

ICTを活用したダム施工監理の効率化

渡邊 峻¹

¹独立行政法人水資源機構 川上ダム建設所 工事課 (〒518-0294三重県伊賀市阿保251番地)

川上ダム本体建設工事では、ICTを活用したダム施工監理に向けて様々な取り組みを行い、限られた工程の中で効率的な施工に努めている。基礎地盤の弱部補強や遮水性改良を目的とした基礎処理工においても、リアルタイムな施工状況や過去の注入チャート等の施工データを随時閲覧できる「グラウト管理システム」を使用しているほか、Webカメラを用いた映像と音声の双方向通信によって、机上においても立会や段階確認が可能な遠隔臨場を導入している。本稿では、ICTを活用したダム施工監理のうち、基礎処理工で実践している取り組みの概要と得られた効果について紹介する。

キーワード 重力式コンクリートダム、基礎処理工、施工監理、遠隔臨場、効率化

1. はじめに

川上ダムは、洪水調節、水道用水の確保及び流水の正常な機能の維持を目的とし、独立行政法人水資源機構が三重県伊賀市に建設中である堤高84m、堤頂長334m、堤体積約450千 m^3 の重力式コンクリートダムである。2021年4月20日には堤体コンクリートの打設が完了し、2023年度の管理開始に向けて基礎処理工や堤頂設備工を施工している。

重力式コンクリートダムの建設においては、その基礎地盤が所要の安定性と貯水機能を確保するための強度と遮水性を有するよう、基礎処理工で基礎地盤を改良する。

基礎処理工では、施工データを常に収集分析し、グラウティング計画の検証や、必要に応じた計画見直しのサイクルを繰り返すことが重要である。そのためには、数多くの施工データや出来形の効率的な管理がポイントとなる。

一方、建設現場における熟練工や水資源機構の経験豊富な職員数は減少しており、川上ダム建設所でも、少人数の職員で本体建設工事やその他関連工事を施工監理しなければならない。加えて、川上ダムは1ヶ月で約3リフト(4.5m)を打ち上げる高速施工であり、堤体コンクリート打設や堤内構造物設置といった堤体工との錯綜に留意した施工を行う必要がある。

このような背景を踏まえ、川上ダムの基礎処理工では「グラウト管理システム」や遠隔臨場といったツールを活用することで、施工監理の効率化に努めている。

本稿では、川上ダムで実践しているこれらの取り組みや、得られた効果について紹介する。

2. 川上ダムにおける基礎処理工

川上ダムのダムサイトは、非常に堅硬で割れ目の少ない花崗岩類で構成されている。表層から数m下がると全体的に透水性は低くなるが、高位標高部はマサ化の影響で高透水部が確認されている。川上ダムでは、事前調査から得られた水理地質構造や地質類似ダムの事例に基づいた基礎処理工を実施している。川上ダムにおける基礎処理工の概要について、以下の節で詳述する。

(1) コンソリデーショングラウティング

川上ダムにおけるコンソリデーショングラウティングは、**図-1**の範囲で計画され、遮水性改良、弱部補強、断層処理の3つの目的に大別される。このうち、遮水性改良目的のコンソリデーショングラウティングは、改良目標値を5Lu程度と定めており、基礎地盤の透水性を考慮したゾーン区分と孔配置や施工深度のパターン化を行い、それぞれのゾーンに合わせた適切な改良パターンを設定している。

当初、コンソリデーショングラウティングの被り条件は50cmのカバーロックとしていたが、試験施工の結果、リークが著しく効果的な改良が困難であることが判明したため、3mのカバーコンクリートへ変更した。これによって、打設面上からの施工となり、堤体工と常に錯綜することから、高速施工である打設工程へ影響を及ぼさないよう効率的な施工監理が求められる。

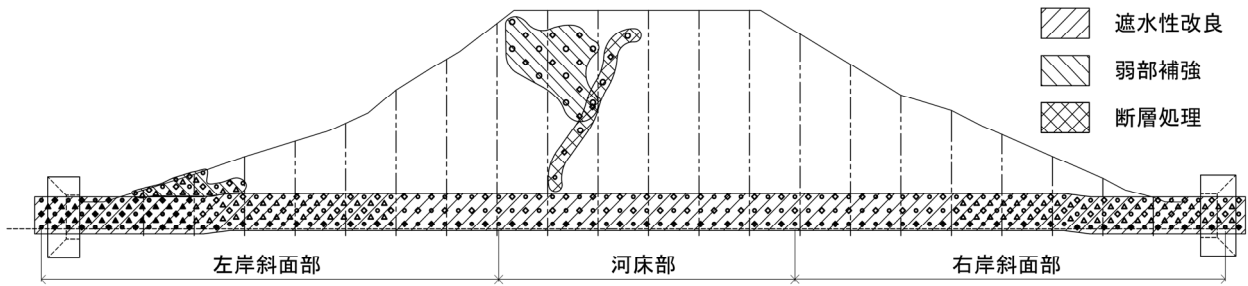


図-1 コンソリデーショングラウチング施工平面図

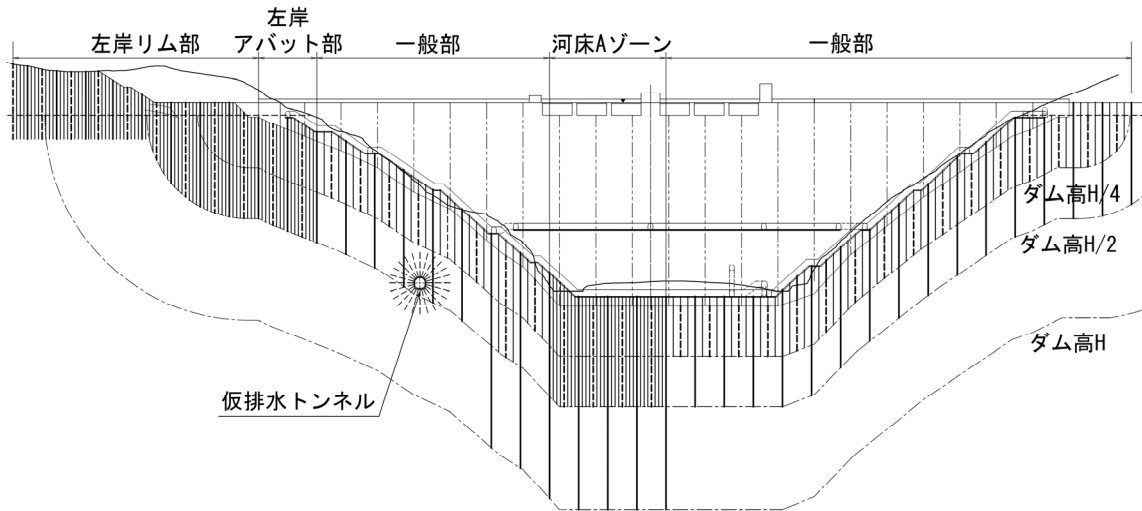


図-2 カーテングラウチング施工断面図

(2) カーテングラウチング

川上ダムにおけるカーテングラウチングは、図-2の範囲で計画され、パイロット孔間隔を12mとし、高透水部が分布する左岸リム部や左岸アバット部、河床の一部は規定3次孔、その他は規定2次孔である。改良目標値は深度に応じて異なり、ダム高H/4までの浅部における改良目標値は2Lu程度と定めている。リム部は地表から、その他は監査廊内から施工する。施工開始時期は、当該箇所 の堤体高さが15m以上としている。

カーテングラウチングの施工完了時期を制約する条件として、試験湛水開始時期がある。特に地中の深い箇所において追加孔が生じた場合、施工数量の大幅な増加に対して、同時作業規制や狭隘な施工ヤードといった点から工程が延伸せざるを得なくなる場合もあり、厳格な施工監理が求められる。

3. ICTを活用した施工監理

(1) グラウト管理システム

川上ダムの基礎処理工では、ICTを活用した施工監理の効率化の取り組みとして、「グラウト管理システム」を使用している。グラウト管理システムには、基礎処理

号機	ブロック	列	孔番	Con	ステ	最終	最終	最終	最終	最終	最終	最終
				長さ	回数	st	施工区間	状況	日時	備考		
1	R03BL	A	3,04	3	0.20	5.0	1	6.0	25.31 ~ 30.31	注入中		水押し
2	6BL	D	255	3	4.81	1.0	1	1.0	4.81 ~ 9.84	ボーリング中		5.5mまで削孔
4	R05BL	A	2,02	2		1.0	1	2.0	12.56 ~ 17.56	ボーリング完了		
5						0.0						廊内待機中
6						0.0						廊内待機中
3	6BL	E	255	3	4.79	1.0	1	1.0	0.00 ~ 5.00	注入完了		

図-3 施工予定表の表示例

工のリアルタイムな施工状況や過去の施工データの閲覧機能、Webカメラを用いた遠隔臨場機能が一元的に集約されている。グラウト管理システムのデータは専用クラウドに保存されており、遠隔地にいる関係者でも閲覧できる。なお、セキュリティ対策としてユーザーIDとパスワードを設定しており、関係者以外の閲覧を防止している。本項では、グラウト管理システムで有している具体的な機能と活用方法を述べる。

a) 施工予定表

施工予定表では、図-3のようにリアルタイムな施工孔番、回数、ステージや施工状況（ボーリング中、注入中、注入完了等）をボーリングマシンごとに確認できる。これにより、リアルタイムな施工の場所や状態といった施工状況を随時把握できる。



図4 注入画面の表示例

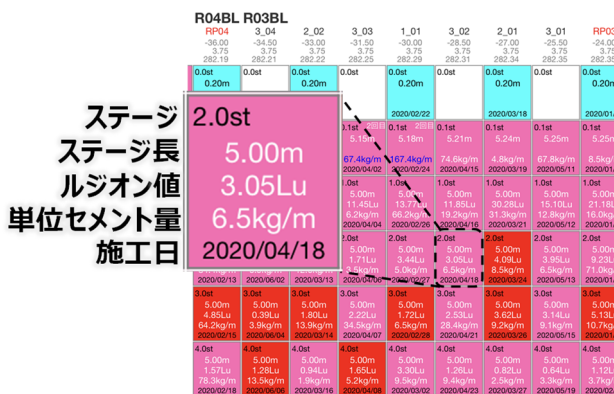


図5 施工状況マップの表示例

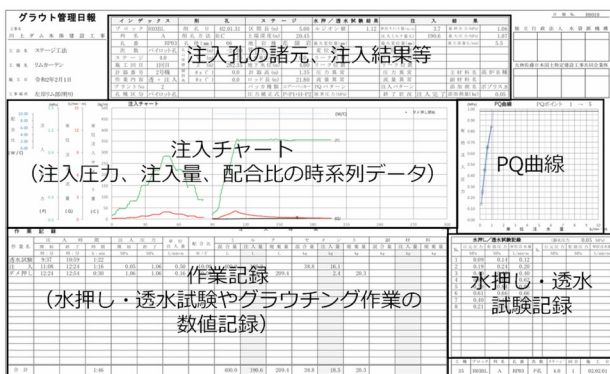


図6 グラウト管理日報の一例

b) 注入画面

注入画面では、管理室に設置されている遠隔操作盤の画面が図-4のようにそのまま表示され、リアルタイムで実施中の透水試験やグラウチングの注入圧力、流量、速度、濃度の制御画面を確認できる。

c) 施工状況マップ

施工状況マップでは、図-5のように過去の注入チャートや注入結果をデータベース化しており、ルジオン値や単位セメント量を即座に把握できる。また、任意の孔番号およびステージを選択することで図-6のようなグラウト管理日報が表示され、注入チャートやPQ曲線（有効注入



図-7 遠隔臨場の実施状況

表-1 Webカメラの仕様

項目	仕様
有効画素数	約130万画素
ズーム	光学ズーム18倍、EXズーム2倍
フレームレート	1~15fps
画像解像度	1280×960, VGA, QVGA

圧力-単位注入量曲線)を確認できる。

d) グラウト管理システムの活用効果

基礎処理工では、数多くのボーリングマシンが様々な場所で施工しており、施工状況の把握に手間がかかる。施工予定表を活用することで、リアルタイムな施工状況を一様に確認でき、予定された工程と照らした進捗をモニタリングできる。また、ボーリング中のマシンに注目することで、検尺対象孔や検尺時間を概ね把握できる。

透水試験やグラウチングを実施中の孔に対しては、注入画面の表示により、リアルタイムな注入配合比や圧力、速度といった情報をモニタリングでき、机上においてもグラウチングの施工状況を詳細に確認できる。

施工が完了した孔の結果は、施工状況マップに集約される。これにより、施工データの管理が省力化されたことに加え、遠隔地にいる熟練技術者とも施工データを随時共有できるため、技術支援が円滑化され、グラウチングデータの分析や計画の検証、必要に応じた計画見直しの効率化や技術知見の伝承が実現した。

(2) 遠隔臨場

遠隔臨場では、図-7のようにWebカメラを用いた映像と音声の双方向通信によって、机上における現場把握や立会、段階確認が可能である。遠隔臨場の使用機材やネットワークシステム、活用効果を以下の項で詳述する。

a) 使用機材

Webカメラは、映像を撮影配信するネットワークカメラに、音声の入出力を行うヘッドセットや電源機器等から構成されている。Webカメラの主な仕様を表-1に示す。机上で必要な機材は、Internet Explorerがインストールされ、マイクやスピーカーが付属またはヘッドセットが接続できるパソコンである。

基礎処理工の出来形管理では、挿入ロッドの残尺や延

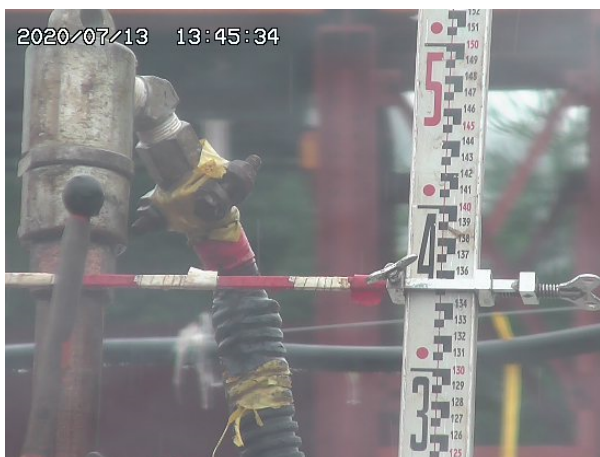


図-8 スタッフ目盛の拡大状況

長、黒板の記載内容、孔内洗浄の状況を確認するため、拡大することで図-8のようにスタッフの目盛や黒板の文字を十分に判読できる仕様とした。監督員はパソコン上からカメラの縮小拡大や首振りを自由に操作でき、施工箇所の任意のポイントを確認することで、現場臨場と同様の現場把握が可能である。遠隔臨場の映像は任意のタイミングでスクリーンショットが撮影でき、遠隔臨場の実施記録として受注者と共有している。

b) ネットワークシステム

ネットワークシステムは、ダムサイト全体に張り巡らされた無線LANを使用しており、打設面上でも左岸リム部でもWebカメラに接続できる。監査廊内は通信用ケーブルを敷設することで遠隔臨場を実施している。

c) 遠隔臨場の活用効果

基礎処理工では、出来形管理として削孔ごとに孔内洗浄状況の立会確認や削孔長の段階確認を行う。しかし、ボーリングの削孔速度は岩盤の状態に左右され、削孔終了時間を正確に見通すことは難しく、立会や段階確認までの手待ち時間が生じる。また、特に立会場場所が監査廊内の場合、現場への移動時間を多く要し、狭隘かつ急勾配な監査廊と事務所を往来しなければならない。

遠隔臨場によって移動時間や手待ち時間が削減されたことで、スケジュールの都合上受注者による自主管理とせざるを得なかった場面でも、立会や段階確認が可能となった。さらに、映像や音声の双方向通信によって、机上においても現場臨場と同様の現場確認が維持できた。場所の制約を受けないことから、遠隔地にいる熟練技術者が現場状況を把握でき、その技術知見や経験を活用できるようになった。

事務所から臨場箇所までの移動時間は、施工場所にもよるが片道約15分を要する。基礎処理工では、最盛期に1日で4回の立会があると見込まれており、遠隔臨場の活

用でこの移動時間が1日で約2時間、1ヶ月で約40時間削減される。さらに、手待ち時間の削減で、打設工程に影響を及ぼさない施工監理が求められるコンソリデーションクラウドの施工迅速化が実現し、川上ダムの高速施工に貢献している。副次的には、立会や段階確認における3密（密閉・密集・密接）の回避が可能となり、新型コロナウイルスの感染拡大の防止効果も得られた。

4. まとめ

ICTの活用により、川上ダムの施工監理にて得られた効果を、以下に取り纏める。

○数多くの施工データ管理の省力化や、遠隔地にいる熟練技術者との随時データ共有にて可能となった技術支援の円滑化により、基礎処理工の施工監理で重要な施工データの収集分析、計画の検証、必要に応じた計画見直しのサイクルの効率化や技術知見の伝承が実現した。

○遠隔臨場により、削孔終了から立会までの移動時間が最盛期で1ヶ月あたり約40時間削減され、少人数の職員で施工監理業務を行う中、大幅な業務の効率化が実現される。机上においても現場臨場と同様の現場確認が可能となり、出来形管理の水準を維持しつつ施工監理の効率化が得られた。

○ICTを活用したツールがクラウド管理システムに集約され、本システム一つで出来形管理、施工データ管理、遠隔臨場による現場確認が可能となり、さらに遠隔地にいる経験豊富な技術者も施工データや現場状況が常に把握できることで、熟練技術者が減少する中、技術知見や経験の伝承が可能となった。

今後、本取り組みを経て得られた知見を他工種へ積極的に展開し、更なる施工監理の効率化や高度化を目指したい。

参考文献

- 1) 財団法人国土技術研究センター. 2003. グラウチング技術指針・同解説.
- 2) 水資源開発公団. 2000. ダム設計指針 第6編 基礎処理.
- 3) 水資源開発公団第一工務部. 1993. ダム施工要領・同解説 (案) ー共通編ー.
- 4) 国土交通省大臣官房技術調査課. 2020. 建設現場の遠隔臨場に関する試行要領 (案) .