

固化改良土の三軸圧縮試験による残留強度特性

清水建設（株）正会員○齋藤 諒平
正会員 市川 雄太

1. はじめに

擁壁などのコンクリート構造物を地盤上に施工する際には、滑動に対する安定性を照査する。滑動抵抗力となる構造物底面と地盤との間に生じるせん断抵抗力を適切に把握することは重要となる。セメント系固化材などによる改良地盤とコンクリートのせん断強さの算定には改良地盤の強度（内部摩擦角 ϕ 、粘着力 c ）を用いるなどの方法がとられる。これらのせん断強さを実験的に確認した事例は少ない。「建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針（日本建築センター）¹⁾」（以下、指針と称す）では、永久構造物の基礎地盤に地盤改良を選定する際、長期的な品質確保を考慮して改良体の強度に残留強度を使用し、改良体の適用性を検討することとしている。また、擁壁底版と改良体地盤との摩擦係数 $\mu=\tan \phi$ （基礎地盤の内部摩擦角 ϕ ）は、指針 Q&A 集²⁾によると、三軸圧縮試験（CU試験）による残留強度から推定した内部摩擦角 ϕ より 0.5～0.6 程度と推定されており、宅地土工マニュアル³⁾では、土質試験がなされていない場合、岩盤・砂利での摩擦係数 μ は 0.5 で設定されている。

上記を踏まえ、本論文では、指針に基づき三軸圧縮試験（CU試験）により得られるセメント系固化材を用いた改良土の残留強度に着目し、せん断強度特性を報告する。

2. 試験方法

表 1、表 2 に本試験に使用した材料特性を示す。試験に用いた供試体は、表 3 に示す配合で固化材を原位置においてバックホウにより攪拌混合した改良体を材令 28 日以降にコア採取し、ハンマーで破碎した後、供試体寸法（高さ 10cm×幅 5cm）を考慮して許容最大粒径 9.5mm となるように目開き 2mm と 9.5mm 網ふるいを用いてふるい分けを行い、粒径 2mm～9.5mm に粒度調整してから相対密度 D_r を 85% となるように作製した。ここでコア採取した改良土を破碎

した理由は、指針¹⁾の内容に準拠し、固化改良土を破碎した試料を用いた三軸圧縮試験結果が残留強度に相当するとしているためである。

固化改良土を破碎した供試体の明確な作製方法は規定されていないため、相対密度 D_r の設定含め、既往の固化破碎粒子の文献⁴⁾を参考とし、作製した。三軸圧縮試験は「土の圧密非排水（CU試験）三軸圧縮試験方法」に準拠し、圧密応力 σ_c は 50,100,150 kN/m² の 3 パターンを考慮し、5 本実施した。

表 1 材料の物理特性 その 1

土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	粒度組成 (%)			
	粘土分	シルト分	砂分	礫分
2.655	21.2	34.4	33.8	10.6

表 2 材料の物理特性 その 2

細粒分含有率 F_c (%)	自然含水比 w (%)	液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_P (%)
55.6	21.1	50.8	21.2

表 3 固化改良土の配合

使用固化材	固化材添加量 C (kg/m ³)	水セメント比 W/C (%)
汎用性固化材 ジオセット 200	140	100



写真 1 粒度調整前の固化改良土



写真 2 粒度調整後の固化改良土

キーワード 固化改良土、三軸圧縮試験、残留強度、

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目 16 番 1 号 清水建設株式会社 土木技術本部基盤技術部地盤グループ

3. 試験結果および考察

表 4 にケースごとの圧縮強さ q , 図 1 に強度定数 (粘着力 c' , 内部摩擦角 ϕ') の平均値と近くなるケース 3 の軸ひずみ ε と圧縮応力度 q の関係を示す.

供試体 No. 2 は他の供試体よりも, コア採取が 15 日遅くなったため, 材令日数の影響により, 固化粒子自体の強度が大きくなり, 圧縮強さが大きくなったと考えられる. 表 5 に試験から得られるケースごとの強度定数と内部摩擦角 ϕ' から得られる摩擦係数 μ ($=\tan \phi'$), 図 2 にケース 4 の垂直応力 σ とせん断応力 τ の関係を示す. 内部摩擦角 ϕ' は, 平均内部摩擦角 $\phi'=38.6^\circ$ となった. 指針¹⁾では, 砂質土, 粘性土および腐植土を対象とした改良土を破碎して用いた三軸圧縮試験結果 (CU 試験) より, 土質の違いによる応力経路の差異はなく, 平均粘着力 $c'=7.0\text{kN/m}^2$, 平均内部摩擦角 $\phi'=39.9^\circ$ と報告されており, 供試体ごとのバラツキは多少あるものの本結果と概ね同じ値となった.

表 6 に別途実施された本論文同配合の室内試験により作製された改良土 (破碎はしない) とコンクリートの大型一面せん断試験により得られる内部摩擦角 ϕ , 摩擦係数 μ との比較を示す. 内部摩擦角 ϕ は一面せん断試験から得られる結果よりもやや小さい値となった. また, 内部摩擦係数 ϕ' から求まる摩擦係数 μ は 0.8 程度となり, 指針の推定値および宅地土工マニュアルでの設定値 0.5~0.6 を上回る結果となった.

4. まとめ

本検討では, 指針に基づき固化改良土の残留強度に着目した三軸圧縮試験 (CU 試験) を実施した. 試験結果より, 多少のバラツキはあるものの固化改良土の強度定数 (粘着力 c' , 内部摩擦角 ϕ') を把握することができた. また, 内部摩擦角 ϕ より求められる摩擦係数 μ は指針, 宅地土工マニュアルで推奨・設定されている値よりも大きくなることを確認できた.

表 4 ケースごとの圧縮強さ q 一覧

No.	圧縮強さ q		
	$\sigma_c=50$ (kN/m^2)	$\sigma_c=100$ (kN/m^2)	$\sigma_c=150$ (kN/m^2)
1	134	160	184
2	265	289	312
3	114	149	174
4	103	158	202
5	128	155	179
平均	149	182	210

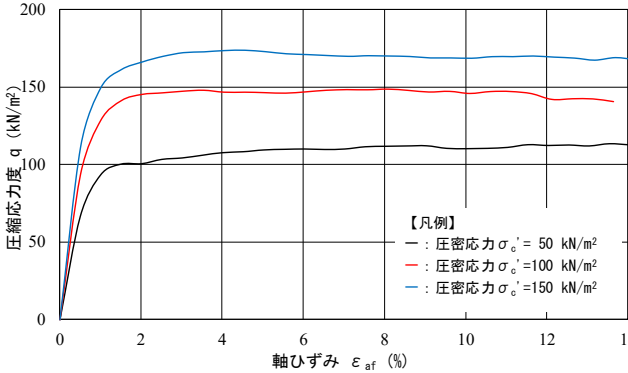


図 1 ケース No. 3 軸ひずみ ε と圧縮応力度 q の関係

表 5 ケースごとの強度定数 (c' , ϕ') 一覧

強度定数 No.	粘着力 c' (kN/m^2)	内部 摩擦角 ϕ' ($^\circ$)	摩擦係数 μ ($=\tan \phi$)
1	3.1	39.4	0.821
2	13.3	39.4	0.821
3	3.4	38.7	0.801
4	10.8	36.1	0.729
5	3.6	39.5	0.824
平均	6.8	38.6	0.798

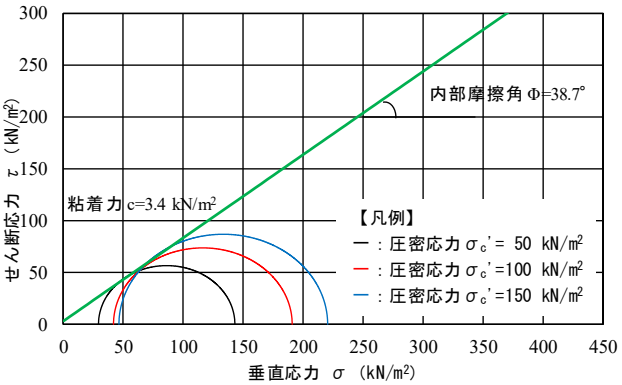


図 2 ケース No. 3 垂直応力 σ とせん断応力 τ の関係

表 6 各試験から得られる強度定数, 摩擦係数一覧

試験項目	内部摩擦角 ϕ ($^\circ$)	摩擦係数 μ ($=\tan \phi$)
①三軸圧縮試験 (CU 試験)	38.6 (平均)	0.798 (平均)
②一面せん断試験	41.6	0.888

【参考文献】1)日本建築センター:改訂版 建築物のための改良地盤

の設計及び品質管理指針-セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法-, pp.30-31, pp.49-50, 2008. 2)日本建築センター:改訂版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針 Q&A 集, pp.29, 2008. 3)ぎょうせい 監修 建設省建設経済局民間宅地指導室 編集 宅地防災協会:改訂版 宅地防災マニュアルの解説, [I], pp.271-273, 1998 4)新舎 博, 堤 彩人:砂礫の代替品としての利用を目的とした固化破碎粒子の強度特性に関する研究, 土木学会論文集 C (地圏工学), Vol.72, pp.74-85, 2016