

コンクリートダムリフトスケジュール 支援システムの開発

伊藤節男¹・佐藤健一²・斎間正³

¹正会員 工修 前田建設工業株式会社 土木本部土木設計部（〒179-8903 東京都練馬区高松 5-8）

²正会員 前田建設工業株式会社 土木本部土木部（〒東京都千代田区富士見 2-10-26）

³正会員 前田建設工業株式会社 土木本部土木設計部（〒179-8903 東京都練馬区高松 5-8）

コンクリートダム施工計画において、効率的なコンクリート打設計画（リフトスケジュール）を検討するために、コンクリートダムリフトスケジュール支援システムを開発した。リフトスケジュールは施工計画の当初に作成されるが、経験豊かなダム技術者が作成してもかなりの労力を必要とする。そこで、パーソナルコンピュータ（PC）を使用することで、ダム技術者のニーズを満たすリフトスケジュールを短時間で効率的に作成できるようにした。さらに、本システムにより、施工計画時だけでなく、施工時に発生する工程変更にも対応させることで、実際の施工状況を考慮したリフトスケジュールを即座に検討することが可能となり、最適な工程を選択することが可能となった。

キーワード：コンクリートダム，リフトスケジュール，施工計画，工程管理

1. はじめに

コンクリートダムの工程計画および設備計画の検討にあたっては、まず、コンクリートの打設計画（リフトスケジュール）を作成する必要がある。リフトスケジュールはコンクリートの打設に関わる様々な条件を加味して作成するため、経験豊かなダム技術者が作成してもかなりの労力を必要とする。当社は以前からエンジニアリングワークステーション（EWS）を使用して、リフトスケジュールの検討を実施してきた。しかし、近年のパーソナルコンピュータ（PC）の性能の向上を鑑み、ダム現場サイドでも容易にリフトスケジュールを作成して工程管理に反映させるため、EWSからPCへのダウンサイジングを実施した。

EWSによるリフトスケジュールは、コンクリート打設に関わる種々の条件を定式化し、プログラミングしていた。しかし、個々のダム現場の特有な打設条件が設定できない、また、定式化された条件だけではダム技術者の判断が打設シミュレーション結果に反映されにくい等の問題があった。さらに、設定した打設条件では、リフトスケジュールの打設シミュレーションが全打設を終了する前に停止してしまい、その解決方法がわからないということも生じていた。そこで、ダウンサイジングにおいては、

これらの問題を改善し、EWS使用時に蓄積されたノウハウを盛り込んだきめ細かなリフトスケジュールの作成が可能なコンクリートダムリフトスケジュール支援システムを開発した。

以下に本システムの主な特徴を記述する。

- ・複雑なコンクリート打設条件およびダム技術者の判断を反映したリフトスケジュールが即座に作成でき、最適なリフトスケジュールが効率よく短時間で比較検討できる。
- ・コンクリート打設の実績値を入力することで、後工程の予測が可能となり、より現実的な工程管理が検討できる。
- ・PCシステム化による操作性、視認性の向上と入出力の簡易化により、ユーザーの作業時間が大幅に軽減される。

2. システム構成

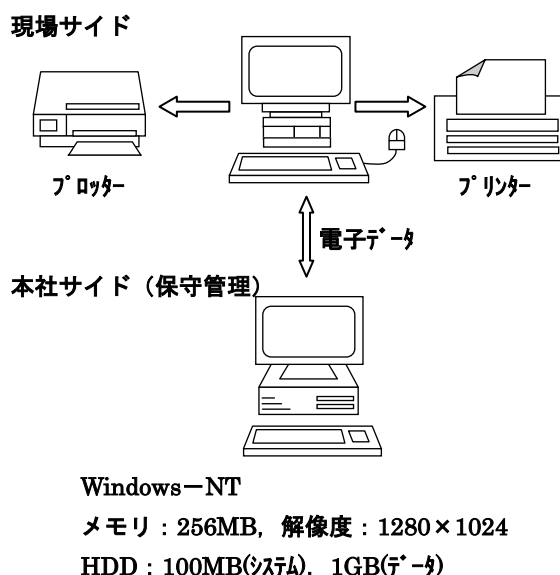
(1) システム機器構成

本システムを運用するためのシステム機器構成を図-1に示す。なお、開発ツールはC++Builder/Ver 5.0を使用した。

(2) 各システムの関係

本システムのシステム構成は入力システム、計画システム、実績値入力システムから構成される。

- ・入力システム：ダム堤体および減勢工の形状を入力してブロック割りした後に、各ブロックのダム情報（打設体積、打設間隔、打設機械能力等）をブロック単位で入力する。
 - ・計画システム：打設機械データ、稼働日データを入力し、リフトスケジュールを算定するための打設条件（ブロック間のリフト差、打ち上がり形状、関連作業による制約等）を設定する。設定された条件に基づき、リフトスケジュールの打設シミュレーションを実行し、結果を出力する。
 - ・実績値入力システム：打設の実績値（打設開始日・終了日、打設時間等）を入力し、計画システムを用いて、後工程の打設シミュレーションを実施する。
- 各システムの関係を図－2に示す。



図－1 システム機器構成

3. システムの適用条件

(1) リフトスケジュール作成手順

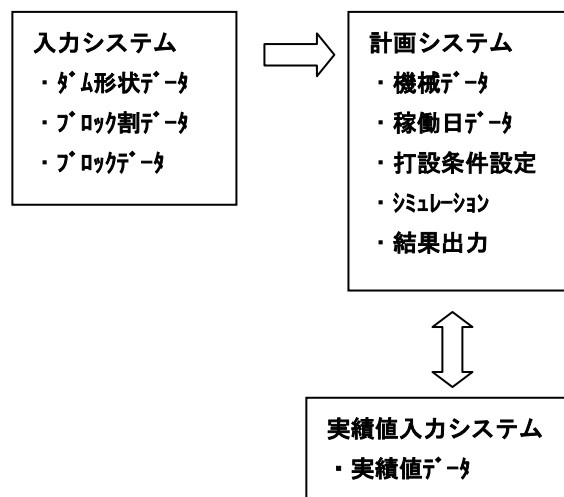
一般に、リフトスケジュールの作成手順¹⁾は

- ①堤体を地形、地質、設計、温度規制、打設設備の能力等を勘案してブロックに区分する。
- ②各ブロックを打設リフトに区分する。
- ③各ブロックとリフト高さで区分（ブロック割）されたコンクリートの数量を計算する。
- ④コンクリート打設日ごとのコンクリート打設量を算定するための打設条件を整理する。
 - ・施工設備容量および1日当たりの実作業時間
 - ・年間実働日数
 - ・打設間隔（最小打継ぎ日数）
 - ・関連作業（グラウチング、放流設備設置等）
 - ・ブロック間のリフト差
 - ・型枠の移動時間
 - ・打ち上がり形状
- ⑤コンクリート打設開始想定日から、打設条件を満たしながら、各施工日にコンクリート打設する場所を仮定し、全体の工程が最短工期で終了するようなコンクリート打設順序を決定する。

本システムは、上記①～⑤の作業をPCを使用して検討するシステムである。

(2) 打設工法

ダムのコンクリートはマスコンクリートとなる。コンクリートの硬化時の水和熱による温度応力を軽



図－2 各システムの関係

減させるため、あらかじめ定められた打ち込み区画（ブロックまたはゾーン）ごとに打設する。ここで、ダム軸方向（縦継目）と上下流方向（横継目）で分割して打設する場合を柱状工法、上下流方向のみに分割して打設する場合をレア工法²⁾という。レア工法には、RCD用コンクリートを振動ローラで締め固めてコンクリートダムを築造するRCD工法、有スランプコンクリートをリフト差を設けずに打ち上げてコンクリートダムを築造する拡張レア工法がある。

本システムでは柱状工法，レア工法ともに適用可能となっている。柱状工法ではその打ち上がり形状の制御，レア工法では打設方向の制御が可能である。

(3) 打設条件の考え方

a) 打設サイクル

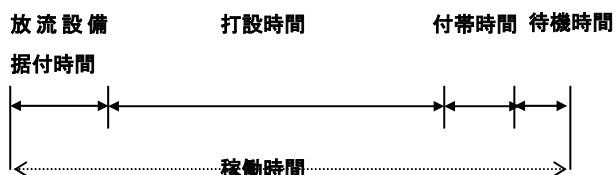
リフトスケジュール算定にあたり，打設時間は表－１のように定義する³⁾。

表－１ 打設時間

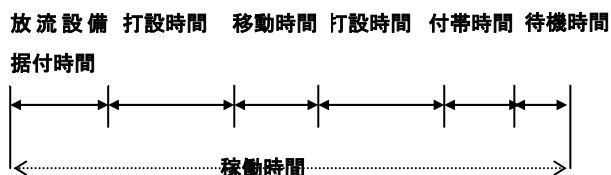
時 間	内 容
打設時間	打設に要する時間
打 設 前 清 掃時間	打設前の型枠設置および打継目の清 掃時間
放 流 設 備 据付時間	放流設備据付に要する時間
ブ ロ ッ ク 間 移 動時間	ブロック間での人員，機械の移動等 段取り換えに要する時間
付 帯 時 間	準備跡片付時間
雑 運 搬 時 間	打設現場へ資機材等を搬入・搬出す るために要する時間
週 間 稼 働 率	１週間ごとに雑運搬時間を確保する ために算出

また，本システムでの稼働時間に対する打設時間の算出は図－３のように設定する。

① １日１ブロック打設する場合



② １日２ブロック打設する場合



図－３ 打設時間の算定

b) 打設間隔

コンクリートの打設間隔は温度規制，打継目処理，型枠の移設等を考慮して決定される。本システムではブロック毎に打設間隔を設定し，さらに，打設間隔に休日を含む場合と含まない場合の検討も可能で

ある。また，岩着部の処理，新旧コンクリートの打継目の処理，レア工法における横継目養生については打設間隔内に処理できない場合を考慮して，別途設定するようになっている。

c) リフト高

１回当たりの打ち上がり高さ（リフト高）は温度規制，打継目処理の回数，コンクリートの打設能力等によって定められる。本システムではリフト毎に標準リフト高を設定する。

岩着部または長期打ち止めしたコンクリート打継面上にコンクリートを打設する場合は，温度規制または岩盤清掃，型枠設置等の必要性から上記標準リフト高の半分の高さで打設する。これをハーフリフトといい，本システムでは以下のようなハーフリフトの設定が可能となっている。

- ・岩着ハーフリフト：岩着部ブロックに対して，ハーフリフトの指定と上部ハーフリフト数を指定し，指定したリフト数だけハーフ化する。
- ・長期放置ハーフリフト：長期放置日数を指定し，これを超過した場合，プログラム内で自動的にハーフ化する。
- ・強制ハーフリフト：打設機械能力より稼働時間内に打設不可能な場合，プログラム内で強制的にハーフ化する。
- ・指定ハーフリフト：ハーフ化するブロック（ゾーン）を指定する。

d) リフト差

型枠設置および長期間の鉛直継目面の露出防止，作業性，安全性を考慮して，隣接ブロック間のリフト差には施工高さの制限を付ける。本システムでは，最小リフト差・最大リフト差を指定して，この範囲内になるように隣接ブロックとのリフト差を制限する。

e) 打設機械の能力

コンクリート打設機械の能力（時間当たりの打設量）は，ダムの標高別の水平断面積，リフト高，コンクリートの打ち上がり速度などを考慮して決定する。本システムでは打設機械の能力，能率，使用期間を指定して打設シミュレーションを実施し，最適なリフトスケジュールの比較検討ができる。なお，打設機械は最大２０台まで設定可能であり，各打設機械は単独打設または複数同時打設の設定も可能となっている。

f) 稼働日

稼働日は月毎・日毎に設定可能であり，作業可能日数については，降雨，気温，定期整備，休日を考慮して月毎に設定する。

また，作業開始時間，稼働時間，延長時間（残業

時間), 放流設備据付時間, 付帯時間も月毎・日毎に設定可能となっている。

(4) 堤体と減勢工打設

本システムではダム堤体と減勢工のリフトスケジュールを同時に作成することが可能となっている。ただし、コンクリート打設の主体はダム堤体であり、減勢工の打設は堤体打設の空き時間に打設するようにプログラミングされている。

NO	標高	9月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	計
41	41.5	1.5	340	160	160	80	40	40	170	50	300	40	100	160	260	1900
40	40	1.5	300	120	120	60	30	30	130	40	150	30	80	120	240	1450
39	39.5	1.5	250	100	100	50	20	20	100	30	100	20	60	100	180	1320
38	38	1.5	200	80	80	40	20	20	80	20	80	10	40	80	150	1070
37	37.5	1.5	180	80	80	40	20	20	70	20	70	10	40	80	150	970
36	36	1.5	160	80	80	40	20	20	60	20	60	10	40	80	150	870
35	35.5	1.5	140	80	80	40	20	20	50	20	50	10	40	80	150	770
34	34	1.5	120	80	80	40	20	20	40	20	40	10	40	80	150	670
33	33	1.5	100	80	80	40	20	20	30	20	30	10	40	80	150	570
32	32	1.5	80	80	80	40	20	20	20	20	20	10	40	80	150	470
31	31	1.5	60	80	80	40	20	20	10	20	10	10	40	80	150	370
30	30	1.5	40	80	80	40	20	20	0	20	0	0	40	80	150	270
29	29	1.5	20	80	80	40	20	20	0	20	0	0	20	80	150	170
28	28	1.5	0	80	80	40	20	20	0	20	0	0	0	80	150	70
27	27	1.5	0	60	60	30	10	10	0	10	0	0	0	60	120	0
26	26	1.5	0	40	40	20	10	10	0	10	0	0	0	40	80	0
25	25	1.5	0	20	20	10	5	5	0	5	0	0	0	20	40	0
24	24	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	23	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	22	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	21	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	20	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	19	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	18	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	17	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	16	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	15	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	14	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	13	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	12	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	11	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	10	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	9	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	8	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	7	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	6	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	5	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	4	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	3	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

4. システムの機能

(1) データ入力簡易化

ブロック割された各ブロックの打設数量、打設間隔等のデータを打設条件の変更のたびに再入力するのは作業効率が悪い。そのため、表計算ソフトを使用してダム形状に合うようにデータを配列させたファイルをCSV形式で保存し、本システムで直接取り込むようにした。これにより、再入力の手間と入力時の誤入力を避けることができ作業効率が向上した。図-4にCSVファイルの作成例を示す。

(2) 強制打設機能

打設条件のうちで放流管や通廊等の堤内構造物周辺の打設、または、コンソリデーショングラウチング等による所定期間の放置を必要とする場合の打設は他の打設条件とは異なり、打設条件としてプログラミング化が難しいため、リフトスケジュールに反映されにくい。そのため、本システムでは打設シミュレーション画面において着目ブロックが打設可能となれば、打設シミュレーションを一時停止し、ユーザーが画面上で打設可能ブロックを任意の打設順にクリックすることにより、強制的（打設間隔以外の打設条件を無視）に打設順位を指定できるようにした。打設ブロック指定後、打設シミュレーションの一時停止を解除すれば、指定したブロックの打設を行い、再び設定した打設条件を満足する打設シミュレーションが作成される。これにより、プログラム化することが難しい局所的または規則性のない打設状況もリフトスケジュールに反映することが可能となる。言い換えれば、打設シミュレーション途中で技術者の適切な判断を取り入れることが可能となり、複雑な現場条件を加味したきめ細かいリフトスケジュールが作成できることになる。

図-5に強制打設ブロックの指定例を示す。指定した順番に従って、強制打設ブロック（色の濃い部分）を打設し、次に上部の未打設ブロックを設定し

図-4 CSVファイル作成例

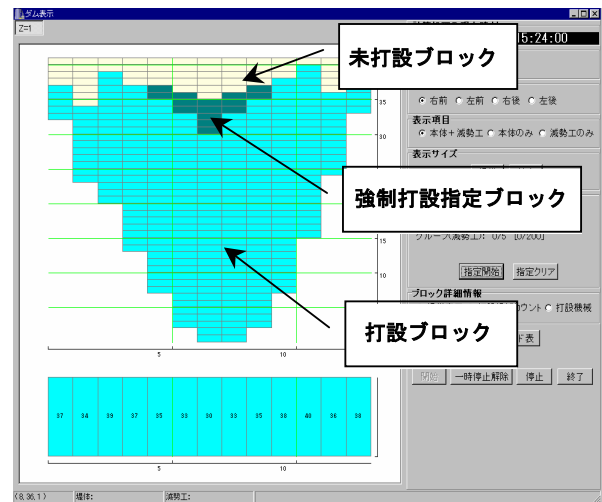


図-5 強制打設ブロック指定

た打設条件に従って打設していく。ここで、強制打設ブロックの指定は下位ブロックが打設完了しているブロックにのみに指定できるようになっている。つまり、下位ブロックが未打設の場合は強制打設の指定はできない。

(3) 優先打設機能

優先打設機能は打設ブロックに打設順位を付ける機能である。操作方法是(2)の強制打設機能と同様であるが、強制打設機能がまず順位付けしたブロックを打設してから他のブロックを打設条件に従って打設するのに対して、優先打設機能は順位付けしたブロックが打設条件を満たすまでは他の打設可能ブロックを打設する。つまり、指定したブロックに対して相対的な打設順位を付ける機能である。この機能は打設の打ち上がり形状を制御する場合に有効となる。図-6に優先打設ブロックの指定例を示す。打設の優先順位を中央-左-右ブロックの順に設定した。設定した打設条件に従い打設していくが、中

中央ブロックが打設されるまで左ブロックは、たとえ打設可能となっても打設しない。同様に、左ブロックが打設されるまで右ブロックは打設しない。これにより、打ち上がり形状が谷形であったものが比較的平滑になるように打設されていく。ここで、優先打設機能は相対的な順位を付けるため、指定ブロックの制約はない。ただし、通常の打設条件を満たしながら打設していくため、ブロック指定は打設条件を考慮して指定する必要がある。

(4) 実績値入力機能

打設計画に基づいて実際に打設した打設日、打設時間を本システムに入力することで、実績値としてリフトスケジュールに取込む機能である。この機能により現場での出来形図の確認と実績値を取り込んだ打設シミュレーションを実施することができ、最適な後工程の予測が可能となる。

図-7に実績値入力例を示す。下部の色の濃いブロックが実績値を表し、その後の打設計画についてシミュレーションを実施している。

(5) シミュレーション反映機能

打設条件の変更等による試行錯誤の結果、打設シミュレーションの途中経過までを確定し、それ以降の打設計画について再検討するための機能である。これはシミュレーションの途中経過を(4)の実績値と同様に考えてリフトスケジュールに反映する。

(6) シミュレーションチェック機能

打設シミュレーションが途中で停止した場合、その原因を探る機能である。設定した打設条件が複雑に絡み合い打設可能なブロックがなく、打設シミュレーションが途中で中断している場合にそのクリティカルとなっているブロックを検索する。打設条件を変更してその原因を取り除き、再度、打設シミュレーションを実行する場合に有効となる。

(7) 3D機能

打設シミュレーション画面において打設状況をより詳細に確認するため、左右岸および上下流の4方向からの3次元投影図を表示する。

図-8に右岸-上流、右岸-下流から見た3次元投影図を示す。

5. 適用例

本システムの適用例を示す。

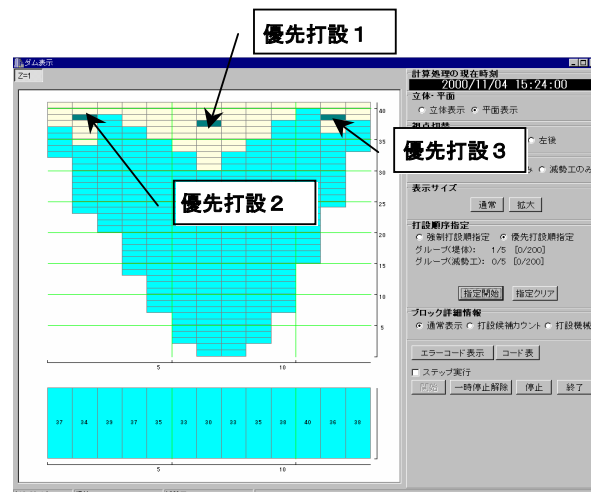


図-6 優先打設ブロック指定

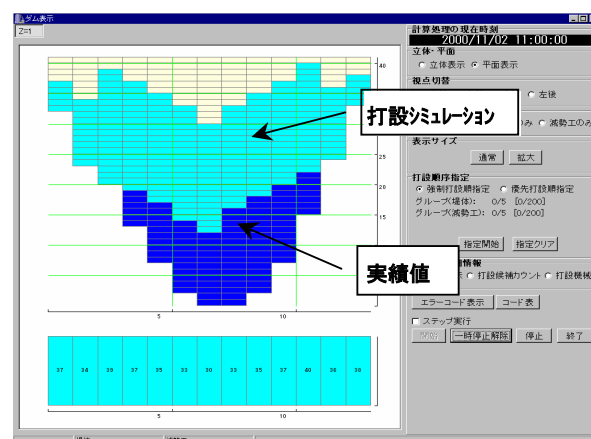


図-7 実績値入力画面

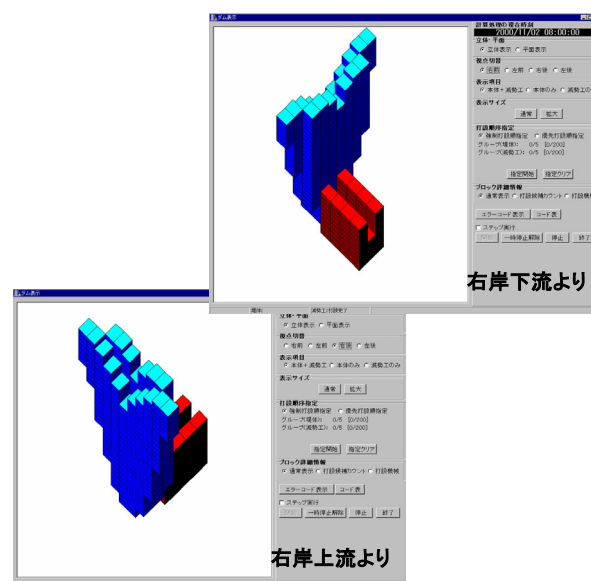
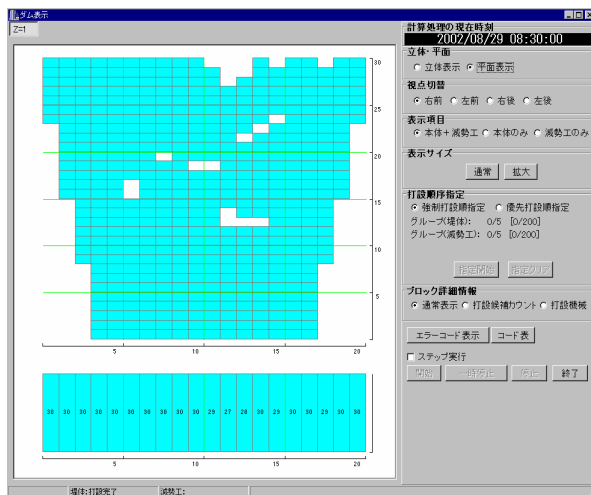
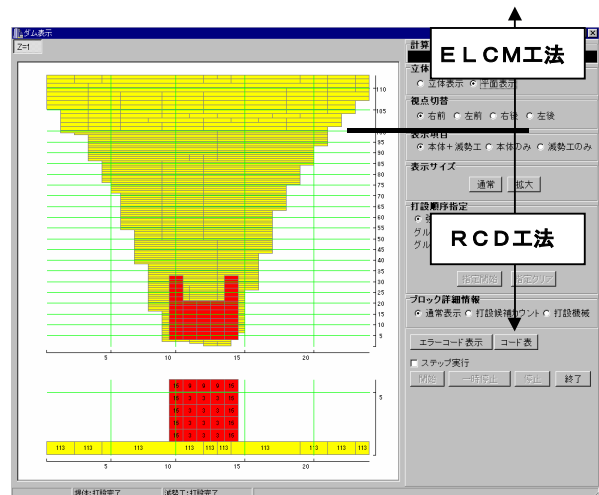


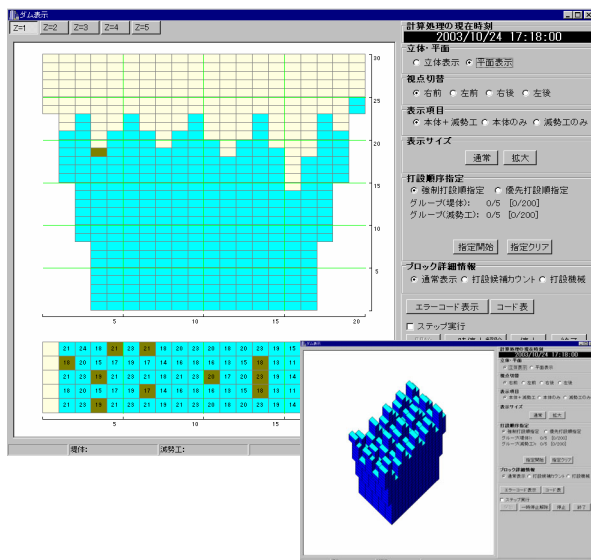
図-8 3D表示画面



図－9 不規則なダム形状への適用例



図－11 レア工法への適用例



図－10 上下流方向に広いダム形状への適用例

図－9 は不規則なダム形状について適用した例であり、堤内構造物、堤外構造物を構築するため、打設ブロックを設定しない場合に相当する。

図－10 は上下流方向に広いダムを柱状工法で施工した例である。上下流方向に対してもダム軸方向と同様に打設間隔、隣り合うブロックのリフト差等の打設条件を満たすように打設している。

図－11 はレア工法への適用例である。これは当社の施工ダムにおいて実際に運用している例である。（堤高 93.5m、堤頂長 350.0m、堤体積 503m³）

6. まとめ

本システムを利用することで、複雑に絡み合った

コンクリートの打設条件を満たすリフトスケジュールが迅速にまた効率的に作成できる。このため、打設条件を変更した場合の比較検討が容易に成し遂げられ、コンクリートダムの施工計画立案時に大きく貢献するものとする。また、今までプログラミングすることが厄介であった個々のダム特有の打設条件に対しても、打設シミュレーションを一時停止し、ダム技術者の判断を対話形式で介入させることで、より現実に近いきめ細かなリフトスケジュールを作成することが可能となった。

さらに、近年の P C の高性能化・低価格化に伴い現場サイドにおいてもいろいろなソフトが容易に使用できる環境となり、これまで多くは施工計画時に作成されていたリフトスケジュールが、コンクリート打設の実績値を入力することで、施工時においても最適な後工程を管理する道具として多用されていくものと思われる。

今後はダムのみならず、大型のコンクリート打設工事等への適用も検討していきたい。

参考文献

- 1) 堀和夫：ダム施工法，山海堂，1978
- 2) 豊田高司：現場技術者のためのダム工事ポケットブック，山海堂，1991
- 3) 編集財団法人ダム技術センター：ダム工事積算の解説，財団法人ダム技術センター，平成 12 年度