

## 補強材リブ周辺の粒子回転運動と粒子間接触力分布に関する2次元DEM解析

国土交通省	正会員	○田村	隆大郎
京都大学大学院	正会員	木戸	隆之祐
京都大学大学院	正会員	澤村	康生
京都大学大学院	フェロー会員	木村	亮

## 1. はじめに

帯鋼補強土壁は、地盤内部に敷設した引張り補強材による摩擦抵抗により補強効果を発揮する構造物である。補強材は一般に突起状のリブを有するが、現行設計では補強材と地盤間を摩擦面と仮定して引抜き抵抗力を算出しているため、補強材と地盤の相互作用を正確に評価できていない可能性がある。これまでに、小型模型実験とマイクロフォーカスX線CT撮影による地盤内の可視化を通じて補強材リブの傾斜角や地盤材料の物性が引抜き抵抗力和その発現メカニズムに与える影響が検討されている<sup>1),2)</sup>。本研究では、補強材リブ周辺を対象に、実験では検討が困難な土粒子の回転や接触力の伝達に着目して2次元DEM解析を実施することで、田村ら<sup>1)</sup>の実験結果を補完した。得られた結果に基づき、補強材の引抜きに対してリブ周辺地盤の土粒子がどのように再配置されて応力を伝達し、引抜き抵抗力の発現に寄与するのかを検討した。

## 2. 解析概要

2次元DEM解析はMatsushima et al (2002)<sup>3)</sup>が開発したプログラムを用いて行う。図1に示す通り、実験で用いた円柱形の模型地盤<sup>1),2)</sup>の4分の1断面において補強材リブよりも上側の領域の寸法を10倍して解析領域を設定している。土粒子モデルは田村ら<sup>1)</sup>が模型地盤試料として用いたSample A, Bの粒子径を10倍して粒径0.850-2 cmのCase 1, 粒径0.425-0.850 cmのCase 2を設定している。土粒子モデルの接線方向のばね定数は $1.0 \times 10^5$  N/m, 法線方向のばね定数は $2.5 \times 10^4$  N/m, 減衰定数は0.1, 粒子間摩擦角は $25^\circ$ である。解析領域周囲のセグメント要素の材料定数は土粒子モデルと同じ材料定数を用いている。土粒子モデルの粒子形状は、3つの円要素を組み合わせるOver lap率0.5で接合したクランプ粒子としている。2次元DEM解析で一面せん断シミュレーションを行った結果、Case 1, 2の内部摩擦角はそれぞれ $18.5^\circ$ ,  $17.2^\circ$ であることが分かっている。

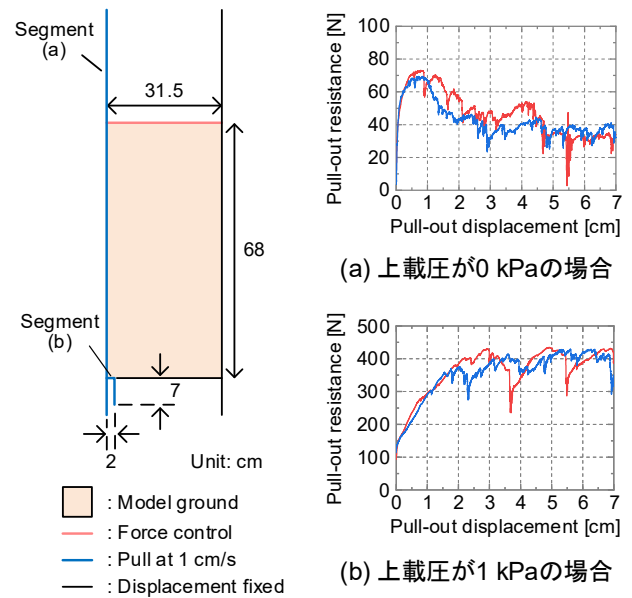


図1 解析領域

図2 解析結果

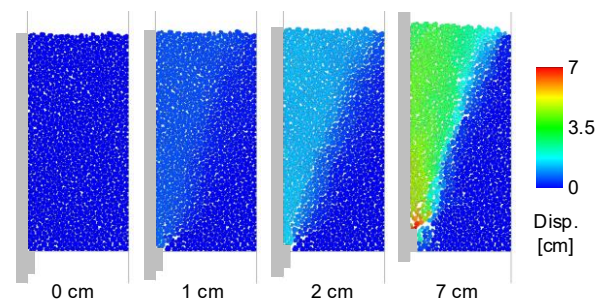


図3 変位量分布(上載圧0 kPaの場合)

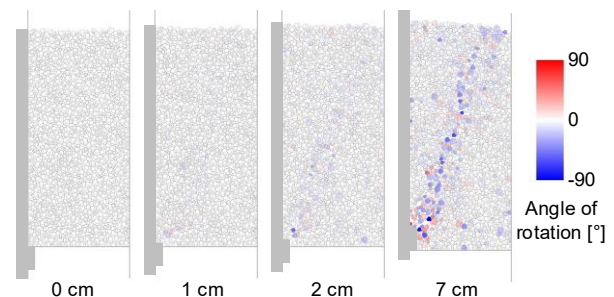


図4 回転量分布(上載圧0 kPaの場合)

補強材引抜きシミュレーションでは、図1中の青色の線で表されるセグメント要素を鉛直上向きに1 cm/sの速度で7 cm変位させることで行う。上載圧は0 kPa, 1 kPaとしている。引抜き抵抗力は、図1中のsegment

(a), (b)に対する鉛直方向の作用力を合計して算出している。なお、segment (a), (b)に対する鉛直方向の作用力はそれぞれ補強材に作用する摩擦力と補強材リブに作用する支圧力に相当する。

### 3. 引抜き抵抗力-引抜き変位関係

図2に得られた引抜き抵抗力-引抜き変位関係を示す。上載圧0 kPaの場合、Case 1, 2はともに引抜き抵抗力がピーク値を迎えた後、減少する。上載圧1 kPaの場合、Case 1, 2はともに引抜きの変位に伴って引抜き抵抗力は大きくなる。また、上載圧の大きさに依らず、引抜き抵抗力のピーク値はCase 1の方がCase 2よりも僅かながら大きくなること分かる。

### 4. 土粒子モデルの変位、回転および接触力の定量化

図3~5にCase 1の土粒子モデルの変位量、回転量および法線方向の粒子間接触力の分布図をそれぞれ示す。図5では赤色の線が太いほど大きな粒子間接触力が作用していることを意味する。図3では、引抜きの変位に伴いリブ直上を起点に変位領域は拡大していることが分かる。図3(b)では引抜き変位7 cm地点でリブと一体となって動く領域が発現しており、地盤内可視化の結果<sup>1)2)</sup>と定性的に同じ傾向が得られている。図4より、引抜きの変位とともにリブ上面の角から斜め上方向に両方の向きの回転が集中している領域が生じていることが分かる。この領域は地盤内可視化の結果確認された補強材の引抜きに伴って発現する、リブの角からせん断ひずみが生じている領域<sup>2)</sup>と対応していると考えられる。図5より、引抜きの変位とともに接触力の伝達している領域は拡大して引抜き抵抗力が最大値となる時に最も広く伝達していることが分かる。図5(b)では引抜き抵抗力が最大値を迎えた後も接触力分布はある程度保持されている。つまり、補強材の引抜き抵抗力は土粒子間接触力が伝達することで発現しているといえる。

### 5. 結論

補強材引抜きに伴って、補強材リブ上面の角から斜め上方向に土粒子の回転が集中する領域が発現する。この領域では、土粒子のかみ合わせが生じてせん断抵抗力が発現している可能性があると考えられる。土粒子間接触力の伝達が引抜き抵抗力の発現に寄与する。

### 謝辞

DEM解析では、筑波大学松島亘志教授よりご協力頂いた。ここに記して謝意を表す。

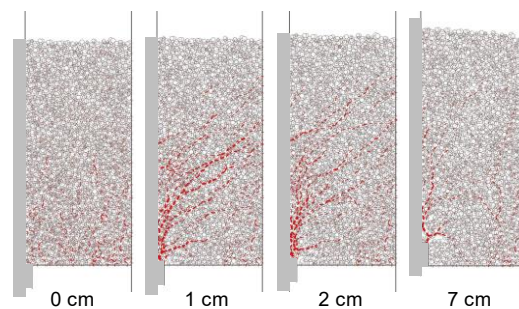


図5 粒子間接触力分布(上載圧0 kPaの場合)

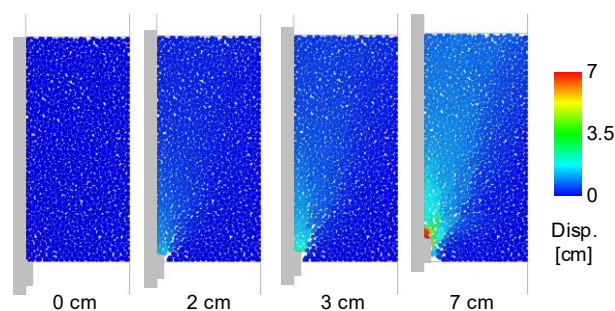


図6 変位量分布(上載圧1 kPaの場合)

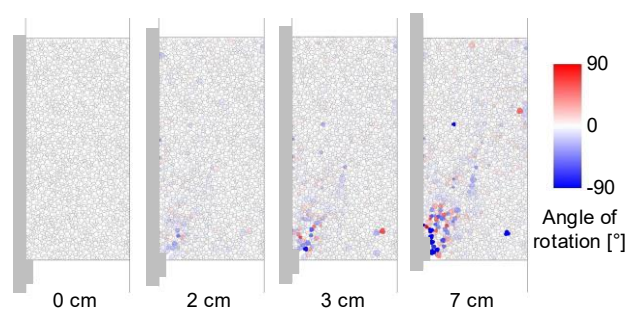


図7 回転量分布(上載圧1 kPaの場合)

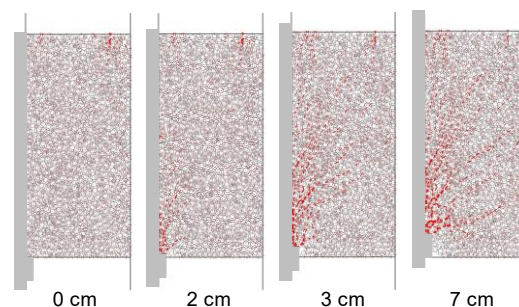


図8 粒子間接触力分布(上載圧1 kPaの場合)

### 参考文献

- 1) 田村ら：補強材引抜き抵抗特性に与える地盤材料の粒度分布の影響と地盤変形挙動の可視化，第75回土木学会全国大会年次学術講演会，No.III-152，2020-9。
- 2) Kido et al.: Investigation of soil deformation characteristics during pullout of a ribbed reinforcement using X-ray micro CT, *Soils & Foundations*, **61**(3), pp.642-657, 2021.
- 3) Matsushima et al.: Discrete Element Modeling for Irregularly-shaped Sand Grains, *Proc. NUMGE2002: Numerical Methods in Geotechnical Engineering*, Meststat (ed.), pp.239-246, 2002.