

冬期のコンクリートの温度解析に用いる熱伝達率の設定に関する検討 Study on Setting Heat Transfer Coefficient for Thermal Analysis of Concrete in Winter

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

1. はじめに

農業水利コンクリート構造物の凍害劣化解析を行うためには、冬期におけるコンクリート表面の温度に影響を及ぼす熱伝達率を適切に設定することが重要となる。既往の検討では、自然環境下におけるコンクリートの熱伝達率をパラメータフィッティングによって求めたとき、熱伝達率が一般的な値より非常に大きくなる結果が得られた¹⁾。しかし、境界条件の設定方法とパラメータフィッティングに関する検討はなされておらず、自然環境下におけるコンクリートの熱伝達率の設定方法に関して検討の余地がある。本報では、冬期に限定し、自然環境下に暴露されているコンクリート供試体について温度解析を行った。異なる境界条件と目的関数で熱伝達率を求め、冬期におけるコンクリートの熱伝達率の設定方法について検討した。

2. 供試体の作製と温度測定

本報では、既往の研究²⁾を参考に20×20×20cmのコンクリート供試体を1体作製した。配合およびフレッシュ性状をTable1に示す。供試体は、セメントに普通ポルトランドセメント(密度3.12g/cm³)、細骨材に岡山県産砕砂と鳥取県産砂丘砂の混合砂(重量換算で等量配合、絶乾密度2.58g/cm³、吸水率1.44%)、粗骨材に山口県産安山岩砕石(絶乾密度2.65g/cm³、吸水率0.91%)、混和剤に高性能AE減水剤を用いた。供試体内部の温度を測定するため、打設時に供試体の中心部にT型熱電対温度計を設置した。打設後は材齢3日で脱型後、鳥取大学敷地内の屋外にて暴露した(2021年5月19日～)。暴露期間中は、T型熱電対温度計を用いて、供試体内部の温度、供試体表面(上面、西面、北面)の温度および外気温を0.5時間毎に測定した。

3. 温度解析とパラメータフィッティング

温度解析にはASTEAMACS(株式会社計算力学研究センター)を用い、一辺2cmの立方体要素で分割したモデルを使用した。温度解析の諸条件をTable2に、境界条件およびパラメータフィッティング方法をTable3に示す。本報では境界条件の異なる3つの解析(TA1~3)を行った。パラメータフィッティングは3つの目的関数(F1~3)により行った。算出には、コンクリート供試体の中心部における実測温度と解析温度を用いた。目的関数は、全データのF1、起伏の傾きによるF2²⁾、起伏の最大値と最小値によるF3である。

4. 結果と考察

Fig.1に熱伝達率と残差平方和の関係を示す。熱伝達

Table1 配合およびフレッシュ性状
Mix proportion and fresh properties

G _{max} (mm)	W/C (%)	s/a (%)	フレッシュ性状		単位量 (kg/m ³)				
			スランプ (cm)	空気量 (%)	C	W	S	G	高性能AE 減水剤 (g/m ³)
20	61.7	52.5	2.0	3.2	339	209	1,241	1,123	68

Table2 温度解析の諸条件
Thermal analysis properties

熱伝達率	2.7 W/m・K	解析時間刻み	1.0時間
比熱	1.15 kJ/kg・K	断熱温度上昇式	考慮しない
密度	2,400 kg/m ³	温度固定境界	考慮しない
コンクリートの 初期温度	2.8 °C	解析期間	2022年2月12日～ 2022年2月28日の 連続した816時間

*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, ***鳥取大学大学院連合農学研究科 The United Graduate School of Agricultural Sciences, Tottori University
パラメータフィッティング, 目的関数, 境界条件

Table3 境界条件と目的関数
Boundary conditions and objective functions

境界条件					
TA1	外気温	TA2	表面温度（上，北，西側） の平均値	TA3	上，北，西側の表面温度 （その他の面は表面温度の平均値）
パラメータフィッティング方法（目的関数）					
F1	$J = \sum_{i=1}^n (T_{mi} - T_{ai})^2$		J : 残差平方和 (°C ²), T_{mi} : 実測温度 (°C), T_{ai} : 解析温度 (°C), n : 解析ステップ数		
F2 ²⁾	$J = \sum_{i=1}^n (G_{mi} - G_{ai})^2$		J : 残差平方和 (°C ² /h ²), G_{mi} : 実測温度の温度勾配 (°C/h), G_{ai} : 解析温度の温度勾配 (°C/h), n : 温度勾配数		
F3	$J = \sum_{i=1}^n \{(T_{maxmi} - T_{maxai})^2 + (T_{minmi} - T_{minai})^2\}$		J : 残差平方和 (°C ²), T_{maxmi} : 実測温度の極大値 (°C), T_{maxai} : 解析温度の極大値 (°C), T_{minmi} : 実測温度の極小値 (°C), T_{minai} : 解析温度の極小値 (°C), n : 極大値および極小値数		

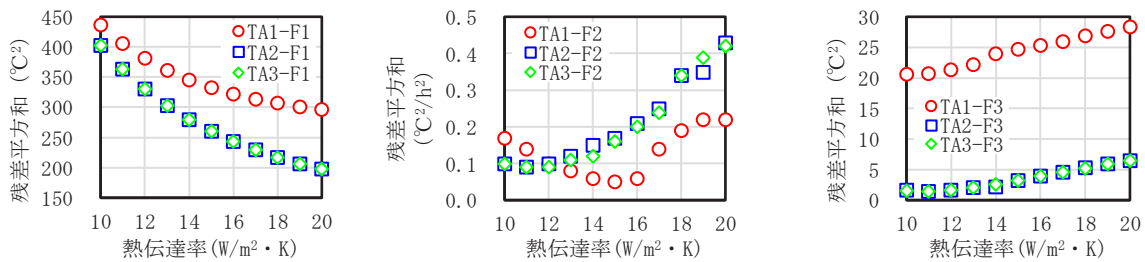


Fig.1 残差平方和と熱伝達率の関係

The relationship between residual sum of squares and heat transfer coefficient

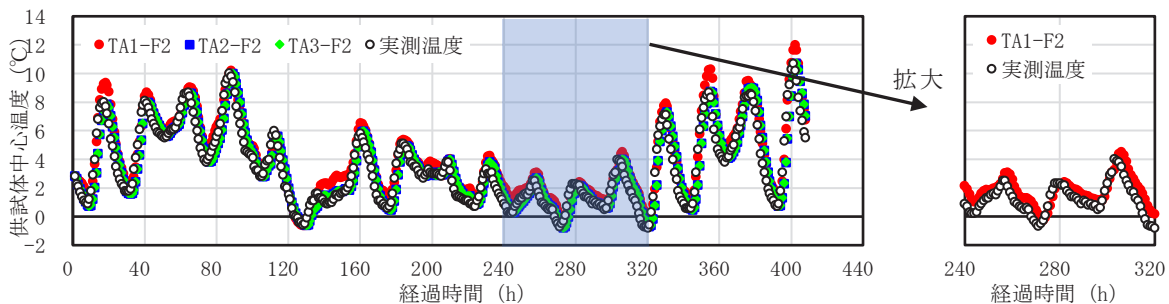


Fig.2 F2におけるコンクリート供試体の中心温度
The center temperature of concrete specimen in F2

率が 10~20W/m²・K の範囲では、F1 や F3 の目的関数の最小値を得ることはできないが、F2 では得られることが確認された。また、F2 の目的関数で最小値をとる熱伝達率は、TA1 が TA2 や TA3 よりも大きくなることが確認された。このことから、冬期においてコンクリートの熱伝達率を求める場合の目的関数は、時間による温度変化を考慮できる温度勾配の目的関数 F2 を用いることが望ましいと考えられる。

F2 の目的関数で最小値をとる熱伝達率で解析した結果を Fig.2 に示す。境界条件に外気温を入力した TA1 は TA2 や TA3 と比べ、解析温度は実測温度より全体的に高く、特に極値における温度が異なる結果となった。本解析では、境界条件として熱流束、熱放射を考慮していない。そのため、外気温以外の日射や風速、コンクリート表面の水分状態などの影響を加味しない条件では、外気温を入力値とする F1 で得られる熱伝達率が大きくなったものと考えられる。このことから、冬期のコンクリートの温度解析における境界条件には、表面温度の入力が適当である。

参考文献

- 1) 筏津春花, 兵頭正浩, 緒方英彦: 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, 2021年度(第70回)農業農村工学会大会講演会講演要旨集, pp.781-782, 2021.9
- 2) 緒方英彦, 服部九二雄: コンクリートの熱伝達係数の評価方法に関する研究, 農業土木学会論文集, No.206, pp.109~116, 2004.4