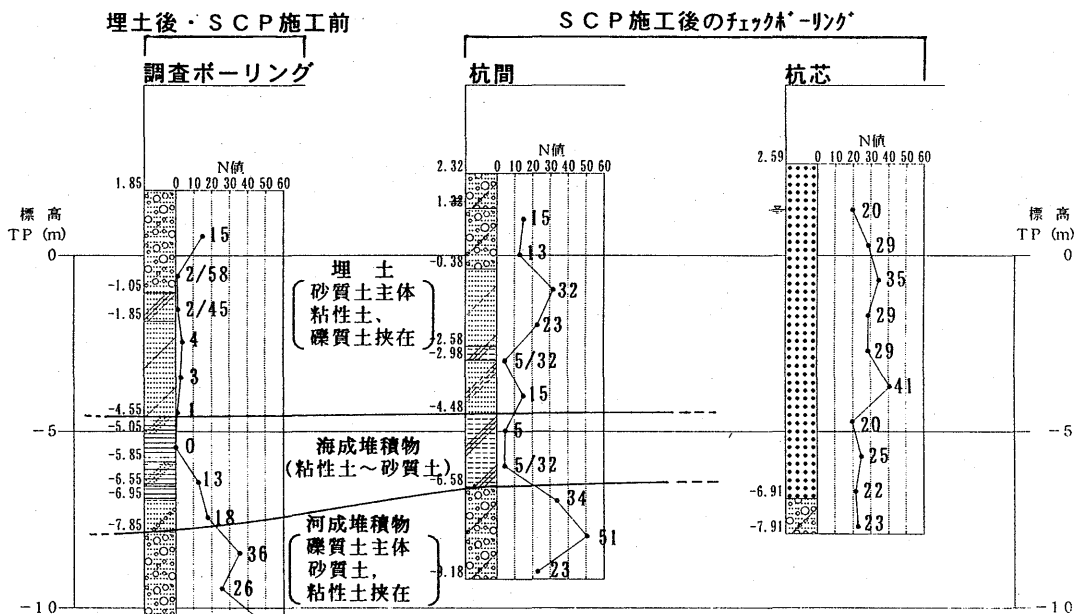


図-4 改良前・後のN値分布

表-2および、図-4から、改良後の杭間部のN値は、改良前のN値を比較してバラツはみられるも明らかに増加している。

3-2 改良地盤の評価

今回SCP工法による地盤改良の施工管理基準は、N値により規定されている。

・管理基準値は、

杭芯部絶対N値： $N' \geq 15$ かつ 相対地盤N値： $N_1 \geq 6$

である。

・絶対N値の算定方法は、実測N値の平均値および標準偏差を求め、以下の式より算定する。

$$N' = \bar{N} - \sigma_n / 2$$

ここに N' ：絶対N値

N ：実測N値の平均値

σ_n ：実測N値の標準偏差

・相対地盤N値とは、改良地盤を地盤全体としてみたときの砂杭本体と砂杭で締固められた地盤からなる相対地盤のN値であり、以下の式より算定する。

$$A_s = \pi D^2 / 4$$

$$N_1 = N_0 \cdot a_s + N' (1 - a_s)$$

ここに N_1 ：相対地盤N値

N_0 ：杭芯部管理基準N値

a_s ：置換率($a_s = 17\%$) = $A_s / A \times 100$

A_s ：砂杭面積

A ：相対地盤面積

N' ：杭間部絶対N値

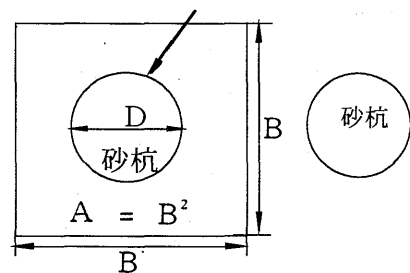


図-5 相対地盤の範囲

・上記の算定方法をもとに、管理基準に対する改良効果の評価を表-3に示した。

表-3 改良効果の判定

	地層名	N 値	管理基準値
相対地盤N値 N_1	埋 土	10.8	$N_1 \geq 6$
	海成堆積物	8.4	
	全層平均	10.0	
絶対地盤N値 N'	杭芯部	25.0	$N' \geq 15$
改良地盤は、管理基準値を満足している。			

表-2および表-3から、SCP改良後のN値は改良前に比べ増加し、管理基準強度も満足した結果になっている。なお、杭間部埋土層のN値のバラツキが大きい点については、埋土層が場所・深度により土質に差異のあることが主な原因と考えられる。

杭芯部のN値のバラツキについては、施工時の締固め速度の変化による締固め度の変化および砂杭材料の不均一性による要因が考えられる。

4. 浅層混合処理工法による改良地盤の評価：D工区

4-1 一軸圧縮試験結果

改良土の一軸圧縮試験用の試料は、改良範囲内の10ヶ所においてオールコアボーリングにより改良深さ2mまではWコアチューブ(ビニールスリーブ付き)を使用して採取した。採取した試料はクラックのない棒状コアの部分を採取径： $\phi = 6.5\text{cm}$ の2倍程度の長さ：12~13cmに切断して一軸圧縮試験用供試体とした。この供試体は、地盤改良後の1週強度用、4週強度用として1孔当たり各々3個、計60個作成し、試験日まで恒温水槽の中で水中養生した。

1週強度は改良土の固化度の目安として用い、4週強度は、設計基準強度と比較し、改良効果のチェックのために用いた。これら一軸圧縮試験の結果を表-4、表-5、図-6、図-7に示す。

表-4 1週強度： σ_7

	一軸圧縮強度 σ_7 (kgf/cm ²)
分布範囲： σ_7	2.2~22.9
最小値： σ_7	2.1
最大値： σ_7	26.7
平均値： $\overline{\sigma_7}$ (個数：30個)	12.6
標準偏差： χ	6.4

表-5 4週強度： σ_{28}

	一軸圧縮強度 σ_{28} (kgf/cm ²)
分布範囲： σ_{28}	6.3~24.5
最小値： σ_{28}	4.3
最大値： σ_{28}	29.4
平均値： $\overline{\sigma_{28}}$ (個数：30個)	15.7
標準偏差： χ	6.3
設計基準強度	3以上

図-5 σ_7 の分布

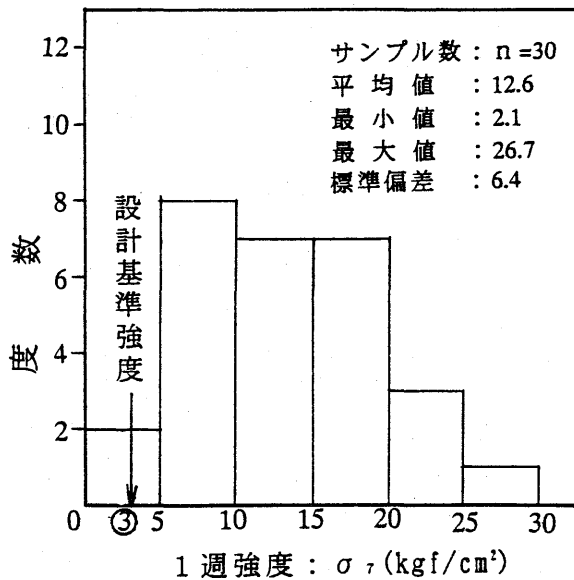
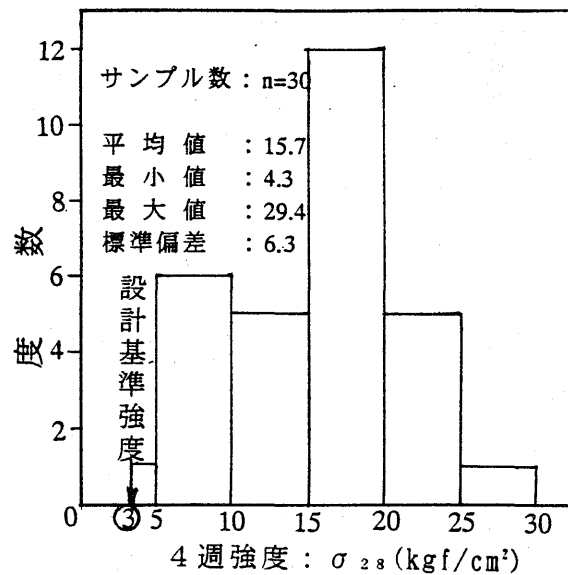


図-6 σ_{28} の分布



4-2 一軸圧縮強度のバラツキの要因

表-4、表-5、図-5、図-6に示したように一軸圧縮強度(1週・4週強度)のバラツキは顕著である。このバラツキの要因として考えられる事項を以下に示す。

- ・使用機械の攪拌回転数・昇降速度・スラリー(セメントミルク)の混合など施工上の問題。
- ・改良区域内の土質のバラツキ、含水比の相違などの改良対象土の土性の違い。
- ・一軸圧縮試験用の供試体は、オールコアボーリングにより採取した短棒~棒状の硬質なコアを採用したが、改良不足・固結度の低いやや軟質なコアでも短棒状~棒状であれば供試体として採用している。このことから、供試体の選定上の問題も考えられる。

4-3 改良地盤の評価

一軸圧縮試験の結果は表-4, 表-5に示したが、一軸圧縮試験結果から次のことがいえる。

- ・ 1週強度： σ_7 の値が4週強度： σ_{28} の値に近い値を示しており、固化度の進行度合いは、コンクリートの場合と同様に比較的早く進行しているものと考えられる。
- ・ 1週および4週強度の平均値は、 $\sigma_7=12.6\text{kgf/cm}^2$ 、 $\sigma_{28}=15.7\text{kgf/cm}^2$ も設計基準強度： $\sigma=3.0\text{kgf/cm}^2$ の4～5倍の強度増加となっている。また、4週強度の最小値： $\sigma_{28\text{min}}=4.3\text{kgf/cm}^2$ も設計基準強度を満足している。
- ・ 一軸圧縮強度(1週・4週強度)のバラツキは顕著であるが改良土の目標強度である4週強度の値が設計基準強度を大幅に超えており、改良効果は十分にあると評価できる。
- ・ オールコアボーリングにより採取した改良土のコアは、改良不足・固結度の低いやや軟質部もあるが、全体的に硬質であり、目視によるコア観察でも改良効果があると評価できる。

5. ま と め

これまで述べてきた内容をまとめると次のとおりである。

- ・ SCPの施工後、杭間部のN値はバラツキがあるも全体として増加を示し、すべて管理基準N値($N \geq 6$)を超えた。
- ・ SCPの杭全体のN値もバラツキがあるも、すべて管理基準N値($N \geq 15$)を超えた。
- ・ 浅層混合処理工法では、改良後の一軸圧縮強度(1週・4週強度)にバラツキがあるも改良土の目標強度である4週強度(最小値： 4.3kgf/cm^2 、平均値： 15.7kgf/cm^2)が設計基準強度(3kgf/cm^2 以上)を大幅に超え問題はなかった。
- ・ 今回の現場では、改良効果の確認と評価として、最も一般的なN値(SCP工法)、一軸圧縮強度(浅層混合処理工法)を用いた。さらに、ボーリング孔を利用したRI法による密度検層、孔内水平載荷試験(LLT)、表面波探査(レイリー波探査)等を併用すれば、信頼性の高いものになる。