

プログラム名：タフ・ロボティクス・チャレンジ

PM名：田所 諭

プロジェクト名：フィールド評価試験・安全・シミュレーション

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平 成 28 年 度

研究開発課題名：機械と土壌の相互力学における

マクロ・マイクロモデルを実装した掘削シミュレータの開発

研究開発機関名：慶應義塾大学

研究開発責任者

石上 玄也

I 当該年度における計画と成果

1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

本研究課題では、建設ロボットを対象プラットフォームとし、マクロ・マイクロモデルに基づいた土壌掘削モデルの構築を行うことを目的としている。さらに、同掘削モデルおよび走行システムの接触モデルをロボットシミュレータに実装することによって、土壌掘削変形を考慮した、より高精度なロボットシミュレータを提供することを目指している。本研究は、共同研究機関である横浜国立大学グループとともに、研究を推進しているが、本報告書では、主に慶應大グループにおける当該年度（平成28年度）の開発目標および計画について、下記にまとめる。

<課題 A 群>

課題 A2：掘削時の力学データ，土壌変形・崩壊過程の様相の取得（第1四半期）

課題 A3：土壌掘削モデルの定式化（マクロアプローチに基づくモデル化）（第2四半期）

課題 A4/A5：同モデル計算結果とバケット掘削実験との比較，精度評価（第3四半期）

<課題 B 群>

課題 B2/B3：建設ロボットシミュレータへの土壌掘削モデルの実装（第2～4四半期）

<課題 C 群>

課題 C1/C2：既存のクローラ接触力学モデルのシミュレータへの導入（第2～4四半期）

2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

2-1 進捗状況

当該年度の研究開発計画と照合すると、概ね順調に進捗しているといえる。課題 A に関しては、平成28年度第1～第2四半期にかけて、掘削モデルを構築するうえで必要となる土壌基礎データの取得(A2)、モデルの定式化に取り組み (A3)、第3四半期において本研究課題における目標値としていた土壌掘削モデル（マクロモデル）の精度15%を達成した (A4/A5)。さらに第4四半期にはモデルの改善をおこなうことによって、精度10%をも達成している。課題 B および C においては、平成28年度前半では、建設ロボットシミュレータの開発環境の整備をおこない、掘削モデルの実装に着手している (B2) が、A3 において構築したモデルによる挙動確認には至っていない (B3 未達成)。一方、同年度第3四半期においてクローラ走行力学モデルの実装およびシミュレーションを達成した (C1/C2)。

2-2 成果

課題 A において、Resistive Force Theory と呼ばれる機械・土壌の構成則理論をもとに、バケット形状への同理論の拡張をおこなった。特に掘削時にバケット先端に発生する土壌の盛り上がりを考慮したモデル化をおこなった。図1は、回転掘削時の実験の様子ならびに同条件下での提案モデルによるシミュレーション結果を示している。さらに、図2は回転掘削および水平掘削時の力学データと提案モデルによる計算結果を示している。同図より、提案モデルが高精度で掘削力計算を達成していることがわかる。

課題 B では、建設ロボットシミュレータにおけるバケット（手先）と地面との接触点情報から接触力を計算するユーザサブルーチンの開発を実施したものの、シミュレータとのプログラム間のインターフェースに不整合があったため、継続課題とした。課題 C においては図3に示すように、クローラ力学

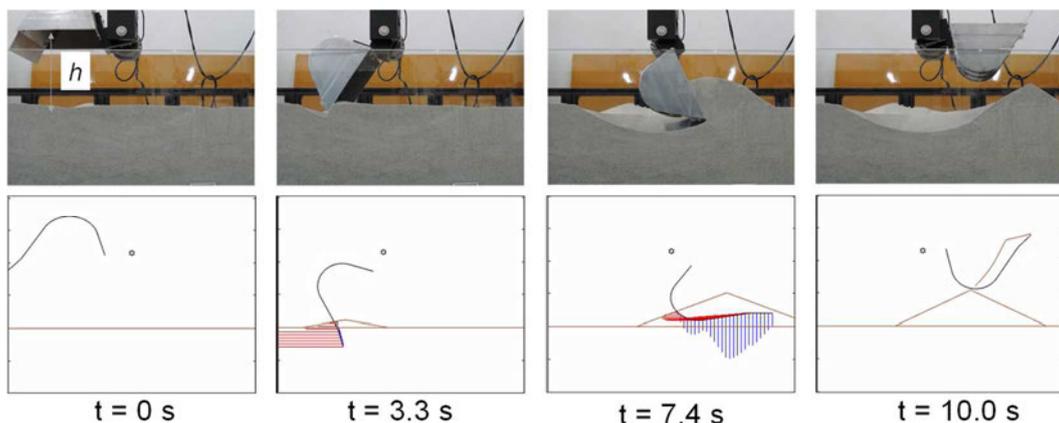
モデルを同シミュレータに実装することによって、多様な地盤パラメータに対しても、建設ロボットの軟弱地盤への沈み込みを模擬することができている。

2-3 新たな課題など

提案モデルは、建設ロボットの掘削・走行シミュレーションに以外も「タフ・ロボティクス・チャレンジ」における他プラットフォームのシミュレーション解析（例：飛行ロボット着地時、脚ロボットの不整地移動時）にも可能であることが判明し応用展開が望まれる。また、上述の通り、B3が継続課題となっている。本プログラム内でのシミュレータグループ（産総研，大阪大）との連携をより強めるとともに、慶應大グループにおいては、インハウスで扱っている動力学シミュレータへの実装も視野に入れ、ユーザサブルーチン化を目指していく。加えて、次年度以降の研究延長に伴い、各研究課題の見直し、サクセスレベルの再設定をおこなっていく。

3. アウトリーチ活動報告

特になし。



(上：実機，下：マクロモデルによる解析結果)

図1：土壌掘削時の並進・垂直反力の計測実験と提案モデルによるシミュレーション

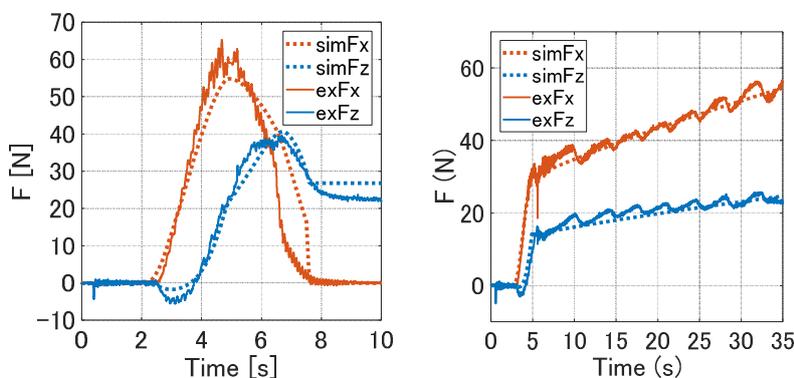


図2：提案モデルによる掘削力計算結果

点線：計算結果，実線：実験結果，左図：回転掘削，右図：水平掘削

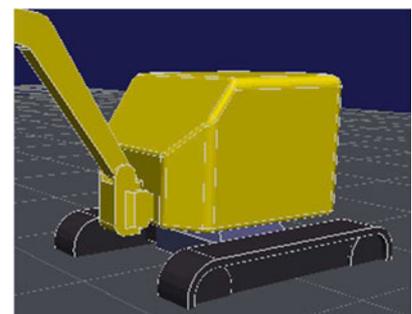


図3：クローラモデルのシミュレータへの実装（沈み込みを再現）