工事管理支援システムに蓄積される生産実績データの分析方法

自動化工法の搬送実績におけるケーススタディ

ANALYSIS OF CONSTRUCTION PROGRESS DATA IN COMPUTER-ASSISTED
CONSTRUCTION MANAGEMENT SYSTEMA case study of stored data in material handling management system
for automated construction system

土橋 稔美*, 塚越 修**, 坂野 弘一***, 阿部 達也****

Toshimi DOBASHI, Osamu TSUKAGOSHI, Kouichi BANNO
and Tatsuya ABE

Application of the computer-assisted construction management system in site, stored many kinds of construction progress data in computer. The stored data is expected to be used in construction planning phase, but the useful analysis for the stored data does not exist. The goal of this study is to establish the useful analysis for the stored data. This paper showed one kinds of analysis for the stored data of material handling in finishing work and equipment installation, in the automated construction system. We proposed the analysis based on the characteristic of the stored data, and the process of analysis from whole to detail. As a result, the methods are confirmed to be effective in feedback of planning of material handling in finishing work and equipment installation.

Keywords: Computer-assisted construction management system, Construction progress data, Material handling, Finishing work, Equipment installation

工事管理支援システム、実績データ、搬送、仕上工事、設備工事

1. はじめに

総合建設業各社は工事管理業務の効率化や情報の共有化・統合化のために、モデル現場を中心に以下に示すサブシステムを含む工事管理支援システム（または現場 OA ツール）を導入してきた^{1)・2)}。

- ・専門工事業者と日々実施する安全工程会議を効率化する様々な会議支援用ツール、例えば作業指示や予定・実績の職人数を把握する作業手配・調整システム、揚重機の予約調整システム
- ・月間、週間等で工程を管理する工程管理システム
- ・資材別に搬入・搬送を管理する搬送管理システム 等

現在は、一般現場にも工事管理支援システムが導入されつつあり、工事管理の中で入力されたデータがシステムに蓄積されている。導入するサブシステムによって蓄積されるデータは異なるが、例えば作業別の労務工数や資材毎の搬送回数等の実績である。この実績データの特徴は、従来の日報等と異なり、加工・分析が容易なデジタル化されたデータにある。

本研究では工事管理支援システムに蓄積されるデータを研究対象とするものであり、そのデータを「デジタル化された生産実績データ」（以降、単に生産実績データと示す）と呼ぶ。工事管理支援システムの本来の目的は作業所での工事管理者の業務を支援するもので、生産実績データの蓄積は副次的な効果と言える。しかし、生産

実績データは工事管理支援システムの改良としての活用のみならず、施工計画の精度向上等を図るための基礎データとしての活用が期待される。生産実績データを施工計画等にフィードバックするにはその生データを保管するだけでなく、工事の実績が把握し易いように分析しておく必要がある。しかし、その詳細な分析方法は明確化されていないため、工事管理支援システムの普及に伴い生データからの分析方法の確立が望まれている。

2. 既往の研究

これまでの研究は以下に示す2つにまとめられる。

(1) 現場調査による施工実績の収集・分析に関する既往研究

施工実績を詳細に調べる場合、調査目的を明確にした現場調査を行う。例えば、作業別の労務工数や作業・動作時間を調査する作業能率測定、資材毎の搬送回数調査等である。以上の現場調査による施工実績の収集・分析は、これまでに多くの研究が行われている。それに対して、本研究の対象である生産実績データは工事管理支援システムに蓄積される実績データであり、現場調査とはデータの収集方法が異なる。

(2) 工事管理支援システムに関する既往研究

工事管理支援システムの研究・開発は多くの報告がなされており、

* 鹿島技術研究所 主任研究員・工修

** 鹿島建設総事業本部建築技術本部 次長

*** 鹿島建設総事業本部建築技術本部 課長・工修

**** 鹿島建設総事業本部建築技術本部 課長代理

Senior Research Engineer, Kajima Technical Research Institute, M. Eng.

Deputy General Manager, Building Construction Technology Div., Kajima Corporation

Manager, Building Construction Technology Div., Kajima Corporation, M. Eng.
Deputy Manager, Building Construction Technology Div., Kajima Corporation

システムに蓄積される生産実績データの作業所内での集計はよく行われている。しかし、施工計画にフィードバックするための生産実績データの分析方法を提案している研究は見あたらない。

3. 研究の目的

本研究は工事管理支援システムに蓄積される生産実績データの分析方法の確立を目指している。本報の目的はそのケーススタディとして、工事管理支援システムのサブシステムである搬送管理システムに蓄積される生産実績データ、すなわち搬送実績の生データを対象にした詳細な分析方法とその有効性を示すことにある。分析対象は自動化工法（以下、AMURAD 工法と称す）の仕上・設備材の搬送実績とする。その理由は、1)自動化工法では一般に詳細な施工計画が必要とされ、施工実績のフィードバックが不可欠であること、2)仕上・設備材のこれまでの搬送実績は仕上・設備工事の部分データの存在がほとんどであるが、今回は工事全体にわたり詳細な搬送実績が得られたことによる。

なお、本報は既報³⁾に資材毎の搬送時間に関する分析の方法と結果を追加したものである。

4. ケーススタディの対象

4.1 対象工事の工法と仕上・設備材の搬送概要

(1)工法概要

ケーススタディの対象工事は一般的な事務所ビルである。表-1に建物概要を示す。本工事で採用されたAMURAD工法は、地上の固定工場で、建物を上階から順に完成させ、連続繰り返しのプッシュアップする工法である。図-1に示すように固定工場は、1)下層部の4フロア分とし、2)各施工階で躯体・仕上・設備の工事を行い、3)1サイクル終了時、固定工場の最上階が工事完了階となり、4)プッシュアップ装置により1フロア分だけプッシュアップすることで、固定工場から工事完了階がその姿を見せる。

サイクル工期は11日または12日である。本工事で固定工場の全フロアが稼働したのは第4、5の2サイクルである。以下、第4、5サイクルを「標準サイクル」と呼ぶ。

(2)仕上・設備材の搬送概要

仕上・設備材の多くは自動水平垂直搬送機器（以降 CARRY と示す）により、地上から目的階まで搬送される。車両から CARRY への積み替えはホイストクレーンを使用し、搬送先階での仮置き場までの運搬は台車等を使用する。外壁カーテンウォールはホイストクレーンで搬送して取り付ける。

(3)仕上・設備材の搬入・搬送上の制約

資材搬送は各階搬入を基本とし、盛替えを極力なくした。その理由は本工法の特徴である階別の順次完成、施工階における資材仮置きスペースに余裕がないためである。

サイクル工程内で仕上・設備材の搬送が制限される日は、鉄骨搬入が集中する1、2日目、ポンプ車が入場する8日目であった。その理由は、1)敷地が狭小かつプッシュアップ装置が建物外周柱に設置されることによる車両乗入の制限、2)躯体工事優先のため、仕上・設備材よりも躯体部材の車両入場を優先したためである。

4.2 搬送管理システムと蓄積される搬送実績データ

前述の搬入・搬送上の制約から、一般工事と比較して AMURAD

表-1 建物概要

用途	事務所
面積	建築面積：593.85㎡、延床面積：5,698.89㎡ 基準階床面積：505.19㎡
階数	地下1階、地上11階、塔屋1階
主体構造	S造、一部SRC造
仕上	外壁：アルミカーテンウォール 内装：OAフロア、システム天井

図-1 AMURAD工法の施工階

注1 同一業者で、同一荷種が2台以上の車両で搬入される場合

開始：1台目の車両の搬送開始時刻

終了：最後の車両の最後の搬送終了時刻

注2 白黒反転表示は、誤入力・未入力部分を分析時に修正した箇所。

図-2 搬送管理システムに蓄積された生データの例

表-2 搬送管理システムのデータ項目

データ項目	データ内容
日付	搬出入・搬送の日付
開始予定	1台目の車両の搬送開始時刻（計画）
開始実績	1台目の車両の搬送開始時刻（実績）
終了予定	最後の車両の搬送終了時刻（計画）
終了実績	最後の車両の搬送終了時刻（実績）
協力会社	協力会社名
荷種	積載された資材名
車種	車種（トン数）
台数	車両台数
搬出	搬出の場合は○
4.8t	ホイストクレーン4.8tの使用フラグ（使用：1）
CARRY	CARRYの使用フラグ（使用：1）
手運び	手運びのフラグ（実施：1）
開始階	搬送元の階（絶対階／固定工場内の施工階）
目的階	搬送先の階（絶対階／固定工場内の施工階）
回数	搬送回数

注 開始階、目的階について

・絶対階：階数での表示

・固定工場内の施工階：N～N+3階（図-1参照）

・開始階、目的階が「G」の場合は地上面を表す。

工法における仕上・設備材の搬送は詳細な計画と管理が要求される。そのため、搬送管理システムが導入された。以下にその概要を示すと同時に、システムに蓄積された搬送実績の生データの例を図-2に、そのデータ項目の内容を表-2に示す。

①本システムの目的は資材が計画通り搬出入・搬送されているか

を管理することである。

- ②対象資材は仕上・設備材だけでなく躯体部材も含む。
- ③仕上・設備材の搬送方法は CARRY、ホイストクレーン、手運びの 3 種類であり、そのすべてを管理対象とする。
- ④搬送管理システムのデータ項目は、表－2 に示すように搬送の日付、搬送の開始と終了の時刻（開始予定、開始実績、終了予定、終了実績）、協力会社、荷種、車両の車種（トン数）・台数、搬送方法、搬送回数、搬送先の目的階等の項目からなる。
- ⑤工事管理者は搬送日の前日に搬送時間の実績（表－2 の開始実績と終了実績）を除く計画データを入力し、実績データは図－2 に示すタイミングで搬送を専門に行う専従班がパソコンコンピュータで入力する。
- ⑥搬送管理の単位は、1 回の搬送毎でなく協力会社の搬出入資材毎であり、図－2 に示すように最初の搬送開始から最後の搬送終了で 1 セット（生データの 1 行）とするものである。

5. 搬送実績データの分析概要

5.1 搬送実績データにみる生産実績データの性質

図－2 に示した搬送実績データを参考に、生産実績データの分析上の性質をまとめると、以下に示す 5 つとなる。

(1) 実績データは既定のデータ項目からなる

工事管理支援システムはコンピュータ・システムであるため、蓄積される生データは既定のデータ項目からなる。したがって、分析は既定のデータ項目の範囲に限られ、分析の項目と方法を明確にできればそのプロセスを定型化できる可能性がある。しかし、データ項目が既定であることや実績データの標本数等の面で、統計的なデータ処理による分析方法の一般化が難しい場合も出てくる。

(2) 実績データは工事管理上必要な最少の入力項目からなる

工事管理支援システムの目的は実績データの収集・分析でなく、工事管理にある。したがって、実績データは工事管理上必要な入力項目からなるため、分析時には分析用のデータ項目の追加が必要になる場合がある。図－2 の生データの例であれば、工事やサイクル毎の搬送回数の分析には、生データに工事種別とサイクル番号のデータ追加が必要になる。

(3) システムの運用者と実績データの分析者は一般的に異なる

システムの運用者と生産実績データの分析者は一般に異なるため、分析者は実績データに隠された背景が理解しにくい場合がある。

(4) 実績データは誤入力、未入力のデータを含む

図－2 の修正箇所（白黒反転表示）に示すように、実績データには誤入力・未入力のデータが必ず存在すると考えられる。些細なこと、例えば半角と全角の違いだけでも異なるデータとして扱われる。したがって、分析の精度を上げるには明らかにわかる誤入力・未入力の箇所をできるだけ修正する必要がある。

(5) 現場調査とはデータ収集方法が異なる

施工実績を詳細に調べる場合、調査目的を明確にした現場調査を行う。例えば、作業別の労務工数や作業・動作時間を調査する作業能率測定、資材毎の搬送回数調査等である。それに対して、生産実績データは、工事管理業務の中で労務工数や搬送回数の実績を収集・蓄積する。一般的に、工事管理支援システムよりも現場調査の方が、範囲が限定された詳細なデータを扱う。

図－3 分析手順

表－3 分析対象サイクルの施工階

		(階)			
サイクル番号 固定工場 内の施工階	3	4	5	6	
N+3	(10)	9	8	7	
N+2	9	8	7	6	
N+1	8	7	6	5	
N	7	6	5	(4)	

注1 固定工場内の施工階：図－1 参照

注2 括弧付きはサイクルから除外される施工階。

5.2 搬送実績データの分析手順

前項の性質から、生産実績データの分析手順は図－3 に示すように表される。以下に各手順の内容を示す。

(1) STEP1：分析の目的と項目の設定

従来の工事と比較して AMURAD 工法では仕上・設備材の搬送が重要になる。本ケーススタディでの分析目的は仕上・設備材の搬送計画の精度向上を図るために、搬送実績の詳細な把握とする。「実績データは既定のデータ項目からなる」という生産実績データの性質により、分析項目は表－2 に示したデータ項目から分析可能な以下の 3 項目を設定した。なお、作業所における管理業務の中で一般に実施される集計（例えば搬送回数の業者・期間別集計）は分析項目から除外している。

A. 搬送回数、車両台数のマクロ分析

本分析の目的は、資材毎の詳細な分析を行う前に、搬送回数と車両台数のサイクルや工事種別毎等の内訳、サイクル内の経過日数毎の搬送回数等を分析することで、搬送実績の全体的な性質を把握することである。本報では搬送回数についての分析方法と結果を示した（6.1 節）。

B. 資材毎の搬送回数の分析

本分析の目的は、資材毎に詳細な搬送実績を把握することである。具体的には、資材毎の搬送回数からその占める割合が高い主要資材を求め、それを対象にした分析方法と結果を示した（6.2 節）。

C. 資材・車種毎の搬送時間と車両滞在時間の分析

本分析の目的は資材毎に搬送時間と車両の滞在時間を分析することで、搬送予定や車両搬入予定の基礎データを提供することにある。本報では搬送時間を取り上げ、B. で求めた主要資材を対象にして搬送時間の計画対実績の分析方法と結果を示した（6.3 節）。

(2) STEP2：分析対象の設定

分析対象とするデータ源は、搬送管理システムに蓄積された仕上・設備材の搬送実績の生データとする（図－2）。分析対象サイクルは標準サイクル（第 4、5）を含む第 3～6 サイクルとした。各サイクルの施工階を表－3 に示す。

(3) STEP3：誤入力・未入力データの修正

生産実績データの「実績データは誤入力・未入力のデータを含む」という性質から、分析精度の向上には誤入力・未入力データの修正が必要になる。本ケーススタディでは、半角・全角の混在やスペース等の誤入力データを修正し、搬送管理システムの管理者への問合せにより未入力データを修正した。その結果、352 件（図－2 の生データの行数）の生データに対し、修正後の分析可能なデータ件

数は326件となった。

(4)STEP4：分析用のデータ項目の追加

(1)のA～Cの分析を行うにはデータ項目が不足している。すなわち、生産実績データの「実績データは工事管理上必要な最少の入力項目からなる」という性質から、図-4に示す分析用のデータ項目の追加が必要になる。分析用に追加した新たなデータ項目は「サイクル番号」、「サイクル内日」、「搬送方法」、「搬出入区分」、「工事種別」の5項目である。

(5)STEP5：項目別の分析

(1)に示した分析項目A～Cについて、項目別に分析する。

①分析順序はマクロな分析からミクロな分析へ、すなわちA、B、Cの順とする。

②分析方法は、各分析項目の目的に合致した方法を設定する。

③分析結果の表示方法は結果の分かり易さだけでなく、分析意図を反映した結果の表示や分析処理の定型化の面で重要になる。

6. 搬送実績データの分析方法と結果

6.1 搬送回数のマクロ分析

6.1.1 総搬送回数の内訳分析

総搬送回数の内訳分析は、資材別よりも大きい単位（搬送方法別等）で、搬送回数の内訳をサイクル単位で算出・表示する方法である。搬送実績の生データからマクロ的に把握すべき内訳として、(1)搬送方法、(2)工事種別、(3)搬出入区分、(4)工事別の搬出入区分、の4項目の内訳分析を設定した。4項目の分析結果を図-5に示すが、以下では(1)搬送方法と(2)工事種別の内訳分析について説明する。

(1)搬送方法による内訳分析

本分析の目的は、搬送方法毎の搬送回数をサイクル単位に集計することで、その比率やサイクル間でのバラツキを把握することである。図-5-(1)に示す分析結果の表示形式は、上段に搬送回数の図、下段に搬送回数とその比率のデータを示す表からなる。横軸はサイクル番号であり、上下段に共通である。縦軸は上段の図が搬送回数、下段の表が搬送回数とその比率である。この分析結果から、次の2つが指摘できる。

①各サイクルにおけるCARRYの搬送回数の比率は80%以上であり、仕上・設備材の大部分がCARRYで搬送されている。

②サイクル間のバラツキは、標準サイクルでも第5サイクルが第4サイクルも27回多く、その占める比率程度（第5サイクルの搬送回数の約10%）は計画時点で盛込む必要がある。

(2)工事種別による内訳分析

本分析の目的は、仕上、設備、共通（共通の仮設）の各搬送回数をサイクル単位に集計することで、搬送回数の比率やサイクル間でのバラツキを把握することである。図-5-(3)に示す分析結果の表示形式は図-5-(1)と同様であるが、搬送回数をサイクル毎に工事種別で集計する。CARRY搬送分を対象とした分析結果より、次の2つが指摘できる。

①CARRY搬送は仕上材が約67～86%、設備材が約15%～27%であり、仕上材の搬送回数の比率が高い。

②前述した標準サイクル（第4、5サイクル）における搬送回数の差27回の内訳は、第5サイクルの仕上材の搬送回数が第4サイクルより23回多いことに起因していることがわかる。

追加したデータ項目					生のデータ項目				
サイクル番号	サイクル内日	搬送方法	搬出入区分	工事種別	日付	開始予定	開始実績	...	回数
5	9	CARRY	搬入	設備工事	1997/4/16	8:00	8:45	...	1
5	9	CARRY	搬入	仕上工事	1997/4/16	10:30	9:34	...	2
5	9	CARRY	搬入	仕上工事	1997/4/16	10:30	9:56	...	3
5	9	CARRY	搬入	仕上工事	1997/4/16	11:30	10:53	...	1
5	9	ホイス crane	搬出	設備工事	1997/4/16	13:00	...	...	1

扱う工事の種類（資材種別）
（仕上工事、設備工事、共通の3種類）
搬入、搬出、盛替えの区分
搬送の手段（CARRY、ホイス crane、手運びの3種類）
サイクル内の経過日数
サイクルの番号

図-4 分析用に追加するデータ項目

図-5 総搬送回数の内訳分析

6.1.2 サイクル内経過日数による搬送回数の分析

サイクル内経過日数による搬送回数の分析は、サイクル内の経過日数による搬送回数のバラツキ具合や最大搬送回数の把握を目的とし、経過日数毎に搬送回数とその比率・累積比率を算出・表示する。

図-6に示す分析結果の表示形式は、上段に搬送回数の図、下段に搬送回数とその比率・累積比率のデータを示す表からなる。横軸はサイクル内日（サイクル内の経過日数）であり、上下段に共通である。縦軸は上段の図が搬送回数と累積比率、下段の表が搬送回数とその比率・累積比率である。図の縦軸は、左縦軸が搬送回数、右縦軸が累積比率である。以上の表示形式で、搬送回数の占める比率の大きいCARRY搬送分を対象に、(1)サイクル間の比較と(2)標準サイクル（第5）における工事間の比較の分析結果を示す。

(1)サイクル間の比較分析（図-6-(1)）

本分析は、CARRY搬送分の搬送回数をサイクル別に、経過日数毎の搬送回数とその比率・累積比率を算出する。図-6-(1)に示す

図-6 サイクル内経過日数による搬送回数の分析 - CARRY 搬送分 -

分析結果から、次の3つが指摘できる。

- ①各サイクルとも3、9日目の搬送回数が多い理由は、1、2日目の鉄骨搬入と8日目のポンプ車入場により資材搬入が制限されたため、その翌日に資材の搬入・搬送が集中したことによる。
- ②CARRYの搬送回数は30回/日程度が目安であったが、8日目を除き6日目以降にそれを越える日が見られる。
- ③5、6、7日目等のサイクル間での搬送回数の差は工事工程や資材の仮置きにあると考えられるが、その要因を生データから把握できない。その理由は、各資材を使う工程上の作業名や仮置き数量とその変化を表すデータが搬送実績データに存在しないこと、すなわち「実績データは既定のデータ項目からなる」という生産実績データの性質による。

(2)標準サイクル(第5)における工事間の比較分析(図-6-(2))

本分析は、標準サイクルを対象にCARRY搬送分の搬送回数を工事別に、経過日数毎の搬送回数とその比率・累積比率を算出する。標準サイクルである第5サイクルを対象にした分析結果を図-6-(2)に示す。この結果から、以下に示す2つが指摘できる。

- ①仕上材、設備材毎に搬送の集中日が把握できる。
 - ・仕上材：3日目(16回)、7日目(18回)、9日目(24回)、11日目(31回)
 - ・設備材：7日目(9回)、9日目(12回)、10日目(10回)
- ②工事間での累積比率の比較により、仕上と設備は同様の傾向にあることがわかる。

6.1.3 基準階の搬送回数の分析

基準階の搬送回数の分析は、基準階の搬送回数と基準階床面積1㎡当たりの搬送回数の把握を目的とし、固定工場内の施工階(図-1のN~N+3階)毎に搬送回数とその比率を算出・表示する。

表-4に示す分析結果の表示形式は、横軸が施工階、縦軸が基準階と搬出入区分からなるマトリクスであり、そのセルに搬送回数とその比率を記入する。比率は、基準階の搬送回数計に対する行方向(基準階・搬出入区分)と列方向(施工階)の各々の搬送回数計の割合である。表-4では前者を「比率イ」、後者を「比率ロ」としている。以上の表示形式で、CARRY搬送分の基準階6~8階を対象にした搬送回数の分析結果を表-4に示す。ここで、1フロア分の

表-4 基準階の搬送回数の分析 - CARRY 搬送分 -

階/搬出入区分	N	N+1	N+2	N+3	計	比率イ(%)	床面積1㎡当たり搬送回数(回/㎡)
8階							
搬入	-	59	45	20	124	88.6	0.277
搬出	-	5	6	4	15	10.7	
盛換え	-	0	1	0	1	0.7	
計(回)	-	64	52	24	140	100.0	
比率ロ(%)	-	45.7	37.2	17.1	100.0		
7階							
搬入	32	64	89	17	202	92.7	0.432
搬出	0	4	6	2	12	5.5	
盛換え	0	2	1	1	4	1.8	
計(回)	32	70	96	20	218	100.0	
比率ロ(%)	14.7	32.1	44.0	9.2	100.0		
6階							
搬入	37	64	77	-	178	91.8	0.384
搬出	0	5	4	-	9	4.6	
盛換え	0	0	7	-	7	3.6	
計(回)	37	69	88	-	194	100.0	
比率ロ(%)	19.0	35.6	45.4	-	100.0		

注1 施工階：固定工場内の施工階

注2 比率イ：階毎の搬送回数計に対する搬出入区分別の割合

注3 比率ロ：階毎の搬送回数計に対する施工階毎の割合

全搬送回数を把握できるのはN~N+3階のすべての施工階がサイクル内となる7階だけである。8階と6階はサイクル外となる施工階(表-3参照)があるため1フロア分の全搬送回数を把握できないが、参考として示す。この分析結果をまとめると、次の3つとなる。

- ①搬出入区分で捉えると、各階の搬入の占める割合は90%前後であり、その占める割合が非常に高いことがわかる。
- ②全搬送回数を把握できる7階を施工階別に捉えると、N+2階の搬送が38.1%と最も多く、N+1階とN階が同程度、N+3階の搬送が8.3%と小さいことがわかる。この理由は、N+2階とN+3階は仕上工事が最盛となるため、1つ下の階(1つ前のサイクル)で資材を搬送することにある。
- ③基準階床面積1㎡当たりの搬送回数は、おおまかなレベルであるが搬送の歩掛りの指標としての活用が期待される。本ケーススタディでは7階分のデータである0.432回/㎡となる。今後、他物件に関するデータ蓄積とその分析により、本指標は概算による搬送回数の把握での活用が考えられる。

6.2 資材毎の搬送回数の分析

6.2.1 資材搬送回数の累積比率分析

資材搬送回数の累積比率分析は、工事別に搬送回数の多い資材を抽出することで、計画・管理時の主要対象資材の把握を目的とする。

具体的には標準サイクルから主要資材を算出・表示する。

表－5に示す分析結果の表示形式は標準サイクルを対象にして、資材毎の搬送回数とその比率・累積比率を算出・表示するためのものである。資材の並びは比率の降順とすることで、累積比率が80%前後になる資材を主要資材として抽出する。以上の表示形式で、第5サイクルにおけるCARRY搬送分（搬入）の仕上材を対象にした分析結果を表－5に示す。この分析結果から、No.1のボードからNo.10の床ALCまでの10資材を主要資材とすると、主要仕上材10種による累積比率は76.3%である。なお、設備材も同様の方法で主要設備材を抽出できる。

6.2.2 主要資材毎の搬送回数の分析

主要資材毎の搬送回数の分析は、資材搬送回数の累積比率分析で設定した主要資材毎の搬送回数を詳細に分析する。詳細に把握する項目として、1)主要資材毎の搬送回数とそのサイクル間比較、2)主要資材の車両1台当たりの搬送回数、3)サイクル内経過日数による主要資材毎の搬送回数、4)基準階の主要資材毎の搬送回数、の4項目を設定した。1)の分析を除き、累積比率分析で求めた主要仕上材10種を対象にした各分析の方法と結果を以下に示す。なお、主要設備材も同様の方法で分析できる。

(1) 主要資材の車両1台当たりの搬送回数の分析

本分析は、主要資材毎に車両1台当たりの搬送回数を算出し、車両の搬入計画等での活用を目的としている。表－6に示す分析結果の表示形式は、車種（車両のトン数）・資材毎の車両1台当たりの搬送回数を表す。ここで、「総計」は第3～6サイクルの搬送回数計と車両台数計から求めた車両1台当たりの搬送回数であり、「基礎統計データ」はデータ毎（図－2の行毎）に算出した「搬送回数／車両台数」を標本とする基礎統計データである。主要仕上材10種の分析結果から、1)総計により、4トン車で搬入された9資材は約2.4回／台と6.1回／台の2つにグループ化される、2)車両1台当たりの搬送回数は総計による算出と基礎統計データの平均に大差はない、3)基礎統計データにより、標本数が比較的多い4t車・ボードと4t車・LGSの標準偏差は平均の1/2以上であり、バラツキが見られる。

(2) サイクル内経過日数による主要資材毎の搬送回数の分析

本分析は、主要資材毎の搬送日と搬送回数を把握することで、搬送予定の計画・管理での活用を目的とする。表－7に示す分析結果の表示形式は、横軸を経過日数であるサイクル内日、縦軸を主要資材とした表である。第5サイクルの主要仕上材10種の分析結果から、次の2つが指摘できる。

①図－6－(2)は搬送回数を工事別の経過日数毎に集計しているため日毎の内訳が把握できないが、本分析によりそれが把握できる。例えば、図－6－(2)により11日目の仕上工事の搬送回数は31回であるが、その内訳はOAフロアの搬送回数が31回であることがわかる。

②資材の搬送日数は、1日で搬送するパターンと複数日に渡って搬送するパターンが存在する。一般的に1日で搬送する方が効率的であることからすると、後者のパターンは資材数量と施工階での仮置きスペースの広さが影響していると考えられる。

(3) 基準階の主要資材毎の搬送回数の分析

本分析は基準階の主要資材毎の搬送回数の把握を目的とし、固定工場内の施工階毎に搬送回数とその比率を算出・表示する方法であ

り、前述の「基準階の搬送回数の分析（表－4）」の内訳を把握する方法である。図－7に示す分析結果の表示形式は、上段に搬送回数の図、下段に搬送回数とその比率を示す表からなる。横軸は主要資材であり、上下段に共通である。比率は、基準階の搬送回数の合計に対する資材かつ施工階毎の搬送回数の割合である。基準階（7階）における主要仕上材10種を対象とする分析結果から、施工階毎に搬送回数の比率が大きい資材がわかるため、各階での仮置きを重点的に検討すべき資材が把握できる。搬送回数の多い資材はN+1階がボード、N+2がOAフロアであり、これら資材が施工階での仮置きに大きな影響を与える。ただし、資材の仮置き数量は日毎に変化するため、仮置き計画には施工階毎の搬送回数だけでなく、(2)のサイクル内経過日数とクロスさせる必要がある。

6.3 資材・車種毎の搬送時間の分析

(1) 1回当たりの平均搬送時間

表－5 仕上材の搬送回数の累積比率分析
－標準サイクル（第5）のCARRY搬送分（搬入）－

No.	資材名	搬送回数 (回)	比率 (%)	累積 比率 (%)	No.	資材名	搬送回数 (回)	比率 (%)	累積 比率 (%)
1	ボード	33	21.4	21.4	17	SD扉	2	1.3	88.4
2	OAフロア	31	20.0	41.4	18	便所内装材	2	1.3	89.7
3	ALCパネル	12	7.8	49.2	19	エスパーメント	2	1.3	91.0
4	タイルカーペット	10	6.5	55.7	20	珪藻板	2	1.3	92.3
5	柱成形板	7	4.5	60.2	21	岩綿吸音板	1	0.7	93.0
6	パネーション	7	4.5	64.7	22	外部階段手摺	1	0.7	93.7
7	ベリカクター	5	3.2	67.9	23	カーテンBOX他	1	0.7	94.4
8	システム天井下地	5	3.2	71.1	24	エフエスギョー	1	0.7	95.1
9	LGS	4	2.6	73.7	25	汚垂れ石	1	0.7	95.8
10	床ALC	4	2.6	76.3	26	照明BOX下地	1	0.7	96.5
11	システム天井仕上	3	1.9	78.2	27	ベリカクター棚板	1	0.7	97.2
12	ガラス	3	1.9	80.1	28	照明BOX本体、四方枠	1	0.7	97.9
13	ルーバー	3	1.9	82.0	29	建具金物	1	0.7	98.6
14	SD枠	3	1.9	83.9	30	道具	1	0.7	99.3
15	ベント	3	1.9	85.8	31	長尺塩ビシート	1	0.7	100.0
16	ALC金物	2	1.3	87.1		計	154	100.0	

注 網掛け：搬入仕上材の中で、搬送回数の多い10資材。

表－6 車両1台当たりの搬送回数の分析 －主要仕上材10種－

車種 (トン数)	資材名	総計			基礎統計データ		
		①搬送回数 計(回)	②車両台数 計(台)	③(回/台)	標本数	平均 (回/台)	標準偏差
11t	ALCパネル	47	4	11.8	4	11.8	0.43
7t	ボード	17	2	8.5	1	8.5	0.00
4t	ボード	93	14	6.6	14	6.6	3.77
	OAフロア	88	14	6.3	4	6.4	1.97
	柱成形板	29	5	5.8	5	5.8	2.40
	タイルカーペット	28	5	5.6	5	5.6	3.61
	パネーション	14	5	2.8	5	2.8	1.17
	ベリカクター	28	10	2.8	8	2.9	2.19
	システム天井下地	20	8	2.5	4	2.5	0.00
	LGS	23	10	2.3	10	2.3	1.68
	床ALC	24	13	1.8	5	3.2	1.83
2t	LGS	3	3	1.0	2	1.0	0.00

注1 ③：車両1台当たりの搬送回数、③＝①／②

注2 基礎統計データ：データ毎（図－2の各行）に算出した「搬送回数／車両台数」を標本とした基礎統計のデータ。

表－7 サイクル内経過日数による搬送回数の分析

－標準サイクル（第5）の主要仕上材10種－

サイクル内日	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	計
資材名													
ボード	11				10		10		2				33
OAフロア											31		31
ALCパネル				12									12
タイルカーペット								10					10
柱成形板										7			7
パネーション	3							4					7
ベリカクター			1							4			5
システム天井下地							5						5
LGS										4			4
床ALC											4		4
その他				3	4	1	7	3	3	4	6	5	36
計	14	0	4	16	11	7	18	17	6	21	9	31	154

資材・車種毎の搬送時間の分析は、資材・車種毎に1回当たりの搬送時間を算出することで、搬送予定を作成する上での基礎データの提供を目的とする。本ケーススタディでは、資材・車種毎の「1回当たりの平均搬送時間」を次式で求める。

$$1 \text{ 回当たりの平均搬送時間} = \text{搬送時間} / \text{搬送回数} \quad (1)$$

ここで、搬送時間＝終了時刻－開始時刻

式(1)で求める理由は、生データが搬送毎の実績でなく、搬入される資材・車種毎に最初と最後の搬送実績として入力されるため（図－2参照）、生データから直接的に搬送時間を求められないためである。「実績データは既定のデータ項目からなる」という生産実績データの性質から、このようなデータ加工が必要になる。

1回当たりの平均搬送時間を適用した分析項目として、1) 総平均搬送時間による達成度分析、2) 搬送管理実績のパターン化、の2項目を設定した。CARRY 搬送分（搬入）の主要仕上材10種を対象に、その分析の方法と結果を以下に示す。

(2) 資材・車種毎の総平均搬送時間による達成度分析

本分析の目的は、資材・車種毎に1回当たりの平均搬送時間の計画に対する実績の達成度の把握である。分析結果を表－8に示す。ここで、「総計による総平均搬送時間と達成度」は1回当たりの平均搬送時間を全サイクルの総計から算出する総平均搬送時間（全サイクルの搬送時間計／全サイクルの搬送回数計）により、達成度はその「実績／計画」で算出する。「基礎統計データ（実績）」は実績のデータ毎（図－2の行毎）に算出した1回当たりの平均搬送時間を標本とする基礎統計データである。なお、達成度の降順に資材・車種を並べている。この分析結果から、1) 総計による総平均搬送時間と達成度により、ALCパネルを除く主要仕上材はほぼ実績が計画を下回っており、計画にある程度の余裕がみられる、2) 基礎統計データ（実績）により、パーティション・4t車とALCパネル・11t車を除き標準偏差が大きく、バラツキが見られる。

(3) 資材・車種毎の平均搬送時間による搬送管理実績のパターン化

達成度分析の問題点として、1) 許容される達成度（例えば、0.8～1.2等）でしか搬送管理の実績が把握できない、2) 管理上は搬送管理の単位時間（1回の搬送時間）内であれば、達成度が小さくとも管理内とする点が考慮されていない、3) 前サイクルの実績を踏まえた搬送時間の計画変更を把握できない、が挙げられる。本分析はそれらの問題に対処し搬送管理の実績把握を目的に、1回当たりの平均搬送時間の「計画－実績」と「サイクル間のバラツキ」の2つの評価項目で管理実績をパターン化する方法であり、図－8の右最下段にその方法を示す。

「計画－実績」は、前述の総平均搬送時間の計画に対する実績の評価項目である。評価は計画に対する実績の差が搬送管理の単位時間未満であれば「管理内」、そうでなければ「管理外」とする。すなわち、達成度が小さくとも搬送管理の単位時間未満であれば管理されているとみなす。「サイクル間のバラツキ」は、サイクル平均搬送時間（サイクル毎に算出した平均搬送時間）の実績のバラツキを評価する項目である。評価は、すべてのサイクルでサイクル平均搬送時間が総平均搬送時間の $\pm T/2$ の範囲内であれば「管理内」、そうでなければ「管理外」とする。以上により、搬送管理実績の評価は各項目の評価値の組合せだけ存在するため、それをA～Dの4タイプにパターン化する（図－8の右最下段）。

図－7 基準階の搬送回数の施工階間の比較分析

－基準階（7階）、主要仕上材10種－

表－8 資材・車種毎の総平均搬送時間の達成度分析－主要仕上材10種－

資材名	車種(トン)	総計による総平均搬送時間と達成度			基礎統計データ(実績)		
		①計画(分/回)	②実績(分/回)	③達成度	標本数	平均(分/回)	標準偏差
ALCパネル	11t	3	11	3.67	4	12	2.8
LGS	2t	40	44	1.10	2	37	21.5
柱成形板	4t	10	10	1.00	4	11	6.3
基礎	4t	11	10	0.91	11	11	7.2
OAフロア	4t	10	9	0.90	3	12	5.3
基礎	7t	11	9	0.82	1	9	0.0
床ALC	4t	13	10	0.77	5	10	2.8
ベリカクタン	4t	15	10	0.67	6	10	7.1
LGS	4t	16	8	0.50	7	10	5.7
タイル・カーペット	4t	14	7	0.50	4	10	5.6
システム天井地下	4t	12	6	0.50	3	7	2.6
パーティション	4t	20	5	0.25	3	5	0.8

注1 ①と②：総平均搬送時間＝搬送回数計／搬送時間計

注2 ③達成度：③＝②／①

注3 基礎統計データ（実績）：データ毎（図－2の各行）に算出した「1回当たりの搬送時間（実績）」を標本とした基礎統計のデータ。

図－8に主要仕上材10種を対象にした分析結果を示す。分析結果をまとめると、次の5つとなる。

- ① Aタイプは2つの評価項目とも管理内である（図－8－(1)：例 ボード・4t車、床ALC・4t車等）。
- ② Bタイプは「計画－実績」が管理内であるが、「サイクル間のバラツキ」が管理外となるため、そのバラツキを小さくする管理が求められる（図－8－(2)：例 柱成形板・4t車、OAフロア・4t車）。
- ③ Cタイプは「サイクル間のバラツキ」が管理内であるが、「計画－実績」が管理外となるため、前サイクルの実績を反映した計画変更等が求められる（図－8－(3)：ALCパネル・4t車）。
- ④ Dタイプは2つの評価項目とも管理外であるため、②と③の改善が求められるよう（図－8－(4)：LGS・2t車）。
- ⑤ 以上より、平均搬送時間を活用することで計画に対する実績とサイクル間のバラツキを含めた搬送管理実績が把握できる。

7. まとめ

自動化工法における仕上・設備材の搬送実績データを対象にしたケーススタディとして、結論をまとめると以下のとおりである。

(1) 工事管理支援システムのサブシステムである搬送管理システムに蓄積される生産実績データを対象とした詳細な分析方法を示した。具体的には次の2つである。

- ① 生産実績データの性質を反映した搬送実績の生データからの分析手順を示した。

図-8 資材・車種毎の平均搬送時間による搬送管理実績の管理パターン - 主要仕上材 10 種 -

- ②搬送実績の生データからの分析項目として、搬送回数のマクロ分析、資材毎の搬送回数、資材・車種毎の搬送時間の3項目を設定し、その各々について詳細な分析方法を示した。また、これらにより、生データから分析結果を表示するまでの定型化の可能性を示した。
- (2) 自動化工法の仕上・設備材の搬送実績に(1)の分析方法を適用した結果、主要事項として次の5つが判明した。
- ①搬送回数のマクロ分析により、各サイクルにおけるCARRYの搬送回数の占める割合は80%以上、その内の仕上材の占める割合が67~86%と高くその搬送計画が重要になる。
 - ②マクロ分析でのサイクル内経過日数による搬送回数の分析から、日別の搬送回数にバラツキが見られるため、その平準化が求められる。
 - ③資材搬送回数の累積比率分析により、CARRY搬送分の主要仕上材はボード、OAフロア、ALCパネル等の10資材であり、その搬送回数の割合は76%以上となった。これより、搬送計画で重点を置くべき仕上材は主要仕上材10種となる。
 - ④主要仕上材を対象にした資材・車種毎の搬送時間の分析により、総平均搬送時間の計画に対する実績の達成度は、ALCパネルを除きほぼ実績が計画を下回っており、計画に余裕がみられた。
 - ⑤達成度分析の問題点に対処すべく考案した搬送管理実績のパターン化により、ボード・4t車や床ALC・4t車等の平均搬送時間は「計画-実績」、「サイクル間のバラツキ」とも管理内であるが、サイクル間のバラツキが大きい資材(柱成形板・4t

車等)も把握できた。

以上のように、工事管理支援システムのサブシステムである搬送管理システムに蓄積される生産実績データの分析方法とその有効性を示した。

今後の課題は、1)資材搬送と密接に関連する工事工程との関連データの入力・蓄積方法とその分析方法、2)搬送回数による比率分析や総計による分析のみならず、可能な範囲での統計的なデータ処理の併用、3)自動化工法における資材搬送だけでなく、一般的な工事にも適用できる分析方法への発展、4)他工事との生産実績データの比較分析方法の開発、5)搬送管理システム以外のサブシステム、最終的にはPDB(プロジェクト・データベース)に蓄積される生産実績データの分析方法の開発、等である。

謝辞

鹿島建設東京支店の森本課長、エンジニアリング本部の高木課長代理には貴重な搬送実績データの提供、当工事の施工法やデータ化されていない様々な事を教えて頂き、心から感謝したい。

参考文献

- 1) 第4回建築設計及び生産情報の流れシンポジウム、1997年11月17日
- 2) 塚越修：建設産業の情報化、施工、pp.38-40、1998年1月
- 3) 土橋裕美、塚越修、坂野弘一、阿部達也：工事管理支援システムに蓄積される生産実績データの分析方法 - 自動化工法AMURADの生産実績データの分析例、第14回建築生産シンポジウム、1998年7月

(1998年5月10日原稿受理、1998年7月31日採用決定)