

天ヶ瀬ダム再開発事業流入部の コンクリート打設について

植前 成美¹・吉田 真人²

¹近畿地方整備局 琵琶湖河川事務所 工務課（〒520-2279滋賀県大津市黒津4-5-1）

²近畿地方整備局 琵琶湖河川事務所（〒520-2279滋賀県大津市黒津4-5-1）

天ヶ瀬ダム再開発事業は既設天ヶ瀬ダムが持つ治水・利水の機能を向上するために、ダムの左岸側に全長617mのトンネル式放流設備を建設する事業である。

ダム湖内に設置する流入部は、約16,000m³のコンクリートを地上から大深度下（垂直方向最大約50m）にかけて打設して構築する大規模な構造物で、打込高さや打上がり速度、温度管理等に十分留意して施工する必要があり、その打設計画や監督体制等に係る検討内容を報告する。

キーワード 天ヶ瀬ダム、ダム再開発、マスコンクリート、大深度打設

1. はじめに

(1) 天ヶ瀬ダム再開発事業の概要

天ヶ瀬ダムは図-1に示す通り京都府南部の淀川水系宇治川に位置する昭和39年に完成したダムで、治水・水道用水補給・発電に用いられている多目的ダムである。

天ヶ瀬ダム再開発事業は天ヶ瀬ダム下流の宇治川・淀川の洪水調節、水道用水の安定供給、発電機能増強を目的として、天ヶ瀬ダムの放流能力を600m³/s増強させるため、ダムの左岸側に全長617mのトンネル式放流設備を建設する事業である。トンネル式放流設備は、流入部、導流部、ゲート室部、減勢池部、吐口部で構成される（図-2）。

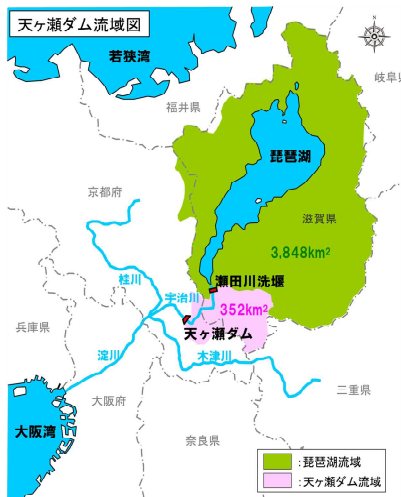


図-1 天ヶ瀬ダム位置図

(2) 流入部の概要

流入部はトンネル式放流設備の最上流部に位置するダム湖（鳳凰湖）からの取水口となるもので、安定してトンネルに水を取り込めるよう最大水深約40mとなる位置に取水口を設置している。流入部本体は約16,000m³のコンクリートを地上から大深度下にかけて打設して構築された構造物である。流入部建設工事の施工フローは図-3に示す通りである。



図-2 トンネル式放流設備イメージ図

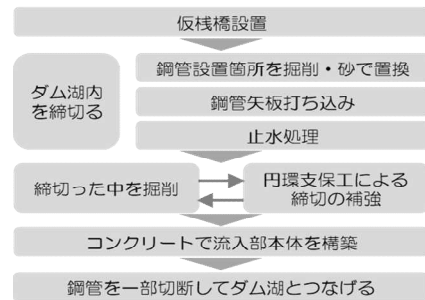


図-3 流入部建設工事の施工フロー

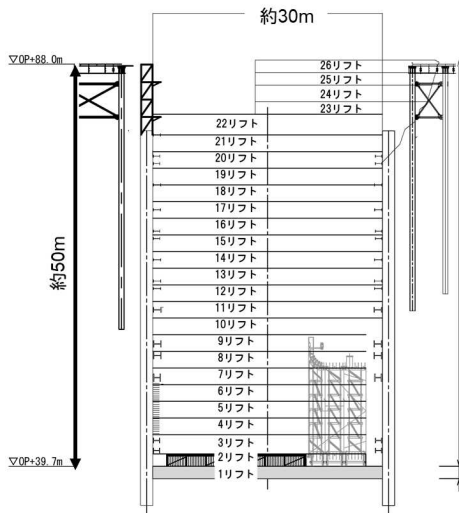


図-4 流入部リフト割図



図-5 流入部イメージ図



図-6 トランジション管

2. コンクリート打設時における課題

流入部本体は高さ約50m、直径約30mの円柱状であり、約16,000m³のコンクリートにより構築され、26リフトに分割しコンクリート打設を行った（図-4）。その為、コンクリートの打設高さへの対応をはじめ、コンクリート圧送管の配置計画、現場への搬入計画等、諸課題への対応が必要となる。また、構造物は全体的にマスコンクリートとなるため、温度応力によるひび割れが懸念された。

(1) 材料に関する課題

施工ヤードはダム湖内の急峻な地形に設置した仮栈橋上になり、施工ヤード面から打設面までの高低差は最大約50m、水平打設距離約30mとなることから、コンクリート材料について以下に示す課題が考えられた。

- ①コンクリートの材料分離により、配管閉塞をさせない配合のコンクリートとすること
- ②50m下へ良質なコンクリートを打設すること（特に複雑な形状のトランジション管周辺（図-6））
- ③大量のコンクリートを打設することから、緻密な資材搬入計画により、品質を確保する必要があること
- ④マスコンクリートへの対応（主に温度応力によるクラック対応）が必要であること

(2) 設備にかかる課題

一度の打設数量が数百～数千m³程度と非常に多いため、如何に良質で密実なコンクリートを確実に打設するか打設設備について以下に示す課題が考えられた。

- ①コンクリートの材料分離及び品質低下を防ぐための鉛直配管の形状
- ②広範囲打設における打設面の配管形状及びトランジション管下部の打設方法

- ③壁厚9m（約600m²）での打設時の作業床及び配管の設置方法
- ④打設時のブリーディング水の処理方法

(3) 施工監督における課題

大規模構造物であること、また、最大850m³/日（12時間）のコンクリートを打設することから、施工監督にあたり、以下に示す課題が考えられた。

- ①施工計画の十分な確認。特にジャンカ抑制の打設方策、温度ひび割れを抑制する方策
- ②車両輻輳等による安全対策
- ③立会のタイミング、確認内容等

3. 課題への対応・対策

前出のとおり、前例の無い大規模な構造物であるため、様々な課題が考えられ、躯体構築前に材料、設備、監督手法等の十分な計画を受注者と調整した。その概要を述べる。

(1) 材料に関する課題への対策

上記2. (1)の課題に対して、それぞれ以下の通り対策を行い、コンクリート性状や圧送性に問題がないことを確認した。

①、②について、トランジション管周辺（底版及び1リフト目）は充填性を高めるために高流動コンクリート、それ以外については普通コンクリートを使用することとし、コンクリートの配合試験及び配管を使用した圧送試験を実施し、スランプフローとスランプの経時変化を確認した。

配合試験において、高流動コンクリートは、温度が30～32℃の状態ですランプ後2時間までスランプフローを保持することを確認した。普通コンクリートに関しても同

様の温度で現場到着から90分まで極端なスランプロスは認められず、静置したコンクリート状態も良好であり、スランプ保持が非常に良いコンクリートであることが分かった。

この結果を踏まえ、水平圧送試験を実施した（図-7）。高流動コンクリートに関しては、圧送後に粘性が小さくなりスランプフローが伸びることが確認されたため、鉛直圧送試験時には混和剤を増量することとし、普通コンクリートに関しては圧送後に静置したコンクリートについて30分間はスランプロスが無く、圧送性が非常に良好であることが確認できた。

以上の結果を基に実際に使用する鉛直下向きの配管を使用し、鉛直圧送試験を実施した（図-8）。高流動コンクリートは、圧送前後でのスランプロスは確認されなかったものの、数値として確認はできなかったが、見た目の流動性等から粘性が下がっているように感じられたため、製造時に水分を抑え粘性が大きくなるよう管理することとした。普通コンクリートは、水平圧送試験と比較し圧送後のスランプロス発現が早かったが、圧送性に問題がないことを確認することができた。

③については、水平距離を考慮してコンクリートポンプ車を3台据え付けることとしていたため、施工ヤード平面図でコンクリートポンプ車の配置場所やアジテータ車の待機場所等の配置計画を行った上で、生コンプラント等関係者との調整を行い、アジテータ車の現地到着時間の管理や納入場所等の緻密な計画を立案した。

④については、温度応力解析及びコンクリート材料の見直しを行い、その結果について学識者を委員とした施工技術監理委員会に諮ったうえで、低熱セメントの使用や鉄筋量を増やす等の対策を行った。

(2) 設備にかかる課題への対策

前記2. (2)の検討事項について、それぞれ下記の通り対策を講じた。

①については、コンクリートの材料分離を防ぐため、鉛直配管の中間（1箇所）にベンド管（45°，1000R×2）（図-9）を入れ、垂直落下距離を減少させることとした。また、品質低下防止のためには配管内を常にコンクリートが充填された状態を保ち、コンクリートの自由落下を防ぐ必要があった。そこで鉛直配管の下端にシャッター式バルブ（図-10）を設置し、コンクリートが途切れそうになった際にバルブを閉めることで常に充填された状態を保ち、コンクリートが途切れることなく打設することができた。

②については、広範囲での大量打設となるため、筒先移動が多くなることによる時間ロスやコールドジョイントの発生が懸念された。そこで圧送配管を分岐させて筒先を増設することにより打ち重ね時間の短縮を図った（図-11）。また、施工パターンに合わせた打設の立案や筒先挿入位置の明示、筒先移動の時間を管理することにより打ち重ね時間を厳守させ、コールドジョイントの発生を防いだ。



図-9 配管設置状況（左）とベンド管（右）



図-7 水平圧送試験

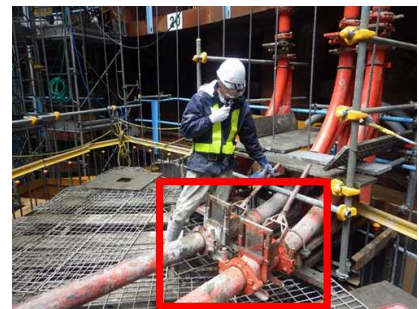


図-10 シャッター式バルブ

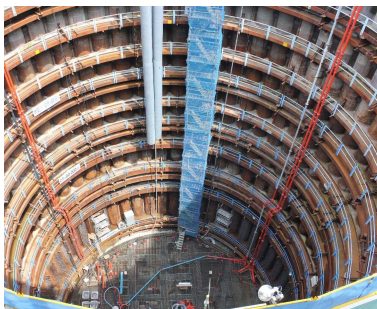


図-8 鉛直圧送試験

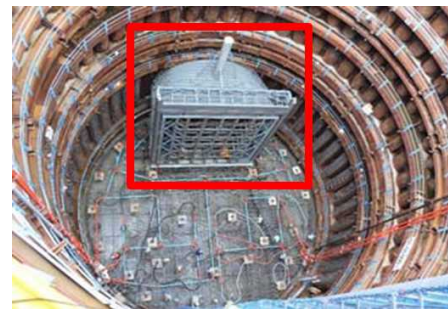


図-11 分岐配管設置状況

トランジション管（図-11赤枠）下部については、確実にコンクリートを充填させるため、埋設の配管を設置してコンクリートが管の下部で吹き上がるような配置にして打設を行うことで密実に充填させることができた。

③について、壁厚が最大9mとなり、躯体外側の足場からコンクリートの打込み～締固めを行うことは不可能であったため、躯体内部に鋼製の打設用作業架台を設置した（図-12）。また、架台の高さをコンクリート打設天端より30cm程度かさ上げすることで容易に配管を移動することができた。

④について、底版においては栈橋上からブリーディング水を吸引する必要があるため、約50mの高低差においてバキューム車での吸い上げが可能か検討したところ、100m³/min以上の風速が必要で、通常のバキューム車（排気量4m³/min、揚程約5～10m）では対応できないことが分かったため、超高圧バキューム車（排気量130m³/min、揚程約50～70m）（図-13）を手配して処理を行った。また、壁部の打設においては足場上に設置することができる可搬式のミニバキューマーを採用してブリーディング水の処理を実施して良質なコンクリートを打設することができた。

③ 施工監督における課題への対応

前記2. ③の課題に対して、受注者と協議の上、それぞれ下記の通り対応した。

①, ②について、コンクリート量、リフト高、打設時の高低差等を踏まえた上で、ジャンカ、温度ひび割れを抑制するため、施工事例の確認や検討できる範囲での試

験施工の依頼、また、不具合が生じた場合の対応等に関して受注者との入念な調整を行った。さらに、打設時は足場・作業床等を多数の作業員が行き来するので、安全通路の設置や頭上注意の注意喚起（図-14）が出来ているかなどの（多数の車両が輻輳することから、頻繁に現場確認を行ったり、交通安全連絡会を設置することで受注者の意識を高めさせたりなど）安全対策についても十分な確認を行った。

③について、事前に検査する項目、時間等の調整を行った上で、打設設備の不具合の発生により検査が実施不可能になるなど予定外の事象に対応するため、連絡体制を事前に確認しておくほか、事象に応じた対応方針について、受注者との協議を行った。

(4) その他の対策

良質なコンクリートとするため、打設後に湿潤シートを貼付し乾燥を防止するとともに、冬季はジェットヒーターを使用し（図-15）、夏季は直射日光による乾燥防止のための日よけを設置するなどの対策をしているが、さらに、養生水の温度に留意し、冬季には温水を使用するなど、急激な温度変化を与えないよう考慮した。

また、供用後は常時水中に存置される構造物であるが、供用されるまでの施工期間中において打ち継ぎ目からの水分の浸透による鉄筋の腐食及びコンクリートへのひび割れ防止を目的として、打ち継ぎ処理剤を使用するとともに、打ち継ぎ面の外周に水膨張性止水剤を設置した。



図-12 作業架台設置状況



図-14 頭上の注意喚起（ピンクリボンの設置）



図-13 超高圧バキューム車

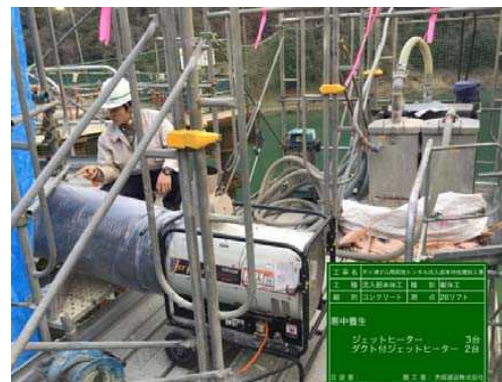


図-15 ジェットヒーター使用状況

4. 結果報告

様々な課題への対策により、流入部の躯体は、高い品質のコンクリート打設ができた。近畿地方整備局平成29年度コンクリート構造物品質コンテストでは、特別優秀賞を受賞している。

(1) クラックの状況

躯体完成後、発注者、受注者とも目視検査を実施しているが、非常に精度よく仕上がっている。底版では0.3mm以下のヘアクラックを確認したが、品質に影響の恐れがあるクラックは確認できなかった。また、局所的にクラックが集中している箇所も確認できなかった。

(2) 打ち継ぎ目の状況

全てのリフトにおいて、コールドジョイントは確認されず、また、リフト間の打ち継ぎ目についても、漏水等の不具合は確認されなかった。

(3) 全体の仕上がり

コンクリート打設計画を緻密に検討した上で、養生方法等にも細心の注意を払った結果、躯体コンクリートの全体的な仕上がりは、ひび割れや表面気泡がなく、打ち継ぎ目も目視できない状況となっている。



図-16 構築完了後の流入部（立抗内より）

5. 他事例への応用

今回の施工では、大深度への大量のコンクリート打設を行ったが、コンクリートの性状を十分に検討し、圧送管等の設備を工夫した上で適切な施工管理をすることで、求められる品質のコンクリート構造物を構築することができた。

温度応力対策や分岐配管、吐出弁等の技術は、大規模な橋脚や地下トンネル工事等にも十分応用できるものである。

6. おわりに

本工事は、入念な打設計画の策定や様々な課題への対策を行ったことで、非常に品質の良いコンクリート構造物を構築することができた。

本事業も終盤に差し掛かり、日々、受発注者間において事業の早期完了に向けて鋭意取り組んでいる。

謝辞：本稿の執筆にあたり、施工業者である大成建設の方々から資料提供等でご協力いただきました。また、本工事を担当している職員からも助言やご協力をいただいたことに、この場を借りてお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) ダム湖内に構築するコンクリート構造物の配管圧送試験について、平成30年度土木学会全国大会発表論文
- 2) ダム湖内に構築するコンクリート構造物における大深度コンクリート打設について、令和元年度土木学会全国大会発表論文



図-17 流入部全景