

がれき撤去レスキューロボットのマニピュレータ運動が抗力に与える動的干渉
 Dynamic Interaction between Manipulators and Reactions of Rubble Withdrawal Rescue Robots

○鶴見洋平¹, 羽多野正俊²

*Youhei Tsurumi¹, Masatoshi Hatano²

Abstract: In a disaster area, there are many cases that rescue robots work on stacked rubbles. While working on the rubbles, depending on the movement of the robot, there is a risk that the rubble, such as scaffold, will collapse. Therefore, the purpose of this research, we proposed motion control methods of redundant mounted manipulator to keep the reaction at desired values.

1. 緒言

災害現場ではがれき撤去ロボットががれきを撤去する際に、固い路面上でがれきを撤去できるとは限らない。凹凸路面や、Fig. 1 のようにがれきの上に乗って、撤去する場合もある。がれきの上に乗って作業する場合、ロボットの動きによっては、足場であるがれきが崩れる恐れがある。

そこで、本報告では、がれき撤去ロボットの車載マニピュレータの運動の変化と足場への作用力である抗力の動的干渉について、シミュレーションにより考察した結果を述べる。

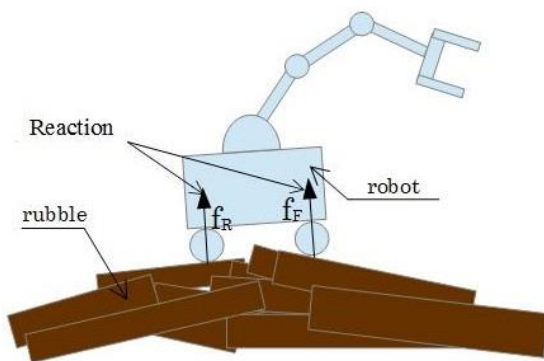


Fig. 1 A rescue robots on rubbles

2. シミュレーションモデル

著者らは、凹凸路面を走行する移動マニピュレータについて、路面形状がハンドに与える動的影響と制御手法の研究を行ってきた[1]。このモデルを基にして Fig. 2 に示すようなモデルを考える。がれき撤去ロボットは2次元垂直平面内を運動するモデルを考える。図中の $\Sigma_i (i = 0, \dots, n)$ は第*i*リンクに取り付けられたリンク座標系である。走行台車をリンク0と呼ぶ。*x*及び*z*絶対座標系 Σ_w の原点から w_x 軸及び w_z 軸方向のリンク0座標系 Σ_0 の原点位置、 α はリンク0のピッチ角、 l_i はリ

ンク*i*の長さ、 l_{g_i} はリンク*i*の Σ_i から重心までの長さ、 m_i はリンク*i*の質量、 I_i はリンク*i*の重心回りの慣性モーメント、 θ_i は車載マニピュレータの関節*i*の回転角、 $f(x)$ はレール形状を表す。定式化した運動方程式を(1)式に示す。

$$\begin{aligned} \mathbf{M}\ddot{\mathbf{p}} + \mathbf{h} + \mathbf{g} &= \boldsymbol{\tau}_M + \mathbf{U}_t \mathbf{f}_t + \mathbf{U}_n \mathbf{U}_m \boldsymbol{\gamma} \\ \boldsymbol{\gamma} = [f_F, f_R]^T &= \mathbf{R}^{-1} \left[-\frac{\partial}{\partial \mathbf{p}} \left(\frac{\partial \mathcal{C}}{\partial \mathbf{p}} \dot{\mathbf{p}} \right) \right. \\ &\quad \left. + \frac{\partial \mathcal{C}}{\partial \mathbf{p}} \mathbf{M}^{-1} \{ \mathbf{h} + \mathbf{g} + \boldsymbol{\tau}_M - \mathbf{U}_t \mathbf{f}_t \} \right] \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{R} = (\partial \mathcal{C} / \partial \mathbf{p}) \mathbf{M}^{-1} \mathbf{U}_n$ 、 f_n 及び τ_α はそれぞれ拘束力及び拘束トルク、 τ_M は車載マニピュレータへの入力トルク、 \mathcal{C} は拘束条件、 \mathbf{M} 、 \mathbf{h} 、 \mathbf{g} はそれぞれ慣性行列、遠心・コリオリカベクトル、重力ベクトル、 $\mathbf{p} = [x, z, \alpha, \boldsymbol{\theta}]^T$ は一般化座標ベクトル、 $\boldsymbol{\theta} = [\theta_1 \dots \theta_n]^T$ である。 f_t は任意の走行駆動力である。

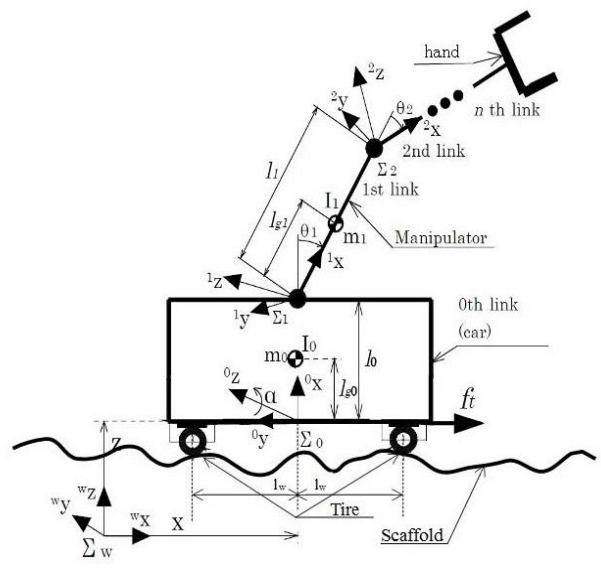


Fig. 2 Simulation model

1 : 日大理工・大学院・精機、2 : 日大理工・教員・精機

3. シミュレーション

3.1 シミュレーション条件

シミュレーションでは、3リンクの車載マニピュレータを持つがれき撤去ロボットとし、各物理パラメータは、 $m_0 = 100[\text{kg}]$, $m_1 = 10[\text{kg}]$, $m_2 = 10[\text{kg}]$, $m_3 = 10[\text{kg}]$, $l_0 = 0.5[\text{m}]$, $l_1 = 0.5[\text{m}]$, $l_2 = 0.5[\text{m}]$, $l_3 = 0.5[\text{m}]$, $l_{g0} = 0.25[\text{m}]$, $l_{g1} = 0.25[\text{m}]$, $l_{g2} = 0.25[\text{m}]$, $l_{g3} = 0.25[\text{m}]$, $l_\omega = 0.5[\text{m}]$, と設定した。車載マニピュレータへの入力トルク τ_1 , τ_2 , τ_3 をそれぞれ次式のPD制御により算出し与えた。

$$\tau_i = k_{pi}(\theta_{id} - \theta_i) - k_{di}(\dot{\theta}_{id} - \dot{\theta}_i) \quad (2)$$

また、比例ゲイン k_{pi} ・微分ゲイン k_{di} は、誤差に対し過敏にならないように設定した。

がれき撤去ロボットの車載マニピュレータの運動が足場に与える影響は、車載マニピュレータの運動や足場の形状の変化に依存する。

本報告では、足場の形状を水平とし、リンクの運動については $T = 30[\text{s}]$ とした場合、リンク 1, 2, およびリンク 3 の目標角度 θ_{id} ($i = 1, 2, 3$)を、

$$[\theta_{1d} \ \theta_{2d} \ \theta_{3d}] = [-\pi/2 + \sin(2\pi t/T), \ 0, \ 0] \quad (3)$$

$$[\theta_{1d} \ \theta_{2d} \ \theta_{3d}] = [-\pi/2, \ \sin(2\pi t/T), \ 0] \quad (4)$$

$$[\theta_{1d} \ \theta_{2d} \ \theta_{3d}] = [-\pi/2, \ 0, \ \sin(2\pi t/T)] \quad (5)$$

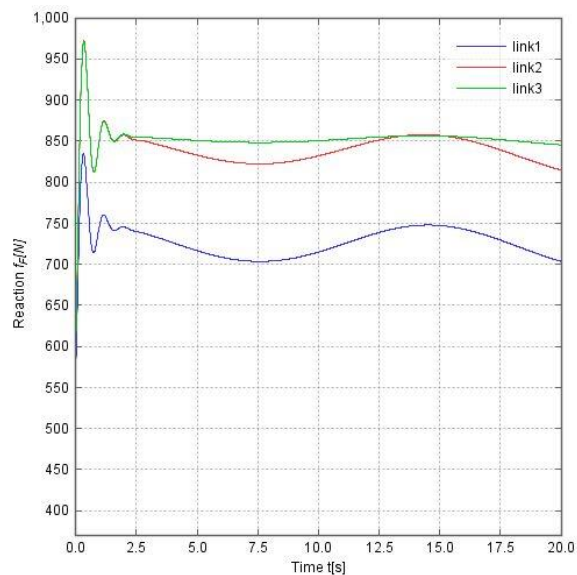
の3つの運動についてそれぞれ結果を示す。

3.2 シミュレーション結果

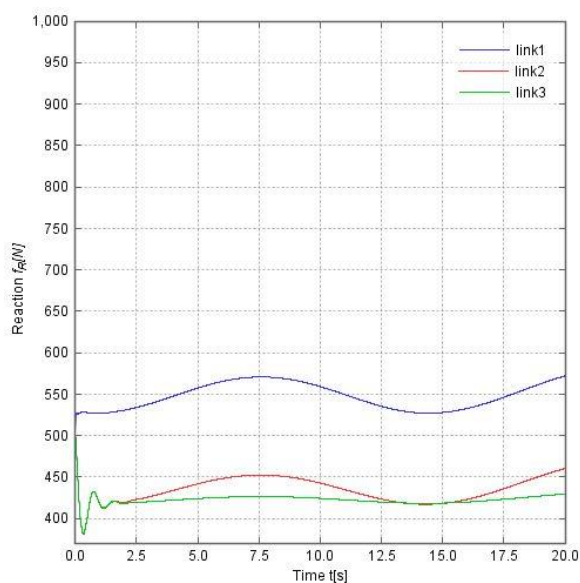
シミュレーション結果について、抗力の時間応答を Fig. 3(a)(b)に示す。(a)図は抗力 f_F の時間応答、(b)図は抗力 f_R の時間応答を表す。

ここで、抗力 f_F , f_R はロボットががれきから受ける抗力を表している。これはロボットが足場に与える作用力に対する反作用力であるが、がれき撤去ロボットが足場から見ると凹ませる力は正である方が自然であるため、本報告では f_F , f_R として評価している。Fig. 3(a)(b)のlink1は(3)式、link2は(4)式、link3は(5)式の運動に対する抗力を表している。

Fig. 3(a)(b)において、車載マニピュレータの運動の周期に合わせて抗力も変化していることが分かる。車載マニピュレータが足場から離れる方向に運動すると抗力 f_F が大きくなる。また、車載マニピュレータが足場に向かう方向に運動すると抗力 f_R が大きくなる。ことが分かる。



(a) Reaction f_F



(b) Reaction f_R

Fig. 3 Relationship between link motions and reactions

4. 結言

本報告は、垂直2次元平面内を運動するがれき撤去ロボットについて、シミュレーションにより車載マニピュレータの運動に変化を与え、がれき撤去が足場に与える動的干渉の変化について定量的に示した。今後は、冗長自由度を利用して、抗力を任意で変更することのできる手法について研究を進める予定である。

5. 参考文献

- [1] 羽多野正俊, 大住剛, 小原治樹, 見浪護: 移動マニピュレータの凹凸路面走行時における外乱の影響, 日本ロボット学会誌, vol.20, No.8, pp-883-892