

月資源利用要素技術における建設機械作業部と土砂の接触に関する研究

-建設機械の摩耗低減に関する研究-

(株)協和設計 ○ 白川大雅

明石工業高等専門学校都市システム工学科教授 江口忠臣

1. 序論

人類初の月面着陸から半世紀近く経った現在、再び宇宙開発は世界各国から注目を浴びており、豊富な資源の獲得をターゲットとしてその動きが高まりつつある。一例として、2018年3月まで実施された、月探査レース「Google Lunar X Prize」は、本分野に多くの注目と関心を集めた。

宇宙開発を進めることは、人類のフロンティアの拡大、生命誕生の謎といったような未知領域の解明、先端技術への挑戦など、様々な分野においての貢献を可能とする。

中でも月資源開発において、資源を掘削・運搬する処理技術は月面での土木作業を行う上で特に重要な項目であり、環境に適応した技術開発が必要とされる。バケットやキャタピラ部のような建設機械作業部に生ずる摩耗への対策を考慮しなければならない。従来から材料力学的なアプローチにより、力学的相互関係やメカニズムが解明されてきた摩耗機構ではあるが¹⁾、環境条件の相違から、月面における予測手法が確立されていない。月面にはレゴリスと呼ばれる土砂が堆積しており、「地盤組成の相違」が問題となってくる。合わせて、気圧や温度など「周囲の雰囲気条件」についても問題となる。

一方、物体同士の接触において静電気の発生は一般的であるが、大きな摩耗が生じる建設機械作業部と地盤との接触についても静電気の発生が予測されることから、摩耗と静電気帯電の関連性が新たな摩耗予測手法の可能性として指摘されている²⁾。

これらを踏まえ、静電気帯電量の計測による月面環境にも適応した摩耗予測手法の確立を、本研究における主目的とする。また、本手法をもって、静電気帯電挙動を観測し、「気圧条件が摩耗挙動に及ぼす影響」、「月面の堆積土砂(レゴリス)が摩耗挙動に及ぼす影響」を追究する。

2. 研究方法

2.1 摩耗予測の確立方法

一般に対象物の摩耗量は物体間の接触履歴の増大に伴い、指数関数的な減少傾向を示すとされている¹⁾。また、物体が接触することにより発生する静電気帯電量にも接触履歴の増大に伴い減少する傾向がある。両者に共通な相関関係

があれば、静電気帯電量を測定することで摩耗傾向の予測が可能と考える。そこで試験を行うにあたり、従来の静電気計測器を使い、真空中での測定が可能な静電気計測システムを作成する。

土砂試料としては標準砂と月面堆積土砂を人工的に再現した月面模擬土を用いる。平均粒径0.07mmで粒子表面の凹凸が多く、角張っているという特徴がある。金属材料としてはSUS430(ステンレス鋼材)とA1050(アルミニウム合金)を用いる。各2種類の土砂試料と金属材料をそれぞれ計10回接触させ、本システムにより静電気帯電量を測定することで電圧ピーク値の予測式を立て、その推移が摩耗量の推移と類似した挙動を示すことを確認する。

2.2 条件変更による摩耗挙動への影響

静電気計測システムを用い、気圧、接触させる土砂試料の2条件をそれぞれ変化させたときの摩耗挙動を比較する。気圧条件については、大気条件、真空条件(1/3600気圧)における摩耗挙動の観測を行う。接触させる土砂試料の条件については、標準砂、月面模擬土を用いた場合における摩耗挙動の観測を行う。試験は金属材料(A1050)に土砂試料を1分間接触させ、その後土砂試料の供給を停止し1分間放置する。この間の静電気帯電量を測定し、経時変化を記録する。この計測を1ケースにつき計3回行う。

試験は次の3ケースを設定した。①大気中におけるA1050と標準砂の接触、②真空中におけるA1050と標準砂の接触、③大気中におけるA1050と月面模擬土の接触。

3. 結果・考察

3.1 摩耗予測の確立方法

金属材料の帯電挙動のうち、接触履歴の増大に伴う電圧ピーク値は図-1に示すように推移する。電圧ピーク値 V_{max} と接触履歴 n を回帰分析した結果、いずれのケースも定数 a 、 b を用い、次式が得られた。

$$V_{max}=a \cdot e^{bn} \quad (1)$$

式(1)より、接触履歴の増大に伴う電圧ピーク値の推移は指数関数的な減少を示していることが確認できる。また、

相関係数はそれぞれ, ①0.978, ②0.964, ③0.986, ④0.977 となっている. これより相関関係が高いと言え, 以降, 静電気帯電量と摩耗量は同義として扱う. なお, 定数 a , b は材質や硬度, 粉体の含有物質などにより変化するため, 今後これらの関連性を明白にする必要がある.

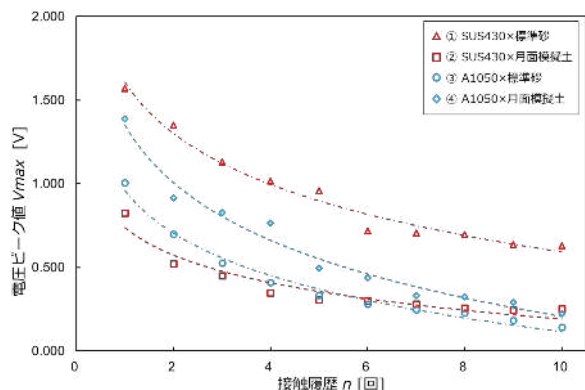


図-1. 接触履歴の増大に伴う静電気帯電量の推移

3.2 条件変更による摩耗挙動への影響

実験条件として, 気圧のみを変更し, 大気中及び真空中 (1/3600 気圧)において金属材料と土砂試料を接触させた際の静電気帯電挙動を図-2 に示す. いずれからも, 電圧の推移について以下のような特徴がみられる.

- ・接触初期に急激な電圧の立ち上がりがみられる.
- ・電圧立ち上がり後, ピーク値が現れ, 定常状態となる.
- ・接触終了後, 電圧は 0V に収束する.

大気中及び真空中での電圧ピーク値を比較すると, 48.0%の差が生じており, 真空中において摩耗量が增大することがうかがえる. また, 接触初期の電圧立ち上がり部において, 近似曲線の傾きはいずれも 0.0002 であり, 気圧条件による単位時間当たりの摩耗量に相違はない.

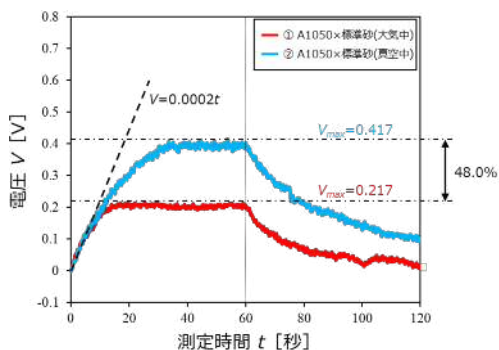


図-2. 気圧条件の相違による比較

次に, 土砂試料の相違による摩耗挙動への影響を観察するべく, 標準砂と月面模擬土を同一環境下で金属材料と接触させた際の静電気帯電挙動の観測を行った. 結果を図-3

に示す. 2つの結果について電圧ピーク値を比較すると, 47.3%の差が生じており, 月面模擬土の接触により摩耗量が增大することがうかがえる. また, 接触初期の電圧立ち上がり部において, 近似曲線の傾きは, 標準砂を用いた場合 0.0002 であるのに対し, 月面模擬土を用いた場合 0.0005 と大きく, 土砂試料の形状や粒径, 組成などが単位時間当たりの摩耗量に影響すると言える.

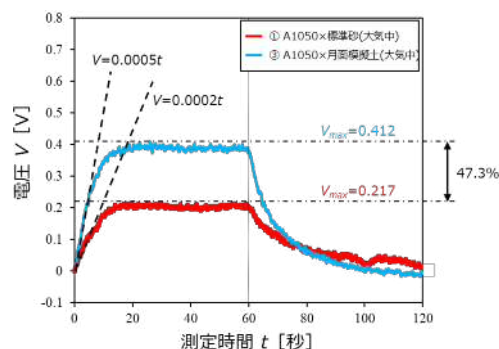


図-3. 土砂試料の相違による比較

4. 結論

接触履歴の増大に伴う静電気帯電量の推移を観測したところ, 接触履歴の増大に伴う摩耗量の推移と同様に指数関数的な減少を示した. よって, 摩耗と静電気帯電は密接な関係にあり, 静電気帯電量を測定することで摩耗傾向の予測が可能であると言える. 気圧条件による摩耗挙動への影響としては, 真空中での静電気帯電量が, 大気中での静電気帯電量を大きく上回ったことから, 真空中において摩耗量は増大すると言える. この時, 単位時間当たりの摩耗量に影響はない.

月面の堆積土砂(レゴリス)による摩耗挙動への影響としては, 月面模擬土と金属材料の接触時の静電気帯電量が, 標準砂と金属材料の接触時の静電気帯電量を大きく上回ったことから, レゴリスとの接触において摩耗量は増大すると言える. また, 単位時間当たりの摩耗量に影響することも確認できた.

以上より, 月面環境においては非常に顕著に摩耗が生じると予想される. よって本研究を進め, 月面環境における摩耗機構を解明することで, 新しい掘削ツール強度設計システムの確立に寄与すると考える.

5. 参考文献

- 1) 土砂摩耗対策委員会: 土砂摩耗の話-建築機械作業者部品-, テラメカニクス会, 2000.
- 2) 日本建設機械施工協会関西支部: 平成 20 年度摩耗対策委員会資料, 摩耗対策委員会, 2008.