

# 超高層ビル建設における物流システム

寺 林 肇

## 1. はじめに

超高層ビルは、数えられないほど建設され、今や、ものめずらしさもなくなり、関心は防災面とか省エネへと移ってきているが、建設を担当する者にとっては、より良い品質のビルをより経済的に、より安全に建設するということが、つねに大きな課題である。

とりわけ、超高層ビル建設での“物流”は、主要課題である。建設資材が、作業を始めようとしている階になれば、作業員がその階にいても何もできない。それは、過去の建設業の得意とした人海戦術とか突貫工事では対応できないのである。

当社は、新宿センタービルや安田火災海上本社ビルなどいくつかの超高層ビルを手がけてきたが、延床面積20万㎡程度の超高層ビルでは、総重量約30万トン、部品点数約5万点の建設資材を3年前後の工事期間内に扱っている。その間、あらかじめ計画された工程に合わせて、資材の発注・搬入・垂直運搬（以下「揚重」という用語を用いる）をしなければならない。

一般的には、建設現場での工程管理にはPERTを利用する。超高層ビル建設でも鉄骨工事・床工事・外壁工事などにはPERTを駆使する。し

かし、その後の仕上工事・設備工事では資材と労務の計画と管理に役立つように作業分割をすると、約1万～1.5万もの作業(アクティビティ)になり、PERTでは煩雑で、実用的でない。

この仕上工事・設備工事の資材の工事階への運搬の問題に対しては、以前は工事工程と運搬工程の同期化がむずかしいという理由から、この2つの工程をはっきり分離し、そのため2つの工程の間に緩衝域、つまり大きなストックヤードを用意した。それはまず、仕上工事・設備工事に用いる資材は、業者の倉庫から、あらかじめこのストックヤードに搬入し、その後、工事の進捗状況を見ながら関係者全員の毎日の調整会議で翌日の工事階で必要な資材を、緊急度の高いものから揚重するように計画する。

この場合、資材の工事階への揚重日が前日まで確定しないので、結局、工程も確定しない。

関係者のこのような調整に割く時間は非常に多く、各業者の現場責任者は毎日のほとんどの時間をこの調整に費やすことになる。

一方、この方法では、運搬が業者倉庫から現場のストックヤードへの運搬と、ストックヤードから工事階への運搬(揚重)という2回の運搬プロセスが必要となり、そのたびに荷捌きなどの作業が必要となる。

当社ではPERTにかわって、より実用的なタクト工程と、それを利用した揚重管理システムを

てらばやし はじめ 大成建設(株) 電子計算センター

開発し、ストックヤードの不必要なジャストインタイム方式で超高層ビル建設の仕上工事・設備工事用の資材の発注・搬入・揚重の合理化をはかった。

## 2. 超高層ビルの建設の特徴

超高層ビル建設が一般の建設現場と比べた場合の特徴は次のとおりである。

(1) 建設地は都市部であり、交通事情がきびしく、建設現場にストックヤードなどのための敷地をとるのは、むずかしい。

(2) 大現場である。延床面積が10~20万㎡であって、高層であると同時に大規模である。同一資材でも複数の業者に発注することが多く、関係業者の数が多し。

(3) 単位床面積当りの工期が短い。地上部分の工期は1年半前後であり、規模の割に短い。

(4) ほとんどの階が同様の平面計画である。用途はほとんどがオフィスビルかホテルであり、基準階の繰り返しと考えるとよい。

## 3. 工程計画のあらまし

超高層ビル建設の工程の約半分が、地上部分の工事であるが、地上部分の工程のクリティカルパスは、図1の太線の部分である。工程計画を立てる場合に必要なのは、このクリティカルパス全体をコスト的に見合う範囲内で、いかに短くするかということである。とりわけ、いかに工程を安定して実施できるようにするか、また、クリティカルパス以外の作業を工程以外の条件によっていかに最適化させるかということも、重要な課題である。

鉄骨工事も含めて、どの工事も1階から最上階までほとんど同様の繰り返し作業の連続である。繰り返しの各サイクルは工事現場によって、または工事の種類によって1階分であったり、3階分であったり、4階分であったりする。各サイクルの工程を綿密に検討すれば工事全体の工程が決ま

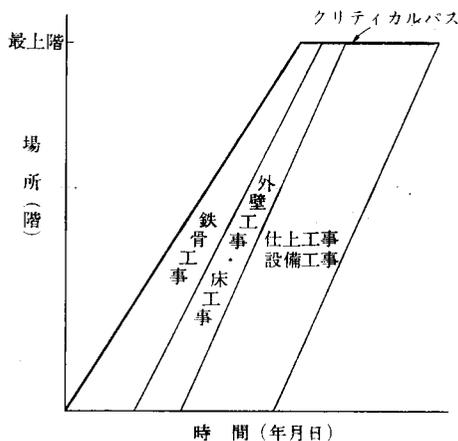


図1 全体工程表

る。

この検討にはどの工事もPERT手法を使って計画している。仕上工事・設備工事の各サイクルごとの工程の計画はPERTで行ない、揚重も含めた実施計画には、後に述べるタクト方式により計画している。

## 4. 資材の揚重

超高層ビル建設での資材の発注・搬入・揚重という物流の中で、計画時においても実施時においても特別に注意しなければならないのは、揚重である。

揚重は工程と資材、揚重機械および管理方法の組合せから、図2のように、

(1) 鉄骨工事(躯体工事)・外壁工事などを扱う大型揚重。

(2) 仕上工事・設備工事を主に扱う中・小型揚重。

(3) 生コンクリートのポンプ圧送などの特殊揚重。

の3種に分けられる。

図2から明らかのように、鉄骨工事を行なっている側では外壁工事はできず、下層の仕上工事はより上層の工事を追い越すことはできない。つまり、工事全体が影響しあうので、各工事の進行を同期化させて周期性をもたせて工事を行なう必要

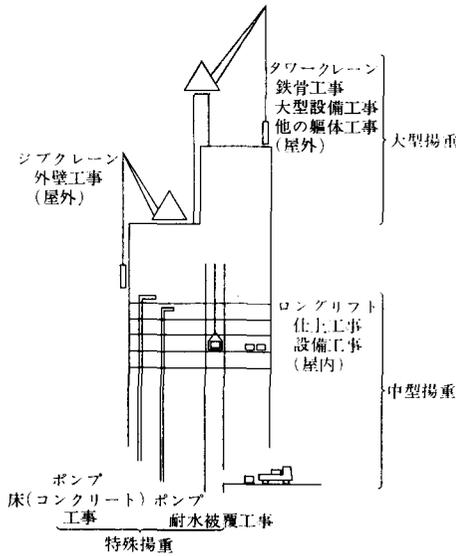


図 2 揚重の分類

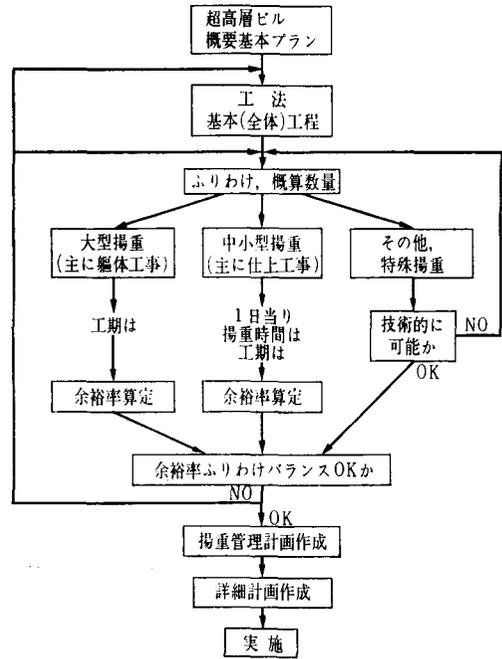


図 3 計画のフロー

がある。

超高层ビル建設の揚重の計画の最初の重要なステップは、建設資材のおおのをおの、どの種類の揚重で行なうかを決めることである。

この計画のフローを図3で示す。

表 1 揚重機の余裕率と管理タイプ

タイプ	1	2	3	4	5
余裕率	定常時でも余裕ある		定常時でも余裕なし		
工程の把握	なし		次週の工程程度の把握	長期工程から工程を積極的にコントロール	
資材搬入日	揚重当日	いつでも可	揚重予定日の前日まで	揚重当日	
ストックヤード	なし		あり	なし	
管理(組織化)程度		小		大	
管理コスト(社員人数など)		小		大	中
電算必要性		なし		あり	
提供の労務	フォークリフトオペレーター ロングリフトオペレーター		フォークリフトオペレーター ロングリフトオペレーター 荷捌・荷受など場内運搬労務		
労務コスト	各業者に手間コストが直接かかる		2.5~3.0人・時/回		1.2~2.0人・時/回

図1の工程表からわかるように、鉄骨工事のスピード(工程表の傾き)は、それ以後の全体スピードを決めてしまうから、鉄骨工事を担当するタワークレーンの「稼働率を可能な限り極大化」し、スピードアップすべきである。それに対して仕上工事は鉄骨工事のスピードより、遅くなければ良いのであって、余裕があればスピードアップにそれを使うのではなく、管理の簡略化とか、他の効率アップに使うべきであり、個々の条件に合わせて、「余裕の程度により」工程計画、揚重管理計画、その他仮設計画などを考えるべきである。そこで、図3でも、余裕率を求め、その結果から各揚重機の組合せのバランスをチェックするというフローになる。

仕上工事・設備工事の揚重に対して、どのような管理をするかということは、主に揚重機の余裕率により決まる。表1のように分類した。

揚重機を多く設置することは、揚重機のコストはもちろん、揚重機撤去後の設置場所の作業工程が問題となる。高さ200m前後となると、定常時で余裕のない場合が多い。

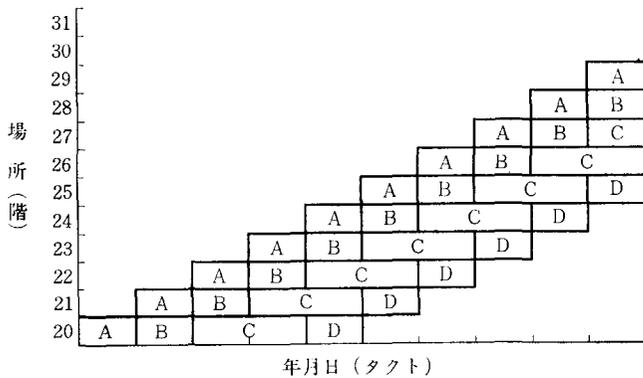


図4 タクト工程表

そこで本稿では、表1のタイプ5を扱う。

### 5. 仕上工事・設備工事の揚重と工程

さて、揚重と工程の概略を述べたが、仕上工事・設備工事に関しては、鉄骨工事などに比べた場合の特徴は次のとおりである。

(1) 多数の関係業者があり、工事作業の種類も多く、資材の種類も多いので、計画を簡単には変更できない。長期計画から短期計画、さらに実施時においても揚重と工程の計画と管理を、集中して行なう必要がある。

(2) 天候などの影響が少なく、しかも繰り返しの工事であり、(1)の問題が解決されれば、むしろ安定した工程を維持できる。

### 6. タクト工程とは

村松林太郎によると、「生産管理の分野で量産方式にコンベアを用いない方法として、タクト方式と呼ばれる方法がある。これは全工程がおのおのの作業に同時に着手し、ある時間間隔をもって同時に終わり、ついで、品物が一斉に次の工程に移動する方式である。」とあるが、超高層ビル建設に応用すると、1階分が1製品という扱え方である。(以下、タクト方式を応用した工程に「タクト工程」という用語を用いる。)

1タクト4日とすると、各作業は4日で1階分の作業を行ない、4日ごとに上の階へと移って

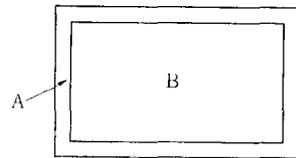


図5 場所別同時作業(1)

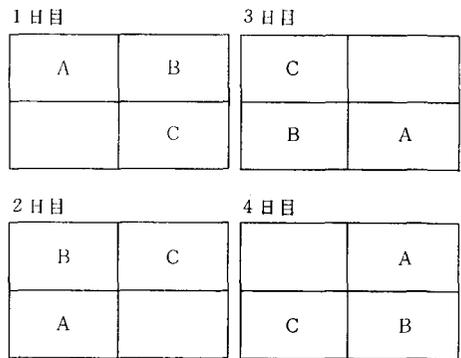


図6 場所別同時作業(2)

く。(図4でのA作業)

4日では無理な作業は、8日(2タクト)の作業とするが、4日ごとに上の階の作業が始まる。(図4でのC作業)

### 7. 改良タクト工程

図4のように、ある階のあるタクトでは1作業しか行なわないというのでは、大規模な超高層ビル建設工事を短い工期で実施するには現実的でない。そこでタクト工程に“場所別同時作業”という概念を導入した。

この場合、同一階で同時に異なる作業を行なうということは、同一時点での作業場所を違えるということである。

図5のAとBの関係の、各階の外周部分と中央部分というように、もともと工事内容により作業場所が違う場合はもちろん同時作業が可能である。また、図6のAとBとCのように、同じ場所の作業であっても、1タクトの中で1日ずつ場所を変えることにより同時作業を可能とするケースも多い。

工程を短くする方法の代表的なものが、いかに作業をラップさせるかという、つまりいかに同時

標準仕上 4日タクト工程表

大成建設株式会社

タクト番号 予定日程 実施日程	1981年3月11日																						
	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
10 事務室																							
20 講堂																							
30 ELEVホール																							
40 階段																							

図7 基準階タクト工程表

作業を増やすかということであるのは超高層ビル建設に限ったことではないが、この点がこの改良タクト工程のポイントである。さて、話を具体的にしよう。図7が基準階タクト

工程表である。基準階の実設計とともこの工程表の作成を進めていくのである。この基準階タクト工程表での縦軸は基準階平面図の場所を示している。場所コード10番台はこの例では事務室

であり、20番台は湯沸し室などであり、30番台はエレベーターホールなどであり、40番台は階段室などとなっている。

横軸は通常の工程表のように時間を示し、単位はタクトである。

この基準階タクト工程表のタクト番号と階数で全体工程表を示すことができる。図4の23階のB作業のかわりに頭2桁が階を、下2桁がタクト番号を示す4桁の番号で表現する。つまり、この全体工程表、基準階タクト工程表および基準階平面図により何月何日の何階のどの部分では、どの作業が行なわれているかがすべてわかる。

この同時作業の表現法により基準階1階分でタクト数が20~30、作業数が200~300である。ビル全体の作業数は1万~1.5万である。

## 8. なぜタクト工程でできるか

タクト工程は、ネットワークの工程に比べて単純化してあるので工程の把握が容易である。一方、タクト全体を動かす場合は問題ないが、こまかい作業レベルのたびたびの変更には不向きである。ネットワークの場合の管理方法は、フロートが全作業の最後にあり、工事が予定より早く進めば、後続の作業も早く始めることにより完了を早めるという考え方であるが、タクト工程の場合のフロートは、個々の作業に含め、全体としてのフロートはとっていない。逆に前作業が少々早く完了したからといって早く始めるようなことはしない。要は、予定どおり着実に始まり着実に終われば良いという考え方である。

タクト工程を可能にする条件はただ1つ、いかに工程を安定化できるか、ということである。

工程の安定化を可能にしたのは、

(1) 工程の変化の多い一般の建設現場のように、超高層ビル建設の鉄骨工事・外壁工事などでは雨はもちろん強風によっても工事が妨げられるが、仕上工事・設備工事の場合は、上の階で床工事が終わった段階で下の階へ雨水がもれないよう

に止水工事を行なえば、休日以外は確実に工事を行なうことができる。

(2) 前述したように、超高層ビル建設は各階ごとに繰り返し工事の連続である。最初の1~2階の工事の実際からタクト工程を現実に合わせて調整すれば信頼できる工程となる。

(3) 資材が確実に各作業に合わせて揚重されることが条件であるが、後で述べる“揚重計画管理システム”により、それが可能となる。逆に、各工事業者は工事階に資材があれば、つまり作業ができればできるだけ早く工事をしてしまおうとするのが今までの習性であり、資材の揚重で工程をコントロールしたとも言える。

(4) 繰り返し工事であるので、各業者は長期間にわたってつねに同人数の作業員で良い。これは逆に、労務者数を確保しやすいくということであり、工程の安定を確実なものとしている。

なお、安定したタクト工程と、その前のネットワーク工程の間には、緩衝域としての工程、つまり空白の工程をおいたが、最初2カ月で、最上階つまりクリティカルパスではゼロ期間としてある。

## 9. なぜタクト工程が良いか

計画時においては、

(1) 1階分(基準階)だけ検討すれば、全体工程が決まる。1タクトの日数が決まれば、工程スピードも決まる。工程スピードとは、図1の工程の傾きである。

(2) 資材の揚重回数の山積みあるいは作業員数の山積み計画が非常に簡単である。つまり図8で横の1階分の揚重回数の合計は、縦の1タクト期間の揚重回数の合計と同じ値となる。つまり1階分(基準階)の揚重回数の合計がわかれば、1タクト期間のこの現場全体における下の階から上の階までの揚重回数の合計がわかり、1タクトの日数(たとえば4日)で除すれば、ピーク時(定常時)の1日当りの揚重回数が簡単に計算できる。作業員

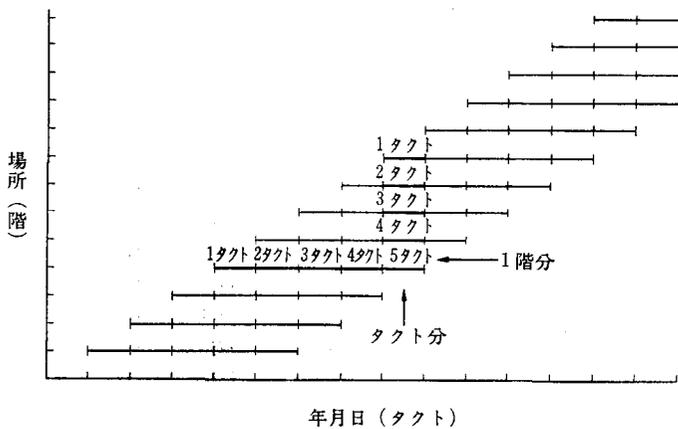


図 8 全体工程表とタクト工程

数の山積みについても同じことが言える。

これをネットワークで計算すると、アクティビティ数が約1万もあるので、山くずしのため計算を繰り返すのは非常に煩雑である。しかもわかりづらい。

(3) 重要なタクトに対しては、基準階の平面図で1日ごとの場所別計画を検討できる。つまりそのタクトだけについて同時作業間の問題だけを比較的独立して見ることができるので、かなりこまかく検討できる。

(4) 階とタクト番号で工程をつかむことができるので全体の工程も表現しやすい。

(5) 各作業は管理しやすいこまかいレベルまで分割されており、場所と対応しているので資材の量も作業員数も具体的につかめ、工程と密接な資材と労務のスケジュールをたてることができる。

実施時においては、

(1) 一般の建設現場では毎日のように必要作業員数が変わり、必要数に合わせて作業員を手配することがむずかしい。しかしタクト工程によると安定した繰り返しの作業であるので、各作業の作業員数は毎日同人数でよく、人員配置計画が安定する。

(2) 計画が具体的作業レベルまで分割してあるので、各業者の工程に対する信頼が増し、この工程をお互いに守っていこうという気運が強くなる。

(3) 階とタクト番号で場所と作業内容が決まり、容易に全体工程を把握できるので、関係者全員が全体工程を理解でき工程を守りやすい。また、各階ごとに工程が変わることがないので作業員も工程のこまかい所まで覚えてしまう。その結果、次の階の作業前の下見などを確実にこなすようになり、工程の安定度が増す。

(4) ネットワークにより工程を管理するには、コンピュータを使うとは言っても、工程データだけでも約1万件

あり、データのインプットが煩雑である。一方、タクト工程によれば、コンピュータで山積み・山くずしなどを頻繁に行なってもロジックが単純でわかりやすく、工事現況を確実に把握することができる。計算コスト自体もかなり低くなる。

つまり、コンピュータ化されたタクト工程では、工程データ、つまり作業開始日のデータ件数は、1000~1500件で、ネットワーク工程の1割で済み、しかもほとんど変更がない。また、揚重のデータ件数は全作業数に近い約1万件あるが、その内容の揚重日は、その作業開始日の何日前というデータから計算される。逆に、揚重日を山くずしなどのため動かすと、その変更した揚重日と動かしていない作業開始日から作業開始日の何日前か計算される。もしその値がマイナスであれば、作業開始日の後で揚重しようとしていることを示しているなど、ロジックが単純である。

(6) タクト工程のわかりやすい作業分割によって、揚重回数あるいは作業員数などの種々のデータの収集・整理・検討が容易である。

## 10. 揚重計画管理システム

“ストックヤードなしのジャストインタイム方式の揚重計画管理システム”を可能にしたのは、具体的作業まで作業分割を行ない、その分割された各作業を場所別同時作業として組み込んだ「タ

(カインタメイ) タクツコ・ネツカツ

ツキヒ	ヨツヒ	ハツカイ	チヤクガイ	タクト	ツキ・ヨク	カインク	シ ヶ イ メ イ	JV	ラントウ	- トラツク -	トウチヤク	- ヨウシユエツ -	シ・カン	ツキ・ヨクカインヒ
9/23	カ	B1	33	5	38	1	ソクフウキ	タカハシ			13:40	1	14:00 - 14:20	9/25
9/23	カ	B1	32	6	38	5	キカイシツタマクト	タカハシ			14:10	1	14:40 - 15:30	9/25
9/25	モク	B1	8	25	29	1	ヒヤルコンハイカフ	タカハシ			9:30	2	10:00 - 10:10	9/25
9/25	モク	B1	33	5	15	22	シムシツタマクトホオンサハイ	タカハシ			17:10	1	17:40 - 20:20	9/25
9/26	キン		8	2		3	カラコン・サマツサハイ	オロシ	タカハシ		7:50	2	8:20 - 8:50	9/26
9/26	キン	B1	34	5	38	1	ソクフウキン	タカハシ			18:20	1	18:50 - 19:00	9/30
9/26	キン	B1	33	6	38	5	キカイシツタマクト	タカハシ			18:40	1	19:10 - 20:00	9/30
9/27	ト	B1	29	12	15	4	フキタマシコウFLXタマクト	タカハシ			9:50	2	10:20 - 11:00	10/25
9/27	ト	B1	34	5	15	22	シムシツタマクトホオンサハイ	タカハシ			16:30	1	17:00 - 19:40	9/30
9/30	カ	B1	8	27	30	5	ハイカンホキアサハイ	タカハシ			:	:	- :	9/30
10/ 2	モク	B1	30	12	15	4	フキタマシコウFLXタマクト	タカハシ			:	:	- :	10/20
10/ 2	モク	B1	31	8	14	1	ヒヤルコンハイカン	タカハシ			:	:	- :	10/ 4
10/ 3	キン	B1	21	22	9	2	タマクトホウフサハイ	タカハシ			:	:	- :	10/ 3
10/ 3	キン	B1	21	23	10	1	トソクサハイ	タカハシ			:	:	- :	10/ 3
10/ 3	キン	B1	34	6	38	5	キカイシツタマクト	タカハシ			:	:	- :	10/ 4
10/ 6	ケツ	B1	31	12	15	4	フキタマシコウFLXタマクト	タカハシ			:	:	- :	10/24
10/ 7	カ	B1	34	6	50	1	ヒヤルコンハン	タカハシ			:	:	- :	10/ 7
10/ 7	カ	B1	36	5	15	30	シムシツタマクトホオンサハイ	タカハシ			:	:	- :	10/ 9
10/ 7	カ	B1	36	5	38	2	ソクフウキ	タカハシ			:	:	- :	10/ 9
10/ 8	スイ		8	2		3	カセツキカイ(オロシ)	タカハシ			:	:	- :	10/ 8
10/11	ト	B1	32	12	15	4	フキタマシコウFLXタマクト	タカハシ			:	:	- :	10/29
10/13	ケツ	B1	8	28	31	1	トソクサハイ	タカハシ			:	*	- :	10/13
10/13	ケツ	B1	36	6	38	5	キカイシツタマクト	タカハシ			:	:	- :	10/15
10/14	カ	B1	37	5	15	30	シムシツタマクトホオンサハイ	タカハシ			:	:	- :	10/15
10/14	カ	B1	37	5	38	1	ソクフウキ	タカハシ			:	:	- :	10/15

図 9 揚重運行表

クト工程」である。しかし、逆に、そのタクト工程を利用して工程を確実なものとした揚重計画管理システムそれ自身が、タクト工程を実現可能なものとしている。

その理由は、各業者に対しての資材の搬入指示が早目に具体的に出ることにある。

当社からの搬入指示は、毎週出している。次週から全工程の最後まで詳細のスケジュールを毎回出している。内容は、図9のように、搬入月日、資材名などのほかに、その資材を使う作業の開始日を入れてある。

各業者も早めに具体的な予定

がわかるので資材の手配もトラックの手配も容易である。もし業者からの変更依頼がなければ、当初のスケジュールにしたがって実行される。

なお、揚重に関する仕事の分担は、図10で示す

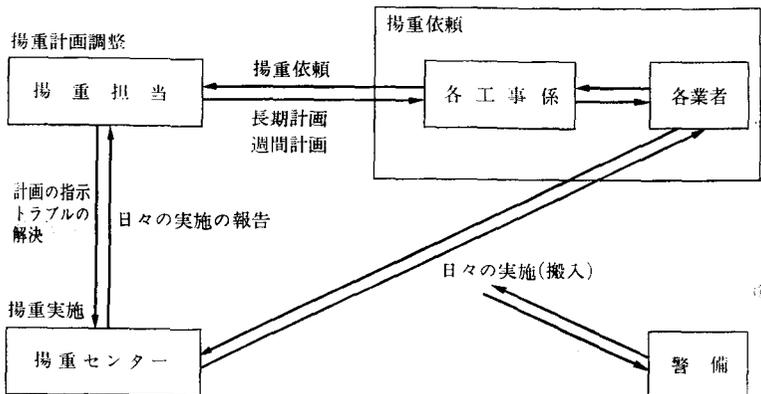


図 10 仕事の分担

とおりであり、日々の揚重作業の実施を担当する揚重センターは、図11の組織で構成する。

次に資材の搬入のプロセスについて述べる。

(1) 業者資材倉庫から現場へ

ロングリフトあるいは台車にフォークリフトなどで積みかえやすいように、あらかじめ決められた荷姿で、現場の揚重センターよりわたされた荷札をつけ、パレット積みでトラックに積む。

(2) 現場到着

予定された揚重時間の30分前までに現場に到着する。

(3) 揚重センターで

揚重センターに搬入書を提出し、予定表で確認し、荷おろし場所を決める。

前のトラックが荷おろし場所から出るまで待機する。

順番がまわってくると、資材をパレット積みのままフォークリフトで台車に積みかえ、揚重センターの荷捌班がリフト前にもっていく。資材についている荷札から半券を切り取り保存する。ロングリフトが到着すれば、下りてきた空台車をおろし、今トラックから積みかえた資材を台車ごと載せる。

全部の資材をおろしたトラックは必要ならば、空パレットおよび空台車(業者持ち込みの場合)をストックヤードからトラックに積み込み、持ち帰る。

(4) 到着階では

ロングリフトが指定された階に到着すると、揚重センターの荷受班が台車をおろし、決められた場所まで動かし、ハンドリフトでパレット敷きそのまま台車からおろし、置く。

空台車は、すぐ次のリフトでおろす。

## 11. おわりに

今まで、工程計画・工程管理という言葉はおおむね、時間計画・時間管理 という意味で使用され、最終的な完了日を予定どおり満足させるとい

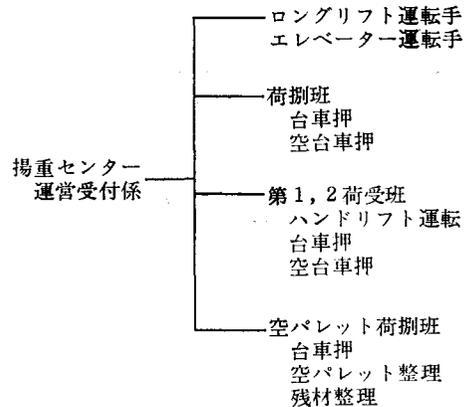


図 11 揚重センター組織図

う意味が強かった。

しかし、建設物が大規模化、複雑化すると、工程計画・工程管理の満足すべき機能は変化している。

ここでは、標準化された単位作業時間ごとに管理されれば、最終完了予定日に完了できる。すなわち工程のすべての段階で、決められた月日に作業が始まり、決められた月日までに終われば良いのであって、前作業が予定より早く終わったからといって、予定を変更してまで、次の作業を早く開始して早く終らすことは意味がない。予定を早めることは、せっかく最適化した資材の揚重スケジュールを崩すことであり、また、安定した労務の人員配置計画を不安定にすることになり、結果的に、コストアップにつながる。

これは、一般の建設現場の、早く始められれば早く着手し早く終らす(早ければ早いほど良い)という「常識」とは、まったく違うものである。

「物流」が「常識」と違う工程を必要としたのである。