

実施工程に対応した対話型ダムコンクリート 打設工程計画システムの開発

A Practical and Interactive Scheduling System for Concrete Placement of Concrete Dam

(株) 鴻池組 安井英二 *

(株) 鴻池組 ○平原秀樹 *

(株) 鴻池組 藤井 誠 **

名古屋工業大学 山本幸司 ***

By Eiji YASUI, Hideki HIRAHARA, Makoto FUJII, and Koshi YAMAMOTO

コンクリートダムの施工計画において最も重要な部分を占める堤体コンクリートの打設工程計画の作成を支援することを目的に、パソコンを用いたシステムを開発した。このシステムは複数の打設工法に対応でき、コンクリート打設工程計画の作成において考慮されるコンクリート品質の確保を目的とした技術的な制約条件と、施工可能日数、堤体の打ち上がり形状、転流工等の他工種との関連等の管理的な制約条件の組み入れが容易になる。

さらに、打設箇所選択の条件の優先度を選択できるようにすることで、計画担当者の施工方針を反映した実施工レベルの計画を短時間で作成でき、条件の変更に対応した試行錯誤が容易となることから、多くの代替案を比較・検討できる。

また、このシステムは汎用表計算ソフトをベースに開発しており、ダイアログボックス等のGUIを利用することで、堤体形状、打設数量、打設条件等のデータの入力・修正が対話形式で行えるほか、打ち上がり形状を視覚的に確認できるため、操作性が高い。

【キーワード】コンクリートダム、工程計画、対話型システム

1. はじめに

コンクリートダムの施工は掘削工、基礎処理工、転流工、仮設備工、堤体工などの多数の工種で構成されるが、この中で特に堤体工でのコンクリート打設は全体工程において工期面、費用面でも最もウエイトの高い重要なものである。

ダムコンクリートの打設工程計画は一般にリフトスケジュールと呼ばれ、コンクリートの製造設備や運搬・打設設備の能力に基づいて、ダム堤体を1回当たりの打設単位に分割し、1日の打設量の最大化と平準化を図るように、それぞれの打設単位に打設日を割り当てた工程計画である。

リフトスケジュールの立案では、工期等の基本的な制約条件や、工事場所、気象等の工事固有の施工条件の下で、計画担当者の施工方針を組み込んだ打設の優先条件を考慮して試行錯誤を繰り返し、より合理的な打設工程、すなわち打設箇所と打設順序を決定することが重要である。

この作業には多くの労力・時間を要し、さらに施工途中の条件変更による再計画を迅速に行う必要があるため、シミュレーション手法を用いた大型コンピュータ用システム¹⁾や、近年ではEWSやパソコンを用いたシステム^{2)、3)}が開発されているが、複数の打設工法や実施工レベルの計画条件への対応、操作性について課題が残されているようである。

また筆者らも、これまでにパソコンを用いたリフトスケジュール作成支援システム⁴⁾を開発し、計画担当者の施工方針も逐次採り入れながら現場適用を

* 技術研究所	06-244-3600
** 土木本部技術第四部	03-3296-7601
*** 社会開発工学科	052-735-5586

行ってきたが、このシステムは着工前の全体的な概略工程レベルの計画立案を中心としたもので、実施工程レベルでの個々の施工条件への対応やシステムの操作性に課題があった。

そこで、新たに全体工程レベルおよび実施工程レベルの計画に対応でき、計画担当者が考慮する施工条件を組み入れられるような汎用化・高機能化と操作性の向上を図った新しいシステムを開発し、本報でそのシステムの特長と機能を取りまとめた。

2. リフトスケジュールで考慮すべき制約条件

リフトスケジュール作成において考慮すべき制約条件は、技術的制約条件と管理的制約条件に大別できる⁵⁾。

技術的制約条件は、示方書等の規定であり、後述するリフト差、ハーフリフトへの変更条件、打ち継ぎ養生日数、打設可能（休止）日数等がある。

また管理的制約条件は、現場施工条件や計画担当者の施工方針によるものであり、日最大打設量・打設箇所数、打設可能（あるいは休止）日、ブロック別打設開始時期、堤体の立ち上がり形状に関わる、あるいは施工管理上や安全管理上考慮するブロック間の打設優先条件等がある。

特に実施工程レベルの検討では、管理的制約条件とそれらの優先度を計画担当者の施工方針を反映した形で変更しながら複数の代替案を作成し、より適切なリフトスケジュールを作成できるようにすることが重要と考える。

3. リフトスケジュールの作成手順

上述の観点を考慮したリフトスケジュール作成の手順と、そこで必要となる支援システムの機能をあわせて以下に示す。

（1）コンクリート運搬・打設設備の決定

ダムの堤体積、堤長、堤高に応じて、過去の事例等を参考にコンクリート運搬・打設設備の機種・能力を決定する。

（2）コンクリート打設単位の設定

打設設備能力と打設可能時間から1日の打設可能

数量（日最大打設量）を求め、これ以下になるように1回の打設単位を設定する。

打設箇所は、ダム軸（堤長）方向に分割されたブロック（通常10～15m）と、高さ方向に分割されたリフト（通常1.5～2.0m）の組み合わせによって表現し、それぞれのコンクリート数量は計画時に与えられる。

（3）打設工法の選定

上記と並行して、従来工法（ブロック柱状工法、ブロックレヤ工法）と面状工法（拡張レヤ工法、RCD工法）から打設工法を選択する。ただし、今後の打設工法の動向⁶⁾から、ブロック柱状工法の採用がなくなりつつあるため、本システムでは従来工法の場合、ブロックレヤ工法のみを対象としている。

ここでは、後述の作業日数、打設数量等のデータが各工法でのスケジュール計算に共通して利用できるようにする。

（4）作業日数の設定

スケジュール計算に必要な作業可能（あるいは休止）日数および作業可能（あるいは休止）日、作業ごとの所要日数、打ち継ぎ間隔日数を設定する。

a) 作業カレンダー

コンクリート打設期間中の月ごとに、降雨、気温等の条件によって打設が不可能な日数、打設機械・設備の定期整備に要する日数および休日日数を含めた打設休止日数を設定する。この結果として打設可能日数が設定される。

さらに、実施工程レベルでは日数だけでなく打設休止日を特定する必要があるが、事前の特定は困難なことからランダムに割り当てるほか、計画担当者が任意に割り当てられるようにする。

b) 作業日数

コンクリート打設、グリーンカット、養生、型枠脱型・組立、鉄筋組立等の各作業の所要日数を設定する。

c) 打ち継ぎ間隔日数

温度規制上から必要となる最小または最大打ち継ぎ間隔日数を設定する。間隔日数は、打設箇所ごとに個別に設定できるようにする。

d) 他工種との関連による作業休止期間

コンソリデーショングラウチング、放流管設置等の他の作業工程との関係から、打設等の作業を休止する時期、期間を設定する。時期と期間は、任意に設定できるようにする。

(5) 作業実施の制約条件の設定

コンクリート打設スケジュール計算に当たっての制約条件を設定する。

a) リフト差

新旧コンクリートの材齢による温度差への対策や型枠スライド幅の制約から、隣接するブロックとの打ち上がり高さの最小、最大リフト差を設定する。

一般に、これらはダム軸方向に最小が2リフト、最大が8リフトとするが、必要に応じて変更できるようにする。

b) 打ち上がり形状

転流工や洪水時の越流対策のため、堤体の特定部分の打ち上がり高さの制限を設定する。ここでは、打ち上がり高さを制限するために、対象となるブロック、リフトを任意に設定できるようにする。

c) 打ち継ぎ打設高さ（ハーフリフトへの変更）

長期間放置したブロックに打ち継ぐ場合や着岩部に打設する場合は、通常のリフト高さの1/2（ハーフリフト）とする。このため、前回の打設日からの経過日数によって、必要な打設箇所をハーフリフトに変更できるようにする。

d) 優先打設箇所

工程上、打設を優先させたい場合や、打ち継ぎ間隔日数に制限を与えたい場合に、その箇所（ブロック）について条件を設定する。ここでは、ブロック、リフトを指定できるようにするほか、工期上の特定の時期・期間も考慮できるようにする。

e) 投入資源の制約

実施工程レベルでは、鉄筋組立、型枠組立・脱型作業の実施に当たって、鉄筋工、型枠工のパーティ数の制約を考慮できるようにする。

(6) 打設箇所の優先条件の設定

スケジュール計算では、技術的制約条件は最優先であるが、さらに管理的制約条件についてもそれらの優先度の設定が必要となり、(5)のb)、c)、d)に関連する管理的制約条件である打設箇所の優

先度は計画担当者の施工方針によって異なる。

したがって、ある時点で複数の打設可能箇所があった場合に、その選択条件を設定し、さらに選択条件間の優先度を付与できるようにしておくことが実用的な観点から必要である。

(7) スケジュール計算の実施と結果のまとめ

以上の手順を経て、(5)で設定した制約条件と(6)で述べた打設優先度の選択条件にしたがって、順次、打設箇所と打設日を決定していく。結果として、個々の打設箇所の打設日・打設数量を表示した堤体図、工程表、月間打設量グラフ等を作成する。

(8) リフトスケジュールのフォローアップ

着工時のリフトスケジュールにしたがって施工を実施するが、施工進捗度や施工条件の変化によって適宜リフトスケジュールのフォローアップを行う必要がある。このため、フォローアップ時点までの実績データをもとに、以降の作業に対して当初の技術的制約条件、管理的制約条件と打設優先条件を変更して再計算できるようにする。

4. システムの特長

本システムの主な特長を以下に示す。

(1) 要求レベルに応じた計画への対応

積算資料に準拠した基本工程計画レベル、現場条件を考慮した実施工程計画レベル、さらに型枠工や鉄筋工の作業班数の検討など、要求レベルに応じた工程計画を作成できる。

(2) 計画担当者の意向の反映

コンクリート打設の制約条件、打設優先条件などの設定に自由度を持たせることにより、現場条件や計画担当者の方針の反映が容易となり、より実際のなリフトスケジュールが作成できる。

(3) 打設工法の多様化

同一の堤体形状、設計数量等の基本データを用いて、ブロックレヤ工法、面状工法（拡張レヤ工法、RCD工法）のいずれによる計画にも対応できるた

め、工法比較が容易である。

(4) 現場での利用を考慮した操作性

本システムは、現場の日常業務で一般的に利用されつつある汎用表計算ソフト (Microsoft Excel) をベースに、Visual Basic を用いて開発している。

汎用表計算ソフトのワークシートを利用することにより、データの入力・修正作業が効率的に行え、出力様式の変更にも柔軟に対応できる。

操作は基本的にマウスによる対話形式で行い、データ複写や印刷の設定など汎用表計算ソフトの持つ機能を利用することにより、開発工数の短縮が可能となった。

5. システムの全体概要

(1) システムの全体構成

本システムの全体構成を図-1に示す。本システムは、計画を作成するプログラム群と、そこで処理される計画データを管理するプログラムで構成され、さらに計画を作成するプログラム群は入力部、計算部、出力部からなる。

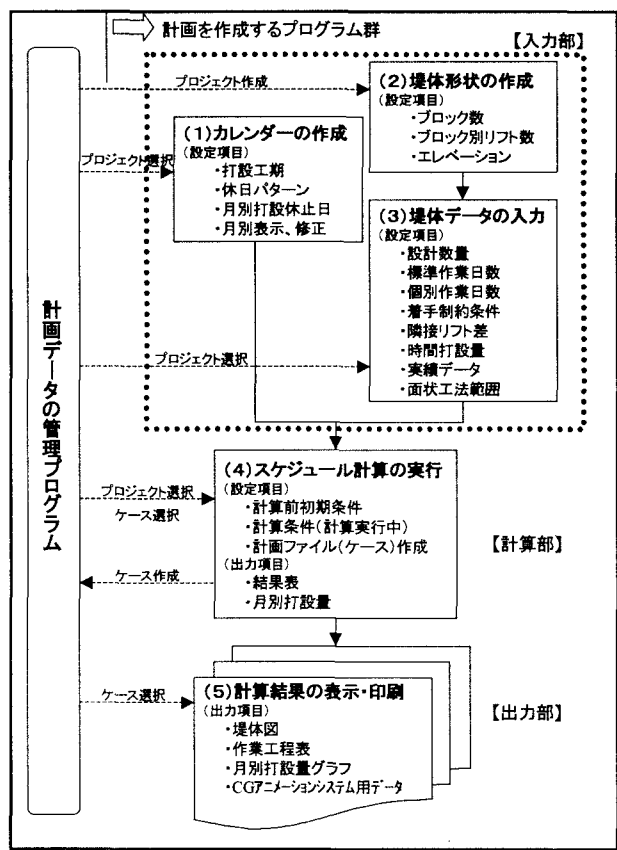


図-1 システムの全体構成

a) 計画作成プログラム群

入力部は、コンクリート打設等の作業スケジュールを計算するのに必要なカレンダーデータ、堤体形状 (打設箇所分割に依存するブロック数、リフト数等)、および堤体データ (打設数量、作業日数、リフト差等) を設定するものである。

また計算部は、各作業のスケジュール計算を実行する部分で、試行錯誤的に変更する条件や計画途中に変更される計算条件を設定するとともに、代替案ごとの計算結果を保存する。

さらに出力部では、計算結果の画面表示およびスケジュールを評価するための各種帳票の印刷を行う。

b) 計画データ管理プログラム

リフトスケジュールの計算に関連するデータは、図-2のように「プロジェクト」と「ケース」の2段階のフォルダで管理する。

「プロジェクト」は工事単位を基本としたデータであり、入力部で処理する内容すなわち「ケース」として設定される各代替案に共通なデータである。

また「ケース」は、一つの「プロジェクト」についてのスケジュール計算条件を変えた代替案ごとの計算部、出力部での計算結果が登録される。

また、ここではフォルダの新規作成、削除、名称変更等のファイル管理の機能を持つ。

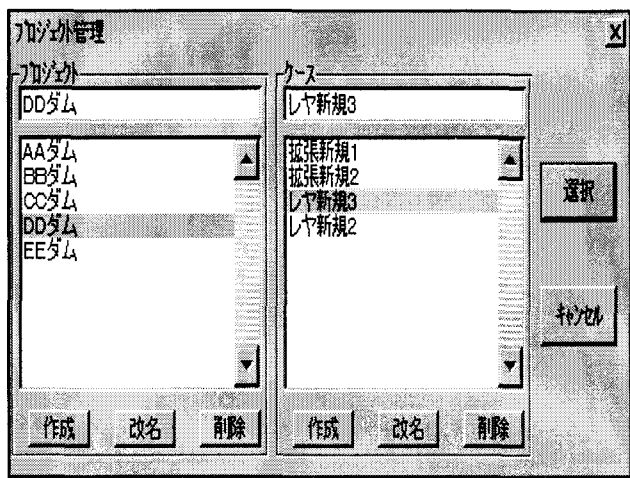


図-2 計画データの管理画面

(2) 計画作成手順

新規に計画を作成する場合はプロジェクト名を設定後、図-1の「(1) カレンダーの作成」から順次処理を行う。

ただし、カレンダーデータ、堤体データの修正お

よび計算結果の出力については、その部分を直接処理することもできる。

6. 計画作成プログラム群の概要

前節で述べた計画を作成するプログラムの概要を以下に示す。

(1) カレンダーの作成

ここでは以下の手順で打設工期および打設休止(可能)日などの設定を行う。

a) カレンダー初期設定

打設工期の入力、および打設休止日の条件を設定する画面を図-3に、またカレンダーデータの種別を表-1に示す。

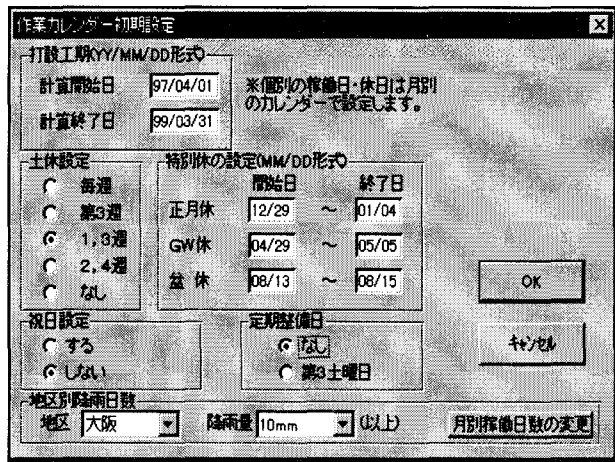


図-3 カレンダー初期設定画面

表-1 カレンダーデータの種別

データ種別	設定方法	設定パターン
日曜休	自動	毎週
土曜休	パターン選択	毎週／第3週／1,3週 ／2,4週／なし
特別休	期間入力 パターン設定	正月休, GW, 盆休 祝祭日／なし
定期整備日	パターン設定	第3土曜／なし
打設休止日	地区, 降雨量選択	乱数による設定
打設可能日	上記以外の日	

手順としては、まず打設工期を入力した後、土曜休の設定パターンの選択、正月休など長期休止日となる特別休の期間、祝祭日の設定および定期整備日の設定を行い、暦日による休止日の基本パターンを設定する。

次に、気象条件による打設休止日については、地区と打設を休止する降雨量を指定することにより、理科年表データの月別該当日数からランダムに休止日設定する。上記の休止日の設定に該当しない日が打設可能日となる。

b) 月別カレンダーの表示、修正

初期設定による休止日の設定状況は、図-4のように月別に画面で確認でき、休止日を変更する場合は、変更する日を直接マウスで指定し、画面右側の部分で修正する。

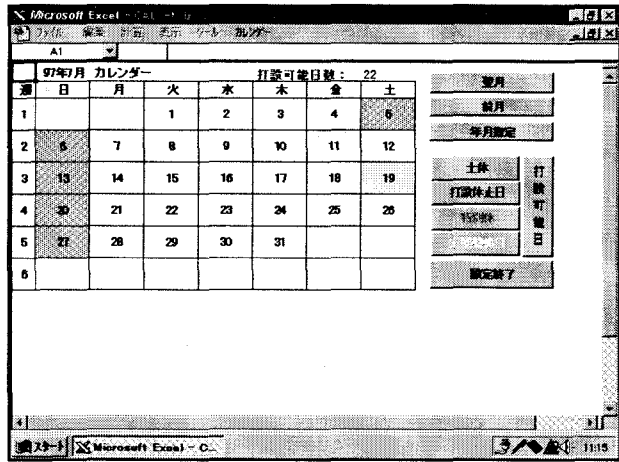


図-4 月別カレンダーの設定画面

(2) 堤体形状の作成

ここでは堤体の形状を水平方向にブロック数、鉛直方向に各ブロックのリフト数で設定する。

また、堤体の天端標高とリフト厚を入力して、各打設リフトの標高を算出する。リフト厚の初期値は1.5 mとし、任意に変更できるようになっている。

(3) 堤体データの入力

本システムでは、コンクリート数量、作業日数、打設能力など、堤体の打設箇所(ブロック、リフトの位置)に依存する堤体データを表-2のように分け、それぞれについて堤体形状を図化したワークシートを設けて入力するようにしている。

表－２ 堤体データの種類

データ種類	入力するデータ
a) 設計数量	コンクリート数量
b) 標準作業日数	型枠脱型日数
	型枠組立日数
	鉄筋組立日数
c) 個別作業日数	作業名
	作業日数
d) 着手制約条件	打設を制約する打設箇所
	打設を制約する日数
e) 隣接リフト差	最大・最小リフト差
f) 時間打設量	1時間あたりの打設量
g) 実績データ	実績打設日・数量
h) 面状工法範囲	同時打設範囲、打設優先順位

ここでは、データ入力作業の省力化・効率化を図るため、標準作業日数、隣接リフト差、時間打設量を入力するためのワークシートには、計画担当者が入力した値を全ての打設箇所に自動的に設定できる「初期値設定」という機能を設けている。

また、シート内の範囲を指定し、その範囲に対して同一のデータを入力できる「連続入力」という機能を設けている。

なお、データの複写、集計、印刷の設定など、汎用表計算ソフトのワークシート自体が持つ機能もそのまま利用できる。

各堤体データの内容を以下に示す。

a) 設計数量

ブロック No.、リフト No. の組み合わせで表現されるフルリフトおよびハーフリフトでの打設単位のコンクリート打設数量を図－５に示す様式で入力する。

なお、通常、面状工法（拡張レヤ工法、RCD工法）の場合、およびブロックレヤ工法での着岩部打設の場合はハーフリフト打設を行うが、これらの場合には入力したフルリフトでの打設数量を後述の「（４）スケジュール計算の実行」の処理で自動的にハーフリフトの打設数量に分割できるようにしていることから、ここではフルリフトのコンクリート数量を入力しておけばよい。

図－５ 設計数量入力のワークシート

b) 標準作業日数

本システムでは、打設リフト間の打ち継ぎに必要な作業のうち、型枠脱型・組立および鉄筋組立を標準作業と称している。

初期設定では、堤体全面におけるフルリフト間の作業日数が設定されるが、部分的に修正する場合やハーフリフト間に作業日数が必要な場合は個別に直接入力する。なお、養生日数は「（４）スケジュール計算の実行」で設定する。

c) 個別作業日数

コンソリデーショングラウチング、監査廊、放流管、堤内バイパスなど、堤体の特定の施工箇所に必要な作業の所要日数および作業名を施工箇所に該当するワークシートのセル内に入力する。

d) 着手制約条件

越流禁止ブロック、または半川締切時の先行ブロックによる後続ブロックへの打設規制など、他のブロックの打設箇所により当該ブロックの打設が制約される条件を設定する。

ここでは、制約を与えるブロック No.、リフト No. および制約日数を、打設が制約を受けるワークシート上の箇所に入力する。

e) 隣接リフト差

隣接ブロックとの最小および最大のリフト差を入力する。通常、ブロックレヤ工法では最小リフト差にはスライド型枠の設置スペースの制約として 3 m（2 リフト）、最大リフト差には温度ひび割れ防止による制約として 12 m（8 リフト）の規定がある

が、本システムでは条件を確認する意味から計画担当者が初期値を入力するようにしている。

f) 時間打設量

コンクリートの運搬設備能力による時間打設量 (m³/時間) を入力する。

g) 実績データ

打設工程計画のフォローアップを行う場合、あらかじめこのワークシート上に実績の打設日と数量を入力する。「(4) スケジュール計算の実行」でこの実績データ以降の計画を作成する。

h) 面状工法範囲

面状工法で計画を作成する場合には、図-6の様式で同時にコンクリートを打設するブロックの範囲(拡張範囲)をマウスで指定してグループ番号を入力する。このグループ番号は「(4) スケジュール計算の実行」における打設優先順位の初期値となる。

	日/月	1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	671.50	1	1	1	2	2	2	2	3	3
5	670.75	1	1	1	2	2	2	2	3	3
6	670.00	1	1	1	2	2	2	2	3	3
7	669.25	1	1	1	2	2	2	2	3	3
8	668.50	1	1	1	2	2	2	2	3	3
9	667.75	1	1	1	2	2	2	2	3	3
10	667.00	1	1	1	2	2	2	2	3	3
11	666.25	1	1	1	2	2	2	2	3	3
12	665.50	1	1	1	2	2	2	2	3	3
13	664.75	1	1	1	2	2	2	2	3	3
14	664.00	2	2	3	3	4	4	4	5	5
15	663.25	2	2	3	3	4	4	4	5	5
16	662.50	2	2	3	3	4	4	4	5	5
17	661.75	2	2	3	3	4	4	4	5	5
18	661.00	2	2	3	3	4	4	4	5	5
19	660.25	2	2	3	3	4	4	4	5	5
20	659.50	2	2	3	3	4	4	4	5	5
21	658.75	2	2	3	3	4	4	4	5	5
22	658.00	2	2	3	3	4	4	4	5	5
23	657.25	2	2	3	3	4	4	4	5	5

図-6 面状工法入力ワークシート

(4) スケジュール計算の実行

一般に、リフトスケジュールの立案は以下のような事柄についての検討が試行錯誤的に行われることが多い。

- ・ 予定工期と全ての技術的制約条件を満足した上で、より適切な計画と判断される結果が得られるまで打設優先順位などの管理的制約条件を変えた代替案を作成してスケジュールを求める。
- ・ 打設・運搬設備の変更や転流前後における打設条件の変更など、施工状況の変化によりスケジュール計算条件を繰り返し変更する。
- ・ 代替案の作成は、各種設備・資源の稼働時間や作

業班数による比較など、管理的制約条件を考慮して検討する。

本システムでは、このような打設条件の変更や代替案の作成などに対応させるため、稼働時間、打設ブロック数の上限値、段取り時間等の比較的変更が多い条件に関するデータは、スケジュール計算実行プログラムで設定することになっている。

図-7はスケジュール作成フローであり、スケジュール計算実行プログラムは、大きく分けて計算開始段階、計画実行段階、計算終了段階の3段階からなる。

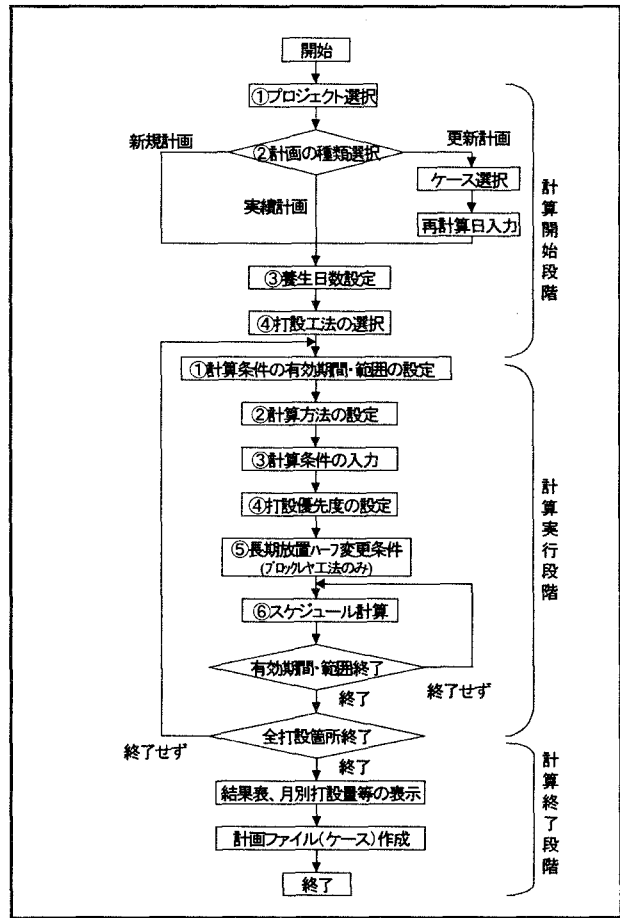


図-7 スケジュール作成フロー

a) 計算開始段階

この段階ではスケジュール計算を実行するのに必要な条件を設定する。

①プロジェクトの選択

計画作成の対象となる工事(プロジェクト)を「計画データの管理」で設定したプロジェクト群から選択し、選択したプロジェクトのカレンダーデータおよび堤体データを取り込む。

②計画の種類を選択

計画には以下に示す3種類があり、これらから一つを選択する。

- ・新規計画：「（１）カレンダーの作成」での打設工期の開始日から計算する計画。
- ・実績計画：「（３）堤体データの入力」で作成した実績データを読み込んで最終打設日の翌日以降を再計算する計画であり、打設着手後の計画のフォローアップ時に利用する。
- ・更新計画：既存の計画ファイル（ケース）を選択し、変更したい年月日以降の再計算を行う計画。

③養生日数の設定

養生日数は初期値として2日を与えているが、気温に応じた養生に対応するために、月別にも設定できる。

④打設工法の選択

打設工法を、ブロックレヤ工法および面状工法（拡張レヤ工法、RCD工法）から選択する。

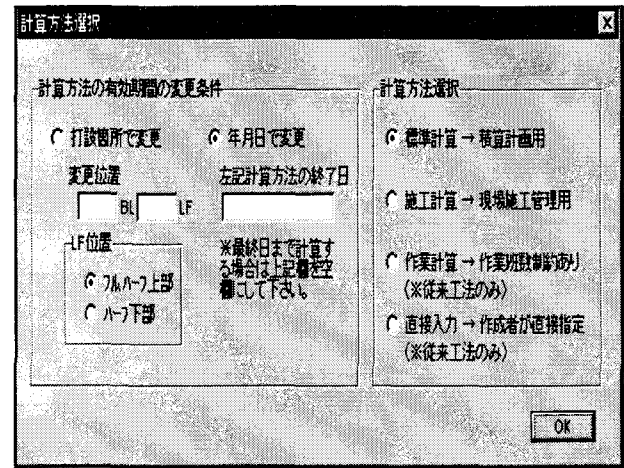
b) 計算実行段階

計算条件の設定およびスケジュール計算を行う。

①計算条件の有効期間・範囲の設定

工期途中での打設条件変更に対応できるようにするため、後述の②～⑤の条件を有効とする期間、または打設範囲を指定する。

図－8は計算条件の有効期間・範囲の設定および計算方法の設定画面であり、この右側の部分で時期による条件変更は計算上の当該日以降の年月日を入力し、打設箇所による条件変更は未打設の箇所を指定する。



図－8 計算条件の有効期間・範囲
および計算方法の設定画面

ここで設定された変更は、計算実行段階で設定される条件の有効期間、または有効範囲となり、条件変更基準を指定しなければ打設工期の終了日まで同一条件となる。

②計算方法の設定

リフトスケジュール作成の目的と計画に要求される精度は着工前の段階と実施工の段階で異なると考えられる。着工前の段階では、工期の算定、打設・運搬能力の検討、他工種との関連による打設順序の検討などを目的に、概略的な全体工程レベルの計画が要求される。

また実施工段階では、資材の調達計画、作業班の投入計画などの検討を目的に、工事の進捗に合わせてフォローアップを行いながら、実施工程レベルでの月間工程、週間工程が作成され、計画には作業レベルに合わせた比較的高い精度が要求される。

以上のことから、本システムではコンクリート打設その他の作業の休止条件を表－3のように整理し、以下に示す4種類の計算方法を図－8の左側の部分のように設定するようにした。

表－3 作業休止条件

○：作業実行、×：作業休止

作業 データ種別	打 設	グリーン ・カット	養 生	脱 型	組 型	鉄 筋	他 作業
日曜休	×	○	○	×	×	×	×
土曜休	×	○	○	×	×	×	×
特別休	×	○	○	×	×	×	×
定期整備日	×	○	○	○	○	○	○
打設休止日 (A)	×	○	○	○	○	○	○
(B)	×	○	○	×	×	×	×
打設可能日	○	○	○	○	○	○	○

(A)：「標準計算」の場合 (B)：「施工計算」「作業計算」の場合

- ・標準計算：積算資料に準拠した方法であり、表－3 (A) のように気象条件によって打設作業のみ休止させてスケジュール計算を行う。
- ・施工計算：現実の施工に合わせて、表－3 (B) のように打設休止日には全ての作業を休止させてスケジュール計算を行う。
- ・作業計算：必要となる型枠工、鉄筋工の班数を評

- ・直接入力：計画担当者が、打設日と打設箇所を直接指定する。

計画作成上、比較的変更が多い条件を計算条件として入力する。計算条件は打設工法により若干の違いがあり、工法別の計算条件を以下に示す。

- ・ 1 日の稼働時間
- ・ 1 日に打設するブロック数の上限値
- ・ 打設箇所の移動に要する段取時間
- ・ 打設量上限値：複数の打設箇所がある場合の打設量の上限値。この上限値を越えた場合、他に打設可能な箇所が存在しても、その日は打設を行わないこととする。

- ・堤体全体リフト差：堤体全体で最も高いリフトと低いリフトの差の条件。
- ・型枠班数および鉄筋班数

- ・ 1 日の稼働時間
- ・ 同時打設箇所数の上限値
- ・ 堤体全体リフト差（ブロックレヤ工法と同じ）

1日に打設できる箇所が複数存在する場合、打設箇所の優先条件を設定する。

一般に打設優先度は計画担当者の経験や現場条件により試行錯誤的に設定されることが多いことから、以下のように打設工法別に打設優先条件を整理した。

また図-9、10はブロックレイ工法、面状工法の条件設定画面であり、いずれも「自動設定」を指定すれば上段の条件から順に優先度が設定される。

- ・長期間放置されているブロック

前回の打設から、ある一定の期間打設がない箇所を優先する。この条件を選択した場合はこの条件が有効となる期間の日数を設定する。

- ・ハーフリフトの上部を残しているブロック

ハーフリフト下部の打設終了後、上部をできるだけ早い時期に打設する。

- ・堤体全体で最下部のブロック

堤体全体において、最も低い位置にあるブロックを優先する。

計画担当者が任意に設定する優先順位の条件であり、左岸優先、右岸優先、ブロックの個別指定、の3方法から選択する。

図-9 ブロックレヤ工法による
打設優先度の設定画面

・拡張範囲番号

「(3) 堤体データの入力、h) 面状工法範囲」
で設定した範囲番号の小さいものを優先とする。

- ・長期間放置されている拡張範囲、および堤体全体で最下部の拡張範囲

ブロックレヤ工法と同様である。

- ・拡張範囲別の優先順位

左岸優先、右岸優先の2方法から選択する。

図-10 面状工法による打設優先度の設定画面

⑤長期放置箇所のハーフ打設変更条件の設定

ブロックレヤ工法の条件で、打設間隔が1ヶ月以上および2ヶ月以上空いた場合、フルリフトからハーフリフトに変更するリフト数の設定を行う。初期値には1ヶ月以上2ヶ月未満には1リフト分、2ヶ月以上は2リフト分としている。

このように一般に規定値とされているデータも対話形式で処理を行う。

⑥スケジュール計算

上記までの条件を全て設定した後、スケジュール計算を開始する。計算実行中はパソコン画面に堤体形状を表示し、計算結果（打設日、打設数量）を逐次、打設箇所月に月別に色分けして表示することにより、立ち上がり形状（出来形）を視覚的に把握できる。計算実行中の画面を図-11に示す。

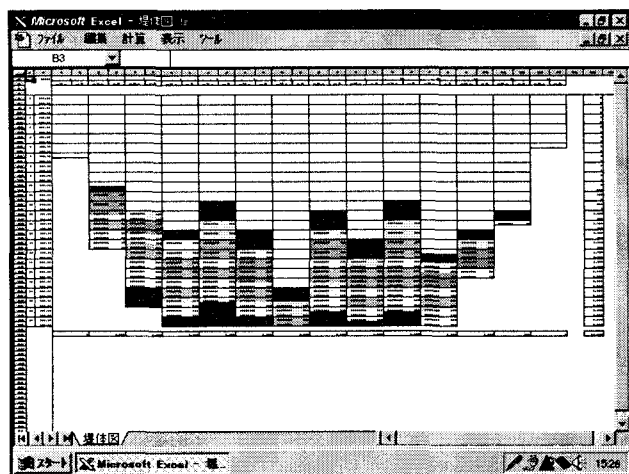


図-11 計算実行中の画面

c) 計算終了段階

計算を終了した後、以下の処理を行う。

①リフトスケジュール総括表の表示・印刷

初期計画の場合、リフトスケジュールの結果を確認し、基本的な評価をするための指標をまとめた表-4の「リフトスケジュール総括表」を出力する。

②計画ファイル（ケース）の作成

計算結果を検討し、保存を必要とする場合は計画ファイル（ケース）名を入力する。

（5）計算結果の出力

計算結果は、次の①～③として印刷するほか、④として他のシステムに利用する。

表-4 リフトスケジュール総括表

番号	項目	単位	結果	備考
①	総打設量	m ³	43,435	堤体工のみ
②	打設月数	月	14	
③	実打設日数	日	206	
④	総打設箇所	箇所	299	
⑤	総打設時間	h r	1629.40	段取時間含まない
⑥	ブロック移動回数	回	93	従来工法のみ
⑦	クレーン打設時間	h r	1694.50	⑤+⑥×段取時間
⑧	クレーン雑運搬時間	h r	677.80	⑦×0.4
⑨	クレーン総運転時間	h r	2372.30	⑦+⑧
⑩	日平均クレーン打設時間	h r	8.23	⑦/③
⑪	月最大打設量	m ³	324	
⑫	月最大打設時打設日数	日	4	
⑬	月最大日平均打設量	m ³	81.00	⑪/⑫
⑭	月平均打設量	m ³	3102.50	①/②
⑮	日平均打設量	m ³	210.85	①/③
⑯	日平均打設時間	h r	7.91	⑤/③
⑰	日最大打設量	m ³	346.00	
⑱	日最大打設時間	h r	14.02	

なお、①～③については汎用表計算ソフトの印刷機能を利用することにより、用紙サイズ、印刷レイアウトの設定が容易にできる。

①堤体図（図-12）

堤体形状に打設日と打設数量を表示した全体工程計画図であり、打設箇所と打設日を順を追って確認するほか、月間単位で出来形を確認する。

②作業工程表（図-13）

堤体の全作業を対象とした工程表であり、実施工程レベルの月間および週間工程表として、さらに作業別投入資源の調達計画に利用する。

③月別打設量（図-14）

月別打設量および打設累計のグラフにより、骨材、セメント等の資材の所要量が把握でき、発注計画に利用する。

④CGデータ

本システムの計算結果のうち、打設箇所（ブロックNo.、リフトNo.）と打設日をファイル出力し、CG（コンピュータ・グラフィックス）システムを用いて工程計画アニメーションを作成することができ、施工中の出来形を3次的に検証することが可能となる⁷⁾。この例を図-15に示す。

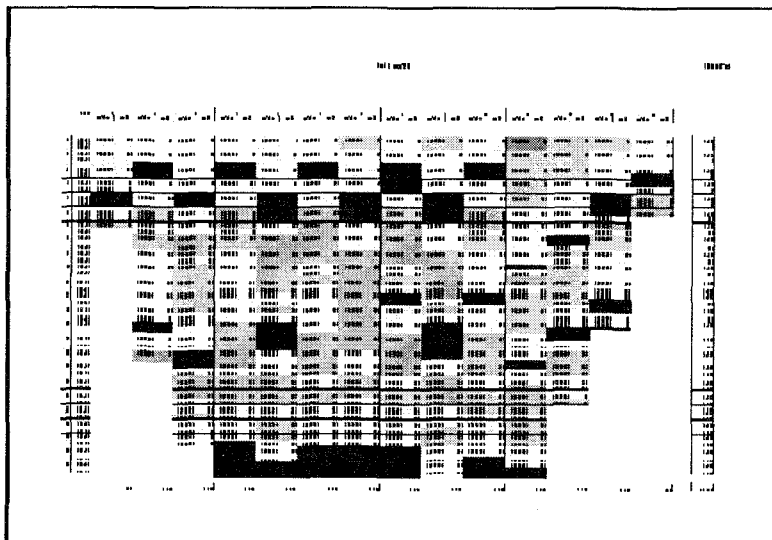


図-12 堤体図

EL/BL		3		4		5	
		打設日	数量	打設日	数量	打設日	数量
4	671.50 670.75	97/09/13	95	97/07/26	103	97/09/15	98
5	670.00 669.25			97/07/07	121		
6	668.50 667.75	97/07/29	143	97/06/16	74		
7	667.00 666.25	97/07/09	174	97/09/01	74	97/07/15	152
8	665.50 664.75	97/06/18	100	97/04/10	87		
9	664.00 663.25	97/05/29	100	96/11/12	200	97/06/27	171
10	662.50 661.75	97/05/09	114	96/10/23	227	97/06/14	194
11	661.00 660.25	97/04/15	114	96/10/02	253	97/06/06	250
12	659.50 658.75	96/11/21	259	96/09/27	140	97/05/24	138
		96/11/14	279	96/09/06	140	97/05/21	138
		96/11/09	306	96/07/23	306	97/04/24	151
						97/04/04	151

(堤体図の部分拡大)

年月日	曜日	作業種別	1GL	2GL	3GL	4GL	5GL	6GL	7GL	8GL	9GL	10GL	11GL	日打設量	打設率
97/09/02	月	打設可能日				GC								40	359.5
97/09/03	火	打設可能日				GC								363	390.8
97/09/04	水	打設停止日												0	390.8
97/09/05	木	打設可能日				GC								0	390.8
97/09/06	金	打設可能日				GC								120	498.8
97/09/07	土	打設停止日												0	498.8
97/09/08	日	打設停止日												0	498.8
97/09/09	月	打設可能日				GC								17	498.8
97/09/10	火	打設可能日				GC								190	498.8
97/09/11	水	打設可能日				GC								282	498.8
97/09/12	木	打設可能日				GC								0	498.8
97/09/13	金	打設可能日				GC								190	4790
97/09/14	土	打設可能日				GC								0	4790
97/09/15	日	打設可能日				GC								0	4790
97/09/16	月	打設可能日				GC								90	4820
97/09/17	火	打設可能日				GC								0	4820
97/09/18	水	打設可能日				GC								0	4820
97/09/19	木	打設可能日				GC								0	4820
97/09/20	金	打設可能日				GC								0	4820
97/09/21	土	打設可能日				GC								0	4820
97/09/22	日	打設可能日				GC								0	4820
97/09/23	月	打設可能日				GC								363	5171
97/09/24	火	打設可能日				GC								230	5502
97/09/25	水	打設可能日				GC								0	5502
97/09/26	木	打設可能日				GC								0	5502
97/09/27	金	打設可能日				GC								0	5502
97/09/28	土	打設可能日				GC								0	5502
97/09/29	日	打設可能日				GC								0	5502
97/09/30	月	打設可能日				GC								0	5502

図-13 作業工程表

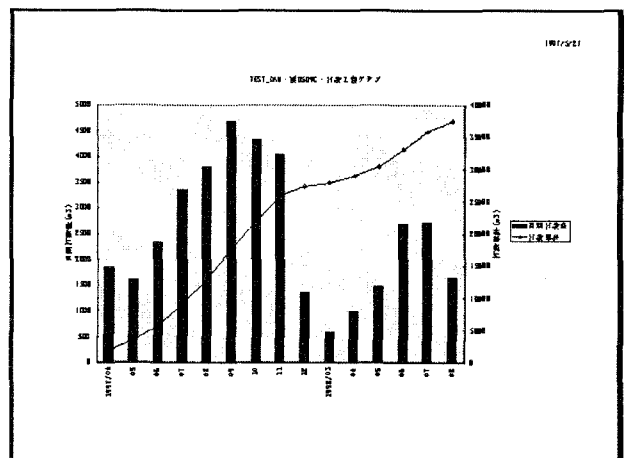


図-14 月別打設量グラフ



図-15 施工アニメーション画面

7. おわりに

本システムは、これまでの自社開発システム⁴⁾を適用する中で、ダム工事担当者の実務的な観点からの要求機能をできるだけ組み入れることを基本方針として開発したものである。

本システムをいくつかの事例に適用した結果、これまでのシステム⁴⁾と比較して以下のような効果が得られている。

- ・堤体データ、スケジュール計算条件が整理され、これらの入力・修正が容易である。
- ・計画担当者の思考過程に沿った計画の検討が可能である。
- ・同程度の計算時間で打設作業を含めた全ての作業のスケジュール案が作成できる。

今後は、着工前の計画段階から工事終了まで一貫して適用する機会を設け、本システムの機能を実務担当者の視点から総合的に評価したい。

また、本システムでは多くの実務的計画条件を考慮した打設計画案の合理性・妥当性を評価するために必要と考える各種の指標や帳票を作成している。打設工程計画の評価は、予定工期を満足することは必須条件であるが、その他月間打設量、日最大打設量、打設量の日間・月間変動、打設箇所と打設順序等の評価指標をどのように利用して総合的に評価するかの方法論については今後の課題と考えている。

【参考文献】

- 1) 高田利行、本名誠二：コンクリートダム打設工程計画・管理システムの開発、土木工事のマネジメント問題に関する研究討論会講演・資料集、pp.71～78、1983.11
- 2) 石川晃、長谷芳春、：A I によるダム工程計画システム、三井建設技術研究所報第13号、pp.213～218、1989.9
- 3) 原岡充：面状工法用リフトスケジュールプログラムの開発、熊谷組技術研究報告第54号、pp.121～127、1995.10
- 4) 平原秀樹、加藤正美、折田利昭、安井英二：ダムコンクリート打設計画における対話型システムの開発、土木学会第50回年次学術講演会、第IV部門、pp.730～731、1995.9
- 5) 折田利昭、村林篤：段階的ダムリフトスケジュールリングシステムについて、土木計画学研究・論文集、No.9、pp.197～204、1991.11
- 6) 松岡 滋：拡張レイヤ工法(ELCM)の応用について、ダム技術、No.129、pp.18～24、1997.6
- 7) 福知良彦、小林一郎：施工管理へのCGアニメーションの適用、第21回土木情報システムシンポジウム論文集、pp.75～82、1996.11

A Practical and Interactive Scheduling System for Concrete Placement of Concrete Dam

The concrete placement scheduling is most important in planning of concrete dam construction. To make more reasonable concrete placement schedule, various restrictions must be considered, and the planners have to examine as many alternatives of schedule plans as possible.

Accordingly a scheduling system for dam-concrete placement using personal computer has been developed. This system can deal with layer method, extended layer method and roller compacted dam-concrete method, and cope with many technical and managerial restrictions for selecting the block to be placed appropriately. Furthermore, the data relating with concrete volume, work restrictions and so on can be operated easily and interactively because this system has been developed using graphical user interface.