

熱伝導解析に基づくモルタル吹付けのり面の表面温度と内部空隙の関係性の検討

長崎大学大学院 学生会員 ○仲村 公輝 フェロー会員 蔣 宇静
長崎大学大学院 学生会員 東 幸宏 正会員 杉本 知史

1. 研究の背景及び目的

昭和 40 年代に全国的に数多く施工された実績がある吹付けモルタルのり面は老朽化が進行しており、今後適切な検査・補修等の維持管理を行うことが望まれる。健全部と欠陥部の熱伝導率の差を利用したサーモグラフィ法では、吹付けのり面の背面空隙の有無と平面的な大きさを診断できるが、背面空隙の深さを精密に検査するには至っていない。吹付けモルタルと地山間の空隙が増大すると両者の付着力が減少し、モルタルが崩落する危険性が高まる。表面温度分布によって背面空隙の深さを検査できれば、今後維持管理に更に有効である。

そこで本研究では、実現場を模擬したモデルを作成し、モルタル厚・背面空隙の深さ・入力日射量等の条件を設定した三次元非定常熱伝導解析を行い、モルタルの表面温度と背面空隙の深さの関係性を分析した。

2. 解析概要

2.1 三次元非定常熱伝導解析

表面温度の解析に用いた構成式は、エネルギー保存方程式(1)と熱伝導方程式(2)であり、下記に示す。

$$-q_{i,i} + q_v = \rho C_v \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

$$q_i = -KT_i \quad (2)$$

ここに、 q_i は熱流束、 q_v は熱源強度、 ρ は密度、 C_v は比熱である。また、 K は熱伝導率、 T は絶対温度である。なお、三次元非定常熱伝導解析は、有限差分法(FLAC3D)を使用した。

2.2 解析モデル及び解析設定条件

図 1 は解析を行ったモデル、表 1 及び表 2 はそれぞれ解析に用いた物性値、検討したモデルの諸元を示す。モデルにおけるモルタルの寸法は幅 45×45cm である。本解析では、平板試験体の対称性を考慮して 1/4 解析モデルを使用している。また、日射量は 6 月と 12 月を想定したもので、気象庁の気象データ 10 年間を平均したものを参考にして設定し¹⁾、さらに、入力(吸収日射量)は設定した日射量のうち 6 月は 17%、12 月は 20% とした(図 2)。6 月と 12 月の解析開始時における初期温度はそれぞれ 5℃、20℃ に設定した。また、モルタルの表面温度の解析結果は背面空隙部の中央の上面に位置する箇所(図 1 の A の位置)から 30 分間隔で抽出した。

3. 解析結果と考察

図 3 及び図 4 は入力した 2 つの日射量におけるモルタル厚 2cm の場合の解析結果を示す。日射量が 6 月の場合、最大に達した時の表面温度は温度の高い方から空隙の深さが 10cm、8cm、6cm、4cm、2cm の順であり、空隙の深さが大きくなるに従って

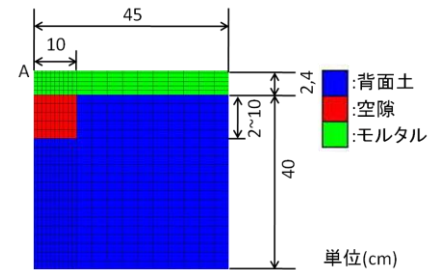


図 1 解析モデル(断面)

表 1 解析に用いた物性値

材料	比熱 (J/kg・K)	熱伝導率 (W/m・K)	熱膨張係数 (α)	密度 (kg/m ³)
空気	1009	0.0256	0.003665	1.161
モルタル	1150	1.37	9.5×10 ⁻⁶	2100
背面土	800	3.50	5.0×10 ⁻⁶	2600

表 2 解析モデルの諸元

空隙部面積 cm ²	10×10
空隙部深さ cm	2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 10.0
モルタル厚 cm	2.0, 4.0

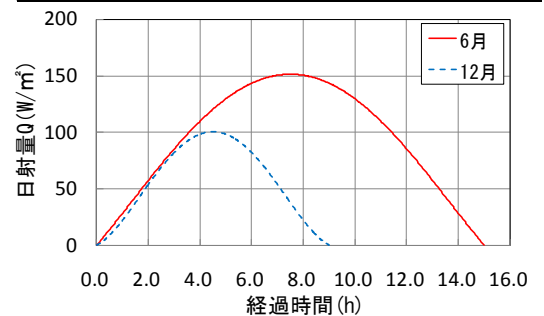


図 2 入力日射量

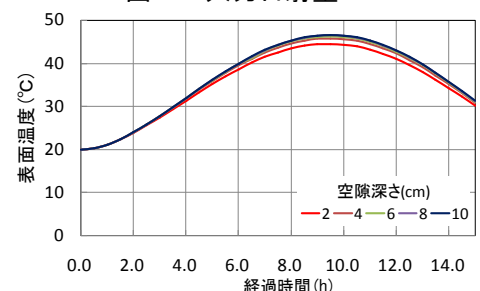


図 3 表面温度変化(日射量 6 月)

表面温度も増加している。これはモルタルの表面の熱が背面に伝わって行く際、空隙の深さが増加するに伴って空気により熱の移動が妨げられる距離が増加し、表面に多くの熱が蓄積するためであると考えられる。空隙の深さが 4cm 以上の場合、深さ毎について多少温度差が見られるが、その差は 1℃未満であった。空隙の深さが 2cm の表面温度は 10cm よりも 2℃程度小さかった。以上のことから空隙の深さが 2cm 以上大きくなると、空隙の深さ毎について表面温度の差は生じにくくなる。これは空気の熱伝導率が極端に小さいため、空気層がある範囲より大きくなると熱の移動が妨げられる度合いが変化しなくなるためであると考えられる。日射量が 12 月の場合、6 月と同様に表面温度は空隙の深さが大きくなるに従って増加しているが、2cm と 10cm の表面温度差は 1℃程度であり差が小さくなっている。これは日射量が小さくなってモルタルの表面に供給される熱が減少しているからであり、空隙の深さを予測するには表面温度差が生じ易い、日射量が多く供給される時期が望ましいと考えられる。

図 5 及び図 6 は設定した 2 つの日射量のモルタル厚別の最大温度差の関係性を示したものである。これらの図からモルタル厚が小さい方が空隙の深さ毎について表面温度差が生じ易いことが分かる。また、図 6 のモルタル厚 2cm の空隙の深さ毎の最大温度差を比べると多少温度差が見られるが、モルタル厚 4cm では差が殆ど生じていない。このことから、モルタルの表面温度に影響を与える因子としては、空隙の深さよりもモルタル厚の方が大きく作用すると考えられる。

図 7 及び図 8 はモルタル厚別の最大温度までの経過時間の関係性を示したものである。これらの図から、モルタル厚が小さい方が最大温度に到達する時間が早いことが分かる。また、日射量が大きくなると、最大温度に到達する時間が遅くなっている。これはモルタル厚が大きくなると比熱容量が増加すること、日射量が大きくなるほどモルタルがより多くの熱を吸収するためであると考えられる。

4. まとめ

本研究で得られた所見を以下に示す。

- (1)背面空隙の深さの増加に伴い、モルタルの表面温度も増加する。
- (2)背面空隙の面積が 100cm² の場合、空隙の深さが一定以上大きくなると空隙の深さ毎についてモルタルの表面温度に差があまり生じなくなる。
- (3)モルタルの表面温度から背面空隙の深さを予測するには、日射量が多く供給される時期が望ましい。
- (4)モルタルの表面温度変化に与える影響因子は背面空隙の深さよりもモルタル厚の方が強い。
- (5)モルタル厚が小さい、また、日射量が多くなるに従ってモルタルの表面温度が最大温度に達するまでの時間が遅くなる。

参考文献

- 1)矢田佳生他：二次元非定常熱伝導解析を適用した欠陥検出の最適時期の予測,日本大学生産工学部平成 20 年度土木工学科卒業研究概要集, 2009.3.

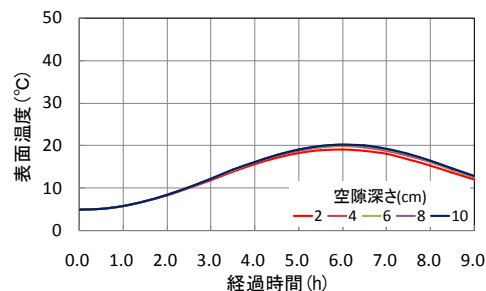


図 4 表面温度変化(日射量 12 月)

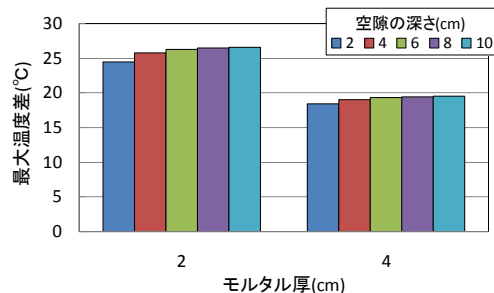


図 5 最大温度差(入力日射量 6 月)

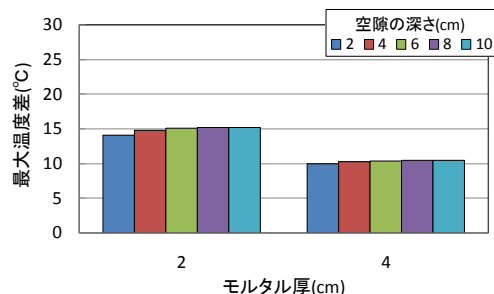


図 6 最大温度差(入力日射量 12 月)

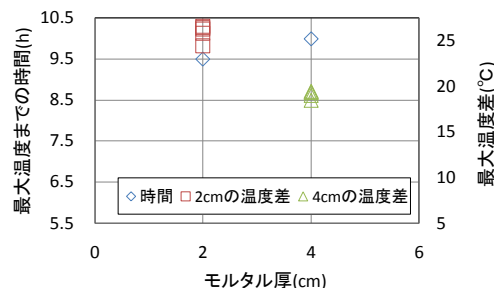


図 7 最大温度までの時間の関係性
(入力日射量 6 月)



図 8 最大温度までの時間の関係性
(入力日射量 12 月)