

## 1. はじめに

産業廃棄物処理・処分施設の不足や、有効かつ具体的な処分場跡地利用法の欠如、それに伴う大型不法投棄等の発生や崩壊は、循環型社会の構築を目指す上での重大な課題である。長期的な視点での廃棄物問題の解決を考えた時、化学的な安定性のみではなく、力学的な安定性を適切に評価することが強く求められている。

筆者らは、廃棄物を繊維補強材料（プラスチック等）と粒状材料に分けて考えることで、複合則を用いた廃棄物の応力ひずみ挙動のモデル化を試みている。複合則とは、各材料の特性値とその体積含有率を用いて、異なる材料から構成される混合材料の平均的な理論特性値を予測する手法である。混合材料内部では応力とひずみが不均質に分布しているため、補強材とマトリックスの特性をどのように結びつけるかが重要な課題となる。そのため、せん断時における繊維材料の土中内での挙動を定量的に把握することを考えた。本試験では、繊維材料にポリエステル樹脂で構成されたひずみゲージを用いることで土中内でのひずみの発達傾向を把握した。さらに、繊維材料の配向角度が変形挙動に及ぼす影響を考察した。

## 2. 使用した材料の特性と試験条件

繊維材料以外の粒状材料を礫質土に置き換えたモデル試料を用いて試験を行った。繊維材料用の剛性の小さなひずみゲージが存在しないため、ポリエステル樹脂で構成されたひずみゲージそのものを繊維材料と見立てて試験を行った。これまでの研究により、補強効果は、主として繊維材料の引張力により発揮されることが指摘されている<sup>1)</sup>。そのため、曲げ力や圧縮力が無視できるほど小さく、引張力のみが卓越するひずみゲージを選定した。ひずみゲージは長さ 74 mm、幅 8 mm、厚さ 0.15 mm である。ひずみゲージ単体では試験を行うことが難しいため、ひずみゲージに比べて無視できるほど小さな剛性を有する高分子材料をダミー材料として使用し、そのダミー材料にひずみゲージを張り付けたものを試験体とした。ダミー材料は長さ 75 mm、幅 10 mm、厚さ 1 mm とした。図-1 に試験体の様子を、図-2 に単軸引張試験から得られる応力ひずみ関係を示す。図-3 は引張速度が引張剛性に及ぼす影響を確認した結果であり、引張速度の違いによらず一定の剛性を示すことが確認された。これはせん断試験において、土中内に発生するひずみ速度によらず同等の剛性が発揮されることを意味する。高分子材料は温度変化によるひずみの発生や剛性の変化が懸念される材料であるため、室温を約 20° で一定として引張試験とせん断試験を行った。

本研究によって開発された中型一面せん断試験装置を用いてせん断試験を行った<sup>1)</sup>。せん断箱は幅 30 cm、奥行 30 cm、高さ 15 cm となる。試験の模式図は図-4 に示すようであり、要素レベルの供試体から微視的な要素を抜き取った状態を想定し、せん断時における繊維材料の挙動を把握することを考えた。繊維材料は様々な配向角度で分布しているため、せん断面に対する配向角度を  $\alpha = 0, 30, 60, 90^\circ$  と変化させて試験を行った。上載圧を  $\sigma = 20 \text{ kPa}$ 、礫質土の相対密度を 38% で一定とし、混入する繊維材料は 1 本のみとした。各試験ケースにおいて 4 回ずつ試験を行い、再現性のあることを確認している。以下に説明する試験結果はその中から代表値を選んで示すものとした。

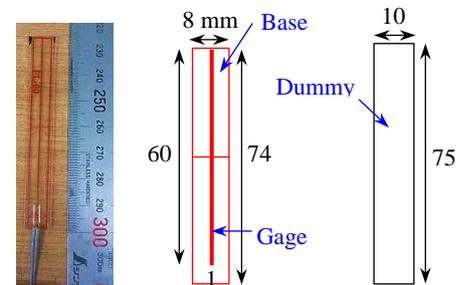


図-1 試験に使用した繊維材料の概要

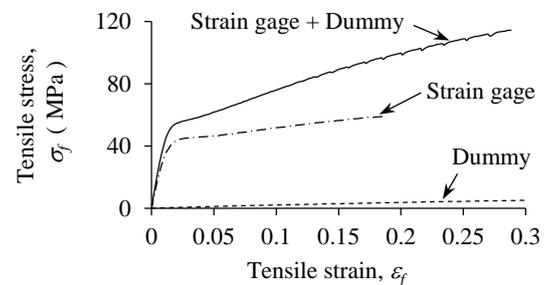


図-2 繊維材料の引張特性

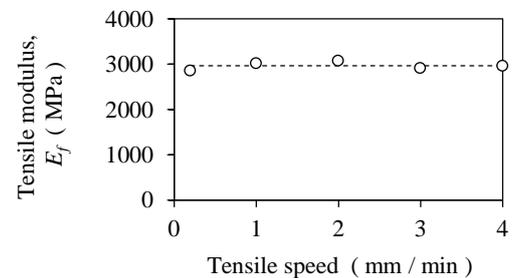


図-3 引張剛性に及ぼす引張速度の影響

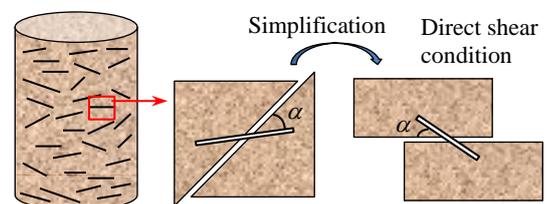


図-4 せん断試験のイメージ

### 3. せん断時における繊維材料の土中内での挙動

繊維材料を混入した複合材料の平均的な応力・変形特性を図-5に示す。繊維材料が1本しか入っておらず、含有率もほぼないため、すべてのケースにおいて同等の応力・変形関係を示していることが確認される。しかし、図-6に示す繊維材料のひずみと複合材料のせん断変位の関係では、配向角度  $\alpha = 0^\circ$  の場合を除いて、せん断変位の増加と共に繊維材料の引張ひずみが発達していることが確認された。さらにあるひずみ値を境にして一定値に収束する傾向を示した。これは礫質土の変形によって繊維材料が引張られ、ある応力値を境にして引き抜け挙動が卓越することを意味している。配向角度  $\alpha = 0^\circ$  の場合には、引張られることなくせん断初期からせん断面上をすべっていたと考えることができる。ここで、配向角度  $\alpha = 60, 90^\circ$  の場合について、せん断初期に少し圧縮ひずみが発生していることが分かる。これは上載圧が荷重されたことによって繊維材料が少し圧縮していることを示すもので、本試験の意図するところではない。そこで、その上載圧の影響部分を排除してデータを再整理すると図-7のようになる。多少の違いはあるものの、せん断初期での繊維材料の引張ひずみの発達には配向角度によらずにほぼ同等になることが確認された。しかし、引き抜け挙動を示した際の引張ひずみと配向角度の関係を示した図-8では、引き抜け時には配向角度の影響が顕著に表れることが確認される。この図では各配向角度について2回以上の結果を重ねて示している。以上の結果より、繊維材料の土中内の挙動を模式的に示した図が図-9となる。引張抵抗のみが卓越する繊維材料では土中内の挙動を簡略的に弾完全塑性的な関係として表すことが可能だと考えられる。さらに、複合材料のせん断に合わせてせん断面に沿って引張ひずみが卓越することで、異方性の影響はほとんど認められない。しかし、せん断面上で固定されている部分が引き抜ける際には、配向角度によってその引き抜け抵抗に違いが表れると考えられた。

### 4. まとめ

- ✓ せん断初期では繊維材料は引っ張られる挙動を示し、あるひずみレベルを境に引き抜け挙動が卓越する。
- ✓ 配向角度の影響は引張挙動時にはほとんど認められず、引き抜け時のひずみレベルには違いが認められた。
- ✓ 引き抜け時の配向角度の影響を考慮することで土中内の繊維材料の挙動を弾完全塑性的に取り扱ることが示唆された。

今後は、複合則を用いる際のマトリックスと繊維補強材料の各応力ひずみ特性の関係性を考察していき、複合材料の構成関係のモデル化を行っていきたいと考えている。

(参考文献) 1) 宮本慎太郎: 引張試験機による埋立廃棄物地盤の引張強度特性の解明と強度評価法の提案, ジオシンセティックス論文集, 28巻号, pp.229-236, 2013.12. 2) S. Miyamoto et al: Shearing response and shear strength of solid waste material conducted by developed direct shear test apparatus, Proceedings of the 10th International Conference on Geosynthetics, Session25-5, 2014.9. [謝辞] 本研究はJSPS特別研究員奨励費(課題番号26・4964)の助成を受けたものです。

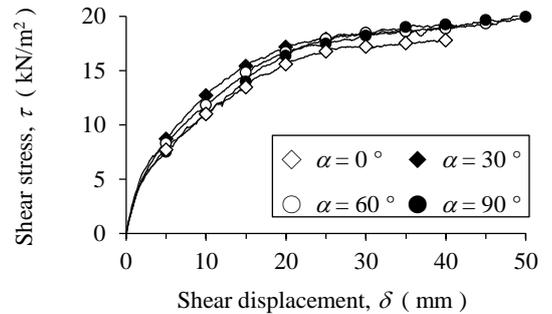


図-5 複合材料の応力・変形特性

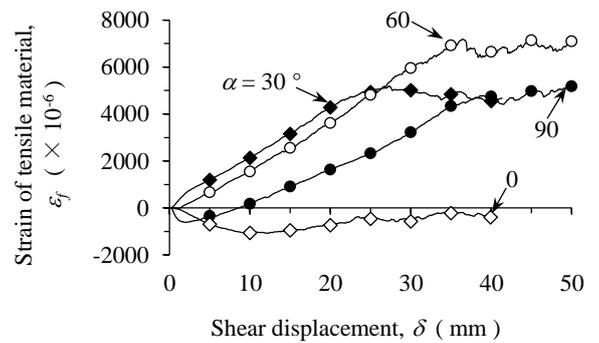


図-6 繊維材料の土中内の変形挙動

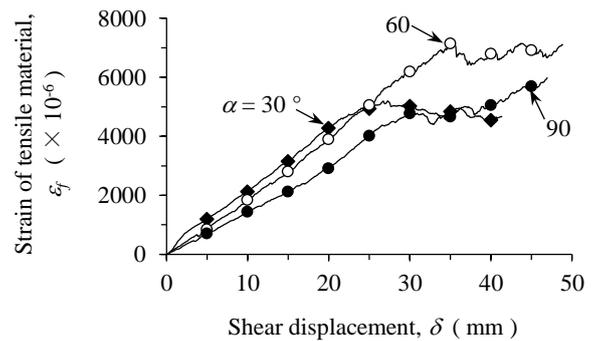


図-7 繊維材料の変形挙動, (圧縮部分を補正)

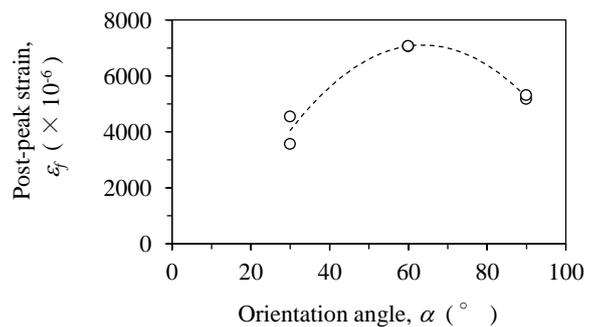


図-8 引き抜け時の引張ひずみと配向角度の関係

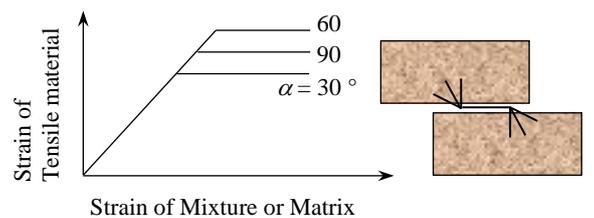


図-9 繊維材料の土中内の挙動の模式図

Geosynthetics, Session25-5, 2014.9. [謝辞] 本研究はJSPS特別研究員奨励費(課題番号26・4964)の助成を受けたものです。