

深層混合処理の施工に伴う周辺地盤変位の メカニズムと変位予測についての考察

平出 亜・柿原芳彦

On the Mechanism and Evaluation of Lateral Displacement during Activities of Deep Mixing Stabilization

Akeshi Hiraide and Yoshihiko Kakihara

Abstract

The ground displacement of the neighboring construction with deep mixing soil stabilization is a major problem upon constructions in the neighboring area. It is possible to qualitatively define the factors of displacement based on existing studies. However, since it is extremely difficult to quantitatively understand the displacement factors at the current stage, it becomes difficult to forecast the displacement level prior to construction. When, for example, conducting an FEM analysis we must suggest several hypotheses to quantify the causative factors in numerical terms. This study reviews the displacement factors based on several experimental construction data to define neighboring ground displacement upon construction after deep mixing soil stabilization. As a result of the review, we found that the prevalent displacement factor during deep mixing soil stabilization by the slurry method was due to mud pressure affecting the neighboring ground since the soil inside the improved pile turned muddy. Based on this conclusion, it is possible to explain the relationship between the difference in displacement and the relation between water cement ratio and displacement. We also reviewed the methods to implement the factors upon conducting an FEM analysis to forecast the displacement level and thus, arranged the review procedures of neighboring constructions.

要 旨

深層混合処理の施工に伴う周辺地盤変位は、近接施工時の重要な問題である。既往の研究により、変位の要因を定性的に述べることは可能である。しかし、変位の要因を定量的に把握することが困難なため、現状では、施工前に変位を予測することは難しい。例えば、FEM解析を行う場合においても、要因を数値化するときいくつかの仮定をしなければならない。本報文は、深層混合処理の施工時の周辺地盤変位に関する、いくつかの試験施工データをもとに、変位の要因について検討したものである。検討の結果、スラリー系深層混合処理における支配的な変位の要因は、改良杭内部の泥土化した土による、周辺地盤への土圧の作用であることが判った。この結果をもとに、変位の累積性、水セメント比と変位の関係を説明することができる。また、FEM解析によって変位予測を行う場合の、要因の導入のしかたについて検討し、近接施工時の検討手順について整理した。

1 まえがき

深層混合処理工法^{*)}は、軟弱地盤上に施工される各種構造物の安定・沈下対策、掘削施工時における底面地盤の安定性確保や変形・止水対策、また、液状化対策や近接構造物への防護工等として広く適用されている。この工法は、原位置においてセメントなどの安定材と土とを攪拌翼などで強制的に混合し、化学的な反応により土質性状を改善するものである。施工時においては、サンドコンパクションパイル工法などの締固めを伴う（物理的な）ものに比べ、周辺地盤に与える影響は少ないと考えられている。しかし、影響が全くない訳ではなく、施工時に周辺地盤や近接構造物に変位を生じさせることは、文献事例等によっても明らかである。このことは、特に都市域における近接施工の場合には重要な問題であり、変位の発生メカニズムをもとにした事前の影響予測、あるいは対策の検討が要求される。現在、変位予測においては、FEM解析あるいは、計測データの回帰分析による変位予測式の利用がなされている。しかし、深層混合処理の施工時の変位の発生メカニズムに関しては、不確定で定量化しづらい多くの因子が関連し、主要因の分析・単純化による事前予測は容易でないのが現状といえる。

本報文では、深層混合処理の施工に伴って生じる周辺地盤の変位についての試験施工結果をもとに、変位発生メカニズムについて検討した。また、この試験施工の結果と既往の変位予測の考え方、ならびに近接施工における取り組みの事例を参考に、FEM解析による変位予測、および、近接施工における考え方について考察した。

2 変位の要因および変位予測に関する既往の研究

2・1 変位の要因についての考え方

深層混合処理工法による改良杭の施工時に、周辺地盤あるいは近接構造物に影響を与える要因は、以下のように考えられている。また、発生する変位の大きさは、図-1に示すように種々の要素に影響されると考えられる。

* 本報文における深層混合処理工法は、機械式攪拌によって安定材と土とを混合する工法を対象とし、高圧噴射を用いて安定材を混合・置換する工法は除く。機械式攪拌による工法において、安定材をスラリー状にして供給するものをスラリー系、粉体で使用するものを粉体系と区別することにする。また、報文の内容としては陸上施工を対象とした。

- ① 攪拌軸の地盤内への挿入に伴う体積増加
- ② 安定材の投入による体積増加
- ③ 安定材との攪拌混合により泥土化した杭内部の土が周辺地盤に与える土圧
- ④ 攪拌軸の先端部分から安定材を噴射あるいは吐出する際の圧力、および粉体系において安定材を搬送する圧縮空気が地中に残留・充満することによって生じる圧力の作用
- ⑤ 施工機械の荷重

これらの中で支配的な要因は①と②の体積増加、および③の土圧の作用と考えられる。しかし、いずれも施工のプロセスと施工に伴って生じる現象をもとにした定性的な考えであり、定量的に把握されているものではない。個々の要因については、以下のように考えられる。

①と②に示した体積増加については、攪拌軸や投入する安定材の容積は求められるが、実際の施工では攪拌軸の貫入・引抜きの際に地盤内の土が地上へ排出され、この盛上り土量は地盤条件や施工条件によって様々であることから、どれだけ体積増加が見込めるかは定かでない。例えば、スラリー系ではスラリー投入量に対し70～80%が盛上り土として排出された事例もあれば、盛上り土が全く見られないケースもある。しかし、後者のケースでは比較的大きな地盤変位が確認されており、体積増加は周辺地盤変位の大きな要因と考えられる。

③については、粉体系とスラリー系では攪拌直後の改良杭内の土の状態は異なり、スラリー系のほうが泥土化の程度が大きく、粉体系に比べて大きな土圧を周辺地盤に与えるものと考えられる。後に述べるように、スラリー系における変位予測の事例では、攪拌直後の杭内の土を液体とみなし、杭内の土の静止土圧係数 K_0 を1.0と仮定し、周辺地盤へ作用する土圧を求め、FEM解析による変位予測を行っている。

④の安定材を供給する圧力については、粉体系において通常用いられている空気圧縮機の能力は7.0～9.8 kgf/cm²であり、スラリー系では、3章に述べる試験施工時において、通常施工時のポンプの圧力計は5～7 kgf/cm²を示していることを確認した。よって、いずれの工法においても、施工時の安定材の供給に伴う、攪拌軸先端部分において地盤に作用する圧力は、5～10 kgf/cm²程度であると考えられる。粉体系では、地中に残留する圧縮空気をエア回収孔によって回収することで周辺地盤への影響を低減できることから、安定材を搬送する空気量や圧力も要因としての比重は大きいと考えられる。

⑤について、小野ほか(1986)は施工機械の荷重によっ

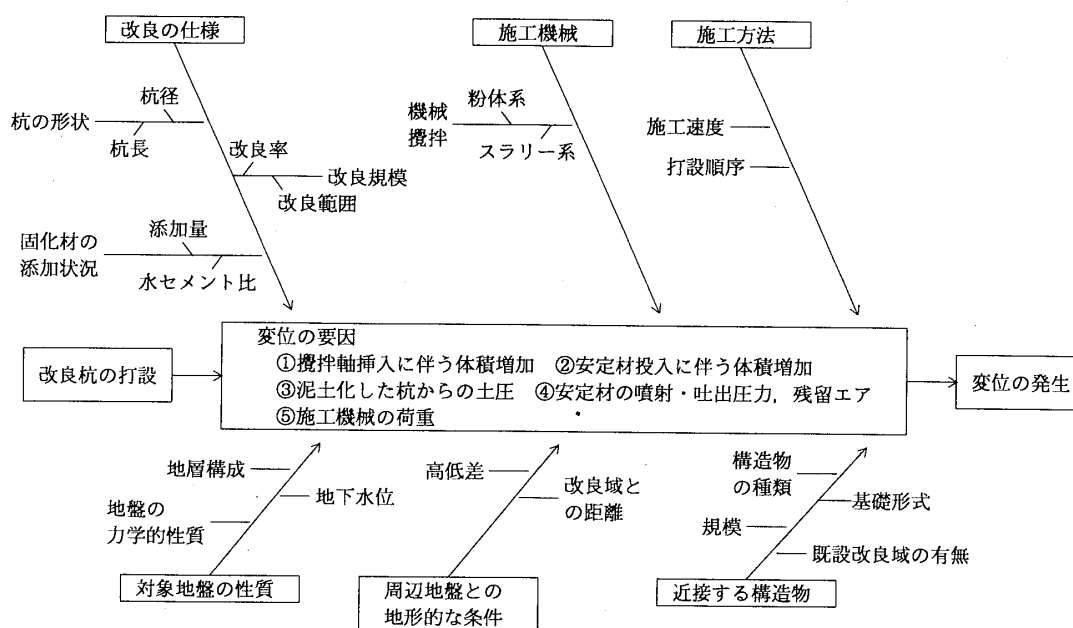


図-1 深層混合処理施工による周辺地盤変位を与える要因

Fig. 1 Factors of lateral displacement due to deep mixing soil stabilization

て僅か（数mm）であるが、地中変位が生じるというデータを示している。

2・2 変位予測の事例

これまでの変位予測の事例には、変位予測式を用いるものや、FEM解析によるものがある。それぞれの予測手法について代表的な事例を表-1と表-2に示す。これらの表中には、サンドコンパクションパイル工法（以下、S. C. P工法と記す）に関するものも加えた。

2・2・1 変位予測式の利用

変位予測式は、地盤変位に関連する種々の要素（改良長さや改良範囲、施工域と予測地点との位置関係等）をパラメータとし、これらと変位量との関係を表したものであり、主に地表面の水平変位の予測式として検討されている。予測式を導き出す際には、パラメータの選択と関数形の推定、回帰分析による未定定数の決定という過程を踏む。回帰分析は実測データが基礎となる。実測データは個々の施工条件や地盤条件によって異なるため、予測式は個々の現場に応じて、場合によっては試験施工の実施により導き出すことになる。

予測式を用いる変位予測は簡便であり、予測式の適用範囲内であれば良い精度が期待できると考えられる。今後のデータの蓄積により、パラメータの重み付け、関数形の工学的な検討、およびこれらと地盤条件や施工条件との対応がなされることで、凡用性が高まるものと考え

られる。

2・2・2 FEM解析による変位予測

FEM解析では、解析モデルにおいて改良域から周辺地盤に荷重を作用させ、断面二次元線形弾性解析による変位予測が行われている。

解析に導入する荷重は、変位発生要因を考慮したものとする必要がある。スラリー系深層混合処理工法の場合、以下のような荷重を仮定し、解析を行った例がある。

（Hirai et al, 1996など）

- ① スラリー注入時の体積膨張による増加水平土圧
- ② 攪拌翼による攪拌によって生じた改良杭内部の土の流動化に伴う増加水平土圧

これらの荷重の算定式を図-2に引用して示す。①の荷重は、注入するスラリーの体積分だけ改良杭が膨張すると仮定し、(3)式と(4)式より求めた膨張量 γ を、杭の水平方向の地盤反力を求める(1)式に代入することで算出している。②については、スラリー系における打設直後の杭内部の土は、スラリーとの混合・攪拌によって流動性の高い泥土状になっているとの想定から、杭内部の土の静止土圧係数 K_0 を1.0と仮定し、(5)式と(6)式によって外力を算定している。

スラリー系の工法では、変位抑制を目的とした排土式工法がある。これは、オーガスクレーを取り付けた攪拌軸を用いることで、攪拌軸を地盤に挿入する際に、投入するスラリーの体積に見合うだけの土を地表へ排出

表-1 深層混合処理工法およびS. C. P工法における水平変位予測式に関する研究例

Table 1 Examples of empirical equations of lateral displacement due to activities of deep mixing method and sand compaction method

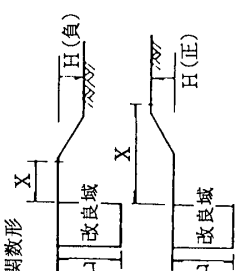
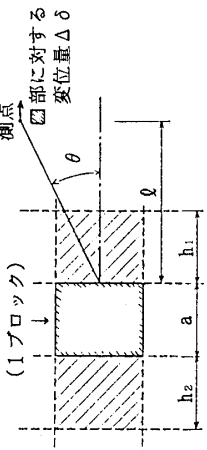
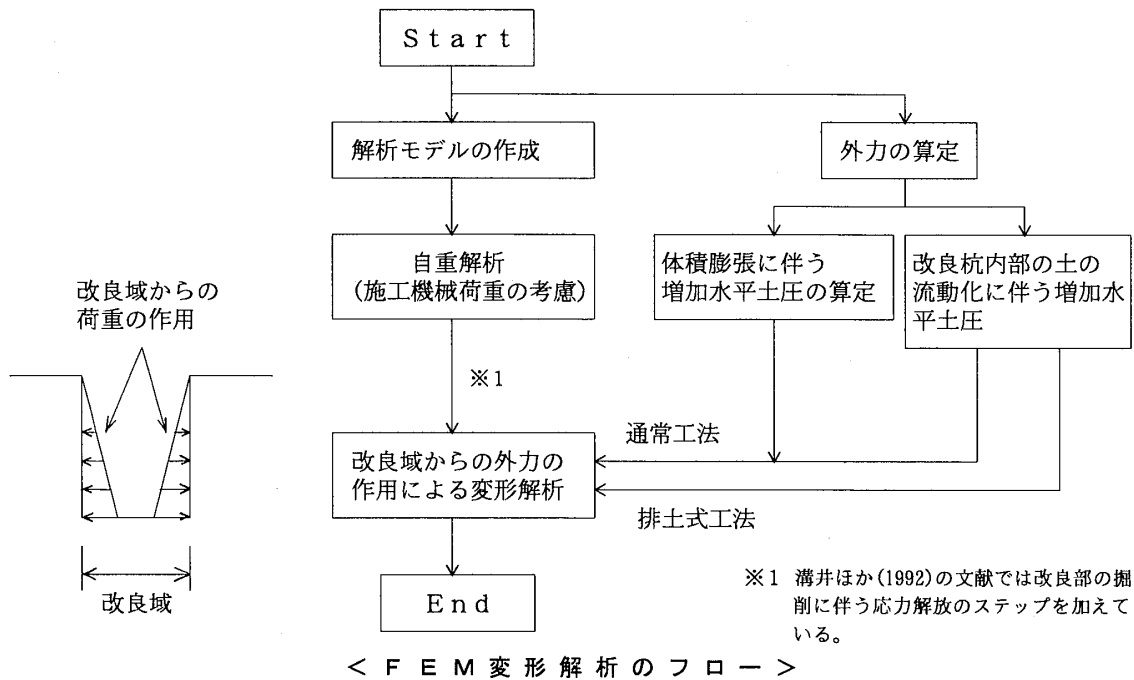
工 法	予測式の種別	予測式のパラメータ (とりあげられている変位の要因)	予測式における関数形の選択	変位予測式	引用文献
深層混合処理工法 (粉体系)	<ul style="list-style-type: none"> 地表面水平変位予測式 改良域からの距離～水平変位の実測データをもとにつく予測式 	<ul style="list-style-type: none"> $d_0 = f_1(a_p, H, w)$ d_0: 改良域境界の水平変位 (cm) a_p: 改良率 (%) H: 改良域との高低差 (m) w: 6L-5mまでの平均自然含水比 (%) $\lambda = f_2(L, w)$ λ: 変位の距離減衰に関する係数 L: 改良深度 (m) <p>重回帰分析により、変位と距離減衰に影響する要因を選択</p>	<ul style="list-style-type: none"> 改良域境界の変位d_0に対し、改良率a_p、高低差Hは一次、wは$\log(w)$の関数形 距離減衰λに対し、改良深度Lは一次、含水比wは$\log(w)$の関数形  <p><地形パターンの例></p>	$d = d_0 \cdot \exp(\lambda x)$ $d_0 = 1.63a_p - 34.85H + 31.21 \log(w) - 122.89$ $\lambda = 0.012L - 0.15 \log(w) - 0.072$ d : 改良域からの距離 x における水平変位 (cm) x : 改良域からの距離 (m) 予測式の適用範囲 $a_p \geq 50\%$ $-3m \leq H \leq 0m$ $L \leq 15m$ $w \geq 50\%$	山本ほか (1992)
深層混合処理工法	<ul style="list-style-type: none"> 地中水平変位予測式 地中変位測定データによる予測式 	<ul style="list-style-type: none"> 軟弱層の厚さ D (m) 改良範囲の中心から測点までの距離 ℓ (m) 測点の深度 H (m) <p>水平変位との単回帰分析による因子の絞り込み</p>	水平変位に対し、 D および H は一次、 ℓ は $\ln(\ell)$ または ℓ^{-3} の関数形	$Y = 3.43D - 7.59 \ln(\ell) - 2.60H + 32.4$ または $Y = 3.52D + 7.89 \ell^{-3} - 2.59H + 1.29$ Y : 改良域の中心からの距離 ℓ (m)の深度 H (m)における水平変位	清水ほか (1986)
S. C. P工法	<ul style="list-style-type: none"> 地表面水平変位予測式 水平変位測定データをもとにつく予測式 	$\Delta \delta = f(\ell, \theta, L, a, b, h_1, h_2)$ $\Delta \delta$: 地表面水平変位量 (mm) ℓ : 測点までの距離 (m) θ : 測点との角度 (度) L : S. C. Pの杭長 (m) a : 改良範囲の奥行き (m) b : 改良範囲の幅 (m) h_1 : 改良範囲前面の既改良範囲の奥行き (m) h_2 : 改良範囲後面の既改良範囲の奥行き (m)	$\Delta \delta \propto (\ell / \cos \theta)^{x_4}$ $\Delta \delta \propto a^{x_2} \cdot b^{x_3}$ ($x_2, x_3 \geq 0$), $\Delta \delta \propto L$  <p><パラメータの概念></p>	$\Delta \delta = x_1 \cdot L \cdot a^{x_2} \cdot b^{x_3} \cdot (\ell / \cos \theta)^{x_4}$ $x_1 = 3.5$ $x_2 = 1.0$ $x_3 = 1.5$ $x_4 = -3.0$ ($h_1 = h_2 = 0$) $= -3.1$ ($h_1 \neq 0, h_2 = 0$) $= -2.75$ ($h_1 = 0, h_2 \neq 0$) 適用条件 ・地盤条件: 実測データが得られた地層条件とほぼ同じ、かつ水平成層 ・ $\ell \geq 10m$	池上ほか (1985)

表-2 深層混合処理工法およびS.C.P工法における周辺地盤変位に関する解析例
Table 2 Examples of FEM analysis on lateral displacement due to deep mixing soil stabilization and SCP

工法と解析の形態	近接構造物	解析に考慮した変位の要因	要因の解析上での導入のしかた	解析手法	解析の手順	引用文献
<ul style="list-style-type: none"> 深層混合処理工法 (スラリー系・排土式) 事前予測 	<ul style="list-style-type: none"> 水道管 (φ2650) 防範工としての深層混合処理 	<ul style="list-style-type: none"> 杭内部の土の流動化に伴う水平土圧 	<ul style="list-style-type: none"> スラリーの単位体積重量をもとに算定した側圧荷重を孔壁から周辺地盤に載荷 側圧荷重は杭内部の土の静止土圧係数K_0を1.0と仮定して算出 	FEM 線形解析	<ul style="list-style-type: none"> 打設状況の再現 ①打設部の掘削、②孔壁から周辺地盤への荷重の載荷 <p> T_s: スラリー単位体積重量 H: 改良長 Step1(自重解析)→Step2(水道管左側打設)→Step3(右側) <解析の手順> </p>	鈴木ほか (1995)
<ul style="list-style-type: none"> 深層混合処理工法 計測データの検証 事前予測 	<ul style="list-style-type: none"> 杭基礎に支持される橋台 背面盛土の安定を目的とする深層混合処理 	<ul style="list-style-type: none"> 杭内部の土の流動化に伴う水平土圧 スラリー注入時の体積膨張による水平土圧 	<ul style="list-style-type: none"> スラリーの単位体積重量をもとに算定した側圧荷重を孔壁から周辺地盤に載荷 側圧荷重は杭内部の土の静止土圧係数K_0を1.0と仮定して算出 投入するスラリーの体積から体積膨張に伴う変位を算定し、杭の横方向抵抗力の算定式をもとに増加土圧を算出 (図-2参照) 	FEM 線形解析	<ul style="list-style-type: none"> 打設状況の再現 ①打設部の掘削(解放力)による掘削側への変位 ②孔壁から周辺地盤への荷重の載荷 	薄井ほか (1992)
<ul style="list-style-type: none"> S.C.P工法 計測データの検証 事前予測 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼矢板基礎による護岸 	<ul style="list-style-type: none"> 打設に伴う周辺地盤への応力の作用 	<ul style="list-style-type: none"> 改良部からの荷重の作用 <p><側圧載荷パターン (No. 1~No. 3は地中傾斜計)></p>	FEM 線形解析	<ul style="list-style-type: none"> 荷重の形状を矩形、三角形、逆三角形とし、実測データに近似する荷重形状と大きさを算定 (逆三角形の荷重形状が実測値に近似) ②得られた荷重条件をもとに変位を予測 	池上ほか (1986)
<ul style="list-style-type: none"> S.C.P工法 試験施工結果の検証 変位対策工(変位吸収溝)の効果の予測 	<ul style="list-style-type: none"> 護岸構造物と原油輸送管 	<ul style="list-style-type: none"> 打設に伴う周辺地盤への応力の作用 	<ul style="list-style-type: none"> 改良部から周辺地盤へ膨張ひずみを入力 <p><改良部からの水平ひずみの作用></p>	FEM 線形解析	<ul style="list-style-type: none"> 試験施工における変位計測データに合うような改良部からの膨張ひずみを試行計算 ②構造物と改良部の間に変位吸収溝を設けたモデルにおいて①で求められた膨張ひずみを用い、変位吸収溝の効果とその諸元を決定 	黒崎ほか (1983)



※1 溝井ほか(1992)の文献では改良部の掘削に伴う応力解放のステップを加えている。

<体積膨張に伴う増加水平土圧の算定式>

$$P_1 = k y \quad \dots (1)$$

$$k = \alpha E_o D^{-3/4} y^{-1/2} \quad \dots (2)$$

$$y = r (n - 1) \quad \dots (3)$$

$$2 \left\{ \pi n^2 r^2 - \pi n^2 r^2 \times \frac{\cos^{-1} \left(\frac{1.28 - n^2}{n^2} \right)}{360} + 0.8 r^2 \sqrt{n^2 - 0.64} \right\} - 1.488 = \frac{W_s}{\rho_o} \times 1.488 \quad \dots (4) \times 2$$

- ここに、 P_1 : スラリー注入時の体積膨張に伴う増加水平土圧 (tf/m²)
 k : 横方向地盤反力係数 (tf/m³)
 y : 体積膨張に伴う変位量 (m)
 α : 係数 (m^{-1/2})
 E_o : 地盤の変形係数 (tf/m²)
 n : 膨張後の半径と改良杭の半径の比 (4)式によって求める
 r : 改良杭の半径 (短辺Dの1/2) (m)
 W_s : 安定材スラリーの単位体積当り投入量 (tf/m³)
 ρ_o : 安定材スラリーの密度 (tf/m³)

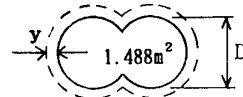
<改良杭内部の土の流動化に伴う増加水平土圧の算定式>

$$P_2 = \sum_{i=1}^n \gamma_{ti}' H_i \quad \dots (5)$$

$$\gamma_{ti}' = \gamma_{ti} (1 - n_w) + W_s \quad \dots (6)$$

- ここに、 P_2 : 流動化に伴う増加水平土圧 (tf/m²)
 H_i : 地層の層厚 (m)
 γ_{ti}' : 安定材の添加と排土式の場合の排土量を加味した単位体積重量 (tf/m³)
 n : 地層数
 γ_{ti} : 湿潤単位体積重量 (tf/m³)
 n_w : 排土式における排土率 ※3
 W_s : 安定材スラリーの単位体積当り投入量 (tf/m³)

※2 (4)式はラップ式の断面形状において導かれた式



※3 排土式において $n_w = 0.23$ を実測値に基づいて用いている。通常工法の場合 $n_w = 1.0$ 。

図-2 スラリー系工法における変位予測のためのFEM解析のフローと荷重算定式 (Hirai et al., 1996 ; 溝井ほか, 1992)

Fig. 2 Flowchart and equation of acting loads for displacement prediction by FEM analysis. (Hirai et al., 1996 ; Mizoi et al., 1992)

Stages of FEM analysis to evaluate lateral displacement due to deep mixing stabilization with slurry, and equations of lateral earth pressure caused by stabilization activities

し、変位の発生を抑制しようとするものである。排土式工法を想定する解析では、②の荷重のみを用い、(5)式と(6)式による荷重の算定では排土率を考慮した土の単位体積重量が用いられている。鈴木ほか(1995)は、地中埋設管に近接する排土式工法の施工に際し、②の荷重を用いたFEM解析による変位予測値が実測値と良く一致したと報告している。

粉体系の工法について、FEM解析を行った事例文献は今のところ得られていない。粉体系では、安定材を搬送する圧縮空気が地中に残留することが変位の主な原因と考えられているが、このことを解析上で表現するのは非常に困難であろう。S. C. P工法の場合には、試験施工で周辺地盤の変位状況を把握し、これをもとに、FEM解析によって改良域から周辺地盤へ作用する荷重の形状と大きさを求め、本施工時の変位予測を行った例がある。(池上ほか, 1985) 粉体系の工法のように荷重の設定が困難な場合、このような試験施工の結果をもとに解析を行うことが有効と考えられる。

2・3 変位予測における問題点

深層混合処理の施工時における周辺地盤の変位予測の現状は、以下のようにまとめられる。

変位予測式は、実測データをもとに予測式そのものを導き出す必要があり、予測式についての検討は、現時点では事後検証的なものに留まっているといえる。FEM解析は、スラリー系において実用的な手法が見出されていると考えられる。しかし、変位の要因が定量的に把握されていないため、事例にあるように、要因を改良域からの荷重の作用として置き換える場合においても、荷重条件を要因の定性的な考えをもとに設定することになる。

このように、変位予測についての試みはなされているが、様々な地盤・施工条件のもとでの事前の変位予測は必ずしも容易ではない。その理由は、変位発生のメカニズムの解明が難しいからであり、具体的には以下のように述べられる。

① 変位が地盤条件に依存する。

軟弱地盤の側方流動の問題と同様に、局部荷重を受ける地盤の変形問題であり、発生する変位は土要素の応力・ひずみ関係と強度特性、地層構成、あるいは透水性などの地盤条件に大きく依存する。

② 変位の要因が様々で定量化しづらい。

施工に由来する変位の要因が様々であり、これらが施工法によって異なる。また、要因を定量的に把握することが困難なため、要因の特定と定量化による変位予測が容易でない。

なお、最も有効な変位予測の手段は、試験施工を行うことで変位の実体を把握した上で、FEM解析あるいは予測式を利用することであろう。変位予測に限らず、土谷ほか(1989)が行った基礎杭に及ぼす影響予測の事例から判るように、近接構造物の安全度の確認を行う上でも有効と考えられる。

3 周辺地盤変位についての試験施工

試験施工によって、深層混合処理の施工時に生じる周辺地盤の変位を各種の条件で比較し、変位発生の要因について考察した。ただし、いずれのケースも海成粘性土層(下部は過圧密)が厚く分布し、その上位に緩い砂質土層が存在する地盤条件の下で、比較的長い改良長で施工を行った場合の変位観測データをもとにしている。

3・1 ケース1(粉体系とスラリー系の変位発生状況の違い)

粉体系工法とスラリー系工法について同一地盤で比較施工を行い、施工時に生じる周辺地盤変位について比較検討した。

3・1・1 試験施工の概要

(1) 地盤条件

施工ヤードの地盤は、上位より盛土層(B)、上部有楽町層砂質土層(Yus)、下部有楽町層粘性土層(Ylc1, Ylc2)七号地層(Na)、および東京層砂質土層(Tos)によって構成される。(以下、地層記号によって地層名を示す)深層混合処理の施工対象となる地層はB層からNa層までであり、各地層とも層厚はほぼ一定で、水平方向に連続性をもって分布する。

図-3に施工ヤードの代表的な土質特性を示す。Yus層はN値10以下の緩い砂質土層である。Ylc1層の土は正規圧密粘土とみなすことができ、一軸圧縮強さ q_u は $1.0\sim 2.0\text{kgf/cm}^2$ 程度である。Ylc2層は過圧密比 $1.2\sim 1.5$ の過圧密な土であり、一軸圧縮強さ q_u は概ね $2.0\sim 2.5\text{kgf/cm}^2$ 程度である。Ylc1層、Ylc2層ともに砂層の挟みなどはほとんどみられない、均質な粘性土層である。Na層は部分的に砂泥互層を呈するが、一軸圧縮強さ q_u が 3.0kgf/cm^2 程度の過圧密な粘性土層である。

(2) 施工条件

1本の改良杭は直径 1.0m 、長さ 27.3m である。粉体系とスラリー系のそれぞれについて、接円式の打設形状(改良率 78.5%)で1列あたり20本の改良杭を3列打設し、1列打設毎に、改良域から 3m 離れた位置に設置した地中傾斜計で地中変位を観測した。安定材は普通ポル

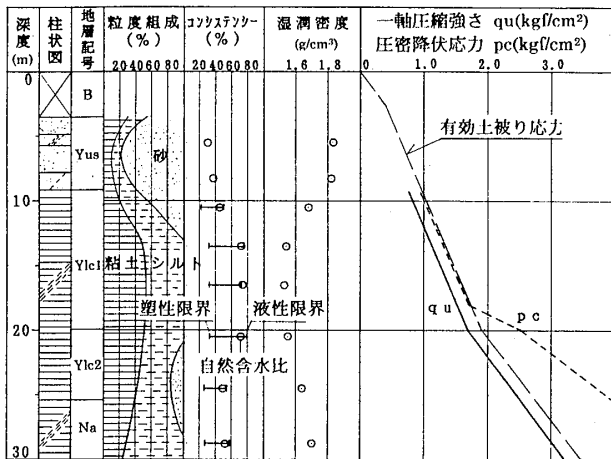


図-3 試験施工ヤードの土質特性
Fig. 3 Soil profile of the test site

トランドセメント、添加量は両工法で同量である。スラリー系の水セメント比 (W/C) は1.0である。

3・1・2 変位観測結果

観測結果を図-4に示す。地中変位の特徴は次のように述べることができる。

スラリー系ではYlc1層の中央付近で最大変位となる凸型の変位形状となり、粉体系よりも大きな変位が生じた。また、スラリー系における最大変位を示す深度は、変位が累積する場合においてもほぼ一定であり、地表付

近では変位が小さくなる傾向を示す。打設列の進行に伴う変位の累積性についてもスラリー系の方が顕著である。

3・1・3 考察

変位の要因として、攪拌混合により泥土化した杭内部の土による土圧の作用に注目すると、両工法の変位量の差は、安定材の供給状態 (粉体とスラリー) の違いによるものであると判断できる。すなわち、スラリー系では、粉体系よりも杭内部の土の泥土化の程度が大きくなり、より大きな側方土圧が周辺地盤に作用すると考えられる。

また、変位の累積性の違いからは次のことが推察できる。スラリー系において変位の累積が顕著に表われることは、打設列の進行に伴いほぼ同じ大きさの側方土圧が順次作用していると考えられる。粉体系では、攪拌軸挿入と安定材投入に伴う体積増加、および、安定材を圧縮空気によって地盤内に供給する際の噴射圧と残留エアの影響が変位の主要因とみられるが、これらの影響は既設改良杭によって抑制され易く、また、距離減衰しやすいために変位の累積が小さくなると考えられる。

図-4には、地盤内の有効水平応力と、スラリー系における打設直後の改良杭によって側方地盤に作用する水平土圧 (有効応力) の推定値との関係を示している。ここで、地盤の有効水平応力 σ_H' は、孔内水平載荷試験 (LLT) によって得られたみかけの静止土圧 P_0 と、間

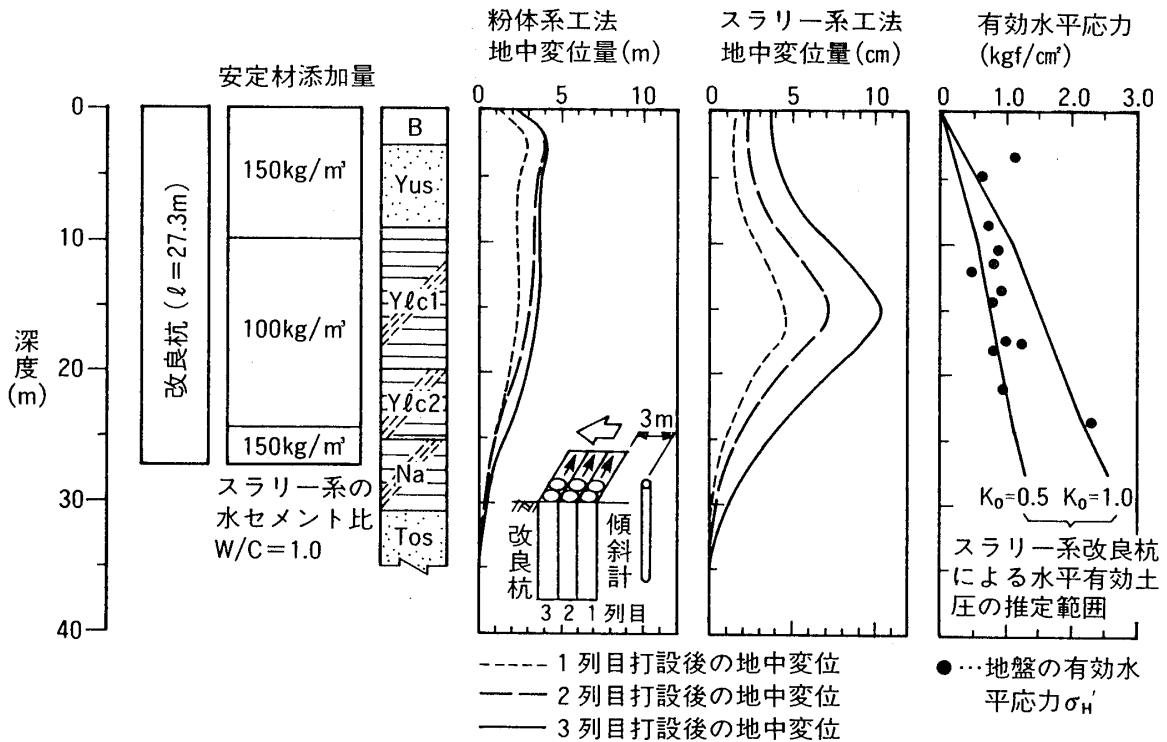


図-4 粉体系とスラリー系の地中変位の比較
Fig. 4 Profile of lateral displacement due to slurry method and dry method

隙水圧測定値 u をもとに、次式によって算出した。

$$\begin{aligned}\sigma_H' &= \sigma_H - u \\ &= (P_o + P_w) - u \\ &= (P_o + \gamma_w \cdot H) - u\end{aligned}$$

- ここに、 σ_H' : 地盤の有効水平応力 (kgf/cm²)
 σ_H : 地盤の全水平応力 (kgf/cm²)
 u : 地盤の間隙水圧 (kgf/cm²)
 P_o : 孔内水平載荷試験 (LLT) で得られる
 みかけの静止土圧 (kgf/cm²)
 P_w : 孔内水平載荷試験 (LLT) の測定位置
 における水頭圧 (kgf/cm²)
 γ_w : 水の単位体積重量 (kgf/cm²)
 H : 測定位置から LLT 加圧タンクまでの
 高さ、測定深度+90 (cm)

また、スラリー系改良杭による水平土圧は、安定材の添加を考慮した杭内部の土のみかけの単位体積重量 γ_t' を次式で求め、静止土圧係数 K_o が 0.5~1.0 の範囲にあると仮定して算出した。

$$\gamma_t' = \gamma_t + m_c + m_w$$

- ここに、 γ_t' : 杭内部の土のみかけの単位体積重量
 (tf/m³)
 γ_t : 地盤の単位体積重量 (tf/m³)
 m_c : セメント添加量 (tf/m³)
 m_w : セメントスラリーにおける水の投入量
 (tf/m³),
 水セメント比が 1.0 のとき $m_c = m_w$

孔内水平載荷試験結果をもとに算出した有効水平応力 σ_H' は、試験時の孔壁の状態などにより必ずしも正確な値ではなく、その変動も大きい。しかし、改良杭から作用すると考えられる水平土圧が地盤の有効水平応力 σ_H' を上回る部分と、地中変位が大きくなる部分は対応しており、このことから、スラリー系における地盤変位の第 1 要因が、泥土化した杭内部の土による土圧の作用であると判断できる。なお、地盤の有効水平応力 σ_H' と鉛直有効応力 σ_v' の比から地盤の静止土圧係数 K_o を求めると、Ylc1 層では 0.43~0.63 (平均 0.53) であった。

3・2 ケース 2 (スラリー系における水セメント比と変位の関係)

改良長が 44.3m と陸上施工では大深度のスラリー系深層混合処理において、安定材の水セメント比 (W/C) を 1.0 と 1.2 とに変えた試験施工が行われた。この際に、

水セメント比と周辺地盤の変位発生状況の関係について確認した。

3・2・1 試験施工の概要

(1) 地盤条件

施工ヤードの地盤は、上位より Bs 層 (浚渫土砂質土層)、Yus 層、Ylc1 層、Ylc2 層、Na 層によって構成され、Bs 層から Na 層までが改良対象である。各地層とも層厚はほぼ一定で、水平方向に連続性をもって分布する。

各地層の物性は、Bs 層と Yus 層は N 値 10 以下の緩い砂層、Ylc1 層は一軸圧縮強さ $q_u = 1.0 \sim 2.5 \text{ kgf/cm}^2$ の正規圧密粘土、Ylc2 層は $q_u = 2.5 \sim 3.5 \text{ kgf/cm}^2$ の過圧密粘土 (OCR = 1.8 程度)、Na 層は $q_u \geq 3.0 \text{ kgf/cm}^2$ のやや硬質な粘性土と砂質土の互層である。

(2) 施工条件

1 本の改良杭は直径 1.0m、長さ 44.3m で、接円式改良 (改良率 78.5%) である。安定材は高炉セメント B 種、水セメント比 (W/C) は 1.0 と 1.2 である。安定材投入量は、W/C = 1.2 の場合は W/C = 1.0 の場合に比べ、Yus 層で 1.25 倍、Ylc2 層で 1.09 倍多く投入された。

試験施工エリアは 11m × 16m で、1 列 16 本の改良杭を 11 列打設した。この中で、図 - 5 に示すように W/C = 1.0 の施工と W/C = 1.2 の施工を交互に行い、各施工段階において、改良域前面に設置した地中傾斜計で地中変位を観測した。

3・2・2 変位観測結果

水セメント比の異なる各施工段階毎に、地中変位の発生状況は次のようにまとめられる。(表 - 3 参照)

・施工段階① (W/C = 1.0 で 3 列打設)

施工開始とともに、地中変位は施工の進行に比例して増加する。3 列施工後の地中最大変位は 45mm であった。

・施工段階② (W/C = 1.2 で 6 列打設)

水セメント比を 1.0 から 1.2 に切替えたことにより、地中変位の発生量が急激に大きくなる。6 列施工分の変位を 3 列分に換算すると 64mm であった。

・施工段階③ (W/C = 1.0 で 2 列打設)

水セメント比を 1.2 から 1.0 に戻すと、地中変位発生の度合いは減少する。2 列施工分の変位を 3 列分に換算すると 30mm であった。

3・2・3 考察

水セメント比 (W/C) が 1.2 のときの投入スラリー量は、W/C = 1.0 のときの 1.25 倍である。これに対し地中最大変位の比は、施工段階②と①で 1.4、施工段階②と③では 2.1 であり、投入スラリー量の比に比べて大きい。また、W/C = 1.2 の施工を W/C = 1.0 に切り換えると、

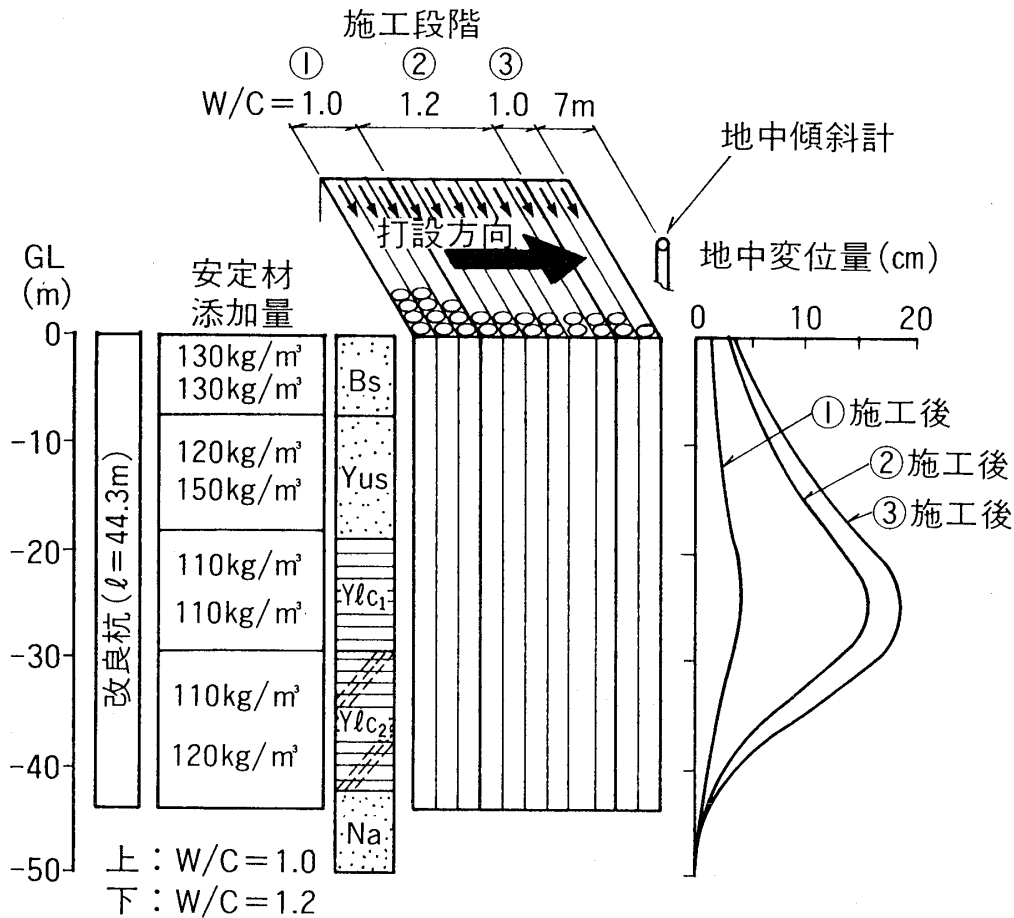


図-5 スラリー系工法における水セメント比 (W/C) と地中変位の関係
 Fig. 5 Development of lateral displacement due to construction advance of slurry type method against the difference of water cement ratio of stabilization

表-3 各施工段階における地中最大変位量
 Table 3 Maximum lateral subsurface displacement at construction stages

施工段階 (水セメント比W/C)	安定材スラリーの体積 (改良杭1本当たり, m ³)	地中最大変位量 (mm)
① (W/C=1.0)	セメント 1.3 水 3.9 合計 5.2	45 (3列施工分に 換算)
② (W/C=1.2)	セメント 1.4 水 5.1 合計 6.5	64 (3列施工分に 換算)
③ (W/C=1.0)	セメント 1.3 水 3.9 合計 5.2	30 (3列施工分に 換算)
②/①	1.25(体積合計の比)	1.4
②/③	1.25(体積合計の比)	2.1

施工が地中傾斜計に近づくにも係わらず変位の累積傾向は少なくなる。

このことから、変位の発生には安定材投入による体積

増加だけでなく、泥土化した杭内部の土による土圧の作用が関係し、水セメント比の増加に伴い泥土化の程度は大きくなり、変位量も大きくなるといえる。

3・3 ケース3 (スラリー系における打設順序と変位発生状況の関係)

一般に深層混合処理の近接施工においては、既設構造物から離れる順序で改良杭を打設することにより影響を低減できることが知られている。ここでは、スラリー系工法において2種類の打設順序で改良杭の打設を行い、周辺地盤の変位状況を比較した。

3・3・1 試験施工の概要と変位観測結果

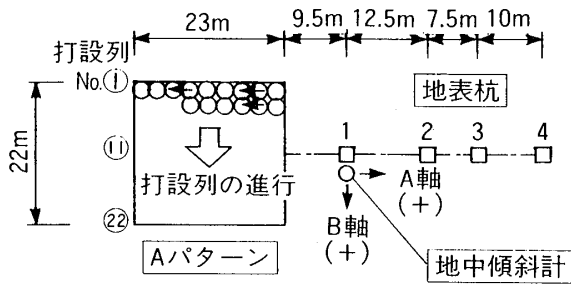
(1) 試験施工の概要

施工ヤードの地盤条件と改良杭の仕様(改良長, 添加量等)は3・1節の場合と同じである。地形的な条件も同一と見なせる2ヶ所の施工ヤード(1ヶ所の面積22m×23m)において、異なる打設順序で改良杭の施工を行い、周辺地盤の変位の測定を行った。測定は、地表変位

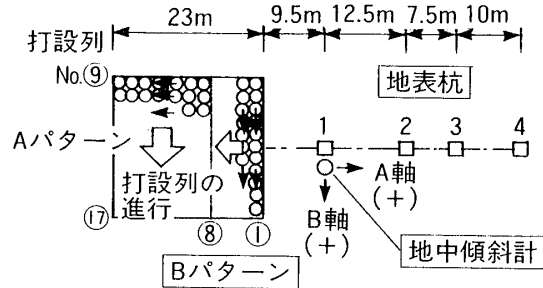
を木杭を用いた地表杭で、地中変位を地中傾斜計によって行った。なお、地形条件は改良域が周辺地盤より1.5m

高い状況である。

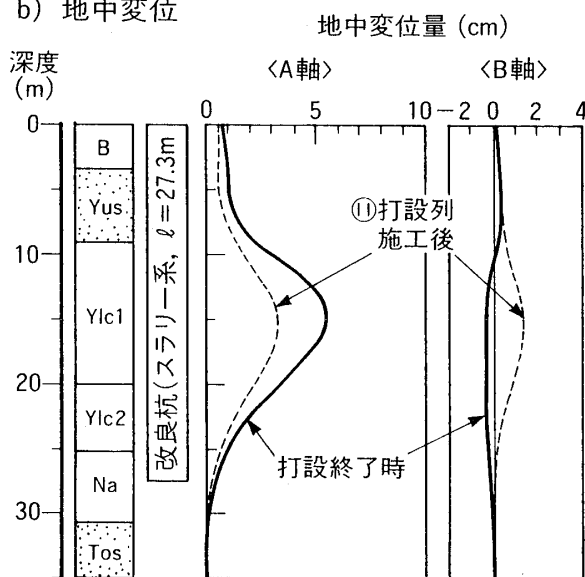
a) Aパターンの打設



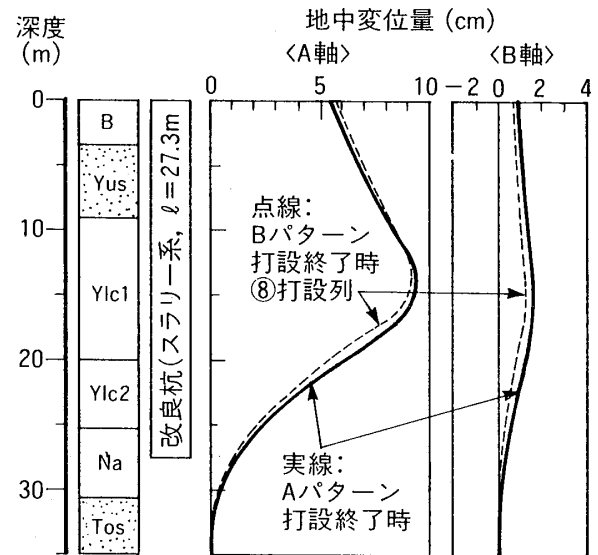
a) Bパターンの打設



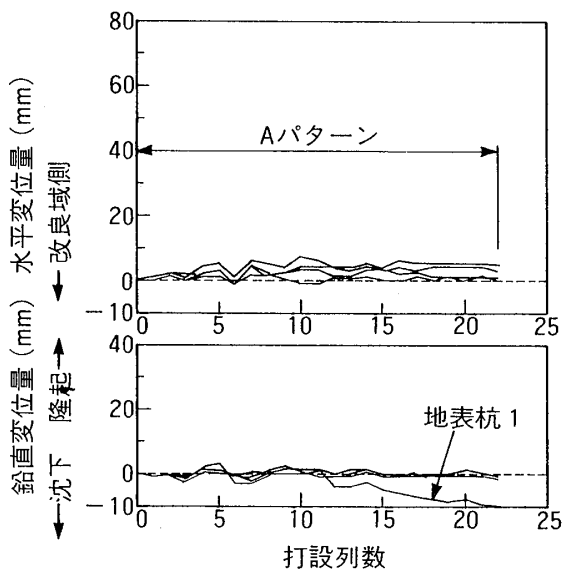
b) 地中変位



b) 地中変位



c) 地表変位



c) 地表変位

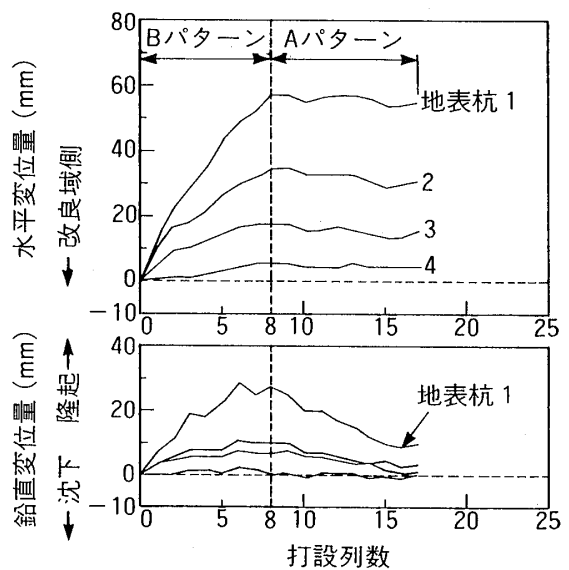


図-6 Aパターンの打設順序と地盤変位

Fig. 6 Lateral displacement at A type of construction advance

図-7 Bパターンの打設順序と地盤変位

Fig. 7 Lateral displacement at B type of construction advance

(2) Aパターンの打設順序と変位

Aパターンは、打設列を地表杭測線方向に平行とし、地表杭から遠ざかる順序で改良杭を打設する方法である。変位状況を図-6に示す。地表の水平変位は10mm以内、鉛直変位は、改良域に最も近い測点1で打設列の通過後に沈下が生じた以外に変位は認められなかった。

(3) Bパターンの打設順序と変位

Bパターンは、打設列を地表杭測線方向に直角とし、打設列の進行を地表杭から遠ざかるように改良杭を打設する方法である。変位状況を図-7に示す。地表変位では、水平変位において打設の進行に伴う変位の直線的な増加が観測された。地中変位はAパターンとほぼ同じ深度で最大となるが、その値はAパターンの約2倍である。また、Bパターンで8列打設後、Aパターンの打設順序に変更すると変位の増加は停止し、鉛直変位はそれまでの隆起傾向から沈下傾向に転じた。

3・3・2 考察

既設構造物から離れる打設順序として、今回の試験施工の2つのパターンが考えられるが、Aパターンの打設順序とすることが変位を抑制する上で有効である。図-8に打設列に対する方向によって変位の発生状況が異なること概念を模式的に示した。同図では、先に推定したように変位の要因として改良杭からの土圧の作用に注目し、打設直後の改良杭からの土圧 P_0 は等方的に作用し、また、同じ列の中で隣り合う改良杭の土圧は打ち消し合うものとしている。打設列に対しAパターンとなる方向では、土圧 P_0 分の変位が生じる。これに対し、Bパターンとなる方向では打設の進行に伴い、新たな変位を生じさせる土圧(図-8の*2, *3)が順次作用することになり、変位が増大するものと考えられる。さらに、Bパターンでは、载荷範囲が広く、地盤をブロックとして動かす要因にもなっている。

3・4 ケース4 (スラリー系における変位の影響範囲について)

一般に、深層混合処理の施工に伴う変位の影響範囲は、改良長とほぼ同じ距離であると考えられている。ここでは、近接距離と地中変位の関係について考察した結果を述べる。

3・1節と同じ地盤条件と改良杭の仕様(スラリー系工法)において、図-9a)に示す施工ヤードの打設を行った際の地中変位と地表変位の測定を行った。その結果をもとに、1列40本の改良杭を打設したときの地盤変位と改良杭からの距離との関係を図-9b)に整理した。図-9b)に示す地中変位は、改良杭の1列(40本)分

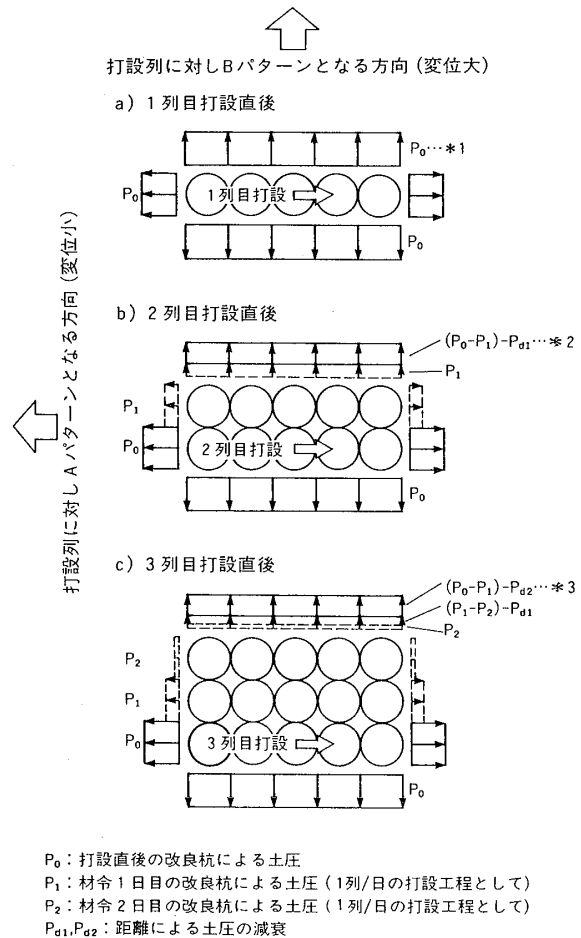


図-8 打設列に対する方向と改良杭からの土圧の作用との関係

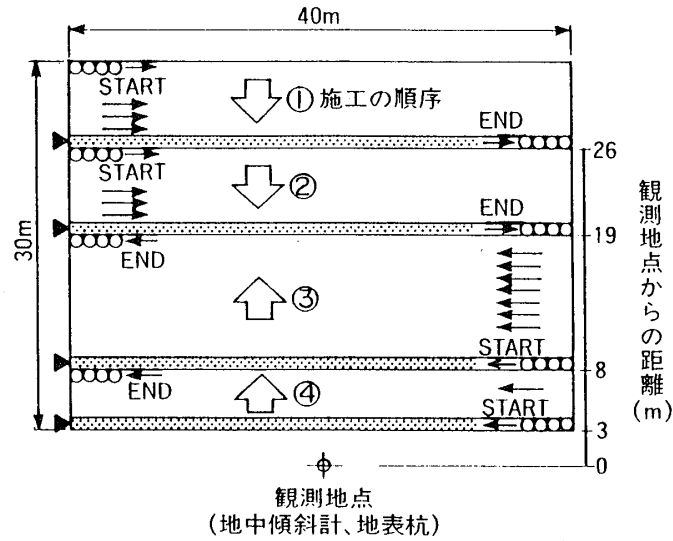
Fig. 8 Relationships of lateral earth pressure increase to stages of construction advance with slurry type method

の打設に伴う変位として換算しているため、変位量や分布形状はこれまでに示したものと若干異なっているが図に示した地中変位の等変位ラインからは、地中変位の影響範囲は杭頭を中心とする半円状に広がっていると推定される。また、地表変位の発生範囲は改良長とほぼ同じ距離までである。

3・5 変位発生の要因のまとめ

深層混合処理の施工時に生じる周辺地盤変位の主な要因を今回の試験施工の結果をもとに考察すると、スラリー系工法では打設直後の泥土化した杭内部の土による土圧の作用が支配的な要因と判断できる。このことは、安定材の供給状態の異なる粉体系工法との地中変位の累積性の比較や、スラリー系工法によって作用する土圧の推定値が地盤の有効水平土圧を上回る部分と、地中変位が大

a) 施工の概要



▶で示した列の打設終了時の変位から、既変位分を差し引くことにより1列打設分の変位として換算

b) 改良杭からの距離と地盤変位

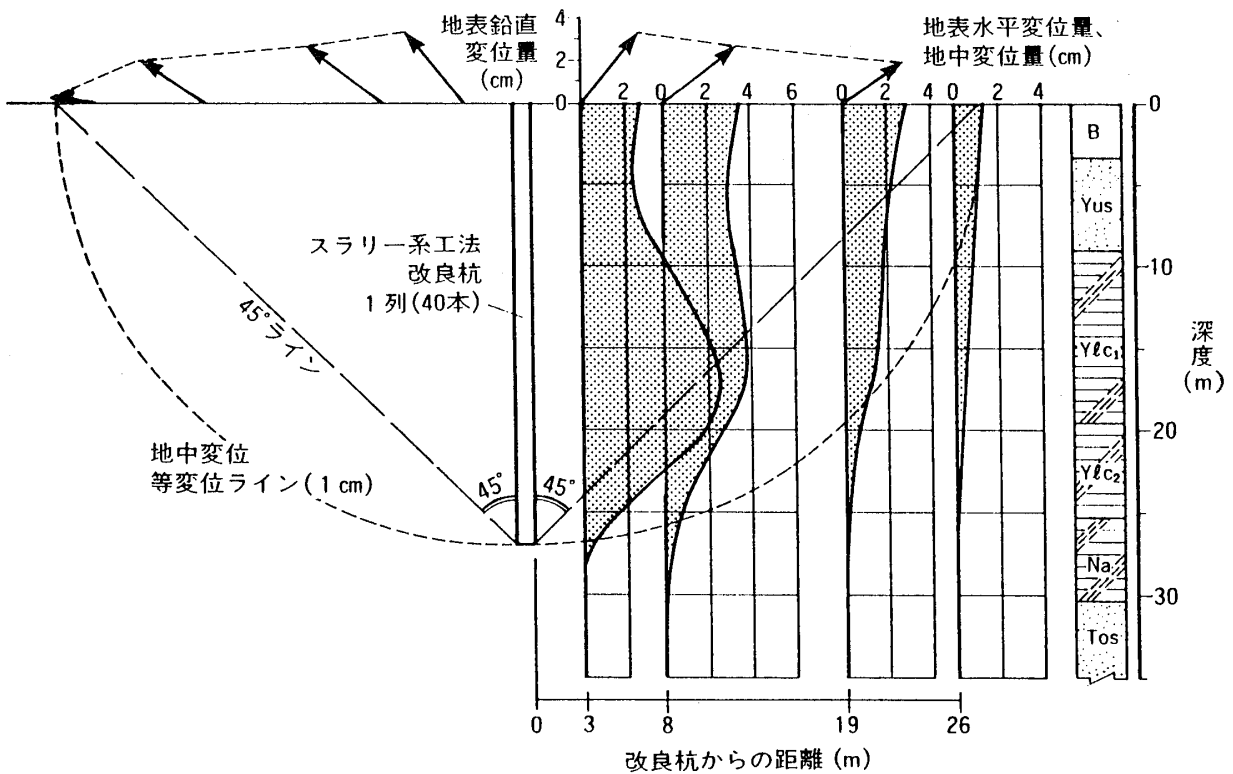


図-9 スラリー系工法における変位の影響範囲
Fig. 9 An extent of displacement area affected by slurry type construction

きくなる部分とが対応していることにより推察したものである。この要因の考えをもとにすると、スラリーの水セメント比と変位発生状況との関係や、打設順序(打設

列に対する方向)と変位の累積性の違いを説明することができる。

また、粉体系工法においては、安定材を粉体として用

いることから、杭内部の泥土化した土による土圧の作用はスラリー系に比べて小さい。よって、変位発生の主な要因は、攪拌軸挿入と安定材投入に伴う体積増加、安定材を地中に供給する際の噴射圧力、および安定材を搬送するエアが地中に残留することによると考えられる。またこれらの作用は、施工域からの距離、あるいは既設改良杭の介在によって減衰し易いものと考えられる。

4 近接施工時の検討について

4・1 FEM解析による変位予測

深層混合処理の施工時に生じる地盤変位をFEM解析によって予測する際に、変位の要因を定量化し解析に導入することが必要になる。しかし、要因を定量的に把握することは難しく、これまでの解析事例では、2章で述べたように、要因の定性的な考えをもとに、ある仮定を解析に導入することが行われている。

ところで、前章においてスラリー系工法における変位の要因として、打設直後の杭内部の泥土化に伴う土圧の作用が大きいということが判った。そこで、スラリー系工法において改良域から周辺地盤に作用する側方荷重をFEM解析によって推定し、要因の定量化について考察した。解析では、3・1節で示した試験施工の地盤・施工条件、および変位の実測データ（改良杭を3列打設した際の、改良域から3m離れた位置の地中変位データ）を用いた。

(1) 解析モデル

解析モデルは断面二次元とし、図-10のように作成した。解析手法は、粘性土層（Y1c1とY1c2層）に弾塑性

応力・ひずみ関係（関口・太田モデル）を用いた場合（弾塑性解析）、および、すべての要素を線形弾性体として取扱う場合（線形解析）の二通りとした。地盤の物性値を表-4、表-5に示す。

解析は、3・1節の試験施工事例をもとに、まず、改良杭を1列打設したときの地中変位について、実測値と近似する計算値が得られる改良域からの側方荷重の大きさと形状を求めた。次に、この荷重条件をもとに、2列目、3列目を打設したときの計算を行った。この際、解析上の打設工程は1日1列とした。

2列目以降の打設による変位を計算する時の、既に打

表-4 解析用物性値（線形解析）
Table 4 Input parameters of soil for linear elastic FEM analysis

地層	単位体積重量 (tf/m ³)	変形係数 (tf/m ²)	ポアソン比	透水係数 (cm/s)
B	1.80	1400	0.3	1.0×10 ⁻⁵
Yus	1.80	1400	0.3	1.0×10 ⁻⁴
Y1c1上部	1.55	430	0.3	1.4×10 ⁻⁶
Y1c1中央部	1.55	540	0.3	2.8×10 ⁻⁷
Y1c1下部	1.55	650	0.3	5.2×10 ⁻⁷
Y1c2上部	1.60	880	0.3	2.4×10 ⁻⁷
Y1c2下部	1.60	1020	0.3	4.0×10 ⁻⁷
Na	1.60	1240	0.3	7.0×10 ⁻⁸
Tos	1.80	3500	0.3	1.0×10 ⁻⁴

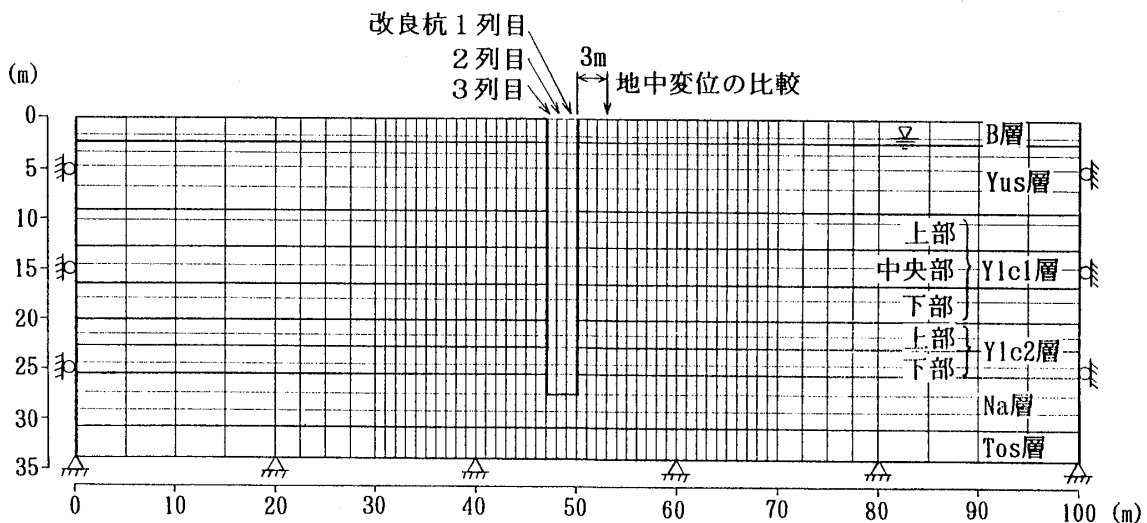


図-10 FEM解析モデル
Fig. 10 FEM model used

表-5 解析用物性値 (弾塑性解析の粘性土層)

Table 5 Input parameters of clay layer for elasto-plastic FEM analysis

地層	単位体積重量 (tf/m ³)	塑性指数	間隙比	圧縮指数	変形係数 (tf/m ²)	透水係数 (cm/s)	OCR
Ylc1上部	1.55	18	1.52	0.59	430	1.4×10^{-6}	1.2
Ylc1中央部	1.55	42	2.06	1.23	540	2.8×10^{-7}	1.2
Ylc1下部	1.55	40	1.80	0.83	650	5.2×10^{-7}	1.2
Ylc2上部	1.60	46	1.75	0.94	880	2.4×10^{-7}	1.5
Ylc2下部	1.60	28	1.40	0.64	1020	4.0×10^{-7}	1.5

設された改良杭の物性値は表-6に示す値とした。なお、解析の対象とした試験施工改良杭の採取コアの一軸圧縮強さと変形係数を図-11に示す。

(2) 結果と考察

解析結果を図-12に、また、荷重条件を表-7に示す。弾塑性解析では、荷重を三角形分布とし、底面の荷重値を1.4tfとした場合の計算値が実測値と比較的良好に近似する。同じ荷重条件で線形解析の場合は、計算値は実測

値に比べて小さく、線形解析において実測値と近似する荷重の大きさは、弾塑性解析の約2倍となる。

スラリー系工法を想定する解析では、荷重を三角形分布とすることで実測値と近似する計算値が得られる。また、弾塑性解析は土の応力・ひずみ関係を土の実状に近いものとして取り扱うため、変位の形状(粘性土層のはらみ出し)も実測値と近似する結果が得られる。荷重の大きさについては、深度1mあたり約0.05tfの荷重増加

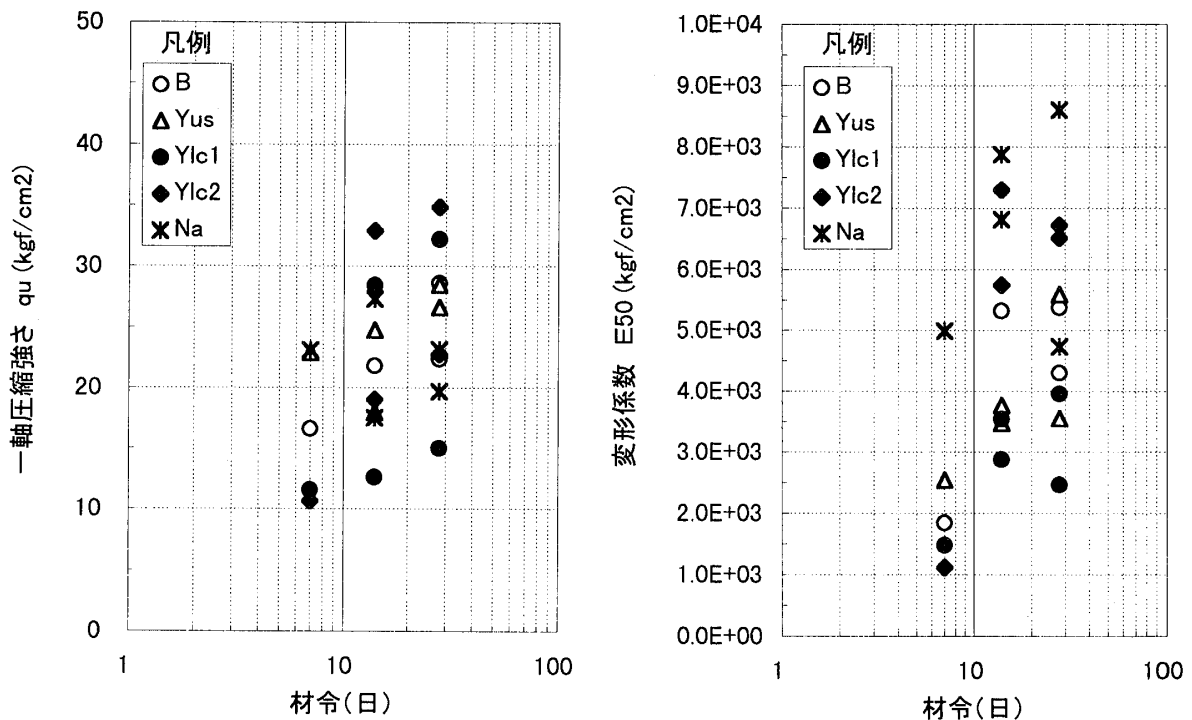


図-11 改良杭ボーリングコアの一軸圧縮強さと変形係数 (スラリー系工法改良杭)

Fig. 11 Unconfined compressive strengths and deformation moduli of core samples taken from stabilizing pile with slurry method

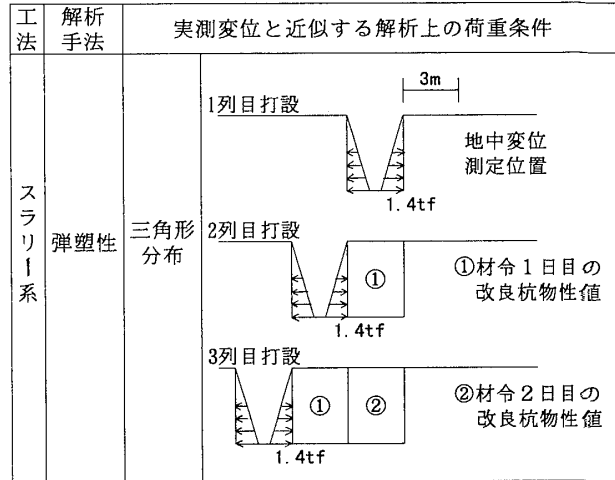
表-6 改良杭の物性値 (スラリー系改良杭)
Table 6 Input parameters of stabilizing pile by slurry method

地層	単位体積重量 (tf/m ³)	変形係数 (tf/m ²)			
		材令 1日	材令 2日	材令 3日	材令 7日
B	1.80	11100	13000	14800	18500
Yus	1.80	15300	17900	20400	25500
Ylc1	1.55	8900	10400	11800	14800
Ylc2	1.60	6700	7800	9000	11200
Na	1.60	30000	35000	40000	50000

- ・材令 7日は実際の改良杭採取コアの変形係数 E_s 。(図-11)
- ・材令 1日, 2日, 3日の値は, 材令 7日の値にそれぞれ 0.6, 0.7, 0.8 を乗じた値。斎藤(1985)の報告では, 粘性土にスラリー状の安定材を添加し, 40℃のもとで養生した室内改良土について, 一軸圧縮強さは,
材令 7日 : 3日 : 1日 = 1 : 0.85 : 0.65
となる結果を示している。養生温度 40℃は, 実際の改良地盤中の温度に相当すると考えられる。改良土の物性の伸びは, 土質, 安定材の種類と添加量などにも関係すると考えられるが, 便宜的に上述の比を参考とした。
- ・単位体積重量は地盤と同じ値とした。

となるが, 泥土化した杭内部からの側方荷重の設定方法については, 今回の解析のみでは十分な考察をし難い。今後, 地盤条件, 施工規模と, 実変位から推定される荷

表-7 解析における荷重条件
Table 7 Lateral earth pressure caused by stabilizing pile for FEM analysis



重についてのデータを蓄積し, 両者の関係を明らかにすることが必要と考える。

4・2 近接施工時の検討手順

試験施工の結果や, これまでの検討結果をもとに近接施工時の検討手順をまとめ, 図-13に示す。図に示したいくつかの検討項目について以下に説明を加える。

a) 弾塑性解析

b) 線形解析

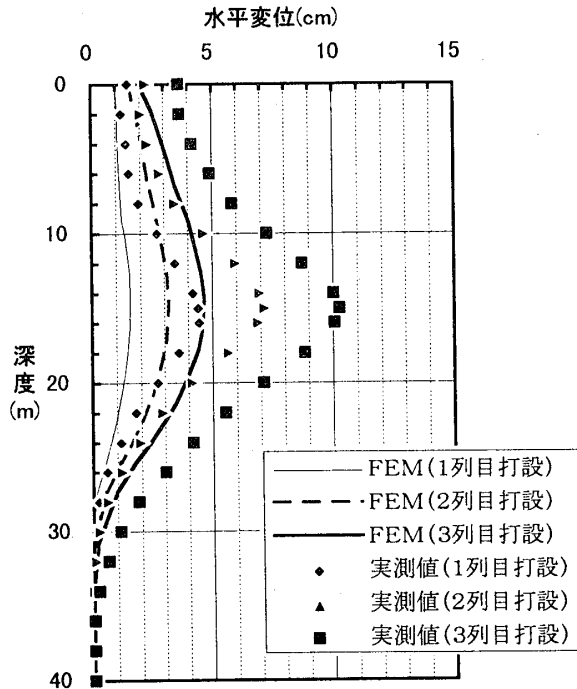
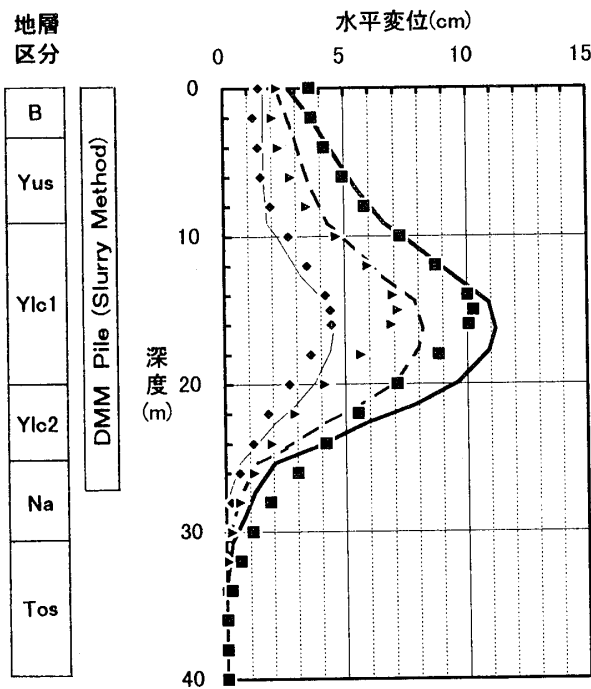


図-12 FEM解析結果
Fig.12 Results of FEM analysis

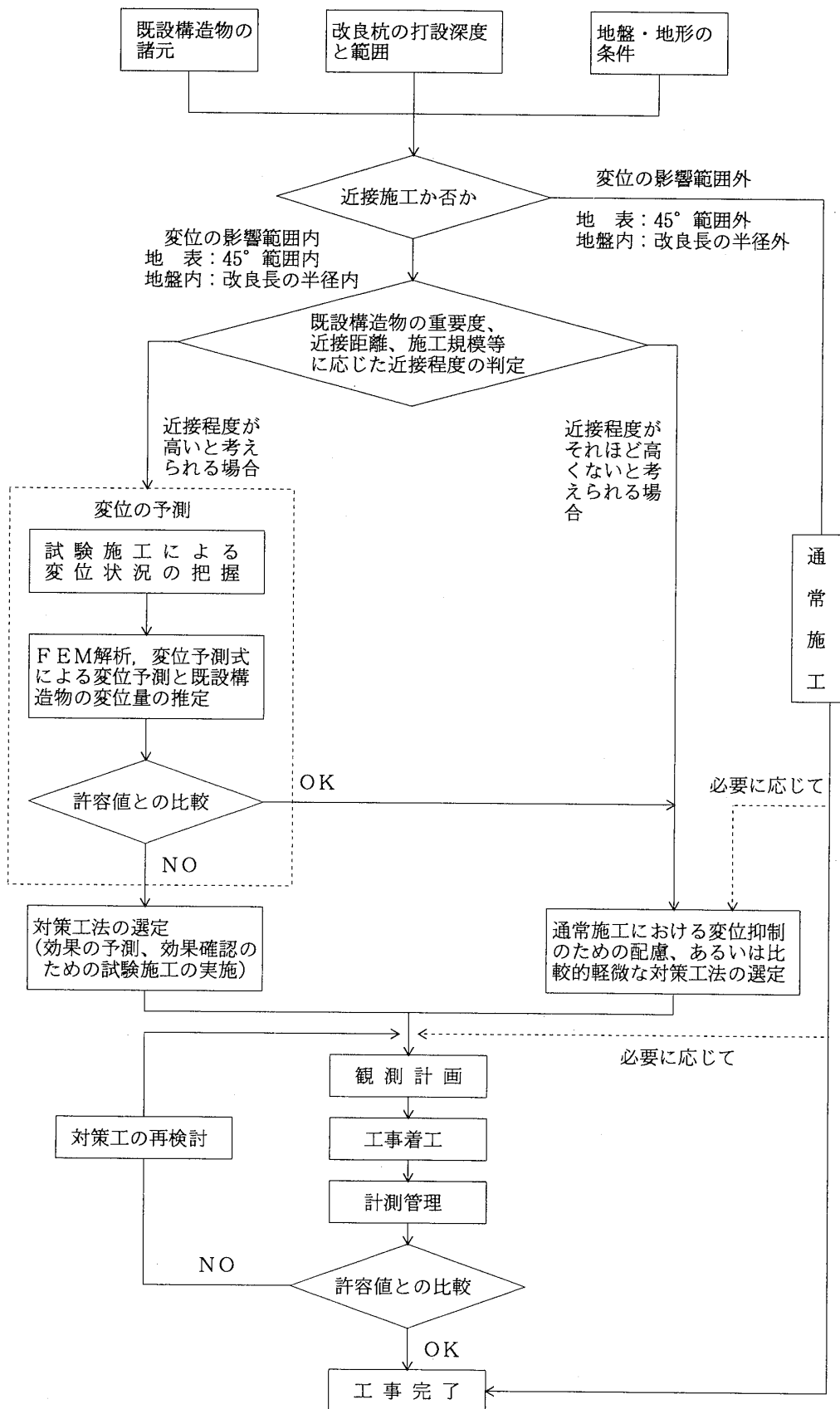


図-13 近接施工時の検討手順

Fig. 13 Procedure to study influence on neighboring area during construction of stabilizing pile method

表-8 影響抑制のための対策

Table 8 For controlling ground displacement during construction of deep mixing soil stabilization

	対策の手法	概要	実績	備考(事例文献の例)
通常施工における配慮	打設順序の工夫 ・影響度の少ない打設順序での施工 安定材の投入に対する配慮 ・強度発現の良い安定材を用い添加量を少なくする ・水セメント比を小さくする(スラリー系) ・安定材搬送圧、搬送空気量を最小限に抑える(粉体系)	近接構造物から離れる打設順序、あるいは不連続な打設により応力・変位の累積を抑制する。 安定材投入に伴う体積増加、地盤への応力の作用を低減させる方法である。 安定材の選定により添加量を少なくする方法は、腐植土層やローーム層などの大添加量を必要とする地盤条件の場合に適用できる。水セメント比、安定材の搬送については、改良杭の品質や施工性との関連を考慮する必要がある。	◎	Masuda et al (1996) 本報文第3章に試験施工の結果を記載
周辺地盤・近接構造物との境界部での工作物の設置	変位吸収溝の設置 ・トレンチ ・緩衝孔 鋼矢板による地盤の縁切り	周辺地盤・近接構造物との境界部において、応力・変位の伝播を吸収、遮断する。 トレンチは地表付近の影響抑制に、緩衝孔はオーガー機による削孔により設置され比較的深部からの影響抑制に有効である。両者を組み合わせる場合もある。 鋼矢板によって地盤を不連続とし、あるいは拘束することによって応力・変位の伝播を低減させる。	◎	水野ほか(1986) 緩衝孔は特許登録工法 中台ほか(1994)
影響の少ない施工機械の使用	エア一回収孔の設置(粉体系) 排土式工法の採用(スラリー系)	改良域近傍にストレーナ管や砕石充填孔を設置し、地中に残留するエアを回収する。隣り合う打設地点を安定材を供給せず攪拌し、乱した土柱をエア一回収孔とした例もある。 改良杭打設に伴う体積増加を低減させることを目的としてオーガースクレーヤーを取り付けた攪拌軸を使用し、軸の貫入時に投入安定材および攪拌軸の体積に見合う土を地上へ排出させる工法である。 改良杭の品質面から適切な排土量とすることが必要となる。	◎	水野ほか(1986) 中台ほか(1994) 堀切ほか(1996)
その他	オーガー機等による先行掘削	改良杭の打設前に打設地点または改良域近傍の土をほぐし、あるいは排土を行うことで、体積増加の低減、応力・変位の伝播抑制を図る。	◎	溝井ほか(1992)

・実績欄は、事例文献により比較的適用例が多いと思われるものに◎を示した。

・近接施工か否かの判定

深層混合処理の施工に伴う地盤変位のデータから、地層構成が一樣とみなせる場合の変位の影響範囲は、改良杭先端から水平面に対し 45° の角度をなす直線より内側の領域、あるいは、改良杭の杭頭を中心とし、改良長を半径とする半円の内側とみることができる。したがって、既設構造物がこれらの影響範囲内に存在する場合、近接施工とみなすのが妥当と考える。既設構造物が影響範囲外に存在する場合、特に対策の必要はないと考えられるが、既設構造物の変位観測はできるだけ実施すべきといえる。

・変位の予測

変位の要因の特定と定量化が困難であること、および、地盤条件や施工条件によって変位の発生状況が異なってくることから、変位予測に先立ち、試験施工によって変位の発生状況を予め確認し、その結果をもとにFEM解析あるいは変位予測式の利用によって変位を予測することが望ましい方法といえる。FEM解析において、改良域から周辺地盤に荷重を作用させ変位予測を行う場合に、前節で述べた荷重条件が参考になるといえるが、地盤条件や解析手法によって必ずしも一致する荷重条件が得られる訳ではないので、試験施工の実施により、個々の現場条件に対応する荷重条件を設定することでより精度の良い予測が可能になると考えられる。

・観測計画

既設構造物の沈下・傾斜の測定のほか、地中変位の測定も行うのが望ましいといえる。特に、杭基礎で支持された構造物等に近接する場合は、地中の変位状況をもとに影響の度合いを確認することが必要である。

・変位抑制のための対策工

周辺地盤や近接構造物に対する影響を抑制するための対策について、これまでに実績のある手法とその概要を表-8に示す。これらの対策の基本的な考え方は、次の2点である。

- ① 改良杭の打設に伴う地盤内の体積増加の低減
- ② 応力・変位の伝播の抑制

これらの対策は個々の現場条件に応じて経験的判断のもとに適用されるケースが多いと考えられる。また、重要度の高い構造物に近接した施工を行う場合には、いくつかの対策が組み合わせて用いられている。

5 あとがき

深層混合処理の施工時における周辺地盤変位の要因に

ついては、試験施工の結果と従来の考え方をもとに次のように要約される。

- ① スラリー系工法では、打設直後の泥土化した杭内部の土による土圧の作用が地盤変位の支配的な要因であり、この考えにより、改良杭の仕様や打設順序の相違に伴う地盤変位量の違いを説明することが可能である。
- ② 粉体系工法では、改良杭の施工プロセスに伴う体積増加や安定材の供給圧と安定材を搬送するエアの地中残留によって変位が生じる。これらの作用は距離減衰し易いため、変位の累積は顕著に表われない。
- ③ 試験施工時の実測結果をFEM解析結果と対比したところ、解析モデル上で改良域から荷重を作用させることで変位の発生を再現する場合に、実測変位と近似する計算値を得る荷重条件は、スラリー系工法の場合には三角形分布で近似できる。

従来より、改良杭を打設した際の地盤変位について、様々な計測と分析が行われているが、変位の要因そのものを定量的に把握することが困難なことから、定性的な解釈の域を脱し得ないのが実状である。本研究において考えられているいくつかの要因のうち、支配的となるものを特定化できたことは今後の考慮に値し、近接施工時の対策を考える上で参考になるものと考えられる。

これらの結論は、限定された地域についてのものであり、今後異なる地盤条件について事例検討を行うことが必要である。また、変位の事前予測については、多くの因子が関わっており、これらを定量化することは困難ではあるが、FEM解析の適用性は高いといえる。この報文では、おもに施工のあり方の面から変位の発生についての考察を行ったが、土の応力-ひずみ関係と強度特性、透水性などの土質工学的な考察を踏まえ、異なる地盤条件での計測事例やFEM解析などの個別の結果を集約し、実務面での簡易な予測手法の確立について検討すべきと考えている。

謝 辞

本報文の作成に当っては、建設省関東地方建設局荒川下流工事事務所の資料を御提供頂き、発表の機会を与えて頂いた。ここに関係各位に対し厚く御礼を申し上げる次第である。

引用および参考文献

- Uchiyama, K.(1996) : Prevention of displacements while using the DJM Method. 2nd International Conference on Ground Improvement Geosystems, IS-Tokyo'96, pp.675~680.
- Hirai, T., Ise, J., Kusakari, T., Gotou, M. and Hibi, Y.(1996) : Development and application of Deep Mixing Soil Stabilization Method to control displacement of adjacent ground. 2nd International Conference on Ground Improvement Geosystems, IS-Tokyo'96, pp.485~490.
- Masuda, T., Shimizu, M. and Aizawa, F.(1996) : Evaluation of ground deformation due to deep mixing adjacent construction activities. 2nd International Conference on Ground Improvement Geosystems, IS-Tokyo'96, pp.515~520.
- 池上盛容, 林 博一, 木村孝一, 小宮 隆(1985) : 地盤改良 (サンドコンパクションパイル) による周辺地盤の水平変位の検討 土木学会論文集 第361号/IV-2, pp.95~98.
- 鈴木 宏, 染谷誘二, 日比義彦, 佐々木一好, 吉原康信(1995) : 深層混合処理工法の施工時周辺地盤影響予測と側方変位低減対策 第30回土質工学研究発表会 pp.2195~2196.
- 中台 誠, 山田信之, 別所三千夫, 村井逸夫, 上保繁幸, 永野雄一(1994) : 深層混合処理工法の近接施工に伴う変位低減対策 第29回土質工学研究発表会 pp.2155~2156.
- 山本 実, 東 祥二, 野津光夫, 深田 久, 濱里清史(1992) : 深層混合処理工法の施工に伴う周辺地盤の変位予測 第27回土質工学研究発表会 pp.2291~2292.
- 土谷和博, 滝口健一, 岩田 誠, 中村 清, 伊藤聖一(1989) : 深層混合処理工法 (DJM工法) 施工に伴う基礎杭の挙動について 第24回土質工学研究発表会 pp.1967~1970.
- 酒井克衡, 田中 宏(1986) : 深層混合処理工法の周辺地盤におよぼす影響, 第21回土質工学研究発表会 pp.1991~1992.
- 清水文夫, 兼松正美, 本山省三, 橘 知一(1986) : 地盤改良 (セメント系深層混合地盤改良工法) 施工時の周辺地盤の水平変位の検討 土木学会第41回年次学術講演会 pp.181~182.
- 黒崎 秀, 山崎八郎, 河埜 剛(1983) : 地盤改良に伴う地盤の側方変位吸収対策工 土木学会第38回年次学術講演集 pp.445~446.
- 溝井貞夫, 小澤栄師, 中原邦明, 佐川正人, 後藤政明, 日比義彦(1992) : 深層混合処理工法施工時の周辺地盤変位低減効果に関する考察 第37回土質工学シンポジウム pp.131~138.
- 堀切 節, 上村一義, 栗波啓治(1996) : 排土式深層混合処理工法 (変位制御型) と施工例 基礎工 vol.24, No.7 pp.90~93.
- 水野恭男, 須藤文夫, 河本憲二, 遠藤 茂(1986) : 深層混合処理工法の施工に伴う周辺地盤変位とその対策 第3回「施工体験発表会」講演概要 土木学会 pp.5~12.
- 斉藤 聡(1985) : 深層混合処理工法による改良土の調査と工学的性質 基礎工 Vol.13, No.2 pp.108~114.
- 平出 亜, 馬場干児(1996) : セメント系深層混合処理工法の施工に伴う周辺地盤変位についての一考察 (その1) 第31回地盤工学研究発表会 pp.151~152.
- 下間 充, 柿原芳彦, 平出 亜(1996) : セメント系深層混合処理工法の施工に伴う周辺地盤変位についての一考察 (その2) 第31回地盤工学研究発表会 pp.153~154.
- Kakihara, Y., Hiraide, A., Baba, K.(1996) : Behaviour of nearby soil during improvement works by Deep Mixing Method. 2nd International Conference on Ground Improvement Geosystems, IS-Tokyo'96, pp.675~680.