

スマートセンサ型枠システムを利用したコンクリートの養生・品質管理システムの開発

東京大学大学院工学系研究科 正会員 ○野口 貴文 北垣 亮馬
 児玉 株式会社 正会員 西島 茂行
 株式会社 アルス・リサーチ・システム 正会員 山本 秀之

1. 目的

コンクリートの型枠存置期間中の管理は、工期短縮と長期耐久性能に大きく関わるため、近年、ますます高いレベルの品質管理が要求されている。著者らは、小型センサやチップ製品市場において成熟した既存製品をうまく組み合わせ、センサ付き小型集積回路を作成した上で、これを樹脂型枠あるいは鋼製型枠に設置することで、作業員に作業負荷をかけることなく、型枠の存置状況、使用回数、コンクリート表面の温度履歴といった情報を収集し、組込みソフトウェアを使って養生中のコンクリート表面強度推定など品質管理を行うことのできる品質管理システム（スマートセンサ（SS）型枠システム）を開発した。コンクリートの品質管理を電子情報で行う手法は RFID を埋め込むなどの事例^[1]があるが、本研究は、型枠をローコストでデバイス化することで、高度な養生・品質管理を効率的に実施することを目的としており、SS 型枠システムに新たに静電容量センサを搭載することで、コンクリートの打込時期、脱型時期を自動探知し、コンクリート工事におけるデータ収集を完全自動化した上で、収集されたデータからコンクリートの脱型判定に必要な表面強度を精度よく推定することを目的とする。

2. スマートセンサ型枠システム

2-1 概要

静電容量センサを付与したスマートセンサ型枠システムの分解写真、断面図、型枠への取付状況を、図 1 に示す。コンクリートに接触する内壁側温度センサの周辺に静電容量センサを取付け、コンクリートが接触した場合に静電容量の変化を感知するように設計した。導電性があるものがコンデンサに触れ静電容量が変化することを利用した静電容量スイッチは、既往の研究^[2]からフレッシュ・コンクリートでも有効であり、これを応用している。この他にも、通気口側の外気測定用センサ、6 軸・回転角を測定する加速度センサ、無線送受信モジュールを搭載した複合的な小型集積回路となっている。

2-2 コスト比較

スマートセンサ型枠システムには鋼製型枠と樹脂型枠の 2 バージョンが存在するが、既往の研究^[3]をもとに、樹脂型枠バージョンの SS 型枠システムとウレタン塗装コンパネの性能比較した試算結果を表 1 に示す。現時点で SS センサ型枠システムは、希望する建設会社によってレンタル契約され、複数の現場で利用されているが、この際のレンタル費用を比較した場合にも、コンパネと同等かそれ以下の平米単価となっているものの、普及のためには運用上の自動化がより一層求められている。

3. 静電容量センサによる SS 型枠システムの自動制御に対する実験

以上より、静電容量センサを付与した SS センサ型枠システムを用いて、コンクリート工事現場の自動測定・自動品質管理の実現可能性を検証した。具体的には、①静電容量センサによるコンクリート打込開始の探知に基づいた自動温度計測開始、②脱型探知に基づいた温度計測自動終了、③①②によって収集されたデータに基づき、有効材齢にてコンクリート表面強度を推定する。③の推定ソフトウェアの精度検証をするため、SS センサ型枠を使った柱状型枠と、表面にボタン型温度センサを貼り付けたサミットモールド（Φ100mm）を用意し、図 2 に示すように、これらに同じコンクリート打込み、キャッピングしたサミットモールドを SS 型枠内壁に接するように手早く埋込んだ試験体を複数個作成した。その後、表 2 に示す水準で大型試験体内部からサミットモールドを取出し、圧縮強度試験を行った。SS 型枠システムによって収集され

キーワード 小型集積回路、静電容量センサ、表面強度推定、コンパネとの比較

連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 工学部 1 号館 103 号室 TEL 03-5841-6194

た打込み後 7 日目までの収集データを図 3 に、それに基づき推定されたコンクリート表面圧縮強度、埋込み供試体、現場養生供試体の圧縮強度試験結果をあわせて図 4 に示す。静電容量センサは、打込み、脱型を正確に自動探知すると同時に、正確に養生期間中の温度データを記録した。また、温度データからコンクリート表面強度を有効材齢法に基づき推定した結果は、現場養生供試体の結果が最も小さく、ついで SS センサの圧縮強度推定結果、表面からの深さ 20mm に設置されたボタン温度センサによる圧縮強度推定結果、70mm のボタン温度センサ、120mm のボタン温度センサ、と続いて、埋込み試験体の圧縮強度が最も大きくなり、結果として、SS センサによる推定強度が構造体コンクリートの表面強度の下位推定になった。

4. まとめ

本研究は、スマートセンサ型枠システムに静電容量センサを搭載し、その打込み、脱型探知の自動化により養生期間中のコンクリート表面の温度履歴を測定し、表面強度推定を行った。その結果、本システムによって、コンクリート表面強度の下位推定が可能になった。今後は、脱型判定など高度な品質管理のために改善していく予定である。

5. 参考文献

[1] 杉山ほか：コンクリート中に埋め込んだ各種 IC タグの通信性に関する研究, 日本建築学会技術報告集 15(29), 9-14, 2009-02-20

[2] 瀬古ほか：型枠面での高周波静電容量測定によるコンクリート充填状態の判定に関する研究, コンクリート工学年次論文集 29(2), 697-702, 2007

[3] 鈴木誠二：リサイクル可能なプラスチック型枠, 建築技術 1999 年 11 月

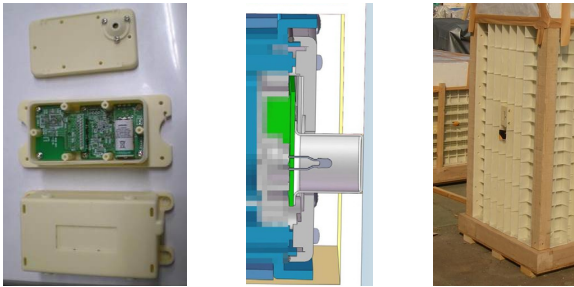


図 1 スマートセンサ型枠システムの概要

表 1 スマートセンサ型枠とコンパネの比較

項目	スマートセンサ型枠	コンパネ
重量 (970 板)	10kg	12kg
光透過性	○ (作業空間明るい)	なし
製造 CO2 (kg/970 板)	9.62	12.62
使用回数	50-100 回	5 回
建築物あたり CO2	小さい	大きい
品質管理システム	センサからのデータを利用した管理ソフト	なし
リサイクル性	再度樹脂型枠にリサイクル	燃料利用

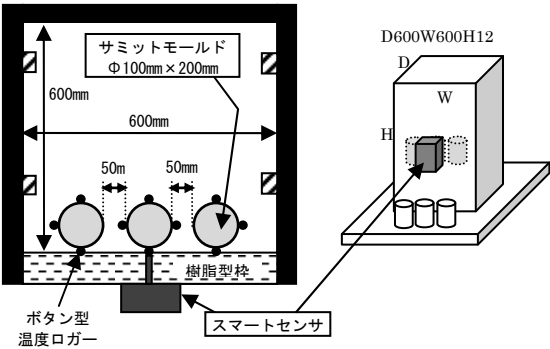


図 2 試験体寸法と作成状況

表 2 試験体水準

試験体	個数	配合	試験日	備考
大型供試体	3 体	27-18-20N	1, 3, 7 日	内部に埋込み供試体を入れる
内部埋込供試体	9 体	鉄筋なし	圧縮強度	大型供試体 1 個に付き 3 体
現場養生供試体	9 体			大型供試体 1 個に付き 3 体

表 3 コンクリート調査

W/C	s/a	単位量 (kg/m ³)				混和剤	空気量
%	%	W	C	S	G	C×%	%
54.5	50.6	170	312	900	900	レオビルド SP8SV 0.9	4.6

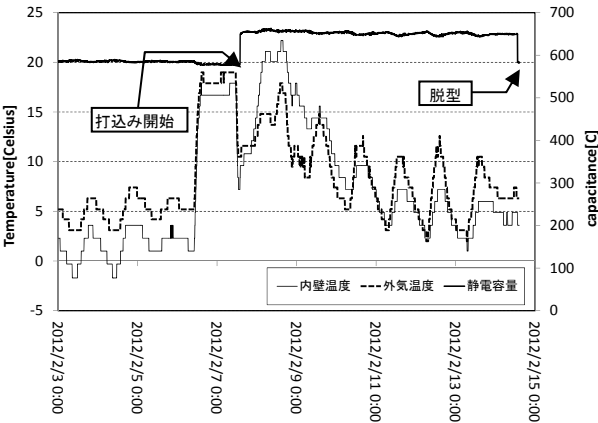


図 3 SS センサのデータ測定状況と打込み・脱型判定

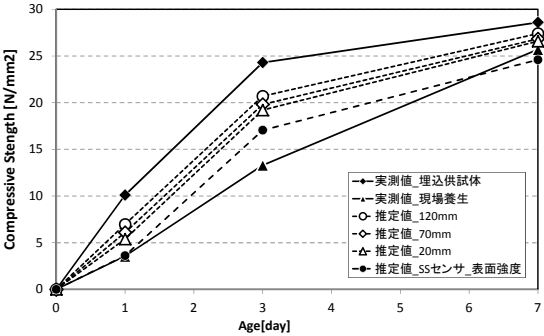


図 4 供試体実測圧縮強度および SS センサ温度履歴、埋込み供試体表面温度履歴からの推定圧縮強度