

サーモグラフィーを用いた吹付けコンクリートの施工管理

A Proposal for Controlling Quality of Shotcrete by Using Thermographs

塚原 絵万*・魚本 健人*

Ema TSUKAHARA and Taketo UOMOTO

1. はじめに

吹付けコンクリートは、近年、構造物の代表的なライニング材として重要な役割を担っていることは衆目の一致するところである。しかし施工方法が特殊であるため、現時点では、その施工および品質管理は経験的な要素に頼らざるをえない部分が多い。また施工時に多量の粉塵が発生するため、目視による吹付け面の良否の確認は難しく、高強度・高耐久な構造物の建設を目指すためには、定量的な管理手法が必要であると考えられる。

そこで本研究では、人為的および機械等の施工条件により発生する吹付けコンクリート構造物の品質のばらつきを、コンクリートの発熱による温度変化を利用することによって検出することを目的として、実験を行った。本研究は、吹付けコンクリート実施工におけるリアルタイムでの施工管理手法を提案するものである。

2. 実験概要

2.1 コンクリート試験体

本実験では、吹付けは湿式吹付け工法を用い、手吹きにて施工を行った¹⁾。コンクリートの配合は、 $W/C =$

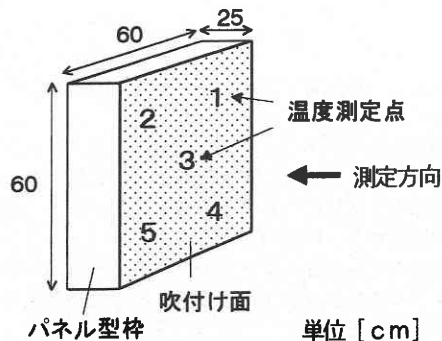


図1a 試験体概要 (コンクリート)

58.6%，急結剤添加量はセメント重量に対し7%である。試験体は、図-1-aのような高さ60 cm×幅60 cm×奥行き25 cmの木製パネル型枠にコンクリートを吹付けることによって作製した。尚、コンクリート吐出量は4.0 m³/h、吹付け距離は1.5 mである。物体表面の温度パターンを非接触で測定できる赤外線放射温度計を用いて、急結剤添加により生じる短時間での温度変化を、吹付け開始後から10秒毎に130秒後まで測定した。また、同時に図-1に示した測定点において相対的な温度変化を測定した。さらに、同様の型枠を用いて、厚さが不均一になるよう吹付けた試験体を作製し、その温度変化を測定した。

2.2 モルタル試験体

練混ぜには、容量30ℓのモルタルミキサーを用いた。水以外の材料を60秒間空練りし、十分に書き落とした後、水を投入し60秒間練り混ぜた。本実験では、モルタルが吹付け以前にノズル内で急速硬化することを防ぐため、急結剤は標準使用量の約半分に抑えている。

吹付け面は垂直方向より約30度傾けて設置し、吹付け圧力0.6～0.7MPa、ノズルと吹付け面との距離は約30 cmという一定の条件下で、モルタルを直径約70 cmの円に均一に吹き付けた。円内にはあらかじめ、それぞれ形状の違う発泡スチロール計3個を張り付けており、これにより空

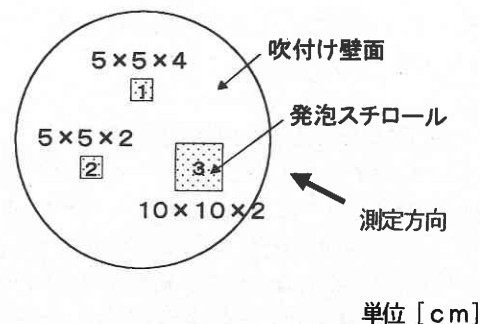


図1b 試験体概要 (モルタル)

*東京大学生産技術研究所 第5部

研 究 速 報

隙を想定した (図-1-b). コンクリートを用いた実験と同様に, 吹付けモルタル表面の温度変化を, 吹付け終了時から 10 秒毎に測定した.

3. 実験結果と考察

3.1 サーモグラフィーの有用性の検討

写真-1-a ~ c にコンクリート吹付け開始時 ($t=0$) からの熱画像を示す. 尚, 吹付けに要した時間は 90 秒であり, 写真-1-b は吹付け終了時 ($t=90$) の熱画像である. 写真-1-a より, 右側に示されたノズルから吹き出した直後のコンクリートと, 型枠に付着したコンクリートとの間に大きな温度差は見られないが, 時間が経過していくにつれて, 試験体表面の温度は上昇していく様子が見られる. 各測定点における温度変化を図-2 に示した. 全ての測定点において, 温度変化は同様の傾向を示しており, 吹付け開始より 80 秒以降の温度上昇が顕著である. しかし測定点 No. 2 は, 他の測定点と比較して温度上昇の割合が小さく, これは熱画像の経時変化からも確認することができる. 本実験における試験体が, 吹付け開始から終了まで一定の条件の下に作製された, つまり, コンクリートの品質が均一であり, 吹付け圧力等施工条件に大きな変化は生じなかったとすれば, 測定点 No. 2 周辺は施工終了直前にコンクリートが吹付けられたと考えることができる. 従って, サーモグラフィーを用いて吹付け面の温度変化を観察することにより, 各地点毎の施工順序を確認することが可能であると考えられる.

写真-2 に厚さが不均一になるようコンクリートを吹付けた試験体と, その熱画像を示す. 尚, 熱画像は吹付け終了後に撮影したものである. 用いた試験体は左下部が欠落し, 右上部が最も厚い形状になっている (写真-2-a). 写真-2-b に示した熱画像より, 形状の違いが温度差に顕著に表れていることがわかる. これより, サーモグラフィーの利用により, 吹付け厚さの不均一性の評価が可能であると考えられる. しかし, 試験体表面に内部の空隙の有無や大小, またその保温性の影響が表れていることも考えられるため, 次節 3.2 において, モルタル試験体を用いて内部空隙に対する検討を行った.

3.2 モルタル試験体を用いた内部空隙の評価

写真-3-a および b に施工終了後 30 秒, また 10 分後の試験体表面の温度を示す. これより, サーモグラフィーを用いることにより, 空隙の有無は施工終了直後でもかなりの精度で判別することが可能であり, 時間が経つにつれて空隙と周囲との温度差はますます顕著になることが分かる.

また, 空隙の大きさについては, 本実験では空隙の奥行きを評価することはできなかったが (発泡スチロール位置 1 と 2), 空隙の断面積の大小を判断することは可能と考えられる (発泡スチロール位置 3).

またここで, 発泡スチロール 3 の下部の表面温度が, 空隙を想定した位置と同様に, 周囲よりも低くなっていることが見受けられる. 写真-4 に施工終了後のモルタル吹付け状況を示す. 全体画像からも判断できるが, 写真-4-b より, 発泡スチロール 3 の下部では周囲と比較して粗な表面形状になっていることが明らかである. したがって, これは凸部分 (ここでは発泡スチロール 3) によって陰が生じ, その部分にはモルタルが密につまらなかったために空隙ができたものと考えられることができる³⁾.

本実験はモルタルを用いて吹付けを行った. 粗骨材や施工方法等による影響も考えられるが, コンクリート施工の場合においても, サーモグラフィーを用いた内部空隙の評価は, 十分に可能であると考えられる.

4. ま と め

吹付けコンクリート施工において, サーモグラフィーを用いることにより, 吹付け施工順序の確認, また吹付け厚さの不均一性を評価することが可能であることが分かった.

また, 本実験の範囲内では, 吹付けモルタル内部に生じた空隙の有無や大きさは, かなり良い精度で判断できることが分かり, コンクリートを用いた場合においても評価が可能であると期待される.

赤外線は湿度等の気象条件にも影響を受けやすく, トネル内での撮影においては, 粉塵により測定が妨げられることも心配される. 今後は, 実際の施工現場において広範囲に及ぶ吹付け面を撮影し, サーモグラフィーによる施工管理の可能性をさらに検討していく予定である.

(1998 年 7 月 8 日受理)

参 考 文 献

- 1) 魚本健人: 高品質吹付けコンクリートの開発に関する研究報告書, 1998. 3.
- 2) 渡部正: サーモグラフィー法によるコンクリート施工のモニタリングシステムに関する研究, 東京大学博士論文.
- 3) 後藤充志: 吹付けモルタルの付着強度に関する研究, 東京大学修士論文, 1998. 3.
- 4) 塚原絵万・魚本健人: サーモグラフィーを用いた吹付けコンクリート施工管理手法の提案, 土木学会年次学術講演会概要集, 投稿中.

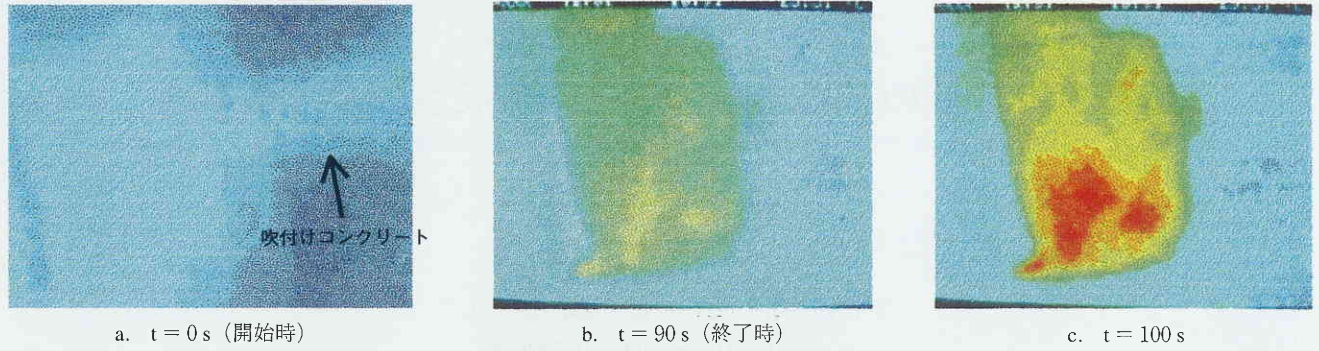


図1 接合実験の概略図

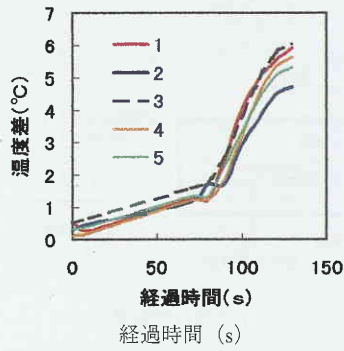


図2 各測定点における温度変化

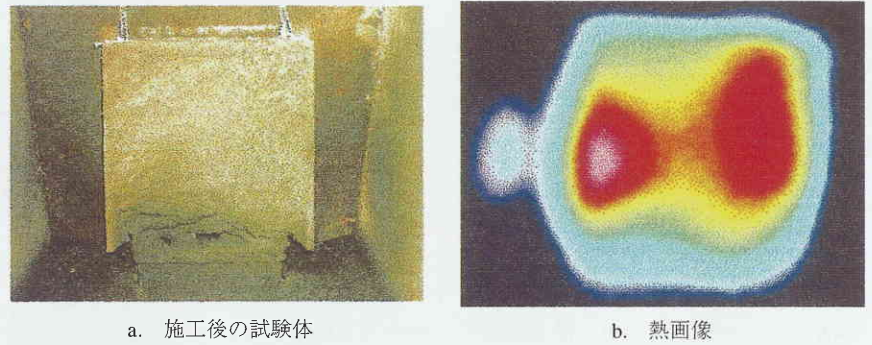


写真2 試験体表面の温度差

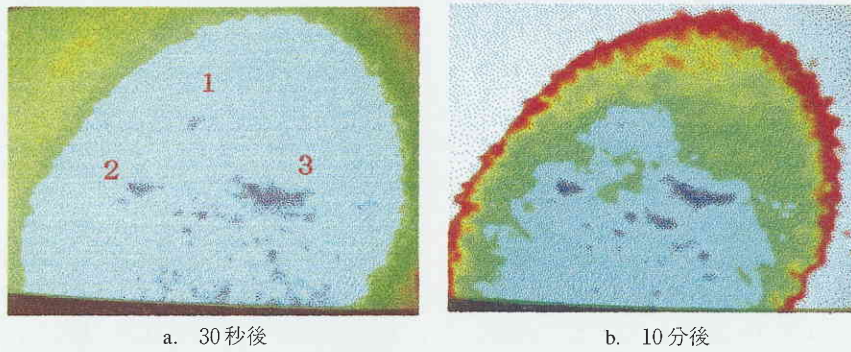


写真3 試験体表面の温度



写真4 モルタル吹付け状況