

## Ⅲ-5 コンクリートダム設計施工の合理化に関する調査

研究予算：運営費交付金（治水勘定）

研究期間：平 13～平 15

担当チーム：ダム構造物チーム

研究担当者：山口 嘉一、豊田 光雄、  
佐々木 隆、小堀 俊秀、  
石橋 正義

### 【要旨】

本調査では工期の短縮とコストの縮減を目指した合理化施工手法およびそれを達成するための設計手法の提案を行うために、「RCD 工法の効率化」、「高流動コンクリートのコンクリートダム本体へ適用」の二つの課題について検討を行った。

RCD 工法の効率化に関する検討では、現行の RCD 工法における打継目の処理に着目し、打継目の処理条件が、打継目処理条件が打設面の強度に与える影響について調査を行った。その結果、モルタル敷きを行えば、グリーンカットを行わずにある程度の打設間隔時間まで打継目の強度を確保できることがわかったため、ダムでの使用部位を考慮することで、かなりの打継目処理の合理化が可能になると考えられる。また、打継目処理剤を用いる際には、打継目の簡易な清掃ではなく、打継目処理剤の影響範囲を除去する必要がある。

高流動コンクリートのコンクリートダム本体へ適用の検討については、単位セメント量を低減した高流動コンクリートの諸特性についての調査を行った。その結果、フレッシュ性状、圧縮強度の条件からは単位セメント量  $130\text{kg/m}^3$  程度まで低減できることがわかった。しかし、耐凍害性を必要とする部位への利用に際しては、単位セメント量を適宜増加する必要がある。

キーワード：ダム、RCD 工法、打継目、せん断試験、高流動コンクリート、単位セメント量

### 1. はじめに

近年、コンクリートダム建設において熟練労働者の不足や建設工期の長期化からダムの建設コストが増大する傾向にあることから、設計・施工の面から、様々な合理化対策が実施されている。コンクリートダムの施工法の合理化としては、これまで RCD 工法や拡張レア工法などの施工法の開発、細部では監査廊のプレキャスト化などによって相応の成果をあげている。しかし、今後も、さらなるコスト縮減の取り組みが必要である。

本調査ではさらなる工期の短縮とコストの縮減を目指した合理化施工手法およびそれを達成するための設計手法の提案を行うために、「RCD 工法の効率化」、「高流動コンクリートのコンクリートダム本体へ適用」の二つの課題について検討を行った。

RCD 工法の効率化に関する検討では、所要性能を確保しながら RCD 工法での施工速度を向上させることを目的として、打継目面の処理簡略化に関する調査を行った。

高流動コンクリートのコンクリートダム本体への

適用については、近年、土木・建築分野で使用が盛んな高流動コンクリートをコンクリートダムの本体コンクリートに適用するために、単位セメント量を低減した高流動コンクリートの諸特性についての調査を行った。

### 2. RCD 工法の効率化に関する検討

#### 2.1 試験目的

RCD 工法は、貧配合で超硬練りのコンクリートを振動ローラで締め固める面状工法である。

RCD 工法において、工期の短縮、コスト縮減という観点より現行工法の更なる合理化を考えた場合、打継目処理の合理化効果が非常に大きく、かつその可能性が高い方策であると考えられる。現在 RCD 工法については、1 リフトの厚さを施工機械の能力を有効に発揮できるように、通常より薄いリフト厚で打継ぎ間隔を短くすることを視野にいたした工法が検討されている<sup>12)</sup>。この工法では打継目の数は通常より多くなるため、さらに打継目処理の効率化に対する要求はさらに高いものとなる。しかし、打継目処

理の効率化を検討する際には、打継目の強度確保について十分留意する必要がある。

現在の RCD 工法における打継目処理は、コンクリート打設後、適切な時期にグリーンカットを行い、さらに次リフト打設前に水洗い及び敷きモルタルを実施した後にコンクリートを打継ぐというものである。打継目処理の目的は、グリーンカットによるレイタンスの除去、フレッシュ面の露出、粗面形成、敷きモルタルによる付着力の増加、ペーストの補充等である。

打継目の強度を確保する方法としては、コンクリートの配合の変更も考えられるが、本調査においては、一般的な配合の RCD 用コンクリートを対象に、打継目処理剤（以下、処理剤という）を用いることや、低水圧の水洗いにより、グリーンカットや敷きモルタルを極力省略することで打継目処理の効率化の可能性を検討するために、それらの打継目処理条件が打継目の圧縮強度、せん断強度、引張強度に与える影響について室内実験を実施した。なお、一般的に打継目部の性能についてはせん断強度で評価することが多いが、大規模地震に対する耐震性能照査などと絡んで引張強度は重要な検討項目になる<sup>3)</sup>と考えられる。

## 2.2 試験概要

### 2.2.1 使用材料及び試験方法

試験で用いた材料及びその基本物性値を表-2.1 に示す。使用したセメントは中庸熟ポルトランドセメント、混和材としてフライアッシュ II 種を用いた。粗骨材は良質な砂岩で、その最大寸法は 80mm とした。細骨材は図-2.1 の粒度分布を示す FM2.85 のものを用いた。細骨材の粒度分布は、コンクリート標準示方書<sup>4)</sup>における標準粒度分布から若干はずれた部分があったが、VC 値 20±10 秒を満たす配合はレイタンス、材料分離等もなくフレッシュ性状は良好であった。

### 2.2.2 配合条件

配合条件を表-2.2 に示す。本調査において、最大粗骨材寸法 80mm の配合を、40mm ウェットスクリーニングしたと仮定した配合を用いた。なお、ウェットスクリーニングによって除去される 40mm 以上の骨材に付着して、失われるモルタル量については、図-2.2 に示す配合条件でのウェットスクリーニング試験に基づいて評価した。

表-2.1 使用材料及び基本物性値

使用材料	種類および物性
セメント	・中庸熟ポルトランドセメント (密度=3.21g/cm <sup>3</sup> , 比表面積=3,170cm <sup>2</sup> /g)
混和材	・フライアッシュ II 種 (密度=2.27g/cm <sup>3</sup> , 比表面積=4,260cm <sup>2</sup> /g, 強熱減量=0.8%)
混和剤	・AE 減水剤 主成分：リゲニンスルホン酸化合物
打継目処理剤	主成分：グルコン酸ナトリウム (比重(20°C)=1.12, pH=7.1, 標準使用量(原液)=250g/m <sup>2</sup> )
細骨材	・岩種：砂岩 (比重=2.65, 吸水率=1.03%, 粗粒率=2.85)
粗骨材	・岩種：砂岩 80~40mm(比重=2.66, 吸水率=0.47%) 40~20mm(比重=2.67, 吸水率=0.31%) 20~10mm(比重=2.65, 吸水率=0.46%) 10~5mm(比重=2.65, 吸水率=0.76%)

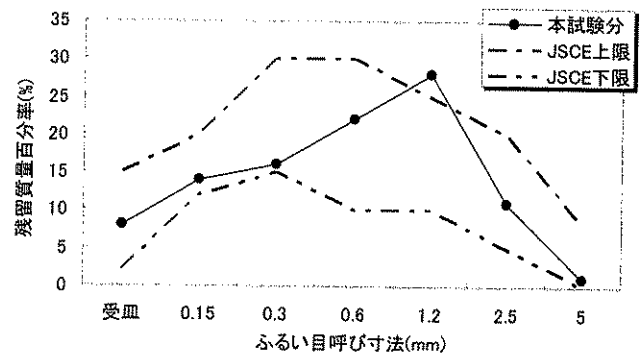


図-2.1 細骨材の粒度分布

表-2.2 配合条件

粗骨材最大寸法	40mm (ウェットスクリーニング後)
目標 VC 値	20±10 秒
目標空気量	1.5±1%
細骨材率	28%
単位水量	79kg/cm <sup>3</sup>
AE 減水剤	(セメント+混和材)の 0.3%

### 2.2.3 試験方法

打継目処理方法による打継目強度の違いを評価するため、表-2.3 に示す打継目処理方法により供試体を作製した。供試体作製時の配合を表-2.4 に示す。

表-2.3 打継目処理方法一覧

供試体条件	打継ぎ時間 (hr)	処理方法
均一部	—	打継ぎ目のない一体の供試体とする。
無処理	24、72	下層部供試体を作製後、上層部供試体を打継ぐ4時間前に表面のゴミを洗い流し、打ち足す。
清掃+モルタル	24、72	下層部供試体を作製後、上層部供試体を打継ぐ4時間前に低圧力(0.3MPa程度)の水でコンクリート表面を清掃し、打継ぎ時間直前にモルタルを敷き、打ち足す。
清掃+処理剤	24、48、72	下層部供試体作製後、1時間後に打継目処理剤を塗布し、上層部供試体を打継ぐ4時間前に低圧力(0.3MPa程度)の水でコンクリート表面を清掃し、打継ぎ時間において打ち足す。

表-2.4 配合

材料	W/(C+F) (%)	F/(C+F) (%)	S/a (%)	C+F+W (kg)	単位置 (kg/m <sup>3</sup> )					FA用AE剤 (g)
					C	F	W	S	G1	
コンクリート	65.8	30	35.4	243.8	103	44	97	776	1419	441
モルタル	60	30	100	750	-	-	-	-	-	-

処理方法は、均一部、無処理、清掃+モルタル、清掃+処理剤の4種を用いた。今回の清掃(水洗い)は、通常の水道水圧で、ホースの先をつまんだ程度水流(水圧0.3MPa程度)で行うものであり、また清掃を行う時間も10秒程度で行っており、時間も短いことから、グリーンカットには相当しない。

なお、既往の試験結果<sup>9)</sup>より、グリーンカット・清掃・モルタル敷きという通常の打継目処理を行なった場合には、本検討の均一部のケースと同程度の強度が得られると考えられる。

処理剤の使用量は、標準使用量の約1.5倍使用したが、これは供試体表面の外周に近い部位での散布むらをなくすために供試体の外側まで散布した量を含んだ値であり、実際に供試体表面での散布量は標準を大きく超えているものではない。

強度試験は、一軸圧縮強度試験、簡易一面せん断強度試験及び直接引張強度試験を行った。すべての強度試験は、材齢28日とした。供試体作製時において、上下に分離する型枠を用い、一軸圧縮強度試験及び直接引張強度試験用には、直径20cm、高さ20cmの円柱供試体、簡易一面せん断強度試験用には直径19cm、高さ19cmの円柱供試体を作製し、下層部供試体作製後、打継ぎ時間までは封緘養生、脱型後20℃の水中養生を行った。各打継条件での強度試験の供試体の本数は、一軸圧縮強度試験は3本、簡易一面せん断強度試験はせん断角度2種類(35°、20°)を5本づつ、直接引張強度試験は5本とした。

供試体は下層部供試体作製後、打ち継ぎ時間までは封緘養生、脱型後20℃の水中養生を行った。

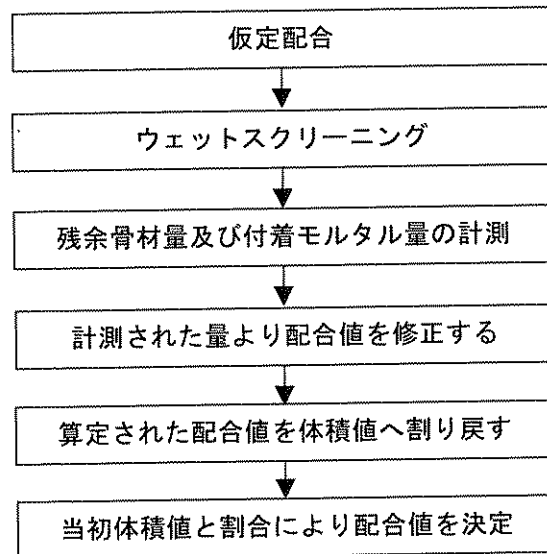


図-2.2 配合値決定過程

## 2.3 試験結果

### 2.3.1 密度と締め固め時間

表-2.2に示されるフレッシュ性状(目標VC値、目標空気量)を満足する配合条件でのタンパ締め固めによる密度と締め固め時間の関係を図-2.3に示す。図によると、直径19cmでは、締め固め時間60秒で密度が収束しており、高い密度を保つための時間としては60秒が最適な締め固め時間となっているが、直径19cmの供試体型枠で締め固めを行った際、締め固め時間50秒で骨材に一部破砕が見られたため、締め固め時間を40秒とした。また、直径20cmでは、直径19cmと同程度の密度とするため、図より締め固め時間を40秒とした。

### 2.3.2 圧縮強度

一軸圧縮強度試験結果を図-2.4 に示す。

均一部とした供試体における圧縮強度は、 $19.72\text{N/mm}^2$  の結果を得た。今回一軸圧縮強度試験を行った供試体は標準供試体 ( $\phi 15\text{cm} \times h 30\text{cm}$ ) ではないため、JIS A 1107-1993 に準じて供試体形状による補正を行い標準供試体相当の強度を算出すると、 $17.55\text{N/mm}^2$  となる。図-2.4 に示した値を含めて、以下に示す圧縮強度は補正後の値である。

処理剤を用いたケースでは、打継目面と圧縮強度の載荷方向は直交しており打継目面の状態が圧縮強度に影響をしにくいと思われるが、圧縮強度の低下が見られた。

### 2.3.3 せん断強度

簡易一面せん断強度試験結果については、試験の角度を  $20^\circ$  と  $35^\circ$  の2ケースよりせん断強度を評価した。その結果を表-2.5 及び図-2.5、2.6 に示す。図-2.6 には均一部のせん断試験結果と一軸圧縮強度試験結果に基づくモールの応力円を併せて示している。

処理剤を用いた供試体については、せん断用治具

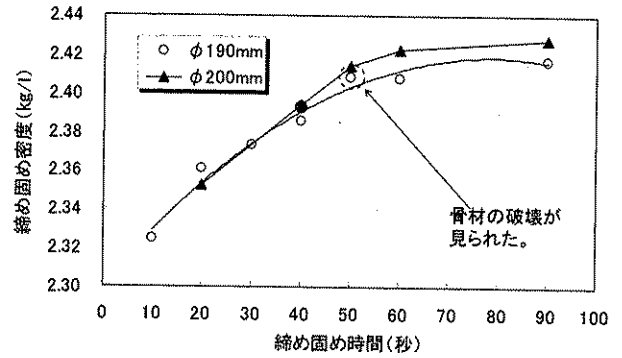


図-2.3 締め固め密度結果

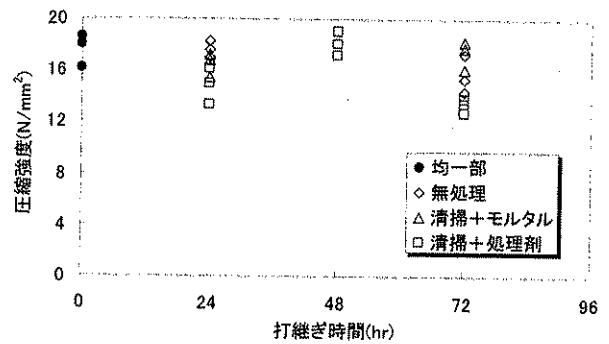


図-2.4 圧縮強度試験結果

表-2.5 せん断試験結果一覧

ケース	打継ぎ時間 (hr)	材令 (日)	純せん断強度 $\tau_0$ (N/mm <sup>2</sup> )	摩擦係数 f	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )
均一部	-	28	3.21	1.08	17.55	1.00
無処理	24	28	0.77	1.20	17.60	0.57
	72	28	0.31	1.32	15.69	0.27
清掃+モルタル	24	28	4.18	0.91	16.46	0.85
	72	28	2.95	0.90	17.36	0.86
清掃+処理剤	24	28	0.01	1.00	14.76	-
	48	28	0.01	1.00	18.10	-
	72	28	0.01	1.00	13.28	-

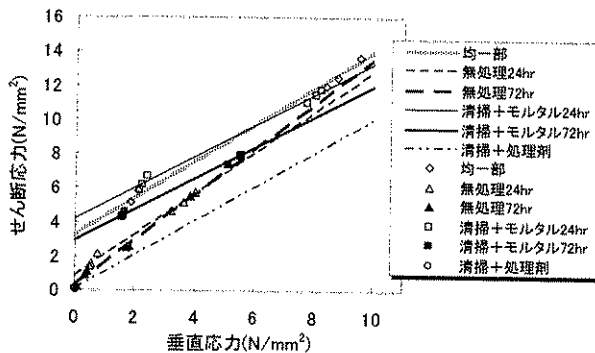


図-2.5 せん断試験結果

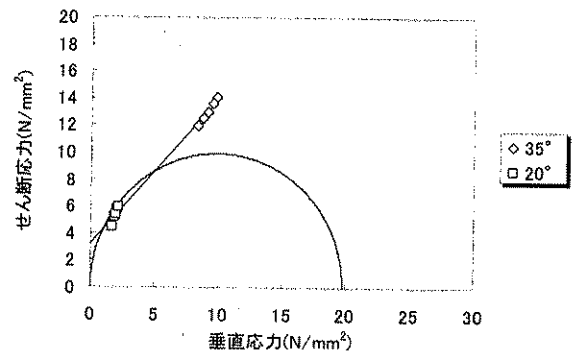


図-2.6 均一部せん断強度

を供試体に載せた段階で供試体の打継目からの破壊が発生した。そこで、せん断用治具の重量が作用した時点で破壊が生じたと考え、せん断試験の結果からは内部摩擦係数は打継目処理条件により大きく影響はされないことから内部摩擦係数を1と仮定した場合の純せん断強度を算出している。また、内部摩擦係数を1と仮定した場合のせん断強度を表-2.6及び図-2.7に示す。内部摩擦係数を1に固定して比較すると、無処理供試体においては、打継ぎ時間24時間で純せん断強度は均一部のおよそ35%であり、72時間となると28%まで低下している。また、敷きモルタルを行ったものは、打継ぎ時間24時間において純せん断強度は均一部の約93%であり、打継ぎ時間72時間でも約64%期待できる。

### 2.3.4 引張強度

直接引張強度試験は、図-2.8に示す帽子型の治具にはめ込む形の試験用治具を用いた。接着においては、エポキシ系の接着剤を用いた。

強度試験結果を、表-2.7、図-2.9に示す。均一部、あるいは清掃+モルタルのように打継目の強度が高いものは、打継目ではなく帽子型の治具の端部付近で破壊が発生する結果となった。これは、治具端部の応力集中が影響したものと考えられる。

また、打継目処理剤を用いた供試体においては、せん断強度と同じく、試験機に設置した際に、供試体の自重及び治具の重さで打継目より破壊した。そこで、引張用治具の重量が作用した時点で破壊が生じたと考えた場合の強度を示している。

表-2.6 せん断強度比較 (f=1 固定)

ケース	打継ぎ時間 (hr)	材令 (日)	純せん断強度 $\tau_0$ (N/mm <sup>2</sup> ) (割合 (%))	摩擦係数 f
均一部	-	28	3.83 (100.00)	1.00
無処理	24	28	1.35 (35.31)	1.00
	72	28	1.08 (28.20)	1.00
清掃+モルタル	24	28	3.57 (93.21)	1.00
	72	28	2.47 (64.37)	1.00
清掃+処理剤	24	28	0.01 (0.26)	1.00
	48	28	0.01 (0.26)	1.00
	72	28	0.01 (0.26)	1.00

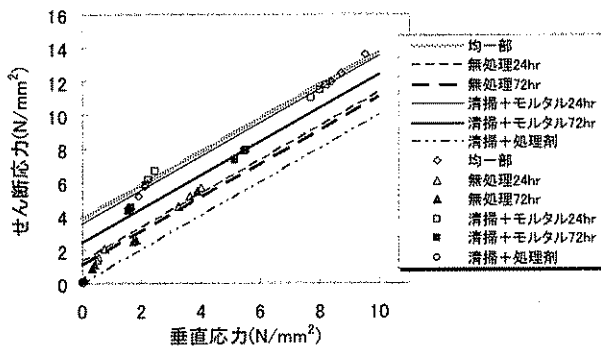


図-2.7 せん断強度 (f=1 固定)

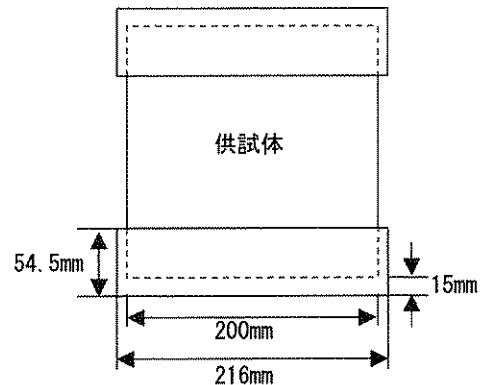


図-2.8 引張用治具簡略図

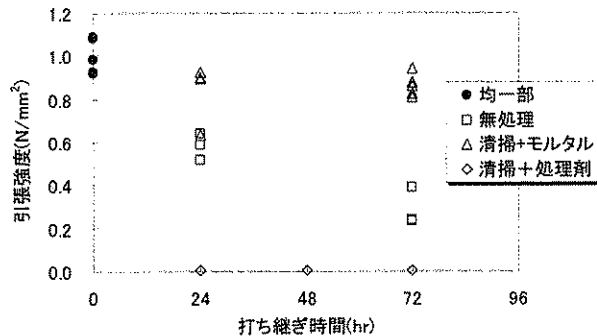


図-2.9 直接引張り強度試験結果

表-2.7 引張強度試験結果一覧

ケース	打継ぎ時間 (hr)	材令 (日)	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	(割合(%))
均一部	-	28	1.00	(100.00)
無処理	24	28	0.57	(57.01)
	72	28	0.27	(26.52)
清掃+モルタル	24	28	0.85	(85.11)
	72	28	0.86	(86.41)
清掃+処理剤	24	28	0.005	(0.50)
	48	28	0.005	(0.50)
	72	28	0.005	(0.50)

引張強度については、無処理供試体は、打継ぎ時間 24 時間で均一部の約 60%であり、72 時間となると 27%程度まで低下する。また、清掃+モルタルにおいては、24 時間、72 時間ともに均一部の 80%を越す強度が得られている。

### 2.3.5 試験後の供試体観察

28 日強度試験後の供試体観察において、処理剤塗布箇所が弱層となっている箇所があり、それが本試験における処理剤を用いた供試体の強度低下の原因と考えられる。強度試験後の破断面を圧力水で時間を掛けて清掃したところ、さらに厚さ 5mm 程度の除去が行えた。

## 2.4 まとめ

本試験において、得られた結果を以下にとりまとめる。

- ①打継目を無処理で打継いだ場合、打継ぎ時間 24 時間では、一体打設の場合と比較して、純せん断強度で約 35%、直接引張強度で約 57%の値となった。
- ②モルタル処理を行う場合には、グリーンカットを行わず簡易的な清掃処理を行なっただけで、打継ぎ時間 24 時間時点で均一部と比較して、純せん断強度で 90%以上、直接引張試験結果においても 80%以上の強度を得られた。また、打継ぎ時間 72 時間においては均一部と比較して、直接引張試験結果においては 80%以上の強度を保持していたが、せん断強度では約 60%の値となった。
- ③打継目処理剤を利用した場合、無処理に比較しても小さな強度となった。打継目処理剤を用いる際には、面の清掃ではなく、グリーンカットを併用する必要があると推察される。ただし、28 日経過した後でもグリーンカットを行えることから、長期放置打継目の対策には非常に有効であると考え

られる。

打継目に要求される強度性能は、ダムの堤高や堤体内での位置（標高、上下流面からの距離）によって異なる。そこで、それらを個々のダムで詳細に検討した上で、適用可能な処理方法を考えていく必要がある。

### 3. 高流動コンクリートを本体コンクリートに適用するための検討

#### 3.1 試験目的

コンクリートダム堤体内に設置される放流管や監査廊、堤内仮排水路などの周辺には多くの鉄筋が複雑に配置される。この部分について確実な施工を行うためには多くの人力と工期を必要とし、ダム施工全体の速度に影響を及ぼすこととなる。そのため、この部分に自己充填性能を有する高流動コンクリートを利用することは、施工の省力化と施工のスピードアップの点から極めて有効であり、既に多くのダムで高流動コンクリートが用いられている。

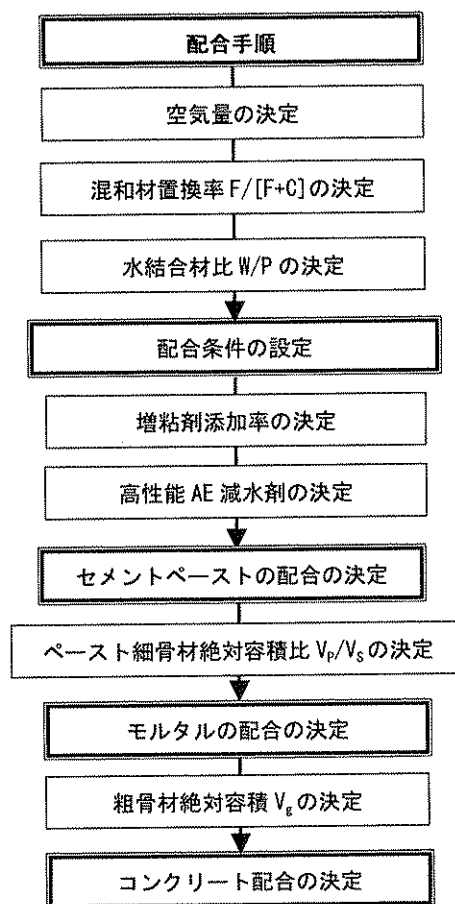
しかし、ダム本体施工において高流動コンクリートの適用範囲を広げる事を考えた場合、ダム用高流動コンクリートの性能としては、通常の高流動コンクリートと同じように、所要の流動性、自己充填性、材料分離抵抗性を有する必要がある、さらに、マスコンクリートであることから温度ひび割れを抑制できることが要求される。コンクリートの発熱量を低減するには、使用セメント量を減らすことが有効でありそのためには、骨材最大寸法を大きくする、多量の混和材を用いることなどの方策がある<sup>6)7)</sup>。

本調査では、使用する粗骨材の最大寸法を大きくし、フライアッシュ置換率を高めた高流動コンクリートのフレッシュ性状、硬化後性状についての試験を行い、ダム本体コンクリートへの高流動コンクリートの適用可能性について検討を行った。

#### 3.2 配合設計手法について

##### 3.2.1 配合設計手順

ダム構造物チームで提案しているコンクリートのダム用高流動コンクリートの配合設計手順を図-3.1に示す。配合設計における基本思想は、「高流動コンクリートが所要の流動性と材料分離抵抗性、自己充填性を得るためには、適切な品質のモルタルを選定する必要があり、さらに適切な品質のモルタルを得るためには適切な品質のセメントペーストを得る必要がある」という考え方である<sup>8)9)</sup>。このような考え方から、配合の第1段階では、セメントペーストの配合選定試験を行いセメントペーストの配合を決める。第2段階では、モルタルの配合選定試験を実施してモルタルの適切な配合を決定する。そして、第3段階でコンクリートの配合選定を実施して高流動コンクリートの最終的な配合を決定する。このような段階的手順を採用する理由は通常よりかなり大き



F=フライアッシュの質量  
 C=セメントの質量  
 W=水の質量  
 Vp=セメントペーストの絶対容積  
 Vs=細骨材の絶対容積  
 Vg=粗骨材の絶対容積

図-3.1 配合手順のフロー

な骨材を用いた高流動コンクリートまで配合することを目的としているためである。

##### 3.2.2 モルタル配合を決定する試験方法

モルタル配合試験においては、増粘剤添加率と高性能 AE 減水剤添加率を変化させて、セメントペースト配合を選定し、その後ペースト細骨材絶対容積比を変化させモルタル配合の選定を行う。適切な品質のセメントペーストを得るためには、増粘剤添加率を適切に選定することが重要である。増粘剤の添加目的は、材料分離抵抗性の確保である。増粘剤添加率決定後、高性能 AE 減水剤添加率の選定を行う。高性能 AE 減水剤の添加目的は、所要の流動性の確保である。

その後、選定したセメントペースト配合を用いて、

モルタルの配合を決定する。良好な品質のモルタルを得るには、細骨材の容積割合（以下、ペースト細骨材絶対容積比という）を適切に選定する必要がある。このため、モルタル中のペースト細骨材絶対容積比を変化させて、モルタルの流動性と材料分離抵抗性をモルタルフロー試験により評価した。

次に、モルタルフロー試験で求めたモルタル配合を有するコンクリートの性状を確認するため標準スランプフロー試験を実施した。モルタル配合の選定において作製したコンクリートの配合は骨材最大寸法を 40mm とし、粗骨材絶対容積を  $330\text{l/m}^3$  に設定した。

モルタル配合の選定においては、流動性と材料分離抵抗性を評価基準とした。ペーストとモルタルの流動性は、モルタルフロー試験(JIS R 5201)により評価した。ただし、高流動コンクリートを対象としているため、フローテーブルに与える落下運動の回数を 0 回としてフロー値を測定した。

コンクリートの流動性は、標準スランプフロー試験(JIS A 1150)により評価した。これは骨材最大寸法が 40mm までのコンクリートを対象とした流動性の試験である。

モルタルの材料分離抵抗性は、モルタルフロー試験後のモルタルの状態に基づいて評価した。表-3.1 に示す基準によりモルタル中の細骨材とセメントペーストの分布状況を 5 段階にわけて評価する。

コンクリートの材料分離抵抗性は、標準スランプフロー試験後に評価した。表-3.2 に示す基準によりコンクリート中のモルタルと粗骨材の分布状況を 5 段階にわけて評価する。

### 3. 2. 3 コンクリート配合を決定する試験方法

良好なモルタル配合を決定した後、粗骨材絶対容積を変化させ高流動コンクリートの性状について調査した。コンクリートの評価はフレッシュ性状、硬化後性状について行った。

フレッシュ性状試験は、標準スランプフロー試験に加え、充填性の調査を行う目的で、高流動コンクリートの充填装置を用いた間隙通過性試験(以下 U 型充填試験)、流動性の調査を行う目的で、大型スランプフロー試験を行った。

大型スランプフロー試験とは、土木研究所で考案した、骨材最大寸法  $G_{\text{max}}$  が 80mm までの高流動コンクリートを対象とした試験である。大型スランプフロー試験の概要図を、図-3.2 に示す。大型スランプフロー試験は、内径 30cm、高さ 70cm の円柱容器

表-3.1 材料分離抵抗性の評価基準  
(モルタルフロー試験)

評価点	評価基準
5	細骨材が先端部まで均一に分布しており、ペーストの先走りが見られない。
4	先端部の細骨材量がやや少ないが、ペーストの先走りが見られない。
3	先端部の細骨材量がやや少なく、全体に細骨材の沈み込みが見られるが、ペーストの先走りが見られない。
2	細骨材が中心部に集中しており、ペーストがやや先走っている。
1	ペースト分だけが流動している。

表-3.2 材料分離抵抗性の評価基準  
(コンクリートのフロー試験)

評価点	評価基準
5	粗骨材がフロー先端部まで均一に分布している。
4	フロー先端部の粗骨材量がやや少ない。
3	フロー先端部の粗骨材量が少ない。
2	粗骨材がフロー中心部に集中している。
1	モルタル分だけが流動している。

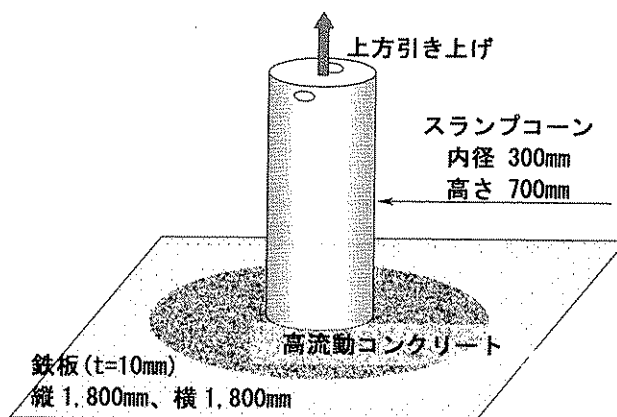
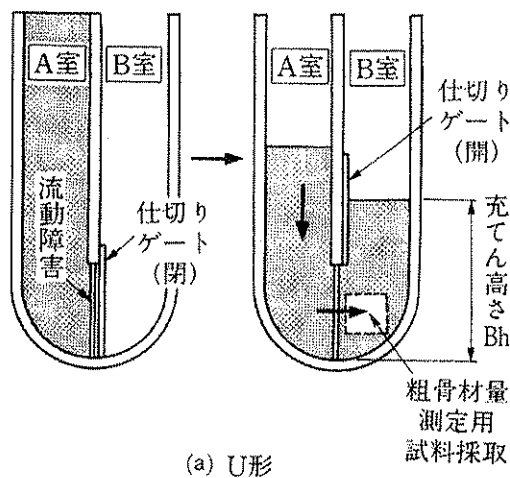


図-3.2 大型スランプフロー試験装置



(a) U形

図-3.3 高流動コンクリートの充填装置を用いた間隙通過性試験(U型充填試験)<sup>10)</sup>



中に高さ 60cm まで高流動コンクリートを詰めて試験容器をクレーンで引き上げて試験を行う。

U型充填試験とは、土木学会規準 (JSCE-F 511) に準拠した試験であり、図-3.3 に示すような充填装置を用いて行う。なお、本調査において、U型充填試験は粗骨材最大寸法  $G_{max}=40\text{mm}$  の高流動コンクリートを対象としたため、流動障害を取り外して実施した。

硬化後の強度確認は圧縮強度試験 (JIS A 1108) により、行った。

ダム用の高流動コンクリートに要求される耐久性の対象としては、気象作用、化学作用、すりへり作用が挙げられる。本試験では、これら項目のうちダムコンクリートに気象作用が及ぼす影響調査を目的として、凍結融解試験 (JIS A 1148) を実施した。

### 3.3 高流動コンクリートの特性調査のための配合条件

土木学会コンクリート標準示方書「ダムコンクリート偏」では、耐凍害性をもとにして定められる水結合材比の上限値について、「気象作用が厳しく、凍結融解作用がしばしば繰り返される場合。その他、同等の厳しい環境にさらされる場合」の水結合材比は 60% と定められている。

本調査においては、ダムの外部・内部コンクリートのみ適用することを考慮した、所要の強度・耐凍害性を得られると推測される配合として、水結合材比  $W/(C+F)$  を 50%、60% に、フライアッシュ置換率  $F/(C+F)$  をそれぞれ 30%、40%、50% と設定し、ダムの内部コンクリートに適用することを考慮した配合として、水結合材比  $W/(C+F)=80\%$ 、フライアッシュ置換率  $F/(C+F)$  をそれぞれ、0%、30%、60%、80% と設定し、ダム用高流動コンクリートの配合設計を行った。

良質なモルタルを選定した後、粗骨材最大寸法 40mm の骨材を用い、粗骨材絶対容積を 290l~450l 変化させたコンクリートの性状試験を行った。ペースト配合条件を表-3.3、モルタル配合条件を表-3.4、コンクリート配合条件を表-3.5 に示す。

次に、試験で使用した材料及び物性値を表-3.6 に示す。セメントは中庸熟ポルトランドセメントを使用し、混和剤として、ポリカルボン酸塩系高性能 AE 減水剤配合、水溶性セルロースエーテル系増粘剤を使用した。

表-3.3 ペーストの配合

水結合材比 $W/(C+F)$ (%)	50, 60	80
フライアッシュ置換率 $F/(C+F)$ (%)	30, 40, 50	0, 30, 60, 80
高性能 AE 減水剤 (%) / (C+F)	1~1.4	0.8~0.95
増粘剤 (%/W)	0.2~0.5	0.3~0.8
ペースト細骨材絶対容積比 $V_p/V_s$	一定値に仮定	一定値に仮定

表-3.4 モルタルの配合

水結合材比 $W/(C+F)$ (%)	50, 60	80
フライアッシュ置換率 $F/(C+F)$ (%)	30, 40, 50	0, 30, 60, 80
高性能 AE 減水剤 (%) / (C+F)	セメントペースト配合の設定時に決定	
増粘剤 (%/W)		
ペースト細骨材絶対容積比 $V_p/V_s$	0.8~1.0	0.8~0.9

表-3.5 コンクリートの配合

水結合材比 $W/(C+F)$ (%)	50, 60	80
フライアッシュ置換率 $F/(C+F)$ (%)	30, 40, 50	0, 30, 60, 80
高性能 AE 減水剤 (%) / (C+F)	セメントペースト配合の設定時に決定	
増粘剤 (%/W)		
ペースト細骨材絶対容積比 $V_p/V_s$	モルタル試験にて決定	
粗骨材絶対容積 $V_g$ (l/m <sup>3</sup> )	290, 330, 370, 410	330, 370, 410, 450

表-3.6 使用材料および物性値

使用材料	種類および特性
セメント	・中庸熟ポルトランドセメント (比重=3.21、比表面積=3,010cm <sup>2</sup> /g)
フライアッシュ	・電発フライアッシュ磯子産 (比重=2.29、比表面積=3,260cm <sup>2</sup> /g)
細骨材	・笠間産砂岩 (比重=2.638、吸水率=1.12%、粗粒率=2.81、実積率=65.5%)
粗骨材	・笠間産砂岩 (比重=2.677、吸水率=0.50%、 $G_{max}=40\text{mm}$ の時：粗粒率=7.30、実積率=62.0%)
混和材	・高性能 AE 減水剤 (ポリカルボン酸塩) ・増粘剤 (水溶性セルロースエーテル) ・AE 助剤 (アニオン系界面活性剤)

### 3. 4 フレッシュ性状に関する配合試験結果

#### 3. 4. 1 セメントペースト及びモルタルの配合決定とモルタルのフレッシュ性状特性

##### 3. 4. 1. 1 モルタル配合選定手順の例

水結合材比  $W/(C+F)=50\%$ 、フライアッシュ置換率  $F/(C+F)=40\%$ の配合(表-3.7)を例にして、モルタルの配合選定の流れを示す。

表-3.7 ペーストの配合例

水結合材比 $W/(C+F)$ (%)	50
フライアッシュ置換率 $F/(C+F)$ (%)	40
増粘剤 (%/W)	0.2~0.5
高性能 AE 減水剤 (%/(C+F))	1~1.4
ペースト細骨材絶対容積比 $Vp/Vs$	0.85~0.95

##### 1) 増粘剤添加率の選定

図-3.4 は、表-3.7 に示した配合で作製したセメントペーストの増粘剤添加率とモルタルフローおよび材料分離抵抗性評価点の関係を示している。増粘剤添加率が増加すると材料分離抵抗性は増加するが流動性は低下する。この結果から材料分離抵抗性評価点と流動性に優れている増粘剤添加率は0.3%とした。

##### 2) 高性能 AE 減水剤添加率の選定

図-3.5 は、表-3.7 に示した配合で作製したセメントペーストの高性能 AE 減水剤添加率とモルタルフローおよび材料分離抵抗性評価点の関係を示している。高性能 AE 減水剤添加率が増加するとある一率量からフローの伸びが小さくなる。この結果から材料分離抵抗性評価点と流動性に優れている高性能 AE 減水剤添加率は1.2%とした。

##### 3) ペースト細骨材絶対容積比の選定

図-3.6 は、表-3.7 に示した配合で作製したセメントペーストのペースト細骨材絶対容積比とモルタルフロー値および材料分離抵抗性評価点の関係を示している。ペースト細骨材絶対容積比が増加するとモルタルフロー値は増加するが、材料分離抵抗性評価点は徐々に低下している。この結果からこの結果から材料分離抵抗性評価点と流動性に優れているペースト細骨材絶対容積比は0.9とした。

図-3.7 は、上記モルタル配合結果を用い作製したコンクリートのスランプフロー試験の結果を示している。図は、ペースト細骨材絶対容積比とスランプフロー値、材料分離抵抗性評価点の関係を示している。コンクリート配合を行った際、ペースト細骨材

絶対容積比が増加すると、ある点でスランプフロー値のピークが見られる。材料分離抵抗性も所用の範囲に収まっている事から、ペースト細骨材絶対容積比は0.9と考えられる。これによってモルタルの配合を決定した。

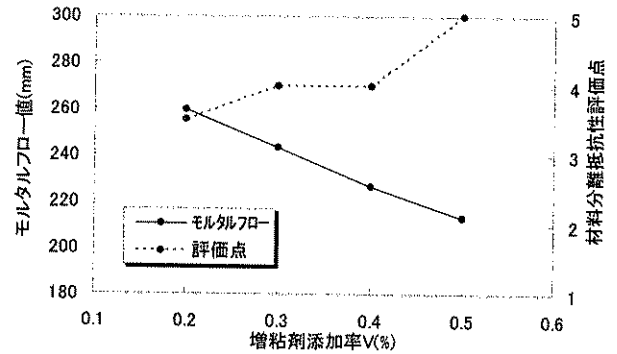


図-3.4 増粘剤添加率とモルタルフロー、材料分離抵抗性の関係

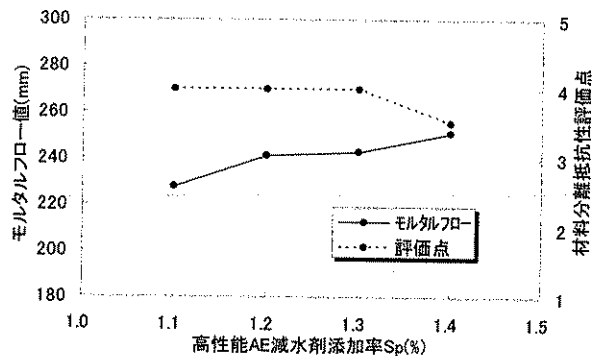


図-3.5 高性能 AE 減水剤添加率とモルタルフロー、材料分離抵抗性の関係

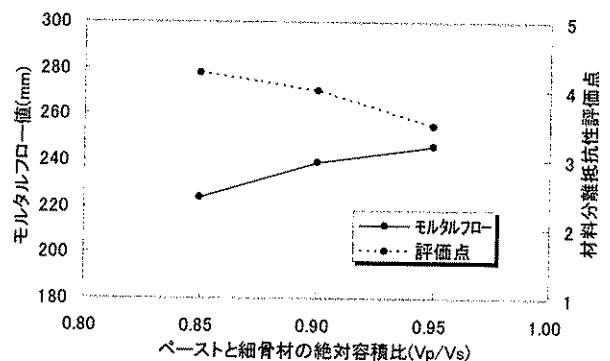


図-3.6 ペースト細骨材の絶対容積比とモルタルフロー、材料分離抵抗性の関係

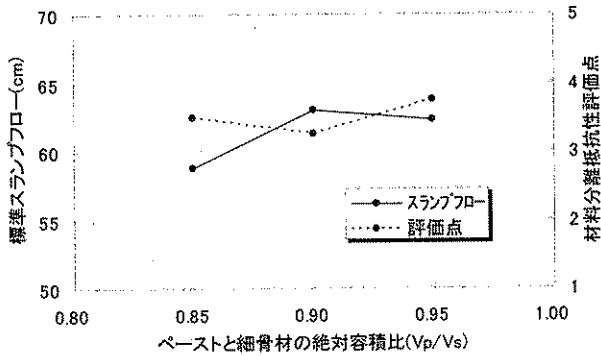


図-3.7 ペースト細骨材の絶対容積比とモルタルフロー、材料分離抵抗性の関係

### 3. 4. 1. 2 モルタル配合試験結果

3.4.1.1 では、水結合材比  $W/(C+F)=50\%$ 、フライアッシュ置換率  $F/(C+F)=40\%$  の場合の配合選定手順を示したが、同様な手順により、表-3.3 に示した配合条件に対して、選定したモルタル配合を表-3.8 に示す。

表-3.8 モルタル配合選定試験結果

水結合材比 $W/(C+F)$ (%)	50			60		
	30	40	50	30	40	50
フライアッシュ置換率 $F/(C+F)$ (%)	30	40	50	30	40	50
高性能 AE 減水剤 (%/ (C+F))	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4
増粘剤 (%/W)	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
ペースト細骨材 絶対容積比 $V_p/V_s$	0.90	0.90	0.95	0.85	0.85	0.85

水結合材比 $W/(C+F)$ (%)	80			
	0	30	60	80
フライアッシュ置換率 $F/(C+F)$ (%)	0	30	60	80
高性能 AE 減水剤 (%/ (C+F))	1.0	1.2	1.2	1.4
増粘剤 (%/W)	0.6	0.5	0.6	0.6
ペースト細骨材 絶対容積比 $V_p/V_s$	0.85	0.90	0.85	0.85

### 3. 4. 2 コンクリート配合の決定とコンクリートのフレッシュ性状

モルタル配合選定後、表-3.9 に示すように粗骨材絶対容積  $V_g$  を変化させ、コンクリートの配合選定試験を行った。試験は、標準スランプフロー、大型スランプフロー、U 型充填試験を行った。本報告では、主に大型スランプフローと U 型充填試験結果について示す。

表-3.9 コンクリート配合選定試験内容

水結合材比 $W/(C+F)$ (%)	フライアッシュ置換率 $F/(C+F)$ (%)	粗骨材絶対容積 $V_g$ ( $\ell/m^3$ )	単位セメント量 ( $kg/m^3$ )
50	30	290~410	258~212
	40	290~410	218~179
	50	290~410	185~151
60	30	290~410	224~184
	40	290~410	190~155
	50	290~410	156~128
80	0	330~450	206~166
	30	330~450	179~145
	60	330~450	97~78
	80	330~450	48~38

モルタル配合選定試験で得られたモルタル配合を用いて、粗骨材絶対容積を種々変えて作製したコンクリートの標準スランプフロー値と大型スランプフロー値の関係を図-3.8 に示す。水結合材比、フライアッシュ置換率によらず、標準スランプフロー値と大型スランプフロー値の間には直線的な関係があり、大型スランプフロー試験法が妥当な試験法であることがわかる。

流動性の試験結果として、粗骨材絶対容積と大型スランプフロー試験結果の関係を図-3.9 に示す。粗骨材絶対容積が増加すると大型スランプフローが減少する傾向を示している。

充填性の試験結果として、粗骨材絶対容積と U 型充填試験による充填高さの関係(以下、U 型充填高さと呼ぶ)を図-3.10 に示す。粗骨材絶対容積が増加すると充填高さが減少する傾向を示している。

大型スランプフロー試験結果と U 型充填試験・充填高さの相関図を図-3.11 に示す。既往の試験結果より良好な充填状態は、充填高さ 30cm 以上とされている。充填高さは大型スランプフロー値 130cm 前後で変曲点が存在しており、本試験におけるフレッシュ性状の判定基準を、充填高さ 30cm、大型スランプフロー値 130cm(標準スランプフロー値で 55~60cm) と設定すると、粗骨材量を  $410\ell/m^3$  まで増加させる(図-3.9 参照)と十分な流動性・充填性が得られないことがわかる。

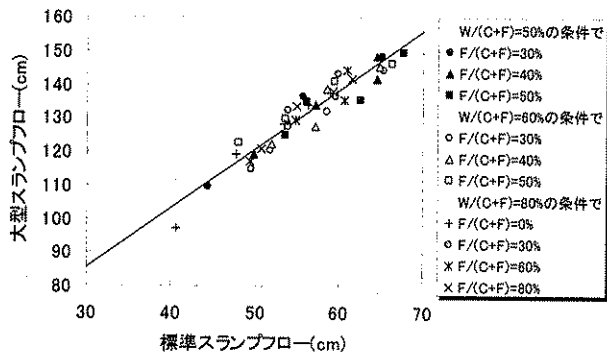


図-3.8 標準スランプフロー値と大型スランプフロー値の関係

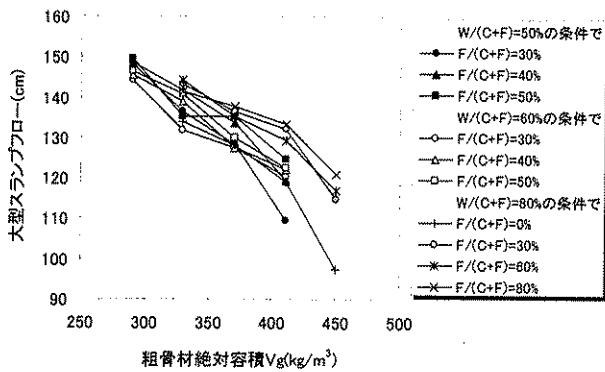


図-3.9 粗骨材絶対容積と大型スランプフローの関係

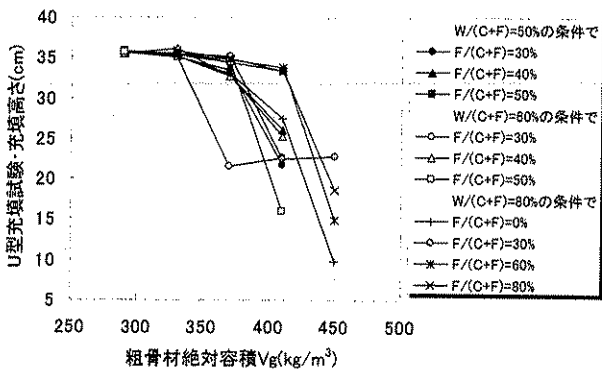


図-3.10 粗骨材絶対容積とU型充填試験・充填高さの関係

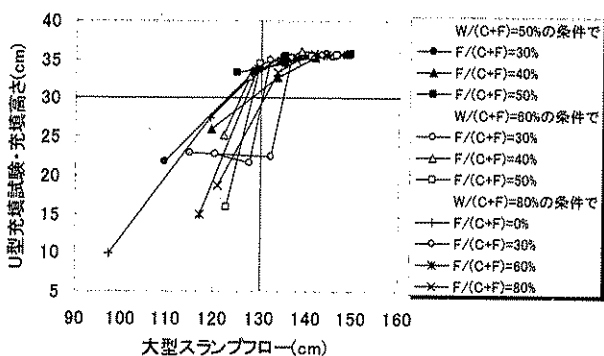


図-3.11 大型スランプフローとU型充填高さの関係

### 3. 4. 3 単位セメント量を低減させた高流動コンクリートのフレッシュ性状の特徴

本配合設計手法により得られた高流動コンクリートのフレッシュ性状について考察を行う。

単位セメント量と大型スランプフロー値の関係を、図-3.12 に示す。図は、水結合材比が異なる場合で単位セメント量の変化(粗骨材絶対容積の変化)、フライアッシュ置換率の変化が高流動コンクリートの流動性に与える影響について示したものである。

水結合材比  $W/(C+F)=50\%$  は粗骨材絶対容積の増加に伴う、大型スランプフロー値の低下割合が大きく、またフライアッシュ置換率(単位セメント量の増減)による変動幅も大きい。水結合材比  $W/(C+F)$  が増加するにしたがって、フライアッシュ置換率  $F/(C+F)$  が増加(単位セメント量が減少)しても大型スランプフロー値に与える影響は少ない。よって、水結合材比が小さいほど大型スランプフロー値、つまり流動性は粗骨材絶対容積量の変化を強く受けることがわかる。

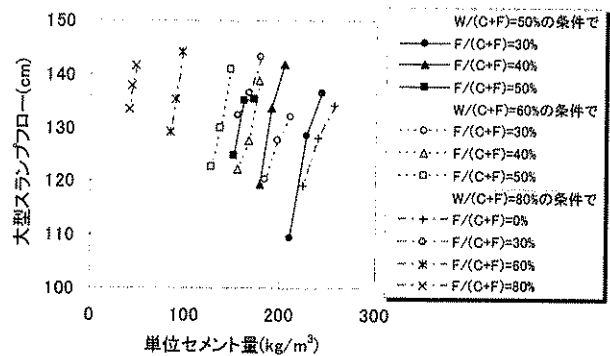


図-3.12 単位セメント量と大型スランプフローの関係

### 3. 5 硬化後性状特性

#### 3. 5. 1 一軸圧縮強度試験結果

表-3.9 に示す配合のコンクリートについて、強度を調べるために一軸圧縮試験を行った。試験時材齢は7日、28日、91日である。水結合材比  $W/(C+F)=50\%$  における単位セメント量と圧縮強度の関係を図-3.13 に、水結合材比  $W/(C+F)=60\%$  における単位セメント量と圧縮強度の関係を図-3.14 に、水結合材比  $W/(C+F)=80\%$  における単位セメント量と圧縮強度の関係を図-3.15 に示す。

水結合材比  $W/(C+F)$  にかかわらずフライアッシュ置換率  $F/(C+F)$  が増加するにしたがって、強度は低下する。同じフライアッシュ置換率  $F/(C+F)$  で粗骨材量

を変化させてもそれほど強度に影響は出ていない。単位セメント量増加による強度への影響は、水結合材比  $W/(C+F)$  が低い配合ほど影響が強いことがわかる。

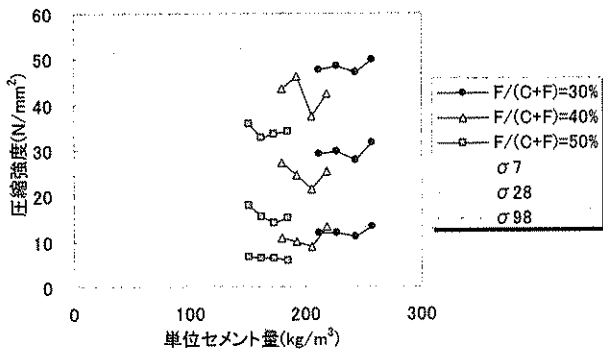


図-3.13 単位セメント量と圧縮強度の関係  
 $W/(C+F)=50\%$

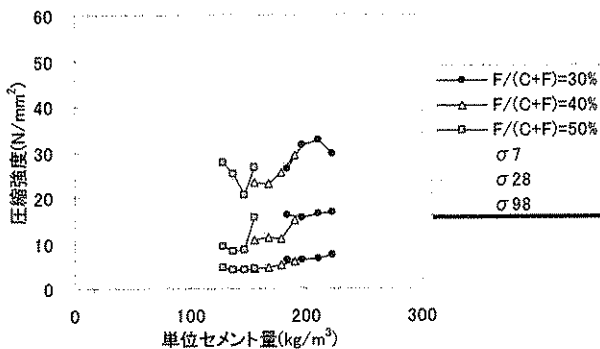


図-3.14 単位セメント量と圧縮強度の関係  
 $W/(C+F)=60\%$

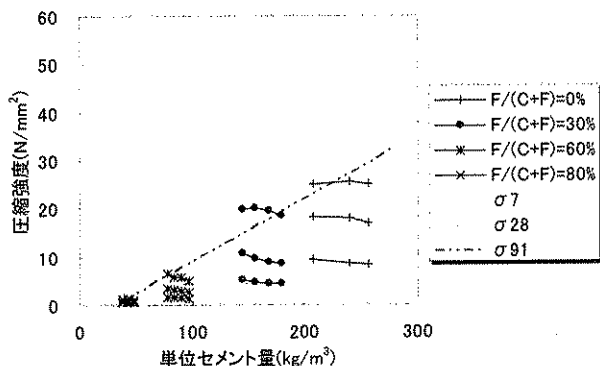


図-3.15 単位セメント量と圧縮強度の関係  
 $W/(C+F)=80\%$

### 3. 5. 2 単位セメント量を低減させた高流動コンクリートの圧縮強度の特徴

ここでは、3. 5. 1 に示した圧縮強度の特性について考察する。粗骨材絶対容積  $V_g=330\ell/m^3$  における単位セメント量と圧縮強度の関係を図-3.16 に、粗骨材絶対容積  $V_g=370\ell/m^3$  における単位セメント量と圧縮強度の関係を図-3.17 に示す。

水結合材比  $W/(C+F)$  が一定の場合の結果について比較すると、当然のことではあるが、水結合材比  $W/(C+F)$  が小さいほど、同じ単位セメント量における圧縮強度は大きい。水結合材比  $W/(C+F)$  が小さいときほど、単位セメント量が圧縮強度に与える影響が大きく、また、図-3.16 と図-3.17 を比較するとわかるように、粗骨材絶対容積が大きいと、単位セメント量が圧縮強度に与える影響が大きいことがわかる。しかし、単位セメント量が低下してくると、単位セメント量が圧縮強度に与える影響は小さくなり、初期強度については、単位セメント量が  $130\text{kg}/\text{m}^3$  台に近づくと、水セメント比にかかわらず同程度の圧縮強度を示している。

フライアッシュ置換率  $F/(C+F)$  を一定の場合の結果を比較すると、単位セメント量が圧縮強度に与える影響は、粗骨材絶対容積が多いほど顕著である。しかし、フライアッシュ置換率が大きくなると、単位セメント量が圧縮強度に与える影響は小さくなるのがわかる。

所要のフレッシュ性状・圧縮強度により、選択すべき配合は異なる。ここで、仮に、所要の大型スランプフロー値  $130\text{cm}$  以上、充填高さ  $30\text{cm}$  以上、所要の 7 日圧縮強度として型枠脱型強度の  $3.5\text{N}/\text{mm}^2$  を設定した場合、水結合材比  $W/(C+F)=60\%$ 、フライアッシュ置換率  $F/(C+F)=50\%$ 、粗骨材絶対容積  $V_g=370\ell/m^3$  の配合で、単位セメント量を  $130\text{kg}/\text{m}^3$  台まで減少させることができる。

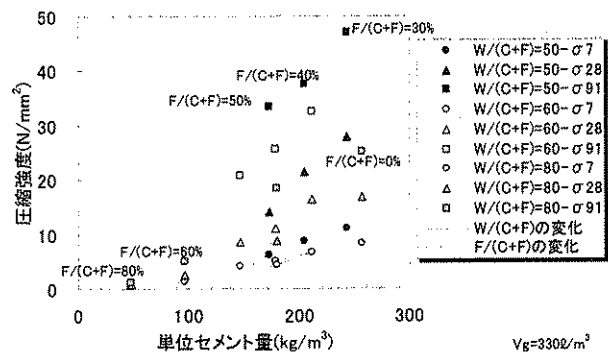


図-3.16 単位セメント量と圧縮強度の関係  
( $V_g=330\ell/m^3$ )

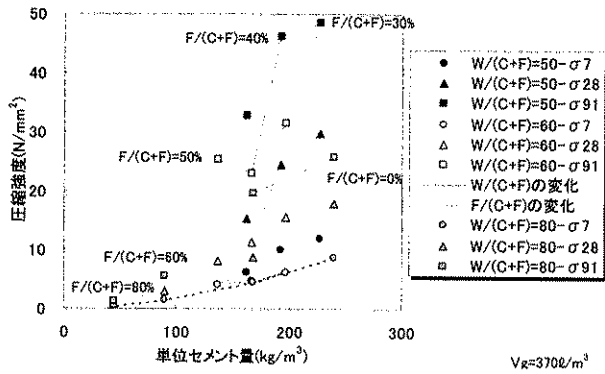


図-3.17 単位セメント量と圧縮強度の関係  
( $V_g=370\ell/m^3$ )

### 3. 5. 3 凍結融解試験結果

高流動コンクリートの水結合材比  $W/(C+F)$  及びフライアッシュ置換率  $F/(C+F)$  の耐凍害性に及ぼす影響調査を目的として、凍結融解試験を実施した。試験は、通常の凍結融解試験(水中条件)と、ダム堤体内部を模擬した気中条件について行った。気中条件は、供試体をビニール袋で密封し、試験中外部との水分移動を遮断することでダム堤体の内部状況を模擬した条件である。

試験ケースを表-3.10 に示す。試験は、粗骨材絶対容積  $V_g$  を  $330\ell/m^3$  に固定し、水結合材比  $W/(C+F)=50\%$ ・フライアッシュ置換率  $F/(C+F)=30\%$ 、 $40\%$ 、 $50\%$ 、水結合材比  $W/(C+F)=60\%$ ・フライアッシュ置換率  $F/(C+F)=30\%$ 、及び、水結合材比  $W/(C+F)=80\%$ ・フライアッシュ置換率  $F/(C+F)=0\%$ 、 $30\%$  の供試体について行った。

表-3.10 凍結融解試験ケース

$W/(C+F)$ (%)	50			60		80
$F/(C+F)$ (%)	30	40	50	30	0	30
単位C量 (kg)	242	205	168	217	257	179
W/C (%)	71	83	100	86	81	115

図-3.18 に水中条件での凍結融解試験結果、図-3.19 に気中条件での凍結融解試験結果を示す。

図-3.18 の水中条件においてはすべての試験条件において 300 サイクルで相対動弾性係数 60%以上を満たす供試体はなかった。各配合の試験結果について着目すると、 $W/(C+F)=50\%$ ・ $F/(C+F)=30\%$  及び

$W/(C+F)=80\%$ ・ $F/(C+F)=0\%$  の配合については、供試体の劣化は緩やかであるが、その他の配合については 50 サイクルまでに急速に劣化し、100 サイクル前後で供試体は動弾性係数を計測できなくなった。

図-3.19 の気中条件においては、 $W/(C+F)=50\%$ ・ $F/(C+F)=50\%$  及び  $W/(C+F)=80\%$ ・ $F/(C+F)=30\%$  配合以外は 300 サイクルにおいて相対動弾性係数が 60%以上となった。 $W/(C+F)=50\%$  の配合で見た場合、フライアッシュ置換率  $F/(C+F)$  が上がる程、劣化の進行が早いことがわかる。また、同程度のセメント量となる配合 ( $W/(C+F)=50\%$ ・ $F/(C+F)=40\%$  配合と  $W/(C+F)=60\%$ ・ $F/(C+F)=30\%$  配合、 $W/(C+F)=50\%$ ・ $F/(C+F)=50\%$  配合と  $W/(C+F)=80\%$ ・ $F/(C+F)=30\%$  配合) で比較した場合には、水セメント比の小さい配合の方が耐凍害性が高い結果となっている。

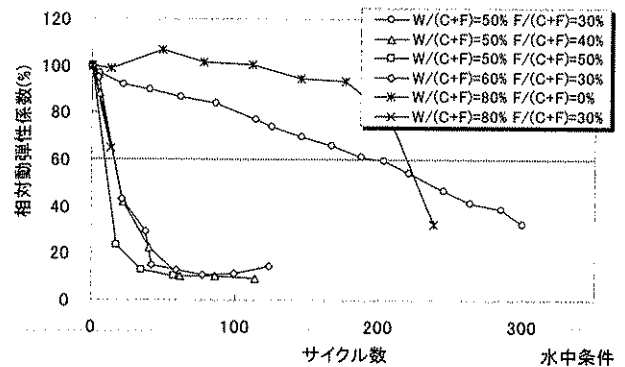


図-3.18 凍結融解試験結果(水中条件)

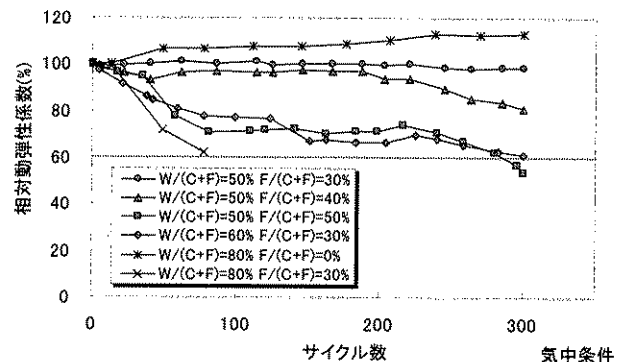


図-3.19 凍結融解試験結果(気中条件)

次に、耐凍害性と気泡間隔の相関を調べるために、水結合剤比  $W/(C+F)=50\%$ 、 $60\%$  の配合について気泡間隔係数の調査を行った。

気泡間隔係数とは、コンクリート中で平均してどれくらいの間隔で気泡が分布しているかを表す係数

である。一般に凍結融解の繰り返し作用を受ける恐れがある場合には、気泡間隔係数を  $200\mu\text{m}$  以下、気泡の大きさ  $10\sim 100\mu\text{m}$  とすることが望ましいとされている。

図-3.20 に気泡径と気泡数割合の関係を示す。図より水結合材比  $W/(C+F)$ 、フライアッシュ置換率  $F/(C+F)$  に関わらず、気泡径  $0\sim 100\mu\text{m}$  の気泡が全体の60%前後を占めており、AE剤を用いた事により、良質の独立気泡が連行されていることがわかる。

表-3.11 に、各配合における気泡間隔係数と気泡平均径を示す。試験より、気泡間隔係数は  $400\mu\text{m}$  以上と大きな結果となった。傾向については、フライアッシュ置換率  $F/(C+F)$  が小さくなるに従い、気泡間隔係数は小さくなることわかる。なお、気泡間隔係数が小さくなるに従い、気中凍結融解試験における耐凍害性も向上している。

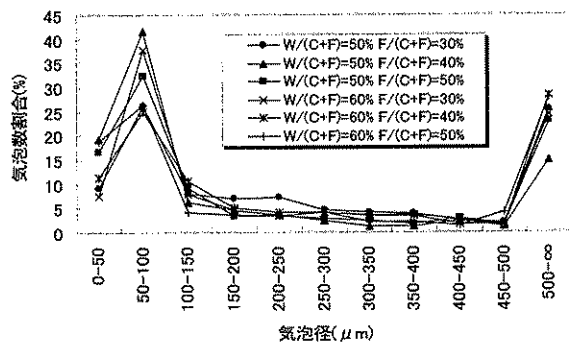


図-3.20 気泡径と気泡数割合

表-3.11 気泡間隔係数調査結果

W/(C+F) [%]	F/(C+F) [%]	気泡間 隔係数 ( $\mu\text{m}$ )	気泡平 均径 ( $\mu\text{m}$ )	凍結融解試験 (気中条件) 結果
50	30	430	410	○
	40	460	310	○
	50	490	360	× (290サイクル)
60	30	430	380	○
	40	450	470	未実施
	50	560	410	未実施

### 3.6 高流動コンクリートを本体コンクリートに適用するための検討まとめ

本調査は、良好な流動性、材料分離抵抗性と自己充填性が得られる高流動コンクリートの配合設計方法を紹介し、骨材最大寸法  $40\text{mm}$  の増粘剤系高流動高流動コンクリートの特性に関する研究成果について述べたものである。本調査の成果をまとめると以下のとおりである。

- (1) フレッシュ性状において、水結合材比が小さいほど、粗骨材絶対容積量の変化を強く受ける。
- (2) 強度に強い影響を与えるのは水結合材比であり、水結合材比が小さいほうがフライアッシュ置換率の影響を受けやすい。
- (3) 強度について、フライアッシュ置換率  $F/(C+F)$  を一定の場合の結果を比較すると、単位セメント量が圧縮強度に与える影響は、骨材量が多いほど顕著である。
- (4) フレッシュ性状試験及び強度試験結果より、水結合材比  $W/(C+F)=60\%$  の配合において、フライアッシュ置換率  $F/(C+F)=50\%$  を高めることによって、単位セメント量を  $130\text{kg}/\text{m}^3$  台まで低減することができた。
- (5) 気中条件における凍結融解試験では、同じ水結合材比であれば、フライアッシュ置換率が小さいほど、また、同程度のセメント量であれば、水結合材比  $W/(C+F)$  が小さいほど耐凍害性が高いことが確認できた。

#### 4. まとめ

本調査ではコンクリートダムのさらなる工期の短縮とコストの削減を目指した合理化施工手法およびそれを達成するための設計手法の提案を行うために、「RCD工法の効率化」、「高流動コンクリートのコンクリートダム本体へ適用」の二つの課題について検討を行った。

その結果、それぞれの課題について、以下のような結論を得た。

##### ・「RCD工法の効率化に関する検討」

モルタル敷きを行えば、グリーンカットを行わずにある程度の打設間隔時間まで打継目の強度を確保できるという結果が得られた。また、打継目処理剤を用いる際には、打継目の簡易な清掃ではなく、打継目処理剤の影響範囲を除去する必要がある。ただし、打継目処理剤を使用した場合は、28日経過した後でもグリーンカットを行えることから、長期放置打継目の対策には非常に有効である。

打継目に要求される強度性能は、ダムの堤高や堤体内での位置（標高、上下流面からの距離）によって異なる。そこで、それらを個々のダムで詳細に検討した上で、適用可能な処理方法を考えていく必要がある。

##### ・「高流動コンクリートをダム本体コンクリートに適用するための検討」

フレッシュ性状、圧縮強度の条件からは単位セメント量  $130\text{kg/m}^3$  程度まで低減できることがわかった。

本配合手法により作製されたダム用高流動コンクリートを、内部コンクリートに適用し、耐凍害性を得るためには、水結合材比を下げフライアッシュ置換率を上げることが、耐凍害性を得ながら単位セメント量を低減する上で有効であることがわかった。堤体内部にあっても、耐凍害性が必要な部位への利用の際には、その必要レベルに応じて、セメント量を適宜増加させることが必要となる。

本調査で得られた結果は、合理化施工の中での一つの手法である。更なる合理化を考えるには、図-4.1に示されるように、他の合理化手法との併用することが必要であると考えられる。

例えば、RCD工法の合理化の検討では、本調査によって得られた結果と薄層RCD工法との併用、本配合設計により得られたダム用の高流動コンクリートでは、プレキャスト型枠等の技術と組み合わせて使用することなどが考えられる。

今後は、本調査により得られた知見を元に、総合的な合理化案について、提案していくべきである。

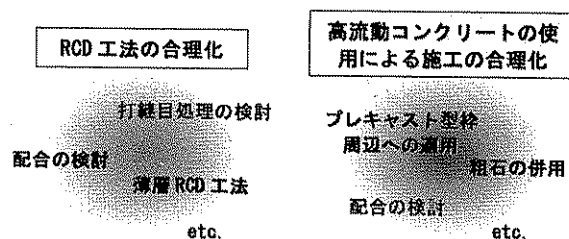


図-4.1 各課題の合理化施工への取組み

#### 参考文献

- 1) 鈴木敦、加納茂紀、原稔明：RCD工法連続打設に向けた基礎的研究、ダム工学、Vol.11, No.1, 2002
- 2) 西牧均：改良RCD工法の検討、ダム技術、No.190, 2002.7
- 3) 佐々木隆、金縄健一、山口嘉一：大規模地震時における重力式コンクリートダムのクラック進展に関する数値解析的検討、土木技術資料、Vol.45、No.6、2003.6
- 4) 土木学会コンクリート委員会、コンクリート標準示方書改訂小委員会：[2002年制定]コンクリート標準示方書、ダムコンクリート編、2002
- 5) 瀬古育二、山口温朗、自閑茂治：RCDコンクリートのせん断強度に関する検討、ダム技術、No.26, 1988
- 6) 小堀俊秀、山口嘉一、佐々木隆、町田宗久：単位セメント量を低減した高流動コンクリートの実験的検討、第29回関東支部技術研究発表会講演概要集、pp.846-847、2002.3
- 7) 小堀俊秀、山口嘉一、佐々木隆、町田宗久：単位セメント量を低減したダム用高流動コンクリートの性状、第57回年次学術講演会講演概要集、CD-ROM DISK2、VI-252、2002.9
- 8) 小堀俊秀、吉田等、佐々木隆、町田宗久、黒羽陽一郎：材料分離が高流動コンクリートに及ぼす影響、第56回年次学術講演会講演概要集、CD-ROM DISK2、VI-106、2001.10
- 9) Takashi SASAKI, Toshihide KOBORI, Yoshikazu YAMAGUCHI: "Experimental Study on Reduction of Cement Content in High-Fluidity Concrete for Massive Concrete Structures", International Symposium 'Celebrating Concrete' Role of Concrete In Sustainable Development, pp.477-487, 2003.9
- 10) 土木学会：コンクリート標準示方書基準編、pp157-159、2002