

月面探査ローバの車輪形状の最適化

呉工業高等専門学校専攻科 学生会員 ○大知 剛
 呉工業高等専門学校 正会員 重松 尚久

1. はじめに

現在、我が国の宇宙開発において、月周軌道からの月の観測を目的としたプロジェクトが推進されており、それに次ぐミッションとして無人探査機による月面調査が検討されている。月面は、重力の違いや、レゴリスとよばれる粉塵のような細かい砂で覆われているなど地上とは全く異なる条件を有する環境のため、無人探査機の開発が必要不可欠である。月面地盤などの軟弱地盤での車両の運動特性は、地盤の変形に大きく影響される。従って、車両の運動特性は機械工学的なアプローチだけでなく、機械と地盤との相互作用(テラメカニクス)という観点からの検討が重要である¹⁾。そこで本研究では、シミュラントと呼ばれる模擬月面砂上で、平板牽引試験を行い、トレッドの高さやトレッドピッチなどの平板状態やトレッドの取り付け角度等の車輪形状の最適化を行った。

2. 供試地盤

今回の実験で使用したシミュラントは月面のレゴリスを模した擬似月面砂であり、実際のレゴリスと化学成分、粒度分布、比重、粘着力 c 、内部摩擦角 ϕ がほぼ一致するように作られたものである。表-1 にシミュラント土質性状を示す。この試料砂を土槽全体に約 50mm ずつ 3 層に分けて地盤を作成した。各層ごと平坦に整地したのち、10mm 程度の網目の装置を置き、次の層を作成した後、その装置を引き上げることで緩詰めめの均一な地盤の作成をした。なお、上記の方法で作成した地盤密度は 1.63g/cm^3 であった。

3. 実験装置および実験方法

図-1 に平板牽引試験の実験装置概略図を示す。また、図-2 に平板牽引試験に用いた平板の諸元と概略図を示す。実験装置は、試料砂をいれた土槽、3 種類のトレッドピッチ(19, 24, 29mm)、2 種類のトレッド高さ(12, 21mm)、平板、ウインチ、変位計、ロードセル、メモライザから成る。ここで、前面の土が平板上にのり上がるのを防ぐため、平板の前端部がそり状になるよう鉄板を溶接し、平板の後端部には変位計のワイヤを接合する箇所を設けた。平板をウインチでつなぎ、牽引速度一定(65mm/s)で試験を行った。有効牽引力は平板と牽引装置との間にロードセルを介して測定した。また、それぞれの平板に 5 段階に分けたおもりを載せることで、平均垂直応力 p を 5 段階に変化させた。また、牽引距離をスリップ量と定義して、150mm 牽引した。次に、せん断抵抗 τ が最大のときのトレッドピッチ・トレッド高さ比 T_p/T_H を最適トレッドピッチ・トレッド高さ比 $T_p/T_H(\text{opt})$ と定義し、最適トレッドピッチ・トレッド高さ比 $T_p/T_H(\text{opt})$ で取り付け角度を 4 種類(5, 10, 15, 20°)に変化させ、正方向と逆方向の計 9 種類に変化させて実験を行った。

4. 実験結果および考察

図-3 にスリップ量 j とせん断抵抗 τ の関係の一例として、トレッドピッチ $T_p = 29\text{mm}$ 、トレッド高さ $T_H = 12\text{mm}$ の形状

表-1 シミュラントの土質性状

地盤密度 (g/cm^3)	土粒子密度 (g/cm^3)	均等係数 U_c	曲率係数 U_c'
1.63	2.93	57.81	1.46

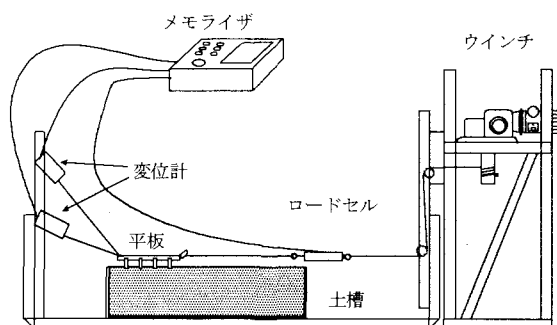


図-1 平板牽引試験の実験装置概略図

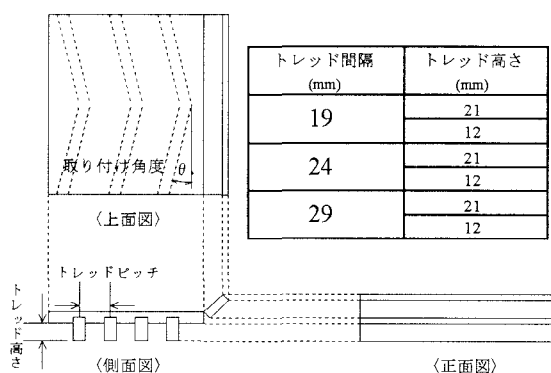


図-2 平板の諸元と平板の概略図

の場合のスリップ量 j とせん断抵抗 τ の関係を示す。スリップ量 j の増加に伴い、せん断抵抗 τ は収束することが分かる。さらに、垂直応力 p が大きくなるほどせん断抵抗 τ が大きくなっていることが分かる。これは、垂直応力 p が増すと、地盤が締め固められる。そのため、せん断抵抗 τ が大きくなったと考えられる。図-4 にせん断抵抗 τ とトレッドピッチートレッド高さ比 T_P/T_H の関係を示す。トレッドピッチートレッド高さ比 T_P/T_H が 1.5 付近からせん断抵抗 τ が低下しているのが分かる。これはトレッドピッチートレッド高さ比 T_P/T_H が 1.38 以降は、トレッド高さに対しトレッドピッチが広いと、滑り線が途中で終了してしまうためと考えられる。最大せん断抵抗 τ_{max} が最大のときのトレッドピッチートレッド高さ比 T_P/T_H である最適トレッドピッチートレッド高さ比 $T_P/T_{H(opt)}$ は、1.38 であることが分かった。また、最適トレッドピッチートレッド高さ比 $T_P/T_{H(opt)}$ は垂直応力 p が大きいほど、この傾向が顕著に現れることが分かる。

次に、トレッドピッチートレッド高さ比 T_P/T_H を 1.38 にした平板に、トレッドの取り付け角度を 5, 10, 15, 20° の 4 種類を正方向、逆方向の計 9 種類に変化させて実験を行った。図-5 に最大せん断抵抗 τ_{max} とトレッドの取り付け角度の関係を示す。なお、進行方向に対して逆 V 字に取り付けた平板の取り付け角度を正とし、V 字に取り付けた平板を負とした（図上を参考）。トレッドの取り付け角度 θ が -20° に近づくにつれ、最大せん断抵抗 τ が大きくなる傾向がある。これはトレッドが逆 V 字の形で牽引すると土を左右に分けて進むか、V 字の形のトレッドの中心に土を集めながら牽引されるため土の逃げ場がなくなるため、せん断抵抗 τ が大きくなったと考えられる。逆に、逆 V 字の形である 20° に取り付けられた平板では土を左右に分けて牽引されるためせん断抵抗 τ が小さくなったと考えられる。

5. 結論

最大せん断抵抗 τ_{max} が最大のときのトレッドピッチートレッド高さ比 T_P/T_H である最適トレッドピッチートレッド高さ比 $T_P/T_{H(opt)}$ は、1.38 であることが分かった。また、トレッドの取り付け角度を変化させた平板牽引試験より、進行方向に対し、V 字の形で取り付けられた平板の方が最大せん断抵抗 τ_{max} が大きくなった。この結果より、最大せん断抵抗 τ_{max} が最大となる最適な角度が存在するものと考えられる。

6. 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.

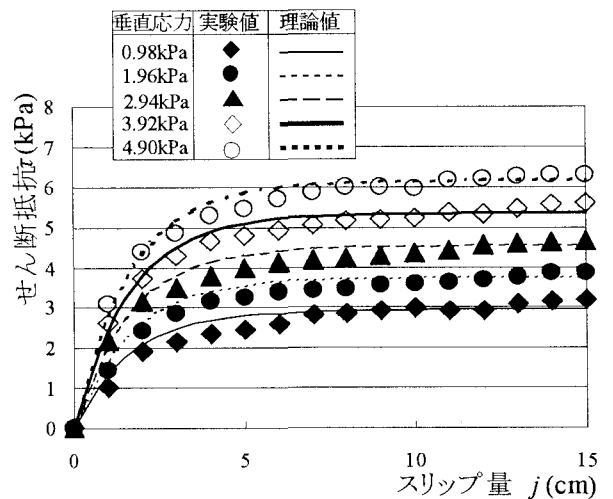


図-3 スリップ量 j とせん断抵抗 τ の関係

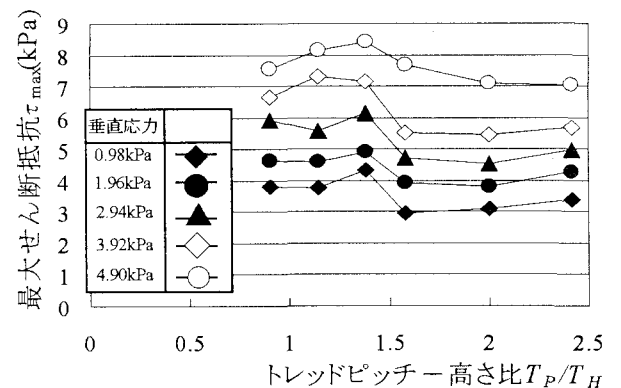


図-4 最大せん断抵抗 τ_{max} と
トレッドピッチートレッド高さ比 T_P/T_H の関係

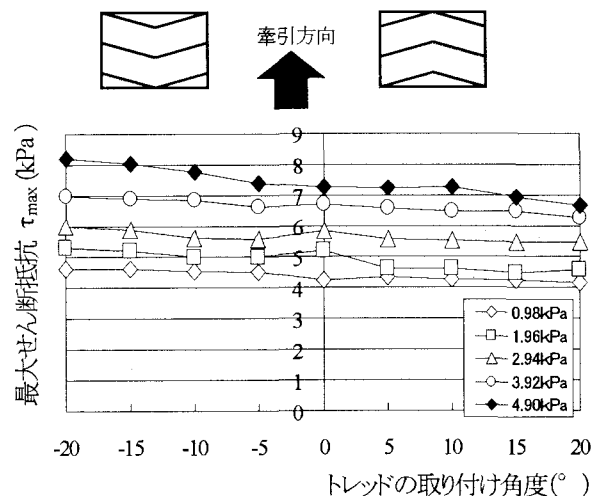


図-5 最大せん断抵抗 τ_{max} と
トレッドの取り付け角度の関係