

**自然環境下のマスコンクリートの温度解析における
熱伝達率の設定に関する一考察**
A Study of Setting of Heat Transfer Coefficient for
Thermal Analysis of Mass Concrete in Natural Environment

○篠津 春花*・兵頭 正浩**・緒方 英彦**
IKADATSU Haruka, HYODOU Masahiro, OGATA Hidehiko

1. はじめに

マスコンクリートの温度解析を正確に行うためには、熱特性値である熱伝導率、比熱、断熱温度上昇特性、境界条件である熱伝達率を正確に設定することが肝要である。これらの解析パラメータは、コンクリートの密度、骨材、含水量、環境の違い等によって値が変化することが知られている¹⁾。特に熱伝達率の値は、風速や日射をはじめとする環境の影響を顕著に受けるため、文献による情報のみでは、熱伝達率を正確に設定することが困難である。このことから、解析パラメータは実測温度から推定することが望ましい。

そこで本報では、水和発熱を考慮する初期材齢時および自然環境下における長期材齢時のそれぞれのケースで解析パラメータをパラメータフィッティングし、特に熱伝達率の設定方法に着目して考察を加える。

2. 供試体の作製と温度測定期間の設定

本報では、解析対象として 90cm×90cm×90cm の供試体（以下、ボス供試体）を 1 体作製した。ボス供試体の配合条件、配合およびフレッシュ性状を Table1 に示す。ボス供試体は、セメントに普通ポルトランドセメント（密度 3.16g/cm³）、混和材に膨張材としてエトリンガイト系膨張材（標準添加量 30kg/m³、メーカー仕様）、細骨材は砕砂（絶乾密度 2.59g/cm³、吸水率 1.23%、実積率 65.3）、粗骨材は砕石 2005（絶乾密度 2.62g/cm³、吸水率 0.99%、実積率 59.4）、混和剤に高性能減水剤としてポリカルボン酸エーテル系化合物、AE 剤として変性ロジン酸化合物系陰イオン活性剤を使用した。また、ボス供試体は水セメント比 31.4%、呼び強度 50N/mm²、空気量 4.5% の高強度コンクリートである。ボス供試体は打設後、材齢 1 日で鋼製型枠を脱型し、以降材齢 14 日まで屋外にてシート養生を行った。以降は自然環境下で暴露した。本報では温度測定期間について、ボス供試体の打設直後から連続した 96 時間の区間（2019 年 11 月 20 日～24 日）をケース 1、ボス供試体を自然環境下で暴露し（2019 年 12 月 25 日～）、暴露期間における連続した 120 時間の区間（2020 年 12 月 19 日～23 日）をケース 2 とした。コンクリート内部の温度は、打設時にボス供試体の中心軸上に設置した 3 点の熱電対温度計（上面からそれぞれ同軸上に P01：45cm、P02：22cm、P03：3cm）で測定した。

3. 温度解析とパラメータフィッティング方法

温度解析には、ASTEAMACS（株式会社計算力学研究センター）を用いた。解析に使用したモデルは、一辺が 90cm の立方体要素を一辺が 10cm の立方体要素で分割し作成した。解析は一時間刻みで行い、温度固定境界は設定しなかった。

ケース 1 では P01、P02、P03 の 3 点における実測温度と解析温度の残差平方和が最

Table1 配合条件、配合およびフレッシュ性状
Mix Proportion, Mix Condition and Fresh Properties

| 配合条件 | | | | フレッシュ性状 | | 配合表 (kg/m ³) | | | | | | |
|-----------|---------------------------|---------|---------|--------------|---------|--------------------------|----|-----|-----|-----|--------|-------|
| Gmax (mm) | 呼び強度 (N/mm ²) | W/C (%) | s/a (%) | スランブフロー (cm) | 空気量 (%) | C | A | W | S | G | 高性能減水剤 | AE 剤 |
| 20 | 50 | 31.4 | 46.0 | 50 | 4.5 | 525 | 25 | 165 | 741 | 886 | 5.12 | 0.157 |

*鳥取大学大学院持続性社会創生科学研究科

Graduate School of Sustainability Science, Tottori University

**鳥取大学農学部 Faculty of Agriculture, Tottori University

パラメータフィッティング、高強度コンクリート、熱特性値

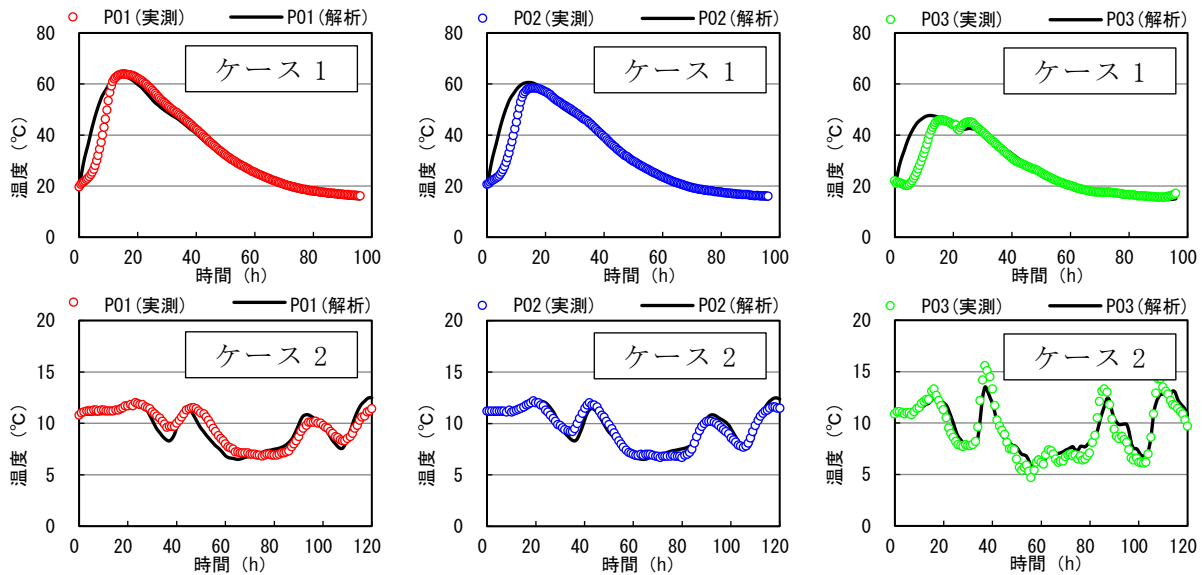


Fig1 解析結果(上:ケース1, 下:ケース2)
Results of Thermal Analysis(Above:Case1, Below:Case2)

小になる熱伝導率, 比熱, 断熱温度上昇特性(K , α), 熱伝達率を求めた。

ケース2では, まずP01, P02の2点における実測温度と解析温度の残差平方和が最小になる熱伝導率, 比熱を求めた。その際の熱伝達率は既往の研究を参考に $14\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ で固定した¹⁾。次に, 求めた熱伝導率, 比熱を用いてP01, P02, P03の3点における実測温度と解析温度の残差平方和が最小になる熱伝達率を求めた。

4. 解析結果と考察

Fig1に温度解析結果, Table2に求めたパラメータを示す。

ケース1における熱伝導率, 比熱, 熱伝達率の推定値は, 既往の文献¹⁾のものと同程度となった。理由としては, ケース1は打設直後であったため養生が行われており, 解析期間全体で境界面が自然環境の影響を受けにくかった可能性が考えられる。ケース2での熱伝導率, 比熱の推定値はケース1と同様の値となった。一方, ボス供試体の熱伝達率は $60\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ と, 非常に大きな値となった。ケース2ではボス供試体は全面が露出しており, 露出面が風, 日射, 降雨といった環境の影響を受けやすく, ボス供試体の面や時刻による環境の変化によって熱伝達率にばらつきが生じ, 推定値が大きくなったと考えられる。このように, 温度解析における解析パラメータは, 自然環境下で暴露している長期材齢時の熱伝達率だけが既往の文献より推定することが困難であることが分かった。

5. まとめ

本報では, マスコンクリートの熱伝導率, 比熱, 断熱温度上昇特性および熱伝達率について, 初期材齢時と長期材齢時におけるパラメータフィッティングを行った。自然環境下での熱伝達率は環境の影響を受け, 値がばらつき, 推定値が大きくなることが分かった。このことから, 自然環境下におけるマスコンクリートの温度解析では熱伝達率のばらつきを考慮する必要があることが示唆される。

参考文献

- 1) 土木学会: 2017年制定コンクリート標準示方書[設計編], 土木学会, p. 44, p. 326, 2018

Table2 フィッティングパラメータ
Fitting Parameters

| | ケース1 | | ケース2 | |
|---|--------------------------|------|---------|-----|
| 材齢(day) | 0~1 | 1~4 | 395~399 | |
| 熱伝導率 ($\text{W/m} \cdot \text{K}$) | 2.8 | | 2.8 | |
| 比熱($\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$) | 1.05 | | 1.05 | |
| 断熱温度 上昇特性 | K ($^{\circ}\text{C}$) | | 0 | |
| | α | | 1.9 | |
| 熱伝達率 ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$) | 型枠 | 8.5 | 全体 | 6.5 |
| | 上面 | 10.0 | | |