

ディープラーニングを用いたコンクリート打設の技能者の移動軌跡の計測

東京都市大学大学院 学生会員 ○横田 拓也
 東京都市大学 正会員 今井 龍一・栗原 哲彦
 九州大学大学院 正会員 谷口 寿俊
 東急建設株式会社 正会員 伊藤 誠

1. はじめに

我が国の建設業では、少子高齢化と熟練技能者の大量離職に伴う技能者不足が見込まれている¹⁾。具体例として、コンクリート打設に着目すると、機器の操作等の手動による作業が多く、熟練技能者の経験知を後進に継承することが極めて重要といえる。しかし、熟練技能者の高齢化による離職が着実に進行している現状を踏まえると、技能継承は喫緊の課題である。

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が、現時点では計測可能性も明らかにされていない。

本研究の目的は、多様なセンサを用いた熟練技能者の振る舞いに係わる経験知の計測・蓄積・形式知化手法の確立とした。本稿は、技能継承のニーズのあるコンクリート打設に関わる技能者の移動軌跡の計測内容を中心に報告する。

2. 研究方法

本研究では、まず、コンクリート打設の行動を分析し、その結果を基に、計測技術を調査・選定する。次に、選定した計測機器を用いて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。本稿は、ディープラーニングを用いた技能者の移動軌跡の計測可否の検証結果を報告する。

3. コンクリート打設の行動分析

熟練技能者の経験知の抽出に繋がる作業員および機器の振る舞いを把握するため、施工基準を調査して現場作業員の行動特性を分析した。

(1) コンクリート標準示方書の実態調査

本研究では、現場作業員の行動特性を明らかにするため、コンクリート標準示方書(施工編)²⁾を調査した。その結果、打込みおよび締固めのいずれの作業も手順の記載がない、または施工の目安幅が大きい等、施工品

質に係わる詳細な作業内容が技能者の経験則に依存する基準が散見された。そこで本研究は、打込みおよび締固めに着目して経験知の計測可能性を明らかにする。

(2) 計測項目の設定

前節の調査結果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、表-1の熟練技能者の経験知に係わる「振る舞いの計測項目」を抽出した。とくにバイブレータの差し込み後の上下動や型枠付近の差し込みは、多くの熟練技能者の特徴であるため、本研究では関連する挙動を詳細に計測することとした。

4. 計測機器の調査及び選定

本研究では、「装着機器」および「外部機器」の2つの計測技術に着目し、3章(2)の成果である表-1の計測項目に適した計測機器・技術を調査・選定した(表-1の計測機器)。モーションキャプチャは、人にセンサを装着して人の振る舞いを詳細に計測できる機器であり、作業員および機器の振る舞いを計測できる可能性がある。ウェアラブルカメラは、作業員の頭部に装着して作業員視点の動画を撮影できる機器であり、主にバイブレータの差し込み位置を計測できる可能性がある。ビデオカメラは、作業員を外部から撮影できる機器で

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			計測機器			
			装着機器		外部機器	
			モーションキャプチャ	ウェアラブルカメラ	ビデオカメラ(OpenPose)	
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	バイブレータ	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：×

キーワード：技能継承、熟練技能者、経験知、コンクリート打設、OpenPose、移動軌跡

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 TEL 03-5707-0104 E-mail : g1881646@tcu.ac.jp

あり,本研究は画像解析に OpenPose³⁾を用いる. OpenPose は, 単眼カメラで撮影された動画からディープラーニングを用いて人の振る舞いを推定する技術で, 作業動線, 作業員や機器の振る舞いを計測できる可能性がある.

5. OpenPose を用いた移動軌跡の計測可否の検証

本稿は, 表-1 のビデオカメラ (OpenPose) を用いた移動軌跡の計測可否の検証結果を報告する. OpenPose の概要を図-1 に示す. 図-1 (a) に示すとおり, OpenPose は, 人の 18 の骨格の 2 次元座標を 1/60 秒単位で推定する (動画 1 秒に対して 60 ファイルを出力). 図-1 (b) は工事現場の動画の解析結果例を示している. この図のように複数の作業員が動画に含まれていると, 作業員毎の動きを追跡して推定できないことがある. この解決策として, 本研究は, 作業員毎の動きを追跡できる骨格追跡プログラムを開発した.

(1) 計測対象の振る舞い

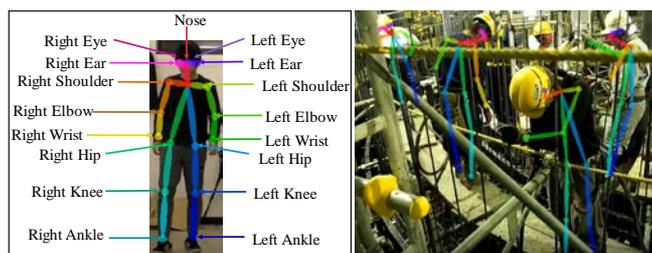
本研究では, 図-2 に示すように, 4 方向に設置したビデオカメラを用いて 4 名の被験者を対象に締固めの模擬動作を計測した. 被験者は, 床を打設面, 棒をパイプレータと見立てて, 打設面に対しておおよそ均等にパイプレータを差し込む動作を模擬した.

(2) 移動軌跡の計測手法

撮影された映像は, OpenPose にて解析する. 解析結果のうち, 作業員の左足に着目し, 作業員の移動軌跡を算出する. 移動軌跡の算出方法は, 図-3 のように, OpenPose の解析結果から, 作業員の画像内での左足の座標を取得する. 次に, 撮影した映像から移動軌跡の平面となる打設面の四隅の点の画像内での座標を算出する. そして, 射影変換にて図面上の被験者の位置座標を算出する.

(3) 計測結果

本研究では, 前節の手法を用いて 4 名の被験者の移動軌跡を算出した. 被験者毎の移動軌跡の一例を図-4 に示す. その結果, すべての被験者において移動軌跡を計測できることが明らかとなった. また, 本分析は, 作業員の位置を左足としたため, 実際の移動軌跡と誤差



(a) 出力データ (b) 解析結果の可視化例

図-1 OpenPose の概要

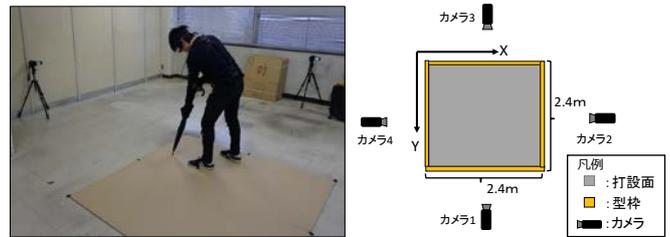


図-2 計測の様子・イメージ

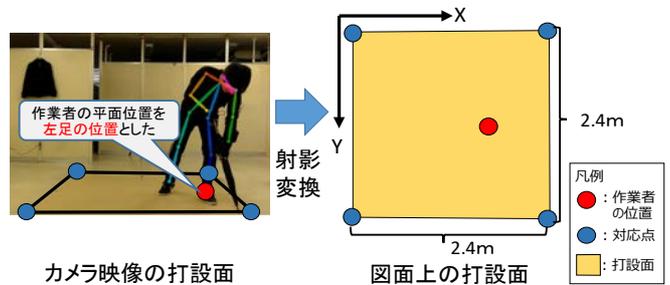
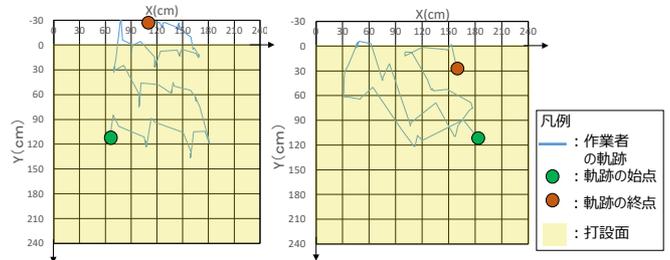


図-3 移動軌跡の算出のイメージ



(a) 被験者 1 (b) 被験者 2

図-4 被験者毎の移動軌跡の一例

があると考えられる. しかし, 工事現場での計測の際は, 作業範囲が広いと許容内であると考えられる.

6. おわりに

本稿は, ビデオカメラ (OpenPose) によるコンクリート打設の技能者の移動軌跡の計測可能性を報告した. 今後は実際の工事現場にて計測を実施し, 熟練技能者の経験知の計測可能性を検証する予定である.

謝辞: 本研究は東京都市大学・東急建設 (株) 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) の田中卓也氏, 西村伸氏, 増村佳大氏, 関西大学大学院の中原匡哉氏, 瀬合勇也氏には, 貴重なご意見を賜った. ここに記して感謝の意を表す.

参考文献

- 1) 国土交通省: 平成 27 年度 国土交通白書, 2016.6
- 2) 土木学会: 2012 年制定 コンクリート標準示方書 (施工編), 2013.6
- 3) 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]*, 2017.4