

8

コンクリート充填管理を目的とした
帯状濡れセンサモニタリングシステムの開発

松本 賢二郎*1・上原 誠*2

概 要

鉄筋コンクリート造の実大壁試験体に開発した帯状濡れセンサモニタリングシステムを用い、コンクリート打込み時のモニタリングと充填確認を行った。実大壁試験体を使用した透明型枠を通して観察したコンクリートの打込み状況と、パソコン上で示された帯状濡れセンサによるモニタリング結果が一致したことから、本システムによってコンクリートの打込み状況をリアルタイムに把握することが可能であることを確認した。また、コンクリート打込み時にコンクリートが空隙無く充填されている部位では、帯状濡れセンサの出力率はコンクリートが密実に打込まれていることを示し、型枠脱型後の実大壁試験体の表面の状態も、コンクリートが良好に打込まれていることを確認した。

キーワード：帯状濡れセンサ、モニタリング、充填確認、リアルタイム

Development of a long and narrow wetting sensor monitor system for
the purpose of concrete-filling management

Kenjiro MATSUMOTO *1, Makoto UEHARA *2

Abstract

We installed a newly developed, long and narrow wetting sensor monitor system in a full-scale test structure in order to monitor how concrete is placed and filled into this structure. We observed, through the transparent form in the full-scale test, how the concrete was placed into the form, and compared the results with the monitoring results which were given by the long and narrow wetting sensor through an PC-based simulation. Since the former match the latter, it was confirmed that the sensor system was able to detect the placing of concrete in real time. It was also confirmed at the time of concreting that if a certain section is filled compact without voids, this status is recognizable from an output ratio from the long and narrow wetting sensor system, from which we can know the status of the fully and densely poured concrete, while the concrete surface of the full-scale test structure after removal of the form serves as an indicator of the fact that the concrete is placed with an enough density and in an adequate manner.

Keywords: long and narrow wetting sensor, monitoring, confirmation of filled state, real time

*1 Manager, BIM Promotion Group, Architectural Technology Department, Architectural Division

*2 Architectural Technology Department, Architectural Division

コンクリート充填管理を目的とした 帯状濡れセンサモニタリングシステムの開発

松本 賢二郎*1・上原 誠*2

1. はじめに

鉄筋コンクリート造の建物において、品質を確保するためには、施工段階で型枠内に均質なフレッシュコンクリートを密実に充填することが必須である。そのためコンクリートが密実に充填されているか否かをリアルタイムで確認できる技術を確認することは、コンクリート工事の施工管理において有益である。

コンクリートの充填状況を監視するために、透明型枠を使用して目視確認する手法が用いられているが、型枠の固定に使用する単管や型枠の端部に設置する栈木などの部材で遮られ充填確認できない箇所が発生する問題がある。その他に、現状開発されているセンサ計測を活用した技術の多くは点計測のセンサであり、これを複数設置する手法が用いられているが、複数のセンサ設置や配線に多くの作業を要する。

一方、筆者らは、静電容量式のセンサを使用した濡れセンサの試作を進め、設置作業の効率化を達成するために帯状の長い濡れセンサ（以下、“帯状濡れセンサ”と記す）を開発した。さらに、このセンサをコンクリートが接触する型枠の内側表面に設置することによって、コンクリートの充填状況に加えて、コンクリート表面に生じた豆板を検知する技術の開発を進めており、その性能を基礎的な実験により確認している。^{1) 2)}

本実験では、帯状濡れセンサを型枠の内側表面に設置した鉄筋コンクリート造の躯体を模擬した実大壁試験体を用いて打込み実験を行った。コンクリートの打込みの打ち上がり状況および充填状況のリアルタイムでのモニタリング確認を行い、『帯状濡れセンサモニタリングシステム』の

有効性の検証を行った。

2. 帯状濡れセンサ

2. 1 帯状濡れセンサ

本実験で用いた帯状濡れセンサを図-1に示す。帯状濡れセンサは、長さ400mm、幅26mm、厚さ3mmの基盤に、長さ100mm、幅18mmのセンサを4基配置し、コネクタを介して帯状濡れセンサ同士を直列に連結して計測距離の延長が可能となる仕様とした。この帯状濡れセンサは、全長にセンサを帯状に配置することにより、測点ごとではなく、線状に濡れ検知が可能な仕様となっている。また、センサ間に温度センサを配置して、コンクリート打込み後の温度変化を測定できる仕様とした。

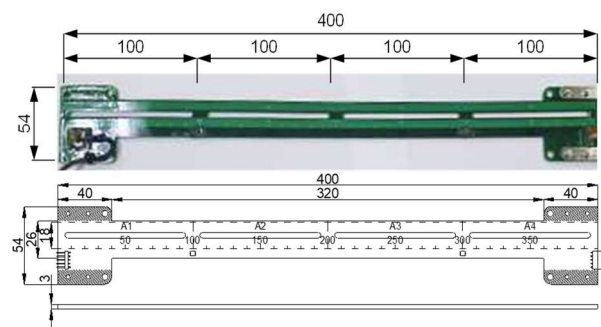


図-1 帯状濡れセンサ

センサ部は静電容量式で、センサに接しているフレッシュコンクリートの面積の違いに応じて、電極間の静電容量の変化が生じ、コンクリート充填の有無と充填の程度を測定する仕組みである。また、送信電極と受信電極間に幅4mmのスリットを設けて、コンクリートの打込み時の散水や、コンクリート付着による誤作動を防止し、正確なタイミングでコンクリートが充填されているこ

*1 建築本部 建築技術部 BIM推進グループ グループリーダー

*2 建築本部 建築技術部

とを確認できるよう試作段階から改良を図っている。

2.2 モニタリングシステム

モニタリングシステムの構成を写真-1に示す。モニタリングシステムは、帯状濡れセンサ、小型データロガー、パソコンからなる。小型データロガーは、幅70mm、長さ125mm、厚さ36mm、重量170gであり、持ち運びが容易な小型形状で、使用電源は、6V・ACアダプターによる直接接続もしくは内蔵する充電式リチウムイオンバッテリーにより稼働する。本実験では、内蔵のバッテリーでデータロガーを稼働させて計測を行った。小型データロガーとパソコンはBluetoothにて無線接続し、パソコンにて計測制御を行い、データ保存する仕様である。なお、小型データロガーにはバックアップ用のメモリを内蔵しており、パソコンとの通信を停止してデータロガー単体（スタンドアローン状態）での計測も行える。また、帯状濡れセンサと小型データロガーとの接続は、帯状濡れセンサの端部に配線した1本のケーブルを丸型ケーブルコネクタにて接続して計測を行える仕様とした。

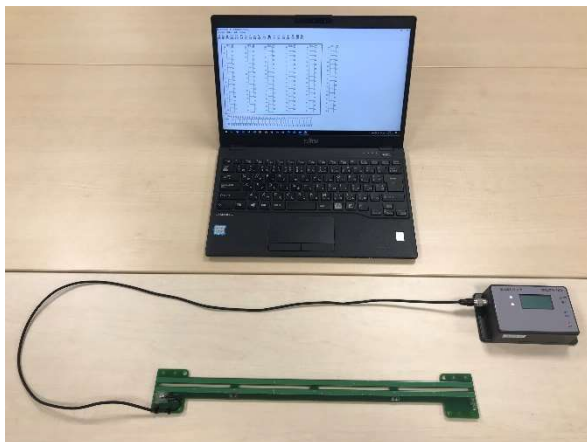


写真-1 モニタリングシステム

3. 実験概要

3.1 実大壁試験体形状

実大壁試験体の概要を図-2に示す。実大壁試験体は、鉄筋コンクリート造の躯体工事を模倣し、幅3.6m、高さ1.86m、厚さ0.2mの壁とその両側に柱せい0.3m×柱幅0.45mの柱からなる形状で、壁のコンクリート打込み状況と充填状況を確認

した。実大壁試験体の配筋の状況を写真-2に示す。壁はD13の鉄筋をピッチ200mm、ダブル配筋とし、金属系拡張アンカーにて縦筋を土間スラブに固定した。実大壁試験体の型枠は、片側に透明型枠を使用した。幅900mm×高さ1.8mmの透明型枠を4枚使用して、コンクリートの打込み状況と型枠表面の充填状況が確認できるようにした。

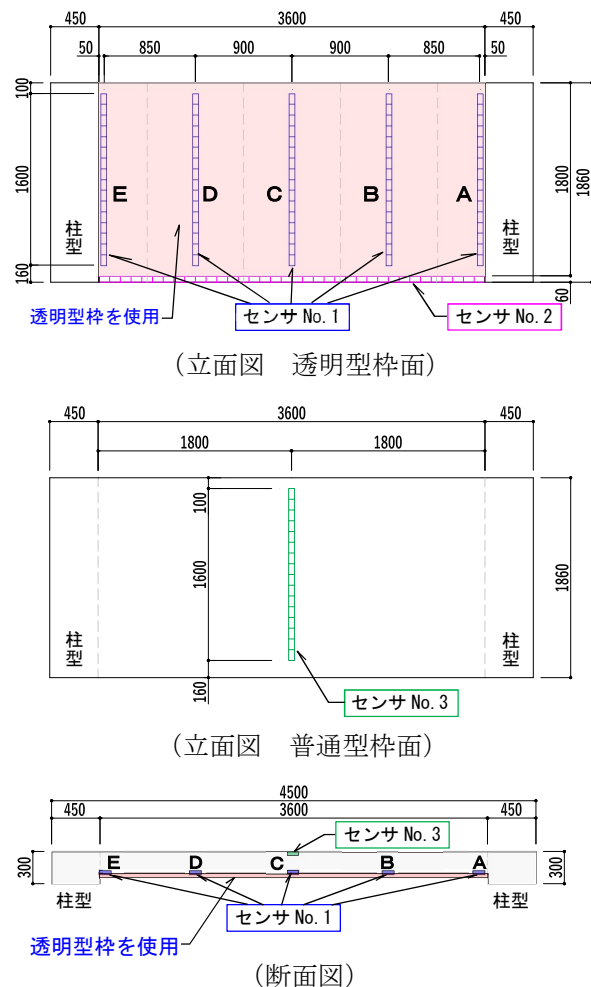


図-2 試験体計画図



写真-2 試験体配筋状況

3. 2 帯状濡れセンサの設置

(1) 帯状濡れセンサの設置概要

1 体の実大壁試験体に帯状濡れセンサを 3 セット設置する計画とし、それぞれセンサ No.1, センサ No.2, センサ No.3 とした。帯状濡れセンサの設置仕様を表-1 に示す。

表-1 帯状濡れセンサの仕様

センサ番号	長さおよび設置箇所数	設置用途	設置位置
No. 1	全長 1.6m×5 箇所	コンクリート打込み状況確認用	透明型枠面
No. 2	全長 3.6m×1 箇所	壁下部の締固め確認用	透明型枠面
No. 3	全長 1.6m×1 箇所	コンクリート打込み後の確認用	普通型枠面

(2) センサ No.1 の設置

センサ No.1 は、壁面のコンクリート打込み状況を確認する目的とした。センサ No.1 の設置状況を写真-3 に示す。コンクリートの打込み高さおよび充填状況を把握するために、帯状濡れセンサを縦方向に設置し、型枠パネル 1 枚分の幅 900mm (端部は端からの長さ調整のため 850mm) で、5 列設置する計画とした。1 箇所の長さは、1 基 0.4m の帯状濡れセンサを 4 基直列に繋ぎ 1.6m として、設置高さは床から 0.16m、型枠頂部より 0.1m とした。5 箇所の帯状濡れセンサを図-2 に示すようにそれぞれ A~E とした。また、透明型枠に設置することで、目視によるコンクリートの打込み状況と、帯状濡れセンサによる計測データとの比較を行い、リアルタイムでモニタリング計測データの検証を行った。

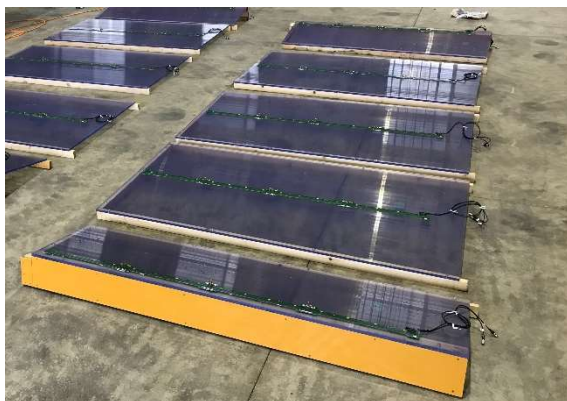


写真-3 センサ No.1 設置状況

(3) センサ No.2 の設置

センサ No.2 は、壁面下部のコンクリート締固め状況を確認する目的とした。センサ No.2 の設置状況を写真-4 に示す。一般的に型枠の上部からコンクリートを打込み、締固めが不十分であると、型枠の下部において豆板等の不具合が発生しやすいので、本実験では、締固めが不十分な状況を意図的に再現し、コンクリートの不具合を検知する検証を行った。また、同時に型枠脱型時にセンサ No.2 を取外し、コンクリートの表面を確認し、コンクリート打込み完了時のセンサ No.2 の数値と比較した。

幅 3.6m の壁に 1 基 0.4m の帯状濡れセンサを 9 基直列で繋ぎ、3.6m のセンサ No.2 を透明型枠の最下部に設置した。設置位置を図-2 に示す。壁透明型枠と同面にセンサ No.2 が設置出来るように、配線継ぎ目および継ぎ目金物の突出分の段差を考慮して、高さ 60mm の型枠を 10mm の段差を付け、その中にセンサ No.2 を設置した。



写真-4 センサ No.2 設置状況

(4) センサ No.3 の設置

センサ No.3 は、帯状濡れセンサを壁面の建物内部側に埋め込み、内部結露の検知の可能性を検証することを目的とした。実際の建物での設置を模擬するように実大壁試験体にセンサを埋め込み、コンクリート打込み完了後の動作を確認した。

センサ No.3 は、縦方向に壁面の中央部の普通型枠面に 1 列縦方向に設置し、長さおよび設置高さはセンサ No.1 と同様とした。(図-2 参照)

(5) データロガーの設置

センサ No.1～3 の各センサの計測は小型データロガーを用いて行った。センサ No.1 の A～C 列の帯状濡れセンサは、上端部から 2 本の配線を出し、直列にデータロガー 1 と接続した。同様にセンサ No.1 の残りの D, E 列とセンサ No.3 の帯状濡れセンサも直列に配線してデータロガー 2 に接続した。センサ No.2 においては、柱型の型枠下部を一部切り欠いて、帯状濡れセンサ端部より配線を 1 本取り出し、データロガー 3 に接続した。データロガーの配置を図-3 に示す。

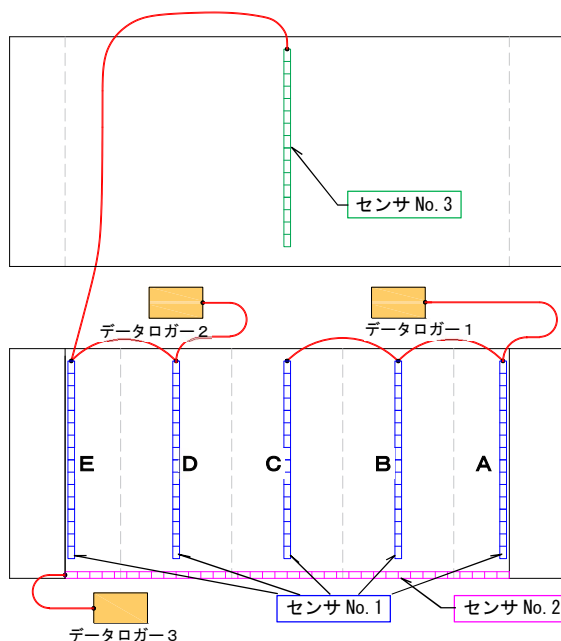


図-3 データロガー配置図

3.3 コンクリートの仕様

実大壁試験体は 2 体作成し、各々の試験体に高流動コンクリート（試験体①）、普通コンクリート（試験体②）と流動性の異なるコンクリートを使用して、コンクリートの充填状況が異なるようにした。コンクリートの使用材料を表-2 に、高流動コンクリート（36-50-20N）の調合を表-3 に、また、普通コンクリート（36-18-20N）の調合を表-4 に示す。

表-2 コンクリートの使用材料

材料	記号	種類	物性
セメント	C	普通ポルトランドセメント	密度 3.15g/cm ³
細骨材 1	S1	茨城県鹿嶋市産砂	表乾密度 2.60g/cm ³ , 粗粒率 2.40
細骨材 2	S2	栃木県佐野市産砕砂	表乾密度 2.68g/cm ³ , 粗粒率 3.20
粗骨材 1	G1	茨城県笠間市産砕石 2005	表乾密度 2.65g/cm ³ , 実積率 60.0%
粗骨材 2	G2	栃木県佐野市産砕石 2005	表乾密度 2.70g/cm ³ , 実積率 60.0%
混和剤 1	SP1	増粘剤-液型高性能 AE 減水剤	ポリカルボン酸系
混和剤 2	SP2	高性能 AE 減水剤	ポリカルボン酸系

表-3 高流動コンクリートの調合

呼び名	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³) SP1(C×%)						
			W	C	S1	S2	G1	G2	SP1
36-50-20N	46.6	51.3	175	376	616	273	427	435	0.7

表-4 普通コンクリートの調合

呼び名	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³) SP2(C×%)						
			W	C	S1	S2	G1	G2	SP2
36-18-20N	46.6	47.2	170	365	575	255	469	475	1.6

3.4 コンクリート打込み計画

コンクリートの打込み方法を図-4 に示す。実大壁試験体へのコンクリート打込みは、柱型にコンクリート圧送ホースの筒先を入れ、コンクリートの自由落下高さが 1.5m 以内となるように、打込みを行った。棒状バイブレーターによる振動締固めは最小限に抑えて、コンクリート表面に豆板や空隙などが発生しやすい状況を意図的に発生させて、試験体表面の充填不良状況が帯状濡れセンサを使用した計測結果と一致するか確認した。

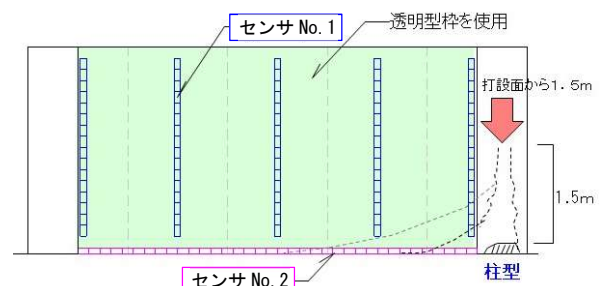


図-4 コンクリート打込み計画図

3.5 コンクリート充填表示

帯状濡れセンサの計測データは、既往の実験結果¹⁾を参考に、センサの出力率(%)で表すことにした。20℃水中におけるセンサの浸水面積が 100%（完全水没時）のときの出力値をセンサの出力値の最大値として考え、その理論上の数値から式(1)に示すセンサの出力率(%)を算出し、出力率からコンクリートの充填状況を確認した。

$$\text{センサ出力率}(\%) = \frac{\text{各センサ出力値}}{\text{20℃水中の最大センサ出力値}} \times 100 \quad (1)$$

また、各センサから算出したセンサ出力率をパソコン上でリアルタイムに確認できるように、センサを模擬した帯状のブロック表示として、実大壁試験体と同様に配置した表示とする仕様とし

た。パソコン上に表示されるモニター画像の例を図-5に示す。ブロック部は、センサ出力率の数値で区分して4段階の色分け表示を行い、0～40%：グレー、40～60%：青、60～80%：緑、80～100%：赤、として表示した。色表示範囲は、センサ出力率に合わせて、1ブロックの表示面積ごとに表し、右上にセンサ出力率も合わせて表示した。センサ No.1 の帯状ブロック表示において、センサ出力率が上昇した充填上限位置を結合線で結び、表示することで、型枠内のコンクリートの現状打込み高さのイメージが把握できるようにした。

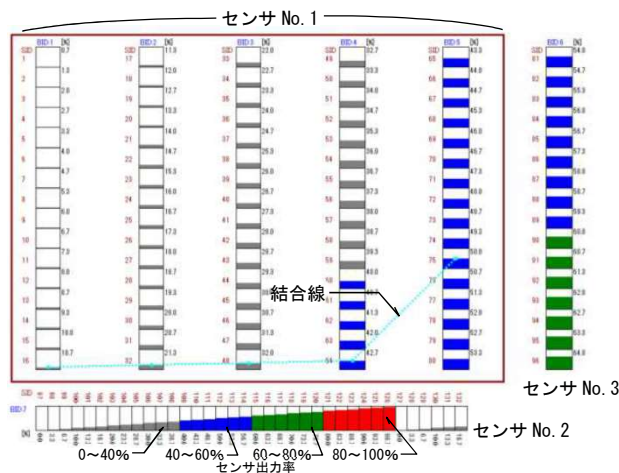


図-5 コンクリート充填表示

4. 実験結果

4. 1 コンクリート打込み状況

コンクリート打込み実験実施前の状況を写真-5に示す。また、コンクリートの充填状況とその時の帯状濡れセンサの出力率を算出したモニタリング表示を図-6、図-7に示す。図-6は高流動コンクリートを打込んだ試験体①の、図-7は普通コンクリートを打込んだ試験体②の状況である。打込み中のコンクリートの流動性の違いはあるが、高流動コンクリートと普通コンクリートとも、センサ出力率が上昇した充填上限位置および、それを結んだ結合線は、コンクリートの打込み状況とタイムラグなく一致していることが確認できた。

柱型よりコンクリートを片流して打込みを行い、コンクリートの流動勾配が大きくなったとこ

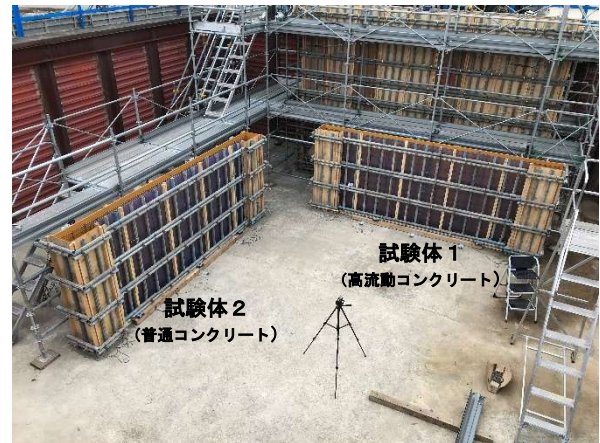


写真-5 試験体設置完了状況

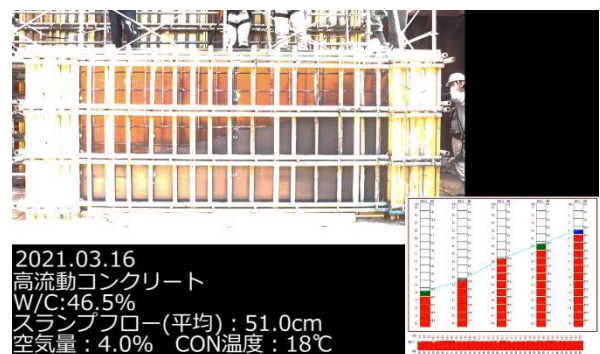


図-6 試験体1 高流動コンクリート充填状況

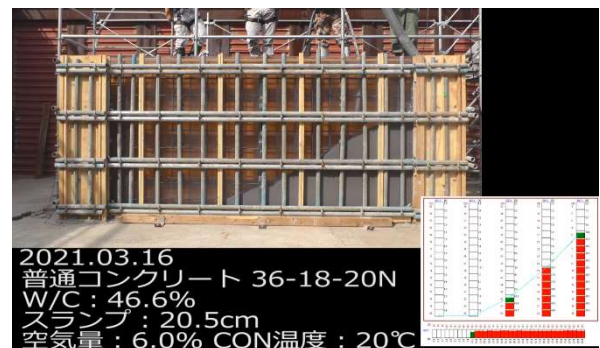
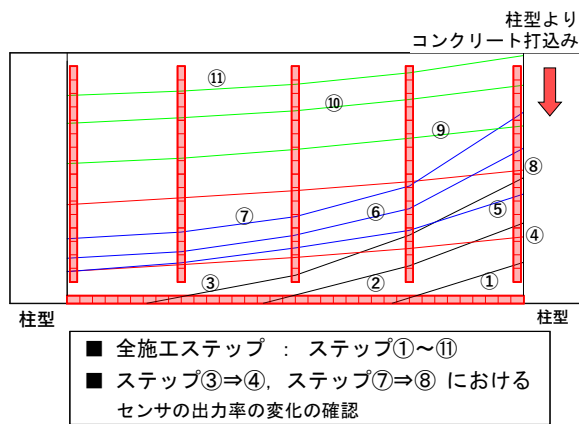


図-7 試験体2 普通コンクリート充填状況

ろで、コンクリートの打込みを一旦停止し、打込み高さが均一になるよう棒状バイブレーターによる振動締固めを実施した。その結果、傾斜頂部のコンクリートが30 cm程度下がったが、帯状濡れセンサの出力率は大きな変化が見られなかった。コンクリートの打込み状況のイメージを図-8に示す。高流動コンクリート、普通コンクリートとも同様の結果を得た。帯状濡れセンサに付着したコンクリートは、取り除かれることは難しく、締固めにより一時的にコンクリートの打込み高さが下がった場合、その状況を帯状濡れセンサの

出力率で判断するのが難しいことを示している。



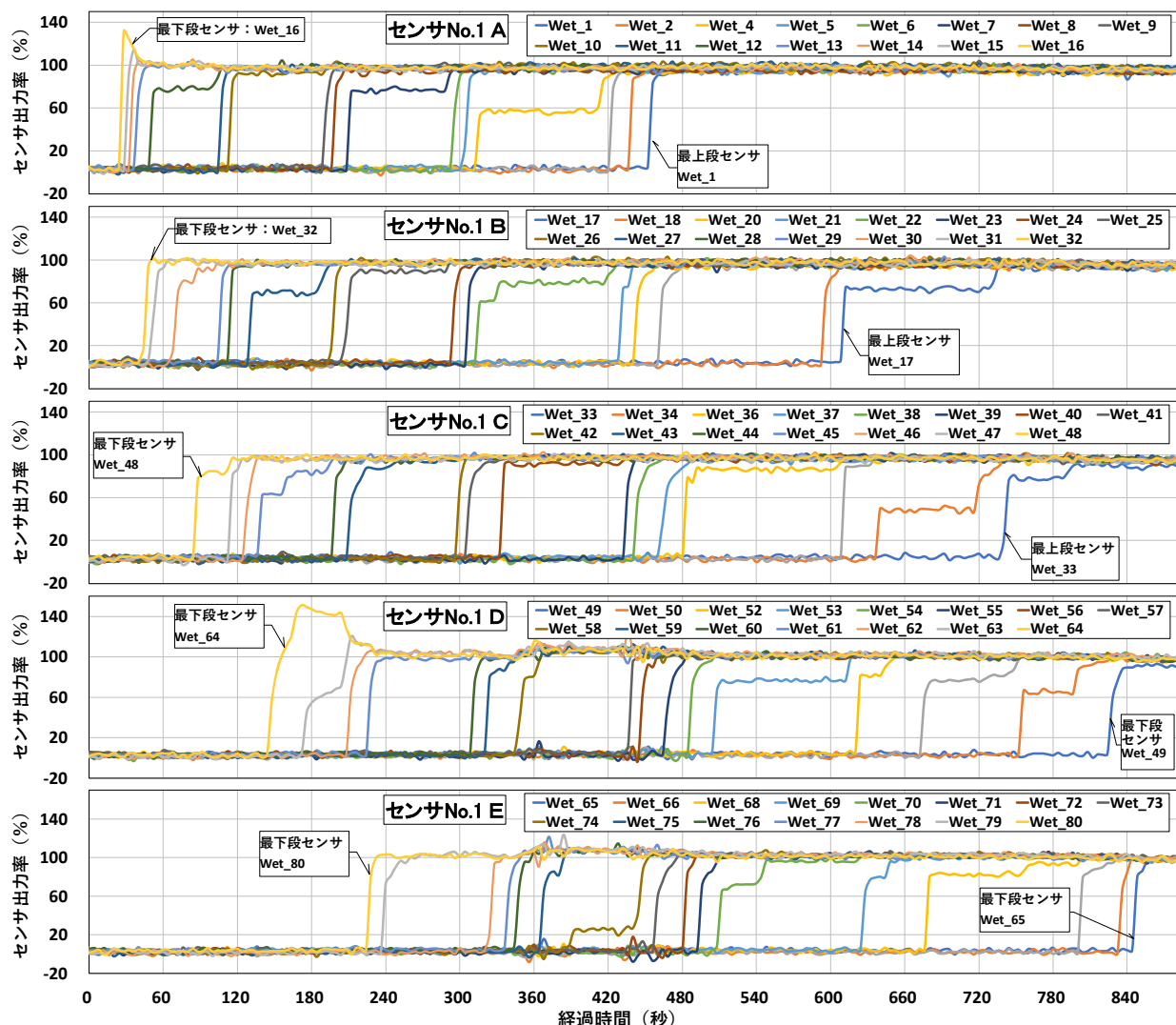
図－８ コンクリート打込み状況のイメージ

４．２ 帯状濡れセンサ計測結果

試験体①のコンクリートの打込み時におけるセンサ No.1 の出力率の算出結果を図－９に、同

様に試験体②の算出結果を図－１０に示す。この結果より高流動コンクリート、普通コンクリートともコンクリートが打込まれた後に各センサのセンサ出力率が上昇し、100%に近い数値を示していることから、棒状バイブレーターによる締め固めが良好に行われていたことを示している。

また、高流動コンクリート、普通コンクリートともセンサ No.1 の A および D の算出結果において、充填初期の計測値は、センサの出力率が 100%を超えたが、計測が進むにつれ出力率が 100%に収束する計測結果を示した。この結果はデータを計測するデータロガーごとに発生した。これは既往の研究でも同様な結果を得られているが、本システムにおいて濡れを検知する初期段階における電気回路の影響が原因と考えられる。



図－９ 各センサのセンサ出力率の時間変化（高流動コンクリート）

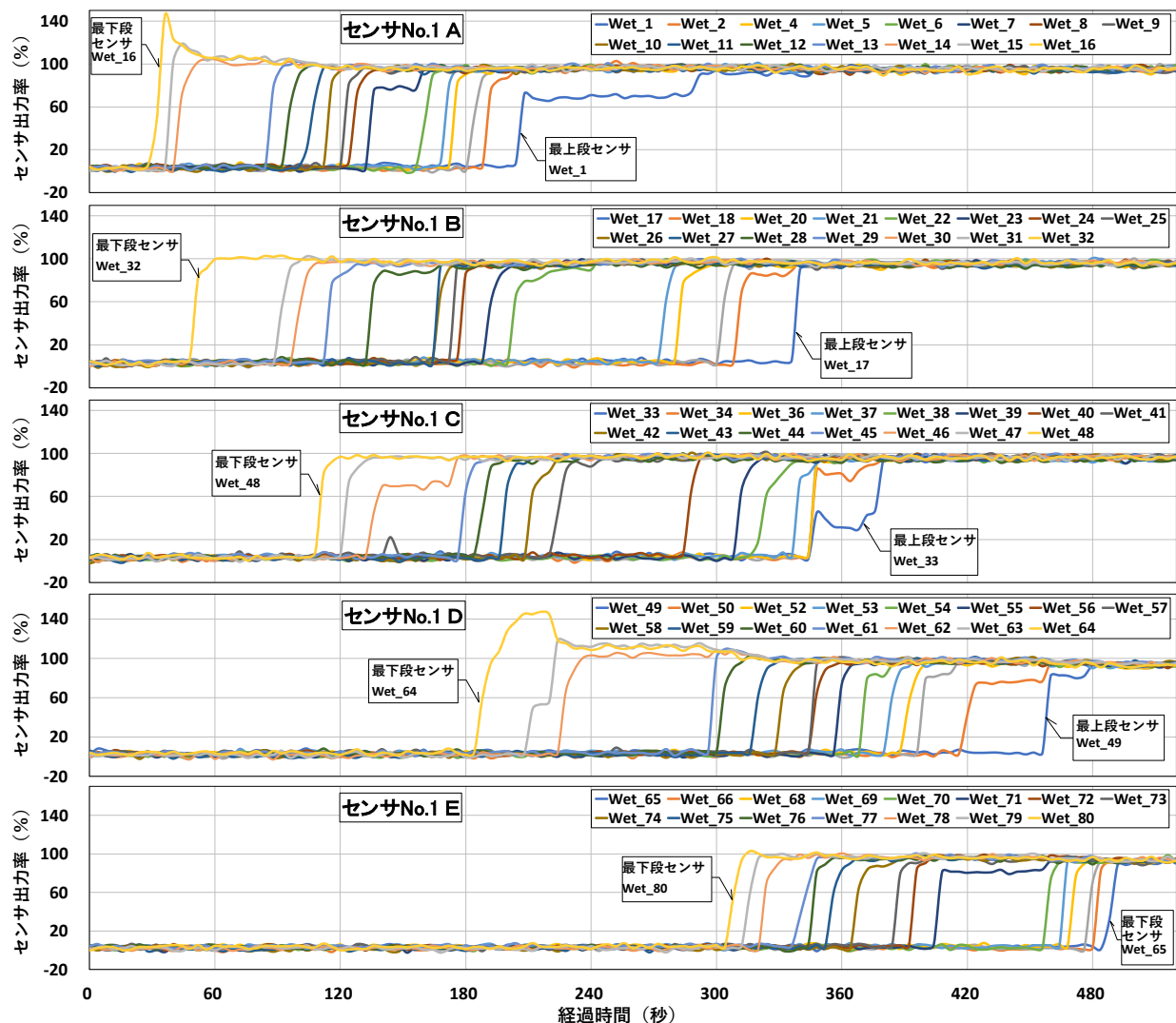


図-10 各センサのセンサー出力率の時間変化（普通コンクリート）

4. 3 コンクリート充填状況

型枠脱型後の試験体表面の状態として写真-6に試験体①を、写真-7に試験体②を表す。高流動コンクリートの表面の状態は写真-6に示すように、豆板や空隙などの不具合はなく、平滑で密実な状態であった。各センサのコンクリート打込み後の出力率を終局値とし表-5に示す。センサ No.1 の全体の平均値は 96.3%と 100%に近い計測結果が得られており、コンクリートの表面の充填状況と同様な結果が得られた。

普通コンクリートの表面の状態は写真-7に示すように平滑で密実な状態であったが、高流動コンクリートに比べ若干小さな気泡跡が一部見られた。各センサの出力率の終局値を表-6に示す。全体の平均値が 94.9%の測定結果を示しており、高流動コンクリートと比較すると 1.4%低い

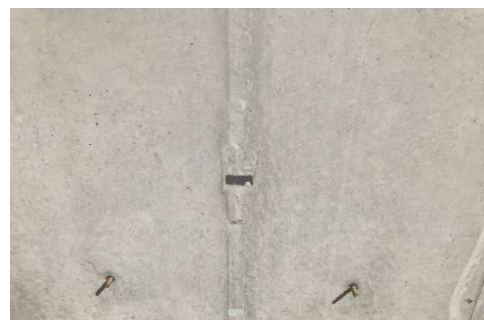


写真-6 高流動コンクリートの表面性状



写真-7 普通コンクリートの表面性状

表－５ センサ No.1 センサ出力率の終局値（高流動コンクリート）

センサ 設置位置 (下部から)	センサ E		センサ D		センサ C		センサ B		センサ A		各センサ設置 位置ごとの平均値 センサ出力率 (%)
	センサ名	センサ出力率 (%)	センサ名	センサ出力率 (%)	センサ名	センサ出力率 (%)	センサ名	センサ出力率 (%)	センサ名	センサ出力率 (%)	
16	Wet_1	92.8	Wet_17	93.2	Wet_33	91.6	Wet_49	90.4	Wet_65	96.8	93.0
15	Wet_2	97.2	Wet_18	92.4	Wet_34	92.4	Wet_50	97.2	Wet_66	94.8	94.8
14	Wet_3	92.0	Wet_19	91.6	Wet_35	96.4	Wet_51	96.8	Wet_67	98.8	95.1
13	Wet_4	95.6	Wet_20	93.2	Wet_36	95.6	Wet_52	95.2	Wet_68	98.8	95.7
12	Wet_5	95.2	Wet_21	97.6	Wet_37	93.2	Wet_53	100.0	Wet_69	99.6	97.1
11	Wet_6	91.6	Wet_22	96.8	Wet_38	94.8	Wet_54	97.6	Wet_70	98.4	95.8
10	Wet_7	94.4	Wet_23	94.0	Wet_39	97.6	Wet_55	98.4	Wet_71	99.2	96.7
9	Wet_8	95.6	Wet_24	94.0	Wet_40	95.2	Wet_56	98.4	Wet_72	101.2	96.9
8	Wet_9	95.2	Wet_25	97.2	Wet_41	95.6	Wet_57	97.6	Wet_73	99.2	97.0
7	Wet_10	96.0	Wet_26	97.2	Wet_42	98.8	Wet_58	98.8	Wet_74	99.6	98.1
6	Wet_11	96.4	Wet_27	95.6	Wet_43	96.4	Wet_59	98.8	Wet_75	99.6	97.4
5	Wet_12	96.8	Wet_28	96.8	Wet_44	96.8	Wet_60	95.2	Wet_76	98.8	96.9
4	Wet_13	94.8	Wet_29	92.8	Wet_45	97.2	Wet_61	97.2	Wet_77	97.2	95.8
3	Wet_14	95.6	Wet_30	96.8	Wet_46	96.0	Wet_62	98.4	Wet_78	99.6	97.3
2	Wet_15	95.6	Wet_31	95.2	Wet_47	93.2	Wet_63	96.8	Wet_79	99.2	96.0
1	Wet_16	95.6	Wet_32	96.4	Wet_48	96.4	Wet_64	96.4	Wet_80	100.0	97.0
平均値		95.0		95.1		95.5		97.1		98.8	96.3

表－６ センサ No.1 センサ出力率の終局値（普通コンクリート）

センサ 設置位置 (下部から)	センサ E		センサ D		センサ C		センサ B		センサ A		各センサ設置 位置ごとの平均値 センサ出力率 (%)
	センサ名	センサ出力率 (%)	センサ名	センサ出力率 (%)	センサ名	センサ出力率 (%)	センサ名	センサ出力率 (%)	センサ名	センサ出力率 (%)	
16	Wet_65	94.0	Wet_49	94.0	Wet_33	95.6	Wet_17	93.2	Wet_1	95.6	94.5
15	Wet_66	94.0	Wet_50	94.8	Wet_34	95.6	Wet_18	93.6	Wet_2	96.4	94.9
14	Wet_67	92.8	Wet_51	90.8	Wet_35	93.6	Wet_19	93.6	Wet_3	93.6	92.9
13	Wet_68	95.6	Wet_52	94.4	Wet_36	97.6	Wet_20	93.6	Wet_4	94.8	95.2
12	Wet_69	92.8	Wet_53	93.2	Wet_37	97.6	Wet_21	100.0	Wet_5	93.2	95.4
11	Wet_70	93.2	Wet_54	94.8	Wet_38	99.2	Wet_22	94.8	Wet_6	94.0	95.2
10	Wet_71	94.8	Wet_55	93.2	Wet_39	92.8	Wet_23	94.8	Wet_7	93.6	93.8
9	Wet_72	96.4	Wet_56	97.2	Wet_40	96.8	Wet_24	97.2	Wet_8	94.4	96.4
8	Wet_73	92.4	Wet_57	95.2	Wet_41	99.6	Wet_25	94.8	Wet_9	93.2	95.0
7	Wet_74	92.0	Wet_58	92.4	Wet_42	101.6	Wet_26	95.2	Wet_10	94.8	95.2
6	Wet_75	92.8	Wet_59	95.2	Wet_43	93.2	Wet_27	94.8	Wet_11	94.0	94.0
5	Wet_76	94.0	Wet_60	97.6	Wet_44	91.2	Wet_28	95.2	Wet_12	96.0	94.8
4	Wet_77	92.8	Wet_61	91.6	Wet_45	93.6	Wet_29	96.4	Wet_13	96.0	94.1
3	Wet_78	93.6	Wet_62	93.6	Wet_46	98.8	Wet_30	95.6	Wet_14	95.6	95.4
2	Wet_79	92.8	Wet_63	97.2	Wet_47	96.4	Wet_31	98.4	Wet_15	93.6	95.7
1	Wet_80	96.8	Wet_64	92.8	Wet_48	96.4	Wet_32	98.0	Wet_16	92.4	95.3
平均値		93.8		94.3		96.2		95.6		94.5	94.9

値になっているが、数値上では計測誤差の範囲といえる。全体的な数値としては、密実な状態であると判断できる結果が得られた。

型枠解体後に最下部に設置したセンサ No.2 を撤去した。型枠解体後の試験体表面の状態を写真－８、写真－９に、撤去後のセンサ No.2 の表面の状態を写真－１０に示す。高流動コンクリートの表面の状態は写真－８に示すように、センサ設置面は気泡もなく、平滑で密実な状態であった。センサの出力率の平均値は、表－７に示すように、ほぼ 100%に近い値が得られた。

表－７ センサ No.2 センサ出力率の終局値（高流動コンクリート）

センサ No.2（高流動コンクリート）					
センサ名	センサ出力率 (%)	センサ名	センサ出力率 (%)	センサ名	センサ出力率 (%)
Wet_97	98.4	Wet_106	102.4	Wet_115	108.0
Wet_98	99.2	Wet_107	101.2	Wet_116	103.6
Wet_99	98.8	Wet_108	100.8	Wet_117	102.4
Wet_100	100.8	Wet_109	103.6	Wet_118	100.4
Wet_101	100.8	Wet_110	101.2	Wet_119	100.8
Wet_102	100.8	Wet_111	99.6	Wet_120	98.0
Wet_103	111.6	Wet_112	100.8	Wet_121	101.6
Wet_104	107.6	Wet_113	100.4	Wet_122	100.0
Wet_105	102.0	Wet_114	96.0	Wet_123	104.4
平均値					104.1

普通コンクリートの表面性状は写真－９に示すように、一部小さな気泡が確認できたが、平滑

で密実な状態であった。表－8に示すように、センサの出力率の全体の平均値も 90.9%とセンサ No.1 と比較して 4.0%低い値となったが、数値に大きな差がなく、90%を超える高い数値を計測しているため、コンクリート表面が良好であったことを数値上からも読み取れる結果となった。

以上の測定結果からコンクリートの表面は良好で、実際と一致する結果が得られた。

コンクリート硬化後、測定した帯状濡れセンサの撤去を行った結果、解体したセンサ表面にコンクリートの付着は無かったが、スリット部にコンクリートが付着した状態であった(写真－10 参照)。

表－8 センサ No.2 センサ出力率の終局値
(普通コンクリート)

センサ No.2 (普通コンクリート)							
センサ名	センサ出力率 (%)	センサ名	センサ出力率 (%)	センサ名	センサ出力率 (%)	センサ名	センサ出力率 (%)
Wet_97	92.4	Wet_106	92.8	Wet_115	90.8	Wet_124	88.8
Wet_98	92.8	Wet_107	90.4	Wet_116	91.2	Wet_125	89.2
Wet_99	90.0	Wet_108	89.2	Wet_117	88.8	Wet_126	93.6
Wet_100	92.8	Wet_109	90.0	Wet_118	91.6	Wet_127	90.8
Wet_101	90.4	Wet_110	90.4	Wet_119	89.6	Wet_128	88.0
Wet_102	93.2	Wet_111	90.0	Wet_120	89.6	Wet_129	91.6
Wet_103	90.8	Wet_112	89.2	Wet_121	91.2	Wet_130	90.4
Wet_104	90.8	Wet_113	92.8	Wet_122	92.0	Wet_131	92.8
Wet_105	89.2	Wet_114	92.8	Wet_123	92.4	Wet_132	89.2
平均値	90.9						

4. 4 コンクリート打込み後の状況

コンクリート打込み後、計測のサンプリング間隔を 30 分に設定し、継続してモニタリングを行い、コンクリート打込みから 6 日までの帯状濡れセンサの出力値の計測結果を図－11、図－12 に示す。コンクリートに面して設置した No.1 センサにおいては、高流動コンクリート、普通コンクリートともセンサ出力率がコンクリート打込み直後の 90%を超える値から 80%程度に収束する結果が得られた。また、外部に面して設置した No.2 センサにおいては、コンクリート打込み時にコンクリートのノロが一部付着したことにより、センサの出力率は 40%程度の数値を示し、硬化後の乾燥状態では同様にセンサ出力率が低くなる結果となった。これは、フレッシュコンクリートと硬化したコンクリートで誘電率が異なっていることが原因と考えられる。既往の実験においても、モルタル硬化後の乾燥状態ではセンサ出力値は下



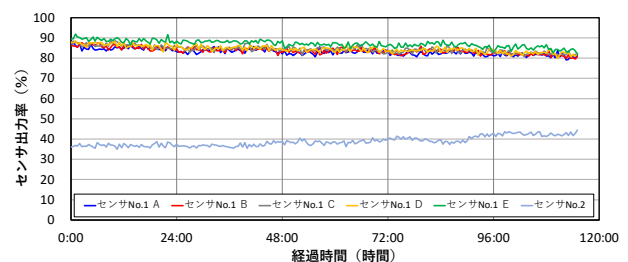
写真－8 高流動コンクリートの表面の状態



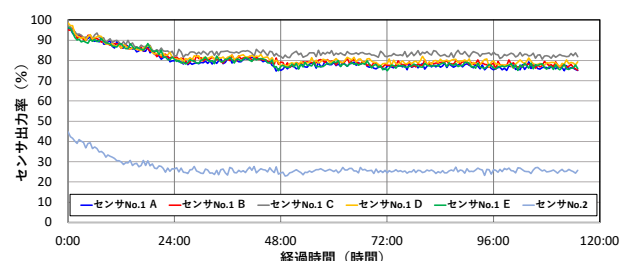
写真－9 普通コンクリートの表面の状態



写真－10 撤去後の帯状濡れセンサの状態



図－11 高流動コンクリート センサ出力率



図－12 普通コンクリート センサ出力率

降しない結果となっており、今回の測定結果でも同様の結果を示している。

4. 5 温度測定結果

センサ No.1 および No.2 において、各帯状濡れセンサに設置した温度センサによる温度測定結果と気象庁発表の成田市の時間別外気温を併せて図-13、図-14 に示す。各帯状濡れセンサに温度センサを 200mm 間隔でそれぞれ 8 点設置したが、コンクリートの材令初期に水和熱の影響により相対的に温度が高い結果が得られたことや、測定場所により、直射日光の影響を受けて日中の測定温度が上昇している結果などから、コンクリートの打込み実験後の測定結果、コンクリートが硬化後においても各測点で温度センサが正常に機能していることが確認できた。

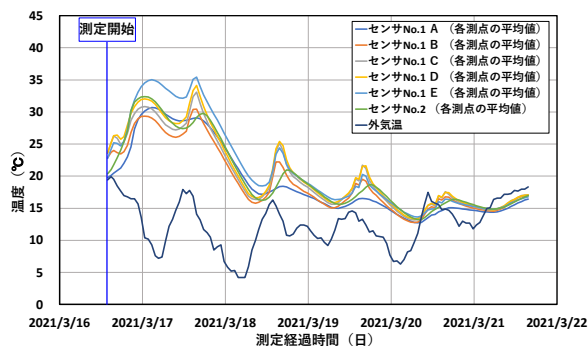


図-13 高流動コンクリート 温度測定値

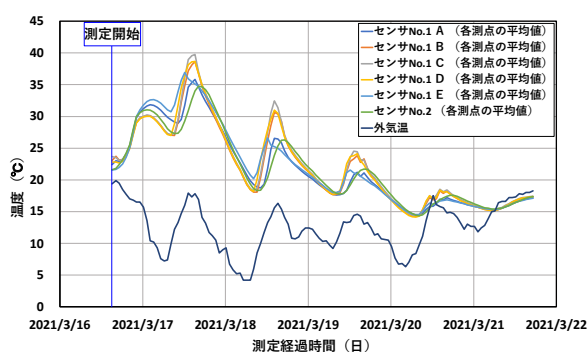


図-14 普通コンクリート 温度測定値

5. まとめ

帯状濡れセンサモニタリングシステムを鉄筋コンクリート造の実大壁試験体の施工に適用した結果、コンクリート打込み状況の把握と充填確認に本システムが有効であることが確認できた。本実験により得られた知見を以下に示す。

- (1) 帯状濡れセンサシステムによるコンクリートの打込み状況をリアルタイムで正確に把握することが可能である。
- (2) 帯状濡れセンサによりコンクリートの充填状況の把握は可能であることが示されたが、センサの浸水比率に比べコンクリートの充填状況を示すセンサ出力率が高い数値になるため、90%を超える高いセンサ出力率の数値で、充填状況の甲乙が付けられない等の課題が確認できた。
- (3) コンクリート打込み時に帯状濡れセンサを使用し充填確認を行った場合、コンクリート硬化後にコンクリート面への影響がなく解体が可能である。
- (4) 帯状濡れセンサに設置している温度センサにより、打込まれたコンクリートの表面温度を測定することが可能であることが示された。また、積算温度管理による強度推定にも利用出来る見通しがついた。

謝辞

本開発を遂行するに当たり、ご指導下さいました広島大学大学院先進理工系科学研究科の大久保孝昭教授、寺本篤史准教授には、厚く御礼申し上げます。また、本センサシステムの構築に際し、電子回路設計・製作に(有)アルニク 松浦辰彦氏に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 鬼塚雅嗣，大久保孝昭，寺本篤史，上原誠，松本賢二郎：住民・建築ユーザーによる日常点検が可能な建築部材の濡れモニタリングシステムの開発，日本建築学会技術報告集，第 25 巻，第 59 号，pp.33-38，2019.2
- 2) 蘇振東，大久保孝昭，寺本篤史，鬼塚雅嗣，松本賢二郎，上原誠：コンクリートの充填と表面に生じる豆板を検知できる帯状濡れセンサシステムの開発，日本建築学会技術報告集，第 26 巻，第 64 号，pp.851-856，2020.10