

22. 熟練技能維持システムの開発と生産性向上に関する研究

－ 作業動線解析による生産能力維持と次世代建設生産システム －

株式会社 浅沼組
国土交通省
株式会社 浅沼組

○ 田村 泰史
稲垣 孝
桑原 茂雄

1. はじめに

建設作業現場において、熟練技能者が培ってきた“カンやコツ”といったものは、現場生産能力の重要な財産であり、組織運営による利益やその目的物の品質および建設業の継続的な発展に大きな影響を与えるものである。

現在の我が国の少子高齢化進展による技能伝承の停滞や建設生産システムの低下が生産能力維持の障害となり、生産性の低迷に拍車をかけることになる。よって、建設業における今後の中長期的な対応が課題となる¹⁾。

そのような背景により、田村ら²⁾はIT技術の活用で熟練者の技能を記録し、作業特性の見える化により構築された管理ツールを活用することで生産性を維持させる、「熟練技能維持システム」の開発を先行研究として継続している。

具体的には、工場の製造ラインでの生産性改善に活用されている、「映像による動線解析技術」の建設作業現場への試行として、屋外作業の映像データを解析し作業特性を定量化する。その作業特性の分析により技能維持や効率性のポイントを提案するものである。先行研究では、実現場での撮像モニタリングの実施とシステム構築の検証を行った結果、作業特性のモデル化などシステム基盤の構築には概ね成功をみたが、現地におけるビデオカメラでの撮像モニタリングでは、仮設物等による不可視部への対応と屋外作業特有の環境影響（影による照度変化等）による解析誤差に対する計測精度向上対策が課題となった。今回の研究は、その課題への対策として、衛星測位システム(GNSS)によるモーションセンサーを使用したモニタリング技術の開発により、計測精度向上とシステム汎用性の具現化を目指すものである。

本論では、改善された新たなモニタリング手法とそのシステム開発について報告し、システム活用による技能伝承と建設生産性の考察および次世代建設生産システムへの提案について述べたものである。

2. 熟練技能維持システムの概要

2.1 システムの定義

先行研究により構築された「熟練技能維持システム」の定義について述べる。

当該システムは、映像データの動線解析で技能の暗黙知を形式知化することにより、技能伝承と生産性の向上を図るものである。

2.2 開発の概要

(1) モニタリング手法

施工状況を撮像し、工場等の生産性改善に使用されている、動線解析ソフトでの映像分析で出力された動線データを作業特性の管理ツールとして活用するものである。以下にシステムの出力媒体となる管理ツールの概要を述べる。

(2) 管理ツールの概要

①動線軌跡図

動線データを軌跡図として描画したものである。動線の混み具合や形状、重複状況により作業エリアにおける稼働率の低下要因等を映像とともに照合し改善のポイントとして抽出するものである。

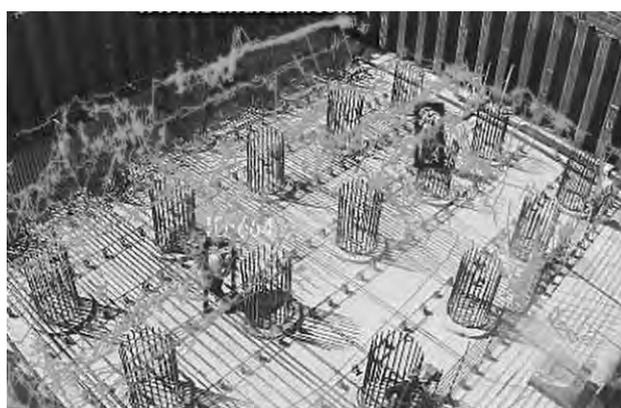


写真-1 動線軌跡図

②作業特性図

動線データにより、作業エリアの稼働率および進捗度を作業の特性としてグラフ化（作業特性波形図）したものである。繁忙期や出来高の推移が把握でき計画時の改善策抽出および効率化対策の

判断を補完させる管理ツールとなる。

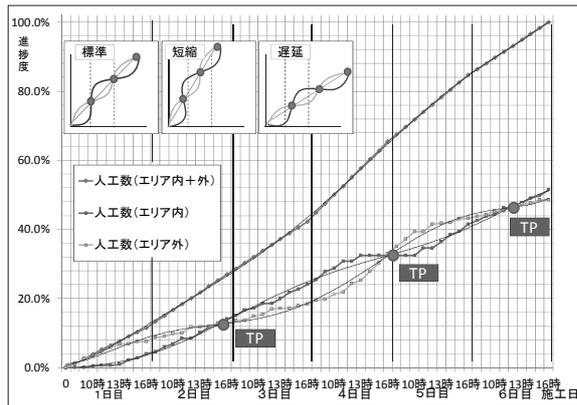


図-1 作業特性波形図

③進捗予測ツール

動線データによる作業特性を統計的手法で解析し、進捗における最適な人員配置や出来高の予測値を算出する。また、事前の予測をもとに、施工中の進捗状態と完了予測を照査することで、工程遅延リスクの低減とムダの発生を防止させる。

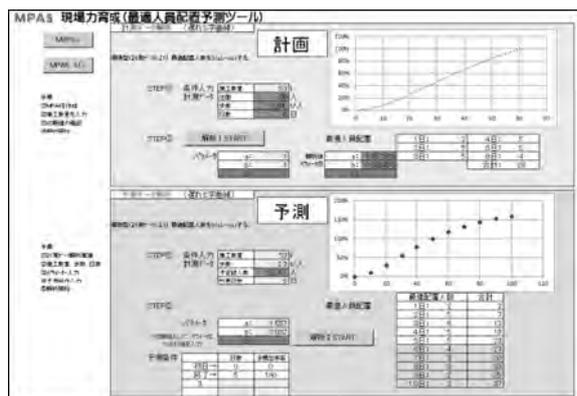


図-2 最適人員配置予測ツール

(3) 先行研究における課題（計測精度の向上）

課題として、計測精度の向上を目的とした、モニタリング手法と管理ツールの改善が挙げられた。

まず、モニタリング手法については、複数の作業員や広範囲な施工場所において撮像を行う場合、死角部分を補うために多数の撮影設備が必要であるとともに、その映像により複数の作業員を識別できる人物認識ソフトが別途、必要となる。また、照度等により画質が低下した場合、影の部分的人物として認識する等の屋外モニタリング特有の不具合の発生が判明したため、測定環境に適したモニタリング手法の選択が必要となった。

次に管理ツールの改善点としては、動線描画図のみでは、作業員の姿勢など動態の特徴が明瞭ではない。改善点の抽出時において動態の変化を判断しやすくするため、動線軌跡とともに作業員の行動特性（パフォーマンス）を表現できる管理ツールにより精度を向上させる必要がある。

3. 動態測定技術の開発による対策の実施

3.1 モニタリング手法（ロガーの開発）

先行研究の課題である、計測精度の向上対策として、衛星測位システムによるモーションセンサーを活用した動態測定の手法を考案した。

モーションセンサーは、3軸加速度センサーと3軸角速度センサー、GNSS（全世界的航法衛星システム）受信機から構成され、緯度経度や角速度等の計測情報をセンサー内のメモリに記録するロガーとして開発した。ロガーをヘルメットに内蔵することで作業員の位置情報と動態を詳細に計測できる構造とした。

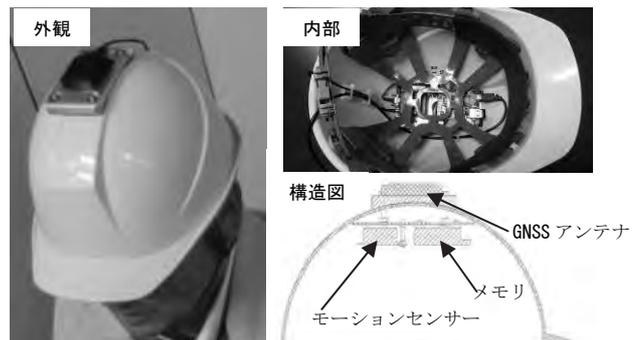


写真-2 ヘルメット内蔵式ロガー（外観・内部・構造図）

3.2 管理ツールの改善（パフォーマンス評価）

映像による動線軌跡図だけでは、ランダムな線描画の重複となり作業特性のポイント抽出が明瞭にならない場合がある。工場等の屋内作業では固定的な生産ラインに沿った作業形態であり、作業員の動線がほぼ定型化されている。よって、軌跡図において非効率な動作となる部分は、比較的明瞭である。一方、建設現場の場合では工場等と比較して広範であるとともに動作範囲の自由度が高い場合が多い。また、車両や重機械の稼働との競合もあるため、一見して定型化された動線とならない場合が多い。そこで、モーションセンサーの特性を活用し、動作の急激な変化等の行動特性を軌跡図に表示しパフォーマンス評価として判別することのできる管理ツールとした。

4. 新たなモニタリング手法による管理ツールでのシステム改善

4.1 システム定義の補足

先行研究での管理ツールにおいては、ポイント抽出に明瞭さが不足していた。また、そのポイントについても生産性向上の視点では達成度が明確でないため、適切な対策を見出すことができなかった。よって、「生産性向上」という漠然とした効果目標ではなく、リスクを事前抽出させる、「エラーを防止するシステム」として定義を補足することで生産の停滞を防止し維持させるものとした。

この定義を踏まえ、新たな管理ツールを構築することとした。

4.2 管理ツールと活用による効果

先行研究による3種の管理ツール(2.2(2)①～③)を基本として、新たなモニタリング手法により出力される管理ツールの概要およびその活用による効果について述べる。

①視線軌跡描画ツール

モーションセンサーによる動態(姿勢)計測で、上下左右の頭部の向きを定量化することにより作業者の視線を平面描画させる。これにより、作業者が動作中に注視していた箇所を推定できるため、その作業ポイントの分析により施工設備の改善を実施し安全性および施工性の高い施工環境を確保することが可能となる。また、点検作業等においては目視点検の記録として活用できる。

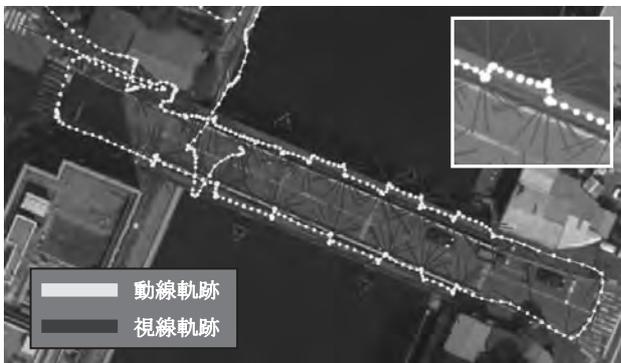


写真-3 動線軌跡図と視線軌跡図

視線軌跡は、動態計測による方位角(左右方向)と、ピッチ角(上下方向)を平面線の向きおよび長さを変化させ動線軌跡上に表示している。

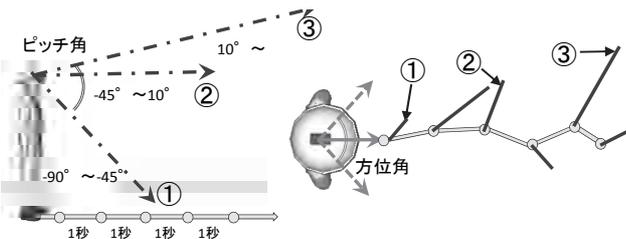


図-3 動態計測による視線方向の表示

②パフォーマンス評価ツール

建設現場における作業者の行動を観察すると、施工状態や難易度の変化、危険回避等の非正常行動の場合において、体勢や歩行速度、進行方向に特徴的な動態変化が生じていることが分かる。例えば、作業通路に支障物がある場合や重機械との接近の場合、作業者は危険を回避するため、迂回行動を行う。このとき通常の歩行に比べ速度や進行方向が急に変化する。このような特性により、作業者のパフォーマンス変化を軌跡図に描画させることでポイントの明瞭化を図り、前出の動線軌

跡図の効果的な表現手法として、エラー要因の抽出が可能となる。

システムプログラムでは、判別条件としての動態変化の度合いを自由に設定できるため、作業者の特性や習熟度、作業環境に応じた評価が可能となる。

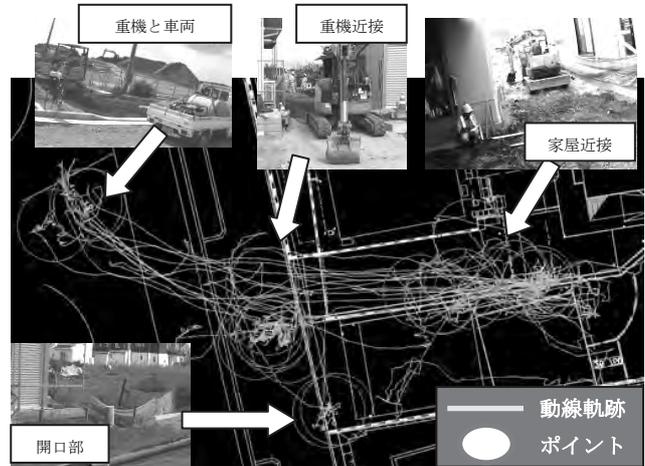


写真-4 動線軌跡図とパフォーマンス評価

③気づき改善ツール

映像等の管理ツールの観察記録と抽出された改善事項を集計し、気づき改善ツールとしてシステムに記録保存する。ここでは、不具合事例や施工のコツ等とともにモーションセンサーで計測された歩行距離、速度等も併せておく。このデータを蓄積する事で、事後のフィードバック資料として活用させるとともに、暗黙知を形式知化する教育ツールとしてナレッジマネジメントに活用し、次世代へのエラー防止ツールとして伝承させる。



図-4 気づき改善ツール



図-5 システム画面

5. システム開発の今後の課題

5.1 モニタリング手法における課題

モニタリング手法における課題として2点挙げられる。1点目は、ロガーの小型化による装着型への改良である。今回はヘルメット内蔵型としたが、ロガーを脱着可能な装着型とすることでより多くの作業員への適用と汎用性を向上させる必要があると考える。方法としては、センサー基板の改良と無線記録方式の採用でロガーの小型化を行う。

2点目として、センサーはGNSSによる受信方式であるため、屋内や上空制限のある場所、トンネル内では精度が低下する。他工種および維持管理における点検作業への適用を考えた場合、さまざまな条件に対応できる手法の開発が必要である。方法としては、ICタグによる追尾等の補填技術とのハイブリット方式の開発とともに、演算方式による位置補正プログラムの構築が必要である。

5.2 管理ツールにおける課題

出力される管理ツールは、モニタリングデータの加工によりさまざまなスタイルの媒体にアレンジすることが可能である。よって、解析対象の作業条件に適合させるツールとするために新たなプログラミングが必要となる。特にパフォーマンス評価においては、動態変化の設定条件をさらに細分化し、施工環境への柔軟な対応で精度の向上を図る必要がある。また、現時点では作業員の動作測定に主眼をおいているが、ロガーの小型化に伴い、施工機械や使用資材等の計測を可能とさせ、人物以外の多種多様な動線解析手法で、より俯瞰的な作業特性の把握が可能ではないかと考える。

6. 次世代建設生産システムへの提案

当該システムの活用により、次世代に向けた建設生産システムの活性化への提案を以下に述べる。

6.1 見える化したマニュアルとしての活用（計画時管理ツール）

映像と動線描画等の管理ツールによる視覚的情報を施工マニュアルとして活用し、ツールによる現場臨場感の体感で習熟度を向上させる。

その効果として、次世代技術者の教育ツールとすることで技能伝承が促進されるとともに、技能による国際市場への参入も可能となる。また、IT活用による建設業の魅力再生で、若手技能者や従事者の増加により担い手確保と育成が促進される。

6.2 統計予測等によるエラー防止ツールとしての活用（施工時管理ツール）

工事工程、最適人員配置を計画時に予測し、そのデータをもとに施工時との乖離の見える化で、ムリやムダの排除となり工程遅延リスクの低減が可能となる。その効果として、施工時の予測と検証によるPDCAの実践を定量化した管理手法とし

て活用できるため、効率的で質の高い品質管理を維持できる。また、施工条件の改善にもなるため、労働安全環境が改善し安全性と生産効率も向上する。

6.3 グラフと映像等による施工記録としての活用（完成時管理ツール）

管理ツールや映像データ等を電子媒体としてのパッケージ化で記録保存を行うことにより、国交省が導入を推進中のCIMシステムへの追加が可能となり後のフィードバックが容易になる。

その効果として、記録をデータベースへ蓄積することにより、類似工事の施工計画および維持管理、更新工事への設計計画資料として活用することが可能となる。また、記録化されたデータは作業現場での実態に即した施工情報であるため、効率化を目的とする新技術開発にも活用でき建設業全体の技術力向上に繋がる。

7. おわりに

建設業における生産能力維持の対策として、建設作業現場における動態測定と動線解析で作業特性を見える化した管理ツールシステムの研究事例を示した。さらに、その管理ツールの活用による効果と次世代建設生産システムへの適用について考察した。今後は、その効果を詳細に実証するため、モニタリング手法および管理ツールについての更なる改善と汎用性の向上で、より多くの現場モニタリングデータの蓄積が必要になってくると考える。

生産現場における技能は、熟練者の指導と自己研鑽によって習熟し磨かれてゆくものである。そしてその技能伝承の資質が生産物の品質そして業界全体の風潮を堅持してゆくものであると考える。その観点からすると、技能伝承や生産能力の維持は、受け継ぐ方はもとより、受け継がせる方の責務も重いものである。これを維持させるためのコツは、ツールの活用によるミクロ的マネジメントだけではなく、組織やシステムをうまく運用させるマクロ的マネジメントとの両輪の稼動を継続させることであり、それが次世代への財産になると考える。当該システムが、次世代建設生産システムの効果的な運用の一端になれば幸いである。

参考文献

- 1) 稲垣孝：作業動線解析を活用した熟練技能維持システムの開発について、建設マネジメント技術、2016年5月号、pp.37～43、2016
- 2) 田村泰史・稲垣孝・桑原茂雄・田中優：土木学会論文集F4（建設マネジメント）、Vol.71 No.4特集号、pp.I-131～I-138、2015