

土砂災害対応UGVの泥濘地でのスタック回避を 目的とした泥濘地シミュレータモデル

MUDDY GROUND SIMULATOR MODEL AIMED AT AVOIDING WHEEL- STACKS OF UGV FOR SEDIMENT-RELATED DISASTER

徳田 献一¹・細川 皓平²
Kenichi TOKUDA, Kohei HOSOKAWA

¹システム工学部講師, ²システム工学研究科博士前期課程

土砂災害の発生位置や規模をいち早く調査をするためのUGV (unmanned ground vehicle) の開発において, 泥濘に覆われた路面において車輪の空転を原因とするスタックを回避することは重要な課題である. そのため, われわれは泥濘上における車輪の空転のメカニズムを解明し, 泥濘内部状態を推定することによるスタック回避を目的とする泥濘地シミュレータの開発を行っている. そして, UGVに搭載したネットワークに接続されない小型計算機上で実行可能な簡易な泥濘地シミュレータ開発のためのモデルを提案し, シミュレーションおよび実験によってその実用性を検討した. 本報告では, 泥濘地シミュレータの構成および実験結果について考察を述べる.

キーワード: レスキューロボット, 土砂災害, 小型UGV, 泥濘地シミュレータ

1. はじめに

土砂災害において災害発生現場の位置や規模を正確に知ることは難しい. 我々は, 災害対応ロボット技術の応用として, 土砂災害対応UGV (unmanned ground vehicle) の開発を行っている.

土砂災害対応UGVの運用にあたって, 泥濘で覆われた路面の上を走行する際にUGVの車輪が泥濘によって空転することにより車輪下の泥濘がかきだされ, 車両の重量により車輪が沈み込み走行不能になるスタックという現象が問題となっている. しかし, 泥濘地における車輪の挙動は複雑であり, 空転が発生するメカニズムや条件は明らかになっていない. このメカニズムや条件を解明するために, 泥濘地と車輪の間の関係を物理モデルによって表現しシミュレーションにより解明する泥濘地シミュレータの開発が行われている. たとえば, このメカニズムを解明するために, 涌井らはタイヤと軟弱地盤系の三次元モデリングによる行い動解析を行っている¹⁾. この泥濘地シミュレータが開発されれば, 泥濘地において運用されるUGVに搭載された車輪や泥濘のセンシ

ングデータより泥濘内部の状況を推定しスタック発生を回避することが可能になると期待されている.

本稿では, スタック発生回避を目的とした泥濘地シミュレータのための物理モデルの提案を行い, 実験およびシミュレーションの結果について報告する.



図-1 土砂災害対応UGV

2. 泥濘地シミュレータ

(1) システム構成

泥濘地シミュレータをUGV実機において運用するためのシステム構成のコンセプトを図-2に示す。この図において、UGV実機に与える動作指令とUGV挙動の結果から走行している泥濘地を推定する。泥濘地推定には、UGV挙動と同様の結果を生むためのUGVへの動作指令とは別に泥濘地モデルを構成するパラメータを同定し用いる。

(2) 泥濘地シミュレータモデル

本研究で構成する泥濘地シミュレータの目的は泥濘地内部の詳細な状況を再現することではなく、UGVの車輪が空転し動的に沈み込むことによるスタックを表現し、スタックを回避するためにこのシミュレータを実機で運用するようにすることである。そのため、シミュレータに組み込むモデルは計算コストの小さなものが求められる。

泥濘地におけるスタックはUGVの車輪が水と粒子が混ざった地面を変形させることで発生するため、様々な要素が原因となるため複雑になる。そこで、モデルを簡略化するために、静的沈下、動的沈下およびスリップの3つの要素に限定してモデルを構築した。静的沈下は車両の質量によって発生する沈下であり、動的沈下は車輪の回転によって粒子が後方にかき出されることで発生する沈下である。また、スリップは地面と車輪の間の摩擦が小さくなることによって発生する。また、計算コストを下げるために、モデルを構成する要素は少ないほうが望ましい。そこで、我々は車輪の回転による粒子の移動を1つの円盤の回転によって表現することを提案した。そして、この円盤モデルと従来研究で用いられたフォークトモデルを組み合わせることによって、計算コストの低い軟弱地盤モデルとする。そして、実環境の軟弱地盤の含水率の変化に応じて、モデルのパラメータを変更する。

図-3が提案モデルの概略図である。モデル上層部が円盤モデルであり、その上を走行する車両モデルの車輪の回転による推進力が円盤を回転させる力となることでスリップを表現する。また、そのときの円盤の回転角度に応じて円盤モデルを下降させることで動的沈下を表現する。また、下層部はフォークトモデルであり、バネダンパモデルの1つである。車両の質量によって変形することで静的沈下を表現している。物理シミュレータ上では、このモデルを複数並べることによって軟弱地盤を表現する。図中では、物理シミュレータの1つであるGazebo上で提案モデルを表現している。

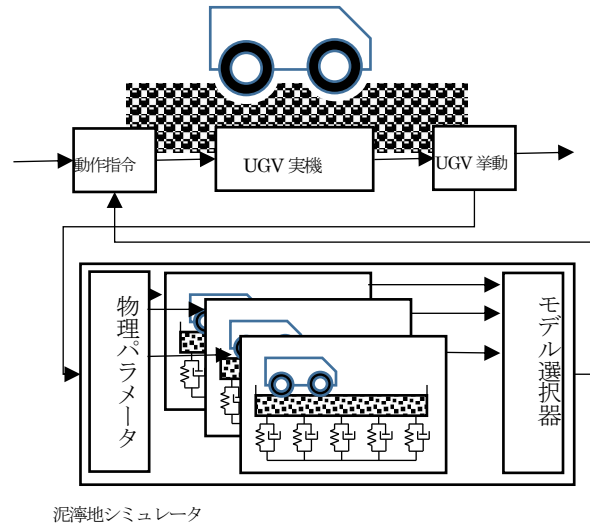


図-2 泥濘地シミュレータ構成のコンセプト

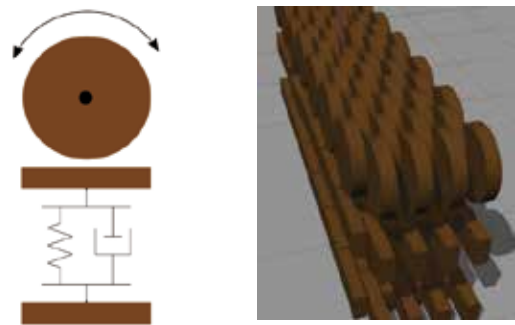


図-3 提案モデルとGazebo上に実装した例



図-4 UGV挙動計測システムと物理パラメータ取得環境

(3) モデルのためのパラメータ取得手法

この提案モデルで泥濘地シミュレータを構成するために実験室内に泥濘地環境を構築し、物理パラメータの取得を行う。図-4に構築した物理パラメータ取得のためのUGV挙動計測システムと物理パラメータ取得環境を示す。

(4) 泥濘地シミュレータモデルの評価

この泥濘地シミュレータモデルの評価を行うために、含水率25%の泥濘地を作り、UGV車両の移動距離とスタックの発生する場合、スタックが発生しない場合の実験パラメータの取得を行った。この取得のために、UGVの車輪にマーカーをつけUSBカメラにより動的沈下の様子を記録し、画像処理により沈下量と移動距離の

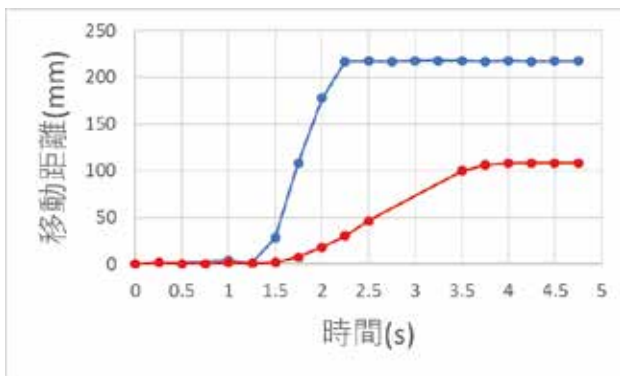


図-5 UGV挙動計測システムと物理パラメータ取得環境

関係を求めた。スタックした場合とスタックしなかったUGVの走行についての結果を図-5に示す。

(5) 空転によらないスタック

このパラメータ取得のための計測を通して、車輪が空転し泥濘をかきだすことによる沈下を原因とするスタック以外に、泥濘の粘性抵抗が増し車輪のトルク不足のためUGVが停止してしまう別の種類のスタックが発生することがわかった。

これは泥濘の粘性抵抗が大きくなることに加え、静的沈下が発生する状況で発生することが観察の結果わかった。

3. 考察

泥濘地シミュレータのためのモデルの物理パラメータ取得のための実験を通して、車輪の空転によるスタックは含水率が大きい場合に発生しやすいとわかった。その一方で、スリップ率および動的沈下量を得るための物理パラメータの追求には実験が不足していることがわかった。

また、静的沈下が発生する状況下で泥濘の粘性抵抗が大きくなることについては、提案モデルとは異なる別のシミュレーションのためのモデルを構築する必要があると考えられる。

4. おわりに

我々が提案するシミュレータモデルは、土砂災害対応UGVが泥濘地においてスタックする条件をシミュレータにより再現し、再現された物理パラメータの中からUGV実機環境に近いモデルを探しだし、探し出したモデルによりスタックの発生を事前に推定するためのものである。

本稿では、提案したシミュレータモデルを用いて泥濘地の物理シミュレータのパラメータを導出するための泥濘地環境と実験結果を報告し、泥濘地シミュレータの開発状況について報告した。

提案したシミュレーションモデルを用いた泥濘地シミュレータは、車輪の空転による動的沈下を原因とするスタックについて表現できる可能性があることがわかった。その一方、泥濘の粘性抵抗が大きくなり発生する静的沈下を原因とするスタックについては表現でいないことがわかった。

今後は、本提案モデルにもとづく泥濘地シミュレータを実機に搭載し、実機において動的沈下を原因とするスタックを予測するシステム実現を目指す計画である。

謝辞：本研究の一部は平成29年度の高橋産業経済財団「土砂災害対応自律探索小型ロボットの実用化に向けた研究」への助成を得て実施したものである。記してここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 涌井太, 曄道佳明「タイヤと軟弱地盤系の三次元モデリングと動解析」, 日本機械学会論文集 C編, Vol.77, No.781, pp. 3264-3277, 2011.
- 2) Wakayama, D. C.: Debris flow disasters due to Typhoon No.12 in 2011, *Memories of the Center for Research and Education of Disaster Reduction, Wakayama University*, Vol. 1, pp.7-15, 2014.

(2018. 12. 14受付)