

夕張スーパーパロダムにおけるRCD工法の試験施工 —品質確保のための対策及び、試験施工評価の留意点—

石狩川開発建設部 夕張スーパーパロダム総合建設事業所

○松岡 宗太郎
佐藤 耕治
山崎 智弘

夕張スーパーパロダムの主要な打設工法であるRCD工法（リフト高1.0m）の実施に向けて行った現地試験施工の結果、全体的に圧縮強度が低く、また下層よりも上層の圧縮強度が低下すること（いわゆる上弱下強）など、コンクリートの品質に問題が生じることが分かった。本報告では、これらの原因や品質確保のための対策について取りまとめ、さらに試験施工の結果を評価する上での留意点について述べる。

キーワード：RCD工法、圧縮強度、ブリージング

1. 夕張スーパーパロダムの概要

本ダムは、昭和37年に石狩川水系夕張市南部地先に完成した大夕張ダムの再開発事業として、その直下流155m地点に建設される重力式コンクリートダム（堤高110.6m、堤頂長390m、総貯水容量427,000千³m、有効貯水容量367,000千³m）である。

(1) コンクリートの打設工法及び範囲

本ダムの打設工法は、基礎岩盤（EL.196.0m）から構造物が少なく面的な広がり確保されるEL.222.75mまでを拡張レア工法、それより上部はRCD工法を採用している。RCD工法による施工は、平成21年9月中旬にリフト高0.75mから始め、平成22年度には工期短縮等の観点からリフト高1.0mの打設を予定している。

(2) 骨材特性

原石山は、砂岩主体に構成され、高角度の亀裂帯が発達する部分では深部まで風化がおよび劣化帯を形成している。新鮮な原石のみを採取すると採取率が低下し経済性に劣るため、未風化部の新鮮岩に加え、風化岩の中でも中風化なものも骨材として使用している¹⁾。

岩石は、目視状況やハンマー打診の指標を用い、表-1のように区分し、原石を区分aを主体とした良質材「原石Ⅰ」、区分bを主体とした中風化材「原石Ⅱ」、その他「廃棄岩」と定義した（表-2）。

骨材には品質の良好な原石Ⅰと低品質な原石Ⅱを混合して使用している（基本混合比率1：1）。

粗骨材の吸水率は3%以下とコンクリート標準示方書の規格値内であるが、付着する微粒分量が多い特徴がある（写真-1）。細骨材は、ダム標準粒度範囲²⁾に対して、

粒径0.3～0.15mmで上限値を超える特徴がある。また、コンクリートの過早凝結³⁾の要因となる粘土鉱物（スメクタイト）が検出されている。

表-1 岩石区分




| 区分 | a | b | c |
|--------|--|---|---|
| 見た目 | 灰色(新鮮)～亀裂沿いに褐色 | 概ね褐色～淡褐色 | 褐色、茶褐色 |
| ハンマー打診 | 打診音 どこをたたいても金属音 | どこをたたいても金属音 | 鈍い音がする部分がある |
| | 岩片の割れ方 岩片の端が欠ける程度 | 岩片の端が欠ける程度 | 簡単に割れる部分を含む |
| 写真 |  |  |  |

表-2 原石の性状区分

| 区分 | 性状 |
|-----|--|
| 原石Ⅰ | 区分aを主体(区分bの含有割合は3割以内)とし、区分cを可能な限り含まないもの。 |
| 原石Ⅱ | 区分bを主体とし、区分cの含有割合は10%以内とするもの。 |
| 廃棄岩 | 原石Ⅰ、原石Ⅱに相当しないもの。 |



写真-1 微粒分が付着した粗骨材

(3) RCDコンクリートの示方配合及び目標性能

RCDコンクリートの示方配合を表-3に示す。

コンクリートの目標性能は、単位体積重量は2.3t/m³以上とし、圧縮強度は標準供試体（φ150mm）において配合強度13.3N/mm²（材齢91日）、動的目標強度として大規模地震（レベル2地震）に対するダム堤体の安全性の観点から、長期材齢（182日以上）も見込んで20.5 N/mm²としている。

現地試験施工での採取コア（φ200mm）の圧縮強度は、設計基準強度12.0N/mm²（材齢91日）に比べ大きく低下しないことと、バラツキがないことを確認する。

なお、セメントは中庸熟フライアッシュセメント（置換率30%）を使用し、RCD配合における材齢91日と材齢365日を比較すると、約1.8倍の圧縮強度増加が見込まれる（図-1）。

表-3 RCDコンクリート示方配合

| 配合種別 | 骨材の | | VC値、 (スラン) | 空気量 | 水結合比 | フライ アッシュ 率 | 細骨材率 |
|--------------|------|----------|---------------|------|---------|------------------|------|
| | 最大寸法 | Gmax | | | | | |
| 工法 | (mm) | (cm)・(秒) | (%) | (%) | W/(C+F) | F/(C+F) | s/a |
| RCD | 80 | 20±10 | 1.5±1 | 65.4 | 30 | 30 | |
| ～参考～ 拡張レア | 150 | 4±1 | 3±1 | 63.8 | 30 | 25 | |

| 配合種別 | 単 位 量 (kg/m ³) | | | | | | | |
|--------------|----------------------------|------|------|--------|-------|-------|------|-------|
| | 水 | セメント | 細骨材 | 粗骨材 G | | | | 混 和 剤 |
| 工法 | W | C+F | S | 150～80 | 80～40 | 40～20 | 20～5 | AE減水剤 |
| | (kg) | (kg) | (kg) | (kg) | (kg) | (kg) | (kg) | (kg) |
| RCD | 85 | 130 | 668 | - | 530 | 517 | 515 | 1.04 |
| ～参考～ 拡張レア | 102 | 160 | 530 | 399 | 398 | 398 | 397 | 0.40 |

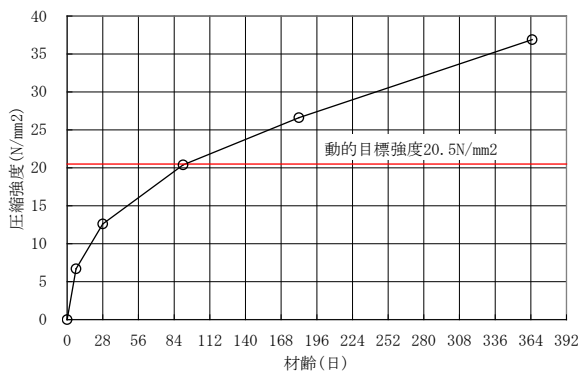


図-1 RCD配合標準供試体の材齢と圧縮強度（示方配合）

2. 現地試験施工（平成20年度実施）

(1) 目的、方法

RCD工法リフト高1.0m（25cm/層×4層）の示方配合の確認と、超遅延剤添加量、転圧回数などの施工仕様の確立を目的に、H20年8月下旬から現地試験施工を4回実施した。1回目は示方配合どおり行い、2回目以降はRI試験（水平型）結果や、転圧時のコンクリート状態から示方配合を調整しながら行った。試験施工は1試験レーンを縦15m、横25m程度とし、減勢工の底版を利用して行った。バッチャープラントで練混ぜたコンクリートをダンプロックで打設面まで運搬し、湿地ブルドーザー16t級で敷き均し、振動ローラSD451で締め固めた。

現地での主な測定項目及び目的を表4示す。

施工後7～10週後に試験面からコア採取を行い、コア外観評価を行った後に、気中養生し91日後に単位体積重量測定と圧縮強度試験を行った。コアの試験は、上下層の不均質性の有無を確認するために、上層と下層に分け

てそれぞれ行った。

コアの外観評価は、粗骨材間のモルタルの充填状況、緻密性を評価指標として、表-5に示すように5段階の評価を行った⁴⁾。

表-4 主な測定項目及び目的

| 測定項目 | | 目的 |
|------|---------------------|--|
| 現場測定 | VC値の経時変化 | 転圧の作業性、コアの仕上がり（外観、強度）に影響の大きな練り上がり時 VC値、転圧開始時の VC 値を測定し、適性な VC 値の範囲を設定する。 |
| | RI による密度測定（表面型、水平型） | ブルドーザー撒き出し、振動ローラ転圧時の密度変化を測定し、適切な転圧回数を設定する。試験時施工時に、密度の増加傾向を確認する。 |
| 採取コア | コア外観評価 | 大玉骨材の集中度、モルタルの充填度を観察し、コンクリートの均質性、不良部分の面的な連続性を評価する。 |
| | 単位体積重量 | 設計単位体積重量が確保されているか、確認する。 |
| | 圧縮強度（91日材齢） | 目標強度を満足しているか、上層・下層で強度差がないか確認する。 |

表-5 コア外観評価基準

| コア外観の評価 | | 評価 |
|---------|---|---------|
| | モルタルが粗骨材間に充填され、表面が緻密な部分 | 5 良 |
| | 表面がややポーラスな部分、砂分が少し現れている部分 | 4 ほぼ良 |
| | 表面がポーラスな部分、モルタルがややはげ落ちている部分 | 3 やや不良 |
| | モルタルが粗骨材のまわりに十分にゆきわたらず、豆板状になっている部分 | 2 不良 |
| | 粗骨材がばらばらな部分、またはモルタルが大きく欠損してコンクリートコアの外観をなしていない部分 | 1 極めて不良 |

(2) 試験施工結果の概要

試験施工概要を表6に示す。なお、転圧開始時VC値は最適⁴⁾とされる25～50秒を目標とし、骨材特性から生じる過早凝結によって、コンクリートの品質に問題が生じないように、超遅延剤を使用しVC値の上昇を抑制することとした。試験施工時に確認しながら行った転圧面での沈下量、転圧面から深さ0.75mのRI試験（水平型）結果をそれぞれ図-2、3に示す。

1回目は、振動が下層に伝達しにくく、RI試験（水平型）結果からも下層部での密度上昇が小さかった。また、表面に部分的にセメントペーストの浮き上がりが見られた（結果的に、これは練混ぜ水の一部が遊離して上昇する現象であるブリージングであった）。

2回目は、振動エネルギーの伝達を促すために、細骨

材率を2%（それに伴い単位水量は2kg/m³減）下げて行った。外部コンクリートを縫い合わせるハンドバイブレーターからも、振動が伝達しやすい状態に改善されたことを確認したが、振動ローラの転圧時に転圧面が波打つ現象であるウエービングが生じ、また全面的にブリージングが見られた。

3回目は、ブリージングやウエービングを抑制するために、単位水量をさらに2kg/m³減させ、これまで気象条件に合わせて上層と下層を同一に設定していた超遅延剤添加量を、施工工程を考慮し上層を下層より0.1%小さくした。その結果、ブリージングは発生したが部分的であり、状況はやや改善された。

4回目は3回目の材料が乾燥気味であったことから、単位水量を1kg/m³増させ、また超遅延剤も上層及び下層ともに同一の0.4%とした。転圧開始時VC値が11~15秒と小さく、2回目と同様に全面的にブリージングやウエービングが発生した。

表-6 H20年度 試験施工の配合条件と結果概要

| | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 4回目 |
|----------|----------------------|--------------------------------|---------------------------------------|--|
| 試験月日 | 8月30日 | 9月2日 | 9月4日 | 9月6日 |
| 原石Ⅰ：原石Ⅱ | 1：1 | | | |
| 細骨材率 s/a | 30% | 28% | 28% | 28% |
| 単位水量 | 85 kg/m ³ | 83 kg/m ³ | 81 kg/m ³ | 82 kg/m ³ |
| 転圧回数 | 8, 10, 12 | | 10, 12, 14 | |
| 超遅延剤添加量 | 上層 | 0.5% | 0.4% | 0.3% |
| | 下層 | 0.5% | 0.4% | 0.4% |
| 気温 | 20~25℃ | 22~28℃ | 21~27℃ | 23~25℃ |
| 改善方法、目的 | 示方配合どおり | s/aを2%低下させ、転圧エネルギーの伝達促進 | 単位水量を2 kg/m ³ 下げ、ブリージングを抑制 | 超遅延剤0.1%増量、単位水量1 kg/m ³ 増量し、流動性確保 |
| 試験面観察結果 | 下層への振動エネルギー伝達不足 | 下層への振動エネルギー伝達確認 全面にブリージング発生 | 部分的にブリージング発生、材料は乾燥気味 | 全面にブリージング発生 |

(※)水色網掛け部は、直接的な改善箇所

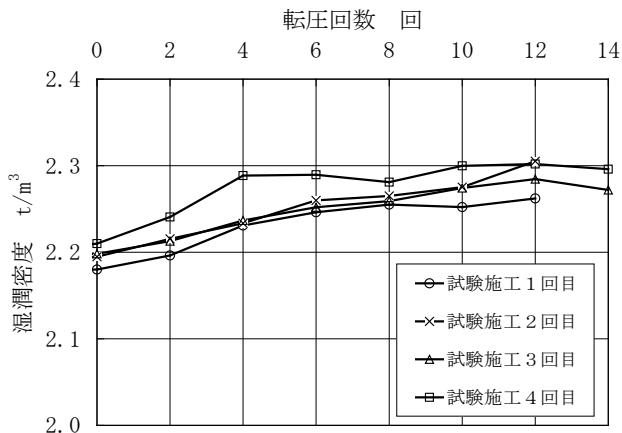


図-2 転圧回数とRI試験（水平型）による下層部の密度変化

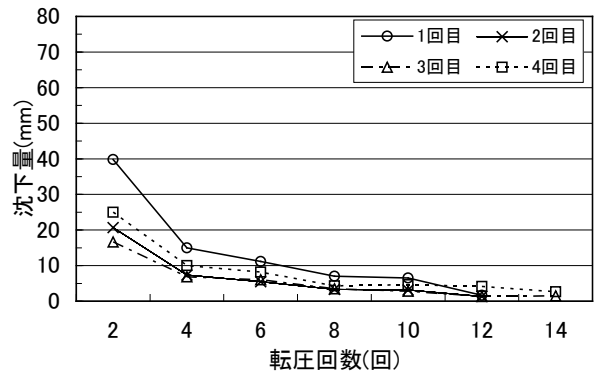


図-3 転圧回数と沈下量の変化

(3) 転圧開始時VC値とブリージング

現地試験施工1回目から4回目までの転圧開始時VC値を表-7に示す。ブリージングが全面に発生した1、2、4回目の各層の転圧開始時VC値は概ね20秒以下であり、ブリージングが部分的に発生した3回目は上層及び下層ともに転圧開始時VC値は30秒~50秒の範囲にあった。つまり、転圧開始時VC値が30秒以下ではブリージングやウエービングが発生し、締め固めが不良になることが分かった。経過時間は各回とも大きく変わらなかった。

表-7 転圧開始時VC値と練混ぜから転圧開始までの経過時間

| | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 4回目 | |
|----|-----|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 上層 | 4層目 | 20秒 (1h38min) | 31秒 (1h29min) | 31秒 (1h27min) | 11秒 (1h30min) |
| | 3層目 | 16秒 (2h20min) | 18秒 (2h08min) | 40秒 (2h31min) | 11秒 (2h07min) |
| 下層 | 2層目 | 16秒 (3h22min) | 11秒 (3h17min) | 44秒 (3h09min) | 14秒 (3h07min) |
| | 1層目 | 14秒 (3h45min) | 21秒 (3h57min) | 34秒 (3h42min) | 15秒 (3h48min) |

(※)水色網掛け部は、転圧開始時VC値が25秒~50秒の箇所

(4) 採取コアの評価結果

採取したコアの外観評価、圧縮強度等の結果を表-8に示す。なお、ここでの採取コアの値は、密度増加が収束傾向にある転圧回数10回のものとした。

a) 外観評価

試験施工1回目から4回目とも、上層及び下層ともに評価は4点以上、不良率（2点以下）は最大でも7%であり、粗骨材とモルタルの分離は見られず良好な結果であった。

b) 単位体積重量

試験施工1回目から4回目の採取コアで実測した単位体積重量は、上層及び下層ともに2.4t/m³以上と、目標の2.3t/m³を十分に満足していた。

c) 圧縮強度

全体的に上層と下層の圧縮強度のバラツキが大きく、上層の圧縮強度が下層より小さいいわゆる「上弱下強」

の結果となった。採取コアの圧縮強度が目標の設計基準強度12.0N/mm²以上をほぼ確実に満足するのは、乾燥気味であった3回目のみで、転圧面でブリージングが認められた1、2、4回目は全体的に低い結果であった。各層と同じ材料で行った標準供試体での圧縮強度と比べ、現地採取コアの圧縮強度は小さい傾向にあった。

表-8 H20年度試験結果（転圧回数10回）

| | | | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 4回目 | |
|-----------|-------------------------------|--------|------|------|------|------|------|
| 採取 コア | コア外観 評価点 | 平均点 | 上層 | 4.2 | 4.4 | 4.4 | 4.2 |
| | | | 下層 | 4.8 | 4.6 | 4.8 | 4.7 |
| | | 不良率(%) | 上層 | 3 | 2 | 5 | 7 |
| | | | 下層 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | 単位体積 重量(t/m ³) | 上層 | 2.44 | 2.47 | 2.45 | 2.44 | |
| | | 下層 | 2.48 | 2.48 | 2.46 | 2.47 | |
| | 圧縮強度 (N/mm ²) | 上層 | No.1 | 10.2 | 6.4 | 11.0 | 7.5 |
| | | | No.2 | 10.3 | 11.4 | 12.2 | 7.9 |
| | | | No.3 | 8.4 | 6.4 | 13.7 | 7.4 |
| | | | ①平均 | 9.6 | 8.0 | 12.3 | 7.6 |
| | | | ①③ | 47% | 43% | 59% | 40% |
| | | 下層 | No.1 | 8.3 | 12.1 | 18.4 | 11.7 |
| No.2 | | | 15.2 | 14.2 | 15.7 | 9.2 | |
| No.3 | | | 12.8 | 15.0 | 16.5 | 8.7 | |
| ②平均 | 12.1 | | 13.8 | 16.9 | 9.9 | | |
| | ②④ | 65% | 69% | 84% | 63% | | |
| 標準供 試体 | 圧縮強度 (N/mm ²) | ③上層 | 20.4 | 18.5 | 21.0 | 18.9 | |
| | | ④下層 | 18.5 | 20.0 | 20.1 | 15.8 | |

(※)現地で採取したコアは、6本/回（上・下層各3本）で評価
 (※)水色網掛け部は、採取コアの圧縮強度が設計基準強度を満足

(5) 考察

転圧エネルギーが伝達され易いはずの上層コアで圧縮強度が低い現象「上弱下強」や、全体的な低強度の原因は、下層からのブリージング水によって上層の単位水量が多くなったことや、低品質骨材を使用していることが影響していると考えられる。また、ブリージングを助長させる一因として、超遅延剤添加量が影響していないか確認する必要がある。

圧縮試験後に供試体を割裂させ、コンクリート内部の状況を観察したところ、粗骨材でなく粗骨材間の介質部でせん断を受けている箇所が多く確認された。せん断箇所が介質部分に多く見られるのは、今回のような圧縮強度範囲では細骨材の品質が強度発現に影響していることが考えられる。

そこで、再度の現地試験施工の確実性を高めるために、低品質骨材や超遅延剤添加量が圧縮強度に及ぼす影響を確認する室内試験を行うこととした。なお、低品質骨材を使用していることによる骨材品質のバラツキを解消するため、原石山の賦存量を考慮し、原石ⅠとⅡの混合比率を2:1に変更し室内試験、及びH21年度の試験施工を行うこととした。

3. 骨材特性等が圧縮強度に及ぼす影響確認試験

室内試験に使用する骨材や配合条件を表-9に示す。原石ⅠとⅡの混合比率を2:1としたことから、単位水量選

Soutarou Matsuoka, Kouji Satou, Tomohiro Yamazaki

定試験で単位水量83kg/m³を確認した。細骨材の品質、粗骨材に付着している微粒分、及び超遅延剤添加量が圧縮強度に及ぼす影響を確認するために次の室内試験を行った。

(1) 細骨材の影響

細骨材の影響を確認するために、細骨材をプラント製造したもの（現状砂）と、粒度分布がダム標準粒度範囲に入るような購入砂の場合（図-4）で、それぞれ標準供試体を作成し圧縮試験を行った。両者とも圧縮強度約22 N/mm²とほぼ同じであった（図-5左）。

(2) 粗骨材に付着している微粒分の影響

粗骨材に付着した微粒分が皮膜となり、粗骨材とモルタル間の付着力の低下が懸念されるため、粗骨材を洗浄しない場合と洗浄した場合でそれぞれ標準供試体を作成し圧縮試験を行った。圧縮強度は、無洗浄粗骨材で23.5N/mm²、洗浄粗骨材で22.4N/mm²と洗浄の有無によって圧縮強度に有意な差は見られなかった（図-5右）。

(3) 超遅延剤添加量の影響

超遅延剤が圧縮強度に及ぼす影響として、添加量が多くなると、セメントと結合しない自由水が増加し、ブリージングによる強度低下が懸念されるため、超遅延剤添加量と初期VC値の関係について試験を行った（図-6）。添加量が0.4%を超えると初期VC値の低下が見られ、同一単位水量でも過剰な流動性を招くことが伺えた。

以上より、細骨材や微粒分が直接的に圧縮強度に影響を及ぼすことは確認できなかったが、超遅延剤添加量については、0.4%を上限に極力少なくする必要があることが分かった。

表-9 室内試験用の骨材及び配合条件

| 使用骨材 | 原石Ⅰ：原石Ⅱ | 2：1 |
|------|----------------------------|-----|
| 配合条件 | VC値（秒） | 20 |
| | 単位結合材料（kg/m ³ ） | 130 |
| | 細骨材率（%） | 30 |
| | 単位水量（kg/m ³ ） | 83 |

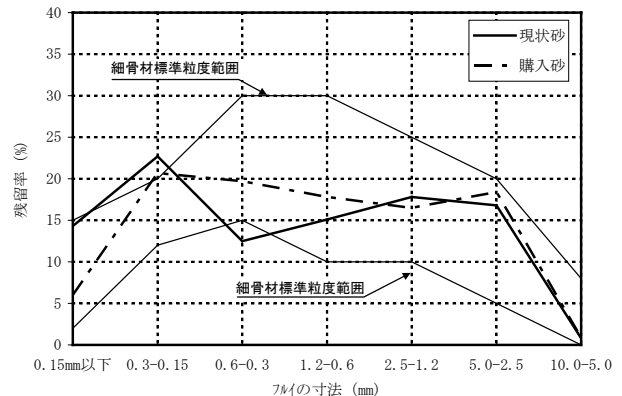


図-4 現状砂と購入砂の粒度分布

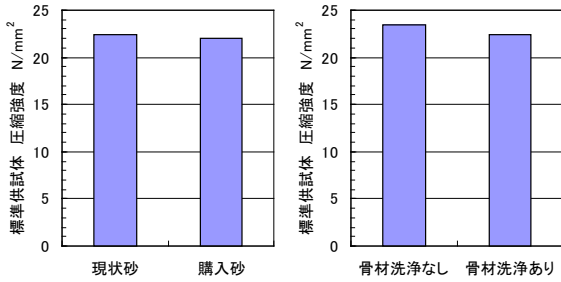


図-5 圧縮試験結果 (標準供試体)

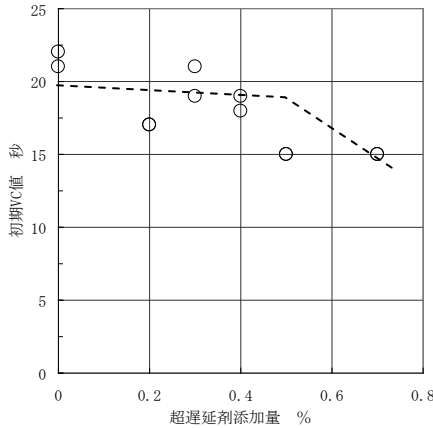


図-6 超遅延剤添加量と初期 VC 値の関係

4. 品質向上のための改善内容及び試験施工結果

H20年度の現地試験施工及び室内試験の結果から、圧縮強度の「上弱下強」や、全体的な低強度の原因については、低品質骨材が直接影響していることは確認できなかったが、ブリージングや超遅延剤添加量の可能性が高いことが分かった。

H21年度の試験施工は、1)ブリージングが生じないように超遅延剤添加量を0.4%以下に抑制する、2)初期VC値20秒±5秒とし管理幅を昨年度の10秒から5秒に厳しくする、3) 骨材品質のバラツキを解消するため原石 I と II の混合比率を2:1に変更する、の3条件を改善して、5月下旬から堤体下流右岸の資材仮置き場所で行った。

(1) 現地試験施工の内容及び結果 (平成21年度)

試験施工概要を表-10に示す。試験施工5回目は、超遅延剤添加量を上層0.2%、下層0.3%とし、6回目は超遅延剤添加量の上限と考えている0.4%を確認するために、上層0.3%、下層0.4%とした。

5回目、6回目ともに転圧開始時VC値は概ね30~70秒の範囲にあり、転圧時にブリージングやウエーピングは確認されなかった。採取コアの圧縮強度は、上層と下層で大きな差はなく、また、5回目下層の転圧開始時VC値が目標上限の50秒を超えているものの、設計基準強度12.0N/mm²以上確保されていた(表-11、12)。

ただ、5回目について、外観評価で不良率がH20年度よ

り高く1割を超え、特に、下層が不良率18%と高いのは、下層の転圧開始時VC値が50秒を超えているためと考えられる。H20年度に見られた標準供試体との圧縮強度の差は生じなかった。また、圧縮試験後の割裂面観察から、5回目、6回目ともに80mm級の粗骨材が集中している箇所、粗骨材間のモルタル充填不足が確認された。

そこで、7回目は粗骨材間のモルタル量を増加させるため、s/aを30%から32%に変えて試験施工を行った。s/aを2%増やした結果、β値(モルタルの粗骨材空隙率)は、1.42から1.56と0.14増加した。外観評価では転圧開始時VC値が50秒以上の層があったものの、2点以下の不良なものがなく、粗骨材間のモルタル充填性が増したことが伺えた。圧縮強度は、単位水量が83kg/m³から86kg/m³に増えるため、低下することが懸念されたが、標準供試体において上層及び下層材料ともに22.2N/mm²と十分な強度が確保されていた。材齢91日の採取コアの圧縮強度が設計基準強度12.0N/mm²を満足しない供試体を割裂面観察したところ、水和反応が不十分な箇所が見られた。標準供試体相当の積算温度を確保した採取コアの圧縮強度は設計基準強度を満足していた(実質91日材齢)。

表-10 H21年度 試験施工の配合条件と結果概要

| | 5回目 | 6回目 | 7回目 |
|----------|----------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 試験月日 | 5月28日 | 8月6日 | 9月7日 |
| 原石I:原石II | 2:1 | | |
| 細骨材率 s/a | 30% | 30% | 32% |
| 単位水量 | 83 kg/m ³ | 83 kg/m ³ | 86 kg/m ³ |
| 転圧回数 | 10, 12 | | |
| 超遅延剤 上層 | 0.2% | 0.3% | 0.2% |
| 添加量 下層 | 0.3% | 0.4% | 0.3% |
| 気温 | 17~20℃ | 23~31℃ | 20~21℃ |
| 改善方法、目的 | 初期VCを20±5秒で管理し、超遅延剤を絞り、ブリージングを抑制 | 超遅延剤添加量の上限値0.4%の確認 | 細骨材率を2%上げ、粗骨材間のモルタル充填性向上 |
| 試験面観察結果 | ブリージング解消 粗骨材間のモルタル充填不足 | ブリージング発生せず 粗骨材間のモルタル充填不足 | コア外観評価2点以下はなく、良好 |

(※) 水色網掛け部は、直接的な改善箇所

表-11 転圧開始時VC値と練混ぜから転圧開始までの経過時間

| | | 5回目 | 6回目 | 7回目 |
|----|-----|------------------|------------------|------------------|
| 上層 | 4層目 | 32秒 (51min) | 29秒 (1h7min) | 34秒 (1h7min) |
| | 3層目 | 36秒 (1h41min) | 37秒 (1h56min) | 70秒 (1h55min) |
| 下層 | 2層目 | 72秒 (2h42min) | 39秒 (2h50min) | 42秒 (2h35min) |
| | 1層目 | 62秒 (3h39min) | 49秒 (3h43min) | 63秒 (3h21min) |

(※) 水色網掛け部は、転圧開始時VC値が25秒~50秒の箇所

表-12 H21年度試験結果 (転圧回数10回)

| | | | 5回目 | 6回目 | 7回目 | | |
|-----------|-------------------------------|--------|--------|------|------|------|------|
| 材齢 (日) | | | 91 | 91 | 91 | 121 | |
| 採取 コア | コア外観 評価点 | 平均点 | 上層 4.1 | 4.7 | 4.5 | | |
| | | | 下層 3.6 | 4.4 | 4.3 | | |
| | | 不良率(%) | 上層 13 | 0 | 0 | | |
| | | | 下層 18 | 3 | 0 | | |
| | 単位体積 重量(t/m ³) | 上層 | 2.41 | 2.40 | 2.40 | 2.39 | |
| | | 下層 | 2.39 | 2.42 | 2.40 | 2.38 | |
| | 圧縮強度 (N/mm ²) | 上層 | No.1 | 19.9 | 15.1 | - | - |
| | | | No.2 | 23.2 | 14.5 | 12.3 | 14.4 |
| | | | No.3 | 15.5 | 17.2 | 17.2 | 15.9 |
| | | | No.4 | 21.5 | 16.3 | 17.6 | |
| | | | ①平均 | 20.0 | 15.8 | 15.7 | 15.2 |
| | | | ①③ | 90% | 82% | 71% | 69% |
| 下層 | | No.1 | - | 17.3 | 13.2 | 14.2 | |
| | | No.2 | 21.2 | 14.9 | 10.6 | - | |
| | | No.3 | 16.7 | 16.8 | 16.7 | 15.6 | |
| | | No.4 | 26.1 | 16.6 | 10.7 | | |
| | ②平均 | 21.3 | 16.4 | 12.8 | 14.9 | | |
| | ②④ | 96% | 92% | 58% | 67% | | |
| 標準供 試体 | 圧縮強度 (N/mm ²) | ③上層 | 22.2 | 19.3 | 22.1 | | |
| | | ④下層 | 22.2 | 17.9 | 22.2 | | |

(※)7回目の材齢121日とは標準供試体相当の積算温度で養生したもの
 (※)原則、現地で採取したコアは、8本/回(上・下層各4本)で評価
 (※)水色網掛け部は、採取コアの圧縮強度が設計基準強度を満足

5. 試験施工評価の留意点

(1) 外観評価

粗骨材間のモルタル充填性、緻密性を評価指標としている外観評価と圧縮強度は、一般的に相関性が高いとされている。ブリージングが生じず良好な結果であった5回目は、圧縮強度と外観評価に相関傾向がある(図-7)。一方、VC値が小さい状態で転圧したH20年度のケースでは、圧縮強度と外観評価は必ずしも相関性は認められず、圧縮強度が10 N/mm²以下の場合でも評価点が概ね4点以上となっている。外観評価は、転圧時のコンクリートの状態観察結果と合わせて行うことに留意する必要がある。

(2) 現地採取コアの圧縮強度

現地採取コアは、養生温度が外気温に左右されるため、室内で91日間20°Cの水中養生している標準供試体よりも養生期間中の積算温度が小さい傾向にある。採取コアの標準供試体に対する積算温度比率と圧縮強度比率は、7回目の実質91日材齢(材齢121日)を除き、概ね符合する結果となっている(表-13)。7回目の実質91日材齢のコアは、積算温度は確保したが、水和反応が進行中であることを示すような内部が湿っている状態を確認した。

現地採取コアと標準供試体の圧縮強度の違いは、転圧方法(振動ローラとタンバ)等が原因とも考えられるが、今回の試験施工では養生期間中の積算温度が影響することが同えた。北海道のような寒冷地では、現地採取コア

の圧縮強度の評価にあたっては、養生期間中の積算温度に留意する必要がある。採取コアについても標準供試体相当の積算温度を確保することが有効と考えられる。

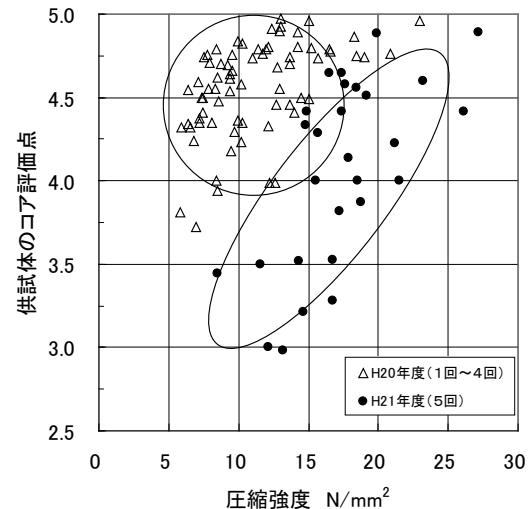


図-7 圧縮強度とコア評価点の関係 (10回転圧以外含む)

表-13 採取コア、標準供試体の積算温度、圧縮強度

| | 積算温度 (°C·hr) | | 圧縮強度 (N/mm ²) | | 積算温度比(%) | 圧縮強度比(%) |
|-----|--------------|--------|---------------------------|--------|----------|----------|
| | ①採取コア | ②標準供試体 | ③採取コア | ④標準供試体 | ①/② | ③/④ |
| 5回目 | 61,639 | 65,400 | 20.6 | 22.2 | 94% | 93% |
| 6回目 | 56,202 | 65,400 | 16.1 | 18.6 | 86% | 87% |
| 7回目 | 43,861 | 65,400 | 14.0 | 22.2 | 67% | 63% |
| | 65,400 | 65,400 | 15.0 | 22.2 | 100% | 68% |

(※)7回目の上段は材齢91日、下段は実質91日材齢(材齢121日)

6. おわりに

当初、骨材特性(微粒分、過早凝結)から、コンクリートの流動性確保に留意して試験施工を行ったが、ブリージングによる圧縮強度の「上弱下強」等を招いた。品質確保対策として、初期VC値(20秒±5秒)と超遅延剤添加量(0.4%以下)を管理すること、さらに、粗骨材間のモルタル充填性を向上させるためにs/aを2%増したことが有効であった。試験施工評価の留意点として、外観評価は必ずしも圧縮強度と相関しないこと、また、採取コアの圧縮強度は、標準供試体相当の積算温度を確保したもので評価することが有効であることが挙げられた。

参考文献

- 1) 松岡宗太郎, 田村 順一, 西村 義, 中川 晋: 夕張シューパロダムにおける堤体コンクリート用低品質骨材の有効利用, ダム技術No.268, 2009.1
- 2) 土木学会: コンクリート標準示方書【ダムコンクリート編】
- 3) 永山功, 片平博: 宮ヶ瀬ダムにおけるRCD工法の試験施工(6) - コンクリートの過早凝結に対する超遅延剤の効果 -, ダム技術 No.86, 1993.11
- 4) 日本ダム協会: 改訂版 RCD工法施工の手引き