μX線CTを用いた補強材引抜き時のせん断ひずみ分布の可視化

京都大学大学院 学生会員 〇木村 鴻志 京都大学大学院 正会員 澤村 康生 京都大学大学院 学生会員 木戸 隆之祐 京都大学大学院 正会員 木村 亮

1. はじめに

近年、補強土壁の有する高い耐震性が改めて注目されている。一般に補強土壁では、支圧抵抗力や摩擦抵抗力を補強原理とする補強材が用いられており、設計では極限釣り合い法により補強材の長さや敷設間隔が決定される。しかし、本来、補強土壁は変形追従性の高い柔な構造物であり、耐震性を議論する際には変形レベルに応じた引抜き抵抗力の評価が必要である。過去の研究では、種々の補強土壁に対して、現場および室内での引抜き試験いや、補強土壁全体を対象とした遠心力載荷実験³⁾が行われており、引抜き抵抗力発現メカニズムや補強土壁全体の安定性について検討が行われている。しかしながら、補強材引抜き時における地盤内部の構造変化に着目して引抜き抵抗力を議論した例は少ない。そこで本研究では、補強材の引抜き実験時にµX線でてを用いて地盤内部を撮影し、得られたで、画像を用いて画像解析を行うことで、引抜き時に発生するせん断ひずみ特性の可視化を行った。

2. 実験概要

本研究では、μX線 CT装置のワークテーブル上に搭載可能な三軸試験装置を改良し、地盤中に存在する補強材に対して引抜き試験を行うことができる試験装置を新たに開発した。3. 補強材の引抜き試験を任意の時点で停止し、CT撮影を行った。供試体作製においては直径 70 mm の塩ビ管をモールドとして用い、豊浦乾燥砂を相対密度 90%、高さ 100 mmとなるように突き固めた。また、供試体上面に 1.72 kg (44 kPa)の上載荷重を載荷した。補強材にはアクリル材を用い、地盤に対して周面摩擦力のみが発生する条件として Case-1 の模型、リブによって摩擦抵抗力が最も大きくなる条件として Case-2、中間条件として Case-3 を作製した。引抜きは変位制御で 0.1 mm/min の速度で実施した。上記の条件で引抜き試験を実施し、得られた荷重-変位関係を基に CT 撮影点を決定して撮影を行った。各ケースの荷重-変位関係を図1に示す。

3. 実験結果

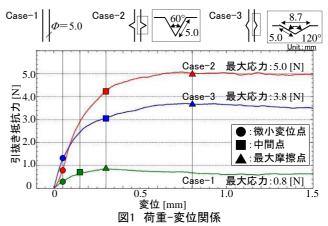
1) CT 画像

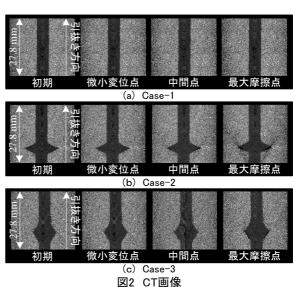
図 2 に各 CT 撮影点における CT 画像を示す. CT 画像では白色部分が高密度, 黒色部分が低密度である. Case-1 では, どの点においても CT 画像に変化は見られない. Case-2 では, 中間点においてリブの後方に低密度領域の発生がみられ, 最大摩擦点では引抜き進行方向の前方にも発達しているのが分かる. Case-3 では, Case-2 と同様の傾向を示したが, リブ

頂点角度が大きく地盤に対する摩擦抵抗力が小さいため,最 大摩擦点に至って初めてリブ後方で低密度領域を確認した.

2) 空隙分布

Case-1~3 の各変位点における CT 画像上の空隙領域を抽出し、撮影範囲内に存在している空隙体積量の分布を算出した。結果を図3に示す。Case-1 では、4 つ全てのグラフが一致しており、空隙の増加は確認されない。Case-2 において各点のグラフを比較すると、引抜きの進行とともに空隙の発生体積および発生範囲が徐々に大きくなっていることが分かる。リブ前方の結果に注目すると、最大摩擦点で空隙の発生体積、発生範囲ともに急激に大きくなっていることが確認できる。Case-3 でも、リブ前方において Case-2 と比較して空隙の発生体積量は小さいものの、同様の傾向を示している。





キーワード μX線CT,補強土壁工法,ダイレイタンシー

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 京都大学工学研究科 TEL: 075-383-3193 FAX: 075-383-3193

3) せん断ひずみ特性の可視化

取得した CT 画像を用いて DIC⁴(Digital Image Correlation) を行った. 結果を**図 4**,解析条件を**表 1** に示す. 本研究では、微小変位点、中間点、最大摩擦点のそれぞれに対して、初期点との間に生じたせん断ひずみを算出した.

Case-1 では、引抜き時に補強材模型の近傍でせん断ひずみが発達する. これらは周面摩擦力によるものと考えられる.

Case-2 の結果では、微小変位点において補強材模型の近傍でせん断ひずみが発生している。中間点ではリブの先端から引抜き方向に線状にせん断ひずみが発達している。最大摩擦点では線状の部分がさらに発達し、ひずみの大きさ、発生範囲ともに拡大している。また、せん断ひずみが発生している部分と、CT 画像および空隙分布から確認される空隙の発生範囲を比較すると、両者はほぼ一致していることがわかる。このことから、CT 画像上で確認された低密度領域は引抜きに伴うせん断によって生じるダイレイタンシーによるものであると言える。

Case-3 では、Case-2 と同様に引抜きに伴いせん断ひずみが発達しているが、発達の傾向に違いがあり、特に最大摩擦点においてその違いが顕著にみられる。Case-2 ではリブ頂点を起点として線状にせん断ひずみが発達していたが、Case-3 では、リブ全面から広がるようにせん断ひずみが発達している。せん断ひずみの発生している部分と CT 画像および空隙分布から確認される低密度領域によい相関がみられるのは Case-3 でも同様である。

Case-2, Case-3 においては引抜き抵抗力が最大値となる点において空隙体積量およびせん断ひずみが最大になっていることから、せん断に伴う土粒子間の摩擦力が引抜き抵抗力発現の一因であると考えられる. また、引抜き抵抗力の違いはせん断ひずみの発生傾向の違いによるものと推測される.

4. 結論

引抜きに伴うせん断によってダイレイタンシーが生じ、地 盤内に低密度領域が発生する.また、せん断ひずみと引抜き 抵抗力の間に相関が認められ、引抜き抵抗力の大きさにはせ ん断ひずみの発生傾向が関係することが示唆された.

今回は上載荷重のみを作用させた実験を行った。今後は空 気圧を用いて供試体に等方的な拘束圧をかけ、実地盤をより 再現した条件での実験を行う。また、補強材のリブ形状の条 件を多様に変化させたものを試行することによって、せん断 ひずみと引抜き抵抗力の関係性を明らかにし、引抜き抵抗力 発現機構の解明を目指す。

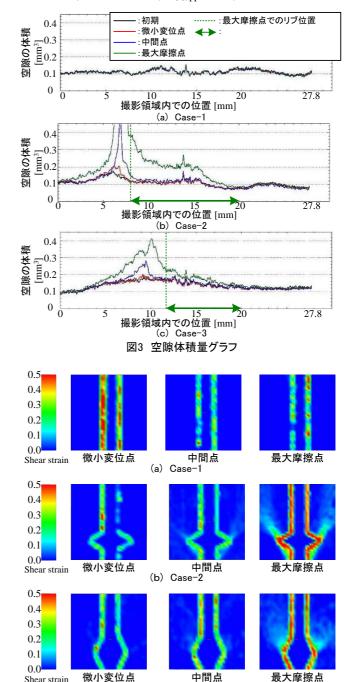
謝辞

本研究は、みずほ学術振興財団の助成を受けて実施した.ここに記して謝意を表す.

参考文献

 小川:現場引抜き試験による帯鋼補強材と盛土材との摩擦特性、土木学 会論文集、(568),pp.221-226,1997.

- 中島ら:模型実験・地震被害事例の解析による道路擁壁の耐震性の評価, 土木技術資料, 53(5), pp.38-41, 2011.
- 3) 木村ら: µX線 CT を用いた補強材引抜き抵抗力と地盤内部構造変化の関係、土木学会関西支部年次学術講演会、2017
- Higo et al.: Investigation of localized deformation in partially saturated sand under triaxial compression using microfocus X-ray CT with digital image correlation, Soils & Foundations, 53 (2), pp.181-198, 2013.



c) Case-3 図4 DICにより求めたせん断ひずみの分布

表1 DIC解析条件

画像サイズ(Voxel)		1024×1024×897	
1 Voxelサイズ(μm)		$28.17 \times 28.17 \times 31.0$	
相関計算点		$40 \times 40 \times 40$	
検索領域(Voxel)		21×21×41	
相関計算領域(Voxel))	15 ³	
検索点間隔(Voxel)		24×24×21	