

九州大学工学部 正員 山内豊隆
 正員 後藤恵之輔
 学生員 上山邦彦
 鹿児島高専 正員 利田秀一

1. まえがき

乱したシラスは粒状体と考えることができるが、乱さないシラスは固結効果に起因すると考えられる引張り強度を持っているので、その力学的な性質は特異なものとなっている。また、引張り強度については、シラスの種類によりかなり差がある。このようなシラス層は、ほとんど垂直に近い斜面でも数10 mの高さでその安定を維持している所も多い。そこで引張り強度の異なる3種類のシラスの切土斜面を対象に有限要素解析で斜面内に発生する引張り応力を検討した結果、斜面の傾斜角が垂直になるほど引張り応力領域がノリ肩部に拡大し、その最大値を示す位置がノリ肩($\theta=60^\circ$)、中腹($\theta=80^\circ$)、ノリ先($\theta=90^\circ$)、と変化していることがわかった。また、引張り強度の小さいシラスほど発生する引張り応力の値が大きい。このように、乱さないシラス斜面の安定性については、特に引張り強度を考慮して論ずる必要がある。

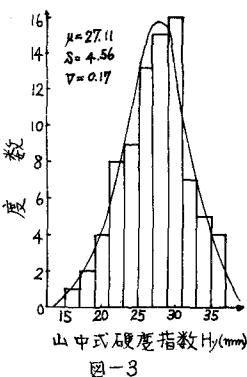
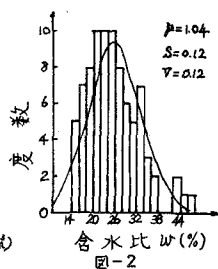
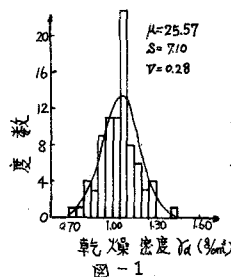
シラスの持つ引張り強度は特殊な軸引張り試験、あるいは圧裂引張り試験により求めることができる。また、最近シラスの簡単な判別分類を目的とした山中式土壌硬度指数がよく測定されているし、土質工学会シラス基準化委員会においても硬度指数を用いた判別分類法を検討中である。そこで本報では、シラスの引張り強度と山中式硬度指数との関係を回帰分析によって明らかにしてみた。

2. 地山シラスの諸定数の度数分布

建設省九州技術事務所で行なわれた一連の試験結果にもとづいて、地山シラスの乾燥密度 ρ_d 、含水比 w 、および山中式硬度指数 H_s の度数分布を図-1, 2, 3に示す。これらの測定値の度数分布が正規分布に適合しているかどうかを調べるために、測定値の平均値、および標準偏差をもとにして理論度数を求め、 χ^2 検定を行なった。その結果、乾燥密度 ρ_d 、含水比 w 、および山中式硬度指数 H_s は、それぞれ有水準5%で妥当であることがわかった。なお、ここで用いている有水準5%というのは、統計量に対する信頼度として習慣的に用いられている標準値である。また、 χ^2 検定を行なうにあたって、階級の数に直接検定に關係することに注意する必要がある。いずれにしても、乾燥密度 ρ_d 、含水比 w 、および山中式硬度指数 H_s の分布は、正規分布あるいはそれに近い分布の母集団として考えることができる。乾燥密度 ρ_d 、含水比 w 、および山中式硬度指数 H_s の平均値 μ 、標準偏差 S 、変動係数 V は図中に示している。

3. 乾燥密度、含水比と山中式硬度指数および引張り強度の關係

地山シラスの山中式硬度指数あるいは引張り強度は、固結効果、密度、含水比、間隙比、堆積状態、風化状態、および粒度などの物理的諸性質が相互に關係しあった結果として測定されたものと考えられる。したがって、どのような要因が大きく影響しているかを知る必要がある。しかし上述の全ての物理的性質を考慮に入れて解析することは非常に困難であるし、不可能であるように思われる。そこで本報では、乾燥密度 ρ_d と含水比 w に着目して、山中式硬度指数 H_s と ρ_d 、 w の關係、および引張り強度 σ_t と ρ_d 、 w の關係を調べてみた。図-4, 5, 6, 7はそれらの相関關係を示すもので、図中の通線あるいは曲



線は、最小自乗法によって求めた次の回帰式を表わしている。

図-4: $H_y = 21.54x_d + 4.62$ (相関係数 $r = 0.588$) — (1)

図-5: $H_y = -0.35w + 36.10$ ($r = 0.547$) — (2)

図-6: $\ln O_e = 29.57x_d^3 - 83.09x_d^2 + 78.35x_d - 28.05$ ($r = 0.867$) — (3)

ただし、図-7においては引張り強度 O_e と含水比 w との関係において相関が弱いと思われるので、式として表わしていない。また、式(3)は最小自乗法による3次の最良多項式近似を行なった。

次に重回帰分析によって、 H_y と x_d , w の関係、および O_e と x_d , w の関係を求めると次式で与えられる。

$H_y = 15.64x_d - 0.23w + 16.56$ (重相関係数 $R = 0.666$) — (4)

$\ln O_e = 6.26x_d - 0.04w - 10.32$ ($R = 0.819$) — (5)

分散分析表を表-1に示す。

表-1 式(4)と(5)の分散分析表

要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比
回帰 ⁽⁴⁾	974.58	2	11.89	32.63**
回帰 ⁽⁵⁾	15.67	2	0.52	30.60**
残差 ⁽⁴⁾	775.54	2	387.78	
残差 ⁽⁵⁾	31.96	2	15.98	
総和 ⁽⁴⁾	1750.12	4		
総和 ⁽⁵⁾	47.62	4		

**は1%で有意

以上の結果から山中式硬度指数および引張り強度と乾燥密度との関係

は正の相関であるが、含水比との関係は負の相関である。

4. 山中式硬度指数と引張り強度の関係

山中式硬度指数と引張り強度が別々に測定されているため、両者の関係を求めるにあたって何らかの媒体となる項が必要である。ここでは、図-4, 6 からわかるように両者に対して相関性が高いと思われる乾燥密度をパラメーターにとり、回帰式(1)と(3)を結びつければ、図-8の曲線が得られ、その関係式は次のとおりである。

$\ln O_e = 0.002H_y^3 - 0.179H_y^2 + 4.350H_y - 38.462$ — (6)

式(6)は、回帰式の線型結合により求められているため、実際に同一地点の山中式硬度指数と引張り強度を測定して検定する必要があると思われる。しかし、図-8から明らかなように、硬度指数が大きくなるに伴って、引張り強度も指数的に増加する傾向に疑問の余地はないようである。

5. まとめ

乱さないシラス斜面の安定性を検討する際、引張り強度を考慮して論ずる必要性があることは、前述したとおりである。したがって、現場において引張り強度の簡便な評価方法があれば、それは非常に有効なものであるといえる。その意味で本報で求めた山中式硬度指数と引張り強度の関係は、現場で直接測定できる硬度指数から引張り強度を評価できるので意義深いものと思われる。

参考文献

- 1) 村田秀一・山内豊聡(1977): 乱さないシラスの強度特性の要因について, 土壌工学会論文報告集, Vol. 17, No. 3, pp. 81~91.
- 2) 春山元寿(1970): 硬度によるシラスの工学的判別分類法, 応用地質, Vol. 16, No. 2, pp. 82~89.
- 3) 建設省九州技術事務所(1977): シラスの分類に関する調査業務。

