

そりを用いた段差乗り越え機構の力学的解析

Mechanical Analysis of A Mechanism Using A Sled for Riding over Steps

○ 角田郁弥（中央大） 大隅久（中央大） 小野学（テクニカルトート東京）

Fumiya TSUNODA, Chuo University  
Hisashi OSUMI, Chuo University  
Manabu ONO, Technical Tohto Tokyo

**Abstract:** In aging society, there is a growing importance of a walker helping an aged person walk. However, it is hard for a wheeled walker to ascend a step on the ground. We proposed a new wheeled walker structure by using a sled-like shape mechanism for riding over a step. Based on the analysis of the impulsive force at the moment of collision and the behavior of the walker just after the collision, we designed the mechanical parameters to reduce the impulsive force and to make the ascending of a step easier. As the results of some fundamental experiments, it was revealed that the friction between the sled and the step affects the step ascending performance of the walker. Therefore, the effects of the friction on the ascending performance of the walker are studied.

**Key Words:** walker for an aged person, walking support device

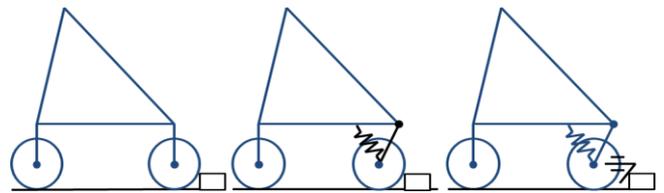
1. 緒言

シルバーカーとは足腰の衰えた高齢者が使用する歩行補助具のことで、近年の高齢社会で需要が増加している。しかし、使用者の増加によりシルバーカーによる事故も増加している<sup>(1)</sup>。事故原因には、転倒や段差とのつまずきが多い。そこで先行研究<sup>(2)</sup>では段差衝突時の撃力が少なく、かつ乗り越えに必要な力が少なくて済むシルバーカーの新機構の提案を行った。そこで提案された機構のモデルを Fig.1(b) に示す。（一般的な機構を Fig.1(a) に示す。）提案機構は前輪部付近にバネと回転するリンクを持つ。これにより段差衝突時の衝撃をバネが吸収し撃力は減少した。しかし乗り越えられる段差高さは 1 cm に留まり、これより高い段差ではバネが縮み車体が前のめりに沈み込んでしまった。そこでこの沈み込みを解消するためのそり機構を付加し、乗り越え性能の向上する機構を開発した。実機での実験から、乗り越え性能はそりと段差との摩擦の影響を大きく受けることが分かった。本稿では実機の開発、摩擦との関係性について解析する。横断歩道と歩道との段差は標準 2 cm であることから乗り越える段差高さの目標は 3 cm とする。

2. 提案する改良機構の概要・設計方針

改良機構のモデルを Fig.1(c) に示す。先行機構 (b) にスライドするそり形状の機構が追加されている。そりと段差がぶつかるとその接触点が垂直荷重の支点となるため、沈み込みの原因となるモーメントの発生を防ぐことができると同時に、そりが段差を滑ることで、乗り上げも容易になる。乗り越え時の様子を Fig.2 に示す。まず、そりが段差に衝突する(a)。次にそりによる段差の上昇(b)、最後にそりが支えとなり前輪で乗り越える(c)。そりは車体に装着されたレール上を滑る構造となっており、そりの段差との接触面の水平に対する角度  $\theta$  が、手元への撃力や乗り越えに大きな影響を与える。そこで、そりの角度  $\theta$  について、この値を

撃力の評価と段差上昇のシミュレーションにより決定した。



(a) Standard mech. (b) Previous mech. (c) Proposed mech.  
Fig.1 Model of a walker for an aged person

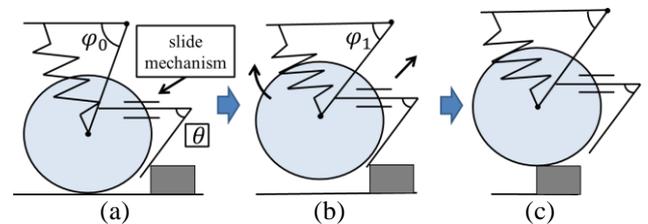


Fig.2 Model of improved mechanism for riding over a step

3. 理論式の導出

3.1 撃力の導出

本研究では撃力を段差衝突直後 Fig.2(a) に瞬間的に発生する大きな力積と定義し、手元に働く撃力を評価の対象とする。前提条件は、そりや車輪は段差や地面から離れないこと、衝突時間は無限小のためバネの力は発生しないとする。

衝突点回りの角運動量保存則と幾何拘束より、手元の水平、鉛直方向の速度を求め、衝突前後の手元部の運動量の変化を求める。これを手元に働く撃力とする。

3.2 段差上昇の運動方程式の導出

次にそりによる段差上昇 Fig.2(b) の挙動を段差衝突直後からそりが段差を登り上がるまでの運動方程式としてそりとリンクについて導出する。また、速度の初期値には 3.1 節で求めた衝突直後の速度を代入することで連続の運動であることを再現した。

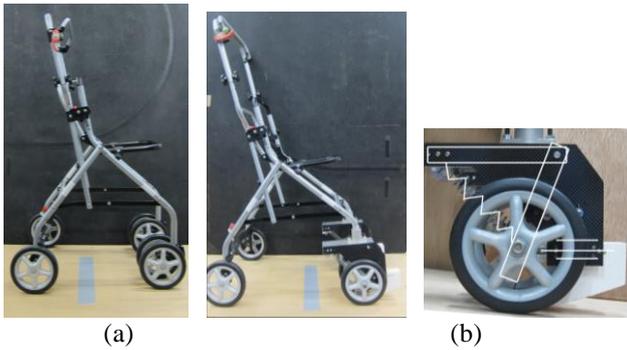


Fig.3 A walker mechanism and modified mechanism

4. 実験機の作成

市販のシルバーカー Fig.3(a)の前輪部を改造することにより Fig.3(b)の実験機を試作した. そのスライド部にはリニアガイドを採用した. そりの角度  $\theta$  はシミュレーション結果を参考に 20 deg とした.

5. 摩擦の考慮したシミュレーション

実験機での実験より, 理論値と実測値との比較に誤差がみられたためモデル化の再考を行う. また, 乗り越えに関して摩擦の影響が大きいことが分かったため, 実環境で使用することを考えると摩擦との関係性についてシミュレーションを行う.

そりとリンクのモデルを Fig.4 に示す. また, 各変数は次のように表される.  $\dot{x}$ : そりの並進運動,  $m_{1,2,3}$ : 質量,  $T_{1,2}$ : シルバーカーを押すことにより発生する内力,  $u$ : 摩擦係数,  $I$ : 慣性モーメント,  $\varphi_1$ : リンクの回転運動,  $\theta$ : そりの角度,  $k$ : バネ定数,  $a$ : 重心までの距離,  $l$ : リンクの長さ,  $b$ : 支持点からそりの接触点までの距離

段差上昇時のそりとリンクの運動方程式を式(1)に示す. ここで, シルバーカーを押す力や速度は文献(3)を参考にし決めた.

$$m_1 \dot{x} = -T_1 \sin\theta - T_1 u \cos\theta + T_2 \sin\varphi_1 \quad (1)$$

$$I \Delta\ddot{\varphi}_1 = T_2 b - k l \Delta\varphi_1 - (m_2 a + m_3 l) g$$

5.1 実測値とシミュレーションの比較

実験により得られた初期値からシミュレーションの検証を行う. 衝突後からの乗り越え完了までの速度変化のシミュレーションを Fig.5 に示す. 図より乗り越えに要する時間や最終速度を再現することができた. しかし, 0.008 s 近辺の速度変化の振幅が再現できていない. これは摩擦係数が衝突直後近辺では係数が一定ではなく増大している可能性がある. また, 今回のシミュレーションでは実験環境でそりと平面での静止摩擦係数を求めて使用したが, 段差との摩擦はこれより大きいことが考えられる.

5.2 乗り越え時の摩擦の影響

摩擦係数を変化させて乗り越え時の影響を考える. 段差高さ 3 cm のシミュレーション結果を Fig.6 に示す. また, 機構の設計上そりと地面の間を 1 cm 程度あける. そのた

め, 今回の成功条件としては, 上昇距離が 2 cm まで達成することができれば乗り越え成功となる. Fig.6 より摩擦係数が 0.5 まで成功することが分かった.

また, 学校内のコンクリートにおいてそりと摩擦を測定した結果, 静止摩擦係数は 0.31 だった. よって本機構は実環境においても対応できると考える.

6. 結言

シルバーカーのための段差乗り越え機構を開発し, 実験を行った. 摩擦の考慮したシミュレーションより摩擦係数が 0.5 まで対応できることが分かった. また, 学校内の路面との摩擦係数と比較して, 本機構は実環境に対応できるといえる. 今後の課題として, 実測値と理論値の比較の際の誤差の原因を解明する.

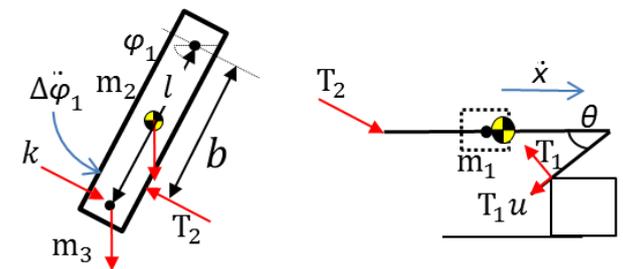


Fig.4 Dynamic model of improved walker mechanism

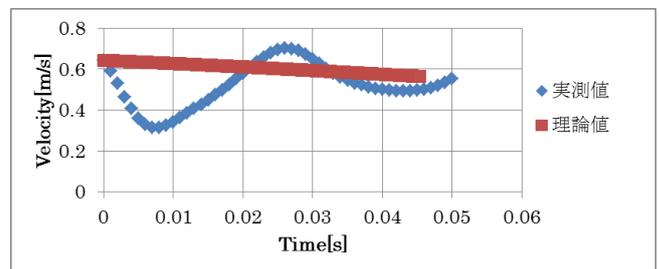


Fig.5 Horizontal velocity of measured and theoretical values

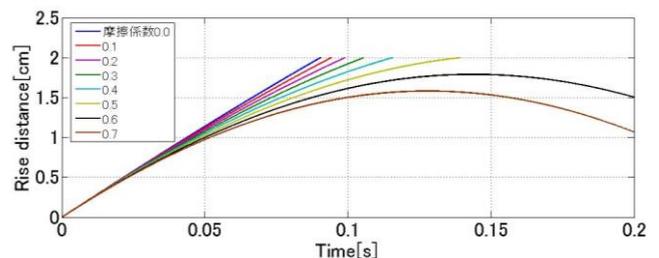


Fig.6 Rise distance of a sled(step height is 30 mm)

参考文献

- (1) 安心院他, “歩行補助車を使用している高齢者の外出状況と交通上の課題”, 国際交通安全学会誌, vol. 35, No. 2, pp. 77-84, 2010.
- (2) 棚田他, “シルバーカーのための衝撃軽減機構の開発”, 第31回ロボット学会学術講演会, 3F3-03, 2013.
- (3) 堀内 邦雄, 青木 和夫, “シルバーカーを押す力の測定”, 人間工学, vol. 39, No. 1, pp. 38-41, 2003.