

建設現場における生産性管理データ収集・分析システムの精度向上

1122001 弘光太郎

指導教員：五艘隆志准教授

高知工科大学工学部社会システム工学科 建設マネジメント研究室

我が国の建設プロジェクトでは、契約条件変更による費用・工期延伸請求のプロセスにおいて、定性的・定量的な分析に基づいた請求が行われていないのが現状である。証拠書類に基づいた分析がなされ、これをベースに受発注者間で交渉が行われ、その記録が残されることでプロジェクトの透明性が確保されることとなる。特に生産性の変動に関する日々の記録を残しておくことは重要である。本研究では、これまで構築されてきた生産性管理データ収集・分析システムにつき、まず先行研究前任者の問題意識や我が国の契約形態の実態から、その必要性につき議論を行った。併せて、本システムの利便性と精度向上に関する取り組みを行った。

Key Words : *productivity improvement, work sampling,*

1. はじめに

1.1. 生産性管理データ収集・分析システムの必要性

建設プロジェクトの遂行には品質、時間、およびコストの総合管理が重要である。この総合管理は施工計画書・工程表・工事費内訳書（以下、「三点セット」と称する）に基づいて行われることとなる。三点セット書類の作成には正確な生産性データが不可欠である。そのため、正確な生産性データを継続的に取得する必要がある。

特に、国際建設プロジェクトにおいては、三点セットの各書類は契約図書として扱われることとなる。契約時点で想定される現場の諸条件を契約条件として設定し、その条件における生産性を考慮して三点セット書類を作成することとなる。施工段階において契約条件に変更（地盤条件の相違など）があった場合は生産性に変化が生じる。工事請負者はその結果として生じた費用増加や工期延伸について発注者に請求することとなる。その際、請求に必要なのは生産性に変化があったことを示す証拠書類である。こういった証拠書類は継続的な生産性データの取得が行われていなければ作成が不可能であり、請求が認められないこととなる。国際建設プロジェクトでは第三者である the Engineer（コンサルタント）がこれらの査定業務を行うことで、プロジェクトの透明性を確保している。

一方、我が国の建設産業は、発注者と請負者による二者構造の執行形態構造であると同時に、信義則に基づく問題解決が基本となっている。この状況を背景とし、これまでは詳細な生産性データに基づく請求がなされなくとも一定の費用精算がなされてきた。場合によっては発注者側内部の都合に合わせ、本来の費用増加の理由ではない項目として精算されてきた事例もある。こういった状況では生産性デー

タを継続的に取得するという動機は薄くなる。その結果、我が国の建設プロジェクトにおける生産性管理データの収集・分析は、未だ、現場の技術者達が個人データとして収集し、分析をおこなっている状況にあり、建設産業の共通システムとして確立されたものとはなっていないのが現状である。精度、信頼性といった観点からすると決して高いものとはいえず、国土交通省等の各発注機関が積算に用いている標準歩掛等も同様な精度のものといってよい。建設投資が 90 兆円を超えた 1990 年代までは事業量や施工単価が十分であったことから、こういった状況でも受発注者間で問題が表面化することはほとんどなかった。ところが 2000 年代に入り、建設投資が 50 兆円を割り込むような時期になると、品質欠陥の頻発や、受発注者間の契約紛争といった問題が発生してきている。また、近年は国内市場の国際化対応や、国内企業の海外展開といった課題も重要となっている。

こういった状況から、今後国内においても品質、時間、およびコストの総合管理、およびその基盤である生産性データの重要性が高まってくることが考えられる。

1.2. 本研究の目的

上記の現状から、建設工事における日々の生産性を把握することが極めて重要になってくるといえる。本研究は2003年に建設マネジメント研究室にて着手され、これまで継続して研究が行われてきた。本研究では、本研究をこれまで行ってきた前任者の視点を整理し、本システム構築の必要性を改めて確認するとともに、これまで構築されてきた生産性データの収集・分析システムの精度向上を行うものである。

2. 既往研究の整理

2.1 安里 (2003)

目的：ダンピング入札への対応策（適正価格の把握）

ダンピングの判断基準は適正価格であり、適正価格とは『どの建設業が行っても同じような単価となる価格』である。また適正価格を見出すには適正単価が必要であり、適正単価を見出すには現場に基づいた信頼性の高い生産性管理データが必要となり、収集結果(精度)によって適正単価に大きな影響を与えることが考えられる。しかし、発注者が行う適正価格算出には聞き取り調査で得た歩掛しか用いておらず、現場に基づいた正確な適正単価とは言い難い。受注者においても個々が独自の方法で収集・分析している状況にあり、建設産業の共通システムとして確立されていない。生産性管理データを科学的裏付けの伴った方法で収集・分析を行うシステムを構築することによって現場に基づいた作業歩掛を把握する。その作業歩掛から労務費を算出。最終的に材料費、機械費、経費などを計上することで、適正単価として算出することが可能となる。結果、信頼性の高い適正な工事価格の特定、更にはプロジェクトマネジメントの信頼性が向上することになる。

2.2 安田 (2005)

目的：建設コストの透明性向上

生産性データとは、労働力・機械・材料等の作業歩掛であり、建設プロジェクトにおいてコスト管理・スケジュール管理を行う上で重要なデータである。しかし、下請けへの分業化の進行や市場単価に基づく契約方式の導入を背景として、生産性データの収集・分析機能が退化、コスト管理機能が低下している。工程管理の妥当性・コスト管理の透明性等の問題を解決していくためにも生産性データの収集・分析システムの構築は建設産業にとって必須条件といえる。そこで、プロジェクトに必要な工事資源（労務・機械・材料）の労務に関する管理手法を高度情報処理技術を用いて、労働者の位置と動向をリアルタイムで把握し、建設プロジェクトの生産性データ(作業歩掛)の収集と分析を行うシステムの構築を行う。したがって、国内建設プロジェクトの建設コストを明確化するとともに国民の信頼性を取り戻すためにも本システムは必要である。

3. 契約条件変更における生産性管理データの活用

3.1 生産性計画

当初の生産計画を立てる際に現場の作業歩掛が必要となる。現場の出来高・労働資源投入量・作業状況を日々のデータとして取得していることで現場の実態に基づいた生産性が把握でき、必要な工事資源量を算出する。

3.2 事実確認

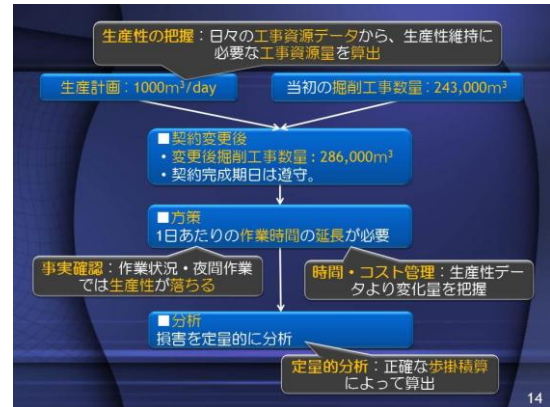
問題が発生した際に、生産性の変化がデータとして蓄積されていればこれが事実を証明する根拠となる。この事実に基づいた定性的・定量的分析を行うことで、請求基盤に論理性が確保される。

3.3 スケジュール・コスト管理

収集した生産性データから、契約条件変更に伴い、時間・コストにどれだけの変化が見込まれるかを算出する。

3.4 定量的分析

変更後の生産性維持に必要な方策とそれに要する費用を定量的に算出する。



4. これまで構築されてきたシステム概略

4.1 井本(2010)

4.1.1 システム概要

既往研究において、“RFIDシステムを用いて労働仕事量を把握する方法は、余分な作業活動や生産性に寄与していない作業員の動向を把握できず、各作業員がどのような状況で当該作業に携わったかを検出するシステムを備えていない”と述べられている。本システムは、GセンサとZigBee無線通信機能が一体化した端末を各作業員のヘルメットに装着し、振動パターンと位置情報を把握する。各動作それぞれの特有の振動パターンと位置情報から、直接生産動作、補助支援動作、作業遅延動作を把握する。併せて、調査員によるワークサンプリング調査も同時に行う。本システムによる生産性分析の結果と調査員によるワークサンプリング結果とを照合し、システムの改良を行うというプロセスを繰り返すことで、精度の高い労働生産性データ収集・分析システムの構築が可能となる。

4.1.2 現状の精度

図4-1 自動判別結果とワークサンプリング結果比較 (2010年3月11日)

Manual sampling	Automated sampling 結果										計	精度
	1.Dir	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	3.2	3.3	3.4	合計		
1.Direct Wk	240	7	23	0	0	0	0	1	2	273	87.9%	
2.1Read Pl	1	1	0	0	0	0	0	1	0	3	33.3%	
2.2Travel	7	0	12	0	1	2	0	0	1	23	52.2%	
2.3Transpo	4	0	1	0	0	0	0	0	0	5	0.0%	
2.4Tool/M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
3.1Late Sta	1	0	0	0	0	16	0	1	0	18	88.9%	
3.2Waiting	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
3.3Person	0	0	1	0	0	0	0	3	0	4	75.0%	
3.4Break	5	0	2	0	0	0	0	0	0	56	63	88.9%
合計	258	8	39	0	1	18	0	6	59	370		

4.1.3 課題

- ・動作加速度の卓越周波数確認を目的とした分析時間の短縮
- ・新機材の動作確認・データ取得
- ・精度向上プロセスの実施

・移動動作における詳細な位置情報の考慮

5. 解析プログラムの利便性向上

本システムでは、データ収集後に作業員の動作加速の卓越周波数の有無を確認することを目的としたフーリエ解析を行う。井本(2010)は、この計算をExcelのFFT機能を用いて処理しており、作業員による1日分の作業の解析に約3日を要していた。本研究では、VBA(Visual Basic for Applications)を用いたFFT解析用プログラムを開発し、作業員による1日分の作業の解析時間を数分程度に短縮した。また、フーリエ解析結果のグラフ化・卓越周波数有無判別プログラムも開発しこれらも解析時間の短縮に至った。

6. 建設現場における生産性データ収集・分析

6.1 現場実験

実験日：平成23年10月15日・11月05日

実験場所：高知工科大学 武道場建設現場

計測時刻：10:30~17:00

6.2 実験方法

計9名の作業員に加速度センサと位置情報システム(ZigBee)のエンドデバイスを装着し、データ自動収集を行った。同時に記録員が各作業員の作業状況を記録した。実験後、計測器にて取得したデータと記録した作業内容を照合し、精度向上を行った。

6.3 取得データ

- ・現場作業員(型枠工)の加速度データ
- ・現場作業員(型枠工)の位置データ
- ・現場作業員(型枠工)のワークサンプリングデータ

6.4 現状のシステムの精度検証

井本(2010)で構築された解析手法に則り、取得したデータを分析した。

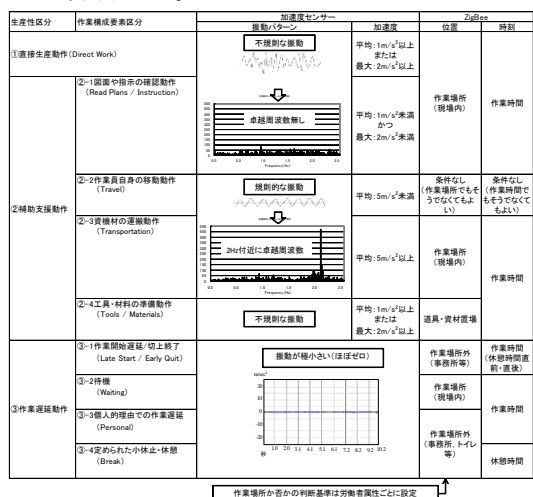


図 6-1 作業動作区分判別基準 井本(2010)

図 6-2 は 2010 年 10 月 15 日に取得した作業員(型枠工)1名の作業区分を自動判別した結果である。ワークサンプリング結果の約5割を1.DirectWork(直接生産動作)が占めているが、実際の現場でも作業員は終始止まることなく直接生産性に関わる動作を

見せており、ワークサンプリング結果と自動判別結果が一致したのは98%であった。計測機によって1.Direct Workと判別できたのは98%ということであり、1.Direct Workに関してはほぼ正確に判別できることが分かった。

2.2Travel(作業員自身の移動動作)、の精度は40%程度であった。2.3Transportation(資機材の運搬動作)においては判別しきれておらず、移動に関する自動判別は精度確保が難しいことがわかる。移動動作を1.Direct Workと誤判別している原因として、移動動作の判別基準となる卓越周波数が見られなかったことが挙げられる。当日の現場は足場上での型枠作業であったため、移動距離が小さく、歩行による2Hz付近の卓越周波数が得にくい状況であったことが考えられる。それに加えワークサンプリング自体の精度に問題がある可能性も指摘できる。移動に関しては調査員によって記録に個人差が見られるため、記録精度が判別精度の低下に影響していると考えられる。3.4Break(定められた小休止)については加速度計から取得された加速度波形のみで判断せず、ZigBee機器により取得した位置データから“作業時間外における現場外への移動”を把握することで高い精度を確認できた。これらの結果から図6-3では判別基準に位置情報による判別を加え、改良を施した。

図 6-2 自動判別結果とワークサンプリング結果比較 (2011年10月15日)

Manual sampling 結果	Automated sampling 結果										計	精度
	1.Direct	2.1R	2.2T	2.3T	2.4T	3.1L	3.2V	3.3P	3.4B	合計		
1.Direct Work	194	0	4	0	0	0	0	0	0	0	198	98.0%
2.1Read Plans/Ins	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	0.0%
2.2Travel	13	0	9	0	0	0	0	0	0	0	22	40.9%
2.3Transportation	30	0	4	0	0	0	0	0	0	0	34	0.0%
2.4Tool/Materials	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
3.1Late Start/Early	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
3.2Waiting	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
3.3Personal	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0.0%
3.4Break	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	89	94.7%
合計	274	0	19	0	0	0	0	0	0	0	89	382

7. 判別基準の改良による精度向上

判別基準を改良した結果を図6-3に示す。改良点としては、移動動作に関して詳細な位置情報を加えることを行った。2.2Travelは、作業エリア間の移動を判別基準に加えることによって、約10%精度が向上し、2.3Transportation に関しても資材置き場への移動を判別基準に加えることで、一部判別できるようになった。移動動作に関しては、今後も精度向上の余地がある。位置情報に関しても、データ上では数分間に細かくエリア間を移動していることが確認できており、これら一つ一つが移動であるかないかを判別するのは難しい。今後は、加速度による判別基準の改良とともに、明確な移動動作に対する定義が必要となる。

また、2.1Read Plans/Instruction (図面や指示の確認動作)や3.3Personal(個人的理由での作業遅延)

といった項目については、ワークサンプリングを行う調査員によっても個人差が生じてしまっているため、これらの判別基準に関して統一化を図ることが今後の検討課題であるといえる。

図6-3 改良後 自動判別結果とワークサンプリング結果比較(2011年10月15日)

Manual sampling 結果	Automated sampling 結果										計	精度
	1.Dir	2.1F	2.2T	2.3T	2.4T	3.1L	3.2V	3.3F	3.4E	合計		
1.Direct Work	194	0	4	0	0	0	0	0	0	0	198	98.0%
2.1Read Plans/Ins	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	0.0%
2.2Travel	11	0	11	0	0	0	0	0	0	0	22	50.0%
2.3Transportation	24	0	4	6	0	0	0	0	0	0	34	17.6%
2.4Tool/Materials	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
3.1Late Start/Early	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
3.2Waiting	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
3.3Personal	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0.0%
3.4Break	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	89	94.7%
合計	266	0	21	6	0	0	0	0	0	0	89	382

8. まとめと今後の課題

8.1 本研究の成果

8.1.1 作業員の動作加速度の卓越周波数の有無を確認することを目的としたフーリエ解析における解析時間の短縮

Excelに付属するVBA(Visual Basic for Application)を用いたフーリエ解析プログラム(加速度情報から周波数への一括変換)を開発し、解析時間を大幅に短縮した。その他にもフーリエ解析結果のグラフ化プログラムや卓越周波数有無判別プログラムも開発した。

8.1.2 精度向上プロセスの継続実施

井本(2010)で構築された判別基準プロトタイプは、新機材においても比較的高い精度を持つことが分かった。

8.1.3 新開発の計測機器を用いたデータ取得

新機材は加速度・位置情報の両計測器とも問題なく動作し、現場においても一定の精度を保ってデータ取得が行えた。

8.1.4 位置情報の活用方法の再検討

新判別基準に詳細な位置情報を付加することで、2.2Travelは10%、2.3Transportationは17% 向上した。

8.2 本研究の課題

8.2.1 ワークサンプリングの精度向上

現在の精度確認方法は、調査員によるワークサンプリング結果を正として自動判別結果と比較し、精度を図っている。しかし、今回の実験においてもワークサンプリング結果は必ずしも正ではなく、各調査員の個人差が生じている可能性が見出された。ワークサンプリング調査においても一定の精度を保つことが重要であり、今後は事前に各作業区分について正確に把握し、作業員の動向を分類するワークサンプリング取得トレーニングを行うことで測定個人の個人差を是正していく必要があると考えられる。

8.2.2 判別基準の改良

今回の改良点として、位置情報を加えることによって、移動動作に関する2つの作業項目について精

度が向上した。一方、2.1Read Plans/instructionや2.2Travel、2.3Transportationの判別においては新機材の導入によってGセンサのデータ取得の基準値が変化したため、結果、前機材で構築した判別基準では誤判別する形となった。よって今後の研究では加速度についても判別基準を新たに構築する余地があると考ええる。

8.2.3 現場における機材の配置

今回、判別が難しかった移動動作(2.2Travel、2.3Transportation)に関しては、ZR(ルータ)の配置を変更することでより明確な移動が位置情報により取得できると考える。したがって、今後の現場実験においては、事前に現場に応じて配置箇所を考慮する必要がある。

8.2.4 プロジェクトマネジメントソフト(MS Project等)との連動

契約管理業務の基盤ツールとなるプロジェクトマネジメントソフト上で現場の生産性データを出来高として反映することで、上記データに基づいたコスト・スケジュールを一括管理を行うシステムの構築が今後求められる。

参考文献

- 1) 草柳俊二「21世紀型建設産業の理論と実践-国際建設プロジェクトのマネジメント技術-」(株)山海堂。
- 2) 安里哲平：建設現場における高度情報処理技術(IT)を活用した生産性管理データの測定技術に関する研究、高知工科大学大学院工学研究科基盤工学専攻社会システム工学コース修士論文、2002年度修士論文
- 3) 安田陽介：建設現場における高度情報処理技術(IT)を活用した生産性分析システムに関する研究、高知工科大学大学院工学研究科基盤工学専攻社会システム工学コース修士論文、2005年度修士論文
- 4) 岡田茂：建設プロジェクトマネジメントに適用する高度情報処理技術(IT)活用による生産性データ分析に関する研究、高知工科大学大学院工学研究科基盤工学専攻社会システム工学コース修士論文、2007年度修士論文
- 5) 越智淳：建設現場におけるGセンサとZigBeeネットワークシステムを用い、生産性管理データを収集・分析するシステム構築に関する研究、高知工科大学大学院工学研究科基盤工学専攻社会システム工学コース修士論文、2009年度修士論文
- 6) 井本浩平：建設現場における生産性管理データ収集・分析システムの精度向上、高知工科大学大学院 工学研究科基盤工学専攻社会システム工学コース修士論文、2010年度修士論文