

# 新粗石コンクリート工法による 水叩き部の施工について

山下 祥平<sup>1</sup>

<sup>1</sup>独立行政法人水資源機構 琵琶湖開発総合管理所 環境課 (〒520-0243滋賀県大津市堅田2-1-10)

川上ダム流入水バイパスの取水堰では、水叩き部に高流動コンクリートおよび現地で発生した岩を用いた新粗石コンクリート工法を採用している。従来の粗石コンクリートは締固めが不十分な場合、打設層下部や粗石周囲で空隙ができ脆弱となることがあった。一方、新粗石コンクリートは締固めが不要であり、現地発生材を用いるといった特徴から耐摩耗性や経済性に優れた施工方法であるが、施工実績が少なく、高流動コンクリートの配合や品質管理が確立されていないといった課題がある。本稿では、新粗石コンクリート工法の実施工に至るまでの試験練りおよび試験施工による検討結果や、施工性の利点および課題点について紹介する。

キーワード 新粗石コンクリート、高流動コンクリート、有効利用

## 1. はじめに

### (1) 流入水バイパス取水堰について

川上ダム流入水バイパスは、上流の水を取るための取水堰（堤高:8m、堤頂長:56m）とダム下流へ水を引くための水路（バイパス管：約2.2km）から構成されており（図-1）、バイパス管の敷設および取水堰の構築が完了している。

流入水バイパスとは、ダム上流の水を貯水池に貯めずに直接ダム下流へ放流するための施設である。川上ダムでは、秋から冬にかけてダムから放流水温が河川水温よりも高くなることを見込まれているため、流入水バイパスを設置して、上流の河川水を直接下流に放流することで下流に生息する生物への影響を低減させることが本施設の目的である。

川上ダム流入水バイパス取水堰の水叩き部は幅26.2m、奥行き12.3mの大きさである（図-2）。水叩きは堰堤水通しからの落水、落砂等による基礎地盤の洗掘および下流の河床低下の防止を目的として設けている。

水叩きには前述のような性能が要求されるが、川上ダム流入水バイパス取水堰の水叩きでは、現地で発生した岩と高流動コンクリートを用いた新粗石コンクリートを採用している（図-2, 3）。一般に、岩石はコンクリートよりも圧縮強度が高く（岩石の強いものでは250N/mm<sup>2</sup>、コンクリートは20～100N/mm<sup>2</sup>）<sup>1</sup>、摩耗量は高強度コンクリートよりも少ないため<sup>2</sup>、粗石コンクリートは耐摩耗性があるとされている。また、新粗石コンクリート工

法では比較的粒径の大きい粗石を用いることからコンクリート量を約43%にまで抑えることができ（試験施工の結果より）、省資源化の面でも優れている。さらには、粗石+高流動コンクリート（24-65-20BB）の施工費は、本取水堰の越流部で用いた高強度コンクリート（50-8-40BB）で行った場合の施工費の約75%で施工できるため、経済性にも優れている。



図-1 流入水バイパス建設工事位置図

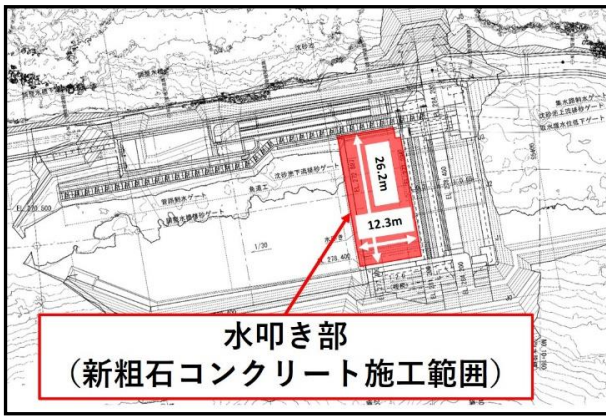


図-2 取水堰平面図

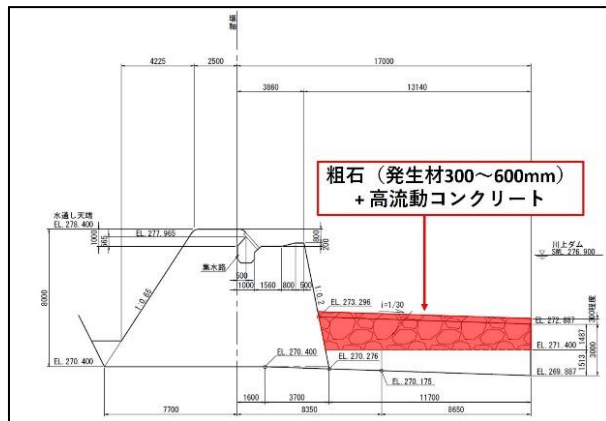


図-3 取水堰断面図

(2) 新粗石コンクリート工法について

従来の粗石コンクリートは 1960 年代頃まで全国の砂防堰堤で用いられていた。従来の練石積による粗石コンクリートは表面石材を 1 段積み上げてから 1 層打設を行うので、厚さ 30cm 程度ずつしか打設を行うことができなかった。また、1950 年代前半頃まではパイプレータが普及していなかったため、突き棒を使用した人力での締固めが必要であった<sup>3)</sup>。このため、従来の粗石コンクリートによる施工では、相当の時間と労力を要しただけでなく、締固めが不十分な場合は打設層下部や粗石周囲で空隙ができ脆弱となる場合があった<sup>4)</sup>。

それに対して本工事で採用した新粗石コンクリート工法は、粗石間の充填に高流動コンクリートを使用するため、締固めが不要であり、尚且つ一層あたりの打設高さを高くすることが可能である<sup>5)</sup> (本工事で約 1.5m の高さを打設) (表-1)。

新粗石コンクリート工法には上述した利点があるものの、近年開発された工法であるため施工実績が少なく、高流動コンクリートの配合や品質管理が確立されていないといった課題がある。

表-1 粗石コンクリートと新粗石コンクリートの比較

	粗石コンクリート	新粗石コンクリート
施工性	締固めが必要。1 層の打設厚さは 30cm 程度まで	締固め不要。1 層の打設厚さが 1.5m 程度でも打設可能
耐久性	締固め不足による脆弱部発生の可能性有り	流動性の高いコンクリート使用のため脆弱部が発生しづらい

2. 試験施工による材料規格の選定

前章で挙げた課題を解決するため、本工事では実施工に先立って、以下の手順で確認した。

- ①試験練り：高流動コンクリート配合の決定
- ②試験施工：粗石の粒径範囲と使用コンクリートの決定および充填性の確認

(1) 試験練り

新粗石コンクリート工法にも使用される高流動コンクリートの特有の性能はフレッシュコンクリートの自己充填性である。土木工学会の「高流動コンクリートの配合設計・施工指針」では、高流動コンクリートを自己充填性に応じて3つのランクに分類される (表-2)<sup>6)</sup>。自己充填性のランクが上がる (数字が小さくなる) につれて自己充填性が高く、より高価になる。

試験練りでは以下の2つの検討を行った。

- 検討①：自己充填ランク1配合とランク2配合を作成
- 検討②：当初設計では骨材最大径は20mmだが、プラント利用可能骨材から、25mmにて検討し、充填性を確保できない場合には13mm配合も作成した。

表-2 高流動コンクリートの自己充填性のランク(土木工学会 高流動コンクリート配合設計・施工指針より)

自己充填性のランク	1	2	3
鋼材の最小あき (mm)	35~60 程度	60~200 程度	200 程度以上
主な対象構造物	高密度配筋部材、複雑・異形型枠を使用した構造物	通常の RC 構造物や複合構造物	配筋量の少ないマスコンクリート構造物や無筋構造物

試験練りにおける使用材料と配合条件は以下の表-3、4の通りである。

表-3 使用材料

材料名		種類	比重
セメント (C)		高炉セメント B種	3.04
細骨材 (S)	S1	川砂	2.60
粗骨材 (G)	G1	川砂利	2.65
	G2		
水 (W)		地下水	1.00
混和剤 (Ad)		高性能 AE 減水剤	—

表-4 配合条件

水セメント比	54%以下※1
スランプフロー	65±10cm※2
骨材最大径	25mm or 13mm
空気量	4.5%
単位水量	175kg/m <sup>3</sup>
粗骨材絶対容積	ランク 1:280L/m <sup>3</sup>
	ランク 2:300L/m <sup>3</sup>

※1 大栄工業標準配合、呼び強度24N/mm<sup>2</sup>水セメント比より

※2 ランク1配合はフロー値70cmを目標とした。

試験配合検討は以下の手順で進めた。

- 既往実績からランク2は単位セメント量375kg/m<sup>3</sup>、ランク1は450kg/m<sup>3</sup>から開始
- 開始配合で試験合格した場合、さらにセメント量を下げて検討
- 試験不合格となった場合、セメント量を増加させて検討。ただし、不合格試験がU型充填試験のみの場合は同一セメント量で骨材最大径を変更した配合でも検討

上記の手順で進め、以下の表-5のNo.1からNo.7までの配合を作成し試験を実施した。

表-5 試験配合

No.	検討	配合名	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
					C	W	S	G1	G2	Ad
1	①	C375-65-25BB (ランク2)	46.7	54.3	375	175	926	合計795		C×1.80%
2	①	C350-65-25BB (ランク2)	50.0	54.9	350	175	949	合計795		C×2.00%
3	①	C450-70-25BB (ランク1)	38.9	55.6	450	175	913	合計742		C×1.30%
4	①	C500-70-25BB (ランク1)	35.0	54.5	500	175	872	合計742		C×1.30%
5	②	C500-70-13BB (ランク1)	35.0	54.5	500	175	872	—	742	C×1.60%
6	①	C550-70-25BB (ランク1)	31.8	53.2	550	175	829	合計742		C×1.65%
7	②	C550-70-13BB (ランク1)	31.8	53.2	550	175	829	—	742	C×2.00%

試験内容はコンクリート標準示方書（施工編 2017年制定）に基づき以下の表-6の内容を実施した。

表-6 試験内容

試験項目	試験方法	規格値	備考
試験温度	JIS A 1156	—	練り直後、5、13、30分後
スランプフロー	JSCE-F 503-1999	65±10cm	
500mmフロー到達時間		ランク 1: 5~20sec ランク 2: 3~15sec	
空気量	JIS A 1128	4.5±1.5%	5分後
圧縮強度試験 (kN/mm <sup>2</sup> )	JIS A 1108	—	TP:6本 2水準 (σ7,σ28)
U型充填試験	JSCE-F 511-2011	300mm以上	5分後

スランプフローおよび500mmフロー到達時間は粘性・流動性の確認のため実施した。スランプフローと500mmフロー到達時間の試験については、それぞれ5、13、30分後でも試験を行い、各時間経過後でも規格値を満たす配合を採用した（20℃環境では、静置時間の2倍が運搬時間に換算されるため、静置時間13分後は工場から現場までの運搬時間約25分後）。

U型充填試験では自己充填性の確認のため実施した。U型充填試験とは、写真-1のようにU型のボックスの片方に高流動コンクリートを入れ、U型下部の仕切りを抜き流入させた側の高さを計測し自己充填性を確認する試験である（両側の高さが一致する場合355mm）。



写真-1 U型充填試験の様子

## (2) 試験練り結果

試験練りの結果、ランク2は表-5のNo.1、ランク1はNo.7の配合が規格値を満たした。その他の配合では、粘性が低いことによりフロー試験の規格値を満たさないものや、骨材が分離気味になりU型充填試験の規格値を満たさないものがあった。このことから、ランク2では

単位セメント量 375kg/m<sup>3</sup>以上が必要で、ランク 1 では単位セメント量 550kg/m<sup>3</sup> 以上および粗骨材最大寸法を 13mm にする必要があったことが判明した。No.1 と No.7 の配合については後日、同試験を再度行い確認した。その結果を表-7, 8 に示した。その結果においても規格値を満たしていたため、試験施工では表-5 における No.1 (ランク 2) および No. 7 (ランク 1) の配合の高流動コンクリートを使用し、充填性や施工性を確認した。

表-7 試験結果 ランク1

試験項目	試験結果		規格値	備考
試験温度	23°C		—	練り直後
スランプフロー	73cm		65±10cm	
500mmフロー到達時間	5.4sec		ランク 1: 5~20sec	
空気量	4.2%		4.5±1.5%	5分後
圧縮強度試験 (kN/mm <sup>2</sup> )	σ7	40.9	—	TP:6本 2水準 (σ7,σ28)
	σ28	60.9	—	
U型充填試験	352mm		300mm以上	5分後

表-8 試験結果 ランク2

試験項目	試験結果		規格値	備考
試験温度	23°C		—	練り直後
スランプフロー	64.5cm		65±10cm	
500mmフロー到達時間	3.4sec		ランク 2: 3~15sec	
空気量	4.3%		4.5±1.5%	5分後
圧縮強度試験 (kN/mm <sup>2</sup> )	σ7	21.0	—	TP:6本 2水準 (σ7,σ28)
	σ28	36.3	—	
U型充填試験	350mm		300mm以上	5分後

### (3) 試験施工

試験施工では試験練りにより選定した2種類の高流動コンクリート配合と2種類の粗石の粒径を組み合わせた条件下で実施した。粗石の粒径については、施工範囲に存在した粒径と実際の施工性を考慮し以下の2種類の粒径範囲を用いて試験施工を行った。

○粒径範囲150mm~600mm

○粒径範囲300mm~600mm

以上より、2種類のコンクリートと2種類の粒径範囲を

用いた表-9に示す計4種類の条件で試験を実施した。

表-9 試験条件の組み合わせ

試験条件	高流動コンクリート配合	粗石粒径範囲
1	ランク 2	150mm~600mm
2	ランク 2	300mm~600mm
3	ランク 1	150mm~600mm
4	ランク 1	300mm~600mm

一般的に、高流動コンクリートのランクが上位(数字が小さい)であると流動性がより高く、経済性が落ち、尚且つ粗石の粒径が大きくなると空隙体積が増加し、コンクリート量も増加し経済性が落ちる。これらの経済的観点より試験条件1→2→3→4の優先順位に基づき試験を実施した。なお、良好な試験結果が得られた段階でその条件を採用とし、試験施工を終了した。

試験施工では幅1.8m、長さ4.5m、高さ1.8mの型枠内(対角延長4.8m)に粗石の粒径範囲を調整した粗石を詰め、端部1か所から筒先を挿入し、高流動コンクリートを流し込み充填性および施工性を確認した。

### (4) 試験施工の結果

試験条件1で実施した結果、コンクリートが天端まで到達した範囲が打設位置から約2.5m程度であり反対側までコンクリートが到達しなかったため、追加で反対側に筒先を移動させ打設した。打設後、脱型し側面より充填性を確認したが、粒径が小さな粗石が集まっている箇所では未充填な箇所が確認された(写真-2)。

試験条件2で実施した結果、コンクリート天端が1/15の勾配が生じたが、一箇所からの充填で全体の天端までコンクリートが充填された。脱型後に側面および取壊し時に粗石周囲が空隙無く充填されていることを確認した(写真-2)。このことから、試験条件3, 4は実施せず試験条件2を実施施工で採用した。

### (5) 試験施工の考察

試験施工の結果から、粗石の粒度が小さくなると未充填な箇所が発生することが確認された。試験条件2においては高い充填性が確認されたため、ランク2の高流動コンクリートの場合、300mm以上の粒径の粗石であれば、高い充填性が保たれることが確認された。また、長さ4.5mの型枠内を充填することができたので、ランク2の高流動コンクリートの流動可能距離が少なくとも4.5mはあることが分かった。





写真2 試験条件1（上）と試験条件2（下）の結果の様子



写真3 粗石洗浄の様子



写真4 粗石敷設の様子

### 3. 実施工について

試験施工の結果を考慮し、流入バイパスの取水堰の水叩き部で新粗石コンクリート工法を用いた打設を行った。新粗石コンクリート工法の施工手順については、打設面清掃→型枠組立→粗石敷設→高流動コンクリート打設→仕上げの順である。打設面清掃および型枠組立について通常の施工と同様であるため、それらの説明については割愛する。

#### (1)粗石敷設

粒径300mm～600mmの粗石を投入する前に、粗石に付着した粘土等を入念に水で洗い流した（写真-3）。その後、グラップルを用いて型枠やセパに接触させないように慎重に粗石を設置した。設置の際はコンクリート打設面から約30cm程度粗石が露出するように敷き並べた。また、試験施工と同様、高流動コンクリートが充填されているか目視できるように隙間を設けて敷き並べた（写真-4）。

#### (2)高流動コンクリート打設

コンクリート打設前に打設面及び粗石に散水し湿潤状態にした。その後、試験施工により決定した24-65-25BB（ランク2）の高流動コンクリートをポンプ車を用いて打設した。打設時は材料分離が起きないように筒先と打設面をできるだけ近づけ打設した。また、試験施工の結果よりコンクリートの流動可能距離が4.5mであったので、それ以上の間隔にならないようホースを挿入した（写真-5）。



写真5 高流動コンクリート打設の様子

### (3)仕上げ

打設完了後、粗石が打設面から300mm程度露出するよう粗石表面をブラシで磨き、付着したコンクリートを落とし、粗石の間隙はコテを用いて平滑に仕上げた（写真-6）。



写真-6 新粗石コンクリート打設後の仕上げの様子

## 4. おわりに

新粗石コンクリート工法のメリットとしては以下が挙げられる。

- 自己充填性のある高流動コンクリート使用により締め固めが不要、尚且つ空隙および脆弱部ができにくい
- 一層で1.5m程度の打設が可能
- 施工費は高強度コンクリートの約75%で経済的
- 現場で発生する比較的粒径の大きい粗石を使用するため省資源化

また、実施工に先立ち、試験練りおよび試験施工を行うことで以下のことを知ることができた。

- 試験練り：現場着時の性状が規格値内に収まるための工場出荷時の性状決定
- 試験施工：粗石と高流動コンクリートとの相性や充填性、コンクリートの流動距離

一方で、本工法の施工実績が少ないため知見は少なく、実施工前に試験練りや試験施工による検討が必要であったり、現地で発生した粗石を使用する場合は、施工場所周辺に適合する粗石が存在する必要がある、施工場所が限られるなどの課題点も感じられた。これらの課題の解決のためには、さらなる知見の蓄積が重要となるであろう。

※著者が川上ダム建設所所属であった2022年度に本論文を執筆しました。

### 参考文献

- 1) 技術者に必要な岩盤の知識 日比野敏 P35
- 2) 多目的ダムの建設 第5巻 設計II編：平成17年度版・ダム技術センター P212
- 3) 練石積砂防堰堤(粗石コンクリート構造)の特性と重点的な管理・補修施設の選定の考え方 砂防学会研究発表会概要集 2010 206-207
- 4) 粗石コンクリート構造の砂防施設の内部特性と健全性評価 砂防学会研究発表会概要集 2016 230-231
- 5) 建設コスト縮減を目的とした新粗石コンクリートによる砂防堰堤の構築 土地改良 293号 2016.4
- 6) 土木工学会「高流動コンクリートの配合設計・施工指針」の改訂について J-STAGE 2012年50巻6号 p.515