

覆工コンクリート打設高さの見える化と締固め作業の自動化

Visualizing Lining Concrete Placing Height and Compaction Automation

滝波 真澄 ^{*1} Masumi Takinami	熊谷 幸樹 ^{*1} Koki Kumagai	筒井 隆規 ^{*2} Takanori Tsutsui	渡邊 博 ^{*3} Hiroshi Watanabe
小西 裕之 ^{*4} Hiroyuki Konishi	平間 昭信 ^{*5} Akinobu Hiramama	松田 浩朗 ^{*5} Hiroaki Matsuda	桃木 昌平 ^{*5} Shouhei Momoki

【要旨】

山岳トンネル工法の NATM で覆工コンクリートを打設する際、セントルに大きな圧力や偏圧が作用すると変形やずれの原因となる。また、打重ね時間が長くなってしまうとコールドジョイントの原因となる。これらの施工上のトラブルを防ぐため、コンクリート打設中の打設高さを逐次管理することは施工管理において重要である。

この管理の自動化を目的に、安価な照度センサと LED 照明をセントル型枠内の管理上必要となるすべての箇所に埋め込み、コンクリートの有無を照度で判別して可視化する、打設高さ管理システム「スターライトセンサシステム」を開発した。本稿では、本システムの概要、実際の使用状況等について報告する。

【キーワード】 覆工コンクリート 打設高さ 見える化 照度センサ LED 照明

1. はじめに

山岳トンネル工法の NATM でセントル型枠を用いて覆工コンクリートを打設する場合、コンクリートは側壁下部の検査窓から打ち込まれ、打設高さに応じて打ち込む検査窓を変え、肩部の検査窓を経て、最後は天端の吹上げ口から打ち込まれる。この手順の中で、コンクリートの打上がり速度が速すぎたり、左右の打上がり速度が大きく異なったりすると、型枠に大きな圧力や偏圧が作用して変形やずれの原因となる。また、打重ね時間が長くなってしまうとコールドジョイントの原因となる。これらの施工上のトラブルを防ぐため、コンクリートの打設高さを管理することは施工管理の上で重要である。

通常、覆工コンクリートの打設高さを確認するためには、狭隘なセントル内から検査窓越しに照明を当てながら覗き込んで目視確認する苦渋作業を要した。そのため、近年では、打設高さ管理の自動化方法として、セントル型枠表面に圧力センサを埋め込んで圧力測定で管理する方法や、覆工補強鉄筋に静電容量センサを設置してコンクリートを検知する打設管理システムが開発されている。しかしながら、詳細に打設高さを判別するためには数多くのセンサが必要となり、高価な圧力センサを数多く設置することは経済性の面から望ましくない。また、静電容量センサによる方法は打設の度にセンサを鉄筋に設置する必要があるため、省力化の面から準備作業が必要な

いセンサ、または測定方法が望ましい。

そこで、安価な照度センサと LED 照明をセントル型枠内の管理上必要となるすべての箇所に埋め込み、コンクリートの有無を照度で判別して可視化する打設高さ管理システム「スターライトセンサシステム」を開発した¹⁾。本稿では、本システムの概要、実際の使用状況等について報告する。また、締固め作業の自動化についてもその可能性を示した。

2. スターライトセンサシステムの概要²⁾

2.1 センサ部分の概要

今回使用した照度センサを写真-1に示す。CdS (硫化カドミウム) セルと呼ばれるもので、光の量に従って電気抵抗値が変化するCdSの性質を利用して、セルに流れる電流の変化を読み取り照度を検知できる。

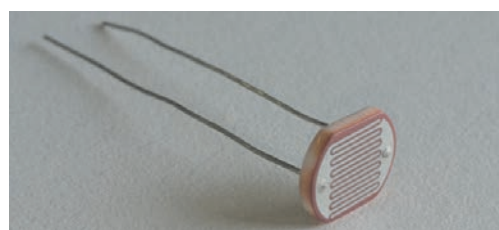


写真-1 CdS セル

1.土木事業本部 土木技術部 2.札幌支店 新幹線ニセコトンネル作業所 3.札幌支店 新幹線立岩トンネル作業所
4.名古屋支店 赤羽根トンネル作業所 5.技術研究所 研究開発 G

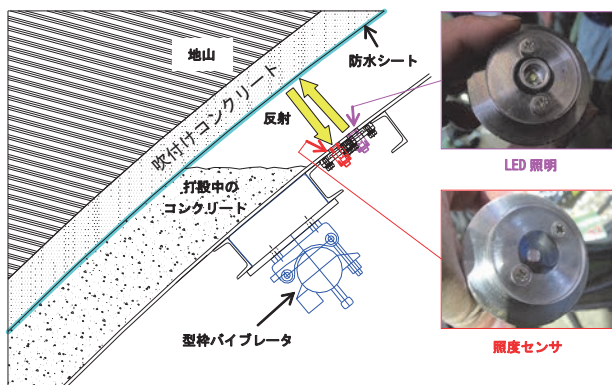


図-1 照度センサとLED照明の設置例

照度センサの横に設置するLED照明は、自動車のヘッドライトにも使用されているCREE製D-1466 (T10 3W 120lm) ハイルーメンバルブを使用しており、防水シートに反射した光を照度センサで検知するのに十分な光量を備えている。

図-1に照度センサとLED照明の設置例を示す。照度センサとLED照明が1つずつで1セットとなり、セントル型枠のそれぞれの孔に裏側から照度センサとLED照明を内蔵したソケットを挿し込んで固定する。コンクリートが照度センサの高さまで打設されていない場合、LED照明から照射された光は、防水シートに反射して照度センサまで届くが、コンクリートが打設されると光が照度センサまで届かない。この照度の差を利用することで、スターライトセンサシステムはコンクリートの打設高さを検知することができる。

なお、今回スターライトセンサシステムを導入したセントルには、縦断方向に5断面、1断面あたり周方向に打設高さが一定の増分となる間隔で11セット、合わせて55セットを設置した(図-2)。多数のLED照明によって打設空間の照度が確保され、作業効率や安全性の向上にも寄与するシステムである。

2.2 管理画面の概要

セントルの切羽側の妻部付近に設置した大型ディスプレイ

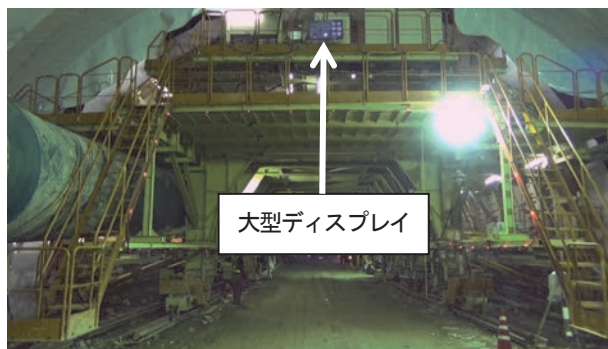
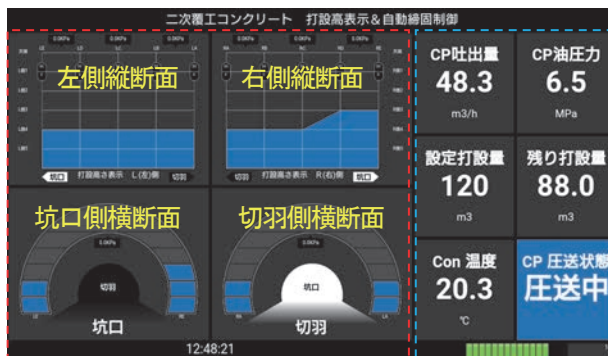


写真-2 セントルの切羽側に設置された大型ディスプレイ



打設高さ情報表示部 コンクリートポンプ情報表示部

図-3 管理画面の表示例

レイ(写真-2)には、打設高さ等の情報が示された管理画面が表示されている(図-3)。画面の中央から左側にかけて表示されている図は、縦断面を左と右それぞれから見たものと、横断面を坑口側と切羽側から見たものを表している。打設中、照度センサの照度が事前に設定した閾値以下になると、そのセンサに対応する画面の箇所が着色され、セントルを前後左右4方向から見た打設高さを表示する。画面の右側にはコンクリートポンプ車から送られる情報が表示されており、コンクリートポンプの吐出量、油圧量、設定打設量、残り打設量、コンクリート温度、圧送状態をリアルタイムで表示する。

管理画面は制御用PCで管理されており、打設高さの経

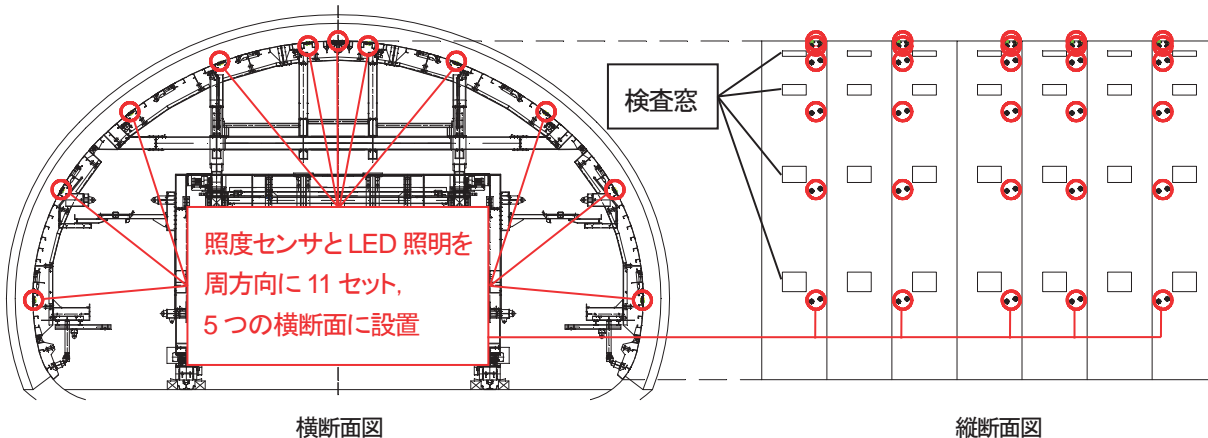


図-2 照度センサとLED照明の設置箇所

時変化やコンクリートポンプ車から送付された情報は自動的に記録される。制御用PCから出力された管理画面は、セントルの大型ディスプレイに表示される他、クラウドサーバを介して、坑内外、ならびに遠隔地でもスマートフォン等の情報端末で、打設の進捗具合を確認することができる。

2.3 型枠バイブレータの自動締固め機能

本システムは「型枠バイブレータ集中制御システム (NETIS : KT-130066-A)」と連携して、コンクリートが打ち上がった箇所に対し、タイマー制御によって自動で締固めを行うことができる。誤動作を避けるため、「30秒連続して照度が閾値以下となった場合」を「コンクリートがその高さまで打ち上がった」と判別する制御となっており、その後タイマーで事前に設定した秒数だけ型枠バイブレータを振動させる。機械による自動制御を行うため、振動不足による締固め不足や振動過多による材料分離のリスクを排除することができる。

後述する現場では、試験導入という位置付けで、肩部から天端部にかけて限定した部位に型枠バイブレータを設置し、人力の挿入式バイブレータと併用して最適なタイマー制御方法を検証した。

3. 現場での導入実績

本システムを導入したのは、国土交通省中国地方整備局の長門俵山道路 大寧寺第3トンネル北工事である。

写真-3に打設前のセントル天端部の状況を示す。通常、打設空間はアイランプ等の照明を設置しなければ照度が足りず遠くを目視することは困難であるが、多数設置されたLED照明によって他の照明がなくとも奥まで視界を確保できていることがわかる。

写真-4に側壁部の打設状況を示す。筒先を突き出した検査窓の横にLED照明があるため、コンクリートが打設面に落下して左右に動く様子が目視しやすく、隣の検査窓から挿入式バイブレータで締め固める際に施工性が向上した。

写真-5にスマートフォンによる管理画面の確認状況を示す。本トンネルでは坑内に無線LANによるインターネット環境を構築している。セントルにもアクセスポイントが設置されているため、セントル妻部に設置された大型ディスプレイが見えない場所でもスマートフォンやタブレット等により管理画面を確認できる。

事前の懸念事項として、照度センサとLED照明をコンクリートから防護しているポリカーボネートの透光性が摩耗によって低下し、コンクリートを検知できなくなる可能性を憂慮していたが、照度の閾値を適正に設定することで対応し、特に問題は起きなかった。

本現場においてスターライトセンサシステムを導入し

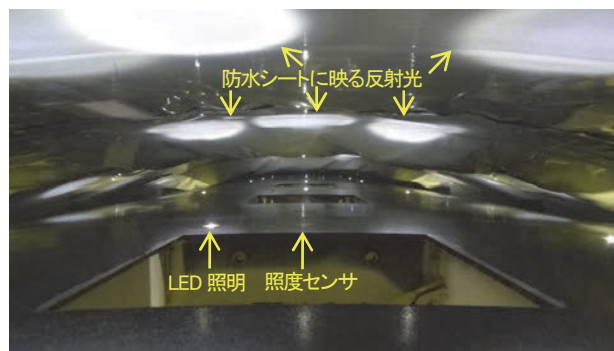


写真-3 LED照明を点けた状態のセントル天端部

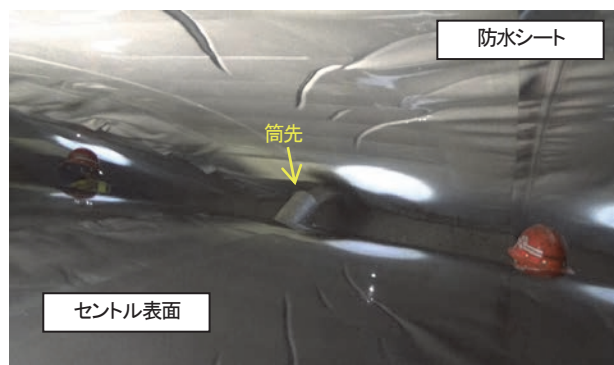


写真-4 側壁部の打設状況



写真-5 スマートフォンに表示される管理画面



写真-6 覆工コンクリートの仕上がり状況

で打設高さを管理した結果、コンクリートの偏圧によるセントルの変形や、コールドジョイント等の不具合は発生していない(写真-6)。

4. おわりに

施工管理上必要なすべての箇所に多数のセンサ設置が可能な「スターライトセンサシステム」を開発することによって、打上がり速度の可視化と記録、クラウドサーバを通じた情報共有を実現し、品質を保証するとともに照度の確保等によって締固め作業の施工性も向上させることができた。

今後は、型枠バイブレータの自動締固め機能の検証・改善を進め、締固め作業の完全自動化を実現して省力化による生産性向上にも貢献したいと考えている。

謝辞：本開発にあたりご協力いただいた（株）北斗工業と大栄工機（株）の関係各位に謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 鈴木雅行, 熊谷幸樹, 佐藤幸三, 椎名貴快: トンネル新技術への挑戦(21)―覆工(打設)―, トンネルと地下, Vol.48, No.8, pp.65~73, 2017.
- 2) 滝波真澄, 筒井隆規, 熊谷幸樹, 松田浩朗, 中平憲文, 岩井善紀: 照度センサを用いた覆工コンクリートの打設高さ管理システムの開発, 土木学会第 72 回年次学術講演会, VI-156, 2017.

Summary In mountain tunneling by NATM, excessive and uneven pressure on the arch center in the lining concrete placing process can result in deformation or displacement. Additionally, prolonged intervals between concrete placement sessions can lead to cold joints. From the construction management perspective, continuous monitoring of concrete placing height can be highly effective in avoiding such issues.

A concrete placing height control system called the starlight sensor system has been developed to automate the monitoring process. Deploying inexpensive illuminance sensors and LED lamps installed at each location within the arch center formwork considered a vital monitoring point, the system offers illuminance-based visualization of the concrete placing heights. This paper presents an overview of the system, its use at construction sites, and related matters.

Key Words : *Lining concrete, Placing height, Visualization, Illuminance sensor, LED lamp*