

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と圧密特性の把握

改良土 中間土 段階載荷圧密試験

名古屋大学 国際会員 ○酒井 崇之 中野 正樹

名古屋大学 特別会員 竹田 菜都

名古屋大学 非会員 ジンチェンコ アナトーリ 王焱昊

1. はじめに

前報¹⁾ではバイオマス由来の高分子材料としてキトサンと CMC を真砂土に混合して締め固めた供試体に対し非排水三軸圧縮試験を実施し、改良効果が確認された。本報では、同じ試料に対して液性限界試験と塑性限界試験および、標準圧密試験を実施し、物性や圧密特性を把握した。

表-1 実験ケース

ケース	キトサン : CMC	キトサン (g)	CMC (g)	含水比 (%)	締固め 度(%)
Case 1	-	-	-	15.6	90
Case 2	2:1	1.08	0.54	15.6	90
Case 3	1:1	0.54	0.54	15.6	90
Case 4	-	-	-	15.6	75
Case 5	2:1	0.87	0.435	15.6	75
Case 6	1:1	0.435	0.435	15.6	75
Case 7	2:1	1.74	0.87	31.2	75

2. 試験ケースと供試体作製方法

表-1 は試験ケースを示す。基本的には前報と同じであるが、液性限界試験と塑性限界試験については、Case 4~7 に対して実施した。Case 1~3 を実施しなかった理由は、混合時の含水比や土の乾燥重量と高分子材料の添加量比が Case 2 と Case 5, Case 3 と Case 6 は同じであり、同じ結果が得られると予想したためである。標準圧密試験については、Case 3 以外に実施した。

液性限界試験と塑性限界試験用の供試体は養生するまでは三軸圧縮試験と同様の方法で作製した。モールドから取り出した後は、通常の液性限界試験と塑性限界試験のようにガラス板の上で十分に練返して試験を JIS A 1205 に準拠して行った。標準圧密試験については、高さ 2cm、直径 6cm の圧密リング内にランマーを用いて 1 層で締め固めて供試体を作製した。作製後の供試体をラップで密閉し、20 度の恒温室内の暗所で 1 週間養生した。試験は JIS A 1217 に準拠して段階載荷法を用いて行った。Case 1, 2 については、39.2, 78.5, 157.0, 313.9, 627.8, 1255.7, 2511.4, 5022.7, 10045.4kPa で段階的に載荷し、Case 4~7 は 10, 20, 40, 80, 160, 320, 640, 1280kPa で段階的に載荷した。4 章の図-3, 4 にも示す通り、圧密は完全に収束していないものの、1 日経過しても 0.001cm しか沈下が進まないため、収束したと判定し各段階で 4 日間かけた。

3. 液性限界試験と塑性限界試験結果

表-2 に液性限界試験と塑性限界試験結果を示す。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・塑性限界が求められ、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。

表-2 液性限界試験と塑性限界試験結果

	Case 4 (未改良)	Case 5	Case 6	Case 7
液性限界 (%)	NP	52.5	38.8	54.9
塑性限界 (%)	NP	39.9	31.1	43.9
塑性指数	-	12.6	7.69	11.0

4. 標準圧密試験結果

図-1, 2 に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と圧縮線は変化し、添加量によっても異なる。図-1 の Case 1, 2 の比較から、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、図-2 の Case 4~6 でも、CMC の量が同じであれば、キトサンの量が多いほど同じ応力下における比体積が大きく圧縮線が上側を取り、圧密降伏応力が大きくなった。また、Case 7 は、高分子材料を多く混合したのにも関わらず、Case 4~6 に比べ圧縮線は下に位置し、正規圧密領域と過圧密領域が不明瞭になった。砂質土は粘性土と比較して正規圧密領域と過圧密領域が不明瞭になる。高分子材料の添加量を増やすことで、より大きな PIC を形成することにより、より粒径が大きい土のような挙動を示したのではないかと予想している。表-3 に各ケースにおける圧縮線の傾き λ を示す。また、式(1)に示す Skempton の式²⁾を用いて推定した圧縮線の傾き λ も併せて示す。

$$\lambda = 0.4343C_c, C_c = 0.007(w_L - 10) \quad (式 1)$$

ここ C_c は圧縮指数、 w_L は液性限界である。

密に詰めた Case 2 では、圧密試験から得られた λ と Skempton の式から得られた λ はほとんど同じであった。しかし、緩く詰まっている Case 5, 6 は Skempton の式から得られた λ よりも大きくなった。緩く詰まっている分、構造が高位に

なっており、圧密試験から得られた λ の方が大きくなった。一方、Case 7 は先に述べた通り、正規圧密領域と過圧密領域が不明瞭となっており、むしろ Skempton の式から得られた λ の方が、値が大きい。なお、膨潤線の傾き κ については、いずれのケースもほとんど同じとなった。 κ/λ については、0.06~0.1 程度であり、通常の土質材料と同程度の値となった。

図-3 に Case 4~Case 7 に対して 320kPa 载荷した際の沈下一時間関係を示す。载荷直後においては、未改良である Case 4 が最初に大きく沈下した。しかし、時間が経過するにつれて徐々に高分子材料を加えた供試体の方が沈下していき、Case 6, 7 については最終的に沈下量が逆転した。このことから、高分子材料を添加することによって、透水性が悪くなることわかる。そこで透水係数を比較するため、 $\sqrt{t}$ 法を用いて透水係数を推定した。その結果を図-4, 5 に示す。高分子材料を添加した供試体の方が、透水係数が小さくなっていることがわかる。また、通常の土材料と同様に圧密圧力が大きくなるにつれて間隙が小さくなっていくため、透水係数も小さくなっていくことがわかった。高分子の添加により透水性が低下する原因として、本研究と同じ土に対して高分子材料を添加した後の SEM 画像³⁾を用いて説明する(図-6)。高分子材料を添加することにより、土粒子間にフィルムのような物質が形成される。このフィルムのような物質が間隙に蓋をしてしまうため、水の通り道が少なくなっていくので、透水性が悪くなったのではないかと推定される。

5. おわりに

本研究では、バイオマス由来の高分子材料を混合して締固めて作製した供試体に対し、液性限界・塑性限界試験や標準圧密試験を実施した。その結果、高分子材料を混合することにより、液性限界試験が求められるようになり、圧密降伏応力が大きくなるなどの効果が得られた。一方、透水性が悪くなることもわかった。今後は、異なる混合比や CMC の濃度を変化させることや、砂、粘土など、異なる土に対して、同様の実験を重ねてさらに力学挙動を明らかにしていきたい。

表-3 圧縮線と膨潤線の傾き

ケース	λ 圧密試験	λ Skempton の式	κ
Case 1	0.097	-	0.009
Case 2	0.127	0.129	0.009
Case 4	0.115	-	0.009
Case 5	0.163	0.129	0.010
Case 6	0.150	0.088	0.011
Case 7	0.126	0.136	0.009

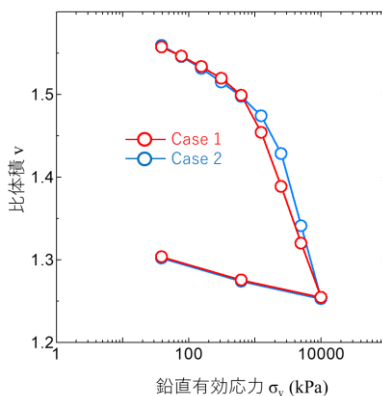


図-1 比体積と鉛直有効応力の関係 (締固め度 90%)

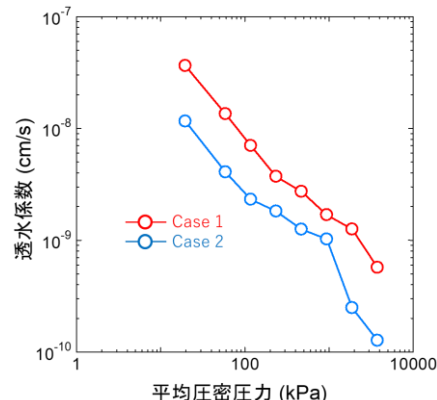


図-4 透水係数と圧密圧力の関係 (締固め度 90%)

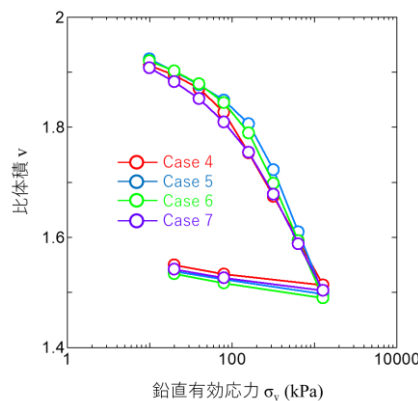


図-2 比体積と鉛直有効応力の関係 (締固め度 75%)

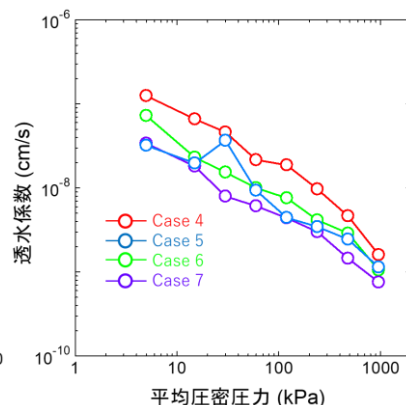


図-5 透水係数と圧密圧力の関係 (締固め度 75%)

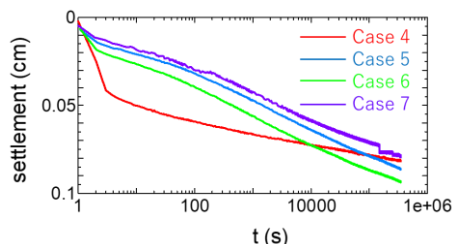


図-3 320kPa 载荷時の沈下一時間関係 (Case 4~7)

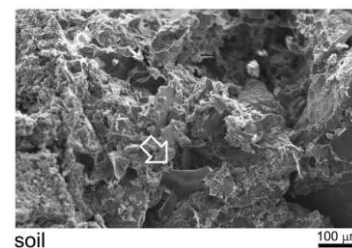


図-6 高分子を添加した真砂土の SEM 画像³⁾

参考文献：1)竹田菜都，酒井崇之，中野正樹，ジンチェンコアナトリー：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せん断特性の把握，第 58 回地盤工学会研究発表会，本誌．2) Skempton A. W. (1944): Notes on the compressibility of clays, Quart. J. Geol. Soc., London, C, pp.119-135, 1944. 3) Zinchenko, A., Sakai, T., Morikawa, K. and Nakano, M.: Efficient stabilization of soil, sand, and clay by a polymer network of biomass-derived chitosan and carboxymethyl cellulose, Journal of Environmental Chemical Engineering, Vol.10, Issue 1, 2022.