

億首ダム（台形 CSG ダム） 本体工事の施工報告

新城 晴伸¹・與那嶺 盛明²

¹北部ダム事務所 億首出張所 （〒905-1201 沖縄県国頭郡金武町字金武 10437）

²北部ダム事務所 億首出張所 （〒905-1201 沖縄県国頭郡金武町字金武 10437）

沖縄本島北部の金武町で建設中の億首ダムは、沖縄東部河川総合開発事業の一環として、沖縄県企業局所管の金武ダム（水道専用ダム）を、洪水調節・既得用水や下流河川流量の安定化・水道用水及び灌漑用水の供給を目的とした特定多目的ダムとして再開発する事業である。

億首ダムのダム型式については、地質条件やコスト縮減、工期短縮の観点から直轄工事のダム堤体で初となる「台形CSG」を採用しているが、本稿では、億首ダム本体建設工事がほぼ概成したことに伴い、工事および新工法の内容を報告するものである。

キーワード 億首ダム、台形 CSG ダム

1. 事業の概要

億首ダム建設事業は、沖縄東部河川総合開発事業（億首ダム、漢那ダム）の一環として、既設の水道用水専用の金武ダムを再開発する事業である。金武ダムは、総貯水容量約82万m³、堤高13mのアースダムで、現在は、沖縄県企業局が管理を行っている。

再開発される億首ダムは、事業の目的として、億首川の洪水調節、既得用水及び河川流量の安定化、並びに特定かんがい用水の確保、沖縄本島の水道用水を供給するもので、堤頂長461.5m、堤高38m、堤体積32万m³、総貯水容量約856万m³の多目的ダムとして建設されるものである。



図-1 億首ダム完成予想図

2. 台形 CSG ダムの概要

台形CSGダムは近年の公共事業における厳しい財政事情や環境との共生を目指す社会情勢のもと、コスト縮減や環境の保全に貢献するため開発された新しいダム型式である。

CSGとはセメントで固めた砂礫のこと（Cemented Sand Gravel）で、現場周辺で手近に得られる材料に極力手を加えず、必要に応じてオーバーサイズの除去や破碎を行う程度でセメント・水を添加し、簡易な施設を用いてこれらを混合したものである。

表-1 工事工程

工 種	平成21年度												平成22年度												平成23年度												
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
転流工																																					
本体掘削工																																					
母材採取工																																					
コンクリート工																																					
CSG工																																					
基礎処理工																																					



図-2 億首ダム 断面図

図-2に億首ダムの標準断面を示す。内部にはセメントの配合量80kg/m³のCSGを用い、表面には耐久性と遮水に対する確実性を目的とした保護コンクリートを配置、上流面下部に通廊、構造用コンクリートおよび浸透路長の確保のための止水コンクリートを設ける。なお、堤体底面部のCSGは、耐久性に配慮してセメント配合量100kg/m³の富配合のCSGを用いた。

図-3、図-4に億首ダムの平面図・上流面図を示す。

3. 母材の採取

図-5に母材山及び母材仮置きヤード・仮設備ヤード等の位置図を示す。CSG材の原料となる母材の採取には大

型重機を用い、表土処理・廃棄岩掘削(310千m³)および母材採取(563千t:約235千m³)を約10ヶ月で完了し、Ⅰ材及びⅡ材に分類し右岸土捨場上部及び母材仮置きヤードに全量を仮置きした。

4. 仮設備及びCSG材のストック

仮設備の構成機器、能力等を表-2に示す。CSG材の製造はⅠ材については母材の1次及び2次破碎を行い、Ⅱ材については、母材の1次破碎のみを行った。CSG製造設備は、2基で400m³/hの能力を有する。

また、コンクリートは骨材を購入し、バッチャープラントにて製造した。

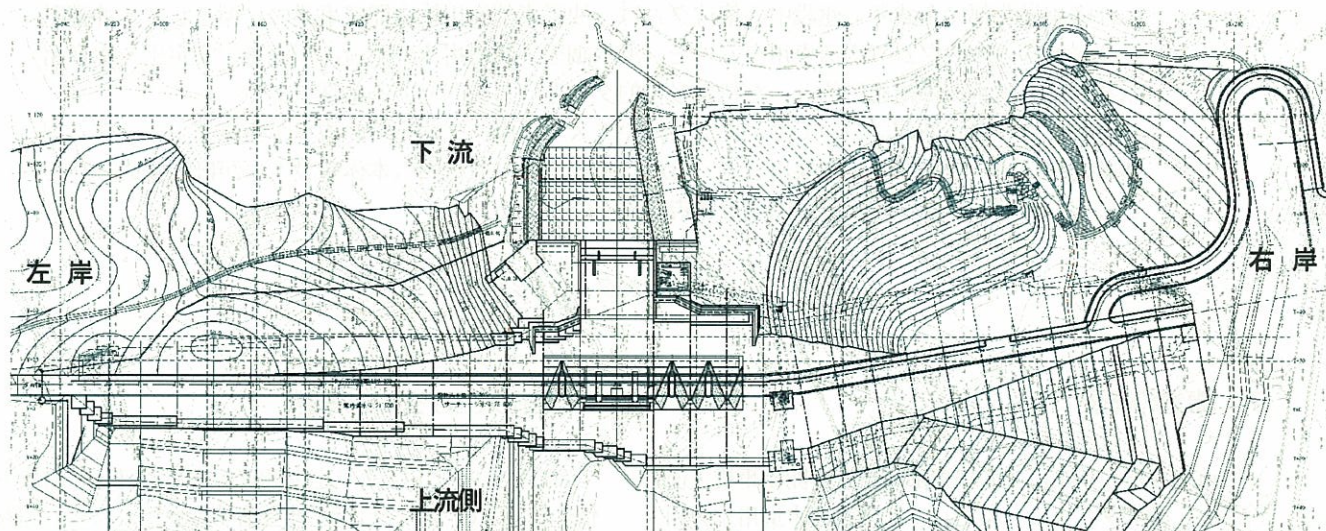


図-3 平面図

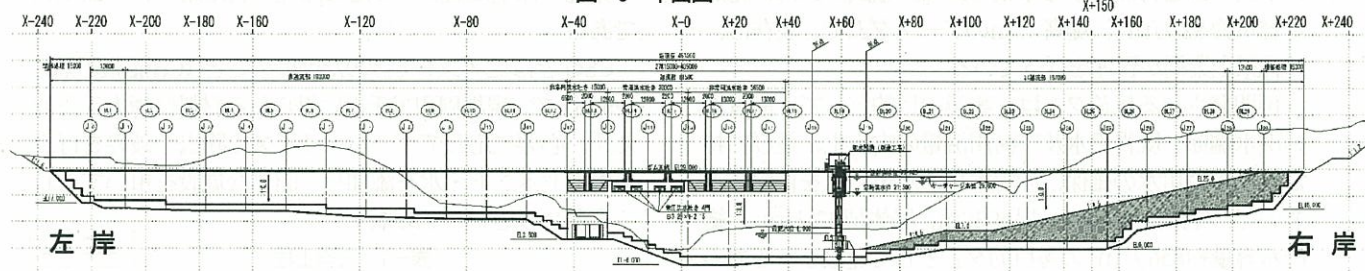


図-4 上流面図

表-2 主要設備機器一覧

品名	規格仕様	台数	能力
1. CSG材製造設備			
一次破碎設備			
ジョークラッシャー	ST 36-48	1	標準能力 235 t/h
ジョークラッシャー	ST 25-36	1	標準能力 150 t/h
二次破碎設備			
コークラッシャー	50LH	1	標準能力 208 t/h
2. CSG製造設備			
CSGプラント	DK-VIIミキサ	2	公称能力 200m ³ /h
セメントサイロ		2	600t
3. コンクリート製造設備			
バッチャープラント	2軸強制練 1.5m ²	1	公称能力 75m ³ /h
セメントサイロ		1	500t
骨材貯蔵ビン	Φ8000×H9700	4	貯蔵量 MAX 488m ³
骨材貯蔵ビン	Φ8500×H9700	1	貯蔵量 MAX 550m ³

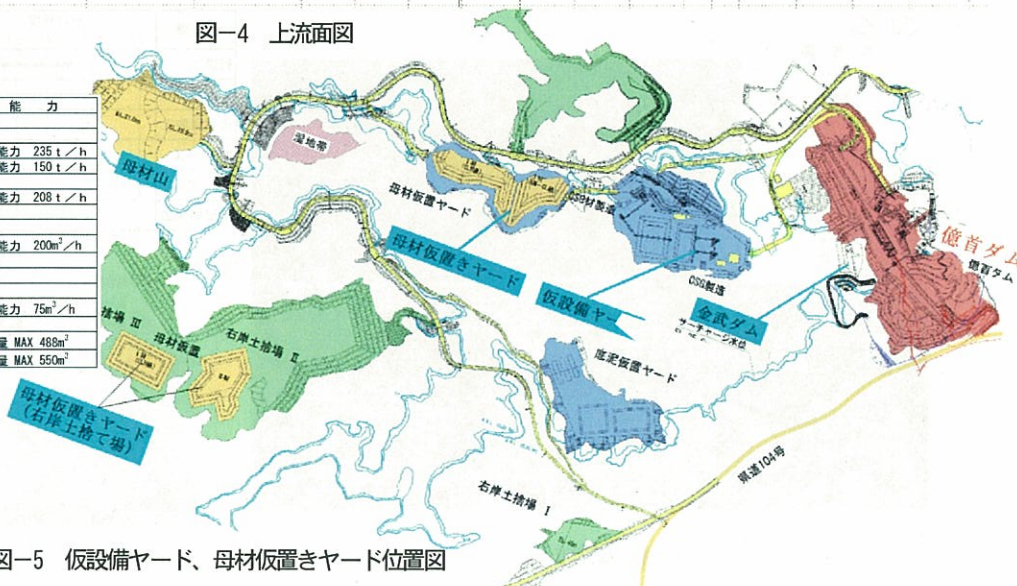


図-5 仮設備ヤード、母材仮置きヤード位置図

5. CSG の品質管理

億首ダムでは、打設するCSGが必要な品質（強度）を確保しているかを確認するために、CSGの品質に大きな影響を与える下記事項について品質管理を行った。

- ① 母材の品質管理（母材仮置きヤード）
 - ・母材の粒度や材質に大幅な変化がないかを確認
確認時期：施工1ヶ月前
確認項目：色調・粒子形状・吸水率・表乾密度・粒度
- ② CSG材の品質管理（1次、2次ストックヤード）
 - a) 1次ストック（計画使用量の4日分）
 - ・CSG材の材質を確認
確認時期：施工4日前
確認項目：表乾密度・吸水率
 - b) 2次ストック（2日施工分）
 - ・粒度・表面水量の最終確認
確認時期：施工1日前
確認項目：粒度・表面水量
- ③ CSGの品質管理（CSG混合設備）
 - ・簡易法による単位水量・粒度の管理
 - ・計量管理（連続供給のため、リアルタイムの計量）
- ④ CSGの品質管理（CSG打設現場、試験室）

- ・転圧回数管理（締固めエネルギー管理）
（補足として現場密度管理）
- ・管理システムが正常に作動していることの確認
（短期材齢の供試体による強度管理）

6. CSGの施工方法

（1）岩盤面処理及び着岩部の施工方法

CSG部の岩盤面処理は、基礎岩盤の摩擦抵抗が十分期待できるように浮き石除去、簡易清掃を行い、岩盤面にできた深い凹部の不陸調整は、CSGまたはコンクリート打設により行った。なお、基礎掘削では、計画掘削線から50cm程度上部はツインヘッドを用いて、できるだけ大きな不陸が生じないように施工した。湧水がある場合は、ヒューム管等による湧水処理を行った。（写真－2）

（2）一般部の施工

CSGの敷均しは、16t級湿地ブルドーザで、1リフトの敷均し高さ75cmを3層（25cm/層）にて行った。（写真－5）CSGの表面は、乾燥防止のためハイウォッシャーによる噴霧養生をおこなった。CSGの締固めは、11t級振動ローラで行い、転圧回数は無振動2回、有振動6回とした。（写真－6）締固め後、2.5t級振動ローラで仕上げ転圧を行った。転圧回数は2回である。（写真－7）仕上げ転圧完了後、打設面はブルーシートにより養生した。



写真－1 仮設備ヤード全景



写真－2 基礎掘削状況



写真－3 岩盤面処理状況



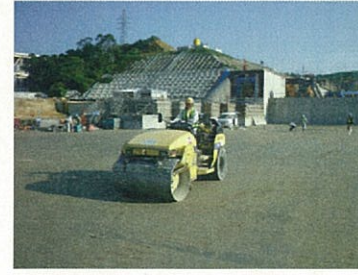
写真－4 不陸調整（CSG）



写真－5 CSG敷均し状況



写真－6 CSG転圧状況



写真－7 仕上げ転圧状況

(3) 法肩部の施工方法

CSG 上下流面際の端部締固めには、写真-8 に示す専用機械を使用した。

なお、締固め時間は、一般部の CSG の現場密度と同等の密度が得られる 30 秒とした。また、締固めは端から順番に 30 秒ずつ締固める方法で施工性に問題ないことを確認し施工した。

(4) 打継面処理

CSG の打継ぎ面は、一体性を確保するため、敷きモルタル($t=15\text{mm}$)をホイールローダ及び人力にて CSG 全面に敷均した。(写真-9) なお、敷きモルタルの施工前に浮き石除去等の簡易清掃を清掃車及び人力でのエア吹きで行った。(写真-10)

(5) CSG と止水コンクリート接合面の施工

コンクリートと CSG の接合面の施工は、コンクリートの壁面を目荒し機でチッピングし、CSG 打設前に人力で壁面にモルタルを敷設した。(写真-11,12)

CSG はバックホウにて 1 層 25cm に敷き均し、1 層ごとに 1t 振動ローラと 60kg ランマで転圧(転圧回数はいずれも 8 回)した。(写真-13)

なお、止水コンクリートおよび下流フーチングコンクリートの打設面は勾配(1:0.5)をつけて、チッピング処理やモルタル塗布の作業性を向上させ、CSG 打設面との一体化の確実性と施工性を向上させた。

7. プレキャスト型枠工

プレキャスト型枠(以下 PC 型枠と呼ぶ)は、耐久性、施工性、型枠下への敷モルタルの充填性を考慮して、写真-14 に示す構造とした。写真-15 に設置状況を示す。

PC 型枠底盤下への高流動モルタル充填のために、底盤下の間隔を 30mm 確保した。(写真-16)

PC 型枠背面は、保護コンクリートとの一体性を確保するため、工場にてハイウォッシャーによる洗い出しをおこなっている。PC 型枠は、現場から 38km 離れた二次製品工場で製造し、10 t トラックで現地まで運搬した。



写真-8 CSG 法肩締め状況



写真-9 CSG 打設面モルタル塗布状況



写真-10 CSG 打設面清掃状況



写真-11 コンクリート壁面チッピング状況



写真-12 コンクリート面モルタル塗布状況



写真-13 コンクリート接合面施工状況

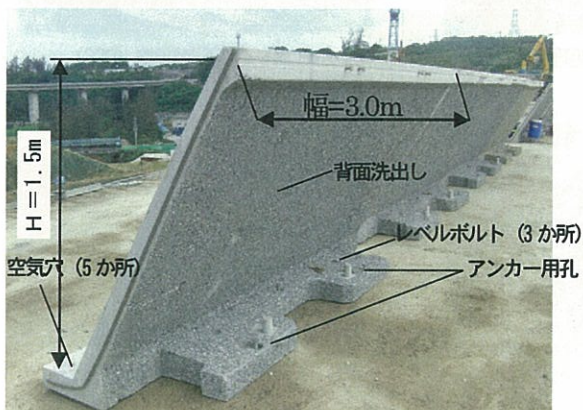


写真-14 PC型枠



写真-15 PC型枠設置状況



写真-16 PC型枠底盤モルタル充填状況

8. CSGの施工サイクル

(1) CSGの施工

CSGの施工では、面状工法を用いて連続混合設備による高速施工を行う計画としている。そのために、CSGの打設から保護コンクリートの型枠設置・コンクリート打設といった各施工が干渉することなく、連続的かつ安全に施工を行えるような打設サイクルで施工した。

CSGを高速施工する際に重要な工程の一つが上下流面の保護コンクリート型枠の施工であった。従来のコンクリートダムでは、上下流面の型枠に鋼製のスライド型枠を用いるのが一般的であるが、スライド型枠での養生期間、型枠移動の時間が打設の“待ち”となるケースもあり、PC型枠の採用により効率的な打設サイクルが可能となった。

図-6にCSGの打設から保護コンクリート打設までの施工手順を示す。

(2) CSGの施工サイクル

a) 下位標高での施工サイクル

堤体を左右岸方向に2分割し、図-6に示す手順にて、1リフト4日サイクルで施工した。施工サイクルを図-7に示す。(下位標高部 EL=16.5m 以下)

b) 2層連続打設

低標高部 (EL=16.5m 以下) と上位標高部を比較した場合、上位標高部では堤体の上下流方向の長さが短くなるが、左右岸方向の長さが長くなる。このため、上位標高部では、1リフトあたりのCSG打設量が少なくなるが、一方で、保護コンクリートに関する作業 (上下流面PC型枠設置、保護コンクリート打設) の作業量が増加する。

このため、堤体の打ち上がり速度は保護コンクリートの打設サイクルに左右されることとなる。

このことから、高標高部では、CSGの連続施工を維持するために、作業量の多くなる保護コンクリートに関する作業を平準化する施工サイクルとして、堤体を左右岸方向に4分割して施工する2層連続打設にて施工した。

施工サイクルを図-8に示す。

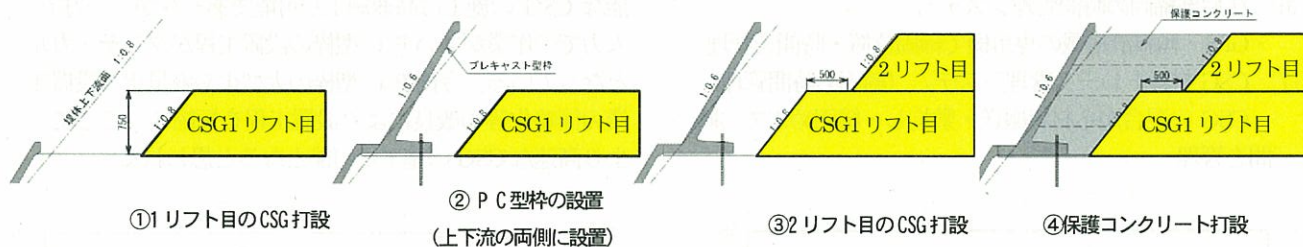


図-6 上下流P C型枠周りでのCSG施工手順

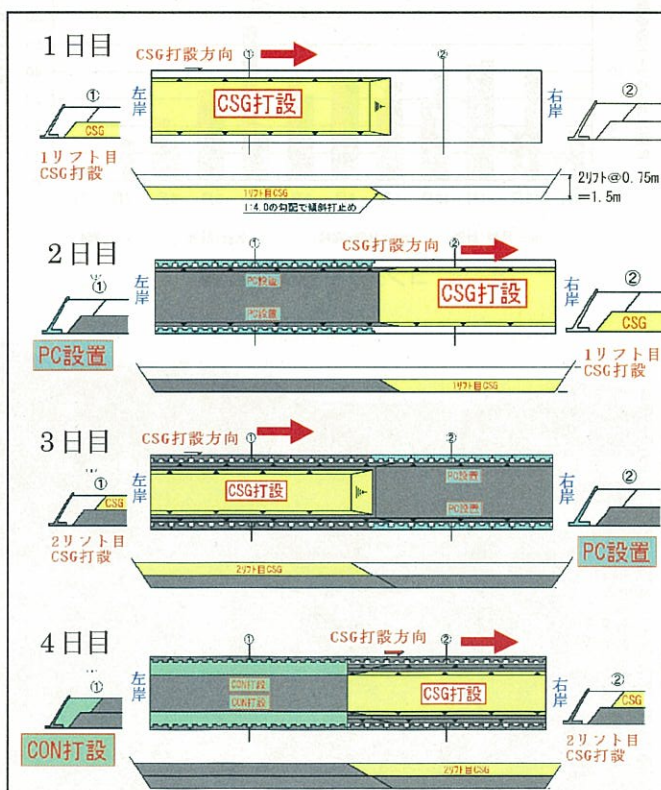


図-7 下位標高部での施工サイクル

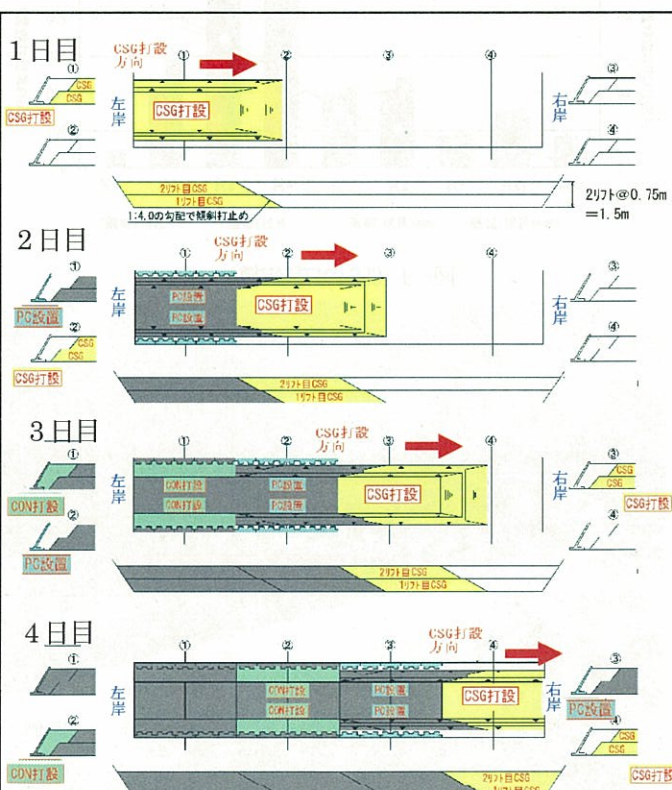


図-8 上位標高部での施工サイクル

9. ICT の実施

億首ダムでは下記事項について、ICT を活用した施工を実施した。

- ① IC タグを利用した母材運搬・仮置き管理
 - ・母材山から採取した母材（Ⅰ、Ⅱ材）運搬時の仮置きヤードでの荷降ろし時の人為的ミス防止、数量把握
- ② 情報化施工による母材採取管理
 - ・母材山の3次元地質モデル(調査ボーリングと実際の掘削時地質データ)を比較し、母材採取可能量を確認
- ③ マシンコントロールされたブルドーザーでの CSG 敷均し
 - ・GPS 搭載ブルドーザーにて排土板を自動制御
- ④ マシンガイダンスによるバックホウでの法面整形
 - ・GPS・傾斜計搭載バックホウにより、丁張が不要
- ⑤ 前後輪ローラー転圧管理
 - ・GPS 搭載転圧ローラーにより、転圧位置・回数を管理
- ⑥ 法肩部締固め時間管理システム
 - ・GPS・傾斜計搭載の専用機で締固め位置・時間を管理
- ⑦ CSG 材料トレース管理システム（締固め時間管理）
 - ・CSG の混合から材料搬送・敷均し・締固めまでの時間を管理

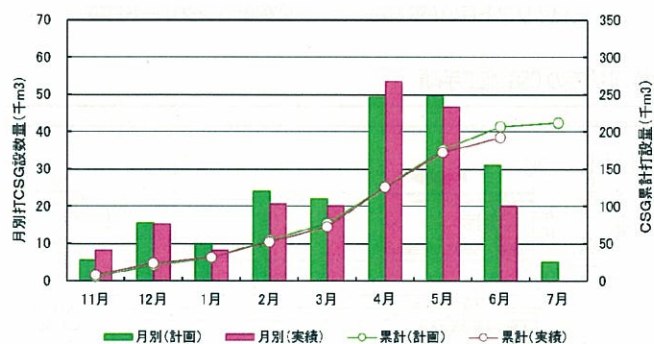


図-9 CSGの打設実績

⑧ 施工データ統合 DB の開発

- ・CSG 打設箇所をエレメント（50cmの立方体）単位で一括管理（CSG の打設位置、施工日時、気象データ、CSG の転圧状況等）

10. まとめ

CSG 及びコンクリートの打設実績を図-9、図-10 に示す。

億首ダムの堤体積は約 32 万 m³ であり、打設期間は約 12 カ月（コンクリート及びCSG 含め）であった。これは、堤体積がほぼ同規模の大保ダム（堤体積約 40 万 m³ のコンクリートダム）の打設期間が約 30 カ月に比較して、打設速度が約 2 倍と超高速施工(工期短縮)が実現できた。

11. 今後の課題

ブルドーザーや振動ローラー等の汎用機械で施工が可能な CSG の施工は高速施工が可能であったが、一方で、人力での作業が多い P C 型枠の設置工程がクリティカルとなっている。今後 P C 型枠の大型化や軽量化・設置作業の簡略化等の改良により設置工程を短縮することで、より高速な CSG の施工が可能となると思われる。



図-10 コンクリートの打設実績



写真-17 右岸上流より下流を望む



写真-18 左岸下流より上流を望む