

第Ⅲ部門

数値解析に基づく粒状体のせん断抵抗の速度依存性に関する考察

京都大学 学生員 ○竹本 幸士郎

京都大学 正会員 澤田 純男

京都大学 正会員 後藤 浩之

1. はじめに

現代社会を支えるライフラインシステムの多くは地下埋設管が構成している。埋設管は一度障害が起きると場所の特定が難しく、加えて場所を特定したとしてもその地点を掘り起こす必要がある。そのため埋設管の耐震性は所定の性能を満たす必要がある。現在の設計では埋設管にかかるせん断力を単純なクーロン摩擦を仮定して設定することが多いが、実現象はそれと異なる。図1に島村ら(1999)が行った埋設管の実大引き抜き実験の結果を示すが、せん断力のピーク値は引き抜き速度に依存する。本研究では、せん断抵抗が引き抜き速度に依存するメカニズムを砂地盤が粒状体であることに着目して数値解析により考察する。既往の実験結果(高屋ら、2015)と比較することを想定して、アクリル円柱を粒状体として見立てて解析した。

2. 数値解析の概要

本研究では粒状体の動的な挙動を個別要素法により解析する。個別要素法は各時刻において円形、多角形などの粒子一つ一つに運動方程式を与えて動きを追跡し解析する手法である。個別要素法では、粒子間の相互作用を、接触ばねを介した接触力により表現するが、せん断ばねの設定には粒子間の摩擦のモデル化が必要である。本研究では図2に示すような試験体を用意し、一定の上載圧の下で一定速度のせん断試験を行った。この結果から摩擦係数を速度に依存しない0.3639とモデル化し、転がり抵抗は無視することとした。密度は測定値の平均値を用いて33.98kg/m³とした。また法線方向の接触ばね係数はヘルツ則を用いて粒子間には2504kN/m、粒子壁面間には1771kN/mとした。

3. 数値解析 1(等粒径配置)

図3に解析モデルを示す。本解析では直径20mmの

アクリル円柱を1000個均一に密に並べる。3kNの上載荷重で十分圧密した後、下部プレートを一定速度で引き抜いた。引き抜き速度は10,100,1000mm/sとした。図4に速度別の引き抜き変位-せん断抵抗関係を上に、引き抜き変位-ダイレイタンシー関係を下に示す。せん断抵抗のピーク値が速度に依存して増加すること、ピーク値がダイレイタンシーの発現より前に表れていることが確認できる。

本現象のメカニズムを議論するため、粒状体を単純化された1質点系のばねマスモデルとして捉えることにする。引き抜きによってまず下層の粒子が上方に移動する。この下層粒子の垂直方向速度は引き抜き速度に依存し、ここでは単純化のため一定速度 v_0 であるとする。上層の粒子を質点とし、下層の粒子を移動境界としたばねマスモデルを考えた場合(図5)質点の変位 u 、また移動境界にかかる垂直力 Q は次のようになる。

$$u = v_0 t - \frac{v_0}{\omega} \sin \omega t$$

$$Q = \sqrt{Mk} v_0 \sin \omega t$$

$$(\omega = \sqrt{k/M})$$

上式より、 v_0 が大きいほど質点の上昇 u に要する引き抜き量が増えること、また Q の最大値が増加することが示される。これは数値解析において引き抜き速度に依存してダイレイタンシーが遅れること、せん断面に圧縮力が働くためにせん断抵抗が強くなることが表され、図4に示す結果と調和的である。

4. 数値解析2(分布粒径配置)

図6に解析条件を示す。本解析では1000個の粒子に粒径分布を持たせた。3kNの上載荷重で十分等方圧密した後、左右の壁面を固定境界にして下部プレートを一定速度で引き抜いた。数値解析結果を図7に示す。初期のせん断抵抗が速度依存する事、ダイレイタンシ

一の発現が速度に応じて遅くなる事が確認でき、先に提示したモデルによる結果に一致する傾向であるといえる。

参考文献

- 1) 島村一訓,竹ノ内博之,三木千壽,福澤小太郎：実大実験による埋設パイプラインの軸方向動的地盤ばね特性の研究．土木学会論文集 No.612/I-46,pp.55-66,1999
- 2) 高屋俊康,後藤浩之,澤田純男：光弾性実験に基づく砂地盤と埋設管との摩擦の速度依存メカニズムに関する一考察,平成27年度土木学会関西支部年次学術講演会,2015

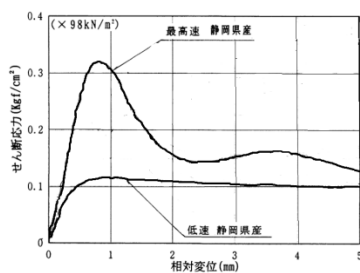


図 1 埋設管引き抜き実験結果(島村ら、1999)

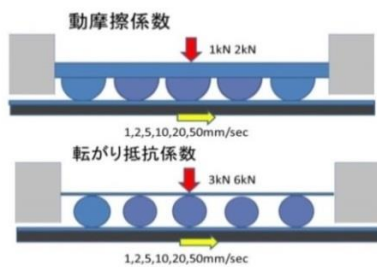


図 2 摩擦特性同定のための試験体

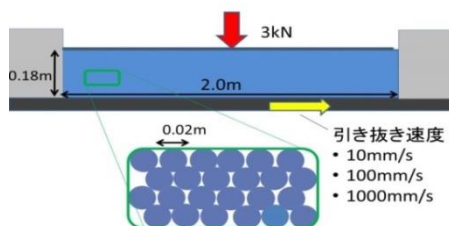


図 3 数値解析 1(等粒径配置)の解析モデル

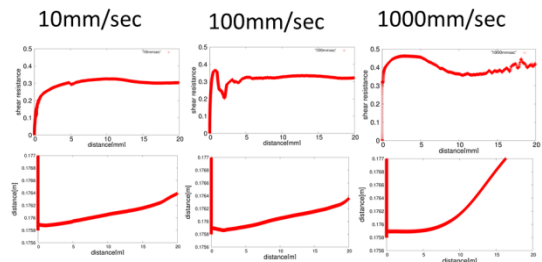


図 4 セン断抵抗とダイレイタンス(数値解析 1)

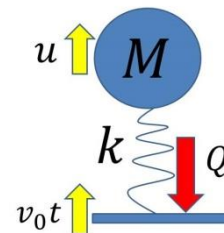


図 5 1質点系のばねマスモデル

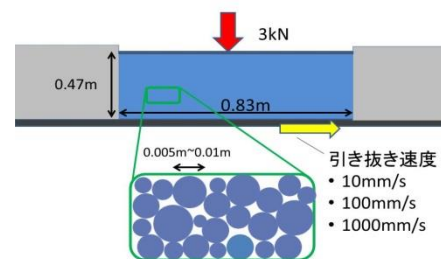


図 6 数値解析 2(分布粒径配置)の解析モデル

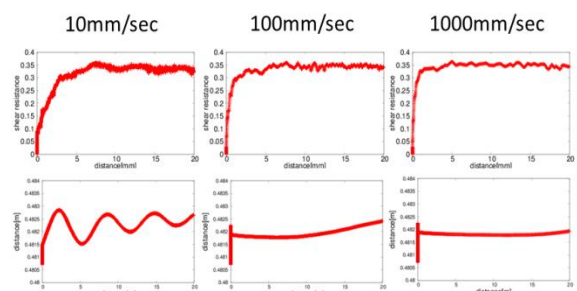


図 7 セン断抵抗とダイレイタンス(数値解析 2)