

月面探査ローバの走行性に関する実験

株式会社加藤組 正会員 下岡幸司
 呉工業高等専門学校 正会員 重松尚久

1.はじめに 近年、月・惑星の探査・開発に関する研究が盛んに行われている。月には研究の対象としての価値のみならず、資源利用の可能性、新たなエネルギー開発の可能性があるからである。しかし、月面はレゴリスと呼ばれる非常に細かい砂で覆われており、それに加えて重力が地球上の 1/6 という厳しい環境にある。そのため、小型のローバが十分な推進力を得て月面を走行することが困難な場合が予想される。本研究では、シミュラント(模擬月面砂)地盤上を両輪駆動式 2 軸 2 輪式車両が走行する際に斜面の傾斜角、車両の前・後輪の速度比を変化させた場合の、車両の走行性を明らかにすることを目的とする。

2.実験方法 月面地盤を模擬するために、試料砂としてシミュラント(模擬月面砂)を使用した。今回使用したシミュラントは FJS-1¹⁾と呼ばれており、粒子密度は 2.90g/cm^3 、粘着力 c は約 8.0kPa 、内部摩擦角 ϕ は 37.2° である。このシミュラントを電動駆動により 40 度まで傾斜させることが可能な $2,000 \times 1,500\text{mm}$ 四方の土槽の中に厚さ約 100mm で敷き詰め、これを供試地盤とした。また、この土槽には耕運装置が組み込まれており、同一の地盤状態が再現できている。地盤の再現性を確認するために、簡易式ベーンせん断試験機を用いた。地盤表面の密度は 1.70g/cm^3 、表面から 25.5mm 差し込んだ地点の密度は 1.79g/cm^3 程度となり、深くなるにしたがって地盤の密度が大きくなっていることが分かる。図-1 にそれぞれの車輪形状を示す。過去の研究²⁾より求めた最適なトレッド高さ - トレッドピッチ比 1.38 をもとにし、トレッド高さ - トレッドピッチを $13\text{mm} - 18\text{mm}$ 、 $21\text{mm} - 29\text{mm}$ 、 $30\text{mm} - 41\text{mm}$ とした 3 種類の車輪を作成した。便宜上、トレッド長さが 13mm の車輪を small、 21mm の車輪を middle、 30mm の車輪を big と定義する。図-2 に実験装置の概略図を示す。車輪の回転速度は、後輪を 1.00cm/s で一定とし、前輪の速度比を 1.15 、 1.10 、 1.05 、 1.00 、 0.95 、 0.90 、 0.85 の、7 種類に変化させた。今回の実験では、地球上での重量が約 $1,200\text{N}$ のローバが、重力が地球の $1/6$ である月面で走行することを仮定し、前・後輪ともに接地圧が線圧 0.5N/mm となるようにした。また、前・後輪が進行方向に対して土から作用する力をモーメントとして測定するために 8 角形リングを使用した。また、前・後輪に作用するトルクをロータリエンコーダにより、車両の水平移動距離をレーザー変位計により、それぞれ測定した。今回の実験では、地盤の傾斜角度を、small・middle の車輪では 0 、 5 、 10° とし、平地・登坂走行を、big の車輪では 0 、 5 、 10 、 15° とし、平地・登坂・下降走行させた。なお、定常走行状態でのデータを有効なデータとして扱った。

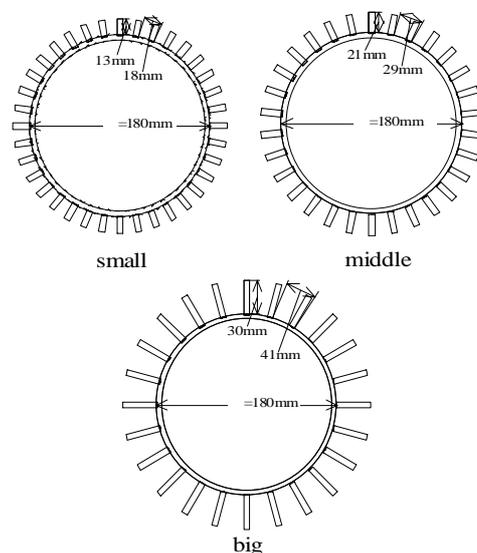


図-1 車輪形状

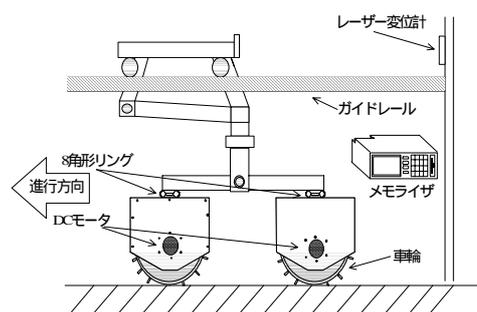


図-2 実験装置の概略図

キーワード:レゴリス、走行性、傾斜角、速度比、地盤の密度、スリップ率

株式会社加藤組 〒728-0013 広島県三次市十日市東一丁目8番13号 tel:0824-63-5117

呉工業高等専門学校環境都市工学科 〒737-8506 広島県呉市阿賀南2-2-11 tel:0823-73-8480

3.実験結果と考察 図-3 に、前輪の速度比 1.05 における、傾斜角と前輪のスリップ率の関係を示す。スリップ率とは、車両が走行するであろう速度に対する、実際に走行したときの速度の比率である。今回の実験では、車輪の回転速度とレーザー変位計により測定した走行距離、経過時間よりスリップ率を算定した。なお、これまでの研究³⁾より、下降走行では車輪別の違いが表れないことが分かっているため、下降走行は big のみの実験を行った。平地走行では車輪形状別の違いは見られないが、登坂走行では、地盤の傾斜が大きくなるにしたがって、small のスリップ率が大きくなっている。これは、small の場合、トレッドが地盤の表面のゆるい部分までしか届かず、十分に地盤を締め固められないためだと考えられる。また、すべての速度比において、速度比 1.05 の場合と同様な結果が見られた。なお、後輪においても前輪と同様な傾向が見られた。図-4 に、big の車輪における、傾斜角と前輪のスリップ率の関係を示す。すべての傾斜角において、前輪の速度比の増加にともなって前輪のスリップ率は増加する。下降走行の際、傾斜角が -10° を越えると、殆どの速度比で車輪が制動状態になる。なお後輪では、速度比の変化にともなうスリップ率の変化が、前輪とは逆の傾向を示した。

図-5 に、前輪の速度比 1.00 における、傾斜角と前輪の有効駆動力の関係を示す。また、図-6 に、前輪の速度比 1.00 における、傾斜角と後輪の有効駆動力の関係を示す。有効駆動力とは、車両が外部仕事をを行うことができる能力のことである。有効駆動力は 8 角形リングにより測定した。なお、過去の研究³⁾より、下降走行では車輪別の違いが表れないことが分かっている。平地走行・登坂走行では、前・後輪ともに、有効駆動力には車輪形状別での違いがあまり見られない。これは、過去の研究²⁾において、接地圧がある程度大きくなるとせん断抵抗にトレッド形状による違いが現れないということが分かっており、そのため、重力が地球の $1/6$ である月面を仮定した本実験では、車輪形状別での違いが明確に現れなかったと考えられる。また、下降走行では、前・後輪ともに傾斜角の変化にともなう有効駆動力の変化は見られない。しかし登坂走行では、地盤の傾斜角が大きくなるにしたがって、前輪では有効駆動力が減少し、後輪では有効駆動力が増加する。なお、前・後輪ともに、すべての速度比において、速度比が 1.00 の場合と同様な傾向が見られた。

4.結論 有効駆動力には車輪別での違いが現れない。しかし、作業速度を併せて考えると、登坂走行の際のスリップ率が小さい big が、今回用いた中では効率の良い車輪形状である。

参考文献 1) 深川良一: 惑星探査・開発における地盤工学の貢献土と基礎, Vol.52, No.1, pp.10-12, 2004. 2) 大知剛: 月面探査ローバに最適なトレッド形状の検討, 平成 17 年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集, pp.179-182, 2005. 3) 下岡幸司, 重松尚久: 月面探査ローバの走行性に関する実験, 平成 17 年度土木学会中国支部研究発表会発表概要集, pp.509-510, 2005.

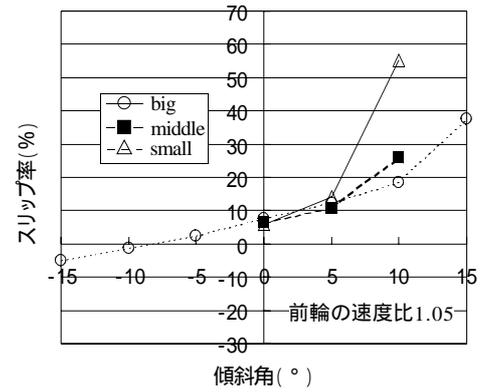


図-3 傾斜角と前輪のスリップ率の関係 (速度比 1.05)

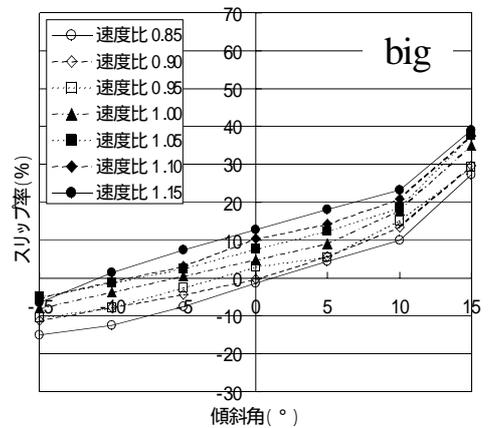


図-4 傾斜角と前輪のスリップ率の関係 (big)

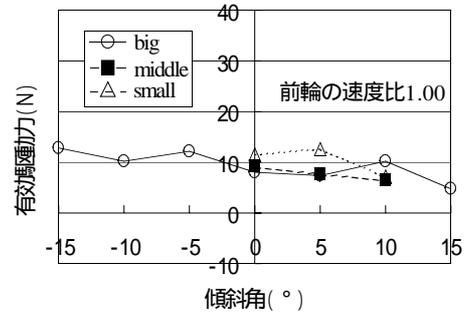


図-5 傾斜角と前輪の有効駆動力の関係

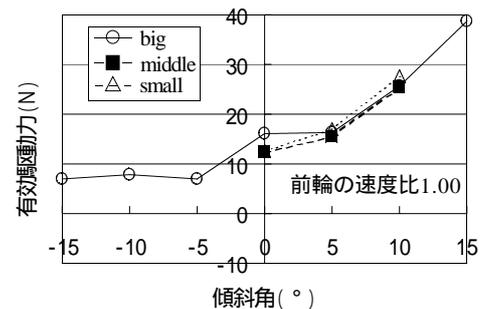


図-6 傾斜角と後輪の有効駆動力の関係