

5. 覆工コンクリートの打設を想定した非接触式センサーによる高さ測定方法の実用化に向けた検討

Study on the Practical Application of a Height Measurement Method using Non-contact Sensor for Lining Concrete Placement

村田康平* 駒田憲司* 佐藤俊男*

—概要—

コンクリート構造物の品質確保には、打設中のコンクリートの打込み高さを正確に把握することが重要である。しかし、覆工コンクリートの打設では、コンクリートに接触して検知する従来のセンサーは、型枠内部への設置や型枠への孔開けが必要となり、手間やコストがかかるという課題があった。この課題解決のため、型枠外面にセンサーを取り付け、コンクリートに直接接触せずに型枠内部のコンクリート打込み高さを把握する非接触式センサーを開発した¹⁾。本論文では、実際の覆工コンクリート打設を想定し、FRP製セントル型枠のヒンジ部、型枠継目部を含め模擬した非接触式センサー付型枠を用いて打ち込み高さを把握する実験を行った結果を報告する。

—技術的な特長—

図1に試験体概要を示す。非接触式センサーは、リード線が接続された一対の銅板で構成され、型枠の外面に一定間隔で設置して使用する。この非接触式測定方法は、非金属製の型枠に適用可能である。型枠外面に配置された一対の電極間に交流電流を印加し、型枠内部に空気より比誘電率の高いフレッシュコンクリートが充填されると、電極間の静電容量が増加する原理を利用している。この静電容量の変化が打設コンクリートの高さに比例して増加することから、打込み高さを算出する。

図2に実験結果を示す。FRP製セントル型枠を用いた実験の結果、コンクリートの打設高さの上昇に伴い静電容量がほぼ比例して上昇することが確認された。これにより、トンネル覆工コンクリートのFRP製セントルにおいても打込み高さを把握が可能であり、実際のトンネル覆工コンクリート打設に適用可能であることが示された。また、型枠の剥離剤塗布や固定用鋼材の配置が計測値に影響を与えないことも確認された。

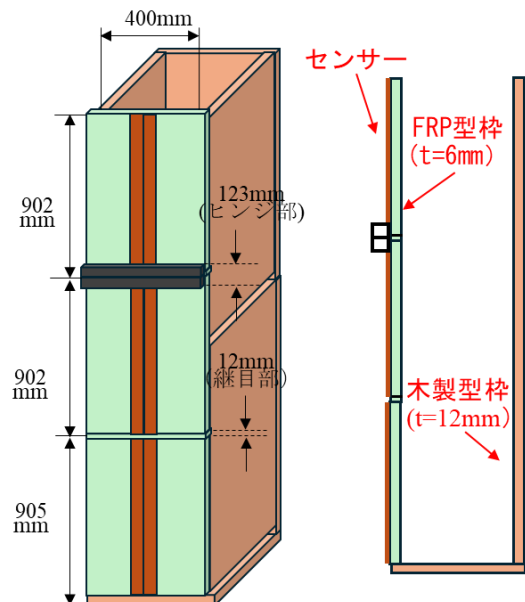


図1 試験体概要

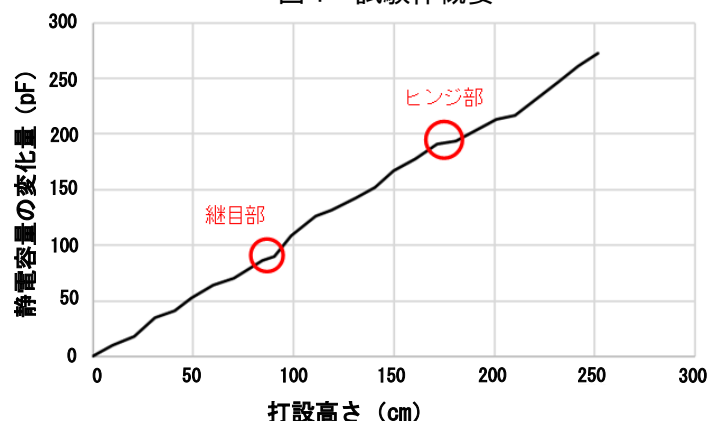


図2 実験結果

1) 梶原陸、村田 康平、駒田 憲司、佐藤 俊男：静電容量による非接触式コンクリート打込み高さ測定方法の開発, 土木学会全国大会第 79 回年次学術講演会, CS9-08

※本報の一部は、令和7年度土木学会全国大会第80回年次学術講演会(CS9-67, 2025.08)で発表済みである。

覆工コンクリートの打設を想定した非接触式センサーによる高さ測定方法の 実用化に向けた検討

Study on the Practical Application of a Height Measurement Method using Non-contact Sensor for Lining Concrete Placement

○村田 康平*
Kohei MURATA

駒田 憲司*
Kenji KOMADA

佐藤 俊男*
Toshio SATO

ABSTRACT Ensuring the quality of concrete structures requires understanding the placement height. Various sensors have been developed for lining concrete placement, but most of them detect by contacting the concrete. Therefore, the authors developed a measurement method that involves attaching sensors to the exterior of the formwork to ascertain the concrete placement height inside the formwork without direct contact with the concrete. This study concerns experiments using FRP formwork for tunnel lining, which is used in actual lining concrete placement. As a result of the experiments, it was found that the placement height will be determined even with FRP formwork for tunnel lining concrete, indicating its applicability to actual tunnel lining concrete placement.

Keywords: 打込み高さ、非接触、静電容量、比誘電率、FRP、打設管理

Placement Height, Non-Contact, Capacitance, Relative Permittivity, FRP, Placement

1. はじめに

コンクリート構造物の品質を確保するためには、打上がり面がほぼ水平になるようコンクリートを均等に一層 40～50cm 以下の高さで打ち込み、締固めを行うとともに、所定の打重ね時間間隔以内で次の層を打設する必要がある。特に覆工コンクリートの打設では左右均等に打ち込む必要があり、従来打込み状況を把握するためには狭隘なセントル内の複数ある検査窓から作業員が照明を当てながら目視確認する必要があった。また、検査窓から離れた場所については目視確認が困難になることもあった。その対策として、コンクリートの打込み高さを確認する様々なセンサーが開発されているが、多くはコンクリートに直接接触して検知するセンサーであり、打設毎にセンサーをセットする、型枠に孔を設けるなどを行う必要があった。

そこで、自社独自のコンクリートの打込み高さを計測する技術として、型枠外面にセンサーを取り付け、コンクリートに直接接触せず、型枠内のコンクリートの打込み高さを把握する方法を

開発した。ここでは、覆工コンクリート打設に用いる FRP 製セントル型枠のヒンジ部、型枠継目部を含め模擬した非接触式センサー付型枠を用いた検証実験の結果について報告する。

2. 技術概要

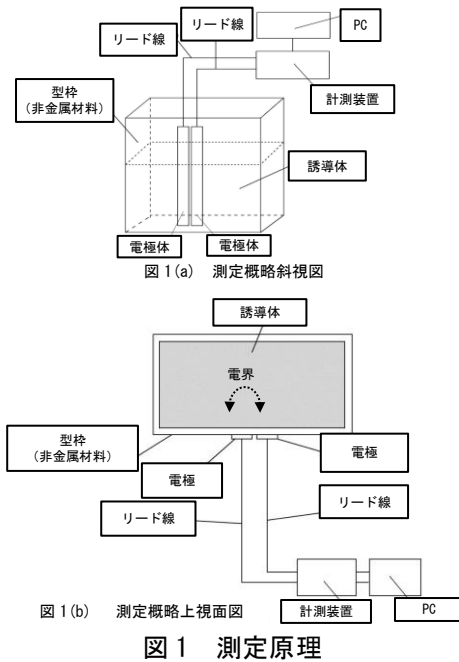
2.1 測定原理

静電容量による非接触式高さ測定方法の測定原理を図 1(a)測定概略斜視図、図 1(b)測定概略上視面図を用いて説明する。非金属である型枠等の空間に、極小な平行距離をおいた一対の帯状電極体間に交流電流を印加すると、帯状電極体間に電界が生じてコンデンサのようになり静電容量が生じる。本測定システムは、この電界内に空気より比誘電率の高い誘電体物質(水やフレッシュコンクリート等)が入ると電界強度が強くなり静電容量が増加するという原理を用いている。

そして、型枠の内側に打設コンクリートが充填されると、充填高さが増加するとともに電極体間の静電容量の値も比例して増加することで打設コンクリートの高さを算出できる。比例関係につ

*技術研究所 材料研究部

※本報の一部は、令和 7 年度土木学会全国大会第 80 回年次学術講演会(CS9-67, 2025.08)で発表済みである。



いては、事前に静電容量とコンクリートの高さとの関係を表す傾き値を求めておく。なお、非接触式センサーを取り付ける型枠は非金属であるが、型枠が厚いほど静電容量の上昇量は小さくなるので型枠厚さは材質により制限される。

計測装置からの電極体への入力信号は、所定の高周波数の測定用交流信号であり、電極体間のインピーダンスと位相角を測定して容量リアクタンスを算出し、次式を用いて静電容量の値を算出する。その値により打設コンクリートの高さレベルを求める。

$$XC=1/(2\pi fC) \cdots (1)$$

XC:容量リアクタンス、f:交流電圧の周波数、C:静電容量

$$H=a \times C$$

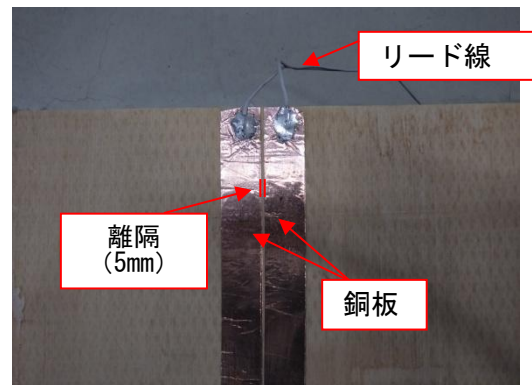
H:打設コンクリートの高さ、a:傾き値、

C:静電容量

2.2 センサー（電極体）の概要

センサーの概要を写真 1 に示す。センサーはリード線が接続された一对の銅板であり、型枠の外側部に設置して使用する。設置是一对の銅板間の間隔が一定となるよう離隔して配置する。この一对の銅板が計測する型枠内部の静電容量の変化により打ち上げ高さを測定する。フレッシュコン

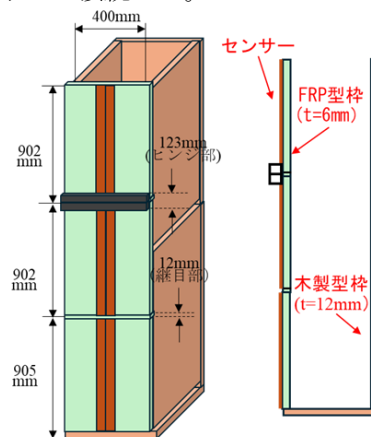
クリートの比誘電率は 80 に近く、空気の比誘電率 1 より大きいため、型枠内の空気がフレッシュコンクリートに置換されると、一对の電極間の静電容量が増加する。静電容量は打設コンクリートの打込み高さに比例して増加し、静電容量の値を連続的に検出することにより高さの測定を行う。



3. 実験方法

3.1 FRP セントル型枠試験体

試験体の概要を図 2、写真 2 に示す。試験体は断面 400mm×400mm、高さ 2,700mm で、センサーを配置する側の型枠の 1 面を FRP 型枠とした。FRP 型枠は高さ 902.5mm のものを高さ方向に 3 つ連結させた配置とした。FRP 型枠同士の連結部は、実際の FRP セントル型枠の継目と可動ヒンジ部を再現し、センサーは FRP 型枠の高さ方向に張り付け、継目部・ヒンジ部はリード線と接続端子にて接続した。



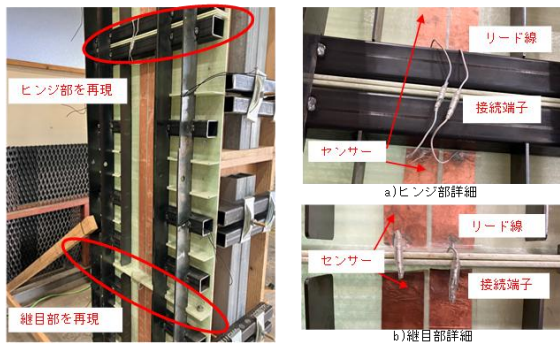


写真2 継目部・ヒンジ部概要

3.2 コンクリート配合と打ち込み

コンクリートの配合を表1に示す。使用するコンクリート配合は覆工コンクリートを想定し、スランプ15cm、粗骨材最大寸法40mm、高炉セメントB種を使用した配合を用いた。試験体へのコンクリートの打込みは高さ2,500mmまでとし、作業員による手投入とした(写真3)。計測は専用の計測装置とソフトウェアを用いた(写真4)。計測装置は交流高周波100kHzの信号をセンサーに印加するとともに、打設コンクリート高さに応じた静電容量を計測する。実験では、100mmごとに静電容量を計測した。

表1 配合表

配合表 kg/m ³						
セメント	水	細骨材①	細骨材②	粗骨材①	粗骨材②	混和剤
256	154	510	276	746	320	2.56
水セメント比		60.0%		細骨材率		43.3%



写真3 コンクリート打込み状況



写真4 計測装置

4. 実験結果

打設高さと静電容量の関係を図3に示す。図よりコンクリートの打設高さが上昇するにつれて静電容量はほぼ比例して上昇することが分かる。継目部を再現した型枠の継目高さ900mm付近とヒンジ部を再現した1,750~1,850mm付近は、センサーが断続的になっているため、静電容量の上昇は概ね停滞していた。今回の実験では実際の打設を想定し、型枠面に剥離剤の塗布、固定用の鋼材の配置なども行ったが、これらの要素が計測値へ影響をあたえないことを確認した。

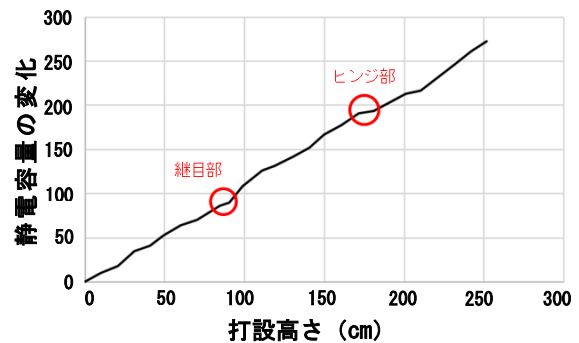


図3 実験結果

5. まとめ

本検討で得られた知見を以下に示す。

- (1) 覆工コンクリートを想定した配合のコンクリートを用いて、打設高さと静電容量がほぼ比例することを確認した。
- (2) センターの継目部やヒンジ部についてはセンサーが断続的となるが、接続端子の利用と専用ソフトでの演算処理の工夫により、打込み高さが連続的に計測できるものと思われる。

以上により、開発した測定技術がトンネル覆工

コンクリートの FRP 製セントルへ適用可能なことが分かった。今後は本計測方法を実現場で活用し適用実績を積むとともに、より実用的な測定方法となるよう努めたい。

【参考文献】

- 1)土木学会：コンクリート標準示方書
[施工編]pp120-124,2023
- 2)梶原陸ほか：静電容量による非接触式コンクリート打込み高さ測定方法の開発,土木学会全国大会第 79 回年次学術講演会,CS9-08