

振動・停止を利用した 軟弱地盤移動方法の提案

芝浦工業大学
システム理工学部
機械制御システム学科
教授 飯塚浩二郎

2019年6月19日

地上には、自然状態の地盤、人工的に整備された地盤などがある。

人工的に整備された地盤→人々の生活に欠かせない存在。

(生活, 運搬, 搬送などを)



一方で.....人工的に整備されていない地盤, あるいは剛体化されていない地盤も多く存在する. (農業などには欠かせない)



砂



泥



土壌

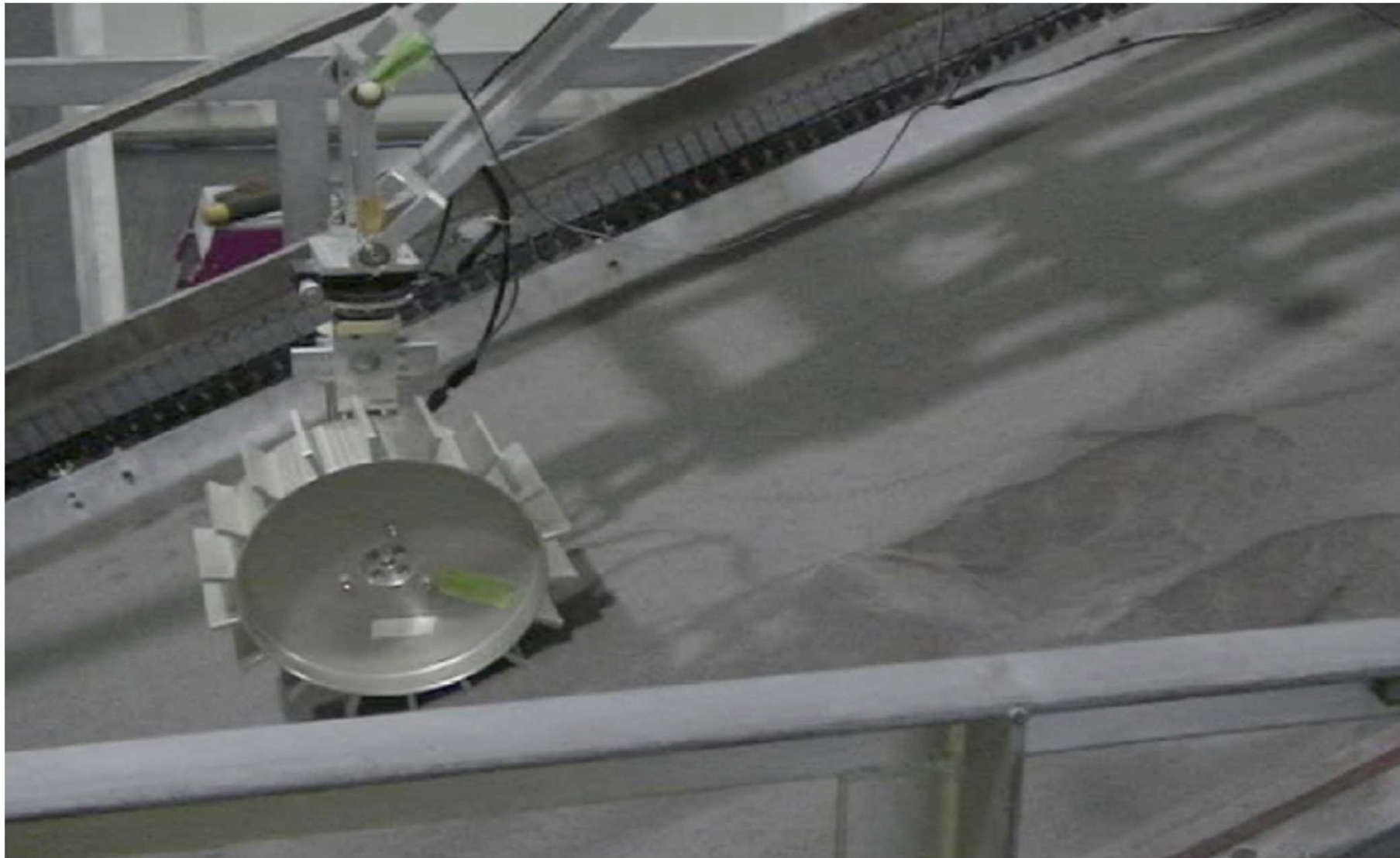


被災地

このような軟弱地盤は、
いろいろな特徴を持っている



このようなところで、足が埋もれたり、滑ったりしたことはありませんか？



軟弱地盤移動は**大変滑りやすく**， **かつ**， **地盤中に埋没しやすい**

軟弱地盤----せん断現象が起きるので、埋没したり滑ったりする



この現象のおかげで、タネを植えられたり、苗は根を伸ばすことができる。



しかし、その埋没具合や滑り状態を任意にコントロールするのは至難の技



<本成果>

- ・地盤のせん断強度を任意にコントロールするもの
- ・その反力を利用した移動ロボットの提案



砂



泥



土壌



被災地

移動体

+

振動デバイス



軟弱地盤移動の走行性能を高める

<言い方を変えてみると...>

- ・軟弱地盤からの反力を大きくする
- ・すべり現象の有無をコントロールできる

単脚を用いた軟弱地盤の歩行移動実験

※脚の先端に振動デバイスを搭載している

振動無しの移動



振動・停止→移動



軟弱地盤上を脚(単脚)を使って移動をさせると
“通常”は**大変滑りやすい**。



しかし、地盤に数秒(任意)振動を与えて振動停止させると、**脚(単脚)は滑らなくなる**

本技術・アイデアについて(3/3)

移動体



軟弱地盤上



走行



沈下
滑り



走行性
悪化



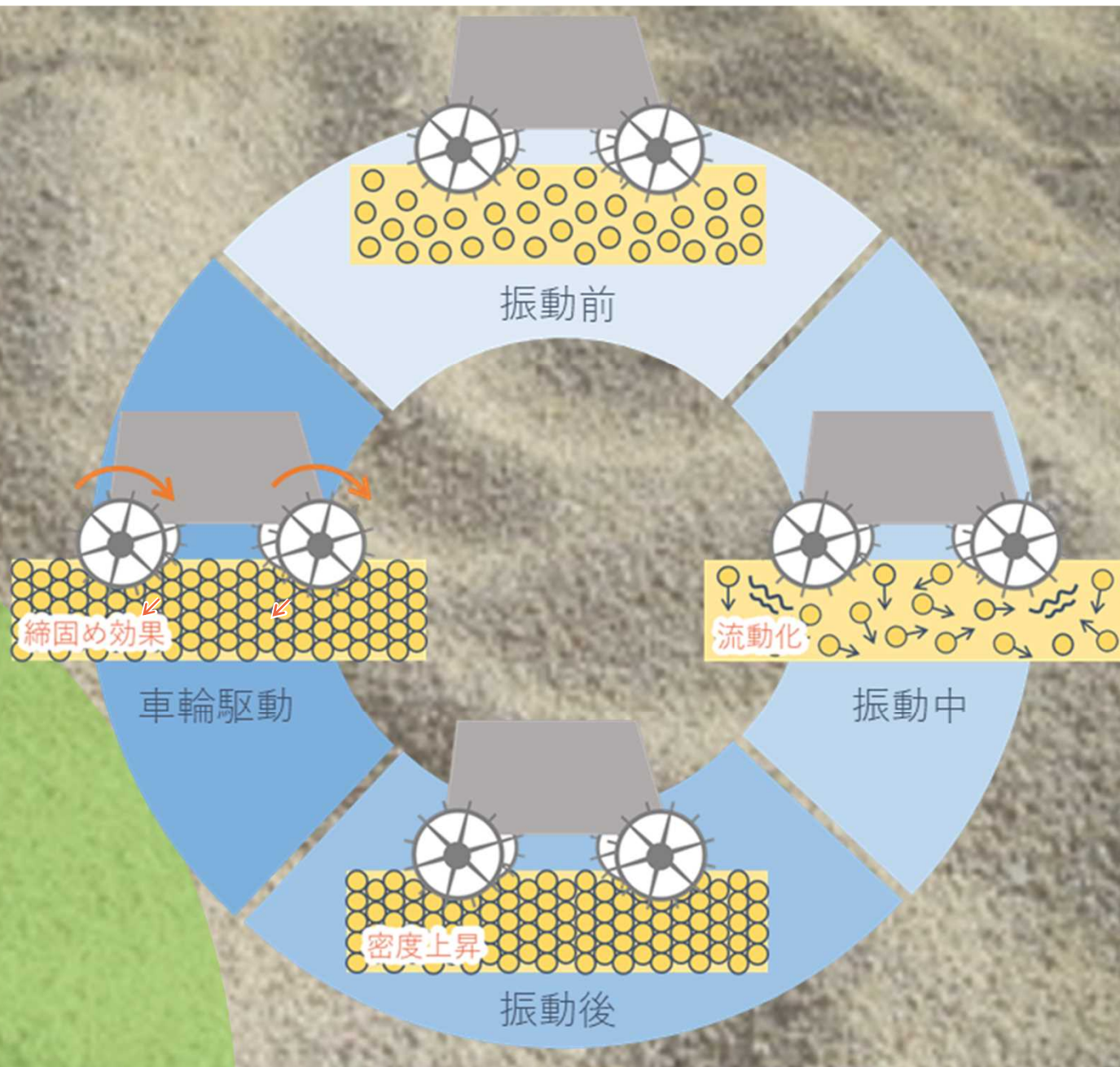
振動・停止



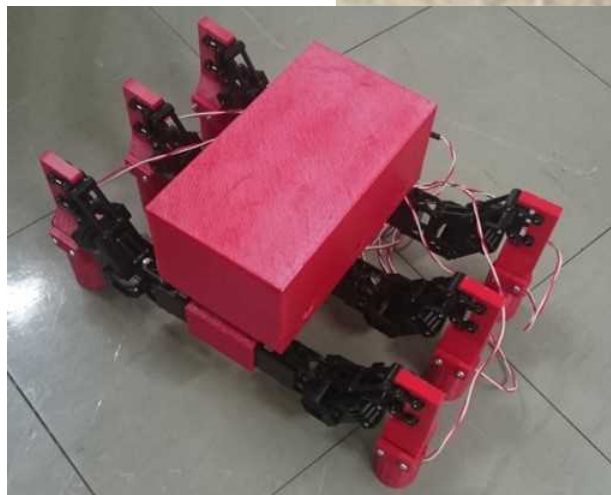
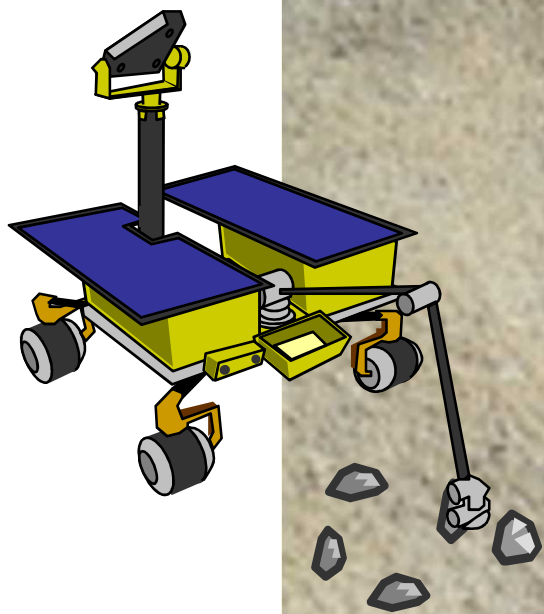
走行



走行性悪化は
起きづらい



本アイデアができること(簡単に言うと。。。)



移動体

- ・脚ロボット
- ・車輪型ロボット

+ 振動現象

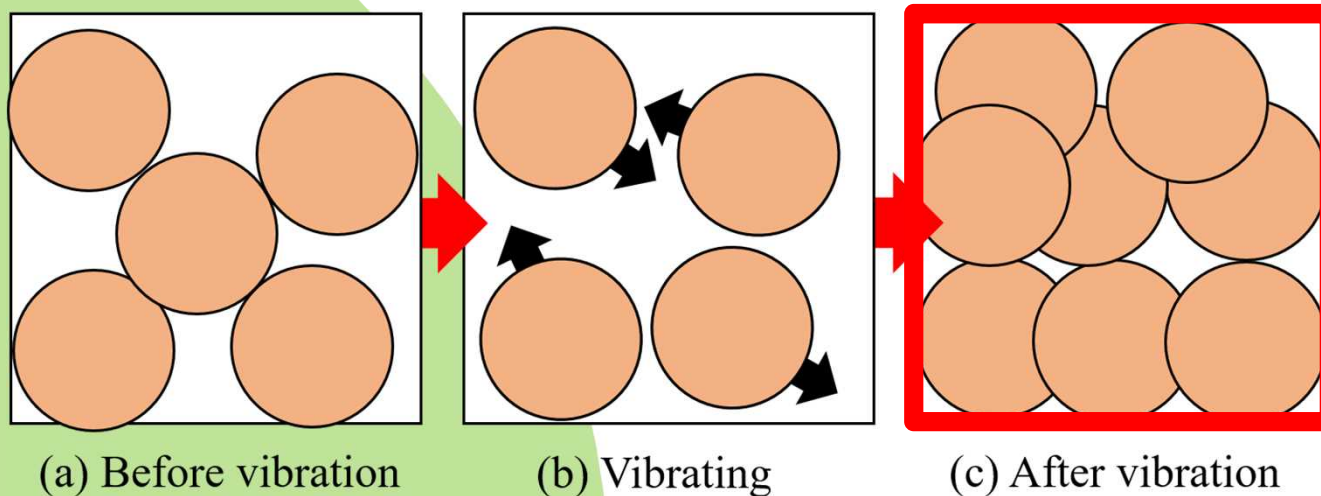
軟弱地盤において

- ① 柔らかい → 硬くなる
- ② 移動できない → 移動できる
- ③ 反力が小さい → 反力が大きい

地盤のせん断強度の上昇

- ・ 振動を地盤の粒子に伝達させ移動させる
- ・ 粒子の移動より地盤の密度が上昇
→ 密度上昇によりせん断強度が上昇

せん断強度の上昇によりせん断破壊を防止

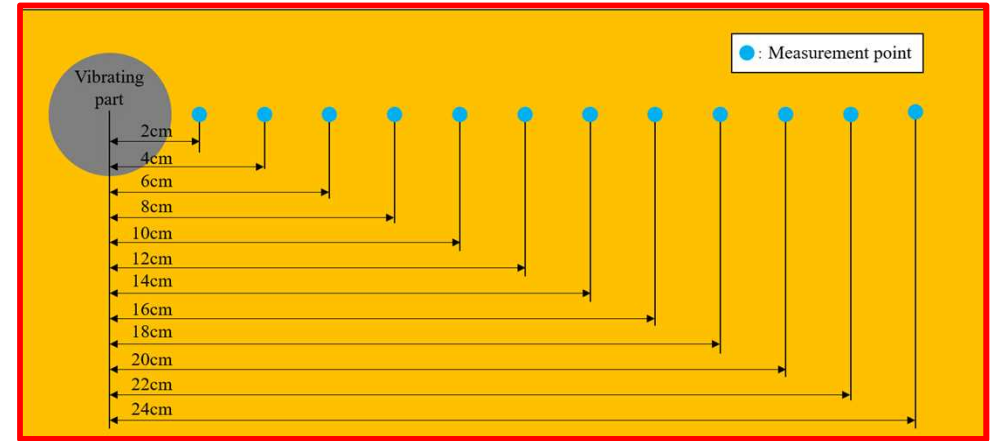


実験・調査 -振動による地盤変化-

測定方法

- ・ 振動によるせん断強度の変化を確認
- ・ 青点の12か所を計測
- ・ 振動体は地盤に5cm沈下させ、固定する
- ・ 振動を30秒与えた後に計測

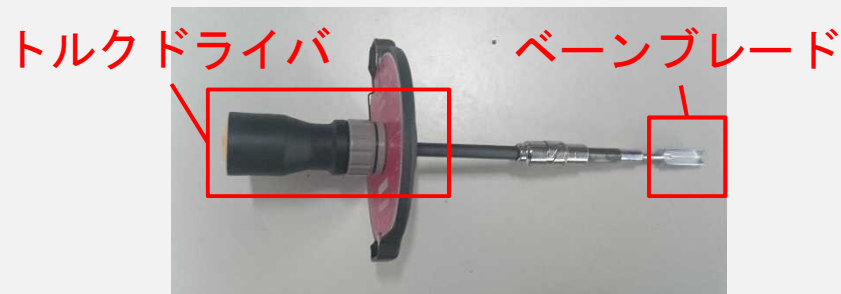
項目	条件(数値)
トライアル回数	30回
計測状況	振動前, 振動後(振幅1mm, 周波数30Hz)
沈下量	5cm
測定内容	ハンドベーンによってせん断強度を測定



測定箇所

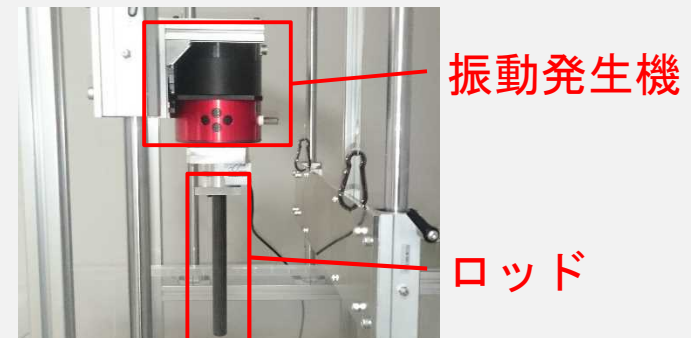
ハンドベーン

- ・ せん断破壊が起こる時のトルクを測定可能
→破壊時のトルクをせん断強度とする



振動発生機

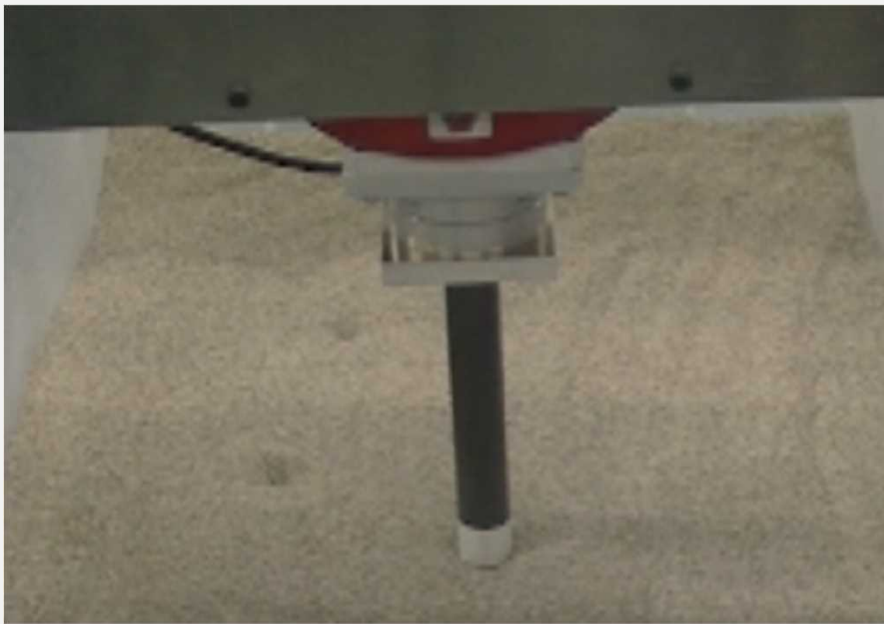
- ・ ロッド部分を地盤に差し込み、地盤に振動を与える



実験・調査 -振動による地盤変化-

測定手順

手順1 地盤に振動を与える



手順2 ハンドベーンでせん断強度を測定する



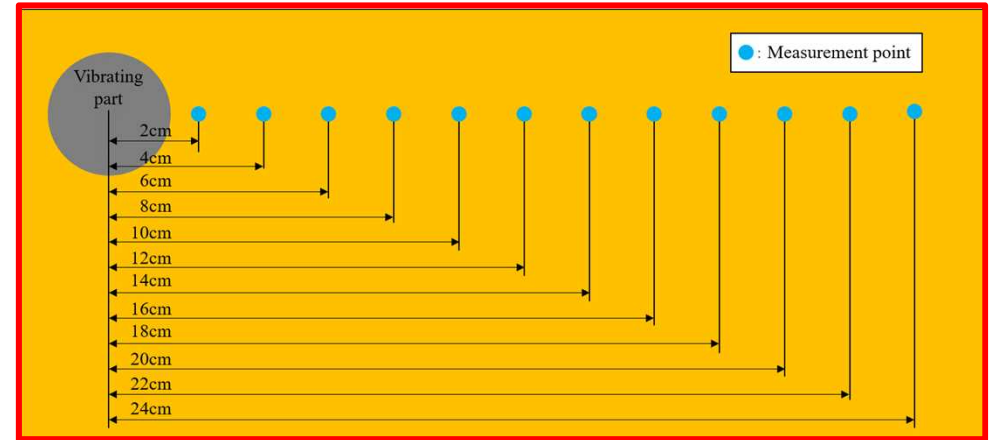
振動発生・停止後に、地盤のせん断強度を測定し、振動伝播・停止の効果を確認する

実験・調査 -振動による地盤変化-

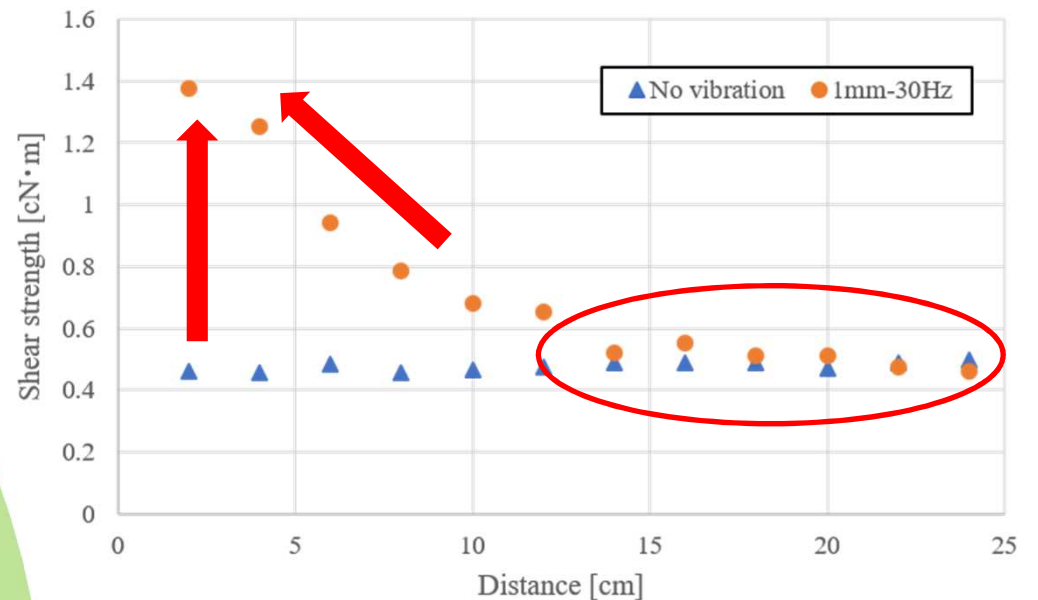
測定方法

- ・ 振動によるせん断強度の変化を確認
- ・ 青点の12か所を計測
- ・ 振動体は地盤に5cm沈下させ、固定する
- ・ 振動を30秒与えた後に計測

項目	条件(数値)
トライアル回数	30回
計測状況	振動前, 振動後(振幅1mm, 周波数30Hz)
沈下量	5cm
測定内容	ハンドベーンによってせん断強度を測定



測定箇所



測定結果

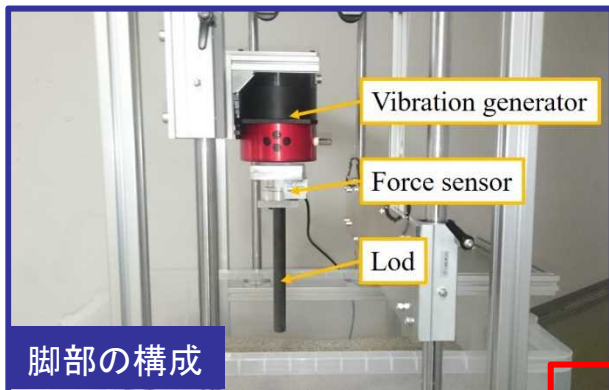
測定結果

- ・ 振動によりせん断強度の上昇を確認
- ・ 振動部に近いほどせん断強度が上昇
- ・ ある距離まで離れると振動を与えない場合と同程度の値に収束する

実験・調査 -地盤からの抵抗力-

実験内容(牽引試験)

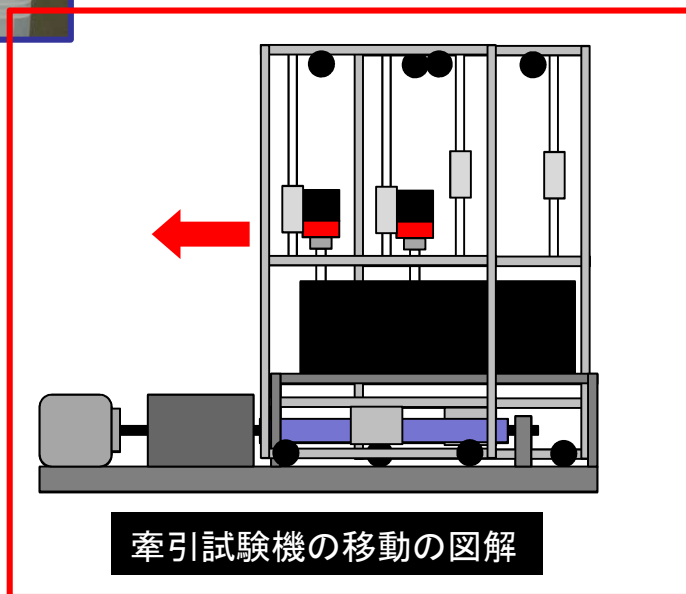
- ・ 地盤に振動を与えた場合の抵抗力の変化を確認
- ・ 振動部を地盤に設置し，振動させた後，牽引する
- ・ 振動後，は30秒振動後に計測，牽引を開始する



脚部の構成



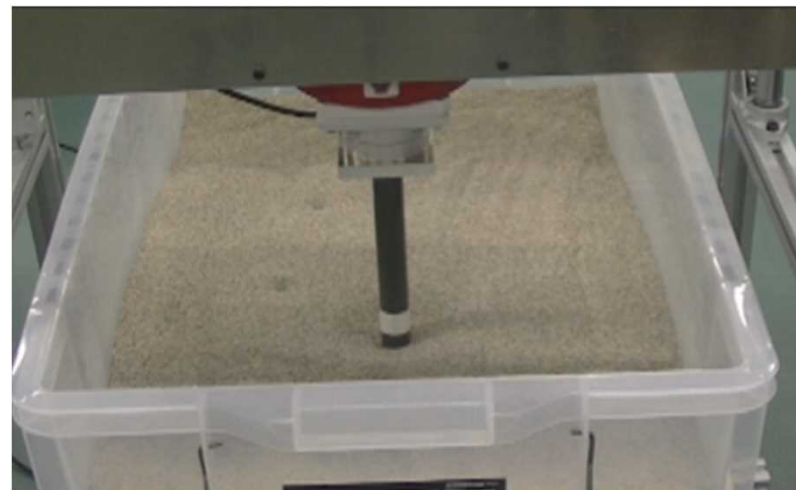
牽引試験機



牽引試験機の移動の図解

項目	条件(数値)
トライアル回数	30回
振動の種類	No vibration, 1mm-30Hz
測定内容	モーションキャプチャーによる沈下量測定 力覚センサによる牽引力測定

振動の種類	振幅	周波数
No vibration	0mm	0Hz
1mm-30Hz	1mm	30Hz

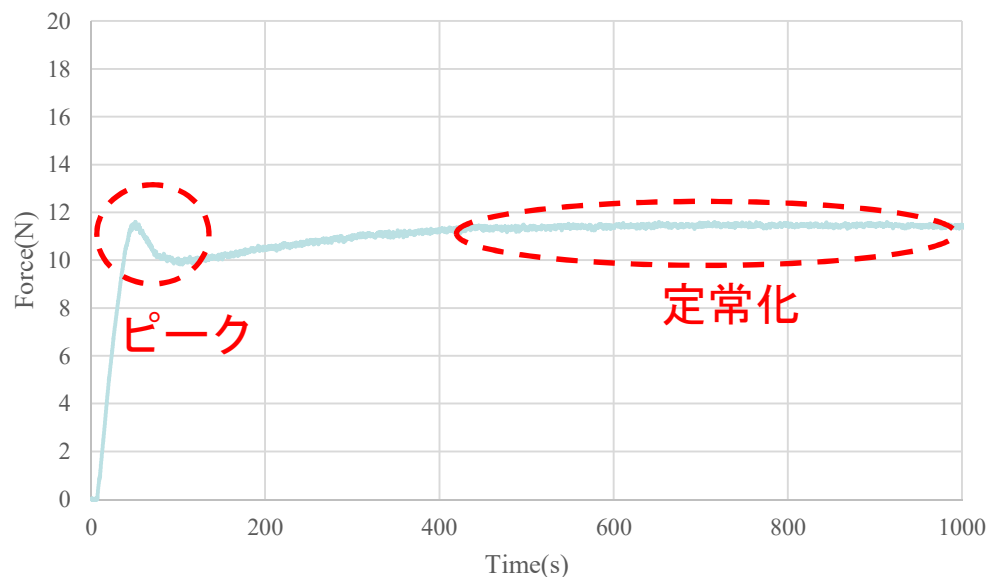
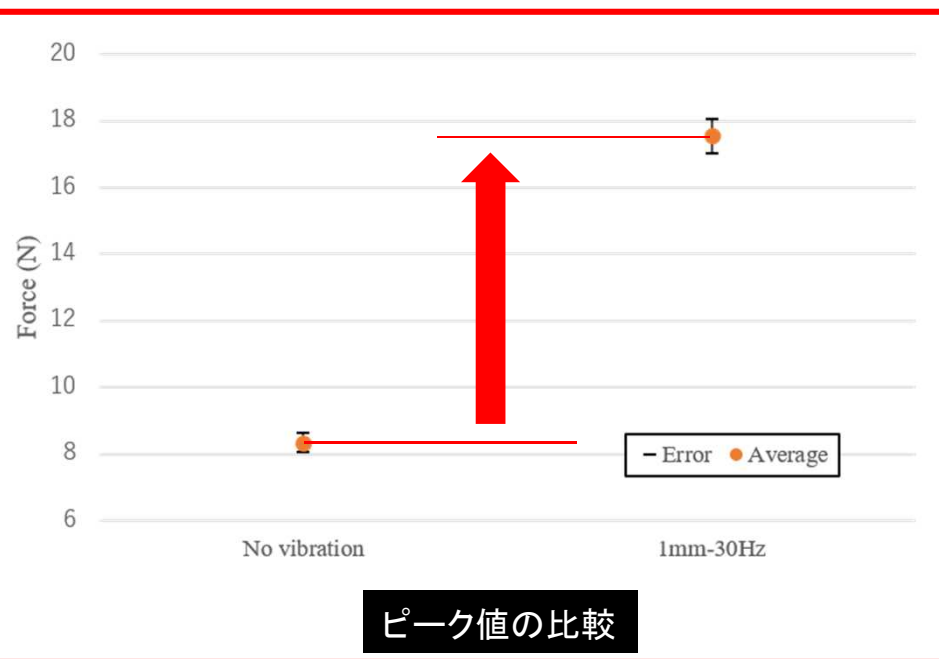


牽引試験機の移動の様子

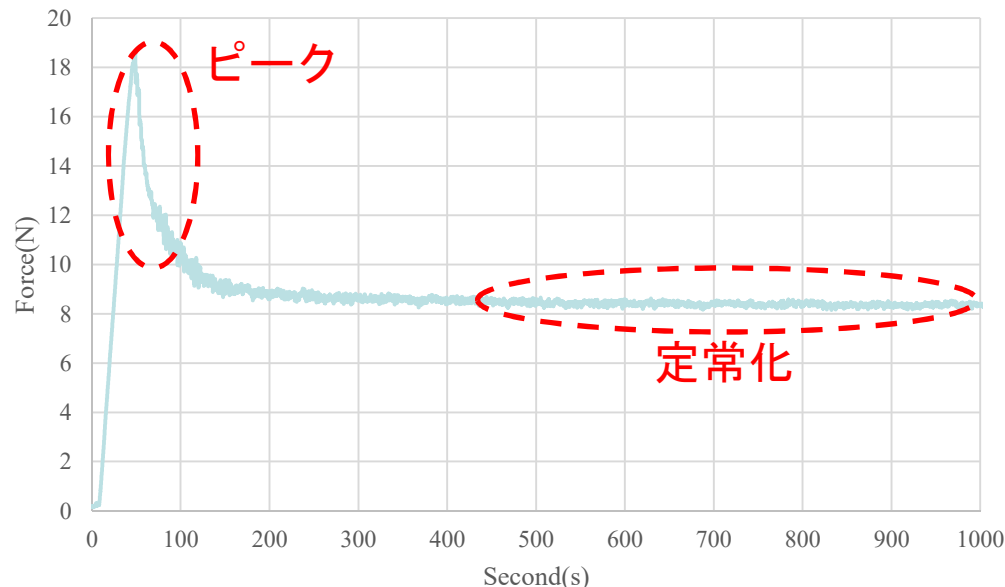
実験・調査 -地盤からの抵抗力-

実験結果

- 各測定結果でピークと定常化を確認
- 振動を与えた場合, ピーク値が上昇
→振動を与えない場合の2.1倍程上昇
- 定常化した値は振動を与えた場合と与えない場合であまり変化なし



抵抗力(振動無し)



抵抗力(1mm-30Hz)

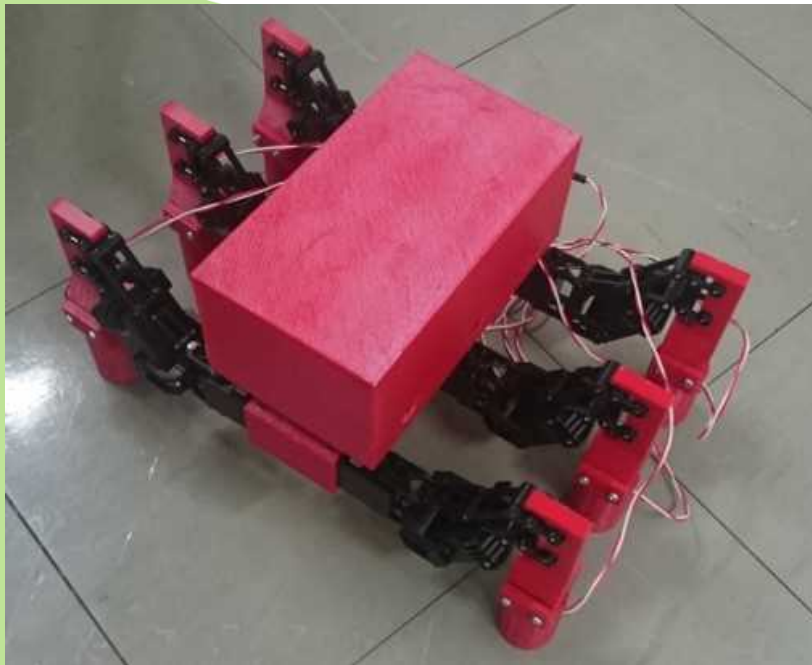
脚ロボットの歩行実験

実験内容

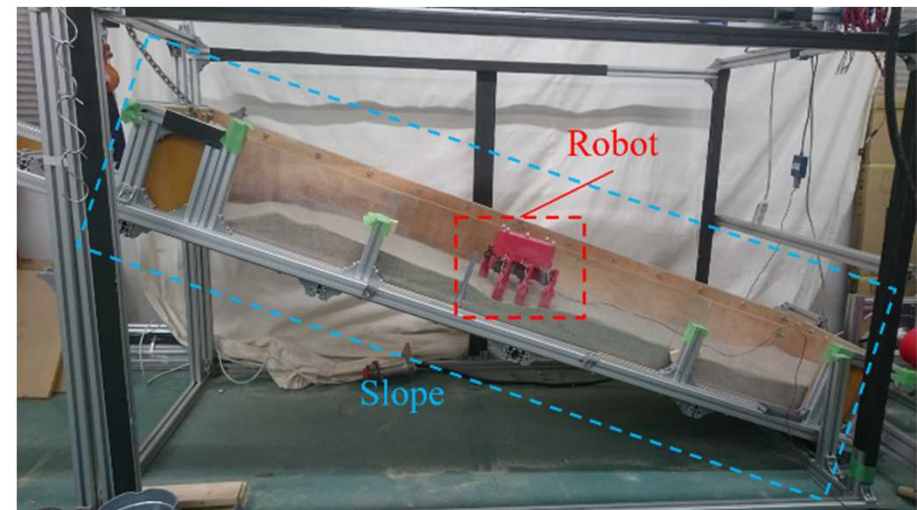
- ・脚型ロボットで有効性の確認
→ 軟弱地盤斜面上で歩行試験
→ ロボットの移動量より、移動性能を比較

実験条件

項目	条件(数値)
変化要素	斜面斜度
トライアル回数	5回
歩行種類	振動なし, 提案歩行方法
測定内容	移動量をモーションキャプチャーで測定



振動多脚ロボット



実験環境構成図

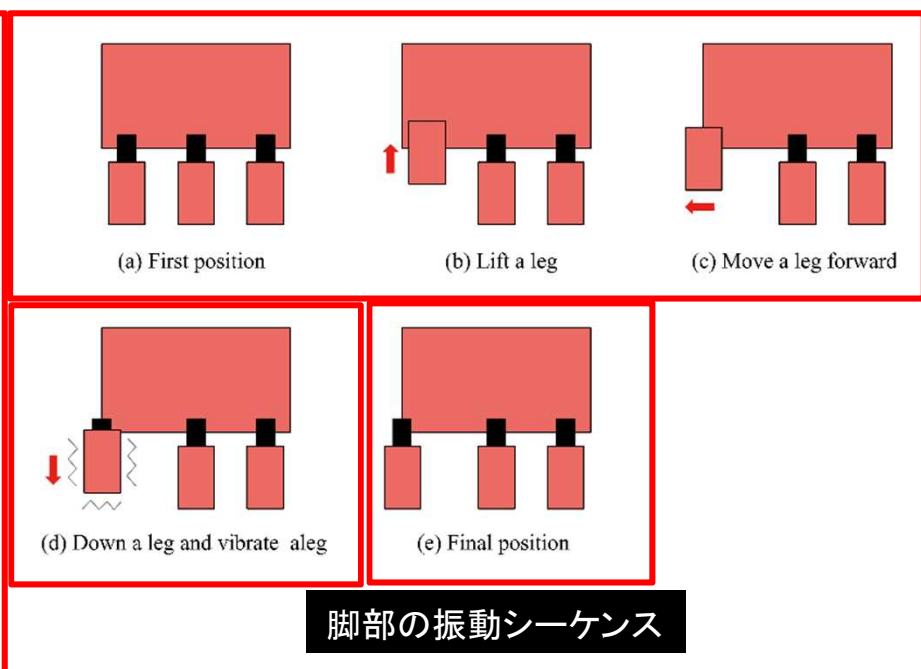
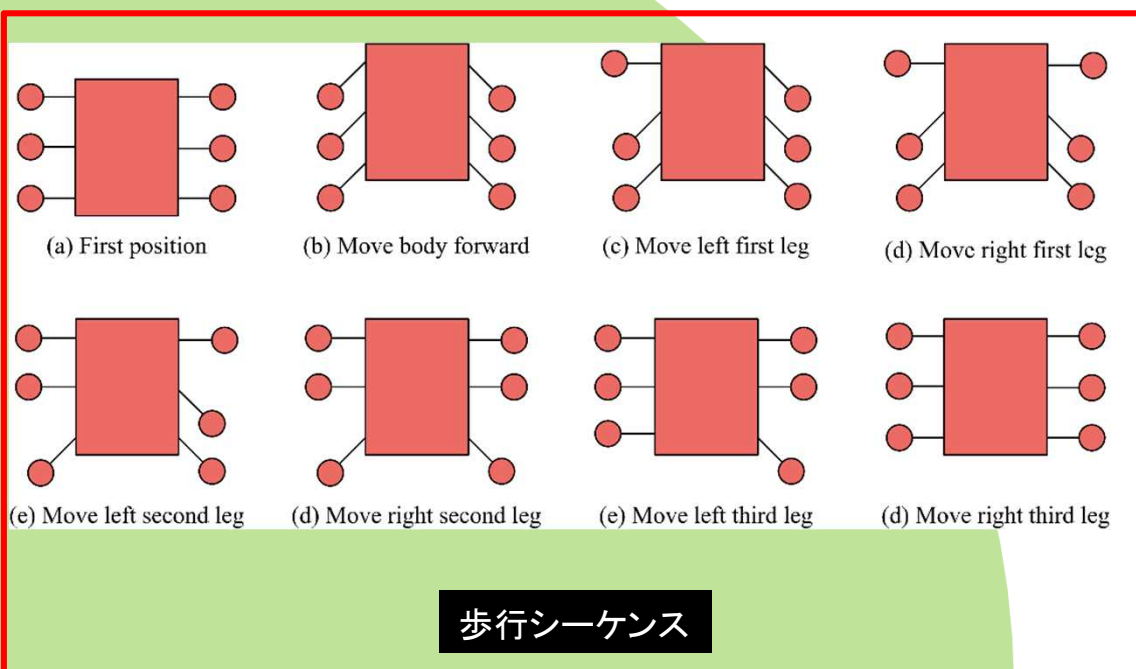
脚ロボットの歩行実験

振動歩行の詳細

- ・ 偏心モータを各脚部に設置
- ・ 歩容はウェーブ歩容を参考に一脚ずつ前に出していく

● 振動を発生させるタイミング

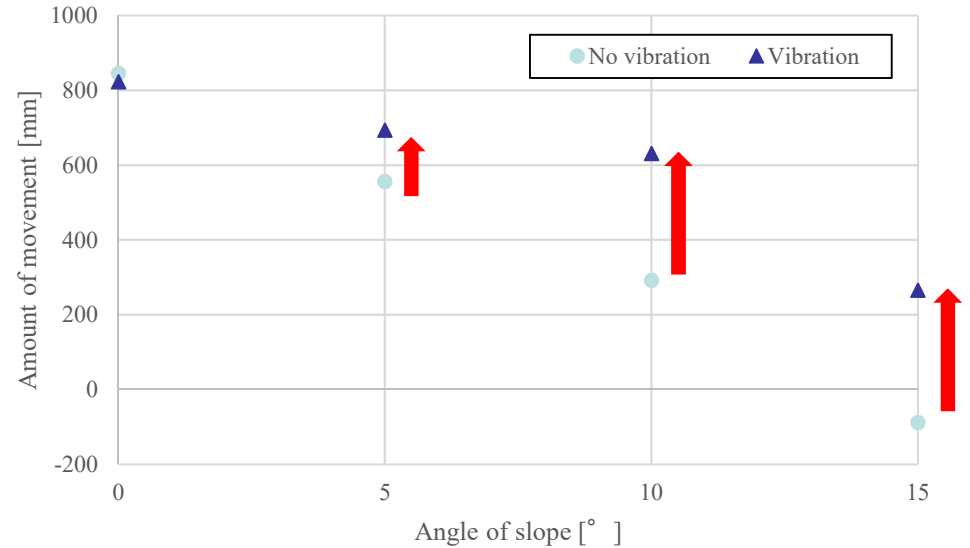
1. 脚を上げて前方に移動させる
2. 脚を下げるタイミングで振動を停止
→ 振動の停止により地盤のせん断強度を高める



脚ロボットの歩行実験

振動歩行の詳細

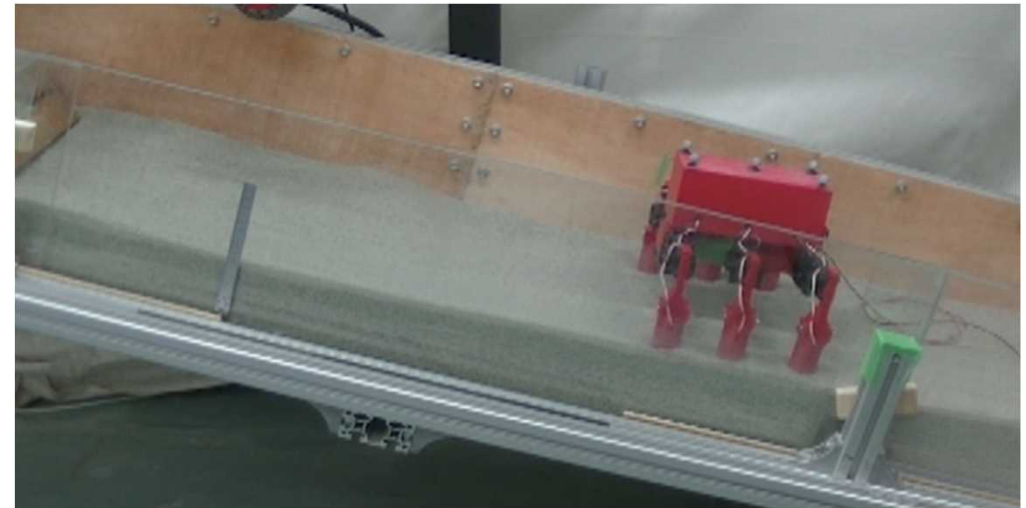
- ・ 振動を与えない場合では斜度が上がるほどに移動量が減少
→ 斜度15度では前方に移動せず、後退
- ・ 振動を与えた場合では移動量が増加
→ 斜度15度においても前進できている



実験結果

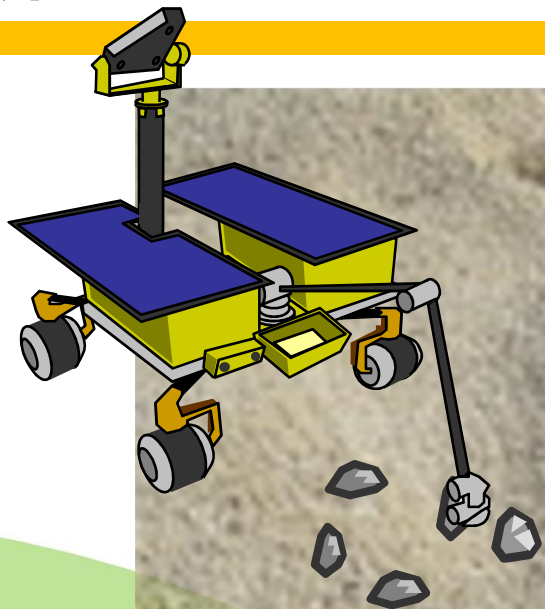


斜度15[deg] - No vibration



斜度15[deg] - Vibration

本技術のまとめ



移動体

- ・脚ロボット
- ・車輪型ロボット

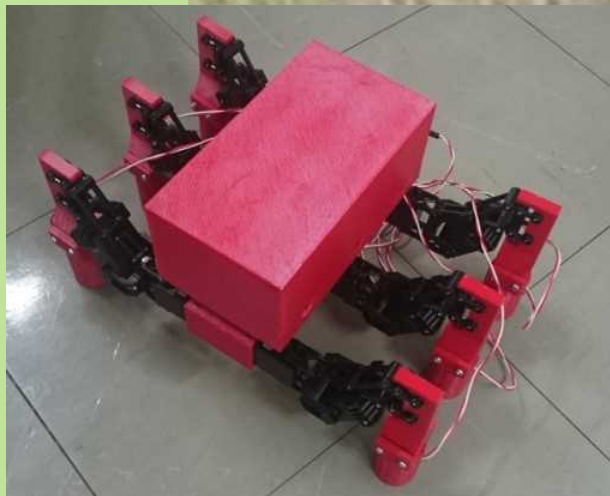
+

振動現象

↓

軟弱地盤において

- ① 柔らかい → 硬くなる
- ② 移動できない → 移動できる
- ③ 反力が小さい → 反力が大きい



移動が難しい軟弱地盤において、滑りをコントロールし、高い移動性能の構築や滑りを考慮した多様な作業構成が可能に！

本技術を用いた応用例

○スリップ制御を用いた 農業ロボット:除草作業

振動させながら, 除草.
→地盤が緩くなるので雑草が
抜けやすくなる



振動停止後, 移動
→地盤が固くなっている
ので滑らない



○スリップ抑制車両

軟弱地盤走行時に振動伝播・
停止機能を使う



○スリップ抑制シューズ

シューズ底部に振動
デバイスを搭載



本技術を用いた応用(その他)

レスキュー活動用ロボットとして

※土砂災害, 津波による泥の流れ込み後の移動を可能とする

農作業用ロボットとして

※水田除草用移動など

雪上移動ロボットとして

※山岳レスキュー車両, 除雪ロボットなど

土壌検査ロボットとして

※地盤特性を測定(危険な地域の地盤測定などに利用)

次世代の月惑星探査ロボット・作業移動車両として

※次世代の探査ロボットとして
→無人車両の問題点であるスタック時の対応機能として.

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 移動体
- 出願番号 : 特願2018-213005
- 出願人 : 学校法人 芝浦工業大学
- 発明者 : 飯塚浩二郎, 渡邊智洋, 関麻実

お問い合わせ先

芝浦工業大学

研究推進室 研究企画課

産学官連携コーディネータ

杉野 博之

TEL 03-5859-7180

FAX 03-5859-7181

e-mail sugino.hiroyuki@ow.shibaura-it.ac.jp

ご静聴ありがとうございました。

何かご質問等ありましたらご連絡いただけました幸いです。

芝浦工業大学システム理工学部

機械制御システム学科

飯塚研究室：

<http://cozydora.wixsite.com/iizuka-lab>

飯塚浩二郎:iizuka@shibaura-it.ac.jp