

月探査ローバを想定した車輪の走行性能評価

九州大学大学院 学○藤原洋一郎・F 落合英俊・正 安福規之
 正 大嶺 聖・正 小林泰三・学 陶山雄介
 宇宙航空研究開発機構 松井 快・宮原 啓
 清水建設 (株) 青木 滋

1. はじめに

近年、米国、中国、インドをはじめとして、各国で月探査への関心が高まってきている。わが国でも 2007 年 9 月、JAXA により世界に先駆けて月周回衛星「かぐや」が打ち上げられ、今後の観測成果に大きな注目が集まっている。さらに JAXA は長期ビジョンの中で 2020 年までに月面着陸をして探査を行うことを目標としている。その探査ミッションにおいて、地表面を自立移動するロボットの技術は欠かせない技術となる。特に車両型のローバ (探査車) は広域探査を可能にすることで期待が高く、多くの研究機関で研究が進められている。著者^{1),2)}らは以前より月面の低重力や高真空、地表を覆う特殊な土 (レゴリス) などの地上と異なる特殊な環境条件が土-機械相互作用、土-構造物相互作用に与える影響に関する研究を続けている。これまでも、航空機のパラボリック (放物線) 飛行による低重力環境下で剛体模型車輪を用いた走行実験などを行ってきた³⁾。本報では、低重力環境下での走行性能の評価方法の確立を目指し、月面模擬土⁴⁾を用いて、地上で異なる車輪荷重条件下での車輪模型の走行実験を行い、まず地上での走行性能の評価方法について検討を行った。

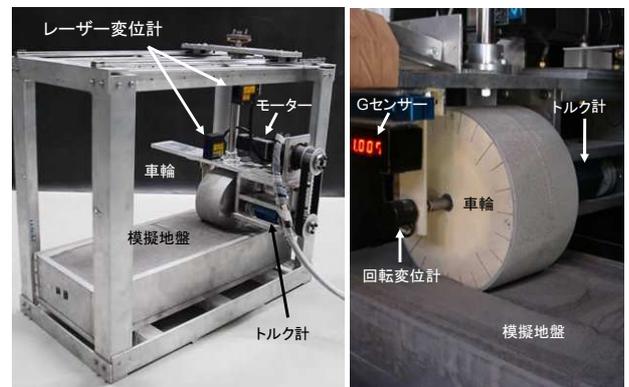


図 1. 車輪走行装置写真

2. 車輪走行模型実験

図 1 に車輪試験装置の写真を示す。車輪のスケールは、直径 15cm、幅 8cm、重量を 10kg とする。車輪の回転数は 3r.p.m. (3 回転/分) とし、回転数制御の条件下で水平地盤上を直進させる実験を行った。計測項目は、回転トルク、回転量、沈下量、水平移動量である。模型地盤は、豊浦砂、月面模擬土 (FJS-1) を用い、それぞれの相対密度を 50, 70% に調整した。なお、車輪装置の上部に滑車を設置し、カウンターウェイトにより、車輪荷重を 1/6、1/2、3/4、1、2 倍に設定して実験を行った。

図 2 に実験で得られた計測結果の一例を示す。同図はそれぞれ走行距離に対する沈下量、トルク、滑り率を示している。滑り率は i とし次式で定義される。

$$i = 1 - \frac{v}{R\theta}$$

ここに v : 車輪速度、 r : 車輪半径、 θ : 回転速度

沈下量に関しては、車輪荷重の増大に伴い沈下しやすくなる傾向が見て取れる。またトルクに着目すると、車輪荷重が大きいほど車輪と地盤の接地圧が高くなるので、トルクが増大することが分かる。滑り率に関しては、車輪荷重の増加に伴い滑り率が増加している。

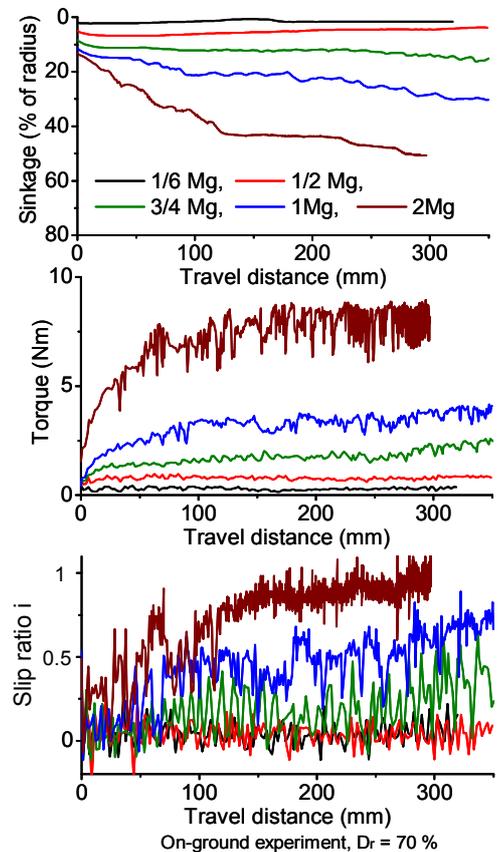


図 2. 沈下、トルク、滑り率の一例

3. 車輪の走行性能評価

月面の特殊な環境下で月探査ローバによる確実な探査を行う上で、滑り率 i の増加による車輪の空転（スタック）は回避しなければならない。車輪の走行性は車輪の駆動力 F と走行抵抗 R に支配されていると考えられている。そこで本報では、駆動力 F と走行抵抗 R との比を表す F/R なるパラメータを導入し、車輪の走行性を表す滑り率 i との関連付けを試みた。 F/R と滑り率 i の関連付けを行う前段階として、駆動力 F および走行抵抗 R をそれぞれ定義する必要がある。車輪の走行に影響を与える条件として考えられるのは、図 2 でも示されたトルク T 、沈下 s 、そして既知である荷重 M 、車輪径 r 、回転数 N 、土質係数 γ 、 ϕ 、 c 、地盤と車輪との摩擦係数 μ 、重力 g である。この条件の中で駆動力 F はトルクに影響を受けると仮定し、 $F = T/r$ とした。走行抵抗 R は沈下に伴い車輪前面と土との設置面に発生する受動土圧に等しいと仮定し、ランキンの土圧理論より $R = \alpha P_p$ (α : 任意の係数、ここでは $\alpha = 1$ とする、 P_p : s 、 ϕ 、 c より求まる) を用いた。

前述した仮定によって求められた駆動力 F および走行抵抗 R の妥当性の検討を行うために、図 3 に示すよ

うな実験データの再整理を行った。この図から車輪荷重が増加するに従い駆動力 F および走行抵抗 R の値も増加することが分かる。駆動力 F に関しては、車輪荷重が増加するに従い車輪と地盤の接地圧が高くなる。すなわち車輪と地盤の摩擦が増加し、駆動力 F も増加することになる。一方走行抵抗 R に関しては、車輪荷重が増加するに従い沈下が大きくなる。したがって仮定する受動土圧が増加し走行抵抗 R も増加すると考えられる。以上から駆動力 F および走行抵抗 R に関する仮定の妥当性が実験的に確認されたものとする。

図 4 は F/R と滑り率 i の関係を示したものである。この図から、 F/R が 4 よりも大きな範囲では、滑り率 i は極めて 0 に近い。一方、 F/R が 4 より小さくなるにつれ、滑り率 i が 1 に漸近する。以上から車輪走行試験のデータを駆動力 F と走行抵抗 R を用いて整理することで、 F/R と滑り率 i の一定の相関関係を導くことが出来た。今後の課題としては、駆動力 F と走行抵抗 R を求めるための仮定に関して検討を重ね、最終的に実験条件や土質パラメータから理論的に得られた F/R より、滑り率 i を算出できるモデルの構築を目指す。

4. まとめ

著者らは月探査ローバの走行性能を検討するため、航空機を用いた可変重力場での車輪走行実験を行ってきた。その結果を受けて、車輪の走行性能を評価するために駆動力 F 、走行抵抗 R からなる F/R と滑り率 i のモデルの構築を試みた。そのために実験的に F/R と滑り率 i の関係を求め、その結果として F/R と i の一定の相関関係を導くことが出来た。今後の展開としては、この結果を用いて、最終的に実験条件や土質パラメータから理論的に得られた F/R より、滑り率 i を算出できるモデルの構築を目指す。

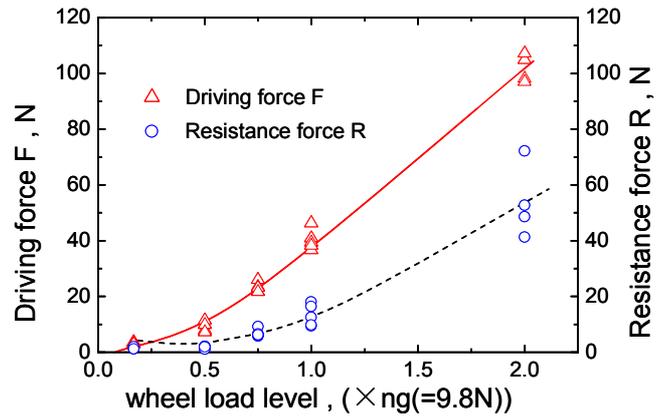


図 3. 駆動力、走行抵抗－荷重関係

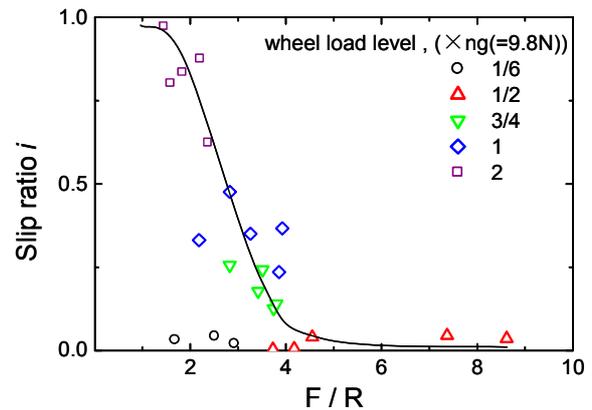


図 4. 滑り率 i - F/R 関係

1) 藤原ら：月面模擬土の変形・強度特性、平成 18 年度土木学会西部支部研究発表会、土木学会、pp413~414,2007. 2) 陶山ら：月面を想定した低重力場の支持力－相似則によるモデリング、平成 18 年度土木学会西部支部研究発表会、土木学会、pp415~416,2007. 3) 小林ら：低重力場における車輪の走破性、第 51 回宇宙科学技術連合講演会、日本航空宇宙学会、1D10, (CD-ROM,6p), 2007.10. 4) T. Kobayashi, et.al : Load-settlement Characteristics of Japanese Lunar Soil Simulant in Partial Gravity, *Space Resources Roundtable VIII* (Abstract), pp.37-38, 2006.