

ダムコンクリート打設工事における工程計画・
管理システムの設計DESIGN OF CONSTRUCTION PLANNING AND MANAGEMENT
SYSTEM FOR DAM CONCRETE POURING

河原畑 良 弘*・春 名 攻**・森 脇 洋***

By Yoshihiro KAWARABATA, Mamoru HARUNA
and Hiroshi MORIWAKI

体工程はもちろんのこと部分的な工程に対しても定量的な評価に基づく計画・管理を可能なものとした。

1. ま え が き

近年の大都市圏における水不足の問題は切実な社会問題となつてきており、効果的な水資源の確保をめざしてダム建設を積極的に推進する必要がある、このためには限られた社会資本のもとでの効率的なダム建設の施工法を確立することが重要である。コンクリートダム工事では、このような課題に対してダム用機械の性能の向上やRCD工法の採用などの施工技術の向上には多くの努力が払われてきた¹⁾。しかし、工事のもう一つの側面である施工計画・管理という面からみると、工事の施工方法や管理方法に関するマネジメントが主として技術者の過去の経験と勘に基づいて行われるという遅れた状態である。ここでは、多くの計画・管理要素の中で特に主要と判断した要素についてのみ個別的な評価を行ってきたので、工事工程の動向を定性的にかつマクロにしかとらえることができなかつたのである。

本研究ではこのような状況を踏まえつつ、ダム建設工事の約半数を占める重力式コンクリートダム工事に着目し、工事施工の近代化や合理化をめざしての効果的な施工計画・管理システムの作成に関する次のような考察を進めている。すなわち、重力式コンクリートダム工事における施工計画・管理問題の中から堤体のコンクリート打設の順序づけのプロセスを計画・管理上重要かつ支配的なプロセスであると考え、具体的な考察の対象として取り出し、その打設順序の決定方法に関するシステム論的な考察を加えた。本研究ではさらに、この方法を中心とした工程計画・管理のプロセスシステムを提案することを試みた。そして、このシステムにより打設工程の全

2. 堤体コンクリート打設工程における計画・
管理システムの必要性

(1) 堤体コンクリートの打設工程の特徴

重力式ダム工事の着工から竣工までの作業工程の流れは一般に、①仮設備の設置、②転流工の実施、③基礎岩盤の掘削と処理、④コンクリートの打込み、⑤仮設備の撤去、というように整理することができる。そして、作業工程の計画・管理が不可欠なものとしては、仮設工、転流工、基礎掘削工、基礎処理工さらには堤体打設工などが挙げられる。

いま、ダム工事の計画・管理要素として他の工事と同様に費用、時間、品質、安全という4要素を取り上げることができる。まず、費用や時間という側面からは工事の主要な計画・管理の対象として総直接工事費、さらには全体工期の大きな部分を占める堤体コンクリートの打設工程を考えることは重要なことである。次に、ダム工事における最も重要な品質の計画・管理の目的は、堤体コンクリートとして打ち込むマスコンクリートの均一性と一体化を図ることである。さらに、安全施工という側面においては労働災害がコンクリートの打設中に頻発していることから、堤体の打設時の安全管理は特に重要と考えられている。これらのことをとりまとめてみると、ダム工事の計画・管理においては堤体の打設工程は重要な位置を占めていることが理解される。

また、堤体の打設工程は他の工程に比べると不確実性が大きく計画と実績の間に大幅な差異が生じやすい工程である。しかも、その作業期間が全体工期の大半を占めるので、長期間にわたって用いる骨材製造設備や混練設

* 正会員 工博 (株)奥村組技術研究所所長

** 正会員 工博 京都大学助教授 工学部土木工学科

*** 正会員 農修 (株)奥村組技術研究所研究員

備および打設設備などの主要な機械設備を合理的に運用していくことが要求される工程であるといえる。

(2) 打設工程の計画・管理上の問題点

堤体コンクリートの打設工程に関する計画、実施、統制というマネジメントの各ステージにおける現状について検討した結果をとりまとめると以下ようになる。

まず、計画段階における問題点をとりまとめると次の①～⑤のように整理することができる。

① 堤体の打設工程の計画作成時に考慮すべき条件²⁾は複雑多岐であるので、実際の工事における計画・管理要素として現場の技術者が主観的に重要と判断したものだけが取り上げられやすく、計画者が変われば打設工程計画のかなりの部分が変化しうる可能性がある。

② 現行の計画方法ではすべての打設箇所の打設順序を決める場合の計画案の合理性の評価があいまいである。このため部分的な工程の評価を行わないで単純に期間のみを重視する一面的な打設順序の決定を行っている。

③ 打設工程の作業を静態的にとらえて計画することが多いために、日々変化する作業状況を反映するような要因とその内容を的確に把握できていない。

④ 計画作業の大部分がハンドワークでなされるので計画案の検討対象には質、量ともに限界がある。

上述のような問題を解決して事前の工程計画を作成し得たととしても、日々の打設作業の実施では多くの外的要因（たとえば気象、地盤の自然条件の急変や機械・設備の故障およびその他の突発事故など）に強く左右されることが多い。しかも、打設順序が1か所でも変化すればスケジュールが大幅に変わる場合もある。もし、このようなとき以後の打設順序を実態に即応したものへと変化させていかなければ必ずといってよいほど工程上の無理が生じることになる。この打設順序の変化が大きくなってくれば残工事に対する修正計画が必要となるので工事中の実績値の収集は不可欠である。ここで収集すべき実績値には打設日数、打設時間、打設量などの打設進捗状況および打設能力などのプラントの稼働状況等がある。このようなデータは現在でも入念に蓄積されているが、計画の修正を行う現状の統制の方法には次のような問題点を指摘することができよう。

① 計画と実績との差異を発見するための評価指標が明確に確立されていない。このために工程の異常を早期に発見することが困難であり、また、その原因を的確に把握することも困難である。

② 適切な是正処置を講じる方法が明確でないため蓄積した実績値を有効に活用できない。このため近視眼的に工期のみに着目した個別的な是正処置を行いやすい。

③ 残工事の修正計画の作成時では①、②に示したような理由から多くの問題を解決しないまま放置していることが多く、当初計画と同様な問題が生じている。

ここで、これらの多くの問題の発生原因を総括的にとりまとめると次のように表わせる。すなわち、現行の方法では打設作業を規定する計画・管理要素が非常に多く、また、時間的推移につれてそれらの内容が変化する打設作業の作業動態を的確にとらえにくく、この点に起因して種々の問題が数多く発生している。これは日々の打設状況の推移（つまり部分的な工程）に対する評価とそこから派生する全体工程への影響の把握という管理面において、技術者が打設工事を静態的にのみとらえ、主観的な判断に基づいた工程管理を行っているということを反映している。ダム工事の近代化・合理化を施工計画・管理という側面から強く推進していくにあたって、著者らは前述してきた多くの問題点を体系的に整理して配列し実態に対応した解決策を方法論的に確立していくことが効果的であると判断した。

ところで、打設工程における資材（セメント、骨材、鉄筋、型枠など）、労務、機械等の使用計画は日々のコンクリートの打設箇所の決定に基づいて作成されることから、堤体のコンクリート打設の順序づけは打設工程の計画・管理上支配的なプロセスといえる。そこで、システム工学的な観点に立って打設箇所の決定プロセスを動的にとらえて分析を加えるとともに、これを反映して全体的にも部分的にも評価が可能となるように工程計画・管理のシステム化を進めることが必要であると考えた。

3. 計画・管理方法の設計へのシステムアプローチ^{3),4)}

(1) 計画・管理システムの機能的要件

まず、打設作業の工程計画システムを合理的に設計していく場合の機能的要件の大枠としては、① 代替案がシステムティックに作成できること、② 代替案を総合的に評価できること、の2点を取り上げることとする。この場合の代替案の総合評価には、種々の視点からの合理性をも追求するという目的で複数の評価指標を抽出することとする。

次に、実施プロセスでの機能的要件の大枠としては、① 計画プロセスの出力情報に基づいて打設作業の指示と監督を行うこと、② 統制プロセスへの入力情報となる実績値の収集と整理を効率的に行うこと、などが挙げられよう。本研究では、このプロセスの現状はほぼ満足できる状況にあると判断し、ここでのシステム化の対象からは一応除外しておくこととする。

最後に、統制プロセスでの機能的要件の大枠としては、① 計画と実績との差異を早期に発見できること、② 作業工程に異常が生じた場合には異常の程度に応じて最も適切な是正処置を講じられること、という2点に絞ることとする。

(2) 工程計画・管理システムの設計上の課題

工程計画・管理システムの設計上の課題を、システム設計の一貫性⁵⁾、⁶⁾という観点から整理してとりまとめると次のように表わせる。

① 打設作業を動的にとらえて実行可能性のある工程計画の代替案をシステマティックにかつ効率的に作成することのできるプロセスを確立する。

② 計画の代替案の内容の実行可能性や合目的性を総合的に評価することのできる定量的な指標を設定する。

③ 上述した評価指標は、また工程計画と実績との差異を早期にかつ定量的に把握できるものとする。

④ 実施プロセスで発生した計画との差異に応じて最も適切な是正処置を行えるプロセスを確立する。

このうち③に示した計画と実績との差異の把握および④は統制のシステムの設計上の主要な課題である。いま、③で述べたように差異発見のための評価指標を計画化のためのシステムに組み込み、かつ④に示すような適切な是正処置を残工事に対する修正計画の作成とみなしたならば、計画システムをこの段階で利用することもできる。このように計画化のためのシステムの確立は統制のシステムの確立にもつながるものと考えて、本研究では計画システムをトータルシステムの設計における中心的課題として取り上げることとした。

(3) 計画システムの設計の方針

まず代替案を作成するプロセスにおいては打設作業を規定する重要な要因を取り上げることとする。そして、このプロセスの中心的な課題であるコンクリートの打設順序の決定の方法に関しては次のような考察と判断を行った。すなわち、ダムコンクリートの打設においては打設作業を規定する要因の内容が時間的な推移につれて変化していくとともに、工期や工費を決定する際の要因の内容に不確実な要因が多くて複雑に関連しあっている⁷⁾ことから、その順序関係がほとんどの場合一意的に決められないのが一般的である。したがって、工程計画の作成においてよく用いられるネットワーク手法は主要な作業の順序関係がおおよそ決まっていなければならないので、この手法の適用は不適切であると判断した。そこで、上述したような要因の特性を考慮して、本システムではダムコンクリート打設工程の順序の計画のための中心的な手法としてシミュレーション手法を用いるのが効果的で

あると判断してシステム化を進めることとした。

ところで、本システムの代替案の作成プロセスは残工事に対する修正計画も対象としなければならないので、当プロセスでは工事着手前の諸データと工事進行中の実績データの両者を効果的に利用し得るような形に設計しなければならない。そこで、このプロセスにおける評価指標は、① 代替案の実行可能性および合目的性が容易に評価できるように定量的に表わされていること、② 打設作業を規定する諸要因へ容易にフィードバックできること、③ 打設作業の実施過程における実績値と計画値との間の個別的な対比ができること、などの要件を満たすものでなくてはならない。この①と②の要件は、総合評価のプロセスにおいて、また③は、工程の異常の発見と検討のための統制プロセスで必要な事項である。

ここで、本システムにおいては経済性を判断するための具体的な指標であるコストそのものは直接的には取り扱わず、各評価指標を媒介として経済性に関する間接的な評価・検討を行っても十分合理的なシステムが設計できるものと判断していることを断わっておく。

4. 打設工程の計画システムの設計⁸⁾

(1) 本堤コンクリートの打設箇所決定のプロセス

本堤はブロックとリフトによって分割された打設箇所集合体といえる。この本堤の施工ユニットに対しては図-1に示すプロセスによりそれぞれの打設日が決定される。そして、これに従って毎日の打設作業を実施するとともに、これに関連する作業(型枠工、清掃、グリーンカット、グラウト工など)が行われるのである。

a) ダム形状と施工ユニット

打設の順序づけにあたっては本堤の各打設箇所をブロック番号とリフト番号の2種のインデックスによって施工ユニットを識別していくこととした。さらに、本堤コンクリートの打設をブロック方式で行う場合には河川の上下流方向という位置関係も区別しなければならないので、ここでは本堤を3次元的にとらえて表わすこととし図-2に示すような記号を用いることとした。

b) コンクリートの打設能力

1時間当たりの平均打設量(時間平均打設量とよぶ)はコンクリートの製造、運搬、打設設備のうちの最小能力の機械設備によって規定される。そして、1日の打設能力(日打設能力とよぶ)はこれと1日の打設可能時間との積として与えられる。この日打設能力は1日の最大の打設可能量と考えられるので施工ユニットのコンクリートの総打設量がこれを超える場合には、このリフトを

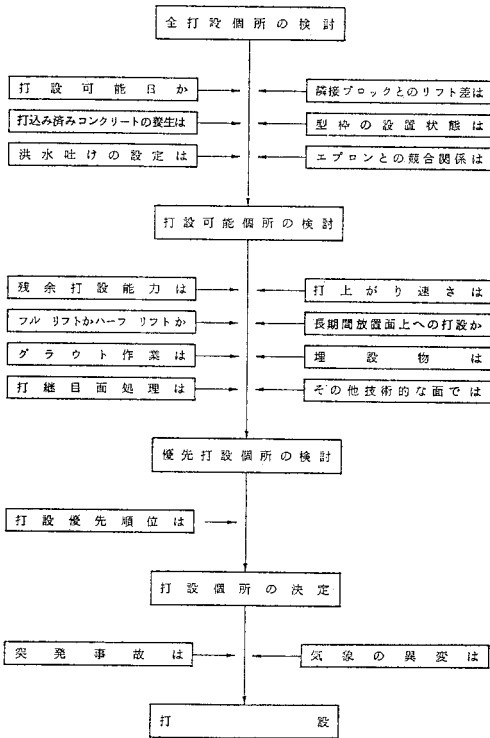


図-1 本堤の打設箇所決定のプロセス

		ブロック番号			
		1	2	3	4
リフト	1	1-1-AL-F1	2-1-AL-F1	3-1-AL-F1	4-1-AL-F1
	2	1-2-AL-U5	2-2-AL-F1	3-2-AL-F1	4-2-AL-F1
打掛	3	2-3-AB-F1	3-3-CB-F1	3-3-AB-F1	4-3-AB-L5
	4	2-4-AB-U5	3-4-CB-L5	3-4-AB-U5	4-4-AB-L5
打	5	3-5-AB-L5	3-5-AB-L5	3-5-AB-L5	3-5-AB-L5

A: 上流側ブロック C: 下流側ブロック
 L: レイヤー方式打設 B: ブロック方式打設
 U5: 上層ハーフ・リフト L5: 下層ハーフ・リフト F1: フル・リフト

図-2 ダム形状の表示 (上流側正面)

ハーフリフトに変更しなければならない。また、1日に複数箇所の打設を行う場合にもその全必要量がこの日打設能力を超過するときには、日打設能力内で打設可能なユニットを選択して打設していかなければならない。

なお、複数箇所の打設には1か所を打設終了するたびに段取り替えとして1時間を必要とするものとみなし、第*i*番目の打設の開始時点における当日の残余打設可能量を次のように算定することとする。

$$V_i = C \cdot \left\{ A - \sum_{j=1}^{i-1} (U_j / C + 1) \right\} \quad (i \geq 2) \dots\dots\dots (1)$$

- V: 残余打設可能量 (m³)
- U: 打設コンクリート量 (m³)
- C: 時間平均打設量 (m³/h)
- A: 1日稼働時間 (h)

c) 打設可能日数

コンクリートの打設が行われない日を理由ごとに分類

表-1 非打設日の理由内訳

非打設日	① 休日	日曜、定休日
	② 打設不能日	気温、降雨、降雪、異常出水 機械等の定期点検や故障修理
	③ 打設可能な箇所がないこと	
	④ 他作業と競合して制約されること	

してみると表-1 のようである。実際には2つ以上の理由が重複していることもある。このうち③と④は事前には把握しがたいので、これらについては打設作業の動態をとらえる際に考慮することとして、ここでは①と②を勘案して各月の打設可能日数を算出する。そして、②は最も不確実な性格をもつ要因であるので、打設日数の計画値と実績値とを絶えず比較・検討して適切な対応策をとっていく体制を整えておくことが必要である。

さて、ここでは上述の打設可能日数をあらかじめ当該月の上・中・下旬という3期に分けて割り振る。このように旬間単位に打設可能日数を設定する(打設可能コンクリート量も同様である)ことによって、非打設日が適当に3旬に割り振られてシステムシミュレーションの内容を実際の施工状態とあまり離れないようにする。なお休日の設定は任意に指定できることとし、この日数により変動する打設可能日数を計画変数として取り扱うこととした。

d) 立上がりパターン

本堤がブロック間の先行・後続の関係に従ってリフト単位で打ち上がっていく形状をここでは立上がりパターンとよぶこととした。このパターンとしては図-3に示すようなものが代表的であるといえる。本堤打設計画のフレームを規定するこれらのパターンの決定に際しては、グラウトパイプの埋込みや型枠の建込みさらには工事用水の排水などを考慮して可能ないくつかの案を求めて十分に検討を加えておくことが望ましい。つまり、このパターンの設定が各ブロックの打設の開始順序を規定して全工程の打設の順序づけに直接大きな影響を与えることとなるのである。そこで、このパターンも主要な計画変数として任意な形状を設定できることとした。

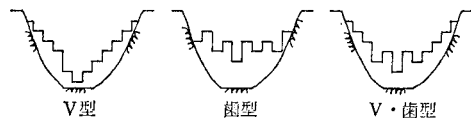


図-3 立上がりパターンの一例

e) ブロック間の最大リフト差

この最大リフト差はダムの一体化という観点からダム軸方向に8リフト、上下流方向に4リフトとなるように定められている⁹⁾。そこで、この上限値によりシミュレーションを行うと各ブロックの打上がり速さ(g)で後述)の違いによっては凹凸の激しい望ましくない立上が

り形状を呈示する可能性がある。したがって、各ブロック間の最大リフト差を計画変数（ただし上述した限界値以下の範囲で設定する）として取り扱い、望ましい立上がり形状を呈示する代替案を求められることを可能とした。

f) 型枠存置日数

後続ブロックの打設は隣接する先行ブロックの型枠の存置中は不可能である。この型枠をスライドするのはコンクリートの養生期間後（3～5日後）となるが、この日数を型枠存置日数とよび月別に入力情報として与えることとする。なお、先行ブロックのユニットの打設は、後述するサイクルタイムが経過した後でかつ型枠が所定の位置に設置されている場合に可能であるとしている。

g) サイクルタイム

ある施工ユニットの打設はそのユニットの属するブロック内で先行するリフト（つまり1つ下の位置にあるリフト）の諸作業がすでに完了していないと行えない。ここでは、この点を明らかにするためにコンクリートの打込みとこれに関連する諸作業に要する最小限の必要日数をサイクルタイムとして設定することとする。図-4にこのサイクルタイムの構成状態の標準例を示すが、打設箇所によってはグラウト作業や付帯構造物の設置作業などの特殊な作業に要する日数も勘案しなければならない。このようにサイクルタイムは各打設箇所固有のものであるので、各打設箇所ごとに事前に算定したサイクルタイムを入力情報として与えておくこととする。

なお、打設を制約する諸要因を考慮しなければ各ブロックでの同一標高に位置するリフトから天端リフトまでの各リフトに与えたサイクルタイムの総和の少ないブロックほどその立上がりは速いこととなる。このようにサイクルタイムから生起する要因として各ブロックごとの打上がり速さを考慮し、これの制御は i) で後述する理想リフト差の値を用いて行うこととした。

h) エプロンの打設

本堤とエプロン（導流壁、水叩き、副ダムなどの放水施設の打設箇所の集合体）との接合部においては、双方

の打設の状態を十分に検討しておかなければ相互干渉が発生して本堤の打設に悪影響を及ぼすこととなる。したがって、ここでは本堤と同様にエプロンの打設作業を計画工程に組み入れて両者の干渉度合を動的にとらえていくこととした。このために両者の関連（打設の順序や制約関係など）を入力情報としてあらかじめ与えておき、打設開始日などを目的にそって決定していくこととした。なお、エプロンへの打設には本堤の打設設備以外のものを用いる場合が多く、その打設能力は本堤と比べて低くなるのが一般的である。そこで、この差異を考慮するために、式(1)とは異なってエプロンを打設したときの残余打設可能量の算定式を次のようにした。

$$V_i = V_{i-1} - C_b \times \left(\frac{U_a}{C_a} + 1 \right) \quad (i \geq 2) \dots\dots\dots (2)$$

- V: 残余打設可能量 (m³)
- U_a: エプロンのコンクリート打設量 (m³)
- C_a: エプロンでの時間平均打設量 (m³/h)
- C_b: 本堤での時間平均打設量 (m³/h)

i) 打設作業間の優先順位

毎日の打設作業を開始する時点において打設可能な箇所が複数ありそれらのすべてを打設するのに必要なコンクリート量が日打設能力を超過する場合を想定する。このような場合には適切な判断基準に基づいて日打設能力内で打設できる箇所を選ぶことが必要となる。実際の工事においては、施工の簡易さや安全性さらには品質の確保というような面から一般的に次に述べるような優先順位の決定法を用いている。すなわち、① マスコンクリートの品質を確保することを目的として残っているハーフリフトの打設をまず優先する。次に、② ブロック別の1リフト当たりの平均サイクルタイムとブロック間の先行・後続関係からみて工程上遅れやすいと判断されるブロック内での打設を優先させる。さらには、③ リフト差の大きいブロック間での人や機械の移動は安全管理上好ましくなくかつ打設効率も悪くなるので、リフト差の大きい隣接ブロック間においてはその後続ブロック内のユニットの打設を優先させる。

このような判断基準は経験的に導かれた基準ではあるが、ここではこの順位づけの方法が計画案の実行可能性を現実的に保証するものと判断し、本システムでは次の①～⑥の順に打設の優先順位を設定することとした。

- ① 上層ハーフリフトの打設
- ② 一定期間放置せざるを得なかったコンクリート面上へ打ち継ぐ下層ハーフリフトの打設
- ③ 特別優先ブロック内の打設
- ④ 最遅ブロック内の打設
- ⑤ 上下流方向での後続ブロック内の打設
- ⑥ ブロック別優先順位の高いブロック内の打設

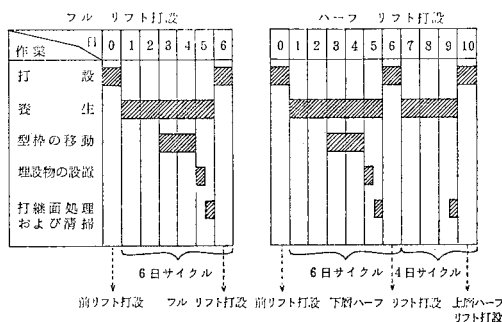


図-4 標準的なサイクルタイムの一例

この③は1ブロックに対してのみ指定するものであり削除が可能な基準である。また、⑥の基準は複数の打設可能箇所が上記の①、②、④、⑤の基準に対して同レベルの優先度を有する場合に用いる判断基準である。ところで、④に示した最遅ブロックであるかどうかの判断基準については次のように考えた。つまり、前述のような立上がりパターンは単にブロック間の先行と後続の関係を示しているだけであり、ブロック間での望ましいリフト差については考慮していない。このため可能な限り各ブロックの打上がり速さが平均化されるようにめざすときに目安となるべきリフト差をブロック間で個別に指定することとした。いま、この値を理想リフト差とよぶこととし、これに基づいて設定するパターンを理想的な立上がりパターンとしてあらかじめ求めておくこととした。ブロック間に設定したこの理想リフト差とシミュレーション実施中におけるリフト差とを逐次比較することによって各ブロックの打設の遅れを判断し、この理想的なパターンに近づけるように打設を促進させることとしたのである。このように理想リフト差の値によっては打設の順序づけが大幅に変化するため、本システムで

はこれも計画化における重要な変数とみなすこととした。

j) その他

工事中の異常出水を安全に越流させるためには構築中の本堤に洪水吐けを設けることが必要である。この洪水吐けとして機能するブロックの設定や、1日で打設できる箇所数の制限^{注1)}、岩着部におけるハーフリフトによる打設箇所の指定、さらには一定期間放置せざるを得なかったコンクリート面上へ打ち継ぐ場合の処理などもシステム内で十分配慮することができるようにした。

本堤の打設箇所決定に至るまでに、以上に述べてきたような多くの要因がどのように関連していくのかをわかりやすく模式的に表わしたものが図-5である。

(2) 評価指標の種類とその内容

a) ブロック内の打設サイクルに関する指標

打設作業の工程において各打設箇所ごとに発生する無駄な待ちを少なくすることは工事施工を効率的に進めるうえで重要なことである。そこで、あるリフトを打設した後、同一ブロック内において直上のリフトを打設するまでのサイクルの構成を図-6に示すように取り上げることとする。すなわち、ここではあるリフトを打設した後、直上のリフトの打設を開始する時点までに経過した日数から所定のサイクルタイムを差し引いた日数を不要な待ちとしてとらえたのである。このうちの不要待ち日数とは、①隣接ブロックとの許容リフト差、②洪水吐け用のブロックに対して指定したリフト差、③エプロンとの競合関係、などのために生じる待ちである。打設待ち日数は打設可能な箇所が複数存在する日において、①打設能力、②打設可能日数、③打設可能箇所数、の3つの制約によって生じる待ちである。これら2者の待ちは計画内容を

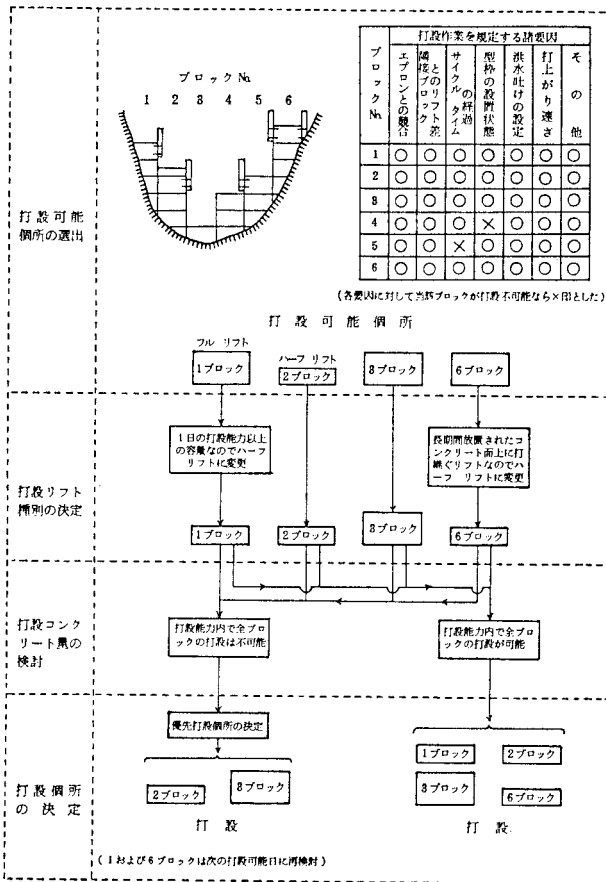


図-5 日々の本堤打設箇所決定までの手順の概要

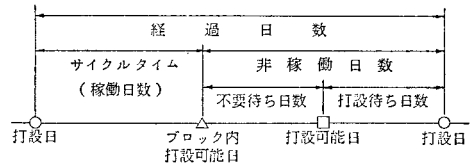


図-6 ブロック内の打設サイクル

注1) 打設開始当初は岩着リフトの多いことや作業員の不慣れなことと同時に機械設備の調整不十分などのために正規の出来高があげられないことが多い。また、打設可能量だけの制約では打設最盛期におけるシミュレーションにおいて小容量の打設箇所を1日にくわしくも打設するような非現実的な事象が起り得る。これらを勘案して打設当初の指定期間および全工程を通しての1日で打設が可能な箇所数を指定することとした。

工夫することにより減らすことが可能であるので、計画化における重要な評価指標として取り上げることとした。

さて、打設作業工程の時間的な状態推移を的確にとらえるために、ここでは図-6 に示しているような特性値を個々の打設箇所について求めることとした。これによってダム全体やブロック別あるいはユニット別の打設状況や、さらには待ちの多いブロックなどを定量的に把握できるので容易に計画案の比較・検討を行うことが可能となるのである。

b) ハーフリフトの打設作業に関する指標

コンクリート打設の施工ユニットの形態は通常フルリフトであるが、岩着部に位置する打設箇所や1日の打設能力を上回るコンクリート容量を有するフルリフトの箇所および長期にわたって放置された面上に打ち継ぐ箇所などに対してはハーフリフトで打設が行われることがある。このようにしてハーフリフトの打設が行われた場合には、その理由を打設箇所ごとに出力情報として求めるとともに一定期間放置せざるを得なかった面上へのハーフリフト打設はその発生数の少ないほど望ましいことから、この発生数を指標として取り上げることとした。

c) 打設作業の状況に関する指標

工事全体を通しての作業効率や打設作業の最盛期の状況を把握するために、打設日数率とコンクリート打設率という2つの指標を設定することとした。前者はシミュレーションの実行を通して判明する打設日数と当初に想定した打設可能日数との比率を表わしている。また、後者は同じくコンクリート打設量と打設可能量との比率を表わすものである。これらの比率を旬間、月間および全期間に対して求めることによって、この観点からの代替案の評価を行うこととした。

d) その他の指標

打設作業工程の開始日と完了日およびその期間を表わす所要日数、各日ごとの打設箇所数および旬間、月間ごとの打設日数などを工程の動態を具体的に表わす指標として設けることとした。特に、打設日数は打設能力とともに主要な計画要素であるので統制段階ではこの計画値と実績値とを必ず対比しなければならないのである。また、ブロック間の先行・後続関係やそでのリフト差などの立上がり状況が一目瞭然となる本堤の立上がり状態図を月ごとに出力し、これから読み取れる隣接ブロック間での立上がり時のリフト差も1つの指標としてとらえることとした。

(3) 打設順序の評価の方法と指標値の有意性

前述してきた各評価指標はその特性により日々、旬間そして月間といった部分的な工程に、あるいは全工程に

対する定量的な値として出力できる。この両者の総合的な評価を行うことによって、全期間を通しての合理的な計画案を採択することになる。また、前者に関する評価の内容と(1)で述べた計画変数とから、計画値と実績値との対比は統制プロセスにおける工程の異常の早期発見にもつながるのである。

ここで代替案を評価していく方法としては次のように考えた。まず、実行可能性を満足する案を選択し、その中で合目的性に関する分析を行って最終的に実行計画案を採択することとした。この実行可能性に関する評価とは現場の地形、気象、水文などの自然条件やプラント設備の能力によって規定される施工方針（一部は計画変数を規定することにもなる）に合致しているかどうかの検討である。検討内容の一例としては、風化しやすい岩からなる特定のアバット部を早く打設しているか（立上がり状態図から検討可能）、出水期までに洪水吐け用ブロックが指定したリフトまで立ち上がっているか、出水期が打設の最盛期とかちあっていないか（評価指標として与えた旬間や月間での打設日数や打設箇所数などから検討可能）などがある。このような検討を通して、計画変数の値を設定し直して実行可能性のある案をいくつか選択できるようになる。

次の合目的性に関する評価の際に用いる指標については、客観的に合理的な案を採択できる目安としてそれぞれの重要度を定義している。つまり、(1)での打設作業間の優先順位の項で述べた判断基準をシステム設計の一貫性を保つために評価指標にも反映させることにして、次の①～⑥の順に各指標の重要度を設定した。

- ① 打設待ち日数
- ② 不要待ち日数
- ③ ハーフリフト打設の発生数
- ④ 所要日数（工期）
- ⑤ 立上がり時のリフト差
- ⑥ 打設日数率、コンクリート打設率

この①～③の指標値の増加はマスコンクリートの品質の確保の面から好ましくなく、また養生や打継ぎ面処理に要する費用が増える。さらに、①、②の指標値の増加は工期の遅延となり、特に①を生起させる打設能力や打設可能日数などの計画変数は計画案の実行可能性をめざすうえで状態変数として取り扱われやすい。そこで①を②よりも重要視することとした。これら①～③の指標値に関してはその少ない案ほど合目的であることはいうまでもない。

先の判断基準の項で述べた工程上遅れやすいブロックとは、サイクルタイムの総和が最大でかつ後続であるブロックとなりやすい。つまり、所要日数が最小となる計画案においては、このブロックの打設が合理的に行われ

5. 打設工程計画・管理システムの概略

以上においては、計画システムの設計の過程での中心的なシステムモデルとしてシミュレーションモデルの構成とその内容について詳述してきた。打設作業を実施していく段階での管理において確実性、正確性および合目的性を期すためにこのシステムモデルを有効に利用することが得策であり効果的でもあることはすでに述べてきたとおりである。コンクリート打設作業の工程計画・管理システムにおける「計画—実施—統制」という施工のマネジメントの各プロセスの内容や実施手順の概要についてはすでに示したが、この実施手順そのものが打設工程の計画・管理システムを形成している。すなわち、これまでに打設工程の計画システムの設計に関する考察の過程ですでにトータルシステムまでも明らかにしたことになる。このマネジメントのトータルシステムをここで改めてとりまとめて示すと図-9 に示すフローチャートのようなになる。ここでは、あくまでも技術者が多くの計画要素を作成あるいは判断することを前提としている。つまり、技術者の豊かな経験と勘に基づくマネジメントの方法を無視することなく、逆にできるだけ多くの利点を打設工程の計画・管理システムの設計に反映させるよ

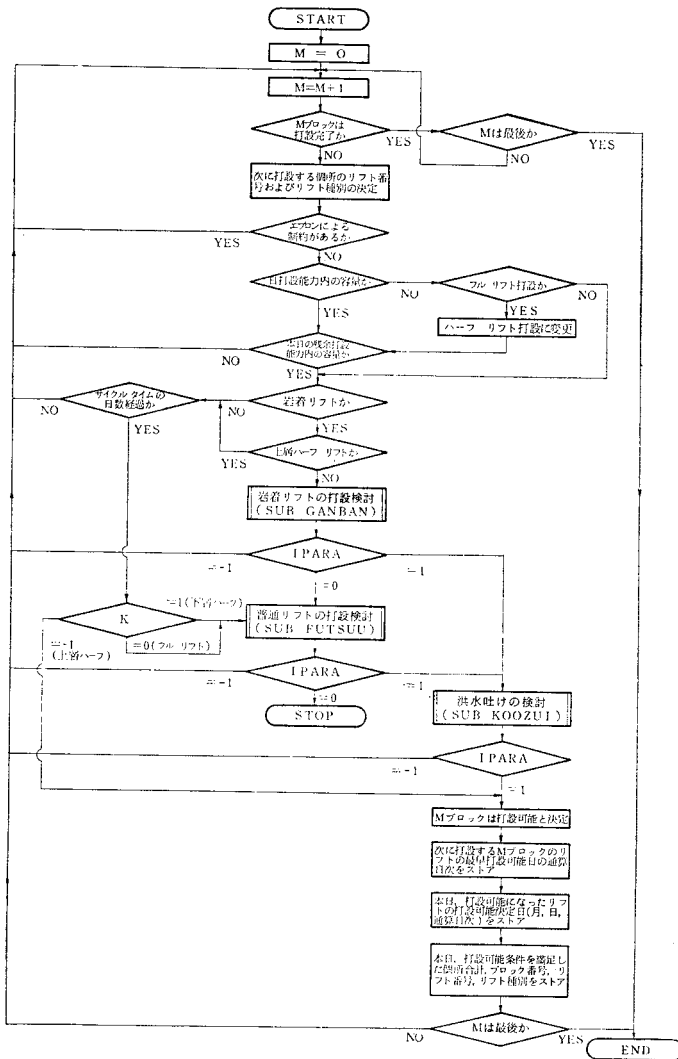


図-8 本堤の打設検討時のフロー

量的な出力情報として求めることとした。このように本シミュレーションでは実際的かつ現実的な入力情報を与えるとともに、可能な計画変数の組合せに対して打設工程をシミュレートしていくことによって数多くの代替案を迅速かつ正確に作成できるようにすることをねらったのである。このシミュレーションプログラムのフローチャートの一部を図-7、図-8 に示す。

なお、工程計画の代替案の特性を比較・検討しやすいように上述した個々の出力情報をまとめたものとして次のような出力リストを用意した。つまり、暦日順の打設工程計画表、月別の本堤の立上がり状態図、ハーフリフト打設箇所の一覧表、月別の打設作業進捗表およびプロッターによる打設日等を表示した堤体図などである。

うに配慮したのである。

6. 本システムの実際の工事施工への適用と考察

本システムはすでに5つのダム工事に適用¹⁰⁾して実証的考察や改善を加えてきた。ここでは適用事例の一例を取り上げてこれに関して具体的に述べることにする。

(1) 適用対象工事

本システムを適用した工事の1つとして取り上げたダム構造物の堤体図を示すと図-10 のようである。このダムは堤体積 192 000 m³、堤高 60.5m の重力式ダムとなっている。工事施工における本堤のコンクリートの打込みにはケーブルクレーンを用いてブロックレヤー混合

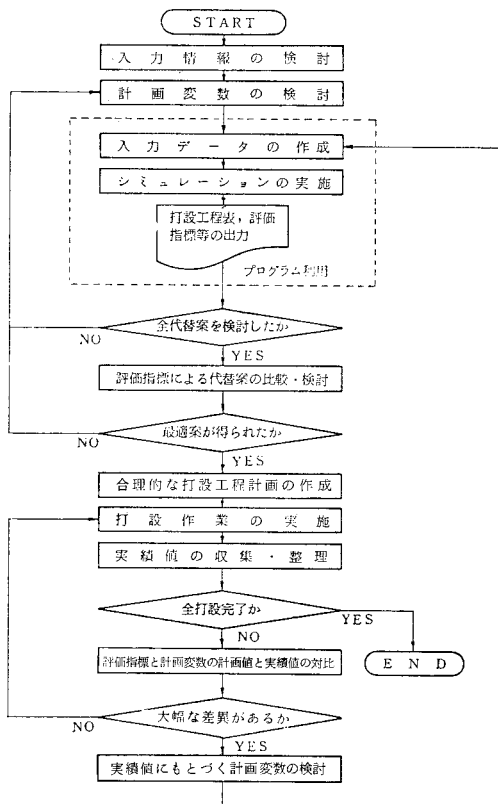


図-9 打設工程計画・管理システムのフロー

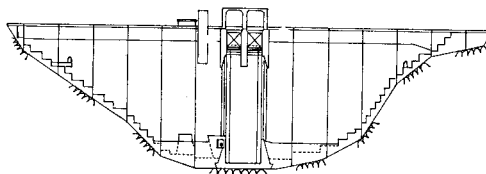


図-10 天理ダム本堤下流面

方式を採用している。パッチャープラントに設置するミキサーとしては 56 切 (1.5 m³) のものを 2 基使用しており混練設備の機械能力は最大 72.0 m³/h である。

(2) 計画化のプロセス

a) 実行計画作成のための計画変数の検討

立上がりパターンと最大リフト差という 2 つの計画変数の組合せが打設工程へどのような影響を与えるかについて事前に把握するため、時間平均打設量を 45.0 m³/h のように想定して本堤のみの打設工程をシミュレートした。この結果、表-2 に示すような No. 1~6 の代替案が得られた。そこで、次のような分析を行った。まず、立上がりパターンにおける V 型の案が他のパターンの案よりも多くの所要日数を要した理由を検討した。立上がりパターンとブロック別のサイクルタイムの総和により最後に立上がり完了すると予想できるブロックの番

号は代替案の No. 1 (V 型) においては 7 番目となり、No. 2 (歯型) および No. 3 (V・歯型) では 9 番目となる。これらのサイクルタイムの総和 (41 リフト分) は前者で 317 日、後方で 349 日である。そして、当該ブロックの岩着部が立上がりパターンから生起する制約のもとで打設された日は初コンからの通算日次で前者が 97 日目、後者が 19 日目であった。この日数と前述したサイクルタイムから算定した日数との和 (V 型案: 414 日, 他案: 368 日) は立上がりパターンの種別から推測できるダム全体の最小の所要日数となる。このようにブロック別の打設の順序づけを規定する要因となる立上がりパターンは、その形状によって工期の長短を左右することが明らかとなった。そこで、当ダムのように谷幅の広いダムにおいては谷底を歯型で立ち上がらせることのできる歯型あるいは V・歯型の立上がりパターンが望ましいと判断した。

次に、不要待ち日数の発生に起因する最大リフト差の設定値について分析した。代替案の No. 4~6 のようにこれを大きく設定すると先行ブロックの打設可能リフト差からの許容範囲が広がる。この結果、表-2 に示したように No. 1~3 の代替案に対しては不要待ち日数が少なくなっている。しかし、この許容範囲の広がりには先行ブロックの打設の可能な箇所の発生を多くする。ここで打設の優先順位に基づいて打設箇所を決定する際に、これらの先行しすぎているブロックに対する順位は表-2 に示した ② か ⑥ でしかあり得ないこととなる。したがって、複数の打設の可能な箇所がいつも存在する最盛期においては、これらの先行気味のブロックは長期にわたって放置されることとなり、このことが打設待ち日数の増加の誘因となる。また、最大リフト差を大きくすると立上がり形状は凹凸の激しいものとなりやすいこともわかった。さらに、代替案 No. 4~6 の不要待ち日数が他案と比べて少ないもう 1 つの理由も明らかとなった。つまり、理想リフト差の値を No. 4~6 においては他案に比べて 1 リフト分大きくしたことにより、隣接ブロックとの型枠の競合により発生する待ちが少なかったのである。これらのことを踏まえて、望ましい指標値を得るにはリフト差に関する計画変数を以下のように設定していけばよいとの結論を得た。すなわち、ダム軸方向の最大リフト差を 5~6 に設定し (打設待ち日数の発生を抑制するとともに立上がり形状を滑らかにする)、理想リフト差を 3~4 とする (1~2 にすれば型枠との競合が起こりやすく、最大リフト差と同値にすると先行ブロックが立ち上がりすぎて後続ブロックの接近を待つために先行した打設面が長期間放置されやすい) ことである。これらの値は一応の目安であり、ブロック相互の打上がり速さに大差のある場合には実状にみあった値としなけれ

表-2 シミュレーションの詳細

No.	打設条件						シミュレーション結果の指標値の一覧									
	立上りパターン	打設優先順位	打設能力 (m³/h)	最大リフト差	日打設箇所数の制限		本堤打設優先順位	打設工期および所要日数		打設日数率 (%) (打設日数/所要日数)	コンクリート打設率 (%)	ハーフリフト打設変更箇所数	総打設箇所数	打設待ち日数 (d)	不要待ち日数 (d)	非稼働日数 (d)
					本堤	エプロン		本堤	エプロン							
1	V			ダム軸: 5				自 S51. 3. 1 至 S52. 9. 6 555 d (18.2か月)		70.6 ($\frac{392}{555}$)	63.2	12	586	706	1797	2503
2	歯			(レヤー) 3 時 上下流: 3 斜め: 8				自 S51. 3. 1 至 S52. 7. 28 515 d (16.9か月)		76.3 ($\frac{393}{515}$)	68.3	4	578	755	1595	2350
3	V・歯							自 S51. 3. 1 至 S52. 7. 22 509 d (16.7か月)		75.2 ($\frac{383}{509}$)	68.9	7	581	729	1682	2411
4	V	本堤	45	ダム軸: 7				自 S51. 3. 1 至 S52. 8. 29 547 d (18.0か月)		68.7 ($\frac{376}{547}$)	64.2	14	588	872	1529	2401
5	歯			(レヤー) 5 時 上下流: 4 斜め: 8				自 S51. 3. 1 至 S52. 7. 21 508 d (16.7か月)		75.6 ($\frac{384}{508}$)	69.1	3	577	855	1305	2160
6	V・歯				打設当初 ≦ 1 以後 ≦ 3			自 S51. 3. 1 至 S52. 7. 12 499 d (16.4か月)		74.8 ($\frac{373}{499}$)	70.4	7	581	845	1316	2161
7	V							自 S51. 2. 28 至 S52. 9. 14 565 d (18.5か月)	自 S51. 3. 2 至 S51. 8. 11 163 d (5.3か月)	72.7 ($\frac{411}{565}$)	69.2	9	626	957	1804	2761
8	歯	本堤		ダム軸: 5				自 S51. 2. 28 至 S52. 8. 12 532 d (17.5か月)	自 S51. 3. 2 至 S51. 8. 12 164 d (5.4か月)	76.9 ($\frac{409}{532}$)	73.3	7	624	918	1568	2486
9				(レヤー) 3 時 上下流: 3 斜め: 7				自 S51. 2. 28 至 S52. 8. 17 537 d (17.6か月)	自 S51. 3. 2 至 S51. 8. 9 161 d (5.3か月)	75.8 ($\frac{407}{537}$)	73.0	10	627	1031	1591	2622
10	V・歯							自 S51. 2. 28 至 S52. 8. 17 537 d (17.6か月)	自 S51. 3. 2 至 S51. 8. 9 161 d (5.3か月)	75.4 ($\frac{405}{537}$)	73.0	13	630	1063	1550	2613
11								自 S51. 2. 28 至 S52. 8. 24 544 d (17.9か月)	自 S51. 3. 2 至 S51. 8. 12 164 d (5.4か月)	75.9 ($\frac{413}{544}$)	72.1	8	625	903	1812	2715

ばならない。

このような検討の結果、代替案 No. 1~3 での不要待ち日数は理想リフト差の値の操作により減らすことが可能であり、ひいては工期も短縮すると判断し、これらの案に用いた最大リフト差の値を採択することとした。

次に、打設の開始予定日や 42.0 m³/h の時間平均打設量が決められた時点において各月の旬間打設可能量を算定し直し、エプロンのコンクリート打設作業および洪水吐けの設定も考慮して、実行計画案となる新しい代替案を作成することとした。なお、先の代替案の例では V 型案での打設待ち日数を除く各指標はいずれも他案に比べて劣位にはあるが、兩岸部の打設を先行させるという施工方針に最も合致した立上り形状を示す V 型のケースを 1 つだけ検討した。さらに、この施工方針にはそぐわないが、ハーフリフトの発生に関する指標が最優位

である歯型の場合も 1 ケースだけ考慮した。そして、これらの折衷案としての V・歯混合型の立上りパターンを今回の検討の中心として取り上げた。この場合に対してはブロックごとの理想リフト差の値を 3 通り設けるとともに、全ブロックの立上り状態におけるダム軸方向のリフト差を安全施工の目的でより小さく設定したケース（すべてレヤー方式で打設するブロックに対しては最大リフト差を当初から 3 とした No. 11 の案である）を 1 つ考えている。

b) 実行可能性に関する代替案の評価

これらの代替案の内容は表-2 の No. 7~11 に示したとおりである。ここでの所要日数の増加の原因は打設能力の低減による打設待ち日数の増加、および洪水吐けの設定とエプロン部の打設の両者により生じた本堤打設への制約に起因して発生した不要待ち日数の増加とであ

る。

ここで代替案 No. 7~11 に対する実行可能性の評価を行うと次のようである。まず、V 型の案は両岸近辺のブロックの立上りを早めるという方針を最もよく具現すると期待したが、V・歯型の案と大差はなく、逆に後者の方が望ましい結果になっている案もあった。また、当案は V 型という立上がりパターンゆえに、中央部に位置する数ブロックの立上りの開始時期が他の案に比べて 1~2 か月も遅れるとともに、打設当初に打設可能なブロックの発生が少なく初期工程の進捗状況は好ましくなかった。次の歯型の案は検討対象中の最短工期を与えてはいるが、指定工期に対して十分すぎる余裕があることや、この立上がりパターンでは両岸近辺のブロックの立上りの開始時期が他の案に比べて 2~3 か月も遅れて、前述の施工方針に合致しないことが明白になった。なお、いずれの案も出水期に対する施工上の問題点は生じなかった。このような検討に基づいて、実行可能性の観点から V 型および歯型の両案を棄却することとした。

c) 合目的性に関する代替案の評価

実行可能性を満足した V・歯型の案である 3 つの代替案を実際の検討の対象として、表-2 の No. 9~11 に示した各指標値に基づいてその合目的性を評価していくこととした。そこで、各指標の代替案ごとの望ましさの程度をわかりやすくするために、各指標値の相対的な評価を表-3 のようにとりまとめた。この表から No. 11 の案が望ましいと判断できるが、各指標に対する詳細な検討を次のように行った。

まず、打設待ち日数に関しては今回これの発生に起因する計画変数をいずれも状態変数として取り扱っていることから、この指標値の最小である No. 11 の案が最良となる。次の不要待ち日数が No. 11 の案において多く発生したのは既述したように一部のブロックにおいて最大リフト差を他案よりも 2 リフト分小さく設定したことによる。つまり、理想リフト差を 1~2 にせざるを得ないので隣接ブロックとの型枠の競合が多発したのである。この最大リフト差の設定値である 3 リフトは安全側の値であるために、施工途上においては 1~2 リフト分の増加は十分に可能である。そこで、両岸近くのブロック群に対して、この処置を行えば不要待ち日数の減を期

待でき、また指定工期に余裕のあることから、No. 11 の案において他案よりも劣位となった指標である不要待ち日数と所要日数の指標の評価は重要視しなかった。ハーフリフトの発生数については打設待ち日数と同じく No. 11 の案が最良であり、この案はハーフリフトの発生を極力抑えたいという現場の要望にかなった案といえる。

次に部分的な工程（今回は月単位とした）に対する評価を行った。まず、立上がり時のリフト差を本堤立上がり状態図を用いて検討した。そこでは 1 リフト当たりの平均サイクルタイムの小さい左岸よりのブロック群が No. 9 と No. 10 の案では最大リフト差に等しい 5 リフト分の差を終始保持している。このために左岸側ブロックが右岸側よりも先行しすぎて、不均衡な立上がり形状を呈していることが判明した。一方、No. 11 の案では最大リフト差が 3 であるために前述したような不都合な状況は生じなかった。次に、各月の打設日数については各案とも類似した値であったが、コンクリート打設率は個々の月ごとではかなりの差異がみられた。ここで、打設工程の初期と終期を除いた 51 年 4 月から翌年 6 月までの月別の打設率をもとにその変動係数を求めてみると、No. 9 で 14.47%、No. 10 で 12.83%、No. 11 が 8.69% であった。このことから No. 11 の案に基づく工程によれば月ごとのプラントの稼働率に大差が生じないことが明らかになった。

以上に述べた考察によって、全体および部分的な工程の計画案の合目的性を双方とも満足し、かつ他案よりも合目的である No. 11 の代替案を最終的な計画案として採択したのである¹⁰⁾。

そして、次のような方法で実施計画を作成することとした。つまり、まずこの計画案に基づいて打設の順序づけを明示した月間工程計画表を作成した。次いで各月の型枠の製作や使用の計画、骨材の製造計画、材料・資材の納入計画、機械の使用計画、さらには労務計画などをこの工程計画表に基づいて作成した。また、コンクリートの打込み作業に関連する型枠工、清掃、グリーンカットなどの一連の補助作業の日程をも明確にするために、より詳細な週間工程計画表を作成した。しかし、これはあまりに実際的で一般的なことなのでここではこれらの詳細については触れないことにする。

(3) 統制のプロセス

統制のプロセスにおいては、特に、① 計画と実績とのずれの早期発見、② 工程の異常を是正するための修正計画の作成、という 2 つの機能が重要である。一般に実施における打設工程の進捗管理における修正は次のような手順で行われる。すなわち、個々の打設箇所の打

表-3 各指標値の相対評価

代替案	評価指標	打設待ち日数	不要待ち日数	ハーフリフトの発生数	所要日数	各月の立上がりリフト差	全体の打設日数率	全体のコンクリート打設率	各月のコンクリート打設率
No. 9	△	△	◎	△	○	△	△	○	×
No. 10	△	△	◎	×	○	△	△	○	△
No. 11	◎	△	◎	△	△	○	△	△	○

(注) ◎ はウエイトの高い指標に対する評価を示す。

設日や打設の順序づけに計画からの差異が生じた場合週間工程表に示した各打設箇所を打設日を変更する必要がある。この場合、翌週の週間工程表を逐次修正して打設作業を実施することになる。これとともに日々の打設量や打設箇所数および図-6 に示したような指標値などの実績値の収集を行うが、これらの計画からの変動はリフト差や打設能力および打設可能日数などの計画変数の変化から生起していることは明らかである。そこで、これらの計画変数に対応する実績値の整理は平均的な打設状況の動向を知るうえで重要であり、これらを週単位でとりまとめる（各評価指標の変化が一時的な計画変数の変動に起因しているのなら、この変動は以後の工程には大きな影響を及ぼすことはないと思わせる）のが有効であると判断した。したがって、上述の①の機能に対応する検討作業は週単位で実施することが望ましく、次には月間工程計画表に示した打設の順序づけを月間単位で検討・修正することとした。一方、計画変数の定性的な変動から派生してこの順序づけの計画からのかい離が生じた場合や、計画時に予測できなかった施工条件の変化が生起して入力情報の内容が大きく変動すると判明した時点においては、計画変数のみならず場合によっては状態変数をも実状にみあった内容に変更して上述の②のような作業を実施する必要があるが生じてくるのである。

さて、ここでダムにおける打設工程の統制のプロセスの運用の実態をとりまとめて示すと次のようである。まず、打設設備の稼動が最良であったために時間平均の打設量の実績は計画を大幅に上回って順調であった。こ

のにより日打設能力も事前の予想よりもかなり増大したことから、コンクリート量の多い打設箇所の打設待ち日数が一様に減ったために打設順序は当初計画に比べて大幅に変化することになった。この場合は計画において一定期間放置せざるを得なかったコンクリート面の発生を減らすような打設の順序づけを行うというふうにより方向へと予測がはずれたのであった。また、この時点までは気象状況も良好であったので、昭和52年1月から3月における打設可能日数も計画を上回ると判断して同期間の日数を増やすこととした。さらに、時間平均打設量も51年度内の実績値から勘案して打設能力を算定し直して52年1月以降の残工事に対する修正計画を作成することとしたのであった。なお、この時点においては付帯構造物の設置などの作業予定が判明したので天端近くの各リフトのサイクルタイムが当初予定から変化したことと、右岸部の立上りパターンを一部変更することもあったので、これらに係る入力情報もこの時点で更新した。

修正計画に基づく打設の進捗状況は表-4に示すようであったが、実績に基づく入力情報を得ることによって残工事の計画工程と実績工程とはよく一致している。

このように本工事に対してのフォローアップは打設工程の後半において1回実施しただけである。つまり、実績が計画時の予想を大幅に上回ってきわめて順調であったことから、是正処置の必要性がそれほどには要請されなかったのであった。

表-4 月別の打設進捗表

年 月	当初スケジュール					フォローアップ時スケジュール					実 績							
	打設日数(d)		打設箇所数	打設コンクリート量(m³)		打設日数(d)		打設箇所数	打設コンクリート量(m³)		打設日数(d)	打設箇所数	打設コンクリート量(m³)					
	計算値	計画		月計	累計	計算値	計画		月計	累計			月計	累計				
51. 2	1(1)	21	1(1)	42	42													
3	20(21)	24	29(30)	6 118	6 160													
4	24(45)	24	40(70)	12 245	17 405													
5	26(17)	26	39(109)	12 600	30 005													
6	23(94)	23	35(144)	11 384	41 389													
7	24(118)	24	35(179)	11 475	52 864													
8	23(141)	24	28(207)	10 924	63 788													
9	25(166)	25	31(238)	11 765	75 553													
10	26(192)	26	31(269)	11 297	86 850													
11	26(218)	26	39(308)	12 302	99 152													
12	25(243)	25	29(337)	11 827	110 979													
52. 1	18(261)	18	22(359)	9 297	120 276	23(271)	23	37(423)	11 611	144 404	23(271)	37(423)	12 765	145 558				
2	21(282)	21	25(384)	10 761	131 037	24(295)	24	46(469)	13 375	157 779	24(295)	41(464)	13 582	159 140				
3	24(306)	24	32(416)	11 351	142 388	25(320)	26	55(524)	14 105	171 884	27(322)	56(520)	13 934	173 074				
4	24(330)	24	44(460)	12 479	154 867	25(345)	25	48(572)	9 466	181 350	24(346)	50(570)	9 912	182 986				
5	26(356)	26	53(513)	12 257	167 124	20(365)	26	36(608)	4 845	186 195	20(366)	35(605)	4 712	187 698				
6	23(379)	23	49(562)	8 448	175 572	17(382)	23	18(626)	2 397	188 592	14(380)	20(625)	2 163	189 861				
7	23(402)	24	45(607)	5 760	181 336	6(388)	24	6(632)	823	189 415	3(383)	3(628)	435	190 296				
8	11(413)	24	18(625)	2 033	183 369													
備 考	1) 打設開始 S51.2.28 完了 S52.8.24 2) 打設量は設計数量 本堤 177 089 m³ エブロン 6 280 m³					1) 打設再開 S52.1.6 完了 S52.7.25 2) 累計値は S51.12 末の実績より算定					1) 打設開始 S51.3.4 完了 S52.7.11 2) 打設量は実績値 本堤 183 426 m³ エブロン 6 870 m³							

(4) システム運用上の総括

総合的にいえば本システムの適用では5つのダム工事においてともに大きな効果があった。つまり、施工管理において従来の主観的な意思決定に基づく定性的な工程の評価という方法に比べて客観的な判断や定量的な評価が可能な方法となり、先に述べた計画・管理上の問題点を解決し得たと考える。

そして、本システムにおいて考慮した打設待ち日数や不要待ち日数については代替案の定量的な評価に寄与したことは既述のとおりであり、さらに、これらの待ちを生起させる計画変数の値の設定に際しての有効な指標とすることができた。すなわち、待ち日数を少なくするためにはリフト差に関する計画変数については6.(2)のa)で述べた結論を得た。また、シミュレーションの実行により判明した打設待ち日数の多いブロックについてはその打設優先順位を高める(具体的にはこのブロックの理想リフト差を最大リフト差に近づけるとともにブロック別優先順位を高める)ことによってこの待ちを減らすことができる。そして、このブロック内における放置面の発生が少なくなるとともにダム全体の立上がり形状の均等化を図れるようになる。さらに、後続ブロックのうちでのサイクルタイムの総和が最大であるブロックの工程はクリティカルパスとみなせることから、このブロックについても上述したと同様の方法で打設優先順位を高めることによって、所要日数を減らすことが可能であることもわかった。このように計画化のプロセスにおいては、一部の計画変数の合目的な値を当初から予測できるようになった。このために無用な代替案を作成することもなく、迅速かつ確実に代替案の評価を行えるようになった。

次に、統制のプロセスに対しては次のような問題点が発見された。つまり、計画化のプロセスで採択した計画の内容と対応する実績値との比較が工事の進捗の良好な工事現場では適切に行われなかったことである。このために工程の異常に対する早期発見という当システムの機能が効果的には発揮されずに終わり、適切な是正処置を講じる機会を失っていたのであった。今後は計画、統制の両プロセスにおいてバランスのとれた施工管理を当システムを用いて遂行していきたいと考えている。

7. あとがき

本研究ではダム工事におけるコンクリート打設工程の

計画・管理における主要な課題として本堤の打設作業の順序づけの決定問題を取り上げた。そして打設工程における作業動態を効果的に表わすことのできるようにシミュレーションモデルを作成することによって、これを中心とする打設工程計画・管理システムの設計問題へのアプローチを試みたものである。すなわち、工程計画・管理のプロセスを「計画―実施―統制」という施工のマネジメントのサイクルとしてとらえるとともに、統制のプロセスは現実問題として計画化のプロセスの設計問題に大部分包含させることができると判断した。そしてシステムを図-9に示すような構造としてとらえた。次いで、このシステムが重力式ダム工事における施工計画・管理に対して有効な情報の提供を可能ならしめることを実証例によって明らかにした。今後は打設工程のみならず工事の全体工程に対する計画・管理のシステム化を図るとともに、月間や週間工程への詳細計画と結合させる方法のシステム化も行っていく必要があると考える。

最後に、本研究を遂行するにあたり、有益なご助言をいただいた京都大学工学部 吉川和広教授に深甚の謝意を表するとともに、本研究の適用にあたって種々の助言をいただいた(株)奥村組天理ダム工事所の秋田功太郎所長および足立公平主任ならびに(株)奥村組・大成建設(株)共同企業体滝畑ダム工事所の城岡成匡所長および米田安夫主任らの諸氏に謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 駒井 勲：コンクリートダム施工技術の進歩と将来の方向，ダム日本，No. 396，1977。
- 2) 河原畑良弘・兼松哲夫・西村正夫：コンクリート・ダム工事のシステム・シミュレーションについて，第28回年次学術講演会講演概要集，第4部，土木学会，1973。
- 3) 春名 攻：建設工事における施工管理に関するシステム論的研究，京都大学学位論文，1971。
- 4) 春名 攻・田坂隆一郎：地下鉄開削工事における掘削工程のシステムシミュレーション，土木学会論文報告集，第293号，土木学会，1980。
- 5) Schoderbeck, P.P.: Management Systems, John Wiley & Sons Inc., New York, 1967。
- 6) 古川栄一・占部都美・宮下藤次郎：経営組織論，新経営学全集第2巻，日本経営出版会，1968。
- 7) Frenois, J.P. and A.G. Gravelle: Construction simulation of Manic 3 earthfill dam, Water Power, 1971。
- 8) 河原畑良弘・西村正夫・森脇 洋：ダム・コンクリート打設計画立案の電算機利用，第1回電算機利用に関するシンポジウム講演概要，土木学会，1976。
- 9) 土木学会編：コンクリート標準示方書解説昭和49年度版，1974。
- 10) 河原畑良弘・森脇 洋：重力式コンクリート・ダム工事における合理的な打設工程管理への一考察，第34回年次学術講演会講演概要集，第4部，土木学会，1979。

(1980.8.15・受付)