

赤外線映像装置を利用したモルタル吹付け斜面の空洞探査

宮崎大学工学部 ○ 正 出口近士 正 藤本 廣
 宮崎大学工学部 学 青戸賢二 学 岩溝真聡
 大東建設工業㈱ 坂本英光

1. はじめに

モルタル吹付け斜面では、昼夜の温度変化による膨張・収縮の繰り返しや水の浸透作用によって、表面にひび割れが生じたり、地山の風化等の変状が起こってくる。これが進行すると、モルタルと地山の間に空洞が生じて斜面下部に土砂が堆積したり、モルタル表面のひび割れ、モルタルの剥離や斜面すべりを助長することになる。

本研究は、モルタル吹付け斜面の変状調査方法の開発を目的として、赤外線映像装置を使ってモルタル表面の温度を測定し、これと空洞の有無、地山とモルタルの空洞厚さとの関係を調べたものである。

2. モルタル表面温度の検出と空洞探査

2.1 赤外線による温度の検出¹⁾

図-1に示すように、太陽光(電磁波)を受ければ、物質はそれを反射、吸収する性質をもつ。吸収された電磁波エネルギーは、原子や分子の振動を通じて熱(運動)エネルギーを生み、電磁波の形で放出(熱放射)される。

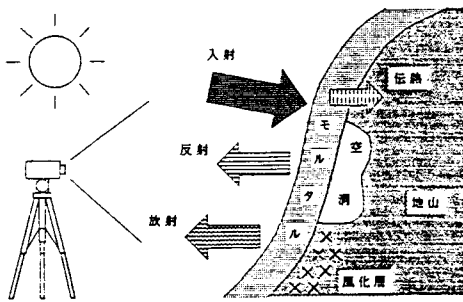


図-1 表面温度検出の概要

黒体の放射エネルギー $E_b(\lambda)$ は絶対温度 T の 4 乗に比例するが、一般の物体の放射は黒体より小さい。黒体の放射基準にして、一般の物体の放射を表わす量(放射率 ε) を考えると、放射率 ε は $\varepsilon(\lambda) = E_n(\lambda) / E_b(\lambda)$ で定義される。この放射率 $\varepsilon(\lambda)$ は波長 λ によって異なる。しかし検出する波長のある領域(赤外線: $\lambda = 8 \sim 13 \mu\text{m}$)

に限定すれば放射率を一定と考えてよく、放射エネルギーは $E = \varepsilon \sigma T^4$ で与えられる。

すなわち ε が既知であれば、 E を計測することによって、温度 T を求めることができる。

2.2 空洞とモルタル表面温度の関係

モルタルに吸収されたエネルギーの一部は地山に伝熱され、残りは表面から放射される。したがってモルタル厚が均一であれば、表面から放射される電磁波エネルギー(表面温度)は、裏面の物質に依存すると考えられる。

一般に固体、液体、気体の順に熱伝導率が低い。したがって、モルタル裏面に空洞があれば、岩盤に比べて熱伝導率が低い分だけ表面温度が高くなることになる。

3. 調査および解析結果

3.1 調査項目

本研究では、表-1の項目を調査・解析した。使用した赤外線放射温度計は、熱赤外線域波長 $8 \mu\text{m} \sim 12 \mu\text{m}$ を感知するもので、最小検知温度差が 0.1°C 、10m 地点での観測範囲は $4.9\text{m} \times 5.4\text{m}$ 、分解能は 15mm 四方である。モルタル表面の放射率は $\varepsilon = 0.91$ とした。

表-1 調査・解析項目

	要因	測定方法
説明 変量	①表面温度	赤外線放射温度計
	②ひび割れ	目視判読: 大/中/小/無
	③表面の凸凹	目視判読: 凸/凹/平
目的 変量	④空洞の有無	はぎ取り後に測定
	⑤空洞厚	同上
	⑥モルタル厚	同上

3.2 空洞の有無の判別

図-2は表面温度の時間的変化の例であり、ハンマー打音により、実線が空洞有り(低音)、太い破線が裏面の剥離もしくは風化有り(中低音)、細い破線が空洞無し(高音)と判断した箇所である。この図より、午前10時までの温度上昇率と温度が高い箇所は、裏面になんらかの変状があることが認められる。

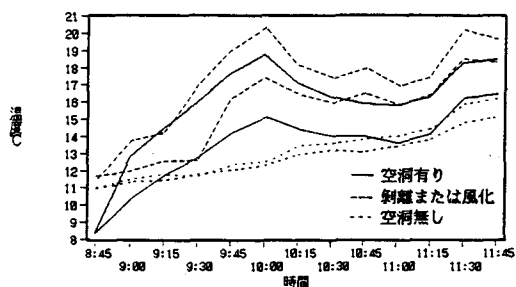


図-2 表面温度の時間的变化

表-1の①②③を説明変量として、数量化理論第Ⅱ類により空洞の有無(④)を判別した。なお、データは同一斜面のものではあるが、観測シーンと時間が違うので、同一温度でもそれがもつ斜面の状態の情報は異なる。そこで標準化の目的で、表面温度を $T_{ij} = t_{ij} \times M / M_i$ として取り扱った。ここに、 t_{ij} は測定温度、 M_i はシーン*i*の最低温度、 M は斜面全体の最低温度である。カテゴリーは、この T_{ij} を7段階に分けた。

図-3は空洞の有無の判別結果を図示したもので、現場において、○印は空洞有り、×印は空洞無しと確認されたことを意味している。一方、推定は零を境に、負値は空洞有り、正値は空洞無しと判断するものである。的中率は約75%であり、中央部分で誤判別が見られるものの、概ね良好な判別が得られている。

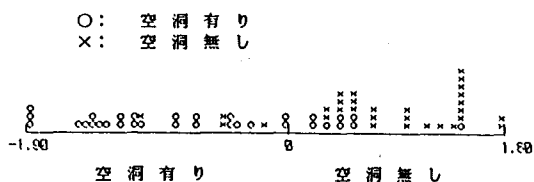


図-3 空洞の有無の判別(2分類)

図-4は3分類(1:空洞大(6cm以上)、2:空洞小(5cm以下)、3:空洞無し)の解析結果で、サンプルスコアをプロットしたものである。第1軸は、負値であれば空洞有り、正値であれば空洞無しと判断するものである。第2軸は、正値であれば空洞小、負値であれば空洞大を意味している。図より、空洞の有無の判別は概ね良好であるが、空洞の規模については誤判別がみられる。

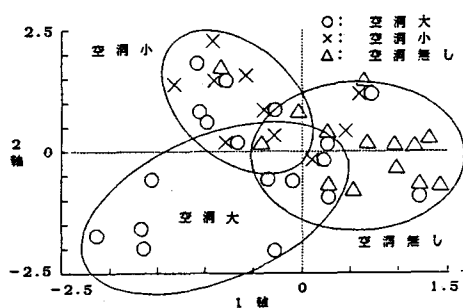


図-4 空洞の有無の判別(3分類)

3.3 空洞厚の推定

上記の数量化Ⅱ類では、空洞の規模の判別が不十分であったので、ここでは第Ⅰ類を用いて空洞厚(⑤)を推定した。空洞に対する表面温度とひび割れの偏相関係数は0.6程度であり、表面温度情報が空洞厚の推定に有効であることが確認された。

図-5は、空洞厚の推定値を横軸に、測定値を縦軸にとったもので、概ね良好な推定値が得られていることが視覚的に確認できる。

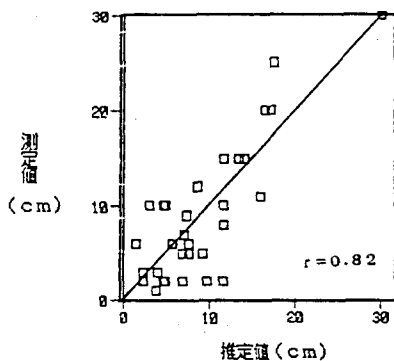


図-5 空洞厚の推定結果

4. 結論

以上より、目視的観察結果(ひび割れ、表面の凸凹)に、赤外線放射温度計によるモルタル表面温度の情報を加えて多変量解析を行えば、モルタル吹き付け法面の空洞の有無ならびに空洞厚を概ね推定可能であると考えられる。

参考文献: 1) 日本写真測量学会: 熱赤外線リモートセンシングの技術と実際、pp.36-44、鹿島出版会、1986。