

(57) 作業者視点の動画像を用いたコンクリート打設のバイブレータの差し込み位置の計測

横田 拓也¹・今井 龍一²・栗原 哲彦²・谷口 寿俊³・伊藤 誠⁴

¹ 学生会員 東京都市大学大学院 総合理工学研究科 建築・都市専攻 都市工学領域
(〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1)
E-mail: g1881646@tcu.ac.jp

² 正会員 東京都市大学准教授 工学部 都市工学科 (〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1)
E-mail: imair@tcu.ac.jp, nkuri@tcu.ac.jp

³ 正会員 九州大学大学院助教 工学研究院 (〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744)
E-mail: taniguchi@doc.kyushu-u.ac.jp

⁴ 正会員 東急建設株式会社 土木本部 土木技術設計部 (〒150-8340 東京都渋谷区渋谷 1-16-14)
E-mail: itou.makoto@tokyu-cnst.co.jp

コンクリート打設は、技能者の経験則に基づく機器の操作等の手動の作業が多いため、熟練技能者の豊富な経験知を後進に継承していくことが極めて重要である。我が国の建設業では、高齢化の進行によって熟練技能者が次々と引退していくと予想されているため、技能継承が喫緊の課題として挙げられている。具体的には、熟練技能者の振る舞いに係わる経験知を計測・収集し、形式知に置き換えて後進に継承する一方策がある。この実現にあたっては、まず振る舞いの経験知の計測可能性を明らかにする必要がある。

本研究は、多様な計測技術を用いた熟練技能者の振る舞いに係わる経験知の計測可能性を明らかにする。本稿は、技能継承のニーズのあるコンクリート打設に係わるバイブレータの差し込み位置の計測手法および個人差の計測可否の検証結果を報告する。

Key Words: Concrete Casting, Skill Succession, Skilled workers, Wearable camera

1. はじめに

我が国の建設業では、技能労働者の若手比率の低下と高齢化の進行¹⁾により、工事現場の人手不足が懸念されている。その現状に対処するため、国土交通省は、生産性向上を目的とした i-Construction²⁾の施策を推進している。その中でも、情報通信技術を活用したマシンコントロール・マシンガイダンス技術では、自動制御や操作ガイダンス等によって熟練技能者でなくても一定の施工品質を確保できることから、生産性向上に大きく寄与している。現在、情報通信技術を活用した施工機械による作業者の支援が対象となっているが、人の振る舞いに着目した技能継承にも取り組む必要がある。

その具体例として、コンクリート打設は、機器の操作等の手動が主な作業であり、技能者の経験に依存している。このような技能者の経験則に基づく工種では、熟練技能者の経験知を後進に継承していくことは極めて重要であるが、高齢化による離職が着実に進行しているため、

技能継承が喫緊の課題として挙げられている³⁾。

昨今では、情報通信技術の発展により、センサを用いて人の詳細な振る舞いを計測できる。この技術を活用して、製造業界では、現場作業の支援および技能継承の検討・導入が推進されている⁴⁾。具体例として、梅村ら⁵⁾は、ガラス火加工作業を対象にセンサを用いて作業者の技能を解析している。

このような取り組みを建設業にも適応することで、熟練技能者の振る舞いに係わる経験知を計測・蓄積・形式知化して後進に継承できる可能性がある。須長ら⁶⁾は、ウェアラブルカメラを用いて熟練・若手技術者の締固め動作を比較し、熟練技術者が効果的な締固めを実施していることを明らかにしている。しかし、熟練技能者の経験知の計測可能性までは明らかにされていない。

本研究は、多様な計測技術を用いた熟練技能者の振る舞いに係わる経験知の計測可能性を明らかにする。対象工種は、施工関係者との討議を踏まえ、技能継承のニーズのあるコンクリート打設とした。

本研究では、まず、コンクリート打設の行動を分析して経験知の抽出に係わる振る舞いの計測項目を設定し、その振る舞いの計測に適した計測技術を選定する。次に、その計測技術を用いて振る舞いの個人差の計測可否を検証する。そして、工事現場にて様々な技能者を対象に計測を実施し、熟練技能者の経験知の計測可能性を検証する。本稿では、パイプレータの差し込み位置の計測手法および個人差の計測可否の検証結果を中心に報告する。

2. コンクリート打設の行動分析

本研究では、熟練技能者の経験知の抽出に繋がる作業者および施工機器の振る舞いを把握するため、現場作業者の行動特性を分析し、振る舞いの計測項目を抽出した。

(1) コンクリート標準示方書の実態調査

本研究では、施工基準の実態を明らかにするため、コンクリートの施工に関する規程集であるコンクリート標準示方書（施工編）⁹⁾を調査した。その結果、打込みおよび締固め作業の2点においては、具体的な作業手順が示されていないかった。さらに、締固めでは施工の目安幅が大きい基準がみられる等、施工品質が技能者の経験則に大きく依存する基準となっていた。そのため、本研究は、コンクリートの打込みおよび締固めに着目し、経験知の計測可能性を明らかにすることとした。

(2) 振る舞いの計測項目の設定

前節の調査結果、工事現場における打込み・締固めの動画の分析およびコンクリート打設に関する有識者との意見交換に基づいて、熟練技能者の経験知の抽出に繋がる作業者および施工機器の振る舞いを分析した（表-1の「振る舞いの計測項目」を参照）。熟練技能者は、経験の浅い技能者と比較して、パイプレータの差し込み後の動作やパイプレータを差し込む位置に特有の動作がみ

られたことから、それらに関連する振る舞い動作を分解することで、具体的な計測項目として抽出した。

3. 振る舞いの計測技術の選定

本研究では、「装着式」および「設置式」の2系統に着目し、2章の成果である表-1に示した項目の計測に適した技術を選定した。図-1に各計測技術の概要および得られるデータを示す。

(1) 3次元モーションキャプチャリング

現場条件を考慮すると、コンクリートホースやパイプレータ自体への計測機器の取り付けは困難である。本研究では作業者の挙動から施工機器の挙動を推定する。そのためには、作業者の手首から手先迄の3次元的な挙動を精緻に計測することが肝要となる。

本研究では、図-1に示すように、手先も含めた体全体に慣性センサを装着して3次元挙動を計測できるモーションキャプチャシステムの「PERCEPTION NEURON」を使用する。本システムは、無線通信式なので、一般的な光学式と比較すると精度は劣るものの、必要機材が遥かに少なく持ち運びや装着・設置が極めて容易である。そのため、スタジオや工場等と比較して厳しい環境であるコンクリート打設の現場特性に適した計測技術と言える。

(2) 1人称視点による計測

経験知計測において、1人称視点の分析は、作業と技能者の注目箇所との関係性を明らかにできることから、パイプレータの差し込み位置を計測する上で極めて有効である。本研究では、図-1に示すように、作業者の頭部またはヘルメットに作業者視点で動画を撮影できるウェアラブルカメラ「GoPro HERO6」を装着する。そして、撮影した1人称視点の動画を解析することで、パイプレータの差し込み位置を計測する。

(3) 3人称視点による計測

作業動線は、設置式の単眼ビデオカメラで撮影した現場の作業映像を2次元平面に投影することで推定する。また、ディープラーニングを用いて作業者の姿勢・挙動を3人称視点の動画から推定する。3次元モーションキャプチャリングで計測した技能者・ホースの振る舞いデータを3人称視点で解析した姿勢・挙動を介して現場環境や作業動線と結びつけることで、これらの相関を明らかにできる可能性がある。3人称視点の動画からの姿勢・挙動推定には、OpenPose⁷⁾を利用する。OpenPoseは、18点の骨格情報を画像内の2次元座標として出力できる画像解析技術である。

表-1 振る舞いの計測項目と計測機器との対応関係

振る舞いの計測項目			計測技術		
			装着式 3次元モーション キャプチャリング	1人称視点による 計測	設置式 3人称視点による 計測
施工 機器	打込み	コンクリート	上下左右の動き	×	△
		ホース	1か所の打込み時間	×	△
			ホースの高さ	×	△
			打込み箇所の順序	×	△
	締固め	パイプ レータ	差し込み位置	×	○
			差し込み時間	×	△
			差し込み深さ (持ち手から推定)	×	×
			差し込み角度 (持ち手から推定)	×	×
			差し込み後 の上下動 (持ち手から推定)	×	×
			引き抜き速度 (持ち手から推定)	×	×
技能 者	作業 全体	作業軌跡	×	×	○
		技能者の振る舞い	○	×	△

定量的に計測可能：○、定量的ではないが計測可能：△、計測不可：×

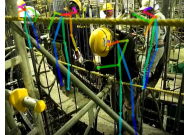
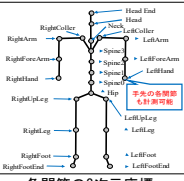
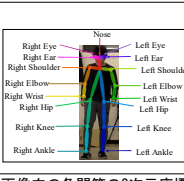
計測手法	3次元モーションキャプチャリング	一人称視点による計測	三人称視点による計測
計測機器の概要			
得られるデータ	PERCEPTION NEURON  各関節の3次元座標	GoPro Hero 6  作業者視点での動画	OpenPose  画像内の各関節の2次元座標

図-1 選定した各計測機器の概要

4. 作業者視点の動画像を用いたパイプレータの差し込み位置の自動算出

本研究は、締固め作業者の作業者視点の動画から、パイプレータの差し込み位置を計測する。作業者視点の動画は、パイプレータの差し込みの動作が撮影されており、目視にておおよそその差し込み位置を確認できる。しかし、経験知を分析して形式知化することを踏まえると、大量の動画から差し込み位置を計測して経験知を蓄積する必要があるため、手動による計測は現実的でない。そこで、本研究では、作業者の頭部に装着したウェアラブルカメラで撮影した作業者視点の動画像から画像解析等を用いてパイプレータの差し込み位置を自動的に計測・蓄積・分析する手法を開発する。

本稿では、その手法の初期段階として、パイプレータの差し込み位置の算出を補助するプログラムを開発した。差し込み位置の算出補助プログラムの処理フローおよび入出力データの一例を図-2に示す。まず、図-2に示したように、作業者視点の動画および工事図面の画像を入力する。次に、図-3に示したように、作業者視点の動画と図面との対応点およびパイプレータの位置を手動で入力する。そして、射影変換を用いて、差し込み位置を図面上に投影する。最後に、差し込み位置がプロットされた図面を出力する（図-2 参照）。

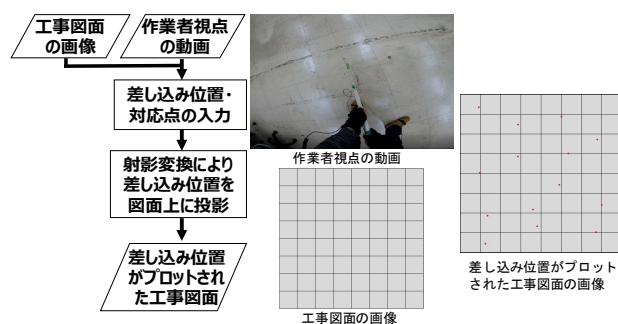


図-2 プログラムの処理フローおよび入出力データ

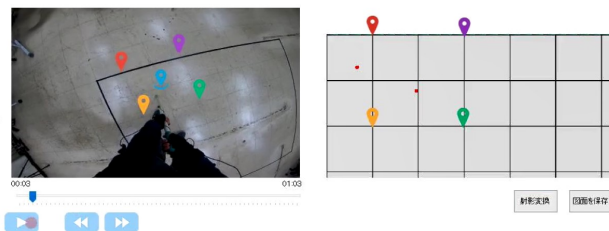


図-3 プログラムの操作画面の一例

5. 作業者視点の動画像を用いたパイプレータの差し込み位置の個人差の計測可否の検証

本研究では、選定した計測技術を用いて作業者の振る舞いを計測し、その個人差の計測可否を検証した。本稿では、作業者視点の動画像を用いたパイプレータの差し込み位置の個人差の計測可否の検証結果を報告する。

(1) 模擬実験の概要

本研究では、図-4に示すように、被験者が装着したヘルメットにウェアラブルカメラを取り付け、4人の被験者を対象に、締固めの模擬動作を計測した。実験環境は、24m四方の打設面を床に設置し、その端を型枠とした。そして、被験者の締固め位置に違いが出やすくなるため、工事現場での鉄筋の間隔の一例として30cm角の床のマス目を鉄筋とした。被験者は、棒をパイプレータと見立て、打設面に対してパイプレータを差し込む動作を模擬した。また、個人差の計測可否を検証するため、被験者2, 3, 4は打設面に対しておおよそ均等にパイプレータを差し込む動作を模擬し、被験者1は熟練技能者の特徴である型枠付近へ多く差し込む動作を模擬した。

(2) 計測結果

本稿では、前章の差し込み位置の算出補助プログラムを用いて、ウェアラブルカメラで撮影された作業者視点の動画から、パイプレータの差し込み位置を計測した。パイプレータの差し込み位置の計測結果の一例を図-5に示す。結果として、全被験者において、すべてのパイプレータの差し込み位置を計測できていた。また、出力された差し込み位置の算出精度は、全被験者、全差し込

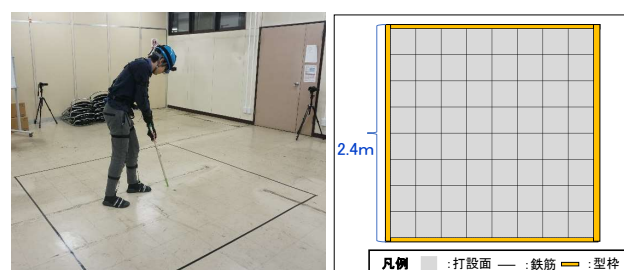


図-4 模擬実験の概要

みにおいて、実際の差し込み位置から半径 5cm 以内であった。この結果は、打設現場の打設箇所の広さや鉄筋の間隔等を踏まえると、型枠付近や各鉄筋の間毎への差し込み等の詳細な挙動を確認できるため、十分な算出精度であると考えられる。

(3) 振る舞いの分析の結果

本稿では、前節で計測したデータから、個人差の計測可否を検証するため、被験者毎の振る舞いを分析した。分析手法として、まず、打設面を 20cm のメッシュに分割し、計測した差し込み位置をメッシュ上にプロットした。そして、全締固め回数に対する型枠に接した締固め回数の割合を算出して比較した。被験者毎のバイブレータの差し込み位置および型枠付近における締固めの割合を図-6 に示す。その結果、差し込み位置の偏りがあり、個人差がみられた。また、熟練技能者の特徴を模擬した被験者 1 の分析結果では、他の被験者と比較して型枠付近への差し込みが多いことが確認できた。

以上から、作業視点の動画像から作業の個人差を計測できる可能性を確認できたとともに、経験知の計測実

現に向けた示唆を得ることができた。

6. おわりに

本研究は、コンクリート打設の行動を分析して経験知に係わる振る舞いの計測項目を設定し、その振る舞いの計測に適した計測技術を選定した。差し込み位置の算出補助プログラムを開発し、バイブレータの差し込み位置の計測および振る舞いを分析した。その結果、作業視点の動画像を用いてバイブレータの差し込み位置の個人差を計測できる可能性を確認できた。

今後の課題として、熟練技能者へのヒアリング調査および工事現場でのエスノグラフィ調査により、作業時の注意点や着眼点等を明らかにし、計測項目を洗練する必要がある。次に、開発したプログラムに対して、差し込みの座標の算出機能の実装が挙げられる。そして、実際の工事現場において、選定した計測技術を用いて熟練技能者の経験知の計測可能性を検証することが挙げられる。

謝辞：本研究は東京都市大学・東急建設株式会社の包括契約による共同研究成果の一端である。研究の遂行にあたっては、東急建設株式会社の田中卓也氏、西村伸氏、増村佳大氏には貴重なご意見、関西大学大学院の中原匡哉氏、瀬谷勇也氏にはプログラムの開発および貴重なご意見を賜った。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，2016.6.
- 2) 国土交通省：i-Construction ～建設現場の生産性革命～，<<http://www.mlit.go.jp/common/001127288.pdf>>，（入手 2018.6.5）.
- 3) ITmedia エンタープライズ：熟練のワザ，IT で共有・継承へ，<<http://www.itmedia.co.jp/enterprise/articles/1602/29/news012.html>>，（入手 2018.6.5）.
- 4) 梅村他：ガラス火加工作業における熟練作業者の技能の解析，人間工学，日本人間工学会，vol.47，pp.139-148，2011.
- 5) 須長他：ウェアラブルカメラを用いた熟練・若手技術者のコンクリート締固め技術比較実験，土木学会年次学術講演会公演概要集，土木学会，vol.70，pp.765-766，2015.
- 6) 土木学会 コンクリート委員会：2017 年制定 コンクリート標準示方書（施工編），pp.108-123，丸善出版，2018.
- 7) Zhe Cao, Tomas Simon, Shih-En Wei and Yaser Sheikh: Realtime multi-person 2d pose estimation using part affinity fields, *arXiv:1611.08050v2 [cs.CV]*, 2017.

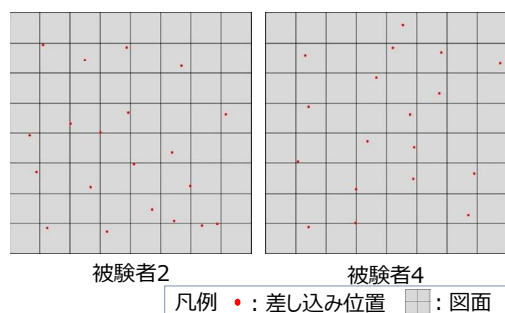


図-5 バイブレータの差し込み位置の計測結果の一例

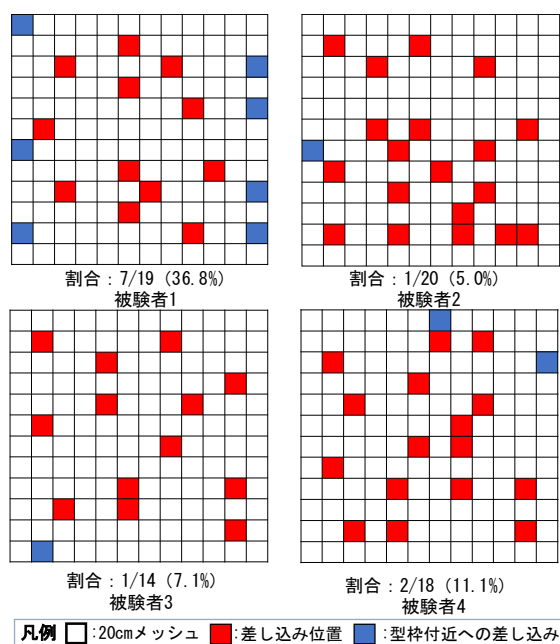


図-6 差し込み位置の分析結果および型枠付近への割合