

土木研究所資料

ダム建設工事で発生するスラッジの コンクリートへの有効利用に関する 調査報告書

(3) 外部用コンクリートのワーカビリティ, 耐久性の改善

2003年3月

独立行政法人土木研究所
技術推進本部構造物マネジメント技術チーム

Copyright © (2003) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、独立行政法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

ダム建設工事で発生するスラッジの コンクリートへの有効利用に関する 調査報告書

(3) 外部用コンクリートのワーカビリティ、耐久性の改善

構造物マネジメント技術チーム	主席研究員	河野	広隆
	主任研究員	森濱	和正
	主任研究員	片平	博
	交流研究員	松浦	誠司※1
	前交流研究員	土田	克美※2

要 旨

ダム建設工事の濁水処理設備から排出される大量のスラッジは、多くの場合、産業廃棄物として処分されている。この大量に発生するスラッジをダム用コンクリートに混入したときの品質試験を行い、有効利用の可能性について検討を行なっている。

第1報では、スラッジを混入することによりコンクリートが緻密になり、圧力強度は増加し、乾燥収縮と中性化は低下することがわかった。一方、ワーカビリティはスラッジの混入量が増加すると急激に低下した。そのため、第2報では、RCD用コンクリートを対象に、混和剤を多量添加することによるワーカビリティの改善効果について検討した。

本報では、外部用コンクリートを対象に、混和剤の多量添加によるワーカビリティの改善効果、混和剤の多量添加した場合の強度に及ぼす影響、凍結融解抵抗性、長さ変化特性、中性化速度についても検討した結果を報告する。

キーワード：スラッジ、リサイクル、比表面積、外部用コンクリート、配合設計、
混和剤、ワーカビリティの改善、強度、凍結融解、長さ変化、中性化速度

※1 西松建設(株)

※2 戸田建設(株)

目 次

まえがき

研究の背景

研究目標

これまでの成果と本報の位置付け

1 章 実験目的	1
2 章 使用材料の品質	2
2. 1 使用材料	2
2. 2 粉体試験	3
2. 2. 1 試験項目	3
2. 2. 2 試験結果	3
2. 3 骨材試験	4
2. 3. 1 一般物理試験	4
2. 3. 2 細粗混合骨材の空隙特性	5
3 章 配合試験	8
3. 1 試験条件	8
3. 2 基本配合	8
3. 3 配合試験	9
3. 3. 1 試験方法	9
3. 3. 2 試験結果	9
3. 3. 3 混和剤A-aの試験結果	11
3. 3. 4 混和剤B-bおよびB-aの試験結果	11
3. 3. 5 配合の選定	12
3. 4 コンクリートのスランプとウェットスクリーニングモルタルのフロー値の関係	14
3. 5 細粗混合骨材の空隙特性と配合の関係	15
3. 5. 1 細骨混合骨材の空隙特性と流動性に及ぼすペーストの役割	15
3. 5. 2 骨材の空隙特性とかさ容積	15
3. 5. 3 スラッジ置換率とスランプの関係	16
4 章 強度試験	18
4. 1 試験方法	18
4. 2 試験結果	18
4. 2. 1 材齢, スラッジ置換率と圧縮強度, 圧縮強度比	18
4. 2. 2 空気量と圧縮強度の関係	19

5 章 凍結融解試験	21
5. 1 凍結融解試験の試験条件	21
5. 2 試験方法	21
5. 3 第 1 回および第 2 回の試験結果	22
5. 3. 1 コンクリートの配合	22
5. 3. 2 コンクリートの性状	22
5. 3. 3 第 1 回および第 2 回の凍結融解試験結果	23
5. 4 第 3 回の試験結果	25
5. 4. 1 コンクリートの配合および性状	25
5. 4. 2 第 3 回の凍結融解試験結果	25
6 章 長さ変化, 曲げ強度, 中性化深さ試験	30
6. 1 試験方法	30
6. 2 試験結果	30
6. 2. 1 質量変化, 長さ変化, 相対動弾性係数試験結果	30
6. 2. 2 曲げ強度試験結果	32
6. 2. 3 中性化深さ試験結果	33
6. 3 細孔径分布の測定結果	35
7 章 まとめ	36
スラッジ混入コンクリートの配合設計方法の提案	37

まえがき

研究の背景

ダム建設工事では、骨材製造プラントや、コンクリート製造プラント、堤体の打設面の打ち継ぎ処理（グリーンカット）などから発生する濁水には大量のスラッジが含まれている。

骨材製造プラント用濁水処理設備から発生する砕石スラッジの発生量は、全骨材の供給量に対しておよそ 15 % にも達する場合がある。さらにダムサイト用濁水処理設備においても、グリーンカットにともなうコンクリートスラッジや基礎掘削などにともなうスラッジが、コンクリート打設量に対して 2 % 程度発生している。砕石スラッジは、コンクリートスラッジの発生量に対して約 16 倍であり、スラッジ発生量の大部分を占めている。大量に発生したスラッジは、一般に産業廃棄物として取り扱われている。そのため、現在、その多くは多額の費用と手間をかけ、利用することなく処分されているのが実状である。

以上の背景をふまえ、資源の有効活用、環境負荷の低減およびコストの縮減を目的として、これらスラッジをダム用コンクリート材料として有効利用することを検討した。なお、スラッジは、細骨材に置換して使用した。

研究目標

スラッジをコンクリート材料として有効利用するためには、スラッジの品質を把握すること、特にコンクリートの品質に影響するようなスラッジの特性の把握が必要である。

スラッジを混入したコンクリートには、フレッシュ時の施工性、硬化後の強度・耐久性が要求される。このため、所要の品質が得られるような配合設計方法を確立することが必要である。

このようなことから、本研究の目標は、次の 2 点である。

- (1) スラッジの品質評価方法の確立
- (2) スラッジを混入したコンクリートの配合設計方法の確立

これまでの成果と本報告書の位置付け

本課題について、これまでに 2 回報告書を作成した。以下、最初の報告書を「第 1 報」¹⁾、2 番目の報告書を「第 2 報」²⁾と呼ぶ。

第 1 報では、①スラッジの品質に関する各種評価試験と、ダム内部用の RCD、ELCM 用コンクリート、外部用の有スランプコンクリート、構造物周りの高流動コンクリートの 4 種類のコンクリートを対象とし

1) 土木研究所資料第 3855 号、ダム建設現場で発生するスラッジのコンクリートへの有効利用に関する調査報告書(1)各種コンクリートのワーカビリティ、強度、2002 年 3 月

2) 土木研究所資料第 3880 号、ダム建設現場で発生するスラッジのコンクリートへの有効利用に関する調査報告書(2)RCD 用コンクリートのワーカビリティの改善、2003 年 3 月

た②スラッジを混入したモルタルによるワーカビリティ、強度試験、③単位水量、単位結合材量一定のもとで、スラッジを混入したコンクリートのワーカビリティ、強度、耐久性試験を行なった。

その結果、①では、スラッジの比表面積がコンクリートのワーカビリティに及ぼす影響が大きいこと、スラッジのゼータ電位もワーカビリティの評価に重要な指標になる可能性があること、混和剤が本来持っている性能を発揮しやすいかどうかについてはメチレンブルー吸着量で評価できる可能性があることがわかった。

②からは、有スランブコンクリートである ELCM 用、外部用コンクリートのワーカビリティに及ぼす影響についてはモルタルのフロー値で評価できる可能性があることがわかった。

③からは、スラッジの混入量を増やすことにより強度は増加すること、とりわけ RCD 用コンクリートの初期強度はスラッジ無混入に比べ大幅に増加することがわかった。外部コンクリートの耐久性試験の結果も、スラッジを混入量を増やすことにより乾燥収縮量、中性化深さが小さくなった。これらの理由は、細孔径分布を測定した結果、総細孔量が減少しており、スラッジ混入により緻密になったためと考えられる。

ところが、②③の実験では、水結合材比の影響を排除するため単位水量一定の条件のもとで実験を行なったので、スラッジの混入量を増やすとワーカビリティは急激に低下し、施工上実用性のないものとなった。

そこで、次の段階として、スラッジ混入による品質の改善効果を活かしながら実用的なワーカビリティを得ることが重要と考えた。そこで、硬化コンクリートの品質を低下させることなくワーカビリティを確保する方法として、混和剤を多量添加する方法を検討した。

その最初の試みとして、第2報では、RCD 用コンクリートを対象に、スラッジの置換率と混和剤の種類、添加率を変化させたときのワーカビリティ、強度試験を行なった。その結果、混和剤の種類によってワーカビリティの改善効果が異なること、スラッジの置換率に対して混和剤の添加率を調整することでワーカビリティを制御することができること、遅延形の混和剤の多量添加により初期材齢時の強度増加は期待できそうにないが、長期材齢では強度増加が期待できることがわかった。

本報では、外部用コンクリートについて、第2報と同様に、スラッジの置換率と混和剤の種類、添加率を変化させたときのワーカビリティ、強度試験に加え、長さ変化試験、中性化深さの測定、凍結融解試験などの各種耐久性試験を行なった。

また、これらの成果から、目標である①スラッジの品質評価方法、②スラッジを混入したコンクリートの配合設計方法について提案した。

1 章 実験目的

ダムの外部用コンクリートを対象に、スラッジの置換にともなうコンシステンシーの低下を抑え、ワーカビリティを確保する方法として、混和剤の多量添加について検討した。また、混和剤の多量添加が強度および耐久性に及ぼす影響について検討した。具体的な検討内容を以下に示す。

ダムの外部用コンクリートを対象に、硬化コンクリートの品質を低下させることなくワーカビリティを確保する方法として、混和剤を多量添加する方法が有効かどうかを検討することが第 1 の目的である。また、混和剤の多量添加が強度に及ぼす影響、耐久性について検討した。より具体的には、以下のことを明らかにするために実験を行なった。

(1) スラッジの品質評価試験

第 1 報、第 2 報では同じ U ダム建設現場で使用している骨材と、その骨材製造時に発生したスラッジを用いて実験した。本報では、T ダム建設現場から骨材およびスラッジを入手し、それら骨材・スラッジについて、新たに各種品質試験を行ない、それらの品質とコンクリートの品質(主にフレッシュ時の施工性と硬化後の圧縮強度、耐久性)の関係を求め、スラッジの品質評価に必要な品質試験を明らかにする。

(2) スラッジの置換率と混和剤の種類・添加率がワーカビリティ、空気量に及ぼす影響

単位水量、単位結合材量一定のもとで、スラッジの置換率を変化させたとき、混和剤の種類、添加率を変化させることによって所要のワーカビリティ、凍結融解抵抗性が確保できるだけの空気量を得ることができるかの確認を行なう。

また、モルタルによる簡易なワーカビリティの評価方法についても検討する。

(3) 硬化コンクリートの品質

強度および各種耐久性については、スラッジの置換率、混和剤の種類・添加率、スラッジの状態(ケーキ状、乾燥粉末状)の影響について検討する。

また、第 1 報で報告した長さ変化、中性化深さ試験の材齢 2 年までの結果についてもデータを追加して報告する。

(4) 配合設計方法の検討(骨材空隙充填に必要なモルタル量、ペースト量とワーカビリティの関係)

第 1 報から本報までの結果をもとに、スラッジを混入したコンクリートのフレッシュ時の施工性と硬化後の圧縮強度、耐久性を確保できる配合設計方法を提案するための検討を行なう。

施工性を確保するためには、コンクリートを流動させる役割を受け持つペーストの量と質(レオロジー特性)を把握することが必要である。そのうち、ここでは主に前者のペースト量に関する検討を行う。

2 章 使用材料の品質

2. 1 使用材料

実験に使用した材料は、骨材と砕石スラッジは重力式コンクリートダムであるTダム建設現場のダム原石山プラントから採取したものをを用いた。また、セメントおよびフライアッシュについても同じダム建設現場で使用しているものと同じものをメーカーから取り寄せて使用した。

耐久性試験のうち、凍結融解試験の5.3.1節の第1回および第2回試験にはUダム建設現場から発生した骨材および砕石スラッジを使用した。詳細は第1報を参照されたい。

(1) 砕石スラッジ

骨材プラントで発生した濁水を PAC（ポリ塩化アルミニウム）および高分子凝集剤を添加し、シククナで凝集沈降させた濃縮スラッジをフィルタープレスにて圧入脱水したケーキ状のものを現場濁水プラントより回収した。実験に使用したのは、プラントから回収してそのまま（ケーキ状）のもの（含水率 28.0%、以下含水スラッジ）、および乾燥炉で 105℃で乾燥させた後、ロサンゼルス試験機にて 30 分間解砕を行ったもの（以下乾燥スラッジ）の 2 種類である。

(2) セメント・フライアッシュ

セメントは中庸熱ポルトランドセメント、フライアッシュはⅡ種を使用した。中庸熱セメントにフライアッシュを内割りで 30% 添加したものを使用した。

(3) 骨 材

細骨材、粗骨材ともに、ダム骨材原石山で採取され、骨材プラントにおいて破砕、ふるい分けされたもので、砂岩および粘板岩を主体としたものである。実際のダムでは粗骨材は G1(150～80mm)、G2(80～40mm)、G3(40～20mm)、G4(20～5mm)の4分級であるが、本研究においては 40mm 以下の骨材（G3、G4）を使用した。

(4) 混和剤

使用した混和剤を表-2.1.1に示す。A 社および B 社の AE 減水剤および AE 剤を使用した。AE 減水剤は A 社、B 社とも遅延型である。また、モンモリロナイトによる早期の凝結を防止するための遅延剤を使用した。

混和剤は、次のように記号で表わす。A 社の AE 減水剤を大文字の A で、AE 剤を小文字の a で示す。同様に B 社のものを B および b とする。遅延剤は R である。

表-2.1.1 混和剤の種類

記号	混和剤の種類	成 分	標準使用量
A	AE減水剤遅延型	リグニンスルホン酸とオキシカルボン酸塩	$C \times 0.8 \sim 2.0\%$
B	AE減水剤遅延型	リグニンスルホン酸化合物	$C \times 0.2 \sim 0.5\%$
a	AE剤	ロジン系界面活性剤	—
b	AE剤	変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤	—
R	遅延剤	オキシカルボン酸塩	—

2. 2 粉体試験

2.2.1 試験項目

スラッジ、セメント、フライアッシュは粉体として扱い、以下のような試験を行なった。

スラッジは、105℃で乾燥させロサンゼルス試験機で解砕した乾燥スラッジ(スラッジa)と、気中で乾燥して指で粉砕し、指で破碎しきれなかった塊を取り除くために75μmのふるいを全通させたもの(スラッジb)の2種類について試験した。スラッジ2種類とセメント、フライアッシュを対象として密度、粒度分布、比表面積(ブレーン法、BET法)、メチレンブルー吸着量の各測定を行い、電子顕微鏡による粒子形状を観察した。

2.2.2 試験結果

粉体試験結果を表-2.2.1に、粒度分布を図-2.2.1に示す。

空気透過法による比表面積は乾燥スラッジはセメント、フライアッシュに比べて大きいものの、粒度分析における平均径、メディアン径ともにセメント、フライアッシュよりも大きい。また、粒度分布を図-2.2.1に示すようにスラッジはセメント、フライアッシュよりも粒度分布曲線の勾配が緩く、粒度分布の範囲が広い傾向にあり、平均粒径はセメントおよびフライアッシュよりもやや大きい約15μm程度だった。粒度分布の標準偏差もセメント、フライアッシュの0.4μm程度に対して0.6μm程度と大きくなった。

一方、BET法による比表面積はセメントの約8倍、フライアッシュの約4.5倍であり、粒子表面の微細な凹凸が多いことが予想された。

表-2.2.1 粉体試験結果

種別	粒度分布(μm)		比表面積(×10 ³ cm ² /g)		メチレンブルー吸着量(mg/g)
	平均径	メディアン径	空気透過法	BET法	
スラッジa ¹⁾	15.47	21.04	4.84	84.70	2.00
スラッジb ²⁾	12.18	16.51	—	—	—
セメント	12.40	15.18	3.76	10.70	—
フライアッシュ	12.68	14.95	4.14	19.10	0.39

1)乾燥スラッジ(105℃で乾燥し、ロサンゼルス試験機で解砕)

2)含水スラッジを気中で乾燥させ、指で粉砕してから75μmふるいを全通させたも

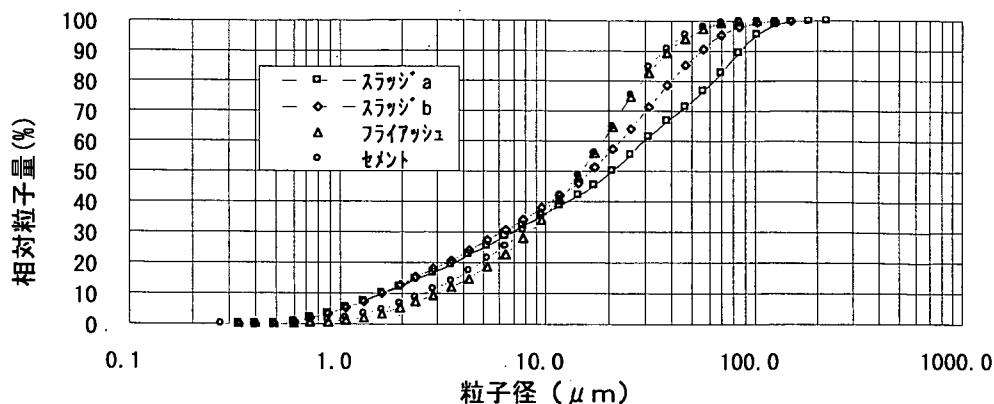


図-2.2.1 粉体の粒度分布

スラッジ2種類、セメント、フライアッシュの電子顕微鏡写真を写真-2.2.1～4に示す。スラッジおよびセメントの粒子はともに角ばった形状をしているが、特にスラッジaはセメントと比較して10～30 μ m程度の大きさの粒子表面に付着する微粒分の粒径が細かく、このことによりBET法による比表面積が大きくなっていることが考えられる。フライアッシュは球形の粒子が多いものの、複雑な形状の粒子も目立つ。



写真-2.2.1 スラッジa

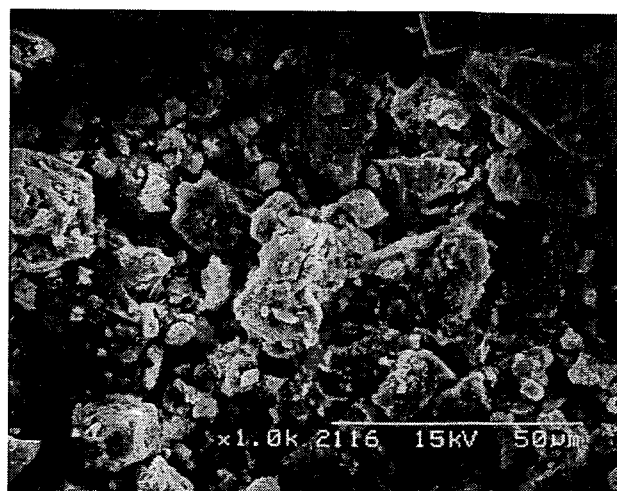


写真-2.2.2 スラッジb

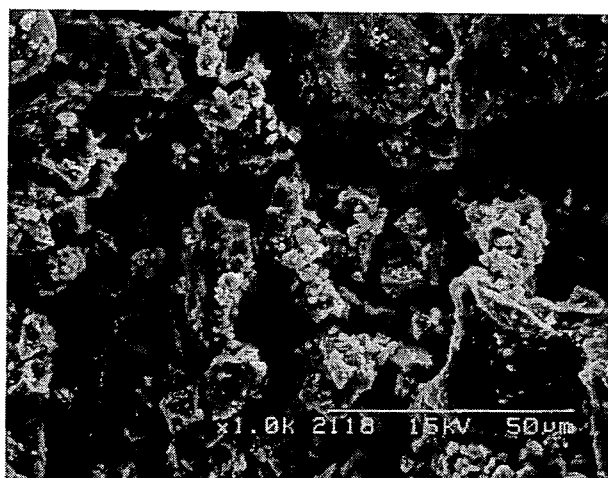


写真-2.2.3 セメント

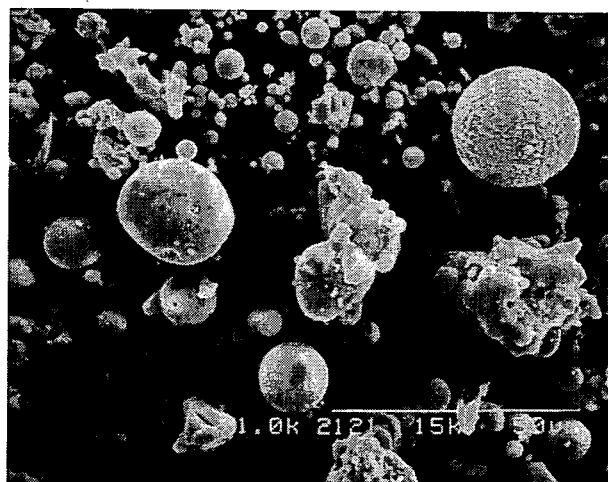


写真-2.2.4 フライアッシュ

2. 3 骨材試験

2.3.1 一般物理試験

細骨材、粗骨材の一般的な物理試験結果は表-2.3.1のとおりである。

粗骨材は粒度の範囲が4020, 2005, 4005について試験した。安定性損失質量の4005は骨材の基準(JIS A 5005)である12%以下を何とか満足している。そのほかの品質は良好である。細骨材の実積率は70.3%であり、非常に良好である。

表-2.3.1 骨材の物理試験結果

骨材の種類	粒度の範囲 mm	表乾密度 g/cm ³	絶乾密度 g/cm ³	吸水率 %	安定性 損失質量 %	FM	単位 容積質量 kg/l	実積率 %
粗骨材	4020	2.612	2.590	0.85	13.6	7.94	1.502	58.0
	2005	2.611	2.585	1.02	8.9	6.99	1.531	59.2
	4005	2.612	2.587	0.94	11.3	7.47	1.554	60.1
細骨材	5以下	2.575	2.538	1.47	4.0	2.71	1.785	70.3

2.3.2 細粗混合骨材の空隙特性

細骨材と粗骨材の混合率を変化させたときの空隙比を、粗骨材 4005 について求めた。

試験条件は、表-2.3.2のように細骨材量を一定で粗骨材量を増加させていた場合と、粗骨材量一定で細骨材量を増加させていった場合の2ケースである。

表-2.3.2 細粗混合骨材の実積率試験の試験条件

(1) 細骨材量一定で、粗骨材を加えていく

ケース	混合比		質量 (kg)		粗骨材を加える量
	細骨材	粗骨材	細骨材	粗骨材	
細0	10	0	20	0	
細1	9	1		2.5	2.5
細2	8	2		5	2.5
細3	7	3		8	3
細4	6	4		12	4
細5	5.5	4.5		16	4
細6	5	5		20	4
細7	4.5	5.5		25	5
細8	4	6		30	5

(2) 粗骨材量一定で、細骨材を加えていく

ケース	混合比		質量 (kg)		細骨材を加える量
	粗骨材	細骨材	粗骨材	細骨材	
粗0	10	0	20	0	
粗1	9	1		2.5	2.5
粗2	8	2		5	2.5
粗3	7.5	2.5		7	2
粗4	7	3		9	2
粗5	6.5	3.5		11	2
粗6	6	4		13	2
粗7	5.5	4.5		16	3
粗8	5	5		20	4

試験結果は表-2.3.3のとおりである(詳細は資料集を参照)。粗骨材混合率ごとの実積率、空隙比は図-2.3.1および図-2.3.2のとおり、粗骨材混合率と実積率の関係は上に凸、空隙比は下に凸になっており、混合率 50 ～ 60 % の範囲に最大の実積率(最小の空隙比)がある。

ここで粗骨材混合率とは、骨材に占める粗骨材の体積割合であり、細骨材率との関係は次式となる。

$$\text{細骨材率} = 1 - \text{粗骨材混合率} \quad (2.3.1)$$

表-2.3.3 実積率試験結果

ケース	粗骨材 混合率	実積率 (%)	間隙比 $e(x)$	$A(x)$	$B(x)$	干渉係数
細0	0.000	70.1	0.427	0.427	0.427	0.000
細1	0.110	72.9	0.372	0.449	0.380	-0.112
細2	0.198	74.4	0.345	0.466	0.342	0.018
細3	0.283	75.9	0.318	0.483	0.306	0.065
細4	0.372	77.7	0.288	0.501	0.268	0.085
細5	0.441	79.4	0.259	0.515	0.239	0.074
細6	0.496	79.1	0.264	0.526	0.215	0.157
粗8	0.496	79.1	0.265	0.526	0.215	0.160
細7	0.552	80.0	0.249	0.537	0.191	0.169
粗7	0.552	79.8	0.253	0.537	0.191	0.178
細8	0.597	79.3	0.262	0.546	0.172	0.240
粗6	0.603	79.7	0.254	0.547	0.170	0.225
粗5	0.642	78.6	0.272	0.555	0.153	0.296
粗4	0.687	77.7	0.287	0.564	0.134	0.356
粗3	0.738	74.8	0.337	0.574	0.112	0.488
粗2	0.798	71.8	0.392	0.586	0.086	0.613
粗1	0.887	66.3	0.508	0.604	0.048	0.828
粗0	1.000	61.5	0.626	0.626	0.000	1.000

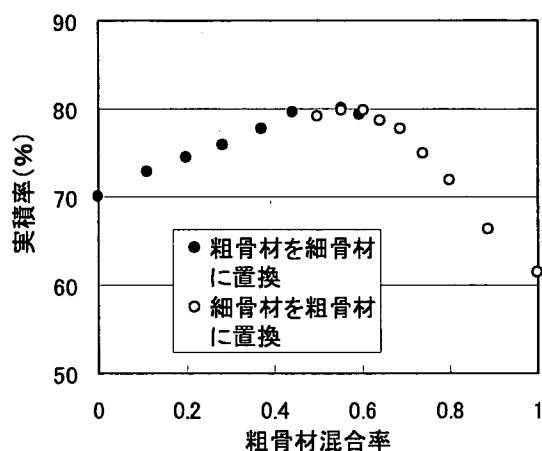


図-2.3.1 粗骨材混合率と実積率の関係

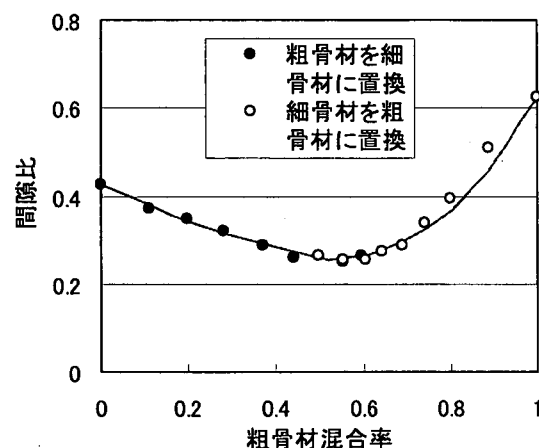


図-2.3.2 粗骨材混合率と間隙比の関係

表-2.3.2 には間隙比を推定するために、 $A(x)$ 、 $B(x)$ と、間隙比、 $A(x)$ 、 $B(x)$ から求めた干渉係数も示している。 $A(x)$ は、混合率 0 のときの間隙比(細骨材の間隙比)と混合率 1 のときの間隙比(粗骨材の間隙比)を結んだ直線、 $B(x)$ は、混合率 0 のときの間隙比(細骨材の間隙比)と混合率 1 のとき間隙比 0 を結ぶ直線である。このとき、干渉係数 $k(x)$ を式(2.3.2)で定義する。

$$k(x) = \frac{e(x) - B(x)}{A(x) - B(x)} \quad (2.3.2)$$

混合率と干渉係数の関係は図-2.3.3のとおりである。干渉係数は 3 つの区間に分けられる。混合率が $0 < x < \text{約 } 0.2$ の区間(区間 1)では $k(x) = 0$ 、 $\text{約 } 0.2 < x < \text{約 } 0.5$ の区間(区間 2)は干渉係数が直線

的に大きくなる区間，約 $0.5 < x < 1$ の区間(区間3)は干渉係数の傾きが混合率の増加に伴いしだいに増加する区間である。区間 2，区間 3 を次式によって回帰した結果が図中の直線および曲線である。式(2.3.4)の右辺の第2項の $(a - 1)$ は，原点と， $x = 1$ のとき $k(1) = 1$ を通る曲線の係数である。

$$k_2(x) = \alpha x - \beta \quad (2.3.3)$$

$$k_3(x) = ax^2 - (a - 1)x \quad (2.3.4)$$

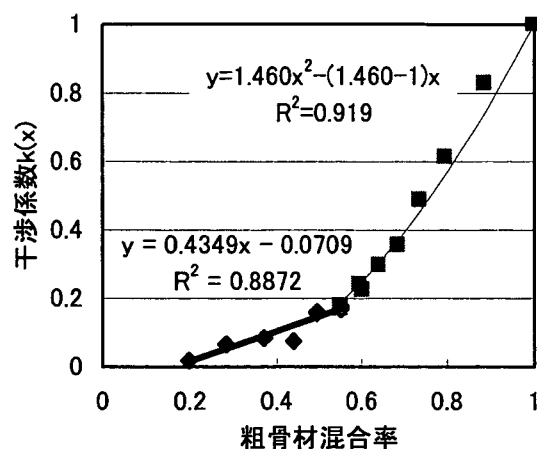


図-2.3.3 粗骨材混合率と干渉係数

式(2.3.3)および(2.3.4)を式(2.3.2)に代入して間隙比 $e(x)$ を求めた結果が，図-2.3.2 の曲線である。間隙比の測定結果と干渉係数から求めた間隙比は良く一致した。 x 軸と $k_2(x)$ の交点 $x = x_1$ と，そのときの間隙比 $e(x_1)$ ， $k_2(x)$ と $k_3(x)$ の交点 $x = x_2$ と，そのときの間隙比 $e(x_2)$ は，表-2.3.4のようになった。最小の間隙比(最大の実積率)を示す混合率は $x = x_2$ であった。

表-2.3.4 間隙比が変化するときの混合率と間隙比

区間1と2の交点			区間2と3の交点		
x_1	$e(x_1)$	x_1 のときの実積率	x_2	$e(x_2)$	x_2 のときの実積率
0.163	0.357	0.737	0.519	0.256	0.796

3 章 配合試験

3. 1 試験条件

外部用コンクリートは、所要のワーカビリティ、強度に加え気象作用などに対する耐久性が要求される。第 1 報では、単位水量、混和剤量一定のもとでスラッジを置換すると、強度は増加し、長さ変化、中性化深さは小さくなる傾向があったが、ワーカビリティ、空気量は低下することがわかった。そこで、ここでは、強度、長さ変化などの品質を低下させることなく、ワーカビリティを改善し、所要の空気量を確保することで凍結融解抵抗性を付与させるために、混和剤の種類と添加率を変化させた実験を行なった。

試験条件は表-3.1.1および表-3.1.2に示したとおりである。混和剤は AE 減水剤 A, B と AE 剤 a, b および遅延剤 R を使用した。混和剤とスラッジの状態の組合せは、表-3.1.1に示す通り、混和剤 A-a-R の組合せのとき、スラッジは含水スラッジと、乾燥スラッジの 2 種類、混和剤 B-b の組合せでは乾燥スラッジのみである。しかし、結果を後述するとおり、混和剤 b はほとんど空気を連行することができなかったので、B-b の組合せに加え B-a の組合せについても実験を行なった。また、遅延剤 R を使用した場合、凝結が極端に遅延したため、AE 減水剤 B の組合せ時には使用しなかった。

スランプの目標は 5cm であり、それが確保できるように AE 減水剤添加率を選定した。

スラッジ置換率と目標とする空気量の組合せは表-3.1.2の組合せのとおり、スラッジ置換率を 0 ～ 20 %まで 5 %ずつ増加させながら空気量 4.5 %が得られる AE 剤添加率を試験練りにより選定した。また、スラッジ置換率 10 %の場合は、空気量をさらに増加させることによる凍結融解抵抗性の改善効果も確認するため、空気量が 6.0, 7.5, 10.0 %が得られる AE 剤添加率も選定した。

選定した配合を用いて強度試験(4 章)、および凍結融解試験(5 章)を行なった。

表-3.1.1 混和剤とスラッジの組合せ

混和剤			スラッジ	
AE減水剤	AE剤	遅延剤	含水	乾燥
A	a	R	○	○
B	b	—		○
B	a	—		○

表-3.1.2 スラッジ置換率と目標空気量の組合せ

空気量 (%)	スラッジ置換率 (%)				
	0	5	10	15	20
4.5	○	○	○	○	○
6.0			○		
7.5			○		
10.0			○ *1		

*1 混和剤B-b, B-aの組合せには含まず。

3. 2 基本配合

3.1節の試験条件を満たす配合を選定する試験に先立ち、スラッジを置換していないベースとなる配合を決める必要がある。この配合を「基本配合」と呼ぶ。

ここでは、材料を提供していただいたダムの外部コンクリート(粗骨材最大寸法 150mm、単位結合材量 210kg/m^3)から 40mm よりも大きな骨材を除いた配合を基本配合とし、碎石スラッジを置換しない配合のスランブは、当初 5cm を目標としたが、後述のとおりスラッジの置換によってスランブの減少が大きいこと、混和剤の種類によってはスランブの増進効果がわずかな場合もあり、基本配合のスランブは 8cm となるように単位水量を 155kg/m^3 に定めた。

試験練りにより決定した基本配合は表-3.2.1のとおりである。使用した混和剤は A-a-R である。

表-3.2.1 外部用コンクリートの基本配合

粗骨材 最大寸法 mm	目標 スランブ cm	目標 空気量 %	W/C %	フライ アッシュ 置換率 %	s/a %	単位量 (kg/m^3)					AE 減水剤 (A) (C+F) × %	AE剤 (a) (C+F) × %	遅延剤 (R) (C+F) × %
						水	セメント	フライ アッシュ	細骨材	粗骨材			
40	5 → 8	4.5	50.5	30.0	46.4	155	215	92	830	969	1.00	0.30	0.03

3.3 配合試験

3.3.1 試験方法

(1) 配合の考え方

碎石スラッジは細骨材に対して体積で置換することとしたので、細骨材を除いた他の材料の単位量は原則として一定とした。

空気量は 4.5 % を基準とし、スラッジ置換率 10 % については 6.0, 7.5, 10.0 % も目標とした。これら空気量を増やした配合については、空気量増加分だけ各材料の単位量を同じ割合で減じて算出した。

乾燥スラッジについては表乾状態とみなし、単位水量の調整は行なっていない。含水スラッジについては、含水率を測定し、含まれる水分は表面水として配合を計算した。

(2) 練混ぜ方法

コンクリートの練混ぜには容量 100 リットルの 2 軸式強制練りミキサを使用した。練混ぜ時間は、乾燥スラッジを使用する場合、粗骨材、細骨材、セメント、フライアッシュ投入後空練り 30 秒、水を投入して本練り 90 秒とした。

含水スラッジについては、含水スラッジは、握りこぶし程度の大きさにして投入した。そのため、スラッジの塊を破碎し、コンクリート中にスラッジの粒子を十分分散させるため練混ぜ時間を長くし、空練り 60 秒、本練り 120 秒とした。練混ぜ時間を決めた根拠については、第 1 報の 3 章を参照いただきたい。

(3) 試験方法

練り上がったコンクリートのフレッシュ性状は、スランブ (JIS A 1101) および空気量試験 (JIS A 1128) を行なって評価した。

また、選定した配合について、ウェットスクリーニングしたモルタルのフロー試験を JIA R 5201 (セメントの物理試験方法) の 11.フロー試験に準じて行なった。

3.3.2 試験結果

表-3.1.1 および表-3.1.2 の試験条件に対する試験練りの結果は表-3.3.1 のとおりであった。

表-3.3.1 試験練りした配合と試験結果

配合 No.	スラッグ の種類	スラッグ 置換率 (%)	最大 寸法 (mm)	水 セメント 比 (%)	細骨材 率 (%)	単位量(kg/m ³)						混和剤				細骨材 率 (スラッグ 除く) (%)	粗骨材 かさ 容積	細粗混合 骨 材 かさ容積	試験結果														
						水 W	結合材 B		スラッグ S	粗骨材		AE減水剤		AE剤					遅延剤	骨材 率 (%)	骨材 かさ 容積	骨材 かさ容積	スラッグ (cm)	空気量 (%)	温度 (℃)								
							セメント C	フライ アッシュ FA		4020 G1	2005 G2	種類 添加率 (%)	種類 添加率 (%)																				
1	—	0	40	47.6	46.4	146	215	92	0	840	572	411	A	0.25	a	0.006	0.3	46.4	0.626	0.8819	3.3	2.2	20.7										
2				48.9		150				836	568	408				0.075					3.7	7.7	20.3										
3										830						0.060					4.4	8.1	20.5										
4																0.030					6.8	5.3	20.3										
5																0.021					9.0	4.1	20.4										
6	乾燥	5	40	50.5	46.4	155	215	92	41	788	564	405	A	0.50	a	0.030	0.3	45.1	0.618	0.8509	4.6	4.8	20.4										
7		10							0.25	1.8				3.2				20.4															
8									0.75	2.1				4.0				20.0															
9									1.50	2.7				8.0				20.5															
10									0.75	43.8				0.8316				0.8316			2.5	4.8	20.5										
11																					3.1	6.5	20.5										
12																					2.9	8.0	20.0										
13																					3.0	9.8	20.1										
14	含水	5	40	50.5	46.4	155	215	92	41	788	564	405	A	0.50	a	0.030	0.3	45.1	0.618	0.8509	3.1	4.2	21.2										
15		10							0.75					1.1		3.8		21.5															
16									0.054	1.4				5.3		20.9																	
17									0.108	1.5				8.2		20.7																	
18									0.150	2.0				9.8		20.9																	
19									2.00	1.2				9.0		21.5																	
20									1.25	1.5				5.2		21.4																	
21	—	0	40	50.5	46.4	155	215	92	0	830	564	405	B	0.25	—	46.4	0.618	0.8705	10.0	4.0	20.9												
22	5	5																	6.3	3.4	21.1												
23																			5.8	3.5	21.1												
24																			5.2	4.1	21.0												
25																			5.5	5.0	20.9												
26		10							0.50												4.8	2.6	20.7										
27	4.8																				3.0	21.0											
28	4.7																				3.0	20.9											
29	5.0																				3.3	20.9											
30	8.3																				3.4	20.6											
31	0.75								43.8	0.8316	0.8316	5.6		4.4			20.5																
32												6.2		5.6			20.7																
33												5.0		10.4			20.6																
34												4.2		5.5			20.6																
35												4.4		7.9			20.8																
36	15	124										705	564	405			1.00					4.1	5.2	20.8									
37	20	165										664	564	405								2.0	5.4	20.7									

3.3.3 混和剤A-aの試験結果

スラッジを5%置換した配合は、AE 減水剤 A の添加率をスラッジ無置換の配合よりも1%多い2%にしたところ、スランプが5.4cmとなり、所要のコンシステンシーが得ることができた。

スラッジ置換率10%におけるAE 減水剤添加率とスランプおよび空気量の関係を図-3.3.1に示す。

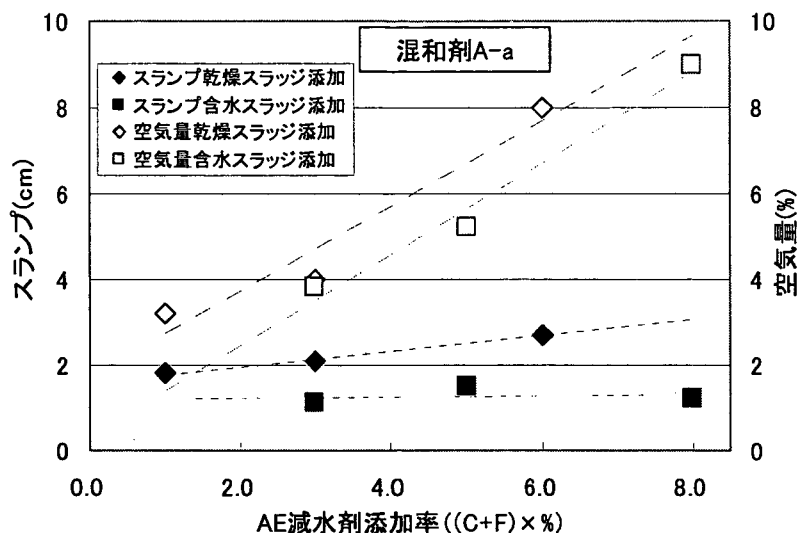


図-3.3.1 混和剤Aの添加率とスランプ、空気量の関係

乾燥スラッジと含水スラッジの比較では、乾燥スラッジを添加した配合の方が、含水スラッジを添加した配合よりもスランプ、空気量がやや大きくなった。

空気量は、AE 減水剤 A の添加率1.0%の増加に対して1%程度大きくなっており、添加率によって空気量を制御することができる。

スランプは、AE 減水剤 A の標準使用量の上限量である2%より添加率を増やしてもほとんど変化しなかった。

以上の結果から AE 減水剤 A を使用した場合、スラッジの置換率が増加しても空気量を調整することができる。しかし、スランプを調整することができないため、所要のスランプを得ることはできない。AE 減水剤 A はワーカビリティの改善効果が少ないことがわかった。

この結果をふまえ、スラッジ置換率15および20%以上の配合については AE 減水剤 A を使用した試験を行わないこととした。

3.3.4 混和剤B-bおよびB-aの試験結果

(1) AE 減水剤 B の検討

スラッジ置換率10%の配合における AE 減水剤 B の添加率とスランプ、空気量の関係を図-3.3.2に示す。スランプは、AE 減水剤 A を使用した場合と異なり、AE 減水剤 B の添加率の増加に対してスランプが大きくなる傾向を示した。スランプの増加率は AE 減水剤添加率0.25%の増加に対して3cm程度であった。一方、空気量は AE 減水剤添加率が変化しても変動せず、ほぼ一定となった。

このように、AE 減水剤 A を用いた場合と異なり、AE 減水剤 B は添加率を変化させることでスランプの調整が可能である。しかし、空気量の調整はできないので、所要の空気量が得られる AE 剤添加率の検討が重要である。

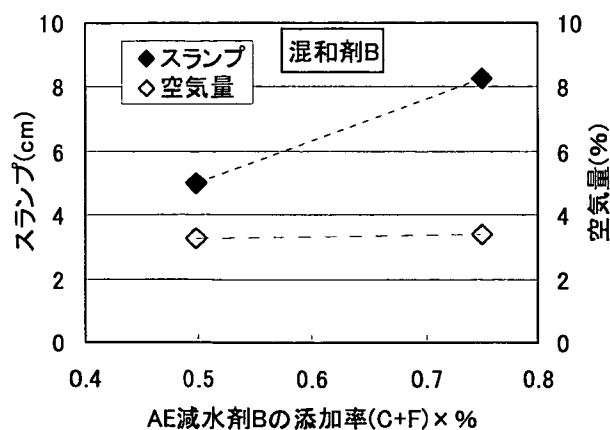


図-3.3.2 AE減水剤Bの添加率とスランプ，空気量の関係

(2) AE 剤の検討

図-3.3.3にスラッジ置換率10%の場合のAE剤aおよびbの添加率と空気量の関係を示す。AE剤bは添加率0.001%当たりの連行空気量の増加が0.016%程度であり，空気量4.5%にするためには通常の使用量と比較して大量のAE剤を必要とした。一方，AE剤aは添加率0.001%当たりの連行空気量が0.11%であり，AE剤bに対して約7倍の連行空気量を確保することができた。AE剤bとこれらの配合で使用したAE減水剤bとは製造メーカーが同じであるが，本研究の範囲では空気連行性に劣る結果となった。

このように，AE剤の空気連行の性能も種類によって異なり，今回の場合，AE剤aは空気を連行する性能は高く，AE剤bは小さかった。

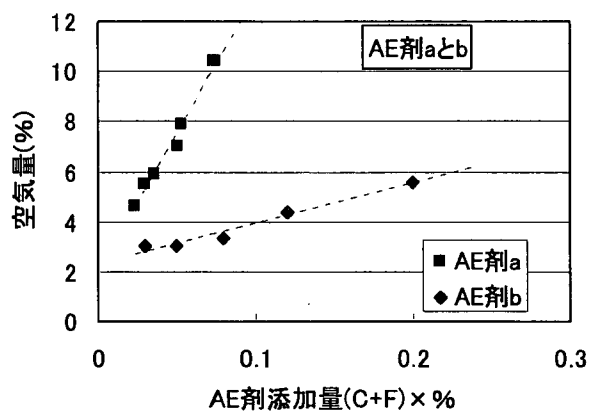


図-3.3.3 AE剤a, bの添加率と空気量の関係

以上の結果より，スラッジを置換したコンクリートについて所要のフレッシュ性状を確保するためには，混和剤の組み合わせを適切に行う必要があると言える。

強度試験，凍結融解試験を行なう混和剤の組合せは，A-aとB-aの2種類とし，スラッジ置換率は，A-aの場合は10%まで，B-aの場合は20%までとした。

3.3.5 配合の選定

以上の結果より，強度試験，凍結融解試験を行う本配合を表-3.3.2のとおり選定した。

表-3.3.2 試験練りにより選定した本配合

配合 No.	スラッジ の 種類	スラッジ 置換率 (%)	最大 寸法 (mm)	空気量 (%)	水 セメント 比 (%)	細骨材 率 (%)	単位量(kg/m ³)						混和剤								
							水 W	結合材 B		スラッジ	細骨材 S	粗骨材		AE減水剤		AE剤		遅延剤 R			
								セメント C	フライ アッシュ FA			4020 G1	2005 G2	種 類	添加率 (%)	種 類	添加率 (%)				
1	—	0	40	4.5	50.5	46.4	155	215	92	0	830	564	405	A	0.25	b	0.030	0.3			
2	乾燥	5		4.5						41	788				0.50		0.036				
3		10		4.5						83	747				0.051						
4				6											0.075						
5				7.5											0.096						
6				10											0.136						
7	含水	5		4.5						41	788				0.50		0.036				
8		10		4.5						83	747				0.051						
9				6											0.075						
10				7.5											0.096						
11				10											0.138						
12	—	0		4.5						0	830			B	0.25		0.036	—			
13	乾燥	5		4.5						41	788				0.25		0.021				
14		10		4.5						83	747				0.024						
15				6											0.036						
16				7.5											0.051						
17		15		4.5						124	705				0.75		0.033				
18		20		4.5						165	664				1.00		0.042				

3. 4 コンクリートのスランプとウエットスクリーニングモルタルのフロー値の関係

表-3.3.2 の配合のコンクリートのスランプ試験結果と、そのコンクリートをウエットスクリーニングしたモルタルのフロー試験結果は表-3. 4. 1のとおりである。

スランプとフロー値の関係を図-3. 4. 1に示す。両者は良い相関関係があり、モルタルのフロー値によってワーカビリティを評価、管理できる可能性がある。

表-3. 4. 1 本配合のフレッシュ性状

配合 No.	スラッ の 種類	スラッ 置換率 (%)	AE 減水剤 の 種類	空気量 (%)	フレッシュ性状			
					スラン (cm)	ウェットス クリーンモルタル のフロー (mm)	空気量 (%)	温度 (℃)
1	—	0	A	4.5	7.9	189	5.0	21.1
2	乾燥	5		4.5	5.4	162	4.7	21.2
3		10		4.5	2.6	154	5.3	21.3
4				6	2.7	150	6.6	21.1
5				7.5	3.1	156	7.9	21.2
6				10	3.7	149	9.8	20.8
7	含水	5		4.5	3.5	158	5.1	21.3
8		10		4.5	1.3	140	5.3	21.7
9				6	1.5	131	6.5	21.4
10				7.5	2.0	134	8.0	21.4
11				10	1.5	136	9.5	21.6
12	—	0	B	4.5	7.1	173	5.3	20.4
13	乾燥	5		4.5	4.0	159	4.0	20.4
14		10		4.5	4.2	162	4.6	20.5
15				6	4.3	168	5.9	20.5
16				7.5	4.4	157	7.0	20.3
17				15	4.5	3.3	149	4.7
18		20		4.5	1.6	139	5.0	21.0

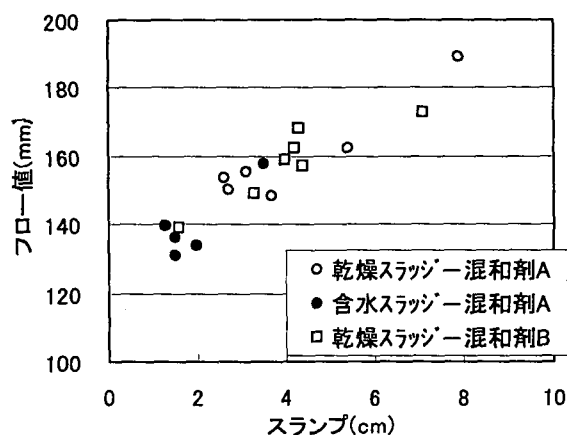


図-3. 4. 1 スランプとフロー値の関係

3. 5 細粗混合骨材の空隙特性と配合の関係

3.5.1 細粗混合骨材の空隙特性と流動性に及ぼすペーストの役割

コンクリートのワーカビリティ(特に流動性)は、ペーストの量と質(レオロジー)が重要な役割を果たす。質に関しては、水セメント比と混和剤の効果によるペーストの粘性が関係する。混和剤の効果については、上記のとおりコンクリートのフレッシュ性状によって直接検討した。以下では、ペーストの量的な検討を行なう。

ペーストの役割は、便宜的に、骨材の空隙を充填する充填材の役割と、骨材の周りに付着して流動性を付与する潤滑材の役割(ペーストが十分な流動性を有している場合)に分けることができる。充填材としての必要量を知るためには、骨材の空隙特性を知る必要がある。潤滑材として必要な体積も、コンクリートの単位体積から骨材量と骨材の空隙を差し引いた量であり、骨材の空隙特性が間接的に必要となる。

骨材の空隙特性は、ここでは2.3.2節のとおり、粗骨材混合率(全骨材にしめる粗骨材の割合)を変化させたときの空隙比で与える。

今回の実験では、基本配合は現場で決定したものを使用した。スラッジは細骨材に置換し、細骨材率を一定とした。しかし、スラッジの粒度分布や比表面積などの結果はセメントなどと同程度のものであり、粉体として評価するほうが適していると考えられることから、細骨材に置換したスラッジを細骨材とスラッジに分けて検討する。すなわち、スラッジはセメント、フライアッシュと合わせて粉体として取り扱い、それらに水を混合したものをペーストとして取り扱う。そのとき、骨材の空隙特性と、ペーストの品質と役割について以下に検討する。

3.5.2 骨材の空隙特性とかさ容積

ワーカビリティに直接関与するペースト量は、骨材のかさ容積が重要であり、 $(1 - \text{かさ容積})$ となる(詳細は、文献1～3)。

骨材とペーストの検討の前に、通常の配合に用いられている粗骨材かさ容積について見ておく。粗骨材かさ容積は、粗骨材とモルタルの関係でとらえることができる。この関係を図-3.5.1のように示すと明らかなように、粗骨材の空隙を充填するモルタル量は空隙率分であり $(1 - \text{実積率})$ となる。粗

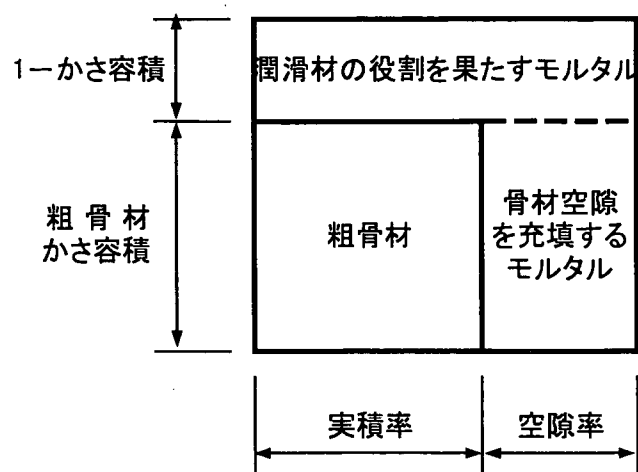


図-3.5.1 粗骨材とモルタルの関係

骨材の実積率は固有値であり、実積率と同時に空隙率も決まる。このとき縦軸の粗骨材部分はかさ容積になるので、潤滑材の役割を果たすモルタル量は $(1 - \text{粗骨材かさ容積})$ となる。

今回のようにスラッジを細骨材に置換して細骨材率を一定にした配合では、スラッジを細骨材あるいは粉体と考えてもモルタル量は変化しないので、 $(1 - \text{粗骨材かさ容積})$ は変化せず、ワーカビリティを検討することはできない。

そこで、細骨材と粗骨材を混合したとき(細粗混合骨材)の空隙特性とペーストの役割について検討する。粗骨材混合率が変化すると図-2.3.2のように間隙比(または実積率)も変化する。細粗混合骨材とペーストの関係は図-3.5.2のようになる。骨材量が一定の時、(a)図のように実積率が最大(間隙比が最小)になる粗骨材混合率の時、 $(1 - \text{細粗混合骨材かさ容積})$ が最大になり、コンクリートの流動性も最大になる。それ以外の粗骨材混合率のとき $(1 - \text{細粗混合骨材かさ容積})$ は小さくなり、ペーストの組成が同じであればコンクリートの流動性は低下する。

以下にスラッジを置換した場合について検討する。

3.5.3 スラッジ置換率とスランプの関係

今回実験した配合は、スラッジを細骨材に置換し、細骨材率を一定にした。スラッジを粉体と考えるとスラッジの量だけペースト量は増加し、細骨材量は減少するため、これにともない細骨材率も変化する。

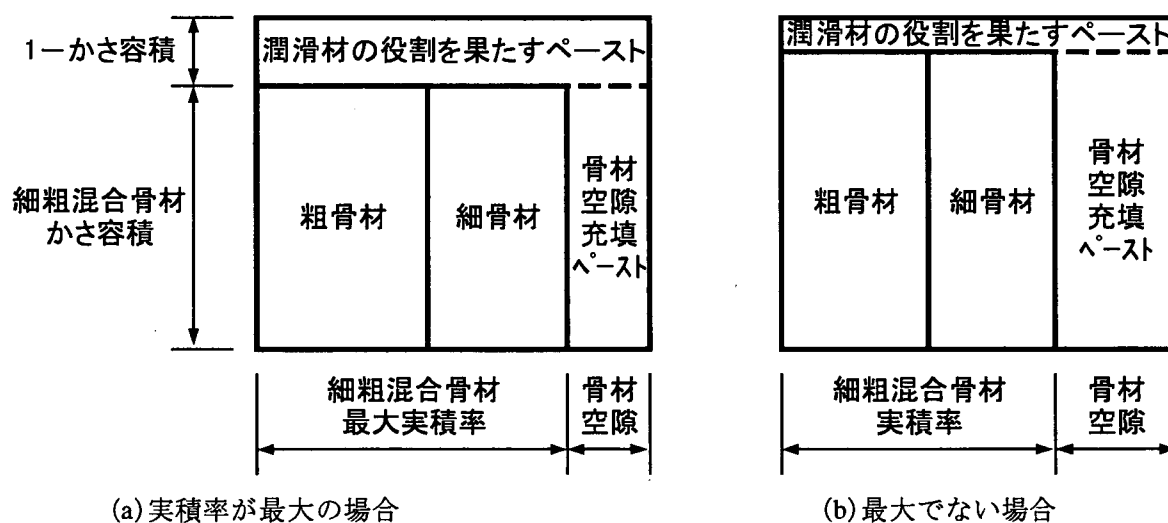


図-3.5.2 細粗混合骨材の混合率とペースト量の関係

スラッジ置換率を変化させたときのスランプと空気量は図-3.5.3のようになった。目標値のスランプ 5cm, 空気量 4.5 % となるように、スラッジ置換率の増加にともない混和剤添加率を調整した結果、空気量はほぼ目標値を確保しているが、置換率 15, 20 % ではスランプは確保されていない。

スラッジを粉体と考え、細骨材に置換していたスラッジを除いて求めた細骨材率(補正細骨材率)と、そのときの空隙比を図-3.5.4に示す。細骨材率はスラッジ分だけ低下し、それによってもって空隙比は増加している。

粗骨材かさ容積は図-3.5.5のようにスラッジ置換率にかかわらず 0.618 で一定であるが、細粗混合骨材かさ容積は置換率 0 % のときの 0.871 から 20 % のときは 0.794 に減少しており、この場合に

(1-かさ容積)は0.129から0.206と大きくなるので、ペーストの流動性が改善できればコンクリートの流動性も改善できる。

混和剤を多量に添加することによりペーストの流動性を改善した結果が図-3.5.3であり、混和剤の添加率によってある程度スランプを調整できるが、混和剤の添加率に限界があるため流動性を改善できるスラッジ置換率にも限界がある。

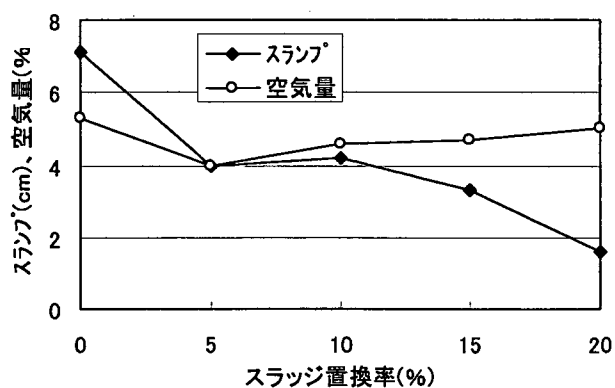


図-3.5.3 スラッジ置換率とスランプ, 空気量

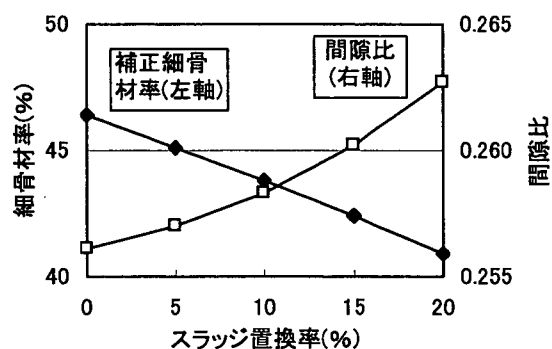


図-3.5.4 スラッジを除いたときの補正細骨材率と間隙比

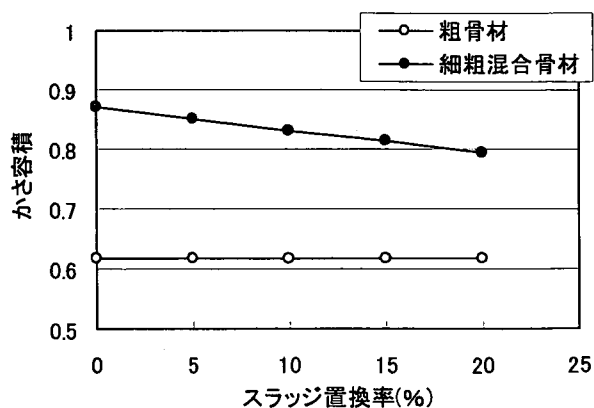


図-3.5.5 スラッジ置換率とかさ容積

4 章 強度試験

4. 1 試験方法

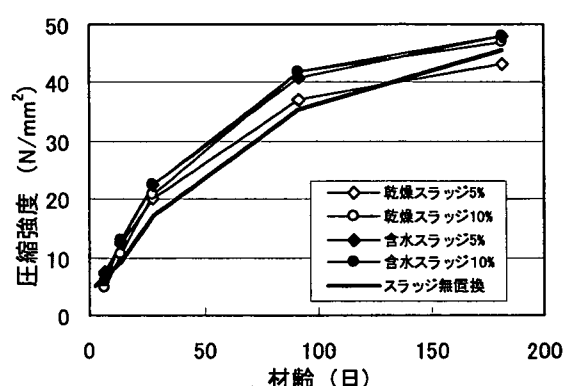
混和剤の多量添加が強度に及ぼす影響を検討するため、表-3.3.1に示す配合について材齢3、7、28、91日において圧縮強度試験を行った。なお、混和剤 A-a を使用した配合では、遅延作用により強度発現が十分ではなかったため、材齢3日に代わり材齢14日に試験を行なった。

圧縮強度試験用供試体の作製は JIS A 1132、圧縮強度試験は JIS A 1108 に準じた。

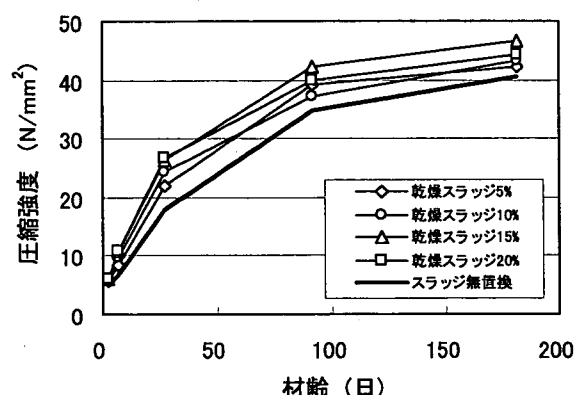
4. 2 試験結果

4.2.1 材齢、スラッジ置換率と圧縮強度、圧縮強度比

空気量 4.5%の配合について、混和剤 A-a と B-a の材齢と圧縮強度の関係を図-4.2.1に示す。スラッジを置換したものは、材齢初期を除きスラッジ置換率 0 % とほぼ同等か上回っている。



(i) 混和剤A-a



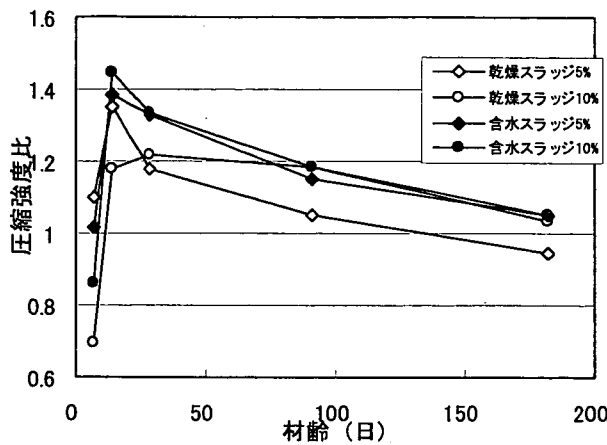
(ii) 混和剤B-a

図-4.2.1 材齢と圧縮強度の関係

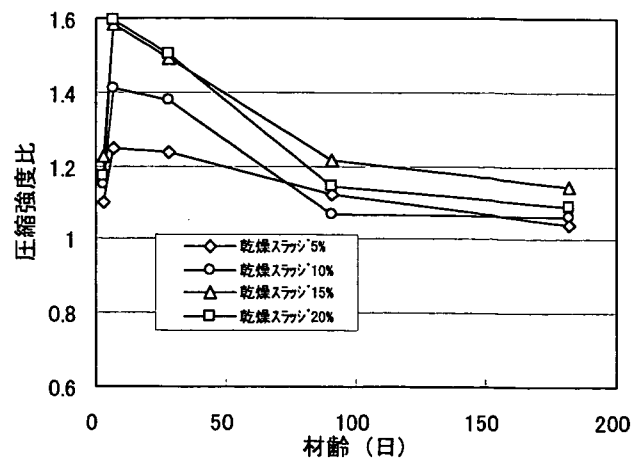
スラッジの置換による強度への影響を検討するため、スラッジ置換率 0 % に対する各スラッジ置換率の圧縮強度比を図-4.2.2に示す。

混和剤 A-a を添加した場合の強度比は、材齢 7 日では 1.0 程度であるが、14 日には 1.4 程度まで増加した。その後は低下し、91 日には 1.2 程度、182 日には乾燥スラッジを 5% 添加したものを除いて 1.1 程度になっている。混和剤 B-a を添加した場合も強度比の経時変化はほぼ同様であるが、材齢ごとの強度比は異なっている。この場合、材齢 3 日の強度比は約 1.2 であり、7 日ではスラッジ置換率によって異なり 1.2 ~ 1.6 になっている。その後は徐々に小さくなり、182 日には 1.1 程度となった。この混和剤による違いは、混和剤の遅延効果によるものと考えられる。混和剤 A は B より遅延効果が高いといわれているものであり、そのために初期の強度発現が小さくなったと考えられる。しかし、長期になれば混和剤の影響もなく、182 日ではどちらの混和剤を使用した場合でも強度比が 1.1 程度になっている。

スラッジの種類では、含水スラッジのほうが乾燥スラッジよりも強度比がわずかに高い傾向がある。



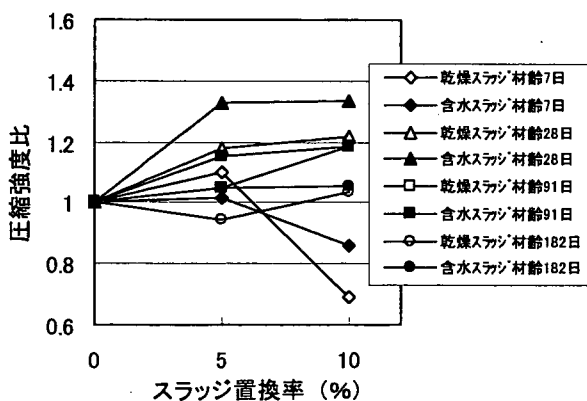
(i) 混和剤A-a



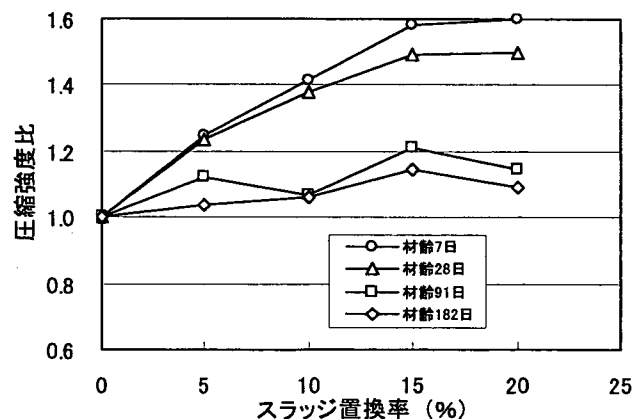
(ii) 混和剤B-a

図-4.2.2 材齢と圧縮強度比の関係

次にスラッジ置換率と圧縮強度比（スラッジ無置換の圧縮強度に対する各スラッジ置換率の圧縮強度の比）の関係を図-4.2.3に示す。強度比が1を大きく下回ったのは混和剤 A-a のスラッジ置換率 10 % の 7 日のときのみであるが、そのほかのケースはほぼ 1 を上回っており、スラッジ置換によって強度は増加する傾向にある。混和剤 B-a の場合は、置換率 15 % までほぼ直線的に増加し、15 ~ 20 % でほぼ頭打ちになった。



(i) 混和剤A-a



(ii) 混和剤B-a

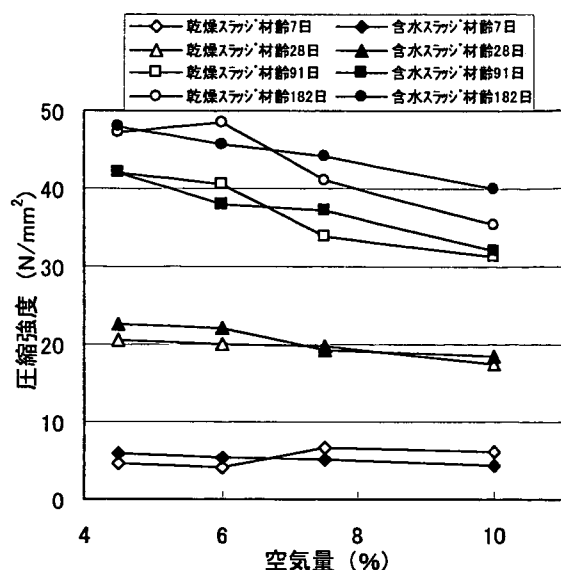
図-4.2.3 スラッジ置換率と圧縮強度比の関係

4.2.2 空気量と圧縮強度の関係

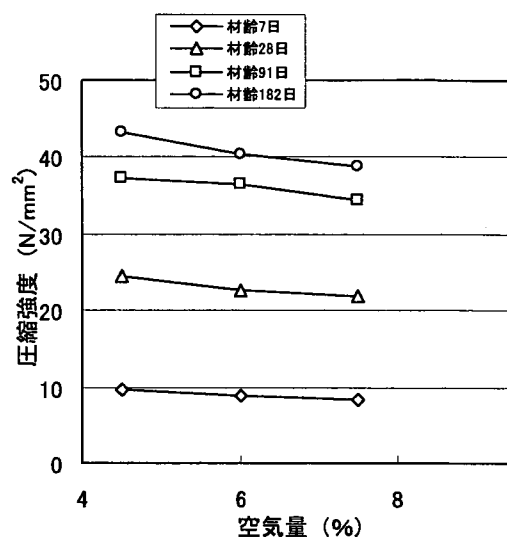
スラッジ置換率 10% の場合の空気量と圧縮強度は図-4.2.4 のとおり、空気量が増えるほど圧縮強度はほぼ直線的に低下するという一般的な傾向を示している。

図-4.2.4 と同じくスラッジ置換率 10 % の場合の圧縮強度比（空気量 4.5 % のときの圧縮強度に対する各空気量の強度の比）を図-4.2.5 に示す。空気量 7.5 % 程度以下であれば材齢 7 日の場合を除いてスラッジ無置換と同程度以上の強度を確保できることを示している。よって、凍結融解抵抗性の向上を

目的として空気量を多めに連行することを考えた場合、空気量が 7.5%程度以下であれば、スラッジ置換による強度の増加分が、空気量の増加による強度の低減分と同程度以上であると考えられる。

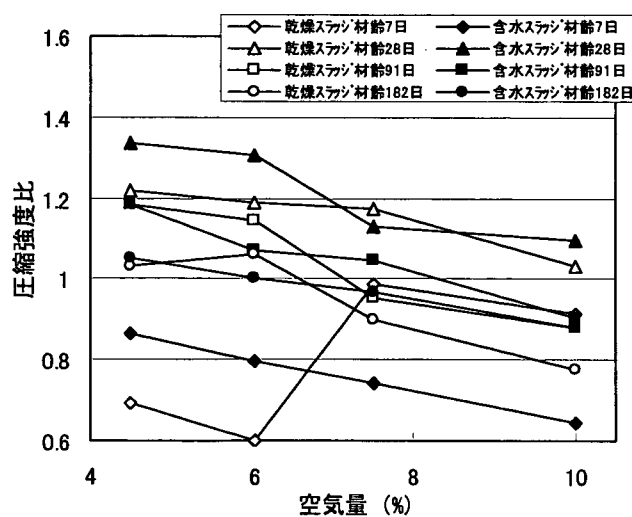


(i) 混和剤A-a

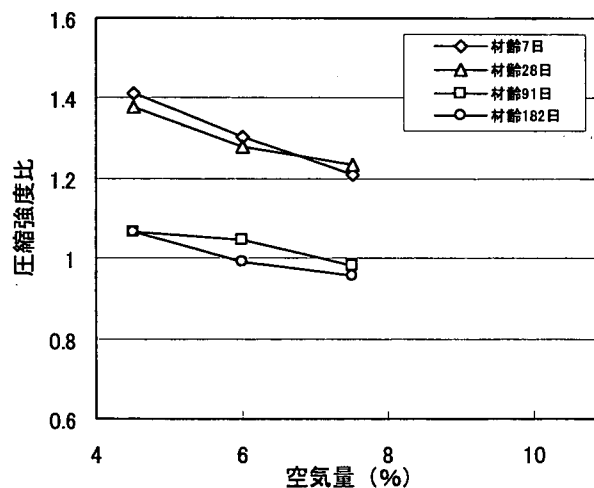


(ii) 混和剤B-a

図-4. 2. 4 空気量と圧縮強度の関係



(i) 混和剤A-a



(ii) 混和剤B-a

図-4. 2. 5 空気量と圧縮強度比の関係

5 章 凍結融解試験

5. 1 凍結融解試験の試験条件

凍結融解試験は、本報も含めこれまで 3 回行なった。主な試験条件を比較すると表-5.1.1のとおりである。

1 回目および 2 回目の試験では、第 1 報および第 2 報で使用したものと同じ U ダムで使われた材料を使用した。スラッジは、コンクリート練混ぜ時にケーキ状の握りこぶし程度の大きさの塊でミキサに投入した。AE 剤量は、スラッジの無置換のとき空気量が 4.5 % 程度になるように試験練りで決定し、スラッジ置換率 4.5 %, 9.0 % についてもスラッジ無置換の場合と AE 剤量を同一とした。そのため、空気量はスラッジ置換率が増えると減少した。1 回目と 2 回目で異なるのは試験開始材齢のみであり、前者は 28 日、後者は 91 日から試験を開始した。試験結果の詳細は後述するが、両試験ともスラッジを置換した配合の凍結融解抵抗性は極めて小さかった。

その原因として、スラッジを置換したものは空気量が不足していたことが考えられるが、動弾性係数が急激に低下したことから、空気量の不足だけではなくスラッジの状態にも問題があるものと考えられた。すなわち、ケーキ状のまま投入して練り混ぜたので、スラッジが十分に拡散することなく目に見えないようなブロック状の塊が残り、その中に保持されていた水分が、凍結融解試験により凍結して劣化を早めているのではないかと推察できる。ただし、ケーキ状のスラッジを投入しても塊が残らないように十分練混ぜ時間を確保している(第 1 報)。

これらの結果をふまえて、3 回目は本報の T ダムの骨材を使用し、スラッジはケーキ状の塊(含水スラッジ)のほかに粉末状(乾燥スラッジ)のものについても試験した。空気量は各スラッジ置換率について 4.5 % を標準とし、スラッジ置換率 10 % のときには 6.0, 7.5, 10.0 % についても試験することとした。

表-5.1.1 凍結融解試験条件の比較

試験	試験条件				
	使用材料	スラッジの状態	スラッジ置換率	空気量	試験開始材齢
1 回	U ダム産 使用骨材、スラッジ (第 1 報、2 報と同じ)	含水スラッジ(握りこぶし程度の大きさ)	0, 4.5, 9.0%	スラッジ 0% のとき 4.5% スラッジ 増 → 空気量 減	28 日
2 回					91 日
3 回 (本報)	T ダム産 使用骨材、スラッジ	含水スラッジ(握りこぶし程度の大きさ) 乾燥スラッジ	0, 5, 10, 15, 20%	4.5, 6.0, 7.5, 10.0%	91 日

5. 2 試験方法

凍結融解試験は、JIS A 1148(コンクリートの凍結融解試験方法)の A 法(水中凍結融解試験)に準じて行なった。

ただし、粗骨材最大寸法は 40mm である。

試験条件は表-5.1.1に示したとおりである。

5. 3 第1回および第2回の試験結果

5.3.1 コンクリートの配合

第1回および第2回の凍結融解試験を行なったコンクリートの配合は表-5.3.1のとおりである。混和剤は、AE減水剤を標準量 $((F+C) \times 0.25\%)$ 、AE剤はスラッジ置換率が0%のとき空気量が4.5%になるように試験練りによって使用量を定め、いずれの配合も共通とした。

表-5.3.1 コンクリートの配合

粗 骨 材 最大寸法 (mm)	水 結合材 比 (%)	フライアッシュ 置換率 (%)	細骨材 率 (%)	スラッヅ 置換率 (%)	単位量 (kg/m ³)							
					水	セメント	フライ アッシュ	スラッヅ	細骨材	粗骨材	混和剤	
											AE減水剤	AE剤
40	50.0	30.0	37.4	0.0	146.0	204.4	87.6	0	698.5	1182	0.73	0.29
				4.5				31.4	667.1			
				9.0				62.9	635.6			

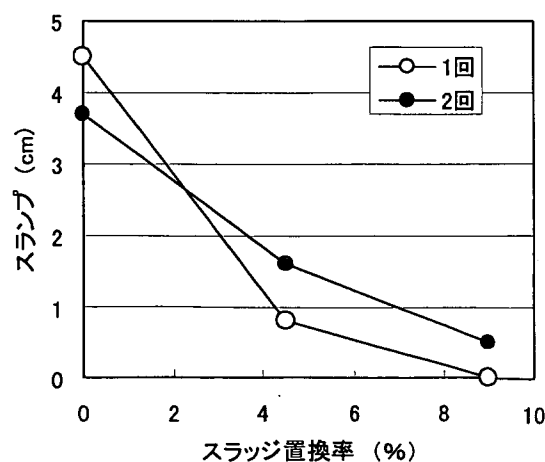
5.3.2 コンクリートの性状

コンクリート練混ぜ直後のスランプ、空気量は表-5.3.2および図-5.3.1のようであった。スラッジ置換率9%のときの空気量が第1回と第2回では異なるが、そのほかはほぼ同程度の結果である。

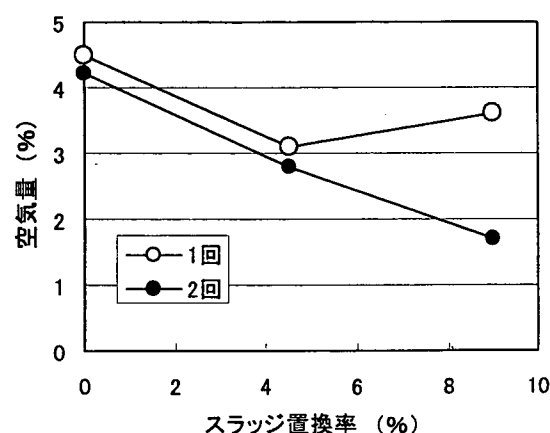
凍結融解開始材齢時の圧縮強度は表-5.3.3のとおり、材齢28日に開始した第1回は20N/mm²台、材齢91日に開始した第2回は40N/mm²程度にも達している。

表-5.3.2 練り混ぜ直後のスランプ、空気量の結果

スラッジ 置換率(%)	スランプ(cm)		空気量(%)	
	1回	2回	1回	2回
0.0	4.5	3.7	4.5	4.2
4.5	0.8	1.6	3.1	2.8
9.0	0.0	0.5	3.6	1.7



(a) 第1回



(b) 第2回

図-5.3.1 スランプ、空気量の結果

表-5.3.3 凍結融解試験開始時の圧縮強度

スラッジ 置換率(%)	第1回 28日	第2回 91日
0.0	22.0	38.5
4.5	27.8	40.7
9.0	29.2	41.5

5.3.3 第1回および第2回の凍結融解試験結果

第1回の質量減少率と相対動弾性係数の結果を図-5.3.2に、第2回の結果を図-5.3.3に示す。両図は、比較しやすいように横軸を300サイクルに合せている。第2回のスラッジ置換率0%の場合、720サイクルまで試験したのでその結果を図-5.3.4に示す。

材齢28日に試験を開始した第1回の相対動弾性係数の結果は、スラッジを置換した場合は30サイクルで急激に低下している。質量減少率もプラスになっており、膨張して微細なひび割れを生じているものと考えられる。置換率0%の場合でも70サイクルで相対動弾性係数は60%を下回っている。

材齢91日に試験開始した第2回の結果は、置換率によって違いが現れている。置換率0%の場合は、300サイクルでも相対動弾性係数は80%以上、60%を下回ったのは450サイクル以降であり、結果は非常に良好であった。置換率9%の場合は、第1回の結果とほぼ同様であり、相対動弾性係数は急激に低下している。質量減少率も90サイクルまではプラスになっている。置換率4.5%の場合、相対動弾性係数は25サイクルまでは90%以上であるが、その後急激に低下している。しかし、第1回では30サイクルで相対動弾性係数は10%以下であったが、第2回では60サイクルで40%以下であり、凍結融解抵抗性はわずかではあるが改善されている。

以上の結果から耐久性指数を求めた結果が表-5.3.4である。

耐久性指数 DF は次式で求めた。

$$DF = P \cdot N / M \quad (5.3.1)$$

ここに、DF：耐久性指数、P：N サイクルのときの相対動弾性係数(%)、N：P が試験を中止するように定められた最小値(通常 60%)に達したときのサイクル数、または試験を終了するように定められたサイクル数、(通常 300 サイクル)のいずれか小さい方のサイクル数、M：試験を終了するように定められたサイクル数(通常 300 サイクル)である。

表-5.3.4 耐久性指数

試験	スラッジ 置換率	相対動弾性係数60 %のときのサイクル数	300サイクルの 耐久性指数
第1回	0.0	69	13.8
	4.5	20	4.0
	9.0	19	3.8
第2回	0.0	431	80.8
	4.5	48	9.6
	9.0	3.8	2.6

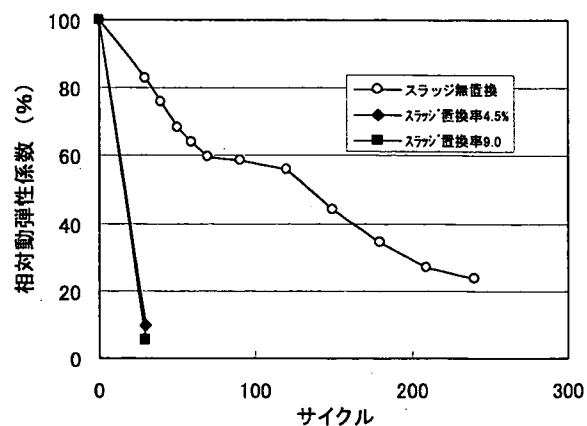
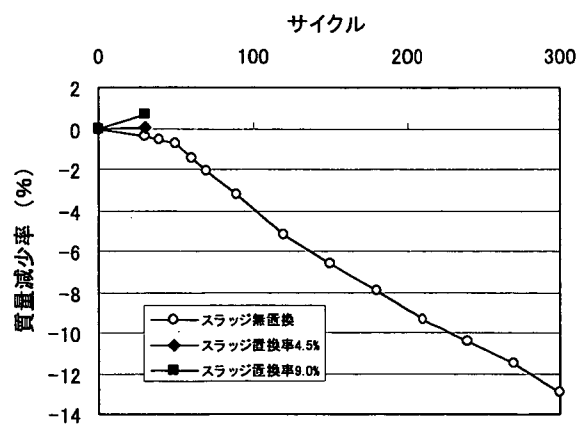


図-5.3.2 第1回の試験結果

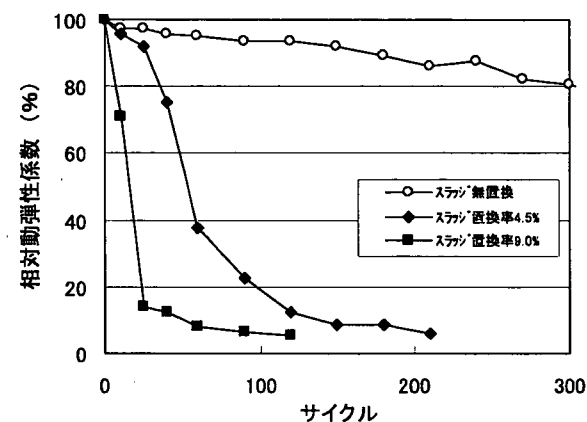
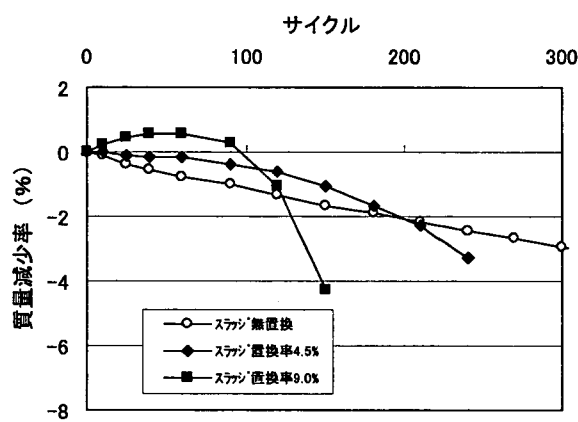


図-5.3.3 第2回の試験結果

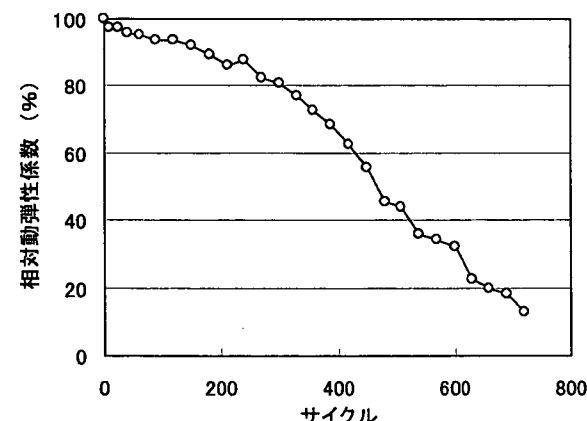
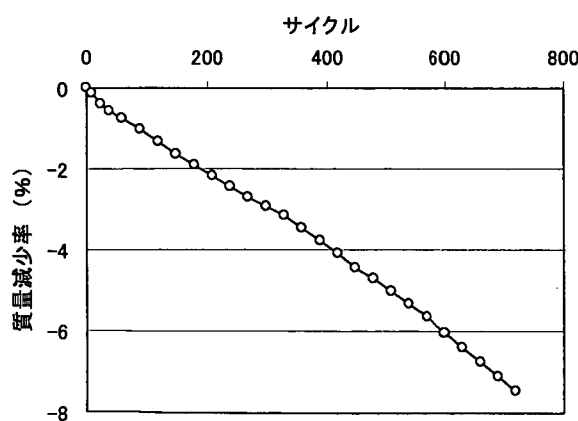


図-5.3.4 第2回の置換率0%の結果

5. 4 第3回の試験結果

5.4.1 コンクリートの配合および性状

3 回目の試験は、3 章(配合試験)と同じ混和剤を使用した。また、混和剤とスラッジの状態の組合せも、配合試験の結果をふまえ、表-5.4.1のとおりとした。

スラッジ置換率と空気量の組合せを表-5.4.2に示す。混和剤 A はほとんどワーカビリティの改善効果がなく(3 章)、スラッジ置換率 20 %の場合は供試体作製が困難であったため除外した。

配合は表-3.3.2のとおりである。フレッシュ性状は表-3.4.1のとおり、空気量はほぼ目標どおり確保されている。強度は4 章のとおりであり、凍結融解試験を開始する材齢 91 日にはほぼ 40N/mm^2 である。

表-5.2.1 混和材とスラッジの組合せ

混和剤		スラッジ	
AE減水剤	AE剤	含水	乾燥
A	a	○	
B	a		○

表-5.2.2 スラッジ置換率と空気量の組

空気量	スラッジ置換率 (%)				
	0	5	10	15	20
4.5	○	○	○	○	○ *1
6.0			○		
7.5			○		
10.0			○ *2		

*1 混和剤A-aの組合せは、スランブが得られず、試験から除外。

*2 混和剤B-aの組合せには含まず。

5.4.2 第3回の凍結融解試験結果

凍結融解試験の結果を図-5.4.1～3に示す。図-5.4.1は、混和剤は A-a を使用し、乾燥スラッジを置換した場合、図-5.4.2は、含水スラッジを置換した場合の結果である。図-5.4.3は、混和剤 B-a を使用し、乾燥スラッジを置換した結果である。

スラッジ置換率が大きく、空気量が少ないほど相対動弾性係数が低下する傾向があることから、空気量 4.5%の配合におけるスラッジ置換率と300サイクルのときの耐久性指数の関係を図-5.4.4に示す。スラッジ置換率が大きくなると耐久性指数は低下している。とくに含水スラッジは、置換率 10 %のときの低下が大きくなっており、スラッジの状態および置換率によって凍結融解抵抗性が異なるものと考えられる。

また、スラッジ置換率 10%の配合のフレッシュ時の空気量と耐久性指数の関係は図-5.4.5のようであった。空気量が少ないと耐久性指数は低下する傾向がある。この場合も、含水スラッジは空気量 5 %程度でも耐久性指数は 60 %をわずかに下回っている。しかしながら、空気量を 6%以上に増やすことにより高い耐久性指数が確保されており、空気量を増加させることにより凍結融解抵抗性の改善されるものと考えられる。

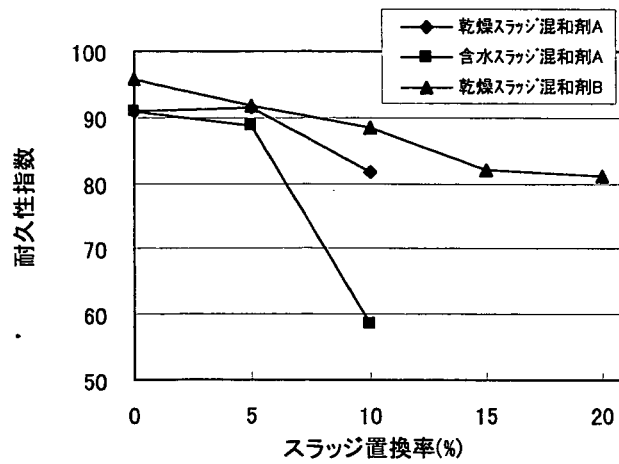


図-5.4.4 スラッジ置換率と耐久性指数（空気量4.5%）

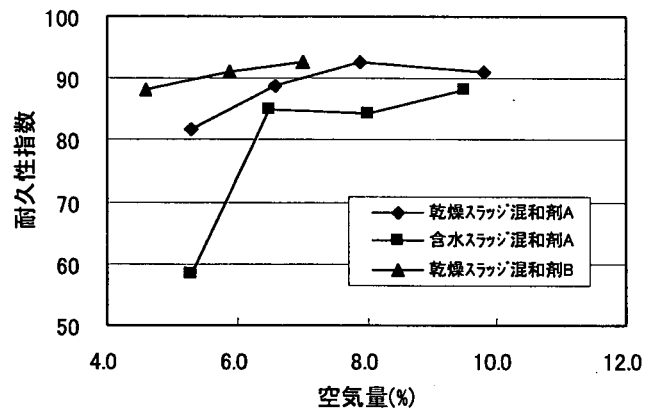


図-5.4.5 空気量と耐久性指数（スラッジ置換率10%）

一方，連行空気量が大きい配合は強度が低下する傾向にある（図-4.2.4）。空気量 6%の配合であれば，スラッジの置換にともなう強度増加により空気量の増加による強度低下を補うことができ，耐凍害性も改善されることがわかった。

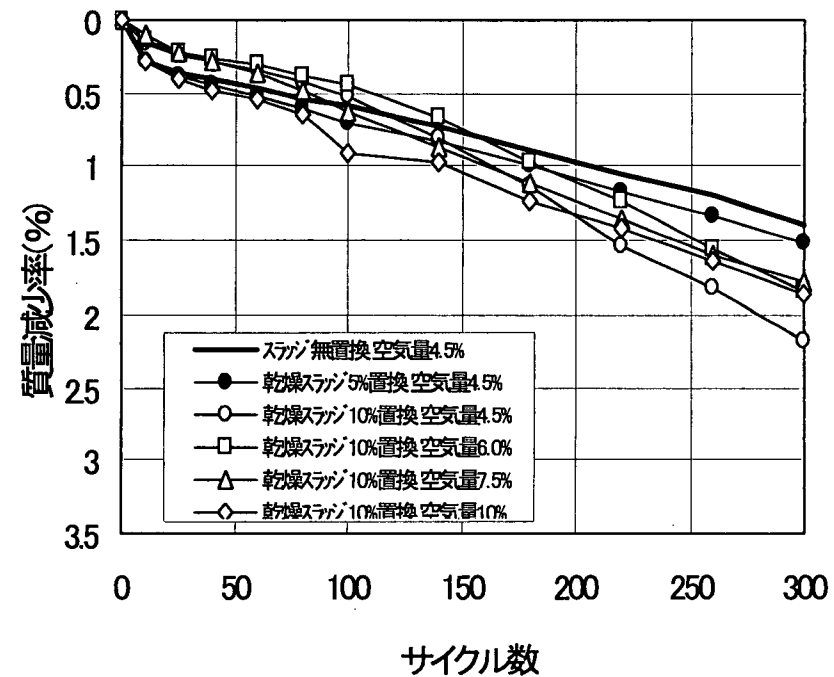
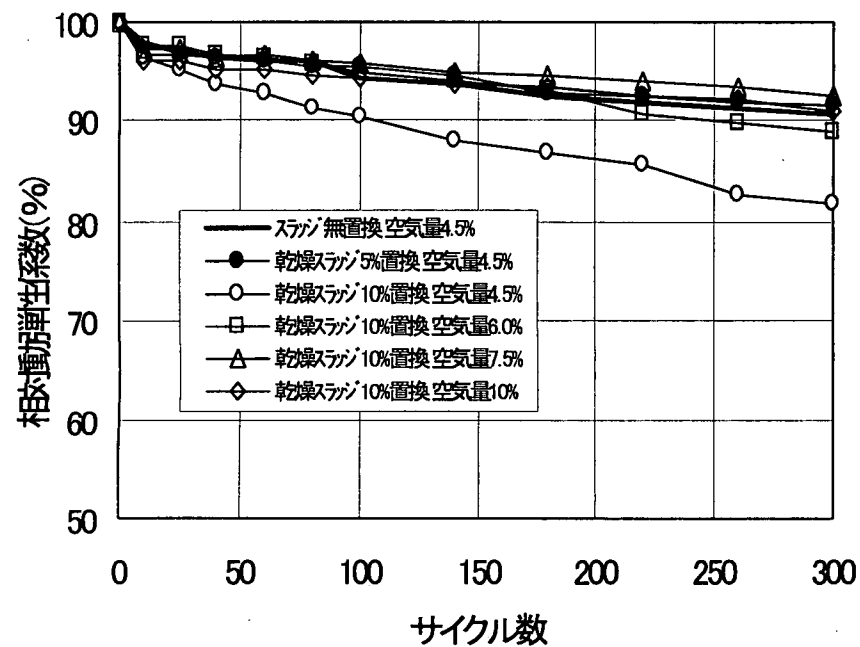


図-5.4.1 凍結融解試験結果（乾燥スラッジ，混和剤A-a）

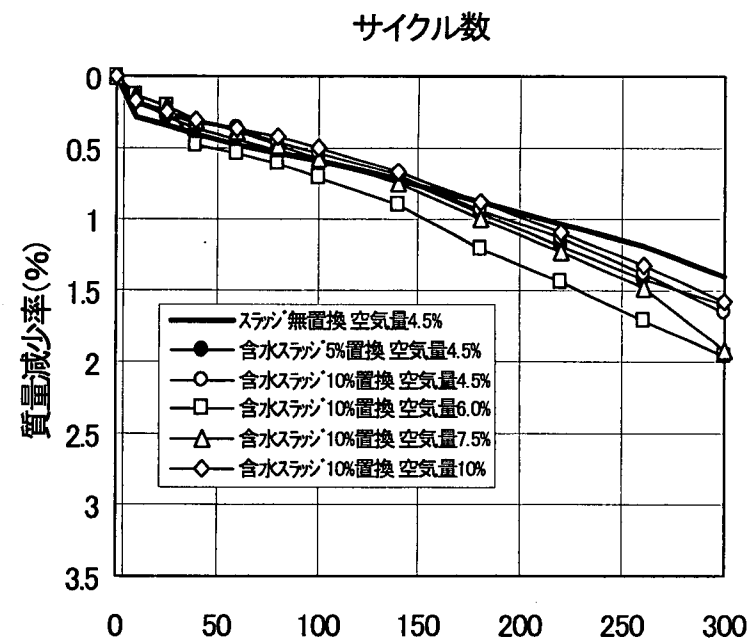
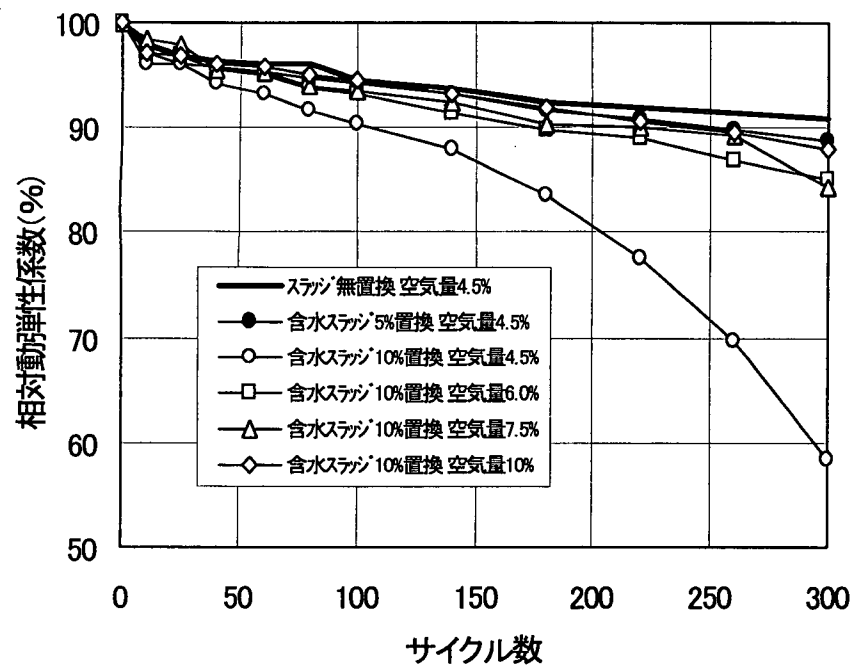


図-5.4.2 凍結融解試験結果（含水スラッジ，混和剤A-a）

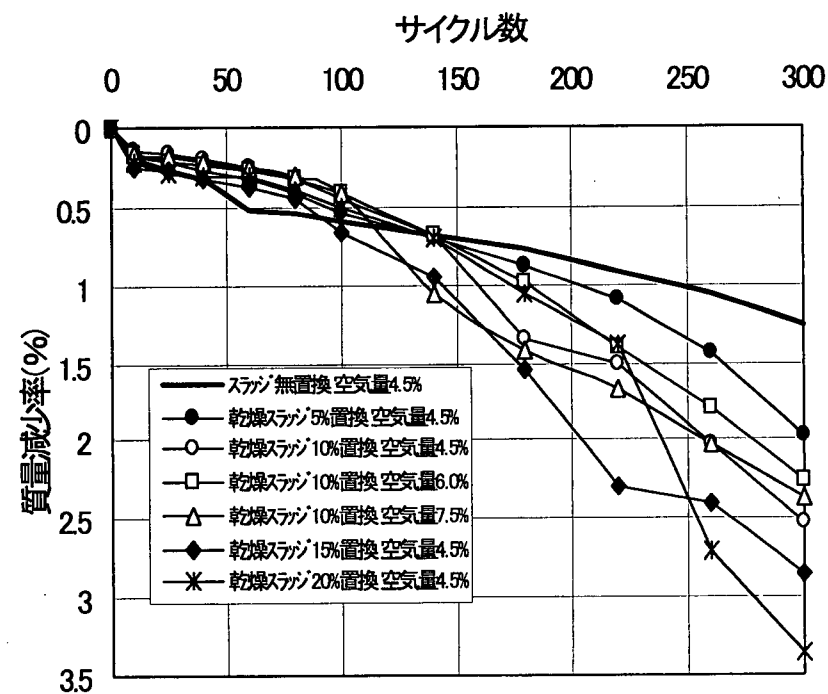
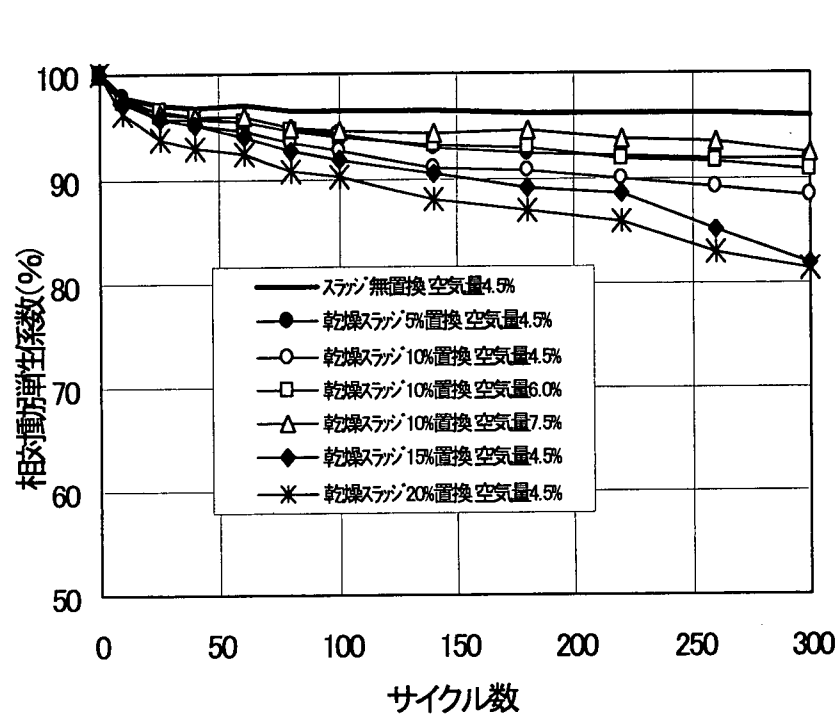


図-5.4.3 凍結融解試験結果（乾燥スラッジ，混和剤B-a）

6 章 長さ変化，曲げ強度，中性化深さ試験

6. 1 試験方法

外部用コンクリートを対象として(配合は表-5.3.1と同じ)，同一置換率の供試体について初期養生を7日と28日の2水準で水中養生した後，温度20℃，湿度60%の室内に保管し，所定の材齢において長さ変化試験，曲げ強度試験，中性化深さ測定，細孔径分布試験を実施した(表-6.1.1)。

長さ変化試験は，JIS A 1129「モルタルおよびコンクリートの長さ変化試験方法」に準拠した。測定項目は長さ変化，質量変化，相対動弾性係数である。相対動弾性係数は，JIS A 1127「共鳴振動によるコンクリートの動弾性係数，動せん断弾性係数及び動ポアソン比試験方法」に準じた。

曲げ強度試験は，供試体1本につき3回行なった。1回目はJIS A 1106「コンクリートの曲げ強度試験方法」に準拠した3等分点載荷法である。2回目，3回目の曲げ強度試験は，1回目で破断した両切片を，中央集中載荷法によって行なった。

中性化深さ試験は，曲げ強度試験で破断した3断面についてフェノールフタレイン溶液を噴霧して，打設面，両側面，底面側から1cmピッチで各5点ずつ，計60点について中性化深さを測定した。

細孔径分布試験は，中性化深さ測定後のモルタル片を試料として，水銀圧入法のポロシメーターを使用した。

表-6.1.1 試験方法

試験項目	試験方法	水中養生期間	測定材齢 (水中養生終了から)
長さ・質量変化	JIS A 1129	7日，28日	0，1，3，7，28，56，91日
動弾性係数	JIS A 1127		6月，1年，2年
曲げ強度試験	3等分点：JIS A 1106		6月，1年，2年
	中央集中：3等分点で破断した2切片を，それぞれ中央集中載荷		
中性化深さ	曲げの破断面にフェノールフタレインを噴霧。打設面，側面，底面の各面を1cmピッチで5点ずつ測定(1断面20点，1本60点)。		
細孔径分布	モルタルをはつり取り，水銀圧入式ポロシメータで測定		6月

6. 2 試験結果

6.2.1 質量変化，長さ変化，相対動弾性係数試験結果

図-6.2.1に質量変化，長さ変化，相対動弾性係数の結果を示す。左図は材齢との関係，右は材齢2年ときのスラッジ置換率と各測定結果である。

水中養生期間7日と28日の結果は異なる傾向を示している。水中養生7日間の場合は，スラッジ置換率が増加すると質量変化，長さ変化，相対動弾性係数の低下が大きくなる傾向がある。それに対し，水中養生28日間の場合は，質量，相対動弾性係数は，スラッジ置換率が増加すると小さくなる傾向を示している。また，長さ変化がスラッジ置換率の増加とともに大きくなる傾向を示しているが，その傾きは7日開始よりは小さい。

このようにスラッジを置換率した配合は，スラッジ無置換の配合と比較して，長さ変化率がやや大きくなるものの，湿潤養生を十分行なえば両者の差は 50×10^{-6} 程度と非常に小さかった。ただし，湿潤養生が不十分であれば，逆に大きな容積変化を生じる恐れがあるので，十分注意する必要がある。

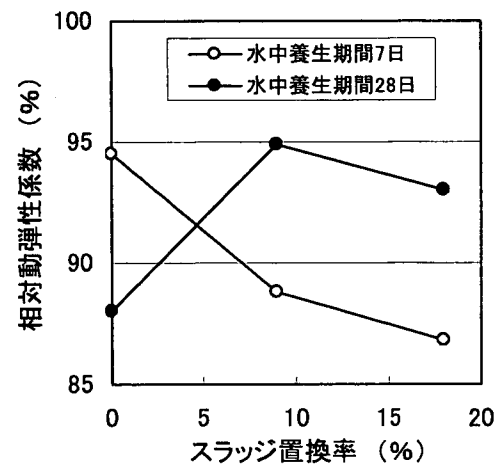
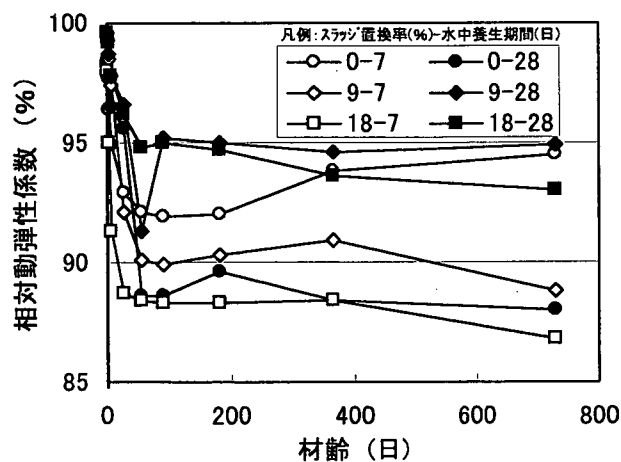
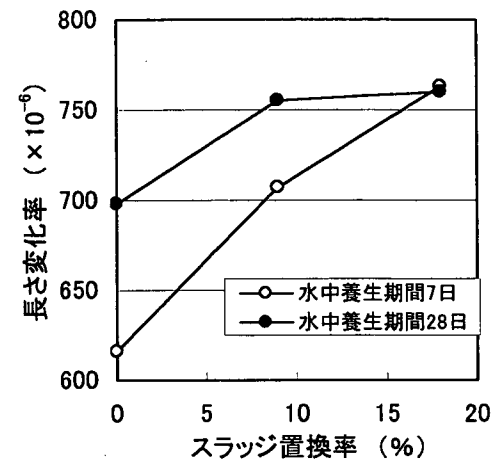
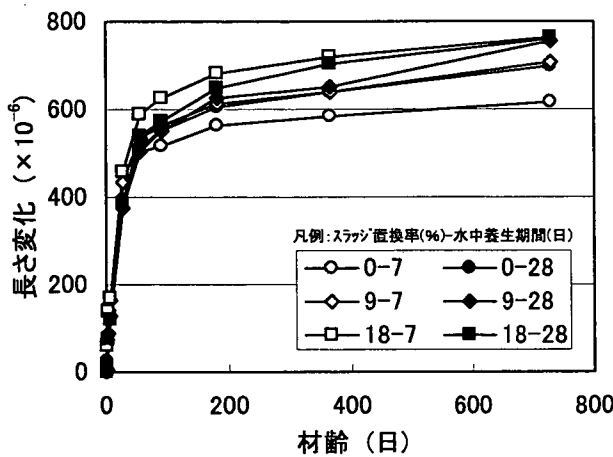
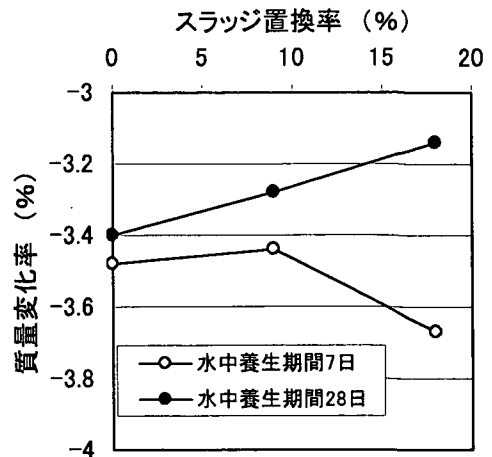
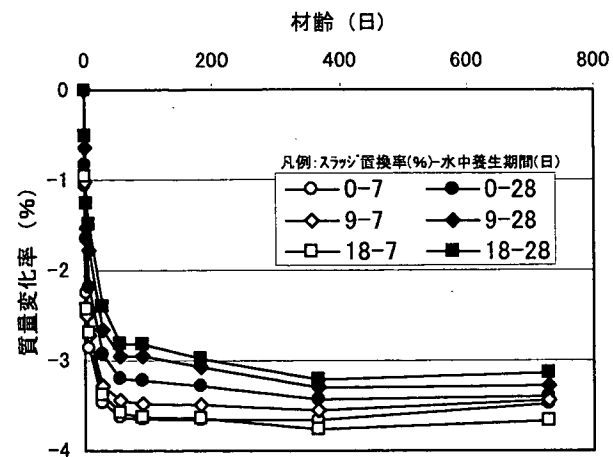


図-6.2.1 質量変化, 長さ変化, 相対動弾性係数測定結果

6.2.2 曲げ強度試験結果

長さ変化試験を行なった供試体の曲げ強度試験を行なった。材齢と曲げ強度の関係を図-6.2.2に示す。28 日まで水中養生した後、気中乾燥状態で保管した場合の強度は、7 日まで水中養生の場合よりもかなり高い。図-6.2.3に水中養生期間7日の供試体の曲げ強度に対する水中養生期間28日の曲げ強度の比（以下、曲げ強度比）を開始材齢強度に対する28日開始材齢強度を示す。材齢28日には1.5にもなり、その後、次第に低下しているが、1年でも1.2～1.3と、水中養生期間が長い方が強度が大きくなっている。

図-6.2.4および図-6.2.5にスラッジ置換率0%に対する各置換率の強度比を示す。図-6.2.4の材齢と強度比の関係は、材齢に係らず1.1～1.5程度であり、圧縮強度の場合と比較して変動が少なかった。スラッジ置換率との関係も、図-6.2.5のとおり、スラッジを置換すると無置換と比べて曲げ強度は大きくなるが、置換率の上昇に対して強度比も大きくなるものと、スラッジ置換率5%の方が10%より大きいものの2通りの傾向がみられた。

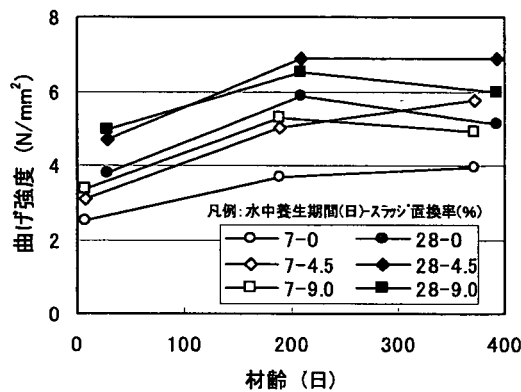


図-6.2.2 材齢と曲げ強度の関係

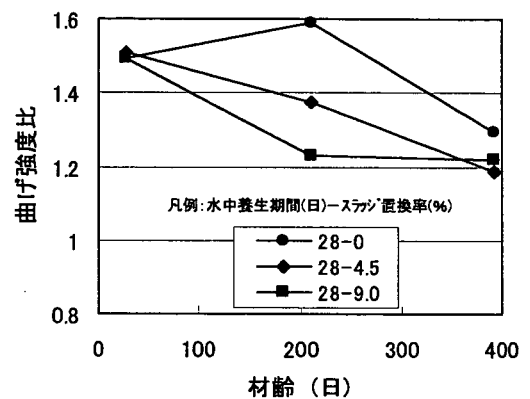


図-6.2.3 材齢と曲げ強度比の関係

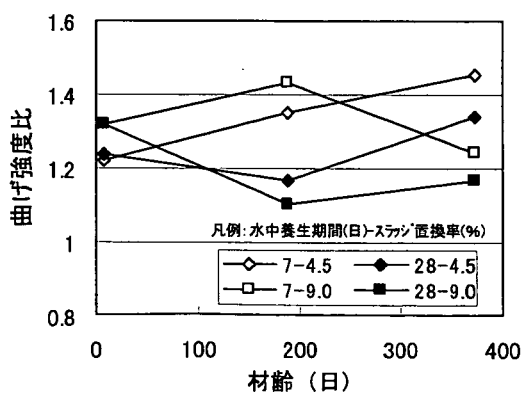


図-6.2.4 スラッジ置換率0%に対する
材齢と強度比の関係

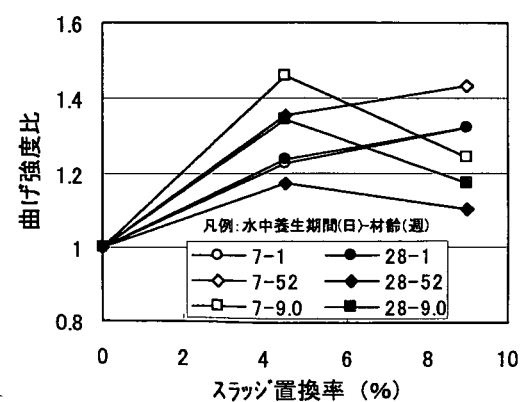


図-6.2.5 スラッジ置換率0%に対する
スラッジ置換率と強度比の関係

6.2.3 中性化深さ試験結果

中性化深さと材齢の関係は図-6.2.6のとおりである。 $\sqrt{t}$ 則に基づき次式によって回帰した結果が表-6.2.1である。図-6.2.7にはスラッジ置換率と中性化深さの関係を示す。

$$C = K \sqrt{t} \quad (6.2.2)$$

ここに、C：中性化深さ、K：中性化速度を表わす係数、t：材齢である。

表-6.2.1に相関係数 r も示している。測定材齢は3点しかないが、相関係数は極めて高く、 $\sqrt{t}$ 則にしたがっているものと考えられる。K の値が大きいほど中性化速度は速いことを示しており、スラッジ置換率が大きいほど、水中養生期間が長いほど中性化速度は小さくなっている。

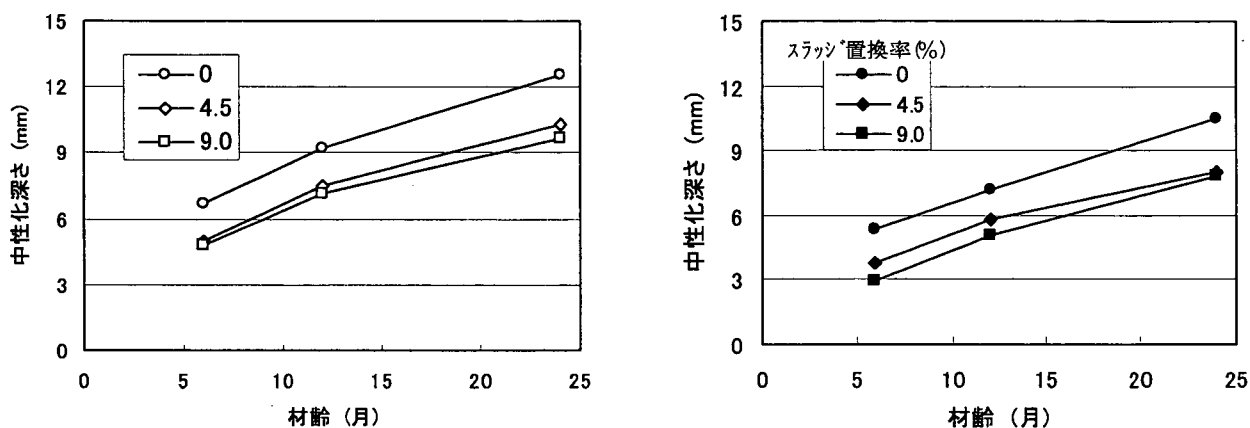


図-6.2.6 材齢と中性化深さの関係

表-6.2.1 $\sqrt{t}$ 則による回帰結果

試験開始 材齢	スラッジ 置換率	回帰係数		K値の置換率0% に対する比	K値の水中養生7日 に対する比
		K	r		
7	0.0	2.62	0.996		
	4.5	2.11	0.998	0.805	
	9.0	2.00	0.998	0.763	
28	0.0	2.13	0.998		0.813
	4.5	1.63	0.997	0.765	0.773
	9.0	1.50	0.966	0.704	0.750

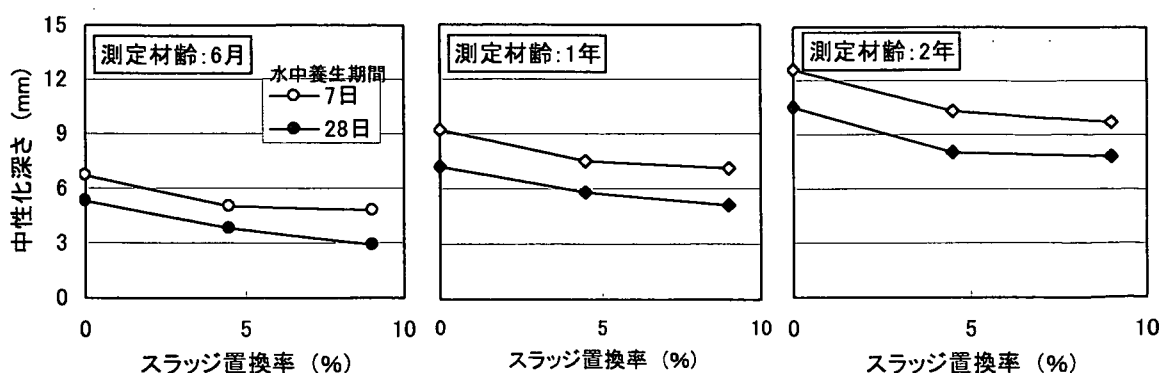


図-6.2.7 スラッジ置換率と中性化深さ

図-6.2.8では供試体の打設面、側面、底面ごとの中性化深さを比較した。スラッジ置換率 0 %の場合を見るとブリーディングなど材料分離の影響により、打設面>側面>底面の順に中性化深さが小さくなっている。しかし、スラッジ置換率が大きくなると中性化深さが小さくなるとともに、3面とも中性化深さはほぼ同じになっており、スラッジを置換することにより緻密になると同時に、均質になってきているものと考えられる。

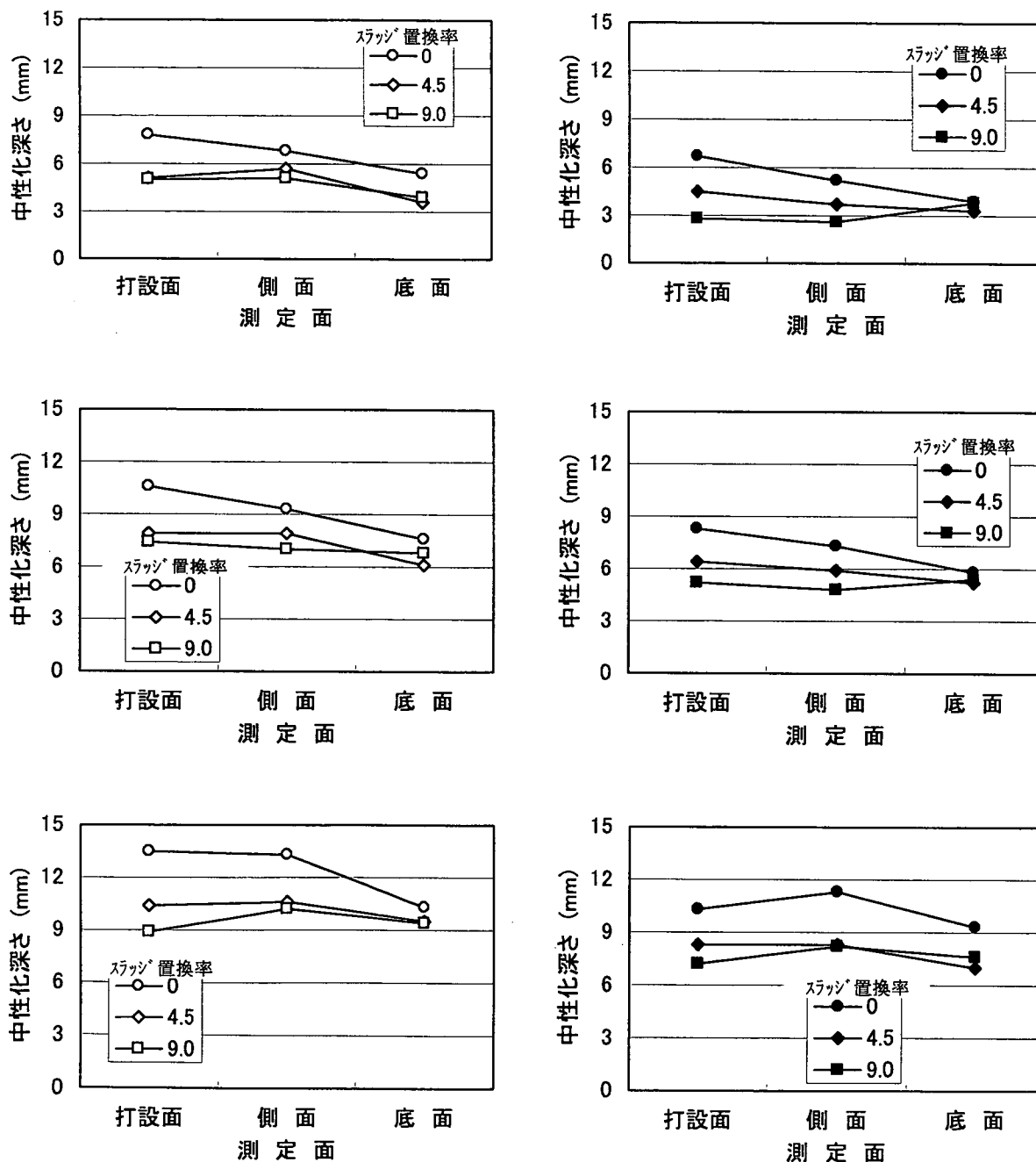


図-6.2.8 測定面ごとの中性化深さの比較

6. 3 細孔径分布の測定結果

図-6.3.1は水中養生終了時点で測定した細孔径分布を示しており、水中養生期間が長いほど、さらにスラッジ置換率が多いほど細孔量がピークとなるとき細孔径が小さくなっている。また、総細孔量は、表-6.3.1に示すようにスラッジ置換率が多いほど少なくなっている。

これはスラッジを混入することによりコンクリート組織が緻密化されたものと考えられる。そのため、これまでの圧縮強度や割裂引張強度、曲げ強度の増加、さらに長さ変化や中性化深さが小さい理由の一つと考えられる。

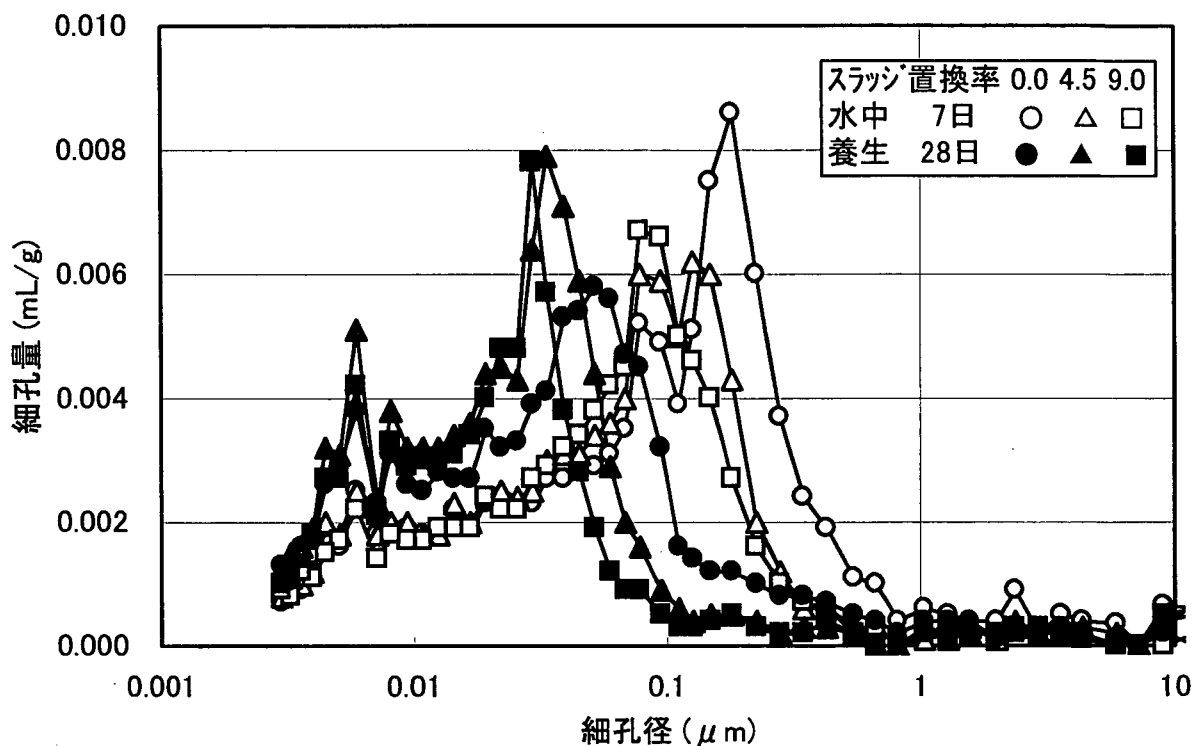


図-6.3.1 細孔径分布

表-6.3.1 総細孔量

(単位: mL/g)

スラッジ置換率(%)		0.0	4.5	9.0
水中養生 期間(日)	7	0.1208	0.1072	0.0911
	28	0.1026	0.1089	0.0924

7章 ま と め

ダムの外部用コンクリートにスラッジを置換し、置換率を増加させるとともに混和剤の種類を変え、添加率を増加することによってワーカビリティを改善する方法、および所要の空気量を確保し、凍結融解抵抗性を改善する方法について検討した。合せて、混和剤を多量に添加することから、強度に及ぼす影響についても検討した。これらの実験の結果、次のことが明らかになった。

(1) 混和剤の種類、添加率によってスランプ、空気量を制御することが可能である。

スラッジ置換率に応じて混和剤の添加率を増やすことにより所要のスランプ、空気量を得ることができる。ただし、混和剤の種類によってその効果は異なる。

混和剤の種類によって効果が異なる原因について今後検討する必要がある。

(2) 混和剤を多量添加することにより初期強度の増加は抑制されるが、それ以後の強度増加は、混和剤を標準量添加した場合と同じである。

スラッジ置換率を増加させることにより強度は増加する。遅延型の混和剤を多量に添加すると、遅延効果により初期強度の増加は見込めないが、長期的には安定した強度増加が期待できる。

空気量が増加すると強度は低下するが、スラッジ置換率 10% の場合、空気量 7.5% 程度までであれば、スラッジを置換しない配合と同程度の強度を確保できる。

(3) 所要の空気量を確保することによって凍結融解抵抗性を改善できる。

AE 剤添加率が一定の場合にスラッジを置換すると、空気量が大幅に低下するため凍結融解抵抗性も急激に低下する。また、空気量 4.5% を確保しても、スラッジ置換率が大きくなると凍結融解抵抗性は低下する。しかし、空気量を 6.0 % 以上とすることで凍結融解抵抗性を改善することができる。

(4) スラッジを置換することによりコンクリートは緻密になる。

スラッジを置換すると緻密になるため、強度は増加し、中性化を抑制することができる。また、長さ変化はスラッジ置換により若干大きくなるが、養生期間を長くすることで、その差を小さくすることができる。

スラッジ混入コンクリートの配合設計方法の提案

1. これまでの検討概要

スラッジをコンクリートへ有効利用するためにさまざまな検討を行なった。その結果、スラッジを混入することにより強度が増加するなどの改善効果が期待できる反面、ワーカビリティ、空気量が急激に低下するという問題がある。この問題に対し、混和剤を多量に添加することによって解決できる見通しを得た。以下に、実施工への適用方法についてふれる。

2. スラッジの品質評価

コンクリートの品質改善のためにスラッジに要求される性能として、充填性、分散性、潤滑性、増粘性が重要と考え、これらを評価するための各種試験を行なった。これらの特性と主にコンクリートのワーカビリティの関係について検討した。一部の試験ケースでは、モルタルのレオロジーとの関係についても検討した。

また、細骨材と粗骨材の混合物（細粗混合骨材）の空隙・充填特性についてもワーカビリティとの関係について検討した。

これらの検討結果より、材料分離抵抗性を改善するための増粘性を付与するためには、微粒分の比表面積が重要であること、流動性の改善に関しては限定された試料の範囲で潤滑性、分散性について明確な関係を求めることはできなかったものの、充填性は重要であること、がわかった。

3. スラッジ混入コンクリートの品質

ダム内部の RCD、ELCM 用コンクリート、また有スランブコンクリートでもある ELCM や外部用コンクリート、構造物周り用の高流動コンクリートにスラッジを混入したときの品質について検討した。それらの内、特に RCD 用コンクリート、外部用コンクリートについて、スラッジを混入した場合の品質の特長を以下に示す。

3.1 RCD用コンクリート

(1) ワーカビリティ

スラッジ混入することにより所要のワーカビリティを得るためには混和剤の多量添加が有効であった。ただし、混和剤の種類によって得られる効果もかなり違うので、スラッジに適した混和剤を選定する必要がある。また、所要のワーカビリティを確保するためには、スラッジ混入量によって適切な添加率を選定する必要がある。

(2) 強 度

スラッジ置換率が増加すると強度も大きくなることがわかった。ただし、遅延型の混和剤を多量添加することにより初期強度の強度増加はほとんど見込めない。

3.2 有スランブコンクリート

(1) ワーカビリティ

有スランブコンクリートにスラッジを混入した場合にも、RCD と同様、所要のワーカビリティを確保するためには混和剤の多量添加が有効であり、混和剤の種類の選定、スラッジ混入量に適した添

加率を適切に選定することが重要である。

(2) 強 度

強度についても RCD と同様、スラッジ置換率が増加すると強度も大きくなること、混和剤を多量添加することにより初期強度の強度増加はほとんど見込めない。遅延効果の大きいものを多量に添加する場合は、初期強度が低下することもあるので注意を要する。

(3) 耐 久 性

スラッジを混入すると空気連行性が低下し、凍結融解抵抗性が低下するので、所要の空気量を確保することが必要である。空気連行性も混和剤の種類によって異なるので、スラッジに適した混和剤を選定する必要がある。

スラッジを混入すると、コンクリートが緻密になり長さ変化や、中性化を抑制できる。

4. スラッジ混入コンクリートの配合設計方法

スラッジを混入することにより強度増加、長さ変化や中性化が抑制できるという良い面もあるが、所要のワーカビリティを得にくい、空気を連行し難いので凍結融解抵抗性を確保しにくいという問題がある。

スラッジの有効利用を図るために、長所を活かしつつ問題点の改善方法として混和剤を有効に活用する方法がある。所要のワーカビリティ、空気量が確保できるように混和剤の種類および添加率を選定すればよい。

スラッジは、フレッシュ性状のときはセメント、混和材と合わせて粉体として扱い、硬化コンクリートの品質の時は細骨材として扱うとよい。

5. スラッジ有効利用の経済性

産業廃棄物として管理型の廃棄を行っていたスラッジをコンクリートに有効利用することによってどの程度の経済的な効果があるのか、簡単な試算を RCD 用コンクリートについて試みる。

5. 1 試算するに当たっての仮定

(1) 軽減効果

廃棄していたスラッジを有効利用することにより、①廃棄処理費用、②スラッジ使用量だけ骨材の使用量が減るため、原石山の掘削、骨材の製造などの費用が軽減されることが考えられる。

①の廃棄処理費は、現場条件によってかなり異なることが考えられる。ここでは、文献 3) の調査結果の平均値を用いた。

②については、多くのことを検討しなければならないので、ここでは考慮しない。

(2) スラッジ利用に伴う費用

スラッジをコンクリートに利用するためには、①スラッジの貯蔵・投入設備が必要になる、②均一なコンクリートを製造するために練混ぜ時間が増える、③混和剤使用量が増える、ことが考えられる。

①のスラッジの貯蔵・投入設備費用は、ダムの規模、工事期間、機械の原価償却期間などによって

3) 日本ダム協会施工技術研究会第二部会：スラッジ・脱水ケーキの有効利用の事例調査，2000.4

異なるので、ここでは初期投資のみを考える。

②の練混ぜ時間は、実験室ではスラッジの塊を解砕・分散させるために通常の 1.5 倍とした。材料の投入時間などもあるので必ずしも 1.5 倍になるわけではなく、実機では練混ぜ効率が良く練混ぜ時間を大幅に短縮できる可能性があるため、練混ぜ時間についてはここでは考えない。

③の混和剤の使用量については、スラッジ置換率との関係で考慮する。

5. 2 試算結果

(1) 軽減効果

スラッジの廃棄処理費は、文献 3) によれば 41 現場の平均は 13,800 円/t である。

混和剤 B を使用することによって、細骨材の 25 % 置換できるとすると、スラッジ使用量は約 160kg/m³ であり、処理費はコンクリート 1m³ あたり 2,208 円/m³ 軽減できる。

(2) スラッジ利用に伴う費用

スラッジを細骨材の 25 % 置換したとき、混和剤 B の添加率は 4 % になる。そのときの混和剤の費用は、559 円/m³ となる。

スラッジの貯蔵・投入設備費用を見積もると、約 9 千万円である。

見積もりの項目（詳細は省略）は、計量設備、水分調整屋根付きヤード、スラッジ受入設備（コルゲートサイロ）、スラッジ供給設備、現地据付工事、電気工事、運送費、設計費、諸経費である。

(3) スラッジの有効利用による経済効果

コンクリート 1m³ に使用するスラッジ量の処理費用 (2,208 円/m³) に対し、混和剤の費用 (559 円/m³) は 25 % であり、スラッジ処理費に対して 75 % 削減できることになる。

スラッジの利用には設備が必要になり、その費用 (約 9 千万円) を仮に一現場で採算をとろうとすると、次のようになる。

コンクリート 1m³ の処理費と混和剤費用の差は 1,649 円/m³ である。そのときのスラッジ使用量は 160kg/m³ 仮定しており、スラッジ 1t では約 10,000 円/t 削減できる。

設備費用は約 9 千万円なので 9,000t のスラッジを処理すればよいことになる。

スラッジは、骨材の 15 % 程度発生するといわれているので、骨材を 6 万 t 使用する現場であれば、一現場で採算がとれることになる。

実際には、数現場での使用が考えられるので、数分の 1 の費用を見込んでおけばいいものと考えられる。

混和剤の増額分と合わせても、処理費の半額程度で有効利用できるものと考えられる。

そのほかにも多くの増減要因はあるだろうが、仮にスラッジ 15 % をすべて有効利用し、その量の骨材の製造を減らすことができれば、さらに大きな経済効果が見込めるものと考えられる。

6. 今後の検討課題

スラッジの有効利用のためには混和剤の利用が欠かせない。しかし、混和剤の種類によって得られる効果は異なる。今後、スラッジの品質と混和剤の特性の関係について検討し、混和剤の選定が容易

にできると、スラッジも使いやすくなるものと考えられる。

また、スラッジを置換することにより強度などの改善が図られるため、コンクリートの要求性能によっては混和剤の多量添加による方法のみではなく、単位水量を増加するなどしてスラッジを多量に置換できる方法を検討することによって、より多くのスラッジの有効利用を図ることができるものと考えられる。

資 料

1. 材料試験結果	資-1
スラッジ	資-1
フライアッシュ	資-7
骨材	資-8
2. 配合試験結果	資-10
3. 強度試験結果	資-14
4. 凍結融解試験結果	資-21
5. 長さ変化, 曲げ強度, 中性化深さ試験結果	資-28

粉体試験結果(Tダムの材料)

				スラッシュ ^a	スラッシュ ^b ¹⁾	粗骨材	セメント	フライアッシュ
組成	湿分		%	1.4	—	0.1	—	—
	強熱減量		%	3.2	—	1.3	—	—
粉体	密度		g/cm ³	2.63	—	—	3.20	2.26
	かさ密度	ゆるめ	g/cm ³	0.82	—	—	0.87	0.77
		かため	g/cm ³	1.30	—	—	1.45	1.13
	比表面積(ブレン法)		× 10 ³ cm ² /g	4.84	—	—	3.76	4.14
	メチレンブルー吸着量		mg/g	2.00	—	—	—	0.39
	ゼータ電位		mV	-12	-13	—	-11	-15
比表面積	BET法		× 10 ³ cm ² /g	84.7	—	—	10.7	19.1
粒子形状	電子顕微鏡			写真	写真	—	写真	写真

1) 気乾状態のものを指でつぶし75 μmを全通させたもの

粉体の粒度分布

粒子径 (μm)	スラッジa			スラッジb			フライアッシュ			セメント		
	1回	2回	平均	1回	2回	平均	1回	2回	平均	1回	2回	平均
226.36	100.00	100.00	100.00									
185.69	99.99	99.99	99.99									
152.32	99.74	99.74	99.74	100.00	100.00	100.00						
124.95	98.54	98.55	98.55	99.92	99.96	99.94	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
102.50	95.23	95.30	95.27	99.45	99.69	99.57	99.97	99.98	99.98	99.98	99.99	99.99
84.08	89.28	89.59	89.44	97.91	98.66	98.29	99.77	99.79	99.78	99.82	99.88	99.85
68.97	82.66	83.18	82.92	94.71	96.10	95.41	98.99	99.09	99.04	99.20	99.46	99.33
56.58	76.61	77.27	76.94	90.00	91.63	90.82	97.13	97.37	97.25	97.63	98.30	97.97
46.41	71.31	71.97	71.64	84.41	85.64	85.03	93.89	94.26	94.08	94.71	95.90	95.31
38.07	66.20	66.77	66.49	78.18	78.84	78.51	89.14	89.56	89.35	90.12	91.69	90.91
31.23	60.79	61.25	61.02	71.23	71.65	71.44	82.63	83.01	82.82	83.54	85.27	84.41
25.62	55.19	55.52	55.36	63.91	64.32	64.12	74.46	74.76	74.61	74.85	76.34	75.60
21.02	49.97	50.15	50.06	56.97	57.34	57.16	64.37	64.83	64.60	63.40	65.33	64.37
17.24	45.59	45.62	45.61	51.06	51.28	51.17	55.66	55.92	55.79	54.83	56.88	55.86
14.14	41.97	41.94	41.96	46.21	46.32	46.27	47.80	47.86	47.83	47.30	49.43	48.37
11.60	38.59	38.61	38.60	41.95	42.06	42.01	40.70	40.66	40.68	40.75	42.90	41.83
9.52	35.10	35.19	35.15	37.85	38.01	37.93	34.13	34.07	34.10	34.81	36.99	35.90
7.81	31.64	31.75	31.70	33.94	34.10	34.02	28.17	28.08	28.13	29.37	31.60	30.49
6.40	28.35	28.47	28.41	30.33	30.46	30.40	22.98	22.85	22.92	24.51	26.81	25.66
5.25	25.23	25.41	25.32	27.00	27.06	27.03	18.57	18.43	18.50	20.21	22.60	21.41
4.31	22.27	22.50	22.39	23.86	23.78	23.82	14.88	14.75	14.82	16.41	18.84	17.63
3.54	19.46	19.71	19.59	20.88	20.60	20.74	11.82	11.69	11.76	13.04	15.54	14.29
2.90	16.77	17.04	16.91	18.02	17.57	17.80	9.27	9.13	9.20	10.05	12.68	11.37
2.38	14.25	14.57	14.41	15.31	14.79	15.05	7.08	6.94	7.01	7.43	10.18	8.81
1.95	12.00	12.32	12.16	12.80	12.34	12.57	5.16	5.08	5.12	5.28	7.93	6.61
1.60	9.80	10.05	9.93	10.34	9.94	10.14	3.54	3.51	3.53	3.65	5.90	4.78
1.31	7.35	7.53	7.44	7.74	7.29	7.52	2.25	2.24	2.25	2.44	4.20	3.32
1.08	4.96	5.11	5.04	5.29	4.76	5.03	1.35	1.29	1.32	1.54	3.00	2.27
0.88	3.09	3.21	3.15	3.36	2.86	3.11	0.78	0.68	0.73	0.90	2.27	1.59
0.73	1.69	1.77	1.73	1.86	1.53	1.70	0.41	0.32	0.37	0.45	1.71	1.08
0.60	0.71	0.75	0.73	0.79	0.64	0.72	0.16	0.12	0.14	0.17	1.08	0.63
0.49	0.20	0.21	0.21	0.22	0.18	0.20	0.05	0.03	0.04	0.05	0.49	0.27
0.40	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.01	0.00	0.01	0.01	0.15	0.08
0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01
0.27										0.00	0.00	0.00

粒度分布試験結果（Ｔダム材料）

試 料 : 1. スラッジa(ロスアンゼルス試験機で解砕したもの)
 2. スラッジb 75 μ m以下
 (気乾状態のものを指でつぶし75 μ mを全通させたもの)
 3. フライアッシュ
 4. セメント

試験方法 : レーザー回折粒度分布

測定条件 : 分散剤 1. 2. 3は中性洗剤, 4はなし

分散媒 1. 2. 3は0.2%ヘキサメタリン酸ナトリウム, 4はエタノール

超音波照射 1. 2. 3は5min, 4は1min

屈折率 1.80-0.00i

レーザー回折粒度分布測定結果

No.	試 料 名		25% 粒径 (μ m)		50% 粒径 (μ m)		75% 粒径 (μ m)	
1	スラッジ a	①	5.173	5.1	21.040	21.0	53.276	52.6
		②	5.109		20.881		51.976	
2	スラッジ b 75 μ m以下	①	4.631	4.6	16.512	16.4	34.773	34.5
		②	4.638		16.381		34.251	
3	フライアッシュ	①	6.917	6.9	14.948	14.9	25.959	25.9
		②	6.947		14.906		25.770	
4	セメント	①	6.533	6.2	15.183	14.8	25.708	25.4
		②	5.881		14.358		25.010	

粒度分布の比較

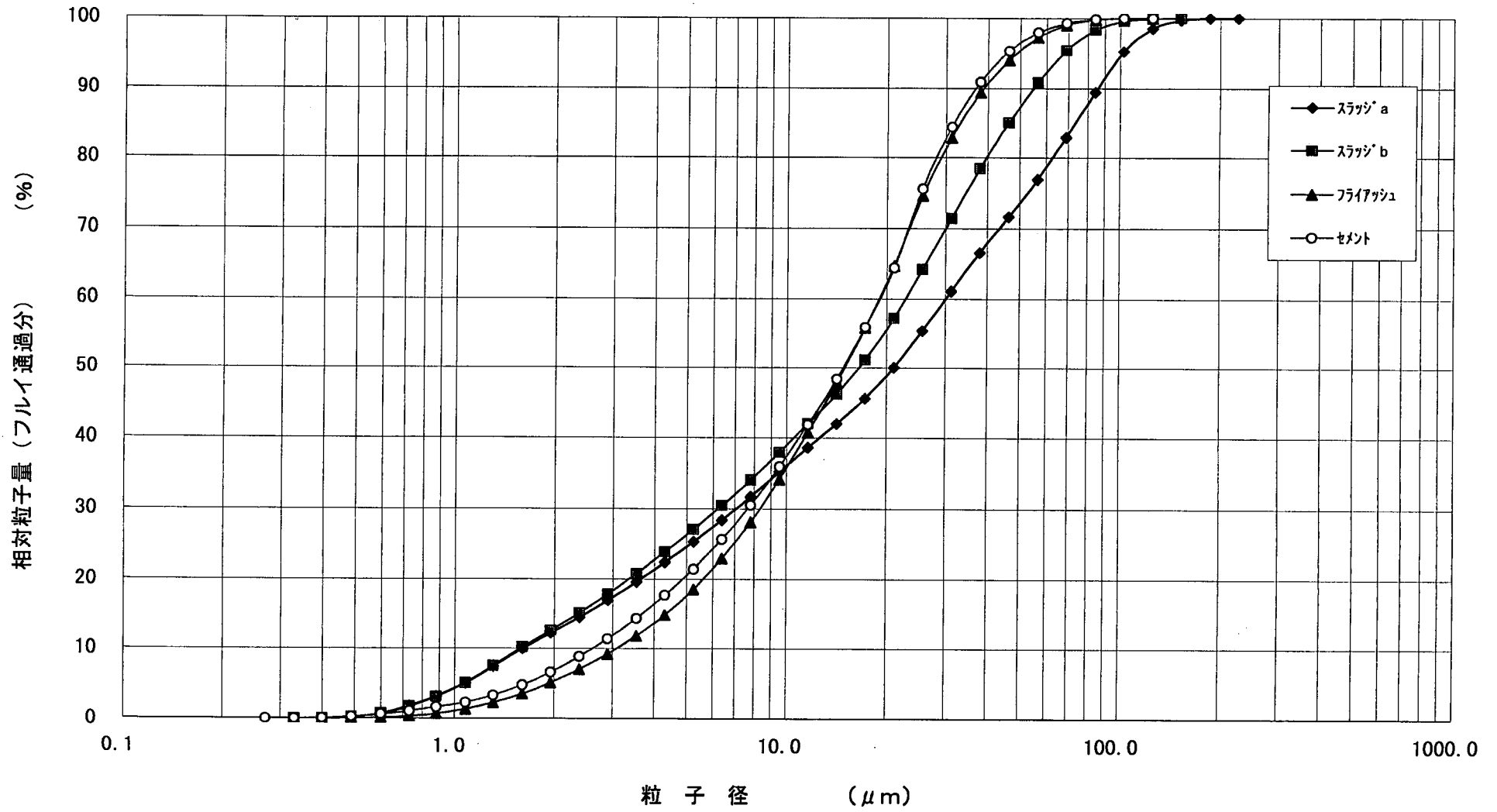


表-1 Tダム材料主成分分析結果一覧

元素名	試料名	
	スラッジa	砕石2005
SiO ₂ 二酸化ケイ素 (%)	65.75	73.77
Al ₂ O ₃ 酸化アルミニウム (%)	15.34	12.37
Fe ₂ O ₃ 酸化第二鉄 (%)	4.28	2.71
MgO 酸化マグネシウム (%)	1.27	0.89
CaO 酸化カルシウム (%)	1.24	0.83
Na ₂ O 酸化ナトリウム (%)	3.15	3.44
K ₂ O 酸化カリウム (%)	3.03	2.72
TiO ₂ 二酸化チタン (%)	0.58	0.38
P ₂ O ₅ 五酸化りん (%)	0.12	0.05
MnO 一酸化マンガン (%)	0.13	0.04
Cr ₂ O ₃ 酸化クロム (%)	0.004	0.024
Ba バリウム (ppm)	577	523
Ni ニッケル (ppm)	72	<20
Sr ストロンチウム (ppm)	194.9	198.0
Zr ジルコニウム (ppm)	185.2	149.2
Y イットリウム (ppm)	34.3	18.1
Nb ニオブ (ppm)	48.1	18.2
Sc スカンジウム (ppm)	10	5
LOI 強熱減量 (%)	4.8	2.5
計 (%)	99.81	99.82
C/TOT 全炭素量 (%)	0.49	0.10
S/TOT 全硫黄量 (%)	0.04	0.03

表-2 Tダム材料35元素分析結果一覧

元素名			試料名	
			スラッジ ^a	砕石2005
Mo	モリブデン	(ppm)	0.4	0.2
Cu	銅	(ppm)	14.3	6.9
Pb	鉛	(ppm)	17.9	7.6
Zn	亜鉛	(ppm)	61.0	36.0
Ag	銀	(ppm)	<0.1	<0.1
Ni	ニッケル	(ppm)	13.9	8.9
Co	コバルト	(ppm)	14.5	4.8
Mn	マンガン	(ppm)	0.10	0.03
Fe	鉄	(%)	2.99	1.89
As	ヒ素	(ppm)	8.4	3.0
U	ウラン	(ppm)	3.0	2.1
Au	金	(ppb)	1.1	0.9
Th	トリウム	(ppm)	13.7	9.9
Sr	ストロンチウム	(ppm)	194.9	198.0
Cd	カドミウム	(ppm)	0.1	0.1
Sb	アンチモン	(ppm)	0.4	0.2
Bi	ヒスマス	(ppm)	0.0	0.1
V	バナジウム	(ppm)	75	42
Ca	カルシウム	(%)	0.89	0.59
P	リン	(%)	0.05	0.02
La	ランタン	(ppm)	62.0	22.3
Cr	クロム	(ppm)	0.003	0.016
Mg	マグネシウム	(%)	0.77	0.54
Ba	バリウム	(ppm)	577	523
Ti	チタン	(%)	0.35	0.23
Al	アルミニウム	(%)	8.12	6.55
Na	ナトリウム	(%)	2.34	2.55
K	カリウム	(%)	2.52	2.26
W	タングステン	(ppm)	2.5	1.2
Zr	ジルコニウム	(ppm)	185.2	149.2
Sn	スズ	(ppm)	<1	<1
Y	イットリウム	(ppm)	34.3	18.1
Nb	ニオブ	(ppm)	10.2	7.4
Be	ベリリウム	(ppm)	<1	<1
Sc	スカンジウム	(ppm)	10	5

フライアッシュ試験成績表

製造業者名 東京都市圏新都市圏整備株式会社
(ヒューマン・リソース・マネジメント・カンパニー)
株式会社電発グループ・アド・マリー

平成14年8月出荷分

品 質		JIS A 6201による規定値	試 験 値	備 考
二酸化けい素		% 45.0以上	58.8	
湿分		% 1.0以下	0.1	
強熱減量(1)		% 5.0以下	1.3	(炭素)
密度		g/cm ³ 1.95以上	2.26	
粉末度(2)	45μmふるい残分 (網ふるい方法)(3)	% 40以下	3.0	
	比表面積 (ブレン方法)	cm ² /g 2500以上	4010	
フロー値比		% 95以上	103	
活性度指数	% 材齢28日	80以上	84	
	材齢91日	90以上	—	結果出次第報告
MB吸着量		mg/g —	0.46	

注(1) 上記データは御提供したサンプルについて試験したものです。
(2) 未燃炭素測定による場合は、その試験値に(炭素)と付記する。

連絡先 社名・担当部門 竹原事業所 運転グループ
所在地 広島県竹原市忠海長浜2丁目1番1号
電話番号 0846(27)0555

表1 骨材試験試験項目

	試験項目	試験数
細骨材 スラッジ	骨材のふるい分け試験方法(JIS A 1102)	1
	細骨材の密度及び吸水率試験方法(JIS A 1109)	2
	骨材の単位容積質量及び実積率試験方法(JIS A 1104)	1
	硫酸ナトリウムによる骨材の安定性試験方法(JIS A 1122)	1
粗骨材	骨材のふるい分け試験方法(JIS A 1102)	2
	粗骨材の密度及び吸水率試験方法(JIS A 1110)	2
	骨材の単位容積質量及び実積率試験方法(JIS A 1104)	2
	硫酸ナトリウムによる骨材の安定性試験方法(JIS A 1122)	2
混合骨材	骨材の単位容積質量及び実積率試験方法(JIS A 1104)	

表2 細骨材の物理試験結果一覧

		細骨材(砕砂)	スラッジ
粒度分布 (残留%)	5(mm)	1.9	—
	2.5(mm)	13.9	—
	1.2(mm)	37.3	—
	0.6(mm)	57.6	—
	0.3(mm)	72.7	—
	0.15(mm)	87.7	—
	受皿	100.0	—
粗粒率(F.M)		2.71	—
表乾密度(g/cm ³)		2.575	2.577(気乾)
吸水率 (%)		1.471	—
単位容積質量(kg/l)		1.785	—
実積率 (%)		70.33	—
安定性損失量 (%)		4.00	—

表3 粗骨材の物理試験結果一覧

		40~20 (mm)	20~5 (mm)
粒度分布 (残留%)	40(mm)	2.2	—
	30(mm)	18.7	—
	25(mm)	46.3	—
	20(mm)	92.0	5.0
	15(mm)	99.4	35.4
	10(mm)	100.0	94.3
	5(mm)	100.0	100.0
粗粒率(F.M)		7.94	6.99
密度(g/cm ³)		2.612	2.611
吸水率 (%)		0.850	1.020
単位容積質量(kg/l)		1.502	1.531
実積率 (%)		57.99	59.23
安定性損失量 (%)		13.59	8.94

細粗混合骨材の単位容積質量、実積率、間隙比試験結果

(1)細骨材一定で、粗骨材を加えた

ケース	混合質量(kg)		容積 混合率	単位容積質量(kg/L)				実積率(%)				間隙比			
	細骨材	粗骨材		1回	2回	3回	平均	1回	2回	3回	平均	1回	2回	3回	平均
細0	1.0	0.0	0.000	1.773	1.777	1.786	1.779	69.9	70.0	70.4	70.1	0.431	0.428	0.421	0.427
細1	20.0	2.5	0.110	1.866	1.863	1.866	1.865	72.9	72.8	72.9	72.9	0.371	0.374	0.371	0.372
細2	20.0	5.0	0.198	1.900	1.919	1.897	1.905	74.2	74.9	74.0	74.4	0.348	0.335	0.351	0.345
細3	20.0	8.0	0.283	1.945	1.950	1.945	1.946	75.8	76.0	75.8	75.9	0.319	0.315	0.319	0.318
細4	20.0	12.0	0.372	1.990	1.989	2.002	1.994	77.5	77.5	78.0	77.7	0.290	0.291	0.282	0.288
細5	20.0	16.0	0.441	2.038	2.059	2.025	2.041	79.3	80.1	78.8	79.4	0.261	0.248	0.269	0.259
細6	20.0	20.0	0.496	2.039	2.034	2.033	2.035	79.3	79.1	79.0	79.1	0.261	0.264	0.265	0.264
細7	20.0	25.0	0.552	2.039	2.064	2.075	2.060	79.3	80.2	80.6	80.0	0.262	0.247	0.240	0.249
細8	20.0	30.0	0.597	2.044	2.021	2.057	2.040	79.4	78.5	79.9	79.3	0.260	0.274	0.252	0.262

(2)粗骨材一定で、細骨材を加えていく

ケース	混合質量(kg)		容積 混合率	単位容積質量(kg/L)				実積率(%)				間隙比			
	細骨材	粗骨材		1回	2回	3回	平均	1回	2回	3回	平均	1回	2回	3回	平均
粗0	0.0	1.0	1.000	1.550	1.567	1.564	1.561	61.1	61.8	61.6	61.5	0.637	0.619	0.622	0.626
粗1	2.5	20.0	0.887	1.724	1.709	1.707	1.713	66.7	66.1	66.0	66.3	0.499	0.512	0.514	0.508
粗2	5.0	20.0	0.798	1.854	1.850	1.857	1.854	71.8	71.7	72.0	71.8	0.392	0.395	0.390	0.392
粗3	7.0	20.0	0.738	1.942	1.909	1.935	1.929	75.3	74.0	75.0	74.8	0.328	0.351	0.333	0.337
粗4	9.0	20.0	0.687	1.996	2.006	2.008	2.003	77.4	77.8	77.9	77.7	0.292	0.285	0.284	0.287
粗5	11.0	20.0	0.642	2.018	2.042	2.017	2.026	78.3	79.3	78.3	78.6	0.276	0.262	0.277	0.272
粗6	13.0	20.0	0.603	2.045	2.067	2.047	2.053	79.4	80.3	79.5	79.7	0.259	0.246	0.258	0.254
粗7	16.0	20.0	0.552	2.061	2.049	2.052	2.054	80.1	79.6	79.7	79.8	0.249	0.256	0.254	0.253
粗8	20.0	20.0	0.496	2.037	2.031	2.032	2.033	79.2	79.0	79.0	79.1	0.262	0.266	0.265	0.265

試験練り結果

		W/C	air	s/a	W	C	FA	スラッジ	S1	G4020	G2005	RV ¹⁾	T	助剤 ²⁾	フレッシュ性状 スラップ空気量・温度			備考
					(1.00)													
捨て	FB	47.6	4.5	46.4	146	215	92	0	840	546	436	(C+FA) x 0.25%	(C+FA) x 0.30%	0A	2.1	1.9	20.5	air少, スラップ小
スラッジ0%-1	FB	47.6	4.5	46.4	146	215	92	0	840	546	436	(C+FA) x 0.25%	(C+FA) x 0.30%	2A	3.3	2.2	20.7	助剤0→2A air少, スラップ小
スラッジ0%-2	FB	47.6	4.5	46.4	146	215	92	0	840	546	436	(C+FA) x 0.25%	(C+FA) x 0.30%	25A	3.7	7.7	20.3	助剤多過ぎてair多 スラップ小
スラッジ0%-3	FB	48.9	4.5	46.4	150	215	92	0	836	568	408	(C+FA) x 0.25%	(C+FA) x 0.30%	20A	4.4	8.1	20.5	W146→150 助剤25→20A air多, スラップやや小
スラッジ0%-4	FB	50.5	4.5	46.4	155	215	92	0	830	564	405	(C+FA) x 0.25%	(C+FA) x 0.30%	10A	6.8	5.3	20.3	W150→155 助剤20→10A まだair多
dry6.4%		50.5	4.5	46.4	155	215	92	53	788	564	405	(C+FA) x 0.25%	(C+FA) x 0.30%	10A	4.6	3.8	20.4	スラッジ5%の計算ミス air少
dry10%-1		50.5	4.5	46.4	155	215	92	83	747	564	405	(C+FA) x 0.25%	(C+FA) x 0.30%	10A	1.8	3.2	20.4	air少, スラップ小
dry10%-2		50.5	4.5	46.4	155	215	92	83	747	564	405	(C+FA) x 0.75%	(C+FA) x 0.30%	10A	2.1	4.0	20.0	RV0.25→0.75% air少, スラップ変わらず
dry10%-3		50.5	4.5	46.4	155	215	92	83	747	564	405	(C+FA) x 1.5%	(C+FA) x 0.30%	10A	2.7	8.0	20.5	RV0.75→1.5% air大, RV過大?
dry5%-1		50.5	4.5	46.4	155	215	92	41	788	564	405	(C+FA) x 0.5%	(C+FA) x 0.30%	10A	4.6	4.8	20.4	RV0.25→0.5% 配合決定
dry10%-4		50.5	4.5	46.4	155	215	92	83	747	564	405	(C+FA) x 0.75%	(C+FA) x 0.30%	13A	2.5	4.8	20.5	RV1.5→0.75% 助剤10→13A
dry10%-5		50.5	4.5	46.4	155	215	92	83	747	564	405	(C+FA) x 0.75%	(C+FA) x 0.30%	23A	3.1	6.5	20.5	助剤13→23A
dry10%-6		50.5	4.5	46.4	155	215	92	83	747	564	405	(C+FA) x 0.75%	(C+FA) x 0.30%	35A	2.9	8.0	20.0	助剤23→35A
dry10%-7		50.5	4.5	46.4	155	215	92	83	747	564	405	(C+FA) x 0.75%	(C+FA) x 0.30%	45A	3.0	9.8	20.1	助剤35→45A
捨て wet5%	FB	50.5	4.5	46.4	155	215	92	41	788	564	405	(C+FA) x 0.5%	(C+FA) x 0.30%	10A	2.7	4.1	21.0	
wet5%-1	FB	50.5	4.5	46.4	155	215	92	41	788	564	405	(C+FA) x 0.5%	(C+FA) x 0.30%	10A	3.1	4.2	21.2	本練りの配合に決定
wet10%-1	FB	50.5	4.5	46.4	155	215	92	83	747	564	405	(C+FA) x 0.75%	(C+FA) x 0.30%	13A	1.1	3.8	21.5	dryと同じ配合 スラップ小
wet10%-2	FB	50.5	4.5	46.4	155	215	92	83	747	564	405	(C+FA) x 1.25%	(C+FA) x 0.30%	13A	1.5	5.2	21.4	RV0.75→1.25% スラップ小
wet10%-3	FB	50.5	4.5	46.4	155	215	92	83	747	564	405	(C+FA) x 2.0%	(C+FA) x 0.30%	13A	1.2	9.0	21.5	RV1.25→2.0% スラップ小
wet10%-4		50.5	4.5	46.4	160	222	95	82	738	557	400	(C+FA) x 1.25%	(C+FA) x 0.30%	13A	2.2	6.6	21.5	RV2.0→1.25に戻 W155→160 スラップ微増
wet10%-5		50.5	4.5	46.4	155	215	92	83	747	564	405	(C+FA) x 0.75%	(C+FA) x 0.30%	36A	1.5	8.2	20.7	W160→155 助剤36A
wet10%-6		50.5	4.5	46.4	155	215	92	83	747	564	405	(C+FA) x 0.75%	(C+FA) x 0.30%	50A	2.0	9.8	20.9	助剤45A air10%狙い
wet10%-7		50.5	4.5	46.4	155	215	92	83	747	564	405	(C+FA) x 0.75%	(C+FA) x 0.30%	18A	1.4	5.3	20.9	助剤8Aでair4.5%狙い
捨0%		50.5	4.5	46.4	155	215	92	0	830	564	405	(C+FA) x 0.25%	(C+FA) x 0%	7A	8.0	4.4	20.7	ミキサ洗い直後
0%-5		50.5	4.5	46.4	155	215	92	0	830	564	405	(C+FA) x 0.25%	(C+FA) x 0.30%	7A	9.0	4.1	20.4	スラッジなしの決定配合

スラッジ置換率10%の配合は、空気量を増やしてもスラップはほとんど変わらない傾向

試験繰り結果

		W/C	air	s/a	W	C	FA	スラッジ	SI	G4020	G2005	No.8	IT	202	フレッシュ性状			備考
						(1.00)									スランプフロー	空気量	温度	
1	捨て0%	50.5	4.5	46.4	155	215	92	0	830	564	405	0.25%	0	5A		4.1		良好
2	スラッジ0%-1	50.5	4.5	46.4	155	215	92	0	830	564	405	0.25%	0	5A	10.0	4.0	20.9	スランプ大きいが良好
3	スラッジ5%-1	50.5	4.5	46.4	155	215	92	41	788	564	405	0.25%	0	8A	6.3	3.4	21.1	エア少なめ
4	スラッジ5%-2	50.5	4.5	46.4	155	215	92	41	788	564	405	0.25%	0	12A	5.8	3.5	21.1	202を増やすがエアほとんど変化無し
5	スラッジ5%-3	50.5	4.5	46.4	155	215	92	41	788	564	405	0.25%	0	20A	5.2	4.1	21.0	20Aに増したらエア0.6%増加
6	スラッジ5%-4	50.5	4.5	46.4	155	215	92	41	788	564	405	0.25%	0	30A	5.5	5.0	20.9	さらに30Aに増やしてようやく5.0%に
7	スラッジ10%-1	50.5	4.5	46.4	155	215	92	83	747	564	405	0.50%	0	30A	4.8	3.0	21.0	エア不足
8	スラッジ10%-2	50.5	4.5	46.4	155	215	92	83	747	564	405	0.50%	0	50A	4.7	3.0	20.9	50Aに変更したがエア変わらず
9	スラッジ10%-3	50.5	4.5	46.4	155	215	92	83	747	564	405	0.50%	0	80A	5.0	3.3	20.9	さらに30Aに増やしてようやく80Aにするがエアほとんど変わらず
10	スラッジ10%-4	50.5	4.5	46.4	155	215	92	83	747	564	405	0.75%	0	80A	8.3	3.4	20.6	No. 8を0.75%にしても空気量変わらずスランプが大きくなった
11	スラッジ10%-5	50.5	4.5	46.4	155	215	92	83	747	564	405	0.50%	0	120A	5.6	4.4	20.5	No. 8を0.50%に戻し助剤を120AにしてようやくI74.4%に
12	スラッジ10%-6	50.5	4.5	46.4	155	215	92	83	747	564	405	0.50%	0	200A	6.2	5.6	20.7	I7を増やすため200Aまで増やすが空気量が5.6%までにしかなかったため202を断念
13	スラッジ10%-7	50.5	4.5	46.4	155	215	92	83	747	564	405	0.50%	0	25A	5.0	10.4	20.6	助剤をフローックAE4に変更空気連行性があることを確認
14	スラッジ10%-8	50.5	4.5	46.4	155	215	92	83	747	564	405	0.50%	0	10A	4.2	5.5	20.6	AE4を10Aまで上げたところ空気量は5.5%に
15	スラッジ10%-9	50.5	4.5	46.4	155	215	92	83	747	564	405	0.50%	0	18A	4.4	7.9	20.8	空気量7.5%近辺
16	スラッジ15%	50.5	4.5	46.4	155	215	92	124	705	564	405	0.75%	0	12A	4.1	5.2	20.8	ややI7多い
17	スラッジ20%	50.5	4.5	46.4	155	215	92	165	663	564	405	1.00%		16A	2.0	5.4	20.7	ややI7多い スランプやや小さい 10A~12Aくらいか?
18	スラッジ5%-5	50.5	4.5	46.4	155	215	92	41	788	564	405	0.25%	0	3A	4.8	2.6	20.7	I7やや小さい 5A~6Aくらいか?
15																		

碎石スラッジに関する実験試験繰り配合(上段30L, 下段1m³)

		W/C	air	s/a	W	C	FA	スラッジ	SI	G4020	G2005	No.8	IT	202	フレッシュ性状			備考
						(1.00)									スランプフロー	空気量	温度	
	0%				4.65	6.45	2.76	0	24.90	16.92	12.15							
		50.5	4.5	46.4	155	215	92	0	830	564	405	0.25%	0	5A				
	5%				4.65	6.45	2.76	1.23	23.64	16.92	12.15							
		50.5	4.5	46.4	155	215	92	41	788	564	405	0.50%	0					
	10%				4.65	6.45	2.76	2.49	22.41	16.92	12.15							
		50.5	4.5	46.4	155	215	92	83	747	564	405	0.75%	0					
					4.65	6.45	2.76	3.72	21.15	16.92	12.15							
	15%	50.5	4.5	46.4	155	215	92	124	705	564	405		0					

No.8 4倍液0.25%30L分(密度1.06):97.63g

AE4 1A 0.003%100倍溶液80L分:9.210ml

本練り試験結果

		スラッジ 置換率	空気量	備考	W/C	air	s/a	W	C	FA	スラッ	S1	G4020	G2005	RV	T	助剤 ²⁾	フレッシュ性状(実績)				備考
								(1.00)	(3.21)	(2.30)	(2.57)	(2.58)	(2.61)	(2.61)	(1.07)	(1.00)	(1.00)	スランプ	空気量	温度		
スラッジなし	捨	0	4.5		50.5	4.5	46.4	155	215	92	0	830	564	405	0.25%	0.30%	7A	—	—	3.5	—	
		0	4.5		50.5	4.5	46.4	155	215	92	0	830	564	405	0.25%	0.30%	7A	8.0	—	3.6	21.1	
	①	0	4.5		50.5	4.5	46.4	155	215	92	0	830	564	405	0.25%	0.30%	10A	7.9	188 × 190	5.0	21.1	
乾燥 スラッジ	②	5	4.5		50.5	4.5	46.4	155	215	92	41	788	564	405	0.50%	0.30%	12A	5.4	161 × 163	4.7	21.2	
	③	10	4.5		50.5	4.5	46.4	155	215	92	83	747	564	405	0.75%	0.30%	17A	2.6	153 × 154	5.3	21.3	
	④		6		50.5	6.0	46.4	155	215	92	83	747	564	405	0.75%	0.30%	25A	2.7	151 × 149	6.6	21.1	
	⑤		7.5		50.5	7.5	46.4	155	215	92	83	747	564	405	0.75%	0.30%	32A	3.1	157 × 154	7.9	21.2	
	⑥		10		50.5	10.0	46.4	155	215	92	83	747	564	405	0.75%	0.30%	46A	3.7	149 × 148	9.8	20.8	
	含水 スラッジ	⑦	5	4.5		50.5	4.5	46.4	155	215	92	41	788	564	405	0.50%	0.30%	12A	3.5	157 × 158	5.1	21.3
⑧		10	4.5		50.5	4.5	46.4	155	215	92	83	747	564	405	0.75%	0.30%	18A	1.3	137 × 142	5.3	21.7	
⑨			6		50.5	6.0	46.4	155	215	92	83	747	564	405	0.75%	0.30%	26A	1.5	130 × 132	6.5	21.4	
⑩			7.5		50.5	7.5	46.4	155	215	92	83	747	564	405	0.75%	0.30%	33A	2.0	133 × 135	8.0	21.4	
⑪			10		50.5	10.0	46.4	155	215	92	83	747	564	405	0.75%	0.30%	46A	1.5	137 × 135	9.5	21.6	
空気量による 修正後	④⑨	10	6		50.5	6.0	46.4	153	212	91	82	736	556	399								
	⑤⑩		7.5		50.5	7.5	46.4	150	209	89	81	725	548	393								
	⑥⑪		10		50.5	10.0	46.4	147	204	87	79	708	535	384								

本練り試験結果

		スラッジ 置換率	空気量	備考	W/C	air	s/a	W	C	FA	スラッジ	S1	G4020	G2005	No.8	AE4	フレッシュ性状(実績)				備考
								(1.00)	(3.21)	(2.30)	(2.57)	(2.58)	(2.61)	(2.61)	(1.06)	(1.00)	スランプ	空気量	温度		
スラッジなし	捨	0	4.5		50.5	4.5	46.4	155	215	92	0	830	564	405	0.25%	3A	—	—	3.0	—	
	①	0	4.5		50.5	4.5	46.4	155	215	92	0	830	564	405	0.25%	6A	7.1	172 × 173	5.3	20.4	
乾燥 スラッジ	②	5	4.5		50.5	4.5	46.4	155	215	92	41	788	564	405	0.25%	7A	4.0	157 × 161	4.0	20.4	
	③	10	4.5		50.5	4.5	46.4	155	215	92	83	747	564	405	0.50%	8A	4.2	160 × 164	4.6	20.5	
	④		6.0		50.5	6.0	46.4	155	215	92	83	747	564	405	0.50%	12A	4.3	170 × 166	5.9	20.5	
	⑤	15	7.5		50.5	7.5	46.4	155	215	92	83	747	564	405	0.50%	17A	4.4	157 × 157	7.0	20.3	
	⑥		4.5		50.5	4.5	46.4	155	215	92	124	705	564	405	0.75%	11A	3.3	149 × 149	4.7	20.8	
	⑦		4.5		50.5	4.5	46.4	155	215	92	165	664	564	405	1.00%	14A	1.6	137 × 141	5.0	21.0	

各配合の混和剤添加量, フレッシュ性状, 圧縮強度

No.	スラッシュ 含水 状態	スラッシュ 置換 率 (%)	目標 空気 量 (%)	混和剤添加量((C+F)×%)				フレッシュ性状		圧縮強度(N/mm ²)				
				AE 減水剤 A	AE 減水剤 B	遅延剤 R	AE剤 a	スランブ (cm)	空気量 (%)	材 齢				
										3日	7日	14日	28日	91日
①	—	0	4.5	1.0	—	0.30	0.030	7.9	5.0	5.1	6.8	9.1	16.9	35.5
②	乾燥	5	4.5	2.0	—	0.30	0.036	5.4	4.7	—	7.5	12.2	20.0	37.2
③		10	4.5	3.0	—	0.30	0.051	2.6	5.3	—	4.7	10.7	20.6	42.0
④			6.0	3.0	—	0.30	0.075	2.7	6.6	—	4.1	10.4	20.1	40.6
⑤			7.5	3.0	—	0.30	0.096	3.1	7.9	—	6.8	11.9	19.9	33.8
⑥			10.0	3.0	—	0.30	0.138	3.7	9.8	—	6.3	10.0	17.5	31.2
⑦	含水	5	4.5	2.0	—	0.30	0.036	3.5	5.1	—	7.0	12.5	22.5	40.9
⑧		10	4.5	3.0	—	0.30	0.054	1.3	5.3	—	5.9	13.1	22.6	42.0
⑨			6.0	3.0	—	0.30	0.078	1.5	6.5	—	5.4	11.8	22.1	38.0
⑩			7.5	3.0	—	0.30	0.099	2.0	8.0	—	5.1	11.3	19.1	37.1
⑪			10.0	3.0	—	0.30	0.138	1.5	9.5	—	4.4	10.7	18.6	32.1
⑫	—	0	4.5	—	0.25	—	0.018	7.1	5.3	5.1	6.9	—	17.8	34.9
⑬	乾燥	5	4.5	—	0.25	—	0.021	4.0	4.0	5.6	8.6	—	21.9	39.1
⑭		10	4.5	—	0.50	—	0.024	4.2	4.6	5.9	9.7	—	24.5	37.2
⑮			6.0	—	0.50	—	0.036	4.3	5.9	5.7	9.0	—	22.7	36.4
⑯			7.5	—	0.50	—	0.051	4.4	7.0	5.2	8.3	—	21.9	34.3
⑰		15	4.5	—	0.75	—	0.033	3.3	4.7	6.2	10.9	—	26.4	42.3
⑱		20	4.5	—	1.00	—	0.042	1.6	5.0	6.0	11.0	—	26.6	39.9

供試体 No.	材 齢	供試体直径(mm)			供試体高さ(mm)			質量 (g)	見掛けの密度 (g/cm ³)	破壊荷重 (kN)	圧縮強度	
		①	②	平均値	①	②	平均値				(N/mm ²)	平均値
①-1	7	124.77	124.82	124.80	250.54	250.78	250.66	7103.2	2.317	87.2	7.12	6.85
①-2		124.54	124.77	124.66	250.46	250.50	250.48	7113.6	2.327	84.4	6.91	
①-3		124.95	124.52	124.74	250.55	250.35	250.45	7065.4	2.309	79.6	6.51	
①-4	14	124.92	125.37	125.15	250.30	250.31	250.31	7141.2	2.319	108.0	8.78	9.05
①-5		124.59	124.98	124.79	250.23	250.41	250.32	7066.7	2.308	112.8	9.22	
①-6		124.98	125.05	125.02	250.34	250.21	250.28	7099.9	2.311	112.4	9.16	
①-7	28	125.60	124.66	125.13	250.38	250.77	250.58	7080.5	2.298	202	16.43	16.93
①-8		124.86	125.55	125.21	250.76	250.58	250.67	7074.3	2.292	223	18.11	
①-9		124.67	125.66	125.17	250.37	250.63	250.50	7093.7	2.301	200	16.25	
①-10	91	125.31	124.67	124.99	250.18	250.16	250.17	7127.0	2.322	431	35.13	35.55
①-11		125.10	124.59	124.85	250.33	250.35	250.34	7135.2	2.328	447	36.52	
①-12		125.89	125.14	125.52	250.35	250.32	250.34	7150.2	2.308	433	35.00	
備考	スラッジ混入率: 0 (%)											
	フレッシュ性状											
	スランプ(cm)		7.9									
	空気量(%)		5.0									

供試体 No.	材 齢	供試体直径(mm)			供試体高さ(mm)			質量 (g)	見掛けの密度 (g/cm ³)	破壊荷重 (kN)	圧縮強度	
		①	②	平均値	①	②	平均値				(N/mm ²)	平均値
②-1	7	124.68	124.78	124.73	250.26	250.27	250.27	7104.2	2.323	90.4	7.39	7.52
②-2		124.60	124.80	124.70	250.26	250.46	250.36	7057.0	2.308	92.0	7.53	
②-3		124.68	124.35	124.52	250.28	250.27	250.28	7080.3	2.323	92.8	7.62	
②-4	14	124.76	125.58	125.17	250.52	250.23	250.38	7087.9	2.301	144.8	11.77	12.21
②-5		125.05	125.06	125.06	250.38	250.31	250.35	7104.8	2.311	153.7	12.51	
②-6		125.23	125.11	125.17	250.41	250.27	250.34	7111.9	2.309	152.1	12.36	
②-7	28	124.64	125.04	124.84	250.56	250.58	250.57	7138.2	2.327	240	19.61	19.98
②-8		124.82	124.82	124.82	250.63	250.81	250.72	7123.4	2.322	242	19.78	
②-9		124.68	125.64	125.16	250.62	250.59	250.61	7124.2	2.311	253	20.56	
②-10	91	124.84	125.49	125.17	250.47	250.35	250.41	7148.9	2.320	461	37.47	37.19
②-11		124.79	125.32	125.06	250.33	250.32	250.33	7135.1	2.321	448	36.47	
②-12		125.04	125.55	125.30	250.41	250.32	250.37	7147.9	2.316	464	37.63	
備考	スラッジ混入率：DRY5(%)											
	フレッシュ性状											
	スランプ(cm)		5.4									
	空気量(%)		4.7									

供試体 No.	材 齢	供試体直径(mm)			供試体高さ(mm)			質量 (g)	見掛けの密度 (g/cm ³)	破壊荷重 (kN)	圧縮強度	
		①	②	平均値	①	②	平均値				(N/mm ²)	平均値
③-1	8	125.08	124.94	125.01	250.06	249.79	249.93	7028.1	2.291	55.5	4.52	4.74
③-2		125.27	125.04	125.16	250.05	249.75	249.90	7062.1	2.297	62.0	5.04	
③-3		125.31	124.65	124.98	250.29	250.07	250.18	7041.4	2.294	57.1	4.65	
③-4		125.13	124.90	125.02	250.11	250.37	250.24	7042.9	2.293	132.2	10.77	
③-5		124.87	124.93	124.90	250.21	250.24	250.23	7020.2	2.290	126.3	10.31	
③-6		124.94	125.11	125.03	250.19	250.32	250.26	7063.1	2.299	133.7	10.89	
③-7	2 8	124.46	124.79	124.63	250.51	250.66	250.59	7077.5	2.315	255	20.90	20.62
③-8		124.65	125.22	124.94	250.67	251.33	251.00	7083.6	2.302	252	20.56	
③-9		124.81	125.59	125.20	250.63	250.55	250.59	7099.5	2.301	251	20.39	
③-10	124.96	125.16	125.06	250.46	250.39	250.43	7106.2	2.310	535	43.55		
③-11	9 1	124.66	124.96	124.81	250.53	250.35	250.44	7127.0	2.326	496	40.54	42.03
③-12		124.87	125.02	124.95	250.74	250.51	250.63	7108.0	2.313	515	42.00	
備考	スラッジ混入率：DRY 10 (%)											
	フレッシュ性状											
	スランプ(cm)		2.6									
	空気量(%)		5.3									

供試体 No.	材 齢	供試体直径(mm)			供試体高さ(mm)			質量 (g)	見掛けの密度 (g/cm ³)	破壊荷重 (kN)	圧縮強度	
		①	②	平均値	①	②	平均値				(N/mm ²)	平均値
④-1	8	125.10	125.20	125.15	250.12	250.14	250.13	7021.4	2.282	52.3	4.25	4.12
④-2		125.01	125.31	125.16	250.04	249.97	250.01	7033.4	2.287	50.8	4.13	
④-3		125.05	125.25	125.15	250.07	250.25	250.16	6954.3	2.260	48.9	3.98	
④-4		124.66	124.88	124.77	250.43	250.34	250.39	7055.2	2.305	133.3	10.90	
④-5	14	124.94	125.56	125.25	250.07	250.41	250.24	6988.4	2.267	122.9	9.97	10.41
④-6		124.72	125.00	124.86	250.39	250.26	250.33	7007.2	2.286	126.8	10.36	
④-7	28	125.44	124.90	125.17	250.52	250.52	250.52	7011.3	2.274	249	20.24	20.09
④-8		124.85	125.63	125.24	250.83	250.63	250.73	7017.9	2.272	247	20.05	
④-9		124.84	124.96	124.90	250.69	250.72	250.71	7017.6	2.285	245	20.00	
④-10	91	125.66	124.99	125.33	250.53	250.48	250.51	7087.9	2.294	503	40.78	40.55
④-11		124.96	125.02	124.99	250.41	250.75	250.58	7056.7	2.295	493	40.18	
④-12		124.52	125.12	124.82	250.57	250.47	250.52	7071.7	2.307	498	40.70	
備考	スラッジ混入率: DRY10 (%)											
	フレッシュ性状											
	スランプ(cm)		2.7									
	空気量(%)		6.6									

供試体 No.	材 齢	供試体直径(mm)			供試体高さ(mm)			質量 (g)	見掛けの密度 (g/cm ³)	破壊荷重 (kN)	圧縮強度	
		①	②	平均値	①	②	平均値				(N/mm ²)	平均値
⑤-1	7	124.82	124.67	124.75	250.04	250.12	250.08	6885.9	2.253	80.2	6.56	6.76
⑤-2		124.66	125.10	124.88	250.12	249.98	250.05	6909.6	2.256	85	6.94	
⑤-3		125.09	124.35	124.72	250.13	250.33	250.23	6936.7	2.269	82.8	6.78	
⑤-4	14	125.21	124.67	124.94	250.17	250.01	250.09	6853.6	2.235	143.9	11.74	11.89
⑤-5		124.78	125.52	125.15	250.27	250.32	250.30	6864.0	2.229	148.2	12.05	
⑤-6		125.47	124.98	125.23	250.37	250.31	250.34	6929.4	2.247	146.2	11.87	
⑤-7	28	125.08	124.55	124.82	250.78	250.66	250.72	6882.2	2.243	246	20.11	19.85
⑤-8		124.91	125.78	125.35	250.68	250.78	250.73	6925.7	2.238	244	19.77	
⑤-9		124.61	124.57	124.59	250.61	250.52	250.57	6922.1	2.266	240	19.69	
⑤-10	91	125.26	124.60	124.93	250.34	250.10	250.22	6959.6	2.269	412	33.61	33.82
⑤-11		124.68	125.00	124.84	250.45	250.53	250.49	6961.6	2.270	397	32.43	
⑤-12		124.90	124.91	124.91	250.64	250.49	250.57	6928.5	2.257	434	35.42	
備考	スラッジ混入率: DRY10 (%)											
	フレッシュ性状											
	スランプ(cm)		3.1									
	空気量(%)		7.9									

供試体 No.	材齢	供試体直径 (mm)			供試体高さ (mm)			質量 (g)	見掛けの密度 (g/cm ³)	破壊荷重 (kN)	圧縮強度	
		①	②	平均値	①	②	平均値				(N/mm ²)	平均値
⑥-1	7	124.92	125.02	124.97	250.12	250.01	250.07	6768.5	2.207	73.45	5.99	6.26
⑥-2		125.11	124.42	124.77	250.24	250.48	250.36	6763.9	2.210	80.15	6.56	
⑥-3		124.57	124.50	124.54	250.21	250.05	250.13	6775.3	2.224	76.1	6.25	
⑥-4		124.95	125.60	125.28	250.19	250.24	250.22	6848.5	2.221	125.9	10.21	
⑥-5	14	125.29	124.64	124.97	250.30	250.15	250.23	6808.4	2.218	123.3	10.05	10.02
⑥-6		125.27	124.68	124.98	250.18	250.37	250.28	6808.2	2.218	120	9.78	
⑥-7	28	125.15	124.61	124.88	250.51	250.52	250.52	6792.3	2.214	224	18.29	17.47
⑥-8		124.91	125.38	125.15	250.67	250.58	250.63	6790.1	2.203	223	18.13	
⑥-9		125.33	124.59	124.96	250.54	250.75	250.65	6830.5	2.222	196	15.98	
⑥-10	91	124.91	125.33	125.12	250.55	250.40	250.48	6878.0	2.233	373	30.34	31.16
⑥-11		125.02	124.75	124.89	250.37	250.20	250.29	6855.7	2.236	378	30.86	
⑥-12		124.57	125.03	124.80	250.26	250.13	250.20	6808.7	2.225	395	32.29	
備考	スラッジ混入率: DRY10 (%)											
	フレッシュ性状											
	スランプ (cm)		3.7									
	空気量 (%)		9.8									

供試体 No.	材 齢	供試体直径(mm)			供試体高さ(mm)			質 量 (g)	見掛けの密度 (g/cm ³)	破壊荷重 (kN)	圧縮強度	
		①	②	平均値	①	②	平均値				(N/mm ²)	平均値
⑦-1	7	124.93	125.32	125.13	250.79	250.38	250.59	7143.9	2.318	87.7	7.13	6.98
⑦-2		125.39	125.02	125.21	250.51	250.41	250.46	7141.3	2.316	82.0	6.66	
⑦-3		124.98	125.27	125.13	250.36	25.12	137.74	7112.5	4.199	87.8	7.14	
⑦-4		124.70	124.81	124.76	250.38	250.33	250.36	7143.9	2.334	157.7	12.90	
⑦-5	14	124.73	125.06	125.60	250.42	250.50	250.46	7120.8	2.295	153.3	12.37	12.53
⑦-6		125.56	124.94	125.25	250.80	250.49	250.65	7135.2	2.310	151.6	12.30	
⑦-7	28	124.62	124.69	124.66	250.74	250.68	250.71	7138.5	2.333	276	22.62	22.48
⑦-8		124.32	124.83	124.58	250.62	250.46	250.54	7171.1	2.348	263	21.58	
⑦-9		125.43	124.88	125.16	250.47	250.84	250.66	7126.7	2.311	286	23.25	
⑦-10		124.93	125.61	125.27	250.95	250.38	250.67	7139.9	2.311	504	40.89	
⑦-11	91	124.95	125.43	125.19	250.75	250.42	250.59	7180.8	2.328	513	41.68	40.94
⑦-12		124.73	125.25	124.99	250.78	250.40	250.59	7166.2	2.331	494	40.26	
備考	スラッジ混入率: W E T 5 (%)											
	フレッシュ性状											
	スランプ(cm)		3.5									
	空気量(%)		5.1									

供試体 No.	材 齢	供試体直径(mm)			供試体高さ(mm)			質量 (g)	見掛けの密度 (g/cm ³)	破壊荷重 (kN)	圧縮強度	
		①	②	平均値	①	②	平均値				(N/mm ²)	平均値
⑧-1	7	124.97	125.07	125.02	250.47	250.27	250.37	7041.6	2.291	76.2	6.21	5.91
⑧-2		125.05	124.47	124.76	250.30	250.41	250.36	7066.6	2.309	73.5	6.01	
⑧-3		124.58	124.90	124.74	250.49	250.70	250.60	7094.6	2.317	67.3	5.51	
⑧-4		124.88	125.20	125.04	250.91	250.35	250.63	7075.3	2.299	160.1	13.04	
⑧-5		124.74	124.97	124.86	250.54	250.47	250.51	7064.6	2.303	156.6	12.79	
⑧-6		125.04	125.03	125.04	250.20	250.50	250.35	7094.3	2.308	164.2	13.37	
⑧-7	28	124.64	125.34	124.99	250.50	250.77	250.64	7087.5	2.305	266	21.68	22.61
⑧-8		125.33	124.53	124.93	250.74	250.77	250.76	7078.6	2.303	283	23.09	
⑧-9		124.77	124.72	124.75	250.82	250.72	250.77	7106.0	2.319	282	23.07	
⑧-10	91	124.60	124.47	124.54	250.57	250.26	250.42	7133.0	2.339	498	40.88	
⑧-11		125.91	124.82	125.37	250.72	250.60	250.66	7122.0	2.302	487	39.45	
⑧-12		125.03	124.21	124.62	250.95	250.58	250.77	7121.1	2.328	557	45.67	
備考	スラッジ混入率: W E T 1 0 (%)											
	フレッシュ性状											
	スランプ(cm)		1.3									
	空気量(%)		5.3									

供試体 No.	材 齢	供試体直径(mm)			供試体高さ(mm)			質量 (g)	見掛けの密度 (g/cm ³)	破壊荷重 (kN)	圧縮強度	
		①	②	平均値	①	②	平均値				(N/mm ²)	平均値
⑨-1	7	124.84	124.92	124.88	250.55	250.49	250.52	7029.5	2.291	69.6	5.68	5.45
⑨-2		125.03	125.16	125.10	250.38	250.20	250.29	6999.1	2.275	67.0	5.45	
⑨-3		124.88	125.33	125.11	250.42	250.25	250.34	7011.3	2.278	64.1	5.21	
⑨-4		124.76	125.58	125.17	250.52	250.23	250.38	7037.3	2.284	152.3	12.38	
⑨-5	14	125.01	125.59	125.30	250.55	250.47	250.51	7067.8	2.288	139.7	11.33	11.84
⑨-6		125.83	124.72	125.28	250.51	250.48	250.50	7072.8	2.291	145.8	11.83	
⑨-7	28	124.86	124.63	124.75	250.60	250.68	250.64	7090.4	2.315	275	22.50	22.07
⑨-8		124.94	124.74	124.84	250.59	250.52	250.56	7020.4	2.289	262	21.40	
⑨-9		124.70	124.99	124.85	250.68	250.75	250.72	7062.2	2.301	273	22.30	
⑨-10	91	124.71	124.84	124.78	250.53	250.36	250.45	7049.5	2.302	457	37.37	37.97
⑨-11		125.76	124.87	125.32	250.59	250.65	250.62	7125.1	2.305	483	39.16	
⑨-12		125.96	124.71	125.34	250.49	250.59	250.54	7095.1	2.295	461	37.37	
備考	スラッジ混入率: W E T 1 0 (%)											
	フレッシュ性状											
	スランプ(cm)		1.5									
	空気量(%)		6.5									

供試体 No.	材 齢	供試体直径 (mm)			供試体高さ (mm)			質量 (g)	見掛けの密度 (g/cm ³)	破壊荷重 (kN)	圧縮強度	
		①	②	平均値	①	②	平均値				(N/mm ²)	平均値
⑩-1	7	124.83	124.59	124.71	250.46	250.58	250.52	6927.1	2.264	65.2	5.33	5.10
⑩-2		124.76	125.33	125.05	250.29	250.37	250.33	6937.0	2.257	59.9	4.87	
⑩-3		124.95	125.12	125.04	250.59	250.46	250.53	6940.8	2.256	62.5	5.09	
⑩-4	14	125.86	124.98	125.42	250.19	250.46	250.33	6985.2	2.259	136.6	11.06	11.25
⑩-5		124.53	125.21	124.87	250.36	250.45	250.41	7017.4	2.288	142.7	11.65	
⑩-6		124.85	124.77	124.81	250.51	250.33	250.42	6954.2	2.270	135.1	11.04	
⑩-7	28	125.66	124.87	125.27	250.83	250.75	250.79	6994.5	2.263	233	18.91	19.12
⑩-8		124.57	124.78	124.68	250.64	250.72	250.68	6984.0	2.282	224	18.35	
⑩-9		124.75	124.83	124.79	250.75	250.77	250.76	6961.8	2.270	246	20.11	
⑩-10	91	124.65	125.07	124.86	250.60	250.52	250.56	6984.1	2.276	454	37.08	37.09
⑩-11		125.76	125.17	125.47	250.58	250.36	250.47	7000.0	2.261	436	35.27	
⑩-12		124.92	124.67	124.80	250.32	250.50	250.41	6999.8	2.285	476	38.92	
備考	スラッジ混入率：WET 10 (%) フレッシュ性状 スランプ (cm) 2.0 空気量 (%) 8.0											

供試体 No.	材 齢	供試体直径(mm)			供試体高さ(mm)			質 量 (g)	見掛けの密度 (g/cm ³)	破壊荷重 (kN)	圧縮強度	
		①	②	平均値	①	②	平均値				(N/mm ²)	平均値
⑪-1	7	124.79	125.19	124.99	250.46	250.26	250.36	6896.5	2.245	54.5	4.44	4.42
⑪-2		125.22	124.97	125.10	250.57	250.29	250.43	6830.9	2.219	55.0	4.47	
⑪-3		124.71	125.49	125.10	250.26	250.27	250.27	6821.9	2.218	53.7	4.36	
⑪-4	14	124.84	125.05	124.95	250.56	250.29	250.43	6908.5	2.250	126.4	10.31	10.67
⑪-5		124.86	124.79	124.83	250.31	250.45	250.38	6870.2	2.242	134.8	11.02	
⑪-6		125.13	124.69	124.91	250.41	250.40	250.41	6875.9	2.241	130.9	10.68	
⑪-7	28	124.76	125.40	125.08	250.65	250.62	250.64	6898.4	2.240	231	18.80	18.58
⑪-8		124.98	124.57	124.78	251.00	250.72	250.86	6855.6	2.235	227	18.56	
⑪-9		124.86	125.40	125.13	250.44	250.58	250.51	6868.2	2.229	226	18.38	
⑪-10	91	125.16	124.85	125.01	250.51	250.50	250.51	6933.0	2.255	371	30.23	32.19
⑪-11		124.87	124.41	124.64	250.47	250.16	250.32	6888.0	2.255	399	32.70	
⑪-12		125.07	125.90	125.49	250.58	250.26	250.42	6973.8	2.252	416	33.64	
備考	スラッジ混入率：W E T 1 0 (%)											
	フレッシュ性状											
	スランブ(cm)		2.0									
	空気量(%)		9.5									

供試体 No.	材 齢	供試体直径(mm)			供試体高さ(mm)			質 量 (g)	見掛けの密度 (g/cm ³)	破壊荷重 (kN)	圧縮強度	
		①	②	平均値	①	②	平均値				(N/mm ²)	平均値
⑫-1	3	125.14	125.56	125.35	250.55	250.61	250.58	6995.3	2.262	63.7	5.16	5.08
⑫-2		125.24	125.61	125.43	250.44	250.42	250.43	7036.3	2.274	62.0	5.02	
⑫-3		125.22	124.84	125.03	250.32	250.33	250.33	7014.2	2.282	62.4	5.08	
⑫-4	7	124.80	125.69	125.25	250.37	250.28	250.33	7057.2	2.288	84.5	6.86	6.87
⑫-5		124.71	124.95	124.83	250.25	250.45	250.35	7037.2	2.297	85.7	7.00	
⑫-6		125.11	124.68	124.90	250.33	250.32	250.33	7056.7	2.301	82.7	6.75	
⑫-7	28	125.74	124.49	125.12	250.24	250.18	250.21	7024.6	2.284	199	16.19	17.76
⑫-8		124.62	125.63	125.13	250.46	250.21	250.34	7061.1	2.294	214	17.40	
⑫-9		124.78	125.45	125.12	250.11	250.27	250.19	7008.6	2.279	242	19.68	
⑫-10	70	124.98	124.97	124.98	250.37	250.42	250.40	7069.8	2.302	373	30.41	30.41
⑫-11	91	124.54	125.11	124.83	250.33	250.34	250.34	7041.8	2.299	435	35.55	34.89
⑫-12		124.78	125.45	125.12	250.11	250.27	250.19	7008.6	2.279	421	34.24	
備考	スラッジ混入率: 0 (%)											
	フレッシュ性状											
	スランブ(cm)		7.1									
	空気量(%)		5.3									

供試体 No.	材齢	供試体直径(mm)			供試体高さ(mm)			質量 (g)	見掛けの密度 (g/cm ³)	破壊荷重 (kN)	圧縮強度	
		①	②	平均値	①	②	平均値				(N/mm ²)	平均値
⑬-1	3	124.92	125.45	125.19	250.56	250.48	250.52	7116.2	2.308	68.1	5.53	5.58
⑬-2		124.61	124.90	124.76	250.37	250.45	250.41	7112.4	2.324	68.5	5.60	
⑬-3		124.83	125.64	125.24	250.21	250.37	250.29	7052.1	2.287	69.2	5.61	
⑬-4		124.97	125.21	125.09	250.20	250.52	250.36	7113.8	2.312	104.1	8.47	
⑬-5	7	125.33	125.05	125.19	250.19	250.17	250.18	7076.3	2.298	105.8	8.60	8.57
⑬-6		124.58	125.01	124.80	250.04	250.08	250.06	7072.1	2.312	105.8	8.65	
⑬-7		124.76	125.33	125.05	250.37	250.20	250.29	7100.4	2.310	253	20.60	
⑬-8		125.31	125.26	125.29	250.44	250.25	250.35	7139.7	2.313	270	21.90	
⑬-9	28	125.60	124.81	125.21	250.35	250.20	250.28	7121.7	2.311	286	23.23	21.91
⑬-10		70	124.84	125.46	125.15	250.46	250.34	250.40	7143.4	2.319	427	
⑬-11	91	124.78	124.72	124.75	250.35	250.32	250.34	7127.3	2.329	476	38.94	39.09
⑬-12		125.60	124.81	125.21	250.35	250.20	250.28	7121.7	2.311	483	39.23	
備考	スラッジ混入率：DRY5 (%) フレッシュ性状 スランブ(cm) 4.0 空気量(%) 4.0											

供試体 No.	材齢	供試体直径(mm)			供試体高さ(mm)			質量 (g)	見掛けの密度 (g/cm ³)	破壊荷重 (kN)	圧縮強度	
		①	②	平均値	①	②	平均値				(N/mm ²)	平均値
⑭-1	3	125.42	124.72	125.07	250.48	250.41	250.45	7076.1	2.300	71.1	5.78	5.85
⑭-2		125.25	125.17	125.21	250.26	250.40	250.33	7084.9	2.299	72.5	5.89	
⑭-3		125.21	125.17	125.19	250.21	250.39	250.30	7079.9	2.298	72.4	5.88	
⑭-4		124.56	125.16	124.86	250.17	250.46	250.32	7104.8	2.318	119.6	9.77	
⑭-5	7	124.75	125.14	124.95	250.39	250.39	250.39	7069.5	2.303	120.5	9.83	9.70
⑭-6		124.94	125.11	125.03	250.19	250.32	250.26	7055.9	2.297	116.5	9.49	
⑭-7		125.07	125.23	125.15	250.49	250.48	250.49	7090.3	2.301	308	25.04	
⑭-8		124.66	125.20	124.93	250.49	250.61	250.55	7109.5	2.315	295	24.07	
⑭-9	28	125.44	125.07	125.26	250.72	250.73	250.73	7095.9	2.297	299	24.27	24.46
⑭-10		125.17	125.92	125.55	250.72	250.77	250.75	7153.8	2.305	397	32.07	
⑭-11		125.35	125.89	125.62	250.65	250.62	250.64	7126.1	2.294	470	37.92	
⑭-12		125.36	124.67	125.02	250.67	250.73	250.70	7095.2	2.306	447	36.42	
備考	スラッジ混入率：DRY10(%)											
	フレッシュ性状											
	スランブ(cm)		4.2									
	空気量(%)		4.6									

供試体 No.	材 齢	供試体直径(mm)			供試体高さ(mm)			質 量 (g)	見掛けの密度 (g/cm ³)	破壊荷重 (kN)	圧縮強度	
		①	②	平均値	①	②	平均値				(N/mm ²)	平均値
⑮-1	3	125.24	125.27	125.26	250.37	250.29	250.33	6997.5	2.269	71.1	5.77	5.65
⑮-2		125.40	124.69	125.05	250.20	250.12	250.16	6992.9	2.276	68.9	5.61	
⑮-3		125.27	125.07	125.17	250.35	250.34	250.35	6971.5	2.263	68.7	5.58	
⑮-4	7	125.45	125.24	125.35	250.31	250.45	250.38	7061.1	2.285	113.8	9.22	8.95
⑮-5		125.10	125.46	125.28	250.37	250.31	250.34	7010.6	2.272	108.6	8.81	
⑮-6		124.73	125.33	125.03	250.15	250.45	250.30	6983.0	2.272	108.3	8.82	
⑮-7	28	125.34	124.65	125.00	250.40	250.26	250.33	7001.8	2.279	285	23.23	22.70
⑮-8		125.39	125.09	125.24	250.51	250.50	250.51	7044.8	2.283	279	22.65	
⑮-9		124.69	124.99	124.84	250.28	250.25	250.27	7016.4	2.290	272	22.22	
⑮-10	70	124.96	125.27	125.12	250.41	250.44	250.43	7052.4	2.291	431	35.06	35.06
⑮-11	91	125.46	125.42	125.44	250.46	250.34	250.40	7045.4	2.277	445	36.01	36.41
⑮-12		125.35	125.02	125.19	250.47	250.43	250.45	7040.3	2.284	453	36.80	
備考	スラッジ混入率：DRY10(%)											
	フレッシュ性状											
	スランブ(cm)		4.3									
	空気量(%)		5.9									

供試体 No.	材 齢	供試体直径 (mm)			供試体高さ (mm)			質量 (g)	見掛けの密度 (g/cm ³)	破壊荷重 (kN)	圧縮強度	
		①	②	平均値	①	②	平均値				(N/mm ²)	平均値
⑩-1	3	125.60	125.90	125.75	250.25	250.58	250.42	7015.5	2.256	60.8	4.89	5.16
⑩-2		124.78	124.99	124.89	250.46	250.49	250.48	6976.2	2.274	62.6	5.11	
⑩-3		124.50	124.78	124.64	250.36	250.40	250.38	7027.1	2.300	66.8	5.47	
⑩-4	7	125.30	125.67	125.49	250.15	250.32	250.24	6980.0	2.255	103.3	8.35	8.29
⑩-5		124.68	125.09	124.89	250.28	250.58	250.43	6948.6	2.265	101.1	8.25	
⑩-6		125.09	125.50	125.30	250.40	250.31	250.36	6981.4	2.262	102.0	8.27	
⑩-7	28	124.83	125.29	125.06	250.40	250.49	250.45	6949.8	2.259	269	21.90	21.90
⑩-8		125.03	125.20	125.12	250.47	250.39	250.43	6942.9	2.255	274	22.29	
⑩-9		125.65	124.90	125.28	250.44	250.60	250.52	6986.2	2.262	265	21.50	
⑩-10	70	125.22	124.65	124.94	250.27	250.55	250.41	6968.9	2.270	415	33.85	33.85
⑩-11	91	125.06	125.75	125.41	250.51	250.53	250.52	7000.2	2.262	418	33.84	34.27
⑩-12		125.76	124.90	125.33	250.41	250.46	250.44	7014.9	2.271	428	34.69	
備考	スラッジ混入率: DRY10 (%)											
	フレッシュ性状											
	スランプ (cm)		4.4									
	空気量 (%)		7.0									

供試体 No.	材 齢	供試体直径 (mm)			供試体高さ (mm)			質量 (g)	見掛けの密度 (g/cm ³)	破壊荷重 (kN)	圧縮強度	
		①	②	平均値	①	②	平均値				(N/mm ²)	平均値
⑪-1	3	124.64	125.24	124.94	250.45	250.44	250.45	7067.5	2.302	76.9	6.27	6.23
⑪-2		125.34	125.45	125.40	250.21	250.68	250.45	7080.0	2.289	76.8	6.22	
⑪-3		125.39	125.02	125.21	250.45	250.32	250.39	7064.1	2.291	76.3	6.20	
⑪-4	7	125.19	124.58	124.88	250.32	250.35	250.34	7110.9	2.319	137.4	11.22	10.89
⑪-5		124.75	125.87	125.31	250.41	250.24	250.33	7072.4	2.291	133.6	10.83	
⑪-6		125.62	124.97	125.30	250.27	250.37	250.32	7093.0	2.298	130.8	10.61	
⑪-7	28	124.46	125.00	124.73	250.41	250.49	250.45	7080.1	2.314	328	26.84	26.45
⑪-8		125.50	124.73	125.12	250.34	250.48	250.41	7086.0	2.302	329	26.76	
⑪-9		124.68	125.00	124.84	250.57	250.44	250.51	7079.5	2.309	315	25.73	
⑪-10	70	124.69	125.43	125.06	250.54	250.43	250.49	7108.9	2.310	445	36.23	36.23
⑪-11	91	124.73	125.28	125.01	250.55	250.47	250.51	7132.7	2.320	512	41.72	42.34
⑪-12		124.84	125.37	125.11	250.58	250.52	250.55	7183.9	2.333	528	42.95	
備考	スラッジ混入率：DRY15 (%)											
	フレッシュ性状											
	スランプ (cm)		3.3									
	空気量 (%)		4.7									

供試体 No.	材齢	供試体直径 (mm)			供試体高さ (mm)			質量 (g)	見掛けの密度 (g/cm ³)	破壊荷重 (kN)	圧縮強度	
		①	②	平均値	①	②	平均値				(N/mm ²)	平均値
⑬-1	3	124.98	124.82	124.90	250.23	250.41	250.32	7024.1	2.290	75.0	6.12	5.96
⑬-2		125.80	124.68	125.24	250.40	250.33	250.37	7052.1	2.286	72.6	5.89	
⑬-3		125.48	125.38	125.43	250.36	250.40	250.38	7015.8	2.268	72.5	5.86	
⑬-4	7	125.31	125.18	125.25	250.52	250.36	250.44	7094.7	2.299	136.2	11.06	10.97
⑬-5		125.58	124.72	125.60	250.07	250.32	250.20	7059.3	2.277	135.2	10.91	
⑬-6		124.75	125.32	125.04	250.26	250.19	250.23	7068.4	2.301	134.4	10.95	
⑬-7	28	124.89	125.11	125.00	250.40	250.37	250.39	7076.5	2.303	329	26.81	26.63
⑬-8		124.81	125.15	124.98	250.34	250.37	250.36	7021.4	2.286	343	27.96	
⑬-9		124.59	124.85	124.72	250.07	250.39	250.23	7106.0	2.324	307	25.13	
⑬-10	70	125.11	125.18	125.15	250.28	250.26	250.27	7119.9	2.313	464	37.72	37.72
⑬-11	91	124.99	125.50	125.25	250.28	250.40	250.34	7107.3	2.304	488	39.61	39.93
⑬-12		125.58	125.20	125.39	251.05	250.36	250.71	7033.3	2.272	497	40.25	
備考	スラッジ混入率: DRY 20 (%)											
	フレッシュ性状											
	スランプ (cm)		1.6									
	空気量 (%)		5.0									

第1回凍結融解試験

スラッジ： Uダム産

試験開始材齢： 28日

スラッジ置換率 0%

サイクル数	質量 (g)			質量 減少率 (%)	共鳴振動数 (Hz)			相対 動弾性係数 (%)
	1	2	3		1	2	3	
0	9,552	9,582	9,603	0.00	2,074	2,067	2,052	100.0
30	9,509	9,539	9,571	-0.41	1,791	1,919	1,918	82.7
40	9,489	9,524	9,561	-0.57	1,753	1,831	1,807	75.8
50	9,463	9,501	9,545	-0.79	1,512	1,800	1,786	68.2
60	9,394	9,437	9,485	-1.47	1,378	1,785	1,762	64.2
70	9,321	9,380	9,431	-2.11	1,255	1,735	1,735	59.5
90	9,205	9,284	9,316	-3.24	1,243	1,728	1,716	58.6
120	9,021	9,084	9,133	-5.22	1,124	1,726	1,709	56.2
150	8,884	8,946	9,000	-6.64	1,026	1,527	1,502	44.2
180	8,757	8,830	8,873	-7.92	955	1,288	1,348	34.4
210	8,606	8,692	8,736	-9.41	816	1,147	1,213	27.1
240	8,477	8,601	8,649	-10.48	737	1,063	1,148	23.5
270	8,346	8,506	8,572	-11.53	計測不可	979	1,035	23.9
300	8,097	8,420	8,493	-12.97	計測不可	856	785	15.9

スラッジ置換率 4.5%

サイクル数	質量 (g)			質量 減少率 (%)	共鳴振動数 (Hz)			相対 動弾性係数 (%)
	1	2	3		1	2	3	
0	9,756	9,772	9,759	0.00	2,115	2,117	2,120	100.0
30	9,777	9,797	9,730	0.06	574	818	575	9.9

スラッジ置換率 9.0%

サイクル数	質量 (g)			質量 減少率 (%)	共鳴振動数 (Hz)			相対 動弾性係数 (%)
	1	2	3		1	2	3	
0	9,809	9,787	9,896	0.00	2,096	2,103	2,138	100.0
30	9,868	9,854	9,954	0.62	386	445	593	5.2

第2回凍結融解試験

スラッジ： Uダム産
試験開始材齢： 91日

スラッジ置換率 0%

サイクル数	質量 (g)			質量 減少率 (%)	共鳴振動数 (Hz)			相対 動弾性係数 (%)
	1	2	3		1	2	3	
0	9307	9367	9308	0.00	2155	2136	2147	100.0
10	9290	9362	9296	-0.12	2114	2112	2119	97.1
25	9257	9339	9278	-0.39	2114	2113	2119	97.2
40	9242	9319	9262	-0.57	2112	2088	2106	95.9
60	9227	9300	9243	-0.76	2091	2085	2107	95.2
90	9208	9269	9220	-1.02	2081	2058	2081	93.3
120	9159	9251	9203	-1.32	2081	2065	2078	93.5
150	9116	9226	9179	-1.65	2071	2050	2056	92.1
180	9079	9208	9159	-1.92	2058	1984	2047	89.5
210	9051	9187	9137	-2.17	2034	1969	1971	86.1
240	9027	9158	9115	-2.44	2045	1943	2043	87.8
270	9007	9131	9091	-2.69	1980	1912	1951	82.4
300	8984	9107	9065	-2.95	1977	1872	1939	80.8
330	8964	9083	9046	-3.18	1946	1814	1895	77.2
360	8942	9054	9019	-3.46	1902	1741	1850	72.9
390	8912	9026	8990	-3.77	1863	1663	1790	68.3
420	8879	9001	8958	-4.09	1819	1509	1750	62.5
450	8843	8970	8928	-4.44	1709	1418	1652	55.4
480	8819	8946	8901	-4.70	1509	1327	1497	45.4
510	8785	8922	8871	-5.02	1502	1261	1479	43.6
540	8755	8893	8842	-5.33	1249	1208	1389	35.8
570	8726	8862	8810	-5.66	1320	1200	1234	34.0
600	8696	8819	8781	-6.03	1220	1227	1195	32.0
630	8658	8792	8741	-6.40	1215	915	889	22.4
660	8632	8758	8702	-6.75	1202	873	753	20.0
690	8599	8722	8667	-7.13	917	880	949	18.2
720	8572	8688	8635	-7.46	618	709	942	12.8

スラッジ置換率 4.5%

サイクル数	質量 (g)			質量 減少率 (%)	共鳴振動数 (Hz)			相対 動弾性係数 (%)
	1	2	3		1	2	3	
0	9478	9538	9531	0.00	2140	2156	2140	100.0
10	9477	9538	9533	0.00	2107	2105	2077	95.5
25	9467	9530	9517	-0.12	2064	2050	2055	91.9
40	9458	9534	9514	-0.14	1897	1845	1847	75.4
60	9458	9531	9508	-0.18	1353	1268	1336	37.8
90	9442	9517	9484	-0.36	1063	1008	984	22.6
120	9422	9491	9460	-0.61	772	732	755	12.3
150	9387	9431	9422	-1.08	632	605	668	8.8
180	9341	9369	9368	-1.64	630	633	628	8.6
210	9288	9295	9310	-2.29	584	463	487	5.7
240	9199	9184	9234	-3.26				

スラッジ置換率 9.0%

サイクル数	質量 (g)			質量 減少率 (%)	共鳴振動数 (Hz)			相対 動弾性係数 (%)
	1	2	3		1	2	3	
0	9674	9520	9604	0.00	2179	2187	2168	100.0
10	9690	9546	9633	0.25	1921	1797	1776	70.8
25	9716	9565	9649	0.46	874	909	643	14.1
40	9723	9576	9655	0.54	821	669	776	12.1
60	9724	9573	9653	0.53	667	602	603	8.2
90	9702	9552	9626	0.28	595	473	602	6.6
120	9543	9463	9491	-1.04	590	473	455	5.5
150	9260	9156	9154	-4.26				

凍結融解試験 一次共振振動数測定結果 (材令 9 1 日)

供試体 番号	スラッジ混入率 および含水状態	空気量 (%) () は目標値	一次共振振動数 (Hz)										260 $\frac{\text{サイクル}}{\text{分}}$	300 $\frac{\text{サイクル}}{\text{分}}$
			0 $\frac{\text{サイクル}}{\text{分}}$	10 $\frac{\text{サイクル}}{\text{分}}$	25 $\frac{\text{サイクル}}{\text{分}}$	40 $\frac{\text{サイクル}}{\text{分}}$	60 $\frac{\text{サイクル}}{\text{分}}$	80 $\frac{\text{サイクル}}{\text{分}}$	100 $\frac{\text{サイクル}}{\text{分}}$	140 $\frac{\text{サイクル}}{\text{分}}$	180 $\frac{\text{サイクル}}{\text{分}}$	220 $\frac{\text{サイクル}}{\text{分}}$		
①-1	0 %	5. 0 (4. 5)	2174	2159	2155	2149	2147	2146	2144	2144	2114	2114	2112	2109
①-2			2190	2164	2153	2143	2143	2139	2106	2102	2094	2085	2085	2065
①-3			2191	2161	2144	2141	2139	2136	2119	2101	2094	2084	2068	2069
②-1	乾燥-5 %	4. 7 (4. 5)	2145	2112	2112	2104	2097	2097	2094	2087	2061	2052	2049	2044
②-2			2145	2109	2109	2109	2102	2099	2096	2088	2071	2071	2063	2054
②-3			2146	2110	2111	2108	2107	2096	2095	2086	2072	2064	2060	2059
③-1	乾燥-10 %	5. 3 (4. 5)	2172	2145	2132	2106	2098	2082	2080	2051	2037	2010	1997	1993
③-2			2144	2096	2092	2082	2069	2048	2035	2021	2003	1987	1977	1948
③-3			2143	2097	2080	2066	2053	2040	2027	1993	1981	1975	1894	1893
④-1	乾燥-10 %	6. 6 (6. 0)	2135	2096	2096	2083	2081	2078	2064	2056	2045	2024	2007	1996
④-2			2093	2090	2091	2089	2086	2086	2078	2073	2062	2042	2029	2021
④-3			2084	2046	2044	2034	2028	2016	2008	1995	1981	1949	1950	1932
⑤-1	乾燥-10 %	7. 9 (7. 5)	2111	2092	2093	2083	2086	2082	2077	2064	2068	2051	2048	2030
⑤-2			2092	2066	2067	2057	2061	2056	2048	2042	2039	2036	2033	2027
⑤-3			2103	2067	2065	2056	2054	2047	2044	2038	2028	2026	2014	2012
⑥-1	乾燥-10 %	9. 8 (10. 0)	2094	2069	2064	2056	2052	2052	2046	2033	2030	2022	2015	2015
⑥-2			2100	2072	2073	2065	2068	2053	2052	2050	2048	2036	2033	2021
⑥-3			2095	2027	2025	2018	2020	2010	2009	2003	2004	1991	1989	1968
⑦-1	含水-5 %	5. 1 (4. 5)	2193	2162	2149	2146	2145	2141	2133	2113	2105	2098	2083	2072
⑦-2			2189	2152	2147	2143	2135	2130	2125	2110	2089	2085	2079	2068
⑦-3			2160	2133	2115	2113	2109	2101	2097	2092	2072	2056	2037	2025
⑧-1	含水-10 %	5. 3 (4. 5)	2189	2145	2141	2108	2093	2088	2068	2035	1972	1957	1936	1878
⑧-2			2178	2137	2138	2116	2108	2091	2074	2055	2013	1908	1828	1433
⑧-3			2205	2163	2161	2153	2146	2113	2104	2070	2018	1920	1713	破損
⑨-1	含水-10 %	6. 5 (6. 0)	2169	2140	2141	2142	2142	2114	2109	2089	2071	2065	2035	2020
⑨-2			2148	2101	2098	2077	2069	2058	2050	2030	2010	2001	1984	1959
⑨-3			2162	2143	2141	2110	2108	2100	2094	2073	2059	2048	2024	1997
⑩-1	含水-10 %	8. 0 (7. 5)	2156	2136	2139	2136	2137	2113	2104	2095	2068	2070	2060	2027
⑩-2			2153	2136	2136	2066	2062	2052	2046	2032	2002	1994	1988	1952
⑩-3			2147	2130	2110	2104	2099	2095	2091	2082	2064	2058	2049	1943
⑪-1	含水-10 %	9. 5 (10. 0)	2069	2043	2039	2034	2031	2023	2016	2003	1995	1990	1982	1966
⑪-2			2102	2071	2068	2058	2058	2052	2045	2034	2018	2007	2000	1984
⑪-3			2087	2052	2051	2041	2035	2027	2019	2005	1985	1960	1942	1922
⑫-1	0 %	5. 3 (4. 5)	2116	2097	2096	2093	2092	2085	2087	2088	2090	2088	2088	2087
⑫-2			2092	2064	2051	2049	2049	2044	2045	2042	2041	2039	2033	2028
⑫-3			2110	2085	2077	2074	2079	2079	2078	2075	2070	2073	2073	2070
⑬-1	乾燥-5 %	4. 0 (4. 5)	2179	2152	2139	2140	2134	2126	2130	2110	2101	2095	2094	2090
⑬-2			2154	2130	2108	2104	2101	2094	2089	2080	2076	2072	2069	2067
⑬-3			2174	2152	2120	2122	2118	2112	2100	2084	2082	2081	2076	2076
⑭-1	乾燥-10 %	4. 6 (4. 5)	2175	2151	2128	2113	2111	2099	2089	2072	2066	2070	2060	2047
⑭-2			2129	2098	2088	2079	2072	2054	2049	2026	2021	2009	2001	1997
⑭-3			2140	2106	2091	2090	2085	2075	2066	2052	2051	2036	2028	2011
⑮-1	乾燥-10 %	5. 9 (6. 0)	2113	2090	2082	2079	2073	2060	2060	2053	2046	2037	2032	2029
⑮-2			2116	2094	2084	2078	2073	2065	2053	2048	2041	2033	2030	2014
⑮-3			2133	2092	2082	2076	2070	2059	2058	2045	2048	2029	2029	2023
⑯-1	乾燥-10 %	7. 0 (7. 5)	2100	2075	2063	2053	2058	2045	2045	2049	2055	2049	2042	2033
⑯-2			2098	2082	2059	2060	2055	2045	2034	2030	2033	2020	2013	2009
⑯-3			2097	2066	2055	2053	2055	2044	2043	2035	2034	2028	2030	2013
⑰-1	乾燥-15 %	4. 7 (4. 5)	2104	2069	2056	2047	2033	2018	2013	1991	1986	1982	1960	1913
⑰-2			2102	2076	2054	2052	2038	2022	2017	2011	1997	1985	1958	1930
⑰-3			2109	2083	2071	2061	2057	2038	2023	2007	1983	1980	1905	1873
⑱-1	乾燥-20 %	5. 0 (4. 5)	2139	2095	2052	2042	2035	2020	2014	2000	1995	1986	1978	1960
⑱-2			2141	2104	2086	2075	2069	2053	2043	2023	2002	1988	1949	1936
⑱-3			2144	2101	2084	2075	2069	2048	2043	2010	1997	1979	1921	1893

凍結融解試験結果 相対動弾性係数 (材令 9 1)

供試体 番号	スラッジ混入率 および含水状態	空気量 (%) () は目標値	試験開始時の 動弾性係数 (N/mm ²)	相対動弾性係数 (%)											
				10 サイクル	25 サイクル	40 サイクル	60 サイクル	80 サイクル	100 サイクル	140 サイクル	180 サイクル	220 サイクル	260 サイクル	300 サイクル	
①-1	0 %	5. 0 (4. 5)	36215	98. 6	98. 3	97. 7	97. 5	97. 4	97. 3	97. 3	94. 6	94. 6	94. 4	94. 1	
①-2			37317	97. 6	96. 6	96. 9	95. 8	96. 3	95. 8	96. 2	95. 4	96. 0	92. 5	94. 4	90. 7
①-3			37647	97. 3	95. 8		95. 5		95. 3		92. 0	91. 3	90. 5	89. 1	
②-1	乾燥-5 %	4. 7 (4. 5)	35539	96. 9	96. 9		96. 2		95. 6		94. 7	92. 3	91. 5	91. 2	90. 8
②-2			35705	96. 7	96. 8	96. 7	96. 8	96. 7	96. 5	96. 0	96. 0	95. 8	95. 6	95. 5	91. 5
②-3			35875	96. 7	96. 8		96. 5		96. 4		95. 4	94. 8	94. 6	93. 2	91. 7
③-1	乾燥-10 %	5. 3 (4. 5)	36131	97. 5	96. 4		94. 0		93. 3		91. 9	91. 7	89. 2	88. 0	92. 1
③-2			35176	95. 6	95. 2	95. 3	94. 3	93. 8	93. 1	92. 7	91. 2	91. 2	90. 1	90. 4	84. 2
③-3			35057	95. 8	94. 2		92. 9		91. 8		90. 6	89. 5	88. 5	87. 3	81. 6
④-1	乾燥-10 %	6. 6 (6. 0)	35047	96. 4	96. 4		95. 2		95. 0		94. 7	93. 5	92. 7	91. 7	87. 4
④-2			33578	99. 7	97. 5	99. 8	97. 5	99. 6	96. 7	99. 3	96. 3	99. 3	95. 9	98. 6	88. 9
④-3			33746	96. 4	96. 2		95. 3		94. 7		93. 6	92. 8	91. 6	90. 4	
⑤-1	乾燥-10 %	7. 9 (7. 5)	33476	98. 2	98. 3		97. 4		97. 6		97. 3	96. 8	95. 6	96. 0	92. 5
⑤-2			32715	97. 5	97. 6	97. 4	96. 7	96. 5	97. 1	96. 7	96. 6	96. 2	95. 8	95. 7	92. 6
⑤-3			33446	96. 6	96. 4		95. 6		95. 4		94. 7	94. 5	93. 9	93. 0	
⑥-1	乾燥-10 %	9. 8 (10. 0)	32830	97. 6	97. 2		96. 4		96. 0		96. 0	95. 5	94. 3	94. 0	91. 2
⑥-2			33056	97. 4	97. 4	96. 2	96. 7	95. 3	97. 0	95. 3	95. 6	94. 6	95. 5	94. 3	
⑥-3			32925	93. 6	93. 4		92. 8		93. 0		92. 1	92. 0	91. 4	91. 5	88. 2
⑦-1	含水-5 %	5. 1 (4. 5)	37373	97. 2	96. 0		95. 8		95. 7		95. 3	94. 6	92. 8	92. 1	89. 3
⑦-2			36967	96. 6	96. 2	96. 0	95. 8	95. 8	95. 1	95. 4	94. 7	94. 9	94. 2	94. 4	88. 8
⑦-3			36759	97. 5	95. 9		95. 7		95. 3		94. 6	94. 3	93. 8	92. 0	
⑧-1	含水-10 %	5. 3 (4. 5)	37360	96. 0	95. 7		92. 7		91. 4		91. 0	89. 3	86. 4	81. 2	73. 6
⑧-2			36939	96. 3	96. 4	96. 0	94. 4	94. 2	93. 7	93. 3	92. 2	91. 7	90. 7	91. 1	58. 4
⑧-3			37768	96. 2	96. 0		95. 3		94. 7		91. 8	91. 0	88. 1	83. 8	破損
⑨-1	含水-10 %	6. 5 (6. 0)	36146	97. 3	97. 4		97. 5		97. 5		95. 0	94. 5	92. 8	91. 2	86. 7
⑨-2			35090	95. 7	95. 4	97. 0	93. 5	95. 4	92. 8	95. 1	91. 8	93. 7	91. 1	89. 3	85. 1
⑨-3			35777	98. 3	98. 1		95. 2		95. 1		94. 3	93. 8	91. 9	90. 7	
⑩-1	含水-10 %	8. 0 (7. 5)	35252	98. 2	98. 4		98. 2		98. 2		96. 1	95. 2	94. 4	92. 0	88. 4
⑩-2			35222	98. 4	98. 4	98. 3	92. 1	95. 4	91. 7	95. 2	90. 8	94. 0	90. 3	89. 1	84. 2
⑩-3			34923	98. 4	96. 6		96. 0		95. 6		95. 2	94. 9	94. 0	92. 4	
⑪-1	含水-10 %	9. 5 (10. 0)	31792	97. 5	97. 1		96. 6		96. 4		95. 6	94. 9	93. 7	93. 0	90. 3
⑪-2			33025	97. 1	96. 8	96. 8	95. 9	96. 0	95. 9	95. 8	95. 3	95. 1	94. 7	94. 4	88. 1
⑪-3			32669	96. 7	96. 6		95. 6		95. 1		94. 3	93. 6	92. 3	90. 5	
⑫-1	0 %	5. 3 (4. 5)	34947	98. 2	98. 1		97. 8		97. 7		97. 1	97. 3	97. 4	97. 6	97. 3
⑫-2			32600	97. 3	96. 1	97. 0	95. 9	96. 8	95. 9	96. 9	95. 5	96. 5	95. 6	95. 2	95. 8
⑫-3			34110	97. 6	96. 9		96. 6		97. 1		97. 1	97. 0	96. 7	96. 2	
⑬-1	乾燥-5 %	4. 0 (4. 5)	37060	97. 5	96. 4		96. 5		95. 9		95. 2	95. 6	93. 8	93. 0	92. 0
⑬-2			36405	97. 8	95. 8	95. 7	95. 4	95. 7	95. 1	95. 3	94. 5	94. 7	94. 1	92. 9	91. 8
⑬-3			35937	98. 0	95. 1		95. 3		94. 9		94. 4	93. 3	91. 9	91. 7	
⑭-1	乾燥-10 %	4. 6 (4. 5)	37334	97. 8	95. 7		94. 4		94. 2		93. 1	92. 2	90. 8	90. 2	88. 6
⑭-2			34816	97. 1	96. 2	95. 8	95. 4	95. 0	94. 7	94. 6	93. 1	93. 4	90. 6	91. 1	88. 3
⑭-3			36185	96. 8	95. 5		95. 4		94. 9		94. 0	93. 2	91. 9	91. 9	
⑮-1	乾燥-10 %	5. 9 (6. 0)	33919	97. 8	97. 1		96. 8		96. 2		95. 0	95. 0	94. 4	93. 8	92. 2
⑮-2			34259	97. 9	97. 0	96. 5	96. 4	96. 0	96. 0	95. 5	95. 2	94. 5	94. 1	93. 0	90. 6
⑮-3			35406	96. 2	95. 3		94. 7		94. 2		93. 2	93. 1	91. 9	92. 2	
⑯-1	乾燥-10 %	7. 0 (7. 5)	34081	97. 6	96. 5		95. 6		96. 0		94. 8	94. 8	95. 2	95. 8	93. 7
⑯-2			33755	98. 5	96. 3	96. 3	96. 4	95. 9	95. 9	96. 0	95. 0	95. 0	94. 0	94. 6	92. 5
⑯-3			33822	97. 1	96. 0		95. 8		96. 0		95. 0	94. 9	94. 2	94. 1	
⑰-1	乾燥-15 %	4. 7 (4. 5)	34469	96. 7	95. 5		94. 7		93. 4		92. 0	91. 5	89. 5	89. 1	82. 7
⑰-2			33394	97. 5	95. 5	95. 8	95. 3	95. 2	94. 0	94. 2	92. 5	92. 6	91. 9	91. 5	81. 9
⑰-3			34557	97. 5	96. 4		95. 5		95. 1		93. 4	92. 0	90. 6	88. 4	
⑱-1	乾燥-20 %	5. 0 (4. 5)	35371	95. 9	92. 0		91. 1		90. 5		89. 2	88. 7	87. 4	87. 0	84. 0
⑱-2			35613	96. 6	94. 9	93. 8	93. 9	92. 9	93. 4	92. 3	91. 9	90. 8	91. 1	89. 3	81. 2
⑱-3			35587	96. 0	94. 5		93. 7		93. 1		91. 2	90. 8	90. 8	87. 9	

凍結融解試験 供試体質量 (材令91)

供試体 番号			供試体質量(g)											
スラッジ混入率 および含水状態			空気量(%)											
()は目標値			0%イクル	10%イクル	25%イクル	40%イクル	60%イクル	80%イクル	100%イクル	140%イクル	180%イクル	220%イクル	260%イクル	300%イクル
①-1	0%	5.0 (4.5)	9307.5	9278.7	9270.1	9265.6	9259.4	9253.0	9248.0	9236.1	9217.8	9207.2	9194.2	9182.7
①-2			9376.9	9351.8	9345.0	9340.6	9333.8	9327.2	9322.4	9308.2	9296.3	9273.2	9259.0	9242.0
①-3			9379.6	9354.2	9349.1	9344.6	9337.8	9331.0	9326.4	9316.2	9302.7	9289.7	9274.0	9244.9
②-1	乾燥-5%	4.7 (4.5)	9351.5	9325.5	9316.5	9311.6	9302.4	9295.1	9288.2	9277.2	9265.6	9252.6	9238.2	9221.0
②-2			9359.6	9333.3	9322.7	9314.2	9304.3	9296.2	9287.5	9272.2	9255.7	9235.1	9219.2	9200.8
②-3			9387.6	9361.0	9353.0	9348.8	9341.6	9335.5	9326.5	9313.7	9301.7	9282.3	9267.1	9249.5
③-1	乾燥-10%	5.3 (4.5)	9386.7	9371.0	9362.8	9360.1	9352.9	9343.6	9330.3	9301.9	9272.5	9215.7	9182.8	9150.8
③-2			9403.9	9392.2	9383.5	9381.1	9375.0	9367.7	9361.8	9326.2	9295.4	9266.0	9239.8	9199.1
③-3			9372.3	9356.2	9346.5	9343.5	9337.9	9331.0	9324.2	9304.4	9276.8	9250.6	9225.7	9197.9
④-1	乾燥-10%	6.6 (6.0)	9300.9	9288.6	9278.2	9276.0	9272.7	9261.9	9258.0	9247.4	9222.3	9195.1	9171.8	9155.7
④-2			9280.1	9267.2	9259.6	9257.9	9252.9	9245.7	9239.2	9217.4	9190.0	9168.0	9141.1	9112.9
④-3			9243.1	9229.1	9221.9	9219.2	9215.2	9208.8	9201.0	9175.7	9144.3	9116.1	9079.8	9042.6
⑤-1	乾燥-10%	7.9 (7.5)	9213.1	9202.6	9193.2	9187.5	9179.7	9169.9	9156.3	9133.2	9109.6	9084.3	9062.6	9043.2
⑤-2			9122.0	9112.7	9102.8	9098.5	9089.7	9078.4	9064.3	9046.0	9023.5	9003.9	8984.8	8966.6
⑤-3			9203.5	9193.8	9182.1	9176.2	9169.3	9158.7	9146.1	9120.8	9098.1	9078.2	9053.6	9035.8
⑥-1	乾燥-10%	9.8 (10.0)	9011.9	8998.7	8985.9	8978.9	8972.0	8958.5	8949.4	8925.3	8899.5	8877.4	8851.0	8823.9
⑥-2			9028.6	9015.8	9005.8	9001.6	8996.7	8989.9	8941.5	8963.4	8942.4	8928.8	8912.1	8895.8
⑥-3			9010.5	8958.9	8947.8	8941.6	8934.5	8926.3	8915.9	8897.4	8877.7	8860.4	8843.4	8829.4
⑦-1	含水-5%	5.1 (4.5)	9378.1	9359.4	9350.4	9341.8	9337.6	9332.7	9330.0	9321.9	9303.4	9282.8	9263.8	9247.7
⑦-2			9316.7	9298.2	9289.6	9284.0	9278.5	9270.7	9265.2	9249.3	9222.9	9197.4	9172.6	9153.0
⑦-3			9301.3	9288.4	9276.5	9267.1	9258.8	9249.6	9240.8	9223.4	9199.5	9181.4	9163.5	9149.9
⑧-1	含水-10%	5.3 (4.5)	9321.8	9306.6	9299.5	9294.3	9289.2	9284.0	9277.0	9263.1	9239.9	9219.7	9193.3	9171.7
⑧-2			9302.4	9281.6	9275.4	9269.6	9265.9	9259.5	9255.3	9239.5	9214.0	9192.5	9169.7	9143.1
⑧-3			9381.5	9363.2	9356.3	9351.1	9345.6	9332.7	9325.2	9310.7	9290.5	9274.1	9254.7	破損
⑨-1	含水-10%	6.5 (6.0)	9271.8	9256.8	9250.7	9243.9	9237.2	9231.2	9224.1	9206.3	9183.3	9158.3	9135.2	9113.5
⑨-2			9242.7	9231.0	9225.1	9162.9	9158.0	9150.1	9139.5	9120.2	9089.3	9068.2	9046.2	9027.2
⑨-3			9211.7	9202.1	9194.1	9186.5	9183.0	9174.6	9164.6	9146.9	9119.4	9097.4	9068.0	9044.3
⑩-1	含水-10%	8.0 (7.5)	9176.4	9165.8	9159.4	9151.4	9146.3	9140.9	9134.9	9119.4	9095.4	9073.6	9051.4	9030.0
⑩-2			9251.7	9238.4	9230.6	9217.2	9209.6	9200.4	9188.6	9169.7	9144.0	9122.7	9094.0	9068.8
⑩-3			9138.6	9126.7	9120.8	9111.2	9103.3	9093.4	9085.2	9069.7	9050.5	9030.5	9013.5	8939.5
⑪-1	含水-10%	9.5 (10.0)	8968.5	8954.6	8948.1	8942.4	8935.2	8927.2	8920.6	8902.8	8876.7	8851.9	8829.7	8801.9
⑪-2			9011.1	8997.6	8989.3	8983.9	8979.7	8972.8	8966.7	8951.5	8932.2	8915.4	8895.1	8873.0
⑪-3			9016.0	8999.1	8991.5	8986.2	8983.8	8979.9	8974.3	8962.2	8946.0	8930.2	8914.9	8896.9
⑫-1	0%	5.3 (4.5)	9336.7	9319.3	9316.4	9312.9	9293.4	9290.2	9286.1	9277.5	9271.7	9265.0	9253.8	9238.6
⑫-2			9287.6	9266.7	9258.5	9251.0	9237.0	9234.7	9229.3	9222.6	9213.0	9201.6	9189.4	9171.5
⑫-3			9262.7	9246.6	9238.8	9234.1	9213.4	9210.0	9204.7	9197.8	9186.5	9165.7	9148.0	9128.2
⑬-1	乾燥-5%	4.0 (4.5)	9455.2	9440.3	9437.2	9432.2	9427.1	9424.1	9417.4	9404.1	9390.6	9375.2	9352.1	9317.6
⑬-2			9385.8	9367.9	9364.2	9360.8	9356.8	9334.5	9318.7	9300.2	9277.6	9255.9	9216.5	9127.4
⑬-3			9391.3	9375.0	9370.2	9362.3	9358.6	9354.7	9346.8	9329.7	9313.9	9293.1	9258.7	9229.1
⑭-1	乾燥-10%	4.6 (4.5)	9449.1	9434.8	9432.4	9430.1	9423.7	9419.4	9411.1	9383.6	9255.5	9287.2	9232.4	9187.6
⑭-2			9391.6	9379.4	9378.1	9375.9	9372.3	9367.9	9356.3	9333.8	9301.3	9251.4	9203.4	9162.3
⑭-3			9415.8	9401.0	9399.0	9394.6	9387.4	9378.3	9364.7	9345.8	9319.7	9289.3	9245.8	9190.8
⑮-1	乾燥-10%	5.9 (6.0)	9287.0	9272.9	9264.4	9260.7	9254.5	9250.5	9239.2	9214.1	9191.1	9158.4	9126.0	9091.2
⑮-2			9268.4	9251.8	9249.6	9248.3	9246.4	9241.3	9233.7	9206.2	9179.1	9133.2	9096.9	9038.5
⑮-3			9355.9	9341.2	9337.9	9336.6	9333.0	9327.9	9321.2	9298.3	9265.9	9229.3	9189.3	9152.0
⑯-1	乾燥-10%	7.0 (7.5)	9313.7	9297.0	9295.9	9294.3	9289.2	9286.0	9275.2	9137.5	9087.0	9069.3	9046.7	9029.0
⑯-2			9252.4	9237.9	9235.8	9233.3	9228.9	9224.4	9213.8	9191.7	9167.6	9143.0	9115.2	9078.4
⑯-3			9273.4	9258.9	9256.8	9252.7	9249.7	9244.5	9234.4	9214.0	9189.8	9160.0	9113.4	9074.1
⑰-1	乾燥-15%	4.7 (4.5)	9374.5	9355.9	9355.0	9350.7	9345.1	9338.4	9317.9	9292.3	9194.4	9143.0	9104.1	9062.8
⑰-2			9390.1	9372.0	9371.9	9369.4	9364.9	9358.4	9339.7	9308.2	9273.3	9237.9	9203.2	9158.1
⑰-3			9409.7	9377.7	9370.3	9364.7	9357.6	9348.7	9330.1	9305.6	9270.0	9144.2	9188.8	9147.9
⑱-1	乾燥-15%	5.0 (4.5)	9283.8	9264.5	9254.2	9254.0	9258.4	9245.6	9236.6	9217.7	9181.5	9151.3	8858.4	8779.4
⑱-2			9379.8	9357.6	9353.8	9351.3	9347.6	9342.7	9332.8	9313.2	9289.8	9250.7	9206.4	9157.0
⑱-3			9362.0	9341.3	9338.4	9334.7	9332.4	9328.6	9315.3	9296.7	9257.8	9236.8	9203.6	9149.9

凍結融解試験 質量減少率 (材令 9 1)

供試体 番号	スラッジ混入率 および含水状態	空気量 (%) () は目標値	試験開始前 質量 (g)	質量減少率 (%)											
				10 ㏄	25 ㏄	40 ㏄	60 ㏄	80 ㏄	100 ㏄	140 ㏄	180 ㏄	220 ㏄	260 ㏄	300 ㏄	
①-1	0 %	5.0 (4.5)	9307.5	0.31	0.40	0.45	0.52	0.59	0.64	0.77	0.96	1.08	1.22	1.34	
①-2			9376.9	0.27	0.34	0.36	0.39	0.40	0.46	0.47	0.53	0.54	0.58	0.60	1.41
①-3			9379.6	0.27	0.33	0.37	0.45	0.52	0.57	0.68	0.82	0.96	1.13	1.44	
②-1	乾燥-5 %	4.7 (4.5)	9351.5	0.28	0.37	0.43	0.53	0.60	0.68	0.79	0.92	1.06	1.21	1.40	
②-2			9359.6	0.28	0.39	0.38	0.49	0.54	0.68	0.77	0.93	1.11	1.33	1.70	1.52
②-3			9387.6	0.28	0.37	0.41	0.49	0.55	0.65	0.79	0.92	1.12	1.28	1.47	
③-1	乾燥-10 %	5.3 (4.5)	9386.7	0.17	0.25	0.28	0.36	0.46	0.60	0.90	1.22	1.82	2.17	2.51	
③-2			9403.9	0.12	0.22	0.24	0.31	0.34	0.38	0.43	0.45	0.52	0.83	0.82	2.18
③-3			9372.3	0.17	0.28	0.31	0.37	0.44	0.51	0.72	1.02	1.30	1.56	1.86	
④-1	乾燥-10 %	6.6 (6.0)	9300.9	0.13	0.24	0.27	0.30	0.42	0.46	0.58	0.85	1.14	1.39	1.56	
④-2			9280.1	0.14	0.22	0.24	0.29	0.30	0.37	0.39	0.44	0.45	0.68	0.66	1.84
④-3			9243.1	0.15	0.23	0.26	0.30	0.37	0.46	0.73	1.07	1.37	1.77	2.17	
⑤-1	乾燥-10 %	7.9 (7.5)	9213.1	0.11	0.22	0.28	0.36	0.47	0.62	0.87	1.12	1.40	1.63	1.84	
⑤-2			9122.0	0.10	0.21	0.26	0.35	0.36	0.48	0.48	0.63	0.62	0.83	0.87	1.79
⑤-3			9203.5	0.11	0.23	0.30	0.37	0.49	0.62	0.90	1.15	1.36	1.63	1.82	
⑥-1	乾燥-10 %	9.8 (10.0)	9011.9	0.15	0.29	0.37	0.44	0.59	0.69	0.96	1.25	1.49	1.79	2.09	
⑥-2			9028.6	0.14	0.25	0.30	0.48	0.55	0.43	0.65	0.96	0.90	0.72	0.98	1.86
⑥-3			9010.5	0.57	0.70	0.76	0.84	0.93	1.05	1.26	1.47	1.67	1.85	2.01	
⑦-1	含水-5 %	5.1 (4.5)	9378.1	0.20	0.30	0.39	0.43	0.48	0.51	0.60	0.80	1.02	1.22	1.39	
⑦-2			9316.7	0.20	0.29	0.35	0.41	0.43	0.49	0.55	0.72	1.01	1.28	1.55	1.59
⑦-3			9301.3	0.14	0.27	0.37	0.46	0.56	0.65	0.84	1.09	1.29	1.48	1.63	
⑧-1	含水-10 %	5.3 (4.5)	9321.8	0.16	0.24	0.30	0.35	0.41	0.48	0.63	0.88	1.10	1.38	1.61	
⑧-2			9302.4	0.22	0.29	0.35	0.39	0.46	0.51	0.68	0.95	0.93	1.18	1.43	1.66
⑧-3			9381.5	0.20	0.27	0.32	0.38	0.52	0.60	0.75	0.97	1.14	1.35	破損	
⑨-1	含水-10 %	6.5 (6.0)	9271.8	0.16	0.23	0.30	0.37	0.44	0.51	0.71	0.95	1.22	1.47	1.71	
⑨-2			9242.7	0.13	0.19	0.20	0.86	0.92	0.53	1.00	1.12	1.33	1.89	2.13	1.95
⑨-3			9211.7	0.10	0.19	0.27	0.31	0.40	0.51	0.70	1.00	1.24	1.56	1.82	
⑩-1	含水-10 %	8.0 (7.5)	9176.4	0.12	0.19	0.27	0.33	0.39	0.45	0.62	0.88	1.12	1.36	1.60	
⑩-2			9251.7	0.14	0.23	0.37	0.46	0.39	0.55	0.48	0.68	0.57	0.89	0.75	1.92
⑩-3			9138.6	0.13	0.19	0.30	0.39	0.49	0.58	0.75	0.96	1.18	1.37	2.18	
⑪-1	含水-10 %	9.5 (10.0)	8968.5	0.15	0.23	0.29	0.37	0.46	0.53	0.73	1.02	1.30	1.55	1.86	
⑪-2			9011.1	0.15	0.24	0.30	0.35	0.36	0.43	0.43	0.49	0.50	0.66	0.66	1.57
⑪-3			9016.0	0.19	0.27	0.33	0.36	0.40	0.46	0.60	0.78	0.95	1.12	1.32	
⑫-1	0 %	5.3 (4.5)	9336.7	0.19	0.22	0.25	0.46	0.50	0.54	0.63	0.70	0.68	0.80	0.77	1.25
⑫-2			9287.6	0.23	0.31	0.39	0.54	0.51	0.57	0.63	0.70	0.68	0.80	0.77	
⑫-3			9262.7	0.17	0.26	0.31	0.53	0.57	0.63	0.70	0.82	1.05	1.24	1.45	
⑬-1	乾燥-5 %	4.0 (4.5)	9455.2	0.16	0.19	0.24	0.30	0.33	0.40	0.54	0.68	0.85	1.09	1.46	
⑬-2			9385.8	0.19	0.23	0.27	0.31	0.32	0.55	0.71	0.91	1.15	1.38	1.80	1.98
⑬-3			9391.3	0.17	0.22	0.31	0.35	0.39	0.47	0.66	0.82	1.05	1.41	1.73	
⑭-1	乾燥-10 %	4.6 (4.5)	9449.1	0.15	0.18	0.20	0.27	0.31	0.40	0.69	2.05	1.71	2.29	2.77	
⑭-2			9391.6	0.13	0.14	0.17	0.21	0.26	0.25	0.32	0.38	0.44	0.62	0.68	2.53
⑭-3			9415.8	0.16	0.18	0.23	0.30	0.40	0.54	0.74	1.02	1.34	1.81	2.39	
⑮-1	乾燥-10 %	5.9 (6.0)	9287.0	0.15	0.24	0.28	0.35	0.39	0.51	0.78	1.03	1.38	1.73	2.11	
⑮-2			9268.4	0.18	0.20	0.22	0.24	0.28	0.29	0.33	0.37	0.42	0.67	0.69	2.26
⑮-3			9355.9	0.16	0.19	0.21	0.24	0.30	0.37	0.62	0.96	1.35	1.78	2.18	
⑯-1	乾燥-10 %	7.0 (7.5)	9313.7	0.18	0.19	0.21	0.26	0.30	0.41	1.89	2.43	2.62	2.87	3.06	
⑯-2			9252.4	0.16	0.18	0.21	0.25	0.26	0.30	0.30	0.42	0.42	0.66	1.06	2.36
⑯-3			9273.4	0.16	0.18	0.22	0.26	0.31	0.42	0.64	0.90	1.22	1.73	2.15	
⑰-1	乾燥-15 %	4.7 (4.5)	9374.5	0.20	0.21	0.25	0.31	0.39	0.60	0.88	1.92	2.47	2.88	3.32	
⑰-2			9390.1	0.19	0.19	0.22	0.27	0.38	0.34	0.46	0.54	0.66	0.87	0.95	2.86
⑰-3			9409.7	0.34	0.42	0.48	0.55	0.65	0.85	1.11	1.48	2.82	2.35	2.78	
⑱-1	乾燥-20 %	5.0 (4.5)	9283.8	0.21	0.32	0.32	0.27	0.41	0.51	0.71	1.10	1.43	4.58	5.43	
⑱-2			9379.8	0.24	0.28	0.30	0.34	0.31	0.40	0.39	0.50	0.50	0.71	0.71	3.36
⑱-3			9362.0	0.22	0.25	0.29	0.32	0.36	0.50	0.70	1.11	1.34	1.69	2.27	

長さ変化試験結果

試料名 スラッジ混入コンクリート

暴露条件 温度: 20℃ 湿度: 60% 配合No: 外部 0%

養生条件 水中養生期間 7日間

スラッジ Uダム産

水 水道水(つくば市)

使用材料 セメント

混和材

細骨材

粗骨材

混和剤

コンクリートの配合
単位量 (kg/m³)

W/C (%) s/a (%) 水 セメント 混和材 細骨材 粗骨材 混和剤

練り混ぜ条件 フレッシュコンクリート試験結果

ミキサ 練り量 練混時間 室温 コンクリート温 スランプ スランプフロー 空気量 性状

(l) (sec.) (℃) (℃) (cm) (cm) (%)

パン型

		長さ変化試験									
	暴露期間	開始時	1日	3日	1週	4週	8週	3ヶ月	6ヶ月	1年	2年
	試験日	11月13日	11月14日	11月16日	11月20日	12月11日	1月10日	2月21日	5月13日	11月13日	1月16日
標準尺の読み	測定前	2330	2335	2339	2338	4293	4451	4500	4079	2361	2652
	測定後	2327	2334	2331	2329	4293	4448	4493	4070	2360	2648
No. 1	重量(g)	9578	9472	9356	9301	9243	9227	9225	9224		
	正転の読み	753	753	734	708	2618	2725	2767	2327		
	反転の読み	805	802	786	761	2563	2671	2713	2276		
	長さ変化(μ)	0	19	64	123	381	504	516	557		
	共鳴振動数(Hz)	2004	1989	1961	1935	1915	1909	1902	1905		
No. 2	重量(g)	9678	9586	9466	9400	9335	9318	9315	9314	9312	
	正転の読み	1568	1564	1547	1525	3352	3458	3498	3057	1336	
	反転の読み	1546	1542	1526	1500	3377	3477	3520	3078	1355	
	長さ変化(μ)	0	25	67	123	392	525	539	587	607	
	共鳴振動数(Hz)	2008	1986	1969	1958	1935	1925	1925	1924	1929	
No. 3	重量(g)	9676	9568	9459	9403	9351	9336	9335	9334	9333	9339
	正転の読み	1982	1981	1962	1935	3813	3930	3972	3530	1808	2077
	反転の読み	2001	1999	1981	1955	3796	3912	3951	3510	1790	2056
	長さ変化(μ)	0	19	66	129	378	478	495	543	561	616
	共鳴振動数(Hz)	2014	2004	1988	1976	1959	1950	1950	1952	1966	1958
重量変化率平均(%)		0	-1.06	-2.25	-2.86	-3.47	-3.63	-3.65	-3.66	-3.66	-3.48
長さ変化率平均(μ)		0	21	66	125	384	502	516	563	584	616
相対動弾性係数(%)		0	98	96	95	93	92	92	92	94	95

試料名 暴露条件 養生条件		長さ変化試験結果										
		スラッジ混入コンクリート										
		温度: 20℃		湿度: 60%		配合No: 外部 0%						
		水中養生期間		28日間								
使用材料		スラッジ		Uダム産								
		水		水道水(つくば市)								
		セメント										
		混和材										
		細骨材										
		粗骨材										
		混和剤										
		コンクリートの配合										
		単位量 (kg/m ³)										
		W/C (%)	s/a (%)	水	セメント	混和材	細骨材	粗骨材	混和剤			
練り混ぜ条件		フレッシュコンクリート試験結果										
ミキサ		練り量	練混時間	室温	コンクリート温	スランプ	スランプフロー	空気量	性状			
パン型		(l)	(sec.)	(℃)	(℃)	(cm)	(cm)	(%)				
長さ変化試験												
		暴露期間	開始時	1日	3日	1週	4週	8週	3ヶ月	6ヶ月	1年	2年
		試験日	12月4日	12月5日	12月7日	12月11日	1月2日	1月30日	3月4日	6月4日	12月4日	1月16日
標準尺の読み	測定前	4252	4248	4245	4296	4275	4376	4183	4090	2369	2648	
	測定後	4241	4244	4240	4293	4273	4372	4180	4082	2362	2640	
No. 1	重量(g)	9761	9673	9595	9545	9476	9450	9448	9442			
	正転の読み	4179	4167	4139	4171	4050	4105	3895	3781			
	反転の読み	4220	4209	4186	4214	4095	4145	3939	3822			
	長さ変化(μ)	0	27	82	137	385	504	542	592			
	共鳴振動数(Hz)	2096	2082	2076	2059	2046	1986	1983	1987			
No. 2	重量(g)	9581	9508	9431	9375	9301	9274	9273	9266	9254		
	正転の読み	3401	3393	3367	3399	3271	3319	3114	2997	1263		
	反転の読み	3467	3455	3433	3463	3335	3386	3176	3058	1325		
	長さ変化(μ)	0	24	75	127	396	522	559	614	646		
	共鳴振動数(Hz)	2084	2079	2057	2047	2034	1948	1951	1964	1960		
No. 3	重量(g)	9650	9571	9488	9436	9365	9339	9338	9332	9317	9322	
	正転の読み	4568	4557	4533	4566	4435	4490	4282	4164	2436	2685	
	反転の読み	4627	4619	4593	4624	4497	4550	4339	4222	2491	2745	
	長さ変化(μ)	0	22	76	126	397	511	554	608	631	698	
	共鳴振動数(Hz)	2081	2081	2057	2045	2042	1960	1960	1974	1955	1952	
重量変化率平均 (%)		0	-0.83	-1.65	-2.19	-2.93	-3.20	-3.22	-3.28	-3.43	-3.40	
長さ変化率平均 (μ)		0	25	78	130	392	512	552	605	639	698	
相対動弾性係数 (%)		0	99	98	97	96	89	89	90	88	88	

長さ変化試験結果									
試料名	スラッジ混入コンクリート								
暴露条件	温度：20℃	湿度：60%	配合No：外部4.5%						
養生条件	水中養生期間	7日間							
	スラッジ	Uダム産							
	水	水道水（つくば市）							
使用材料	セメント								
	混和材								
	細骨材								
	粗骨材								
	混和剤								
コンクリートの配合									
単位量（kg/m3）									
W/C	s/a	水	セメント	混和材	細骨材	粗骨材	混和剤		
(%)	(%)								
フレッシュコンクリート試験結果									
練り混ぜ条件	練り量	練混時間	室温	コンクリート温	スランプ	スランプフロー	空気量	性状	
ミキサ	(l)	(sec.)	(℃)	(℃)	(cm)	(cm)	(%)		
パン型									

長さ変化試験											
	暴露期間	開始時	1日	5日	1週	4週	8週	3ヶ月	6ヶ月	1年	2年
	試験日	11月15日	11月16日	11月20日	11月22日	12月13日	1月10日	2月21日	5月13日	11月13日	1月16日
標準尺の読み	測定前	2335	2339	2338	2336	4295	4451	4500	4079	2361	2652
	測定後	2327	2331	2329	2332	4294	4448	4493	4070	2360	2648
No. 1	重量(g)	9732	9643	9497	9475	9421	9405	9402	9401		
	正転の読み	1411	1385	1358	1352	3213	3327	3365	2927		
	反転の読み	1425	1405	1377	1368	3228	3349	3383	2945		
	長さ変化(μ)	0	67	132	152	402	496	523	563		
	共鳴振動数(Hz)	2071	2065	2059	2048	1971	1970	1963	1970		
No. 2	重量(g)	9737	9631	9487	9466	9411	9395	9391	9391	9390	
	正転の読み	1324	1298	1268	1262	3112	3223	3257	2816	1099	
	反転の読み	1323	1289	1261	1251	3105	3214	3252	2806	1092	
	長さ変化(μ)	0	85	154	175	446	559	586	640	644	
	共鳴振動数(Hz)	2070	2065	2058	2047	2042	1980	1980	1982	1985	
No. 3	重量(g)	9738	9634	9493	9472	9417	9401	9397	9396	9394	9403
	正転の読み	2034	2009	1981	1972	3815	3933	3968	3524	1810	2080
	反転の読み	2046	2023	1992	1982	3831	3944	3977	3536	1820	2071
	長さ変化(μ)	0	70	140	165	450	549	581	632	635	707
	共鳴振動数(Hz)	2079	2069	2055	2042	1956	1954	1954	1960	1971	1959
重量変化率平均(%)		0	-1.02	-2.50	-2.72	-3.28	-3.44	-3.48	-3.49	-3.55	-3.44
長さ変化率平均(μ)		0	74	142	164	433	534	563	612	639	707
相対動弾性係数(%)		0	99	98	97	92	90	90	90	91	89

長さ変化試験結果											
試料名 暴露条件 養生条件	スラッジ混入コンクリート										
	温度： 20℃					湿度： 60%					配合No： 外部4.5%
	水中養生期間					28日間					
	スラッジ					Uダム産					
使用材料	水					水道水（つくば市）					
	セメント										
	混和材										
	細骨材										
粗骨材											
混和剤											
W/C (%)					s/a (%)		コンクリートの配合 単位量 (kg/m ³)				
					水		セメント	混和材	細骨材	粗骨材	混和剤
フレッシュコンクリート試験結果											
練り混ぜ条件		練り量	練混時間	室温	コンクリート温	スランプ	スランプフロー	空気量	性状		
ミキサ		(l)	(sec.)	(℃)	(℃)	(cm)	(cm)	(%)			
パン型											
	長さ変化試験										
	暴露期間 試験日	開始時	1日	5日	1週	4週	8週	3ヶ月	6ヶ月	1年	2年
標準尺 の読み	測定前	4250	4245	4296	4295	4274	4371	4180	4088	2369	2648
	測定後	4244	4240	4293	4292	4272	4369	4177	4086	2362	2640
No. 1	重量(g)	9776	9711	9629	9606	9526	9491	9491	9478		
	正転の読み	2742	2730	2752	2739	2621	2664	2452	2329		
	反転の読み	2702	2696	2716	2698	2583	2624	2416	2293		
	長さ変化(μ)	0	11	89	125	365	503	549	628		
	共鳴振動数(Hz)	2122	2118	2110	2107	2095	2011	2076	2077		
No. 2	重量(g)	9754	9688	9596	9570	9473	9460	9460	9451	9431	
	正転の読み	2989	2984	3001	2983	2867	2918	2709	2593	861	
	反転の読み	3008	3003	3021	3004	2889	2936	2730	2611	879	
	長さ変化(μ)	0	1	87	129	366	486	526	591	617	
	共鳴振動数(Hz)	2121	2116	2110	2091	2082	1997	2063	2055	2058	
No. 3	重量(g)	9743	9686	9599	9575	9494	9459	9459	9445	9422	9423
	正転の読み	3417	3411	3432	3414	3288	3328	3121	2995	1265	1585
	反転の読み	3491	3486	3500	3482	3359	3407	3190	3067	1332	1513
	長さ変化(μ)	0	3	89	131	391	524	575	658	685	755
	共鳴振動数(Hz)	2110	2107	2093	2084	2066	2060	2060	2060	2057	2055
重量変化率平均 (%)		0	-0.64	-1.53	-1.78	-2.66	-2.95	-2.95	-3.07	-3.30	-3.28
長さ変化率平均 (μ)		0	5	88	128	374	504	550	625	651	755
相対動弾性係数 (%)		0	100	99	98	97	91	95	95	95	95

長さ変化試験結果											
試料名 スラッジ混入コンクリート						配合No: 外部 9%					
暴露条件 20℃ 湿度: 60%											
養生条件 水中養生期間 7日間											
スラッジ Uダム産											
水 水道水(つくば市)											
セメント											
使用材料 昆和材											
細骨材											
粗骨材											
混和剤											
コンクリートの配合											
単位量 (kg/m ³)											
W/C (%)	s/a (%)	水	セメント	混和材	細骨材	粗骨材	混和剤				
練り混ぜ条件											
フレッシュコンクリート試験結果											
ミキサ	練り量 (l)	練混時間 (sec.)	室温 (°C)	コンクリート温 (°C)	スランプ (cm)	スラブフロー (cm)	空気量 (%)	性状			
パン型											
長さ変化試験											
暴露期間	開始時	1日	5日	1週	4週	8週	3ヶ月	6ヶ月	1年	2年	
試験日	11月15日	11月16日	11月20日	11月22日	12月13日	1月10日	2月21日	5月13日	11月13日	1月16日	
標準尺	測定前	2335	2339	2338	2336	4295	4451	4500	4079	2361	
の読み	測定後	2327	2331	2329	2332	4294	4448	4493	4070	2360	
No. 1	重量(g)	9879	9773	9636	9614	9554	9537	9532	9531		
	正転の読み	2374	2354	2318	2308	4158	4270	4304	3858		
	反転の読み	2428	2400	2366	2356	4208	4316	4351	3907		
	長さ変化(μ)	0	70	153	179	452	565	596	653		
	共鳴振動数(l)	2035	2018	1991	1952	1925	1921	1922	1924		
No. 2	重量(g)	9885	9795	9640	9612	9541	9520	9515	9515	9510	
	正転の読み	1867	1846	1814	1803	3640	3740	3774	3329	1609	
	反転の読み	1853	1835	1802	1789	3624	3730	3764	3318	1597	
	長さ変化(μ)	0	59	136	167	477	607	639	698	714	
	共鳴振動数(l)	2042	2020	1990	1957	1932	1929	1924	1921	1922	
No. 3	重量(g)	9817	9729	9587	9558	9485	9464	9459	9459	9451	9457
	正転の読み	3795	3780	3747	3734	5581	421.099	421.08	421.058	421.046	421.03
	反転の読み	3795	3776	3745	3732	5579					
	長さ変化(μ)	0	52	128	161	443	592	639	693	723	763
	共鳴振動数(l)	2048	2024	1988	1942	1912	1909	1910	1911	1923	1908
重量変化率平均		0	-0.96	-2.43	-2.69	-3.38	-3.58	-3.63	-3.64	-3.76	-3.67
長さ変化率平均		0	60	139	169	457	588	625	681	719	763
相対動弾性係数		0	98	95	91	89	88	88	88	88	87

長さ変化試験結果											
試料名 スラッジ混入コンクリート											
暴露条件 20℃ 湿度: 60%											
配合No: 外部 9%											
養生条件 水中養生期間 28日間											
スラッジ Uダム産											
水 水道水(つくば市)											
セメント											
使用材料 昆和材											
細骨材											
粗骨材											
混和剤											
コンクリートの配合											
単位量 (kg/m3)											
W/C (%)	s/a (%)	水 セメント 混和材 細骨材 粗骨材 混和剤									
フレッシュコンクリート試験結果											
練り混ぜ条件	練り量	練混時間	室温	コンクリート温	スランブ	スランブ フロー	空気量	性状			
ミキサ	(l)	(sec.)	(℃)	(℃)	(cm)	(cm)	(%)				
パン型											
長さ変化試験											
暴露期	開始時	1日	5日	1週	4週	8週	3ヶ月	6ヶ月	1年	2年	
試験日	12月6日	12月7日	12月11日	12月13日	1月4日	2月1日	3月6日	6月6日	12月4日	1月16日	
標準尺	測定前	4250	4245	4296	4295	4274	4371	4180	4088	2369	2648
の読み	測定後	4244	4242	4293	4292	4272	4369	4177	4086	2362	2640
No. 1	重量(g)	9803	9757	9688	9666	9577	9533	9530	9513		
	正転の読み	421.990	421.988	421.962	421.943	421.839	421.773	421.771	421.738		
	長さ変化(μ)	0	5	69	117	375	539	544	625		
	共鳴振動数(Hz)	2090	2090	2087	2081	2067	2051	2051	2048		
No. 2	重量(g)	9879	9824	9742	9719	9632	9593	9591	9576	9556	
	正転の読み	4434	4429	4447	4429	4304	4340	4128	4005	2265	
	反転の読み	4230	4224	4241	4224	4095	4133	3923	3802	2063	
	長さ変化(μ)	0	5	89	130	395	545	594	670	714	
	共鳴振動数(Hz)	2116	2110	2104	2083	2067	2052	2055	2048	2050	
No. 3	重量(g)	9918	9868	9796	9774	9682	9643	9643	9628	9606	9607
	正転の読み	4139	4135	4160	4141	4010	4049	3837	3719	1982	2240
	反転の読み	4147	4144	4167	4148	4021	4056	3845	3727	1987	2230
	長さ変化(μ)	0	0	67	112	383	532	582	648	691	760
	共鳴振動数(Hz)	2115	2107	2103	2087	2064	2052	2055	2055	2043	2040
重量変化率平均		0	-0.51	-1.26	-1.49	-2.40	-2.81	-2.82	-2.98	-3.21	-3.14
長さ変化率平均		0	3	75	120	384	539	573	648	703	760
相対動弾性係数		0	100	99	98	96	95	95	95	94	93

表-6.2.1 質量変化, 長さ変化, 相対動弾性係数

(a)質量変化率

スラッジ置換率(%)		0%		9%		18%	
試験開始材齢(日)		7	28	7	28	7	28
測定材齢(日)	0	0	0	0	0	0	0
	1	-1.06	-0.83	-1.02	-0.64	-0.96	-0.51
	3	-2.25	-1.65	-2.50	-1.53	-2.43	-1.26
	7	-2.86	-2.19	-2.72	-1.78	-2.69	-1.49
	28	-3.47	-2.93	-3.28	-2.66	-3.38	-2.40
	56	-3.63	-3.20	-3.44	-2.95	-3.58	-2.81
	91	-3.65	-3.22	-3.48	-2.95	-3.63	-2.82
	182	-3.66	-3.28	-3.49	-3.07	-3.64	-2.98
	365	-3.66	-3.43	-3.55	-3.30	-3.76	-3.21
	730	-3.48	-3.40	-3.44	-3.28	-3.67	-3.14

(b)長さ変化率

スラッジ置換率(%)		0%		9%		18%	
試験開始材齢(日)		7	28	7	28	7	28
測定材齢(日)	0	0	0	0	0	0	0
	1	21	25	74	5	60	3
	3	66	78	142	88	139	75
	7	125	130	164	128	169	120
	28	384	392	433	374	457	384
	56	502	512	534	504	588	539
	91	516	552	563	550	625	573
	182	563	605	612	625	681	648
	365	584	639	639	651	719	703
	730	616	698	707	755	763	760

(c)相対動弾性係数

スラッジ置換率(%)		0%		9%		18%	
試験開始材齢(日)		7	28	7	28	7	28
測定材齢(日)	0	0	0	0	0	0	0
	1	98.4	99.4	99.3	99.6	98.0	99.6
	3	96.4	97.7	98.5	98.7	95.0	99.2
	7	94.9	96.5	97.4	97.8	91.3	97.8
	28	92.9	95.6	92.1	96.6	88.7	96.2
	56	92.1	88.6	90.1	91.3	88.4	94.8
	91	91.9	88.6	89.9	95.2	88.3	95.0
	182	92.0	89.6	90.3	95.0	88.3	94.7
	365	93.8	88.4	90.9	94.6	88.4	93.6
	730	94.5	88.0	88.8	94.9	86.8	93.0

スラッジ コンクリート曲げ強度試験結果

試験体 No	材令 (日)	No	スパン (mm)	平均幅 (mm)	平均高さ (mm)	最大荷重 (kN)	曲げ強度 (N/mm ²)	細孔径	載荷方法
外部0%	7	1	300	100.5	100.1	8.50	2.53	○	2点曲げ
	28	1	300	100.6	100.3	12.74	3.78	○	2点曲げ
	気中乾燥 7→180	1	300	99.8	100.5	12.40	3.69	○	2点曲げ
	気中乾燥 28→180	1	300	100.9	100.9	20.10	5.87	○	2点曲げ
	気中乾燥 7→365	1	300	100.7	100.8	13.54	3.97	-	2点曲げ
		2	100	101.2	100.8	40.34	3.92	-	1点曲げ
		3	100	101.1	100.8	39.26	3.82	-	1点曲げ
	気中乾燥 28→365	1	300	99.8	100.1	17.00	5.10	-	2点曲げ
		2	100	100.1	100.2	44.45	4.42	-	1点曲げ
		3	100	100.5	100.5	45.40	4.47	-	1点曲げ
外部4.5%	7	1	300	100.5	100.4	10.42	3.09	○	2点曲げ
	28	1	300	100.7	100.0	15.68	4.67	○	2点曲げ
	気中乾燥 7→180	1	300	100.2	100.6	16.86	4.99	○	2点曲げ
	気中乾燥 28→180	1	300	101.3	100.2	23.24	6.86	○	2点曲げ
	気中乾燥 7→365	1	300	100.6	100.4	19.54	5.78	-	2点曲げ
		2	100	100.7	100.4	45.46	4.48	-	1点曲げ
		3	100	100.7	100.4	43.10	4.25	-	1点曲げ
	気中乾燥 28→365	1	300	100.3	101.3	23.56	6.87	-	2点曲げ
		2	100	100.4	100.2	51.80	5.14	-	1点曲げ
		3	100	100.0	100.5	57.95	5.74	-	1点曲げ
外部9%	7	1	300	100.7	100.3	11.29	3.34	○	2点曲げ
	28	1	300	100.2	100.6	16.85	4.98	○	2点曲げ
	気中乾燥 7→180	1	300	100.6	101.0	18.06	5.28	○	2点曲げ
	気中乾燥 28→180	1	300	100.2	100.8	22.00	6.48	○	2点曲げ
	気中乾燥 7→365	1	300	101.4	100.6	16.86	4.93	-	2点曲げ
		2	100	102.4	100.6	36.90	3.56	-	1点曲げ
		3	100	100.7	100.6	37.88	3.72	-	1点曲げ
	気中乾燥 28→365	1	300	101.0	101.0	20.76	6.04	-	2点曲げ
		2	100	100.9	100.8	45.30	4.42	-	1点曲げ
		3	100	101.1	100.8	49.45	4.81	-	1点曲げ

中性化深さ計測

スラッシュ 置換率	計測面 (横断面)		7日標準養生→6ヶ月恒温恒湿養生(20℃・60%)								28日標準養生→6ヶ月恒温恒湿養生(20℃・60%)								断面 平均	全断面 平均	
			①	②	③	④	⑤	MAX	平均	①	②	③	④	⑤	MAX	平均					
0%	剖面A	打設面	7.0	8.0	8.0	6.5	7.5	8.0	7.4	6.9	打設面	6.5	7.0	7.0	8.0	7.5	8.0	7.2	5.2	打設面	
		側面1	8.5	7.0	6.0	6.0	6.5	8.5	5.0		側面	4.5	4.5	5.0	4.0	5.5	5.5	5.0		側面	
		側面2	8.0	7.5	6.5	6.0	7.0	8.0			底面	6.0	4.0	5.0	5.5	6.0	6.0			底面	
		底面	6.5	5.0	5.0	5.5	6.5	6.5			5.7	全断面	4.0	2.5	2.5	2.0	3.5			4.0	2.9
	剖面B	打設面	9.0	8.5	7.5	9.0	8.0	9.0	8.4	7.5	7.8	6.5	7.0	8.5	7.0	7.0	8.5	7.2	5.9	6.7	
		側面1	8.5	7.0	7.0	6.0	7.0	8.5	7.1		6.8	5.0	6.0	4.5	6.0	6.5	6.5	5.6		5.2	
		側面2	7.5	6.5	7.0	7.0	7.5	7.5			5.4	5.5	5.0	6.0	5.0	6.5	6.5			5.3	3.9
		底面	7.0	7.0	7.0	6.0	7.0	7.0			6.8	6.7	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5				4.5
	剖面C	打設面	8.5	7.5	7.0	7.0	8.0	8.5	7.6	6.2		6.0	4.5	5.0	5.5	7.0	7.0	5.6	5.3		
		側面1	6.0	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.4			6.0	5.0	8.0	5.0	5.0	8.0	5.0			
		側面2	6.0	6.0	7.0	6.0	7.0	7.0				5.0	4.0	3.0	4.5	4.5	5.0				
		底面	6.0	4.0	2.5	2.5	4.0	6.0				3.8	4.0	3.0	5.0	4.0	6.0			6.0	
4.5%	剖面A	打設面	4.0	5.0	4.5	5.0	5.0	5.0	4.7	5.1	打設面	5.0	4.0	4.0	5.0	4.5	5.0	4.5	3.6	打設面	
		側面1	6.5	6.0	6.0	6.0	6.0	6.5	5.9		側面	4.0	2.5	3.0	3.5	3.5	4.0	3.6		側面	
		側面2	6.0	5.0	6.0	6.0	5.5	6.0			底面	4.0	3.5	3.0	4.5	4.0	4.5			3.8	底面
		底面	3.5	3.0	3.5	4.0	3.5	4.0			3.5	3.0	2.5	2.0	3.0	3.0	2.5				全断面
	剖面B	打設面	6.5	5.0	5.0	4.5	5.5	6.5	5.3	5.3	5.1	5.0	4.0	4.5	5.0	4.0	5.0	4.5	4.1		4.5
		側面1	6.0	5.5	5.0	5.5	5.0	6.0	5.6		5.7	4.0	4.0	3.0	3.0	4.5	4.5	3.9		3.7	
		側面2	6.0	5.5	5.5	5.5	6.0	6.0			3.6	4.5	4.5	4.0	4.0	3.5	4.5			3.8	3.3
		底面	4.0	5.5	4.0	4.0	4.5	5.5			4.4	5.0	4.0	3.0	3.5	4.5	4.0				4.5
	剖面C	打設面	6.0	6.0	4.5	4.5	5.0	6.0	5.2	4.9		5.0	4.0	5.0	4.0	4.0	5.0	4.4	4.0		
		側面1	5.0	4.5	5.0	5.0	5.5	5.5	5.6			5.5	4.5	3.5	3.0	3.5	5.5	3.8			
		側面2	6.5	6.5	6.0	6.0	6.0	6.5				3.0	3.5	3.0	4.0	4.0	4.0				
		底面	3.5	3.0	2.0	2.5	3.0	3.5				2.8	4.5	3.0	3.0	3.0	4.0			4.5	
9%	剖面A	打設面	5.0	5.0	5.0	5.0	6.0	6.0	5.2	5.1	打設面	3.5	4.0	4.0	2.0	3.0	4.0	3.3	3.5	打設面	
		側面1	5.0	5.0	6.0	5.0	5.0	6.0	5.2		側面	3.0	4.0	1.5	2.0	2.0	4.0	2.9		側面	
		側面2	6.0	5.0	4.5	5.0	5.0	6.0			底面	3.5	3.0	2.0	3.0	5.0	5.0			2.8	底面
		底面	5.0	5.0	4.0	4.0	3.5	5.0			4.3	全断面	4.5	3.5	4.5	4.0	4.0				4.5
	剖面B	打設面	4.0	6.0	6.0	5.0	5.0	6.0	5.2	4.8	5.0	2.5	3.0	3.0	3.0	1.5	3.0	2.6	2.8		2.8
		側面1	5.0	4.5	5.0	5.5	5.0	5.5	5.1		5.1	3.5	3.0	3.5	2.0	2.5	3.5	2.4		2.6	
		側面2	5.0	4.5	5.5	5.5	5.0	5.5			3.9	1.5	1.5	1.5	2.0	3.0	3.0			2.9	3.8
		底面	3.0	2.0	3.0	4.0	4.5	4.5			3.3	4.8	3.5	3.0	3.5	3.5	3.5				3.5
	剖面C	打設面	4.5	4.5	4.0	5.0	4.5	5.0	4.5	4.7		2.5	2.5	2.5	3.0	2.5	3.0	2.6	2.9		
		側面1	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0			2.5	2.5	2.5	2.0	1.5	2.5	2.4			
		側面2	5.0	4.5	5.0	5.5	5.0	5.5				2.0	2.0	2.0	2.0	4.5	4.5				
		底面	5.0	4.0	4.0	2.5	5.0	5.0				4.1	4.0	4.0	3.5	4.0	3.5			4.0	

中性化深さ計測

スラッシュ 置換率	計測面 (横断面)		7日標準養生→12ヶ月恒温恒湿養生(20℃・60%)										28日標準養生→12ヶ月恒温恒湿養生(20℃・60%)									
			①	②	③	④	⑤	MAX	平均	断面 平均	全断面 平均	①	②	③	④	⑤	MAX	平均	断面 平均	全断面 平均		
0%	剖面A	打設面	11.5	11.5	8.5	10.5	11.5	11.5	10.7	9.8	打設面	8.5	8.0	10.0	8.5	9.0	10.0	8.8	7.2	打設面		
		側面1	12.5	12.0	11.5	9.5	10.0	12.5	側面		8.0	6.5	7.5	7.5	8.0	8.0	7.2	側面				
		側面2	11.5	10.0	7.0	7.0	7.0	11.5	底面		9.0	7.0	6.5	5.5	6.0	9.0	底面					
		底面	6.5	6.5	6.5	9.5	8.5	9.5	7.5		全断面	4.5	3.5	4.0	6.5	6.0	6.5	4.9		全断面		
	剖面B	打設面	10.5	12.0	10.0	10.5	11.0	12.0	10.8	9.8	10.6	10.0	8.0	6.0	8.0	9.5	10.0	8.3	7.9	8.3		
		側面1	8.5	10.0	14.0	10.0	9.0	14.0	9.3		7.5	8.0	10.0	10.0	9.0	10.0	7.8	7.3				
		側面2	10.0	9.5	7.5	7.5	9.5	10.0	7.6		7.5	5.5	6.5	7.0	7.0	7.5	5.8					
		底面	9.5	7.0	7.0	7.0	9.5	9.5	8.0		9.2	8.0	6.5	7.0	7.0	5.5	8.0	6.8		7.2		
	剖面C	打設面	11.5	9.5	10.5	9.5	10.0	11.5	10.2	8.9		9.0	8.5	7.0	6.5	8.0	9.0	7.8	7.0			
		側面1	10.0	10.0	8.5	9.5	10.0	10.0			6.0	6.0	8.5	7.0	8.0	8.5	7.0					
		側面2	9.0	7.5	7.0	7.0	8.0	9.0			7.0	6.5	7.0	7.0	7.0	7.0						
		底面	6.0	6.5	7.5	7.5	8.5	8.5	7.2			5.0	4.5	5.0	6.0	7.5	7.5	5.6				
4.5%	剖面A	打設面	9.0	9.5	8.5	8.0	8.5	9.5	8.7	7.7	打設面	6.0	6.5	7.5	6.0	6.0	7.5	6.4	6.2	打設面		
		側面1	7.5	7.5	7.5	9.5	8.5	9.5	側面		6.0	8.5	6.5	6.0	5.0	8.5	6.0	側面				
		側面2	8.5	7.0	8.0	7.0	7.5	8.5	底面		6.0	5.5	5.0	5.0	6.0	6.0	6.0	底面				
		底面	5.0	5.0	5.0	7.0	6.0	7.0	5.6		全断面	6.0	5.5	5.0	5.0	6.5	6.5	5.6		全断面		
	剖面B	打設面	7.5	7.0	7.0	7.5	7.5	7.5	7.3	7.5	7.9	6.5	7.0	7.0	6.0	6.0	7.0	6.5	5.9	6.4		
		側面1	7.0	7.5	9.0	8.5	9.5	9.5	7.9		6.5	6.5	7.0	6.0	5.5	7.0	5.8	5.9				
		側面2	6.5	7.5	7.5	8.0	7.0	8.0	6.1		5.5	5.0	7.0	4.5	4.5	7.0	5.8					
		底面	8.0	6.0	6.0	6.0	6.0	8.0	6.4		7.5	5.0	4.0	4.0	6.0	5.0	6.0	4.8		5.8		
	剖面C	打設面	7.5	7.0	8.0	8.0	7.5	8.0	7.6	7.7		6.0	6.0	7.5	6.5	5.0	7.5	6.2	6.0			
		側面1	8.5	8.0	10.0	8.0	7.0	10.0			6.5	5.0	6.5	5.0	5.5	6.5	5.9					
		側面2	8.5	8.0	8.5	7.0	7.5	8.5			7.0	6.0	6.0	5.5	6.0	7.0						
		底面	7.5	5.0	6.5	6.0	7.0	7.5	6.4			5.0	5.0	5.5	5.5	5.5	5.5	5.3				
9%	剖面A	打設面	7.5	7.5	5.5	7.0	7.0	7.5	6.9	7.1	打設面	5.5	5.5	6.0	6.0	5.0	6.0	5.6	5.1	打設面		
		側面1	9.0	9.0	7.0	8.0	7.5	9.0	側面		5.5	5.0	3.5	3.5	6.0	6.0	4.6	側面				
		側面2	5.5	6.5	5.5	6.0	7.0	7.0	底面		5.5	4.0	4.0	4.0	4.5	5.5	底面					
		底面	7.0	6.5	5.5	6.5	7.5	7.5	6.6		全断面	5.0	5.0	5.5	5.5	5.0	5.5	5.2		全断面		
	剖面B	打設面	7.5	7.0	7.0	7.0	7.5	7.5	7.2	7.4	7.4	4.0	5.0	5.5	6.0	7.0	7.0	5.5	5.5	5.2		
		側面1	7.0	8.0	8.0	6.5	7.0	8.0	7.0		6.5	5.0	4.5	7.0	5.5	7.0	5.2	4.8				
		側面2	6.5	7.5	6.5	6.5	7.0	7.5	6.8		5.0	4.5	4.5	5.0	4.5	5.0	5.1	5.4				
		底面	7.0	8.0	7.5	8.5	8.0	8.5	7.8		7.1	6.0	5.0	5.5	5.0	5.5	6.0	5.4		5.1		
	剖面C	打設面	9.0	8.0	8.0	7.5	7.5	9.0	8.0	7.2		3.5	4.0	6.0	5.0	3.5	6.0	4.4	5.0			
		側面1	7.0	7.0	6.5	7.0	8.0	8.0			5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	5.0	4.7					
		側面2	6.5	6.5	6.0	7.0	8.0	8.0			5.0	6.0	5.0	4.5	5.0	6.0						
		底面	7.0	5.0	5.0	6.5	7.0	7.0	6.1			5.0	4.5	5.5	6.0	7.0	7.0	5.6				

中性化深さ計測

スラッシュ 置換率	計測面 (横断面)		7日標準養生→24ヶ月恒温恒湿養生(20℃・60%)								28日標準養生→14ヶ月恒温恒湿養生(20℃・60%)										
			①	②	③	④	⑤	MAX	平均	断面 平均	全断面 平均	①	②	③	④	⑤	MAX	平均	断面 平均	全断面 平均	
0%	剖面A	打設面	13.3	7.9	13.6	15.5	15.9	15.9	13.2	13.1	打設面	10.0	9.7	9.7	9.6	10.0	10.0	9.8	10.9	打設面	
		側面1	15.2	15.4	14.8	12.2	13.2	15.4	13.6		側面	14.5	13.0	11.5	10.5	10.0	14.5	11.9		側面	
		側面2	14.6	14.6	13.4	11.0	11.5	14.6			底面	13.7	12.1	11.7	10.5	11.8	13.7			底面	
		底面	11.0	12.2	9.8	10.5	11.9	12.2			11.1	全断面	11.6	7.4	7.5	7.2	8.9			11.6	8.5
	剖面B	打設面	14.6	15.0	11.9	12.9	16.4	16.4	14.2	12.5	13.5	11.5	9.5	8.8	11.4	11.0	11.5	10.5	11.1	10.3	
		側面1	12.0	13.0	11.9	12.1	11.6	13.0	12.4		13.3	11.7	12.0	11.2	12.3	11.4	12.3	11.4		11.3	
		側面2	14.4	12.2	12.6	12.2	11.7	14.4			10.3	13.3	12.4	9.8	11.1	9.0	13.3			9.3	
		底面	12.2	8.3	8.3	10.1	11.4	12.2			12.6	10.4	10.7	11.0	10.4	9.5	11.0			10.4	10.5
	剖面C	打設面	13.8	12.3	12.8	12.2	14.1	14.1	13.0	12.8		13.1	9.5	9.0	9.8	11.5	13.1	10.6	10.3		
		側面1	13.2	14.4	13.9	12.4	12.3	14.4	13.8			10.3	9.9	10.2	10.2	9.7	10.3	10.4			
		側面2	15.5	15.9	14.3	13.9	12.3	15.3				10.6	10.5	10.6	12.5	10.0	12.5				
		底面	11.1	7.1	7.7	10.6	12.0	12.0				9.7	8.4	8.9	8.6	9.6	9.6				9.6
4.5%	剖面A	打設面	9.7	10.6	9.9	11.1	10.9	11.1	10.5	10.9	打設面	7.8	9.5	6.7	7.6	7.3	9.5	7.8	8.1	打設面	
		側面1	13.2	10.7	10.7	12.2	12.7	13.2	11.5		側面	7.8	9.6	8.4	8.0	8.6	9.6	8.3		側面	
		側面2	12.7	11.8	11.7	10.3	9.4	12.7			底面	6.6	7.3	9.2	8.7	8.7	9.2			底面	
		底面	9.5	10.7	7.6	9.1	10.6	10.7			9.5	全断面	8.1	7.4	5.8	7.3	7.9			8.1	7.3
	剖面B	打設面	11.1	10.6	12.0	10.2	11.5	12.0	11.1	10.8	10.4	8.8	7.6	7.8	7.5	8.2	8.8	8.0	8.1	8.3	
		側面1	12.8	10.9	12.4	10.4	12.1	12.8	10.5		10.6	7.9	9.2	9.1	7.9	8.3	9.2	8.3		8.3	
		側面2	7.6	9.7	9.3	10.6	9.5	10.6			9.5	7.2	8.0	7.7	9.3	8.1	9.3			7.0	
		底面	11.9	12.3	11.0	8.0	8.6	12.3			10.3	10.3	7.9	8.0	7.3	6.7	6.9			8.0	7.3
	剖面C	打設面	10.2	9.9	9.0	9.2	9.4	10.2	9.5	9.5		9.6	8.9	9.2	9.3	8.7	9.6	9.1	8.2		
		側面1	10.4	9.6	9.2	10.3	9.9	10.4	9.6			9.1	8.9	8.4	7.8	7.8	9.1				8.3
		側面2	9.3	8.4	8.2	10.1	10.7	10.7				8.2	7.5	10.0	8.1	7.3	10.0				
		底面	9.4	8.9	7.7	8.4	9.5	9.8				8.8	7.5	6.3	6.3	6.0	6.4				
9%	剖面A	打設面	8.9	8.5	8.4	8.8	9.3	9.3	8.8	10.3	打設面	9.3	9.3	5.5	8.3	6.5	9.3	7.8	7.8	打設面	
		側面1	10.1	10.8	10.5	10.8	11.3	11.3	10.8		側面	7.5	7.7	6.3	7.0	5.9	7.7	7.7		側面	
		側面2	11.8	11.2	9.9	10.3	11.2	11.8			底面	8.6	9.1	7.3	8.6	9.3	9.3			底面	
		底面	11.6	12.0	8.3	8.3	9.8	12.0			10.0	全断面	7.2	6.9	7.8	7.8	7.3			7.8	7.4
	剖面B	打設面	9.1	9.3	7.6	7.4	10.1	10.1	8.7	9.7	8.9	7.3	7.3	7.8	7.2	7.4	7.8	7.4	8.3	7.2	
		側面1	10.4	9.7	10.5	10.2	9.9	10.5	9.9		10.2	11.0	9.4	8.6	8.4	9.0	11.0	8.8		8.2	
		側面2	10.2	9.2	10.0	9.7	9.1	10.2			9.4	9.7	7.3	8.7	7.8	8.0	9.7			7.6	
		底面	10.3	10.0	9.7	9.0	9.6	10.3			9.7	8.7	5.9	7.0	8.0	8.7	8.7			7.7	7.8
	剖面C	打設面	9.6	8.9	8.8	9.1	9.1	9.6	9.1	9.5		7.1	6.0	6.1	6.7	5.9	7.1	6.4	7.8		
		側面1	8.9	9.3	11.0	11.4	11.4	11.4	10.1			9.3	8.9	8.5	9.5	7.3	9.5				8.2
		側面2	9.5	9.5	9.0	10.2	10.4	10.4				6.7	9.7	7.1	6.9	8.1	9.7				
		底面	7.5	8.1	8.7	8.8	8.7	8.8				8.6	7.4	8.1	5.6	8.8	8.8				

中性化深さ（全断面）

開始材齢(日)		7			28		
スラッジ置換率(%)		0	4.5	9.0	0	4.5	9.0
材齢(月)	6	6.7	5.0	4.8	5.3	3.8	2.9
	12	9.2	7.5	7.1	7.2	5.8	5.1
	24	12.6	10.3	9.7	10.5	8.0	7.8

中性化深さ（各断面）

測定 材齢	測定開始 材齢(日)	7			28		
	スラッジ 置換率(%)	0	4.5	9	0	4.5	9
6月	打設面	7.8	5.1	5.0	6.7	4.5	2.8
	側 面	6.8	5.7	5.1	5.2	3.7	2.6
	底 面	5.4	3.6	3.9	3.9	3.3	3.8
1年	打設面	10.6	7.9	7.4	8.3	6.4	5.2
	側 面	9.3	7.9	7.0	7.3	5.9	4.8
	底 面	7.6	6.1	6.8	5.8	5.2	5.4
2年	打設面	13.5	10.4	8.9	10.3	8.3	7.2
	側 面	13.3	10.6	10.2	11.3	8.3	8.2
	底 面	10.3	9.5	9.4	9.3	7.0	7.6