

パッシブサーモグラフィ法を利用した盛土の締固め管理

中央工学校 正会員 ○ 金光 寿一
日本大学 正会員 柳内 睦人
東急建設(株) 川久保政亮

1. はじめに

現在、道路盛土、河川堤防、宅地造成、埋戻し等の締固め管理では、施工現場の締固め管理状況に合わせて品質規定方式と工法規定方式が採用されている。品質規定方式は密度、締固め度、空気間隙率、飽和度、締固め強度等の試験が用いられ、工法規定方式では締固め機械の機種、締固め回数などで評価されている。その品質管理基準では、盛土量あるいは盛土面積に応じて測定頻度が決められており、盛土量が多くなると品質評価に費やす時間と労力が多大となる。また、締固め範囲が点の測定値であり、盛土全面の管理にはなっていないという問題点がある。そこで、本研究では日射、外気温の変動を利用したパッシブサーモグラフィ法を適用した締固め管理について検討した。パッシブサーモグラフィ法は、土の締固め度の相違(密度、間隙比、飽和度の変化)によって温度場変化が明瞭となるものと思われ、広範囲の温度変化を視覚的及び定量的に確認できるものとする。

2. 実験概要

実験では、上層路盤の締固めを想定して粒度調整碎石(M-30)を使用して行った。その締固め管理では、含水比を一定に管理して締固め回数を変えた試験体、また締固め回数を一定にして含水比を変えた試験体からパッシブサーモグラフィ法の適用について検討した。最適含水比は6%である。

表-1 実験条件

試験体 No.	試験体寸法 (mm)	突き数 (1周5回×繰返し回数)/層	TDR含水比の管理 (%)
C1	300×300×300	5×10=50	7.0
C2		5×6=30	7.0
C3		5×3=15	7.0
C4		5×1=5	7.0
M1	300×300×300	5×10=50	7.14
M2			11.90
M3			16.30
M4			19.60

2.1 試験体及び実験条件

実験に供した試験体一覧を表-1に、また作製した試験体を写真-1に示す(幅300×300×高さ300mm)。赤外線カメラによる温度測定は、含水比を一定にして締固め回数を変えた試験体(No. C1～C4)は平成23年9月7日に、また締固め回数を一定にして含水比を変えた試験体(No. M1～M4)は平成23年9月16日に、それぞれ7:00～17:00の10時間で行った。試験体には、日射による熱負荷条件からの熱移動をより



写真-1 試験体

明らかにするために50mm角の発泡スチロール(欠陥部と称する)を深さ10mm、20mm、30mm及び40mmの位置に埋設している。試験体C及びMの突固めは、重量8kgの角形ランマー(145×145mm)を高さ500mmの位置から自然落下させた。幅300mm角を

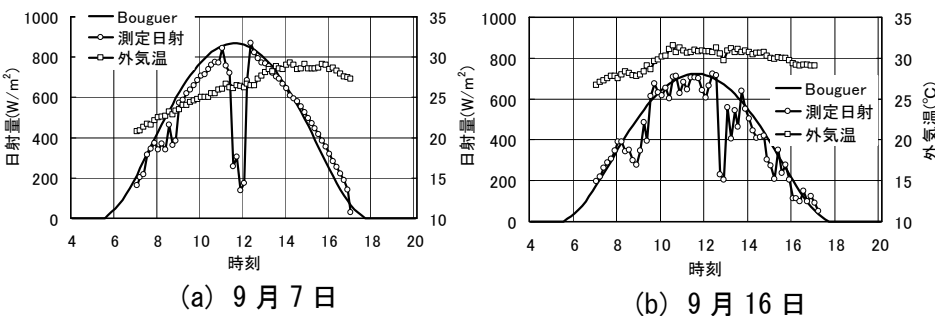


図-1 気象条件

5回で突固め、試験体C1は1層当たりこれを10回繰り返す、高さ300mmの試験体を6層で締固めた。表中の含水比は、TDR 土壌水分測定器(TDR-341F型)を用いて測定した締固め時の値である。

2.2 実験条件

図-1(a),(b)には計測で得られた7:00～17:00までの全天日射量と外気温を示す。7:00～12:20までの積算

日射量は9月7日が $2,724\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 、9月16日が $2,725\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ であった。図中には日射変動を検討するために Bouguer 式で算出した全天日射量を示しておく。快晴を想定した Bouguer 式の7:00～12:20までの積算日射量は9月7日が $3,533\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 、9月16日が $2,939\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ で、実験日の日射量の変動は、それぞれ77%、93%になる。7:00からの外気温上昇量は9月7日が 8.5°C (14:10)、9月16日が 4.8°C (10:30)であった。



写真-2 測定状況

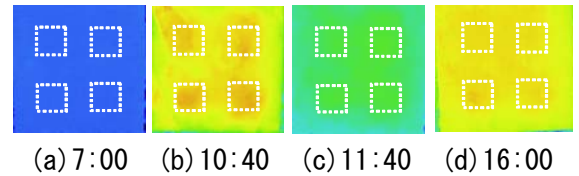


写真-3 試験体 C1 の熱画像 (9/7)

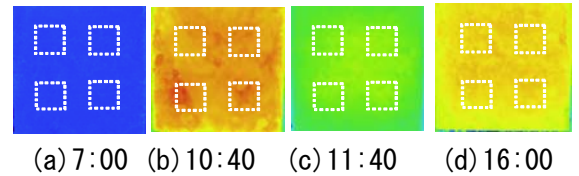


写真-4 試験体 C4 の熱画像 (9/7)

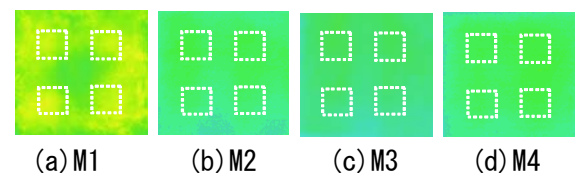


写真-5 試験体 M の熱画像 (9/20, 9/16)

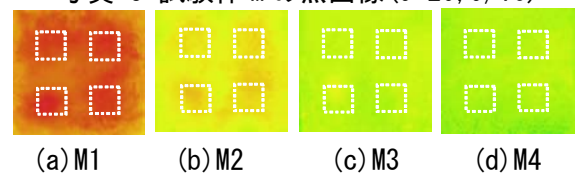
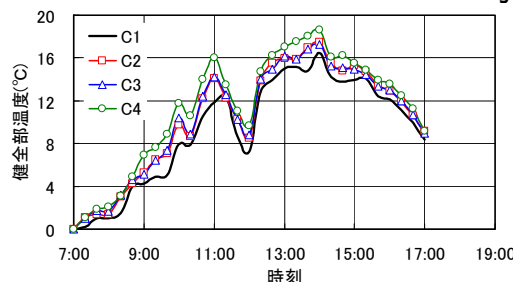


写真-6 試験体 M の熱画像 (12/20, 9/16)

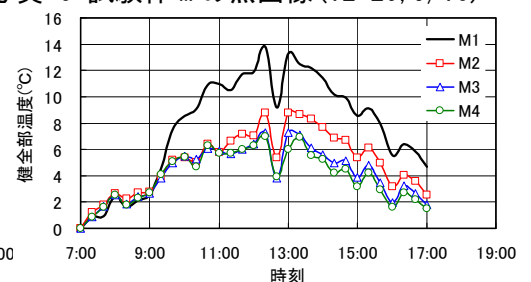
3. サーモグラフィ法の締固め管理

赤外線カメラによる温度測定〔2次元非冷却マイクロボロメータ型、波長領域 $8.0 \sim 14.0 \mu\text{m}$ 、最小温度分解能 0.05°C (at 30°C)〕は、距離120cmの位置から20分間隔で熱画像の撮り込みを行った。測定状況を写真-2に示す。写真-3, 4は、含水比を一定にして締固め回数を変えた試験体Cの時系列変化の熱画像である。写真-5, 6は締固め回数を一定にして含水比を変えた試験体M1からM4の9:20と12:20の熱画像である。

1層当たり50回締固めた試験体C1と5回締固めた試験体C4の熱画像では、密度の小さい、空気間隙率の大きい試験体C4が温度上昇量は大きい。ところが、写真-5, 6の熱画像は、含水比が大きくなると欠陥部との温度差が判読できなくなっている。図-2(a), (b)に試験体中央の健全箇所の温度変化を示す。その温度上昇量は、締固め回数が多いほど上昇量が小さくなり、試験体C1とC4では11:00に 4.2°C の温度上昇差が生じている。 $0.1\text{g}/\text{cm}^3$ の湿潤密度の相違で 1.4°C の温度上昇差である。欠陥部との温度差変化では、試験体C1とC4ともに12:00に最大温度差となり、その欠陥深さ10mm～40mmの温度差は試験体C1ではそれぞれ、 7.4°C 、 6.8°C 、 6.6°C 、 5.5°C となり、試験体C4は 6.3°C 、 6.2°C 、 4.8°C 、 4.6°C が得られ、締固め回数が多いほど温度差が大きくなり締固め不良箇所がより



(a) 試験体 C



(b) 試験体 M

図-2 健全部(試験体中央位置)の温度変化

評価できることが示唆された。一方、試験体M1～M4の健全部の最大温度上昇量は12:20に得られ、それぞれ 13.8°C 、 8.8°C 、 7.3°C 、 7.0°C である。1%の含水比の相違で約 0.5°C の温度上昇差である。実現場では、まず最適含水比付近で管理することになるが、パッシブサーモグラフィ法による温度管理によって十分に評価できるものとする。

4. まとめ

本研究で得られた所見を以下に示す。

- (1) 日射を受けた温度上昇量は、締固め回数及び含水比と相関性が認められる。
- (2) 温度の上昇は、締固め回数が少ないほど含水比が小さいほど大きくなり、50mm角の深さ40mm以深の欠陥部を熱画像から判読できる。