

温度センサ付 RFID タグを活用したコンクリート内部温度の非接触計測および養生状況の評価

太平洋セメント株式会社 正会員 ○野中 潔, 正会員 江里口 玲, 非会員 梅津 基宏
大和ハウス工業株式会社 河野 豊弘

1. はじめに

コンクリート温度の経時変化から積算温度や有効材齢といった指標を算出し、強度発現を評価する方法は広く利用されており、土木学会の「2017年制定コンクリート標準示方書（施工編）」（以下、示方書）においても寒中コンクリートの強度推定手法として積算温度を使用する方法が示されている^[1]。更に寒中コンクリートにおいては養生時にコンクリートが低温に晒され内部の水分が凍結した場合、初期凍害と呼ばれる重大な品質低下を招く^{[2][3]}ため、コンクリート養生時の温度の把握は特に重要である。コンクリート温度の経時変化を評価する方法としては、熱電対を埋設して直接計測する方法や、別途作製した供試体の温度計測や放熱量の計算により間接的に構造物の温度を予測する方法があるが、前者は型枠に導線を貫通させることを含めて配線労力が多大になること、後者は対象の温度を直接計測していないという短所がある。

本検討では、無線通信によりコンクリートの内部温度を計測できる温度センサ付 RFID タグを用いてコンクリート養生時の内部温度を計測し、積算温度による温度制御養生期間の評価を試みた。

2. 温度センサ付 RFID タグの概要

使用した温度センサ付 RFID タグ（以下、温度タグ）は、0.25℃単位での測温が可能なサーミスタと、時間を計測する RTC モジュール、測温結果を記録するメモリ、ロギング動作などを行うための小型プリンタ電池、RFID（UHF 帯）で無線通信を行うためのアンテナを内蔵する。温度タグは、リーダライタと呼ばれる機器により制御され、一定間隔で温度を自動計測する。温度は自動でメモリに蓄積され、リーダライタによる読取り時にまとめて取得される。

3. 実験方法

試験エリアは W 8650 × D 8600 × H 200mm の大きさであり、エリアの端部および中心部に、温度タグを埋

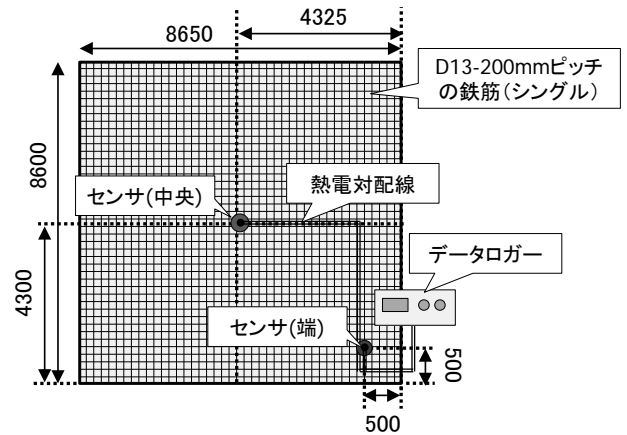


図-1 施工エリアの寸法およびセンサ配置（平面図）

設深さ 25 mm となるように埋設した。埋設高さの調整に際しては、かぶり 40 mm の位置に設置された鉄筋上に樹脂スペーサを介して固定することで行った。また比較のため、クラス 1 の T 型熱電対をエリア脇から温度タグ埋設位置まで鉄筋に沿わせて配線し、エリア近傍の気温と併せてポータブルデータロガーを用いて 15 分間隔で計測した（図-1）。

表-1 使用したコンクリートの配合とフレッシュ性状

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					SL (cm)	Air (%)
		W	C	S	G	SP		
52.0	50.4	163	314	946	948	2.83	17.0	2.9

温度タグのロギングおよびデータロガーのインターバル計測を事前に開始した上で、呼び強度 30N/mm² のコンクリートを施工した。なお、使用したコンクリートの配合とフレッシュ性状は表-1 に示すとおりである。打込み後、締固めおよびトロウエルによる仕上げ作業、材齢 10 日まで湿潤状態でのシート養生、その後気中養生を行った。養生中、温度タグおよびデータロガーは自動ロギングを継続し、適宜リーダライタおよびデータロガーの操作により測温データを取得した。

キーワード 非接触式センサ, 積算温度, 初期養生, 初期凍害, 初期強度, 無線通信

連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント株式会社中央研究所 TEL 043-498-3928

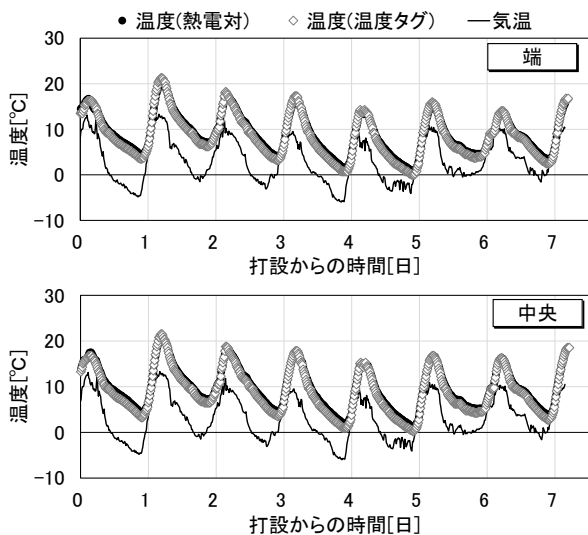


図-2 コンクリート温度および気温

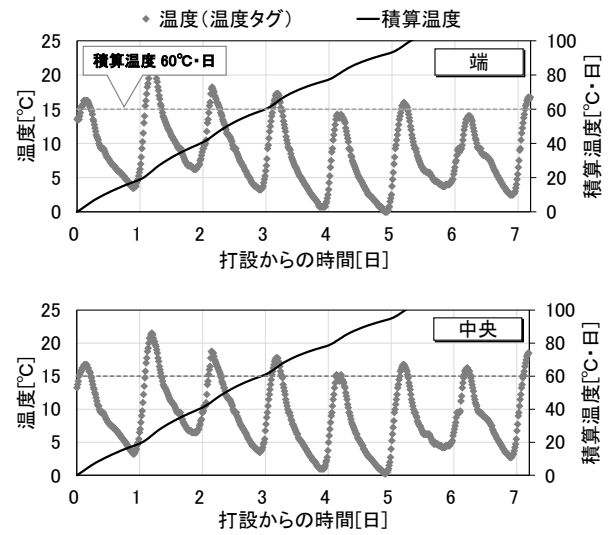


図-3 コンクリート温度および積算温度

4. 実験結果

4. 1 測温結果

図-2に、取得したコンクリート温度データ（温度タグ、熱電対）および気温の経時変化を示す。なお、打設からの時間は各位置の温度タグがコンクリート打込みにより埋設された時刻を基準としている。コンクリート温度は気温に追従して変化しており、温度タグの温度データは熱電対と概ね一致していた。

4. 2 積算温度を用いた養生状態の評価

示方書においては、寒中コンクリートとしての考慮が必要になる条件を日平均気温 4°C以下の場合と定めている。また、コンクリートの凝結および硬化反応の遅延の観点から凍結リスクがある間の養生温度を 5°C以上と定め、部材の大きさや凍結融解の頻度ごとに初期養生終了の基準となる圧縮強度を定めている^[1]。

本検討では、取得した温度データから積算温度を用いて初期養生終了の時期を推定することを試みた。積算温度式として式(1)を使用した時の、コンクリート温度と積算温度の関係を図-3に示す。

$$M = \sum (\theta_i + A) \Delta t_i \quad (1)$$

ここに、

M : 積算温度 (°C・日)

θ_i : i 番目のコンクリート温度データ

A : 定数 (ここでは 10)

Δt_i : 測定インターバル (ここでは 15 分 (0.0104 日))

示方書においては、普通セメントを使用し水セメント比 55%の凍結融解を受けることがまれである部材においては、養生温度が 5°Cである場合、温度制御養生期間として 4 日以上と定めており、これは式(1)に

よれば $M = 60$ (°C・日)に相当する。水セメント比 52%である本検討の配合はこの例と同等かやや速い初期強度発現が予測されるため、この値を初期養生終了の目標値として温度制御養生が必要な期間を試算した。

図-3からは、材齢約 3 日で目標値である 60°C・日に達していること、それまでの間、一時的に 5°Cを下回っているものの、コンクリート凍結のリスクがあるとされる -0.5°Cには達していないことが読取れた。今回は積算温度のみで評価したが、積算温度と強度の関係が判明しているコンクリートであれば予測強度も評価可能である。リーダライタ側で予め関係式を設定することで温度タグ読み取りと同時に温度に加えて積算温度や予測強度の図示、初期凍害リスク判定が可能であり、温度タグはこれらの指標を用いた施工管理の効率化などに活用できると考えられる。

5 まとめ

非接触でコンクリート内部温度を計測できる特徴を有する温度センサ付 RFID タグ（温度タグ）を用いた温度計測試験を行い、以下の知見を得た。

- (1) 温度タグを用いて熱電対と同様にコンクリート温度の経時変化を計測可能である。
- (2) 温度データから積算温度や予測強度を算出することで、温度タグは温度制御養生期間の判定などに活用できる。

参考文献

- [1] 土木学会：2017年制定コンクリート標準示方書〔施工編〕, 2018
- [2] 洪悦朗ほか：コンクリートの凍害と初期凍害 —そのメカニズムについて—, コンクリート工学 Vol. 16, No. 5, pp. 1-11, 1978
- [3] 濱幸雄：寒中コンクリートの施工技術の動向, コンクリート工学 Vol. 48, No. 1, pp. 80-83, 2010