

# リモートセンシング手法による斜面崩壊の予測に関する研究 (その2)

——モデル斜面による土の含水比測定実験——

木村 薫 上野 裕治  
平間 邦興

## Application of Remote Sensing Techniques to Monitoring of Slope Failure (Part 2)

——Study on Measurement of Soil Moisture on Model Slope——

Kaoru Kimura Yuji Ueno  
Kunioki Hiramata

### Abstract

The purpose of the studies is to measure soil moisture by remote sensing techniques for monitoring of slope failures at earthwork sites. This report arranges the results of some remote sensing tests to measure soil moisture on a model slope made of Kantō-loam. The multi-spectral camera was used as the main sensor. The spectrometer and the thermal scanner were used as sub-sensors. As a result, it was clarified that it would be effective to use IR (Infra Red) data or include IR bands of the multi-spectral camera, and this tendency was substantiated by data of the spectrometer. It was also confirmed that the thermal scanner would be useful.

### 概要

この研究は、盛土工事などにおける造成斜面の含水比の面的な分布を、リモートセンシング手法を用いて把握し、斜面安定予測の一調査手法とするものである。この報文は、前報文 (No. 19) に示した基礎実験結果を基に実験のスケールを拡大して、関東ロームによるモデル斜面を造成し、各種センサーを用いて含水比測定実験を実施した結果と検討をまとめたものである。センサーはマルチスペクトルカメラによる方法を主眼とし、他に分光反射率計とサーマルスキャナーを使用した。実験の結果、マルチスペクトル写真のうち、赤外線領域を含む撮影バンドに良い結果が認められ、この傾向は分光反射率特性からも裏づけられた。また、サーマルスキャナーの有用性についても確認できた。

## 1. まえがき

前報<sup>1)</sup>では、実験試料として粘土、ローム、山砂の3種を使用し、センサーとしてはマルチスペクトルカメラ、分光反射率計、および赤外線放射温度計を用いて、それぞれの試料の含水比変化に対する各センサーの有効性について検討した。

この報告は、前報の結果を基に実験規模を発展させて、関東ロームによるモデル斜面を造成し、各種センサーを用いて地表含水比の測定実験を行なった結果と検討をまとめたものである。

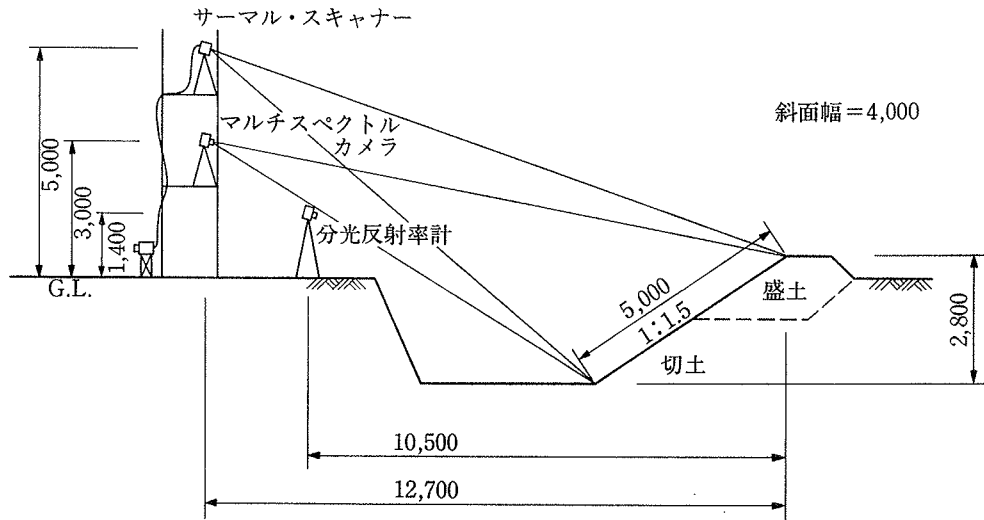
## 2. 実験概要

### 2.1. 実験条件

2.1.1. モデル斜面の造成とセンサーの設置 モデル斜面の造成は、関東ローム層 (東京都清瀬市、大林組技術研究所内) に図-1に示すように斜面下半部は切土、上半部は盛土からなるように造成した。

斜面の含水比調整および養生期間は約1週間とし、測定実験2日前まで左半部斜面の高含水比部には朝夕2回散水してシートをかけ、右半部斜面の低含水比部には雨天日のみシートをかけて養生した。

対象斜面には、各種の測定および解析の基準とするためにメッシュを設定した。メッシュサイズは50cm×50cmとし、横方向6×縦方向10の合計60メッシュとなる。今回の実験ではセンサーとしてマルチスペクトルカメラ



図一1 モデル斜面断面およびセンサー設置図

ラを主として使用し、補足的に分光反射率計、およびサーマルスキャナー（熱映像装置）を使用した。またこの3種のセンサーは、それぞれ視野角が異なるため、図一1に示すように異なる地点から撮影を行なった。

モデル斜面の状況を写真一1、センサーの設置状況を写真二に示す。

2.1.2. 気象条件 実験日時および気象条件は次のとおりである。

日時：昭和54年6月28日

11時00分～13時00分

天候：うす曇

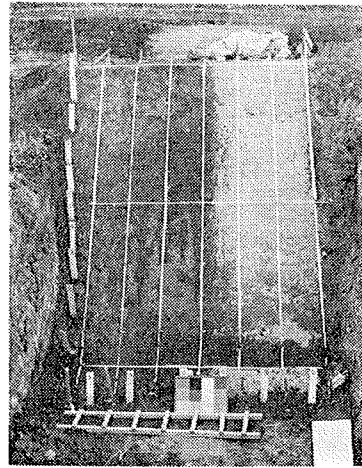
気温：29.2～32.0℃

湿度：60～64%

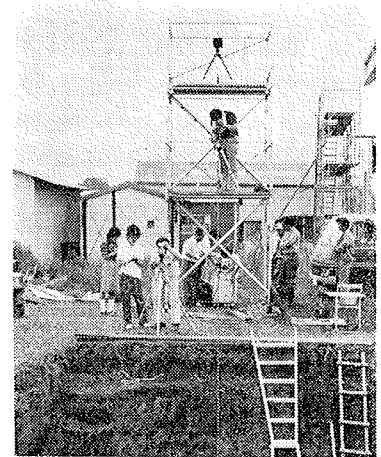
2.1.3. 地表含水比の測定方法 地表含水比の測定にあたっては、まず各センサーによる撮影および測定を実施後、ただちにモデル斜面の表層0～10mmの範囲で、各メッシュごとにその中心付近でサンプリングをおこなった。サンプルは各メッシュNo.ごとにビニール袋に入れて良く混合し、この中からランダムに3個の含水比を測定し、平均値を各メッシュNo.における含水比とした。

2.2. マルチスペクトルカメラによる測定方法

一般にマルチスペクトルカメラ撮影とは、4台以上のカメラに異なるフィルムとフィルターを装てんし、それぞれ異なる波長バンドの映像を得る方法である。今回の実験では撮影距離が11m前後と短く、固定点からの撮影であることから、1台のカメラを用いてフィルムとフィルターを交換し、マルチスペクトルカメラと同様のシステムとなるように配慮した。



写真一1 モデル斜面



写真二 センサーの設置状況

使用したカメラはハッセルブラッド500ELであり、フィルムとフィルターの組合わせ、および撮影バンドは表一1に示すとおりである。

写真処理の段階では、以後の解析の便を図ってすべてポジフィルムに処理した。濃度測定はマイクロデンシトメーター（さくらPDM-15）を使用し、濃度計固有の特性による補正に加えて、同時撮影したグレースケールによる濃度補正を行なったものを濃度値とした。

2.3. 分光反射率計による測定方法

分光反射率計は、きもとPM-13を使用し、すべてのメッシュの中央付近について、400～1,050nm間を25～50nmピッチで測定した。解析では、含水比一分光反射率曲線を求め、マルチスペクトルカメラによる方法の補足的なデータとした。

2.4. サーマルスキャナーによる測定方法

使用したサーマルスキャナーは、日本電子サーモビューアー（JTG-IB）である。温度測定の原理は赤外線放射

フィルム	フィルター	撮影バンド
Tri-X 2403 (モノクロ)	なし	可視光領域
	コーニング7-83	紫外線領域(340~380nm)
	コーニング7-59	紫外線領域(280~500nm)
IR 2424 (モノクロ)	なし	可視光 + 赤外線領域
	ラッテン 89B	赤外線領域
	コーニング7-59	紫外 + 赤外線領域
Ektachrome 5256 (カラー)	なし (濃度測定時に 3色分解)	青色光領域
		緑色光領域
		赤色光領域

表一 使用フィルム, フィルターおよび撮影バンド

温度計と同様であるが, 面的な測定が短時間 (1~4 sec) で行なえること, データが熱映像として得られること, などを特徴とする。

測定は11時20分と11時50分の2回行ない, 今回は主としてサーマルスキャナーの有用性の検討を行なうにとどめた。

### 3. 実験結果とその検討

#### 3.1. 地表含水比と写真濃度

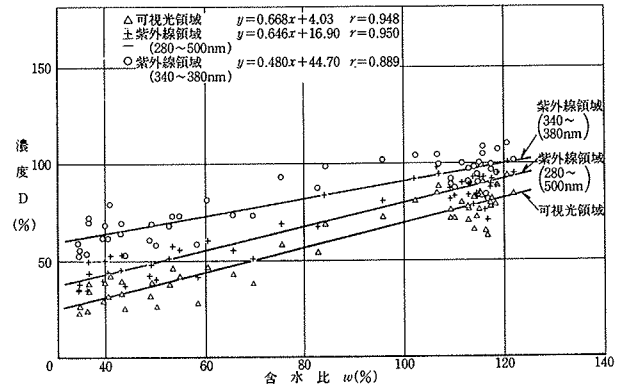
各フィルムごとに地表含水比と写真濃度の関係を表わしたのが図一2~4である。それぞれ各撮影バンドごとに一次回帰式と相関係数を求めた。撮影バンドを相関係数の高い順に並べると次のようになる。

撮影バンド	一次回帰式	相関係数
赤外線領域	$y=0.749x+13.10$	0.954
可視光+赤外線領域	$y=0.751x+14.00$	0.953
紫外+赤外線領域	$y=0.725x-14.60$	0.951
紫外線領域(280~500nm)	$y=0.646x+16.90$	0.950
可視光領域	$y=0.668x+4.03$	0.948
赤色光領域	$y=0.550x+12.50$	0.947
緑色光領域	$y=0.626x+32.60$	0.939
青色光領域	$y=0.631x+72.30$	0.927
紫外線領域(340~380nm)	$y=0.480x+44.70$	0.889

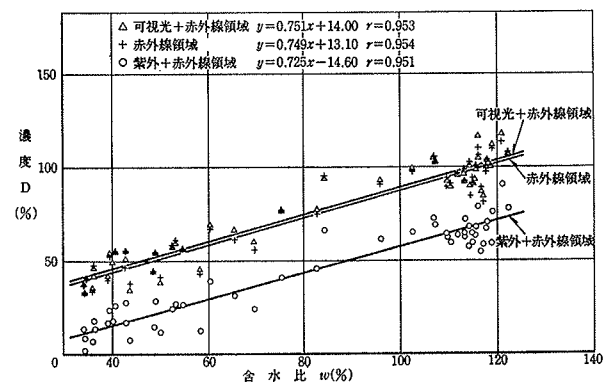
相関係数, および一次回帰式の傾きなどから, 赤外線領域を含む撮影バンドが良い結果を示すと判断され, フィルムについては IR 2424 フィルムが良い特性を示すようである。

なお, モデル斜面の含水比が調整によって高, 低含水比の両側に片寄ってしまい, 中間のデータが少なくなり, 相関係数が過剰に高い値を示す結果になっている。また今回の実験では, 盛土斜面部と切土斜面部の違いについては, 有意の差は認められなかった。

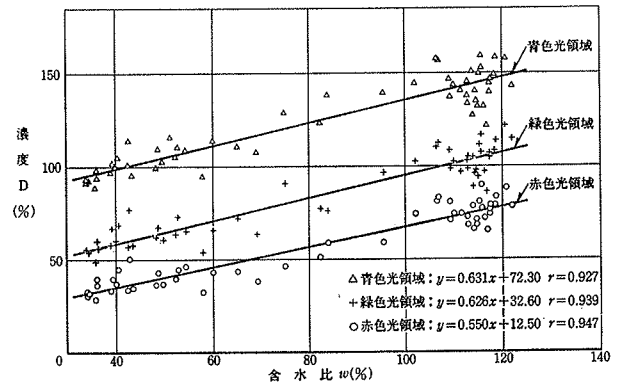
含水比分布幅を四つに分け, それぞれの含水比区分による分光反射率特性を示したのが図一5である。含水比



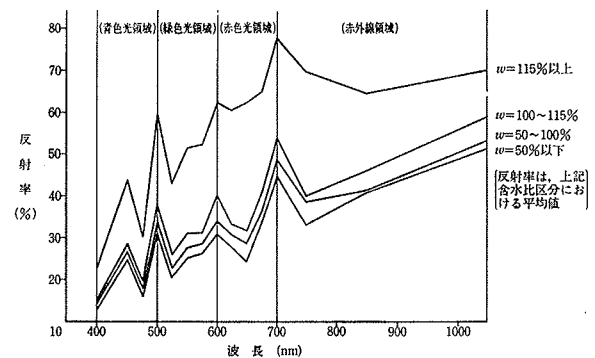
図一2 含水比—写真濃度 (フィルム: Tri-X 2403)



図一3 含水比—写真濃度 (フィルム: IR 2424)



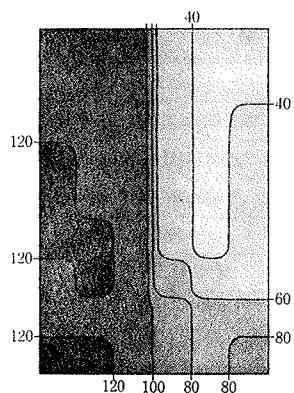
図一4 含水比—写真濃度 (フィルム: Ektachrome 5256)



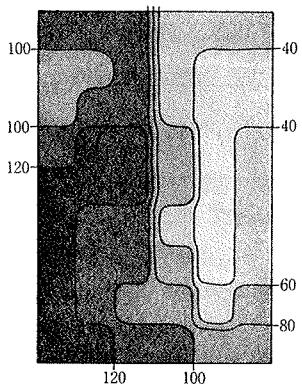
図一5 含水比区分による分光反射率特性

図-6

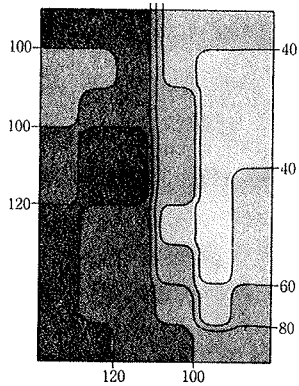
回帰式より求めた含水比コンター図



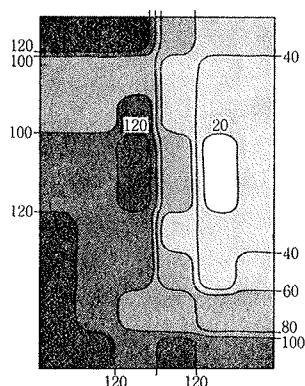
実測値



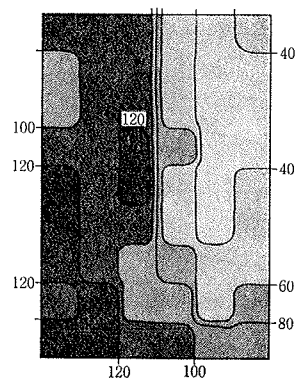
可視光領域



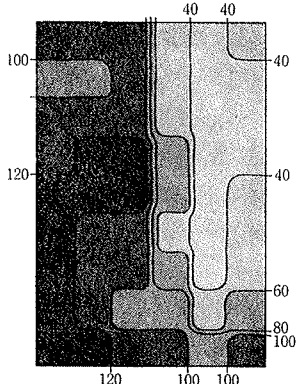
紫外線領域 (280~500 nm)



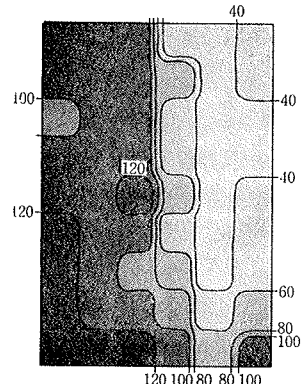
紫外線領域 (340~380 nm)



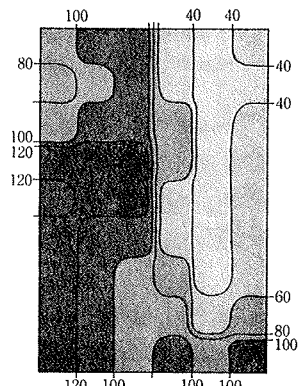
可視光+赤外線領域



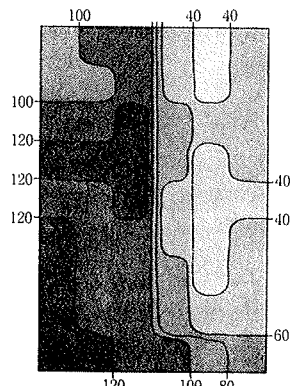
赤外線領域



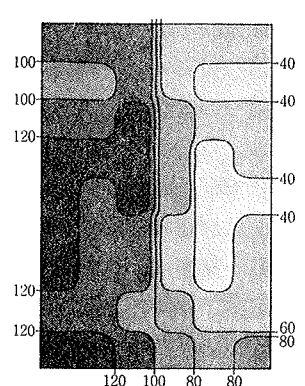
紫外+赤外線領域



青色光領域



緑色光領域



赤色光領域

の差に対応して反射率の差が大きくなるのは、650～800 nm 付近の赤色光～近赤外線領域であり、この傾向はマルチスペクトルカメラによる方法のうち、赤外線領域を含む撮影バンドが良い特性を示すという結果を裏づけるものである。

ここで図一2～4で求めた回帰式を用いて濃度測定値を代入し、含水比コンターマップとして実測値によるものとの比較を試みたのが図一6である。コンターのピッチは20%ピッチとラフであるため、極めて概略的な傾向の比較であるが、可視光+赤外線領域、赤外線領域、可視光領域、紫外線領域(280～500nm)などが全体的にバランスが良いようである。

### 3.2. 地表含水比と表面温度

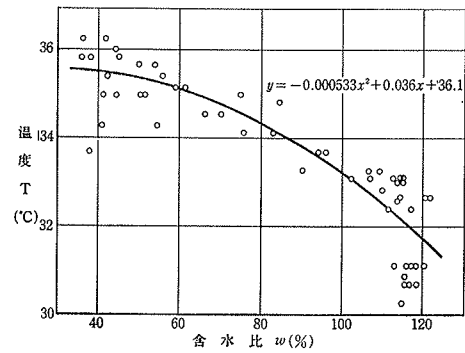
11時20分、および11時50分の2度にわたる含水比と表面温度の関係がそれぞれ図一7、8である。図のように二次回帰式に回帰してみたが、ばらつきが大きい。土の含水比の差に基づいて温度差が最も大きくなる時間は12時～13時とされている報告<sup>2)</sup>もあり、その意味では最も温度差の大きい時間帯に実験を行なったが、30分の時間差では解析上意味が薄く、また精度上からも、もっと小さい点での温度と含水比の対応を見る必要があるようである。

### 4. まとめと今後の課題

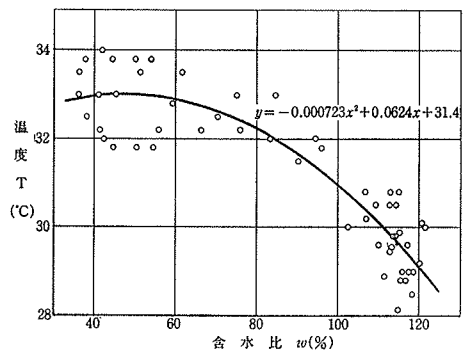
マルチスペクトルカメラによる方法の写真濃度と地表含水比の相関関係において、非常に高い相関関係が示され、特にIR(赤外線)フィルムの有効性が確認された。また、マルチスペクトルカメラによる方法は撮影時の操作が比較的簡便であり、解析結果とともに今後現場へ応用するにあたり最も実施しやすい方法であるといえる。しかし、写真処理、濃度測定などのプロセスにおいて煩雑な作業を必要とし、今後これらの解析処理過程のシステム化を計る必要がある。さらに、測定精度についても実用化にはまだ不満足な面があり、今後も精度向上のための研究が必要であると考えられる。

分光反射率計からは、これまでの実験でマルチスペクトルカメラによる方法の撮影バンドの選定にあたって、裏づけとなるデータが得られたと考えている。

サーマルスキャナーによる結果については、前回の赤外線放射温度計による実験と同様に、含水比と表面温度との相関性のあることが確認できたが、測定精度の面で問題が多く、また土の含水比以外で、表面温度に影響を与える要因についての不明確な点があり、今後このような問題についての基礎的な研究が必要である。



図一7 含水比—表面温度 (A.M. 11時20分)



図一8 含水比—表面温度 (A.M. 11時50分)

この研究は国際航業(株)との共同研究で進めているものであり、同社日野技術所、地質海洋事業部、今村遼平(次長)、柴田健一、長田俊明、各スタッフと共同で実施した実験結果報告である。

また、サーマルスキャナーによる実験にあたっては日本電子(株)理科学機器担当の方々にご多大なる御援助をいただいた。ここに記して深謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 木村, 平間, 上野: リモートセンシング手法による斜面崩壊の予測に関する研究, 大林組技術研究所報 No. 19, (1979)
- 2) 加藤: 遠赤外線の土壌調査への利用, ペドロジスト, 20-2, (1976)
- 3) 極檀, 渡辺: 赤外線カメラによる土の含水量の推定 (2), 土木学会第33回年次学術講演会講演概要集, (1978)
- 4) Kodak Aerial Films and Photographic Plates, Kodak Publication No. M-61, Eastman Kodak Co., (1972)
- 5) Kodak Filters, Kodak Publication No. XB-3, Eastman Kodak Co., (1976)