

廃棄物の引張特性と引張強度の評価に関する実験的検討

九州大学大学院 学生会員 ○宮本慎太郎

九州大学大学院 正会員 安福規之 石藏良平

長崎大学大学院 正会員 大嶺聖

1. はじめに

廃棄物の不適正保管や不法投棄が多数見られ、重大な社会環境問題となっている。膨大な量の廃棄物が急勾配で堆積している現場も多く、崩壊や支障等が報告されている¹⁾。廃棄物の安定化問題を考えると、化学的な安定性のみでなく力学的な安定性も含めて評価することは極めて重要であると言える。筆者らはこれまで、土質力学をベースとして廃棄物地盤の力学性状の解明と適切な評価手法の開発を行うことを目指して研究を進めてきた²⁾。本原稿では、廃棄物に多量に含まれる繊維廃材の影響を定量的に評価することを目的として、大型引張試験装置を開発した。その試験結果から廃棄物の引張強度特性を考察すると共に、適切な強度評価法の提示を目指した。

2. 開発した大型引張試験装置の概要と試験方法

本研究では、組成割合の異なる廃棄物地盤を対象として原位置一面せん断試験を実施している²⁾。それらの結果から、廃棄物の変形・強度特性は繊維廃材による補強効果の影響を受けることで、延性的な挙動を示すことが明らかになっている。そこで、繊維廃材含有率が卓越した廃棄物を対象として引張試験を行うことで、その補強効果を定量的に評価することを考えた。実際に使用した廃棄物の内訳とその割合を図1に示し、図2に開発した大型引張試験装置を示す。この試験装置はブラウンシュヴァイク工科大学の Koelsch et al (2009) により考案された引張試験機を参考に作製されている³⁾。通常、ジオグリッド等を敷設する場合には各々のジオグリッドの強度や抵抗力を把握して補強効果を算出する。しかし、繊維廃材は廃棄物地盤内に多量かつ不均一で混入しているため、引き抜き試験によって個々の繊維廃材の引抜き抵抗力を評価することが難しい。そこで、ある大きさのマスでの抵抗力を測定することが有効であると考えられた。本試験装置は供試体を二つに引っ張ることで、繊維廃材による抵抗力を測定し、その抵抗力を力の作用する面で除することで引張応力を算定する。この時、引張応力の最大値を引張強度と定義する。

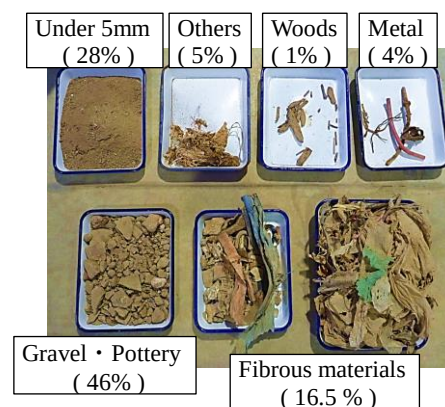


図1 使用した廃棄物の内訳と質量含有率

試験装置の概要と試験方法を説明する。引張箱は幅 500mm、奥行 500mm、高さ 500mm の箱を 2 つ連結させており、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。廃棄物を投入し上載圧 $\sigma = 20 \text{ kN} / \text{m}^2$ により 3 層に分けて締固めて供試体を作製した。供試体は含水比 $w = 20\%$ とし、乾燥密度は $\rho_d = 0.8 \text{ g} / \text{cm}^3$ 程度とした。圧縮過程では、鉛直ジャッキを用いて手で徐々に所定の上載圧まで载荷した。沈下量が収束するか、収束しない場合は 20 分を目安として圧縮を打ち切るものとした。引張過程では、引張ジャッキを連結させた箱を、アンカーで固定した箱から、引張り速度 $1 \text{ mm} / \text{min}$ の一定速で引き離す。試験は上載

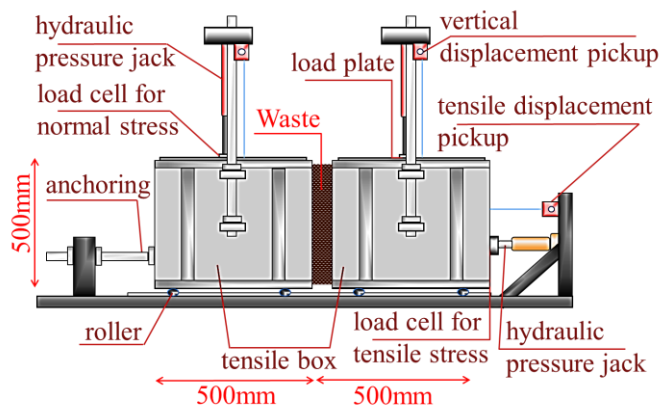


図2 開発した大型引張試験装置の概要

キーワード 引張特性, 引張強度, 廃棄物

連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地 WEST2 号館 1108 Tel 082-900-3378

圧 $\sigma = 50, 100, 150, 200 \text{ kN/m}^2$ の条件で実施した。

3. 廃棄物の引張特性と引張強度

大型引張試験の結果から、廃棄物の引張特性を図3に整理した。引張応力と引張変形の関係より、繊維廃材による引張応力の発現が確認され、引張応力は上載圧に依存して増加し、それに伴って明確なピーク値を示すようになる。垂直応力と引張変位の関係では、すべての条件で変形時に圧縮性を示し、上載圧が大きいほど圧縮傾向が減少する。これまでの研究成果より、廃棄物は拘束圧に依存して著しい密度増加を示すことが明らかになっている²⁾。このことを鑑みると、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、さらに変位の拘束も増加するので体積収縮量が減少するものと考えられる。次に、先の試験結果より、引張強度と上載圧の関係を図4に整理した。これより、引張強度と上載圧の関係は比例関係を示しており、図に示す直線（破線）でもって、拘束圧に依存する引張強度を一義的に評価できる可能性が示唆された。ここで、以上の結果から、本試験で求まる引張強度の概念を考察する。図5に引張強度と上載圧の関係の概念図を示す。上載圧が小さい場合には多くの繊維廃材が引き抜ける挙動を示し、上載圧の増加に伴って密度が増加することで引張強度は増加していく。しかし、繊維廃材自体の合強度よりも大きな引張強度が発現する拘束圧域ではすべての繊維廃材が破断し、引張強度は一定値を示すと考えられる。つまり、拘束圧に依存して繊維廃材は引き抜け抵抗と破断強度を発揮する。ここで、すべての繊維廃材が破断する引張強度を $T_{\max}$ とし、それ以下の拘束圧域では、上載圧に依存しない成分として引張粘着力 c_T 、上載圧に比例する成分として引張摩擦角 ζ を導入することで、図6内に示す式で引張強度の評価が可能になる。本試験結果では、引張粘着力 $c_T = 10.3 \text{ kN/m}^2$ 、引張摩擦角 $\zeta = 18.2^\circ$ が得られた。

4. まとめ

本研究では、開発した大型引張試験装置によって廃棄物の引張特性の把握と引張強度の評価を行った。廃棄物の引張特性は拘束圧に依存して増加し、明確なピーク値を示すことを明らかにした。さらに、繊維廃材がすべて破断する拘束圧以下の領域では、拘束圧に依存しない成分として引張粘着力を、比例する成分として引張摩擦角を導入することで、拘束圧に依存する廃棄物の引張強度の評価が行えることを示した。

（参考文献） 1) Blight, G. E. et al : Catastrophe revisited – disastrous flow failures of mine and municipal solid waste, *Geotechnical and Geological Engineering*, Vol.23, pp.219-248, 2005. 2) 宮本慎太郎ら：組成割合に着目した廃棄物地盤の原位置せん断強度特性に関する検討，第10回環境地盤工学シンポジウム発表論文集，pp.493-496, 2013. 3) Koelsch, F. : Toolkit Landfill Technology Chapter4.6 Static Stability of Landfills, *Technical Committee on Geotechnics of Landfill Engineering*, German Geotechnical Society (DGGT), 2009.

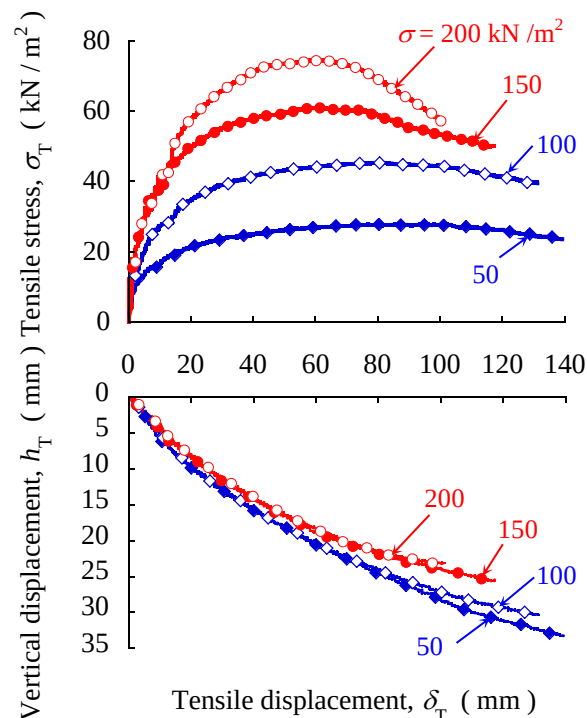


図3 廃棄物の引張特性

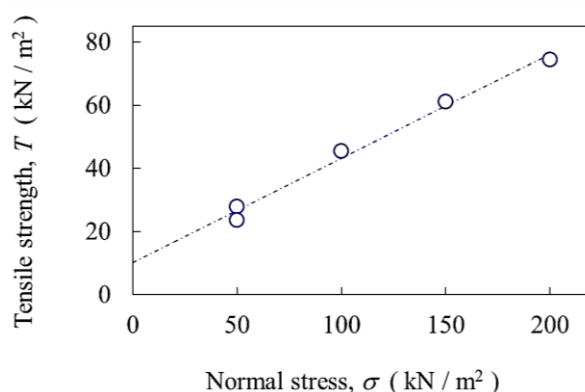


図4 引張強度と上載圧の関係

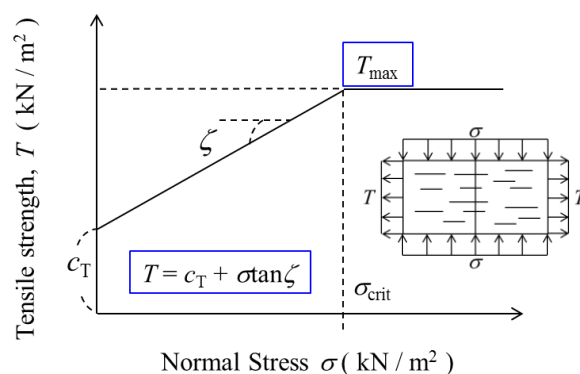


図5 廃棄物の引張強度評価の概念図