

セメント改良粘土の繰返し変形特性に関する研究

-一般の土との比較-

Cyclic Deformation Properties of Clayey Soil Improved by Cement-Mixing
Comparison with General Soils○加藤健¹, 酒匂教明²*Ken Kato¹, Noriaki Sako²

Abstract: Cyclic deformation properties of soils are required to obtain the response of seismic ground motions, however, the cyclic deformation properties of improved soils by cement-mixing are unknown. Therefore, cyclic deformation tests of cement-mixing clayey soils were performed with addition amount of cement material as a parameter factor. The results confirmed that the nonlinearity appeared from a small strain level as the addition amount of cement material increased. The reduction curve of shear stiffness shifted from that of clayey soils to that of gravel soils as shear strain increased.

1. はじめに

地震時の地盤の応答特性を求める際には繰返し変形特性 ($G \sim \gamma$, $h \sim \gamma$ 関係) が必要となるため, 自然に堆積した地盤や再調整による試料を対象にした数多くの繰返し変形特性試験が実施されてきた。しかしながら, セメント改良地盤の繰返し変形特性に関する研究事例はそれほど多くなく知見が少ない。そのため, 実際に, 改良体部分を線形として扱い解析が行われている研究事例^[1]があれば, 改良体を非線形として扱う研究事例^[2]も見られる。

前述した解析に用いられる繰返し変形特性を求めるには, 繰返し三軸試験が行われることが多いが, 改良土を対象とした場合には, 改良土の力学特性および試験装置の機構による制約によって, 得られる繰返し変形特性の試験結果のひずみ範囲が制限されてしまう。

そこで, 本研究では粘性土を対象に固化材添加量および平均有効主応力をパラメータとして中空ねじりせん断による繰返し変形特性試験を実施し, まずは固化材添加量の影響について確認し, 次に一般の土の繰返し変形特性と比較し考察した。

2. 繰返し変形特性試験

2.1 試料, 安定材の配合および試験条件

試料は, カオリン A (土粒子の密度 $\rho_s=2.663\text{g/cm}^3$, 液性限界 $w_L=63.5\%$, 塑性限界 $w_P=33.0\%$, 塑性指数 $I_p=30.5$) であり, 安定材にはセメント系固化材を用いた。固化材の配合条件は Table1 に示した。粉体試料を調整する含水比は液性限界 w_L の約 2 倍とした。試験供試体は, 中空ねじりせん断試験用の中空円筒供試体 (外径 10 cm, 内径 6 cm, 高さ 10 cm) と一軸圧縮試

Table 1. Production conditions of sample and test condition

Stabilizer amount C (kg/m ³)	Water-to-stabilizer ratio W/C (%)	Mean effective stress σ'_m (kN/m ²)	Anisotropic consolidation stress ratio K	Age (days)
50, 100, 150 250, 300	60	41, 59, 82	0.4	28~30

験用の円柱供試体 (直径 5 cm, 高さ 10 cm) を地盤工学会基準 JGS 0821 に準拠して同時に作製した。繰返し変形特性試験では, セメンテーション効果の相違が繰返し変形特性に及ぼす影響を検討するために, 固化材添加量 C は 50, 100, 150, 250, 300 kg/m³ の 5 種類として, 水・固化材質量比 W/C は 60% とした。

2.2 試験方法

繰返し変形特性試験は, Table1 に示すように, 3 種類の平均有効主応力 $\sigma'_m=(\sigma'_a+2\sigma'_h)/3$ で, 圧密応力比 $K=(\sigma'_h/\sigma'_a)=0.4$ の異方応力状態として, 所定の軸方向応力 σ'_a と側方向応力 σ'_h で圧密した。圧密終了後, ひずみ制御方式で一定のせん断ひずみ振幅の非排水繰返し載荷 (繰返し回数は 11 回) を $\gamma \approx 0.001\% \sim 2\%$ のせん断ひずみ範囲で段階的に実施した^[3]。

また, 本試験において試験供試体のセメンテーション効果を確認するために, 中空ねじりせん断試験供試体と同時に作製した円柱供試体に対して, 同じ材齢で一軸圧縮試験を行った。試験材齢は, 約 1 ヶ月 (若材齢) である。

3. 試験結果および考察

固化材添加量による影響を検討するために, Figure1 に 3 種類の σ'_m ごとの $G/G_{\max} \sim \gamma$ 関係と一般の土の $G/G_{\max} \sim \gamma$ 関係^[4] を, Figure2 に 3 種類の σ'_m ごとの $h \sim \gamma$ 関係と一般の土の $h \sim \gamma$ 関係^[4] を併せ示した。

1: 日大理工・院 (前)・建築 2: 日大短大・教員・建築

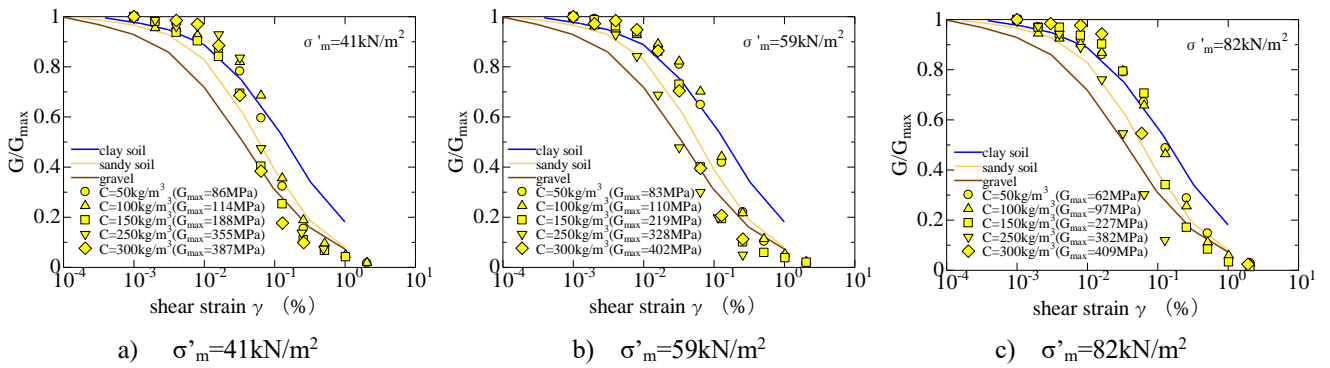


Figure 1. Variation of G/G_{max} with γ

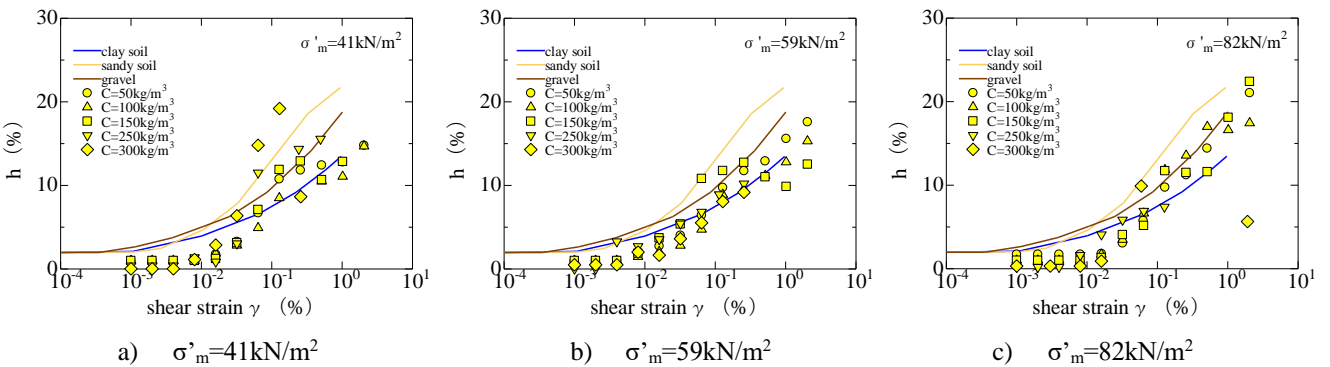


Figure 2. Variation of h with γ

Figure1 より、固化材添加量が多いものほど非線形性が現れるひずみレベルは小さい傾向にある。これは固化材によるセメンテーション効果が G_{max} に大きく寄与し、固化材添加量が多くなると初期せん断剛性 G_{max} が大きくなり、その反面、ひずみの増加に伴う剛性低下が起きやすくなったためである。全体の傾向としては、セメント改良粘土の G/G_{max} は $\gamma=6 \times 10^{-2}\%$ 以下で粘性土の G/G_{max} カーブに近く、 $\gamma=6 \times 10^{-2}\%$ を超えると砂礫の G/G_{max} カーブに近いということが分かった。

Figure2 より、ひずみレベル $\gamma=6 \times 10^{-2}\%$ 以下では、減衰定数は 2% 前後の値となっており、 $\gamma=6 \times 10^{-2}\%$ を超えると減衰定数 h の値は固化材添加量ごとにばらつきが見られ、固化材添加量の違いによる明確な傾向は確認できなかった。

以上のことから、ひずみレベル $\gamma=6 \times 10^{-2}\%$ 程度までは、粒子の骨格に与える効果は有効拘束圧よりもセメンテーションが優勢であり、 $\gamma=6 \times 10^{-2}\% \sim 10^{-1}\%$ 付近でセメントによって固定された骨格が局部的に破壊を起し始め、これより大きなひずみでは徐々にセメンテーション効果が失われ、急激な剛性低下と減衰定数の大きなばらつきに現れたと考えられる。

4. まとめ

セメント改良粘土の繰返し変形特性を把握するため

に、材齢 28~30 日経過したセメント改良粘土に対して中空ねじりせん断試験と一軸圧縮試験を実施した。

本報告をまとめると以下の通りである。

- ① 固化材添加量 C を影響因子として、セメント改良粘土の繰返し変形特性を比較したところ、 $C=50 \sim 300 \text{kg/m}^3$ の範囲では、 $G/G_{max} \sim \gamma$ 関係は固化材添加量の増加に伴い小さいひずみレベルで非線形化し、 $h \sim \gamma$ 関係は $\gamma=6 \times 10^{-2}\%$ を超えるとばらつきが生じることがわかった。
- ② 一般の土と比較した結果、 $\gamma=6 \times 10^{-2}\%$ 以下では、粘性土に近い G/G_{max} の低下が生じ、 $\gamma=6 \times 10^{-2}\%$ を超え $10^{-1}\%$ 以下の範囲で急激な G/G_{max} の低下が生じ、 h はばらつきが確認された。また、 $\gamma=10^{-1}\%$ を超えると砂礫に近い G/G_{max} の低下が生じた。

5. 参考文献

- [1]内田明彦ほか:格子状地盤改良工法における格子間隔簡易設定法の適用性,地盤工学ジャーナル, Vol.11, No.3, pp.259-267, 2016.
- [2]内田明彦ほか:格子状地中壁工法の液状化対策効果に関する簡易評価シート,日本建築学会技術報告集,第20巻,第46号, pp.921-924, 2014.10
- [3]對馬楓芽ほか:中空ねじりせん断試験システムの開発 その3 変形特性試験の適用性の検討,令和元年度日本大学理工学部学術講演会予稿集, pp.112-113, 2019.
- [4]今津雅紀,福武毅芳:砂礫材料の動的変形特性,第21回土質工学研究発表会講演集, pp.509-512, 1986.5