

# 木片混入土の木片腐朽に伴う力学挙動－災害廃棄物分別土の有効利用にむけて

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  
名古屋大学 学生会員 津田 雅仁

## 1. はじめに

本研究の目的は、風水害や地震・津波災害により発生した土砂混合物分別土を想定した土の力学特性を把握することにある。特に、木片混入分別土の地盤材料としての利用を目指し、木片腐朽促進のためファンガスセラーに20ヶ月まで埋設し、木片腐朽に伴う長期的な力学挙動を三軸圧縮試験により把握する。そして得られた試験結果を弾塑性構成則SYS Cam-clay modelで再現することで、木片の腐朽が土の力学挙動に与える影響を土の骨格構造概念に基づき解釈する。

## 2. 試験に用いた材料と試験方法

### 2.1 母材の物性と木片混入

災害廃棄物分別土を模擬するために、母材としての土試料を真砂土と笠岡粘土土として、それらを混合して作製した。配合については高井ら<sup>1)</sup>を参考に、真砂土：笠岡粘土土を9:1と6:4の二種類で、それぞれS9C1, S6C4とした。土粒子密度は、S9C1は $2.64\text{g/cm}^3$ 、S6C4は $2.66\text{g/cm}^3$ である。図1に粒径加積曲線、図2に締固め曲線を示す。母材への木片混入については、裁断した木片をS9C1に乾燥重量%で1.5, 3.0, 5.0%, S6C4に対しては1.5%を混入した。

### 2.2 木片混入土供試体作製方法

最適含水比に調整した母材に木片を所定の量混合し、木片混入土を準備した。供試体は直径5cm、高さ10cmのプラスチックモールドに3層に分けてランマーで突き固めて作製した。なお図3に示す母材部分（赤枠）を締固め度95%になるように締め固めている。供試体は京都大学生存圏研究所所有のファンガスセラー腐葉土層に埋設した。ファンガスセラー内は温度 $28^\circ\text{C}$ 、相対湿度70%以上に保たれており、木片腐朽菌の生育に適した環境である。ファンガスセラーに埋設した期間は3, 9, 20ヶ月である。なお、埋設していない供試体は埋設期間0ヶ月とした。

### 2.3 試験方法

所定の期間、ファンガスセラー埋設した後、供試体を取り出し $\overline{CU}$ 試験を実施した（有効拘束圧は $100\text{kPa}$ 、軸ひずみ速度 $0.0138\%/min$ ）。なお二重負圧法および背圧法を実施しB値が95%以上であることを確認している。試験終了後は、24h炉乾燥機させ木片混入土の乾燥重量 $m_s$ を測定した。その後、木片を水で洗浄し24h炉乾燥させることで木片重量 $m_{wo}$ を測定し、木片残存率を計算した。

## 3. 試験結果と考察

### 3.1 木片腐朽の影響：S9C1（木片混入率1.5%, 3.0%, 5.0%）

図4はS9C1試料（砂主体）の木片混入率1.5%に対する埋設期間20ヶ月までの三軸圧縮試験結果である。 $q - \varepsilon_a$ 関係より埋設期間が3ヶ月までは、木片混入なしの母材のみよりも最大軸差応力が大きくなった。木片混入による補強材挿入と類似した機構が原因の一つと考えている。 $q - p'$ 関係から、埋設期間が短い土は $p'$ の増加に伴う $q$ の増加を示した。埋設期間が長くなるにつれて、塑性膨張の程度が小さくなっていき、20ヶ月埋設した時は、塑性圧縮を伴う軟化挙動へと転じた。これら一連の挙動は、供試体内部の木片が埋設期間を経ることにより腐朽し、それに伴って供試体の比体積が増加することで引き起こされたと考えられる。図5に木片残存率～埋設期間の関係を示す。紙面の

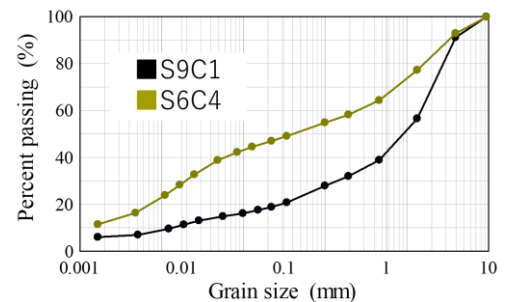


図1 粒度分布

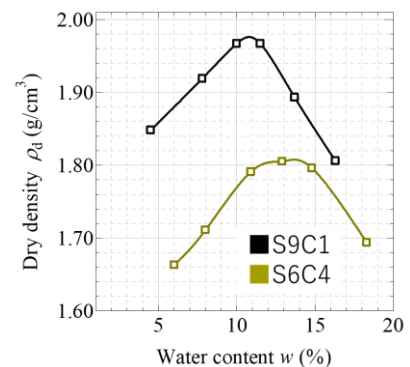


図2 締固め曲線

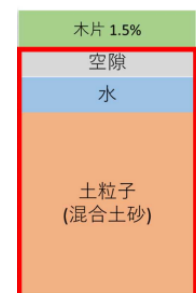


図3 示相図

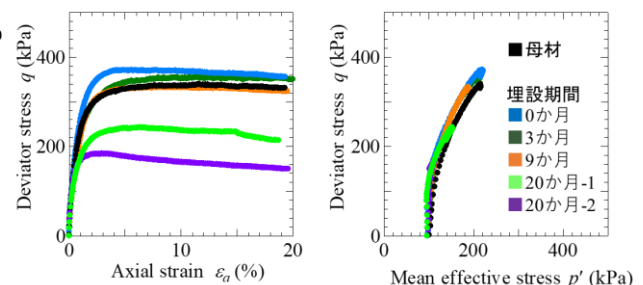


図4 三軸圧縮試験結果(S9C1, 木片混入率1.5%)

都合上、試験結果は示さないが、木片混入率 3.0%, 5.0% のケースにおいては、より短い埋設期間で同様の挙動が確認される。木片混入率が大きくなるにつれて、木片腐朽による供試体の比体積増加が顕著になるためである。なお、いずれのケースも木片腐朽に伴い、 $q-p'$  関係における限界状態線  $M$  の傾きが小さくなる傾向も得られた。

### 3.2 木片腐朽の影響：S6C4（木片混入率 1.5%）

図 6 は S6C4 試料（粘土主体）の木片混入率 1.5% に対する埋設期間 20 ヶ月までの三軸圧縮試験結果である。 $q-\varepsilon_a$  関係から、埋設期間に拘わらず塑性圧縮を伴う軟化挙動が観察され、塑性圧縮

の程度や最大軸差応力、残留強度はほぼ等しくなった。

図 7 の木片残存率～埋設期間の関係から、細粒分が多く保水性も高いため、埋設初期から木片残存率は減少し、腐朽が進行している。そのため、埋設期間に応じた比体積は小さくなっていく

る。しかし、埋設期間に依らず最大軸差応力はほとんど同じであった。木片が腐朽し、母材中に腐朽菌が多く存在し、母材の性状が変わったこともその要因の一つかもしれない。更なる実験や考察が必要である。

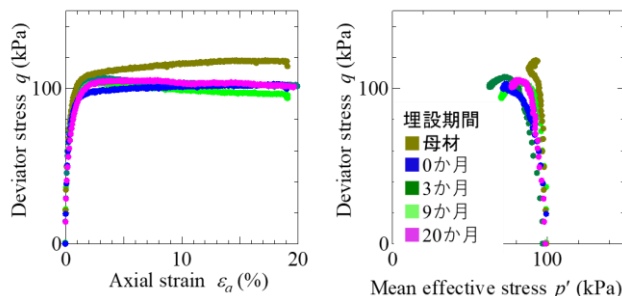


図 6 三軸圧縮試験結果 (S6C4)

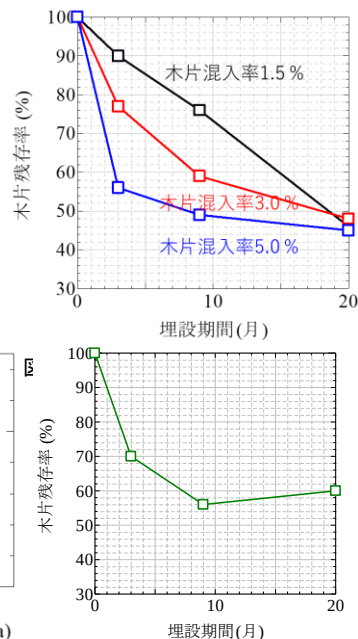


図 7 木片残存率～埋設期間の関係

### 3.3 SYS Cam-clay model による再現—S9C1（木片混入率 1.5%）

弾塑性構成則 SYS Cam-clay model<sup>2)</sup>を用いて、図 4 と図 6 の三軸圧縮試験の力学挙動について再現を行った。紙面の都合で、S9C1 試料の結果のみを示す。再現結果を図 8、表 2、3 に得られたパラメータを示す。S9C1 については埋設期間が長くなるほど、木片腐朽による比体積が増加することで、構造の程度  $1/R^*$  が増加する。また塑性膨張を伴う硬化挙動の程度が小さくなり、最大軸差応力が小さくなる。これは過圧密比が減少するため塑性膨張しづらくなるためである。S9C1 は、 $q-\varepsilon_a$  関係から、腐朽が進行するに伴い、せん断後期の軟化挙動が観察されるが、これは、木片腐朽によりできた構造劣化が起こるためであり、特にせん断後期の軟化の程度が腐朽の進行に伴い大きくなるのは、 $a$  が大きくなること、つまり腐朽により発達した構造は劣化しやすいと解釈される。

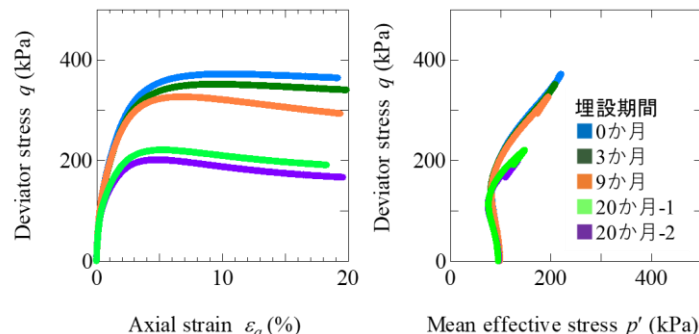


図 8 三軸圧縮試験の再現結果 (S9C1、木片混入率 1.5%)

## 4. おわりに

ファンガスセラーによる木片腐朽促進により、長期的な力学挙動を把握し、弾塑性構成式により再現した。しかし木片腐朽過程のモデル化までには至っていない。別途、褐色腐朽菌を単一腐朽菌として選定した培養室による 3 ヶ月間の促進実験を行ったところ、木片残存率がファンガスセラー 20 ヶ月埋設供試体よりも大きくなり、木片腐朽が促進されることが分かった<sup>3)</sup>。本促進実験を実施し工夫することで、短期間に長期腐朽過程を模擬し、混入土の将来性状の把握を進めてゆきたい。

参考文献：1)高井敦史ら（2016）：東日本大震災で発生した岩手県の災害廃棄物分別土砂の品質とその変化，土木学会論文集 C(地圏工学)，Vol.72，No.3，252- 264，2) Asaoka et al. (2002): An elastoplastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, Soils and Foundations, Vol.42, No.5, pp.47-57., 3)中野ら（2024）：木片腐朽過程を考慮した木片混じり粘土の長期力学特性の把握，第 512 回生存圏シンポジウム「令和 5 年度 DOL/LSF 共同利用・共同研究成果発表会」要旨集

表 2 材料定数

| 埋設期間(月)                | 0, 3, 9 | 20    |
|------------------------|---------|-------|
| 弾塑性パラメータ               |         |       |
| 圧縮指数 $\lambda$         | 0.143   | 0.143 |
| 膨潤指数 $\tilde{\kappa}$  | 0.010   | 0.010 |
| 限界状態定数 $M$             | 1.640   | 1.460 |
| NCL の切片 $N$            | 1.500   | 1.500 |
| ポアソン比 $\nu$            | 0.050   | 0.050 |
| 発展則パラメータ               |         |       |
| 正規圧密土化指数 $m$           | 3.000   | 3.000 |
| 構造劣化指数 $a$ ( $b=c=1$ ) | 0.650   | 1.500 |
| 塑性指数 $c_s$             | 0.500   | 0.500 |
| 回転硬化指数 $b_r$           | 1.000   | 1.000 |
| 回転硬化限界定数 $m_b$         | 0.350   | 0.350 |

表 3 初期値

| 埋設期間(月)         | 0     | 3     | 9     | 20-1  | 20-2  |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 比体積 $v_0$       | 1.340 | 1.352 | 1.392 | 1.419 | 1.439 |
| 構造の程度 $1/R^*_0$ | 1.30  | 1.35  | 1.80  | 1.86  | 2.00  |
| 過圧密比 $1/R_0$    | 4.30  | 4.20  | 4.00  | 3.50  | 3.20  |