

熱赤外線映像装置によるコンクリート吹付のり面の変状調査事例

久田真太郎* ・山中 稔**
中川 慶和*** ・後藤恵之輔*Deformed Investigation of the Shotcrete Slope
by Thermal Infrared Imaging Equipment

by

Shintaro HISADA*, Minoru YAMANAKA**, Yoshikazu NAKAGAWA***

and Keinosuke GOTOH*

A large number of shotcrete slopes have been constructed since 1965. In the shotcrete slopes, constructed in the early stages, superannuation of mortar becomes a serious problem and the parts to be repaired have increased. This paper describes the applicability of thermal infrared imaging equipment to detect the deformed parts of the shotcrete slope. Also, in data analysis, the deformed parts have been extracted clearly by using the patterns of temperature change in a day and the difference between the maximum and the minimum temperature.

1. はじめに

のり面对策としてのモルタルやコンクリートを吹付けるショットクリート工法は、工法の簡便さや経済性などから1965年代より多用され¹⁾、現在では開口クラックやせり出しなどの目に見えて老朽化が進んだのり面も多くなってきている。また、吹付のり面の維持管理および老朽化の実態に関するアンケート結果²⁾によると、吹付のり面老朽化の形態としては背後地山側からの老朽化事例（地山とモルタルの密着不良）が過半数を占めており、吹付材料の強度低下のみでなく、地山との空洞部を的確に把握する必要があると言える。維持管理における吹付のり面背後の空洞調査方法としては、多くは経験的な打音調査が用いられているが、この打音調査では、崩壊の危険性が大きなのり面での作業となり災害を引き起こす場合³⁾があるため、非接触・非破壊型の調査手法が望まれる。

そこで本研究では、吹付のり面の老朽化（空洞）調査方法として、非破壊検査技術の一つである熱赤外線映像法を採用した。本手法はこれまでいくつかの研究

されており^{4)~6)}、近年では診断マニュアル⁷⁾も作成されているが、現地での各種制約から必ずしも一般化されたものであるとは言い難い。本研究では、顕著に老朽化の進んだコンクリート吹付のり面を対象として、熱赤外線映像装置を用いた変状調査を実施し、空洞部や湿潤部等の変状箇所を抽出したものである。

2. 調査対象地の概要

図-1に、調査対象地位置図を示す。調査対象地は、長崎県平戸市の道路沿いの切土のり面における、コンクリート吹付のり面である。調査対象地とした平戸島南部地域の地質は、新第三紀中新世前期の堆積岩とこれを覆う新第三紀中新世中～後期の火山岩類よりなる。堆積岩類は、主に凝灰質の砂岩や泥岩、凝灰岩からなり、火山岩類は、主に安山岩質の火山岩とこれを覆っている玄武岩が分布している⁸⁾。

図-2には調査対象のり面周辺の平面図を示し、写真-1に吹付のり面の状況を示している。調査地斜面は、コンクリート吹付けが施された最大高さ12mの切

平成14年4月19日受理

*大学院生産科学研究科 (Graduate School of Science and Technology)

**社会開発工学科 (Department of Civil Engineering)

***総合地研(株) (Sogo Chiken Co., Ltd.)



図-1 調査対象地位置図

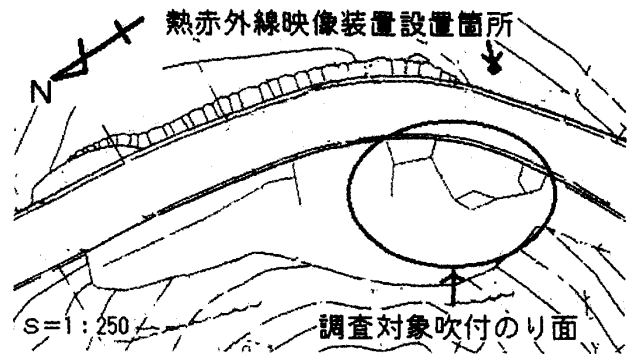


図-2 調査対象地付近平面図

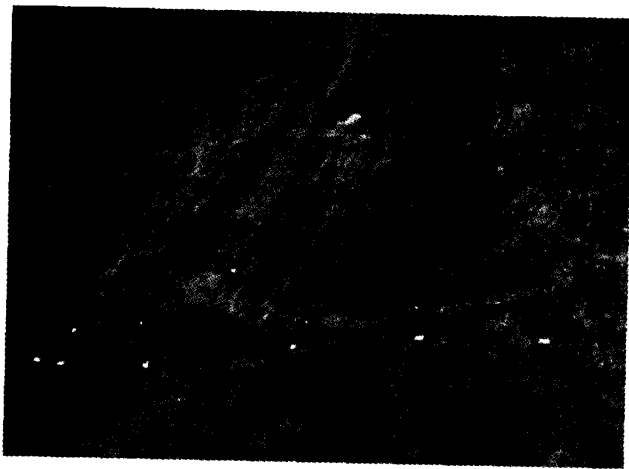


写真-1 調査対象吹付のり面の状況

表-1 吹付のり面の地山性状と表面温度の関係

吹付背後の性状	深夜・早朝	日中	2時刻の温度変化
空洞部	低温	特に高温	温度変化が特に大きい
健全部	高温	やや低温	温度変化が小さい
土砂部	低温	高温	温度変化が大きい
温潤部	※低温	特に低温	温度変化が特に小さい

※冬期において、地下水温が相対的に高い場合は日中、夜間において、温潤部が高温となる場合がある。

土のり面と、勾配25°の自然斜面からなり、のり面延長は約80mである。当該斜面においては、特にのり面部を中心に顕著な変状や異常が見られた。主な変状を示すと、以下のようになる。

- ・のり面のコンクリートが全体に大きく割れており、縦割れその他、連続する水平方向の割れなどがある。割れ目幅は、最大箇所所で約3cmであり、割れ目からは灌木や草が生え出している。
- ・のり面の押し出しにより側溝が閉塞している箇所がある。
- ・路肩のコンクリート壁に亀裂が生じている。
- ・のり面背後ののり肩部には引張りによると考えられる小段差が見られる。
- ・自然斜面部において、明瞭なすべり崩壊跡地形が見られる。

これらの変状より、吹付コンクリート背面において土砂の移動が生じていることが推測された。土砂移動を確認するためには、吹付コンクリートを剥ぎ取り、地山を露出させることが最も確実であるが、この作業には土砂崩壊などの危険が伴うため、本調査において

は、コンクリートを剥ぐことなく遠隔からの非破壊での調査が可能な、熱赤外線映像技術を採用した。

3. 熱赤外線映像法の概要

3.1 吹付のり面の熱収支

吹付のり面は、日中には日射により温められ、夜間には外気によって冷やされる。外的な影響を受けたのり面は、地山の変状や湧水、吹付けの厚さなど比熱の違いや熱伝導率・熱容量の違いによっていくつかの規則性をもった表面温度分布として現れる」と言われている。すなわち、熱赤外線映像装置による吹付のり面調査は、この原理を用いて、吹付のり面の表面温度を検出し、相対的な表面温度の規則性にしたがって、吹付のり面背後の地山の状態を推測する方法である。

表-1に、吹付けのり面の地山性状と表面温度の関係を示す。吹付のり面の表面温度の変化は、日中に日射により温められ、夜間には蓄積された熱エネルギーを放射し冷やされるといったほぼ一定のサイクルを示し、このサイクルは地山性状によって熱の吸収率、放射率が異なり温度変化に違いが表れるのである。

3.2 調査および解析方法

本調査では、これら吹付けのり面の地山性状と表面温度の関係を用いて、空洞部と健全部、また土砂部、湿潤部の抽出を行った。そして、その抽出したポイント（領域）による、空洞部と健全部の熱赤外線装置による観測温度の経時変化を見た。

調査は、11月下旬の早朝6時32分から、測定対象地が日陰となった13時27分までの約7時間にわたり、5分間隔で表面温度を観測した。なお、観測の前夜から観測直前まで降雨があったため、測定開始時には対象箇所が降雨により湿潤状態にあった。

さらに、今回解析を行っていく際に、吹付け背後の性状の各部分は、下記の4つの場合とした。

- I. 健全部：地山が健全な状態で吹付けと密着し一体化している部分。
- II. 空洞部：地山の風化浸食あるいは吸い出し等によって吹付背後が空洞化した部分。
- III. 土砂部：地山の風化が進行し土砂化した部分。
- IV. 湿潤部：地山が湧水や降雨の浸透などによって水を多く含んだ状態にある部分。

また、解析作業における空洞部と健全部、土砂部、湿潤部の抽出と、抽出確認のための経時変化グラフの作成を行うにあたり、以下のstep①～⑦を実施した。

- step ①：深夜・早朝における空洞部は低温であるということに着目して空洞部の抽出
- step ②：日中における空洞部は特に高温であるということに着目して空洞部の抽出
- step ③：深夜・早朝における健全部は高温であるということに着目して健全部の抽出
- step ④：日中における健全部は特にやや低温であるということに着目して健全部の抽出
- step ⑤：step①とstep②の画像から土砂部の抽出
- step ⑥：step①の画像から湿潤部の抽出
- step ⑦：空洞部、健全部のポイント（領域）による吹付けのり面の表面温度の時間変化図を作成

4. 解析結果と考察

4.1 吹付背後の性状の抽出

図-3～図-6の(a)図には、解析に使用した熱画像を示している。ここで、早朝は、日の出前のA.M 6:32に撮影を行った画像を使用し、日中は、気温がほぼ最高となったと考えられたA.M 11:52に撮影を行った画像を使用している。なお、各熱画像内のアルファベットは、線で囲まれた範囲を表す記号である。

1) 空洞部の抽出 (step①およびstep②)

図-3に、step①における解析結果を示す。空洞部の抽出としては、step①の「早朝における空洞部は低温である」という条件により、まず図-3(a)を用いて、低温部の範囲A1～I1を抽出した。さらに、図-3(b)には、step②の条件「日中における空洞部は特に高温であり、2時刻の温度差が特に大きい」を加えて考慮するために、低温部の範囲A1～I1における早朝と日中における表面温度を示している。早朝においてはいずれの範囲とも、表面温度の差はほとんどないが、日中においては温度差が生じ、その温度差は、範囲F1およびH1において大きいことが分かる。すなわち、step①の条件より、F1およびH1との範囲が空洞部である可能性が大きいと言える。

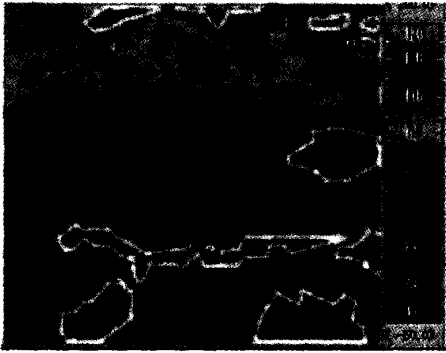
図-4には、step②における解析結果を示している。前述のstep①の解析方法とは逆に、「日中における空洞部は特に高温である」というstep②の条件により、まず図-4(a)において、特に高温部として範囲A2～H2を抽出し、その抽出された範囲A2～H2において、「早朝における空洞部は低温であり、2時刻の温度差が特に大きい」という更なる条件を考慮した。その結果、図-4(b)に示されるように条件に合うものは、B2、E2、F2の範囲において空洞部であることが示唆される。しかし、B2の範囲は亀裂があり、空洞部も目視で確認できている場所であり、また、F2は温度差があるものの、与えた領域の範囲が広く、領域内において更なる検討を行っていかねばならない領域である。このため、今回の空洞部の推測箇所としては除外した。よって、step②においては、E2の範囲が空洞部である可能性が大きいと言える。

以上のことから、step①およびstep②の条件から推定できる空洞部としては、H1、F1およびE2の範囲であると考えられる。

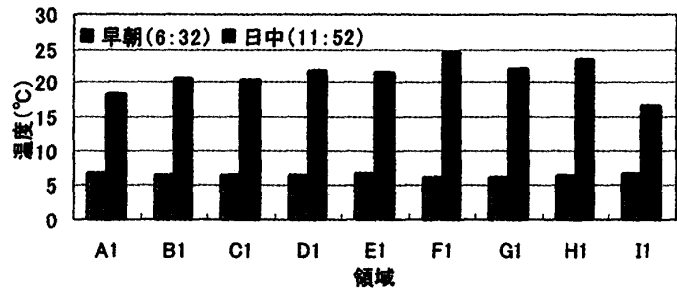
2) 健全部の抽出 (step③およびstep④)

図-5に、step③の条件による解析結果を示す。前述のstep①およびstep②と同様に、まず、「早朝における健全部は高温である」という条件から、図-5(a)において、高温部として範囲A3～E3を抽出した。その抽出された範囲A3～E3において、「日中における健全部はやや低温であり、2時刻の温度差が小さい」という更なる条件を与え、図-5(b)から判断すると、A3の範囲が健全部である可能性が大きいと言える。

図-6には、step④の解析結果を示している。「日中における健全部はやや低温である」という条件から、図-6(a)において、やや低温部として範囲A4～G4



(a) 熱画像 (AM 6:32) と選定領域

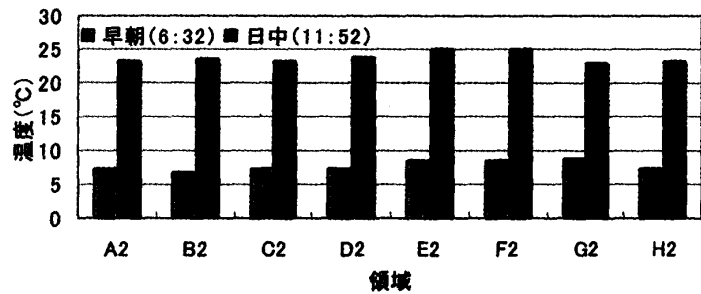


(b) 各領域の表面温度 (早朝, 日中)

図-3 step①の場合

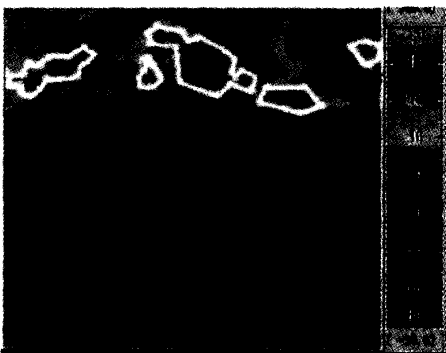


(a) 熱画像 (AM 11:52) と選定領域

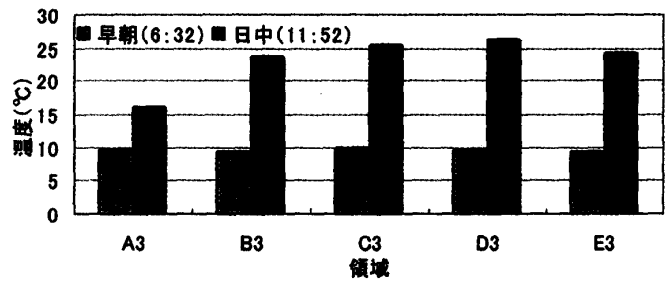


(b) 各領域の表面温度 (早朝, 日中)

図-4 step②の場合

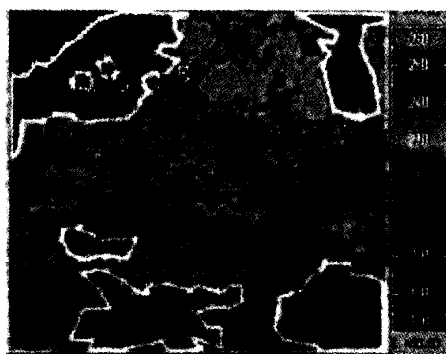


(a) 熱画像 (AM 6:32) と選定領域

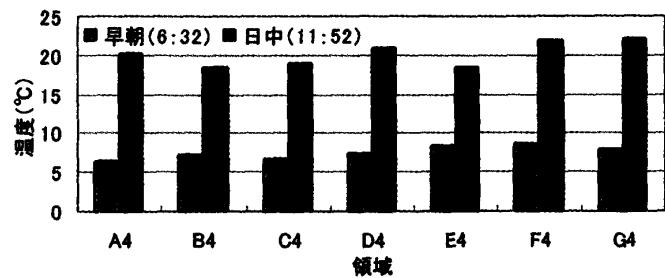


(b) 各領域の表面温度 (早朝, 日中)

図-5 step③の場合



(a) 熱画像 (AM 11:52) と選定領域



(b) 各領域の表面温度 (早朝, 日中)

図-6 step④の場合

を抽出した。この抽出した範囲A4～G4において、「早朝における健全部は高温であり、2時刻の温度差が小さい」という更なる条件を与え、図-6(b)を見て判断すると、E4の範囲において健全部である可能性が大きいと推測できる。

したがって、健全部として可能性が大きい箇所は、A4およびE4の範囲であることが判明した。

3) 土砂部の抽出 (step⑤)

step①における解析過程に使用した熱画像の図-3より、「早朝における土砂部は低温であり、日中における土砂部は高温である」ことに着目すると、図-3(a)のD1, E1, G1の範囲において土砂部であるという特色があり、吹付背後が土砂部であると推測できる。

次に、step②における解析過程に使用した熱画像の図-4より、図-4(a)の、C2, D2, H2の範囲において土砂部であるという特色があり、吹付背後が土砂部であると推測できる。

よって、D1の範囲は亀裂部分のため除外し、土砂部として可能性が大きい箇所は、E1, G1と、C2, D2, H2の範囲が抽出できる。また、この土砂部は、空洞部になる可能性が高いことから、注意すべき箇所と言える。

4) 湿潤部の抽出 (step⑥)

step①における解析過程に使用した熱画像の図-3より、「早朝における湿潤部は低温であり、日中における湿潤部は特に高温である」ことに着目すると、図-4のA1, C1, I1の範囲において湿潤部であるという特色があり、吹付背後が湿潤部であると推測できる。

4.2 抽出した箇所の確認 (step⑦)

抽出した箇所を確認するために、step⑦では、step①～⑥の解析過程により、吹付背後の性状別に抽出された範囲内で、step⑦において、それぞれ同条件の領域をとって、空洞、健全部から2点づつ、土砂、湿潤部から3点づつとり、まとめたものが表-2である。

観測開始6時32分から観測終了の13時27分までの、step⑦で与えた各領域についての表面温度の経時変化より、抽出された各性状が正しい結果であるか判断材料にするために行った。

図-7に、表-2で対応させたポイント(領域)のA7～J7の10点の位置を示している。

図-8に、各領域の選定箇所における観測表面温度の経時変化を示す。なお、吹付背後の地山性状が特に

表-2 各領域の対応表

地山性状	空洞部		健全部		土砂部			湿潤部		
step①～⑥	H1	E2	A3	E4	E1	G1	C2	A1	C1	I1
step⑦	A7	B7	C7	D7	E7	F7	J7	G7	H7	I7

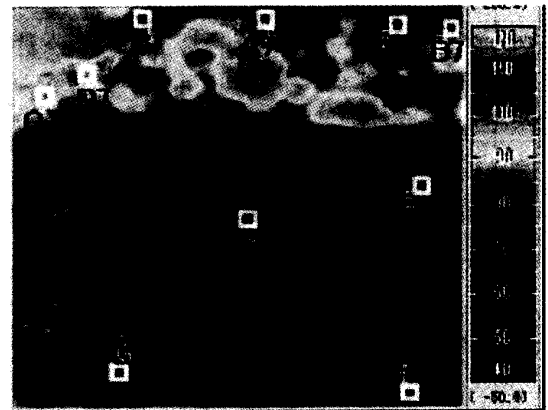


図-7 グラフ化における領域の選定箇所

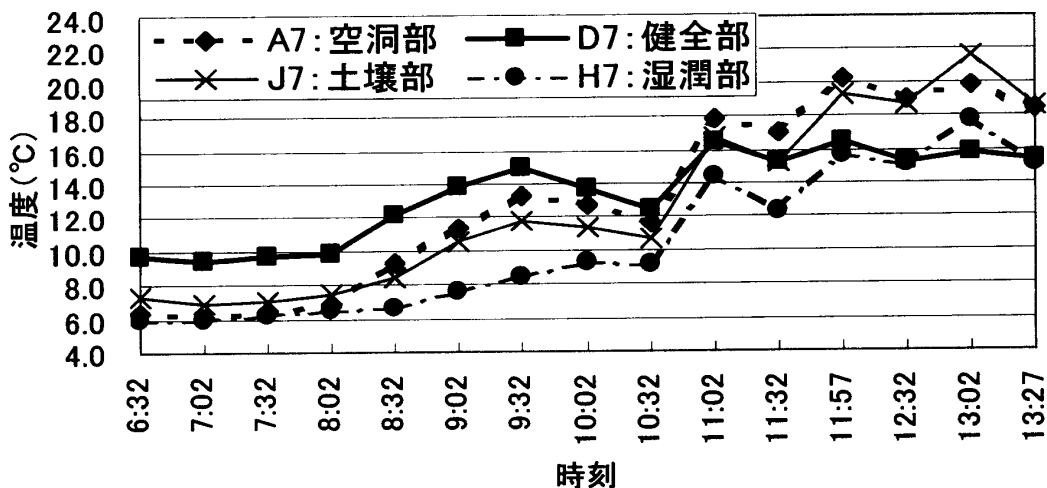


図-8 熱赤外線映像装置による観測温度の経時変化

表れていた図示している選定箇所について、各地山性状別に表している。各地山性状の相対的な温度というのは、早朝においては、健全部→土砂部→空洞部→湿潤部の順に表面温度が高く、日中は空洞部→土砂部→健全部→湿潤部の順に表面温度が高いことや、午前11時付近には、健全部と空洞部において、相対的な温度関係の逆転現象も起こっていることは、建設省土木研究所の吹付のり面老朽化マニュアル⁷⁾に書かれていることとも一致している。

これらのことから、今回の解析手法から抽出を行った箇所についての吹付のり面背後の地山性状は、十分妥当性を有していると考えられる。

5. おわりに

今回の調査において、この方法の大きな特徴でもある、対象物の温度を非接触、非破壊で観測できる熱赤外線映像装置による吹付のり面背後の地山の性状を知る方法のひとつとして提案できた。

今後、今回の調査対象としたコンクリート吹付のり面については、背後土砂の移動により不安定地盤となっている可能性があることから、何らかの対策工を行われることが検討されている。よって、対策工実施時には、今回の解析結果の妥当性について追跡調査を行っていく所存である。

参考文献

- 1) 地盤工学会九州支部：「性能」に着目した地盤構造物の維持管理技術，pp.2-15～2-16，1999.
- 2) 三木博史，石橋晃睦，川崎達郎，高田和典，松永徹志，南雲政博，竹内幸雄：まさ土地帯における吹付のり面の熱赤外線調査事例（その1），地盤工学分野でのリモートセンシングデータの活用シンポジウム発表論文集，土質工学会，pp.153-160，1993.
- 3) 山中 稔，後藤健介，後藤恵之輔，渡邊浩平：2001年1月長崎県時津町がけ崩れ災害における熱赤外線リモートセンシングの適用，第2回最近の地盤計測技術に関するシンポジウム発表論文集，地盤工学会関西支部，pp.31-34，2000.
- 4) 後藤恵之輔，一川宏也，長谷川秀人，秋本隆彦：熱赤外線リモートセンシングによる法面空洞調査手法に関する基礎実験，土木構造・材料論文集，No.5，pp.77-86，1990.
- 5) 一川宏也，長谷川秀人，後藤恵之輔：熱映像装置によるモルタル吹付け斜面の老朽化調査の実験，センサ技術，Vol.11，No.11，pp.47-53，1991.
- 6) 三木博史，小橋秀俊：熱赤外線映像法による吹付のり面老朽化診断技術の現状と課題，土木技術，Vol.49，No.2，pp.89-103，1994.
- 7) 建設省土木研究所：熱赤外線映像法による吹付のり面老朽化診断マニュアル，1996.
- 8) 地質調査所：日本地質図体系 九州地方，p.22-23，1995.