

建設省 土木研究所 ○西川 純一
吉松 弘行
工藤 賢二

1. はじめに

急傾斜地崩壊対策事業などの斜面、のり面の防災工事においては、その対策工種、対策規模を決定するために、事前の調査によってできるだけ詳しい情報を得ることが必要である。とくに斜面崩壊を引き起こす可能性のある部分としての表層土壌、崩積土、強風化岩など表土の分布とその厚さを知ることが重要である。今回、これをリモートセンシング手法により求めるための基礎実験を実施した。

2. 実験概要

強い日差しにさらされた地表面で岩石、表土の種類、湿り具合により手に感じる温度が違うという現象がある。これは、表土の種類、含水状態により熱伝導過程が異なり、結果として地表面温度が異なるというように説明される。この基礎実験はこの原理を利用した調査手法の可能性を探るものである。

斜面崩壊分野でのリモートセンシングの利用は、これまで、航空機・人工衛星リモートセンシングによる崩壊地の抽出とその経験則に基づく崩壊危険地の抽出という、その手法のもつ広域性、同時に着目するものがほとんどであった。それに対し、表土の分布、厚さを求めようというリモートセンシングの利用事例は数少ない(たとえば1)2))。

近赤外域あるいは熱赤外域のリモートセンシングを表土に関する調査に当てはめて考えると、近赤外域の反射エネルギーは表土表面の水分量、地表面粗度、入射エネルギー、地表面の色、植生の状況等の関わったものとして表れ、熱赤外域においては地表面温度が表土表面の水分量、地表面放射率、入射エネルギー、表土の密度、表土の厚さ、表土の熱伝導率等の関わったものとして表れると考えられる。ただし、この場合、各因子相互の影響もあると考えられそれぞれは単純な表現とはならないと予想される。この実験では含水比、表土の厚さの2条件を選択し、他の条件を一定にした。

3. 実験方法

取り上げた条件である含水比と表土の厚さの違いのリモートセンシングデータへの表れを検討するために、2種類の実験を用意した。

使用センサは近赤外ビデオ(モノクロCCDビデオカメラに透過波長 $0.75\sim 0.90\mu\text{m}$ のフィルターを取り付けたもの)と熱映像装置(物体から放射される赤外線の内波長 $8\sim 14\mu\text{m}$ の熱赤外線を捉え、物体の表面温度を測定する)の2種類である。

実験1: 表土の含水比検知のための基礎実験

主に近赤外ビデオ画像による含水比検出の可能性を確認するものである。実験の概要をまとめると、

- ・ 8通りに含水比を変えた試料を用いて、屋内において近赤外ビデオ、熱映像撮影を行う。
- ・ 試料は豊浦標準砂（以下、標準砂と略す）と礫質砂の2種類で、同時に撮影を行う。
- ・ 実験は、水の温度の影響を避けるため、試料を外気温度に馴染ませる。
- ・ 実験開始前もしくは終了後に、各試料の含水比計測を行う。

実験2：表土の厚さ検知のための基礎実験

主に熱映像装置による表土の厚さ検知の可能性を探るものである。実験の概要を以下に示す。

- ・ 屋外に断熱材で囲んだコンクリート体（平面上で50×60cm）を設置し、各々の上に深さ5cm、20cm、50cmに試料を盛り、表土深さの異なる斜面をモデル化し、試料表面を近赤外ビデオ、熱映像装置で1時間おきに撮影する。
- ・ 試料の種類、含水比を変えて4通りのケースの実験を行う。
 - ケース1：風乾状態の標準砂
 - ケース2：風乾状態の礫質砂
 - ケース3：ケース1の試料の半分を飽和状態の標準砂と置換する
 - ケース4：ケース2の試料の半分を飽和状態の礫質砂と置換する
- ・ 観測と並行して日射量、気温、湿度、風速等を測定する。

4. 実験結果

4.1 表土の含水比検知のための実験

撮影は、各試料の調整後直ちに、それから1時間半経過後の2回行った。飽和、風乾状態を除き、最終含水比は特に礫質砂において低下している。これは表面の乾燥と水分の自重による下方への移動が原因である。含水比と近赤外ビデオによる輝度の関係を図1に示す。標準砂、礫質砂とも含水比と負の相関を持つことが分かる。含水比と熱映像装置によって得られた表面温度の関係を図2に示す。含水比が高いほど温度が低い傾向にあるのは、試料砂と水を混ぜ合わせたとき、水の温度が砂の温度より低かったためと考えられる。

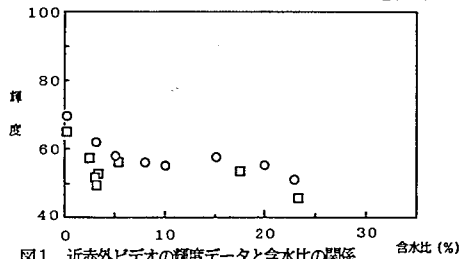
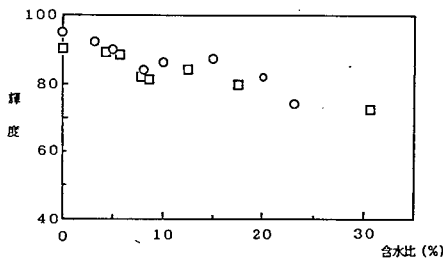


図1 近赤外ビデオの輝度データと含水比の関係
 (上)標準砂 (下)礫質砂
 ○: 1回目の測定 □: 2回目の測定 (1回目の1.5時間後)

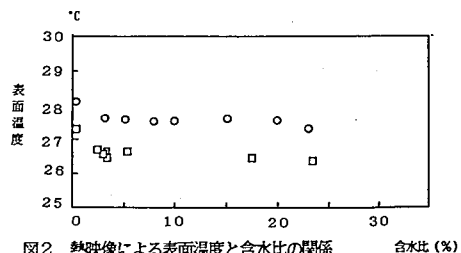
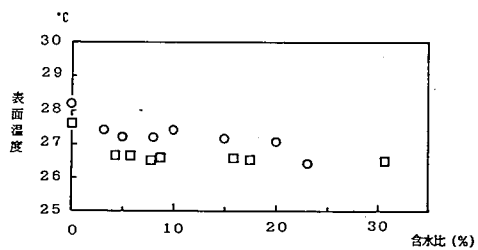


図2 熱映像による表面温度と含水比の関係
 (上)標準砂 (下)礫質砂
 ○: 1回目の測定 □: 2回目の測定 (1回目の1.5時間後)

4.2 表土厚さ検知のための基礎実験

ケース1、2とケース3、4の実験は別個の日に行われた。前者は終日日射が強く晴天であるのに対し、後者は雲が多く気温の変化は少なかった。近赤外輝度の結果の1例（標準砂、風乾状態）を図3に示す。表土厚さ50cm部の輝度がやや高いが表土厚さ5cm部、20cm部との差は小さい。時間経過に伴い輝度が単調減少しているのは、太陽の高度、方向の変化によりカメラへの入射光量が減少したと推測される。礫質砂の風乾状態のケース2では、各厚さでほとんど差がないが、標準砂より全般に

輝度は小さい。風乾、飽和試料を同時に比較したケース3、4では、風乾状態の輝度がやや高く、表土厚さによる差は若干あるがその傾向ははっきりしない。

熱映像による表面温度の時間変化をケース1についてみると（図4）、表土厚さ5cm部が他より1~4°C程度低く、20cm部と50cm部の表面温度の差は1°C以内である。風乾状態の礫質砂（ケース2）についても類似の傾向がある。風乾・飽和試料を同時に比較測定したケース3、4の場合、ケース3（図5）の風乾状態において表土厚さ5cm部の表面温度がわずかに低い、飽和状態及びケース4では各厚さの違いははっきりしない。飽和状態の表面温度は風乾状態のそれに比べて低い傾向ははっきり表れている。

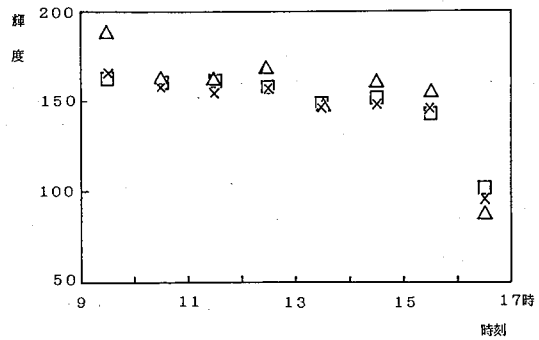


図3 近赤外ビデオによる輝度の時間変化
実験2, ケース1 (標準砂, 風乾状態)
□: 表土厚さ5cm部 ×: 表土厚さ20cm部 △: 表土厚さ50cm部

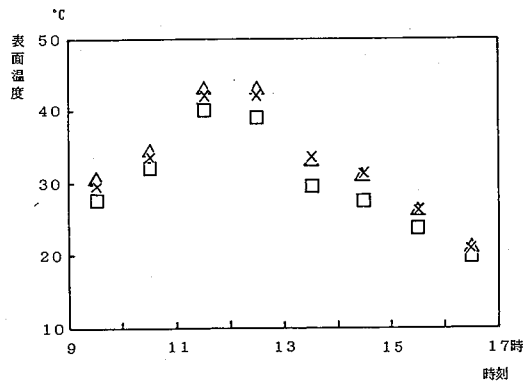


図4 熱映像による表面温度の時間変化
実験2, ケース1 (標準砂, 風乾状態)
□: 表土厚さ5cm部 ×: 表土厚さ20cm部 △: 表土厚さ50cm部

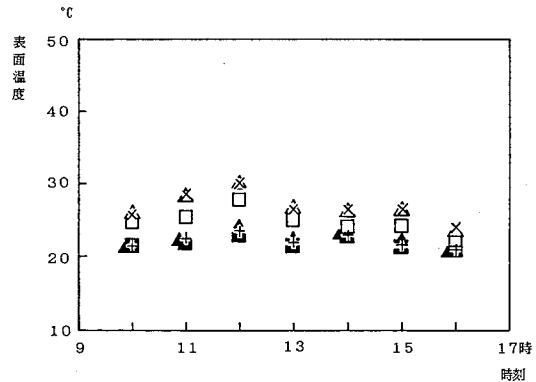


図5 熱映像による表面温度の時間変化
実験2, ケース3 (標準砂, 風乾及び飽和状態)
風乾状態 飽和状態
□: 表土厚さ5cm部 ■: 表土厚さ5cm部
×: 表土厚さ20cm部 +: 表土厚さ20cm部
△: 表土厚さ50cm部 ▲: 表土厚さ50cm部

5. 考察

実験1より、近赤外ビデオ映像による輝度データと含水比には負の相関関係がみられることを確認した。これは表土水分が近赤外域の電磁波を吸収するためである。近赤外ビデオで捉えられるエネルギーはほとんど太陽光線等の反射なので、影等の影響を受け易いが、可視域の画像演算などによりそ

れを取り除くことができるならば、含水比の推定に十分利用できると考えられる。

実験2の表土の厚さ検知のための基礎実験において、近赤外ビデオの輝度データと表土厚さの間に明確な関係はみられない。ケース1、3、4では表土の厚さにより輝度の大小関係が若干みられるが、これはカメラの角度の差によるものと推定される。従って近赤外ビデオデータ単独から表土の厚さを測定できる可能性はほとんどない。

表土厚さと熱映像による表面温度の関係は、ケース1、2では、表土の厚さ5cm部の表面温度が他より低くなっている。これは表面近くにコンクリート（モデル基盤岩）が存在するため見かけ上表面付近の熱伝導率が大きくなったためと解釈できる。表土の厚さが薄いほど、表面近くの平均熱伝導率は大きくなる。地表における流入熱量が等しいと考えると、熱伝導率が大きい場所ほど温度勾配は小さくなる。熱が表面から地下へ流れる場合、熱伝導率が大きいほど地表面の温度は低くなる。熱が表面から地上に流れる場合逆の現象が起こることになる。ケース3、4において、表土厚さの違いによる表面温度の違いが明確に表れていないのは、このケースの実験当日が終日曇天で日射に乏しい日であったため、表土付近での熱の移動がごく小さかったためと解釈されよう。

表土の含水比は地表の温度変化にも影響を及ぼすと考えられる。今回の実験（ケース3、4）では、全体的に風乾状態のものよりも、当初飽和状態にした試料の方が表面温度は低い。含水比が大きくなると、一般的に熱伝導率が大きくなり、比熱も大きくなるので、表面温度は上昇しにくくなる。また、表面もしくは内部で水分が蒸発すると気化熱が奪われる。このため表面温度は含水比が高い場合ほど低くなると考えられる。

6.まとめと今後の問題点

熱映像装置では非常に薄い表土（5cm程度の厚さ）と厚い表土（20cm以上の厚さ）を区別することは可能であるが、日射の程度によっては難しい場合がある。実際の現場では様々なノイズ要因が考えられ、得られた温度分布がそのまま表土の厚さを反映するとは限らない。地表面の放射率の違い、含水比を含めた表土の質の違いが大きな影響因子としてあげられる。さらに、地表面に厚い植生があるとその妨害要因が大きいと考えられるので、具体的な適用に向けては、今後、表土の分布、性質がよくわかっている現場で実際の適用性とその限界を試験する必要がある。

文 献

- 1) 小堀 慈久・網干 寿夫：MSSデータにおけるまさ土分光特性に関する研究，呉工業高等専門学校研究報告，33,2,PP.153-165,1985
- 2) Nash,D.B. : Detection of a Buried Horizon with a High Thermal Diffusivity Using Thermal Remote Sensing,54,10,1988