

月の地盤構造の解明及び月震が月面構造物に与える影響の研究

Evaluation of geophysical structure of the moon and the influence of moonquake on the structure on the moon.

芝浦工業大学 土木工学科 紺野 克昭

Dept.of C.E. Shibaura Inst. of Tech. Katsuaki Konno

アポロ計画での月震の観測記録から、月震計の計器特性を取り除くことにより、変位波形を求めた。観測された月震波は非常に小さいものであったが、浅発月震、隕石月震においては M2~4 の規模で起こっていることがわかった。

地球と月で同じ規模の地震、月震が起きた場合、重力の違いのみに関しての比較であれば揺れ方は同じであるが、減衰を考慮すると差が出ることを示された。今後、さらに種々のパラメーターについて検討を加え、適切な値のもとでの解析が必要と判断される。

1. はじめに

これまでのアメリカ・ソ連の月探査により、月土壌には廃棄物のない理想的核融合燃料であるヘリウム 3 が大量に含まれていることが判明している（現在の世界のエネルギー需要の約 2000 年分を満たす）したがって、人類の未来にとって、月面開発は極めて現実的で重要なテーマである。本研究では 月の地盤構造の解明、月面構造物に及ぼす月震の影響の研究、を中心に進めた。

2. 月の内部構造

月の地震(月震)には、深発月震、隕石によるインパクト月震、熱月震、浅発月震(HFT:High-Frequency Teleseismic events)がある。インパクト月震と熱月震は表面で起こり、浅発月震は地殻内あるいは深さ 300km より浅いマントルで起こっている。一方、深発月震は深さ 300km から 1150km で起こっている。これらを観測された数の多い順にならべると、熱月震、深発月震、インパクト月震、浅発月震となる。深発月震のエネルギーは非常に小さくマグニチュードは 0.5~1.3 である。一方、最も大きな浅発月震のマグニチュードは 4~5 である。

図 1(a)はアポロ計画での月震の観測記録の一例である。月震記録は月震計の計器特性を含んだものであり、その特性を取り除くことによって変位を求める。まず月震記録をフーリエ変換し、フーリエスペクトルを求める。その値に特性値の逆数をかけ(=特性値で割り)、更に逆フーリエ変換することにより変位波形図 1(b)が求まる。

図 2 は浅発月震と隕石の震源距離と最大変位の関係を示したものである。またその上に M=2, 3, 4 に対し、気象庁マグニチュード M(J)の式より求めた震央距離と最大変位の関係を示し浅発月震と隕石月震を比較した。図 2 では横軸を震源距離としているが、今回の場合、距離が長くなれば震源距離と震央距離はほぼ一致するので、横軸を震源距離とした。図 2 を見ると浅発月震のほとんどは M2~3 の規模で起こっている。また隕石の衝突による最大の月震は M3.6~3.8 の規模となっている。震源距離 10km の付近で発生した月震はたまたま M1 以下の小さい規模のものであり、アポロ計画による月震観測では、観測点近くでは規模の大きな月震が発生しなかったと言える。

3. 月震が月面構造物に与える影響

図 3 のように幅 30m、深さ 20m のモデル地盤に表面から深さ 5m の地点に一辺が 3m、厚さ 1m の正方形のコンクリート構造物を建設する。月を想定する場合は構造物内に 1 気圧の圧力をかけ、地球の場合はかけないで解析する。またモデル地盤の両側面に自由地盤を置き、その間にダンパー(粘性境界)を設定する(境界面での反射波が出ない)。同様に底面にも設定し、これを解析モデルとする。なお、今回の解析は全て線形で行った。

まず静的線形解析の結果であるが、図 4、図 5 は図 3 のコンクリート構造物の部分拡大したものである。図 4 は、重力 G/6(月の状態)の解析結果であり、矢印は主応力を表している。引張力を正、圧縮力を負の値で示している。月面から深さ 5m の地点では、土圧より構造物内にかかっている 1 気圧の影響の方が大きく、主応力のほとんどが引張応力となっている。ここで示された引張応力の値は、コンクリートの強度に十分絶えられるものである。これに対し図 5 は地球の状態の解析結果であり重力は 1G、また内圧はかかっていないため、土圧の影響が圧縮応力として表れている。

次に、動的線形解析の結果を示す。入力地震波は浅発月震、隕石月震、エルセントロ地震の 3 種類で、それぞれ最大値を 300gal に基準化したものを用いた。

重力の違いに対し最大変位はほぼ同じ値を示したが、最大せん断応力(図 6)には大きな差が出た。しかしこの差は静的荷重(自重と内圧)によって生じた差であり、これらを取り除いた場合の振動に対する反応のみを見ると、重

力差による大きな違いはせん断応力についても見られなかった。減衰には内部減衰、外部減衰、履歴減衰、逸散減衰などがあるが、今回の重力 $1G$ 、 $G/6$ の解析では、これらの減衰の値は同じものと仮定した。しかし月には空気、水が存在しないことから、地球と比べると外部減衰の値が非常に小さくなると考ええる。よって地球と月で同じ規模の地震、月震が起きた場合、重力の違いのみに関しての比較であれば揺れ方は同じであるが、減衰を考慮すると差が出ると予想される。今後、さらに種々のパラメーターについて検討を加え、適切な値のもとでの解析が必要と判断される。

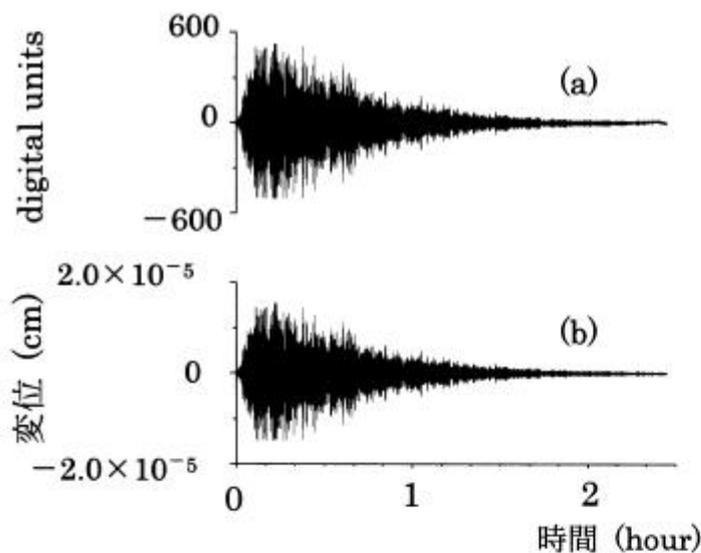


図1 月震の観測記録と変位波形

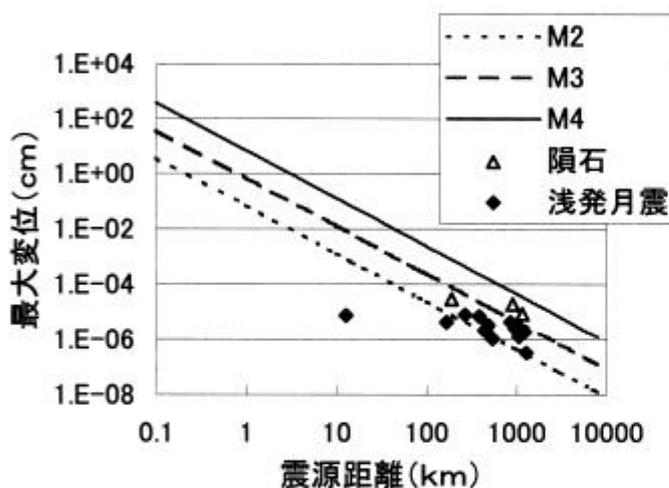


図2 震源距離と最大変位の関係

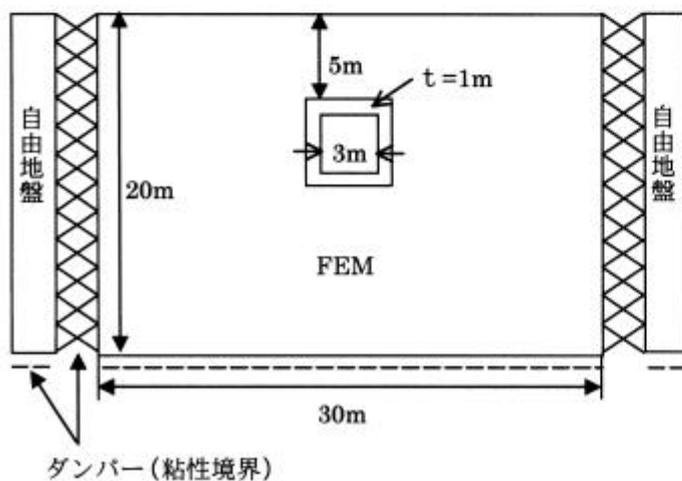


図3 解析モデル

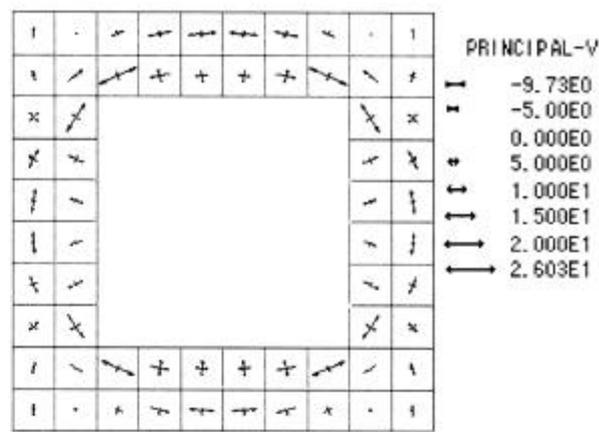


図4 月 (G/6)

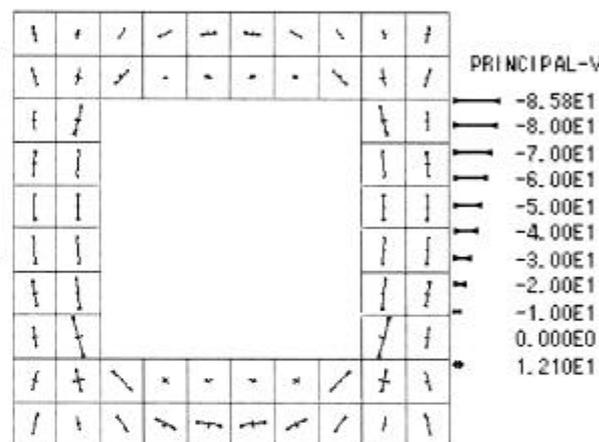


図5 地球 (1G)

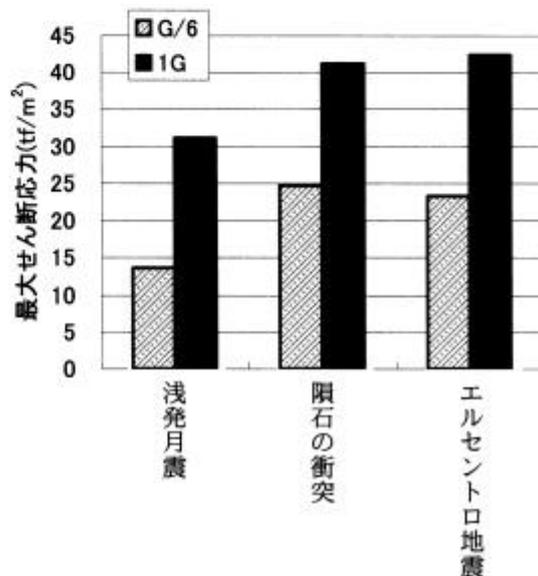


図6 最大せん断応力