

ジオグリッドを用いた埋設管屈曲部のスラスト防護工法に関する
個別要素法シミュレーション

Discrete Element Simulations on Thrust Restraint
for Buried Pipe Bends Using Geogrid

寺田健司* ○廣川慎** 澤田豊* 河端俊典*

Kenji Terada, Makoto Hirokawa, Yutaka Sawada and Toshinori Kawabata

1. はじめに

圧力管路屈曲部におけるスラスト防護工法として、ジオグリッドと砕石を用いた工法が提案されている¹⁾。しかしながら、有効なジオグリッドの配置方法などの適用範囲は明らかではなく、設計手法は確立されているとはいいがたい。本研究では、ジオグリッドを用いたスラスト防護工法の設計に資する知見を得ることを目的に、3次元個別要素法(以下、DEM)による曲管部の水平载荷シミュレーションを実施し、当工法に対するDEMの適用性および補強メカニズムについて検討した。

2. シミュレーションの概要

本研究ではオープンソースのコード YADE²⁾を用いて解析を実施した。解析モデルを Fig. 1 に示す。土粒子は球要素によりモデル化し、半径を 4.9 ~ 9.1 mm の一様乱数から与え、空中落下法によりパッキングし地盤を作成した。球要素のパラメータは相対密度 $Dr=85\%$ の 6・7 混合珪砂に対する三軸試験とそのシミュレーションの結果をフィッティングさせることで決定した (Table 1)。埋設管は外径 D が 70 mm、屈曲角が 45°、横断面が正 12 角形となるよう三角面要素を配置しモデル化した。ジオグリッドは半径 3.6 mm の球要素を正方格子状に配置し、要素間距離に応じて引張り力を作用させるバネ³⁾を接する要素間に配置することで簡易的にモデル化した。ジオグリッドは一軸引張試験の結果に基づき、引張強度が 3.0 kN/m となるようバネの剛性を設定した。

埋設管を構成する面要素を y 軸正方向に速度 3.0 mm/s で強制変位させることにより载荷を表現した。解析ケースとして、ジオグリッドにより管周囲を補強したケースと無補強のケースを実施した。ジオグリッドは Fig. 1(b) に示すように管周囲 70 mm を囲むように配置し、敷設幅 L (x 軸方向の長さ) を 125 mm と 200 mm の 2 種類設定した。

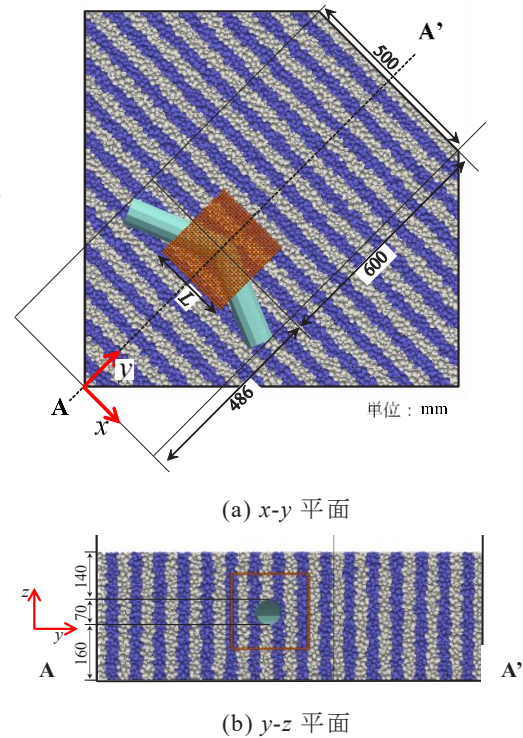


Fig. 1 シミュレーションモデル
Discrete model of lateral loading simulation

Table 1 入力パラメータ
Input parameters for simulation

球要素	密度 (土粒子)	ρ_{soil}	2700 [kg/m ³]
	(グリッド)	ρ_{grid}	300 [kg/m ³]
	ヤング率	E	30 [MPa]
	バネ定数比	α	0.33
	曲げ強度係数	β_R	0.02
	転がり抵抗係数	η_R	0.33
	内部摩擦角 (球-球)	ϕ	45.0 [deg.]
面要素	ヤング率	E_{pipe}	68000 [MPa]
	内部摩擦角 (球-管)	ϕ_{pipe}	0.0 [deg.]

* 神戸大学大学院農学研究科 Graduate School of Agricultural Science, Kobe University

**神戸大学農学部 Faculty of Agriculture, Kobe University

キーワード: 個別要素法, 埋設管, 水平抵抗力, ジオグリッド

3. シミュレーション結果および考察

Fig. 2 に埋設管の水平変位 δ と水平抵抗力の関係を示す。水平抵抗力は、屈曲部を中心として、250 mm の区間の面要素に作用した接触力の総和を載荷方向の投影面積で除することで算出した。変位初期 ($\delta=0\sim 1$ mm) では抵抗力に差異は見られないものの、管が変位に伴いジオグリッドを配置したケースで水平抵抗力が増大しており、3次元DEMでグリッドの補強効果を再現できたことがわかる。また、グリッドによる補強範囲が大きい $L=200$ mm において、水平抵抗力がわずかに大きくなることを確認できる。

管の変位量 $\delta=8.0$ mm 時における、無補強および補強ケース ($L=200$ mm) の y - z 平面の粒子間接触力分布を Fig. 3 に示す。接触力は 2.5 N 以上のものを描画した。Fig. 3(a) から、無補強ケースにおいては、接触力は管側から管底にかけて放射状に広がることを確認できる。一方、補強ケースでは (Fig. 3(b)) 管の変位に伴い、接触力がジオグリッドの面に対して垂直に作用しており、グリッドを介して受働側地盤に高い水平方向の接触力が伝播することが確認できる。グリッドを敷設することで、より広範囲の地盤が一体的に変化し、水平抵抗力の増加に寄与したものと考えられる。Fig. 4 には管の変位 $\delta=8.0$ mm 時におけるグリッドに作用する張力を示す。本解析のような土被り・グリッドの配置条件では、管の受働側・下側のグリッドに高い張力が発生することが明らかとなった。この張力により屈曲部周辺地盤の変位が抑制され、水平抵抗力の増加に寄与したものと考えられる。

4. おわりに

本研究では3次元DEMによりジオグリッドを用いたスラスト防護工法の解析を試み、ジオグリッドの敷設による補強効果を再現できることを示した。今後は模型実験との比較や、砕石のモデル化などを通して、より定量的な検討を進めていく必要がある。

参考文献

- 1) 澤田ら(2010) : 圧力屈曲部軽量スラスト防護工法の設計手法の提案, 農業農村工学論文集, 265, 33-40
- 2) Šmilauer, V. et al. (2015) : Yade Documentation 2nd ed. The Yade Project, (<http://yade-dem.org/doc/>).
- 3) Bertrand, D. et al (2008) : Discrete element method (DEM) numerical modeling of double-twisted hexagonal mesh, *Canadian Geotechnical Journal*, 45(8), 1104-1107.

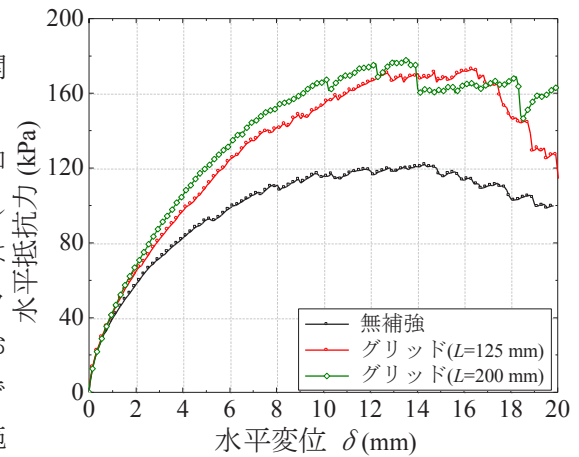
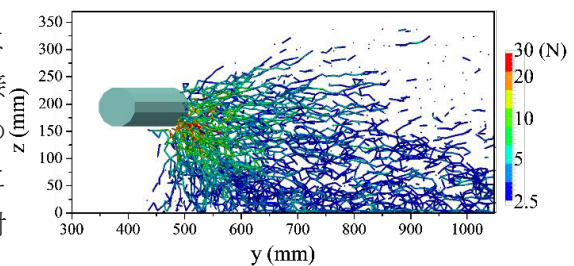
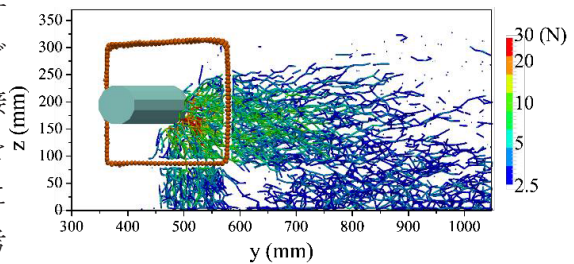


Fig. 2 水平変位量と水平抵抗力の関係
Force-displacement curve



(a) 無補強ケース



(b) 補強ケース ($L=200$ mm)

Fig. 3 接触力分布 ($\delta=8.0$ mm)
Contact force network at $\delta=8.0$ mm

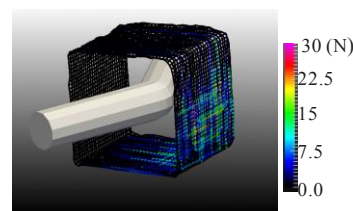


Fig. 4 ジオグリッドに作用する張力 ($\delta=8.0$ mm)
Tensile force distribution on geogrid model
at $\delta=8.0$ mm