

湯西川ダム本体建設工事におけるコンクリート用骨材有効活用実績

鹿島建設(株) 正会員 大内 斉
 鹿島建設(株) 正会員 福井 直之
 鹿島建設(株) 正会員 ○安田 和弘

1. はじめに

湯西川ダムは、北関東の主な水源一つである栃木県鬼怒川流域で4箇所目となる重力式コンクリートダムで、洪水調節、流水の正常な機能の維持、かんがい、水道・工業用水の供給を目的としている。堤高は119m、堤体積105万m³、堤頂長320mの大規模ダムであり、堤体コンクリート打設工法としてRCD工法(h=101m)、ELCM工法(頂部h=18m)が採用されている。

一般的なコンクリートダムにおける原石採取は、大規模な原石山を開発し、適切な管理基準の下で必要な量の原石を採取する計画となっている。これに対して、近年では、環境面やコスト面への配慮から、原石山開発による大規模な地山・地形改変は難しくなっている。更に、良質な骨材となる原石も少なくなっているのが現状である。そのため、骨材の採取・使用計画及びその骨材を用いたコンクリートの品質に対する配慮が重要な管理項目となってきた。

当ダムにおける骨材使用計画では、当初から約96万m³が必要と試算されていた。原石採取方法としては、現場が日光国立公園内に位置すること、上述したような近年の骨材採取を取り巻く状況等に配慮し、新たな地山改変を極力少なくするために、ダムサイト近傍の河川内に堆積した河床砂礫と、ダム本体基礎掘削時に発生する基礎掘削ブリのうち良質材を有効活用する計画となっていた。

当工事では、骨材を複数種類(河床砂礫、掘削ブリ等)を使用することになったことから、各種骨材の使用時期、使用量、骨材品質を考慮した骨材製造、コンクリート品質確保対策等を実施したので、その具体的内容について報告する。

2. 骨材使用計画

湯西川ダムでは、以下の4種類の骨材を使用した。

- ① 川治河床砂礫：湯西川ダム建設位置から約13kmにある川治ダムの上流に堆積した河床砂礫
- ② 基礎掘削ブリ：堤体基礎掘削時に発生したブリのうち、強度、吸水率等の品質を満足するもの
- ③ 湯西河床砂礫：湯西川ダム建設位置の上流に堆積した河床砂礫

- ④ 原石山骨材：堤体上流(将来的な貯水池内)で開発した小規模な原石山から採取した骨材

上記骨材のうち、当初は①～③のみで必要骨材量を賄える計画であったが、以下に示す理由から、不足が生じ、④を追加採取した。

- a. 基礎掘削ブリにおいて、骨材として使用可能な品質を満足するものの比率が想定より少なかった。
- b. ダムコンクリート用骨材の粒度構成に対して、河床砂礫は細粒分が多くなっており、砂利の歩留まりが悪く、余剰原砂が多く発生した。
- c. 堤体基礎掘削の掘削増量に伴い、コンクリート量も増大した。

各骨材の使用量および使用順序について、当初計画および実績の比較を表-1に示す。

表-1 骨材使用計画(当初および実績)

骨材名	当初計画			実績			備考
	使用順序	使用標高	採取量(m ³)	使用順序	使用標高	採取量(m ³)	
川治河床砂礫	①	EL571.0～603.0	375,200	①	EL571.0～590.0	399,700	川治ダム上流に堆積した河床砂礫を採取・仮置きし、使用
				③	EL620.0～640.0		
				⑤	EL653.0～656.0		
基礎掘削ブリ	②	EL603.0～675.0	619,130	②	EL590.0～620.0	414,000	堤体基礎掘削時に発生したブリのうち、吸水率等の品質を満足するものを使用
湯西河床砂礫	③	EL675.0～690.0	37,400	④	EL640.0～653.0	91,000	湯西川(堤体上流)に堆積した河床砂礫を採取・仮置きし、使用
原石山骨材	—	—	—	⑥	EL656.0～690.0	176,500	堤体上流の一部を原石山として開発し、採取・使用
合計			1,031,730			1,081,200	

キーワード 骨材使用計画、品質管理、配合補正、混和剤

連絡先 〒107-8348 東京都港区赤坂6丁目5番地1-1 鹿島建設株式会社土木管理本部 TEL 03-5544-0666

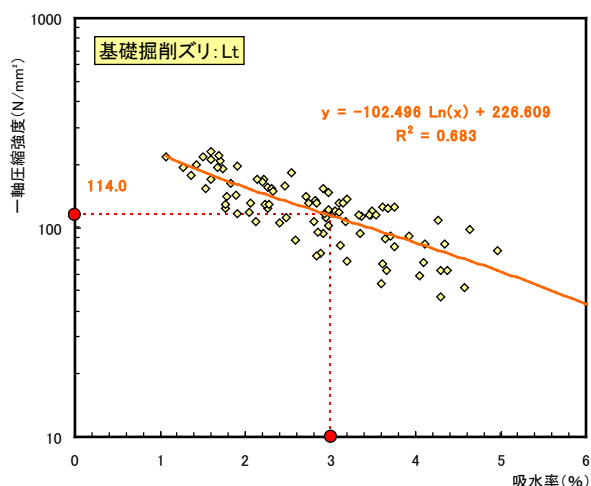
3. 骨材品質確保対策

基礎掘削ブリ・原石山骨材採取時に良質材を確実に採取する対策として、切羽における採取材判定方法を立案し、実施した。具体的には、事前に点載荷試験を実施して一軸圧縮強度を測定するとともに、その試験を実施した骨材の吸水率を測定して両者の相関関係を把握しておく。切羽において点載荷試験を実施し、上記関係を用いて簡便かつ迅速に吸水率、骨材採取可否を判定する。点載荷試験状況を写真－1に示す。

吸水率と点載荷試験による一軸圧縮強度の関係（最終結果）を図－1に示す。この図から、吸水率と一軸圧縮強度の間には比較的高い相関関係があることが分かる。点載荷試験の場合、試料採取～結果判明まで最短で1時間程度で結果が得られるため、この関係を用いることで、原石採取の管理を迅速に行うことが可能となり、掘削・原石採取工程を確保することができた。実際には、一軸圧縮強度だけでなく、吸水率も測定して随時この関係の見直しを図った。さらに、目視での全量確認も実施し、品質不良のものが採取岩に混入するのを防止した。



写真－1 点載荷試験状況



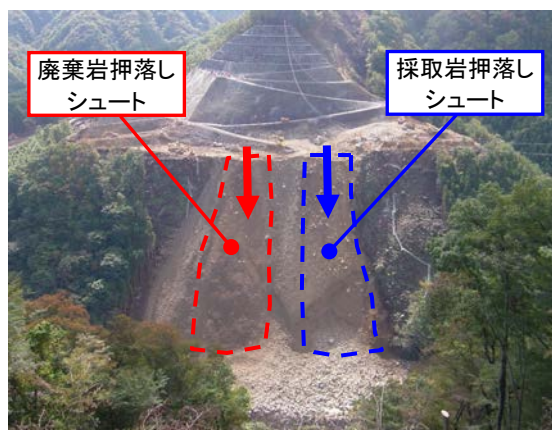
図－1 各骨材における吸水率と一軸圧縮強度の関係（基礎掘削ブリ）

なお、採取・運搬時の採取岩・廃棄岩の混合防止と、作業の効率化を図るために、現場において採取岩・廃棄岩別のシュートを設けた（写真－2参照）。

骨材の品質を確保するための対策として、前述した骨材採取時の対策に加えて、骨材製造時にも下記に示す対策を実施した。

- ① 骨材粒度のばらつき抑制
- ② 骨材表面水率の低減と安定化
- ③ 骨材混入防止対策

以下に上記対策の詳細を示す。



写真－2 押落しシュートによる採取・廃棄岩選別

【骨材粒度のばらつき抑制対策】粗骨材は、ベルトコンベアの乗継部や、貯蔵ビンおよび調整ビンへの投入時などの運搬過程時に落下等の衝撃を受けて細粒化することが懸念される。骨材の細粒化は、コンクリートのコンシステンシーの変化や強度低下などの品質のばらつきの大きな要因となる。

これを防止する目的で、ベルトコンベアの乗継部シュートに衝撃緩衝用のラバーを設置した。さらに、粗骨材貯蔵ビンおよび調整ビンにはロックラダーを設置した。これらの対策を実施することにより、骨材が落下することによって受ける衝撃を緩和し、細粒化を抑制することができた。

【骨材表面水率の低減と安定化】骨材表面水率の安定化は、フレッシュコンクリートの性状、硬化コンクリートの性状を問わず、コンクリート品質確保における重要な課題と言える。これに対して、コンクリート製造設備では、骨材の表面水率を練混ぜバッチごとに補正できるシステムを採用している。ただし、ダムコンクリートのように、元々単位水量が少ない場合は、コンクリート製造段階での調整には限界がある。また、表面水率が高い状態にある骨材

ほど、そのばらつきも大きくなるため、表面水率の安定化を図るためには、骨材の製造段階での対策が必要となる。

上記対策として、以下に示す事項を実施した。

- ・ 細骨材については、貯蔵ビンを5基設置し、ビンでの存置期間を72時間以上確保した。
- ・ 骨材貯蔵ビンおよび調整ビンの底版をコンクリート舗装し、排水勾配を確保して表面水率を低減した。

上記対策を実施することで、細骨材の表面水率は概ね5%以下となり、安定した表面水率の骨材を使用することができた。

【骨材混入防止対策】当ダムでは4種類の骨材を使用した。骨材種類ごとに品質が異なるため、骨材製造段階においても原石骨材の切替えが必要となる。骨材切替え時において、通常の方法（ベルトコンベアによる引出し）では排出することができない材料（デッドストック）が残留するため、異種材料の混入が懸念された。

これに対して、当ダムでは以下の対策を実施した。

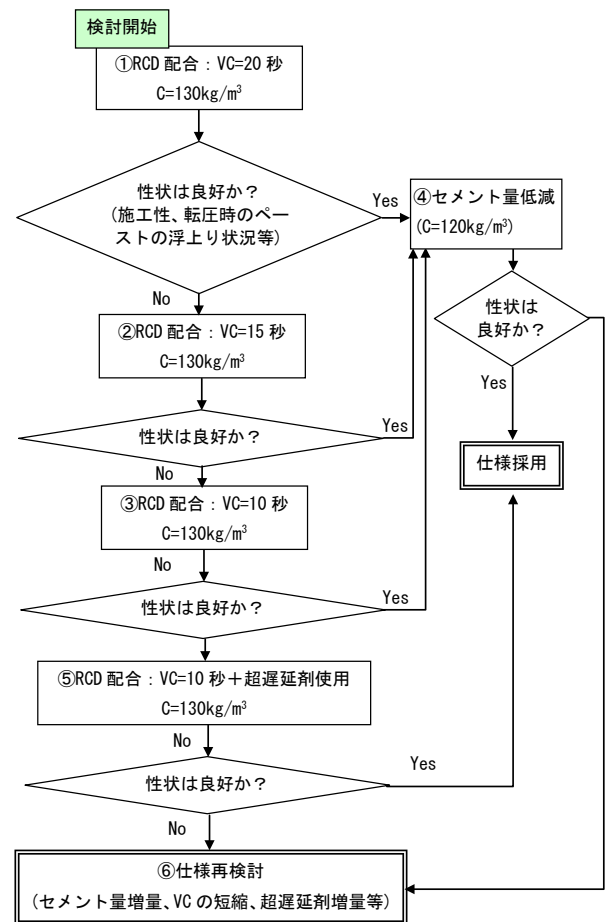
- 細骨材貯蔵ビンの材料引出し用にバルコンを2条設置
- 貯蔵ビン下部の構造として内部を充填した内張りコルゲート構造を採用（デッドストック軽減）
- 骨材調整ビンの材料引出し方法として内張りホッパー構造を採用（デッドストック軽減）

上記対策を実施することで、骨材切替え時のスムーズな材料引出しが可能となり、異種材料の混入防止を図ることができた。なお、骨材切替えに要した日数は、平均で1.5日程度であり、工程への影響はほとんどなかった。

4. 試験施工による品質確認

堤体打設開始前の2009年7月～8月にかけて、減勢工水叩き部で各骨材を用いたコンクリートで試験施工を実施した（なお、原石山骨材については、当初計画で使用が予定されていなかったため、この時点では試験施工を実施していない。原石山骨材を用いたコンクリートの試験施工は、主に施工性の確認を目的として使用前に場外で実施している）。

各骨材を用いたRCD用コンクリートの施工状況等を以下に示す。また、各骨材の施工仕様決定フロー



図－2 各骨材の施工仕様決定フロー

ーを図－2に示す。

【川治河床砂礫】河床砂礫であるため、粒形は良好であるが、細骨材に含まれる微粒分（0.15mm以下）が少ない状態であった。そのため、RCD配合において、VC値が15～20秒程度だと、良好な施工性が得られなかった（具体的には、振動ローラによる転圧時に、ペーストの浮き上がりが少なく、結果的には密度の規格値（2.35 t/m³以上）が転圧回数を多くしないと満足できなかった）。ただし、VC値を10秒程度とすることで、ある程度適切な施工性が得られた。また、RCD配合の単位セメント量を低減させる検討（当初計画時単位セメント量：130kg/m³→検討単位セメント量：120kg/m³）も実施したが、適切な施工性が得られなかった。

その他の配合においては、細骨材中の微粒分が少ないことを考慮して、細骨材率を増大させることで、適切な材料分離抵抗性を確保した。

上記より、骨材として川治河床砂礫を使用した場合のRCD配合の施工仕様は「VC値：10秒程度、転圧回数：6往復、単位セメント量：130kg/m³」とした。

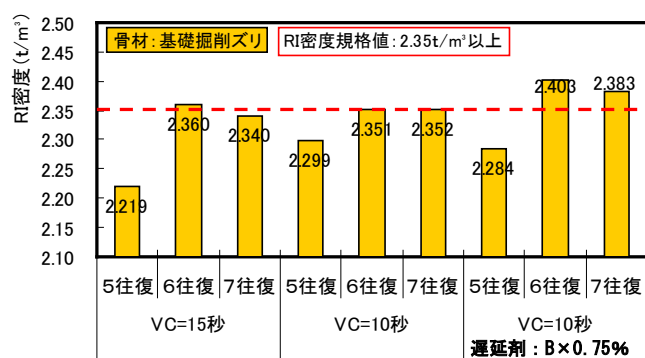


図-3 試験施工時のRCD配合密度一覧
(基礎掘削ズリ)

【基礎掘削ズリ】原石自体の強度が弱く、密度は低く、吸水率が高い骨材であった。原石自体の強度が弱いため、採取時に多くの細粒分が発生したことから、原石中に粘土分等が含まれていることなどから、骨材中に含まれる微粒分も多くなっていた。

配合については、全体的にコンクリートの粘性が高く、RCD配合においては、VC値の経時変化が早い状態となった。VC値は15秒程度から検討を始めたが、10秒程度として転圧回数を増やしても十分な施工性が確保できなかった。また、外部配合においては、所定の空気量を確保するために、多くのAE剤を使用する必要があった。そのため、RCD配合においては、超遅延剤を使用して経時変化特性を改善させることで、適切な施工性が得られることを確認した(図-3参照)。また、外部配合においては、単位水量・細骨材率を調整し、コンクリートの粘性を低下させることで対応した。

上記より、試験施工で選定したRCD配合の施工仕様は、「VC値: 10秒程度、転圧回数6往復、超遅延剤: 結合材×0.75%添加」とした。ただし、超遅延剤を多量に使用しないと適切な施工性が確保されないため、骨材自体の品質向上が課題となった。

【湯西川河床砂礫】河床砂礫ではあるが、比較的大粒径の原石が多かったため、ほとんどの粗骨材は碎石状になっていた。ただし、基礎掘削ズリと比較すると、密度は高く、吸水率は低い状態であった。

RCD配合においては、基礎掘削ズリほどではないが、VC値の経時変化が比較的早かった。ただし、VC値15秒、10秒程度で、転圧を6往復以上とすることで所定の密度は確保された。一方で、転圧面の状態としては、定性的ではあるが、ペーストの浮

表-2 湯西川ダムおよび同条件(Gmax:80mm, 単位結合材量: 130kg/m³)の他ダムのRCD配合例

配合種別	ダム名	最大骨材寸法(mm)	設計VC値(秒)	設計空気量(%)	水粉体比W/B(%)	細骨材率s/a(%)	単位量(kg/m³)			
							水W	結合材B(C+FA)	細骨材S	粗骨材G
湯西川ダム内部(RCD)	川治河床砂礫	80	20±10 自主管理値12±2	1.5±1.0	63.8	31.5	83	130 (91+39)	704	704
	基礎掘削ズリ				74.6	31.5	97	130 (91+39)	674	674
	湯西河床砂礫				67.7	33.0	88	130 (91+39)	733	733
	原石山骨材				70.0	33.0	91	130 (91+39)	711	711
	他ダム内部(RCD)				76.9	30.0	100		662	1557
他ダム内部(RCD)	長井境川	80	20±10	1.5±1.0	76.9	30.0	100		706	1546
	小玉				78.5	30.0	102	130	668	1563
	早池峰				78.5	30.0	102		724	1536
	大松川				80.8	30.0	105		659	1555

き上がり程度は不良だった。そのため湯西河床砂礫を用いた場合においても、超遅延剤を使用することで対応を図った。

上記より、試験施工で選定したRCD配合の施工仕様は、「VC値: 10秒程度、転圧回数: 6往復、超遅延剤: 結合材×0.5%添加」とした。

試験施工および実施工を経て実際に使用したRCD配合を表-2に示す。これは同条件の他ダムと比較し単位水量が少なくなっている。また、VC値を10秒程度にしないと適切な施工性が得られないため自主管理基準値として「12±2秒」を採用した。

RCD配合における圧縮強度はいずれの配合においても目標強度($\sigma_{91} > 10\text{N/mm}^2$)を満足した。VC値においても自主規格値を満足した。

5. コンクリート品質確保対策

【コンクリート品質確保の基本コンセプト】

当ダムにおけるコンクリートの品質確保の基本的な考え方としては、周辺の環境や施工条件等を考慮し、「強度」、「耐久性」、「水密性」、「施工性」を重視した。強度、耐久性、水密性および施工性はそれぞれ密接に関係するものである。そのため、各種の対策を実施することで、総合的に強度等の品質のばらつきが少なく、有害なひび割れを抑制し、かつ所定の水密性を有するダムコンクリートの構築を目標とした。コンクリート品質確保対策の基本コンセプトを以下に示す。

①コンクリート強度等の品質のばらつきの抑制

前述したような骨材の品質対策に加え、コンクリートフレッシュ性状の全量チェックや、常駐の

専門技術員による品質管理等により、コンクリート品質のばらつきを抑制する。具体的には、圧縮強度の変動係数として、外部コンクリートは8%以下、RCD用コンクリートは12%以下となることを目標とする。

②有害な温度ひび割れの発生の抑制

温度応力解析による適切な評価の実施と、岩着部分の養生対策等により、有害なひび割れの発生を抑制する。具体的には、拘束度ひずみを100 μ 以下とする。

③暑中時および寒中時の品質低下の抑制

暑中時には、材料のプレクーリングによって適切な温度を確保するとともに、混和剤の追加使用等で施工性を確保した上で、圧縮強度の低下を抑制する。また、寒中時には、大型テントや断熱シートを使用することによって、冬期における初期凍害の防止と強度発現の確保を図る。これらの対策によって、すべてのコンクリートについて所要の強度を確保するとともに、年間を通じたコンクリート強度の安定化を実現する。

④打継面からの漏水の抑制

漏水の原因となる打継面のグリーンカットを適切に行う対策を施す。さらに、止水板周辺の入念な打設を行うことによって、所定の水密性を確保する。上記の基本コンセプトを達成するために、実施した主なコンクリート品質確保対策を次に示す。

【外部配合の凍結融解抵抗性改善】

外部配合の凍結融解抵抗性を評価する指標としては、骨材の安定性損失重量や吸水率とともに、コンクリートの凍結融解試験による相対動弾性係数を採用していた。相対動弾性係数の具体的な規格値としては、コンクリート標準示方書等に示されている「60%以上(300サイクル)」を採用していた。これに対して、事前に当初設計の外部配合で凍結融解試験を実施したところ、いずれの骨材においても、上記に示す規格値を一部満足しない結果となった。

このような結果となった原因として、基礎掘削ズリ・原石山骨材については、骨材の吸水率が一般的な規格値の上限である3%に近いものが多く含まれていたことが要因だと考えられた(図-4参照)。

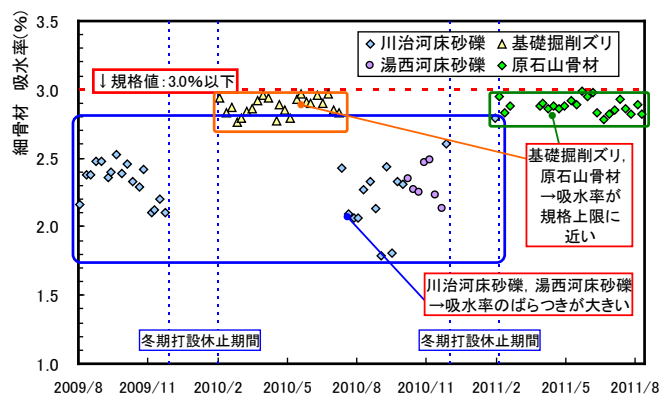


図-4 細骨材：吸水率の変化

また、河床砂礫については、平均的な吸水率は適切な結果だったが、採取位置によるばらつきが大きかったことと、ごく一部に空隙が多い骨材が含まれており、それが凍結融解抵抗性に影響していると考えられた。さらに、骨材種類によらず、細骨材の安定性損失重量については、ばらつきはあるものの、規格値上限に近いものが多かった。この結果を改善するために以下の配合的改善を図って追加検討を実施した。

- 凍結融解抵抗性向上を目的とした設計空気量の増大(当初：3.5 $\pm$ 1.0%→改善後：4.5 $\pm$ 1.0%)
- 水セメント比低減を目的とした混和剤種類の変更(当初：AE減水剤→改善後：高性能AE減水剤)
- 強度増大を目的とした単位セメント量増大(当初：210kg/m³→改善後：220kg/m³(川治河床砂礫以外))

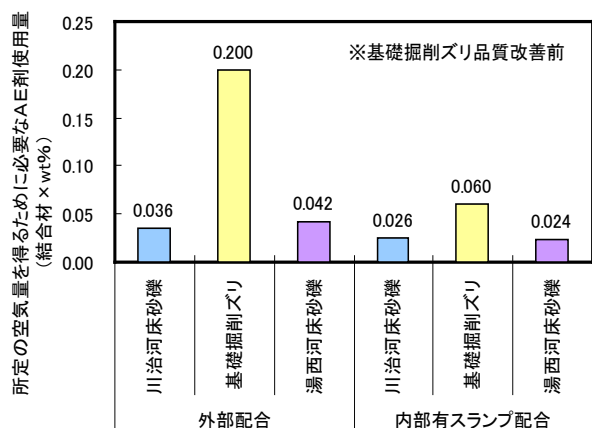
これらの対策を実施した結果、いずれの骨材においても、所定の凍結融解抵抗性を満足する結果を得ることができた。

【基礎掘削ズリの品質向上対策】

前述したように、骨材として基礎掘削ズリを使用したRCD用コンクリートにおいては、試験施工で凝結が早く、当初計画の施工仕様では適切な施工性を確保できないことが確認された。これに対して、VC値を調整し、超遅延剤を使用することで、ある程度の施工性を確保できることを確認した。ただし、試験施工における超遅延剤の使用量は、結合材に対

して 0.75% となり、凝結遅延による初期硬化・強度発現の遅れや、大幅なコスト増が懸念された。また、有スランプ配合においては、所定の空気量を確保するために、その他の骨材と比較して多くの AE 剤を使用する必要があった（図－5 参照）。

これらの問題を解決するために、基礎掘削ズリ骨材使用開始前に骨材品質を向上させる検討を実施した。



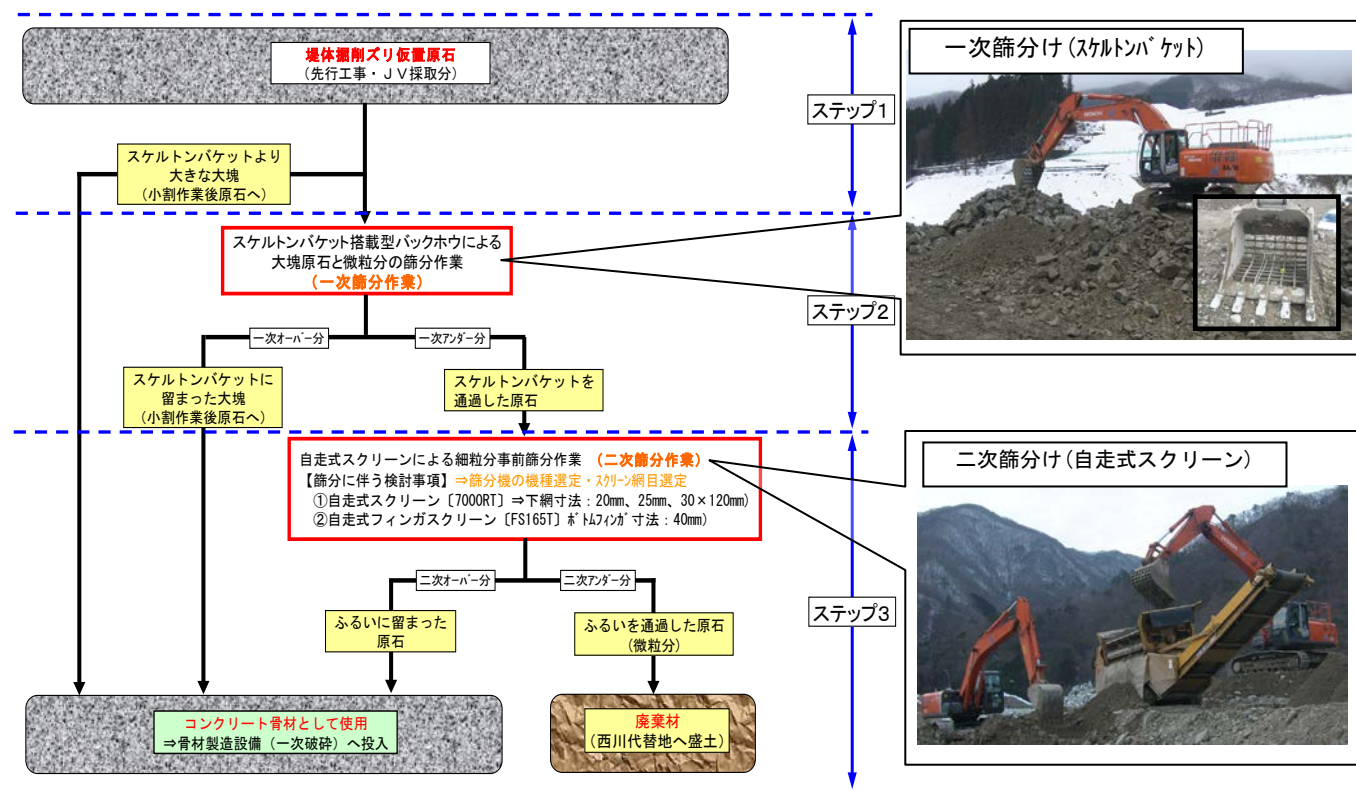
図－5 基礎掘削ズリを用いた有スランプコンクリートの AE 剤使用量（試験施工時：基礎掘削ズリ品質改善前）

基礎掘削ズリを用いたコンクリートで上述した現象が生じるのは、骨材中に含まれる微粒分が多いことが要因として考えられた。

一例として、基礎掘削ズリ細骨材における 0.075mm 以下含有率は 10% 程度、河床砂礫では 6% 程度である。それらがコンクリート中の AE 剤を含む水を凝集するため、流動性が早期に損なわれたり、空気が入りにくくなったりすると推定された。

骨材に含まれる微粒分の影響を抑制するために、細骨材率の調整等の配合的対策も検討したが、それよりも「骨材の品質改善」と「超遅延剤の適正使用」の組合せが効果的な対策だと考えられた。

骨材の品質改善対策として、「事前ふるい分けによる低品質原石中の微粒分・細粒分の除去」を実施した。具体的には、骨材製造前の原石の段階でふるい分けを実施し、原石に含まれる微粒分・細粒分を除去する方法である。事前のふるい分けは、採取した原石の有効利用および作業性の向上を図るために、スケルトンバケットと自走式スクリーンを組み合わせで実施した（図－6 参照）。ふるい目は、作業効率と、0.075mm 以下の細骨材が河床砂礫と同等となるように調整した。



図－6 細粒分・微粒分除去方法（事前篩分け）フロー

超遅延剤の適正使用については、まず気温や天候（主に日射の有無）が異なる条件で、打設インターバル等を利用して試験を実施した。この試験結果から、コンクリートのフレッシュ性状経時変化特性に及ぼす超遅延剤使用量、気温・天候の影響を確認し、気温・天候等に応じた超遅延剤使用基準を定めた。施工中はその基準に従って超遅延剤使用量を細かく調整した。

「骨材の品質改善」と「超遅延剤の適正使用」により得られた効果を以下に示す。

- 基礎掘削ズリ骨材の品質を改善と、上述した超遅延剤使用基準の適用により、超遅延剤使用量は、試験施工結果から想定された量よりも75%程度低減できた（図－7参照）。
- RCD配合におけるVC値の経時変化性状が改善され、最大でも品質改善前の超遅延剤使用量の53～67%程度で適切な施工性を確保できた（具体的には、4時間後のVC値について、品質改善前は超遅延剤使用量：結合材に対して0.75%で183.7秒→品質改善後は超遅延剤使用量：結合材に対して0.40%で100.8秒、図－8参照）。
- 有スランプ配合におけるAE剤使用量を大幅に低減することができた（具体的には、AE剤使用量は外部配合で86%に低減、内部有スランプ配合で58%に低減）。
- 事前ふるい分け分のコストは増大したが、超遅延剤の材料費を抑制することで、トータルコストを2%程度削減できた。

上述した対策・効果により、比較的低品質な基礎掘削ズリ骨材を用いたコンクリートにおいても、適切な品質を確保することが可能となった。

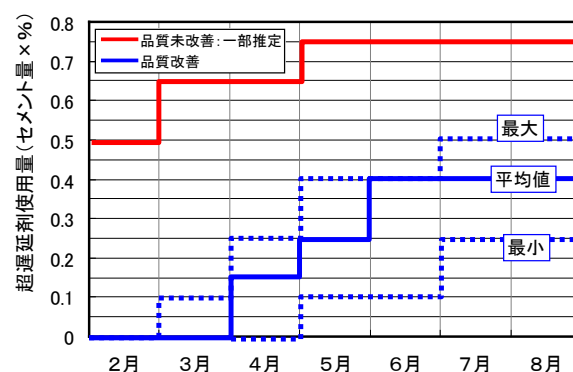
フレッシュ性状の試験結果においては、骨材種類が異なることによる影響はほとんど見られない。これは、以下に示す対策等を実施した効果だと考えられる。

- 事前の実機バッチャープラントによる試験練りや、試験施工で各骨材を用いた場合の配合を十分に検討し、適切なフレッシュ性状が得られるように単位水量や細骨材率、AE剤使用量等を調整
- 打設中も、気温や骨材品質の変動に応じて、

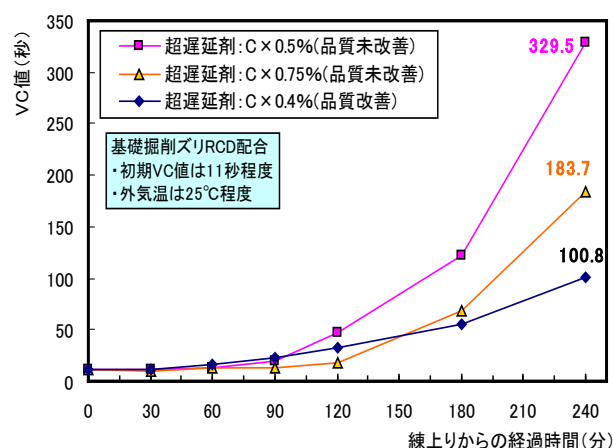
細骨材率・混和剤使用量の調整や、混和剤の追加使用等を実施

- 細骨材表面水率の連続測定・常時監視と、結果変動時の目視・フレッシュ性状試験等による品質確認の実施（細骨材表面水率およびミキサ負荷値の連続測定を実施）
- 試験サンプリングに自動ウェットスクリーニング装置を採用することにより、試験時間の短縮と、試験結果を早期にコンクリート製造に反映

各骨材・配合における材齢と圧縮強度の関係をまとめると、RCD配合、内部有スランプ配合などの比較的水セメント比が高く、強度が低い配合については、骨材が異なることによる強度の差は小さくなっていることが分かる。一方で、外部配合、構造物配合などの比較的水セメント比が低く、強度が高い配合については、基礎掘削ズリを用いた場合の強度



図－7 基礎掘削ズリ骨材品質改善による超遅延剤使用量の違い（品質未改善の場合は一部推定）



図－8 基礎掘削ズリを用いたRCD用コンクリートのVC値経時変化（基礎掘削ズリ品質改善後）

が低くなっている。これは、基礎掘削ズリ骨材自体の強度が低く、骨材の破壊が先行して、高い強度が出にくくなっているためであると考えられる。

また、各強度試験結果のばらつきとして、各骨材・各配合における材齢91日強度の変動係数を図－9に示す。いずれの骨材・配合においても、変動係数は10%以下となっている。比較的骨材品質のばらつきが大きかった川治河床砂礫を用いた外部配合・RCD配合で若干変動係数が大きくなっている。ただし、目標としていた「外部コンクリートは8%以下、RCD用コンクリートは12%以下」は達成することができ、全体的に品質の変動が小さい高精度の管理が実施されていたと言える。

打設期間中の細骨材表面水率は図－10に示すように概ね5%以下であった。この管理結果は、強度試験結果の変動が抑制できた要因のひとつであると考えられる。

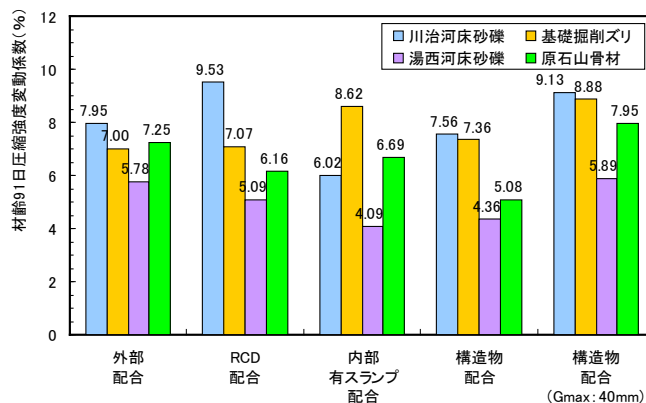
6. おわりに

本報告では、湯西川ダムにおける複数種類の骨材の使用計画および実績と、それらの骨材を用いたコンクリートの品質管理の内容および実績を示した。

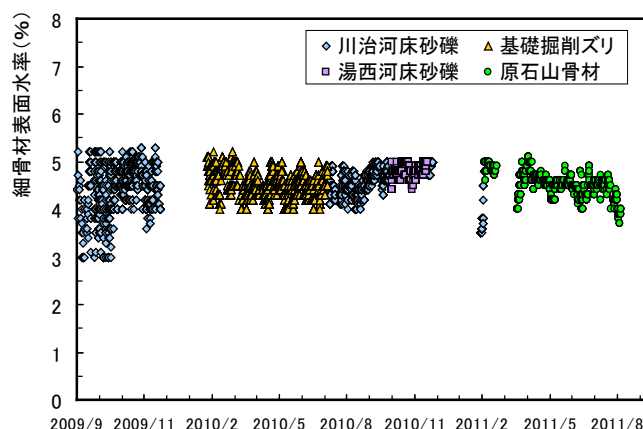
具体的には、比較的低品質な骨材を用いる場合について、配合・材料的改善による外部配合の凍結融解抵抗性改善対策や、事前ふるい分けによる骨材の品質改善と、超遅延剤の使用による品質確保対策を示した。

さらに、各種のコンクリート品質確保対策によって、所定の品質を確保するとともに、品質変動の小さい高精度な管理がなされている結果を示した。

冒頭で述べたように、今後のダムにおいては、昨今の骨材事情や、環境への配慮から、比較的低品質な原石を骨材として使用せざるを得ない状況が多く発生すると考えられる。ここで示した各種対策が今後のダムコンクリートの品質確保の一助となれば幸いである。



図－9 各骨材・配合における材齢91日強度の変動



図－10 細骨材の表面水率試験結果
(打設期間中の変動)