

# 熟練技能による建設生産管理システムの提案と 現場試行実験の報告 (Ai-MAP SYSTEM/Ai-SSS)

Decision-making system Supported by Skilled Skill.

田村泰史<sup>1</sup> 諏訪博彦<sup>2</sup>

Yasushi Tamura<sup>1</sup> Hirohiko Suwa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 株式会社浅沼組

<sup>1</sup> ASANUMA CORPORATION

<sup>2</sup> 奈良先端科学技術大学院大学

<sup>2</sup> Nara Institute of Science and Technology

**Abstract:** 現地一品生産を特徴とする建設生産は、設計図や手順書による管理のみでは完結できない場合が多い。気象条件や社会情勢など多様な変化を有する条件下における事業は、施工中に設計の時点では想定しきれない対応が求められる。新技術の活用により、様々な対応が可能になりつつあるが、最終的な判断が人のスキルによる意思決定であることは否めない。生産人口減少に伴う技能伝承の停滞への課題として、スキルの定量化とその再現を可能とするシステムへの要求が高まっている。そこで本研究では、建設生産の工程管理において熟練者の経験値による支援システムの開発を行い、現場試行実験によりその効果を検証した。

## 1 はじめに

建設現場における生産は、現地一品の特徴を有し施工中の不測事態への対応は、マニュアルだけでは処理が完結出来ず、熟練技能者のスキルによる補填で維持されている部分が多い。しかし、少子高齢化に伴う生産人口の減少により建設業における技能伝承が停滞し、スキルによる品質保持の体制は衰退しつつあるため、次世代の生産能力を確保させるために早急な対応が必要となっている。このような情勢を鑑みて、国土交通省をはじめ、建設関連分野では情報通信技術の活用による生産管理や施工の自動化に関するシステムの開発が進められている。



図 1: 建設現場の状況

建設現場における生産は、品質(Q)、原価(C)、納期(D)、安全(S)を管理の基本要素のもと運営されており、施工中はそれぞれのトレードオフを把握し、

工事完成までバランスのとれたマネジメントの継続が要求されている。現地一品生産である建設生産は、顧客要求による工期内でのマネジメントの展開となるため、その工程管理不足は他の基本要素への影響も大きいものとなる。

建設現場の工程管理は、作業フローのスケジュール管理が主要となり、計画時に策定したスケジュールを生産の進捗に合わせて遅延防止対策などにより速度調整が行われている。しかし、実際の生産現場では気象条件の変化(豪雨災害等)や想定外の施工条件の変化(土質状態の変化)等により、当初計画の手順や標準的なマニュアルにおける手法では迅速な対応ができない場合が多い。その原因は、建設工事が多くの材料や機材による稼働からなるものであり、かつその多くは屋外により展開されることが要因となっている。また、建設工事は比較的に規模が大きいリソース(4M: 人, モノ, 資金, 設備)のマネジメントにより成り立っているため、対応の遅れ等による工程遅延は、周辺環境への影響(水質汚濁や交通障害など)や税金等の公益に重大な影響を及ぼすこととなる。これはダムや新幹線、高速道路などの大規模な社会インフラ整備事業のみではなく、地域の環境整備等も含め規模の大小に関わらず社会資本の生産行為の全てが対象となるものであり、それらを管理することが建設技術者の責務として掲げ

られている。

それらの工程管理手法においては、計画時に策定したスケジュールを生産の進捗に合わせて速度調整を行うとともに、天候や施工環境の変化に対する工法変更等の対応は、標準的なマニュアルに沿うとともに、技術者の迅速な状況判断による意思決定が必要である。その技術者のスキル、特に熟練者による伝承の停滞が、生産人口の減少に伴う問題点となっている。その対策として、建設業においても熟練者の技能を定量化させ、技能伝承に活用させる取り組みは多く行われてきている。同様に筆者らも、次世代の建設生産性向上対策として、熟練者の技能伝承の活性化に着目し、匠のアーカイブシステムと称した“アイマップシステム(Ai-MAP SYSTEM)”の研究開発を継続している[1]。当該システムは、組織が古から培ってきた希少の施工データをもとに様々なセンシング手法により、技能のアドバイス等のデータを採取し、次世代の生産管理者の適切な意思決定を支援するためのシステムとして開発中である。本研究においては、システムを構成する工程管理ツール“アイエス(Ai-SSS)”による管理手法についての検証を行う。そのツールは、工程管理における熟練技能者の勘やコツの再現を目指し、施工管理のポイントを熟練者の実績データと統計分析により抽出させるものである。具体的には、生産関数を活用した独自のバイオリズムモデルにより管理ポイントを抽出し、生産現場のデータをもとに条件変化における対策への意思決定を未習熟者に支援させ、エラー防止による生産能力維持と生産性向上を確保させるものである。今後の建設生産における工程管理手法において、熟練者の意思決定を再現させ、次世代の技術者の支援と、その感覚をもとにしたスキルの継承技術が求められていると考える

以上の問題意識のもと、本研究では、統計的手法による工程管理として、過去データに基づく予測システムを開発し生産現場における生産能力維持への効果についての検証と実際の作業現場における試行結果および今後の課題について報告する。

## 2 関連研究

本章では、建設業における統計的工程管理技術に関する関連研究について述べる。

建設工事における工程管理は、前述の通り、工事の運営の基本となるものであり、時間軸と作業フローを作業環境条件に合わせて組み合わせたものを工程表として表記し、運営の指標をしている。効率的な運用を継続させるためには、生産モデルとしてコ

ントロールすることが重要であり、鈴木ら[2]によるネットワーク工程表による統計的管理モデルや、海外の建設業で展開されている猪熊ら[3]のリーンコンストラクション、森田ら[4]による適切な工期設定モデルについての提案がされてきた。しかし、これらの新しい管理手法は、主に建設工事における設計計画時に活用されることを想定されたものである。

計画時における工程管理は、施工時への指標を目的にするとともにコストなどの事前のリソースの配分を予測するものとなる。この指標をもとに施工を推進させることになるが、建設現場の特性より条件変化や仕様変更などの対応を含んだ管理の仕組みは人の判断により支援させることが必要であり、今後の人材不足の課題を踏まえても判断の見える化により、熟練者だけではなく未習熟者においてもある程度の確かな判断が可能となるような意思決定の支援システムの提案が必要である。しかし、今まで筆者が把握している中で、熟練者の勘を再現させ、意思決定を支援できる方法については、言及されていない。以上の一連の研究成果を踏まえて、本研究では熟練技能のデータを活用した建設生産管理システムの構築を目的とする。

## 3 提案システム

建設工事を管理する工程表は、バーチャート工程表、ガントチャート工程表、ネットワーク工程表などが一般的であり、作業の順序や所要日数を明記させることでリソースの配分を明確にし、工期における生産の履行および進捗の管理に使用されている。それらは、作成が簡易であり生産管理の基本ツールとして汎用化されている。



図 2:建設工事計画における工程表の種類

これらの工程表は、スケジュールを管理するという側面では効果的な手法であり、それぞれの作業フローにおける日数と前後作業の関連を明確に把握できるところがメリットである。しかし、輻輳するフローの相関性や管理の重要度等のポイントとなることは、この工程表のみでは判読することができず、他の作業手順書や管理者の感覚により見出すところとなる。このポイントの読み違いや新たに創出され

る支障箇所などへの対応が工程の遅延に繋がるものとなるため、遅延傾向を定量的に把握し進捗を予測させる手法が必要となる。したがって、提案システムでは、工程の定量的管理として、作業フローの曲線設定により遅延判定の閾値を設けるとともに、過去の工事実績等のデータにより熟練者の意思決定が必要となる管理のポイントを抽出し、エラー防止対策による生産性確保とデータ活用による気付き促進による技能伝承活性化の促進を目的とする。

### 3.1 システムの概要

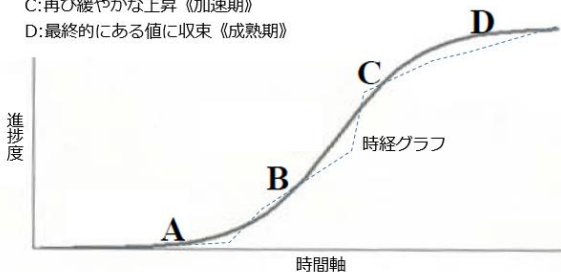
提案システムでは、作業フローを生産曲線へフィッティングさせ、その曲線による閾値管理と過去データをもとにした曲線の変化点を管理ポイントとし重点管理を行う。特徴としては、現地情報や施工記録の観察により進捗の予測を行うものであり、管理ポイントを重視することで熟練者の感覚を再現させる意思決定支援システムである。

構成要素として、3.2 生産曲線の設定、3.3 管理ポイントの設定、3.4 進捗の予測の3つの処理により行われている。それぞれの要素について説明する。

### 3.2 生産曲線の設定

工程管理を実施するうえで、遅延状態を定量的に把握するための閾値の設定が必要となる。筆者らは、その閾値の算出を成長曲線より見出す方法に着目する。概ね、過去の事例では工事の進捗はバナナ曲線と云われるS字曲線により表示されることが多いが、これは時間軸と出来高によるもので実際のリソース配分への判断はできない。提案システムでは、作業フローによる時経グラフを生産曲線へフィッティングさせた時間軸と進捗度により表示される。

- A:初期の緩やかな数値の上昇《準備期》
- B:上昇比率がほぼ一定値となる期間《成長期》
- C:再び緩やかな上昇《加速期》
- D:最終的にある値に収束《成熟期》



※生産関数と生産要素  
<https://wanna-be.work/production-function/>

図 3:生産曲線のイメージ図

曲線設置の特徴として、様々な日数の作業フローによる組み合わせをS字曲線の近似により定量化させるため、出来高金額の算出により確認を行うバナナ曲線とは異なり、実施日の時経グラフと閾値となるS字曲線との乖離で簡易的に判断をさせる。また、進捗に合わせて重点的に管理を行う場合は、イベント数を増やした曲線設置も可能であるため、より詳細な判断がしやすくなる。

### 3.3 管理ポイントの抽出

進捗の遅延を防止するためには、閾値となる曲線と時経グラフとの乖離を日々観察することが重要となるが、生産のリズムは一定ではないため、ある程度、予測の視点を持った観察が必要となる。つまり、生産曲線の全体のうち、ポイントとなる時期を事前に把握し、その作業フローを中心としてエラー防止対策を施すことで管理を効率的かつ的確に行うことが可能となる。管理ポイントの設定は、進捗率の正規分布( $\mu \pm \sigma$ )の値をポイント設置の基準範囲とし、過去の事例および筆者らの作業動線解析の研究[1]結果による稼働率の変化点を進捗の速度が変化するポイントとして設定する。

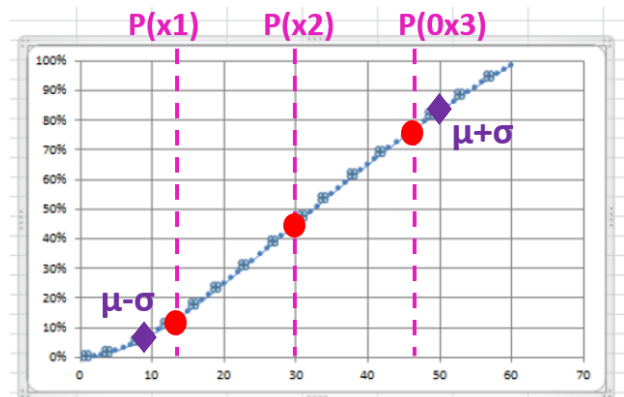


図 4:管理ポイントの設置

ポイント設定の特徴として、筆者らの動線解析研究による熟練者やチームのリーダーの行動分析の結果、生産性に影響を与える稼働率の分布値を管理のポイントとする。熟練者の行動パターンの変化点を観察することで、意思決定のタイミングを体感することができる。

### 3.4 進捗の予測

生産曲線と管理ポイントの設定により、進捗シミュレーション(図5)が可能となる。

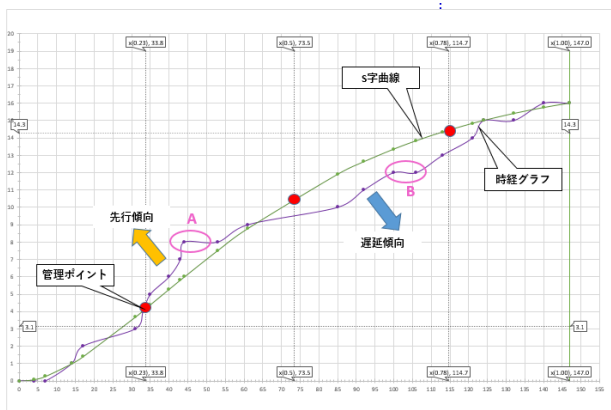


図 5: シミュレーションの例

このグラフをもとに、日々の進捗管理を行う。管理の特徴として、S字曲線を閾値として、進捗の先行および遅延の傾向を見える化させることができる。しかし、AおよびBがフローの停滞時期(待ち時間)となっているため、再開時期が延びるとAの場合は遅延傾向に一転することになる。熟練者の経験値では、このような進捗速度の変化を感覚で掴み、管理の強度を上げるなどの対策を施すことになる。

提案システムでは、S字曲線との乖離を表示するだけでなく、全体の進行を考慮し図6のような速度変化の算出で遅延等の傾向を評価する演算方式を組み込んでいる。

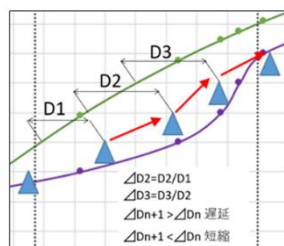


図 6:進捗速度の判定

## 4 提案システムの構築プロセス

提案システムは、図7の処理フローに表されるように施工実績データの入力と曲線のシミュレーションによる進捗の判定で工程管理を行う。

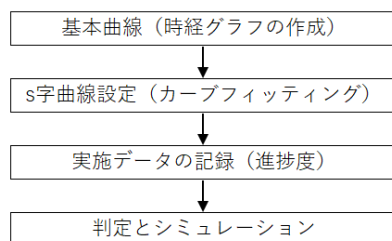


図 7:処理フロー

本章では、各フローについてシステム画面をもとに説明を行う。

### 4.1 基本曲線 (時系グラフ) の設定

基本曲線の設定として、作業フロー項目、所要日数、検査回数を図8の要素設定フォームに入力する。

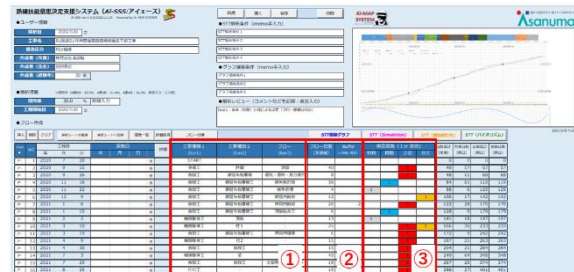


図 8:要素設定フォームへの入力

- ①作業フローの項目：工事種類や作業内容などフローを構成する項目を入力する。計画時には予測できなかったフローの発生については、行の挿入と削除が可能であり、フローを細分化させた管理で詳細な進捗管理ができる。
- ②フローの所用日数：所用日数の入力を行う。前後のフローで重複する場合は、Buffer として重複の日数を入力する。休日等の工事休止は、休止率(標準積算値では、28.5%：4週8休)の設定によるため入力する所要日数は実稼働日とする。
- ③検査回数：常にフローの終点で出来栄の確認を行うため、それを検査として回数を入力する。この検査の回数が当該システムでは進捗の目安となる。検査の内容は、材料、段階、立会、自主といった国土交通省の検査項目分類としている。

### 4.2 S字曲線設定(カーブフィッティング)

要素入力での時経グラフにより、S字曲線を近似させ、管理用のフォーマットとして図9に出力する。



図 9: 管理フォーマットによる S 字曲線の出力

- ①作業フローの表示：フォーマット内に作業フローのバーチャートを併記した。これにより、管理ポイント付近のフローを確認しやすくなる。

② バイオリズムモデル：時経グラフとS字曲線の相関を見える化させるためのグラフをフォーマット内に表示する。これにより、先行および遅延の傾向を事前に把握することができる。バイオリズムモデルは、時経グラフの6次近似式とS字曲線の乖離を表示したものを波形で表示したものである。

### 4.3 シミュレーションによる評価と管理

工事中の進捗管理として、進捗度となる実施データを入力し、進捗状況の観察や予測を行う。

挿入	削除	クリア	解析シートを取得	解析シートへ反映	履歴一覧	評価取得	フロー分類	
check	act		工程日	実施日		評価	工事種別 1 (h/m)	
			年 月 日	年 月 日				
□	1	2020	7	20	2020	7	20	START
□	2	2020	9	15	2020	9	11	準備工
□	3	2020	9	26	2020	9	30	仮設工
□	4	2020	11	16	2020	11	26	仮設工
□	5	2020	12	7				仮設工

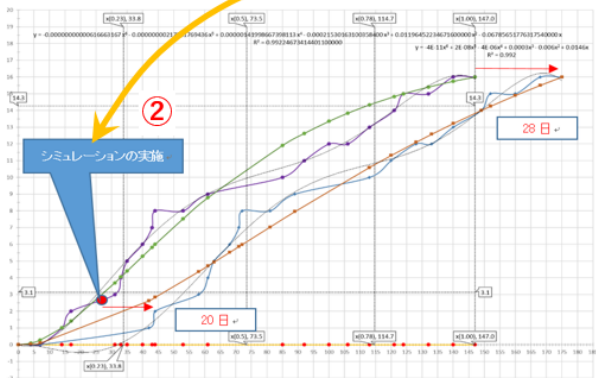


図 10:進捗の評価とシミュレーションの例

- ① 進捗評価：図 6 による演算方式で、現時点での進捗の状態を図 10 のように Notice (注意), Keep (良好) の表示で見える化を行っている。
- ② 再評価：Notice (注意) が連続する傾向にある場合に、実施データをもとに S 字曲線の再設定によるシミュレーションを実施する。

図 10 は、20 日の遅延状態で再設定を行った例である。この場合、最終の遅延は、28 日の出力値となる。当該システムによる解析では、休日や全体のフローの流れを考慮しているため、より具体的な日数として出力される。なお、シミュレーションの時期としては、Notice サインが 2 回連続した場合が適度と考えるが、事例のように管理ポイントの付近では状況によりシミュレーションの回数を調整する。このあたりが、判断の感覚を養うという意味でシステム活用によりスキル向上の効果になると考える。

予測による遅延の増大を防止することは重要だが、シミュレーション結果の管理として、管理ポイントにおいて作業現場のどのような情報やデータをもと

に判断を行ったのかを記録しておくことも重要である。そのデータの共有が今後の技能伝承の一端となる。なお、過去の実績より熟練者が建設現場の観察を行う際には、前述の品質(Q), 原価(C), 納期(D), 安全(S)の観点よりチェックを行うことが通例とされている。

## 5 データ収集実験

提案システムの妥当性および今後の改善等の検証のため、実際の建設工事現場でデータ収集実験を行った。本章では、収集実験の結果と検証により得た知見を述べる。

### 5.1 実験環境

実験環境となる工事現場は、茨城県鹿嶋市における道路橋工事のうち河川流域内に橋脚を築造する工事である。



図 11:実験環境 (茨城県鹿嶋市)

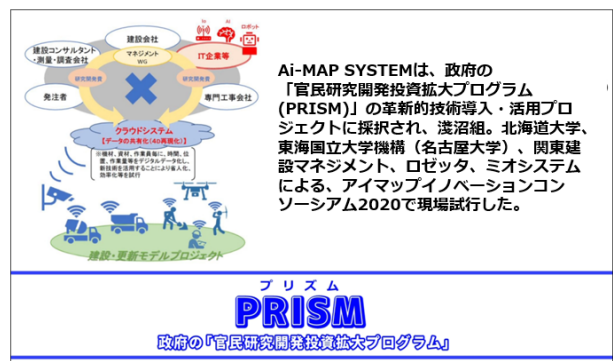


図 12:官民研究開発投資拡大プログラム(PRISM)

当該事業は、国土交通省が内閣府の「官民研究開発投資拡大プログラム(PRISM)」を活用して公募した「建設現場の生産性を向上する革新的技術」の採

択案件である。当該工事においては、様々なセンシングツールにより施工時の情報を採取し、AI（人工知能）やIoTによる次世代の生産性向上対策について検証するものである。そのツールの一つとして、本研究の提案システムの活用により工程管理の検証を行った。

## 5.2 収集データ

当該工事期間のうち、2020年7月から2021年2月にかけて、提案システムにより工程管理を実施した。

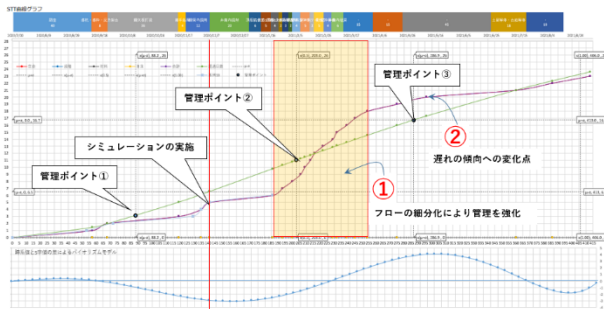


図 13:シミュレーションによるデータ検証

図 13 は、シミュレーションによる予測値の出力状況である。

- ① 1 回目の管理ポイントの後、遅れ傾向となったためシミュレーションを実施した。2 回目の管理ポイントで傾向の変化が予測されていたため、作業フローを細分化し検査の頻度を増加させ管理を行った。
- ② 3 回目の管理ポイントとして、終盤にむけて減速し、一部が遅れ傾向に転じることが予測されている。この部位は、大型の構造物の構築となる期間のため仮設構造などの再点検が必要であると考えられる。(現在、計画中。2020年3月現在)

## 5.3 予測による対応

2 回目の管理ポイントにおける遅延防止対策として、品質(Q)、原価(C)、納期(D)、安全(S)の分野における運用状況の確認を実施した。また、繁忙時期は点検業務が煩雑になり、安全や品質強度が低下する。そこで、遠隔通信システムの活用により外部者との点検状況の共有などにより管理の視点を増やす取り組みが効果的であった。特に、昨今のコロナ感染症対策において、人の動きが規制されている中でも、管理ポイントを明確にし、通信システム等の併用で臨場感のある情報の共有が効果的にできた。

## 6 結論

本稿では、熟練技能の再現を目的とした建設生産管理システムの提案と現場試行実験による評価を行った。提案システムは、構成要素と処理フローにより熟練者の判断を再現させ出力することを可能とした。現場実験では、システムによる管理ポイントと実施工におけるの相関性を確認できた。また、S 字曲線を閾値としたバイオリズムモデルによる見える化は、経験の少ない若手技術者にも視覚的に容易な判断が可能であることが現地の従事者からのヒアリングで確認できた。

今後の課題として、本研究で試行したシステムで様々な工種のデータ採取を行い、管理ポイントの設定およびシミュレーション時期の妥当性についての検証が必要であると考えられる。機能の拡張としては、今回の検証では作業フローが1つの工事種を対象としたが、実際はフローが重複する場合や併行して進捗する場合が多い。このようなユースケースへの対応方法についての改良が必要である。また、管理ポイントやシミュレーションにより活用した情報は、時間軸を伴った熟練者の意思決定の要素として機械学習への活用が可能となるような蓄積方法およびメタデータ化への開発を目標とする。

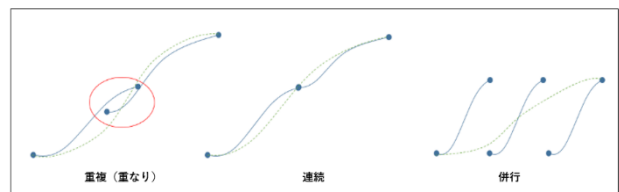


図 14:複合パターンの S 字曲線による検証

## 参考文献

- [1] 田村泰史, 稲垣孝, 桑原茂雄, 田中優: 土木現場における動線解析による作業効率化の研究, 土木学会論文集 F4 (建設マネジメント), Vol. 71, No. 4, pp. I\_131-I\_138, (2015)
- [2] 鈴木信行, 高崎英邦: 工程順守に影響を与える作業工種の抽出法に関する研究, 土木学会論文集 F4 (建設マネジメント), Vol. 68, No. 4, pp. I\_45-I\_56, (2012)
- [3] 猪熊明, 志村満, 小泉力: リーンコンストラクションの日本での適用性, 土木学会論文集 F4 (建設マネジメント), Vol. 70, No. 3, pp. 119-125, (2014)
- [4] 森田哲夫, 湯沢昭: 群馬県の土木工事における工期設定モデルに関する検討, 土木学会論文集 F4 (建設マネジメント), Vol. 74, No. 2, pp. I\_143-I\_153, (2018)