

VI-236

月面構造物設計条件の検討
- 月面上における地盤の支持力特性の検討 -

(株) 銭高組 技術研究所 正会員 ○佐藤常雄

同 上 高津 忠

同 上 原田尚幸

1. まえがき

近年、国内外において、宇宙開発への関心が急速に高まりつつある。このような状況の下、アポロ11号による各種調査結果¹⁾を基に、地球上で用いられている地盤の支持力算定式を月着陸船脚部パッドと宇宙飛行士の靴に適用し、月面上における地盤の支持力特性について検討した。

2. 検討に用いる地盤の支持力算定式と検討条件

地盤の支持力を検討する際に用いる算定式は、地盤の破壊モードを考慮して選定する必要がある。アポロ11号の調査結果によれば、月表面のレゴリスは比較的軟らかく、着陸船の脚部パッドや宇宙飛行士の靴によって数cm沈下したものの、着陸あるいは歩行に支障はなかったとされている¹⁾。したがって、地盤の破壊モードとしては、局所せん断破壊か、全般せん断と局所せん断の中間で破壊するものと考えられる。

そこで、検討に用いる地盤の支持力算定式としては、①Terzaghiの局所せん断破壊式²⁾と②内部摩擦角 ϕ が小さく緩い土で局所せん断が起りやすいことを考慮した「建築基礎構造設計指針³⁾」の式の二つを選定する。また、アポロ11号での調査結果を基に設定した検討条件を表-1に示す。

表-1 地盤の支持力特性の検討条件(アポロ11号)¹⁾

項 目	設 定 値		備 考
パ ッ ド	形状	直径:91.44cm	・ここでの設定値は、全て月の重力場での値。
	荷重	1.48 (tf/m ²):最大値	
靴	形状	32.4×13.0 (cm)	・記号 c:粘着力 φ:内部摩擦角 γ:単位体積重量
	荷重	0.70 (tf/m ²)	
地 盤 条 件	c	0.035~0.14 (tf/m ²)	・cとφは、パラメーターとして取り扱う。
	φ	30~40 (°)	
	γ	1.5 (gf/cm ³)×1/6	
備 考	支持力算定式: $q_d = q_c + q_r (+q_a)$ $= \alpha c N_c + 0.3 \gamma B N_r (+\gamma D_r N_q)$		

3. 検討結果

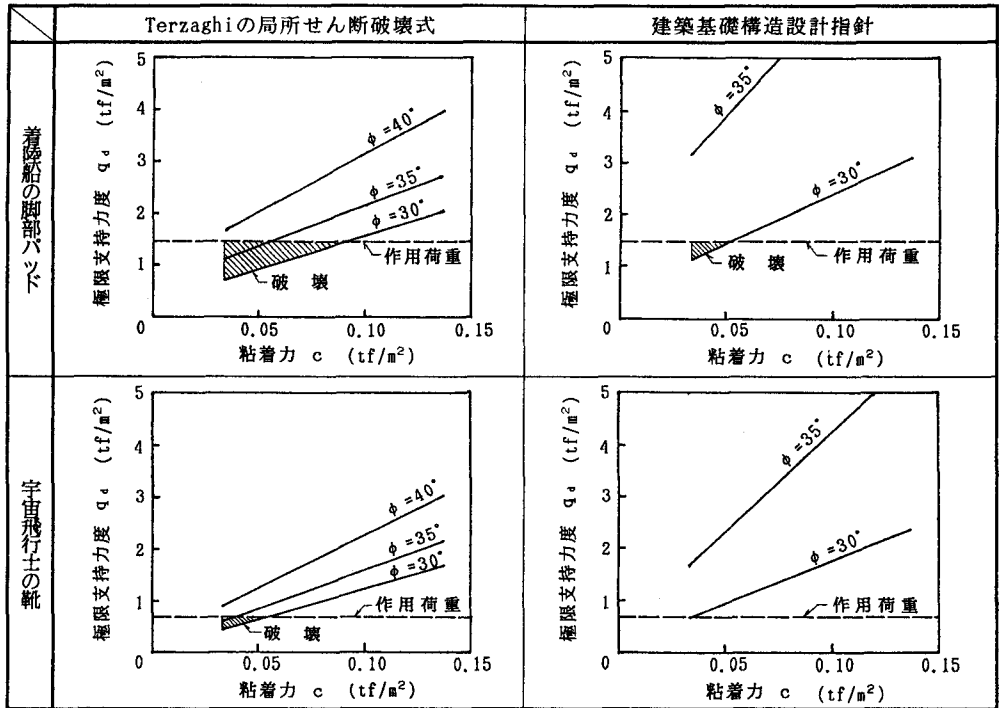
着陸船パッドと宇宙飛行士の靴に対して、両算定式を用いて得られた極限支持力 q_d (安全率=1)と粘着力 c の関係を整理し、図-1に示す。図-1から以下のことが分かる。

- ①Terzaghiの局所せん断破壊式の場合は、 q_d の値が着陸船脚部パッドの作用荷重より小さい部分がある。生じ、着陸船が無事着地したことを考慮すると、この式は現状よりやや過小な値を与えることになる。
- ②一方、建築基礎構造設計指針の場合は、 q_d の値が作用荷重よりも小さい部分が若干生じるものの、大部分は作用荷重を十分上回っており、着地状況を比較的良く説明できる。

したがって、現時点においては、Terzaghiの局所せん断破壊式よりも建築基礎構造設計指針の方が適用性が高いものと考えられる。

また、表-1に示したように、地盤の支持力算定式は粘着力に起因する項 $q_c (= \alpha c N_c)$ と内部摩擦角に起因する項 $q_r (= 0.3 \gamma B N_r)$ の二つから成り立っている。これら二つの項の内、 q_c が q_d 中に占める比率について整理したものを図-2に示す。なお、図-2中には、参考として、脚部パッドが地上に着地した場合の計算結果($\phi=30^\circ$)も併記した。図-2から以下のことが分かる。

- ①通常、 $\phi=30\sim40(^\circ)$ の土で c の値が0.035~0.14(tf/m²)の範囲内で変動した場合、地上においては q_d 中に占める q_r の比率が比較的大きいが、月面においては q_c の比率が大きくなる。
- ② q_d 中の q_c の比率は、 c が大きければ大きい程、 ϕ が小さければ小さい程、また、基礎幅が小さければ小さい程大きくなる。


図-1 粘着力 c と極限支持力 q_u

③これは、 q_u 中の c の値が重力に依存しない因子であるのに対し、 q_r は重力に依存する土の単位体積重量を用いて算定されるためである。

以上のことから、月面の地盤の支持力を検討するに当たっては、粘着力の値が小さい値であっても、その影響を十分考慮する必要があるものと考えられる。

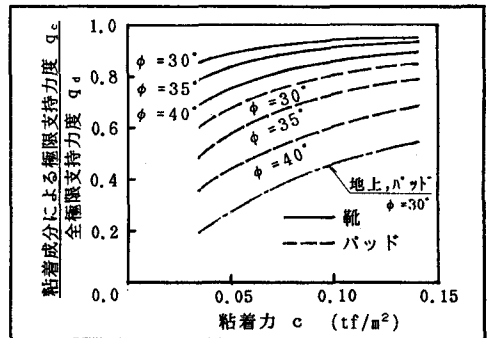
4. あとがき

アポロ11号の調査結果を基にして、月面上における地盤の支持力特性について検討を実施し、その傾向を把握した。しかし、今回の検討は、限られた数少ないデータを基に検討条件を設定し、しかも、地上における設計検討式をそのまま適用したものであり、結果の取扱いについては充分注意する必要がある。

本研究は、宇宙開発建設研究会の「月面構造物設計条件の検討」ワーキングの活動（大林組、鹿島、熊谷組、佐藤工業、銭高組、地崎工業、東急建設、西松建設、間組、フジタ、三井建設）の成果⁴⁾の一部である。

参考文献

- 1) Nicholas C.Costes, William D.Carrier, James K.Mitchell and Ronald F.Scott : Apollo 11 : Soil Mechanics Results, Proceedings of ASCE, 1972. 11.
- 2) 星 埜 和, 加藤 渉, 三木五三郎, 榎 並 昭 : テルツギ・ハック 土質力学 基礎編, 丸善(株)
- 3) 日本建築学会編 : 建築基礎構造設計指針 1988.
- 4) 宇宙開発建設研究会 : 第1回宇宙と建設シンポジウム講演集, 1991. 10


図-2 q_u 中に占める q_c の比率