

立命館大学院

池上浩太郎

立命館大学院

学生員○駒居 裕登

東海旅客鉄道（株）正会員 高木 政道

立命館大学理工学部

正会員 尼崎 省二

1. はじめに

コンクリート橋脚の補強工法として鋼板巻き立て工法が採用されているが、充填モルタル中の空隙、浮きあるいは剥離などの欠陥は、橋脚の劣化原因になると考えられる。本研究は、鋼板巻き立て工法におけるモルタルの充填状況を把握し、モルタルの充填中と硬化後に鋼板表面の温度分布を赤外線法で撮影し、モルタル未充填部の探査方法の検討とともに3次元非定常熱解析による解析的検討を行ったものである。

2. 実験概要

実験には、鋼板巻き立て工法で補強したRC柱の一面をモデル化するため、B 150 mm x H 240 mm x L 2000 mmのRCはり4体をPC鋼棒で一体化したコンクリート壁に鋼板（B 900 mm x H 1800 mm、厚さ6 mm）をアンカーボルトで取り付けた図1に示す供試体を用いた。鋼板には、あらかじめ空隙、浮き、剥離をモデル化した表1に示す人工欠陥を貼付した。鋼板とコンクリート壁の隙間は40 mmとし、充填モルタルには、流動性に優れた市販の早強性無収縮モルタルを使用した。配合はW/C=38%として、モルタル1m³当たりセメント+砂(C:S=1:1)が1875kgとした。

表面温度変化は、日射による温度上昇過程を撮影した。温度差画像を得るための時間は、予備実験結果から、日射加熱2～5分後とした。赤外線カメラは、供試体から5 m離れた位置に視野角 20°で設置（解像度 0.38 mm）し、鋼板全体を撮影した。なお、赤外線撮影条件は無風あるいは微風程度の環境とし、表2に使用した赤外線カメラの仕様を示す。

また、熱画像の撮影と同時に、健全部と欠陥部（一辺10 cmの発泡スチロール）の鋼板表裏及び欠陥に接するモルタルの温度を熱電対により測定した。なお発泡スチロールは厚さ5及び10 mmとし、熱電対は欠陥部中心に設置した。

3. 3次元非定常熱伝導解析

供試体表層部の3次元非定常熱伝導解析は、

20 節点アイソパラメトリック要素により行っ

た。解析では、空隙が鋼板表面の温度分布に及ぼす影響を検討するため、図2に示す1/4解析モデルを採用した。空隙モデルは一辺10および5 cmの正方形で、厚さ10および5 mmの発泡スチロールとした。解析に用いた境界条件および材料特性を表3、4に示す。なお、コンクリートおよび鋼板の放射率は、それぞれ、0.60および0.27とした。熱伝達係数は、赤外線撮影条件である無風あるいは微風を考慮し、 $\alpha=10$ とした。また、対流による熱流束は $q_{air}=10(T_s-T_0)$ から算出した。ここで q_{air} ：対流による熱流束、 T_s ：供試体表

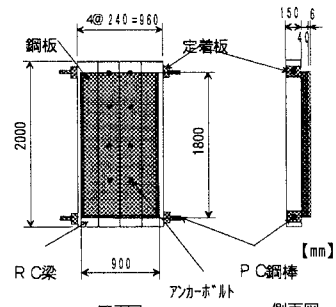


図1 供試体

表1 欠陥の寸法および材質

欠陥の種類	寸法 (cm)	厚さ (mm)	呼び名
発泡 スチロール	10x10	10	A,B
		5	C,D
	5x5	10	E
		5	F
	3x3	10	G
		5	H
両面 テープ	15x15	2	I
		1	J
	10x10	1	K
ビニール シート	15x15	0.2	L
	10x10	0.2	M

表2 赤外線カメラの仕様

赤外線検知器	水銀・カドニウム・テルル 液体窒素冷却型
応答波長	8.0～13.0 μm
感度(温度分解能)	3.0℃で0.05℃
温度指示誤差	指示値の1%または0.5℃ のいずれか大きい値

表3 解析条件

鋼板表面からの 熱流束 q_s	600 (W/m ²)
表面の熱伝 達係数 α	10 (W/m ² ・K)
コンクリート 壁の温度	15℃一定
外気温	20℃

表4 材料特性

材料	熱伝導率 λ (W/m・K)	比熱 C (J/kg・K)	密度 ρ (kg/m ³)
モルタル	1.3	800	2000
鋼板	80.3	442	7870
発泡スチロール	0.018	960	15.9

Keywords 赤外線法、モルタル充填評価、温度差画像、3次元非定常熱伝導解析

連絡先 〒525 草津市野路東1-1-1 立命館大学理工学部土木工学科 Tel 0775-61-2726 Fax 0775-61-2667

面温度、 T_0 ：表層部近傍における外気温である。

4. 実験、解析結果および考察

モルタル充填材齢28日における日射による温度上昇時の温度差画像の一例と欠陥位置との関係を図3に示す。発泡スチロールの欠陥は、一辺が5cm以上あれば厚さに関わらず、探査可能であるが、その面積が小さくなると温度差が小さくなっている。これは、空隙に接する面積が小さくまると、鋼板が吸収した熱が拡散し平衡状態になりやすいためと思われる。図4に示す欠陥寸法と温度変化の関数の解析とも一致している。そのため一辺3cmの発泡スチロールは探査できなかった。

一方、浮きと剥離をモデル化したビニールシートと両面テープは、探査できなかった。熱伝導率がモルタルとほぼ同程度であることから、温度差が健全部のものと同程度になったものと思われる。

これら人工欠陥部以外に、鋼板が実際に剥離した温度差の大きい部分と、鋼板が白くなっている温度差の小さい部分が生じた。鋼板の剥離は打音法によって確認を行ったが鋼板が白くなっている温度差が

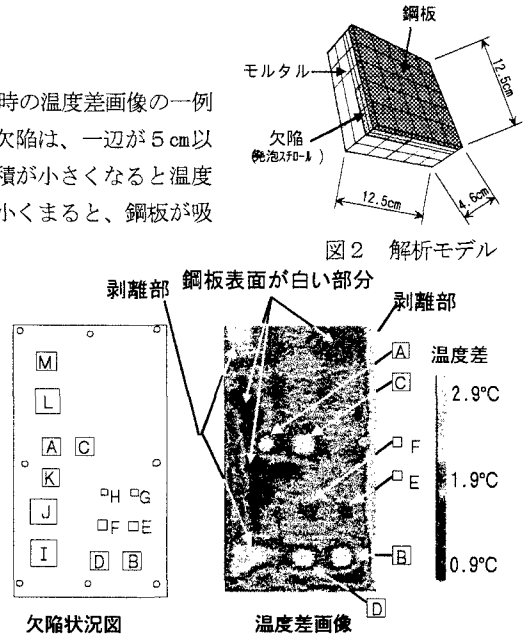


図2 解析モデル

図3 欠陥状況図および温度差画像

小さい部分は、色調が日射の吸収に影響するためと思われる。従って赤外線法による内部欠陥の探査には、鋼板表面の色調の相違を考慮する必要があると考えられる。

健全部、欠陥部の鋼板温度を熱電対で測定した結果を図5に示す。欠陥部の温度変化が健全部より大きく、また欠陥の厚さによる温度変化には差がないことが分かる。2つの方法で測定した温度には、わずかな差が生じているが、温度差画像における健全部と欠陥部の温度差が確認された。

また図6、7に示す厚さの違う欠陥の温度変化は解析結果と実測値とが同様の傾向を示し、厚さはほとんど影響して

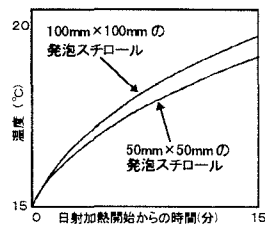


図4 欠陥寸法による温度変化（解析値）

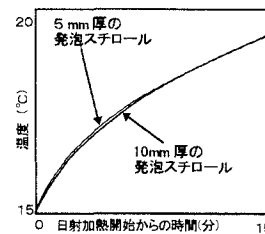


図6 厚さの異なる欠陥の経時温度変化

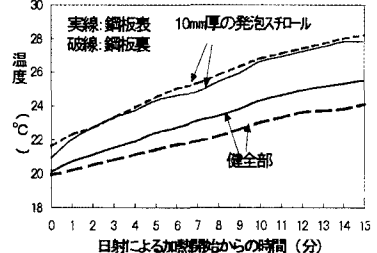


図5 欠陥部および健全部の経時温度変化

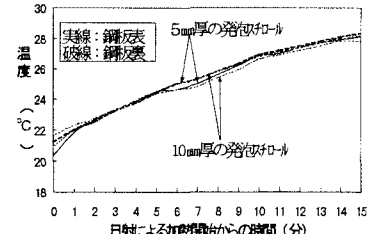


図7 欠陥の厚さの違いによる温度変化（解析値）

いないことが分かる。一辺10cm、厚さ10mmの発泡スチロール欠陥の解析結果では、日射加熱開始から15分後の欠陥部と健全部の温度変化量は1.1°Cで、実測値1.5°C（図3）よりも少ない。しかし、供試体には日射加熱以前から欠陥部と健全部との間に温度差があること、解析での鋼板の熱伝導率の正確さ等を考慮すると、熱伝導解析は鋼板表面での熱伝導をよく表現しており、解析値は実測値によく一致していると考えられる。

5. 結論

赤外線法による充填モルタルの内部欠陥探査に関する実験および解析結果を要約すると、以下のようである。温度差画像を用いると、内部空隙は鮮明な温度差となり、一辺が5cm以上の空隙が探査できる。ただし、鋼板表面の色調差が差画像として現れることがあり、鋼板表面の色調を考慮する必要がある。