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¹⁰や、補強土壁全体を対象とした 遠心力載荷実験²⁰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CTを用いて地盤内 部を撮影し、得られたCT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.
- 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.



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)	$1024 \times 1024 \times 897$
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)	$21 \times 21 \times 41$
相関計算領域(Voxel)	15 ³
検索点間隔(Voxel)	$24 \times 24 \times 21$