

8 近赤外リモートセンシングによる斜面調査法に関する研究

建設省土木研究所 笹原克夫
工藤賢二
中村良光
アジア航測 織田和夫

1. はじめに

急傾斜地や道路のり面の崩壊防止工事の計画・設計のためには表層土厚及び土の含水量を推定することが重要である。従来ボーリング等によりそれらの調査を行ってきたが、これらの方法では斜面上の1点のデータしか測定できず、面的な分布を調査しようとする不経済である。しかし地上リモートセンシングによれば面としての測定ができるので、特に表層土厚や表土の含水量の斜面上の分布に関する調査には有効である。本報では前報に続き、近赤外リモートセンシングによる表層土の含水量の推定の可能性について検討を行った。

2. 目的

前報では近赤外ビデオ映像による輝度と土の含水比には負の相関関係がみられることを実験により確認し、近赤外ビデオによる表層土の含水比の推定の可能性を示した。本報ではさらなる検討として土の物性により、輝度と土の含水比の関係がどのようになるかを実験により検証する。

土の物性が輝度と含水比の関係に与える影響について考える。可視、近赤外域の地表面の反射エネルギー L は以下のように表される。

$$L = f(w, r, E, B, c) \quad \text{-----} \quad (1)$$

w : 表層土の含水量(比) r : 地表面の粗度 E : 地表面入射エネルギー B : 植生に関する指標 c : 地表面構成物の色(反射波長)

L がすなわちビデオで計測される輝度となる。すると上述の輝度と土の含水比の関係は上式における $L-w$ の関係となる。ここで入射エネルギー E が一定であり、植生の影響がないものとする $L-w$ に影響を与える要因は地表面の粗度 r と地表面の色(反射波長) c となる。よって本報では土の物性として粗度と色を取り上げ、それらの要因が可視、近赤外リモートセンシングの輝度(反射率)と土の含水量の関係に与える影響を検討する。

3. 実験方法

前報では近赤外フィルタを取り付けたモノクロCCDビデオカメラを用いて近赤外域のみで実験を行った。今回は分光光度計を用いて可視光線から近赤外域までの範囲で土の含水量と分光反射率の関係を検討した。実験装置については図-1に、分光光度計による測定波長を表-1に示す。

次に実験に使用した試料は川砂2種類、まさ土を主体とした森林土、寒水石(晶質石灰岩)であり、各々構成粒子の色((1)式の c)が異なる。また(1)式の r (粗度)としては粒径を考えた。こ

これらの色と粒径の異なる試料を用いて、1つの試料につき風乾から飽和まで6種類含水率を変化させて実験を行った。実験条件を表-2に示す。

なお分光反射率については以下の式により求めた。

$$R_{\lambda} = 10^{(VS-VW)} \times 100 \quad \text{---- (2)}$$

R_{λ} : 分光反射率 VS : サンプルの分光光度計の計測値 VW : 白色板の分光光度計の計測値

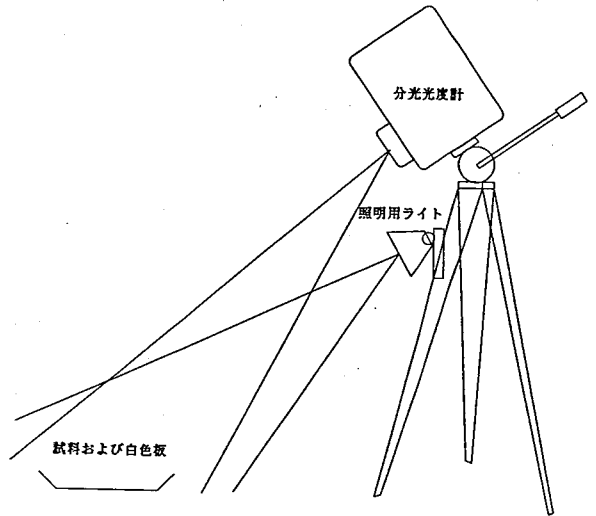


図-1 実験装置

4. 実験結果

実験結果については、含水率ごとの波長と分光反射率の関係を、各実験条件毎にまとめた。これらの関係は4つのパターンに分類される。パターンごとの代表例を図-2~5に示す。基本的には波長が大きくなるほど反射率も大きくなる。しかし波長が850nm以上になると横ばいとなる。図-2には川砂1の粒径1.2~5mmの結果を示すが、これは含水率が大きいほど反射率は小さい。ただ風乾状態で明らかに大きい他は反射率の差は小さく、判然としない。図-3は森林土0.25~5mmの結果であるが、含水率が中間4の反射率が他より大きくなっている。これは試料土と水を混合する際に土粒子が団粒状で吸水するので、一様に湿潤させることができなかつたためと考えられる。図-4は森林土0.25mm以下であるが、飽和状態と中間1が反射率が高くなっている。これはこの両者は表面に水面が現れ鏡面反射を起こしたためと考えられる。最後に図-5は寒水石である。これは反射率が600nmで最大となっている。また風乾状態以外の反射率の差が10%程度と大きい、これは反射率の大きい範囲では測定誤差が大きくなるためと考えられる。

測定波長 (nm)	475	525	600	850	1050
電磁波としての種類	Blue	Green	Red	近赤外	
	可視光線				

表-1 分光光度計による測定波長

サンプル名		粒径(mm)	含水率 (%)				
			風乾	中間4	中間3	中間2	中間1
川砂1	1.2~5.0	0.82	7.28	7.35	14.15	26.06	41.53
	0.25~1.2	0.72	7.44	21.96	25.16	16.09	52.09
	0.25~	1.3	7.91	14.17	20.81	29.58	36.08
森林土	1.2~5.0	3.02	18.18	28.65	43.97	58.89	65.87
	0.25~1.2	3.56	19.7	34.91	48.41	61.27	82.17
	0.25~	4.78	15.47	27.18	37.91	50.49	61.94
川砂2	1.8~2.2	0.47	5.53	8.76	13.94	21.11	25.89
寒水石	1.0程度	0.24	7.12	11.19	14.48	27.45	36.66

表-2 実験条件

以上4つのパターンが見られたが、寒水石を除いて基本的には図-2のパターンの関係を示すと考えられる。また波長が大きい方が含水率の違いによる反射率の差が大きくなっている。よって850nm以上の近赤外域波長の分光反射率測定は土の含水率の差を検出するのに有効である。

5. 解析及び考察

以上の実験結果を土の種類による反射率と含水量の関係と、土の粒径による反射率と含水量の関係について整理する。図-6では種類別に、図-7、8では粒径別に含水量と反射率の関係をまとめた。なお土の種類は(1)式のcに相当し、土の粒径はrに相当する。また含水率は使用せずに、各実験ごとの含水率を飽和時の含水率で割ったものを疑似的に飽和度として使用した。

まず図-6より土の種類別にみると、寒水石の反射率が他の土に比べて格段に大きいことがわかる。これは寒水石は白色の晶質石灰岩粒子のみから構成されているためと考えられる。次に川砂1と2、寒水石は飽和度0.0から0.4程度までの間で反射率が低下し0.6から1.0まではほぼ変化しないのに比べて、森林土は飽和度0.6程度まで反射率の低下が見られる。この理由を考えると前者は水分を吸収しない鉱物粒子より構成されているので風乾時と湿潤時での反射率の差異はあるが、ある程度以上濡れてしまえば反射率の差異はほとんどなくなってしまうと考えられる。それに対して森林土は団粒構造の粒子より成り粒子が水を吸収するので、一様に湿潤するためにはかなりの量の水が必要になるためと考えられる。また川砂1より川砂2の方が反射率が大きいのは後者の方が白色の鉱物粒子を多く含むためと考えられる。

次に図-7、8より各々森林土、川砂1について粒径別の違いを検討する。粒径が小さいほど反射率及び飽和度の上昇に伴う反射率低減量は大きくなる。なお森林土の0.25mm以下で飽和度0.6以上で反射率が大きくなっているのは表面に水面ができ鏡面反射を起こしたためと考えられる。また森林土の方が川砂1より反射率及びその低減量が大きい。また粒径ごとの差異も大きい。この理由は土の種類別で考えたと同じように森林土の土粒子は団粒構造であること、川砂1は鉱物粒子から構成されるためと考えられる。

6. おわりに

表層土の飽和度の差異を検出するためには可視光線より近赤外域のリモートセンシングが有効なこと、土粒子が単一の鉱物粒子であるよりは小さな粒子が集合して団粒構造を作っている方が飽和度の上昇に伴う反射率の低減量が大きいこと、そして土の粒径範囲が小さい方が反射率の低減量が大きいことが判明した。また実際飽和度の差異が反射率の差となって現れるのは、せいぜい飽和度が0.4から0.6程度の範囲までであるが、団粒構造の土でないとは反射率の差も小さく判別が難しいことがわかった。今後はより多くの種類の土について検討し、土の種類と反射率の低減量との関係を検討すること、及びより粒径分布範囲の大きな土について検討する必要がある。

参考文献

- 1) 土屋清(編): リモートセンシング概論, 朝倉書店, 1990
- 2) アジア航測(社内資料): リモートセンシングの概要, 1984
- 3) 西川純一、吉松弘行、工藤賢二: リモートセンシングによる斜面表層土層厚推定のための基礎実験, 平成2年度砂防学会研究発表会概要集, pp.350~353, 1990

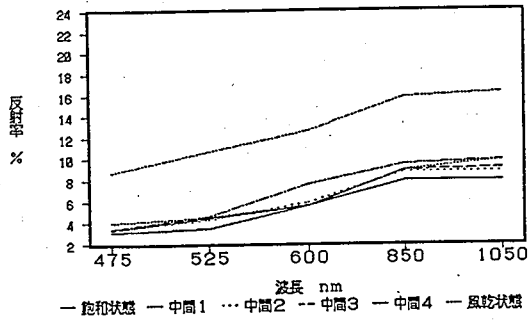


図-2 川砂1 (1.2~5mm)

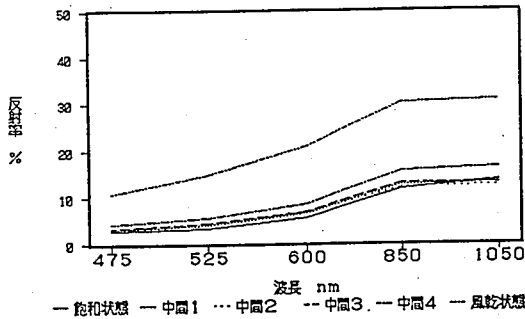


図-3 森林土 (0.25~1.2mm)

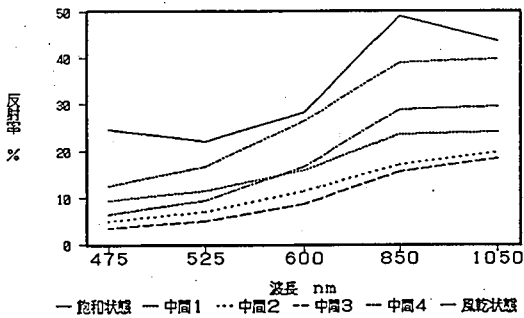


図-4 森林土 (0.25mm以下)

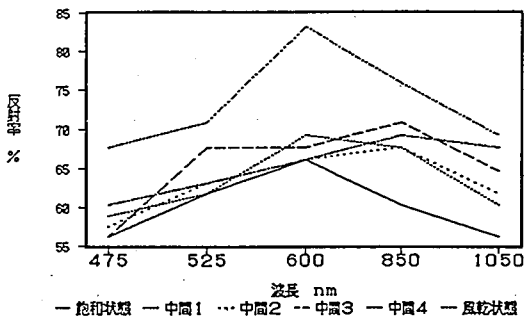


図-5 寒水石 (1mm程度)

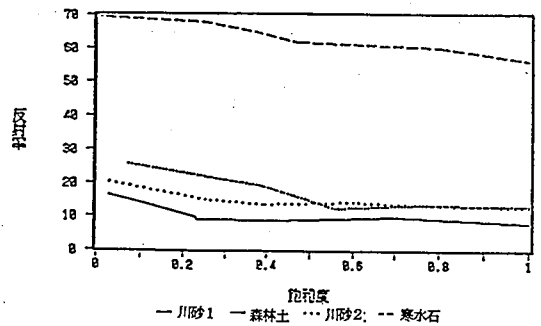


図-6 土の種類別の飽和度-反射率

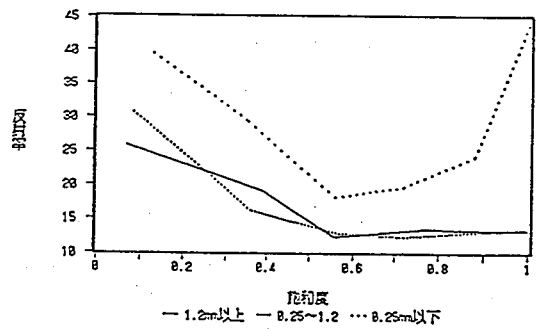


図-7 粒径別の飽和度-反射率 (森林土)

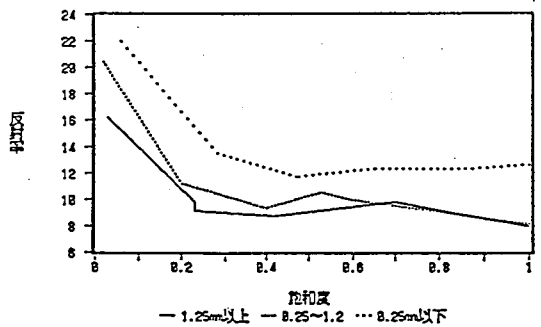


図-8 粒径別の飽和度-反射率 (川砂1)