

施工シミュレーションシステムを用いた
工事計画内容の検討方法に関する研究

京都大学工学部 正員 吉川和広

京都大学工学部 正員 春名 攻

京都大学大学院 学生員○荒井 清

1. 本研究のねらい

近年、土木建設工事を取りまく環境条件

・施工条件等の前提条件はますますその厳しさを増してきている。これに対応するためには、工事実施の前段階における工事内容の検討をより多角度・多側面から行ない、土木工事の特徴である「不確定要素」を可能な限り減少させることが必要となる。

一方、工事計画は図-1に示すような階層構造という特徴を有している。そこで工事計画策定においては、対象範囲と対象期間を段階的に絞り込みながら検討を進めることが望ましい。また、工事計画の中では工程計画が検討の中心的存在になることが現在までの研究から明らかになっている。

本研究は、工事全体を対象として時間と空間の配分を行なう概略工程計画の作成の段階を対象とし、続く詳細レベルにおける検討内容の一部を取り込んだ検討方法のシステム化（施工シミュレーションシステム）を目指したものである。以下では、全体システムを構成する個別システムの一例として掘削工事の実験システムの構築とシステムの実験的運用を行なうこととする。

2. 掘削工事を対象とした

実験システムの構築

工区分割および各工区ごとの概略的な時

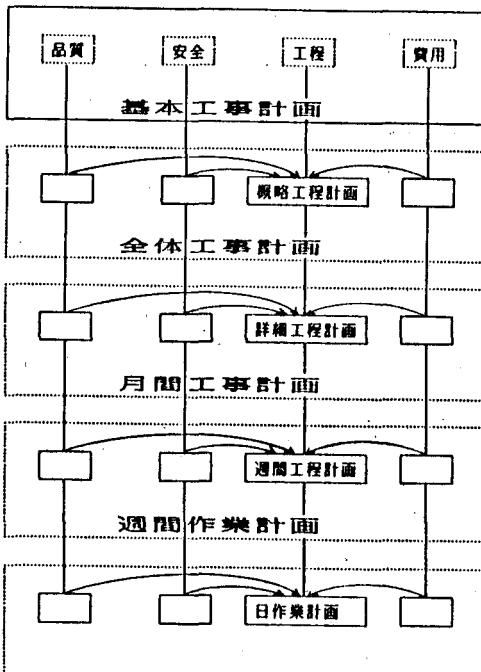


図-1 工事計画の階層構造

間配分の検討を、標準的な投入資源量の下で行ない、統いてその結果を以後の検討の基礎となる概略工程計画一次案とする。

本稿で提案する事前検討の方法は、この一次案が設定された後に、以下の3段階の手順を繰り返しながら進められる。

まず、各種の投入資源を作業の基本工程に従って稼働させる（工程進捗シミュレーション）ことによって施工状況を把握する。

統いて、こうして明らかにされた施工状況の良否の診断を、先決的に設定した診断

基準値と工程進捗シミュレーション結果から得られた診断情報との対比によって行なう。

さらに、工事計画内容の修正・変更が必要であると診断された場合は、どの部分の変更が必要となるかを診断情報より検討し計画立案者が必要と考える修正・変更手段を選択することとする。以下、検討を進めるための項目について詳述することとする。

(1) 工程進捗シミュレーションモデル（図-2）

まず、シミュレーションを実施するために必要となる各種の初期入力情報を設定する。そのために掘削工事内容の明確化を行ない、周辺地域への影響等を考慮して掘削工事の深さ方向への分割を行なう。

以下、①工事規模や土質条件を考慮して、投入する施工機械機種の設定を行なう。②ここで同時に、投入する施工機械の施工性等の特徴を考慮して対象地盤のモデル化や③諸条件の設定をあわせて行なっておく。（例えばブルドーザの隣接施工に関する条件等）④さらに、対象地盤の掘削方向を概略的に設定する。⑤統いて投入する施工

機械台数の設定を行ない、⑥さらに施工ユニット間の施工順序の設定を行なう。以上、検討の出発点となる6つの初期入力情報の設定が終わると、工程進捗シミュレーションモデルのプログラム開発に進む。ここでは、中心検討項目である施工機械の作業動態を明確化する。表-1に示すように、施工機械の稼働が阻害され、手持ち時間が生じる場合を洗い出し、これらを新たに診断

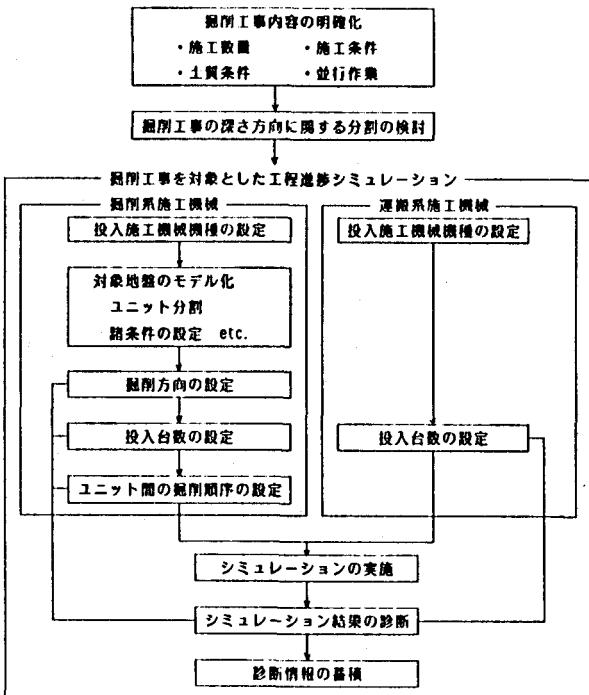


図-2 掘削工事検討手順

表-1 工程の進捗を阻害する要因

バックホウ	①バックホウの施工位置に土の積込みを持っているダンプトラックが存在していない。 ②掘削面の安定条件を満足できず、下段のユニットの掘削が実施できない。
ブルドーザ	①クラムシェルによる積込み作業位置に積込み作業を持っている土が、たまり過ぎている。 ②隣接する施工ブロックとの間で掘削面の安定条件を満足できず、下段のユニットの掘削が実施できない。 ③隣接する施工ブロックとの隙間ににおいて、隅りあうユニットで同時に掘削作業を行えないという条件を満足できずブルドーザが待機している。
クラムシェル	①積込み作業位置に耕土される土が存在しない。 ②クラムシェルによる積込み位置にダンプトラックが封着していない。

情報として加える。こうして明確化した作業動態を十分に表現出来るようなプログラミ化を行なうために本研究では、GPSSシミュレーション言語を用いることとする。最後にシミュレーション結果から、必要となる情報を抽出し加工した後、診断情報として計画立案者に提供する。

(2) 診断基準値および診断情報

施工状態の良否を的確に判断する値を診

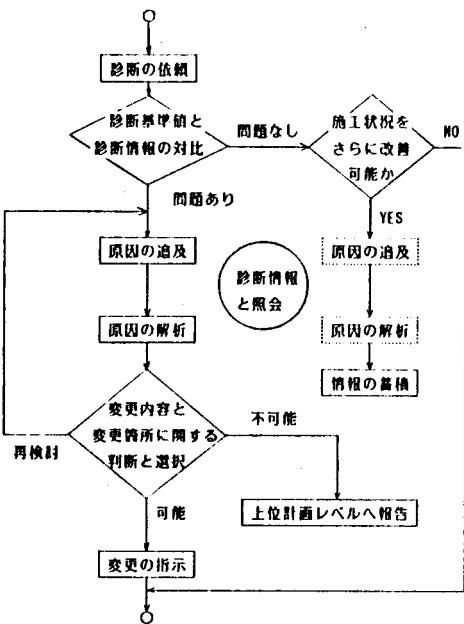
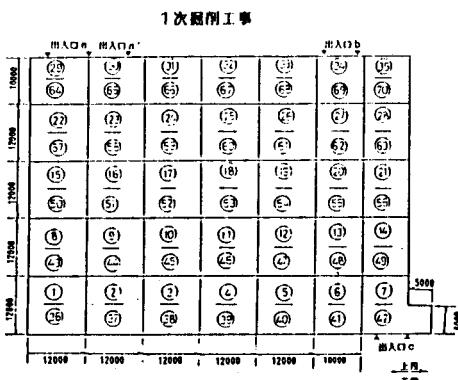


圖-3 診斷行為

断基準値と呼ぶ。この診断基準値の表現する内容は各工種工事ごとに異なるが、掘削工事においては、大型施工機械が導入されその稼働に従って、並行する作業が進行していく、という作業形態をとることから、この稼働状況を重点的に検討することによって望ましい施工状態へと工事を導くことが可能であるといえる。大型施工機械の稼働に関する統計的な研究を通して、稼働率は平均70%で、工事期間や工事費用が異常な値を取ること無しにこれ以上の稼働率を示す場合は良好な施工状態であることが明らかとなっている。そこで、工事現場内で稼働する掘削系機械に関する診断基準値として稼働率70%を取りあげることとし、診断基準値未満の稼働率を取る場合には、施工手段の変更の検討を行なうこととする。また、工事現場以外の場所で稼働する運搬系施工機械に関する診断基準値としては、同様の研究を通して機械の平均使用率80%



2次～4次掘削工事

	41	42	43	44	45	46	47	48
33	34	35	36	37	38	39	30	31
29	28	27	26	25	24	23	22	21
27	26	25	24	23	22	21	20	21
23	22	21	20	19	18	17	16	15
19	18	17	16	15	14	13	12	11
15	14	13	12	11	10	9	8	7
11	10	9	8	7	6	5	4	3
7	6	5	4	3	2	1		

★印は施工ブロックごとの積込み作業地点(クラムシェルの施工位置)

図中の番号は1段目のユニット番号を示している。

図-4 対象地盤のモデル化

を取りあげることとする。

一方、診断情報は2つに大別することが出来る。1つ目は、先述した診断基準値と対比するために算出される機械稼働率および機械使用率を表わす診断情報である。2つ目は、原因の追及・原因の解析を行なうための診断情報である。すなわち、工程の進捗を阻害している問題点を列挙する情報であり、施工機械の隣接施工を避けるために手待ちが存在する位置・時期、また施工機械間の組合せによって生じる手待ち時間等々がその内容である。

(3) 診断方法(図-3)

まず診断基準値とシミュレーション結果から得られた診断情報との対比を行なう。

診断基準値を満足する場合であっても施工手段の変更によって工事費用や工事期間に対する影響がどのように現れるかをパラメトリック分析等を通して明らかにしておく。これは、工事全体の工事費用の低減を図る時の参考情報とするためである。診断基準値を満足しない場合は、診断情報から原因の追及を行ない、変更手段の立案および指示を行なう。

3. 実験システムの運用実験

以上に述べたような手順に従って検討を行なうこととした。対象とした掘削工事は深さ方向の安定条件から切梁を5段必要とする。第1段、第2段の切梁は同時架設を行なうこととしたため、掘削工事は1次～4次に分割された。また、積込み作業方法の違いから、1次掘削工事と2次～4次の掘削工事は別々に取り扱うこととした。投入する施工機械機種は、表-2に示すように異なる施工機械機種を用いることとした。掘削地盤のモデル化は図-4に示す通りである。

第一回目のシミュレーションを実施したCASE 1では、ユニット番号、44, 50, 58, 52, 39, 37, 70において掘削法面の安定条件を満足しないための施工機械の手待ちが生じた。そこで施工機械ごとの作業時間を均一化するように作業順序を再設定を繰り返した。このような検討を繰返した結果、CASE 4において掘削系施工機械の最低稼働率71%、運搬系施工機械の平均使用率81%、という良好な施工状態を示す工程を得ることが出来た。続いて、この掘削パターンに対して運搬系施工機械台数のパラメトリック分析を行なった。以上の検討から得られた結果を図-5, 6に示す。

表-2 投入する施工機械

	投入機械機種	施工能力	初期投入台数
1次掘削工事	バックホウ	1.6m ³ (バケット容量)	2
	ダンptrック	11ton	20
2次掘削工事	ブルドーザ	2740×675 (ドーザ面積)	4
	クラムシェル	0.8m ³ (バケット容量)	4
3次掘削工事			
4次掘削工事			

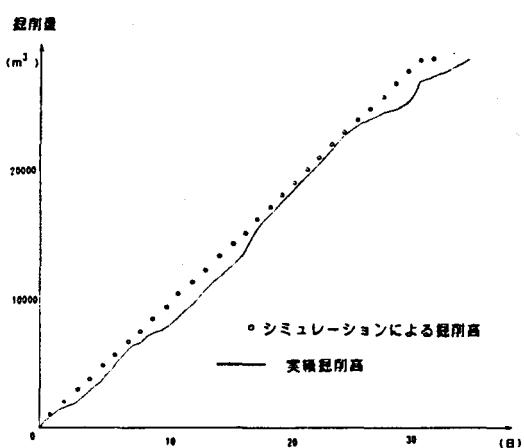


図-5 1次掘削工事の実績掘削高とシミュレーション結果

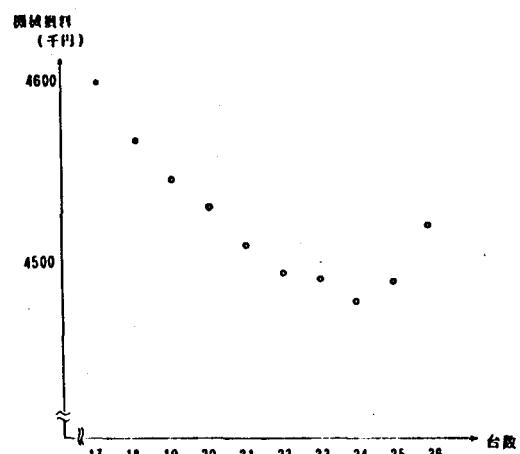


図-6 パラメトリック分析結果