

14. 熱赤外線を用いた吹付け法面の変状調査事例と考察

Examples of mortal slope investigation using thermal-infrared imagery

○小田基明・福田博幸（島建コンサルタント）・横田修一郎（島根大学）・
浜村靖（大隆設計）・長嶺元二（イズテック）・伊藤清治（日発技研）

Motoaki ODA, Hiroyuki FUKUDA(Shimaken Co), Shuichiro YOKOTA(Shimane Univ.),
Yasushi HAMAMURA(Dairyu), Genzi NAGAMINE(Izutec), Kiyoharu ITOU(Nippatsugiken)

1. はじめに

吹付け法面の調査方法のひとつである熱赤外線調査は、法面のわずかな温度の違いにより背面状態を推察するものである。非破壊で効率よく吹付け法面の状態評価ができる反面、法面の起伏や植生による影などの影響を受けやすいことが知られている¹⁾。また、モデル実験などにより空洞規模と温度変化の関係などについての研究もされている^{2) 3) 4)}。

今回、島根県内の道路法面について行なった調査結果を基に、温度変化量と空洞厚の関係、法面の色調が温度変化に与える影響度について検討した。ここにその結果を述べる。

2. 調査対象法面の概要性状

現地調査を実施した法面の概要は次のとおりである。

- ・法面延長×法高；約 100m×30m
- ・法面勾配；概ね上部 S=1:0.8
下部 S=1:0.6
- ・傾斜方向；南西傾斜
- ・土質・岩質；まさ土～岩盤（軟岩）
- ・外見の変状；法面中央勾配変化点付近に縦断方向開口亀裂集中
- ・対策工；法面中央付近を厚さ 10cm のモルタル吹付け＋ロックボルト工で補強

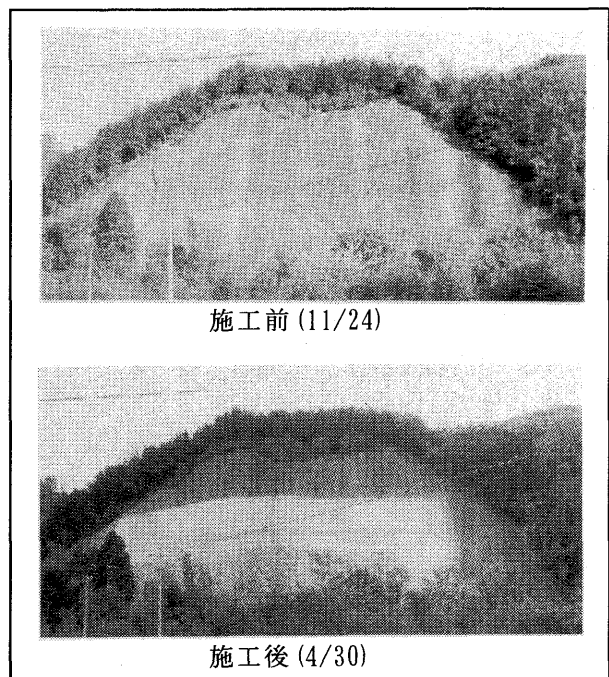


図-1 調査対象法面の対策施工前と施工後の写真

3. 調査方法

基本的な調査方法、評価基準(表-1)については「熱赤外線影像法による吹付のり面老朽化診断マニュアル¹⁾」を参考とした。

また、合わせて次の調査を実施した。

- ①気温および、法面表面、吹付け工背面空洞、背面土中温度を数箇所測定した。
- ②対策工施工前後の2回、法面の熱赤外線計測を実施した。

表-1 吹付けのり面の地山性状と表面温度の一般的パターン¹⁾

吹付背後の性状	深夜・早朝の画像	日中の画像	2時刻の温度変化
空洞部	低温	とくに高温	温度変化がとくに大きい
土砂部	低温	高温	温度変化が大きい
湿潤部	低温*	とくに低温	温度変化がとくに小さい
健全部	高温	やや低温	温度変化が小さい

* 冬季、地下水温が相対的に高い場合は夜間において湿潤部が高温となる場合がある。

③対策工施工時に吹付け工背面の空洞厚の確認(163箇所)を行なった。

4. 調査結果

4-1. 気温と法面温度の関係

気温と法面温度の変化を図-2に示す。

熱赤外線観測を実施した11/24は晴天で、気温変化に比べ法面表面温度の変化が大きい。劣化部は健全部に比べ早朝の表面温度が低く、日中のピーク温度付近では健全部より高くなっている。曇～雨の11/25は気温、法面温度ともに変動幅が小さく、健全部と劣化部の差もわずかである。

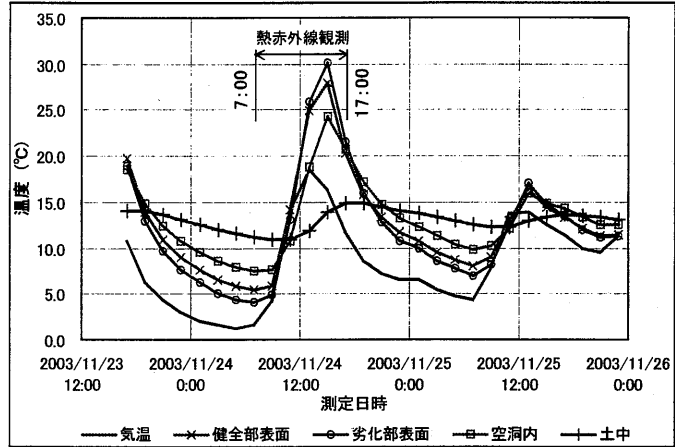


図-2 気温、法面温度グラフ

土中温度の変化は法面に比べ著しく小さく、最低温度、最高温度の出現時刻はともに気温に比べて2～3時間遅れている。

また、吹付け背面の空洞内の温度は、表面温度と土中温度の中間的な温度変化を示す。

4-2. 熱赤外線観測による法面温度の経時変化

<対策工施工前>

図-3に対策工施工前11/24の熱画像を示す。

7:00の観測画像では、法面中央付近縦断方向に明瞭な低温部がベルト状に検出される。この低温度帯は周囲に比べ2～3℃低い-1℃～1℃であった。また、斜面下部は比較的 температураが高い。蓄熱量の大きい岩盤が分布するためと判断される。

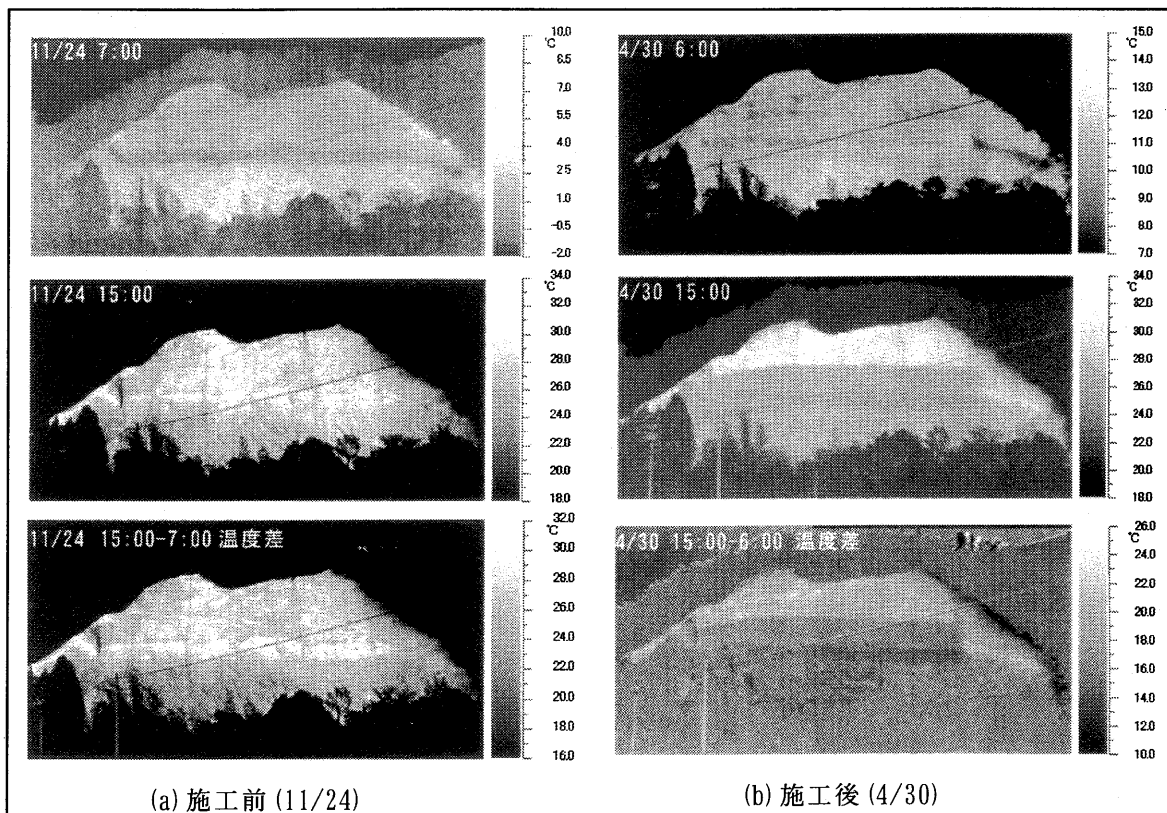


図-3 熱赤外線映像の対策工施工前後における比較。(a)施工前 (b)施工

法面温度がピークに達した 15:00 の画像では、7:00 画像の低温度帯が高温部が変わっており、一般的パターンの空洞部に該当する。ただし、7:00 の熱画像に比べ高温部の範囲はやや狭く輪郭も不明瞭になっている。

<対策工施工後>

吹付け工の劣化対策としてモルタル吹付け工が施工され、法面中央付近はモルタルが厚く(+10cm)なった。

4/30 の 6:00 の熱画像では、施工前に見られた低温度帯が吹付け施工後もやや不明瞭ながら認められる。また、15:00 の熱画像では、色調および吹付け厚が周囲と異なる対策施工個所が、低温度部として明瞭に現れている。

4-3. 熱赤外線計測結果と空洞厚

対策工施工範囲内の 163 箇所について、空洞厚の確認を行なった。その結果、最大で 18cm の厚さの空洞が確認され、低温度帯の分布と 5cm 以上の空洞厚を確認した範囲が極めてよい一致を得た(図-4)。

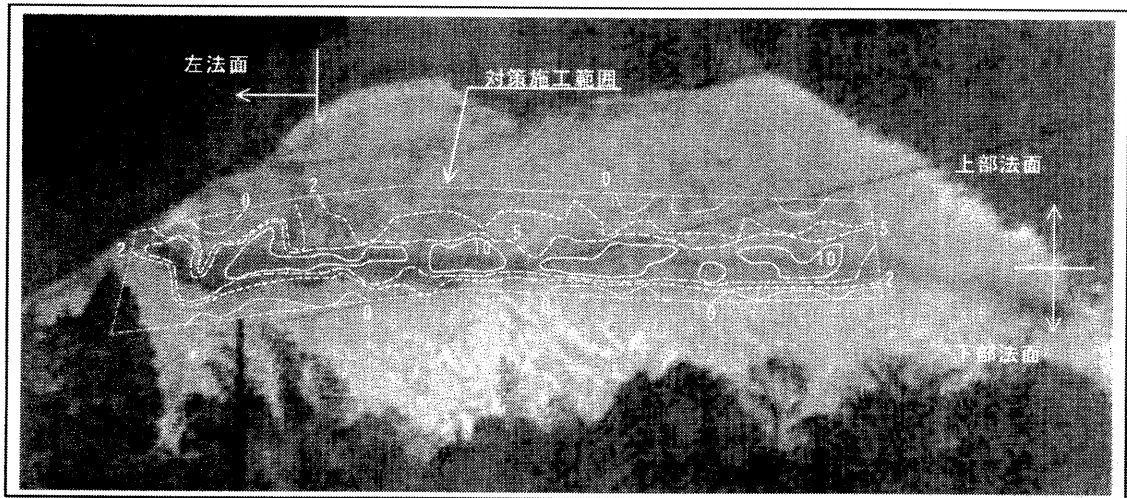


図-4 11/24 7:00 熱画像と空洞等厚線(単位 cm)

5. 考察

<温度変化と空洞厚の関係>

11/24 15:00-7:00 の温度差と空洞厚の関係を図-5 に示す。図において上部法面は法勾配変化点より上方、下部法面は勾配変化点より下方、左法面は起伏の大きい法面左側部分(図-4 参照)を示す。

図-5 で明らかなように、空洞厚 10cm 程度までは、空洞厚が厚くなると温度変化が大きくなる傾向が認められる。また、法面の起伏が小さく、

空洞厚が厚いほど、特定の温度差に対応する空洞厚のばらつきが小さいように思われる。

温度差により直接的に空洞厚の推定が可能になるとはいえないが、法面の起伏や勾配変化などの要因に対し適切な補正を行ないばらつきの範囲を圧縮できれば、吹付け背面の空洞範囲の推定

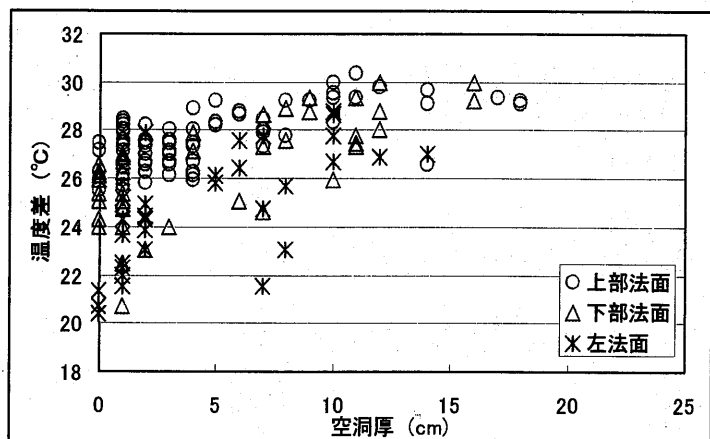


図-5 空洞厚-温度変化関係図

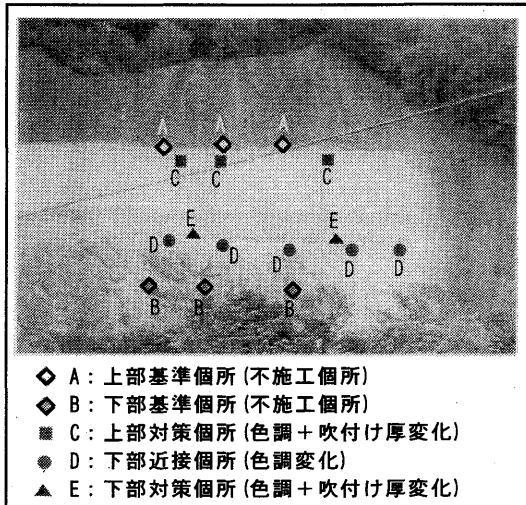


図-6 法面温度計測個所

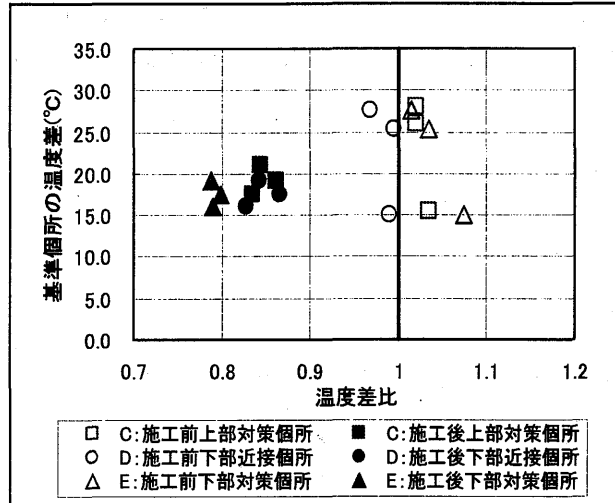


図-7 温度差比の分布

精度が向上するだけでなく、空洞厚分布の推察も可能と考える。

<色調と温度変化>

対策施工箇所の法面温度は、早朝においては不施工箇所の温度とあまり違いが見られないが、日中は明らかに対策施工箇所の温度が低い。このため、健全部から5箇所(A~E)13地点を選定し、各計測時刻における早朝との温度差(個所毎の平均値)を求めて、不施工箇所の温度差を基準とした温度差比(=施工(計画)箇所の温度差/基準個所の温度差)を算出してみた(図-6, 図-7)。

その結果、施工前のC, D, E箇所は温度差比が0.97~1.07であり、基準個所の温度差とほぼ同程度の温度変化を示している。これに対し、同じ箇所の施工後の温度差比は0.79~0.86で、基準個所に比べ温度差が15~20%減少している。起伏の少ない箇所であることから、この減少の要因として法面の色調変化と吹付け厚の増加が考えられる。

また、吹付け厚の変化がないD箇所と増厚したE箇所は、前者の温度差比が約0.05大きい。吹付け厚の違いが温度差の5%程度に影響していると思われる。

今回のような法面の色調変化や吹付け厚の変化は一般的ではないが、吹付け面の色調変化が大きい場合はその影響が無視できないといえる。とくに、早朝の熱画像は色調の影響が少なく空洞箇所の判別に有効と思われるが、早朝熱画像を利用して日中との温度差を得る場合には色調による温度差が直接影響することになる。法面の色調変化と温度差の関係についてさらに検討を進め、背面状況の判別精度を上げたいと考えている。

参考文献

- 1) 熱赤外線映像法によるのり面診断研究会編集 (1998): 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, pp. 1-56, (財)土木研究センター.
- 2) 三木博史, 小橋秀俊 (1994): 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.
- 3) 工藤浩一郎, 三木博史 (1991): 熱赤外線映像の吹付のり面裏の空洞調査への適用性について, 土木学会年次学術講演会講演概要集第3部, pp. 686-687.
- 4) 平田寿磨, 沼尾達弥, 福澤公夫, 三井雅一 (2002): 赤外線映像装置によるコンクリート内部欠陥深さ検出に関する研究, 土木学会年次学術講演会講演概要集第5部, pp. 391-392.