

# 複合地盤を対象とした要素レベルでの実験的ならびに解析的考察 Study of Experiment and Analysis in Element Level with Composite Ground

森 洋  
Mori Hiroshi

## 1. はじめに

東京低地に広く分布している軟弱地盤では、CDM 工法等による地盤改良の依存性が高く、特に、1970年代から港湾施設構造物の基礎部分で多く用いられるようになった。地盤の改良パターンとしては、杭状・ブロック状・格子状・壁状改良タイプ等 (Fig.1) があるが、中でも比較的早くから、複合地盤を想定することで円弧すべり計算等に適応させた杭状改良タイプを採用してきた経緯がある。これらは、SCP 工法の延長と考えられており、現行設計法としては Fig.2 に示すような円弧すべり面を仮定することで得られるすべり面上での剪断抵抗力を、改良土 (改良土の剪断強度  $C_p$ ) と未改良土 (未改良土の剪断強度  $C_0$ ) の平均剪断強度 ( $C_{ave}$ ) としているが、杭状改良を伴う複合地盤での剪断強度に対する検討を十分に行っていないのが現状である<sup>1)</sup>。

本論文では、杭状改良タイプに注目して、地盤改良強度を平均剪断強度として扱ってきた従来の設計法と要素実験ならびに有限要素解析を併用しながら、複合地盤として発揮する剪断強度を要素試験レベルで検討する。

## 2. 一軸圧縮試験

要素試験レベルでの複合地盤による剪断強度特性を簡便で定量的に再現するため、溶解度 (溶媒 100g に溶ける溶質の質量 [g]) による強度コントロールが可能な寒天 (伊那寒天: UP-37K) を試料材料として用いる。また、Fig.2 にも示したように、改良体 (改良土) の設置方向によって、剪断抵抗力の作用方向が異なり、すべり位置によって発揮する剪断強度が一定ではなくなる。そのため、複合地盤となる互層地盤を検討する場合は、水平地盤面と改良体の堆積面との成す角度 ( $\theta$ ) を変化させながら、実験を行う。

Fig.3 には、溶解度を3段階に変化させた場合の均質試料でのピーク時の一軸圧縮試験結果を示す。溶解度とピーク強度は、ほぼ直線的な対応関係を示しており、溶解度による強度コントロールが容易に行えることが分かる。Fig.4 には、水平地盤面と改良体の堆積面との成す角度 ( $\theta$ ) を  $0^\circ \sim 90^\circ$  まで変化させた場合の、ピーク強度の関係を示す。今回は、改良土に相当する試料の溶解度を 6.67g、未改良土に相当する試料の溶解度を 1.33g とし、地盤改良率 ( $\alpha$ ) を約 50%としている。試料作成過程で

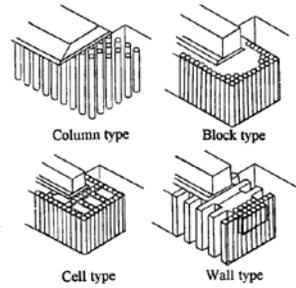
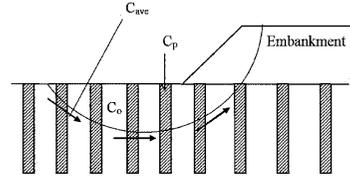


Fig.1 Improved Type



$$C_{ave} = \alpha C_p + \beta (1 - \alpha) C_0$$

$$= \alpha (q_{up}/2) + \beta (1 - \alpha) (q_{u0}/2)$$

Fig.2 Circular slip method

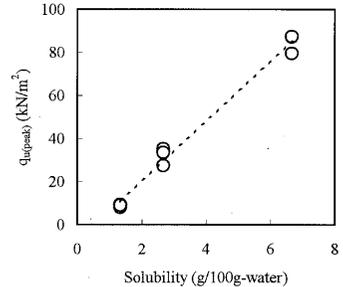


Fig.3  $q_{u(peak)}$  and solubility

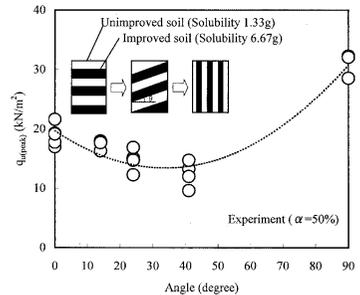


Fig.4  $q_{u(peak)}$  and bedding plane

の物理的制約条件により、 $\theta=40^\circ\sim 90^\circ$ 間での実験値は無いが、 $\theta=40^\circ\sim 60^\circ$ 間に強度の異方性の影響による最小強度が存在すると考えられる。

### 3. 弾塑性有限要素解析

弾完全塑性体モデルによる弾塑性有限要素解析（コードネーム：Nonsolan）<sup>2)</sup>を用いて、複合地盤の剪断強度特性を要素試験レベルで検討する。

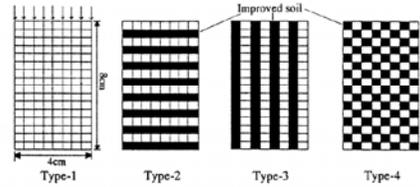
**Fig.5** には、各改良タイプでの有限要素メッシュを示す。解析条件は、拘束圧を  $100\text{kN/m}^2$  とした改良率 ( $\alpha$ ) 50% での平面ひずみ条件で行い、未改良地盤を想定した場合を Type-1、改良体設置方向を横方向に想定した場合を Type-2、縦方向に想定した場合を Type-3 とした。また、参考までに、Type-4 のようなチェッカー柄を想定した場合での検討も行った。物性値は、改良土で  $\rho_f=16.5\text{kN/m}^3$ 、 $E=240,000\text{kN/m}^2$ 、 $\nu=0.30$ 、 $K_0=1.0$ 、 $C_p=300\text{kN/m}^2$ 、未改良土で  $\rho_f=16.5\text{kN/m}^3$ 、 $E=5,000\text{kN/m}^2$ 、 $\nu=0.45$ 、 $K_0=1.0$ 、 $C_0=30\sim 90\text{kN/m}^2$  とした。**Fig.6** には、 $C_0=30\text{kN/m}^2$  とした時の残留状態にある各改良タイプの最大剪断ひずみ分布を示す。Type-1・Type-4 とも V 字状に反射する明瞭な剪断帯が発生しており、水平方向に対して約  $45^\circ$  のすべり面が発達している。また、Type-2 は横方向に設置した改良体に沿って、ひずみが集中してくる傾向にあるが、Type-3 ではひずみの発達状態が不明瞭であった。**Fig.7** には、原地盤の剪断強度 ( $C_0$ ) を三段階 ( $30, 60, 90\text{kN/m}^2$ ) に変化させた各改良タイプでのピーク時の平均剪断強度 ( $C_{ave}=(\sigma_1-\sigma_3)/2$ ) の関係を示したものであり、同図に現行設計法で用いられている計算結果 (■) も示しておいた。 $C_0$  への依存度が比較的小さい現行設計法では、結果的に  $C_0$  の影響がほとんど無い Type-3 とよく一致する傾向にあった。 $C_0=30\text{kN/m}^2$  の場合では、**Fig.4** で示した堆積面との成す角度 ( $\theta$ ) によって変化する剪断挙動特性を、解析で再現できる可能性 (Type-2 :  $\theta=0^\circ$ , Type3 :  $\theta=90^\circ$ ) を示しているが、 $C_0$  の値が高くなるとその関係性が逆転する傾向にあることは注意を要する。解析による平均剪断強度の算出方法等、今後、複合地盤を想定した解析的検討の余地はあると考える。

### 4. まとめ

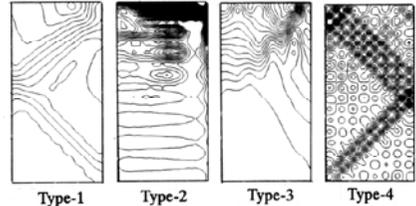
複合地盤を想定した杭状改良における剪断強度特性を、寒天材料を用いた一軸圧縮試験と弾塑性有限要素解析で検討した。寒天材料による一軸圧縮試験では、複合地盤による強度の異方性を定量的に再現できる可能性を示した。また、要素試験レベルでの弾塑性有限要素解析では、改良体の敷設タイプによって、剪断ひずみ分布や剪断強度が異なる特性を示すことが分かり、現行設計法とも比較し得る値となった。今後は、拘束圧の影響等を考慮した三軸圧縮試験による要素実験等も行い、複合地盤の剪断特性を検討していく所存である。

#### <参考文献>

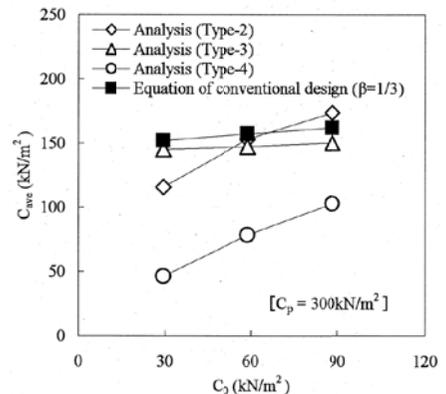
- 1) 寺師昌明・田中洋行 (1983) : 深層混合処理工法による杭状改良地盤の支持力および圧密特性、港湾技術研究所報告、第 22 巻、第 2 号、213-266
- 2) 田中忠次 (1992) : わかりやすい土質力学原論 (第 1 回改訂版)、土質工学会、109-154



**Fig.5** Finite element mesh



**Fig.6** Maximum shear strain distribution



**Fig.7** Average shear stress