

VI-231 月面構造物設計条件の検討 月の自然環境・地質の調査

三井建設㈱技術研究所 正会員 山田 哲也

1. はじめに

月面構造物を設計するためには、月の自然環境および地質を明確にしておく必要がある。月に関する調査・研究として、アポロ計画などによる月の探査の結果、多くの成果が報告されている。これらの報告をもとに多分野において各種検討がなされている。本論文は、構造物の設計に必要と思われる項目に関して、文献調査によりその記載内容をまとめ、今後の月面構造物設計の基礎資料とすることを目的とする。

2. 月の自然環境

月の自然環境に関して、天文学から地学・物理学の分野に及ぶ広い範囲について報告されている。本報では、特に構造物の設計に必要な外力として、温度・月震・宇宙線・隕石を中心に検討する。

月表面の温度は、約14日間ずつ続く長い昼夜と、大気が無いことにより、111～171℃の間で変化する。温度変化が急激なときには1時間に7℃の変化があり、それに伴う膨張収縮による材料劣化が心配される。しかし、1m以深では、表土であるレゴリス(3.2参照)の断熱性能が高いために-30℃の恒温層になる。

月の地震(月震)は、地球の潮汐力・太陽熱の影響による岩石の膨張収縮・隕石の衝突などにより発生する。特徴としては、振動が地球に比べて長く続き、減衰が小さく、明確な横波や表面波がみられないことが上げられる。頻度は年間3000回以下で、規模もほとんどがM2を越えない。そして月震の放出エネルギーは、 2×10^{13} erg/年で地球の 10^{25} erg/年と比較して非常に小さいとされている。月震力は地球上の地震に比べて規模が小さいものと考えてよい。しかし、構造物に与える月震の影響については未知の部分も多く、今後更に検討を行う必要がある。

宇宙線は、銀河宇宙線・太陽風・太陽フレアの3種の放射線からなる。月面では大気がなく、宇宙線が吸収されないため、レゴリスなどで遮蔽する必要がある。国際放射線防護委員会による、放射線作業者に対する許容値を満たすためには、レゴリスの密度を0.

9g/cm³と仮定した場合、4.4mの厚さが必要になる。

隕石の落下頻度を表-1に示す。Apollo seismic Networkによると0.5kgから1tクラスの隕石が1年間に300個衝突した状況が観測されている。また、1972年7月に1tの隕石が落下し、隕石衝突が原因で起きる最大の月震が観測されている。一般的には、衝突のスピードは、20～40km/secと報告されている。

表-1 隕石落下頻度

1mmアルミ貫通	1m ² あたり	4年に1回
2	"	43
6	"	1900

3. 月の地質

3.1 地質調査

アポロ着陸箇所を、図-1に示す。11・12・15号は海部、14・16・17号は高地部で地質調査をしている。図-2に月面の内部構造を示す。表面部にあるレゴリスは、隕石衝突によりできた岩石破片やガラスおよび溶結土からなる表土である。この構造は、月震の観測結果から得られたもので、深さ1000～1500kmに至っては、岩石が溶融状態になっている可能性がある。

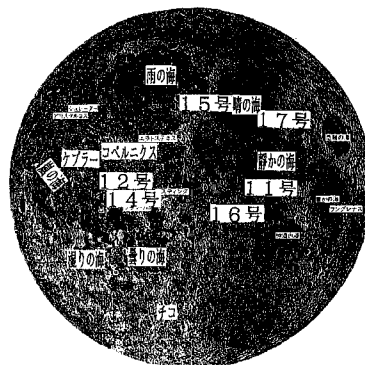
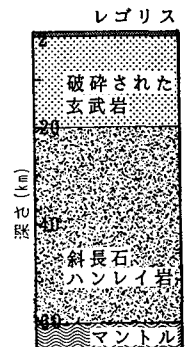


図-1 アポロ着陸箇所

図-2
月の内部構造

3.2 レゴリス

表-2に月面下深度と地盤特性を示す。表-3にレゴリスの締め固め度合による基礎物性を示す。10m程度までのレゴリスに関しては、採取材料から設計に必要な各種地盤特性が得られている。これらの数値は、深度毎に分析した結果と土の締め固め度合により表記されたものをまとめたものである。

土質工学上重要な定数として内部摩擦角と粘着力がある。内部摩擦角は、一般的には35~50°で、密度が高く間隙率が小さいほど値は大きくなる。また、Softの場合は38°, Firmの場合は約40°という結果が得られている。これらの数値は、地球上の砂利まじり砂に相当する。

レゴリスの密度の最小値は、表面部の0.9g/cm³である。アポロ15-17号の深度毎の土の回収結果より、その密度は、深くなるに従い大きくなっていることがわかる。

間隙比、間隙率および相対密度は、深度毎のものと、土の締め固め度合により表示している2種類のデータがある。多少両者の値に差がみられるのは、採取場所によるばらつきがあるためと考えられる。

地盤反力係数は、宇宙飛行士の足跡から算定した値として0.1kgf/cm²という記載がある。また、SoftとFirmを比較すると、約10倍の違いがみられる。足跡による値は、Firmな状態に近い値を示している。

粒度分布は、各粒径の通過百分率が得られており、75μm以下の量が57%ある。これは、非常に粒土分布の良いシルト質砂が砂質シルトに分類される。レゴリスは個々の粒子形状が角ばっていたり、くぼんでいたりしているため、低拘束圧下における力学的挙動は非線形になり、粘着力も生じるとされている。これは、地球上の湿気を含んだ中程度の密度の砂と比較的類似している。

4. まとめ

以上のように月では、構造物の設計にあたっての条件が地球と大きく異なる。月の自然環境のうち、構造物設計条件に与える影響として、重力・温度・宇宙線・隕石などを考慮する必要がある。月の地質は、レゴリスと内部の岩盤で構成されており、地上構造物はレゴリスの物性を、地下構造物は岩盤の物性を考慮する必要がある。

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²⁾の一部である。

表-2 深度と地盤特性

深 度	地 質	密 度 (g/cm ³)	内部摩擦角 (度)	間隙比	間隙率 (%)	相対密度 (%)	地盤反力係数 (kgf/cm ²)	粘着力 (kgf/cm ²)	粒度分布	縦波速度 (m/s)
0-15cm	レゴリス	1.50	35~50	1.05	51	65	0.1	0.001	平均粒径 0.04mm 0.13mm 非常に数値分布の 良いシルト質砂・ 砂質シルト	92 114
0-30cm		1.58				74				
30-60cm		1.74				92				
<10m		—				—				
10-1400m	岩盤	—	—	—	—	—	—	—	—	327~960
1.2-60km		—	—	—	—	—	—	—	—	4700 ~7000
60-150km		3.3	—	—	—	—	—	—	—	7000

表-3 レゴリスの締め固め度合による基礎物性

締め固め度合	地 質	密 度 (g/cm ³)	内部摩擦角 (度)	間隙比	間隙率 (%)	相対密度 (%)	地盤反力係数 (kgf/cm ²)	粘着力 (kgf/cm ²)	粒度分布	縦波速度 (m/s)
s o f t	レゴリス	—	38	0.89	47	30	0.016	—	—	—
f i r m		—	39.5~42.0	0.64~0.75	39~43	48~63	0.083~0.148			

参考文献

- 1) 山田哲也ほか:月面構造物設計のための自然環境・地形・地質の調査, 第1回宇宙と建設シンポジウム講演集, 1991年10月
- 2) 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年10月