

熱赤外線リモートセンシング

曾 根 好 徳

1. はじめに

既設土木構造物の維持管理や変状箇所の抽出を目的とした各種調査・試験が注目されている。とりわけ、変状箇所での調査は、危険を伴うことが多いため調査時の安全確保のできる調査手法の研究・開発が望まれている。熱赤外線リモートセンシングは、このような要求を満足する調査手法の1つであり、昨今、土木・地質調査関係で広く注目され、適用の試みが各方面でなされている^{1),2),3)}など。

既存資料や文献等によると熱赤外線リモートセンシングの主な適用例として、電力設備診断、炉等のライニング診断、断熱・保温診断、電子機器部品の故障解析、下水道施設の検査、モルタルおよびタイル仕上壁面の剝離、壁面のひび割れ、漏水、斜面災害調査、吹付け法面の調査、応力測定などが示されている。

これまでに、モルタル吹付け法面、トンネル覆工、ダム堤体などで空洞や表面剝離箇所の調査への適用を試みその有効性を確認してきたので、熱赤外線リモートセンシングについて紹介する。

2. 測定原理

熱赤外線リモートセンシングの測定原理を以下に略記する。周知のように、『リモートセンシング』は、直接手を触れることなしに対象とする物体を識別したり、その状態を調べたりする技術である。『熱赤外線リモートセンシング』は、材料表面の温度を遠隔から非接触で測定（実際には、対象材料からの赤外線放射量を測定する。）し、その物体の状態等を測定・把握する技術である。

同技術では、『絶対零度（ -273°C ）以上の物体は、その表面からその材料の温度に比例した赤外線エネルギーを放射している。』というステファン・ボルツマンの法則に基づいている。この法則によると物体の有する赤外線エネルギーとその物体の表面温度とは次式のような関係があり、物体の有する熱赤外線エネルギーを測定することで表面温度を求めることができる。

$$W = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \text{ (ステファーン・ボルツマンの法則)}$$

ここに、W：単位面積あたりの物体からの放射エネルギー (W/cm²)

ε ：物体の放射率 $0 < \varepsilon < 1$ (本報では、 $\varepsilon = 1$ とした)

σ ：ステファーン・ボルツマンの定数

$$\sigma = 5.673 \times 10^{-12} \text{ (W/cm}^2\text{K}^4\text{)}$$

T：物体の絶対温度 (K)

3. 測定装置および測定方法

図-1に測定装置のシステムブロック図を示す。測定装置は、大別すると検出部、コントロール部、カラーモニター部より構成される。

測定器では、測定物から放出された赤外線エネルギーを検出部(カメラ)で遠隔受光(リモートセンシング)する。検出された赤外線エネルギーは、その強さに比例した電気信号に変換・増幅された後、画像処理器に送られる。

画像処理器では、送られた電気信号をデジタル信号にし、各種の画像処理をする。その処理結果は、カラー画像(温度を疑似カラーとして表現)としてカラーモニターすることができる。

また、測定された赤外線による温度情報は、フロッピィディスクに保存し、測定結果を、パソコン等で処理・解析する。

測定に際しての注意点としては、以下のようなことが挙げられる。太陽光の反射光や蛍光灯の透過光等がある場合、赤外線エネルギーに加えてこれらのエネルギーも測定するため判断を誤ることになる。また、自然環境にも影響を受ける。例えば、風により表面温度の変化が著しくなったり、雨や霧があると測定が困難になる。

また、対象材料の表面温度は、天空からの放射エネルギーや大気と吹付け部表面との熱エネルギーの授受ならびに地山への熱伝導によって決まることも配慮した測定を実施する必要がある。例えば、対象材料表面の温度の経時変化を測定することなどの方法がある。

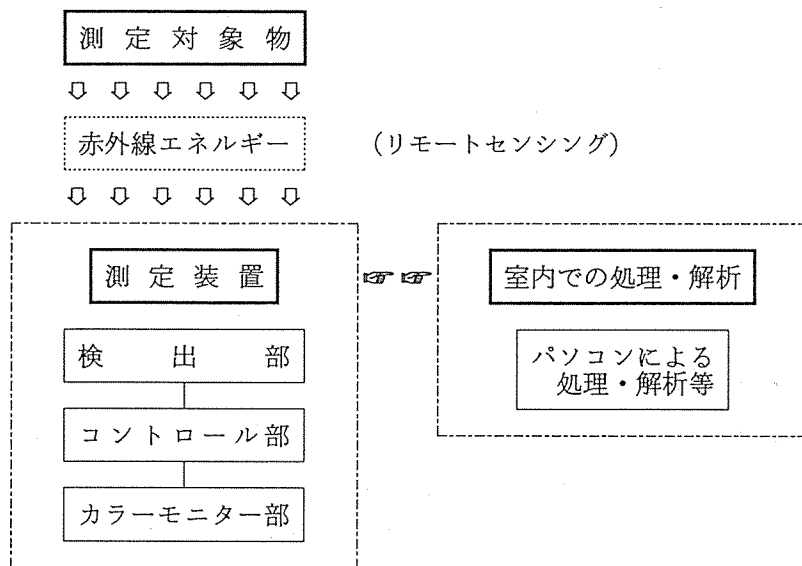


図-1 測定方法及び測定装置

4. 適用事例

ここでは、ダム堤体壁面の劣化診断調査例を示す。この調査は、ダム堤体の下流側約100mの箇所にて赤外線温度計を配置した。調査時の外気温度16℃、快晴であった。また、測定時間は、午後3時30分である。測定結果を図-2に示した。なお、温度分布は、図中の凡例に示すような疑似カラーで示した。同図から、ダム堤体の表面温度が相対的に高いところ、低いところのあることが認められる。本来、同一の気象条件下、同一のコンクリート材料の表面温度を測定した場合、表面温度は、ほぼ同様の温度を呈するものと考えられる。そこで、温度の相対的な差異を生じた理由について図-3に示すようなモデルにより考察した。図-3に示すようにダム堤体に太陽光が照射された場合、一般に健全な部分では堤体の表面で反射と放射が行われる。また、太陽光により与えられたエネルギーの一部は、堤体内部に吸収される。これに対して、例えば剝離等の変状箇所では、堤体表面での反射・放射の現象は同様であるが、剝離によって形成された空気層が堤体内部への熱伝達の効率を低下させる。図-3に示したモデルに従うと、剝離等の変状箇所では、太陽光によるエネルギーが蓄積され、健全箇所比べて温度が高くなるものと考えられる。すなわち、表面温度の相対的に高いところは変状箇所と推定される。

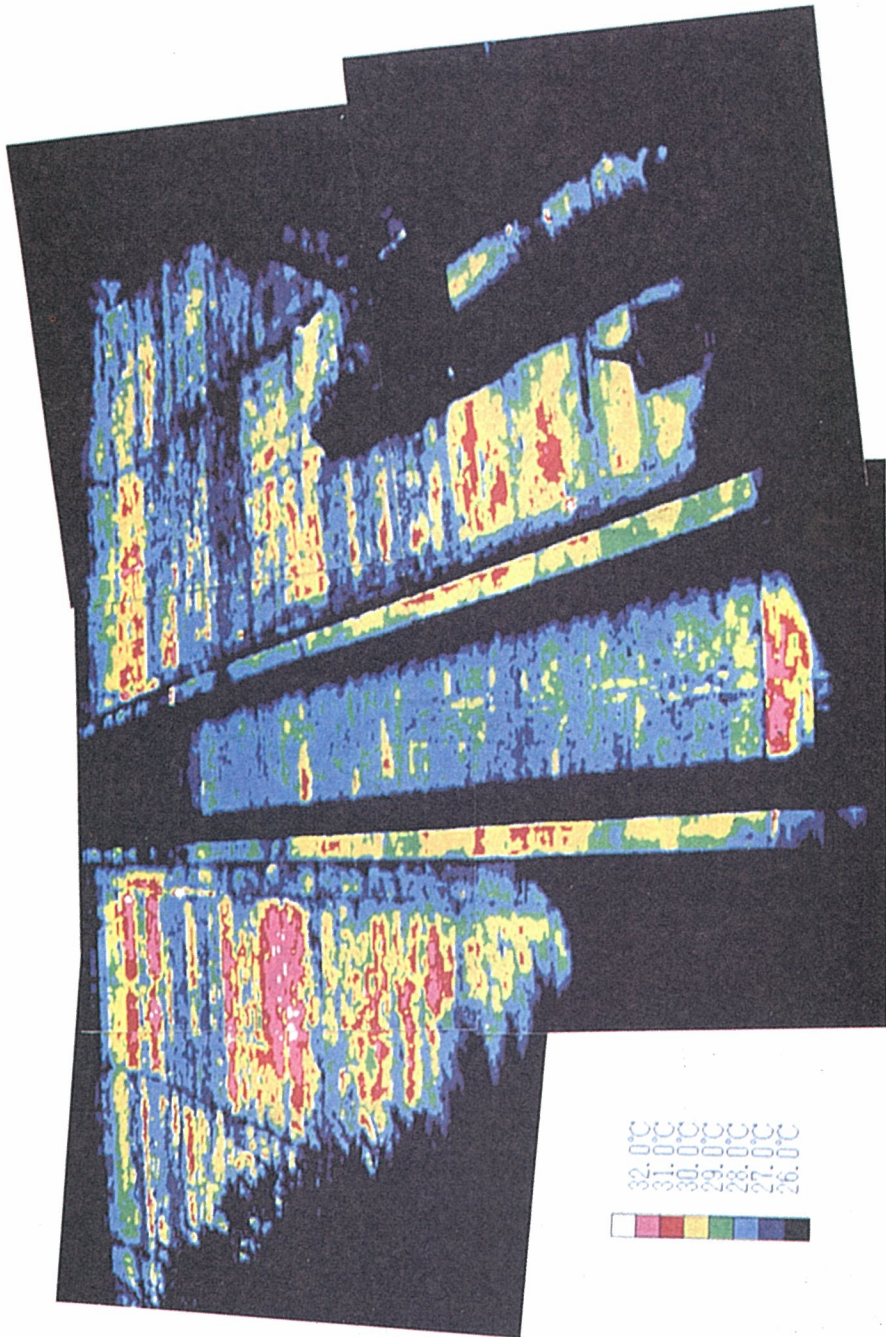


図-2 熱赤外線リモートセンシング結果

本調査では、この推定結果を確認するために目視観察と打音検査を実施した結果、ダム堤体表面の剝離箇所と熱赤外線リモートセンシングにより推定した変状箇所とが良好に対応することを確認した。また、剝離の発生した原因としては、北国のダムであり凍結融解によるものと推察した。

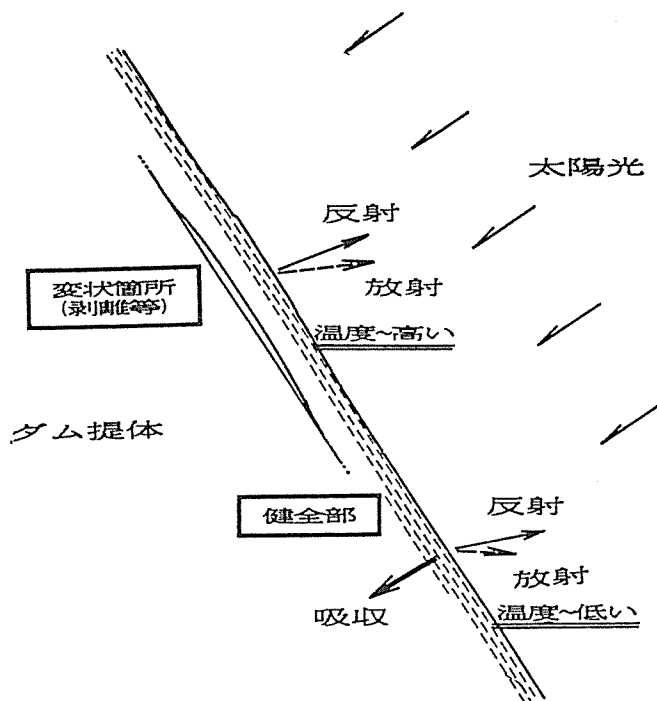


図-3 ダム堤体表面の熱収支のモデル図

5. まとめと今後の課題

本報では、熱赤外線リモートセンシングの紹介とその適用事例を紹介した。

熱赤外線リモートセンシングの一般的な特長を略記すると以下のとおりである。

- (1) 災害箇所などの危険箇所に近寄ることなく遠方からの測定ができるため、測定作業の安全を確保することができる。
- (2) 測定が比較的容易にできるため、広範囲の測定が迅速に実施できる。
- (3) 定量的な測定であるので客観的に評価できる。
- (4) 併用しながらの調査が可能である。

この技術の適用に際して注意を要する点は、その成果がビジュアルに得られるため、

それがあたかも絶対的なものとして評価しがちである。あくまでも得られた成果は、対象材料の表面温度情報のみであることを強く認識し判断を誤らぬよう注意を要する。

また、熱赤外線リモートセンシングは、概查的な調査としては有効であるが、より精度の高い評価・判定が必要な場合には、他の調査方法（例えば、地下レーダー探査、ボーリング調査など）と組み合わせることが必要である。

現状、測定方法及び測定結果の解釈方法は、十分に確立されていないが、各方面での適用実績によりその有効性が広く認知されつつある。

今後、土木・地質の分野において熱赤外線リモートセンシング技術をより発展させるためには、測定方法を確立すること、データの蓄積を通じて適用範囲を明確にすること、伝熱理論や対象材料の熱特性等を考慮した解析方法を確立することなどが重要な課題と考える。

(応用地質株式会社)

<参考文献>

- 1) 曾根他：熱赤外線リモートセンシングによる吹付のり面の地下水調査、平成3年度日本応用地質学会研究発表会、平成3年10月。
- 2) 後藤他：熱赤外線リモートセンシングを用いた法面空洞調査の基礎実験、第25回土質工学研究発表会。平成2年6月。
- 3) 村山他：熱赤外線温度計を用いた岩盤斜面調査技術に関する研究、第23回岩盤力学に関するシンポジウム論文講演集。平成3年2月。

