軟弱地盤の改良工法について　（その1）
―深層混合処理工法―

勝部祐治

1. まえがき

軟弱地盤の改良工法としては，その目的に応じてさまざまな工法が考案され，実用化されている。今回は，その中でも実用化されてまだ10年に満たない新しい工法である深層混合処理工法についてまとめてみることにする。

深層混合処理工法は，一般に地盤の強度を高めて安定を得ることを目的として行なわれるが，軟弱地盤の圧密沈下量を低減することを目的としても利用されている。松江市の北部土地区画整理事業において，当工法が沈下量低減を目的として行なわれているため，深層混合処理工法による沈下低減効果に注目して述べることとする。

2. 深層混合処理工法の特徴

深層混合処理工法は，原位置の軟弱粘性土に化学的安定材を添加し，かつ原位置で強制的に混合して地盤中に強固な安定処理土を形成する工法である。

施工は，図-1に示す手順で行なわれる。

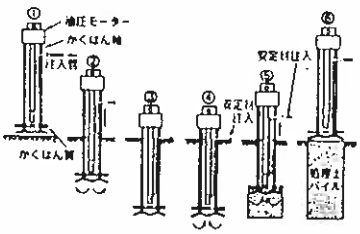

図-1　深層混合処理工法の施工手順

深層混合処理工法は，地盤改良に要する工費のみを比較すると他の工法より高価になることもあるが，

i) 短期間で大きな強度が得られ，圧縮性も改善される。

ii) 騒音，振動などによる周辺の環境への影響が少ない。

iii) 捨て土の必要が少ない。　などの大きな利点を有している。

3. 深層混合処理工法による沈下低減効果

深層混合処理工法による沈下低減に対する設計手法は，サンドコンパクションパイル工法による地盤改良の場合と同様に，安定処理土への応力集中を考慮し，未改良土への増加応力が低減されるという考えで，沈下量低減が計られるとしている。

改良地盤に対する沈下量の検討については次式が用いられている。

$$S_1 = \beta \cdot S_0 = \mu_c \cdot S_0 \qquad \text{(1)}$$

$$\beta = \frac{1}{(n-1)a_p + 1} \qquad \text{(2)}$$

ここに、
S_1：改良後の沈下量
S_0：無処理の場合の沈下量
β：沈下低減係数
μ_c：応力低減係数
n：応力分担比 $(= \sigma_p/\sigma_c)$
a_p：改良率
σ_p：改良部にかかる応力
σ_c：未改良部にかかる応力

沈下低減に大きな役割を果す応力分担比は、杭状改良部と未改良部がほぼ一様に沈下すると仮定して、未処理土の体積圧縮係数 m_{vo} と改良土の体積圧縮係数 m_{vp} の比 m_{vo}/m_{vp} で得られるとされている。

4. 北部土地区画整理事業における動態観測

当事業において、深層混合処理工法は道路盛土への交通荷重による沈下を低減する目的で採用された。沈下低減に関する設計は前項に示す式に従って行なわれている。当事業では施工管理手段として試験盛土による動態観測を行ない沈下低減効果を確認することとしている。

図-2に試験盛土の概要を示した。

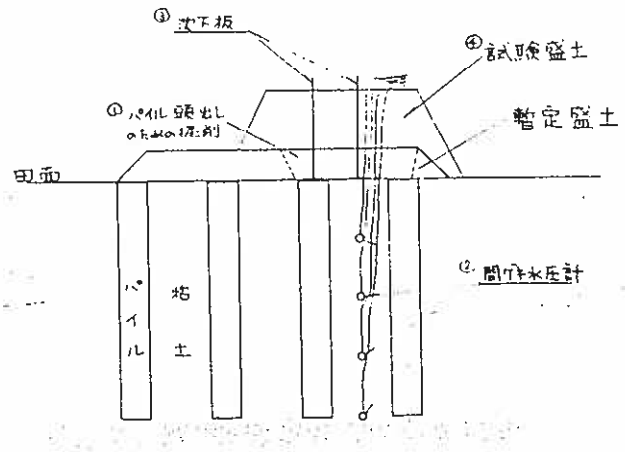

図-2 試験盛土概要図

間隙水圧計を未改良部に設置し、沈下板を改良部と未改良部に設置している。間隙水圧計は、盛土による増加応力を、沈下板は沈下量を把握することを目的としている。

動態観測により得られた結果を図-3に示した。

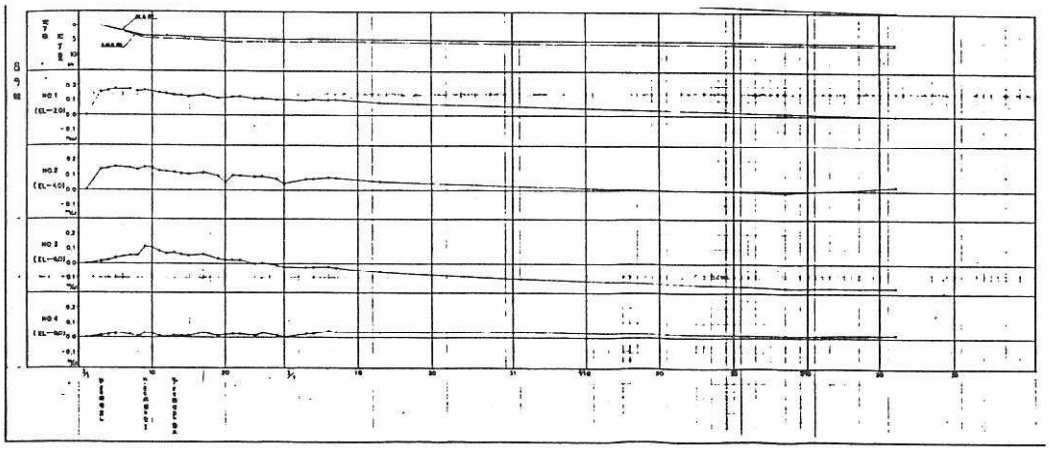

図-3　動態観測結果

5. 応力分担比

応力分担比は 3項に示すように，理論的には体積圧縮係数の比で表される。しかし，実際には 他の要素によって大きく左右されるものと考えられる。動態観測から応力分担比を推定する方法として，3種類の方法が考えられている。

(1) 実測土圧による推定方法

(2) 沈下量 から推定する方法

(3) 粘着力の増加率から推定する方法

北部土地区画整理事業で行なわれた動態観測から (1)及び(2)の推定方法で応力分担比を推定してみると 以下のとおりである。

1) 実測土圧による推定

・推定方法

盛土による増加応力が，未改良土に加わると初期の段階では，増加応力をすべて土中の間隙水圧で支えることになるため，間隙水圧計で測定された初期の間隙水圧は，増加応力を示している。この未改良土の増加応力を σ_c とし，同標高での全地盤に加わる増加応力を σ とし，また改良土に加わる応力を σ_p とすれば，応力の釣合条件式は次式のようになる。

$$\sigma = \sigma_p \cdot a_p + \sigma_c (1 - a_p) \quad \text{——— (3)}$$

全応力 σ を盛土荷重から計算して求めれば (3)式より，σ_p を次式より得られる。

$$\sigma_p = \frac{\sigma - \sigma_c (1 - a_p)}{a_p} \quad \text{——— (4)}$$

従って 応力分担比は次式より求められる。

$$n = \frac{\sigma_p}{\sigma_c} = \frac{\sigma - \sigma_c (1 - a_p)}{\sigma_c \cdot a_p} \quad \text{——— (5)}$$

◦ 推定結果

標高	未改良土の増加応力 σ_c (tf/m²)	改良土の増加応力 σ_p (tf/m²)	応力分担比 n
-2.00	0.168	0.924	5.5
-4.00	0.152	0.467	3.1
-6.00	0.118	0.285	2.4
-8.00	0.032	0.316	9.9

2) 沈下量による推定

◦ 推定方法

未改良の原地盤における圧密沈下推定量 S_c と 改良された複合地盤の実測沈下データを用いて推定した最終沈下量 S_A (双曲線法による) との比を沈下低減係数 β とすると β は次式で表される

$$\beta = \frac{S_A}{S_c} \quad \cdots\cdots (6)$$

(2)式と(6)式より

$$n = \frac{1}{a_p}\left(\frac{S_c}{S_A} - 1\right) + 1 \quad \cdots\cdots (7)$$

として応力分担比を推定する。

◦ 推定結果

S_c	S_A	n
27.7 cm	6.83 cm	10.4

それぞれの推定方法で得られた応力分担比と、当事業での設計値、及び造成パイルの体積圧縮係数から得られる値を比較すると図-4に示すようになる。

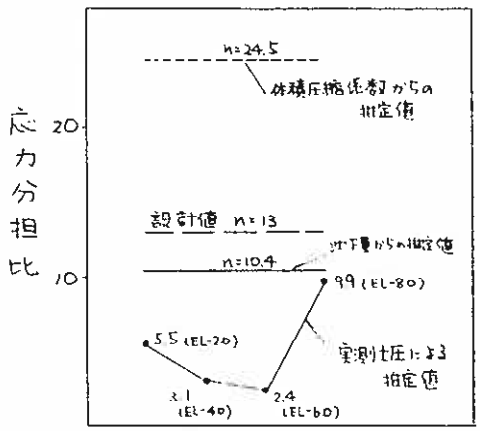

図-4 応力分担比の比較

設計値 n=13 を基準にすると、動態観測から得られる値は低く、体積圧縮係数から得られる値は非常に高く得られている。この結果は、沈下低減に対する設計において、体積圧縮係数から得られる応力分担比が確実な値でなく、他条件によって大きく左右されるものであることを示していると思われる。

6. 沈下低減効果の設計に対する考察

深層混合処理工法による沈下低減効果の設計は応力分担比と造成パイルの体積圧縮係数に注目することによって行なわれている。しかし，前項で示すように，応力分担比を体積圧縮係数のみで表すのには無理があり，体積圧縮係数を大きくするのに改良材の添加量を増加していくことには疑問が生じる。

(2)式で示される沈下低減係数βは，応力分担比の他に改良率a_pにも影響される。図-5に沈下低減係数と改良率の関係の一例を示した。

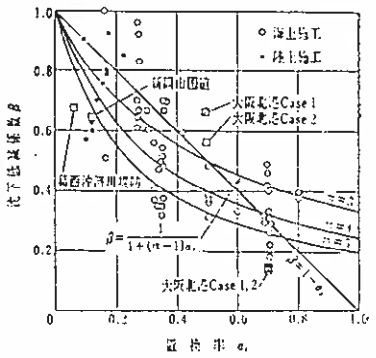

図-5 沈下低減係数と改良率の関係

図より，改良率が増加するのに従い，沈下低減係数が減少し沈下低減効果が大きくなることがわかる。

改良率と応力分担比の関係については，報告例が少なく確実な言及はできないが，改良率が大きくなれば，改良部にかかる応力が面積に比例して小さくなるため，応力分担比は小さくなるものと思われる。そして，沈下低減係数を最小にする，改良率と応力分担比の最適値が存在するものと思われる。

応力分担比に対する確実な設計ができないのが現状であり設計にあたっては，改良率に注目するのがより妥当であると思われる。従って図-6に示すフローに従う設計手法を提案する。

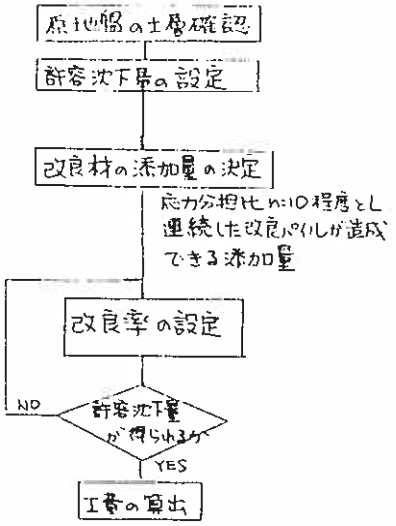

図-6 改良率に注目した設計フロー

改良材の添加量は，連続した改良柱体が得られる最少量を設定する。このとき応力分担比は，n=10程度を見込めると考えられる。これは，北部土地区画整理事業における動態観測から得られた，設計値より低いn=10程度の応力分担比であっても，設計許容沈下量を満足しているという結果を考慮したものである。

7. あとがき

深層混合処理工法による沈下低減効果に対して動態観測を通して一考察を述べた。しかし沈下低減に対する設計方法はまだ不十分であり、今後施行例、観測例を重ねることで整備される必要がある。

また施工に対しては以下に挙げる改良、改善が必要であると思われる。

i) 質配合で均一な連続パイルを造成可能とする工法の開発

ii) 改良率が大きく得られる施工サイクルの開発

iii) 改良材の化学反応を促進させる活性剤の開発

等

深層混合処理工法は、実用に供されてから10年に満たない。それにもかかわらず、本工法の適用件数は急増しており、改良土量も600万m^3を越えたと言われている。これは、劣悪な地盤条件下に大規模な公共構造物を建設する必要性や、都市域での環境への配慮（騒音、振動など）が重視された結果であり、今後さらに利用される頻度が高いものと思われる。従って、早期に設計手法が確立されることが望まれる。今後本工法の動向に注目していきたいと考えている。

参考文献

土と基礎　58年2月号 ～ 8月号

講座「深い地盤改良の実際と問題点を考える」

土質工学会　59年10月

「複合地盤の強度及び変形に関するシンポジウム発表論文集」

「北部土地区画整理事業（北工区）モデル地区街路築造工事調査及び設計報告書」