

大型引張試験による堆積廃棄物の引張強度特性

九州大学大学院 学 ○宮本慎太郎 正 安福規之

長崎大学大学院 正 大嶺聖 産業廃棄物処理事業振興財団 非 山脇敦

1. はじめに

廃棄物が急勾配で盛られ崩壊のおそれのある不法投棄現場が日本にも多数存在する。これより、堆積廃棄物の力学挙動を明らかにし、かつ定量的に評価するための研究が必要不可欠であるといえる。本論文では、廃棄物に含まれるプラスチック類による補強効果を定量的に評価することを目的とし大型引張試験 (1000mm×500mm) を実施した。本論文より、堆積廃棄物の引張強度特性が明らかとなり、引張強度はプラスチック固有の強度と上載圧に依存する強度を示した。

2. 大型引張試験の概要

堆積廃棄物の引張強度特性の解明を目的とし、図-1 に示す大型引張試験機 (1000mm×500mm) を作製した。本試験機の作製に際して、ブラウンシュヴァイク工科大学の Koelsch により開発された引張試験機を参考にした¹⁾。引張箱は幅 500mm、奥行 500mm、高さ 500mm の箱を 2 つ連結させたものとなる。2 つの箱は共に引張部分である連結部の面は解放されている。本試験は供試体作製過程、圧縮過程、引張過程の 3 工程より実施される。今回の試験においては、廃棄物を投入し上載圧 $\sigma = 20\text{kN/m}^2$ により締固めるという工程を 3 回に分けて行い供試体を作製した。作製された供試体は使用する廃棄物を採取した不法投棄現場の現場湿潤密度と同程度となるように作製されており、湿潤密度 $\rho_t = 9.5\text{kN/m}^3$ 程度である²⁾。使用した堆積廃棄物の廃棄物組成を図-2 に示す。圧縮過程では、所定の上載圧まで载荷を行い、沈下量が収束する、もしくは沈下量が収束しない場合は 20 分程度を目安として圧縮を打ち切ることとした。圧縮時には鉛直沈下量とジャッキ部分における側圧を測定する。引張過程は、片方の箱をアンカーで固定し、ジャッキを連結させたもう片方の箱を固定された箱と反対の方向へ引っ張る試験となる。引張スピードは 1mm/min とした。試験時に、引張変位、引張応力、垂直変位を測定する。今回の試験では $\sigma = 50, 100, 150, 200\text{ kN/m}^2$ の 4 種類の上載圧で試験を実施した。

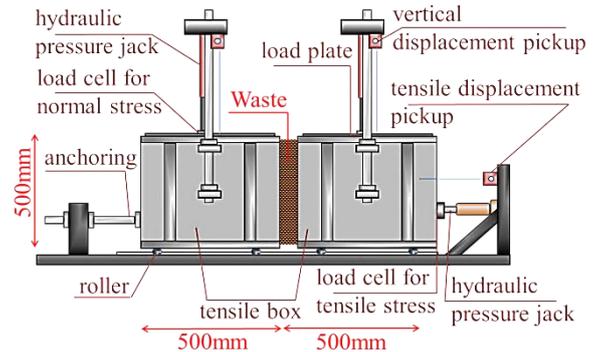


図-1 大型引張試験機の概要

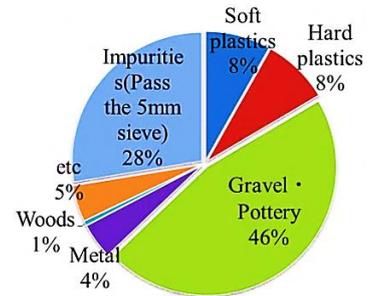


図-2 廃棄物の内訳

3. 大型引張試験結果と考察

(1) 圧縮過程

圧縮過程での、湿潤密度 - 上載圧関係を図-3 に示す。図-3 より、供試体作製時に締固め圧として载荷した $\sigma = 20\text{kN/m}^2$ 程度までは密度の増加が少なく、それ以上の上載圧が载荷されると急激な密度増加を示す。つまり、圧縮については過圧密、正規圧密状態の

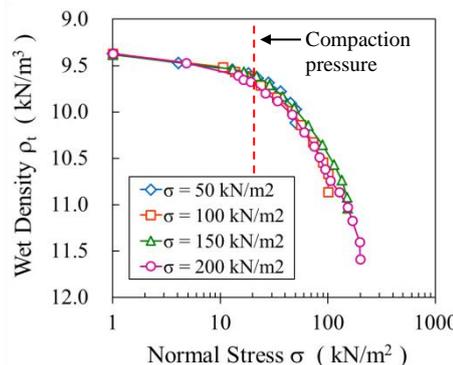


図-3 湿潤密度 - 上載圧関係 (圧縮過程)

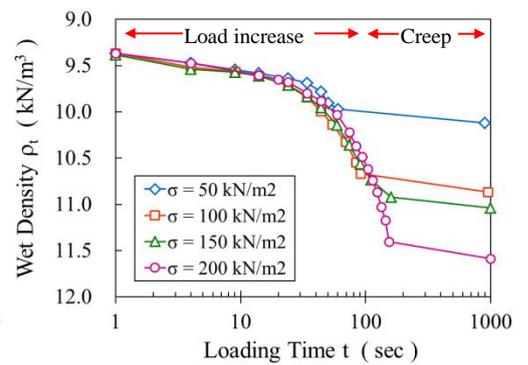


図-4 湿潤密度 - 载荷時間関係 (圧縮過程)

違いによる影響を考慮する必要がある。また、密度の変化が非常に大きく、 $\sigma = 200\text{kN/m}^2$ を载荷した場合には 2.0kN/m^3 以上もの湿潤密度の増加を示す。さらに図-4 の湿潤密度 - 载荷時間関係より、堆積廃棄物はプラスチック類の圧縮性が大きいことに起因し、荷重増加中の圧縮が非常に大きく、さらにクリープにより圧縮が継続する傾向を示す。次に側圧 - 上載圧関係を図-5 に示す。図-5 より、側圧と上載圧関係は比例関係となる。図-5 の試験結果より静止土圧係数を計算すると $K_0 = 0.2 \sim 0.25$ 程度の小さな値となり、等方弾性体と仮定してポアソン比を求めると、 $\nu = 0.17 \sim 0.2$ 程度となる。これは、プラスチック類により側方への変位が拘束されることにより、静止土圧係数とポアソン比は小さくなると理解できる。

(2) 引張過程

引張過程での、引張応力 - 引張変位関係を図-6 に示す。図-6 より、堆積廃棄物は引張応力を有することが確認できる。引張応力は上載圧の増加に伴い、引張変位が小さな範囲で明確なピークを示す傾向をみせ、ピーク値も増加する。さらに、図-7 に垂直変位 - 引張変位関係を示す。図-7 より、堆積廃棄物は引張時に体積収縮する傾向を示す。ここで上載圧が大きい程収縮量が小さくなる傾向を示した。圧縮過程の試験結果から分かるように、堆積廃棄物は上載圧の増加による密度増加傾向が著しい。上載圧の増加に伴う密度の増加により見掛けの拘束圧が増大し、材料間の摩擦抵抗が増加することで引張応力は大きくなり、変位の拘束が増大することで体積収縮傾向が減少するものと思われる。次に、図-6 の引張応力の最大値を引張強度と定義したときの、引張強度 - 上載圧関係を図-8 に示す。図-8 より、引張強度 - 上載圧関係は比例関係となり、上載圧に依存しない強度 (図-8 の切片) と上載圧に依存する強度 (図-8 の傾き) が存在することが分かる。今回の試験では締固め圧 $\sigma = 20 \text{ kN/m}^2$ より小さい上載圧での試験を行っていないため、 20 kN/m^2 以下の引張強度と上載圧の関係は過圧密状態での影響が引張時には表れないと仮定し、直線関係を保つものとして仮定している。本研究より、過圧密での強度の影響は一面せん断試験では表れないことが確認されている²⁾。以上より、引張強度を以下の式で定義する。

$$T = c_T + \sigma \tan \zeta \quad (1)$$

T: 引張強度 c_T : 引張粘着力 ζ : 引張摩擦角

図-8 より、 c_T , ζ は $c_T = 10.3 \text{ kN/m}^2$, $\zeta = 18.2^\circ$ となる。

引張粘着力は引張材料であるプラスチック類が本来有している材料強度であり、上載圧には依存せずプラスチック含有量やプラスチック類の強度に依存する値と考えられる。引張摩擦角は上載圧に依存する強度であり、上載圧の増加に伴い堆積廃棄物の密度が増加することで材料間の摩擦特性が増大し生じる抵抗力と考えることができる。以上より、堆積廃棄物の斜面安定性を評価する際には、せん断試験より求まる粘着力 c 、内部摩擦角 ϕ に加えて、式(1)より求まる引張強度パラメーター c_T , ζ を用いて評価することで現実に即した評価が可能となる。この際、堆積廃棄物はプラスチック類等の堆積方向に起因して構造的な異方性を有することが本研究より実験的に検証されており、すべり面とプラスチック類の堆積方向を十分に考慮した評価法を検討する必要がある³⁾。

4. まとめ

堆積廃棄物のプラスチック類による補強効果を評価することを目的とした大型引張試験より以下のことが明らかとなった。

- ・ 堆積廃棄物はプラスチック類により荷重増加中の圧縮が非常に大きく、さらにクリープによる圧縮も確認された。
- ・ 圧縮時にはプラスチックによる補強効果により側方変位が拘束され、静止土圧係数とポアソン比は小さい値を示す。
- ・ 堆積廃棄物は引張強度を有し、引張強度はプラスチックが本来有する材料強度 c_T と、拘束圧の増加に伴い堆積廃棄物の密度が増加し材料間の摩擦特性が増大することにより生じる抵抗力 $\sigma \tan \zeta$ とから構成される。

(参考文献) 1) Koelsch, F.: Toolkit Landfill Technology Chapter 4.6 Static Stability of Landfills, Technical Committee on Geotechnics of Landfill Engineering, 2009. 2) 宮本慎太郎: 原位置一面せん断試験を用いた堆積廃棄物のせん断強度特性, 第9回地盤環境シンポジウム, pp.319-322, 2011. 3) 宮本慎太郎: プラスチック類の補強効果を考慮した堆積廃棄物の強度評価法の提案, 第57回地盤工学シンポジウム, pp.111-116, 2012. [謝辞] 平成23年度「循環型社会形成推進科学研究費補助金」(課題番号 K22033)の支援を得た。

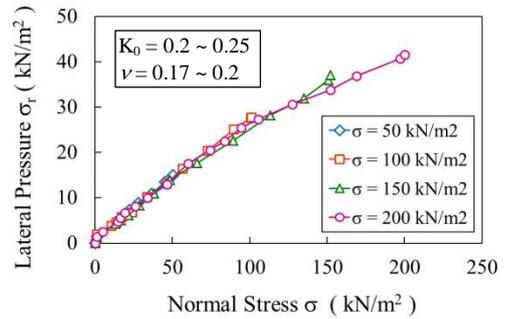


図-5 側圧 - 上載圧関係 (圧縮過程)

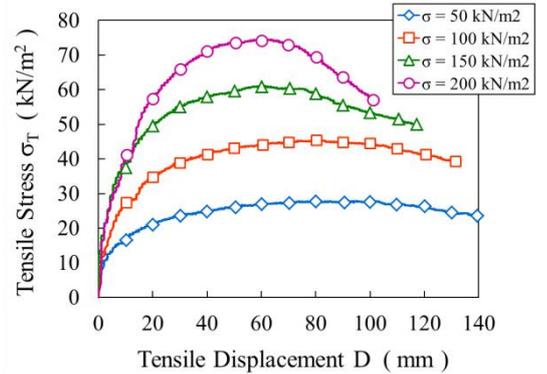


図-6 引張応力 - 引張変位関係 (引張過程)

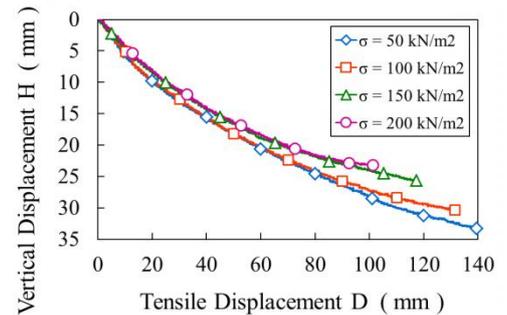


図-7 垂直変位 - 引張変位関係 (引張過程)

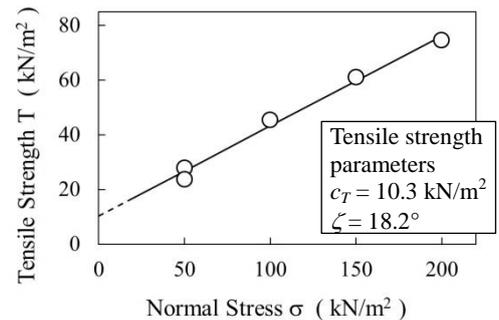


図-8 引張強度 - 上載圧関係 (引張過程)