

立命館大学院 学生員○駒居 裕登 立命館大学院 学生員 池上 浩太朗
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することにより、モルタル未充填部の探査方法のついて検討を行ったものである。

2. 実験概要

実験には、B 150 mm x H 240 mm x L2000 mmのRCはり4体をPC鋼棒により一体化したコンクリート壁に鋼板（厚さ6 mm、コンクリートとの隙間 40 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。鋼板裏面には、空隙、浮きおよび剥離を想定し、それぞれ図2に示す発泡スチロール、両面テープおよびビニルシートを貼付した。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。健全部と欠陥部の実際の温度変化を調べるため、熱電対を鋼板中央部の表面と裏面および欠陥中央のモルタル面に貼付し、さらに外気温を測定するため鋼板表面から4 mmの位置に設置した（図2参照）。

モルタル充填中の撮影は、モルタル充填前（初期画像）と充填開始後30秒間隔で充填終了までとした。モルタル硬化後の撮影は、日射による温度上昇過程で行った。すなわち供試体をビニルシートによって日射を遮り、一様な温度状態とした後、ビニルシートを取り除くことにより温度上昇過程とした。ビニルシートを取り除いた直後（初期画像）から、30秒間隔で5分間、その後1分間隔で15分間撮影を行った。赤外線カメラは、供試体全体が撮影できるように供試体から5 mの位置に設置し、視野角を20度で撮影した（解像度 0.38 mm）。また、赤外線撮影条件を無風あるいは微風程の環境とした。使用した赤外線サーモグラフィの仕様を表1に示す。

3. 実験結果及び考察

熱画像では、鋼板の色調、汚れなどが温度変化として現れるため、内部欠陥探査が困難であった。そのため温度差画像による探査を試みた。

図3にモルタル充填中の温度差画像を示す。充填開始5分後（充填高さ30 cm）には、100×100×10 mmの発泡スチロール部は健全部に比べて約1.0度程度の温度差があり、その存在が明確であるが、15分後（充填高さ70 cm）には温度差約0.3度と少なくなり、検出が難しくなっている。これは、屋外で充填したために充填中の日射による鋼板の温度上昇により健全部との温度差が小さくなったためと思われる。なお50×50×10 mmの発泡スチロール部などは、検出できていない。一方、充填終了後5分経過時の温度差画像では、充填中と比べて多くの欠陥が検出可能となった。

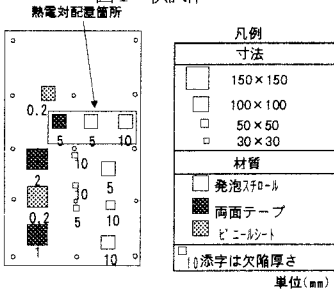
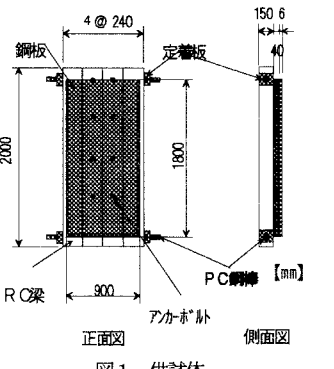


図2 模擬欠陥配置位置

表1 赤外線サーモグラフィの仕様

赤外線検知器	水銀・カドミウム・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)	30℃で0.05℃
温度指示精度	指示値の1% または0.5℃の いづれか大きい値
測定温度範囲	-40～2000℃
検出動作範囲	0～40℃
表示画素数	512(水平×480(垂直))
視野角	30°×28°
焦点範囲	カメラ前部20cm以上

図3に示す鋼板表面が白っぽい箇所は打音法により健全部と確認したが、鋼板表面の色調の影響によって温度差画像では欠陥部と同様の温度差として現れている。このように温度差画像でも除去できない熱的ノイズによって欠陥探査を誤る場合があるので注意が必要である。

図4に温度差画像（撮影時のモルタル材齢7日）から確認できた発泡スチロール（100×100 mmおよび50×50 mm）、両面テープ（150×150 mm・厚さ1 mm、2 mm）を示す。ビニルシートによる模擬欠陥の確認ができなかった。なお、図中の①は、モルタル収縮による剥離部分である。発泡スチロールは、一辺が5 cm以上あれば厚さに関わらず検出が可能であるが、面積が小さくなるほど温度差が小さく不鮮明になっている。これは、発泡スチロールの熱伝導率

(0.018 W/m・K) がモルタル (1.2 W/m・K) に比べて非常に小さいため、鋼板が吸収した熱がモルタルに伝達しないためと考えられる。また、30×30 mmの発泡スチロールおよび100×100 mmの両面テープの検出は困難であった。発泡スチロールは、100×100 mm、50×50 mm、30×30 mmと小さくなるに従って探査が不鮮明になっている。これは、面積が小さくなるほど、周辺鋼板の温度の影響を受けるためと思われる。以上から、実際の鋼板巻立て工法における鋼板内部の欠陥検出精度は、欠陥の面積（寸法）に関係すると考えられる。

図5に熱電対による経時温度変化を示す。鋼板の表面温度は外気温の上昇にともない大きくなっているが、健全部の温度上昇は欠陥部よりも小さく、さらに欠陥の種類によって温度上昇程度が異なっており、発泡スチロール部の温度上昇は両面テープ部よりも大きい。健全部における鋼板表面の温度上昇が小さくなっているのは、鋼板にモルタルが付着しているとモルタルが鋼板の熱を吸収するためと考えられる。熱伝導率が小さい両面テープや発泡スチロールは断熱材として作用するため、鋼板の温度上昇が大きくなるが、両面テープは、熱伝導率が発泡スチロールより大きく、鋼板の熱をモルタルに伝えることから両面テープ部の鋼板温度上昇が低くなったと考えられる。この現象は、発泡スチロール部のモルタル温度が、両面テープ部に比べて小さいことから明らかである。

4. 結論

本研究で得られた結果をまとめると以下ようになる。

- ・熱画像では、鋼板の色調、汚れが温度変化としてあらわれるが、温度差画像ではこれらの影響は少くなる。
- ・温度差画像を用いると5 m離れた位置から観測可能な内部欠陥の大きさは、鋼板と接する面積が5 cm×5 cm以上である。

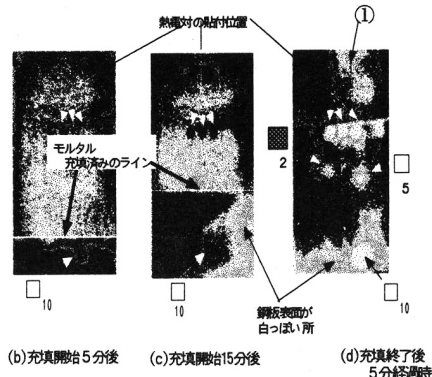


図3 モルタル充填中における温度差画像

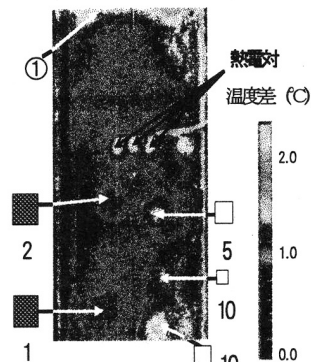


図4 欠陥配置図およびモルタル硬化後の温度差画像

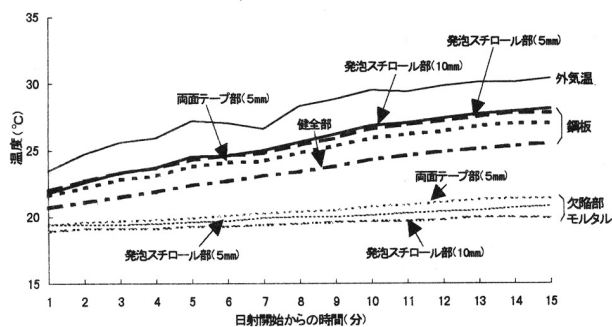


図5 熱電対による経時温度変化