

コンクリート打設におけるパイブレータの差し込み深さの計測手法の有用性検証

東京都市大学大学院（現 株式会社パスコ） 正 会 員 ○横田 拓也
 法政大学 正 会 員 今井 龍一
 東京都市大学 正 会 員 栗原 哲彦
 東急建設株式会社 正 会 員 伊藤 誠

1. はじめに

コンクリート打設作業は、機器の操作等の手動の作業が多いため、熟練技能者の経験知に大きく依存している。しかし、熟練技能者の高齢化に伴う大量離職が進行していることから¹⁾、技能継承が喫緊の課題である。

課題解決の一方策として、センサ技術を用いて熟練技能者の経験知を計測・蓄積・形式知化して後進に継承することが挙げられる。筆者ら^{2,3)}は、実現場での締固め作業の実態調査や技能者へのヒアリング等により、パイブレータの差し込み位置・深さ等の振る舞いが経験知に係わることを明らかにした。そして、差し込み位置・深さの計測手法を考案し、実現場において有用性を検証した。しかし、差し込み深さの計測手法に関しては、実現場に適用するにあたり課題があることが判明した。

本研究では、前述の課題を踏まえ、ジンバル搭載カメラを用いた差し込み深さの計測手法を考案し、計測実験を実施することで考案手法の有用性を検証する。

本稿は、まず、既存研究の差し込み深さの計測手法に関して概説する。次に、既存研究の計測手法の課題を踏まえ、差し込み深さの計測手法を考案する。そして、模擬現場での計測実験および実現場の技能者を対象とした計測実験により、考案手法の有用性を検証する。

2. 既存研究における差し込み深さの計測手法

本章では、既存研究における差し込み深さの計測手法および実現場における有用性の検証結果を概説する。

(1) 考案手法の概要

既存研究^{2,3)}では、現場周囲に設置した定点カメラおよびパイブレータに貼付した色マーカを用いた差し込み深さの計測手法を考案している（図-1 参照）。算出方法としては、まず、画像処理を用いて色マーカを特定し、色マーカ間の距離から 1 ピクセルのスケールを推定する。そして、フレーム間の色マーカの移動距離を算出し、足し合わせることで差し込み深さを計測する。

キーワード 技能継承、コンクリート打設、パイブレータ、画像処理

連絡先 〒153-0043 東京都目黒区東山 1-1-2 東山ビル 株式会社パスコ TEL：03-5722-7600

(2) 実現場における差し込み深さの計測の試行

既存研究では、深さが 61cm のスラブの打設現場において締固めの模擬動作を実施し、差し込み深さの計測を試行している。計測では、模擬的に作成した色マーカ貼付のパイブレータを使用した。その結果、差し込み深さの最大値は 64.7cm、正解値との誤差は 4cm 程度であった。この誤差は、パイブレータを下層のコンクリートに 10cm 程度差し込むという基準より、許容範囲内である。しかし、以下の 2 点が課題として挙げられている。

- ・ 色マーカと技能者や施工機器等とのオクルージョンにより、計測不可となる場合が多く確認できた。
- ・ 技能者の安全ベスト等の色マーカ以外の物体に誤認識が発生していることが確認できた。

3. パイブレータの差し込み深さの計測手法の改良

本研究では、第 2 章 (2) の計測手法の課題を踏まえ、差し込み深さの計測手法を改良した（図-2 参照）。

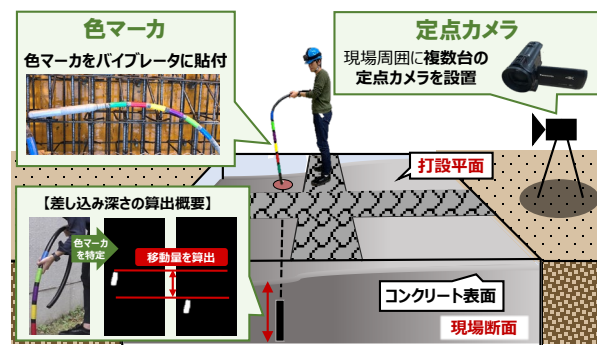


図-1 既存研究における考案手法の全体像

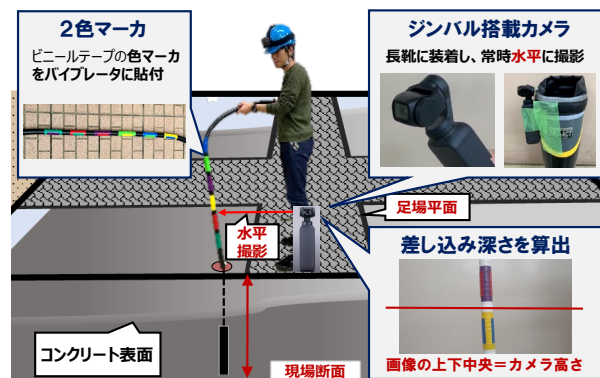


図-2 改良後の考案手法の全体像

(1) 考案手法の概要

計測では、技能者の長靴にジンバル搭載のウェアラブルカメラ（以下、「ジンバル搭載カメラ」とする。）を装着し、地面と水平にパイブレータを撮影する。近距離でパイブレータを撮影することにより、オクルージョン等による計測不可が減少すると考えられる。また、本手法では、2色の色マーカを組み合わせたマーカ（以下、「2色マーカ」とする。）を用いる。マーカの認識条件が複雑になるため、誤認識を減少できると考えられる。

(2) 考案手法の処理フロー

考案手法の処理フローを図-3に示す。まず、ジンバル搭載カメラの動画像から画像処理によりマスク画像を作成し、2色マーカと形状・面積が似ている画素群を特定してラベリングする。次に、ラベリングした色マーカの上端・下端の画像内におけるY座標値を取得し、1ピクセル当たりのスケールを算出する。そして、カメラの設置高さ等を用いて差し込み深さを算出する。

4. 考案手法の有用性の検証

(1) 模擬現場における差し込み深さの計測精度検証

本研究では、屋外の模擬現場において、模擬パイブレータを上下に動かして長靴に装着したジンバル搭載カメラにより差し込み深さを計測した。そして、ジンバル搭載カメラと時刻同期したビデオカメラおよび標尺を用いて正解値を計測し、計測精度を検証した。

その結果、誤差は平均で2.5cmであり、最大でも4.5cmであった（表-1参照）。以上より、誤差が10cm以下であることから、許容範囲内であるといえる。

(2) 実現場における差し込み深さの計測の試行

本研究では、実際の工事現場の技能者を対象に考案手法を適用し、計測実験を実施した。計測対象は、コンクリート橋脚の基礎部分の打設工事とし、広さは10.5×10.5m、深さは最大で2.5m、打設数量は約260m³である。また、基礎の天端が平面の場合と斜めの場合があるため、それぞれに対して計測を試行した。

その結果、実現場においても2色マーカの誤認識は殆ど確認されず差し込み深さを計測できていた。天端が平面の場合では、差し込み深さの最大値を超えていたが、パイブレータが底面に接触してしなることが要因として考えられる（図-4a参照）。また、天端が斜めの場合に関しては、想定されるコンクリートの打設高さの範囲内にパイブレータをしっかりと差し込んでい

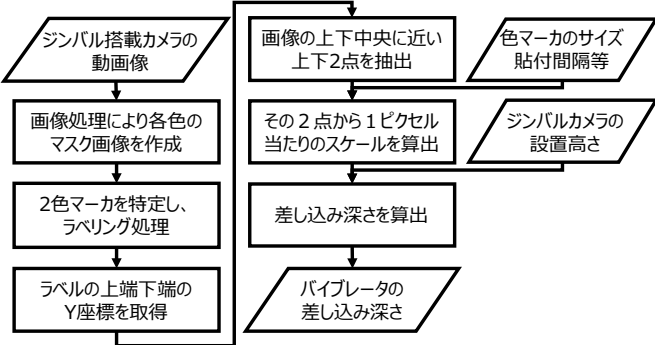
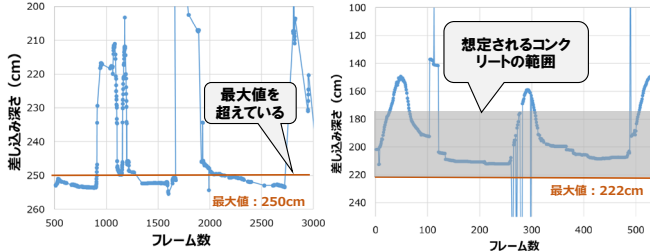


図-3 改良後の考案手法の処理フロー

表-1 差し込み深さの精度検証結果

フレーム	計測値	正解値	誤差	フレーム	計測値	正解値	誤差
75	25.5	27.0	1.5	574	41.5	37.0	4.5
250	62.8	66.0	3.2	771	84.8	86.0	1.2
335	40.1	44.0	3.9	796	29.4	31.0	1.6
535	84.7	86.0	1.3	953	57.3	60.0	2.7
誤差量平均							2.5

「フレーム」以外の単位：cm



a)天端が平面の場合 b)天端が斜めの場合

図-4 差し込み深さの時系列データ

ることを確認できた（図-4b参照）。以上より、考案手法を実現場に適用できることを明らかにした。

5. おわりに

本研究では、既存研究における計測手法の課題を踏まえ、差し込み深さの計測手法を改良した。そして、模擬現場および実現場の技能者を対象とした計測実験を実施し、考案手法を実現場に適用できることを明らかにした。今後は、本手法を用いて様々な工事現場の熟練技能者を対象に計測を実施し、経験知を形式知化・蓄積していくことが挙げられる。

謝辞：本研究の遂行にあたっては、清水建設株式会社の宇野昌利氏、根本浩史氏、静岡県庁（元東京都市大学）の齋藤晴菜氏には貴重なご意見等を賜った。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

1) 国土交通省：平成27年度 国土交通白書，2016。
2) 横田他：コンクリート打設におけるパイブレータの差し込み深さの計測に関する基礎的研究，土木学会第74回年次学術講演会講演概要集，Vol.74，No.CS9-07，2019。
3) 今井他：コンクリート打設におけるパイブレータの差し込み深さの計測手法の開発，土木学会論文集F3（土木情報学），2019。