

V-110

輻射熱を考慮したコンクリート温度解析と実測値の比較

西松建設(株)技術研究所 正会員 西田德行・潮田和司・椎名貴快
 東京電機大学 フェロー会員 松井邦人・学生会員 高橋誠二
 The University of Iowa T.F.Smith

1. はじめに

自然環境下では、温湿度、日射および赤外放射などの気象因子が周期的に変化し、コンクリート構造物の表面や躯体内の温度、湿度に影響を与えている。しかし、コンクリートの温度ひび割れを検討する際、一般には対流熱伝達境界のみを境界条件とする温度解析が行われている。これは、表面温度ひび割れ発生の予測精度に悪影響を及ぼすものと考えられる。著者らは、輻射熱の影響を考慮して表面温度を正確に予測する温度解析手法を提案した¹⁾。本研究では、外気温の他に全天日射量と天空放射量を用いて、輻射熱を考慮した温度解析値および従来の解析値と野外に設置したモデル試験体のコンクリート温度測定値の比較検討を行った。

2. 輻射熱を考慮した温度解析の境界条件

大気とコンクリート躯体の境界条件は次式で与えられる¹⁾。 q [W/m²]は躯体表面における熱流入であり、対流熱伝達量 q_{con} [W/m²]、躯体内に伝達される全天日射量 q_{sol} [W/m²]、躯体内に伝達される天空放射量 q_{sky} [W/m²]および水分蒸発の気化熱による熱損失 q_{evp} [W/m²]の和となる。

$$q = q_{con} + q_{sol} + q_{sky} + q_{evp} \quad (1) \quad q_{con} = h_c(T_{air} - T_s) \quad (2) \quad q_{sol} = (1 - \alpha)K \downarrow \quad (3) \quad q_{sky} = \varepsilon \sigma(T_{sky}^4 - T_s^4) \quad (4)$$

$$q_{evp} = -(42.6 + 37.6v)(p_{cs} - \phi p_{ws}) \times 0.0075 / 4.1868 \times 1.163 \quad (5) \quad T_{sky} = T_{air} \left[0.8 + \frac{T_{dp} - 273}{250} \right]^{0.25} \quad (6)$$

ここに、 h_c は対流熱伝達率[W/m²K]、 T_s はコンクリート表面温度[K]、 T_{air} は気温[K]、 $K \downarrow$ は下向きの日射量[W/m²]、 α はコンクリートのアルベド、 ε はコンクリートの射出率、 σ (5.67 × 10⁻⁸ [W/m²K⁴])はステファン・ボルツマン定数、 v は風速[m/s]、 p_{cs} はコンクリート表面の飽和蒸気圧[mmHg]、 ϕ は相対湿度、 p_{ws} は飽和蒸気圧[mmHg]、 T_{sky} は天空温度[K]、 T_{dp} は露点温度[K]である。アルベドおよび射出率は、素材の粗度、色、温度により異なるため、コンクリートの値を用いる必要がある。

3. 実験概要

試験体には、スランブ 12cm、呼び強度 30N/mm²、最大粗骨材寸法 20mmのレディーミクストコンクリートを用いた²⁾。打設は11月7日午前11時に終了し、同時に計測始点とした。計測項目を表-1、試験体概要を図-1に示す。気象の計測データは6秒間隔スキヤンを30分間平均としたもの、躯体温度は30分間隔の測定値を出力している。なお、実際の現場では、養生マット+散水など養生が行われるが、本実験では日射等の影響をみるため、打込み後の養生を行っていない。よって、以下の解析では気化熱を無視した。

4. コンクリート温度解析の境界条件と解析結果

解析は、コンクリート下面を断熱境界とした1次元非定常熱伝導解析により行った。解析ケースを表-2に示す。CASE-1,2は示方書に提示される一般的な熱定数(初期値)を用いた解析、CASE-3,4は逆解析により同定された熱定数を用いた解析である。輻射熱を考慮した温度解析(CASE-2,4)では、境界条件として図-2に全天日射量と天空放射量の計算値を用いた。解析結果を図-3に示す。CASE-1,2において表面から100cmでのコンクリートの最高温度は、一般的な熱特性値を用いた場合、計測値と良く一致するが、どちらも発生材齢がずれている。表面温度については、熱伝達境界のみのCASE-1では一致しないが、

表-1 計測項目

計測項目	計測計器
コンクリート温度 [K]	熱電対
気温(乾球温度) [K]	通風式温湿度計
相対湿度 [RH%]	通風式温湿度計
露点温度 [K]	露点温度計
風向風速 [m/s]	風向風速計
全天日射量 [W/m ²]	アルベトメータ
天空放射量 [W/m ²]	赤外放射計
コンクリート表面通過熱量[W/m ²]	熱流計
降雨量 [mm]	雨量計

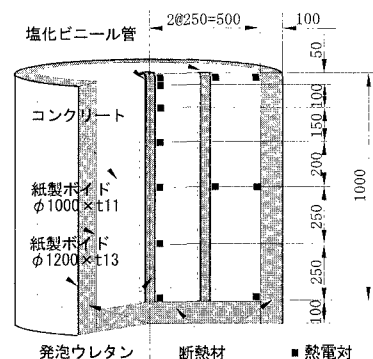


図-1 コンクリート試験体概要図

Keywords: コンクリート、温度解析、気象現象、全天日射、天空放射

連絡先: 〒242-8520 神奈川県大和市下鶴間 2570-4 TEL:0462(75)1135, FAX:0462(75)6796

輻射熱を考慮した CASE-2 では良く一致している。次に逆解析から求めた熱特性値を用いて解析を行うと、各解析手法とも表面から 100cm のピーク温度および材齢は良く一致するようになるが、従来解析の CASE-3 の表面温度は、測定値と解析値の差は小さくなるが材齢 2 日程度で約 8℃の差が出ている。

5. 本研究のまとめと今後の課題

輻射熱を考慮した温度解析は、熱伝達境界のみの解析に比べて、コンクリートの表面温度を精度良く求められることが、明らかになった。同定した熱特性値には、示方書に提示される一般的な値と大きく異なるものもある。この原因としては、解析モデル、発熱モデル、既知としたパラメータの誤差などが考えられる。これらについては、今後の検討が必要である。

【参考文献】1) 松井邦人, 他: 輻射熱の影響を考慮したマスコンクリートの温度解析, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.18, No.1, pp1281-1286, 1996.7. 2) 西田徳行, 他: 気象現象の計測とコンクリート躯体温度への影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, 1999.7, 投稿中。

表-2 温度解析の境界条件とコンクリート熱物性値

CASE	境界条件			熱伝導率 K_c (W/mK)	比熱 C_c (J/kgK)	熱伝達率 α_c (W/m ² K)	発熱性状		解析に使用した 熱特性値
	気温	全日射量	天空放射量				Q_{∞} (℃)	γ (1/day)	
1	実測	—	—	2.70	1260	13.0	51.6	0.914	示方書
2	実測	計算値	計算値	2.70	1260	13.0	51.6	0.914	示方書
3	実測	—	—	2.93	880	13.9	57.0	1.019	同定値
4	実測	計算値	計算値	4.94	1583	18.5	53.9	1.105	同定値

*1: 全日射量は、下向き日射量と測定値から求めたアルベド 0.34 を用いて式(3)から求めている。

*2: 天空放射量は、測定値から求めた射出率 0.765 を用いて式(4)から求めている。

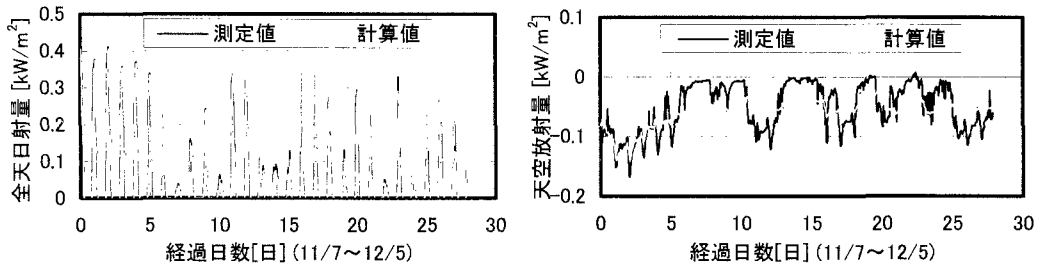


図-2 測定値と計算値の比較

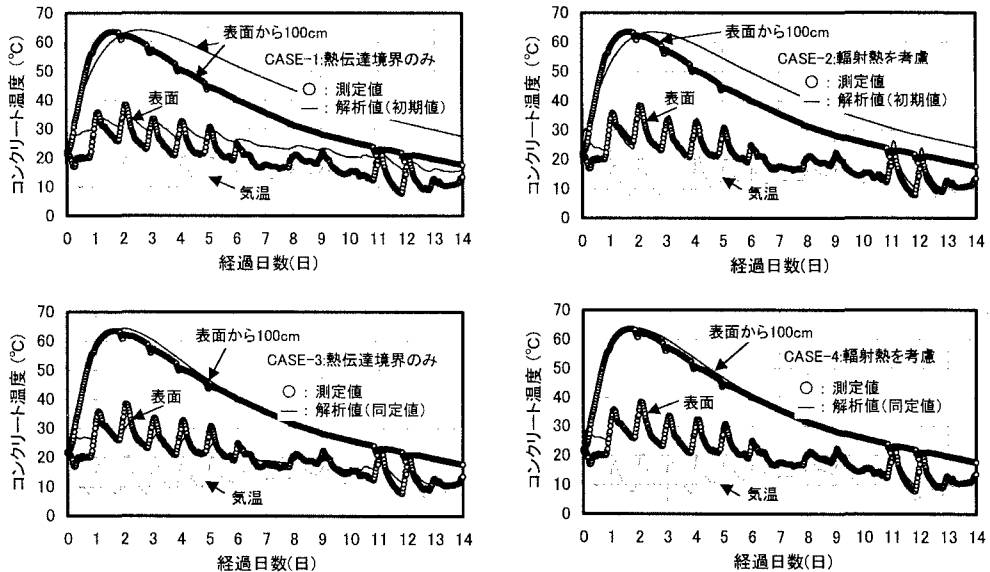


図-3 コンクリート温度の測定値と解析値の比較