

東京電力 高瀬川水力発電建設所

正会員

西岡利道

1. まえがき

東京電力は現在信濃川水系高瀬川の上流域に1285kWの揚水式発電所を建設中である。ダムは2つ建設され、上池となる高瀬ダムは堤高176m、堤体積1140万 m^3 、下池となる七倉ダムは堤高125m、堤体積750万 m^3 のセンターコアを持つゾーン型フィルダムである。2つのダムはともに我国有数の規模を持ち、大量の大型重機が投入されている。

高瀬ダムでは、47年6月からシェルの盛立が開始され、現在約550万 m^3 の盛立が完了している。この間、日盛立量31000 m^3 、月間盛立量800000 m^3 という最大盛立量が記録されている。

フィルダムにおける盛立は、山を切り崩し、ダムへ運搬し、所要の品質になるよう転圧し新たに山を築き上げる作業の繰返しである。しかし、盛立に関しては、天候、ゾーン間リフト差、材料の品質等の種々の制約条件があり、又採取場も数ヶ所に点在するため、大量の重機群の動きを適切に把握し、現実的かつ効率的な施工計画を立てることが必ずしも容易でない。従来、このような計画は、平均値的な手法と、人間の勘に頼って行われてきたが、高瀬ダムでは、電算機内に盛立作業をシミュレートし、より合理的な施工計画の資料を作成する試みを実施してきた。

又、いわゆる材料の品質管理として、日々発生する膨大な管理データを処理するプログラムの開発も進めているので、ここで合わせて紹介する。

2. ダムの盛立

(1) ダムの構成

高瀬ダムは図-1に示すようにコア、トランジション、細粒、粗粒フィルター、インナーシェル、アウターシェルのゾーンにより構成されている。

a. コア(ゾーン①) コアは上流法勾配1:0.3下流法勾配1:0.2を持ち、最大粒径が200mmで、0.074mm以下の材料含有率が2~3%のやや砂質系の泥流堆積物である。

コア材は1.2号採取場から採取し、総体積は1650万 m^3 である。オーバーサイズの除去はグリズリを使用し、含水比等の品質改良のためにストックパイルを設けてある。

b. トランジション(ゾーン②) トランジションはコアの上流におき、上流勾配は1:0.6である。最大粒径を500mmとし、コアよりやや細粒分の少ない泥流堆積物、マサを使用する。

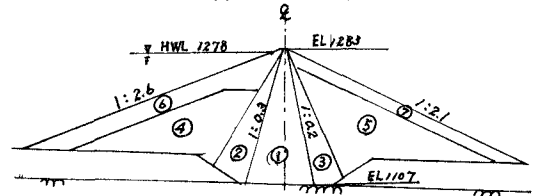
トランジション材は1.2.3号採取場から採取し、総体積は790万 m^3 である。オーバーサイズの除去は盛立面でレードローザを用いて行なう。

c. フィルター(ゾーン③) フィルターは細粒フィルター、粗粒フィルターに分け、コアの下流におき、下流勾配は1:0.4である。

最大粒径は200mmで、細粒フィルターにはマサを、粗粒フィルターには河床砂礫を使用する。

細粒フィルター材は13号採取場から採取し、総体積は360万 m^3 、又粗粒フィルター材は15号採取場から採

図-1 高瀬ダム標準断面図



取し、総体積は $340 \times 10^3 \text{ m}^3$ である。オーバーサイズの除去は盛立面でレーキドーザを用いて行なう。

d. インナーシェル(ゾーン④⑤) インナーシェルは、最大粒径 1000 mm で、掘削ズリ、崖錐、河床砂礫を使用する。インナーシェルは1、2、3、4号採取場から崖錐を5号採取場から河床砂礫を採取し又、トンネルからの掘削ズリも使用し、総体積は $4460 \times 10^3 \text{ m}^3$ である。オーバーサイズは盛立面で除去する。

e. アウターシェル(ゾーン⑥⑦) アウターシェルは、上流法勾配 $1:2.6$ 下流法勾配 $1:2.1$ のダム表面にあり厚さはそれぞれ 25 m 、 16 m である。最大粒径は 1500 mm で、5号採取場の河床砂礫掘削ズリ、各採取場からのオーバーサイズを使用し、総体積は $3800 \times 10^3 \text{ m}^3$ である。掘削ズリ仮置きのためにストックパイルを設ける。

(2) 使用重機

a. 採取・積込 材料は全て堆積物であるため、採取は $30 \sim 40 \text{ t}$ 級のブルドーザーで行なわれ、積込は $5 \sim 9 \text{ m}^3$ 級のホイールローダーで行なわれる。

b. 運搬 高瀬ダムのダンプトラックは 32 t 車を中心となり補助的に 45 t 車 20 t 車が使用されている。

c. 敷均し・転圧 敷均しは $30 \sim 40 \text{ t}$ 級のブルドーザーで行なわれ、転圧には被けん引式の 13.5 t 振動ローラーが使用されている。重機関係の一覧表を表-1に示す。

表-1 重機関係一覧表

作業内容	機 種	仕 様	台数
採 取	ブルドーザー	$30 \sim 40 \text{ t}$ 級	5
積 込	ホイールローダー	9 m^3	4
	"	8 m^3	4
	"	5 m^3	1
運 搬	ダンプトラック	32 t	29
	"	45 t	6
	"	20 t	7
敷 均 し	ブルドーザー	$30 \sim 40 \text{ t}$ 級	4
転 圧	振動ローラー	13.5 t	6
	"	$8 \sim 10 \text{ t}$	3
その他	スクレイパー		1
	レーキドーザ		1
	数台車		3

3 盛立シミュレーションの考え方

(1) システムの目的

盛立施工管理システムに要求される目的としては次の3つが考えられる。i)建設実施に先立って経済的な総工期・総建設費を推定し、そのために必要な運搬手段の能力台数を決定する。ii)工期が与えられた場合、それを満たすための建設スケジュールを作成する。iii)短期間(たとえば1日)の運搬手段の各採取場への最適配置を行なう。i)は主として計画段階に使用し全工期をカバーする長期的なもので、積算システムとの組合せにより、より有効なものとなる。ii)は建設中種々の自然条件により大中の工期の変動が生じた場合の盛立計画の再検討に利用できる。i) ii)をここでは長期シミュレーションと呼ぶ。iii)は建設中日々に必要なものとして平均値的な人間の勘に頼ってきた手法をより合理的にしたものである。これは短期シミュレーションと呼ぶ。

(2) 盛立計画に対する制約条件

これらのシミュレーションによる盛立計画に対する制約条件としては次のものが考えられる。

a. 天候条件 b. 採取計画 c. 材料の物性 d. ゾーン間リフト差

a. 天候条件 ゾーンごとに天候条件による影響が異なるため、日降雨量・平均気温と対応した次の関係性を考えた。

表-2 降雨量と盛立休止日数(日)

降雨量(mm)	0~2	2~5	5~10	10~30	30以上
コ ー	0	0.5	1	1.5	2
トランジション	0	0	0.5	1	1.5
フィルター	0	0.5	1	1.5	2
シェル	0	0	0.5	0.5	1

b. 採取計画 高瀬ダムでは同一ゾーンに対して採取場が数ヶ所存在している。各採取場とダム間の距離は異なるためサイクルタイムに差が生じ、採取順序に応じて工期工費は変動する。又採取場によっては出水期に採取できない場合もあり採取計画が盛立計画に与える影響は小さくない。

c. 材料の物性 各採取場とも自然堆積物を使用しているため材料のバラツキが大きく、長期的に同一採取場同一ゾーンという組合せを固定できない。又降雨等により含水比が上昇した場合ストックヤードでの脱水・盛立

面でのバツ気等を必要とする。更に各ゾーンごとに最大粒径が決められ、オーバーサイズがグリズリや盛立面で除去されるがこのオーバーサイズ量が5~10%と大きく重機の運用上無視できない。

d. ゾーン間リフト差 ゾーン型フィルダムでは降雨時のコアに対する悪影響を防ぐためコアがノ番高い凸型が望ましい。又各ゾーン間のリフト差は境界部の転圧効果を保つためある制限が必要となる。盛立計画の作成にあたり、天気条件の予想と関連させて盛立形状が常にこの制限内に入るよう細心の注意が必要となる。ゾーン間リフト差は、コアとトランジションスルター間は0.5m、トランジションスルターとインナーシェル間は1.5m、インナーシェルとアウターシェルは1.5mとする。

ゾーン	平均気温		
	$t \geq 0$	$0 > t \geq -3$	$-3 > t$
コア	0.5	1	1
トランジション	0.5	1	1
フィルター	0.5	1	1
シェル	0	0.5	1

但し最低気温が0℃以下の場合は

$$t = \frac{t_{max} + t_{min}}{2}$$

(3) 盛立シミュレーションへの適用

盛立シミュレーションは長期短期共a~dの条件を与えられた場合、ある重機台数で施工できる盛立量を求めその時の盛立形状重機稼働状況を計算するシステムである。従ってa~dの条件を種々変化させ計算を行えば、長期的なあるいは短期的な盛立計画の最適解を求めることができる。

4 長期シミュレーションのプログラム

(1) 制約条件の取扱い

a. 天候条件 天候条件は工期中の全日数についてインプットする。 b. 採取計画 システムでは採取場分担比率としてゾーンごとにどの採取場から採取するかをインプットする。 c. 材料の物性 特にシステムで取扱われない。 d. ゾーン間リフト差 高瀬ダムでは、ダム地点での河床砂礫が40mと厚く、コアトレンチ部の掘削時に先行盛立として上下流シェル部に盛立てた。このため、時間的に2つに分け、リフト差を与えている。

(2) 長期シミュレーションの特色

盛立作業をダンプカーの運行を中心にとらえ、1つの採取場から1つのゾーンへの盛立作業をレイト別に作業項目として定めている。各作業項目はリフト差の条件からコアを中心に優先度が与えられる。又、ストックパイルもそのストック量と現在量の関係から優先度が与えられる。ダンプカーは、優先度に応じて順次割付けられ、採取場ごとに集計され、ダンプカーの数に応じてローダーが割付けられる。

1つの採取場に集まるローダーとダンプカーの組合せから、ダンプ1台当りの平均待ち時間が計算され、サイクルタイムを修正し、1日にできる実際の盛立量を求める。日盛立量の制限は、ゾーンごとに盛立面に於ける数均し転圧能力から定める。又、コアに対しては月間最大盛立高を制限として与える。

(3) 長期シミュレーションのアウトプット

このシステムで得られるアウトプットは1ヶ月ごとに集計し、ダム完成まで求められる。

a. ゾーン別盛立量 b. ゾーン別盛立高 c. 採取場別ゾーン別盛立量 d. 重機稼働率 e. 盛立状況図 (図化)

5 短期シミュレーションのプログラム

(1) 制約条件の取扱い

a. 天候条件 天候条件はパターンとゾーン別作業時間としてインプットする。パターンは晴天時のコア優先パターンと降雨時のシェルオンリーパターンがある。ゾーン別作業時間は天候はかりでなく、降雨後の処理、計器理設等を考慮し、各ゾーンを最大3段階に分けインプットできる。

b. 採取計画 ゾーンごとにその日の採取場分担比率としてインプットする。

c. 材料の物性 各ゾーンごとにオーバーサイズ分の比率を与え、盛立面で除去されるオーバーサイズ分の

補正を行っている。

d. リフト差 基準通り採用している。

(2) 短期シミュレーションの特色

長期シミュレーションと同様盛立作業をダンプカー中心にとらえている。実績値を日々インプットし、実績値をゾーン別採取場別に集計している。シミュレーションはこの実績値から盛立面形状を決め、パターン指定によりその日に盛立てるゾーンを定める。リフト差の条件と盛立面形状を比較し、あらかじめ定められた順序で作業すべき土量を計算していく。例えばコア優先パターンの場合で盛立面がフラットの場合コアをトランジションより30cm高く盛立てる作業が優先される。次に採取場分担比率とサイクルタイムを用いダンプを割付けダンプ能力に余裕があれば、又次の作業土量を計算しダンプを割付ける。次にサイクルタイムごとに各作業をグループ分けし、コアから順番に作業時間を考慮しローダーに割りあてる。ダンプとローダーの組合せから盛立量を修正する。

(3) 短期シミュレーションのアウトプット

このシステムで得られるアウトプットは1日ごとに得られる。

a. 実績値の集計表 b. ゾーン別予想盛立量 c. 重機の配転表 d. 重機の稼働時間

6 システムの運用

(1) 長期シミュレーション

本店のU1110を用いてバッチ処理を行なう。数回のTest Runの結果はほぼ満足できるアウトプットが得られている。今後は、49年度の実際の天候データを入れ、計算を行ない、実績値との比較を行ないサイクルタイムダンプ1台当り積載量等のシステムに用いられている定数の精度向上をはかっていくつもりである。

(2) 短期シミュレーション

現場におかれに端末機を用いて、U1110を用いてリモートバッチ処理を行なっている。半年間の試験実施では、日々の実際盛立量と比較し比較的良好な結果が得られている。しかし、比較する単位が1日という短い期間のため、当初システムに取り入れなかった要因により日々の各ゾーンの盛立量は必ずしも一致していない。今後は、最小単位が1日でよいかどうか、あるいは当初予想していた要因をシステムにどのように取り入れていくか検討を進めていく予定である。

7 品質管理システムについて

システムのアウトプットとしては、(1)各種整理表の作成 (2)各項目の統計処理 (3)各項目の図化(X-R管理図、ヒストグラム) (4)密度速が係数の要因分析 があり現在本格実施へ移行する準備を進めている。

8 まとめ

高瀬ダムで盛立管理システムとして開発している2つのプログラムと、品質管理システムについて以上紹介してきたが、システム開発としては満ち足りたものかであり今後より一層実際の盛立時に生じる細かい制約条件を網羅し、より合理的な施工計画の指針を得られるよう継続的にシステムの改良をはかっていく必要がある。