# 近赤外線を用いた土の含水比測定装置の開発

岩谷　隆文*　　吉野　修*
Takafumi Iwatani　　Osamu Yoshino

## 1. はじめに

一般土工事において土砂の含水比は品質管理において重要な管理項目である．

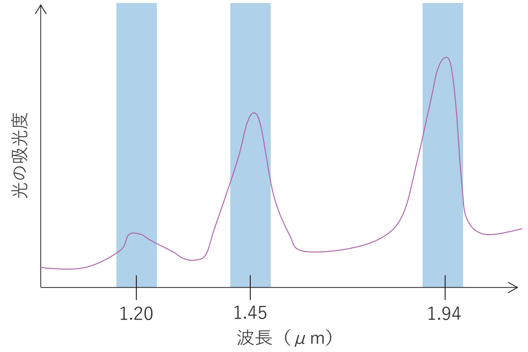
土の含水比測定方法[1]は，乾燥炉を使用した炉乾燥法（JIS A 1203）や電子レンジ法（JGS 0122）といった土砂に含まれる水分を乾燥させることで含水比を測定する乾燥法が規定されている．一方，これらの方法は設備規模や計測にかかる時間の長さが課題となる．そのため，現在，現場の含水比測定は，主にRI（ラジオアイソトープ）を用いた透過型のRI法が用いられている．このRI法は，非常に微量な放射線同位体を使用することから，現場導入時に手続きが必要なこと，測定時の準備，計測に労力と時間がかかるため，より迅速かつ簡便な測定方法の開発が求められる．

本報では，新たな土の含水比測定手法として，近赤外線を用いた含水比測定装置の開発を行い，現場から採取した土質試料に適用した結果について述べる．

## 2. 測定原理

特定の光（近赤外線）の中には，水に吸収される波長帯が存在する[2]．近赤外線では，特に**図―1**に示すように1.20 $\mu$m，1.45 $\mu$m，1.94 $\mu$mの波長帯は水に吸収される特性を持つため，光の吸収量（吸光度）を測定することにより含水量（含水比）を算定することが可能になる．

この特性を活用した近赤外線を用いた水を含んだ物質の水分量を測定する装置[3]が既に市販され，その装置を活用し土の含水比測定に活用する事例[4]も報告されている．



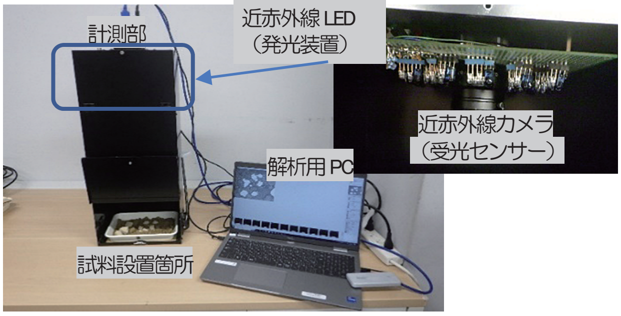

**図―1　水分の吸収波長範囲のイメージ**

## 3. 装置の概要

本装置は，既往の近赤外線水分測定装置に対して，測定原理は同様であるものの装置のスリム化と含水比分布を可視化するものである（**写真―1**）．

本装置の主な構成は，計測部（発光装置，受光センサー）と解析PCである．発光装置は水分吸収波長帯1.20 $\mu$m，1.45 $\mu$mの光を照射できるLED照明としており装置のスリム化を図っている．受光センサーは近赤外線カメラとして，計測データを面的に可視化し分布を把握することを可能としている．装置の主要計測機器は，外光を遮るボックス内に設置している．装置の仕様を**表―1**に示す．

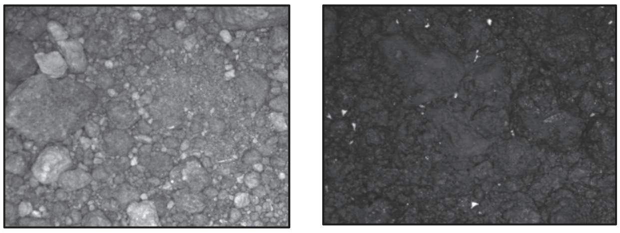
本装置を用いて，同一土質の低含水比状態（乾燥）と高含水比状態（湿潤）を撮影した画像を**写真―2**に示す．低含水状態は，土に含まれる水分量が少ないため，近赤外線は土質試料から反射され明るい画像となる．一方，高含水比状態の場合，近赤外線は吸収されるため暗い画像となる．




**写真―1　装置の外観**

**表―1　装置の仕様**

| 仕様機材 | 仕様 |
|---|---|
| LED照明<br>（発光装置） | LEDリング型照明（1.20 $\mu$m, 1.45 $\mu$m） |
| 近赤外線カメラ<br>（受光センサー） | ・波長感度：0.4～1.7 $\mu$m<br>・シャッタ速度：20.3 $\mu$sec～2 sec |
| 遮光ボックス | ・サイズ：W235×L182×H560 mm |



（a）低含水比状態　　（b）高含水比状態

**写真―2　同一土の含水量の違いによる撮影画像**

---
*技術研究所土木技術グループ

## 4. 装置による計測結果

土質試料を用いて本装置の検証を行った．以下，装置の検証結果を示す．

### (1)　使用土質試料

今回，検証用に使用した土質試料の基本物性を**表—2**に示す．使用した土質試料は，実際の現場で採取した土質試料3種類（A材，B材，C材とする）で，A材とB材の物性値は自然含水比や粒径などがほぼ同様，C材は，前者よりも自然含水比が高く，細粒分含有率も高い材料である．

### (2)　測定方法

本装置では土質試料の含水比測定に先立ち吸光度と含水比の相関式を求める事前準備が必要である．

①一つの土質試料について，含水比状態が3～5種類異なるをものを用意し，装置により試料を撮影する．また同じ試料で炉乾燥法（JIS）の含水比を測定する．

②画像データから得られた土質試料の吸光度値と炉乾燥法の含水比から相関式を求める．（**図—2**）

含水比の通常の測定は，土質試料をセット・撮影し，その画像の吸光度から相関式を用いて含水比を算定する．一連の測定は1分以内で完了することができる．

### (3)　測定結果

現場で利用する各土質試料（A材，B材，C材）を本装置を用いて2か月間にわたり測定した結果を**図—3**に示す．試験結果は，装置の画像から算出された含水比（近赤外含水比）と試料を炉乾燥法で測定した含水比（JIS含水比）で比較している．

各土質試料ともにばらつきが見られるが，炉乾燥法と比較して±5%程度の精度で測定することができており，日常の含水比管理のとして十分適用可能な手法，装置であると考えられる．

## 5. まとめ

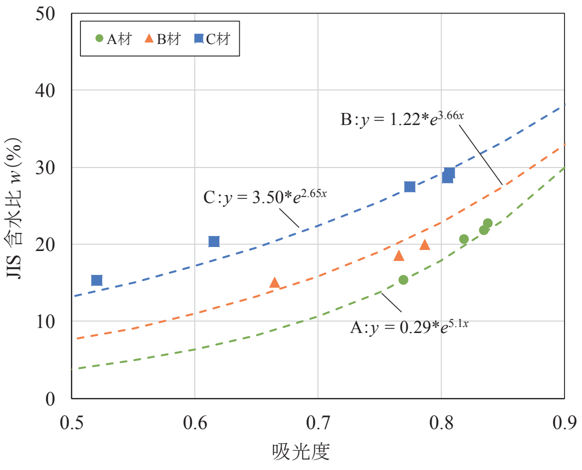
近赤外線を用いた土の含水比装置の開発を行い，以下の知見が得られた．

- 照射する近赤外線をLED照明とすることで装置のスリム化が可能となった．
- 近赤外線の照射画像は含水比状態と相関性があるため，含水比の推定が可能なことを確認した．
- 現場の土質試料に適用し，炉乾燥法と比べ±5%程度の精度での測定が可能であることを確認した．

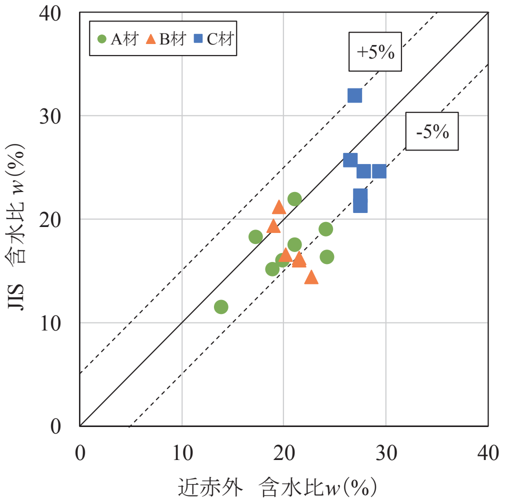
今後は，現場の状況に応じた測定，活用方法の確立および，現場実証を進めるとともに普及・展開を図っていく予定である．

**表—2　使用土の基本物性**

| 試験項目 | 物性値 | | |
|---|---|---|---|
| | A | B | C |
| 土粒子密度 $\rho_s$ (g/cm$^3$) | 2.676 | 2.646 | 2.593 |
| 自然含水比 $w_n$（%） | 19.4 | 20.9 | 29.2 |
| 最大粒径（mm） | 19.0 | 19.0 | 19.0 |
| 細粒分含有率 $F_c$（%） | 35.5 | 34.1 | 70.7 |
| 平均粒径 $D_{50}$（mm） | 0.250 | 0.251 | – |




**図—2　各盛土材と吸光度の関係**




**図—3　盛土材のJIS含水比と近赤外含水比の比較**

**謝辞**．装置開発に際し，西華デジタルイメージ株式会社の方々のご協力に深く感謝し，お礼申し上げます．

### 参考文献

1）地盤材料試験の方法と解説，地盤工学会，2021.
2）例えば，磯野洋子他，近赤外分光法による花崗岩質岩世紀の水和度の評価と岩石強度との相関，応用地質，第2号，pp86-92, 2012.
3）株式会社ケツト科学研究所HP，https://www.kett.co.jp.
4）藤崎勝利他：近赤外線水分計を用いた盛立材料の室内迅速含水比測定装置，土木学会年次学術講演会，Ⅵ-1051, 2018.