

研究展望

軟弱地盤対策

SOIL IMPROVEMENTS AND COUNTERMEASURES FOR SOFT GROUND —STATE-OF-THE-ART

奥村樹郎*

By Tatsuro OKUMURA

1. ま え が き

軟弱地盤上に構造物を建設する場合、最も厳しい課題は安定問題であろう。支持力、斜面安定、基礎や杭の横抵抗、さらには土圧問題も広い意味の安定問題に入る。言い換えればせん断変形とこれに対する抵抗との兼ね合いである。次に重要な課題は圧密沈下、広くは圧縮変形の問題であろう。さらに透水性や液状化が問題になることも多い。

安定や圧密の問題に対する軟弱地盤対策は以下のように分類することができよう。

- i) 構造物の荷重を杭基礎などによって下方の支持層に伝える方法
- ii) 構造物の幅を広げ、単位面積当たりの荷重強度を小さくする方法
- iii) 構造物そのものを軽くする方法
- iv) 軟弱地盤の土そのものを改良する方法

i) に分類される杭やピア基礎についてはそれ自体膨大な研究があり、著者の専門でもないので、ここではiv) に分類される軟弱地盤改良工法を中心に、狭い意味での軟弱地盤対策を取り上げることとする。

一般の土木技術についてもいえることであるが、特に軟弱地盤改良工法においては初めにアイデアと試みがあり、次に実用と経験が先行してから、最後に工学が後を追いかけるという傾向がある。また、新しい工法が開発され実用化されても、その設計法、施工法を確立するには現在の土質工学や調査技術が十分に対応できず、いつまでも経験に頼る部分の残ることが少なくない。サン

ドドレーン工法が55年の歴史をもつにもかかわらず、なお不明の点が残っており、研究論文が現在でも散見されるのはこのことを物語る1つの例であろう。したがってこの分野では経験を積み重ね、これを整理して一般化したものも貴重な研究であるといえる。

本文では初めに地盤改良工法の分類と各工法の特徴に触れ、次に多くの工法に共通する複合地盤としての特性を眺め、続いて最近研究の進んでいる各工法について述べ、最後にその他の軟弱地盤対策工法に触れてみたい。

2. 軟弱地盤改良工法の分類と特徴

軟弱地盤改良工法は細分すれば数十種類にも達する。しかも日進月歩で改良が加えられ、新しい工法が出現している。また各種の工法を組み合わせる用いられることも行われている。このため、すべての工法を整然と分類することはきわめて困難であり、また、人により分類の仕方にさまざまな考えがあって統一的な分類法はない。ここではごく一般的に知られている代表的な工法を取り上げ、著者の主観を混じえた分類を表-1に示す¹⁾。

各工法の利用面からみた特徴をこれも著者の主観を混じえて表-2に示す²⁾。ここで設計精度の低いものや施工管理の必要性の大きいものは一般に研究の必要性も大きいといえよう。しかし、その他の要因、たとえば工費の面で将来合理化が進んでも目的に合う見込みのないものは除かれるのが当然である。

3. 複合地盤の挙動

複合地盤の定義は必ずしも明確ではないが、概念的には改良された地盤が均一でなく、硬い部分と軟らかい部分とから成る複合体で、全体として所要の強度や許容変

* 正会員 工博 (財)沿岸開発技術研究センター調査役
(〒102 千代田区準町3-16, 住友半蔵門ビル)

表一 軟弱地盤改良工法の分類¹⁾

対象分類	改良原理による分類	工 法 分 類		備 考
		工 法	細 分 類	
深層地盤改良	機械的な方法	置換工法		爆破置換工法、強制置換工法を含む
	圧密による工法	ブローディング工法 バーチカルドレーン工法	サンドドレーン工法 プラスチックドレーン工法	自然圧密工法、余盛工法を含む ファブリックドレーン工法を含む ペーパードレーン工法を含む
		締固めによる工法	サンドコンパクションパイル工法 バイプロフローテーション工法 重錘落下締固め工法 爆破締固め工法	(動圧密工法)
	化学的改良工法	電気浸透法 浸透圧工法 生石灰杭工法 深層混合処理工法 注入工法 電気化学的固結法		噴射攪拌工法を含む 薬液注入工法を含む
		その他の物理的工法	凍結工法 地下水位低下工法	ウェルポイント工法 ディープウェル工法 真空圧密工法
浅層地盤改良	物理的工法	シート工法 ネット工法		ロープネット工法、 バンパーネット工法を含む
	化学的工法			

表二 軟弱地盤改良工法の特徴¹⁾

工法の名称	改良原理	目 的					対象土質		改良効果	施工工期	工費	設計精度	可能規模	施工管理の必要性	環境への影響	施工実績
		強度増加	沈下阻止	液状化防止	透水性低減	粘性土	砂質土									
置換工法	機械的な掘削置換	○	○	△	×	○	×	中	短	安	優	大	小	大	多	
ブローディング工法	} 圧密による強度増加や沈下終了を期待する工法	○	○	×	×	○	×	中	長	安	優	大	中	小	多	
バーチカルドレーン工法		○	○	×	×	○	×	中	中	中	優	大	大	小	多	
浸透圧工法	} 化学的吸引作用による脱水効果を利用する方法	○	○	×	×	○	×	小	中	中	可	小	大	中	極少	
生石灰杭工法		○	○	×	×	○	×	小	中	中	良	中	中	中	中	
深層混合処理工法	○	○	×	△	○	△	△	大	短	高	可	小	大	小	無	
凍結工法	} 化学変化、化学的固結作用を利用する方法	○	○	×	×	○	△	大	短	高	可	小	大	大	無	
電気溶融法		○	○	△	△	○	○	大	短	高	可	小	大	大	無	
電気化学的固結法	○	○	×	△	○	×	小	中	高	可	小	大	大	少		
締固め杭工法	} 杭または砂杭による水平方向の締固め	○	△	○	×	×	○	中	短	高	良	中	中	中	少	
サンドコンパクションパイル工法		○	○	○	×	○	○	大	短	中	良	大	中	中	多	
バイプロフローテーション工法	○	△	○	×	△	○	大	短	中	良	大	中	中	多		
振動水締め工法	○	△	○	×	×	○	小	短	中	安	可	小	大	中	少	
爆破締固め工法	} 衝撃による鉛直方向の締固め	○	△	○	×	×	○	中	短	安	可	大	大	大	無	
電気衝撃工法		○	△	○	×	×	○	中	短	中	可	小	大	大	極少	
動圧密工法	○	△	○	×	△	○	中	中	中	中	良	中	中	大	少	
注入工法	化学的充填法	△	×	△	○	×	○	大	短	高	良	小	大	大	多	
ウェルポイント工法	} 排水による圧力低下を利用する方法	△	△	×	×	△	○	中	中	中	優	大	小	中	多	
真空圧密工法		○	○	×	×	○	×	中	中	中	良	小	中	小	少	
電気浸透法	電気的な排水工法	○	○	×	×	○	×	小	中	高	良	小	中	中	極少	
凍結工法	間隙水を凍結する方法	○	×	×	○	○	○	大	中	中	良	小	中	小	多	

形量を確保できるような地盤を指すといえる²⁾。具体的には村山(1962)³⁾がサンドコンパクションパイル工法によって改良された粘性土地盤を指す用語として用いたのが始まりであり、現在では一般にも定着している。同様の構成をもつものとして深層混合処理工法や生石灰杭

工法による改良地盤が挙げられる。さらに広い意味では補強土工法やシート・ネット工法をこの範囲に含めることもできよう。

砂質土地盤にサンドコンパクションパイル工法やバイプロフローテーション工法が施工された場合にも人工的

な不均質が生じ、設計精度をより高めるためには複合地盤としての考え方を適用する必要がある。さらに、サンドドレーン工法においてもわずかではあるが複合地盤としての性格がある。

このように考えてみると、大多数の地盤改良工法が複合地盤を造成することとなる。そして、その挙動を正しくとらえて設計に反映させるためには、従来のような均一地盤としての取扱いではなく、おのおの構成要素の挙動と相互作用を考慮して全体挙動を把握する必要がある。

しかし、構成要素間の強度、変形係数、圧縮係数等の比率は同一改良工法においても異なり、まして工法が変わればその比率は大幅に変わっていく。したがって、一口に複合地盤といってもこれを一概に律することは不可能に近い。

昭和56年から59年にかけて土質工学会に「複合地盤の強度および変形に関する研究委員会」が設置され、研究成果として文献目録²⁾、およびシンポジウム論文集⁴⁾が出版された。また、シンポジウムの概要が「土と基礎」に報告されている⁵⁾。

この研究委員会では複合地盤に関連したこれまでの研究成果を整理し、サンドコンパクションパイル工法や深層混合処理工法など個々の工法については一応実用に耐える設計法が組み立てられていることを確認した。また、研究委員会でも残された課題の詰めを行った⁴⁾。しかし、各工法に共通する複合地盤としての特性を引き出し、統一的に解析する手法を見出すことは今後の課題として残されている。

4. 深層混合処理工法

現在一般的に使われている軟弱地盤改良工法のうちで最も新しいものが深層混合処理工法である。昭和42年に工法の開発が始まり⁶⁾、昭和50年に実用が始まってから10年にしかならないが、改良強度が大きいこと、工期が短いこと、材料(安定剤)の入手が容易なこと、建設公害のないこと、などの特徴から急速に施工実績を伸ばしている(図-1参照)⁷⁾

これに伴って、深層混合処理工法に関する研究が近年急速に活発化している。前記の「複合地盤に関する文献目録」²⁾等から年間に公表された論文数の推移をみると図-2のようであり、今後とも当分はこの傾向が続きそうである。図-2からわかることは論文数の加速度的な増加ばかりでなく、その絶対数が後述のサンドコンパクションパイル工法等に比べて格段に多いことである。ちなみに、昭和59年度の第19回土質工学研究発表会で地盤改良工法に分類された62編のうち深層混合処理工法に関する論文数は31編であり、ちょうど半数を占め

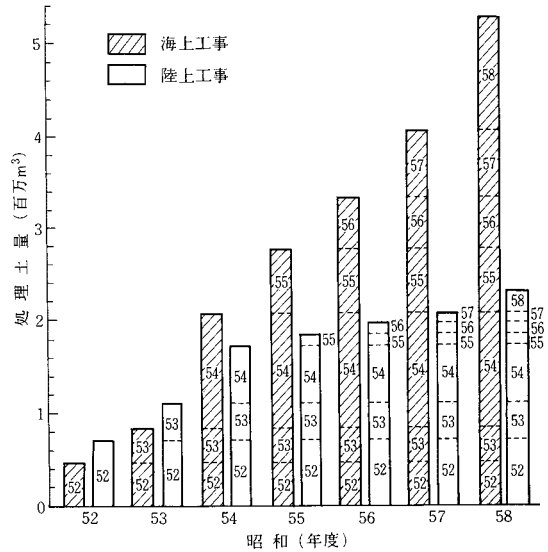


図-1 CDMによる処理土量の推移⁷⁾

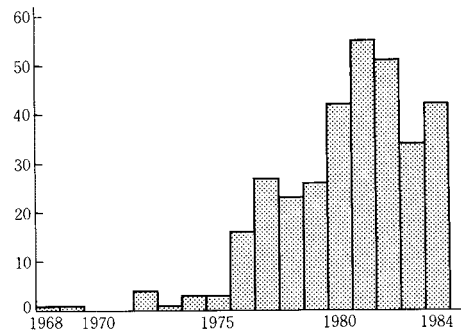


図-2 深層混合処理工法の年間文献数

ている。

このように深層混合処理工法の研究が活発になったもう1つの理由は、改良地盤がきわめて強固であり、原地盤との強度比率が従来の工法より格段に大きいことなど、従来の工学や経験から類推することが難しい面が多い、言い換えれば、課題の多い工法であるからといえよう。以下、本工法の主な課題と研究動向を眺めてみよう。

(1) 一般的な設計法

深層混合処理工法による改良地盤は図-3で示すように4つのパターンに分類され、それぞれ設計法が異なる。このうちブロック式はいわゆる複合地盤ではないが、他のパターンの基本となる。改良強度がきわめて大きいことが多く、従来工法による改良地盤のように円形すべりで安定の検討を行うだけでは不安が残る。そこで、地中構造物としての設計も行って安全性を確かめている⁸⁾⁻¹⁰⁾。しかし、改良強度がそれほど大きくない場合には従来工法と同様に円形すべりの検討で実用上は十分と思われ、両者の境界を見出すことが今後の課題となる。

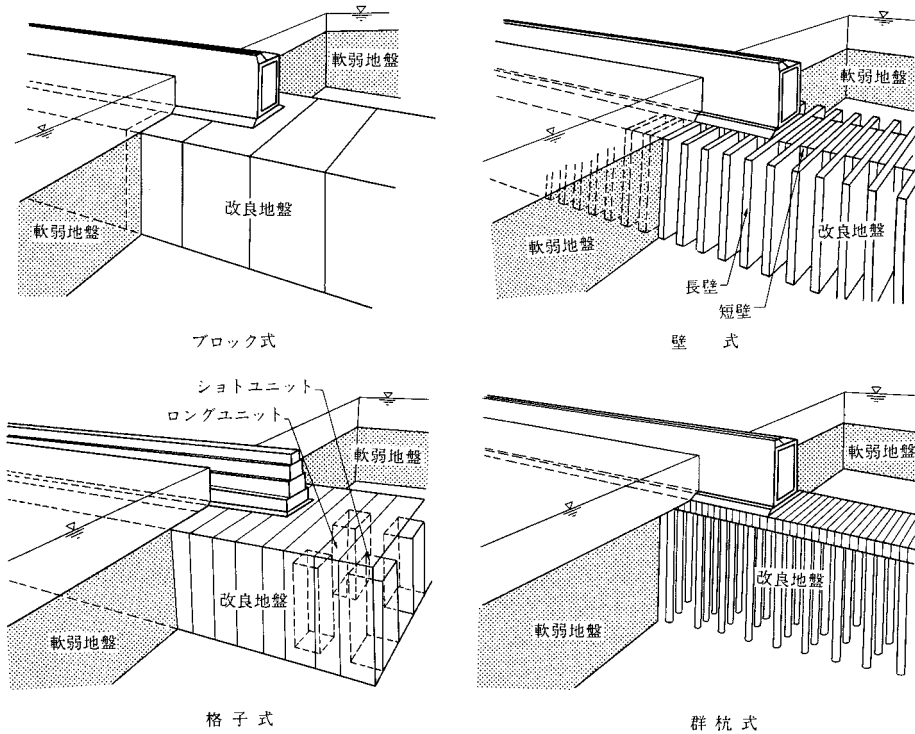


図-3 深層混合処理工法の改良パターン

地中構造物としての設計では安定処理土(実改良部分)の許容応力度をコンクリートの考え方に準じ、この場合の現場条件を考慮して割引率(安全率)を定めている^{9),10)}。しかし、安定処理土はコンクリートほど高強度ではなく、また、人命に直接関係する構造物として使われるわけでもないの、さらに安全率を下げてよいのかもしれない。

一方、改良ブロックの内部応力に関しては通常危険とされる外力条件では律し切れず、定常状態より危険に

なる場合のあることが指摘され、遠心力荷実験による研究が進んでいる^{11),12)}。

格子式および壁式のパターンでは複合地盤としての応力集中などを考慮してブロック式的设计法をモディファイした方法が示されている^{9),10)}しかし、現場における荷重実験工事(図-4参照)^{13),14)}からこの設計法は十分に安全であることが確かめられており、より合理化できる可能性を示している。このため、たとえば壁の支持力に相互の干渉効果を取り入れる必要が指摘され、遠心力載

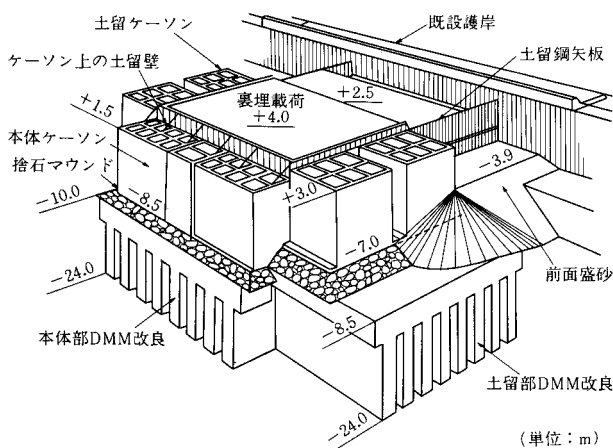


図-4 DMM 実験体の概念図

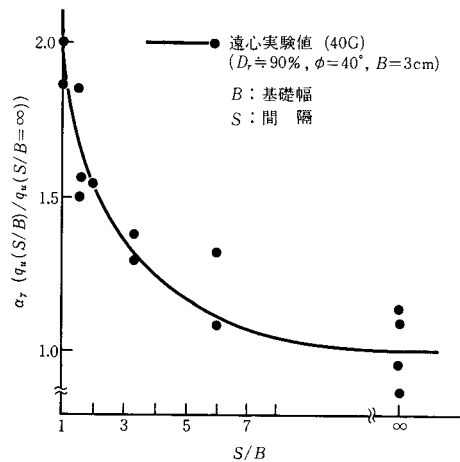


図-5 α_γ と S/B の関係 (40 G)

荷実験等による研究が進んでいる（図—5 参照）¹⁵⁾。

杭式のパターンでは円形すべりによる安定の検討にとどめることが多い。しかし、斜面部のようにせん断応力が卓越するところや改良強度が大きい場合にはこれで十分かどうか不安が残る^{16), 17)}。早急に実績を整理解析し理論づける必要があろう。

(2) 圧密沈下の推定

深層混合処理工法による改良地盤は圧縮性も小さい¹⁸⁾。しかし、面積比の小さい複合地盤では未改良部分の影響で沈下も大きくなる。これを的確に推定し、圧密速度を求めるために一連の研究が進み¹⁶⁾、実用上は十分な手法が確立されたといえよう。ただし、今後、さらに現場実績を積み重ね、十分な検証を行う必要はあろう。

(3) 地震時の挙動

わが国では構造断面が地震時の条件で決まることが多い。従来 of 工法による改良地盤では地震力を考慮した円形すべりは行わないのが一般的であり、これまでの経験からもほぼ妥当とされている。

しかし、深層混合処理工法による改良地盤を地中構造物とみなせば、地震時の安定を検討する必要性が生じてくる。最も安全側をとれば設計震度で質量を掛けたマスマフォースと地震時の土圧を考慮すればよいであろうが、かなり不経済である。どの程度 of マスマフォースと土圧をとればよいかを目標に、地震時の改良地盤の挙動が模型振動実験、現地観測、数値解析等で研究されている^{19)~23)}。近い将来、想定地震動をもとに応答計算を行い、適切な外力や応答特性を求める手法が確立されるであろう。

(4) 施工上の課題

深層混合処理機が1回の操作で造成するのは1本の柱であり、壁やブロックを形成するためには施工に際して常に接合性の問題がつかまとう。接合面が連続し、かつ欠陥をもたないためには位置が正確かつ動揺のないことが条件となる。また

直前に施工した部分が固まり切らないうちに接合させる必要がある。このようにみえてくると、普通ポルトランドセメントを用いる通常の施工では初期強度が大きくなりすぎて接合面に不安が残る。特に海上工事のように作業船の動揺があり、しかも深度が大きい場合にはなおさらである。

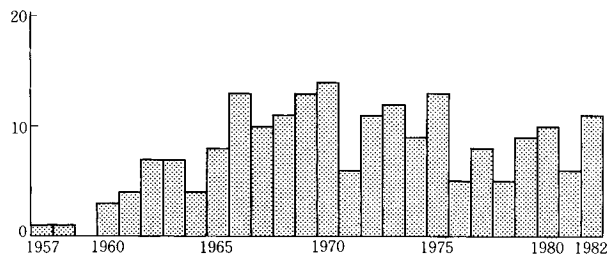
そこで初期強度をできるだけ抑え、しかも終期強度は所定の値となる遅効セメント、または遅延材の開発が望まれる。これらについてはすでにいくつかの研究があり^{24)~27)}、実際工事でも広島や横浜で試験的に施工されている。

一方、初期材令では反応熱による温度上昇がかなりのものとなり、その解析が進められている²⁸⁾。また、初期材令での処理土の特性も施工性と密接な関係があるので、研究が進んでいる²⁹⁾。

5. 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工法はわが国で独自に開発された工法ではあるが、深層混合処理工法に比べれば長い25年の歴史をもつ。当初は緩い砂質土地盤の締固めに用いられた本工法も最近ではむしろ粘性土地盤に適用されることが多く、しかも全地盤改良工法のうちで主流を占めるに至っている。

深層混合処理工法の場合にならって「複合地盤に関する文献目録」²⁾から年間の論文数を拾ってみると図—6の



表—3 複合地盤のせん断抵抗力の取り方³⁰⁾

地盤の考え方	$K_2 + M \cdot \sigma_z$	a_s の範囲
① 砂と粘性土の複合地盤	$(1-a_s)(C_0 + \mu_c \cdot \sigma_z \cdot \Delta C / \Delta P \cdot U) + (\gamma_s \cdot Z + \mu_s \cdot \sigma_z) a_s \tan \phi_s \cdot \cos^2 \theta$	$a_s \geq 10 \sim 30\%$
② 一様な砂地盤	$(\gamma_m Z + \sigma_z) \tan \phi \cos^2 \theta$ ($\phi = 30^\circ$ or 35°)	$a_s \geq 70\%$
③ 砂地盤 (砂杭の ϕ_s より換算した ϕ_m をもつ砂地盤)	$(\gamma_m Z + \sigma_z) \mu_s a_s \tan \phi_s \cos^2 \theta$	$a_s \geq 70\%$
④ 砂質粘土 (ϕ_m, C をもつ地盤)	$(1-a_s)C_0 + (\gamma_m Z + \sigma_z) \mu_s a_s \tan \phi_s \cos^2 \theta$	$a_s \geq 30\%$

ここに τ : 単位面積当たりせん断抵抗力 γ_s, γ_c : それぞれ砂杭, 粘性土の単位体積重量, $\gamma_m = a_s \gamma_s + (1-a_s) \gamma_c$
 a_s : 置換率 A_s/A ϕ_s : 砂杭の内部摩擦角
 C_0 : 原地盤 (粘性土) の粘着力 θ : すべり面が水平面となす角
 μ_s, μ_c : 応力集中 (低減) 係数 A_s : 砂杭の面積 A : 砂杭と粘性土の面積
 m : 応力分担比, $m = \sigma_s/\sigma_c$ Z : 改良地盤上面からすべり面までの深さ
 σ_s : 改良地盤上面の平均荷重 $\mu_s = \frac{\sigma_s}{\sigma_c} = m / \{1 + (m-1)a_s\}$ $\mu_c = \frac{\sigma_c}{\sigma} = 1 / \{1 + (m-1)a_s\}$
 C/P : 強度増加率 σ_s : 砂杭の応力 σ_c : 粘性土の応力 σ : 平均応力
 U : 平均圧密度

ようである。前者に比べ、緩やかに研究の進展していることがわかる。以下、主な研究成果と残された課題を眺めてみよう。

(1) せん断抵抗力の取り方

締まった砂杭と軟弱な粘性土から成る複合地盤の設計におけるせん断抵抗力の取り方には表-3に示す4通りほどの考え方がある³⁰⁾。ある岸壁について応力分担比 m と砂杭の内部摩擦 ϕ をパラメーターとして円形すべりに対する安全率を計算すると図-7のようになり³⁰⁾、かなりの幅の出ることがわかる。おのおのの計算法にはおのずから適用範囲があるが、その限界は必ずしも明らかでなく、また境界での不連続性の問題が残る。これらを統一し、連続した概念で計算できるようにすることが実用設計上は重要である。

(2) 応力分担比

これまでに土圧計で測定したり、沈下低減係数から逆算した応力分担比は図-8のようであり³¹⁾、おおむね4程度となっている。応力分担比は圧密過程においても変化し、せん断過程においても変わっていくであろうが、設計の観点からは一種のパラメーターとも考えられ、全体としてのバランスから決められるものと割り切れば、必ずしも測定値にこだわる必要はない。ただし、さらに設計の精度を高め合理化するためには、複合地盤の基本に立ち返って検討していく必要がある⁴⁾。

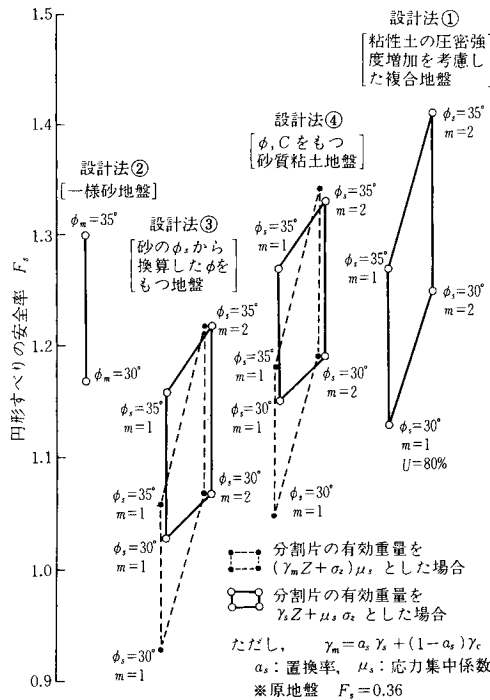


図-7 改良断面の計算結果³⁰⁾

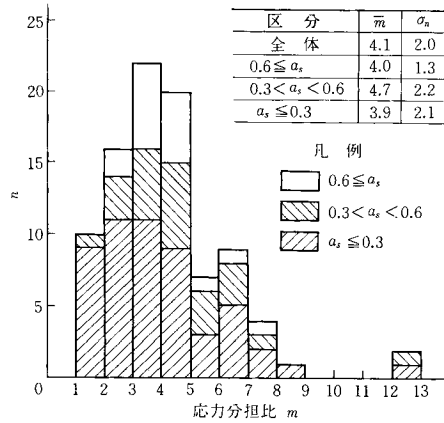


図-8 置換率別にみた応力分担比³¹⁾

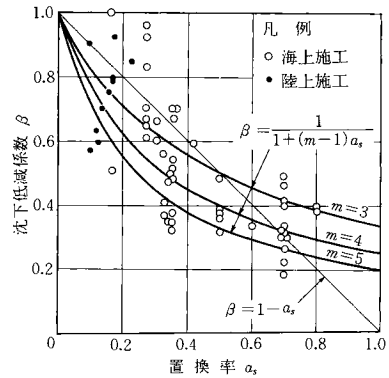


図-9 沈下低減係数と置換率の関係³¹⁾

(3) 沈下低減係数

これまでの実績による沈下低減係数と置換率との関係は図-9のようである³¹⁾。かなりのばらつきがあつて、どの式を用いるか迷うところであるが、一般の沈下計算においても20~30%の誤差があるといわれており、やむを得ないところであろう。

(4) 打設に伴う乱れと回復

砂杭の打設に伴う周辺地質の乱れは図-10のようであり³¹⁾、改良域内よりも域外で著しい。域外で乱される範囲はおおむね下端より45°の斜面内であるとされている³¹⁾。図から強度の回復には1~3か月を要することになり、性急な施工には注意が必要である。

(5) 盛り上がり土の問題

図-11は実績による盛り上がり率とパイル長との関係である³⁰⁾。甚だしい場合には投入砂量の80%が盛り上がりとなって現われることになり、施工上は大きな問題となる。以前は盛り上がり土を撤去することが多かったが、再改良してそのまま使用する試みも多くあり、詳細な調査によつてもその安全性が示されている³²⁾。

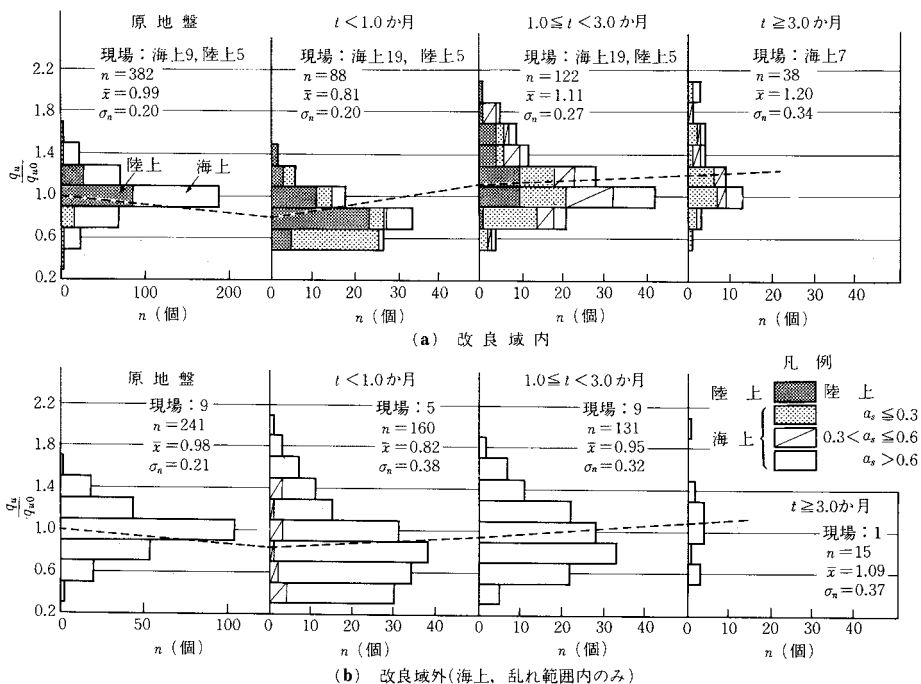


図-10 打設による地盤の乱れと回復³¹⁾

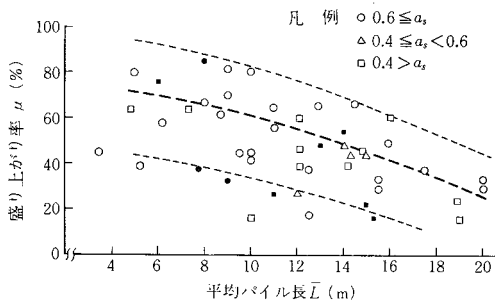


図-11 盛り上がり率 (μ) と平均パイル長 (\bar{L}) の関係³⁰⁾

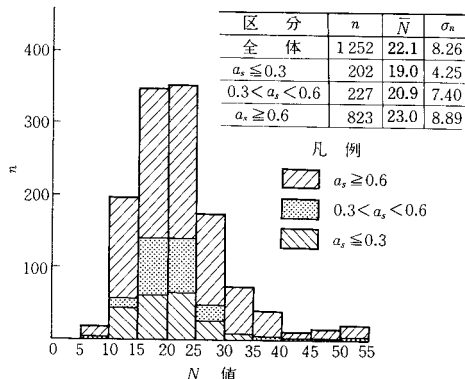


図-12 杭心 N 値の分布³¹⁾

(6) 砂杭の強度

実績による杭心の N 値は図-12のように分布している³¹⁾。これらの値から設計上の内部摩擦角は 30~35° としていることが多い。

(7) 要因分析

円形すべりに対する安全率には種々のパラメーターが影響するが、その度合はそれぞれに異なる。通常の変動範囲で何が最も影響するかの研究によれば³¹⁾、第1には砂杭の強度であり、置換率が小さくなると応力分担比や圧密による強度増加が効いてくるとされている。

以上、総合的に実用上は差し支えない程度に設計方法は確立されているといえようが、さらに合理化を進めるためには基本に立ち返った詳細な研究が必要となろう。

6. パーチカドレーン工法

パーチカドレーン工法はわが国に導入されてからでも 33 年の歴史をもち、最も完成された工法の 1 つといえよう。これまでの研究成果は吉国によってよくまとめられている³³⁾。

にもかかわらず、パーチカドレーン工法が完全に信頼性を得ているわけではない。打設に伴う周縁汚染 (smeared zone) の問題、水平と鉛直との圧密係数の比率などである。以下、サンドドレーン工法とプラスチックドレーン工法のおのおのについて最近の動向を眺めてみよう。

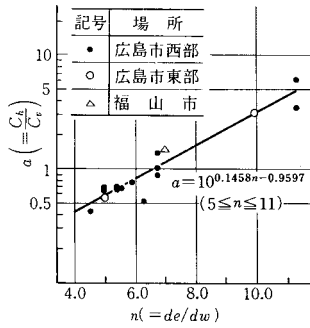


図-13 $n \sim \alpha^{34)}$

(1) サンドドレーン工法

網干らは広島地域の実施例から、有効円とサンドパイクルとの径の比 n 、および水平と鉛直との圧密係数の比 α の関係を求めた (図-13 参照)。ドレーンの間隔が狭くなると周縁汚染の影響が強くなり現われることがわかる³⁴⁾。

一方、サンドドレーンのバリエーションとしてファブリックドレーンが普及してきた。通常のサンドドレーンでは砂切れの起こるおそれがあるので、メッシュ布で砂柱を包み、これを防ごうとするものである。この場合、砂切れの可能性とメッシュ布の効果を量的に評価することが困難であり、効果を工費に換算することが難しい。

(2) プラスチックドレーン工法

スウェーデンから導入されたペーパードレーンはカードボードの目詰りなどの欠陥が目立ち、現今ではほとんど使われなくなった。代わって合成樹脂製のプラスチックボードを用いたプラスチックドレーンが出回り、数種類を数えるようになった。これらのおおのの効果にどの程度差があり、どれが適しているかは実務者にとって興味深い。嘉門らの研究が参考になる³⁵⁾。

7. その他の地盤改良工法

(1) 真空圧密工法

真空圧密工法は大気圧工法ともよばれ、バーチカドレーン工法において载荷の代わりに真空をかけ、大気圧と水圧とを圧密荷重として利用する工法である (図-14

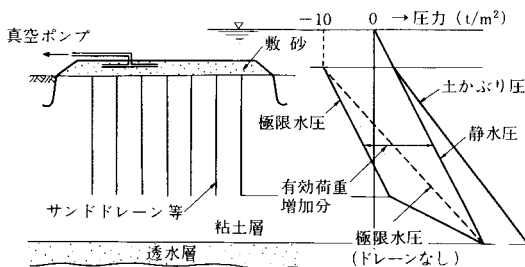


図-14 真空工法説明図

参照)³⁶⁾。軟弱地盤においても破壊のような安定上の問題が起こらないので、バーチカドレーンで一般的な段階载荷の必要もなく、工期は短縮される。また、载荷に伴う海水の濁りなど、建設公害の面でも有利である。なお図-14でわかるように、水深が大きくなると有効な载荷重も大きくなり、大水深の軟弱地盤で工法の特徴が生きてくるものと思われる。

真空圧密工法は海上での本工事例はまだないが、同じ原理に基づく中立応力低下工法を含めて埋立地などでは盛んに用いられるようになり、これに伴う研究も数多くある^{31), 32)}。しかし最近の研究によると³³⁾、真空圧密によるものは载荷による圧密とは異なり、圧密係数が低下すること、等方圧密になること、などから強度増加が小さく、含水比変化との関係が同一でないなどが報告されており、今後さらに研究を進めていく必要があらう。

(2) 生石灰杭工法

生石灰の消化作用を利用して土の含水比を低下させ、強化増加や沈下阻止効果を計る生石灰杭工法は埋立地を中心に陸上工事で多く使われている。

本工法の設計には当初、多少の混乱があったが、その後、単純で明解な方法も提案されている³⁴⁾。しかし、石灰杭と粘土地盤との接触部で起こるポゾラン反応や熱による蒸発の効果などを的確に評価して設計に取り入れることなど、今後に残された課題も多い。

8. その他の軟弱地盤対策

初めに述べたように、地盤改良以外の軟弱地盤対策としては、構造物の幅を広げたり、構造物そのものを軽くしたりする方法があり、従来より種々の工夫がなされている。

構造物そのものを軽くするにも種々の方法がある。浮基礎はその一種で、従来からも行われてきたが、最近、軟弱な埋立地などで残留沈下に対処する方法の1つとして再認識されている。この場合、上部構造は頑丈にする必要があるが、基礎地盤の処理費が節約できるので全体として安価になる余地は多い。

擁壁や岸壁の裏込めに高炉水滓などの軽量材を用いることも試みられている。発泡スチロールをセメントで固めた軽量コンクリートをマレーシアの岸壁工事に応用した例もあり、この場合の単位体積重量は水より軽い0.9 tf/m³であった。

横方向の力にも対処しなければならない構造物では軽くすることにも限度がある。重量に基づく摩擦抵抗が減少して横方向力に耐えられないからである。この場合には横方向力を減らすように裏込めを軽くしたり、短い杭を打って横抵抗を増すなどの方策が考えられる。軟弱地盤上の小型の防波堤で後者の方策を併用した軟着底式防

波堤の試みなどもある。

最近、ジオテキスタイルという言葉をよく耳にする。Geotechnical textilesの意味である⁴¹⁾。昔、軟弱地盤対策によく用いられたソダ沈床、埋立地における表層処理としてのシートやネット、フランスから導入された補強土工法など、引張りに弱い土を補強したり、排水の目的に使ったりする有機化学材料の総称で、新しい軟弱地盤対策として最も脚光を浴びている⁴²⁾。国際ジオテキスタイル学会も設立されており⁴²⁾。メカニズムの解明や設計法の検討が進んでいる^{42), 43)}。

9. あとがき

新しく開発された工法は実用に急で、設計法や施工法の確立が遅れがちである。軟弱地盤対策工法は土質工学の力を借りて進歩・発展していかなければならないが、新しい工法は新しい問題点を含んでいることが多い。こうして土質工学は新しい課題を与えられることになる。

建設工事において軟弱地盤に遭遇する機会は世界でもわが国が最も多い。このため、最近は新しい工法の開発とこれに関連する研究がわが国で最も活発になっている。この傾向は将来とも変わることはないと考えられ、わが国の実情に即した独自の技術開発を進める必要性はますます高まり、さらにこれを世界に普及する責務があるといえよう。

軟弱地盤対策工法の開発と合理化を進めるうえで共通的にネックとなっている課題の1つに地盤調査技術がある。調査位置を正確に定め、改良地盤に即した試料採取を行い、地盤の変形や応力を正しく測定することは常に要請されるが、現状では十分な精度があげられない。最新のセンサー技術を応用し、精度の高い測定を行うシステムの開発が望まれる。

参考文献

- 1) 奥村樹郎, ほか: 土質工学ハンドブック (1982年版), 第23章, 土質安定処理, pp.995~1076, 土質工学会, 1982.
- 2) 土質工学会・複合地盤の強度および変形に関する研究委員会: 複合地盤に関する文献目録, 85 p., 1984.
- 3) 村山朔郎: 粘性土に対するヴァイプロ・コンポーザー工法の考察, 建設の機械化, No.150, pp.10~15, 1962.
- 4) 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, 170 p., 1984.
- 5) 奥村樹郎, ほか: 複合地盤の強度および変形に関するシンポジウム概要, 土と基礎, 32巻2号, pp.100~104, 1985.
- 6) 奥村樹郎, ほか: 石灰による深層混合処理工法 (第3報), 港湾技術研究所報告, 13巻2号, pp.3~44, 1974.
- 7) CDM研究会: セメント系深層混合処理工法 (CDM) 設計と施工マニュアル, 58 p., 1984.
- 8) 中村龍二: セメントスラリーを用いた深層混合処理工法, 埋立と浚渫, No.78~79, 1977, 1978.
- 9) 奥村樹郎: 深層混合処理工法の設計と今後の課題, 第36回土木学会年次学術講演会研究討論会 (軟弱地盤におけるサンドコンパクション工法および深層混合工法の問題点) 資料, pp.32~38, 1981.
- 10) 寺師昌明, ほか: 深層混合処理工法の実際と問題点, 土と基礎, 31巻, 6~8号, 1983.
- 11) 寺師昌明, ほか: DMM改良体と未改良土との相互作用 (第1報), 第20回土質工学研究発表会講演集, No.622, pp.1635~1638, 1985.
- 12) 寺師昌明・北詰昌樹: 着底型壁状深層混合処理地盤の設計外力, 複合地盤の強度および変形に関するシンポジウム論文集, pp.75~82, 1984.
- 13) 奥村樹郎・矢島道夫: 海底の軟弱粘土の地盤改良に関する現地実験, 深層混合処理工法, 土木学会誌, 69巻3号, pp.34~36, 1984.
- 14) 矢島道夫・寺師昌明: 壁状深層混合処理地盤の実大載荷実験, 複合地盤の強度および変形に関するシンポジウム論文集, pp.67~74, 1984.
- 15) 寺師昌明, ほか: 密な砂地盤上の浅基礎の干渉効果, 第20回土質工学研究発表会講演集, No.394, pp.1023~1026, 1985.
- 16) 寺師昌明・田中洋行: 深層混合処理工法による杭状改良地盤の支持力および圧密特性, 港湾技術研究所報告, 22巻2号, pp.213~266, 1983.
- 17) 千田昌平, ほか: 模型複合地盤の載荷試験, 複合地盤の強度および変形に関するシンポジウム論文集, pp.41~46, 1984.
- 18) 寺師昌明, ほか: 石灰安定処理土の基本的特性に関する研究 (第1報), 港湾技術研究所報告, 16巻1号, pp.3~28, 1977.
- 19) 稲富隆昌, ほか: 深層混合処理工法による壁状改良地盤の耐震性に関する実験的研究, 複合地盤の強度および変形に関するシンポジウム論文集, pp.91~98, 1984.
- 20) 鈴木吉夫, ほか: 深層混合処理工法による複合地盤の地震時の挙動および安定計算のための外力の簡便な計算法に関する試案, 同上, pp.99~106.
- 21) 風間基樹, ほか: 深層混合処理工法による格子式改良地盤の地震時挙動, 港湾技術研究所報告, 22巻4号, pp.141~179, 1983.
- 22) 稲富隆昌, ほか: 深層混合処理工法による壁状改良地盤の耐震性に関する実験的研究, 同上, 22巻3号, pp.207~251, 1983.
- 23) 稲富隆昌, ほか: 深層混合処理工法による改良地盤の地震時挙動, 同上, 21巻4号, pp.83~129, 1982.
- 24) 吉良欣一, ほか: 中庸熱系セメントの強度発現特性に関する一考察, 第20回土質工学研究発表会講演集, No.656, pp.1717~1718, 1985.
- 25) 深谷一夫, ほか: 横浜港海底軟弱土に対するスラグ系改良材の適用性, 第19回土質工学研究発表会講演集, No.655, pp.1661~1664, 1984.
- 26) 万波一郎, ほか: 大阪港海底軟弱土に対するスラグ系改良材の適用性, 同上, No.657, pp.1667~1668.
- 27) 中嶋剛介, ほか: 深層混合処理工法用速効性固化材の特性, 同上, No.640, pp.1623~1624.

- 28) 馬場先亮一, ほか: 深層混合処理工法による改良土の熱特性および改良地盤の温度解析, 温度応力解析, 複合地盤の強度および変形に関するシンポジウム論文集, pp. 27~32, 1984.
- 29) 田中俊昭, ほか: セメント系安定処理土の初期材令における諸特性, 同上, pp. 33~40.
- 30) 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, 第36回土木学会年次学術講演会研究討論会資料, pp. 39~43, 1981.
- 31) 一本英三郎・末松直幹: サンドコンパクションパイル工法の実際と問題点(3)—総括一, 土と基礎, 31巻5号, pp. 83~90, 1983.
- 32) 松尾 稔, ほか: 海底の軟弱粘土の地盤改良に関する現地実験, SCP工法, 土木学会誌, 69巻3号, pp. 37~39, 1984.
- 33) 吉国 洋: パーチカドレーン工法の設計と施工管理, 208p., 技報堂出版, 1979.
- 34) 網干寿夫, ほか: サンドドレーン打設による圧密係数の変化, 第19回土質工学研究発表会講演集, No. 619, pp. 1573~1574, 1984.
- 35) 嘉門雅史・伊藤 譲: プラスチックボードドレーンの機能に関する研究, 同上, No. 620, pp. 1575~1576.
- 36) 中瀬明男, ほか: 分りやすい基礎工法, 第7章, 地盤改良工法, pp. 134~209, 鹿島出版会, 1985.
- 37) 佐々木伸, ほか: 中立応力低下による海底地盤の改良, 土木学会論文報告集, No. 214, pp. 9~15, 1973.
- 38) 佐々木伸, ほか: 中立応力低下による地盤改良実験, 土と基礎, No. 197, 1974.
- 39) 小林正樹・土田 孝: 錦海湾における真空圧密工法現地実験, 港湾技研資料, No. 476, 28p., 1984.
- 40) 奥村樹郎: 生石灰杭工法の設計法について, 第11回土質工学研究発表会講演集, No. 278, pp. 1097~1100, 1976.
- 41) 山内豊聡: 日本におけるジオテキスタイルの発達, 土と基礎, 33巻5号, pp. 3~8, 1985.
- 42) 土質工学会: ジオテキスタイルを用いた工法, 土と基礎, 33巻5号, 1985.
- 43) Rowe, R. K.: Reinforced embankments, Analysis and design, Proc. ASCE, Vol. 110, No. GE 2, pp. 231~246, 1984.

(1985.6.3・受付)