

地盤改良の効果とその判定

Estimation and Evaluation of Soil Improvement Effects

てら し まさ あき
寺 師 昌 明*

1. 地盤改良効果の予測と判定

軟弱地盤上で構造物を建設するためには、まず、対象となる地盤の成層状態や各層の力学的性質を良く調査して、改良工事を行わない場合の各種の基礎工法の比較を含めて設計検討を行う。その上で、建設過程での安全性や工期に不安がある場合や、完成した構造物の安定性、将来の沈下、液状化などが構造物の機能を阻害すると予想される場合に、地盤改良を計画する。そして、改良の目的、対象土の特性、工期、周辺への影響を考慮しつつ、最適の工法を選定し、目的を達成するように地盤改良の設計を行う。すなわち、本文の主題である“地盤改良の効果”は設計で予測され、“予測値との関連で効果が議論される”ことになる。予測の精度は、

- ① 土質調査・試験による原地盤のモデル化（成層条件、設計定数の設定）の精度、
- ② 改良地盤の設計のために選定した設計計算法の適否や精度、
- ③ 設計で前提とした改良工を実現する施工の精度（改良地盤の品質）、
- ④ 設計で前提とした外力や施工速度など上部構造物の施工の精度、

などに大きく左右される。

一方、予測と対比される地盤改良の効果は、最終的には、改良地盤が設計で予測した機能を過不足なく有しているか否かで判定される。これを最も適切に判定出来るのは、安定に関しては設計荷重が作用した時点、沈下に関しては想定した期間を経過した後である。しかし、当面進行中の工事の効果の判定のための情報としては手遅れである。このため、通常の場合、効果の判定は地盤改良の施工中あるいは施工直後に、設計で前提とした改良工が施されたか、また、改良効果の発現が予測通りに進行しているかの判断でかえられることになる。前者は、改良地盤の品質の問題（前述の③）であるが、後者は予測全般に関わる問題であり、後者が議論の対象となると前述の①～④のすべてが吟味の対象となる。いずれの場合も、効果判定のための調査、計測手法の精度、安定性が問題となることは当然である。

すなわち、効果の判定は、設計手法を仲介にして改良地

盤を代表する幾つかの特性値を設定して、これが設計の前提条件と予測した時間経過とを満足しているか否かをモニターすることによって行われる。前提条件や仲介となる設計手法があいまいであれば、この方法で行う効果の判定の意味は乏しくなる。したがって、予測の不備を補うために施工中の動態観測が行われ、必要に応じて、前提条件も含めて予測の修正、施工計画の変更が行われることになる。この動態観測も広い意味では、効果の判定と考えられる。多くの地盤改良工法が、理論よりも施工技術が先行する形で開発される宿命にあることを考えると、開発して間もない工法の場合ほど長期にわたる動態観測が必要となる。

このように、効果の判定には計測や調査が付き物であり、その結果は単に採点して終りというのではなく、設計の修正や施工の管理に利用されることが望ましい。大規模な工事になるほど、事前調査、設計、地盤改良工、上部工の施工、そして効果判定のための調査工事が分離して発注されることが多いが、適切な効果の予測と判定のためには、各段階の情報を適切にフィードバック出来る体制を整えて置くことが必要である。

地盤改良工法の種類は極めて多いが、その原理は、置換、排水、圧縮、固化、補強に分類できよう。個々の工法の効果を適切に把握するためには、その改良原理と現行の設計法・施工法を良く知る必要があり、また、既往の設計・施工事例からその設計法の精度や問題点を知っておく必要がある。ここでは前者について文献^{1),2)}を、後者について文献³⁾を紹介するにとどめるが、個々の工法については更に詳細なテキストも出版されている。

以下の各章では、粘性土地盤を対象とする代表的な工法の改良原理と効果の判定に直接、間接に繋がるポイントを紹介したい。また、判定のための調査・計測については文献^{4),5)}を参照されたい。

2. 置換工法

置換工法は、地盤改良工法の中で最も歴史の長い工法である。原理は単純明快で、構造物に悪影響を及ぼす範囲の軟弱土を良質の砂と置換えるものである。置換の方法としては、盛土の自重で（場合によって、爆破や水ジェットを併用して）地盤を破壊させて置換える方法（破壊置換）が最も古くからあるが、置換断面の不確かさと周辺への影響

*運輸省港湾技術研究所 土質部地盤改良研究室長

総 説

のため、ほとんど用いられなくなった。ただし、ごく最近では、盛土の下部にジオテキスタイルを敷設して地盤の局部的な破壊を防止しながら盛土を沈下させる工夫もみられ、超軟弱な埋立地盤などでは復活の兆しもある⁶⁾。しかし、現在の主流は、規定の断面を掘削して置換える方法（掘削置換）と大口径の砂杭を強制的に圧入して置換える方法（強制置換）とである。

掘削置換の場合には、適切な安定計算と沈下の検討を行い、設計で前提とした断面を確保し、設計条件を満足する粒度分布と密度を持った砂で置換える施工を行えば、効果は確実に現れる。すなわち、予測の精度が問題視されることはほとんどなく、改良地盤の品質のみが問題となる。海上工事で浚渫し置換えるような場合には、砂の投入方法によって置換砂の密度が変化し緩い地盤が形成される可能性がある。また、局部的に浮泥の集中する可能性もあるため、置換後にサウンディングを励行することが適切な効果を上げるポイントとなる。なお、緩い地盤が形成されると、当初の設計で問題としなかった別の問題（砂の弾性変形や液状化の懸念）が生じて原設計の見直しが必要となる可能性はある。

3. サンドレーンを併用するプレローディング工法

プレローディング工法にサンドレーン(SD)を併用する工法をサンドレーン工法と呼ぶことが多い。軟弱層厚が大きくて、プレロードによる圧密が長期にわたると予想される時に、鉛直の排水層を人為的に形成して圧密を促進する工法である。軟弱地盤中に打設される砂杭には、排水距離の短縮による圧密促進という機能を期待するだけで、安定計算上はその存在を無視する。このため、本工法の効果に関しては、安定の面からは粘土の強度増加のみが議論の対象とされる。沈下促進の観点からは、無改良地盤の一次元圧密現象と対比した形での改良地盤の最終沈下量と圧密の時間経過が主な争点になっている。本工法の目的から自明であるが、SD工法をサンドシームを多く含み、もともと圧密速度の大きい成層地盤や、沈下の速度が排水距離に余り依存しない（一次元圧密現象が卓越しない）土に対して適用した場合には効果の議論は困難になる。

SD工法は、地盤改良工法の中では珍しく理論先行で開発されたものである。1952年には我が国に導入され（長崎港改修、岡山県の国道2号）、その後、幾多の施工実績を有しているため、これまでも効果に関する議論が繰返されている^{7),8)}。効果に関する問題点を整理すると、均一地盤を対象に理想化された理論（テルツァーギ、バロンの解）に、精度の低い定数や境界条件を与えて予測した効果を判断の基準とする問題、SDの連続性、透水性、打設による周辺土層の乱れなど施工に基因する問題、そして判定技術の問題に要約される⁹⁾。この詳細については文献を参照さ

りたい。最近では、有限要素法をはじめとする数値解析法の発展によって、二次元の変形や圧密の議論が可能となり、また原地盤の一次元圧密に関しても、自重の影響、地盤の不均一性、荷重の減少過程、さらには二次圧密なども考慮できる計算が可能となっており、効果判定の基礎となる予測の精度も向上してきている（例えば、文献¹⁰⁾）。予測の問題点を良く理解して、改良工の施工、調査を行えば、判定に余り悩まずに済むようになるのではないだろうか。

設計で前提とした改良工を保証するためには、ドレーン材料と敷き砂の透水性、ドレーンの断面積、ドレーンの施工位置、施工深度、連続性の確認が必要である。また、効果判定の重要なポイントは圧密の進捗状況（沈下の促進と強度増加）の把握である。確認のためには、作用させた圧密荷重、沈下量（層別沈下）、間隙水圧の時間経過の測定がある。このような情報を使うと、圧密の将来の進捗状況や最終沈下量を予測し、設計値を修正することができる。鉛直沈下には側方流動の影響も入る可能性があるため、水平変位の計測も重要である。そして、圧密進行状況を判断し適切な時期に、シンウォールサンプリングを行い力学試験を実施して強度増加の判定を行う。力学試験結果との対応が十分であれば簡便なコーン貫入試験の併用もできよう。また、上述の沈下、水平変位の情報は盛土の安定管理にも用いることができ、安全な施工を可能とする。

4. サンドコンパクションパイル工法

サンドコンパクションパイル(SCP)工法は、本来、砂地盤の締固めを目的に開発されたが、粘性土地盤の改良にも多用されている。粘性土地盤を対象とするSCP工法は、一定の間隔で所定の深度までケーシングを打設し、ケーシング内より地中に砂を排出すると同時に締め固めて砂杭を造成するものである。類似しているSD工法との相違点は、外見上、①砂杭の置換率（1本の砂杭の断面積/1本の砂杭の支配する有効面積）が大きく、②砂の密度が高いことである。結果として形成される改良地盤は、密度が大きく透水性の高い砂杭と軟弱な粘土とで構成される複合地盤である。設計上のSD工法との相違は、杭間粘土の強度増加に加え、砂杭による地盤の補強効果を期待すること、すなわち、その複合性を積極的に評価するところにある。改良地盤の特性は、

- i) 砂杭の強度と透水性（材料と密度）、
- ii) 砂杭の置換率、
- iii) 構造物に対する改良範囲の位置関係、
- iv) 外力条件(大きさ、方向、荷重経路、荷重速度、等)、
- v) 杭間の地盤の強度、
- vi) 杭間の地盤の砂杭に与える拘束圧力、
- vii) 砂杭打設による改良範囲内外の乱れの影響、
- viii) 砂杭打設による地表面の盛り上りの形状と盛り上り土の特性、

などに複雑に影響されると考えられる。

SCP工法は技術先行型であり、多くの施工実績を有しているものの、効果の予測方法には未解明の点が少なくない。しかし、それを補うために改良地盤の品質にかかわるデータの蓄積が丁寧に行われていることが特徴である。したがって、設計・施工はこれまでの実施例を参考にし、十分慎重に行う必要がある。ここでは先ず現行の実用設計法を少し詳しく紹介し、考察を加えてみる。

複合地盤の実用安定計算方法には、①複合地盤の特性を反映するように工夫された平均的せん断強度の評価式をベースにして円形すべり計算で検討する方法と、②複合地盤を砂地盤として挙動する部分と粘土地盤として挙動する部分に便宜的に分割し、それぞれの円形すべりに対する安全率が一致するように外力を再配分する方法とがある。後者は計算が複雑であり、現実の施工例はほとんどが前者の方法で設計されている¹¹⁾。

複合地盤の平均的せん断強度の表示式は以下の式によるものが最も多い。

$$\tau = (1 - a_s)(c_0 + kz + \mu_c \cdot \Delta\sigma_z \cdot \Delta c / \Delta p \cdot U) + (\gamma_s \cdot z + \mu_s \cdot \Delta\sigma_z) a_s \cdot \tan \phi_s \cdot \cos^2 \theta \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中の記号の定義は以下のとおりである。

τ : すべり線の位置で発揮する平均せん断強度

a_s : 砂杭の置換率

$c_0 + kz$: 原地盤の粘土の非排水せん断強度

c_0 : $z=0$ における粘土の非排水せん断強度

k : 深さ方向への強度増加率

z : 鉛直座標

μ_s : 砂杭への応力集中係数 ($\mu_s = \Delta\sigma_s / \Delta\sigma_z$)

μ_c : 粘土での応力低減係数 ($\mu_c = \Delta\sigma_c / \Delta\sigma_z$)

n : 応力分担比, $n = \Delta\sigma_s / \Delta\sigma_c$

$\Delta\sigma_z$: 対象とするすべり線の位置での、外力による鉛直応力増分の平均値

$\Delta\sigma_s$: 砂杭部分での外力による鉛直応力増分

$\Delta\sigma_c$: 杭間粘土部分での、外力による鉛直応力増分

$\Delta c / \Delta p$: 原地盤粘性土の強度増加率

γ_s : 砂杭の有効単位体積重量

ϕ_s : 砂杭の内部摩擦角

U : 平均圧密度

θ : すべり線が水平面と成す角度

式(1)の第一項は杭間粘土のせん断抵抗を示すもので、記号の定義より明らかなように、杭間粘土の部分では原地盤強度と圧密による強度増加の和をせん断抵抗として考えている。第二項は砂杭のせん断抵抗を示すもので、まず、想定する深さで杭中の鉛直応力は砂杭の有効重量と、外力の内砂杭に集中する分で定まるとする。そして、その他の応力成分を無視して、この鉛直応力の想定すべり面に対する垂直成分が摩擦に寄与すると考えているものである。そして、複合地盤中で砂と粘土が同時に最大せん断強度を発揮

することを暗黙の前提として、単純に第一項と第二項とをたし合せている。安定計算は、この平均せん断強度を円形すべり計算法(フェレニウス法)に適用して実施される。

SCP工法による改良地盤の沈下を検討する実用設計では、砂杭の存在のため沈下量が低減されることを考慮するために、低減係数 β を導入するが、時間経過に関してはドレーンの剛性を考慮していないSD工法の設計法(バロンの解)に準ずるとするのが一般的である。改良地盤の最終沈下量 S_f と無改良の場合の最終沈下量 S_{fo} の関係は以下のとおりであり、 β は前述の μ_c と一致する。

$$S_f = \beta S_{fo} \quad \beta = \mu_c = 1 / \{1 + (n-1)a_s\} \quad \dots\dots\dots(2)$$

式(1)と(2)で代表される現行の実用設計計算法では、置換率 a_s が十分に小さくなると、SD工法の実用計算法と同じになる。一方、置換率が大きくなる程、また砂杭に集中する外力が大きくなる程(応力分担比 n が大きくなる程)、砂杭の寄与率が高くなり(安定問題では(1)式の第二項が大きくなり、沈下問題では(2)式の β が小さくなり)、定性的には地盤の複合性が評価される形になっている。

実用的な予測手法の理論的裏付けが十分ではないと考えられる場合に地盤改良の効果とその判定を議論するには、以下に述べる二つの観点がある。

第一の観点は、現象に立返って合理的な予測手法の確立を促進し、新たな予測手法を媒介にして地盤改良効果を判定することである。すなわち、実用式(1)、(2)の合理性の再検討である。圧密沈下の問題に関していえば、SD工法で30年間続いた議論に加えて、杭間粘土の乱れ、砂杭への応力集中にかかわる議論が必要となる。また、安定問題に関しては、a)どのような応力状態(圧縮領域、伸長領域、単純せん断領域)でも、(1)式で平均せん断強度を評価できるか、b)砂杭と杭間粘性土の破壊時の排水条件をどう考えるのか、c)応力分担比は、置換率、荷重の大きさと圧密の経過時間などで変化し、またせん断中にも変化すると考えられるが、定数として設定して良いか、といった定式化の問題から、定数の選定、組合せて用いる安定計算法の問題、安全率の問題と限りがない。このような問題は、将来の複合地盤の設計法に関する重要な問題であり、中期的、あるいは長期的研究の対象でもある。しかし、現行の実用式にかかわる新たな予測手法は提案されていない。研究の動向については文献¹²⁾を参照されたい。

第二の観点は、既往の事例から用いられた実用設計法と定数の範囲を調べ、その組合せと施工後の現実の挙動を対比し、現行の実用設計法の予測精度を確認しておくことであろう。また、設計法の感度分析を行って、実用設計法の特徴を理解しておくことも大事である。その詳細は、文献¹³⁾に譲る。

圧密沈下量と時間経過に関して、予測と実際を比較すると図-1、2が得られる。図-1は、改良地盤の最終沈下量の低減係数 β の予測と実測の対比である¹³⁾。なお、実測 β

総 説

は実測沈下量の時間経過を双曲線で近似して改良地盤の最終沈下量を求め、原地盤の最終沈下計算値と対比して求められたものである。図より SCP 工法による沈下の低減効果が大きいこと、その効果は置換率によって影響されること、予測値は応力分担比 n の設定でも変化すること、実測値は大略 $n=4$ の予測値を中心とするものの変動が大きいことが理解されよう。圧密の時間経過はパロンの解による予測より遅れがちである。圧密試験で求められた原地盤の圧密係数 c_{v0} と、実測結果より逆算した改良地盤の圧密係数 c_v の比率を置換率に対して整理すると図-2 が得られる¹⁴⁾。効果の判定に当たっては、予測値そのものに幅があることが理解されよう。

安定に関しては、条件の明確な破壊事例が乏しい現状では、上述のような予測と実際の対比は困難である。しかし、安定上の問題を生じていない既往の施工実績から、上部構造物のタイプと重量、地盤改良の範囲と条件を調べ、その設計に用いられた設計定数を整理することで、実用設計法の適用範囲を明確にしておくことは可能であろう。実用式の適用に当たって一般には、 $n=4(3\sim5)$ 、杭芯 N 値 $10\sim15$ に対して $\phi_s=30\sim35^\circ$ がとられている。杭間ならびに改良範囲外の粘土が、砂杭打設によって乱され強度低下することが知られている。しかし、改良範囲外ならびに杭間の粘土には原地盤強度を適用していることが多い。杭間粘土については、シキソトロピーと圧密によって3か月程度で強度回復することが実測で確認され、改良範囲外の強度低下は感度分析によると、全体の安全率にあまり大きく影響しないと考えられることがその根拠とされている¹³⁾。

図-3 は、既往の施工事例を上部構造物の種類によって大きく3つに分け、各タイプ毎にどのような条件でどのような改良が行われたかを整理したものである¹⁵⁾。

Type-1 は道路盛土の例が主で、鉄道盛土、宅造、ヤードの例が含まれている。Type-2 は上部構造物に直立ないし直立に近い壁を有するもので、護岸や堤防が主となるが道路盛土も含まれている。Type-3 は矢板式護岸である。上部構造物のパラメーターとしては、盛土など構造物の高さ H (荷重レベル)、のり勾配 S (荷重の作用形態) を、地盤条件のパラメーターとしては、軟弱層の厚さ D 、荷重端からの改良幅 B 、地盤の平均粘着力 c_0 、置換率 a_s を選定し、頻度分布の形で示している。

設計で前提とした改良工を保証するためには、施工前ならびに施工中の確認項目として、砂杭に用いる材料の強度と透水性、さらに締固め時の体積変化、敷き砂の透水性、投入砂量(砂杭の断面積)、砂杭の施工位置、施工深度、連続性が挙げられる。また、施工後には、砂杭の N 値、改良範囲外の粘土の強度低下、杭間粘土の強度低下とその回復状況の確認のための調査が必要である。置換率の低い場合や既往の実績を逸脱する施工の場合には、SD 工法の場合に準じた載荷段階毎の調査、動態観測による安全確保が

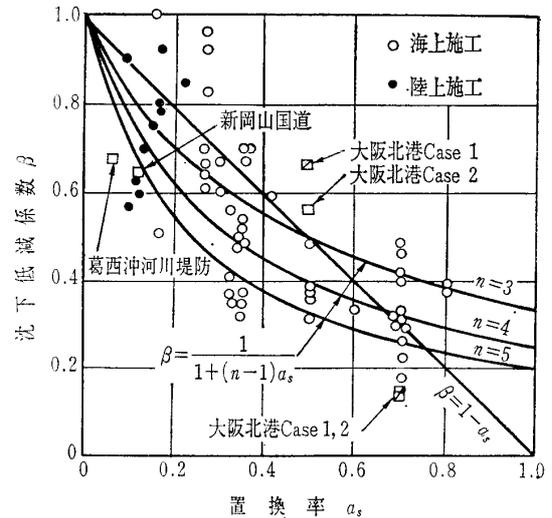


図-1 沈下低減係数 β の実測と予測¹³⁾

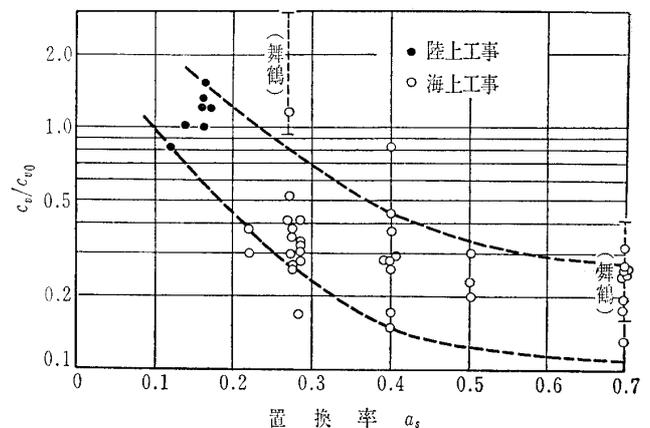


図-2 実測圧密係数 c_v と圧密試験結果 c_{v0} の対比¹⁴⁾

望まれる。

5. 深層混合処理工法

深層混合処理工法 (DMM) は、石灰・セメント系の安定材を原位置の土に添加、強制的に攪拌して、地中に所定の長さ、所定の断面積の強固な安定処理土の杭を形成する工法である。SCP 工法の場合と同様に、安定処理土の杭を一定の間隔で形成する杭状改良と、個々の杭体をオーバーラップさせて、地中に連続したブロック状や壁状の改良体を造成する改良パターンがある。

杭状改良の場合は、剛な杭体と無改良の粘土の複合体が形成され、外見上は SCP 工法による改良地盤と類似している。しかし、①剛性の相違が極端に大きいことと、②安定処理土が実用上は不透水であるため、排水効果を期待できないことが SCP の砂杭の機能と大きく相違している。ブロック状や壁状の改良体を造成する場合は、もはや通常の地盤改良とは異なり、一種の地中構造物を形成する形となる。いずれのパターンでも改良体(杭、ブロック、壁など)が上部構造物の荷重の大部分を支持することになる。このため、安定処理土の強度増加の過程は化学反応であるが、改良地盤の挙動を考えると、むしろ補強による工法と

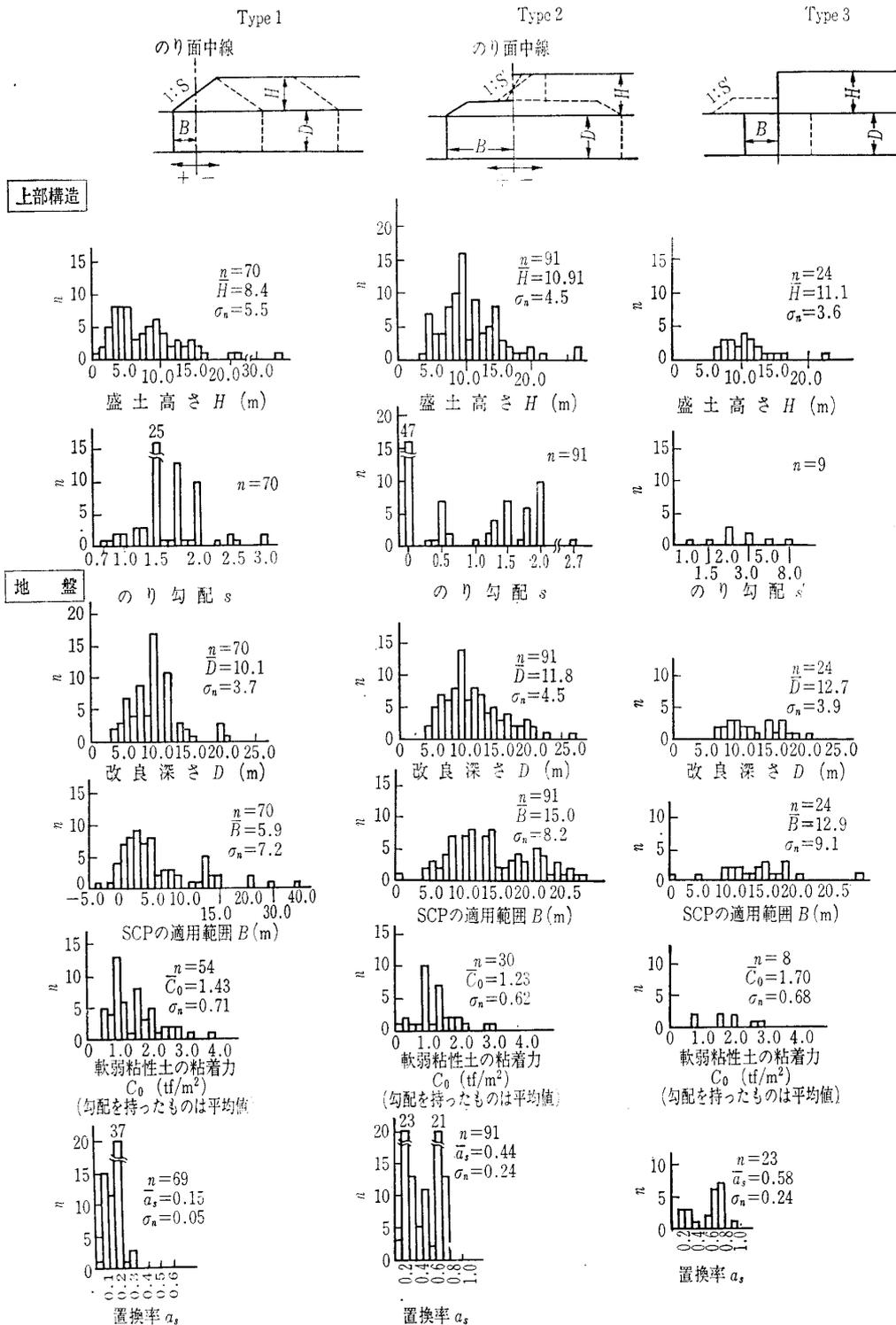


図-3 SCP工法の施工実績の範囲¹⁵⁾

(安定処理土の許容応力度と内部応力の対比)からなる。改良体は高強度であるため、外力を支持層に伝播させる役割を果たす。上部構造物の変位の検討に際しては、主として、改良体の弾性変形と改良体周辺地盤の圧密を含む変形を検討することになる。

前述のSD工法や置換率の小さいSCP工法の場合には、期待する効果が圧密促進やそれに伴う強度増加であった。そして、圧密の過程では大きな沈下や間隙水圧の消散が生ずるため、これが効果の判定尺度となった。一方、DMMの場合には、期待する効果が沈下阻止と外力の深層への伝播であり、改良体の剛性が大きいため、変形を計測しても、その大部分は改良範囲外の無改良部分に基因するものである。このため、これまで改良地盤の動態観測によって効果を判定することは行われていない。しかし、改良体を軟弱な粘土中に打ち止める(浮き型)改良地盤では、少なくとも外的安定の確認のためには改良体の変形挙動の計測値を利用できそうである。改良地盤上の構造物の背面に埋立が行われる場合¹⁸⁾や、上部構造物に波力等に相当する水平外力が作用する場合¹⁹⁾の改良体の挙動や、改良体の境界面に作用する土圧分布などについては徐々に明らかにされつつ

分類できるものである。もちろん、安定処理土の強度を低めにコントロールし、同時に品質を保証する施工ができれば、この考え方には変化の余地があると思われる。

高強度の安定処理土が造成されることを前提とした、現行の深層混合処理工法の設計の基本的な考え方¹⁶⁾とその問題点¹⁷⁾の詳細については省略する。改良地盤の安定計算は、常時と地震時など異常時の改良体の外的安定の検討(群杭の支持力と横抵抗, 地中改良体の転倒, 滑動そして支持力, 壁状改良体の壁間粘土の抜けだし)と、内的安定の検討

ある。

しかし、現時点ではDMMの効果の判定は、ほとんどの場合、設計で前提とした改良体の品質の管理にとどまっている。そのポイントを以下に示す。詳細は、文献²⁰⁾を参照されたい。

安定処理土の強度増加は、土の種類、安定材の種類、施工機械のタイプ、施工の精粗、など多くの要因に支配されるため、一般に、事前に室内配合試験²¹⁾と現地施工実験が行われる。前者で配合設計を行い、後者でその確認と修正、

総 説

また、施工性や仕上がり形状、着底条件の把握が行われる。施工時には、打設位置、打設深度、安定材の吐出量と連続性、オーバーラップの精度、を慎重に計測管理する。施工後には、鉛直ボーリング、斜めボーリングなどにより、改良体内部のコアの強度とその変動、オーバーラップ面の観察と強度確認が行われることになる。施工事例における室内強度、現場強度の比較や、オーバーラップ面の仕上がりなどについては、文献^{22), 23)}を参照されたい。

6. あとがき

紙数の制約で、本文の対象を深い粘性土地盤を改良するための掘削置換工法、SD工法、SCP工法、DMMの4工法に限定せざるをえなかった。また、本文で触れられなかったが、SCP工法の施工中に生ずる杭間ならびに周辺の無改良地盤の盛り上りは、設計、施工の両面で大きな問題となる。盛り上り現象ならびに盛り上り土の特性については、運輸省第三港湾建設局の試験結果が取りまとめられているので参考とされたい^{24), 25)}。

砂質土の締固めや薬液注入については、事前の予測は経験の集積によらざるをえず、効果の判定は改良地盤の品質の管理になる傾向が強いものと思う。そういう意味で、既往のデータの体系化と、施工中の機械の貫入抵抗、振動、注入圧力などを媒介にして、施工後の品質を精度良く予測する手法の確立が望まれる。

この品質管理に関しては、従来の採取試料に対する力学試験から、改良地盤全体をマクロに評価する手法への変化が各論からもくみ取れる。将来の方向の一つであろう。

効果の予測手法(殊に、安定にかかわる)については、本文で紹介したSCP、DMM共にまだ研究改善の余地が大きい。各機関で現地実大実験や遠心力载荷装置を用いた縮小モデルで、破壊に至る挙動の解明が進められており、将来が期待される。

参 考 文 献

- 1) 土質工学会：土質工学ハンドブック，第23章，1982.
- 2) 中瀬明男・奥村樹郎・沢口正俊：分りやすい基礎工法，1970.
- 3) 土質工学会：講座『深い地盤改良の実際と問題点を考える』，土と基礎，昭和57年9月号～58年8月号.
- 4) 土質工学会：土質調査法.
- 5) 土質工学会：講座『土を測る一現場計測と施工管理一』，土

と基礎，昭和58年9月号～59年11月号.

- 6) 安原一哉ほか：置換工法におけるジオテキスタイルの機能について，第30回土質工学シンポジウム発表論文集，pp.51～54，1985.
- 7) 土と基礎，小特集「軟弱地盤」，Vol.20，No.8，1972.
- 8) 網干寿夫：深い地盤改良の実際と問題点を考える「バーチカルドレーン工法は有効か無効か」，土と基礎，Vol.31，No.2，pp.69～74，1983.
- 9) 一本英三郎：対策工法の目的と効果の問題点，軟弱地盤ハンドブック，pp.293～299，建設産業調査会，1984.
- 10) 小林正樹：非線形一次元圧密沈下の解析法とその適用，港湾技術研究所報告，Vol.21，No.1，pp.57～79，1982.
- 11) 曾我部隆久：サンドコンパクションパイル工法の設計・施工の技術的課題，土木学会第36回年次学術講演会，研究討論会資料，1981.
- 12) 土質工学会：複合地盤の強度および変形に関するシンポジウム発表論文集，1984.
- 13) 一本英三郎・末松直幹：深い地盤改良の実際と問題点を考える「サンドコンパクションパイル工法の実際と問題点一総括一」，土と基礎，Vol.31，No.5，pp.83～90，1983.
- 14) 不動建設：未発表資料，1987.
- 15) 末松直幹：サンドコンパクションパイル工法一現況報告一，複合地盤の強度および変形に関するシンポジウム発表論文集，pp.13～26，1984.
- 16) 寺師昌明・布施谷寛・能登繁幸：深い地盤改良の実際と問題点を考える「深層混合処理工法の概要」，土と基礎，Vol.31，No.6，pp.57～64，1983.
- 17) 寺師昌明：深い地盤改良の実際と問題点を考える「今後の課題と最近の研究動向」，土と基礎，Vol.31，No.8，pp.75～83，1983.
- 18) 寺師昌明・北詰昌樹・赤本弘文：DMM改良体と未改良土の相互作用（第一報），第20回土質工学研究発表会，pp.1635～1638，1985.
- 19) 寺師昌明・北詰昌樹・中村 健：DMM改良体と未改良土の相互作用（第二報），第22回土質工学研究発表会，投稿中，1987.
- 20) 矢野弘一郎・花園 博：土を測る一現場計測と施工管理一3.現場計測による施工管理の実施例，土と基礎，Vol.32，No.7，pp.69～76，1984.
- 21) 土質工学会：土質工学会基準案「締固めを伴わない安定処理土の試験方法・同解説」（JSF規格：T 31-81 T）.
- 22) 能登繁幸・口田 登・寺師昌明：深い地盤改良の実際と問題点を考える「深層混合処理工法の実施例」，土と基礎，Vol.31，No.7，pp.73～80，1983.
- 23) 田中洋行・寺師昌明：深層混合処理工法による現場処理土の工学的特性，港湾技術研究所報告，Vol.25，No.2，pp.89～119，1986.
- 24) 平尾寿雄・松尾 稔：締固め砂杭の打設による海底隆起地盤の活用に関する研究，土木学会論文集，第364号，pp.169～178，1985.
- 25) 平尾寿雄・松尾 稔：地盤改良に伴う粘性土地盤表面の隆起部分の特性に関する研究，土木学会論文集，第376号，pp.277～285，1986.

(原稿受理 1987.3.5)