

木片混入分別土の木片腐朽に伴う力学挙動変化の骨格構造概念に基づく解釈

廃棄物 三軸圧縮試験 構成式

名古屋大学 国際会員 ○中野 正樹 酒井 崇之
東海旅客鉄道 非会員 今枝龍之介

1. はじめに

近年、風水害が多発し大量の災害廃棄物が発生し、それらの多くは津波災害と同様に木片が混入した土砂系混合物として、一次仮置場に搬入される。被災地の早期復旧・復興と環境負荷低減を実現化するためには、災害廃棄物等の土砂系混合物を破碎選別して得られる木片混じり分別土の長期力学挙動を把握し、復興資材として利用することが極めて重要となってくる。本研究では、模擬分別土として、木片混入土を作製し、木片腐朽を促進させた供試体に対し三軸圧縮試験を実施し、①木片混入、②木片腐朽がせん断挙動に与える影響を調べた。また、三軸圧縮試験結果を弾塑性構成則 SYS Cam-clay model¹⁾により再現を行い、得られた材料定数・初期値から木片混入分別土の木片腐朽に伴う力学挙動変化について、骨格構造概念に基づいて解釈した。

2. 木片混入土に対して行った三軸圧縮試験

本研究では、三重県四日市市周辺から採取した砂質土と粘性土とを混合した土砂を用いた。その混合率を乾燥質量比で砂 50%、粘土 50%とし、これを S50C50 と呼ぶ。S50C50 の粒径加積曲線を図 1 に示す。また、S50C50 の土粒子密度は 2.65g/cm³ である。S50C50 を最適含水比に調整し、裁断した木片を S50C50 の乾燥質量に対し 1.5% である 4.45 g 混入し、突固めにより土部分が締固め度 $D_c95\%$ になるように、三軸圧縮試験の供試体を作製した。S50C50 の詳細や、木片混入量の根拠については、文献 2) を参照された。その後、木片が腐朽しやすい環境下（ファンガスセラ）に埋設し、定められた期間（0, 6, 9, 12, 15 ヶ月）放置した。放置した供試体を取り出し、三軸圧縮試験装置に設置し、供試体を二重負圧法により飽和化し、等方圧 100kPa で 24 時間程度圧密した後、非排水条件下で軸ひずみ速度 0.0138%/min で単調せん断した。

また、実際に木片の質量が腐朽によりどの程度減少しているのかを以下の方法により測定した。定められた期間（本試験では 0, 6, 15, 18, 38 ヶ月）放置した三軸試験用の供試体から、ふるいによりすべての木片を取り出した後、110°C の乾燥で質量の低下がなくなるまで乾燥させた。

図 2 は、木片密度の残存率、腐朽木片質量/初期木片質量の変化を示しており、想定される残存率の経時

変化も併せて示した。三軸圧縮試験での比体積を求める際に使用している。

図 3 に木片混入率 0, 1.5% の埋設期間 0 ヶ月の供試体についての結果を示す。 q - p' 関係から、どちらもせん断初期（ひずみ 2%）まで塑性圧縮を伴う硬化挙動を示し、その後塑性圧縮を伴う軟化挙動が見られる。

ただし、木片混入率 1.5% の方がせん断初期の硬化の程度や、最大軸差応力の方が大きいことがわかる。腐朽していない木片は補強材のような働きをし、強度を増加させると考えられる。

図 4 に、木片混入率 1.5% の埋設期間 0, 6, 9, 12, 15 ヶ月の供試体についての三軸試験結果を示す。埋設期間が長くなるごとに力学挙動に変化が起きたことがわかる。 q - ϵ_s 関係から、最大軸差応力は埋設期間が長いほど低下したこと

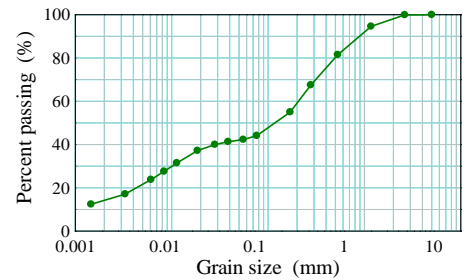


図 1 粒径加積曲線

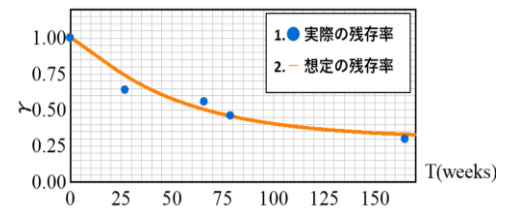


図 2 残存率と時間の関係

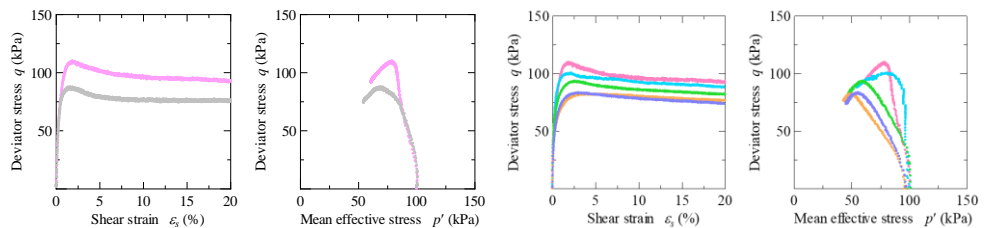


図 3 木片の有無の比較

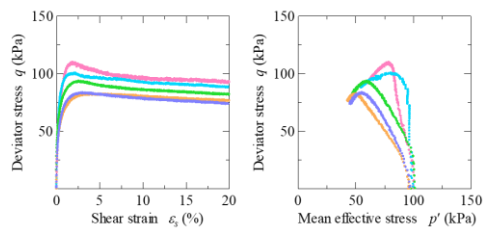


図 4 木片の腐朽進行度の比較

がわかる。また、どの埋設期間でも最大軸差応力発生後にひずみ軟化挙動が確認できた。軟化の程度は、埋設期間が長いほど小さくなった。一方、埋設期間が長いほど残留強度が小さくなった。 q - p' 関係から、埋設期間が長いほどせん断初期における塑性圧縮の程度(平均有効応力の低下の程度)が顕著になり、 q の増加が小さいことから、硬化しにくくなっていることがわかる。さらに、 v - p' 関係から、比体積は埋設期間が長いほど増加している。供試体内部の木片は埋設期間を経ることにより腐朽し、それに伴って供試体内部の間隙が増加、すなわち供試体の比体積が増加し、最大軸差応力が低下していく。

3. 木片混入土の三軸圧縮試験の再現

木片混入土の三軸圧縮試験について弾塑性構成モデル SYS Cam-clay model を用いて再現を試みた。表 1 は基本となるパラメータ、すなわち S50C50 の土のみの供試体に対して力学挙動の再現(図 5)から得たパラメータである。また表 2 に木片腐朽に応じて変化するパラメータを示す。木片腐朽により、比体積が増加し、構造、過圧密比の状態量に変化すると仮定した。さらに構造劣化のしやすさを表す構造劣化指数も木片腐朽に応じて変化させた。

図 6 は実験と解析の比較を示す。 q - ϵ_s 関係を見ると、埋設期間が長いほど最大軸差応力が低下していること、どの埋設期間でも最大軸差応力発現の後に軟化挙動を表すことができた。また、埋設期間が長いほど、軟化の程度は小さくなることも表現できた。これは、構造劣化指数が小さくなることで再現可能となった。つまり、腐朽によってできた構造は、壊れにくいことを示唆している。モデルによる再現結果をまとめると木片腐朽の影響は、初期構造の程度 $1/R^*$ の増加、初期過圧密比 $1/R$ の減少、構造劣化指数の減少で表現することができた。また、木片腐朽の進行により木片の質量が低下する、つまり供試体が母材のみの状態に近づくため、構造劣化指数が母材のみのものに近づくと考えられる。

表 1 基本となるパラメータ

弾塑性パラメータ	
圧縮指数	0.051
膨潤指数	0.015
限界状態定数	1.400
NCL の切片	0.435
ポアソン比	0.120
発展則パラメータ	
正規圧密土化指数	3.700
構造劣化指数	0.020
塑性指数	0.550

表 2 木片腐朽により変化するパラメータ

S50C50	構造の程度	比体積	過圧密比	構造劣化指数
埋設期間(月)	$1/R^*$	v	$1/R$	a
0	2.3	1.617	6.171	0.140
6	4.3	1.665	5.119	0.090
9	6.2	1.702	4.008	0.070
12	6.6	1.730	2.712	0.057
15	6.7	1.745	2.166	0.050

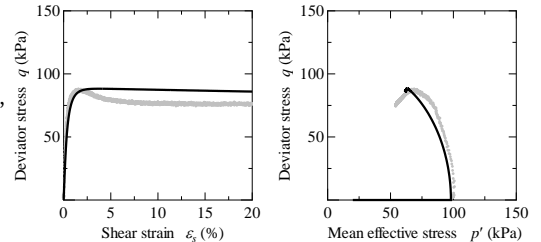


図 5 S50C50 (土のみ) の再現結果

4. おわりに

本研究では、木片混入土の木片混入に伴う力学挙動について三軸圧縮試験により把握し、弾塑性構成モデル SYS Cam-clay model を用いることで再現した。木片腐朽の影響は、初期構造の程度 $1/R^*$ の増加、初期過圧密比 $1/R$ の減少、構造劣化指数 a の減少で表現することができた。図 2 から残存率を予測することにより、木片腐朽の進行の違う力学挙動を予測することが可能になると考えている。今後は木片腐朽を考慮した木片混入土の構成モデルの開発を試みる。

謝辞：本研究は独立行政法人環境再生保全機構の環境研究総合推進費 (JPMEERF20201004) により実施した。また京大生存圏研究所全国共同利用研究による助成を受け、また試料採取には、国土交通省中部地方整備局四日市港湾事務所には多大なるご協力を頂いた。ここに深く感謝の意を表す。

参考文献：

- Asaoka, A., Nakano, M. and Noda, T. (2000): Superloading yield surface concept for highly structured soil behavior, *Soils and Foundations*, No.40, Vol.2, pp.99-110.
- 中野正樹, 酒井崇之, 神野琢真, 池上浩樹 (2017): 災害廃棄物・津波堆積物を想定した砂・粘土混合土砂の物性把握と有効利用への提案第 12 回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, pp.65-70.

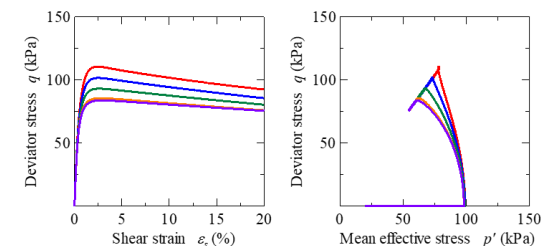


図 6 木片混入土の再現結果