

ICTを活用したコンクリート品質管理システムの開発

関原 弦

概 要

打設後のコンクリート養生において、温度管理は重要な管理項目の一つであり、また暑中および寒中時のコンクリート打設においては特にその必要性が高い事が知られている。このため以前より養生時のコンクリート温度計測及び管理システムの開発を望む声が作業所より多く上がっていた。

これまで寒中時の養生シート内部の温度管理については、弊社で開発した統合環境計測の簡易気象計測システムを用いていたが、このシステムではコンクリートの内部や表面温度は計測できず、計測箇所が広範囲または複数に渡る場合は複数のセットを用意するか都度の移設作業が必要となるなど、運用面（配線替え）やコスト面（複数台利用）で汎用性に欠けた。

今回コスト面では従来のは半分程度、機能面ではコンクリート内部温度計測の追加、さらに作業所での利便性向上を目指した汎用性の高い養生温度計測システムの開発について報告する。

Development of the concrete quality control system using ICT

Abstract

Temperature management is known to be an important factor in concrete curing after casting, especially in either extremely hot or cold weather. A temperature measurement and management system for maturing concrete has been widely required. The conventional environment measuring methods lack versatility in both operation and cost phases, due to the difficulty of measuring the concrete's internal temperature, the need for multiple devices or relocation of a single device every time, etc. In this report we will discuss the development of a highly versatile curing temperature measurement system that can not only halve the cost, but also measure concrete internal temperature, improving convenience making it quicker and easier to monitor concrete curing at construction sites.

キーワード： コンクリート、養生温度、内部温度、無線、多点計測

§1. はじめに

コンクリート打設後の養生時温度の計測について、弊社では統合環境計測のアイテムである簡易気象観測システムを、東北以北の作業所で冬期コンクリート打設における養生温度管理手法として広く利用している。写真1に簡易気象観測システムを示す。

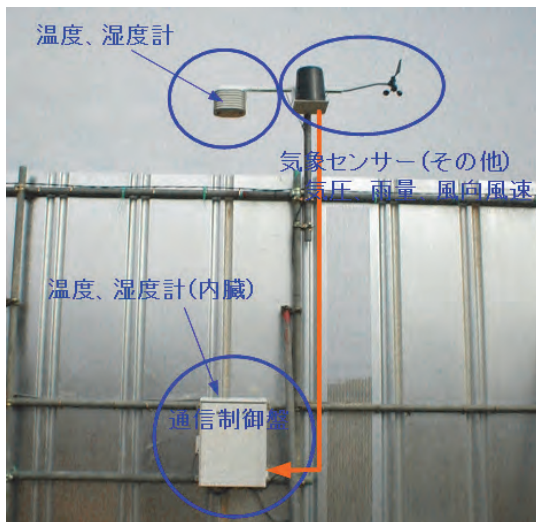


写真1 簡易気象観測システム

しかし従来のシステムは、

- ・1 セットで 1 か所の温度(湿度)しか計測出来ない。(計測個所が限定)
 - ・コンクリート内部温度や表面温度は計測できない。(雰囲気温度のみで直接計測不可)
 - ・計測個所が広範囲であったり複数にわたる場合は、複数のセットを用意する。(コストが増える)
 - ・1セットで実施の場合は設置架台の移設、配線替えなど都度の作業が発生。(作業手間が増える)
- の問題があり、コスト面、運用面において使い勝手の良いものとは言えなかった。

そこで、これらの反省から、コンクリート内部や表面温度の計測機能を付加するとともに、センサーの無線化することで設置や移設を容易とし、現場が負担するコストも安価な、より汎用性の高い計測システムを開発に取り組んだ。

ただし今回新規の計測システムを開発するのではなく、既に開発済の統合環境計測の新アイテムとして加える事により、データの扱いや閲覧方法を標準化し、警報メール等の機能も引き続き活用できる事をコンセプトとした。

これにより開発にかかる期間の短縮とコストを抑え、開発後の運用面でも既に利用中の仕組みを活用する事で、社内ユーザーにとって違和感なく導入できる事を目標とした。

§2. 開発のポイント

簡易気象観測システムの計測項目は気温と湿度の他に気圧、雨量(時間、連続)、風向風速(瞬時、平均)であり、本来は作業所のピンポイントの雨量または風速計測が主な利用用途である。

この他にも統合環境計測には、これ以外にも騒音振動、粉塵、水質、臭気などの計測アイテムがあり、共通の通信制御盤に様々な計測センサーを組み合わせることが出来る事が特徴となっており、ユーザはその作業所で必要な計測アイテムを自由に選択することが出来る。

各種のセンサーで計測されたデータは、計測サーバに送られ、ユーザは計測結果を作業所毎に作成するポータルサイトで閲覧が可能である。図 1 に統合環境計測ポータルサイトと気象データのグラフ表示例を示す。

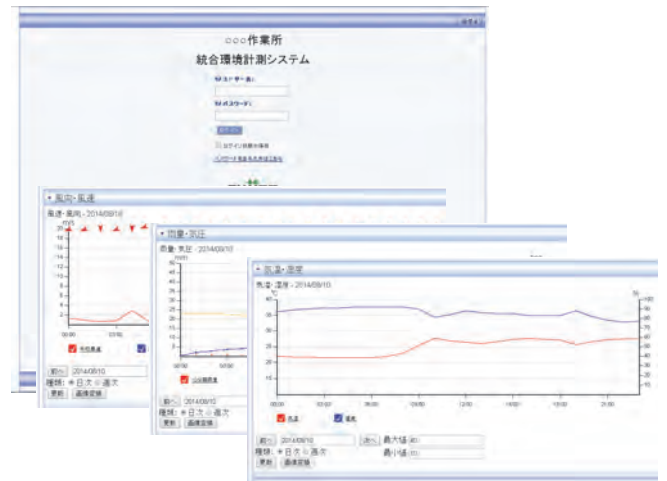


図1 統合環境ポータルサイトと気象データグラフ例

この他に計測データ毎に管理値を設け、上限(または下限)を超えると即座に担当者へ警報メールを送信する機能、作業所用のポータルサイトにインターネットからアクセス可能なため様々なデバイスでデータを確認できる機能、必要に応じて任意のタイミングでデータを取得する機能があり、計測項目毎の各種環境基準に合わせた管理や作業所と本社、支店間でのデータの共有が可能となる。

今回のコンクリート品質管理を目的とする養生温度管理システムの開発に際しては、従来の問題点を解決すると同時に、統合環境計測の特色を生かし、以下の4点に留意した。

- ① コンクリートの表面および内部温度を 10 点以上計測可能
- ② 既存の仕組みを最大限活用するため共通の通信制御盤を利用

- ③ 現地での設置作業を極力簡便な方法とする
- ④ コストを従来よりも 40%削減する

図2に従来方式と今回の改善ポイントを示す。

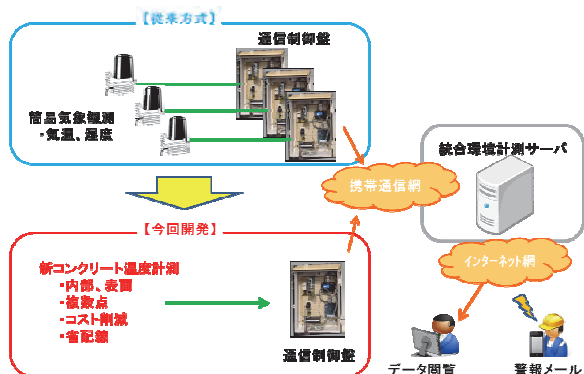


図 2 開発のポイント

§ 3. 養生温度計測システムの開発

3.1 機器の選定

前項で示した開発目標を実現するため、サーバ関連の仕組みはそのまま利用する事とし、現場に設置する通信制御盤についても全く同様な構成のまま利用する事とした。元々統合環境計測では共通となる通信制御盤に各種の計測器を組み合わせる事で、多様な計測システムへのアレンジを可能としている。

今回はコンクリートの養生時の温度計測が対象となるため、既存の通信制御盤と組み合わせることができ、コンクリートの表面及び内部温度計測が可能で、作業所でも取り扱いが容易な計測器を選定する必要があった。通常コンクリートの温度計測を行う場合は、熱電対を用いる事が一般的であり、熱電対はコンクリート内部、表面、外気温度の計測が可能と用途が広く、かつ安価で作業所での取扱いも容易、汎用的で手配もし易い。従って当初より熱電対を用いた計測器を選定する事とした。



写真 2 一般的な熱電対タイプの温度計測器

表 1 一般的な熱電対タイプの温度計測器仕様

仕様	ハンディタイプ	ロガータイプ
計測点数	1~2点	数十点以上
外部出力	有(有線)	有(有線)
耐環境性	屋外露出不可	屋外露出不可
電源	電池式	常時給電
価格	数万円~	数十万円~
その他	計測点数が少ない 外部出力付き希少、高価 電池交換が必要	全熱電対の配線必要 極めて高価 電源配線が必要

熱電対を用いた温度計測を行う場合の計測器としては、写真2に示す通り用途に応じハンディ式またはロガー式のタイプを利用する。ただし表1に示す通り、今回の場合はそれぞれに計測点数や価格に問題があり、配線や電源等についても作業所で使うには利便性に欠ける。

特に電源や計測ケーブルの配線に関しては従来より作業所ユーザーからは以下の要望が根強い。

- ・電源、計測、通信の各配線を抑えたい
- ・電池式で長期間計測したい
- ・無線式で自由に設置箇所を変更したい

そこで無線式かつ広範囲に自由な配置が可能な計測器として、近年注目が高い「ZigBee」モジュールの採用を検討する事とし、従来より利用され実績のある無線式温度計測器の「おんどとり」(T&D社)との比較を行った。

「ZigBee」とは、近距離無線ネットワークの世界標準規格の一つであり、低消費電力・低コストの特徴を持つ。

また各デバイス間の通信距離は 30m 程度と短いものの、各デバイスが無線の中継の役割を果たす事で通信可能なエリアを広範囲とすることが出来る事も大きな特徴である。図3に ZigBee デバイスとネットワークを示す。

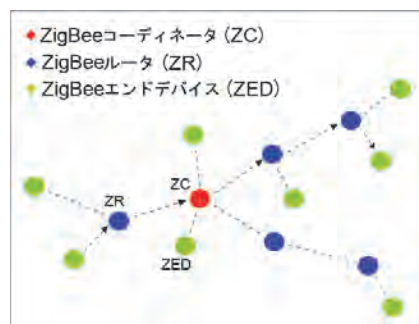


図 3 ZigBee デバイスとネットワーク

このような特徴を持つことから、「ZigBee」はデバイスに各種のセンサーを搭載して、大型構造物のヘルスマニタリング等への展開が期待される技術となっている。

「ZigBee」の利用検討に当たり、最初に温度センサー搭載型デバイスの調査を行ったが、温度センサー搭載型デバイスが熱電対を選択できなかったり、元々が家電向けと言う事もあり耐環境性に乏しく、建設作業所での使用に際し適応困難な物が多い事が分かった。写真 3 に市販の ZigBee 通信付温度センサーの例を示す。



写真 3 市販の ZigBee 通信付温度センサー例

併せて既存の通信制御盤の利用を考慮すると、温度センサー搭載型デバイスそのものを新規開発する必要があり、コスト面で大きな障害となる事が判明した。さらに新規開発の場合は運用面、耐久性、手配の容易さなど解決すべき課題が多く開発にかかる時間が多大になる事が予想される。

このためセンサー搭載型デバイスはあきらめ、「ZigBee」通信モジュールと熱電対式センサーを別々とし、組み合わせる方法を検討した。図 4 に ZigBee 通信モジュールと各種センサーの組合せ例を示す。

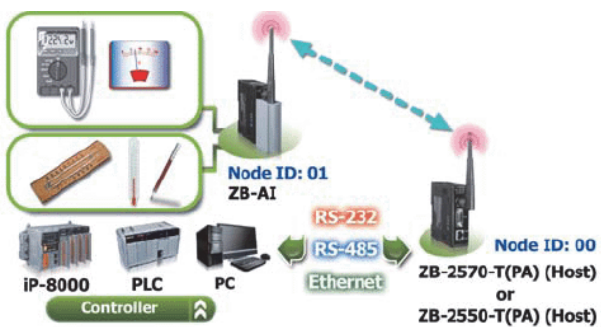


図 4 ZigBee 通信装置と各種センサー組合せ例

ただしこの場合も部品点数の増加、構成部品の大きさ、センサー電源の配線などの問題が発生した。

「ZigBee」は通信装置としては優秀ではあるものの、センサーを搭載したタイプについては選択に制限が多く、屋外仕様の製品がまだまだ少ない。また今回の事例では、通信デバイスだけの利用では「ZigBee」本来の特

徴が何ら生かされない事が判明した。

次に T&D 社の「おんどとり」についてシステムへの採用可否を検討する。図 5 はおんどとりの通信の概要を、図 6 はおんどとりの機能の概要をそれぞれ示す。

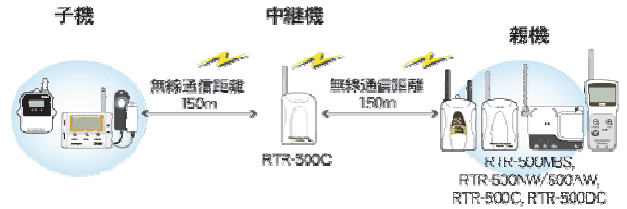


図 5 おんどとりの通信概要

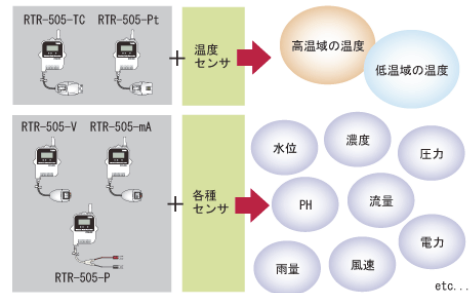


図 6 おんどとり機能概要

この製品の特徴を以下に示す。

- ・通信距離最大 150m と長距離 (本体中継機能は無し)
 - ・内臓電池により最大 4 年間連続計測が可能
 - ・様々なタイプ (熱電対、Pt、湿度、電流、電圧)
 - ・屋外での利用が可能 (防水)
 - ・費用が安価、手配が容易
 - ・外部出力があり、既存システムへの適用が容易
- 表 2 におんどとりの仕様を示す。

表 2 おんどとり仕様一覧

センサ種類	熱電対 K, J, T, S
測定範囲	-199~1700℃
精度	[K, J, T タイプ] ± (0.3℃ + 読み値の 0.3 %)
測定分解能	K, J, T タイプ: 0.1℃
無線距離	約 150m (見通しの良い直線において)
電源	リチウム電池
電池寿命	約 10 ヶ月間、L タイプは 約 4 年
動作環境	-40℃~80℃ (無線の場合: -30~80℃)
防水性能	IP64 (防まつ形、生活防水)

この様に「おんどとり」は、本体間での中継機能は無いが、センサーと通信装置が一体で通信距離が長く、耐環境性にも優れ、電池による長期間の計測が可能である事から今回のシステムへの採用を決定した。

3.2 システムの概要

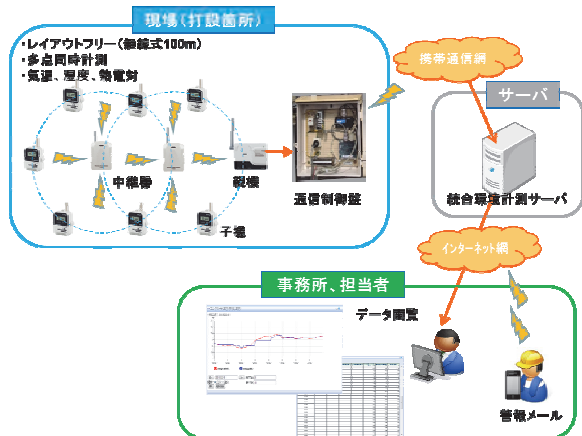


図7 コンクリート養生温度計測システム概要

図7に今回開発したコンクリート養生温度計測システムの概要を示す。図に示す通りコンクリート温度計測に「おんどとり」を採用し、計測ポイントを10カ所以上とし、親機や中継器を中心に150mの範囲で自由にレイアウトが出来る。

コンクリート温度の計測も熱電対が利用できるため、内部や表面の計測以外に外気温や湿度、その他多様なセンサーとの組み合わせなど機能の拡張性が上がった。

また「おんどとり」はリチウム電池で約4年も連続計測できるため、電源やセンサー配線、頻繁な電池交換等の煩わしい作業を無くし、作業所での利便性が向上した。

通信制御盤も一台で済み、盤のレンタル費、サーバー利用料、通信費等々の負担も削減した。

§4. 作業所適用事例の紹介

4.1 作業所への適用

開発したコンクリート養生温度計測システムの機能確認テストを作業所の協力を得て実施した。

表3 コンクリート温度計測概要

計測期間	H25年12月中旬～H26年2月末
作業所工種	ニューマチックケーソン（東京都内）
計測箇所数	コンクリート 4点（中央、表面、天端、型枠） 外気温、湿度 各1点
管理値	コンクリート温度5度以下で警報メール送信

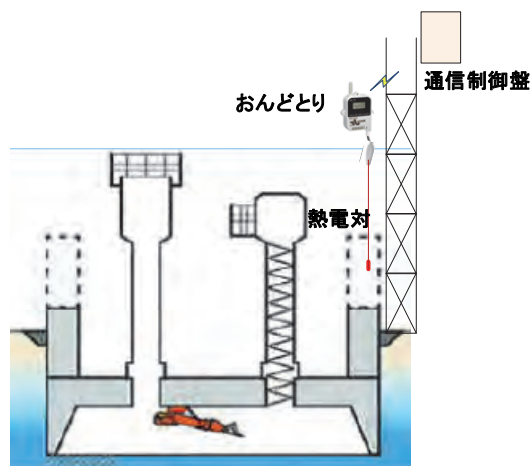


図8 コンクリート温度計測機器配置

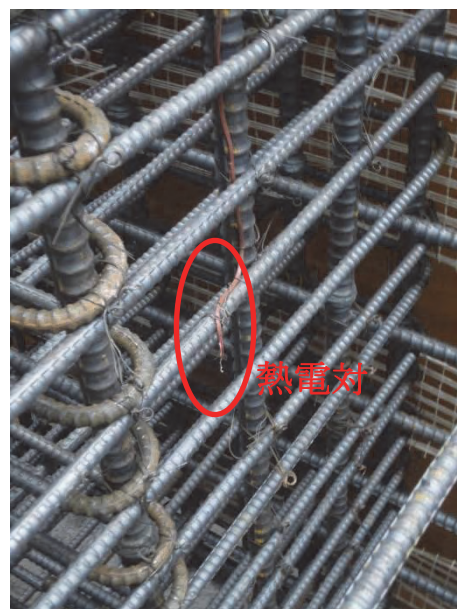


写真4 熱電対設置状況(中央)



写真5 熱電対設置状況(表面)



写真6 おんどとり、通信制御盤設置状況

4.2 温度計測結果

以下に温度計測の結果を示す。

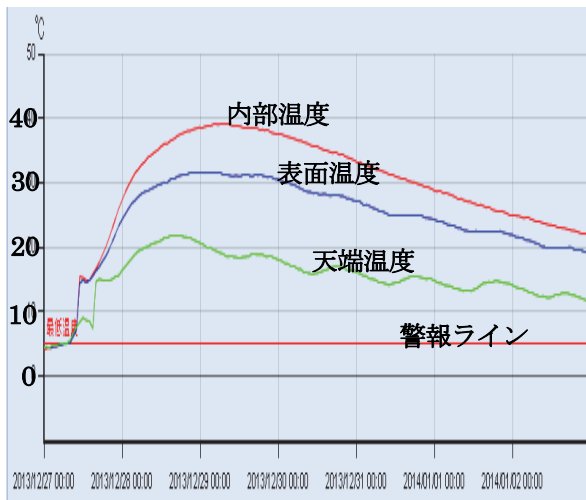


図9 コンクリート温度計測結果
(H25.12.27~H26.1.9)

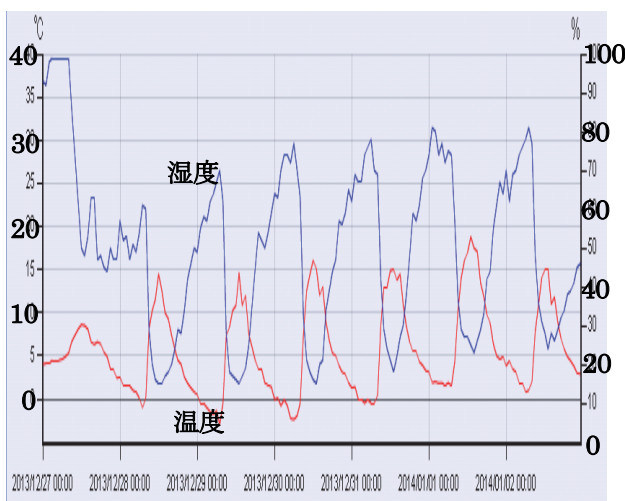


図10 外気温、湿度計測結果
(H25.12.27~H26.1.9)

4.3 コスト比較

今回の計測ではコンクリート内部温度を3点、型枠表面温度1点と外気温、湿度の計測を行った。従来の方法ではコンクリート内部温度の計測は出来ないため単純な比較にはならないが、従来方法で同数の計測を3ヶ月間行った場合とを比較した結果、約55%の費用を削減する事が出来た。

§5. おわりに

コンクリートの養生温度計測システムを、市販の温度計測器と統合環境計測システムに組み合わせることで当初目標通りの効果が得られた。併せて効果検証に協力いただいた作業所からも、無人での温度監視、異常時の警報メール機能により管理業務の省力化に寄与するなど高い評価をいただく事が出来た。

しかし一方で技術提案として受注に結びつけようとした場合、単に温度を計るだけではインパクトが低い事、更なるコスト低下の必要性を指摘されている。

技術提案としてのインパクトを上げるためには、オリジナル機能の付加が必須と考えるが、これについては社内技術プロジェクトにおいて、温度計測とひび割れ解析を組み合わせたシステムの開発に着手している。

コストについては同様システムのレンタル業者との比較になるが、長期間利用の場合はこちらの方が有利となる。

今回の結果からコンクリート温度計測システムは、簡易にコンクリート温度の計測と管理をする方法として、作業所からの評価の通り十分有効な技術であったと考える。

ひとこと



関原 弦

品質管理に寄与するシステムの開発は技術提案方式の発注に対して重要な課題である。特にコンクリートの品質向上は社内より強く求められている技術の一つと認識する。

今後は工種に拘らない汎用的なシステム開発を目指すと共に、事業化も視野に入れ開発業務を遂行する所存です。