

シミュレーション手法による工事計画に関する研究

—GPSS による超高煙突工事のモデル化とシミュレーション—

三 根 直 人
野 中 稔

§ 1. 結 言

建設工事には多くの機械・作業員・材料が投入されるため、これらの有効利用は工事運営上の重要な課題である。しかし現実には、工事の計画に際して有効な手法が少ないために工事管理上多くの問題を生じている。このように、工事計画と管理の技術については一般にその立ち遅れが目立つ。

一方、近年の電子計算機の発達にもなつてその利用技術が進歩し、電子計算機によるシミュレーションが普及した。

筆者等は、これまで建設工事計画および管理技術の大系化を目指し、作業研究を通して建築の作業の能率を明らかにしてきた。本報告は筆者らのこれまでの成果をふまえ、収集したデータをもとに工事をシミュレーションし、工事計画段階で施工方式を評価するための一つの方法を提案したものである。

まず、建設工事をモデル化する際の考え方を明らかにし、事例研究としてスリップフォーム工法による超高煙突工事を GPSS (General Purpose Simulation System) によってモデル化し、シミュレーションした結果を考察した。

§ 2. 本研究の目的および範囲

2.1 本研究の目的

本研究は、建設工事における工事計画に待ち行列モデルのシミュレーション手法である GPSS を応用するとともに、事例研究によってスリップフォーム工法による超高煙突工事の計画ならびに管理の要点を把握することを目的とする。研究の項目は以下のとおりである。

- ①待ち行列によって建設工事をモデル化する際の考え方を明らかにする。
- ②事例研究によってシミュレーション手法適用の可能性

を明らかにする。

- ③事例研究の対象としたスリップフォーム工法による超高煙突工事の計画手法確立のための資料を得る。

2.2 研究の範囲

2.2.1 待ち行列と建設工事のモデル化

待ち行列の概念およびそのシミュレーション手法を概観するとともに、実際に建設工事をモデル化する際の考え方を明らかにした。

2.2.2 事例研究

(1)工事実態の調査(1)

地上高さ 102 m の超高煙突工事 (U煙突) を対象として、モデル化のための実態調査を実施した (昭和49年9～10月)。

(2)上記工事を対象とした工事モデルの作成。

(3)工事実態の調査(2)

高さ 198 m の超高煙突工事 (T煙突) を対象として実態調査を実施し (昭和50年6～8月)、シミュレーションのためのデータを収集した。

(4)シミュレーションによる工事モデルの検証。

§ 3. 待ち行列シミュレーションと建設工事のモデル化

3.1 待ち行列モデルとシミュレーション手法

3.1.1 待ち行列モデルの概念

待ち行列モデルは、不確定な事象を確率現象として取扱う一手法である。例えば、ある確率分布に従ってランダムな時間間隔で到着するコンクリート運搬車と、運搬車から受け取ったコンクリートを打設する施設とで構成される作業において、運搬車と打設施設との関係は典型的な待ち行列モデルである。

待ち行列モデルを解析する目的は、ランダムに到着する客 (上記例のコンクリート運搬車) に対してサービス

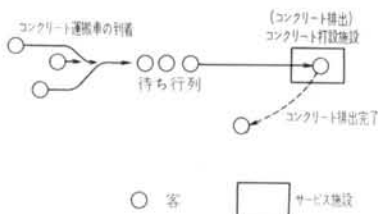


図-1 基本的な待ち行列モデルの例

サービス施設の数・配列	サービス時間	サービス順序	到着間隔	行列の規定
① 単一	①一定	①先着順	①一定	①長さ制限あり
② 並列複数	②ランダム	②優先権を認める	②ランダム	②長さ制限なし
③ 直列複数		③ランダム		③時間制限あり
④ ②, ③の複合				④時間制限なし

表-1 モデル化に当たって明確にすべき事項

モデル	客	サービス施設	サービス内容
根切作業	ダンプ・トラック	クラムシェル・バケット	排土積込み
PC板建方作業	P C 板	クレーン・作業	吊込み・取付け
鉄筋組立作業	鉄筋工	作業	配筋・結束

表-2 建設工事の待ち行列モデルの例

施設（上記例のコンクリート打設施設）前にできる客の行列長さ、待ち時間などを適正化しつつ、経済的なサービス能力（上記例でいえばコンクリート打設速度）を見出すことである。

以上のように待ち行列モデルは、客とサービスを基本的な要素として、現実の事象をこの両者の関係に置き換えたものである。上記の例で示した待ち行列モデルを、模式図で表わせば図-1のようになる。モデル化に当たっては表-1に示す各事項を明確にしておく必要がある。

3.1.2 電子計算機によるモデルのシミュレーション

作成されたモデルが上記の例に示したごとく簡単なもの場合は、待ち行列理論 (Queueing theory) によって数学的に定式化し解析できるが、モデルが複雑化し、時系列的に変化する過程を含む動的なモデルでは数学的な取扱いが困難である。したがって、実務的には電子計算機によるシミュレーションが有効となる。

待ち行列モデルを電子計算機でシミュレーションするための言語として1963年 GPSS Mark I が開発され、以来改良されて現在 GPSS V が実用化されている。GPSSの基本的な要素は客 (Transaction) とサービスであるが、このほかに客の動きを制御するためのブロック (命

項目	内容	
実質滑揚工期	67日	
塔身の構造	鉄筋コンクリート造	
塔身の規模	地上高さ	198,000mm
	外径	底部 14,500mm 頂部 8,400mm
塔身の規模	壁厚	底部 750mm 頂部 250mm
	作業員の構成	コンクリートカートクルー 4名 コンクリート打設クルー 5名 コンクリート表面仕上クルー 3名 主筋組立クルー 7名 フープ組立クルー 6名 型枠調整クルー 2名 開口部型枠組立クルー 1名

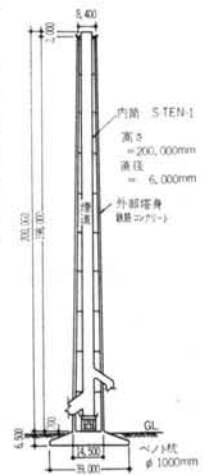


図-2 T煙突断面図

表-3 T煙突工事の概要

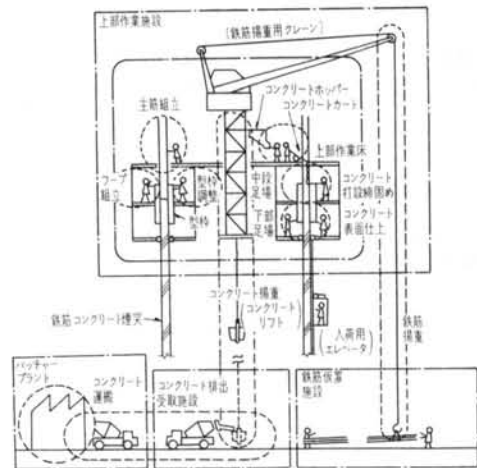


図-3 工事の概念図

令), 乱数発生など種々の機能がある。

3.2 建設工事をモデル化する際の考え方

GPSSによるシミュレーションは今日まで交通・運輸分野で多く活用されている^{11)~14)}。建設分野では、設計時、施設規模の算定、災害時の避難シミュレーションなどに応用されてきたが^{2)~10)}、施工関係ではコンクリート運搬車の配車計画を待ち行列モデルで解析した鳥田専右博士の研究¹⁾以外に報告されたものはない。

先の例に示したモデルは客とサービスの関係が最も単

純なものであるが、現実に建設作業を取扱う場合にはより複雑な事象をモデル化する場合が多い。しかし、複雑な対象もそれをいくつかの待ち行列の基本的な関係に分割し、それらの相互関係を明確にできればGPSSによるモデル化は可能である。建設工事モデルの簡単な例はすでに示したが、そのほかいくつか例を示せば表-2のとおりである。

表-2に示すごとく、客として工事機械、作業員、材料など、サービスとして工事機械、作業員、作業などが考えられる。これらの関係は固定的なものではなく、モデルとして妥当であれば、客・サービスの関係が逆であってもよい。

§ 4. 事例研究

4.1 対象とした工事

4.1.1 工事の概要

シミュレーション・モデルの対象とした工事は、鉄筋コンクリート超高煙突（T煙突）の塔身工事である。工事の概要を表-3に、煙突の断面図を図-2に示す。

4.1.2 施工法の概要

本工事にはスリップフォーム工法（シミズ・フレクスリップ・システム）が採用された。本工法は型枠装置、型枠滑揚のためのジャッキとその制御系、材料・人員の運搬設備、作業用足場より構成される。本工法の概念図を図-3に示す。

作 業	作 業 内 容	使用機械設備	担当職種	作業場所		
コンクリート運搬・打設作業	運 搬	バッチャープラントから現場までのコンクリート運搬	コンクリート運搬車	運搬車運転手	地上	
	揚 重	地上より作業場までのコンクリートの運搬	コンクリートリフト	土工	地上～上部作業床	
	打 設	小 運 搬	上部作業床のコンクリートホッパーより打設用シュートまでの小運搬	コンクリートカート	〃	上部作業床
		流し込み	小運搬されたコンクリートの型枠内への流し込み	コンクリートシュート	〃	上部作業床～型枠
	締 固 め	型枠内へ流し込まれたコンクリートの振動締固め	棒状バイブレータ	〃	中段足場	
表 面 仕 上	硬化後のコンクリートの表面仕上	—	左官工	下部足場		
鉄筋立運搬・作業	揚 重	地上仮置場より上部作業床への揚重・仮置	鉄筋揚重用クレーン	鉄筋工、弐工	地上～上部作業床	
	主 筋 組 立	所定位置への設置・結束	—	鉄筋工	中段足場	
		フープ	加工	鉄筋ベンダー	〃	中段足場
滑 揚 作 業	ジャッキ制御装置を操作し型枠を滑揚する	ジャッキ	指令者	上部作業床		
支持棒設置盛替え作業	支持棒の継足し、底部支持金物の盛替え	—	機械工	上部作業床		
型枠形状・寸法調整作業	調整用ボルトによる型枠の半径、壁厚、曲率、傾斜の調整	—	大工または機械工	中段足場		
埋込み金物取付け作業	タラップ等のアンカー金物の位置出し、埋込み	—	大工、鍛冶工	中段足場		
埋込み金物 斫り出し作業	硬化後のコンクリート中の埋込み金物の斫り出し	—	左官工	下部足場		
開口部型枠組立作業	壁面点検口等の開口部のための型枠の組立	—	大工	中段足場		
人荷用エレベータ・ガイドレール設置作業	ガイドレールの継足し作業	人荷用エレベータ	弐工、鍛冶工	下部足場		
足場設備保守・点検作業	足場手摺などの安全設備の保守点検	—	弐工、鍛冶工	現場内全域		
計 測 作 業	型枠の地上高さ、煙突の垂直度の計測	レーザー垂直測定装置	指令者	上部作業床		
コンクリート若齢強度試験	型枠中のコンクリート強度の試験	コンクリート若齢強度自動試験機	指令者	上部作業床		
コンクリート受入れ検査	現場に搬入されたコンクリートのスランプ、空気量、温度の検査	—	現場係員	地上		
機械設備の保守・整備作業	使用されるすべての機械設備の保守・整備作業	—	機械工	現場内全域		

表-4 本工事の作業内容

4.1.3 作業の内容

本工法を作業面から見れば、型枠装置を中心に構成される上部作業施設での鉄筋組立、コンクリート打設、型枠形状・寸法調整などの諸作業が主体となっている。これに現場外のパッチャー・プラントでのコンクリートの混練、現場までの運搬、現場敷地内ストック・ヤードでの鉄筋その他必要材料の準備等の作業が関連を持つ。図一3に示すごとく、各作業の分担は明確で、同一作業パターンの繰返しと連繋によって工事が進行する。本工事を構成する作業内容をまとめ表一4に示す。

4.2 工事のモデル化

4.2.1 工事要素の分割と相互関係の分析

工事をモデル化するに当って、表一4に示した作業の中からモデルに含める基本的な要素を、以下の条件にもとづいて抽出した。

①型枠滑揚作業に直接関連する作業

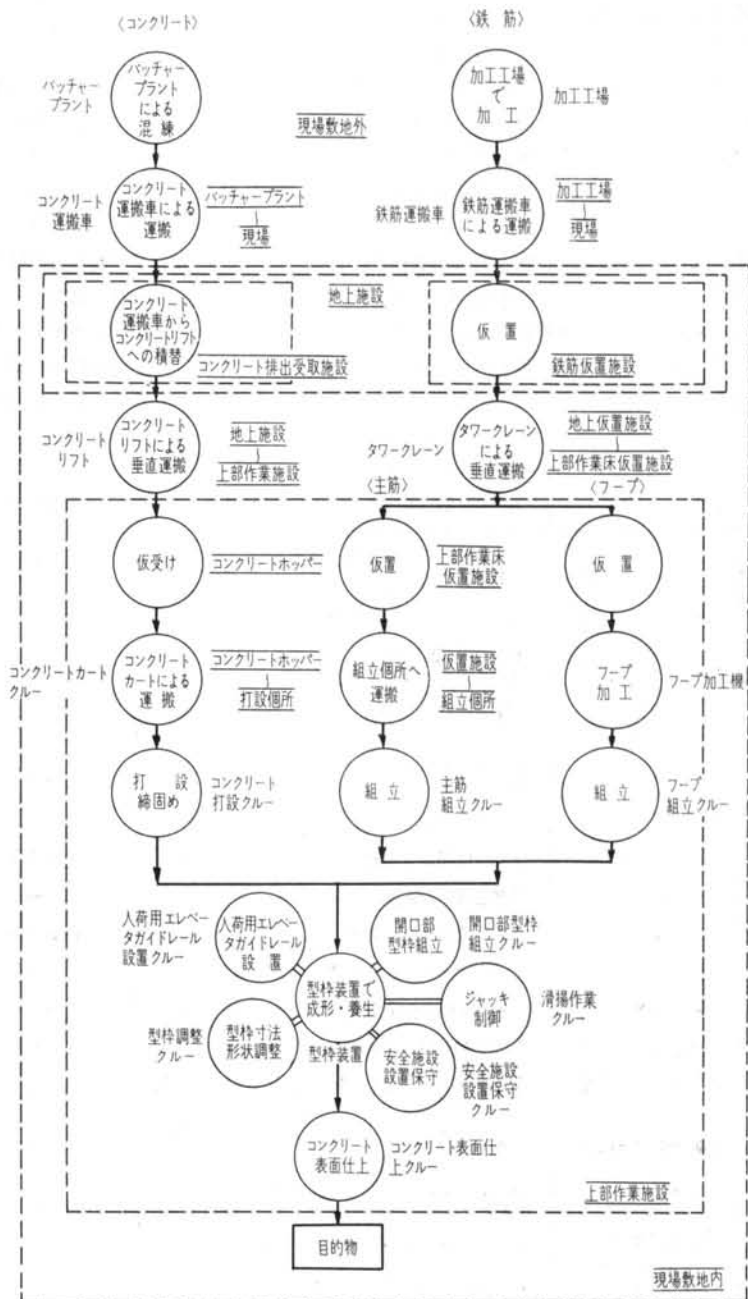
②主要材料(コンクリート、鉄筋)の運搬、組立・加工に直接関係する作業

各要素の関連を主要材料の流れを追って表わすと図一4のとおりである。

4.2.2 GPSS モデル

モデルで取扱う範囲は、煙突工事の現場敷地内とし、パッチャー・プラントでのコンクリートの混練、鉄筋加工場での鉄筋の加工および現場ストック・ヤードまでの運搬は含まないものとした。また型枠の形状・寸法調整、安全施設保守、人荷用エレベータ・ガイドレール設置などの諸作業は、前項の①、②のいずれかの理由より工程上全体系に及ぼす影響が少ないと判断し、モデルから除外した。

各要素の動きを制御情報によって相互に関連づけ、主要材料の流れを中心として作業クルー、運搬設備などの



図一4 主要材料の流れをめぐる構成要素間の関係

工事要素の動きをGPSSでモデル化して基本モデルとした。本工事のGPSSモデルを図一5に示す。

4.3 工事モデルのシミュレーション

4.3.1 入力データ

1) 工事規模および工事内容

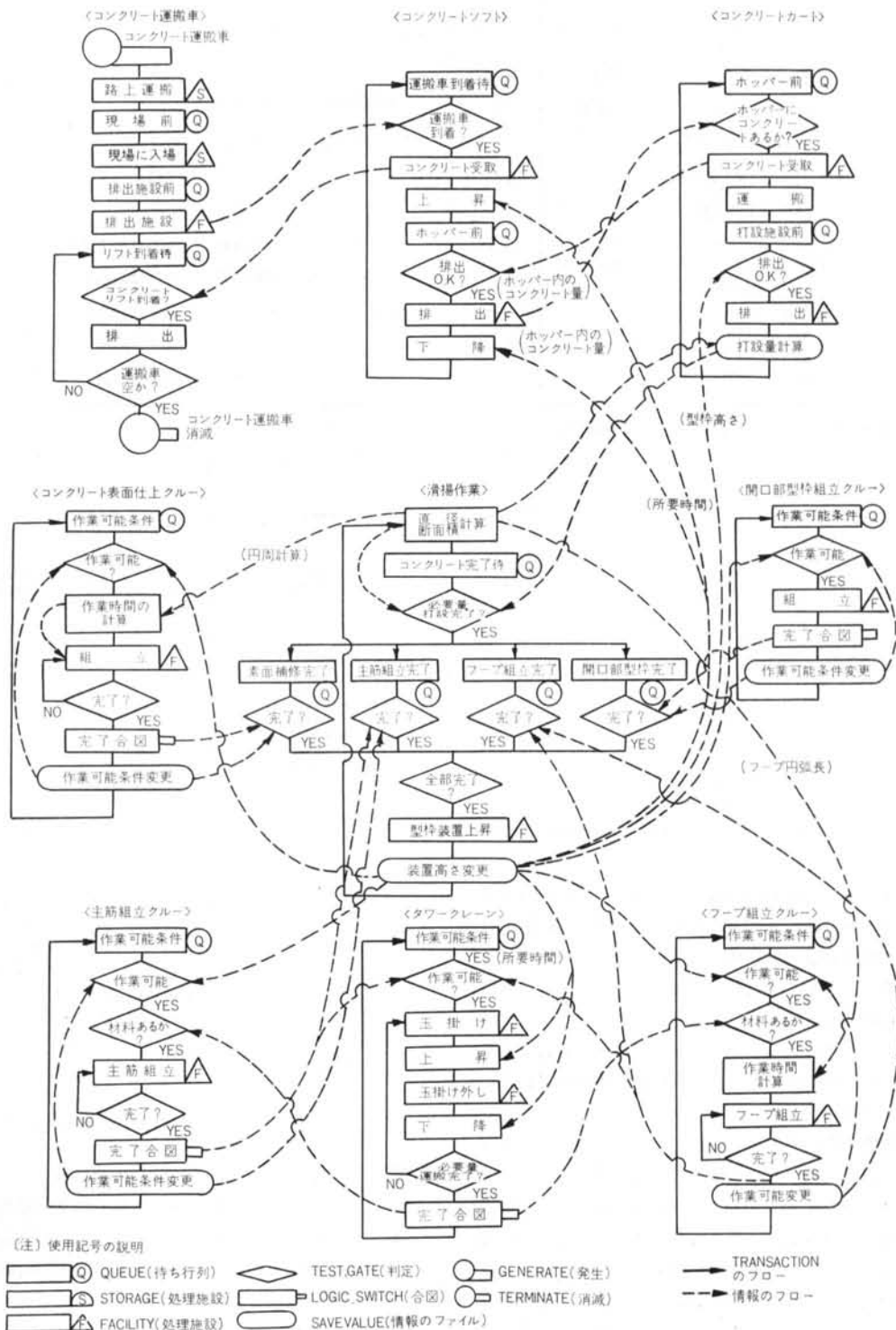


図-5 工事の GPSS モデル

作 業	平均所要時間	標準偏差	分布型	備 考
コンクリート運搬車からコンクリートリフトへのコンクリートの積替え	1.0分/回	0.2分/回	正規分布	担当はコンクリート運搬車運転手
コンクリートリフトからコンクリートホッパーへのコンクリートの積替え	0.5分/回	0.1分/回	正規分布	
コンクリートカートによるコンクリートの小運搬	0.3分/回	0.1分/回	正規分布	
コンクリート打設・締固め	12.0分/㎡	—	—	シュート持ち、パイプレタ係
コンクリート表面仕上	4.5分/回	—	—	
鉄筋揚重用クレーンへの鉄筋の玉掛け	2.5分/回	—	指数分布	担当は工員2名
鉄筋揚重用クレーンからの鉄筋の玉掛け外し、および仮置	4.3分/回	—	指数分布	担当は鉄筋工
主筋組立	0.8分/ピース	0.2分/ピース	正規分布	D25、長さ5m
フープ筋組立	0.4分/m	—	—	加工、配筋、結束
開口部型枠組立	16.0分/m	—	—	出来高は高さ

表—5 各作業の単位出来高当りの平均所要時間および標準偏差

 * QUEUES *

QUEUE	MAXIMUM CONTENTS	AVERAGE CONTENTS	TOTAL ENTRIES	ZERO ENTRIES	PERCENT ZEROS	AVERAGE TIME/TRANS	AVERAGE TIME/TRANS	TABLE NUMBER	CURRENT CONTENTS
10	1	.003	26	25	96.1	.076	2.000	1	
13	2	1.329	13	3	23.0	55.230	71.799		2
17	4	1.242	16	5	31.2	41.937	61.000		3
18	1	.709	61	10	16.3	6.278	7.509	2	
20	1	.075	1		.0	41.000	41.000		1
23	1	.449	58	38	65.5	4.189	12.149	3	
25	1	.018	58	56	96.5	.172	5.000	4	1
30	4	.318	4		.0	43.000	43.000		
32	4	.020	551	544	98.7	.019	1.571	5	
40	1	.075	1		.0	43.000	43.000		
41	1	.357	19	11	57.8	10.157	24.125		1
50	1	.944	2		.0	255.000	255.000		1
51	1	.000	1	1	100.0	.000	.000		1
62	1	.862	3	1	33.3	155.333	233.000		
80	1	.096	2	1	50.0	26.000	52.000		1
100	4	2.974	122	8	6.5	13.163	14.087		4

*AVERAGE TIME/TRANS = AVERAGE TIME/TRANS EXCLUDING ZERO ENTRIES

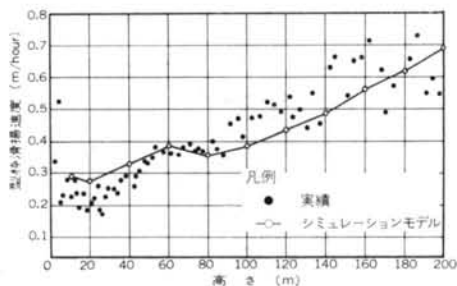
図—6 シミュレーション結果の一部

表—3に示した煙突の規模、および開口部位置（必要コンクリート量は高さごとに自動的に計算）、各高さにおける必要鉄筋量（鉄筋径、1本当り長さ、所要本数）を入力データとして与えた。

2) 作業時間

実態調査(2)で、シミュレーション・モデルに含まれる各作業の所要時間を測定した。時間測定の要領は以下のとおりである。

- ①各作業の単位出来高当りの所要時間をストップ・ウォッチにて0.1分（6秒）単位で測定した。
- ②コンクリート・カート・クーなど単独作業については各人の所要時間、主筋組立などチーム作業についてはクーとしての所要時間を求めた。
- ③主筋組立など単位出来高が鉄筋1本のように明確な作業については、単位出来高当りの所要時間を測定し、出来高当りの平均時間、標準偏差、時間の分布を求め



図—7 シミュレーション結果と工事実績との比較

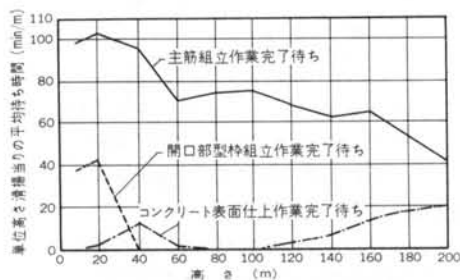
た。また、コンクリート表面仕上など単位出来高当りの時間の測定が困難なものについては、時間測定中の出来高の記録から単位出来高当りの平均所要時間を求めた。表—5に測定結果を示す。

3) 運搬設備の性能

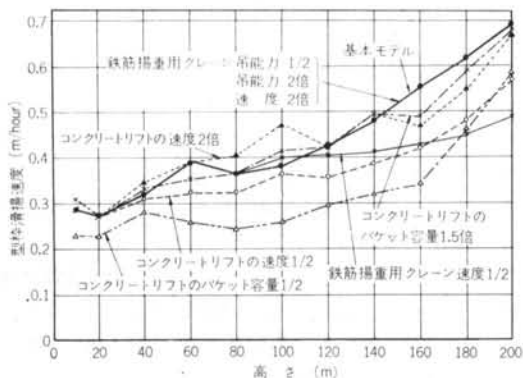
コンクリート・リフト、鉄筋揚重用クレーンなど工事

コンクリート リフト	速 度	上昇100m/min. 下降150m/min.
	バケット容量	0.8 m ³
鉄筋揚重用 クレーン	速 度	巻上げ50m/min. 巻下げ50m/min.
	吊 能 力	1,000kg
コンクリート・カート容量		0.04 m ³ (40l)

表—6 使用した運搬設備の性能



図—8 型枠装置が単位高さ(1m)滑揚する間の平均待ち時間の高さによる変化



図—9 運搬設備の性能を変えた場合の型枠滑揚速度の比較

工期の比率	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4
モデル							
基本モデル					1.00		
コンクリートリフトの速度1/2						1.13	
コンクリートリフトの速度2倍						0.98	
コンクリートリフトのバケット容量1/2							1.37
コンクリートリフトのバケット容量1.5倍					1.00		
鉄筋揚重用クレーンの速度1/2							1.06

図—10 運搬設備の性能を変えた場合の滑揚工期の比較

に使用された運搬設備の性能を入力データとした。運搬に要する時間は型枠の地上高さ(以後「高さ」と呼ぶ)における運搬距離から自動的に計算した。各運搬設備の性能は表—6のとおりである。コンクリート運搬車の積載量は工事記録をもとに、高さ13mまでは5 m³/台、以

後は4 m³/台とした。

4.3.2 シミュレーション結果と考察

1) 基本モデルと工事実績との比較

作成したシミュレーション・モデルと現実に行なわれた工事実績との整合度を比較するために、実態調査より得られたデータを入力して基本モデルをシミュレーションした。図—6に結果の一部を、図—7に各高さにおける型枠滑揚速度についてシミュレーション結果と工事実績を比較して示す。

コンクリートおよび鉄筋の揚重時間は、高さが増すに従って増加し滑揚速度を低下させる要因となるが、実績によれば型枠滑揚速度は高さの増加にともない速くなる傾向にある。これは型枠が高くなるに従って直径・壁厚が減少することにより、単位高さ当りの所要コンクリート・鉄筋量が減少し滑揚速度増大の要因となって、これが揚重時間の増大を上回った結果と考えられる。図—7に示すごとく、高さ40m以下では工事実績がシミュレーション結果を下回っており、高さ100~200mの範囲では逆の傾向が見られる。これは以下の理由によると考えられる。

- ①実際の工事では着工当初に初期的なトラブルが生じ、そのため作業の能率が低下した。
 - ②モデルには作業の習熟効果が考慮されていないが、実際には工事の進行にともなって作業能率が向上した。
- 以上列挙した理由により、モデルと現実の工事との間に多少の相違はあるが、両者はほぼ一致している。以後本モデルを基本モデルと呼び、現実の工事を表わすモデルとみなす。

2) 型枠の滑揚待ち状態

型枠は所定の作業が完了した段階で数cm滑揚する手順を繰返すが、型枠の滑揚作業に直接・間接に関連した作業が全て完了して滑揚が可能となる。したがって、滑揚作業のネックを明らかにするには、各作業が滑揚作業に及ぼす影響を明確にする必要がある。図—8に各々の作業が型枠滑揚作業に待ちを生ぜしめる時間を、単位滑揚高さごとに求めた結果を示す。

モデルに含まれる全ての工事要素のうち、主筋組立作業が完了しないための待ち時間が最も大きく、全滑揚時間の46%を占める。これは高さの増加、すなわち鉄筋量の減少にともなって減っている。高さ0~30mの範囲では開口部型枠組立作業による待ち時間が大きい。これは高さ30m以下に大きな開口部(煙道用開口部)が多いためと考えられる。

3) 運搬設備の性能の違いが滑揚速度に及ぼす影響

コンクリート・リフト、鉄筋揚重用クレーンなどの運

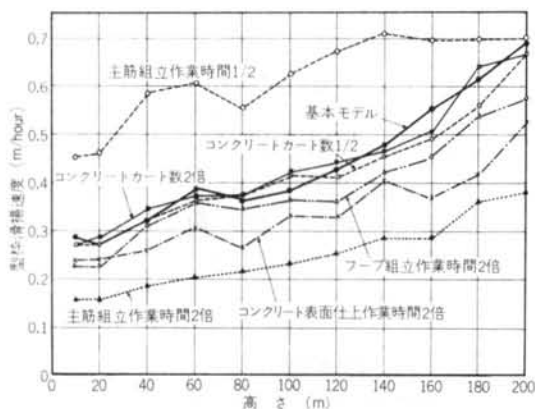


図-11 作業クレーの作業時間を変えた場合の型枠滑揚速度の比較

モデル	工期の比率
基本モデル	1.00
主筋組立時間 1/2	0.66
主筋組立時間 2倍	1.74
フープ組立時間 2倍	1.14
コンクリート表面仕上時間 2倍	1.27
コンクリートカート台数1/2	1.03
コンクリートカート台数2倍	0.99

図-12 作業クレーの作業速度を変えた場合の滑揚工期の比較搬設備の諸性能を変え、各高さにおける滑揚速度の変化を比較して図-9に示す。また、図-10におおのの場合について滑揚工期を基本モデルと比較して示す。

鉄筋揚重用クレーンの性能の違いは滑揚速度にほとんど影響を及ぼさず、クレーンの巻上げ・巻下げ速度（以後単に「速度」と呼ぶ）を $\frac{1}{2}$ (25m/min.)とした場合に、高さ120m以上で滑揚速度が低下するのみである。また、コンクリート・リフトについては、上昇・下降速度（以後「速度」と呼ぶ）、ポケット容量を増加したとき滑揚速度の増加は顕著でなく、これらを減少したとき滑揚速度が多少減少する。

図-10から明らかなように、基本モデルに比較して工期が短縮されるケースは、コンクリート・リフトの速度を2倍にしたときである。この場合も、工期の短縮は2%に過ぎず、大きな効果はない。運搬設備性能のうち滑揚速度に最も大きく影響を及ぼす要素は、コンクリート・リフトのポケット容量を $\frac{1}{2}$ にした場合で、この場合工期は基本モデルに対して37%遅延する。

4) 作業時間が滑揚速度に及ぼす影響

シミュレーション・モデルに含まれる作業クレーのうち、①コンクリート・カート・クレー、②主筋組立クレー、③フープ組立クレー、④コンクリート表面仕上クレーについて作業時間を変えてシミュレーションし、基本モデルのシミュレーション結果と比較して図-11に、お

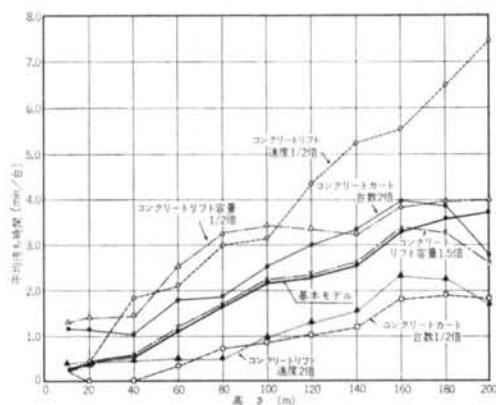


図-13 各高さにおけるコンクリート・カート1台当りのコンクリート・リフト到着待ち時間の比較

のこの場合の全体滑揚工期を基本モデルと比較して図-12に示す。

シミュレーションした範囲では、滑揚速度に与える影響は主筋組立作業が最も大きく、作業時間を基本モデルの $\frac{1}{2}$ (0.4分/本)としたとき滑揚工期は34%短縮され、逆に2倍 (1.6分/本)にしたとき74%遅延する。

図-11において、主筋組立作業時間を倍にしたモデルの高さ140m以後の滑揚速度が0.7m/hourで頭打ちになっている理由は、コンクリートの強度発現時間による制約のためと考えられる。したがって、この例では高さ140m以後作業員数が過剰となることが予想される。この場合、余剰人員の削減策を施す必要がある。

それ以外の作業時間を短縮しても、全体滑揚工期が顕著に短縮される例はない。

作業時間を長くすると、いずれの場合も滑揚速度は減少し、その結果滑揚工期は3~74%遅延する。しかし、コンクリート・カート・クレーについては、カート数の増減が滑揚工期に及ぼす影響はわずか3%である。したがって、コンクリート・カート・クレーについては、作業員の労働負荷の問題を別にすれば、カート数を現在の4台から $\frac{1}{2}$ の2台に減らすことも可能である。

5) コンクリート・カート・クレーのリフト待ち状態

コンクリート・カート・クレーの配員は現在工事計画上の重要な課題になっているため、シミュレーションを通じてその稼働状態を明らかにした。図-13にコンクリート・カート1台当りのリフト到着待ちの平均所要時間が、高さごとに変化する様子を各モデル比較して示す。

コンクリート・リフトの速度を基本モデルの $\frac{1}{2}$ (50m/min.)にしたモデルのコンクリート・カートの平均待ち時間が最大である。一方、コンクリート・カートの数を $\frac{1}{2}$ (2台)にしたモデルと、コンクリート・リフトの速

度を2倍(200 m/min.)にしたモデルの平均待ち時間が短い。前者では高さ40 m以下で待ち時間がなく、担当作業者の労働負荷が問題となる。

現在の工法では、運搬設備を滑揚工事の途中で変更することは非常に困難なため、コンクリート・カート・クルーに代表されるような高さによって待ち時間の変わる作業では、稼働率を向上させるために高さの増加に従って作業員数を調整するような配員計画が望ましい。

4.3.3 シミュレーションの結果のまとめ

シミュレーションの結果をまとめれば、以下のとおりである。

- ①作成したモデルによるシミュレーションの結果と工事実績とはほぼ一致し、工事の予測モデルとして有効である。
- ②運搬設備個々の性能を単独に向上させても、型枠滑揚速度は基本モデルのシミュレーション結果、つまり本工事の実績とほとんど変わらない。これは逆に、今回の条件範囲では運搬機械の選定が適正であったことを示している。
- ③型枠滑揚速度への影響が最も大きい作業は主筋組立作業で、本作業の計画が工事計画上のポイントとなる。
- ④コンクリート・カート・クルーは各高さを通じて余裕があり、高さごとの適正な配員計画が望まれる。

§ 5. 結 言

シミュレーションの結果と工事実績とはほぼ一致し、GPSSによる実際の建設工事のモデル化が可能なのが確認された。作成したモデルを用いてシミュレーション

することによって、工事の構成要素の稼働状態を予測できることから、シミュレーション手法を工事計画に導入することが有効なことを示した。

また、種々のパラメータを変えたシミュレーションによって、工事を構成する運搬設備、作業クルーの能力が型枠滑揚速度に及ぼす影響を明らかにし、スリップフォーム工法による超高煙突工事における工事計画上の要点を指摘できた。

一方、事例研究を通して以下が今後の研究課題として残された。

- ①本工法を応用する対象工事を変えた場合のモデルについても分析し、工法の特徴を一般化する必要がある。
- ②シミュレーションにおいて、運搬設備の性能などのパラメータをいくつか組合わせて変更したケースについて分析できなかった。今後シミュレーションの効率を向上させるには、パラメータの変更計画を十分に練る必要がある。
- ③作成したモデルには工事の初期段階に多発するトラブル、作業の繰返しによる習熟効果などの要因が含まれていないため、モデルと現実との動きに多少違いが生じた。今後これらの要因をモデルへ組み込む方法を研究する必要がある。

謝 辞

本研究は、下記の方々の厚意あるご指導とご協力によって進めることができた。末筆ながら、ここに改めてその方々へ感謝の意を表したい。

早稲田大学教授田村恭博士には本研究を進めるに当たり終始ご教示を頂いた。同大学院嘉納成男氏にはGPSSプログラムのご指導を頂いた。

<参考文献>

- 1) 鳥田専右：“レディーミクストコンクリートの運搬時間がコンクリートにおよぼす影響とその対策に関する研究（主として建築工事について）” 清水建設研究所研究報告第3号 1969年11月
- 2) 吉田邦彦：“規模計画へのシミュレーションの応用” 日本建築学会大会学術講演梗概集 1972年10月
- 3) 吉田邦彦他：“病院における待ち合わせシミュレーション（1.中央受付窓口について）（2.各診療科について）” 日本建築学会大会学術講演梗概集 1971年10月
- 4) 岡田正光他：“駐車場計画に対するシステムアプローチ” 同上 1971年10月
- 5) 橋本修英他：“施設計画に関するシミュレーションの応用—ホテルにおける車捌きの例—” 同上 1971年10月
- 6) 宮沢鉄蔵他：“選果場の荷受スペースに関する研究(1),(2),(3)” 同上 1972年10月
- 7) 関 龍夫：“グループ・サービスの Queueing について” 同上 1972年10月
- 8) 片山 徹：“都市ターミナルにおける乗降客流動シミュレーション” 同上 1972年10月
- 9) 中村良三：“人間—空間系の研究（IV. 火災避難モデル—GPSSによる建物避難シミュレーション）” 同上 1973年10月

- 10) 渡辺仁史他：“高層研究棟における避難シミュレーション” 同上 1975年10月
- 11) V. Balovnev：“The Utilization of Methods Simulation and Modeling for Optimization of Parameters and Prediction of the Trend of Development of Highway Construction Machines” 1971
- 12) Jeffrey L. Benson & John S. Ramberg：“Simulation Study of the University of Iowa Campus Bus System” Winter Simulation Conference, Jan. 1974
- 13) F. V. Clowley & B. L. Wills：“A Flying Club Simulation for Economic Evaluation Purpose” Proceedings, Summary of Computer Simulation Conference, Feb. 1974
- 14) N. K. Kwak, J. P. Kuzdrall & H. H. Schmitz：“The GPSS Simulation of Scheduling Policies for Surgical Patients” Management Science, Sep. 1976
- 15) 春日井博：“ORの基礎と技法” 税務経理協会
- 16) 恵羅嘉男他：“システム・シミュレーション (GPSS 入門)” 日刊工業新聞社
- 17) Thomas J. Schriber：“Preliminary Edition of General Purpose Simulation System 360: Introductory Concept and Case Studies” 1968
- 18) IBM：“General Purpose Simulation System V; User's Manual” Aug. 1971