

砂質地盤における平板载荷試験および平板牽引試験について

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

呉工業高等専門学校専攻科 学生会員 井原 大介

1.はじめに 現在、月面の科学データの収集と月面軟着陸等の技術開発を目的とした月軟着陸実験計画、通称 SELENE-B 計画が進行中である。月面探査には、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、機械工学的なアプローチだけではなく、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、本研究では平板载荷試験と平板牽引試験を行い、シミュラントや標準砂の砂質地盤におけるラグの高さやラグピッチなどの平板状態が地盤に及ぼす影響を調べた。

2.実験装置および実験方法 実験で使用した試料砂の土質性状は表-1 のとおりである。ここで、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、玄武岩を砕いて粒度調整したものである。これらの試料砂を使用し、土槽全体を約 50 mm 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、次の層を作成し、最後の層の上面は水平に整地した。シミュラントの場合は上記の方法に加え、

表-1 試料砂の土質性状

	乾燥密度	土粒子密度	均等係数 U_c	曲率係数 $U_{c'}$
標準砂	1.476g/cm ³	2.648g/cm ³	1.514	1.403
シミュラント	1.629g/cm ³	2.930g/cm ³	57.813	1.460

各層の下に 10 mm 程度の網目の装置を置き、各層を作成した後、その装置を引き上げることで緩詰め均一な地盤の作成を行った。平板牽引試験は、平板をウインチでつなぎ、ラグピッチ LP 3 種類 (10, 15, 20 mm) とラグ高さ LH 2 種類 (12, 21 mm) の組み合わせで平板を 6 種類に変化させ、それぞれの平板に 5 段階に分けたおもりをのせることで、平均垂直応力 p を 0.98, 1.96, 2.94, 3.92, 4.90 kPa に変化させて実験を行った。また、牽引距離をスリップ量と定義して、平板を 150 mm 牽引した。

3.実験結果と考察 沈下量は、大きく分け静的沈下量と滑り沈下量といわれる動的沈下量の 2 種類があり、静的沈下に関する検討を平板载荷試験により、動的沈下に関する検討を平板牽引試験により行った。なお、本研究では荷重を取り除いた後のリバウンドは観察されなかったため、リバウンドに対しては検討を行わなかった。また、寸法効果に対しては、平板長さ 3 種類に対する寸法効果はほとんど見られない結果となった。図-1 に標準砂とシミュラントにおける平板载荷試験の結果を示す。標準砂においては、貫入量 z が大きくなるにつれて垂直応力 p は増加しているのが分かる。また、シミュラントでは貫入量 z が大きくなるにつれて垂直応力 p は指数関数的な増加をしているのが分かる。これは貫入量が浅い地点では、土被り圧が小さいため p が大きくならなかったが、次第に土の粘着力 c の影響で

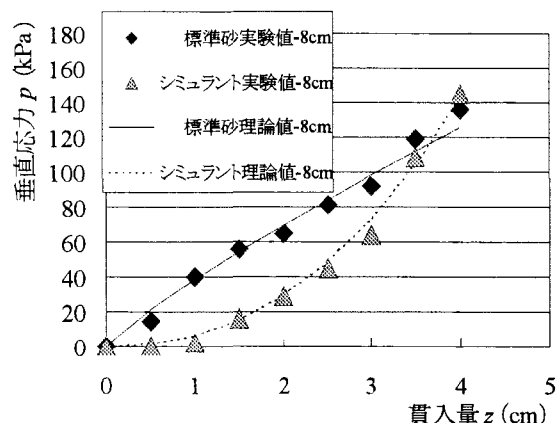
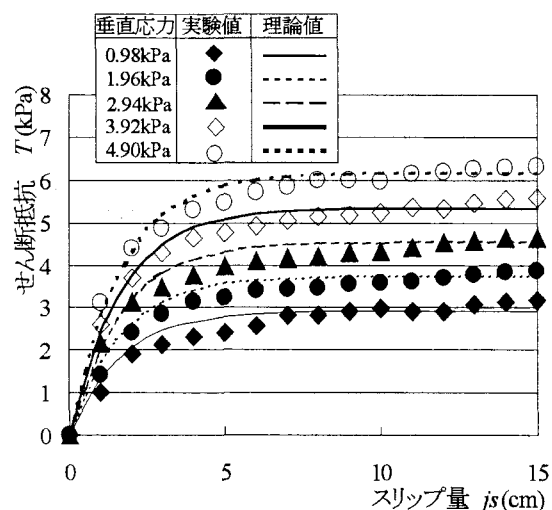


図-1 8cm 平板による平板载荷試験の結果

図-2 スリップ量とせん断抵抗の関係
(シミュラント LP20mm , LH21mm)

垂直応力 p が上昇したためと思われる。図-2 にシミュラントにおけるラグピッチ $LP20mm$ 、ラグ高さ $LH12mm$ の場合のスリップ量とせん断抵抗の関係の一例を示す。スリップ量の増加に伴い平板長さ $10cm$ せん断抵抗は収束することが分かる。また、垂直応力が大きくなるほどせん断抵抗も増加することが分かる。図-3 にシミュラントにおけるラグピッチ $LP20mm$ 、ラグ高さ $LH21mm$ の場合のスリップ量と滑り沈下量の関係の一例を示す。スリップ量の増加に伴い、滑り沈下量も増加し、やがて収束する傾向がある。図-4 に標準砂におけるせん断抵抗とラグピッチー高さ比の関係を示す。標準砂ではバラツキがあり明確な L_P/L_H が現れなかったが、最適 L_P/L_H が 1.38 までの範囲、特に 1.14 に存在すると推測される。図-5 にシミュラントにおけるせん断抵抗とラグピッチー高さ比の関係を示す。シミュラントでは最適 L_P/L_H が $1.14 \sim 1.38$ のと明確な値を得る事ができた。また、どちらも垂直応力が大きい場合に最適 L_P/L_H が顕著に現れることが分かる。さらに 2 つの図より、 L_P/L_H が 1.5 付近からせん断抵抗が低下しているのが分る。牽引による沈下に際し、重要となってくるのが平板に取り付けられたラグが牽引されることで地盤に描く土の進行性破壊による滑り線である²⁾。この滑り線が次のラグに届くか届くまでの途中で終わってしまうかで滑り沈下量やせん断抵抗に影響を与える。後半の 3 点はいずれも高さ $12mm$ ラグであり、ラグ高さに対しラグピッチが広い場合滑り線が途中で終了してしまふと考えられる。

4.結論 平板载荷によるシミュラントの土質性状は貫入量の増加に伴い垂直応力はみかけの粘着力 c の影響によって指数関数的に増加すると考えられる。最適なラグピッチやラグ高さを知るためラグピッチーラグ高さ比とせん断抵抗の関係を調べた結果、標準砂は最適 L_P/L_H が 1.14 、シミュラントは最適 L_P/L_H が 1.38 であることが推測できた。またラグ高さに対し、ラグピッチが大きすぎると滑り線の関係上、せん断抵抗が減少することが考えられる。このラグピッチー高さ比により牽引力が最大の点が分かると最適な施工機械のラグピッチやラグ高さが分かり効率的な作業が可能になると考えられる。

参考文献

- (1) SELENE-B 検討チーム:月軟着陸実験計画(SELENE-B)提案書,(ISAS/NAL/NASDA),12 章 pp.23,2002.
- (2) 室達朗:テラメカニクスー走行力学ー,技報堂出版,pp.31-74,113-118,1993.

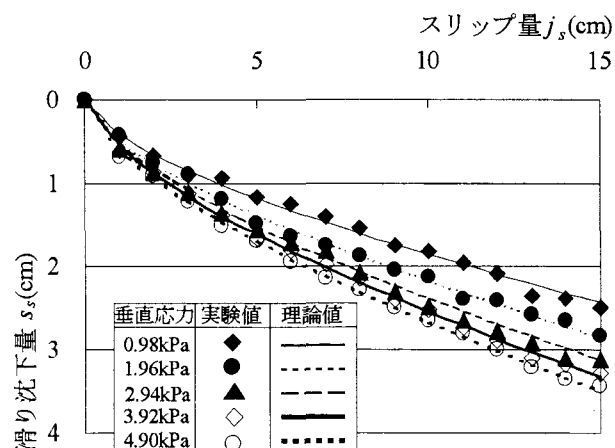


図-3 スリップ量と滑り沈下量の関係
(シミュラント $LP20mm$, $LH12mm$)

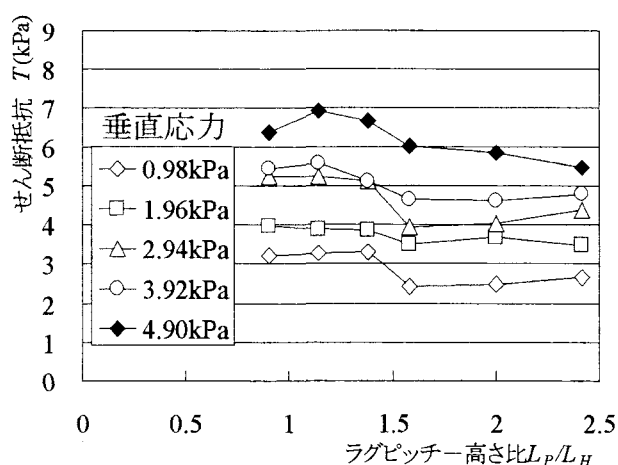


図-4 せん断抵抗とラグピッチー高さ比の関係
(標準砂)

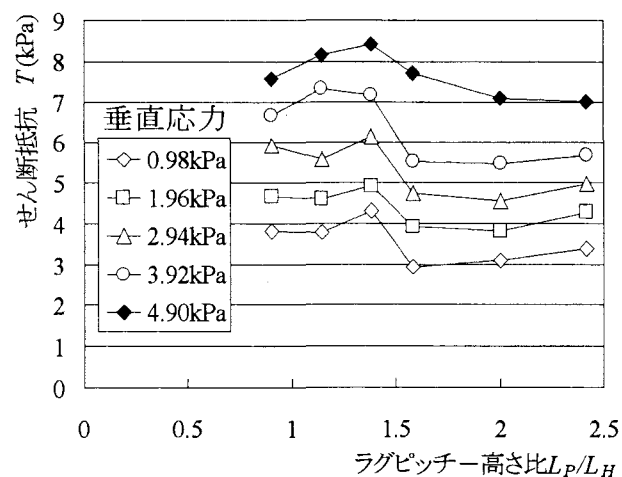


図-5 せん断抵抗とラグピッチーラグ高さ比
の関係(シミュラント)