パッシブサーモグラフィ法を適用した盛土施工の 品質管理に関する研究

中央工学校 ○金光 寿一 日大生産工 栁内 睦人 中日本高速道路(株) 阿部 徳男

1 まえがき

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、工法規定方式では事前 の試験施工によって締固め機械の機種、締固 め回数などで評価されている。その品質管理 の測定頻度の規準は、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こと から盛土量あるいは盛土面積に応じて決めら れている。例えば、道路路体の締固め度(Dc) の測定頻度は、NEXCO中日本の施工管理要領に よれば、砂置換法では施工箇所一層毎に1日1 回又は1,000m³につき1回、RI計法(ラジオアイ ソトープ)では施工箇所1層毎に1日15点とさ れている。このように、品質は締固め範囲を 点の測定値で評価されており、盛土全面の管 理にはなっていないという問題点がある。す なわち、品質評価を特定箇所の評価で行う方 法では、締固めの不十分である弱部を適確に 評価することが困難であることが分かる。こ のような背景から、近年、工法規定方式では 自動追尾TS(トータルステーション)及びGPS を用いて、作業中の締固め機械の位置座標を 施工と同時に計測し、この計測データを締固 め機械に設置したパソコンへ通信・処理(締固 め回数のモニター表示)することによって、盛 土全面の品質を締固め回数で面的管理する手 法が導入されつつある。さらに、3Dスキャナ による沈下量の測定や振動ローラーに加速度 計を搭載し、その加速度応答の相違から締固 め状態の評価などが試みられている。

しかし、締固め後の品質評価となる所定の 締固め度は、盛土材料の粒度分布、含水比及 び締固め強度に影響され、これらの相互の相 違によって面的なバラツキを有しているもの と考えられる。路盤の破壊や陥没、変形は締 固め不良箇所の支持力不足が要因の一つと考 えられ、締固め状態にバラツキが生じている ものと思われる。従って、信頼のある盛土施 工管理においては、面的分布のバラツキを考 慮した施工管理手法が必要である。

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 した締固め管理手法を提案し検討するもので ある。特に、電磁波法の一つであるサーモグ ラフィ法は、1)非接触で短時間に検査が可能、 2)広範囲な検査が可能、3)視覚的な検査が可 能などの特徴や温度計測の分解能及び画像処 理法が格段に向上したことから構造物の健全 性の評価法として注目され、種々異なる測定 環境下で実施されて得られた多くの研究成果 から実現場への活用が期待されている。盛土 管理においても土の締固め度の相違によって リアルタイムで温度場変化が明瞭になるもの と考える。

2 実証実験概要

実証実験として愛知県新城市の新東名高速 道路設楽原PA工事の下り線現場にて温度測定 を行った。設楽原PAは土工量240万m³、最大切 土高さは約90m、盛土部の最大高さは約40mに 及ぶ。盛土材は、PA内の切土部からの発生土 に加え、周辺のトンネル工事における掘削ズ リ、また工事に伴う建設発生土が有効に利用 されている。主な盛土材料は、まさ土や結晶 片岩であり、このうち約35%が三波川帯結晶 片岩材となっている。PA路体部盛土の温度測 定は、施工中では安全管理及び工事進行に支 障をきたすことから、既に計画面まで締固め が終了している路体上面を振動ローラー (10t)で再転圧を実施して温度変化を確認し た。写真-1に新東名高速道路設楽原PA工事現 場と測定箇所を示す。赤外線カメラによる現 場測定は平成25年3月22日の9:59~12:20であ る。RI計法は、振動ローラーでの再転圧(7往

A Study on Embankment Compaction Management Method Using A Passive Thermography Technique

Juichi KANAMITSU, Mutsuhito YANAI and Tokuo ABE



(a) 下り PA 工事現場



(b) 再転圧測定箇所とRI 計測



(c)のり面測定箇所写真-1 設楽原 PA 工事の測定現場

復)を行い、特異な温度を示す箇所に対して含 水比及び空気間隙率を計測した。

測定では、三脚で赤外線カメラを固定し、 同位置から撮影することによって再転圧箇所 と転圧を行っていない箇所との温度変化の相 違、また、振動ローラによる締固め中及び締 固め回数による温度変化を比較した。さらに、 写真-1(c)に示すのり面の温度測定も実施し た。使用した赤外線カメラは、R300〔2次元 非冷却マイクロポロメータ型,応答波長領域 8.0~14.0 μ m,感度0.05°C(30 °C黒体炉にて)、 空間分解能1.21mrad〕である。

3. 実証実験結果

3.1 新東名 PA の熱画像と温度変化

測定は9:59~12:20であるが、気象条件の測 定は風速と外気温のみである。参考のために



C(169,56) E(169,81) A(169,109) 異常箇所 画素(320,240);

写真-3 重ね画像と RI 計法の測定位置

気象庁発表の測定現場に最も近い愛知県新城 市の天候を示しておく。先ず測定日までの3月 の雨量は、1日に36mm、13日に51mm、18日に 48.5mm、そして前々日の20日に13.5mmである。 天候は晴れ時々曇りで外気温は6:10に最低温 度1.1℃で、10:00には12.2℃、12:00に15.2℃、 日の出から測定終了までの外気温上昇は概ね 14℃である。10:00に実測した現地の外気温は 13.4℃であった。また、風速は比較的強く平 均で4.5m/sであった。写真-2(a)~(d)に得ら れた時系列熱画像を示す。(a)の9:59分の熱画 像は比較することになる振動ローラで再転圧 を行う前に得られたもの、(b)は7回目の再転 圧後の熱画像、(c)及び(d)は測定を開始して1 時間と2時間後の熱画像である。また、写真-3 には各熱画像の再転圧箇所が分かるように可 視像と重ね合わせた熱画像を示す。図中の A, B, CはRI計測位置である。赤外線カメラとA 箇所までの距離は8.6m、B箇所まで13.6m、C箇 所まで16.6mである。なお、熱画像の温度レン ジは全別画像とも5℃~25℃の一定である。

写真-1(a)の熱画像は、この時間帯(9:59)に は既に材質や事前の締固めの相違による温度 差が現れるものと思われるが、若干バラツキ が見られる程度で各箇所の温度差は小さい。 なお、熱画像内には結晶片岩の塊が特異な異 常温度としてAの近くで確認される。10:00か ら1回目の再転圧を行い、7回の転圧を終えた 写真-2(b)には振動ローラーによってほぐさ れた境界部を確認できる。測定を開始して1時 間と2時間後の熱画像である写真-2(c)及び (d)では、さらに日射を受けて使用材料の種類 や粒度分布、また含水比や再転圧強度の相違 による温度差が明瞭に確認されている。

表-1に写真-3のA, B, C箇所の温度と共にRI 計法で得られた含水比、湿潤密度及び空気間 隙率を示す。既往の研究で行った実験¹⁾とは異 なり空気間隙率との相関は得られなかった。 これは、RI計法は深さ200mmまでの含水比及び 湿潤密度を測定すること、また盛土材料の材 質、粒度のバラツキが表層部付近の温度に影 響して相関が得られなかったものと考える。

図-1には走行方向の中心位置のラインプロファイル温度を示す。横軸の画素(Pixel)の位置は写真-3のとおりである。図中の9:59の25 画素目の高温度は鉄輪ローラーの温度が現れている。このように同じ再転圧箇所ではあるが、特異な温度変化を示す箇所を数多く確認することができる。図中の矢印は、再転圧を開始する前の9:59の温度が低下しているのに対して再転圧後、逆に増加している箇所である。既往の供試体を用いた実験では、締固めて空気間隙率が減少すると温度上昇は少なくなる傾向にあるが、この位置は逆に増加している。このような特異な箇所に対して品質評価を行えば、より信頼性の向上に繋がるものと考える。

一方、図-2はy軸方向の75画素目及び170画 素目の走行直角方向のラインプロファイル温 度である。(a)の位置のラインプロファイル温 度は、振動ローラーの中央部は再転圧を行っ ていない箇所よりも温度が低い。しかし、再 転圧を開始する前の9:59の200~250画素の温 度は既に特異な高温度を示しており、一時的 に再転圧から温度は低下するものの中央部と 同様な温度とはならない。今回の赤外線カメ ラを用いた現場実測は、前述のとおり既に締 固められた状態ではあるが、表面の凹凸によ る振動ローラーの浮きや跳ねで均等な転圧が できていないことも温度変化に影響している ものと考える。言い換えれば、熱画像の温度 差から転圧の状態を評価できることが明らか になった。図-2(b)は写真-2の全てに異常な温 度となって現れているv軸方向の170画素目の ラインプロファイル温度である。特に9:59の 125 画素目には異常な温度となって現れてお

表-1 RI 計法測定箇所の温度と空気間隙



図-2 走行直角方向のラインプロファイル

り、日射を受けるほど他の箇所よりも温度変 化量が多く再転圧の効果が現れていない。温 度変化と振動ローラとの関係では、75画素目 及び220画素目付近は再転圧を開始する前の 9:59よりも温度は低くなっており再転圧が行 われた状態が確認される。このような温度較 差を考えると、高い温度上昇を示した箇所は、 表層近傍だけでなく盛土内部も締固め度が低 い可能性があることが推察される。

(1) 特異温度と盛土の状況

写真-4 及び写真-5 に特異箇所の状態と共 に熱画像を示す。前述したとおり写真-2(a) の熱画像には既に特異な温度を示す箇所が存



写真-4 異常箇所の状況



(a) 熱画像(b) 重ね合わせ画像写真-5 特異箇所の温度



写真-6 のり面と熱画像



図−3 熱画像の温度変化

在する。測定時間は11:53 で、測定距離は真 上から130cmの高さである。その表面の状況 は再転圧を行った両側と比べて結晶片岩の粒 子が砕かれて粗く、視覚的にも細粗粒砂が層 で分布した状態となっている。熱画像では、 22.4℃を示しており、締固められた箇所と比 較すると 9.2℃もの較差が生じている。熱画 像で得られた最大温度は 23.31℃、最小温度 は 12.19℃、また平均温度は 17.06℃であった。

(2) のり面の状況

写真-6にPAののり面と重ね合わせた熱画像 を、また、図-3にはx軸方向A及びB箇所のライ ンプロファイル温度を示す。のり面までの測定 距離は概ね30mで、測定時間は12:22である。測 定時は施工中でのり面の状況を確認すること はできなかったが、特にBラインの温度には大 きな変動が見られる。また、熱画像中に示すの り面下部においても特異な高温域が確認でき る。特にのり面は締固めが不十分になり易く、 評価方法も確立されていないという現状にあ る。サーモグラフィ法では非接触で、しかも視 覚的に雨水浸透による高含水比の箇所や湧水 箇所及び変状部を抽出できる可能性が高い。

4 まとめ

本研究で得られた所見は、以下に示すとおり である。

- (1)現場温度測定では、再転圧前にも拘わらず 既に材料の粒度のバラツキ及び締固めの 状態や含水比の相違と思われる温度変化 が確認された。
- (2)現場盛土の再転圧箇所は、既に一度締固められた状態であり、表面の凹凸による振動ローラーの浮きや跳ねで均等な転圧ができていないことが温度変化から確認できる。言い換えれば、熱画像の温度差から転圧の状態を評価できることが示唆された。
- (3)のり面の熱画像内には10℃以上の温度差が 確認された。のり面は締固めが不十分にな り易く、評価方法も確立されていない。サ ーモグラフィ法では非破壊検査接触で、し かも視覚的に雨水浸透による高含水比の箇 所や涌水箇所及び変状部を抽出できる可能 性が高い。

参考文献

 金光寿一、栁内睦人、川久保政亮: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、土木学会全国大会、VI-244、 2012.9