

表-1 原石山の地質

時代	地層名		岩相	
古第三紀	石狩層群	Is	Ms	石炭層を狭する泥岩～シルト岩主体の地層により構成される。部分的に砂岩層を狭するが層厚が薄くやわ軟質である。
			Alt	凝灰岩砂岩および砂岩泥岩互層により構成される。一部葉理が発達、炭質物含む
白亜紀	函淵層群	Hk	Ss3	中～粗粒砂岩主体、塊状、硬質
			Nfs2 上部	不均質細粒砂岩主体、泥質分の割合が50%以下
			Nfs2 下部	不均質シルト岩、泥質分の割合が概ね50%以上
			Ss2	細粒砂岩主体、塊状硬質

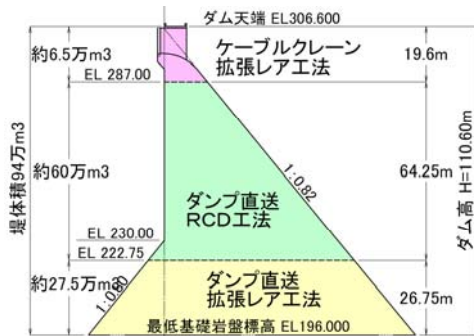


図-3 コンクリート打設工法区分

による拡張レア工法を採用した(図-3)。

4. コンクリート用骨材についての性状

(1) 原石の材料区分

原石採取対象岩種は、施工性や採取率を考慮し、浅部に分布する Ss3～Mfs2 上部層とした。採取岩は新鮮であれば良好な物理性状であるが、風化の影響を受けた場合は品質が低下する。原石山頂部は風化の影響を受けており、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についてもダムコンクリート用骨材としての適用性を検討した¹⁾。風化区分は、風化の程度によって分けることができ、極力有効利用を行うため中風化岩を表-2 に示す目視状況やハンマー打診の指標を用い、新鮮で金属音を発するものを区分 a、概ね褐色で金属音を発するものを区分 b、その他を区分 c として細区分した。この結果、原石の風化の程度はある一定の範囲における区分 a、b、c の構成割合により、区分 a を主体とした良質材として「原石 I」、区分 b を主体とした低品質骨材を「原石 II」、その他を「廃棄岩」と定義した(表-3)。この定義および地質区分を組み合わせ表-4 に示す材料区分を行い、コンクリート用骨材としての適否を判断した。

(2) コンクリート配合

原石 II は、吸水率や安定性にばらつきがあるものの、

Takashi Todaka, Susumu Sasaki, Tatsuta Mikami

表-2 風化細区分

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
	岩辺の割れ方	岩辺の端が欠ける程度	岩辺の端が欠ける程度	簡単に割れる部分を含む
写真				

表-3 原石の定義

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(区分 b の含有割合は 3 割以内)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

表-4 材料区分図

区分	風化程度	強風化	中風化-l	中風化-h	弱風化	未風化
	細区分	c	b	a	a	a
石狩層群				x		
Ss3層	粗粒			x		
	中粒	x	△	○	○	○
Mfs2 層上部		x	△	○	○	○
Mfs2 層下部				x		

○:原石 I, △:原石 II, x:廃棄岩

表-5 コンクリート配合表

コンクリート種別		当初配合 (骨材品質改善前)	
		内部 (在来)	C/F 150kg
骨材割合	原石 I と原石 II の混合割合	50:50	
粗骨材の最大寸法	Gmax (mm)	150	
スランプ・VC 値の範囲 (cm)		4±1	
空気量の範囲 (%)		3.5±1.0	
単位セメント量	C + F (kg/m³)	150	
水	W (kg/m³)	103	
水セメント比	W / (C + F) (%)	68.7	
混和剤	No8	0.25%	0.375
	202	42.0tL	14.0A

コンクリートの凍結融解試験結果で耐久性が得られたことから、コンクリート用骨材として使用可能と判断された。そこで、原石山の地質状況から施工性や採取率を考慮し、良質な原石 I と低品質な原石 II を 1:1 の割合で混合し、表-5 に示すコンクリート配合によりコンクリートの圧縮強度試験を実施した。その結果、貧配合である内部配合 (在来) で材齢 91 日での圧縮強度は 13.5N/mm² であり、夕張シューパロダムにおける配合基準強度である 13.3N/mm² に対して余裕のない強度であった。よって、コンクリート強度を増加させる目的で、原石 II の品質を改善する方法を検討した。

5. 原石 II の品質改善方法

コンクリート強度を低下させる原因の一つとして、原

石Ⅱにおける酸化の強い部分である強風化(区分C)の混入が考えられた。吸水率と酸化の程度を確認したところ、概ね相関が見られたことから(図-4)、原石Ⅱにおいては、強風化(区分C)部分の混入を抑えることが有効であると判断した。強風化の混入を抑える方法としては、打音検査、スケールルーペによる粒径計測、分光測色計による風化度の測定等による採取場における岩判定により分別する方法と、原石採取時にスケルトンバケット(写真-1)により篩い分けする方法を併用した。

6. コンクリート用骨材の品質改善結果

分別した原石Ⅱを使用して製造した骨材の品質について、コンクリート用骨材の物理試験およびコンクリートの圧縮強度試験を実施した。コンクリート用骨材の物理試験結果では、安定性は下限値を超えるものの、表乾密度、吸水率は所要の品質を満足した。特に、ばらつきが大きかった吸水率については大幅な改善が図られた。コンクリートの圧縮強度試験の結果を図-5に示す。Case1は品質改善前の原石Ⅱを使用したもの、Case2はCase1と同配合で品質改善後の原石Ⅱを使用したもの、Case3は、Case2にセメント量を10kg増した配合を採用したものの試験結果となる。コンクリート圧縮強度は、品質改善前の原石Ⅱを使用した試験結果より大きな値を示し、Case2においても材齢91日で18.5N/mm²と配合基準強度を十分上回る結果となった。この結果から原石Ⅱの品質改善を行ったことにより、所要の品質を確保することができたとと言える。以上の結果より配合は大規模地震(レベル2地震)に対する安全性の観点からCase3を採用とした。

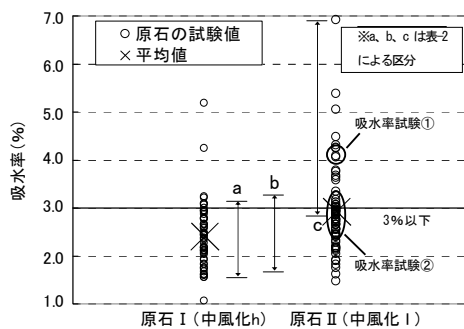


図-4 ボーリングコアを用いた吸水率試験結果



写真-1 スケルトンバケット

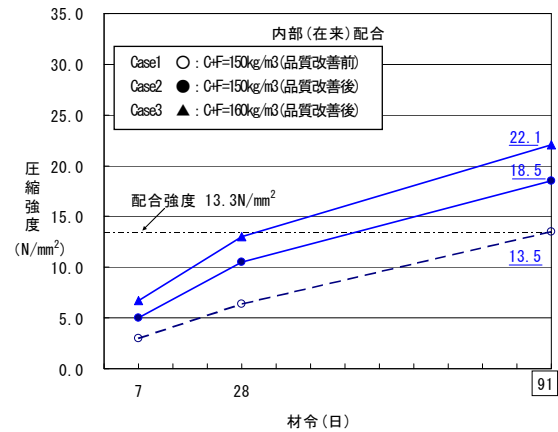


図-5 圧縮強度試験結果

7. 現地試験施工²⁾

夕張シューパロダムの主要なコンクリート打設方法であるRCD工法は、通常、表面からの締め固め効果等を考慮し1リフト高を0.75mとして施工している事例が多い。夕張シューパロダムでは、工期短縮等の観点からリフト高を1.0mとするため現地試験施工を実施し、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を検討した。現地試験施工は平成20~21年度の2カ年に亘って実施された。

(1) 現地試験施工(平成20年度)

a) 目的、方法

平成20年度の現地試験施工は、RCD工法リフト高1.0m(25cm/層×4層)の示方配合の確認、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4回実施した。試験施工は、バッチャープラントで練混ぜたコンクリートをダンプトラックで打設面まで運搬し、湿地ブルドーザー16t級で敷均し、振動ローラ11t級で締め固めて行った。

現地での主な測定項目及び目的を表-6に示す。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た表-7に示す5段階評価とした。³⁾

b) 試験施工結果の概要

試験施工概要を表-8に示す。転圧開始時VC値は最適³⁾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。採取したコアの外観評価、圧縮強度等の結果を表-9に示す。ここでの採取コアの値は、密度増加が収束傾向にあった転圧回数10回のものとした。

表-6 主な測定項目及び目的

測定項目	目的
現場	VC値の経時変化
測定	RIによる密度測定(表面型、水平型)
採取	コア外観評価
コア	単位体積重量
コア	圧縮強度(91日材例)

表-7 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、モルタルがややほげ落ちている部分	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

表-8 平成20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
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%	0.4%
	下層	0.5%	0.4%	0.4%	0.4%
気温		20~25°C	22~28°C	21~27°C	23~25°C
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	

表-9 平成20年度試験結果(転圧回数10回)

			1回目	2回目	3回目	4回目	
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(γ _m)		上層	2.44	2.47	2.45	2.44	
		下層	2.48	2.48	2.46	2.47	
採取コア	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
			①/③	4.7%	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	
		②/④	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	

(※)現場で採取したコアは、6本(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

外観評価は、試験施工1回目から4回目とも、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。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。圧縮強度は、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。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。

(2) 現地試験施工(平成21年度)

再度の現地試験施工の確実性を高めるために、事前に骨材品質や粗骨材に付着した微粒分の影響、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った。室内試験では、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、剤超遅延剤添加量は0.4%を上限に極力少なくすることが分かった。

H21年度の試験施工では、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H20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に原石ⅠとⅡの混合比率を1:1から2:1に変更する、の3条件を改善して3回の試験を実施した。

a) 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。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(表-11)、転圧時にブリージングやウェービ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、設計基準強度12.0N/mm²以上が確保されていた(表-12)。圧縮試験後の割裂面観察では、5回目、6回目で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ことから、7回目の試験では、s/aを30%から32%とした。この結果、圧縮強度は、標準供試体において上層及び下層材料ともに22N/mm²程度と十分な強度が確保された。材齢91日の採

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
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		
超遅延剤添加量	上層	0.2%	0.3%	0.2%
	下層	0.3%	0.4%	0.3%
気温		17~20°C	23~31°C	20~21°C
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值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	ブリージング発生せず	コア外観評価2点以下はなく、良好	
	粗骨材間のモルタル充填不足	粗骨材間のモルタル充填不足		

(※)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 日は標準供試体相当の積算温度で養生したも)

(※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)

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断面観察したところ、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)。

b) 考察

試験施工では、骨材特性として付着する微粒分量が多い特徴があること、また過早凝結の要因となる粘土鉱物(スメクタイト)が検出されたことから、コンクリートの流動性確保に留意したが、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、混合比率を変えたこと、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。

8. ダムコンクリートの長期暴露試験

(1) 試験目的

ダムコンクリートには比較的良好な骨材を「原石 I」、相対的に品質が劣る骨材を「原石 II」と分類し 2:1 で混合して使用している。原石には Mfs2 層より採取される泥質分を含む骨材があり、この骨材は乾湿繰り返しに弱く製品骨材にすると 3 ヶ月程度で細粒化する特徴を持つ。そのため Mfs2 層から採取される骨材の使用にあたっては、標準的なコンクリート乾湿繰返

し試験では、骨材をコンクリート化することで直接乾湿の影響を受けないことを確認している。しかし、ダム堤体で使用している G1、G2 サイズ(150~80mm、80~40mm)の骨材については未確認であること、また、ダムが管理移行後も適切に補修等を行い長期間にわたり効用を果たすためのデータ採取を目的として大型供試体(500mm×500mm×500mm)による長期暴露試験を実施することとした。試験は平成 23 年 9 月と 12 月の 2 回の計測が完了している。

(2) 長期暴露試験ケース及び試験数量

試験はダム堤体骨材(原石 I、IIの混合比率 2:1)に、Mfs2 層の骨材置換率を変えた骨材を製造し、コンクリート耐久性への影響度を評価する。試験は、標準試験では未確認であった G1(150mm~80mm)、G2(80mm~40mm)の粗骨材置換率を変えた 4 ケースとした。表-13 に試験ケース及び試験数量を示す。

(3) 試験体製作方法

試験体作製に使用するコンクリート配合は外部 A 配合(示方配合)とした。練混ぜは、強制 2 軸練りミキサー(容量:200L)を使用した。表-14 に外部 A 配合を示す。練混ぜにおける各材料の投入は手投入により行い、練混ぜ後、各試験ケースの性状試験(スランプ、空気量)を行い、試験体を作製した。試験体の締固めには、ダム用ハンドバイブレーターを使用した。

コンクリートの打設後は、材齢 28 日までは型枠をつけたまま天端部分の湿潤養生を行った。

(4) 長期暴露試験

暴露試験は夕張シューパロダム RCD 試験ヤード跡地で実施している。暴露試験の状況を写真-2 に示す。暴露試験期間中の観測は供試体の表面観察と超音波試験を行うこととした(表-15)。超音波試験の計測位置を図-6 に示す。超音波試験では、超音波の伝播速度は、物体の密度が高い時には早く、逆に、その密度が低い時には、遅くなることから、本試験では、コンクリート供試体が経年劣化により伝播速度が延伸する状況と供試体の配合条件の違いによる経年劣化の違いを観察することとなる。

表-13 長期暴露試験ケース及び試験数量

CaseNo	Mfs2 の置換条件	試験体数(個)
1	全量入替 (100%)	3
2	50%入替 (62.5%)	3
3	25%入替 (31.3%)	3
4	入替なし (25%)	3

※Mfs2 は入替なしの条件においても 25%混入する。() の数値は想定される混入率。

Case2: 50.0% (入れ替え分 Mfs2) +25.0% (入替無でも含まれる混入率) ×50% (入替で失う率)

Case3: 25.0% (入れ替え分 Mfs2) +25.0% (入替無でも含まれる混入率) ×25% (入替で失う率)

表-14 配合条件 (外部A)

配合種別	骨材の最大寸法	VC値 (スランプ)	空気量	水結合比	フライアッシュ率	細骨材率
	Gmax (mm)	(cm)・(秒)	(%)	W/(C+F) (%)	F/(C+F) (%)	s/a (%)
外部A	150	4±1	3±1	45.9	30	23

配合種別	単位量(kg/m ³)							
	水	セメント	細骨材率	粗骨材				混和剤
	W (kg)	C+F (kg)	S (kg)	150~80 (kg)	80~40 (kg)	40~20 (kg)	20~5 (kg)	AE減水剤 (kg)
外部A	101	220	475	400	398	399	397	0.55

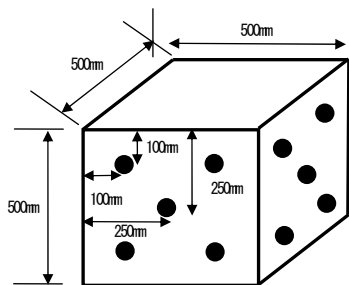


写真-2 曝露試験の状況

表-15 曝露試験中の観測項目

計測内容	観測方法	計測頻度
表面観察	目視により確認し、写真撮影により記録。	1回/4ヶ月
超音波試験	各試験体の計測箇所は10点(5箇所×2断面)とする。 10点×3個×4ケース=合計120点	1回/4ヶ月

※観測頻度は初期は密に行い、一定の期間を経過した後は粗とする。H26以降は試験状況に応じ設定する。



※各試験体の計測箇所は10点 (5点/断面×2断面) とした

図-6 超音波試験計測箇所

また、曝露試験供試体が所要強度を有していることを確認するため圧縮強度試験を実施する。圧縮強度試験はφ150×300の標準供試体によることとし、使用するコンクリート骨材は、ウェットスクリーニングにより最大骨材粒径を40mmとした。なお、曝露試験供試体のMfs2層からの骨材置換はG1(150mm~80mm)、G2(80mm~40mm)のみとしたことから、圧縮強度試験の供試体はCase4の置換率0%の配合のみとした。圧縮強度の試験時材齢は、91日、182日、365日とした。

(5) 観測経過 (平成23年12月時点)

圧縮強度試験は、91日材齢時の試験が終了し、配合

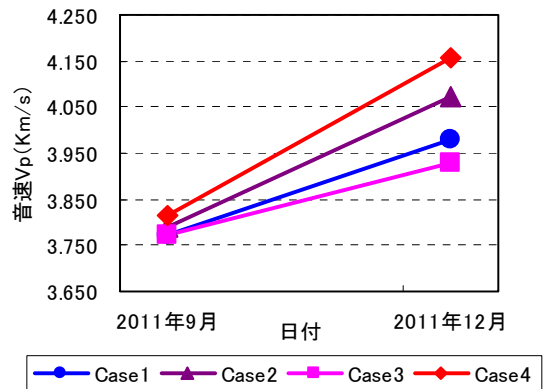


図-7 超音波試験結果

条件である外部A配合の所要強度を満たすことを確認している。表面観察では製作時における初期欠陥等は認められなかった。

超音波試験の2回目計測までの結果を図-7に示す。第2回観測では、第1回観測より伝播速度は全体的に増している。これは材齢によりコンクリート強度が増していることに起因する考えられる。また、各ケースでの伝播速度の増加割合は異なるが、これはMfs2層骨材の影響ではなく、試験体作製時のスランプ・空気量等の個体差と考えられる。今後、当面は材齢を経たことによる強度増加が見込まれるが、Mfs2層骨材による影響把握は、材齢を経て強度が安定した後の観測結果によりできるものと考えている。

本報告では、曝露試験観測の2回目(製作後4ヶ月)までの観測経過ををまとめている。今後、曝露試験を継続観測することにより、低品質骨材を用いたコンクリートの耐久性を確認するとともに、管理移行後の適切な補修計画を立案する上での基礎データとなるものと考えている。

9. おわりに

夕張シューパロダムの堤体打設は、平成19年より開始し、平成23年11月には概ね96%に達している。今後は、「大夕張ダム」が新しく「夕張シューパロダム」として生まれ変わり、地域の安全とやすらぎを見守る礎となるよう平成26年度の事業完了を目指して努力していく所存である。

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 No268, 2009. 1
- 2) 三上 達也, 高橋 孝広, 松岡 宗太郎: 夕張シューパロダムにおける RCD 工法の試験施工一品質確保のための対策及び試験施工評価の留意点一, ダム技術 No294, 2011. 3
- 3) 日本ダム協会: 改訂版 RCD 工法施工の手引き