

密に締め固めて作製した厩肥・粉炭混合土の炭素貯留能力と力学特性の把握

土壌 圧密試験 一軸圧縮試験

名古屋大学 特別会員 ○水野 良亮
名古屋大学 国際会員 中野 正樹 酒井 崇之
名古屋大学 村瀬 潤

1. はじめに

2050 年のカーボンニュートラル、脱炭素社会の実現に向けて、さまざまな分野で研究が取り組まれている。地盤工学の分野でも、例えば第 15 回環境地盤工学シンポジウム¹⁾での CO₂ 固定・貯留セッションなどで研究が紹介されてきている。その多くは環境配慮型地盤改良であるが、そもそも地盤そのものが巨大な炭素貯蔵庫と言われる。「地球全体の土壌における炭素蓄積量は 1500Pg (ペタグラム) と見積もられており、これは大気中 CO₂ (750Pg) の 2 倍、植物バイオマス (560Pg) の 3 倍に相当する」²⁾ことから、炭素貯留能力を持ち合わせた材料として「地盤材料」を捉え、その性状・挙動を調べることから始めたいと思う。

その第一歩として本研究では、「土壌」を意識して、厩肥や粉炭を混合した土の炭素貯留の程度、そしてその物理・力学特性の把握を目的とする。目的達成のため二つの視点からの試験結果を示す。一つ目は厩肥や粉炭の配合条件を変えた場合での標準圧密試験、一軸圧縮試験の結果の比較を行う。粉炭も厩肥と同様に炭素貯留の効果が認められているので、粉炭の特性も確認する。二つ目は厩肥・粉炭混合土の時間経過による標準圧密試験、一軸圧縮試験の結果の比較を行う。土壌炭素の一部は時間とともに空気中に放出されるので、その過程で力学特性が変化するかを把握する。

2. 試験に用いた試料

土試料は名古屋大学大学院生命農学研究科附属センターの東郷フィールド内の農場で採取した土で、ここでは母材と呼ぶ。母材は試験を通じて全試料で粒度が等しくなるよう 9.5~2mm を 41.9%、2mm 以下を 58.1%の割合で調整した。母材に混入する厩肥は、牛糞を堆肥舎に積み上げ、3~4 週間ごとにかき混ぜて、発酵を促して作製している。粉炭は市販されていて、広葉樹を炭窯で燃焼温度 600 度~800 度で炭化させ、粒径は 10mm より小さい微粉末である。母材、厩肥、粉炭の土粒子密度は、それぞれ 2.68g/cm³、1.59g/cm³、1.54g/cm³である。

3. 試験方法

試験で用いる混合土は、母材のみ、母材乾燥質量に対し厩肥 1%、厩肥 5%、粉炭 2%、厩肥 1%粉炭 2%の割合で混合した供試体を作製し、それぞれ F0、F1、F5、F0C2、F1C2 とした。物理試験として液性・塑性限界試験 (JIS A 1205)、力学試験として締固め試験 (JIS A 1210、A-a 法) を実施し、締固め度 93%の供試体を作製し、作製当初 (養生 0 日) と恒温養生 2 か月の状態に対し、標準圧密試験 (JIS A 1217)、一軸圧縮試験 (JIS A 1216) を実施した。さらに供試体からの二酸化炭素排出量を測定した。その方法は、一軸圧縮試験用に締固めた供試体を 10g 程度に分割して 25℃の恒温室に静置し、1 週間ごとにガスクロマトグラフィー (GC-2014, Shimadzu) を用いて二酸化炭素排出量を測定する。

4. 厩肥・粉炭混合土の試験結果

4.1 液性・塑性限界結果・締固め試験結果

表 1 に示すように、厩肥や粉炭は保水性が高いため、厩肥を混入させるほど液性限界 w_L は高くなる。但し粉炭は厩肥よりは保水性が低いいため、F0C2 の w_L は F1、F5 よりも小さくなった。締固め特性については、厩肥を加えるほど最大乾燥密度 ρ_{dmax} は小さくなり、最適含水比 w_{opt} は大きくなる。これは厩肥の密度が土試料よりも小さく、厩肥が高い保水性を有することが要因と考えられる。粉炭の混入による締固め特性については、F0 と F0C2 では F0C2 の方が、また F1 と F1C2 では F1C2 の方がそれぞれ ρ_{dmax} は小さく、 w_{opt} は大きいことが確認できる。このことから粉炭を加えても厩肥と同様な傾向が見られる。

表 1 液性限界・塑性限界および締固め試験結果

w_L	$w_L(\%)$	$w_P(\%)$	I_P	$\rho_{dmax}(g/cm^3)$	$w_{opt}(\%)$
F0(母材)	35.3	19.7	15.6	1.77	15.3
F1(厩肥 1%)	39.2	22.0	17.2	1.73	16.8
F5(厩肥 5%)	42.0	25.9	16.1	1.65	20.3
F0C2(粉炭 2%)	37.6	23.0	14.7	1.74	16.6
F1C2(厩肥 1%粉炭 2%)	37.9	23.9	14.0	1.68	18.4

4.2 標準圧密試験結果

図 1 は厩肥混入率の違う圧密試験結果である。厩肥の混入量を増やすほど圧縮性が増加する。その要因として、厩肥が圧縮されやすいことが挙げられる。図 2 に示す粉炭も同様に圧縮性は大きくなる。粉炭は微粒子であることから圧縮された際に空隙に入り込みやすく、体積ひずみを大きくしたと考えられる。図 3 は 2 か月養生した結果である。F1 については圧縮性が小さくなるが、F5 はほとんど変わらない。

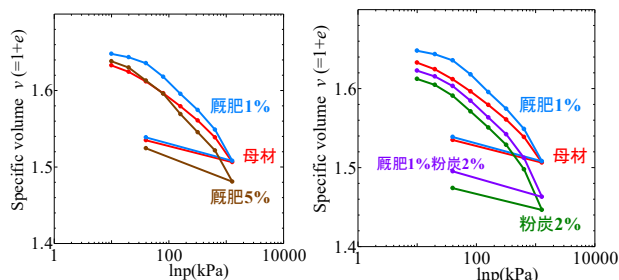


図1 厩肥混入率の違う圧縮線

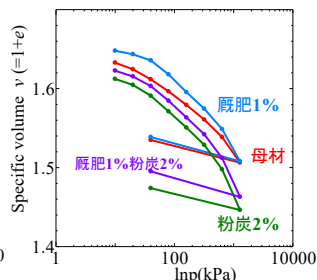


図2 粉炭の有無の圧縮線

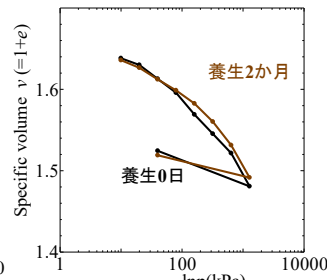
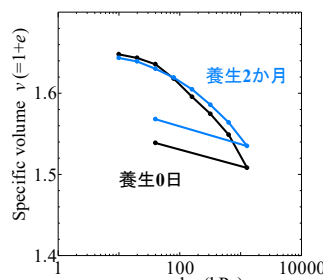


図3 養生0ヶ月と2ヶ月の標準圧密試験 左:F1, 右:F5

4.3 一軸圧縮試験結果

図4は厩肥混入率の違い、図5は粉体混入の影響を示している。厩肥の混入率を増加させても一軸圧縮強さに差はない。しかし変形係数は小さくなる。粉炭を混入しても一軸圧縮強さに差はなく、変形係数もほとんど変わらない。図6は、養生0日と養生2か月の一軸圧縮試験結果である。厩肥や粉炭が混入され、養生2か月経過すると、一軸圧縮強さは大きくなり、変形係数も上昇する。特に厩肥のみ混入の場合、脆性的に破壊する。

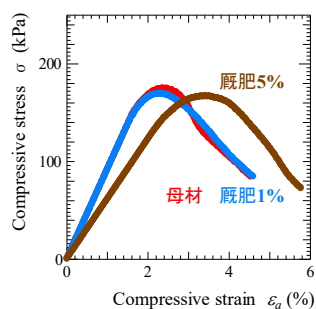


図4 厩肥混入率の違い

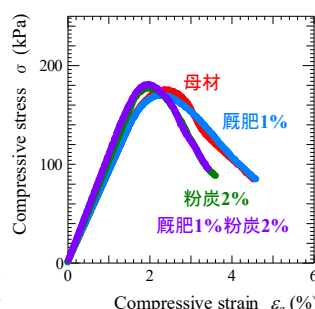


図5 粉炭の有無の違い

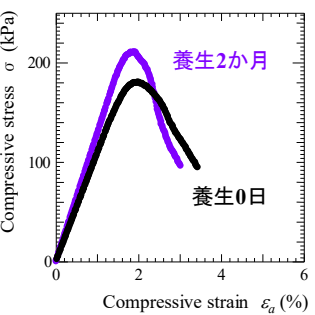
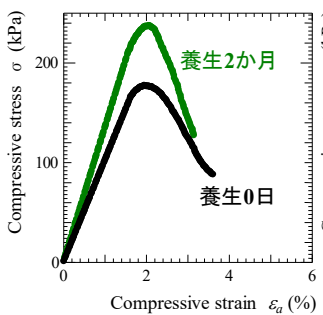
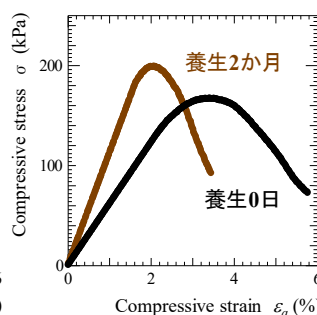
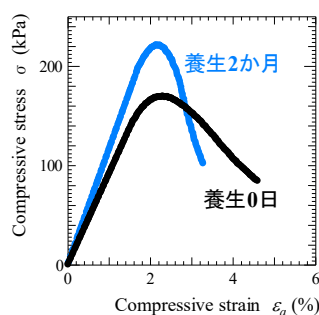


図6 養生0日と2か月の一軸圧縮試験 (左から, F1, F5, F0C2, F12)

4.5 炭素排出量測定結果

図7は供試体1gあたりから排出される炭素排出量の経時変化を示す。時間経過とともに、どの試料も炭素排出量が増加している。厩肥などの土壌有機物が土壌微生物によって分解されているからである。粉炭は微生物による分解は起こらず炭素をより貯留することができる。一方で土壌有機物の分解過程で細菌が菌体外に生産する多糖類が「のり」の役割を果たすと言われる²⁾。図5で示すように一軸圧縮強さが増加した理由の一つと考えている。

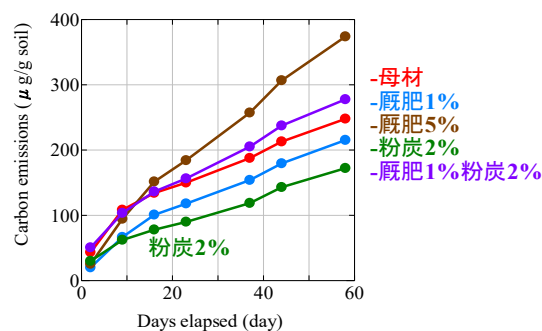


図7 炭素排出量の経時変化

5. おわりに

土壌微生物の活動は、炭素排出・炭素貯留だけでなく、土の物理・力学挙動に影響する。特に、一軸圧縮強さが減少ではなく増加したことについて、より詳細を調べてゆく必要がある。文献3)では、密度を変えた試験も実施しているが、今後は、土壌微生物の活動が活性化するため条件はどのようなものがあるか、その条件が土壌にどのような影響を与えるのかを調べてゆきたい。

参考文献：

- 1) 地盤工学会(2023): 第15回環境地盤工学シンポジウム発表論文集。
- 2) 犬伏和之, 白鳥豊(2020): 改訂 土壌学概論, 朝倉書店。
- 3) 中野正樹他(2025): 緩詰め厩肥混合土の炭素貯留能力と力学特性および植物生育下での透水性の把握, 第60回地盤工学研究発表会, 投稿中