

高分子で改良した土の改良メカニズムに関する土質力学に基づく解釈

名古屋大学 正会員 ○酒井 崇之

名古屋大学 フェロー会員 中野 正樹

名古屋大学 非会員 ジンチェンコ アナトーリ

1. はじめに

近年、地盤改良の方法として、高分子材料の添加による方法も行われる¹⁾²⁾。多くの研究では、一軸圧縮試験など強度を評価しているものや、単純せん断試験などが実施されており、三軸圧縮試験を実施し詳細な力学特性を把握している研究は少なく³⁾、高分子材料により改良された土構造物がどのように変形し、どの程度沈下するかなどの性能照査のためには、詳細な力学挙動の把握が必要となる。そのような背景から、真砂土を対象にバイオマス由来の高分子による改良を行い、三軸圧縮試験などを実施し、改良効果について調べてきた⁴⁾。本報告では、物理的性質の変化に着目した実験を行い、改良効果メカニズムに関して考察する。

2. 本研究で用いた材料

図-1 は使用した試料の粒径加積曲線を示す。均等係数 U_c は 39.3、曲率係数 U_c' は 3.75 であった。なお、土粒子密度 ρ_s は 2.716g/cm^3 であった。締固め試験を A-b 法で実施したところ、最大乾燥密度 ρ_{dmax} は、 1.864g/cm^3 で、最適含水比 w_{opt} は 13.5% であった。本研究では、負電荷をもつ高分子として CMC を用いた。水に溶けないセルロースにカルボキシメチル基($-\text{CH}_2-\text{COOH}$)を導入することで可溶化し、優れた増粘性、吸水性、保水性を有している。正電荷をもつ高分子として用いた CS は、甲殻類の甲羅、昆虫類の表皮や軟体動物の殻などに含まれるキチンを脱アセチル化することにより得られる天然由来の高分子である。これらを土と混合することで、静電的な相互作用が働き、ポリイオンコンプレックスが形成される。

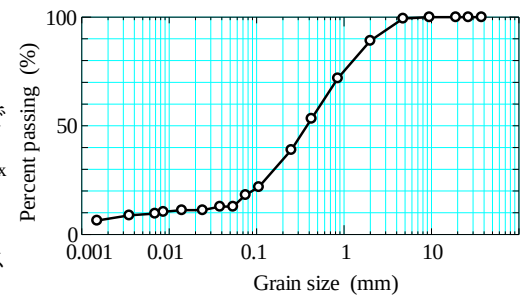


図-1 粒径加積曲線

3. 高分子で改良した土の力学試験結果

本章では、既往の研究で実施した三軸圧縮試験結果と標準圧密試験結果について示す。供試体の作製方法や試験方法は文献 4) を参照されたい。図-2 に非排水三軸圧縮試験の結果を示す。図-2 の q - ε_a 関係から分かるように、未改良土に比べて改良土の方が、硬化の程度が大きくなっていることから、改良の効果が確認された。 q - p' 関係から、せん断初期において p' の減少に伴う q の上昇、つまり塑性圧縮を伴う硬化挙動を示し、限界状態線に達した後に、 p' の増加に伴う q の上昇、つまり塑性膨張を伴う硬化挙動を示した。初期の塑性圧縮の程度は、改良土は未改良土に比べて小さく、限界状態線に達した後の硬化は、CS:CMC = 2:1、CS:CMC = 1:1、未改良土の順に大きい。

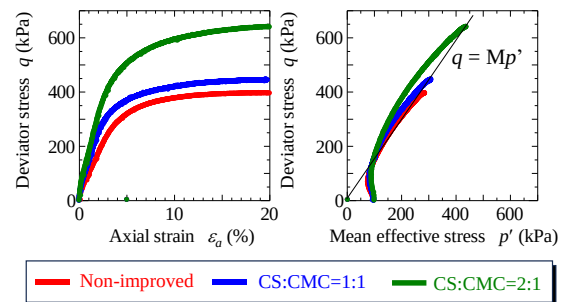


図-2 三軸圧縮試験結果

図-3 の圧密試験の結果から、高分子材料を加えることにより、圧密降伏応力が増大し、圧縮線が上側を取ることがわかる。また、圧縮線の傾きは、改良土の方が大きい。CS:CMC が大きいほど、この傾向が顕著となった。

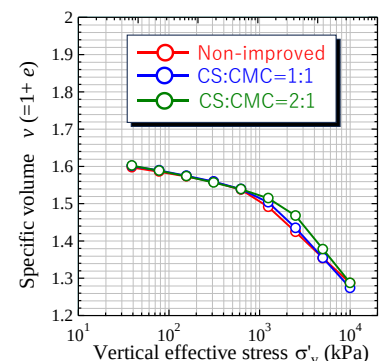


図-3 標準圧密試験結果

どちらの試験も CS : CMC=2:1 のケースが最も改良効果大きい。これは、土粒子が負の電荷を持っているため、CS を多めに入れた方が電荷のバランスが良くなるため、改良効果が大きくなったと考えられる。

4. 高分子で改良した土の改良メカニズムに関する考察

高分子材料の改良メカニズムを把握するため、さらに詳細な検討を行った。ここでは、液性限界・塑性限界試験(JIS A 1205)、標準圧密試験(JIS A 1217)を実施した。標準圧密試験は、図-3よりも緩い密度で供試体を作製することで、より低い有効応力で正規圧密状態になるようにした。液・塑性限界試験結果を表-1に示す。

元の材料はNPとなった。しかし、高分子材料を加えることで液性限界・塑性限界が得られ、添加量が多いほど液性限界・塑性限界ともに高くなっている。これは、反応した高分子材料が吸水性、保水性を有していることにより、添加量が多いほど吸水性、保水性が上がったためであると考えられる。図-4に標準圧密試験から得られた鉛直有効応力と比体積の関係を示す。高分子材料を加えることにより、圧密降伏応力が増大し、圧縮線が上側を取ることがわかる。また、CS:CMC=2:1と未改良土の圧縮線が交差していることがわかった。

図-4の結果から、圧縮線の傾き λ や圧縮線の切片Nが大きくなっていると言える。 λ やNと液性限界の関係についての研究はいくつかあり、Skemptonの式に代表されるように、液性限界が大きくなるほど、圧縮指数が大きくなり、圧縮線の切片Nも液性限界が大きいほど大きくなる傾向がある⁹⁾。これらのことから、高分子添加によって、異なる材料に変化したと解釈できる。

以上を踏まえて、図-5を用いて高分子による改良効果を土質力学に基づき説明する。高分子を添加することにより、異なる材料に変化し、NCLの傾き、切片は大きくなる。今回、締固め度が同じであれば、初期の比体積や応力状態は同じである。そのため、高分子添加によって、NCLが右上に移動することで、過圧密比が大きくなる(未改良土の過圧密比は $\sigma'_{v1}/\sigma'_{v0}$ 、改良土の過圧密比は $\sigma'_{v2}/\sigma'_{v0}$)。せん断時の塑性膨張を伴う硬化挙動が顕著になり、標準圧密試験において、圧密降伏応力が大きくなるのである。

表-2 液・塑性限界試験(表内の比はCSとCMCの比)

	未改良	1:1	2:1
液性限界 (%)	NP	38.8	52.5
塑性限界 (%)	NP	31.1	39.9
塑性指数	-	7.69	12.6

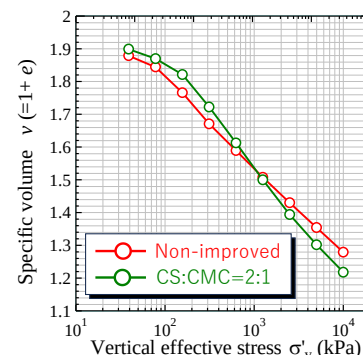


図-4 標準圧密試験結果

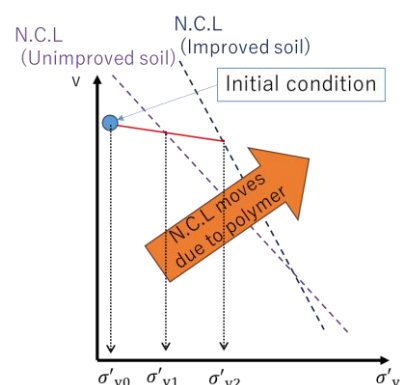


図-5 改良メカニズム

5. おわりに

高分子による改良によって、過圧密比が大きくなることが推定されるが、高分子添加によって、NCLが右上に移動するために、このような現象が起きることがわかった。今後は、この知見を基に弾塑性構成則により力学挙動の再現を試みる。

参考文献

- 1) Zezin, A.B., et al., Polymeric stabilizers for protection of soil and ground against wind and water erosion, Adv. Colloid. Interfac. 226, 17-23, 2015.
- 2) 熊沢 紀之, 飯館村の除染現場より--今,化学者は何をすべきか 福島第一原子力発電所事故による放射性物質の汚染除去に向けて, 現代科学, 484, 34-38, 2011.
- 3) Fatahi, H., et al., Biopolymers as Green Binders for Soil Improvement in Geotechnical Applications: A Review, Geosciences, 11(7), 291, 2021.
- 4) 竹田他: バイオマス由来の高分子材料によって改良された中間土の物性・力学特性に関する実験的研究, 第35回中部地盤工学シンポジウム, pp.27-32, 2023.
- 5) Nakase et al., Constitutive Parameters Estimated by Plasticity Inde, Journal of Geotechnical Engineering, Volume 114, Issue 7, 1988.