

## 5

## 帯状濡れセンサモニタリングシステムを用いた実大 CFT 造柱の充填検知実験

唐澤 智之\*1・川又 篤\*1・鬼塚 雅嗣\*2

松本 賢二郎\*3・上原 誠\*4

## 概 要

CFT 造では、鉄筋コンクリート造の在来型枠工法のように型枠解体後に目視でコンクリートの充填状態を確認することができないため、コンクリートの仕様や施工方法の規定を設けることで品質を確保する旨が指針等で定められている。一方、最終的なコンクリート充填の結果をエビデンスとして残すことは、建築物の品質を保証する上で重要である。そこで、帯状濡れセンサモニタリングシステムにより CFT 造柱のコンクリート充填の程度を確認できるか試みた。実験の結果、本システムにより CFT 造柱のダイアフラム下面のコンクリートの充填状況を推定できることが確認できた。

キーワード：濡れセンサ、充填状態、高流動コンクリート、CFT 造、圧入実験

AN EXPERIMENT TO DETECT FILL LEVEL IN A FULL-SCALE CFT COLUMN  
WITH A LONG AND NARROW WETTING SENSOR MONITORING SYSTEM

Tomoyuki KARASAWA \*1, Atsushi KAWAMATA \*1 Masatsugu KIZUKA \*2

Kenjirou MATSUMOTO \*3, Makoto UEHARA \*4

## Abstract

In CFT construction, unlike the conventional formwork method of RC construction, it is not possible to visually verify the concrete filling status after dismantling the formwork. Therefore, it is stipulated in guidelines, that quality is ensured by establishing regulations for concrete specifications and construction methods. On the other hand, it is important to leave the final concrete filling result as evidence in order to guarantee the quality of the building. Therefore, we tried to confirm the degree of concrete filling of CFT columns with a narrow wetting sensor monitoring system. As a result of the experiment, it was confirmed that the system we developed can estimate the filling status of the concrete under the diaphragm of the CFT columns.

Keywords: Wetting sensor, Filling status, Self-consolidating concrete, CFT structure, Pump-up experiment

---

\*1 Senior Principal Researcher, Material Group, Research & Development Center

\*2 Deputy Executive General Manager, Architectural Division

\*3 Manager, BIM Promotion Group, Architectural Technology Department, Architectural Division

\*4 Architectural Technology Department, Architectural Division

## 帯状濡れセンサモニタリングシステムを用いた実大 CFT 造柱の充填検知実験

唐澤 智之\*1・川又 篤\*1・鬼塚 雅嗣\*2

松本 賢二郎\*3・上原 誠\*4

### 1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物に要求される強度、耐久性など、所要の品質を確保するためには、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重要である。特に、コンクリート充填鋼管(以下、CFT と記す)造では、コンファインド効果を得るために、鋼管内にコンクリートが密実、かつ隙間なく充填されていることが必須となる。鋼管内にコンクリートを密実に充填させるために、日本建築学会鋼管充填コンクリート調合設計・施工指針(案)・同解説<sup>1)</sup>(以下、学会 CFT 指針と記す)では、目標スランプフローや充填速度等の規定が設けられている。さらに、小型カメラによる画像確認のほか、レーザー距離計等によって充填性だけでなく充填速度の確認を行うシステムが考案されている<sup>2)</sup>。

一方、筆者らはこれまでに、静電容量式濡れセンサシステムを開発し、建築物の維持管理において、漏水・結露を検知する予防保全技術の確立に取り組み、一定の成果を得ている<sup>3),4)</sup>。本技術開発では、この濡れセンサを長尺・帯状とし、型枠の内表面に設置することによって、コンクリート打込み時にリアルタイムで充填状況を把握することに加えて、豆板の発生を検知、モニタリングすることに取り組んでいる。開発している計測システムは、電極線を櫛目状に配置した仕様の帯状濡れセンサと計測システムであり、フレッシュコンクリートの打込み状態に加えて、コンクリート表面に生じる豆板を検知できるものであり、その性能を基礎的な実験により確認した<sup>5)</sup>。

本報告における技術開発では、CFT 部材のコンクリート充填管理にこのセンサを活用することを試みた。CFT 造では、鉄筋コンクリート造の在来型枠工法のように型枠解体後に目視でコンクリートの充填状態を確認することができないため、前述のように、コンクリートの仕様や施工方法の規定を設けることで品質を確保する旨が学会 CFT 指針等で定められている。一方、最終的なコンクリート充填の結果をエビデンスとして残すことは、建築物の品質を保証する上で重要であることから、開発した帯状濡れセンサモニタリングシステムにより CFT 造柱のコンクリート充填の程度を確認できるか試みた。本実験では、帯状濡れセンサを設置した実大角形鋼管柱にコンクリートを圧入施工し、ダイアフラム下面のコンクリートの充填状況を直接目視確認した結果と帯状濡れセンサモニタリングシステムの計測データとを比較することで、充填確認方法としてのシステムの有効性を検証することを目的とした。

### 2. 実験概要

#### 2. 1 帯状濡れセンサおよび計測システム

帯状濡れセンサの概略を図-1に示す。本実験で用いた帯状濡れセンサの標準タイプは、1基あたり長さ100mm、電極幅18mmのセンサを、長さ400mm、幅26mm、厚み3mmの計測基板に4基配置したものである。また、端部長さ調整用として、1基あたり74mmのセンサを作製し、1基100mmのセンサと組み合わせて、全長174mmの端部長さ調整タイプも準備した。さらに、長さ

\*1 研究開発センター 材料グループ 主幹研究員

\*2 建築本部 執行役員副本部長

\*3 建築本部 建築技術部 BIM 推進グループ グループリーダー

\*4 建築本部 建築技術部

400mm および 174mm の帯状濡れセンサを直列に結線連結することで、長さ 1600mm(標準タイプ 4本)および 574mm(標準タイプ 1本+端部長さ調整タイプ 1本)のユニットとし、このユニットを組み合わせることとした。すなわち、ユニット化された各々の帯状濡れセンサを結線接続することで CFT 柱の高さ方向にわたって連続的にセンサが配置された仕様として、充填状況を計測データにより確認できるようにしている。また、各々のユニットは、CFT 柱のダイアフラムを挟むので、帯状濡れセンサのリード線を CFT 柱外に引出し、次の帯状濡れセンサのリード線に結線接続し、帯状濡れセンサの連続性を確保することとした。

先に述べたように、帯状濡れセンサは 1 基が 100mm または 74mm のセンサから構成されており、1 基ごとに水と接する部分が長くなるほどセンサ出力値が上昇し、計測値を出力するように設定されている。そのため、充填の進展状況を連続して確認できる場所に特徴がある。さらにセンサの電極幅の中央部分に 4mm 幅のスリットを設けて、各電極の通電を調整している。これによりセンサが一時的に水に濡れた場合による誤作動を防止し、コンクリートが充填されていることを正確に確認できるようになり、既往の研究<sup>3)</sup>から改良を図っている。

計測システムの構成を図-2に示す。計測システムは、図-1に示す帯状濡れセンサの他、小型データロガーとパソコンで構成される。CFT 柱最下部の帯状濡れセンサと小型データロガーは有線接続、小型データロガーとパソコンは Bluetooth によって無線接続し、パソコンで計測制御とデータ保存を行う仕様である。計測のサンプリング間隔は 2 秒に設定した。

1 基のセンサの計測結果は、既往の研究結果<sup>3),5)</sup>を参考に、センサ出力率(%)で表すこととした。センサ出力率は、式(1)に示すように、20°Cの水中にセンサ全長を浸漬した時の理論上の最大値に対する出力値の割合として算出した。

$$\text{センサ出力率(\%)} = \frac{\text{センサ出力値}}{20^\circ\text{C水中の理論上の最大値}} \times 100 \quad (1)$$

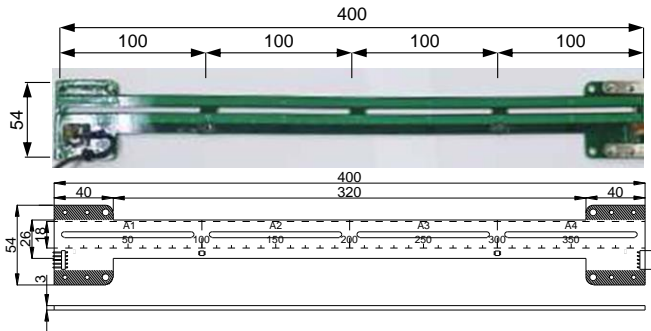


図-1 帯状濡れセンサ(標準タイプ)

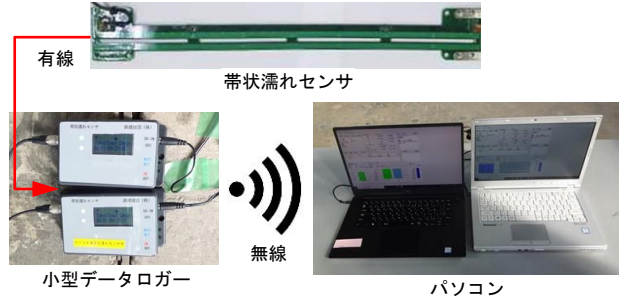


図-2 計測システムの構成

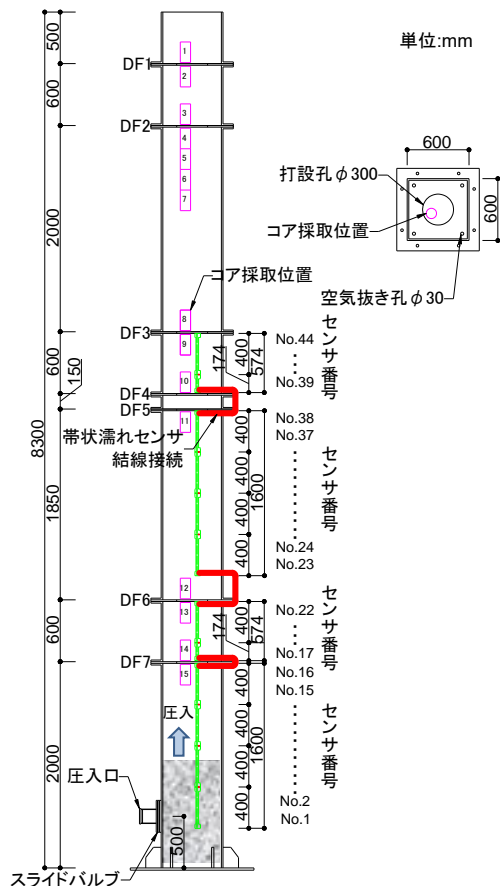


図-3 角形鋼管柱概要図

## 2. 2 角形鋼管柱

角形鋼管柱の概略を図-3に、角形鋼管柱内の帯状濡れセンサの設置状況を写真-1に示す。強度確認用のコア供試体の採取位置を図-3に併

せて示す。角形鋼管柱は、通しダイアフラム形式の3層分(高さ8.3m)とし、その詳細は新都市ハウジング協会コンクリート充填鋼管(CFT)造技術基準・同解説(以下、新都市指針と記す)<sup>6)</sup>に準拠した。角形鋼管には BCP325 を使用して、断面寸法は600×600×16mmとした。ダイアフラムの中央部にはφ300mmの打設孔を、四隅にはφ30mmの空気抜き孔を設けた。ダイアフラム間隔は600mmを標準として、1箇所のみ新都市指針で定められているダイアフラムの最小間隔である150mmの部分(DF4~DF5)を設けた。

帯状濡れセンサは、**図-3**に示すようにCFT柱のコンクリート圧入口からDF7までの間にNo.1~No.16、DF7からDF6までの間にNo.17~No.22、DF6からDF5までの間にNo.23~No.38、DF4からDF3までの間にNo.39~No.44のセンサを設置した。コンクリートはCFT柱最下部の圧入口から圧入されるので、試験体下部のセンサNo.1から順にコンクリートの充填を検知する筈である。なお、センサは、**写真-1**に示すようにCFT柱最下部の圧入口からDF3まで連続的に計測ができるように予め鉄骨製作工場にてCFT柱の内側側面に接着剤で固定した。DF6の上部、DF4からDF5の間はスペースの都合上、センサの設置を省略した。前述の通り、各々のユニットは、ダイアフラムを挟むので、**図-3**に赤色実線で示す通りユニット頂部と底部からリード線をCFT柱外に引出し、それらを結線接続して帯状濡れセンサの連続性を確保した。

### 2.3 コンクリート

#### (1) コンクリートの必要性能

圧入実験に使用したコンクリートは、JIS規格に適合した呼び強度42の高流動コンクリートである。コンクリートの試験項目と試験方法および要求品質を**表-1**に示す。スランブフローは、学会CFT指針に示されている圧入工法における参考値の下限に相当する55.0cmに設定した。スランブフローの管理幅は、JIS A 5308に準拠して±7.5cmとした。ブリーディング量および沈降量は、学会CFT指針に準拠して設定した。



写真-1 角形鋼管柱内帯状濡れセンサ設置状況

表-1 コンクリートの試験項目と試験方法, 要求品質

| 試験項目     | 試験方法                                        | 要求品質                                   |
|----------|---------------------------------------------|----------------------------------------|
| スランブフロー  | JISA 1150 コンクリートのスランブフロー試験方法                | 55.0±7.5cm                             |
| 空気量      | JISA 1128 フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法-空気室圧力方法 | 4.5±1.5%                               |
| ブリーディング量 | JCI-S-015 小型容器によるコンクリートのブリーディング試験方法         | 0.1cm <sup>3</sup> /cm <sup>2</sup> 以下 |
| 沈降量      | JASS 5 T-503 コンクリートの沈降量試験方法                 | 2.0mm 以下                               |

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 <sup>3</sup>               |
| 細骨材 1 | S1 | 茨城県鹿嶋市産砂             | 表乾密度 2.60g/cm <sup>3</sup> , 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 <sup>3</sup> , 粗粒率 3.20  |
| 粗骨材 1 | G1 | 茨城県笠間市産碎石 2005       | 表乾密度 2.65g/cm <sup>3</sup> , 実積率 60.0% |
| 粗骨材 2 | G2 | 栃木県佐野市産碎石 2005       | 表乾密度 2.70g/cm <sup>3</sup> , 実積率 60.0% |
| 混和剤   | SP | 増粘剤-液型<br>高性能 AE 減水剤 | ポリカルボン酸系                               |

表-3 コンクリートの調合

| 呼び名       | W/C (%) | s/a (%) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> )※SP1 : (C×%) |     |     |     |     |     | 備考   |     |
|-----------|---------|---------|-------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|
|           |         |         | W                                   | C   | S1  | S2  | G1  | G2  |      | SP  |
| 42-55-20N | 42.1    | 50.8    | 175                                 | 416 | 598 | 265 | 424 | 429 | 1.45 | 1台目 |
|           |         |         |                                     |     |     |     |     |     | 1.40 | 2台目 |

コンクリート強度は、設計基準強度を30N/mm<sup>2</sup>に設定し、構造体強度補正值 mS<sub>n</sub>とダイアフラム近傍での強度のばらつきを考慮した強度補正值 S<sub>d</sub>を考慮して42N/mm<sup>2</sup>に設定した。構造体強度補正值 mS<sub>n</sub>はJASS 5<sup>7)</sup>に準拠して予想平均気温に応じて定め6N/mm<sup>2</sup>、ダイアフラム近傍での強度のばらつきを考慮した強度補正值 S<sub>d</sub>は既往の研究<sup>8)</sup>を参考にして定め5N/mm<sup>2</sup>とし、JIS A 5308の呼び強度に合わせて品質基準強度を42N/mm<sup>2</sup>とした。

#### (2) コンクリートの使用材料および調合

コンクリートの使用材料を**表-2**に、コンクリートの調合を**表-3**に示す。混和剤は、材料分離抵抗性を確保するために増粘剤-液型高性能 AE 減水剤を使用した。その他は、レディーミクストコンクリート工場通常使用されているものと

した。なお、1体のCFT柱に対して、アジテータ車2台分のコンクリート(約6.0m<sup>3</sup>)を圧入した。

### (3) コンクリートの試験

荷卸し地点到着時にスランプフロー、空気量が要求品質を満足していることを確認した後、CFT柱に圧入した。また、圧入前に採取して静置しておいた試料、および圧入後にCFT柱天端から採取した試料についてもスランプフローの試験を実施し、経過時間に伴う品質変化と圧送、圧入による品質変化を区別して比較検討を行った。

圧入後の充填コンクリートの圧縮強度を確認するために、CFT柱のダイアフラム近傍を中心に図-3中に示す15箇所でもコア供試体を採取して圧縮強度試験を行った。

### 2.4 圧入方法

圧入には、ピストン式コンクリートポンプ車(コンクリートシリンダー径φ205mm×ストローク1650mm)を用いた。充填コンクリートの圧入高さは、レーザー距離計により測定した。

### 2.5 ダイアフラム下面の充填率

材齢7日以降にダイアフラム部分でCFT柱を切断した後、ダイアフラム下面のコンクリートの充填状況を目視により確認して、気泡部分を着色した。ダイアフラム下面の全気泡面積を求めて、それらを差し引いた充填部分の面積をダイアフラム下面の面積で除することにより充填率を算出した。

## 3. 実験結果

### 3.1 フレッシュコンクリート試験結果

スランプフローの経時変化を図-4に示す。スランプフローは、出荷から徐々に低下したが、1台目の荷卸し時から圧入後までのスランプフローの低下量は5.0cmと小さかった。圧入前に採取して静置しておいた試料よりも圧入後にCFT柱天端から採取した試料のスランプフローの方が大きかったことから、経時変化によるスランプフローの低下が大きく、圧送および圧入によるスランプフローの低下は、ほとんどなかったと考えられる。ブリーディング量は0.01cm<sup>3</sup>/cm<sup>2</sup>、沈降量は

0.3mmであり、それぞれ学会CFT指針で定められている0.1cm<sup>3</sup>/cm<sup>2</sup>以下、2.0mm以下を満足していた。以上より、本実験で圧入したコンクリートは、学会CFT指針の要求品質を満足する良好な性状を有するものであった。

### 3.2 圧入状況

圧入時の圧入時間とレーザー距離計により測定した圧入高さの関係を図-5に示す。また、帯状濡れセンサにより測定した出力率で評価した圧入高さの経時変化を図-5に併せて示す。ここで、帯状濡れセンサにより測定した出力率で評価した圧入時間は、圧入開始時刻を起点として、圧入開始直後に発生した電気的なノイズを除きセンサの出力率が10%を初めて超えた時点をも各センサにコンクリートが到達した時間とし、圧入高さは、そのセンサの設置高さとした。

レーザー距離計から求めた圧入速度は、0.8m/min程度であり、学会CFT指針に定められている1m/min以下を満足していた。また、四隅に設けた空気抜き孔からコンクリートが噴出した後、ダイアフラムの中央部の打設孔からコンクリートが噴き出す状況が確認されており、空気抜き孔は有効に作用していたと推察される。帯状濡れセンサの測定結果から求めた圧入時間と圧入

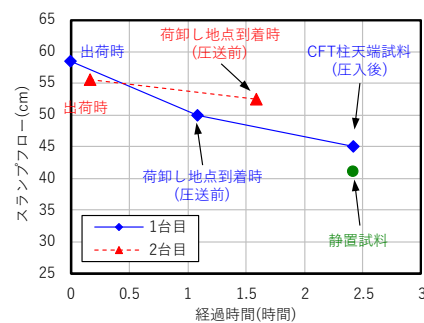


図-4 スランプフローの経時変化

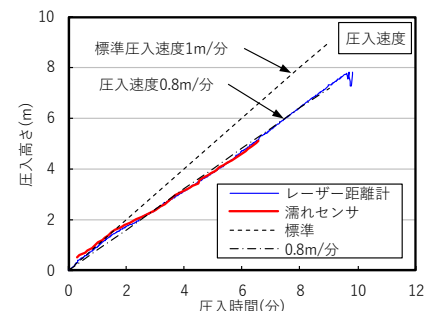


図-5 圧入時間と圧入高さの関係

高さの関係は、**図-5**に示すようにレーザー距離計により測定した圧入時間と圧入高さの関係と完全に一致しており、帯状濡れセンサにより学会CFT 指針に定められている圧入速度の管理が可能であることが確認できた。参考として、CFT 柱内に挿入したカメラにより確認した圧入時の状況を**写真-2**に示す。

### 3.3 帯状濡れセンサ計測結果

レーザー距離計により測定した圧入高ささと帯状濡れセンサのセンサ出力率の関係を**図-6**に示す。同図において、センサ計測値はダイヤフラム間ごと、すなわち、a)圧入口～DF7、b)DF7～DF6、c)DF6～DF5 および d)DF4～DF3に分けて示している。なお、No.43 および 44 のセンサは計測に不具合が発生したため、本報ではNo.1～42までのセンサで考察する。また、各センサ出力率の終局値を**図-7**に示す。ここで、各センサ出力率の終局値は、圧入高さ 0.3m 付近を除き、明ら

かにコンクリートがセンサに到達していない状態における出力率が 5～10%程度で推移していたので、出力率が 10%を初めて超えた時点から圧入完了までの出力率の平均値とした。

コンクリートの圧入を開始後、最下部にあるセンサ No.1 がコンクリートの水分を検知して出力率が上昇し始め、次々に上方のセンサが濡れを検知していることが分かる。センサの出力率は、コンクリートの充填高さが長さ 100mm の各センサの頂部まで到達すると同時に一気に出力率が上昇し始め、その後コンクリートの充填高さが各センサの最頂部位置を超えると全てのセンサとも

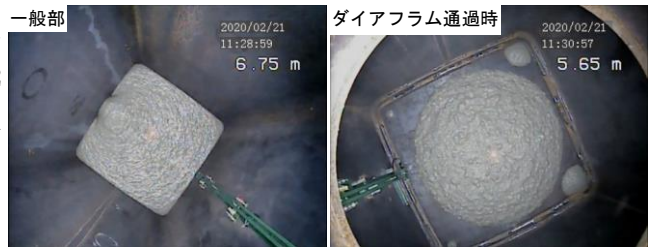


写真-2 圧入時の状況

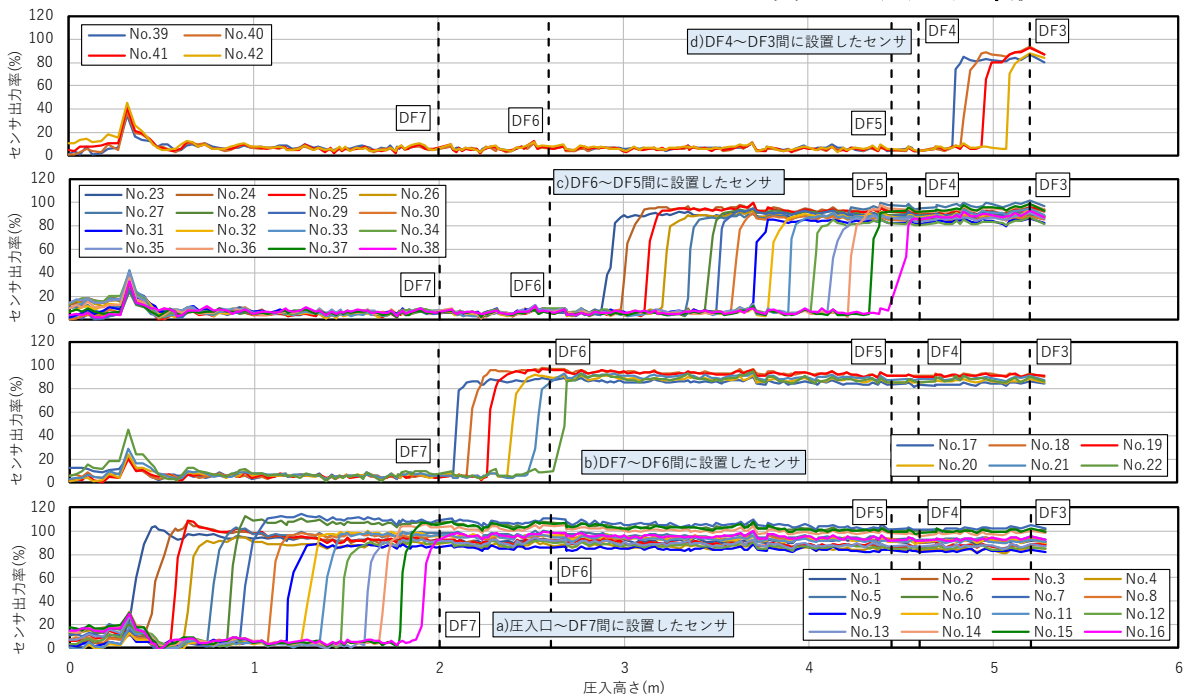


図-6 圧入高ささとセンサ出力率の関係

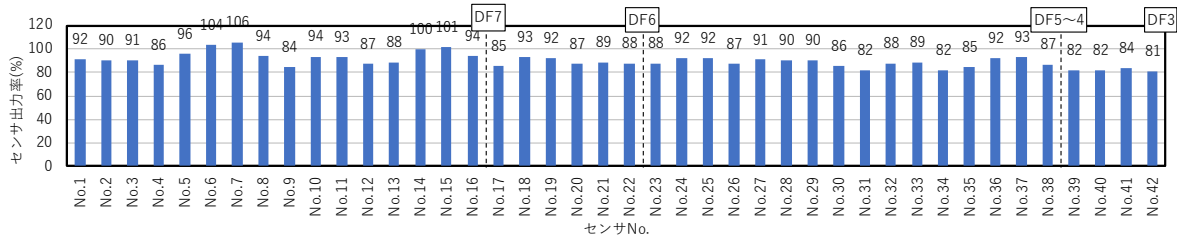


図-7 各センサの出力率の終局値

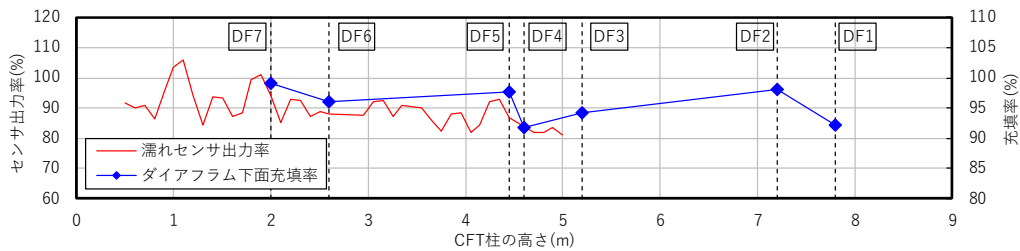


図-8 ダイアフラム下面の充填率およびセンサ出力率の CFT 柱高さ方向の分布

80%以上で推移した。各センサの出力率の終局値に着目すると、ダイアフラムの近傍等に設置した一部のセンサで 82%程度のもも散見されるが、その他は全て 85%以上であった。既往の研究結果<sup>5)</sup>では、センサが水中に完全に水没している状態での出力率を 100%とした時、スランプ 10cm のコンクリートを高さ 480mm の型枠に打込んだ後、棒状バイブレータで締固めを行った場合の出力率が 85~100%程度であったと報告されている。本実験の出力率は、スランプ 10cm のコンクリートを棒状バイブレータで締固めた場合と同程度であった。一方、CFT 柱の中心付近で採取したコア供試体を目視観察した結果、大きな空隙等は発生しておらず、良好な充填性が得られていた。以上より、本実験では振動締固めをしていないため、帯状濡れセンサを設置している鋼管に接する部分と内部の充填状況に大きな差が無いと仮定すると、帯状濡れセンサによる出力率が本実験と同程度であれば、空隙等のない状態で充填されていると推察され、帯状濡れセンサにより CFT 柱内の充填状況を概ね確認できることが示唆された。

### 3. 4 充填状況

ダイアフラム下面の充填率の CFT 柱の高さ方向の分布、および各センサ出力率の CFT 柱の高さ方向の分布を併せて図-8に、ダイアフラム下面の充填率とセンサ出力率の関係を図-9に示す。なお、DF4 から DF5 間に帯状濡れセンサを設置していないが、図-8には鋼管内でのセンサ出力率の分布傾向を見るために DF5 直下と DF4 直上のセンサ出力率を直線で結んで表記している。また、ダイアフラム下面の充填状況の一例を写真-3に示す。なお、CFT 柱切断時にダイアフラム部で綺麗に切断できなかった部分が発生し

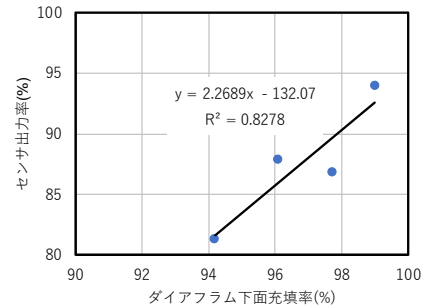


図-9 ダイアフラム下面の充填率とセンサ出力率の関係

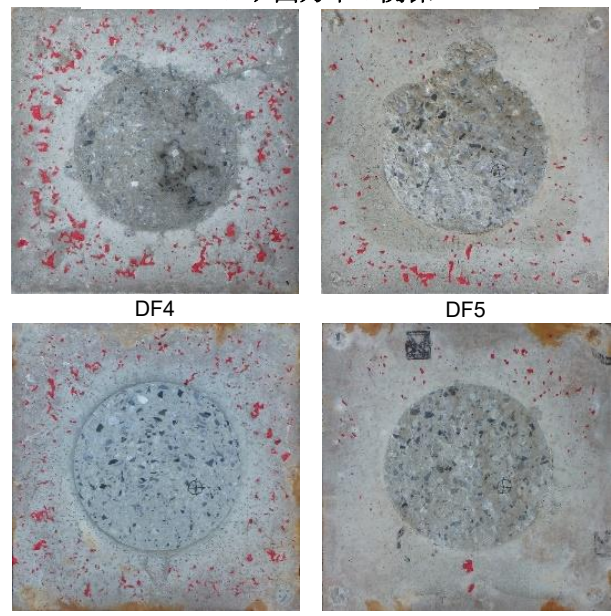


写真-3 ダイアフラム下面の充填状況例

た場合(例えば DF5)については、その部分を除いて充填率を算出した。

ダイアフラム下面の充填率は、全て 90%以上であり、全体的に見ると、大きな空隙等もなく良好な充填状況であった。ダイアフラム下面の充填率は、最下段のダイアフラム(DF7)で最も大きく、上部になる程充填率が小さくなる傾向であった。これは、下部よりも後に充填される上部のダイアフラムでは、経時変化や圧送、圧入によりダイアフラム通過時のスランプフローが低下したためと推察される。新都市指針で定められているダイア

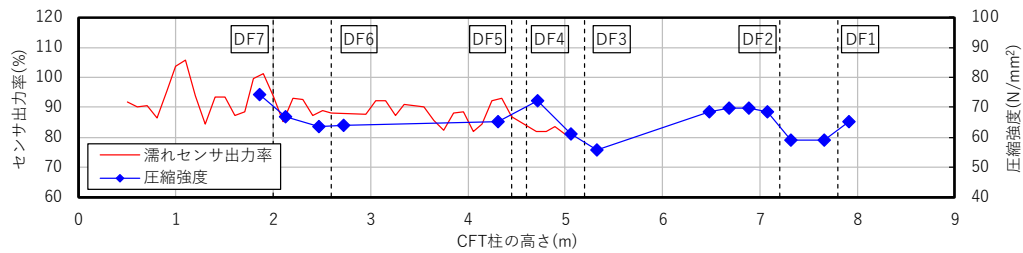


図-10 コア供試体圧縮強度およびセンサ出力率の CFT 柱高さ方向の分布

フラムの最小間隔となる 150mm の部分(DF4)の充填率は、その上下のダイアフラムと比較して若干小さくなったものの、90%以上の充填率が得られていた。

センサの出力率に着目すると、ダイアフラム下面の充填率が大きくなっている DF7, DF5 の下部では出力率も大きくなっている。逆にダイアフラム下面の充填率が小さくなっている DF6 の下部, DF4 近傍では出力率も小さくなっており、ダイアフラム下面の充填率とセンサ出力率とは連動する傾向が認められた。図-9 に示すダイアフラム下面の充填率とセンサ出力率の関係について見てみると、ダイアフラム下面の充填率が大きくなるとセンサ出力率も大きくなっており、両者には相関関係が認められた。帯状濡れセンサは CFT 柱内の側面に設置しており、直接ダイアフラム下面の充填率を測定している訳ではないが、ダイアフラム近傍も含めた CFT 柱の高さ方向におけるコンクリートに接する部分の長さ、すなわち充填状況を測定しており、言い換えれば CFT 柱の高さ方向におけるコンクリートの流動性を評価しているとも言える。コンクリートの流動性が悪くなればダイアフラム下面の充填率も悪くなると考えられるので、帯状濡れセンサにより CFT 柱のダイアフラム下面の充填率の推定が概ね可能であることが示唆された。

### 3.5 センサ出力率と圧縮強度の関係

CFT 柱の上部から下部までの 15 箇所のコア供試体の圧縮強度の分布、および各センサ出力率の CFT 柱の高さ方向の分布を併せて図-10 に、コア供試体の圧縮強度とセンサ出力率の関係を図-11 に示す。

コア供試体の圧縮強度の分布については、DF7

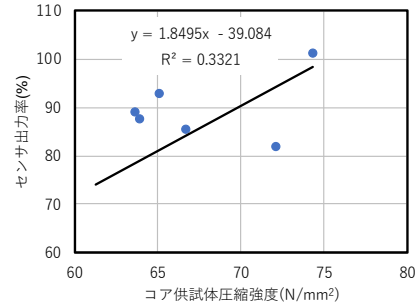


図-11 コア供試体圧縮強度とセンサ出力率の関係

と DF4 の近傍で他の部分よりも圧縮強度が高く、DF6, DF5 と DF3 の近傍で他の部分よりも圧縮強度が低い傾向を示した。センサの出力率については、DF6, DF3 の下部では出力率がやや小さく、DF7 の下部では出力率が大きくなっており圧縮強度とセンサ出力率とは連動する傾向が認められた。一方、DF4 の部分については、圧縮強度が高くなっているがセンサの出力率は大きくなっていない。全体的には CFT 柱内の圧縮強度の分布とセンサ出力率とは連動する傾向が認められるものの、傾向が一致しない部分もある。図-11 でコア供試体の圧縮強度とセンサ出力率の関係に着目すると、全体的にはコア供試体の圧縮強度が大きくなるとセンサ出力率も大きくなる傾向が認められるものの、ダイアフラム下面の充填率とセンサ出力率の関係ほど高い相関関係は認められない。既往の研究では、ダイアフラム下面の充填率が低下すると、その部分のコア供試体の圧縮強度も低下するとの報告<sup>9)</sup>や、ダイアフラムの上下・近傍で大きなひずみ差が生じ、そのひずみ差が CFT 柱のコンクリート強度全般に影響を与えるとの報告<sup>10)</sup>があり、ダイアフラム近傍での強度低下にはいくつかの要因が複合的に影響していると考えられ、圧縮強度とセンサ出力率が連動しない要因の一つと考えられる。また、本実験では 90%以上の充填率が得られており、この程度



の充填率に対してセンサ出力率で圧縮強度を評価すると、誤差が大きくなることも考えられる。

#### 4. まとめ

実大 CFT 柱の圧入実験に帯状濡れセンサモニタリングシステムを適用した結果、CFT 造柱の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) 帯状濡れセンサにより、学会 CFT 指針に定められている圧入速度の管理が可能であることが確認できた。
- (2) 帯状濡れセンサにより、CFT 柱内の充填状況の確認が可能であることが示唆された。
- (3) 帯状濡れセンサにより、CFT 柱のダイアフラム下面の充填率の推定が概ね可能であることが示唆された。
- (4) CFT 柱内の圧縮強度の分布とセンサ出力率とは連動する傾向が認められる部分もあるが、センサ出力率により一律に圧縮強度を評価するには至らなかった。

#### 謝辞

本論執筆に際し、広島大学先進理工系科学研究科大久保孝昭教授、寺本篤史准教授にご助言を頂きました。ここに記して感謝致します。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の協力を得た。併せて謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 日本建築学会：鋼管充填コンクリート調査設計・施工指針(案)・同解説，2021.2
- 2) 塩田博之：CFT充填管理システムを用いた鋼管充填コンクリートの施工事例，日本建築学会大会学術講演梗概集，材料施工，pp.131～132，2013.8
- 3) 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

- 4) Zhendong SU, Takaaki OHKUBO, Atsushi TERAMOTO, Masatsugu KIZUKA, Kenjiro MATSUMOTO, Makoto UEHARA : PROPOSAL ON RATIONALIZATION OF CONSTRUCTION MANAGEMENT AND MAINTENANCE OF RC EXTERIOR WALLS USING WETTING AND TEMPERATURE SENSORS, Proceedings of the fib Symposium 2020, Concrete Structures for Resilient Society, pp.2070-2078, 2020.11, ISBN 978-294064304-2
- 5) 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
- 6) 新都市ハウジング協会：コンクリート充填鋼管(CFT)造技術基準・同解説，2012.8
- 7) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 鉄筋コンクリート工事(JASS 5)，2018
- 8) 和知俊興，唐沢智之，花田稔夫，上嶋忠孝：高強度コンクリート( $F_c=60\text{N/mm}^2$ )を用いたCFT柱の圧入施工実験 その2 圧入施工実験，日本建築学会大会学術講演梗概集A-1，pp.869-870，1998.7
- 9) 川又篤，唐沢智之：普通強度高流動コンクリートを用いた実大CFT柱の圧入実験 その2 充填性および圧縮強度，日本建築学会大会学術講演梗概集，材料施工，pp.401-402，2021.9
- 10) 梶田秀幸，森浩之，鈴木衛，起橋孝徳，立山創一，寺西浩司，石川靖晃，山田一徳：環境配慮型CFT造に関する研究 その20 実大CFT柱の施工実験柱試験体内のコンクリートのひずみ分布，日本建築学会大会学術講演梗概集A-1，pp.551-552，2008.7