

サーモグラフィー法による内部欠陥検出の可能性

左官モルタル塗りの施工管理に関する研究 その1

FUNDAMENTAL STUDY ON INSPECTION METHOD OF
INTERNAL DEFECT IN PLASTERING BY USING
AN INFRARED THERMOGRAPHYA Study on Construction Management of Cement Mortar
Plaster Finishing Work Part 1

河辺伸二*, 岡島達雄**, 武藤正樹***

*Shinji KAWABE, Tatsuo OKAJIMA and
Masaki MUTO*

It is important that the internal defect in cement mortar plaster finishing is found out before cement plaster is hardened. The purpose of this study is to investigate the possibility of it by using an infrared thermography.

The conclusion from experimental results is following; Plastering materials, its bed and measuring time of the day are not effect on inspection of defect. The inspection is possible if thickness of coating is 10 millimeter or less. The inspection without destruction of plastering materials is possible by using an infrared thermography.

Keywords : *infrared thermography, internal defect, finishing, cement mortar, fresh*

サーモグラフィー, 内部欠陥, 仕上げ, モルタル, 未硬化

1. はじめに

左官モルタルを施工する際の壁面へのモルタルの塗り付けの良否は、モルタル硬化後の接着力の低下や、内部空隙による白華発生等の品質に大きな影響を与える。施工中に生ずる欠陥を未然に防止することは極めて重要なことであり、モルタルがフレッシュな状態で欠陥を検出し補修する技術は、左官モルタル塗りの施工管理において特に必要なことであるといえる。

モルタルがフレッシュな状態で欠陥を検出するには、モルタルを痛めない様、非接触かつ非破壊で調査する方法が必要となる。外壁タイルやコンクリート壁面の内部欠陥の調査の非破壊試験方法として、測定面の表面温度差から内部の亀裂、空隙等の欠陥を探索するサーモグラフィー（赤外線映像装置）法が注目されている。佐藤¹⁾は、外壁仕上げ材の剥離部診断方法として、新たにサーモグラフィー法を用いる「表面温度法」を提案し、大岸²⁾は、模擬試験体にて赤外線法、衝撃振動応答法、打

音法の3方法の適用性を検討している。福川³⁾は、模擬剥離を施した外壁タイル仕上げの試験壁にて、日射等の気象変化の影響を検討している。谷川⁴⁾は、有限要素法の解析と、モルタル試験体の表面温度の測定との比較を行い検討を行っている。また、サーモグラフィー法に関するコンファレンスも開催されている。⁷⁻¹⁴⁾

（社）建築・設備維持保全推進協会^{15,16)}は、タイル外壁やモルタル塗り外壁の診断方法として赤外線装置法を採用しているが、現段階では、打診法と併用することを義務づけている。同協会診断委員会¹⁷⁾は、実建物の外観目視法、打診法、赤外線装置法による診断を行い報告書にまとめている。その結果赤外線装置法の信頼性にばらつきがあり、さらに研究が必要であるとしている。

魚本¹⁸⁾は、フレッシュなコンクリートの測定について適用している。コンクリート打設時に型枠外表面の赤外線画像を計測することによって、型枠内のコンクリートの打ち込み状況と発生する欠陥をリアルタイムに確認す

* 名古屋工業大学 助教授・工博

** 名古屋工業大学 教授・工博

*** 名古屋工業大学 大学院生・修士(工学)

Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Nagoya Institute of Technology, Dr. Eng.

Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Nagoya Institute of Technology, Dr. Eng.

Graduate student, Dept. of Architecture, Nagoya Institute of Technology, M. Eng.

ることを可能としている。渡辺¹⁹⁾はサーモグラフィー法によるコンクリートの充填性を検討している。

本研究では、サーモグラフィー法を用いてフレッシュな状態のモルタル表面を計測し、その熱画像よりモルタル内部の空隙等の欠陥を判別する、サーモグラフィー法による左官モルタル塗りの施工管理の可能性について検討する。今回は次の実験を行い検討を行う。左官工事のセメントモルタル塗りに従い、下地に直接モルタルを塗る下塗り、下塗りの硬化後その上にモルタルを塗る中塗りにおいて検討する。また、下地の種類、塗り材の種類、塗り厚、測定時間帯の違いについて検討する。実験は日射の影響がなく、風の影響の少ない屋外で行う。以上の実験より、サーモグラフィー法による左官モルタル塗りの施工管理の可能性を見いだすことを目的とする。

2. サーモグラフィー法

自然界に存在するあらゆる物体は、全て赤外線を放射している。赤外線の放射エネルギーは、物体の温度が高くなるほど大きくなり、放射の波長の最大値は短波長側（可視光線側）に移行する。サーモグラフィー法は被写体から放射される赤外線を赤外線検知器によって電気信号に変換し、その強弱に対応した可視映像を作り出す。

サーモグラフィー法は材料表面の温度差より内部欠陥の位置を判別する診断方法であり以下の利点を持つ。

- 1) 非接触かつ非破壊である。
- 2) 欠陥部が熱画像により視覚的に把握できる。
- 3) 経時的な計測が可能である。
- 4) 一時に遠方から広範囲の調査が可能である。

外壁タイル等のサーモグラフィー法による診断の問題点は、タイル等の表面の色や凹凸などの表面形状が違う場合、材質が異なるなど他の仕上げ材が混在している場合に診断を難しくしていることである。また張り付け工法の種類によっては、欠陥部位が断定できなかったり、モルタルの塗り厚が大きくなると欠陥を判別できない場合もある。調査が建物使用中に行われ、建物内部の空調等の熱が外壁表面の熱に影響を与えるため診断を難しくすることもある。

これらに比べ今回の実験のように、サーモグラフィー法を左官モルタル塗りの施工管理に用いる場合、既調合モルタル等の種類はあるがモルタルという同一材を用い、また1回の塗り厚は6mmを基準とし²⁰⁾最大でも9mm以下という表面から比較的浅いため、診断の条件が安定し欠陥部の判別が容易になると思われる。建物が使用に供される前の施工においての測定のため、建物内部の熱の影響も小さい。

本研究に用いたサーモグラフィー法の測定システムを図-1に示す。本研究では、あくまでも実際の施工現場で即時に対応ができるように、画像解析に頼らずカラー

モニター（画像）のみを観察することで欠陥部が判別できるかを目標とする。

測定装置の仕様を表-1に示す。今回使用した検知波長帯は8~12 μm ²⁰⁾を採用した。観測視野角は、今回の実験の測定距離1.8mでは468×366mmの被写体が観測される。表示画素数は、測定距離1.8mでは1画素の大きさは1.83mm角となり、10mm角の欠陥は約30画素で示される。また今回の実験では、モルタルという色も材質も比較的均一の材料で行い、測定場所も日陰で行ったため測定温度範囲が2.56℃と狭く設定できた。

3. 実験方法

3.1 下塗りにおける欠陥部の判別

(1) 供試体の作製

実験に用いる下地はJASS15の下地のうち、イ) 現場打設コンクリート下地（コンクリート板）、ロ) コンクリートブロック下地（ブロック）、ハ) 鋼製金網下地（メタルラス）の3種類を選んだ。

塗り材は、既調合モルタルを使用する。これは、実際の左官工事において作業性が良いことから最近よく用いられる。成分は普通ポルトランドセメント、硬質パーライト、珪砂、メチルセルローズである。調合は、既調合モルタル：水=100：26（重量比）で行う。

測定時間帯は、実際の左官工事が日中に行われることを考慮して、イ) 9:00~11:00、ロ) 13:00~15:00、ハ) 16:00~18:00の3種類の時間帯で行う。

欠陥には、フォームポリスチレンを用いた。フォームポリスチレンの熱伝導率は、コンクリート、モルタルや水の熱伝導率と大きく異なり、また、静止空気熱伝導率ときわめて近い。材料の熱伝導率²¹⁾を表-2に示す。ただし、コンクリート、モルタル、既調合モルタルの値は硬化後の値である。この結果、欠陥である空気の使用に、フォームポリスチレンを使用して良いと仮定した。

欠陥の大きさは、イ) 10mm角、ロ) 20mm角、ハ) 30mm角の3種類とし、厚さは1mmとする。欠陥の大きさを3種類としたが、欠陥の大きさは被写体と測定器の間の距離により相対的に決まるものである。本実験ではこの距離を1.8mと一定にしている。仮にこの距離を大きくすれば、欠陥はサーモグラフィーの画像に小さく表示され、相対的に小さな欠陥を測定することになる。

塗り厚は左官工事において1回の塗り厚は6mmを標準とすることから、本実験では6mmで測定を行う。ただし鋼製金網下地の場合、JASS15ラス下地セメントモルタル塗りに従い、下塗りとも直しを含めて6mmとした。なお、本実験では定木を用いて塗り厚を一定に保った。

(2) 測定方法

測定に関する条件は以下の通りである。

日程：8月31日~9月9日

天候：晴天もしくは曇り

場所：名古屋工業大学社会開発工学科棟北
(日射熱の影響のない日陰の場所)

測定距離：1.8m

地面に水平に設置した下地に吸水調整材を塗り、乾燥後欠陥を設置しその上に塗り材を塗り付ける。今回使用した吸水調整材はエチレン酢ビ系合成樹脂エマルジョンで、この3倍希釈液を用いた。鉛直方向から5分ごとに表面温度を20分間測定し、欠陥が判別しやすくなるようにサーモグラフィーの温度幅の設定を変え、得られた画像より欠陥部の判別を行う。

一般に、壁面（垂直方向）に塗り材を塗り付けるのは、素人では難しい。コテさばきや塗り圧の違いにより内部に空隙が生じたり、表面を平らにならす前にモルタルが硬化して、不均一な表面のままになる場合があるからである。そこで本研究では、壁面にモルタルを塗る場合の欠陥を検出することを目的とするが、今回の実験では、フォームポリスチレン以外の欠陥（空隙）を生じさせないように、また一定の塗り厚や仕上げ精度を得るために、床面（水平方向）に塗り付ける方法を用いる。

3.2 中塗りにおける欠陥部の判別

(1) 供試体の作製

下地は3.1の実験で用いた供試体を2週間以上気中養生し、硬化したものをを用いる。

塗り材は、既調合モルタル（前出）と普通セメントモルタルの2種類である。普通セメントモルタルは、普通ポルトランドセメント、細骨材（川砂最大寸法2.5mm）および水溶性樹脂（メチルセルローズ）とする。普通セメントモルタルの調合を表-3に示す。

測定時間帯と欠陥は、3.1の実験と同じとする。

塗り厚は、イ) 4mm、ロ) 7mm、ハ) 10mmの3種類とする。これは、1回の塗り厚が最大9mmを限度としているむら直しも考慮に入れた。

(2) 測定方法

日程：9月16日～9月29日

天候：晴天もしくは曇り

その他、場所、測定距離、測定方法は3.1の実験と同じである。

4. 実験結果

4.1 下塗りにおける欠陥部の判別

サーモグラフィーから得られた測定画像の一例を写真-1に示す。風が吹いて表面が冷却されたり、コテ塗りのムラ等により画像にばらつきが現れているものがある。画像を見ながらサーモグラフィー装置の測定温度幅と測定の最高温度と最低温度の調整を行うと、欠陥の位置がよりはっきりと判別できるようになった。下地の違いによる判別の違いは特になかったが、今回の塗り厚の

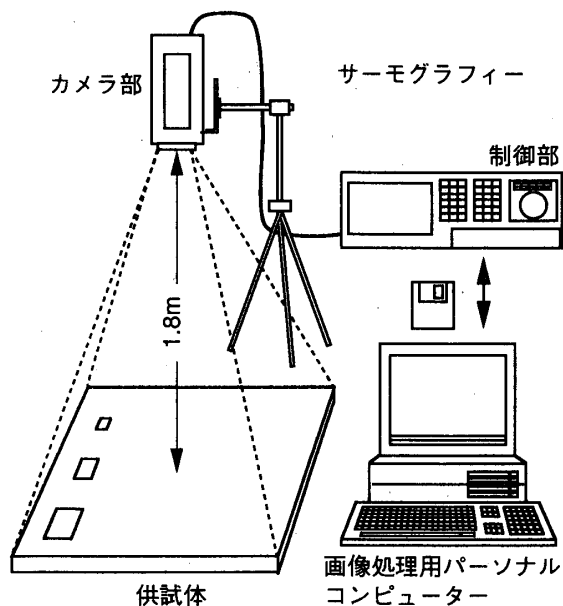


図-1 測定システム

表-1 測定装置の仕様

赤外線検知器	HgCdTeスプライトセンサー 単素子方式
検知器冷却方式	スターリングクーラー方式
検知波長帯	8～12μm
観測視野角	約 縦10°～横15°
瞬時視野角	2.2mrad (0.12°)
フレーム数	約15フレーム/秒
走査線数	100本
表示画素数	51,200 (水平256×垂直200)
測定温度範囲	－40～300℃
設定感度	0.01℃以上
最小検知温度差	0.1℃
測定誤差	フルスケールの±0.8%、±4℃
測定距離	20cm以上
放射率補正	0.10～1.00まで0.01ごと

表-2 熱伝導率

使用材料	熱伝導率 (kcal/m・h・℃)
コンクリート	1.4
セメントモルタル	1.1
既調合モルタル	0.31
水	0.52
フォームポリスチレン	0.032
静止空気	0.022

表-3 セメントモルタルの調合

水	セメント	細骨材	水溶性樹脂
57	100	300	0.1

(重量比)

範囲内においてメタルラスの鉄線やコンクリートブロックの目地等下地の表面形状が画像から確認できた。同じ日に行った実験で気温が上昇する午前中、気温が最も高くなる午後2時前後、気温が下降する夕方と測定時間帯の違いによる気温の違いが判別に影響すると思われた。実験の結果いずれも判別できたが、温度差の大きい13:00からの測定は特に判別がしやすかった。

屋外の実験のため同じ気温、同じ表面温度を得ることは不可能である。また、実際の左官工事においても同じことが言える。そこで、健全部の温度から欠陥部の温度を引いた温度差で表わすこととした。健全部の温度から欠陥部の温度を引いた温度差の経時変化を図-2に示す。欠陥の大きさが10mm角の時は $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 前後の温度差、20mm角の時は $-0.2 \sim +0.5^{\circ}\text{C}$ 前後の温度差、30mm角の時は $-0.2 \sim +1.0^{\circ}\text{C}$ 前後の温度差となった。欠陥が大きいほど温度差が大きくなることが分かる。温度差が比較的一定している場合や、大きく変化している場合もある。温度差が大きく変化している供試体はモルタルの表面に風が当たり冷却されたものであり、欠陥の判別には都合が良い様である。下地の違いや、測定時間帯の違いによる影響は特に見られなかった。測定時間は20分間であったが、その後も同様な傾向を示すと思われる。20分間の測定の間にモルタルの反応熱が発生し、モルタルの表面温度が上昇していると考えられるが、図中に特に変化は見られず判別に関してモルタルの反応熱は影響しないと思われる。

4.2 中塗りにおける欠陥部の判別

3.1の実験と同様に、風の影響により画像のばらつきが現れた。サーモグラフィー装置の測定温度幅と測定の最高温度と最低温度の調節を行うと、欠陥がよりはっきりと判別できた。欠陥は大きいほどはっきりと判別ができた。塗り厚が大きくなるほど欠陥部の判別がしにくい傾向であったが、塗り厚10mmでも画像における判別は充分可能であった。塗り材の違いや測定時間帯の違いは、欠陥部の判別に関して特に影響は見られなかった。

健全部の温度から欠陥部の温度を引いた温度差の経時変化を示す。塗り厚4mmの既調合モルタルを用いた結果を図-3に、塗り厚7mmの既調合モルタルを用いた結果を図-4に、塗り厚10mmの既調合モルタルを用いた結果を図-5に示す。塗り厚4mmの普通セメントモルタルを用いた結果を図-6に、塗り厚7mmの普通セメントモルタルを用いた結果を図-7、塗り厚10mmの普通セメントモルタルを用いた結果を図-8に示す。なお、各々の時間帯につき3回測定を行った。既調合モルタルの場合、欠陥の大きさが10mm角の時は $-0.3 \sim +0.4^{\circ}\text{C}$ 前後の温度差に、20mm角の時は $-0.1 \sim +0.6^{\circ}\text{C}$ 前後の温度差に、30mm角の時は $-0.3 \sim +0.9^{\circ}\text{C}$ 前後の温度差となった。また普通セメントモルタルの場合、欠陥の大きさが

写真-1 測定画像の一例

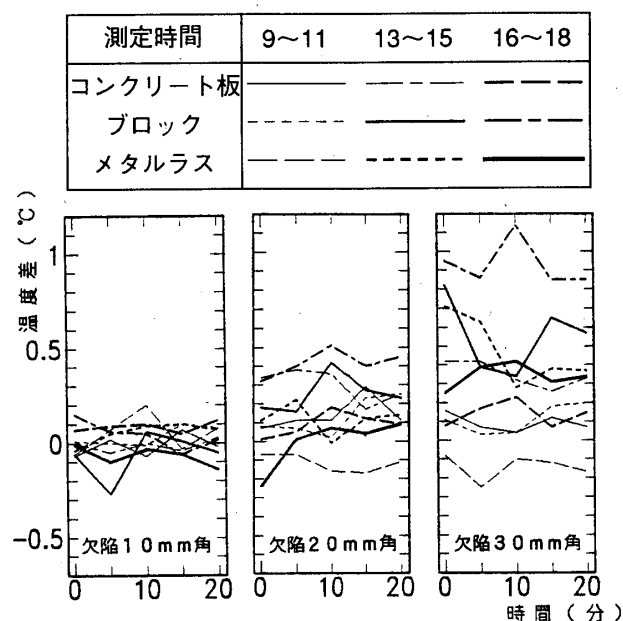
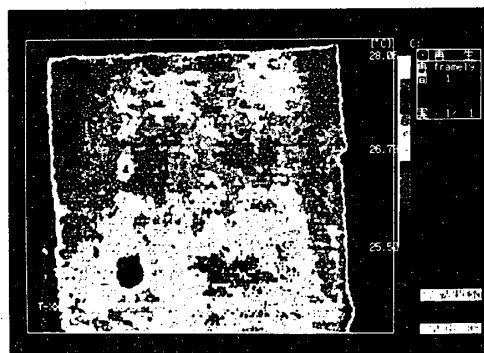


図-2 温度差（健全部-欠陥部）の経時変化

10mm角の時は $-0.3 \sim +0.4^{\circ}\text{C}$ 前後の温度差に、20mm角の時は $-0.3 \sim +0.5^{\circ}\text{C}$ 前後の温度差に、30mm角の時は $-0.6 \sim +0.8^{\circ}\text{C}$ 前後の温度差となった。欠陥が大きいほど温度差も大きくなることが分かる。塗り厚が大きくなるとやや温度差が小さくなることが分かる。本研究で用いた塗り厚10mmでも欠陥の判別は充分可能であることから、実際の左官工事における1回の塗り厚の最大9mm以下の塗り厚の施工であれば特に問題にならないと思われる。塗り材については、硬質パーライト含有の既調合モルタルと普通セメントモルタルの熱伝導率の違いが、欠陥部の判別に影響すると考えたが、本実験の範囲内では影響はない。測定時間帯による欠陥部の判別の影響はなかった。中塗りの場合もモルタルの反応熱は欠陥部の判別に関して影響していないと思われる。

5. 考察

5.1 下塗りにおける欠陥部の判別

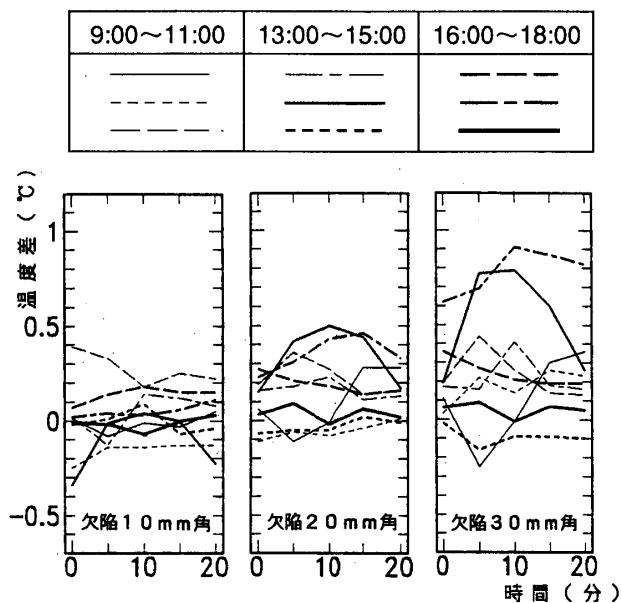


図-3 温度差（健全部-欠陥部）の経時変化
既調合モルタル、塗り厚4mm

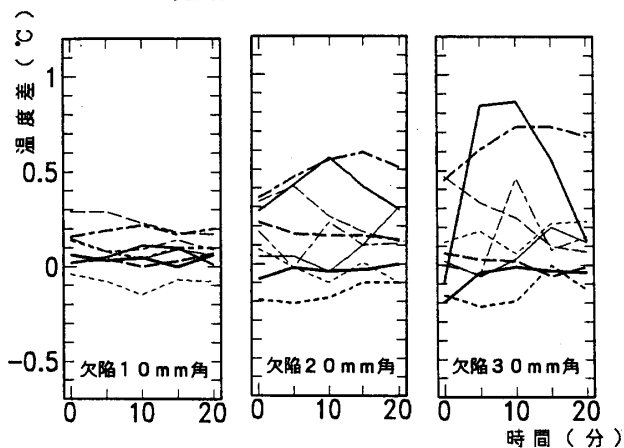


図-4 温度差（健全部-欠陥部）の経時変化
既調合モルタル、塗り厚7mm

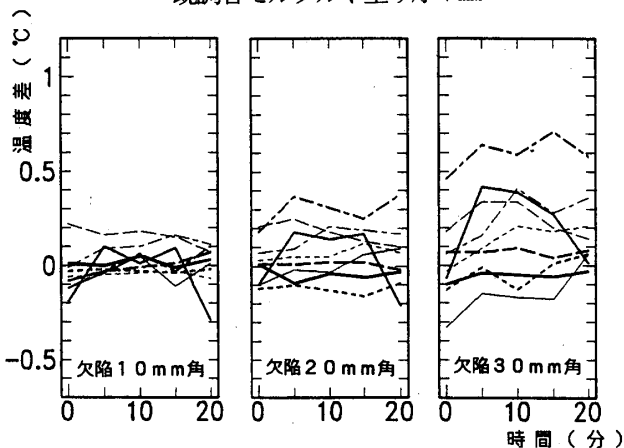


図-5 温度差（健全部-欠陥部）の経時変化
既調合モルタル、塗り厚10mm

施工現場で即時に対応できるように、カラーモニター（画像）のみを観察して欠陥部が判別できるかを試みた。そこで、画像を見ながら個々の欠陥の判別のしやす

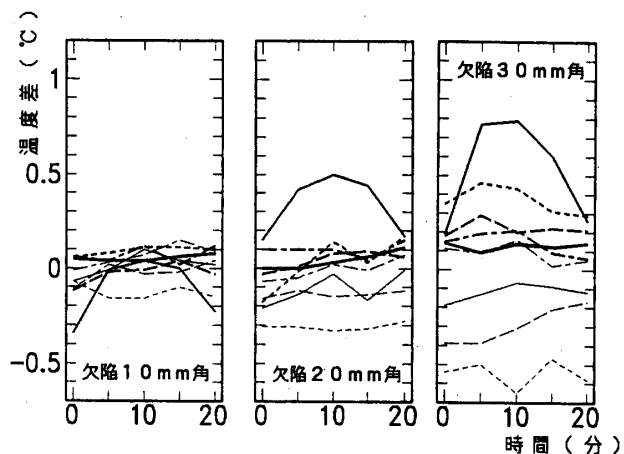


図-6 温度差（健全部-欠陥部）の経時変化
普通セメントモルタル、塗り厚4mm

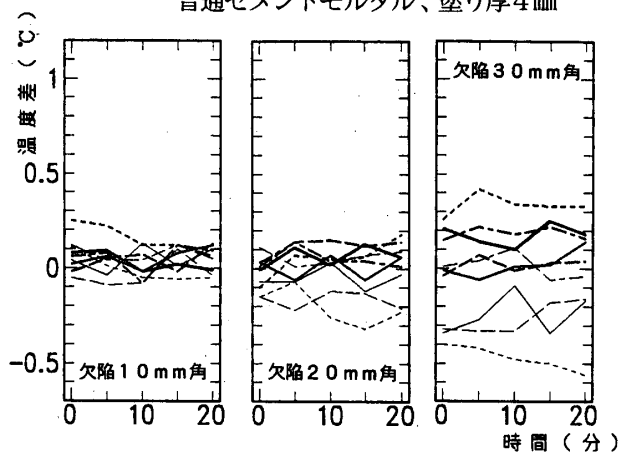


図-7 温度差（健全部-欠陥部）の経時変化
普通セメントモルタル、塗り厚7mm

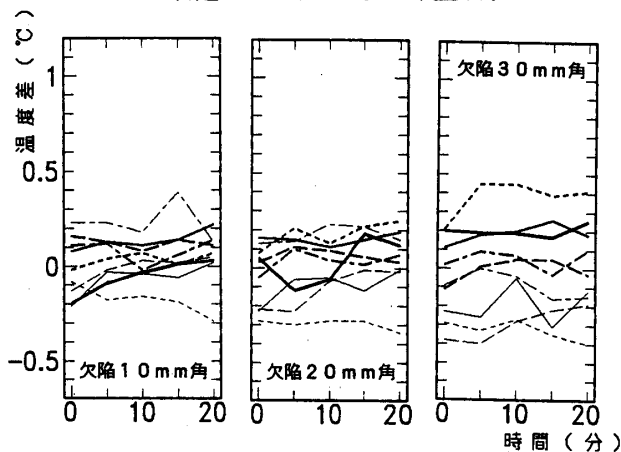


図-8 温度差（健全部-欠陥部）の経時変化
普通セメントモルタル、塗り厚10mm

さを次の5段階で評価した。

1. 全然判らない
2. ほとんど判らない
3. 位置が判る
4. 大きさまで判る
5. 形まで完全に判る

図-9に欠陥の大きさによる欠陥部判別の評価を示

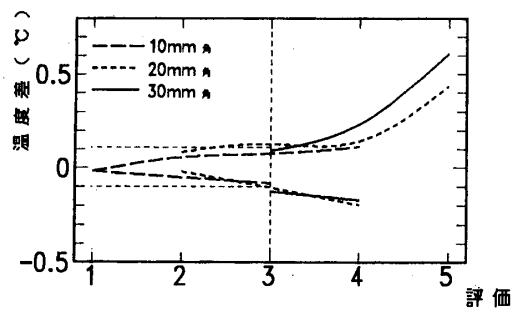


図-9 欠陥部判別の評価 (欠陥の大きさ)

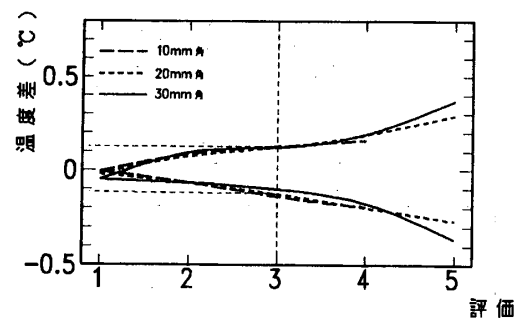


図-12 欠陥部判別の評価 (欠陥の大きさ)

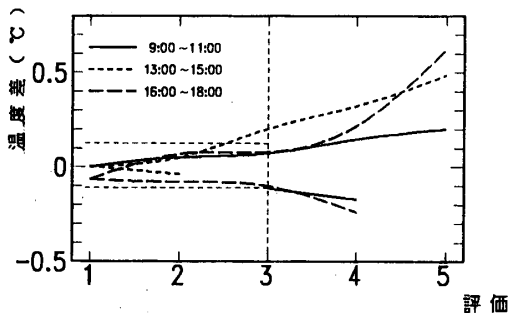


図-10 欠陥部判別の評価 (測定時間帯)

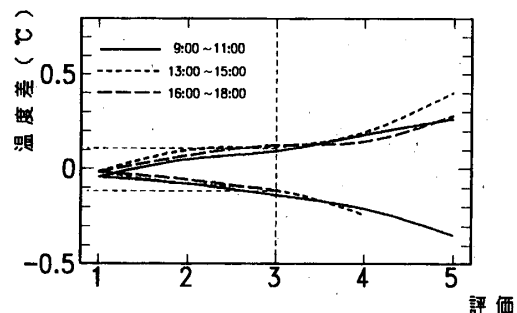


図-13 欠陥部判別の評価 (測定時間帯)

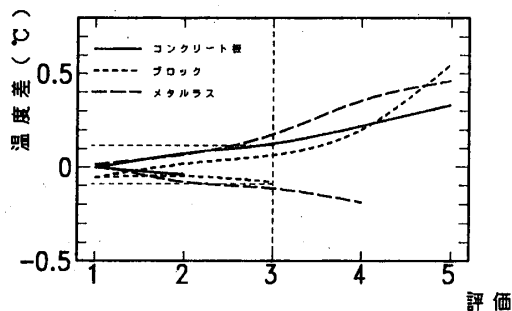


図-11 欠陥部判別の評価 (下地)

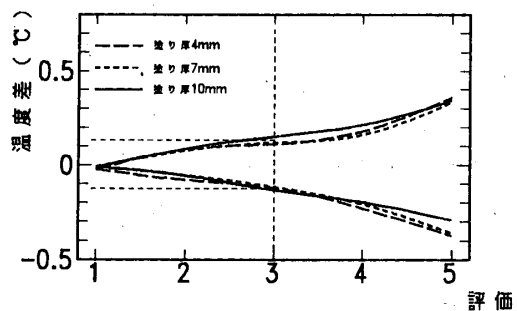


図-14 欠陥部判別の評価 (塗り厚)

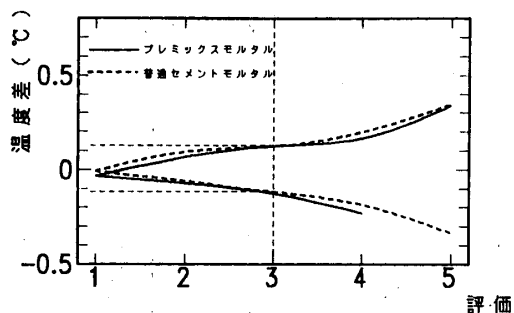


図-15 欠陥部判別の評価 (塗り材)

す。なお、温度差は図-2をもとにしている。30mm角の欠陥はすべて評価3以上となり欠陥の判別が充分可能である。10mm角は温度差もあまりなく、評価5の形まで完全に判るものがないことが分かる。しかし、温度差がさらに大きくなれば、より確実に判別できるようになると思われる。図-10に測定時間帯による欠陥部判別の評価を示す。13:00からの測定と16:00からの測定では温度差も大きく、はっきりと判別できるといえる。9:00からの測定でも他の2つに比べ温度差は小さくなっているが充分判別は可能である。図-11に下地の種類による欠陥部判別の評価を示す。どの下地の種類においても評価が3以上あり充分判別の可能性はあると考えられる。図-9、図-10、図-11より、どの条件においても評価3は約 $\pm 0.11^{\circ}\text{C}$ であるといえる。これより、評価3、4、5を『欠陥部が判る』と仮定すると、今回の実験の範囲内において、健全部と欠陥部の温度差が約 0.11°C あれば欠陥部の判別が可能となるといえる。

5.2 中塗りにおける欠陥部の判別

5.1と同様に判定のしやすさを5段階で評価した。図-12に欠陥の大きさによる欠陥部判別の評価を示す。なお、温度差は図-3から図-8をもとにしている。10mm角の欠陥は温度差も小さく完全な形で判別できなかったことが分かるが、評価3、4もあり判別の可能性はあるといえる。20、30mm角は充分判別の可能性があると

える。図-13に測定時間帯による欠陥部判別の評価を示す。9:00からの測定は、13:00からの測定と16:00からの測定に比べ温度差が小さいが、欠陥部の判別に関して測定時間帯は影響を与えていないといえる。図-14に塗り厚による欠陥部判別の評価を示す。本実験における塗り厚4、7、10mmでも大きな違いはなく、塗り厚10mmでも評価5と判定される場合もあるため、塗り厚10mm以下は充分判別が可能となる厚さであるといえる。図-15に塗り材による欠陥部判別の評価を示す。既調合モルタルと普通セメントモルタルの違いは特に見られない。図-12から図-15よりどの条件においても評価3は約±0.12℃といえる。評価3、4、5を『欠陥部が判る』と仮定すると、今回の実験の範囲内において健全部と欠陥部の温度差が約0.12℃あれば欠陥部の判別が可能となるといえる。

6. 結論

サーモグラフィー法による左官モルタル塗りの内部欠陥検出に関し、本研究の範囲内で次のことがいえる。

1) 日射熱の影響のない場所では、サーモグラフィー法による欠陥部の判別に関して、下地の種類、塗り材の種類、測定時間帯の影響はない。塗り厚が大きいほど判別しにくくなるが、塗り厚10mm以下では影響はない。

2) 左官モルタル塗りの施工時に、内部に生じた欠陥をモルタルがまだ未硬化の状態で検出する方法として、サーモグラフィー法は充分可能性を持つ。

今後の課題：屋外における測定は、日射、風、外気温など環境条件に左右されることが多いため、確実に欠陥を判別するための具体的な手法を明らかにする事が必要であるといえる。また実際の施工現場での測定、検討を行いたい。

謝辞

本研究は、名古屋工業大学学内研究特別経費、講座研究費などにより行われた。ご指導ご協力をいただいた本学学長吉田弥智工学博士、ならびに当時の卒論生藤橋恵美氏に厚く謝意を表する。

注1) 1回の塗り厚は、6mmを標準とする。JASS15、pp.23(解説:pp.212)

参考文献

- 佐藤紀男:外壁仕上材(タイル・モルタル)剥離部の診断方法(パソコン利用による剥離部の自動作図方法),日本建築学会大会学術講演梗概集(東海),pp.571~572,1985.10
- 大岸佐吉,他2名:赤外線映像,衝撃振動応答,打音の3方法による鉄筋コンクリート内部欠陥および仕上モルタル,タイル剥離の探査性能に関する研究,コンクリート工学,第27巻,第8号,pp.103~114,1989
- 福川義明,他2名:模擬はく離を施した外壁のタイル仕上げ等の表面温度,サーモグラフィー法に関するコンファレンス論文集,pp.1~4,1992.4
- 谷川恭雄,他2名:サーモグラフィーによるRC構造物の内部欠陥探査,コンクリート工学年次報告集,第10巻,No.2,pp.349~354,1988.6
- 谷川恭雄,他3名:サーモグラフィーによるタイル壁面の欠陥探査に関する基礎的研究,日本建築学会大会学術講演梗概集(九州),pp.385~386,1989.10
- 谷川恭雄,他3名:サーモグラフィー法によるコンクリート壁面の内部欠陥の推定に関する研究,日本建築学会大会学術講演梗概集(関東),pp.231~232,1993.9
- 沼尾達弥,他3名:内部欠陥を有するコンクリート表面の屋外における放射温度分布,サーモグラフィー法に関するコンファレンス論文集,pp.5~8,1992.4
- 増谷光正:防衛技術における赤外線装置の利用,サーモグラフィー法に関するコンファレンス論文集,pp.11~21,1992.4
- 野田良平,他2名:外壁仕上げ剥離検知に使用する赤外線映像装置の検出波長の研究,サーモグラフィー法に関するコンファレンス論文集,pp.13~20,1992.4
- 清 良平,他1名:赤外線センサーを用いた外壁診断における反射箇所解析方法,サーモグラフィー法に関するコンファレンス論文集,pp.21~28,1992.4
- 稲葉 茂:サーモグラフィー法によるひびわれ幅と測定距離の関係,サーモグラフィー法に関するコンファレンス論文集,pp.29~32,1992.4
- 渡辺博司:壁面の冷却による外装タイルの剥離検知法,サーモグラフィー法に関するコンファレンス論文集,pp.33~38,1992.4
- 中沢隆雄,他3名:サーモグラフィーを用いたモルタル吹付け斜面の空洞探査,サーモグラフィー法に関するコンファレンス論文集,pp.39~42,1992.4
- 柳内睦人,他1名:熱赤外データを利用した構造物コンクリート強度の推定に関する実験的研究,サーモグラフィー法に関するコンファレンス論文集,pp.43~48,1992.4
- 建築仕上げ診断技術者ービルディングドクター(非構造),講習会テキスト,BELCA(社)建築・設備維持保全推進協会,pp.368~381,1993.9
- 建築仕上げ診断技術者更新講習ー建築仕上げ診断技術者の活用状況と今後の展望ー,(社)建築・設備維持保全推進協会,1993
- 診断事例研究,「外壁診断指針」に基づく適正な外壁診断のための実建物診断調査報告,(社)建築・設備維持保全推進協会,診断委員会・仕上げ小委員会・技術分科会,1993
- 魚本健人,他1名:型わく面の熱画像解析によるコンクリートの打設監視法に関する研究,コンクリート工学年次論文報告集,第15号,pp.583~588,1993
- 渡辺光良,他2名:サーモグラフィーによるコンクリート充填性の管理方法,日本建築学会大会学術講演梗概集(関東),pp.247~248,1993.9
- 梅干野見,他3名:新たに試作した波長域に感度を有する熱画像と熱収支計算による外壁剥離検知手法に関する基礎的研究,日本建築学会計画系論文報告集,第450号,pp.29~37,1993.8
- 岸谷孝一:建築材料ハンドブック,技報堂,1987.11,第一版
- 建築工事標準仕様書・同解説,JASS15,左官工事,日本建築学会,1993.3
- 山田和夫,他1名:サーモグラフィー法を適用した外壁タイルの剥離評価に関する基礎的研究,日本建築学会大会学術講演梗概集(関東),pp.249~250,1993.9
- 橋本和雄,他1名:赤外線カメラによるタイルの浮き診断実験について,日本建築学会大会学術講演梗概集(関東),pp.561~562,1988.10
- 新井洋一:赤外線センサーによるタイル外壁剥離検知器,建築の技術施工,pp.98~101,1986.3

(1994年4月10日原稿受理, 1994年11月10日採用決定)