

熱赤外線映像装置を用いた近代化遺産および史跡の非破壊調査

長崎大学大学院 学生員○中別府二郎 明大工業株式会社 山路 康弘
 長崎大学工学部 正会員 立入 郁 長崎大学大学院 正会員 後藤恵之輔

1. はじめに

本研究は、近年関心が高まっている近代化遺産や史跡の保存、維持管理を非破壊・非接触で行うための手法の提案を目的としている。

保存や維持管理の際、現状把握がまず重要になる。ここでは、熱赤外線映像法およびシミュレーション解析から、複合的な現状の判断を試みた。

熱赤外線映像法は、温度を面的に可視画像として示し、非破壊・非接触で調査を行うものである。これに、シミュレーション解析を組み合わせることで、より正確な変状範囲の判定が可能になると考える。

本研究では、図-1に示す福岡県志免町の志免炭鉱立坑櫓および大分県別府市の鬼の岩屋古墳における現地調査結果を述べるとともに、立坑櫓のシミュレーション解析およびその考察を行った。

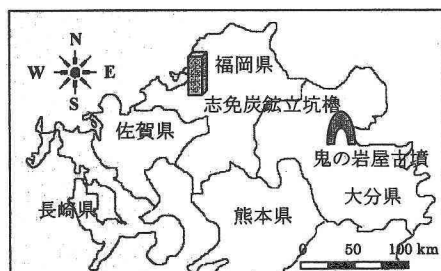


図-1 調査対象概要図

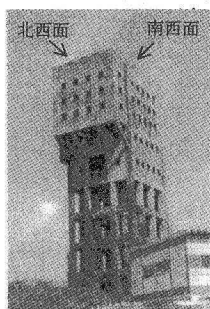


写真-1 立坑櫓

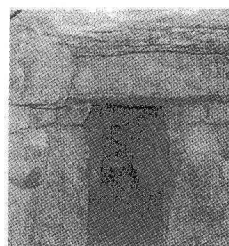


写真-2 石室内部

2. 調査対象

2.1 志免炭鉱立坑櫓

立坑櫓は1941年に着工され、1943年に完成した鉄筋コンクリート構造物である。長さ17.3m、奥行き12.9m、高さ48.6mである。この櫓はワインディングタワー形式で現存する同系式立坑櫓としては、日本最古である¹⁾。写真-1に立坑櫓全体図を示す。

2.2 鬼の岩屋古墳

横穴式石室を主体とする2基の後期古墳である。1号墳は奥室に石屋形を設けた複室構造であり、2号墳は巨石を駆使して築いた巨大空間の玄室をもつ単室構造の横穴式石室である。写真-2に1号墳の石室内部を示す。

3. 現地調査結果

3.1 志免炭鉱立坑櫓

現地調査は、2003年12月23日に実施し、写真-1の撮影位置と同じ位置から立坑櫓北西面および南西面(写真-1参照)を観測した。

櫓壁面には、コンクリートが剥離して鉄筋が露出している部分が数箇所確認でき、立坑櫓の劣化が進んでいることがうかがえる。

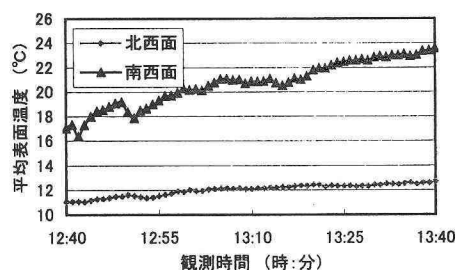


図-2 壁面別表面温度変化

観測時間中の12:40から13:40までの両壁面の表面温度変化を図-2に示す。また、図-3(a)に北西面の13:40の熱画像を示し、図-3(b)に南西面の13:40の熱画像から12:43の熱画像を減算処理した差画像を示す。

北西面では、1時間あたり温度変化が2℃程度で屋上付近以外は日射の影響をほとんど受けていないが、温度が相対的に大きい部分が数箇所確認できる。それらの多くは、目視でクラックなどが確認できた位置であった。南西面の差画像では、画像中心部に相対的に温度変化の大きい部分が確認できた。これらは、変状部の可能性がある。

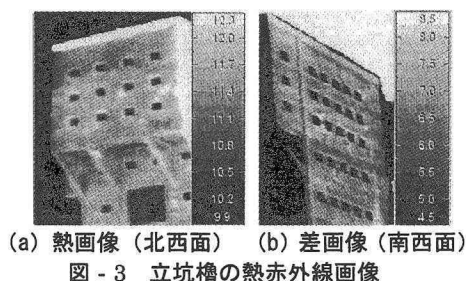


図 - 3 立坑槽の熱赤外線画像

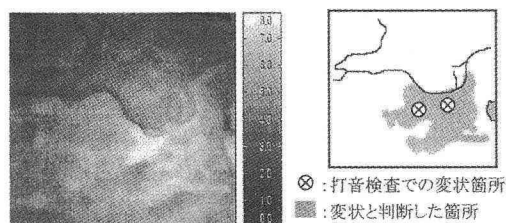


図 - 4 1号墳天井部の差画像および模式図

3. 2 鬼の岩屋古墳

現地調査は、2003年10月31日に実施した。観測点の一つである1号墳石室内の天井部の結果を示す。

石室内は自然の温度変化が小さすぎたため、対象面をハロゲンヒータで加熱し、人工的に温度変化を生じさせ、観測を行った。

図-4(a)には、1号墳石室内の天井部での加熱直後と自然冷却終了時の差画像を示す。図中、白色で表された温度変化の大きい箇所が変状（剥離）部と推定でき、打音検査でも、図-4(b)の模式図に示すように、この部分が剥離部と確認された。

4. シミュレーション解析

ここでは、志免炭鉱立坑槽の熱伝導モデル解析を有限要素解析ソフトウェア Quick Field を用いて行った。

鉄筋コンクリートのひび割れや剥離の主要原因として、中性化による鉄筋腐食の体積膨張や太陽熱による熱膨張ひび割れなどが考えられる。ここでは鉄筋腐食の膨張によるひび割れや剥離をモデル化し、熱伝導解析を行った。現地調査時に腐食鉄筋が露出していたことから、中性化深さと鉄筋のかぶり厚がほぼ等しいと仮定し、モデルにおける鉄筋のかぶり厚として採用する。そこで中性化深さを推定する岸谷式²⁾を用いて、中性化深さを算出した（強度上の水セメント比 $x:0.6$ 、中性化比率 $R:1.0$ と仮定した）。経過年数 60 年では、推定中性化深さは約 2.88cm と

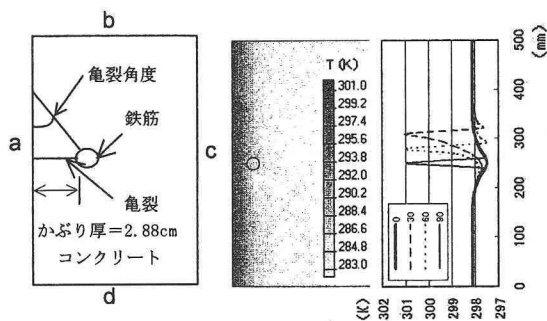


図 - 5 モデルの概要および解析結果

表 - 1 モデルの諸条件

鉄筋径	D25		
亀裂口	0.5 (mm)		
亀裂角度	なし	90°	60°
側面	定常解析 温度	非定常解析	
		Heat Flux	Radiation
a	283.15 (K)	600 (W/m ² ・s)	$\beta=0.94$ $T_0=283.15 (K)$
b,c,d	条件なし	条件なし	条件なし

※ ここでの境界条件は、冬季の気温や日射量から得た値である。

算出された。したがって、かぶり厚を 2.88cm としたモデルを作成し、表 - 1 の条件で解析を行った。図 - 5(a) に概略を示し、図 - 5(b) に解析結果を示す。

解析結果より鉄筋付近は、周辺より温度が低くなること、0.5mm の亀裂でも亀裂角度が鋭角なほど影響範囲が大きいことがわかった。

モデルを変化させて解析を行うことで、劣化状態と表面温度の関係を定量的に理解でき、観測に役立てることが可能である。

5. おわりに

本研究では、表面温度測定とシミュレーション解析を組み合わせることで、正確な変状状況推定の可能性が示されたと考える。今後は、モデルの諸条件を変化させてシミュレーション解析を行い、近代化遺産や史跡の現状把握の一手法として提案したい。

6. 謝辞

鬼の岩屋古墳の調査に協力を賜った別府市教育委員会に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 志免町: <http://www.shime.jp/shimehome.nsf/>
- 2) 岡田清, 明石外世樹, 小柳裕: 土木材料学, p. 201, 1998.