

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No. 330

June 2006

CSGに関する試験的検討

水資源研究室

Experimental Investigation for CSG

Water Management and Dam Division

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan

CSGに関する試験的検討

安田 成夫^{*)}
服部 敦^{**)}
佐藤 耕治^{***)}
古本 浩一^{****)}

Experimental Investigation for CSG

Nario Yasuda
Atsushi Hattori
Koji Sato
Koichi Furumoto

概要

本資料は、平成 10～17 年度に実施した CSG に関する試験（骨材粒度特性、ペースト量、減水混合の効果、打継目処理及び破壊エネルギー）について整理・検討し、とりまとめたものである。

キーワード：台形 CSG ダム、微粒分、減水混合、富配合 CSG、打継目処理、破壊エネルギー試験

Synopsis

This report arranges the results of experiments carried out concerning CGS from 1998 to 2005. The effects aggregate grading characteristics, amount of cement paste, water-reducing mixture and treatment of construction joint were investigated. The fracture energy test was also conducted.

Key Words : Trapezoid-shaped CSG dam, fine grain, water-reducing mixture, rich-mix CSG, treatment of construction joint, fracture energy test

河川研究部 水資源研究室

Water Management and Dam Division, River Department

^{*)} 室長 Head
^{**)} 主任研究官 Senior Researcher
^{***)} 研究官 Researcher
^{****)} 前) 交流研究員 Guest Research Engineer

まえがき

C S G (Cemented Sand and Gravel) は、ダムサイトの近傍で容易に入手できる河床砂礫や掘削ズリなどの現地発生材にセメントと水を混合して製造される材料である。C S Gを母材とする台形C S Gダムは、通常のコングリートダムの施工に比べて骨材製造プラントなどの仮設備を大幅に縮小し、またダムサイト近傍の材料を使用することが可能なため、コスト縮減と環境に配慮した新形式のダムとして、近年全国各地でその検討が進められている。これまでに上流仮締切堤や転流水路基礎などの仮設備として数例施工されてきたが、ダム本体への適用に向けた検討が進んでいる。平成14年6月には、内閣府沖縄総合事務局所管億首ダムが河川管理施設等構造令第73条第4号の規定による特殊な構造の河川管理施設等に該当するダムとして国土交通大臣により適用の承認を受けたのを皮切りに、これまでに、九州地方整備局所管本明川ダム、北海道開発局所管サンルダム、北海道所管当別ダムが同様に適用の承認を受けており、今後さらに増えることが予想される。また、平成15年11月には、それまでの知見を集約した「台形C S Gダム技術資料」(編集：台形C S Gダム技術資料作成委員会、委員長：廣瀬利雄)が発刊され、台形C S Gダムに関する統一的な定義、見解が示された。

その一方で、C S Gはその特性によりC S G材粒度のばらつきをある程度許容し、厳密な水分管理も行わないことから、施工中にあっても日々の変化で粒度分布や単位水量に少なからず変動が現れる。また、施工時に問題となる混合のしやすさについても各現場における母材の由来によっては、C S G材が大きく異なるものとなる。

そこで、C S G材の変動要因が材料・設計・施工に与える影響について明らかにすることを目的として、これまで様々な視点からC S Gに関する試験を実施した。

本資料は、国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部水資源研究室(旧国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部ダム研究室および旧建設省土木研究所ダム部ダム構造研究室)が、平成10~17年度に実施したC S G試験に関連する各業務について、C S Gの骨材粒度特性、ペースト量、減水混合の効果、水平打継処理および破壊エネルギーに関して整理・検討し、とりまとめたものである。この資料が台形C S Gダム建設に向けた検討の一助となることを祈念する。

目 次

1 . 概要	1
2 . 骨材粒度特性に関する検討	13
2 . 1 骨材粒度の変化による V C 値への影響	13
2 . 1 . 1 分級骨材の単位量変化試験 (その 1)	13
2 . 1 . 2 分級骨材の単位量変化試験 (その 2)	26
2 . 2 細骨材粒度の変化によるフレッシュ性状および強度への影響	37
2 . 3 骨材粒度特性の影響	62
3 . ペースト量に関する検討 (単位ペースト量による圧縮強度・引張強度への影響)	65
4 . 減水混合の効果に関する検討	87
4 . 1 製品骨材による C S G のフレッシュ性状および強度等への影響	87
4 . 2 現地発生材による C S G のフレッシュ性状および 強度等への影響 (その 1)	100
4 . 3 現地発生材による C S G のフレッシュ性状および 強度等への影響 (その 2)	113
5 . C S G の温度および放置時間による影響に関する検討	129
6 . 富配合 C S G に関する検討	139
6 . 1 富配合 C S G の適用性に関する検討	139
6 . 2 富配合 C S G の減水混合および耐久性	149
7 . C S G における水平打継目処理	159
8 . C S G の破壊エネルギーに関する検討	169

1. 概要

本資料と関連のある試験は、平成 10 年度から平成 17 年度まで実施されている。その間、担当者と試験内容が多岐にわたっているため、その状況について次項の表にまとめて示す。

検討項目とその検討期間および担当者とその担当期間は次表に示すとおりである。

平成 10～13 年度は、骨材粒度の変動、ペースト量の変動が C S G のフレッシュ性状、締固め密度、強度等に及ぼす影響についての試験検討を実施した。平成 14～16 年度は、微粒分が多い C S G 材については、混合機による混合が困難となることが見られることに対し、減水混合（混合時の水量を減じて、打設までの間に残りの水量を加える混合方法）が有効であることに着目し、その減水混合方法が C S G の施工性や品質に与える影響についての試験検討を実施した。また、C S G の堤体表面への適用に向けた富配合 C S G（通常の C S G よりも単位セメント量を増加させた C S G）について、その可能性を検討した。さらに、C S G の施工時における水平打継目処理に関する検討も実施している。平成 16～17 年度は、設計時において必要となる C S G の破壊エネルギーに関する検討を実施している。

本資料の著者として挙げた担当者は、これまでの試験および本資料作成に責務を負うものである。しかしながら、表に示した担当者全ての貢献があつて本資料をとりまとめるに至ったことをここに記して留めておく。また、内閣府沖縄総合事務局北部ダム事務所ならびに中部地方整備局三峰川総合開発工事事務所には、試験試料の提供にあたって多大なる便宜を図っていただいた。ここに記し、謝意を表す。

検討項目	H10 年度	H11 年度	H12 年度	H13 年度	H14 年度	H15 年度	H16 年度	H17 年度	
2章) 骨材粒度特性	←			→					
3章) ペースト量	←			→					
4章) 減水混合					←	→			
5章) 温度放置時間					←	→			
6章) 富配合					←	→			
7章) 打継目処理							←	→	
8章) 破壊エネルギー							←	→	
担当者									
永山 功	←	→							
吉田 等		←	→						
川崎 秀明					←	→			
安田 成夫							←	→	
渡辺 和夫	←	→							
佐々木 隆		←	→						
平山 大輔			←	→					
金銅 将史				←	→				
服部 敦							←	→	
大滝 嘉孝	←	→							
町田 宗久		←	→						
安田 裕一			←	→					
金縄 健一			←	→					
佐藤 耕治							←	→	
岡谷 豊		←	→						
黒羽 陽一郎			←	→					
扇谷 昇				←	→				
萩原 潤					←	→			
西山 浩史						←	→		
三澤 輝芳							←	→	
田中 源吾				←	→				
小島 伸介						←	→		
田中 正和							←	→	
古本 浩一								←	→

(1) 用語の定義

本報告書で用いる用語は、次のように定義する。ほとんどの場合、「台形CSGダム技術資料（台形CSGダム技術資料作成委員会、平成15年11月）」（以下、「技術資料」という）に準拠しているが、本報告書で独自に定義しているものもある（ 、 、 、 ）。

台形CSGダム

台形状のダムにCSG工法を適用し、「材料の合理化」「設計の合理化」「施工の合理化」の3つの合理化を同時に達成する新しい形式のダムをいう。

母材

CSGに用いる岩石質の原材料をいう。ダムコンクリートの原石に相当する。

CSG材

原材料である母材について必要に応じてオーバーサイズカット等によってCSG材の最大粒径以下に調整した材料をいう。ダムコンクリートの骨材に相当する。

骨材、分級骨材、粗骨材、細骨材

CSG材を構成する石質粒子について、コンクリートの場合と同様に「骨材」という。試験に供するために粒径ごとにふるい分けた骨材は「分級骨材」という。5mmのふるいにとどまる骨材を粗骨材、5mmのふるいを通過する骨材を細骨材という。

CSG（Cemented Sand and Gravel）

CSG材にセメント、水を添加し混合したものをいう。まだ固まらない状態と硬化後の双方をいう。

フレッシュCSG、硬化CSG

まだ固まらない状態のCSGをフレッシュCSG、硬化後のCSGを硬化CSGという。

富配合CSG

通常のCSG（ $C = 80\text{kg/m}^3$ 程度）よりセメント量を多くした（ $C = 140 \sim 200\text{kg/m}^3$ ）有スランプのCSGをいう。次頁に示すような堤敷の位置に使用する「富配合CSG」のみならず、「保護コンクリート」「保護・遮水コンクリート」への適用を検討するものであり、文字通り単位セメント量が大きいCSGである。

減水混合

CSGの混合方法として、ミキサ等による混合時の水量を減じて、打設までの間に残りの水量を加える混合方法をいう。

圧縮強度

硬化CSGの一軸圧縮試験における破壊強度（ピーク強度）をいう。CSGの弾性領域強度を示す「CSG強度」は、本報告書においてはCSGの強度特性値として使用していない。

ここに示されていない用語については、「技術資料」、土木学会コンクリート標準示方書施工編（以下、示方書施工編という）、同ダムコンクリート編（以下、示方書ダム編という）、同構造性能照査編（以下、示方書構造性能照査編という）に示されている意味で使用するものとする。

< 参考 >

「技術資料」に示される各用語の関係を、参考として以下に示す。

1) 材料に関する用語

CSGは図 1.1 に示す工程で製造される。

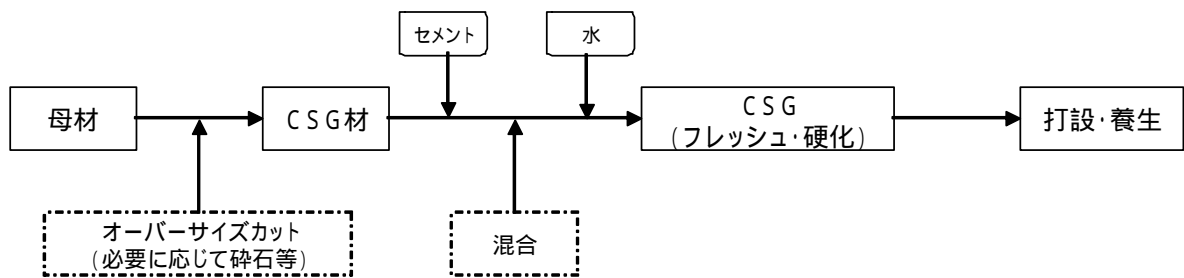


図 1.1 CSGの製造工程

2) 堤体構造に関する用語

台形CSGダムの基本構造は図 1.2 に示すとおりである。

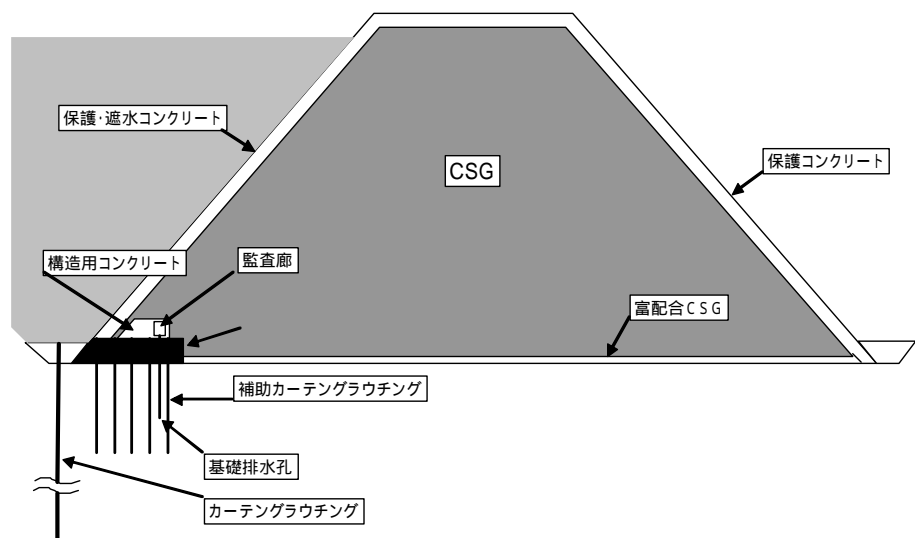


図 1.2 台形CSGダム断面図

(2) CSGの試験要領

本報告書において実施したCSG材およびCSGの試験要領を、表1.1に示す。

表1.1 CSG材およびCSGの試験要領

試験の対象	試験項目	試験規格	備考
CSG材	ふるい分け	JIS A 1102	
	密度・吸水率	JIS A 1109 JIS A 1110	微粒分を多く含み、表乾状態を判別できない場合には、JIS A 1134(軽量細骨材の密度・吸水率試験方法)により試験を行った。
	微粒分量	JIS A 1103	ただし主に0.15mmふるいによって実施。
	表面水率	JIS A 1125	
フレッシュCSG	標準VC値 大型VC値	JSCE-F507-1999	表1.2、写真1.1、写真1.2を参照。
	標準供試体作製	標準供試体作製装置	表1.3、写真1.3を参照。 この供試体により密度測定、硬化後の外観評価、強度試験を実施する。
	大型供試体作製	大型供試体作製装置	表1.4、写真1.4を参照。 この供試体よりコアを採取し、密度測定、外観評価、強度試験を実施する。
硬化CSG	圧縮強度	JIS A 1107 JIS A 1108	
	引張強度	JIS A 1113	
	透水係数	インプット法	図1.3、写真1.5を参照。
	凍結融解抵抗性	JIS A 1148	動弾性係数を求める。

表1.2 VC試験機仕様と試料の詰め方

項目	標準VC試験機	大型VC試験機
モールド寸法	内径24cm×内高22cm	内径48cm×内高40cm
載荷質量	20kg	20kg
振動台振動数	3000cpm	3000cpm
振動台全振幅	1mm	1mm
骨材最大粒径	40mm(許容最大径)	150mm(許容最大径)
試料の詰め方	25回突き/層×2層	25回突き/層×3層 [*]

^{*})JSCE-F507-1999では25回突き/層×2層となっているが、当研究室ではそれ以前から25回突き/層×3層によって試験を実施しており、試験方法の一貫性を確保することとした。



写真 1.1 標準 V C 試験



写真 1.2 大型 V C 試験

表 1.3 標準供試体作製装置の仕様

項 目	仕 様
供試体形状	直径 150mm × 高さ 300mm
起 振 力	140kgf
振 動 数	3000cpm
振 幅	0.5mm (片側)
タンパの載荷力	60kg
締固め板径	140mm
試料の詰め方	3 層
締固め時間	各層 40 秒



写真 1.3 標準供試体作製状況

【標準供試体作製装置の解説】

従来、R C D用コンクリートの圧縮強度の確認には、標準供試体（40mm ウェットスクリーニング試料）を用いた圧縮強度試験が行われていたが、標準供試体の作製方法については、その締固めエネルギーの管理方法に統一された基準がなく、その意味で必ずしも適切な管理試験になっていなかった。

そこで、旧建設省土木研究所ダム部ダム構造研究室の永山、渡辺ら¹⁾によってR C D用コンクリートの締固めエネルギーを正確に制御できる標準供試体作製装置が開発された。

標準供試体作製装置は、40mm ウェットスクリーニング試料について振動タンパを一定の力で押し付けながらフレッシュC S Gを締め固めるもので、締固めエネルギーの制御、管理（タンパの載荷力と締固め時間の管理）が可能な装置である。

表 1.4 大型供試体作製装置の仕様

項目	仕様
供試体形状	直径 500mm × 高さ 450mm
起振力	3,109kgf (2 軸偏心形式)
振動数	1,900 回 / 分
振幅	1.2mm (片側)
起振部質量	648kg
締固め板径	480mm
締固め時間	1 層締固め、60 秒



写真 1.4 大型供試体作製状況

【大型供試体作製装置の解説】

大型供試体作製装置は、現場施工で用いる振動ローラの締固め機構を模擬した装置である。これによりフルサイズのフレッシュCSGの振動締固めを行って、作製された大型供試体（直径 50 cm、高さ 40 cm）の密度を測定する。また、所定の材齢まで養生を行った大型供試体からコアを採取して、コアの外観観察、密度測定、強度試験を実施する。標準供試体が 40mm ウェットスリーニング試料によって試験を行うのに対して、この方法ではフルサイズ試料によってCSGの性状を評価することができる。

大型供試体作製装置は、大型モールドと起振機から構成され、モールドに詰めたフレッシュCSGの上に起振機を載せ、その振動によってフレッシュCSGを締め固めるものである。供試体は一層で締め固め、その締固め総時間は 60 秒としている。

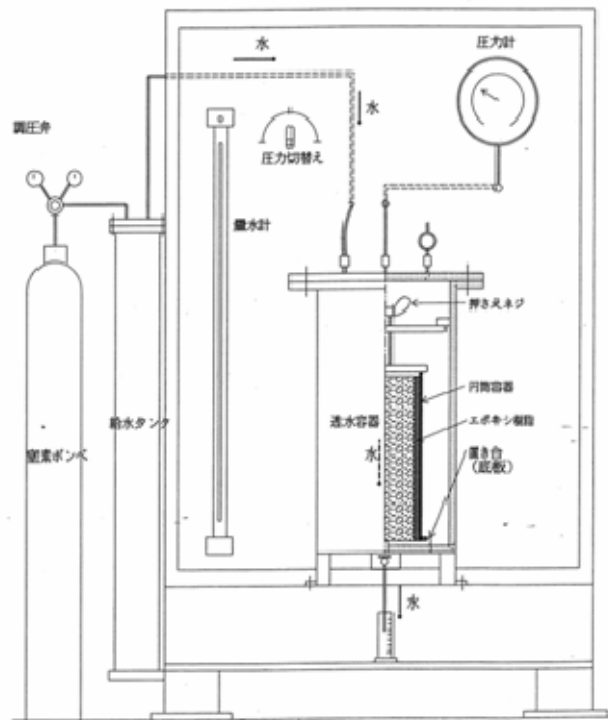


図 1.3 透水試験の装置



写真 1.5 透水試験の装置

【透水試験方法の解説】

透水試験においては、インプット法、アウトプット法があり、インプット法では拡散係数、アウトプット法では透水係数として算出されるが、拡散係数と透水係数の間には以下に示す関係がみとめられており、相互に変換できるために、本試験ではインプット法で実施する。

< 拡散係数と透水係数の関係式 >

$$k = \beta^2 \cdot \rho / K \quad \dots \dots \dots \text{式 1.1}$$

ここに、 k : 透水係数 (cm/s)
 β^2 : 拡散係数 (cm²/s)
 ρ : 水の単位容積質量 (kg/cm³)
 K : 供試体の平均体積弾性率 (kg/cm²)

K は、供試体が不透水の固体部分と透水部分で構成されるものと考え、その両者についての平均弾性率を求めたものであり、式 1.2 によって求められる。

$$\frac{1}{K} = \frac{V_s}{K_s} + \frac{V_w}{K_w} \quad \dots \dots \dots \text{式 1.2}$$

ここに、 K : 平均体積弾性率 (kg/cm²)
 K_s : 供試体中の固体部分の体積弾性率 (kg/cm²)
 K_w : 水の体積弾性率 (kg/cm²) = 2.5×10^4
 V_s : 固体部分の体積比
 V_w : 透水部分の体積比

固体部分の体積弾性率とポアソン比とヤング率の間には、式 1.3 に示す関係がある。

$$\frac{1}{K_s} = \frac{E}{3(1-2\nu)} \quad \dots \dots \dots \text{式 1.3}$$

ここに、 E : 供試体のヤング係数
 ν : 供試体のポアソン比

試験は、供試体の一面に一定の圧力を作用させ、一定時間内に供試体に浸透した水の深さにより、拡散係数 β^2 を算出するものである。試験の手順を以下に示す。

- a) 供試体の高さを 20cm にカットし、試験面を研磨後、温度 20 、湿度 60% の恒温恒湿室に 5 日間保管し、乾燥状態にする。
- b) 供試体の底部周辺をエポキシ樹脂で置き台に固定し、さらに円筒容器(供試体直径より 5mm 程度大きい内径の塩化ビニール管) を被せ、供試体と容器内壁の間隙をエポキシ樹脂でシールする。
- c) 供試体を固定した円筒容器を透水試験容器に固定し、試験容器に水を満たした後、10 kgf/cm² で 48 時間加圧する。
- d) 供試体を割裂し、浸透した水の深さを測定する。

ここで、拡散係数 β^2 は、式 1.4 によって算出される。

$$\beta^2 = \alpha \cdot D_m^2 / (4 \cdot t \cdot \xi^2) \quad \dots \dots \dots \quad \text{式 1.4}$$

- ここに、 β^2 : 拡散係数 (cm²/s)
- D_m : 水の浸透深さ (cm)
- t : 水圧を加えた時間 (s)
- α : 水圧を加えた時間に関する係数
- ξ : 水圧の大きさに関する係数

式 1.2~式 1.4 を、式 1.1 に代入することにより、供試体の透水係数 k が求められる。

次節以降で記載する図表等のタイトルには、表 1.5 に示す記号を附し、参照した報告書を明示した。

表 1.5 報告書参照記号

記号	報 告 書
()	骨材粒度が R C D 用コンクリートの配合特性に及ぼす影響試験業務 報告書 平成 11 年 2 月
()	骨材粒度特性に関する調査試験業務 報告書 平成 12 年 2 月
()	細骨材粒度特性に関する調査試験業務 報告書 平成 13 年 2 月
()	C S G 強度試験業務 報告書 平成 14 年 3 月
()	C S G 材料試験業務 報告書 平成 15 年 3 月
()	C S G 配合試験業務 報告書 平成 15 年 3 月
()	C S G 強度試験業務 報告書 平成 16 年 3 月
()	C S G 強度試験業務 報告書 平成 17 年 2 月
()	C S G 破壊エネルギー試験業務 報告書 平成 17 年 2 月
()	C S G 破壊エネルギー試験業務 報告書 平成 18 年 1 月

1) 永山功、渡辺和夫：R C D 用コンクリートの標準供試体作製装置の開発とその適用性について、大ダム No.145、1993.9

2. 骨材粒度特性に関する検討

2.1 骨材粒度の変化によるVC値への影響

2.1.1 分級骨材の単位量変化試験(その1)

(1) 検討目的と検討方法

現地発生材を必要に応じてオーバーサイズカットや破碎すること等によりCSG材として使用することを前提とするCSG工法においては、採取場所の違い等に基づく骨材粒度の変化が予想される。したがって、骨材粒度が変化するとCSGの施工性がどのように影響を受けるかについて把握しておく必要がある。また実施工においては、そのような骨材粒度の変化に合わせて、所要の施工性を確保するためにCSGの単位ペースト量を調整することも考えられるが、どのように単位ペースト量を変化させればよいかということも把握する必要がある。

本検討では、CSGのフレッシュ性状の指標としてVC値を用いることとし、骨材粒度の変化がCSGのVC値に与える影響、および所要のVC値を得るために必要な単位ペースト量に与える影響について試験を実施した。試験における粗骨材の粒度変化の範囲は、示方書ダム編に規定される標準粒度範囲の概ね上限値、下限値までとなるように設定した。

(2) 使用材料

この試験で用いた骨材は現地発生材ではなく、コンクリート用砕石・砕砂であり、試験に用いたCSGは、それらの骨材によって模擬的に製造したものである。

試験に用いた材料とその物性を表2.1.1に示す。また、細骨材の粒径別分布曲線を図2.1.1、粗骨材の粒径別分布曲線を図2.1.2に示す。粗骨材の基本粒度は、示方書ダム編の標準粒度範囲内のほぼ中間になるように設定した。

表2.1.1 使用材料および物性()

使用材料	種類および物性
セメント	中庸熟ポルトランドセメント (密度 = 3.21g/cm ³ 比表面積 = 3,400cm ² /g)
混和剤	A E 減水剤 遅延形 (種)
細骨材 (5~0mm)	岩種：花崗岩 (密度 = 2.60, 吸水率 = 1.42%, 粗粒率 = 2.54)
粗骨材 (mm)	岩種：花崗岩
80-40	(密度 = 2.64, 吸水率 = 0.44%)
40-20	(密度 = 2.64, 吸水率 = 0.88%)
20-10	(密度 = 2.62, 吸水率 = 1.16%)
10-5	(密度 = 2.62, 吸水率 = 1.37%)

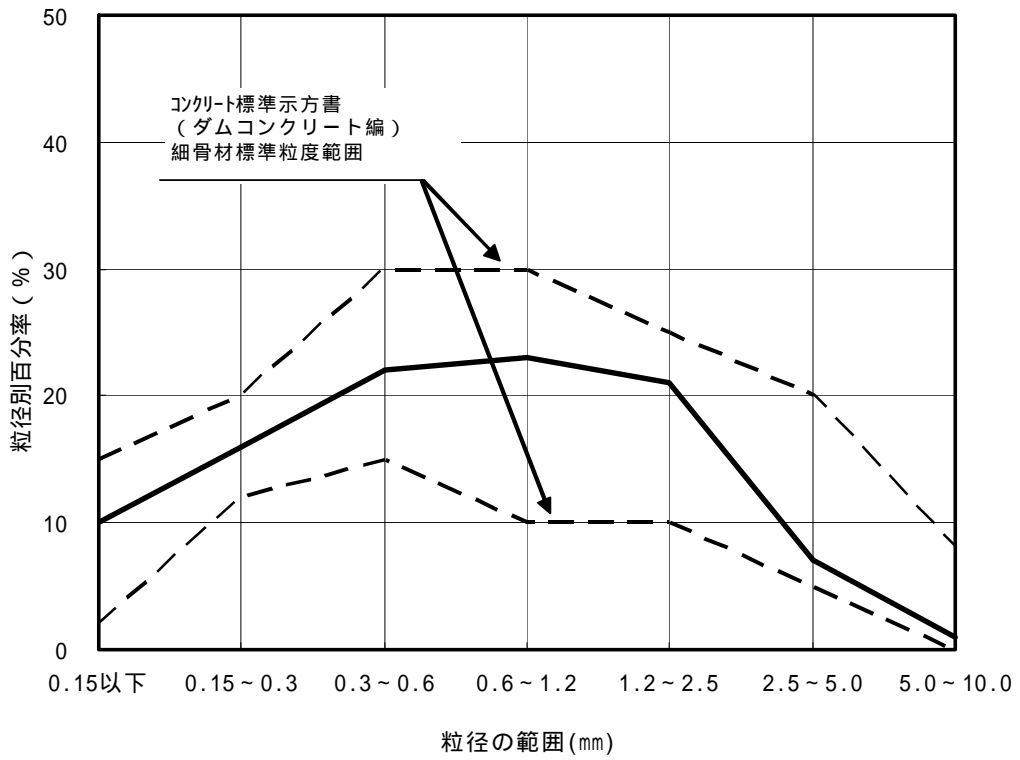


図 2.1.1 細骨材の粒径別分布曲線 ()

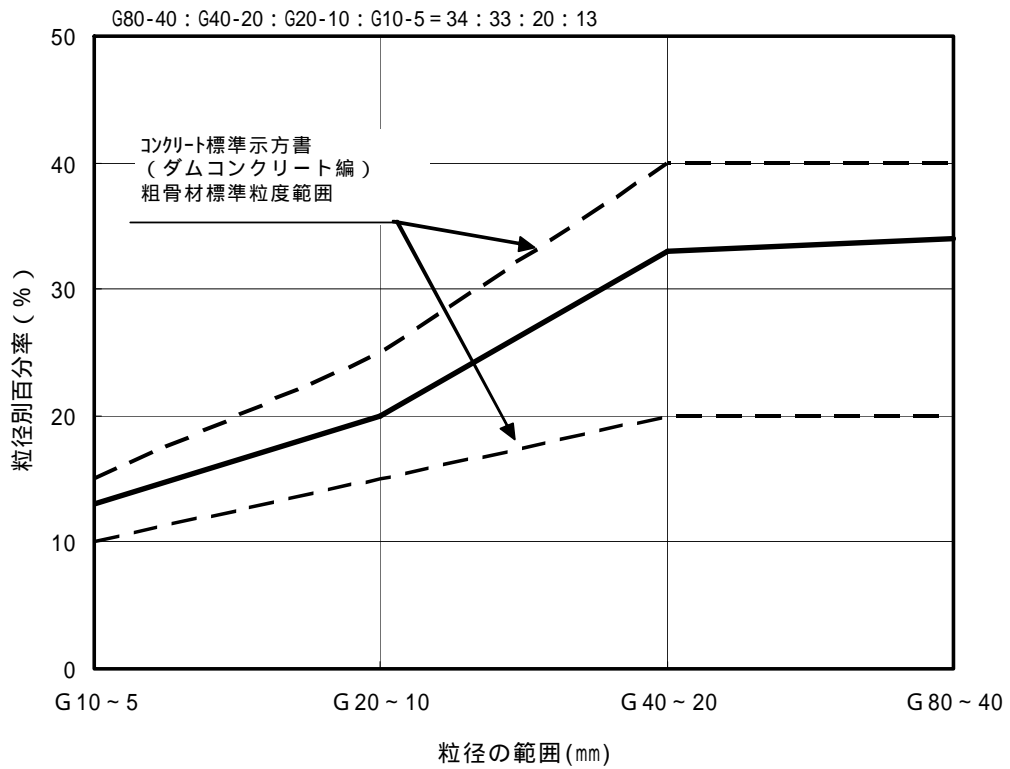


図 2.1.2 粗骨材の粒径別分布曲線 ()

(3) 試験項目および方法

この検討における3つの試験項目および試験方法を、以下に示す。

基本配合の選定試験

この検討におけるCSGの基本配合を選定するための試験である。まず単位ペースト量を一定として、CSG材における細骨材率をパラメータとした数種類の配合のCSGを練り混ぜ、それらのVC値の測定を行い、VC値が最小となる細骨材率を最適細骨材率として選定する。次に細骨材率を一定(最適細骨材率)として、単位ペースト量(単位セメント量を一定としているため、実質的に単位水量)をパラメータとした数種類の配合のCSGを練り混ぜ、それらのVC値の測定を行い、VC値が所定の値(標準VC試験で20秒、大型VC試験で60秒)となる単位ペースト量(単位水量)を最適単位ペースト量(最適単位水量)として選定する。

試験1：骨材粒度の変化がVC値に与える影響

試験1では、粗骨材の粒度変化がCSGのVC値に与える影響を確認するために、細骨材率および単位ペースト量を基本配合のとおりで一定とし、粗骨材の特定の分級骨材の単位量を変化させて大型VC値と標準VC値を測定する。

この時に、各分級骨材の単位量を変化させることによる粒径別百分率の変化範囲は、概ね示方書ダム編の標準粒度範囲以内となるようにする。また、単位量を変化させる分級骨材以外の分級骨材の単位量は、変化対象とした分級骨材より小さい粒径の分級骨材においては基本配合時の数値に固定し、大きい粒径の骨材においてはそれらの比が常に一定となるようにする。

試験2：骨材粒度の変化が所要のVC値を得るのに必要な単位ペースト量に与える影響

試験2では、骨材粒度(細骨材率および粗骨材粒度)が変化したとき、CSGのVC値が所要の値となるような単位ペースト量がどのようになるかを確認するために、細骨材率、粗骨材分級骨材の単位量、単位ペースト量を変化させて、大型VC値および標準VC値を測定する。

この時の細骨材率の変化範囲は、基本配合における細骨材率の $\pm 7.5\%$ とする。また、粗骨材分級骨材の単位量の変化範囲は、概ね標準粒度範囲以内となるようにする。

試験2における粒度の比較は以下の3通りである。

- ・粗骨材粒度が一定で細骨材率が異なる骨材粒度
- ・細骨材率 s/a が基本配合の細骨材率 - 7.5%一定で、粗骨材粒度が異なる骨材粒度
- ・細骨材率 s/a が基本配合の細骨材率 + 7.5%一定で、粗骨材粒度が異なる骨材粒度

(4) 基本配合の選定

細骨材率 s/a とVC値の関係を図2.1.3に示す。これより、 $C = 120\text{kg/m}^3$ 、 $W = 102\text{kg/m}^3$ (一定)においてVC値が最小となる細骨材率 s/a は大型VC、標準VCとも30%であった。次に、単位ペースト量 P とVC値の関係を図2.1.4に示す。これより、 $C = 120\text{kg/m}^3$ 、 $s/a = 30\%$ (一定)とした時の大型VC値が60秒となるような単位ペースト量は、 $P = 216\text{kg/m}^3$ であった。以上の結果に基づき、基本配合を選定した。基本配合を表2.1.2に示す。

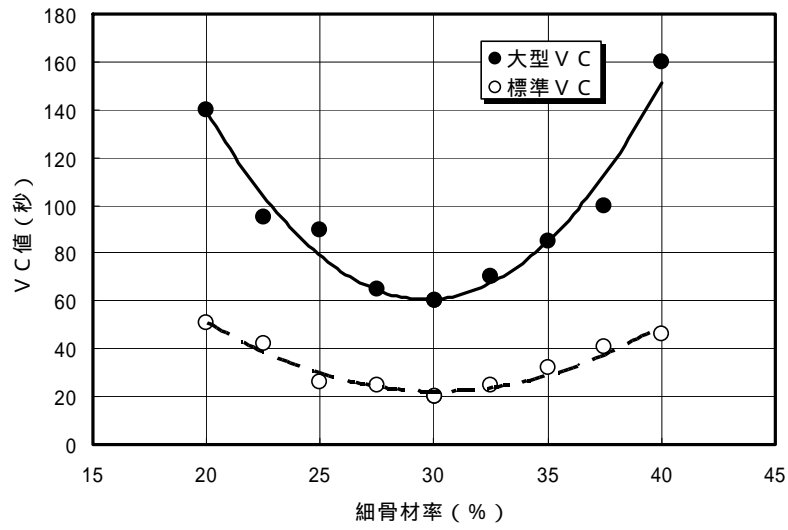


図 2.1.3 細骨材率とVC値 (C = 120kg/m³、W = 102kg/m³) ()

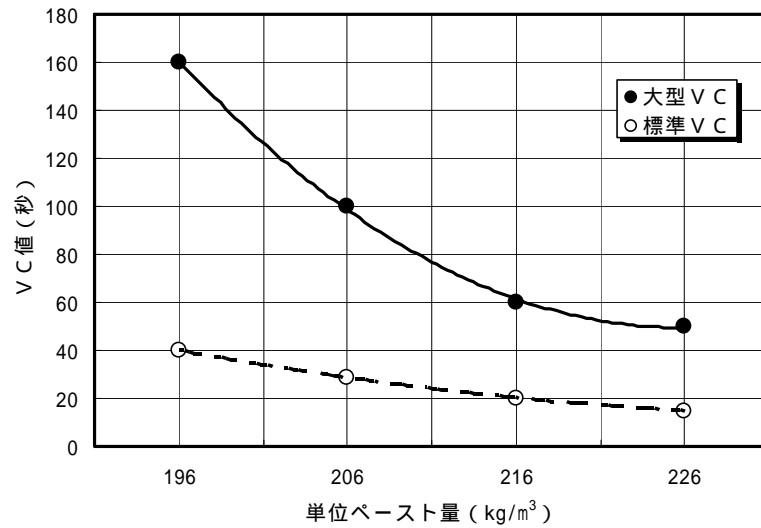


図 2.1.4 単位ペースト量とVC値 (C = 120kg/m³、s/a = 30%) ()

表 2.1.2 基本配合表 ()

最大骨材寸法 (mm)	目標大型VC値 (s)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位ペースト量 (kg/m ³)	単位量 (kg/m ³)							
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G				混和剤 (AE減水剤)
									80-40 (mm)	40-20 (mm)	20-10 (mm)	10-5 (mm)	
80	60	1.5 ± 1.0	80	30	216	96	120	664	535	519	312	203	0.300

(5) 試験ケース

試験 1 および試験 2 における試験ケースを表 2.1.3 に、試験 1 における骨材の粒径別分布曲線を図 2.1.5～図 2.1.7 に示す。また、試験 2 における骨材の粒径別分布曲線と粒度分布曲線を図 2.1.8、図 2.1.9 に示す。

表 2.1.3 試験 1 および試験 2 における試験ケース ()

試験区分	粒度	粒度変化区分	単位 ペースト量 (kg/m ³)	細骨材率 (%)	粗骨材各粒径毎の割合 (%)			
					G10-5	G20-10	G40-20	G80-40
基本			216	30	9.1	14.0	23.1	23.8
試験 1	1-1	粗骨材粒度の変動 (変動対象粒径 =G10-5)	216	30	6.4	14.6	24.2	24.9
	1-2		216	30	7.8	14.3	23.6	24.4
	1-3		216	30	10.5	13.7	22.6	23.2
	1-4		216	30	11.8	13.4	22.1	22.8
	1-5	粗骨材粒度の変動 (変動対象粒径 =G20-10)	216	30	9.1	9.8	25.2	25.9
	1-6		216	30	9.1	11.9	24.2	24.9
	1-7		216	30	9.1	16.1	22.1	22.8
	1-8		216	30	9.1	18.2	21.0	21.7
	1-9	粗骨材粒度の変動 (変動対象粒径 =G40-20)	216	30	9.1	14.0	16.2	30.7
	1-10		216	30	9.1	14.0	19.7	27.2
	1-11		216	30	9.1	14.0	26.6	20.3
	1-12		216	30	9.1	14.0	30.0	16.9
試験 2	2-1	細骨材率と 粗骨材粒度の変動	196 206 216 226 236	37.5	11.8	18.2	16.0	16.5
	2-2			37.5	11.8	11.7	19.2	19.8
	2-3			37.5	8.1	12.5	20.6	21.3
	2-4			22.5	10.1	15.5	25.6	26.4
	2-5			22.5	6.4	16.3	27.0	27.8
	2-6			22.5	6.4	9.8	30.2	31.1

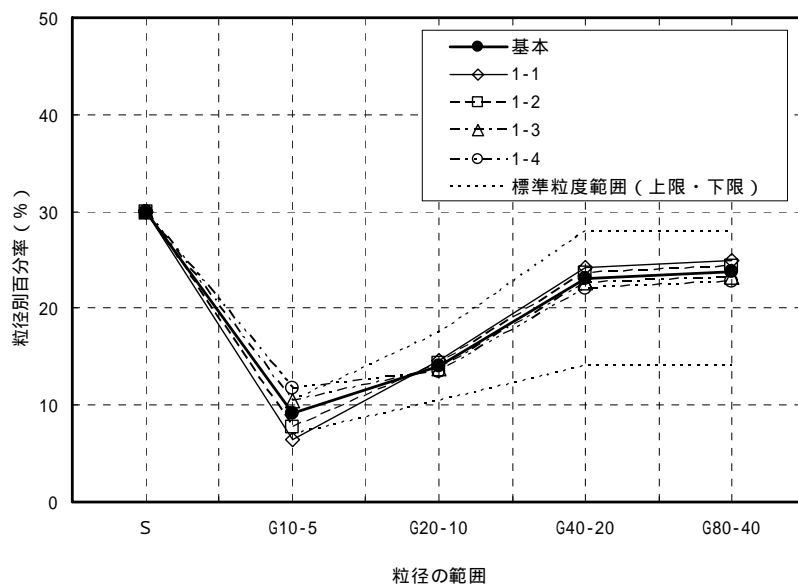


図 2.1.5 試験 1 における骨材の粒径別 (G10-5 変動) 分布曲線 ()

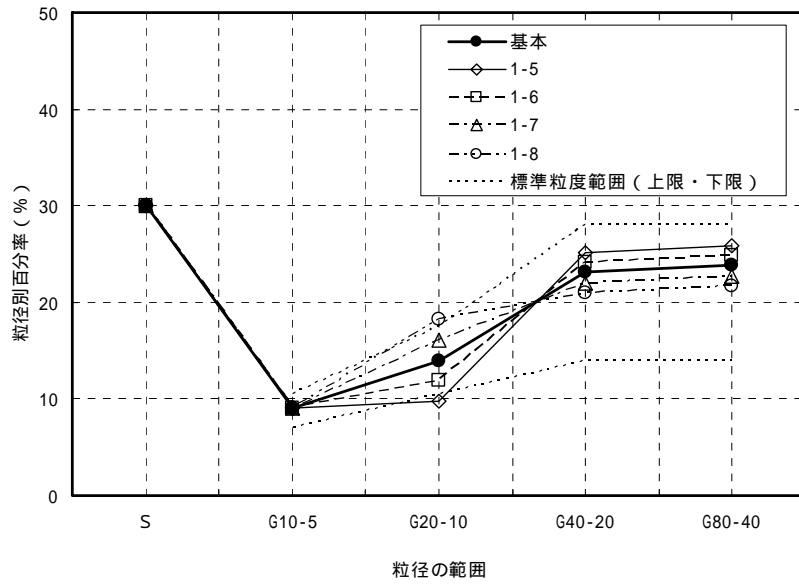


図 2.1.6 試験 1 における骨材の粒径別 (G20-10 変動) 分布曲線 ()

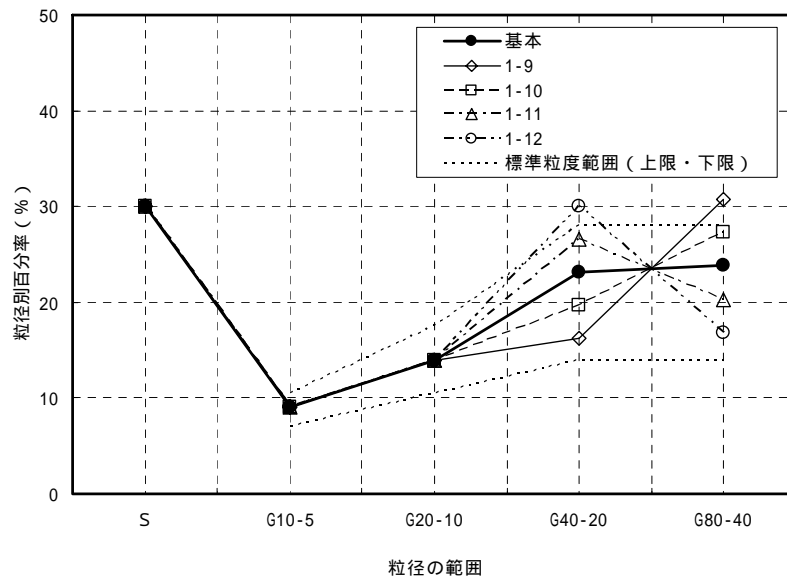


図 2.1.7 試験 1 における骨材の粒径別 (G40-20 変動) 分布曲線 ()

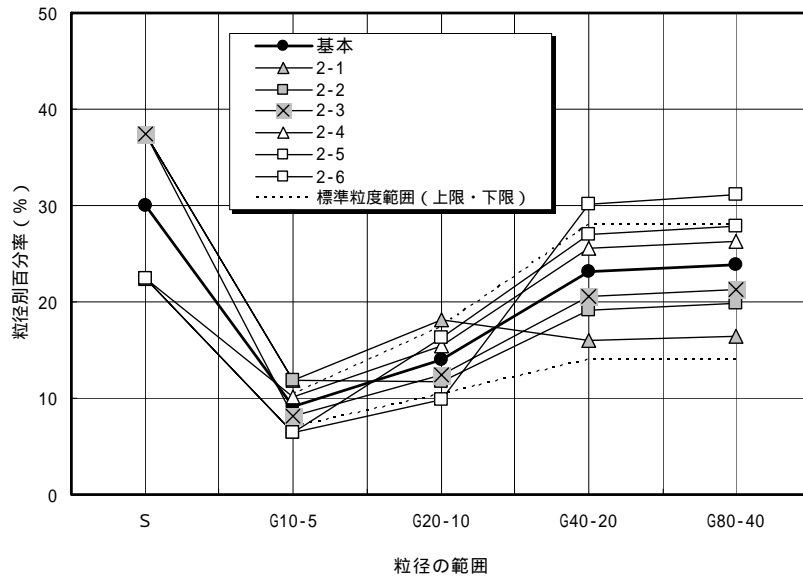


図 2.1.8 試験 2 における骨材の粒径別分布曲線 ()

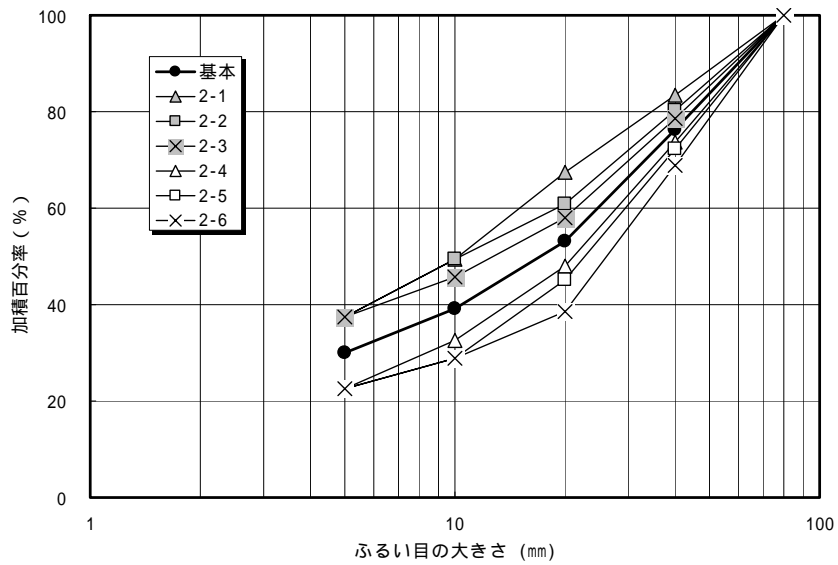


図 2.1.9 試験 2 における骨材の粒度分布曲線 ()

(6) 試験結果 (試験 1、試験 2)

試験 1 における粗骨材粒度の変動による V C 値への影響を表 2.1.4 ~ 表 2.1.6 および図 2.1.10 ~ 図 2.1.12 に示す。

図 2.1.10 より、10 ~ 5mm 分級骨材が多くなると V C 値は小さくなる傾向が見られるものの、この分級骨材の割合の変化に対する V C 値の変化は小さいことが確認された。

図 2.1.11 より、20 ~ 10mm 分級骨材の割合が 15% 程度のときに大型 V C 値の最小値が現れるものの、この分級骨材の割合の変化に対する V C 値の変化は小さいことが確認された。

図 2.1.12 より、40 ~ 20mm 分級骨材の割合が 22% 程度のときに大型 V C 値の最小値が現れるものの、この分級骨材の割合の変化に対する V C 値の変化は小さいことが確認された。

次に、試験 2 の結果は以下のとおりで、表 2.1.7 ~ 表 2.1.9 および図 2.1.13 ~ 図 2.1.15 に示す。

試験 2 のケースのうち、粗骨材粒度が一定 (図 2.1.2 に示す基本粒度) で、細骨材率 30%、22.5%、37.5% のそれぞれのもとで単位ペースト量を変化させて V C 値を測定した結果を図 2.1.13 に示す。この図より、いずれの細骨材率 ($s/a = 30\%$ 、 22.5% 、 37.5%) においても、単位ペースト量が多くなるほど、V C 値 (大型、標準) は小さくなる。大型 V C 値 60 秒を確保するために必要な単位ペースト量は、細骨材率が最適細骨材率とは異なる場合 (細骨材率 $s/a = 22.5\%$ 、 37.5%) では、基本配合における $P = 216\text{kg}/\text{m}^3$ から $P = 226\text{kg}/\text{m}^3$ となり、 $10\text{kg}/\text{m}^3$ 多くなる結果となった。これは、図 2.1.3 に示されるように、細骨材率が最適細骨材率から離れるほど V C 値が大きくなることから、当然の結果である。

試験 2 のケースのうち、細骨材率が 22.5% 一定で、粗骨材粒度が異なる骨材粒度における単位ペースト量と V C 値の関係を図 2.1.14 に示す。この図より、粗骨材粒度が異なっても、単位ペースト量と V C 値の傾向はほぼ同様であり、大型 V C 値 60 秒を確保するために必要な単位ペースト量は、どのケースも $P = 226\text{kg}/\text{m}^3$ 程度となっている。

試験 2 のケースのうち、細骨材率が 37.5% 一定で、粗骨材粒度が異なる骨材粒度における単位ペースト量と V C 値の関係を図 2.1.15 に示す。この図より、大型 V C 値が 60 秒となる単位ペースト量は、粒度 2-3 では $P = 226\text{kg}/\text{m}^3$ 、粒度 2-1 および 2-2 では $P = 231\text{kg}/\text{m}^3$ となっている。

表 2.1.4 試験 1 : 粗骨材粒度の変動 (G10-5) と V C 値 ()

G10-5割合	標準 V C 値	大型 V C 値
6.4	24	70
7.8	22	65
9.1	20	60
10.5	21	65
11.8	18	55

表 2.1.5 試験 1 : 粗骨材粒度の変動 (G20-10) と V C 値 ()

G20-10割合	標準 V C 値	大型 V C 値
9.8	21	70
11.9	20	65
14.0	20	60
16.1	20	60
18.2	22	65

表 2.1.6 試験 1 : 粗骨材粒度の変動 (G40-20) と V C 値 ()

G40-20割合	標準 V C 値	大型 V C 値
16.2	16	65
19.7	20	60
23.1	20	60
26.6	23	65
30.0	35	75

表 2.1.7 試験 2 : 粗骨材粒度一定での単位ペースト量と V C 値 ()

単位ペースト量 (kg/m ³)	標準 V C V C 値 (秒)			大型 V C V C 値 (秒)		
	s/a=30%	s/a=37.5%	s/a=22.5%	s/a=30%	s/a=37.5%	s/a=22.5%
	基本	2-3	2-4	基本	2-3	2-4
196	40			160		
206	29	60	53	100	170	140
216	20	41	42	60	100	95
226	15	21	22	50	60	60
236		14	11		45	40

表 2.1.8 試験 2 : 細骨材率一定 (22.5%) での単位ペースト量と V C 値 ()

単位ペースト量 (kg/m ³)	標準 V C V C 値 (秒)			大型 V C V C 値 (秒)		
	2-4	2-5	2-6	2-4	2-5	2-6
206	53	54	52	140	140	145
216	42	42	47	95	100	105
226	22	18	18	60	60	60
236	11	10	9	40	40	35

表 2.1.9 試験 2 : 細骨材率一定 (37.5%) での単位ペースト量と V C 値 ()

単位ペースト量 (kg/m ³)	標準 V C V C 値 (秒)			大型 V C V C 値 (秒)		
	2-1	2-2	2-3	2-1	2-2	2-3
206	74	81	60	210	220	170
216	45	50	41	105	105	100
226	25	24	21	70	70	60
231	21	10		60	60	
236	17	15	14	45	45	45

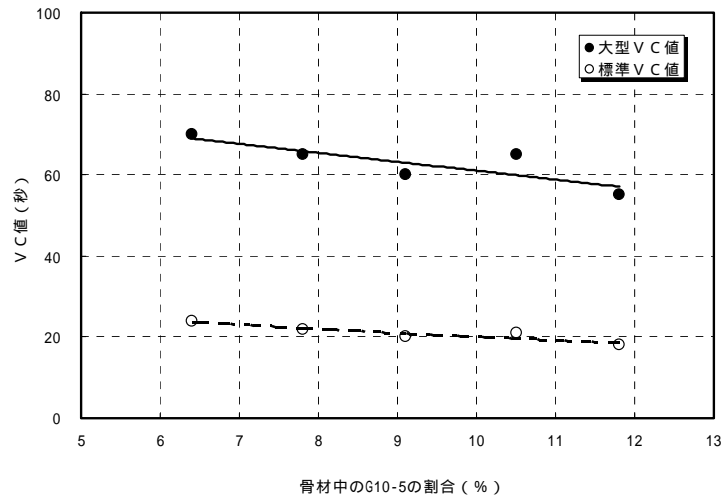


図 2.1.10 試験 1：粗骨材粒度の変動 (G10-5) と VC 値 ()

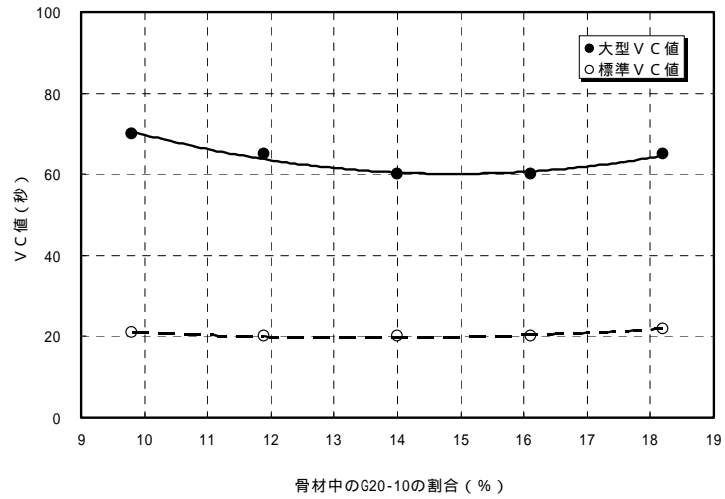


図 2.1.11 試験 1：粗骨材粒度の変動 (G20-10) と VC 値 ()

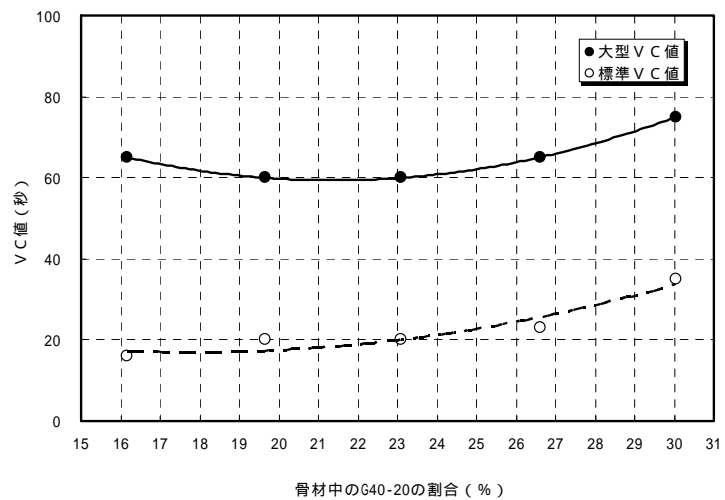


図 2.1.12 試験 1：粗骨材粒度の変動 (G40-20) と VC 値 ()

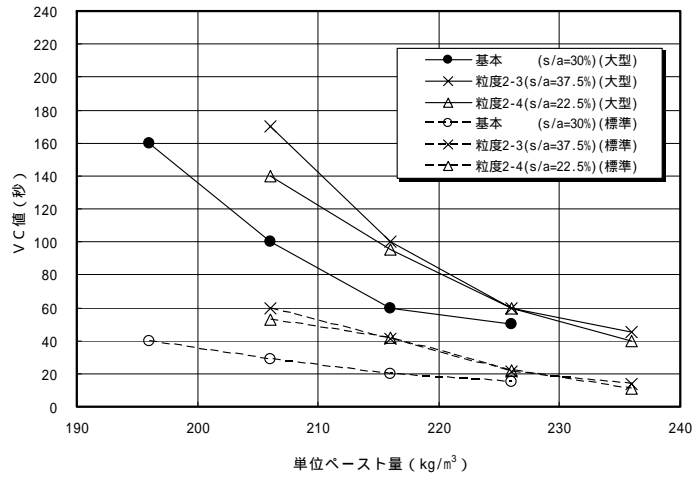


図 2.1.13 試験 2：粗骨材粒度一定での単位ペースト量とVC値()

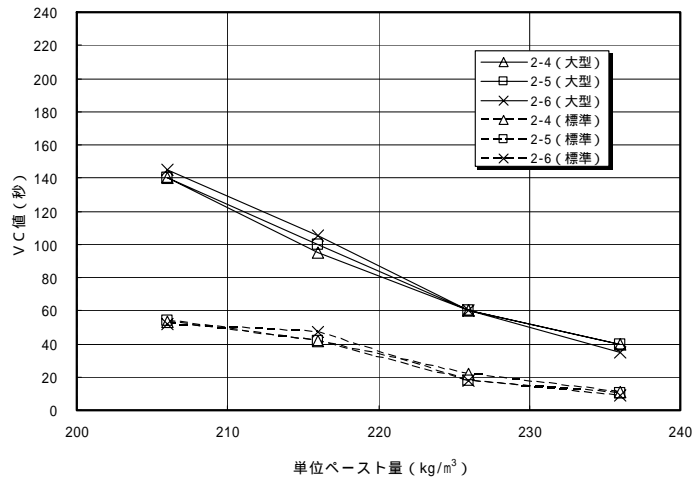


図 2.1.14 試験 2：細骨材率一定 (22.5%) での単位ペースト量とVC値()

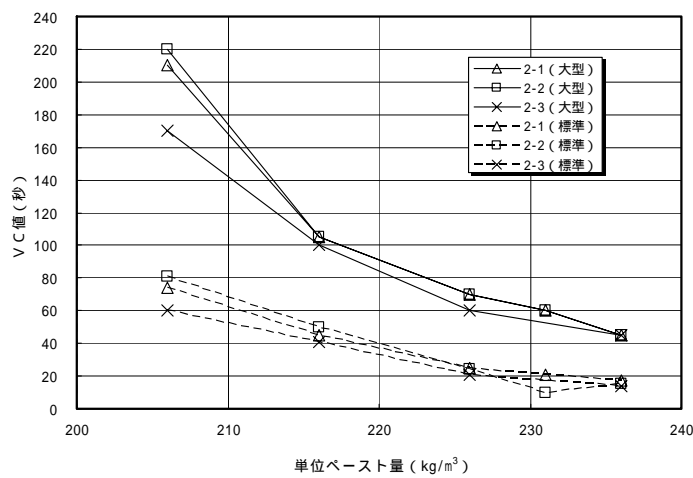


図 2.1.15 試験 2：細骨材率一定 (37.5%) での単位ペースト量とVC値()

基本配合選定試験（図 2.1.3）および試験 1（図 2.1.10～図 2.1.12）の結果に基づき、大型 V C 値が最小値をとるような各分級骨材の粒径別百分率から 5%変化させたときの大型 V C 値と、最小となった大型 V C 値との差について整理したものを表 2.1.10 に示す。この表より、粒径が小さい骨材ほど 5%の粒径別百分率の変化に対し、大型 V C 値が大きく反応することがわかる。

したがって、骨材粒度の変化が C S G の V C 値に与える影響は、細骨材または粒径の小さい粗骨材ほど大きいと言える。

表 2.1.10 最適な粒径別百分率と大型 V C 値の比較（ ）

粒径 (mm)	最適な粒径別百分率 ¹⁾ (%)	大型 V C 値の増分 ²⁾ (秒)
5 ~ 0	約 30%	約 20 ~ 25
10 ~ 5	約 12%	約 12
20 ~ 10	約 15%	約 10
40 ~ 20	約 22%	約 5

1) 試験結果から読みとれる大型 V C 値が最小となった時の粒径別百分率

2) 1)の粒径別百分率から 5%変化させた時の大型 V C 値と最小となった大型 V C 値との差

また、試験 2 の結果から、大型 V C 値 60 秒を確保するために必要な単位ペースト量（以下、所要単位ペースト量という）について整理したものを表 2.1.11 に示す。

この表より、基本粒度の細骨材率 30%の場合に比べて、細骨材率を 22.5%、37.5%とした場合の所要単位ペースト量は 10 ~ 15 kg/m³多くなる。一方、同一細骨材率において粗骨材粒度を変化させた場合、所要単位ペースト量に大きな違いは見られない。（s/a = 22.5%では同一単位ペースト量、s/a = 37.5%では 5kg/m³の違い）

したがって、所要単位ペースト量に対しては細骨材率が大きく影響し、粗骨材粒度の変化はそれほど影響しないと言える。

表 2.1.11 大型 V C 値が 60 秒となる単位ペースト量と骨材粒度の関係（ ）

粒度	細骨材率 s/a (%)	単位ペースト量 (kg/m ³)
基本粒度	30	216
粒度 2 - 1	37.5	231
粒度 2 - 2		231
粒度 2 - 3		226
粒度 2 - 4	22.5	226
粒度 2 - 5		226
粒度 2 - 6		226

(7) まとめ

骨材粒度の変化が、CSGのフレッシュ性状（指標としてVC値）や所要のVC値を確保するために必要な単位ペースト量に及ぼす影響について検討するために、粗骨材や細骨材における各分級骨材の単位量を変化させてVC試験を行った。この時の各分級骨材の単位量を変化させることによる粒径別百分率の変化範囲は、概ね示方書ダム編の標準粒度範囲以内とした。その結果、以下のことがわかった。

CSGのVC値は、骨材の粒度分布に影響を受ける。VC値に対する影響度合いは、粒径の小さい骨材ほど大きくなる。

所要のVC値を確保するために必要な単位ペースト量は、骨材の粒度分布に影響を受けるが、その影響度合いは細骨材率が最も大きい。細骨材率に比べると、粗骨材粒度の影響は小さい。

以上の知見より、CSGの施工においてCSGのフレッシュ性状をより一定に管理する場合、次のような方法で対処することが考えられる。

- ・ 施工の開始に先立ち、現場から採取・製造したCSG材について、細骨材率および単位ペースト量をパラメータとした試験を実施し、図2.1.3および図2.1.4に示すような、細骨材率とVC値の関係および単位ペースト量とVC値の関係を把握する。ただし、ここで定まる最適細骨材率は、そのCSG材が本来持っている細骨材率とは異なったものとなるのは当然である。そのCSG材が本来持っている細骨材率で定めた配合を、基本配合とする。
- ・ 実際の施工においてCSG材を適切な頻度でサンプリングし、その粒度分布をふるい分けによって確認する。その結果のうち、特に細骨材の粒径別百分率（細骨材率）に着目する。
- ・ そのCSG材の細骨材率が、当初の細骨材率とあまり変わらない場合は、そのCSG材を基本配合によって練り混ぜてCSGを製造することができる。
- ・ そのCSG材の細骨材率が、当初の細骨材率と大きく異なる場合は、そのCSG材を基本配合によって練り混ぜるとVC値が大きく異なってしまうことが考えられる。そこでCSGのVC値を所要の値で管理するため、そのCSG材の細骨材率における、所要のVC値を得るための単位ペースト量を、図2.1.3および図2.1.4のような関係から求め、その配合によってCSGを製造する。

以上の対処は、CSGの施工性および強度をより一定に確保するために有効である。一般に、CSGの強度はひし形理論によってある範囲内で管理することとなっているが、この対処によって、想定外の条件の変動に対してもある程度カバーすることが可能になると考えられる。

ただし、ここで実施した試験には、現地発生材ではなくコンクリート用砕石・砕砂を用いている。したがって、以上の知見がいかなるCSG材についても成り立つかどうかは不明である。そこで、さまざまな材質（例えば細骨材に微粒分が極度に多いもの、粘土分を含むもの等）のCSG材でも、このような知見が成り立つかどうかを検証することが今後の課題と考えられる。

また、CSG材の細骨材率の変化によって単位ペースト量を調整する場合、水セメント比を一定としてセメントと水の量を同時に調整するのか、単位水量のみで調整するかについての検討も必要と考えられる。

2.1.2 分級骨材の単位量変化試験（その2）

（1）検討目的と検討方法

前項「2.1.1 分級骨材の単位量変化試験（その1）」において、骨材粒度の変化がCSGのVC値に与える影響は、粒径の小さい骨材ほど大きくなるが、細骨材を除くとその影響は比較的小さなものであることが判明した。ただし、この時の粗骨材粒度の粒径別百分率の変化範囲は、示方書ダム編の標準粒度範囲以内というものであった。

現地発生材をできるだけ手を加えずにCSG材として使用することを前提とするCSG工法においては、CSG材における骨材粒度分布が示方書ダム編に規定される標準粒度範囲に収まるという保証はない。したがって、CSG材における粗骨材の粒径別百分率が標準粒度範囲を大きく外れて変化する場合でも、CSGのフレッシュ性状があまり影響を受けないかどうか、影響を受けるとすれば所要の施工性を確保するためにCSGの単位ペースト量をどのように調整すればよいかを把握する必要がある。

そこで本検討では、粗骨材粒度の粒径別百分率の変化範囲を示方書ダム編の標準粒度範囲外まで変化させた場合、その骨材粒度の変化がCSGのVC値に与える影響について試験を実施した（ここでも前項と同じくCSGのフレッシュ性状の指標としてVC値を用いることとした）。

（2）使用材料

この試験で用いた骨材は現地発生材ではなく、コンクリート用砕石・砕砂であり、試験に用いたCSGは、それらの骨材によって模擬的に製造したものである。

試験に用いた材料とその物性を表2.1.12に示す。また、細骨材の粒径別分布曲線を図2.1.16、粗骨材の粒径別分布曲線を図2.1.17に示す。粗骨材の基本粒度は、示方書ダム編の標準粒度範囲のほぼ中間になるように設定した。

表 2.1.12 使用材料および物性（ ）

使用材料	種類および物性
セメント	中庸熱ポルトランドセメント (密度 = 3.21g/cm ³ 比表面積 = 3,430cm ² /g)
混和剤	A E 減水剤 遅延形 (種)
細骨材 (5~0mm)	岩種：花崗岩 (密度 = 2.63, 吸水率 = 1.61%, 粗粒率 = 2.42)
粗骨材(mm)	岩種：花崗岩
80-40	(密度 = 2.75, 吸水率 = 0.66%)
40-20	(密度 = 2.75, 吸水率 = 0.83%)
20-10	(密度 = 2.75, 吸水率 = 0.93%)
10-5	(密度 = 2.73, 吸水率 = 1.40%)

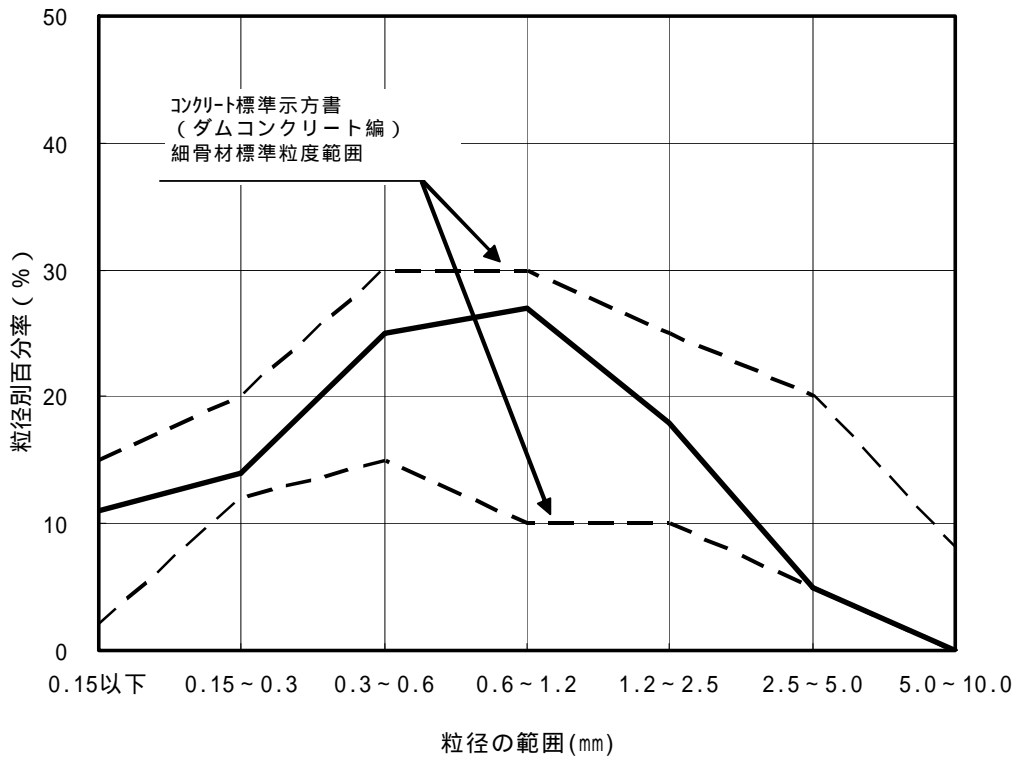


図 2.1.16 細骨材の粒径別分布曲線 ()

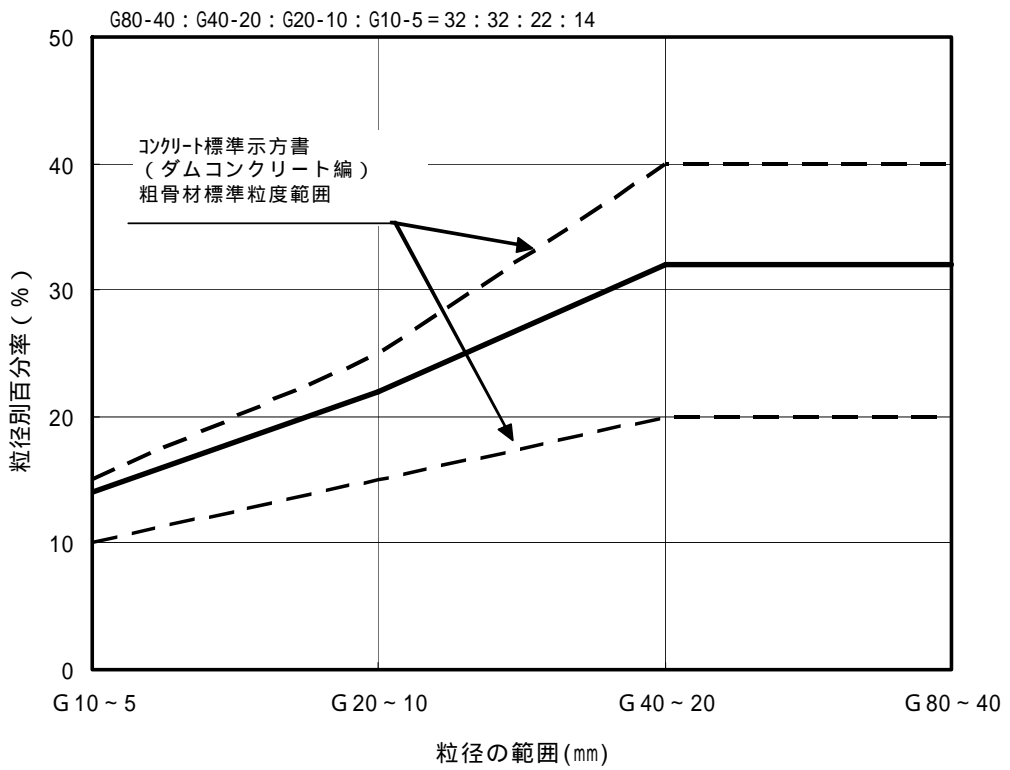


図 2.1.17 粗骨材の粒径別分布曲線 ()

(3) 試験項目および方法

この検討における試験項目および試験方法を、以下に示す。

基本配合の選定試験

前項と同様、この試験に使用するCSG材において適切なVC値を確保するための、最適な細骨材率および単位ペースト量を定める試験を実施し、基本配合を選定する。

骨材粒度変化試験

粗骨材分級骨材の粒径別百分率を示方書ダム編の標準粒度範囲外まで変化させる条件のもとで、各分級骨材の単位量をさまざまに変化させて大型VC値を測定する。VC値の測定には、フルサイズ試料のVC値を評価できる大型VC試験を用いることとした。標準VC試験では、40mm以上の粗骨材をウェットスクリーニングにより除去するため、本検討のように40mm以上の粗骨材の粒径別百分率が大きく変化する場合の試験方法としては適していないと判断されるためである。

ある分級骨材の単位量(ここではG80-40)を変化させた場合のCSGの配合イメージを図2.1.18に示す。この方法により、ある分級骨材の単位量の変化とともに、単位ペースト量等も変化するということになる。

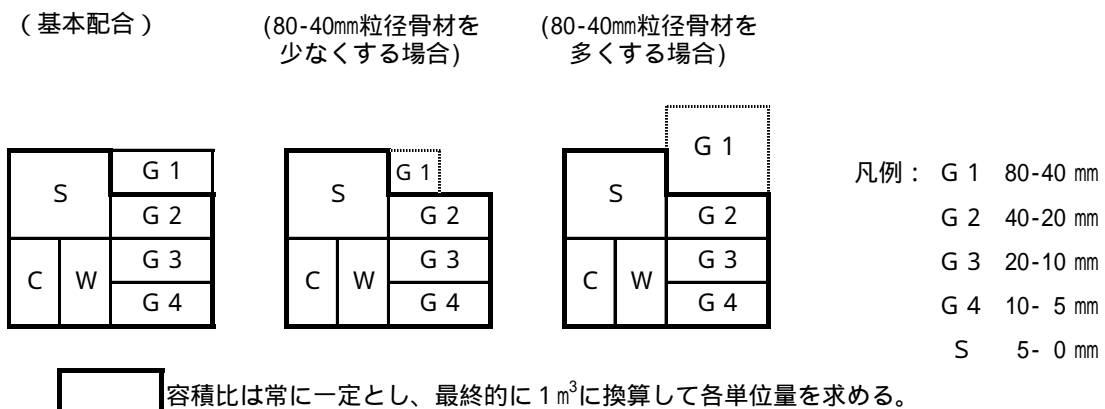


図 2.1.18 分級骨材の単位量を変化させたときのCSGの配合
(80-40mm 粒径を変化させる場合)()

(4) 基本配合の選定

細骨材率s/aとVC値の関係を図2.1.19に示す。これより、C = 120kg/m³、W = 102kg/m³(一定)において大型VC値が最小となる細骨材率s/aは30%であった。次に、単位ペースト量PとVC値の関係を図2.1.20に示す。これより、C = 120kg/m³、s/a = 30%(一定)とした時の大型VC値が60秒となるような単位ペースト量は、P = 222kg/m³であった。以上の結果に基づき、基本配合を選定した。基本配合を表2.1.13に示す。

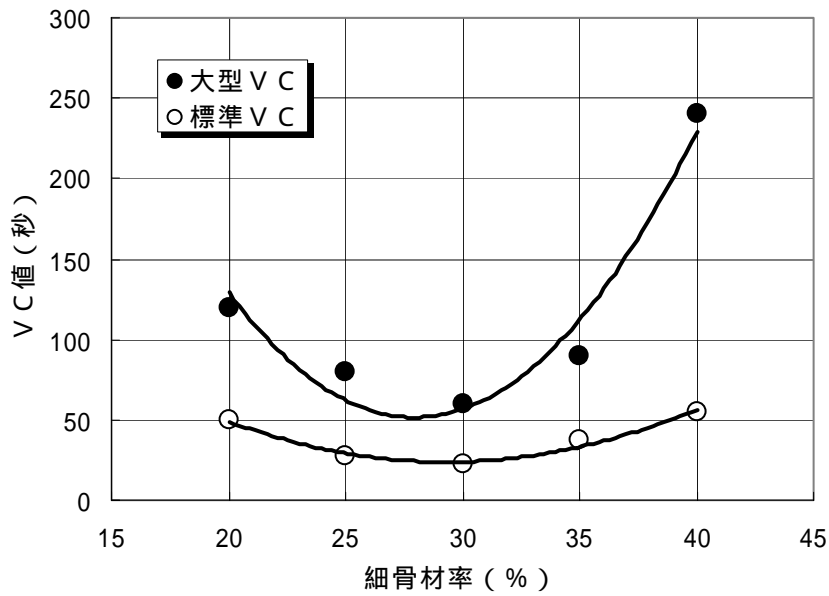


図 2.1.19 細骨材率とVC値 (C = 120kg/m³、W = 102kg/m³) ()

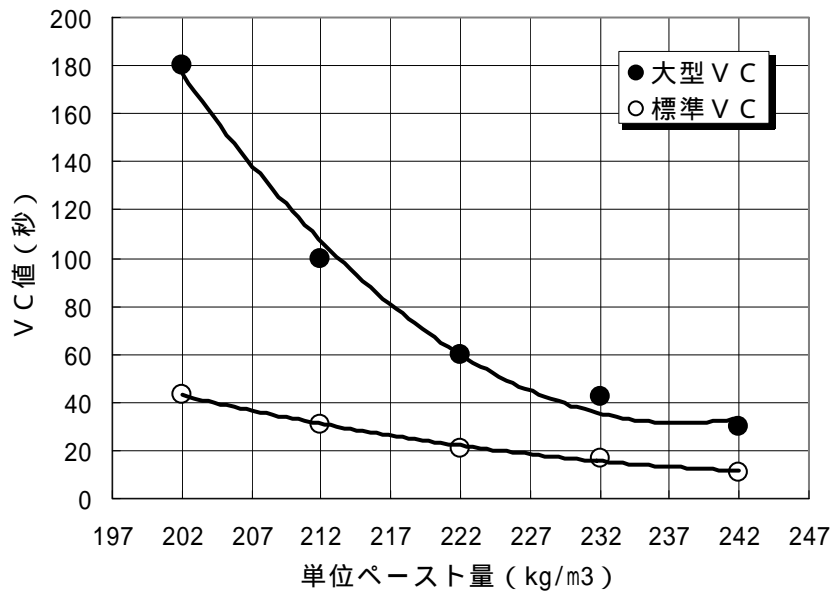


図 2.1.20 単位ペースト量とVC値 (C = 120kg/m³、s/a = 30%) ()

表 2.1.13 基本配合表 ()

最大骨材寸法 (mm)	目標大型VC値 (s)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位ペースト量 (kg/m ³)	単位量 (kg/m ³)							
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G				混和剤 (AE減水剤)
									80-40 (mm)	40-20 (mm)	20-10 (mm)	10-5 (mm)	
80	60	1.5 ± 1.0	85	30	222	102	120	667	521	521	358	226	0.300

(5) 試験ケース

この検討の骨材粒度変化試験における試験ケースを、表 2.1.14 に示す。また、各分級骨材の単位量を変化させることによる骨材粒度の変動を図 2.1.21～図 2.1.25 に示す。

なお、表 2.1.14 において、各分級骨材の質量変化倍率を 0.2～1.75 倍としているのは、各ケースにおける大型 V C 値が、大型 V C 試験としての精度を確保できると考えられる V C 値の範囲内 (20～140 秒程度) に収まることを目標として設定したものである。

表 2.1.14 骨材粒度変化試験の試験ケース ()

試験ケース	単位ペースト量 (kg/m ³)	単位量を変化させる 分級骨材	分級骨材の 単位量変化 倍率	骨材の粒径別百分率 (%)				
				G1 (G80-40)	G2 (G40-20)	G3 (G20-10)	G4 (G10-5)	S (S5-0)
基準	222	-	基準	22.4	22.4	15.4	9.8	30.0
1	262	G1 (G80-40)	0.2	5.45	27.31	18.76	11.93	36.55
2	245		0.5	12.64	25.23	17.34	11.02	33.77
3	233		0.75	17.81	23.74	16.31	10.37	31.77
4	216		1.15	24.93	21.68	14.90	9.47	29.02
5	212		1.25	26.52	21.22	14.58	9.27	28.41
6	206		1.4	28.78	20.57	14.13	8.99	27.53
7	262	G2 (G40-20)	0.2	27.31	5.45	18.76	11.93	36.55
8	245		0.5	25.23	12.64	17.34	11.02	33.77
9	233		0.75	23.74	17.81	16.31	10.37	31.77
10	216		1.15	21.68	24.93	14.90	9.47	29.02
11	212		1.25	21.22	26.52	14.58	9.27	28.41
12	206		1.4	20.57	28.78	14.13	8.99	27.53
13	248	G3 (G20-10)	0.2	25.55	25.55	3.53	11.16	34.20
14	238		0.5	24.28	24.28	8.34	10.61	32.50
15	229		0.75	23.30	23.30	12.03	10.18	31.19
16	218		1.15	21.90	21.90	17.32	9.57	29.31
17	212		1.35	21.26	21.26	19.71	9.29	28.47
18	208		1.5	20.81	20.81	21.44	9.09	27.85
19	238	G4 (G10-5)	0.2	24.31	24.31	16.71	2.12	32.55
20	232		0.5	23.56	23.56	16.19	5.15	31.54
21	227		0.75	22.96	22.96	15.78	7.55	30.74
22	217		1.25	21.87	21.87	15.03	11.97	29.27
23	213		1.5	21.36	21.36	14.68	14.00	28.60
24	209		1.75	20.87	20.87	14.34	15.98	27.94
25	254	S (S5-0)	0.5	26.35	26.35	18.11	11.52	17.67
26	237		0.75	24.23	24.23	16.65	10.59	24.31
27	231		0.85	23.46	23.46	16.12	10.25	26.70
28	219		1.05	22.08	22.08	15.17	9.65	31.02
29	217		1.1	21.75	21.75	14.96	9.50	32.04
30	214		1.15	21.44	21.44	14.73	9.37	33.01

注) 表中に を付記したものは、示方書ダム編の標準粒度範囲を外れるもの

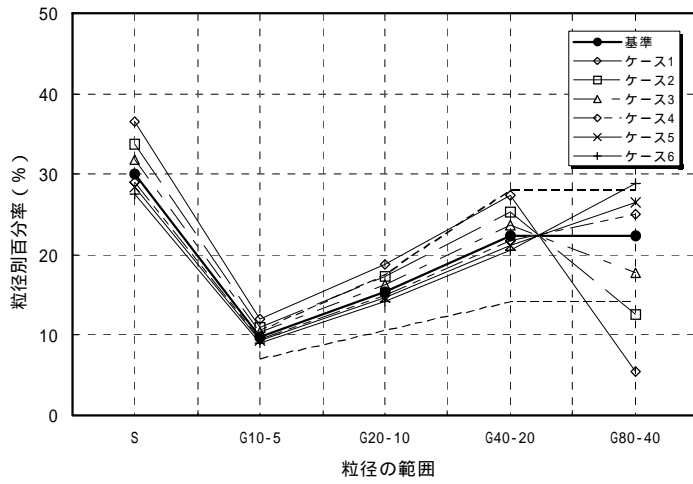


図 2.1.21 骨材粒度の変動 (G80-40 の単位量を変化) ()

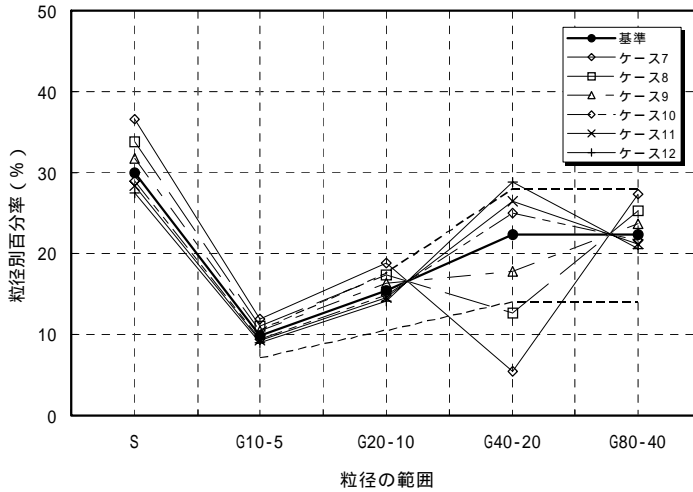


図 2.1.22 骨材粒度の変動 (G40-20 の単位量を変化) ()

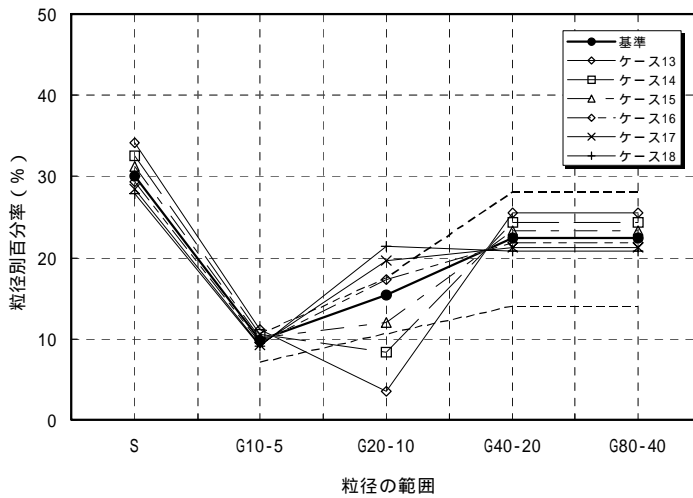


図 2.1.23 骨材粒度の変動 (G20-10 の単位量を変化) ()

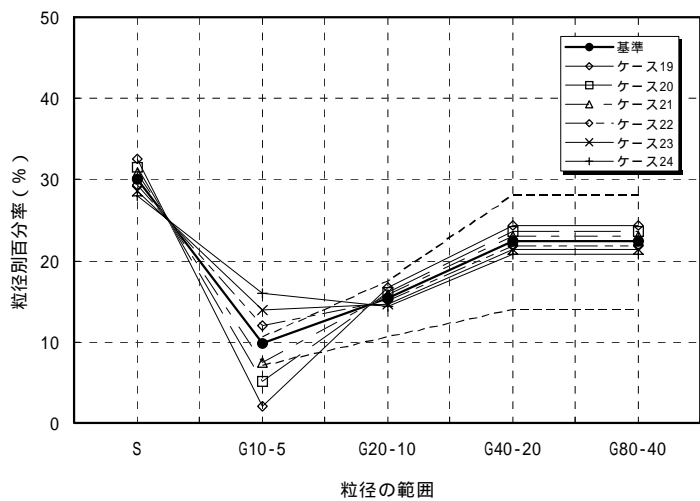


図 2.1.24 骨材粒度の変動 (G10-5 の単位量を変化) ()

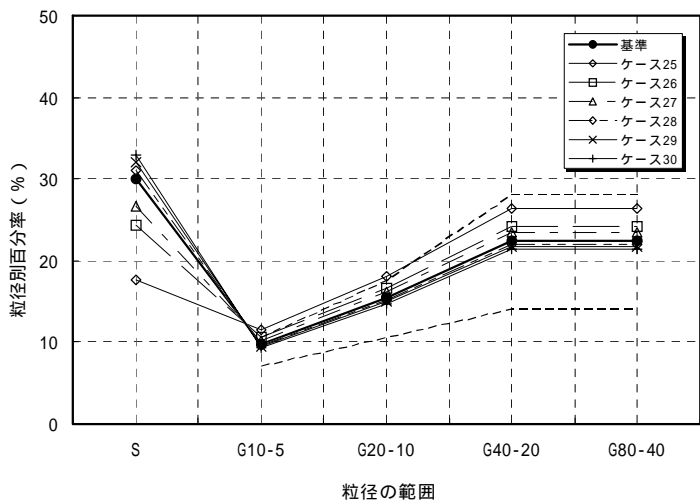


図 2.1.25 骨材粒度の変動 (G5-0 の単位量を変化) ()

(6) 試験結果

骨材粒度変化試験の試験結果を、図 2.1.26 ~ 図 2.1.30 に示す。これらの図には、基本配合選定試験における単位ペースト量と大型 V C 値の関係 (図 2.1.20 参照) を併せて示している。

図 2.1.20 における関係は、細骨材率 30% 一定のもとでの関係である。これは、他の各分級骨材の粒径別百分率がある一定の値のもとで、図 2.1.20 の関係が成り立つと言い換えることができる。すなわち、分級骨材 G80-40 に着目すると、G1 率 = 22.4% (G1 は G80-40 を表し、G1 率とは G80-40 の粒径別百分率をいう。22.4% は表 2.1.14 における基本配合の G1 の粒径別百分率を示す) 一定のもとで、この関係が成り立っていると言い換えられる。同様に、G40-20 は G2、G20-10 は G3、G10-5 は G4、G5-0 は S として、それぞれ G2 率 = 22.4%、G3 率 = 15.4%、G4 率 = 9.8%、S 率 = 30.0% で一定のもとで、この関係が成り立っていると言い換えられる。

図 2.1.26 ~ 図 2.1.30 より、粗骨材については、その粒径別百分率が標準粒度範囲を外れても、その単位ペースト量と大型 V C 値の関係は基本配合選定試験における関係とほぼ同じの結果となった。しかし、細骨材については、図 2.1.30 に示されるように、S 率が大きい方へわずかに変化する (30% 31 ~ 33%) だけで V C 値は基本配合選定試験における関係よりも大きい方へシフトする結果となった。これらから、骨材粒度分布が V C 値に与える影響としては、粗骨材については標準粒度範囲を外れるほど粒度が変化しても影響は小さいが、細骨材はわずかな粒度の変化でも影響はかなり大きいと言えることができる。なお、図 2.1.30 で S 率が小さくなる場合には V C 値の増大が見られないが、これは単位ペースト量が大きいために V C 値が小さい領域での試験となり、基本配合選定試験との差が現れにくいとと考えられる。

図中の \triangle は示方書ダム編の標準粒度範囲を外れているものを示す

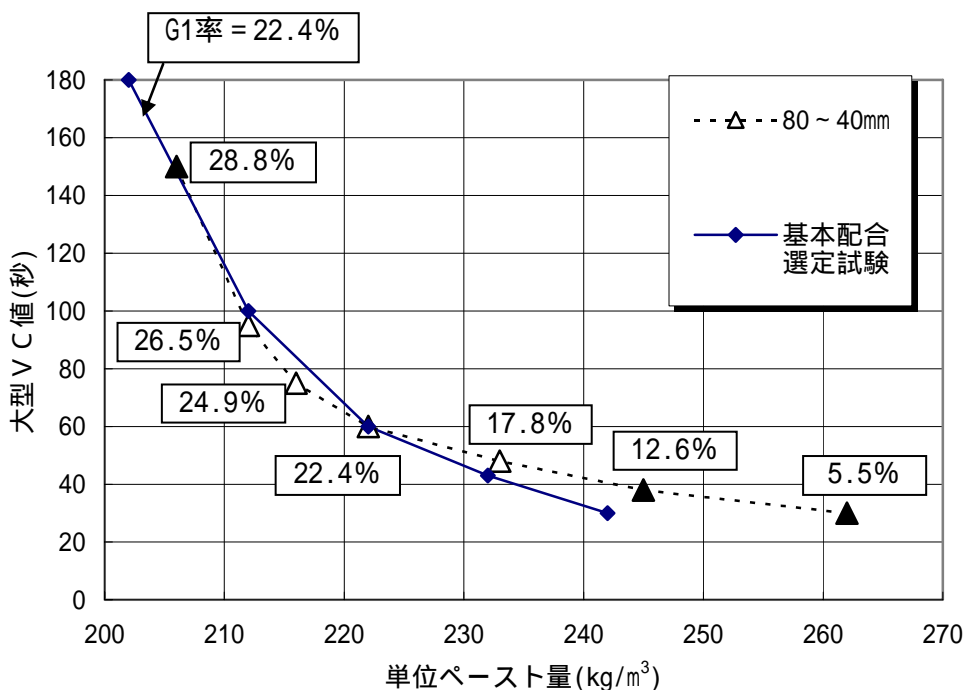


図 2.1.26 骨材粒度変化試験の結果 (G80-40 の単位量を変化) ()

図中の \blacktriangle は示方書ダム編の標準粒度範囲を外れているものを示す

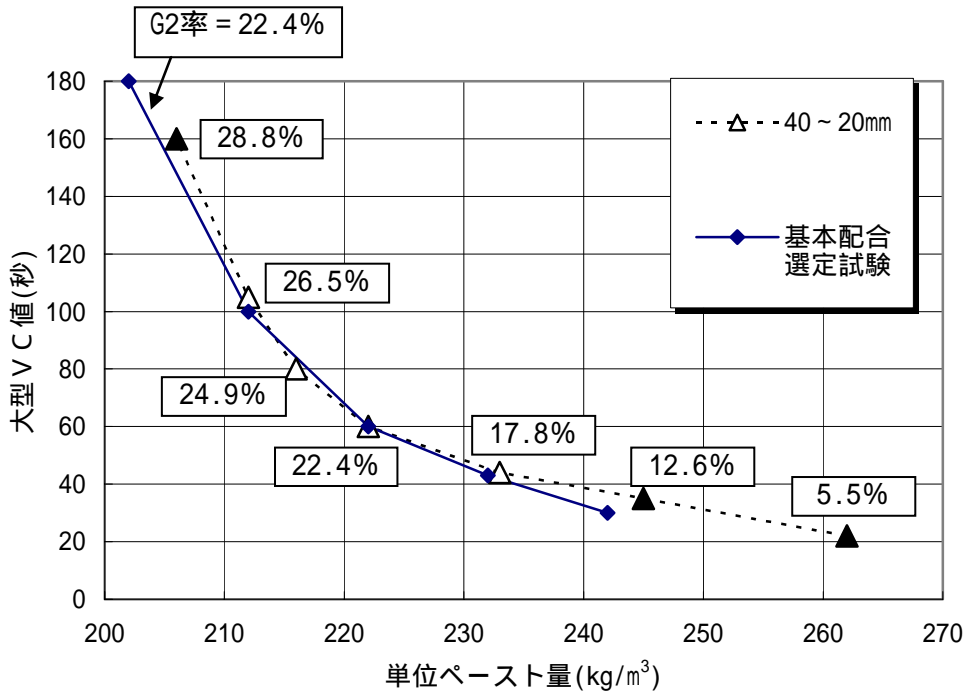


図 2.1.27 骨材粒度変化試験の結果 (G40-20 の単位量を変化) ()

図中の \blacktriangle は示方書ダム編の標準粒度範囲を外れているものを示す

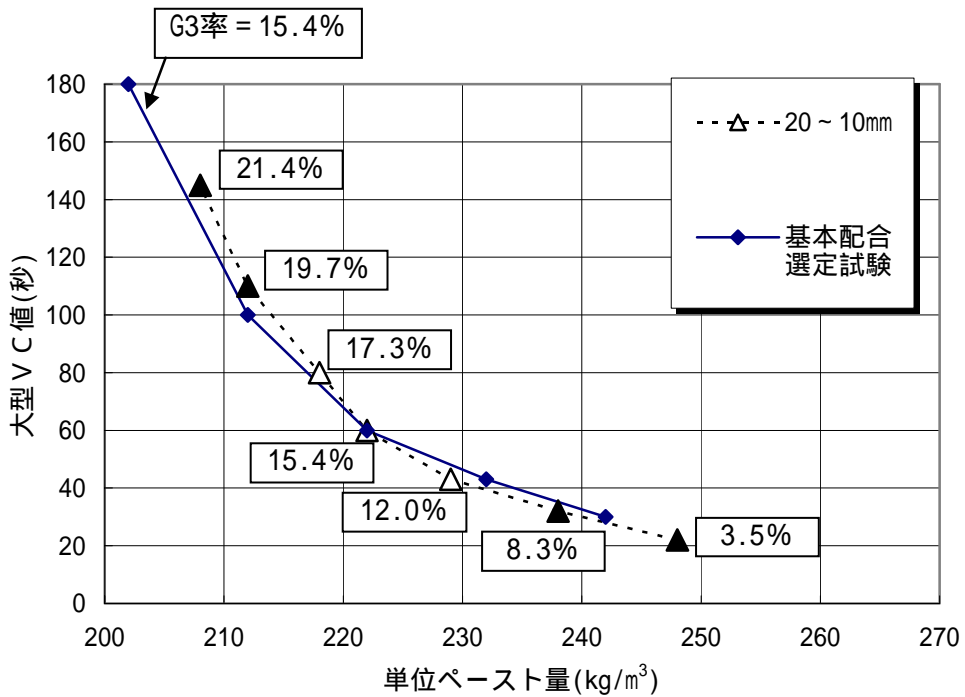


図 2.1.28 骨材粒度変化試験の結果 (G20-10 の単位量を変化) ()

図中の は示方書ダム編の標準粒度範囲を外れているものを示す

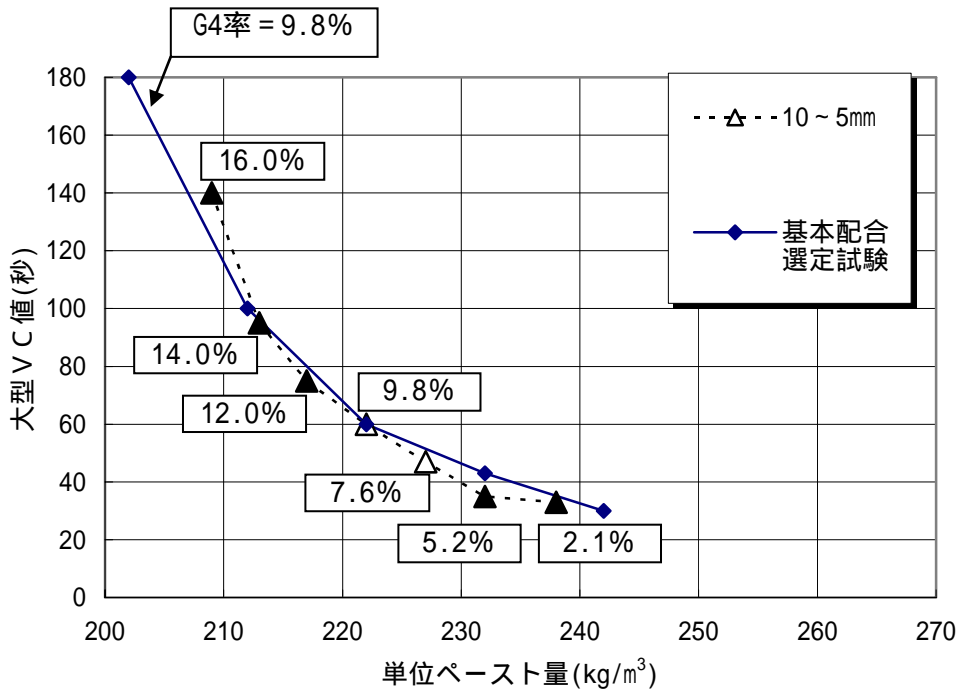


図 2.1.29 骨材粒度変化試験の結果 (G10-5 の単位量を変化) ()

図中の は示方書ダム編の標準粒度範囲を外れているものを示す

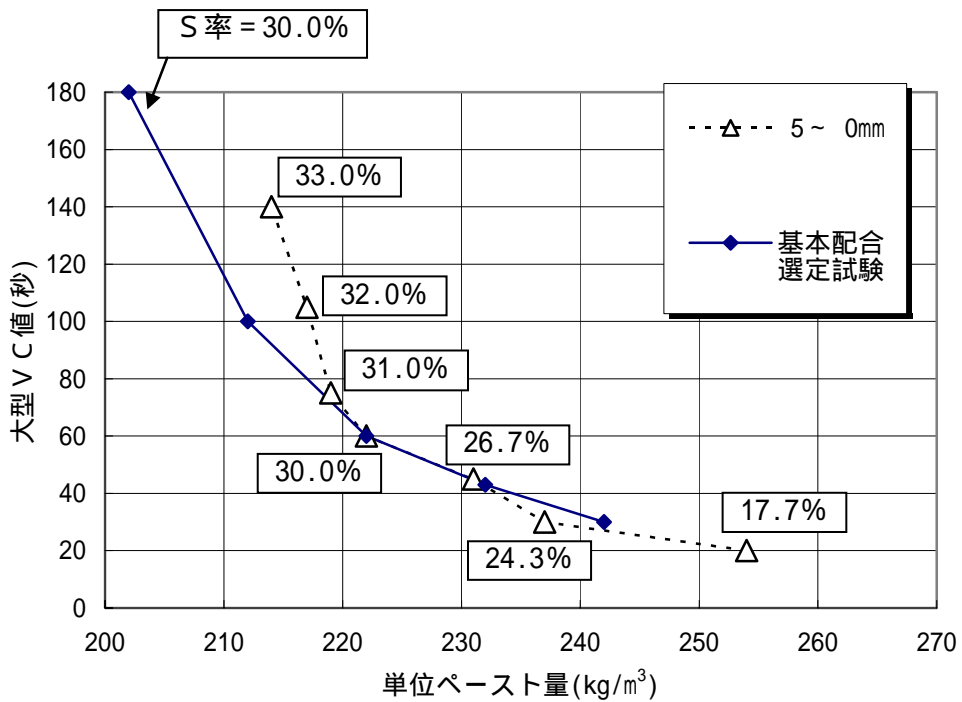


図 2.1.30 骨材粒度変化試験の結果 (G5-0 の単位量を変化) ()

(7) まとめ

この検討では、粗骨材粒度の粒径別百分率が示方書ダム編の標準粒度範囲外まで変化した場合についてV C試験を行った。その結果、以下のことがわかった。

粗骨材の各分級骨材の粒径別百分率の変化が大きい場合においても（示方書ダム編の標準粒度範囲外となるほど変化しても）、V C値に与える影響は小さい。

細骨材の粒径別百分率（細骨材率）の変化は、V C値に大きな影響を及ぼす。

以上の知見は、前項「2.1.1 分級骨材の単位量変化試験（その1）（7）まとめ」で挙げた知見を補足するものであり、この知見から考えられる施工での対処方法や今後の課題については、前項（7）まとめにおいて示したものと同一である。

なお、本節「2.1 骨材粒度の変化によるV C値への影響」においては、C S Gのフレッシュ性状の指標としてV C値を用いた。また、ここでいうC S Gも、用いている材料は製品骨材であるため、実質上はR C D用コンクリートである。したがってここまでの知見はどちらかといえばR C D用コンクリートで成り立つものであると言える。

さらに、「技術資料」におけるC S Gのフレッシュ性状の管理方法としては、V C試験は採用されていない。これは、C S Gの強度管理を行ううえでは密度管理が有効であることによるものである。したがって、C S Gの実施工において、本節で実施したような試験をそのまま実施することは標準的ではないことになる。

そこで、一般的なC S Gと同様な材料において、骨材粒度の変化がC S Gの密度や強度に対してどのように影響するかを把握することが今後の課題と考えられる。

2.2 細骨材粒度の変動によるフレッシュ性状および強度への影響

(1) 検討目的と検討方法

前節の試験より、骨材粒度の変化がCSGのVC値に及ぼす影響について検討した結果、粗骨材の粒度変化は影響が小さく、細骨材率の変化は影響が大きいことが判明した。

一般にコンクリートの製造においては、細骨材率だけでなく、細骨材の中の粒度分布もコンクリートのフレッシュ性状に大きく影響することが知られている。そのため示方書施工編や示方書ダム編においては、所要の性能のコンクリートを経済的に製造できるような細骨材の標準的な粒度分布を定めている。

しかし、CSGにおいては当然ながら細骨材の中の粒度分布についても、採取場所の違い等に基づく変化が予想される。したがって、細骨材の中の粒度分布が変化するとCSGの施工性がどのように影響を受けるかについて把握しておく必要がある。

そこで本検討では、細骨材の中の粒度分布を変化させた場合の、CSGのフレッシュ性状および強度等に与える影響について試験を実施した。なお細骨材の中の粒度分布状態を表す指標として、コンクリートの製造においては粗粒率(FM)がよく用いられている。本検討では粗粒率に加えて、土質工学において粒度分布の指標として用いられている均等係数(U_c)と、RCD用コンクリートの製造においてペーストの容積と細骨材の空隙容積との比を表すペースト細骨材空隙比(α)を用いて、CSGのフレッシュ性状や強度等との関係を整理し、 U_c や α がCSGの性状を評価するための有効な指標になり得るかどうかについて検討した。

(2) 使用材料

この試験で用いた骨材は現地発生材ではなく、コンクリート用砕石・砕砂であり、試験に用いたCSGは、それらの骨材によって模擬的に製造したものである。

試験に用いた材料とその物性を表2.2.1に示す。細骨材粒度と粗骨材の基本的な粒度(基本粒度)は、図2.2.1、図2.2.2に示すとおり、示方書ダム編の標準粒度範囲内となるように設定した。なお、細骨材は、S1(5~1.2mm)、S2(1.2~0.3mm)、S3(0.3~0mm)に3分級し、基本粒度においてはそれぞれが1/3ずつになるように設定した。

表2.2.1 使用材料および物性()

使用材料	種類および物性
セメント	中庸熱ポルトランドセメント (密度 = 3.21g/cm ³ 比表面積 = 3,410cm ² /g)
混和剤	A E 減水剤 遅延形 (種)
細骨材 (mm)	岩種: 安山岩
5-1.2	(密度 = 2.65, 吸水率 = 1.58%)
1.2-0.3	(密度 = 2.64, 吸水率 = 1.82%)
0.3-0	(密度 = 2.64, 吸水率 = 1.92%)
粗骨材 (mm)	岩種: 安山岩
80-40	(密度 = 2.73, 吸水率 = 0.67%)
40-20	(密度 = 2.72, 吸水率 = 0.79%)
20-10	(密度 = 2.72, 吸水率 = 1.02%)
10-5	(密度 = 2.69, 吸水率 = 0.98%)

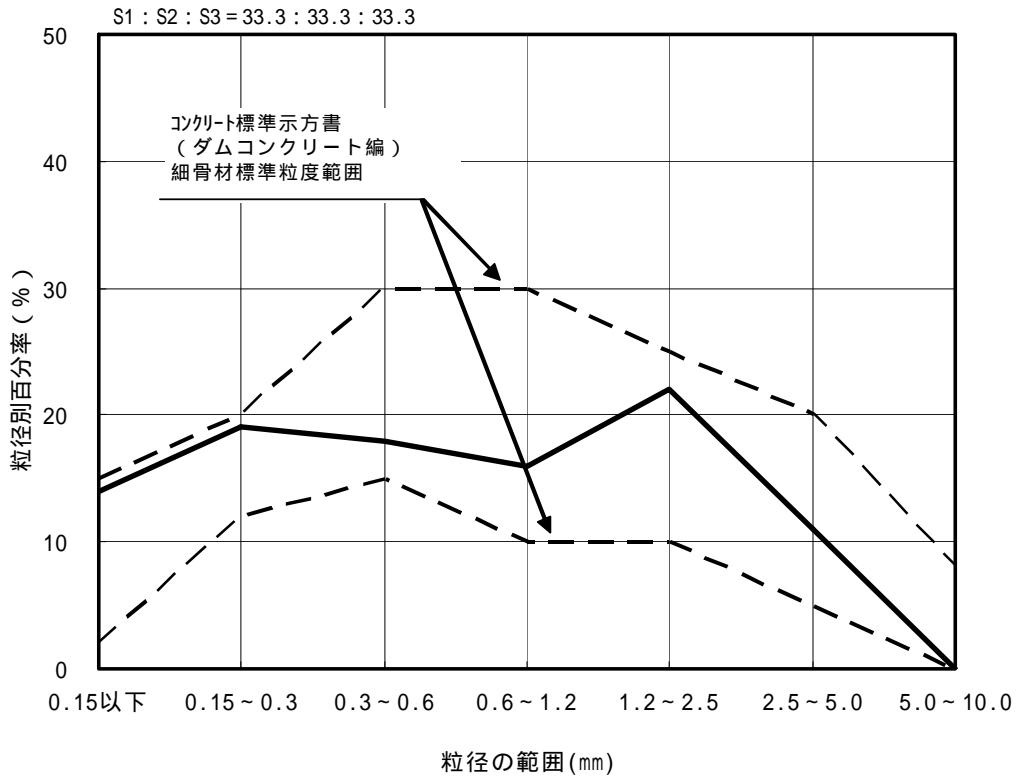


図 2.2.1 細骨材の粒径別分布曲線 ()

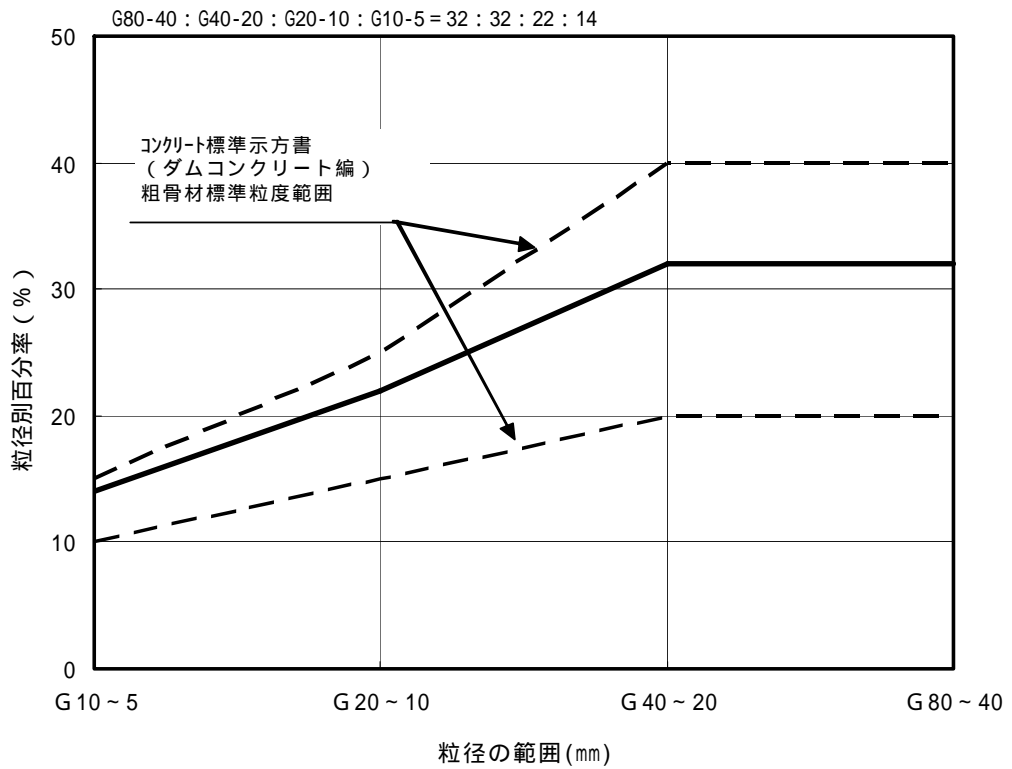


図 2.2.2 粗骨材の粒径別分布曲線 ()

(3) 試験項目および方法

基本配合の選定試験

前節と同様、この試験に使用するCSG材において適切なVC値を確保するための、最適な細骨材率および単位ペースト量を定める試験を実施し、基本配合を選定する。なお、次に実施する「細骨材の中の粒度分布変化試験」において細骨材率の大きさの影響も考慮するため、最適細骨材率から±7%の細骨材率のもとにおいても、適切なVC値を確保するための単位ペースト量を定める試験を実施し、基本配合を選定する。したがって、3種類の基本配合を定めることとなる。

細骨材の中の粒度分布変化試験

上記で定めた3種類の基本配合のそれぞれにおいて、細骨材の中の粒度分布をさまざまに変化させてCSGを練り混ぜ、VC試験、標準供試体試験、大型供試体試験(「1.概要 (2) CSGの試験要領」を参照)を実施する。これらの試験により作製した供試体について、VC値、供試体の外観評価、供試体の密度比、供試体の圧縮強度を求め、これらの結果を細骨材の中の粒度分布、粗粒率、均等係数、ペースト細骨材空隙比によって整理し、どのような傾向が見られるかを検討する。

なお、細骨材の均等係数およびペースト細骨材空隙比は、次のように定義される。

[均等係数 U_c]

土質工学分野で用いられる指標である均等係数は、粒度試験結果に基づき、粒度の状態を知るために粒径加積通過曲線の傾度を求めるもので、均等係数が大きくなるほど粒度分布が広い(粗粒と細粒が均等に分布している)ことを示している。一般に、均等係数が4~5以下の土では、「粒度分布が悪い」といい、10以上の土は、「粒度分布が良い」といわれている。

均等係数 U_c は、下式によって求める。

$$U_c = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \dots \dots \dots \quad \text{式 2.2.1}$$

ここに、 D_{10} 、 D_{60} は、粒径加積通過曲線における加積通過百分率 10%、60%に対する粒径 D (mm) を示す。

[ペースト細骨材空隙比 α]

RCD用コンクリートの配合特性を表す指標として、ペースト細骨材空隙比 α 、モルタルの粗骨材空隙比 β 等の諸比率が試験施工の配合比較や他ダムとの配合比較に用いられている。ペースト細骨材空隙比 α 、モルタル粗骨材空隙比 β は次式で定義される。それぞれ、細骨材中の空隙に対するペーストの体積の比、粗骨材中の空隙に対するモルタルの体積の比を表している。

$$\alpha = \frac{W/\rho_W + C/\rho_C + F/\rho_F}{(1/W_S - 1/\rho_S)S} \dots \dots \dots \text{式 2.2.2}$$

$$\beta = \frac{W/\rho_W + C/\rho_C + F/\rho_F + S/\rho_S}{(1/W_G - 1/\rho_G)G} \dots \dots \dots \text{式 2.2.3}$$

ここに、 W 、 C 、 F 、 S 、 G ：コンクリート中の水、セメント、フライアッシュ、細骨材、粗骨材の単位量 (kg/m³)

ρ_W 、 ρ_C 、 ρ_F 、 ρ_S 、 ρ_G ：水、セメント、フライアッシュ、細骨材、粗骨材の密度 (kg/m³)

W_S 、 W_G ：細骨材、粗骨材を振動台で締め固めた単位容積質量(表乾)(kg/m³)

ペースト細骨材空隙比、モルタル粗骨材空隙比が 1.0 未満であると、理論的には細骨材、粗骨材の空隙をペースト、モルタルが完全に充填できないことを意味している。そこで、RCD用コンクリートの配合は、ペースト細骨材空隙比、モルタル粗骨材空隙比がともに 1.0 を大きく下回らない配合であることが望ましいとされる。従来の RCD用コンクリートの配合設計結果によれば、一般にペースト細骨材空隙比は 1.1 程度以上、モルタル粗骨材空隙比は 1.2 程度以上の値を示している¹⁾。

(4) 基本配合の選定

細骨材率 s/a と VC 値の関係を図 2.2.3 に示す。これより、 $C = 120\text{kg/m}^3$ 、 $W = 98\text{kg/m}^3$ (一定) において大型 VC 値が最小となる細骨材率 s/a は 30% であった。次に、単位ペースト量 P と VC 値の関係を図 2.2.4 に示す。これより、 $C = 120\text{kg/m}^3$ 、 $s/a = 30\%$ (一定) とした時の大型 VC 値が 60 秒となるような単位ペースト量は、 $P = 218\text{kg/m}^3$ であった。以上の結果に基づき、基本配合 1 を選定した。

さらに、基本配合 1 の細骨材率を $\pm 7\%$ 変動させた細骨材率 ($s/a = 23\%$ 、 37%) について、基本配合 1 と同じ水セメント比 81.7% (一定) とした大型 VC 値が 60 秒になる単位ペースト量を求めた。それぞれの単位ペースト量 P と VC 値の関係を図 2.2.5、図 2.2.6 に示す。これより大型 VC 値が 60 秒となるような単位ペースト量は、 $s/a = 23\%$ の場合 $P = 228\text{kg/m}^3$ 、 $s/a = 37\%$ の場合 $P = 233\text{kg/m}^3$ となり、これを基本配合 2、3 とした。

基本配合 1、2、3 を表 2.2.2 に示す。

表 2.2.2 基本配合表 ()

配合名	最大骨材寸法 (mm)	目標大型 VC 値 (s)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位ペースト量 (kg/m ³)	単位量 (kg/m ³)									
							水		細骨材 S			粗骨材 G				混和剤 (AE減水剤)
							W	C	5~1.2 (mm)	1.2~0.3 (mm)	0.3以下 (mm)	80-40 (mm)	40-20 (mm)	20-10 (mm)	10-5 (mm)	
基本 1	80	60	1.5 ± 1.0	81.7	30	218.0	98.0	120.0	225	225	225	517	517	356	226	0.300
基本 2					23	228.0	102.5	125.5	171	171	171	565	565	388	247	0.314
基本 3					37	233.0	104.8	128.2	274	274	274	461	461	317	201	0.321

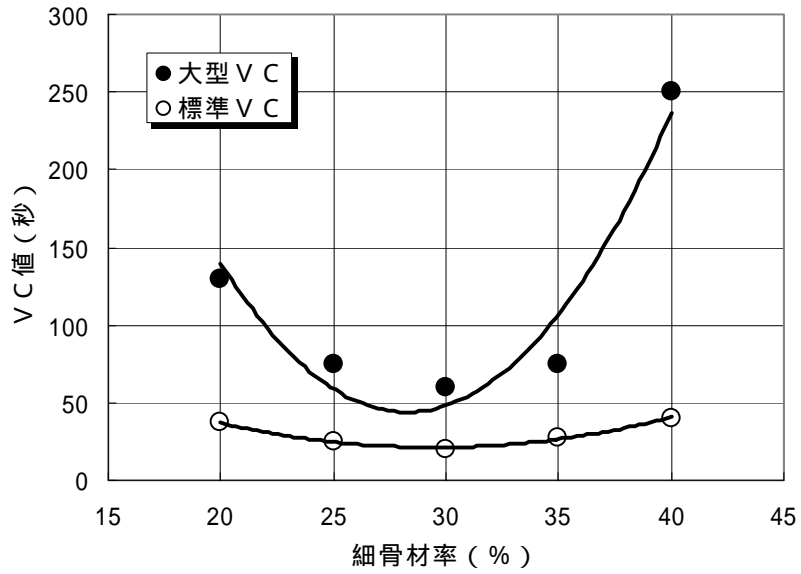


図 2.2.3 細骨材率とVC値 ($C = 120\text{kg/m}^3$ 、 $W = 98\text{kg/m}^3$) ()

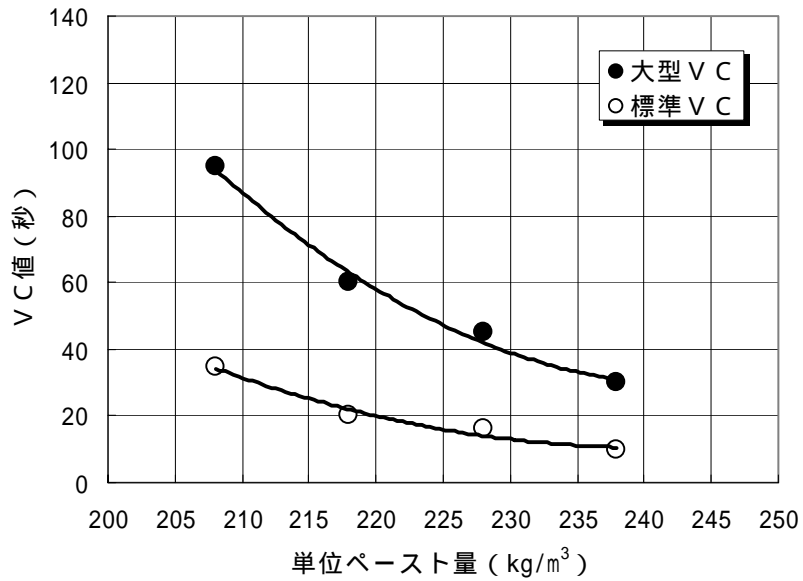


図 2.2.4 単位ペースト量とVC値 ($C = 120\text{kg/m}^3$ 、 $s/a = 30\%$) ()

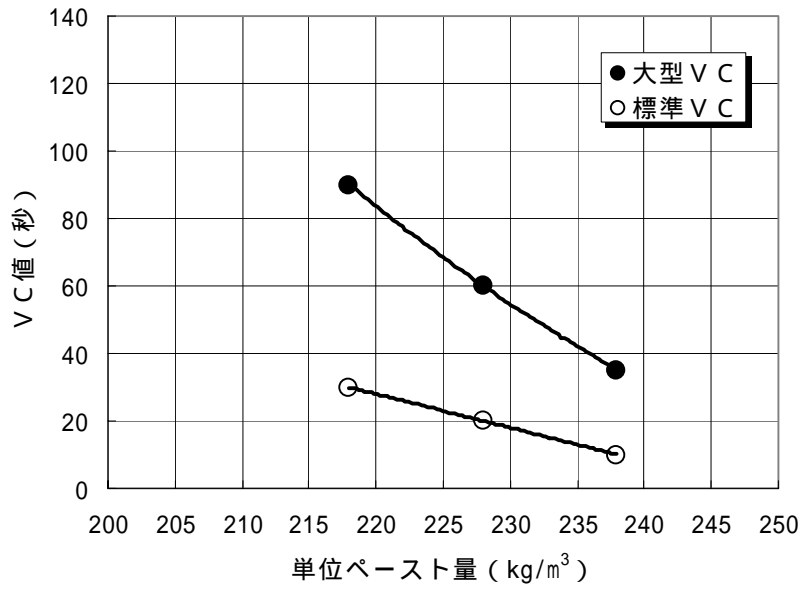


図 2.2.5 単位ペースト量とVC値 (W/C = 81.7%、s/a = 23%) ()

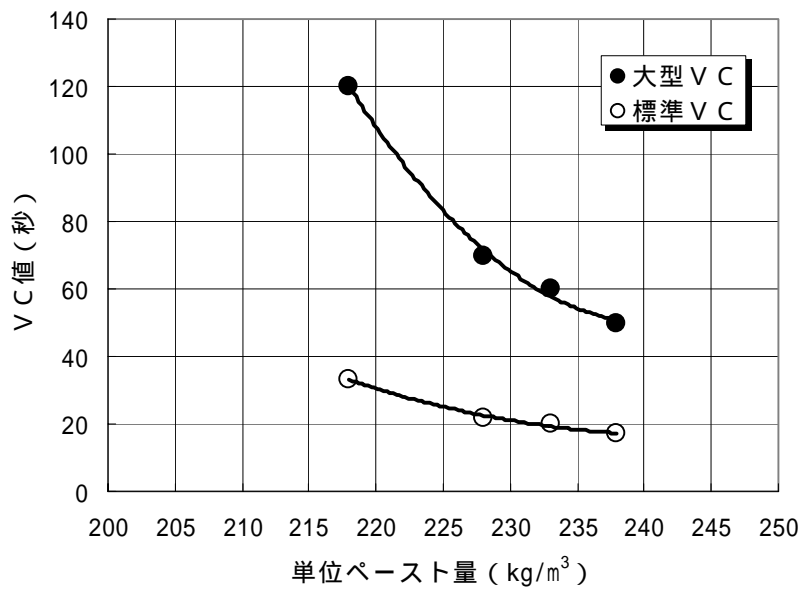


図 2.2.6 単位ペースト量とVC値 (W/C = 81.7%、s/a = 37%) ()

(5) 試験ケース

細骨材の中の粒度分布変化試験の試験ケースを表 2.2.3 に示す。この表において、基本ケースは表 2.2.2 に示した基本配合によって試験を実施するものである。変動ケースは、3分級した細骨材の粒径別百分率を変動させるもので、各細骨材率ごとに9ケース設定した。なお、単位ペースト量は各細骨材率ごとに基本ケースと同じとした。

各試験ケースの細骨材の粒径別分布および細骨材の粒度分布を表 2.2.3～表 2.2.4 および図 2.2.7～図 2.2.12 に示す。

表 2.2.3 試験ケースと各ケースの粒径別百分率 ()

ケース		細骨材率 (%)	粒径別百分率 (%)			試験項目
			S 1 (5~1.2mm)	S 2 (1.2~0.3mm)	S 3 (0.3mm以下)	
基本 ケース	基本 1	30				<ul style="list-style-type: none"> ・ V C 試験 ・ 標準供試体試験 ・ 大型供試体試験
	基本 2	23	33.3	33.3	33.3	
	基本 3	37				
変動 ケース	S1 変動	S1-1	100.0	0.0	0.0	
		S1-2	66.7	16.7	16.7	
		S1-3	0.0	50.0	50.0	
	S2 変動	S2-1	0.0	100.0	0.0	
		S2-2	16.7	66.7	16.7	
		S2-3	50.0	0.0	50.0	
	S3 変動	S3-1	0.0	0.0	100.0	
		S3-2	16.7	16.7	66.7	
		S3-3	50.0	50.0	0.0	

表 2.2.4 細骨材の粒径別分布 ()

粒度区分	細骨材粒度比率 (%)			粒径別分布率 (%)					
	S1	S2	S3	0.15以下	0.15~0.3	0.3~0.6	0.6~1.2	1.2~2.5	2.5~5.0
基準	33.3	33.3	33.3	13.7	19.6	18.0	15.4	22.0	11.3
S1-1	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	66.0	34.0
S1-2	66.7	16.7	16.7	6.7	10.0	9.0	7.6	44.0	22.7
S1-3	0.0	50.0	50.0	20.3	29.7	27.0	23.0	0.0	0.0
S2-1	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	54.0	46.0	0.0	0.0
S2-2	16.7	66.7	16.7	6.7	10.0	36.0	30.6	11.0	5.7
S2-3	50.0	0.0	50.0	20.3	29.7	0.0	0.0	33.0	17.0
S3-1	0.0	0.0	100.0	41.0	59.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S3-2	16.7	16.7	66.7	27.3	39.4	9.0	7.6	11.0	5.7
S3-3	50.0	50.0	0.0	0.0	0.0	27.0	23.0	33.0	17.0

表 2.2.5 細骨材の粒度分布 ()

粒度区分	粒度分布 (%)						
	0.1	0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5
標準	0.0	13.7	33.3	51.3	66.7	88.7	100.0
S1-1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	66.0	100.0
S1-2	0.0	6.7	16.7	25.7	33.3	77.3	100.0
S1-3	0.0	20.3	50.0	77.0	100.0	100.0	100.0
S2-1	0.0	0.0	0.0	54.0	100.0	100.0	100.0
S2-2	0.0	6.7	16.7	52.7	83.3	94.3	100.0
S2-3	0.0	20.3	50.0	50.0	50.0	83.0	100.0
S3-1	0.0	41.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
S3-2	0.0	27.3	66.7	75.7	83.3	94.3	100.0
S3-3	0.0	0.0	0.0	27.0	50.0	83.0	100.0

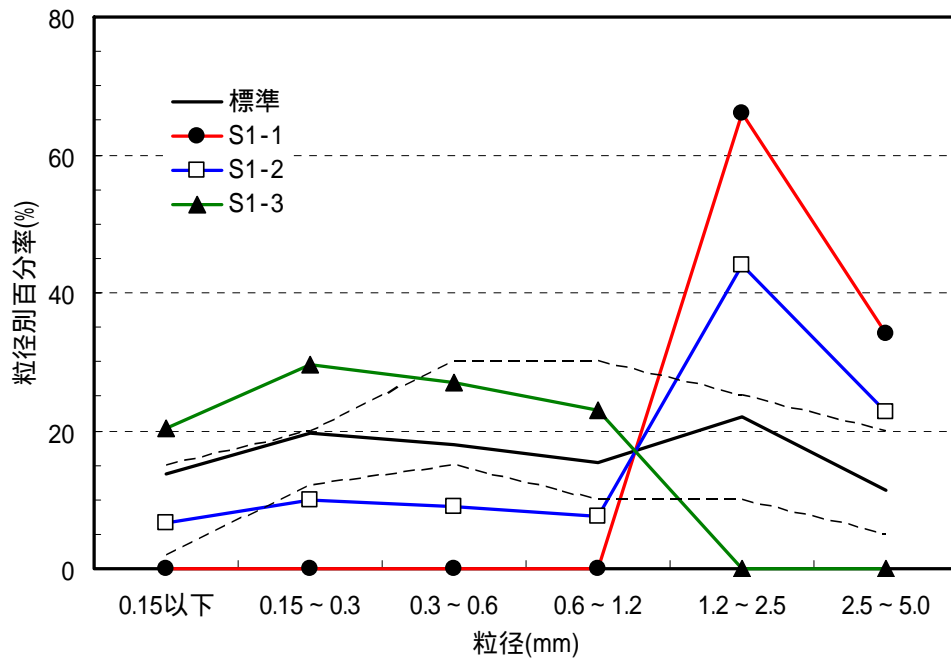


図 2.2.7 細骨材の粒径別分布曲線 (S 1 - 1 ~ S 1 - 3) ()

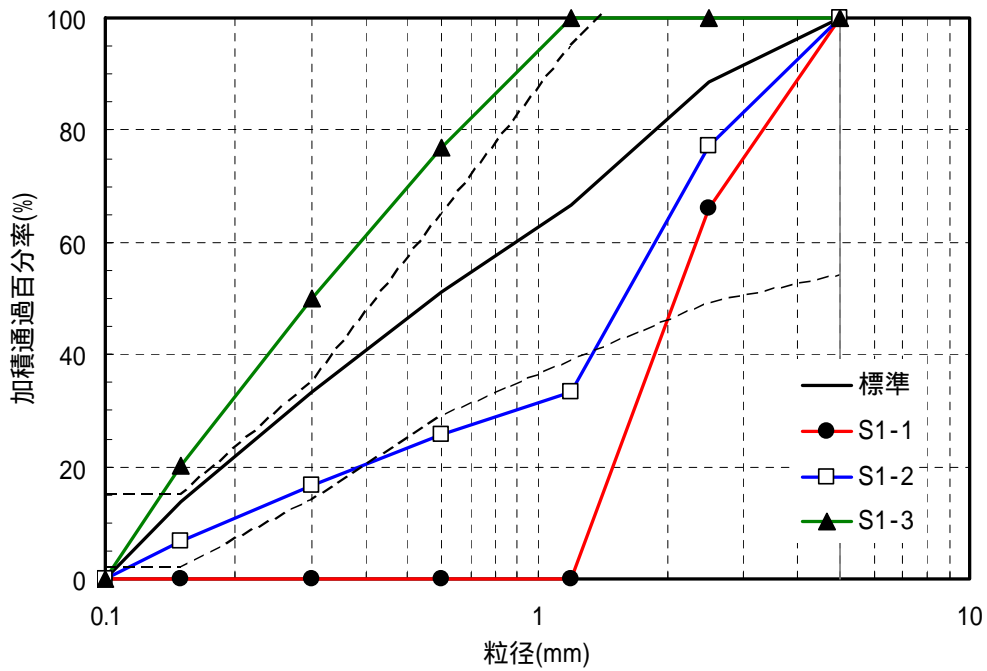


図 2.2.8 細骨材の粒度分布曲線 (S 1 - 1 ~ S 1 - 3) ()

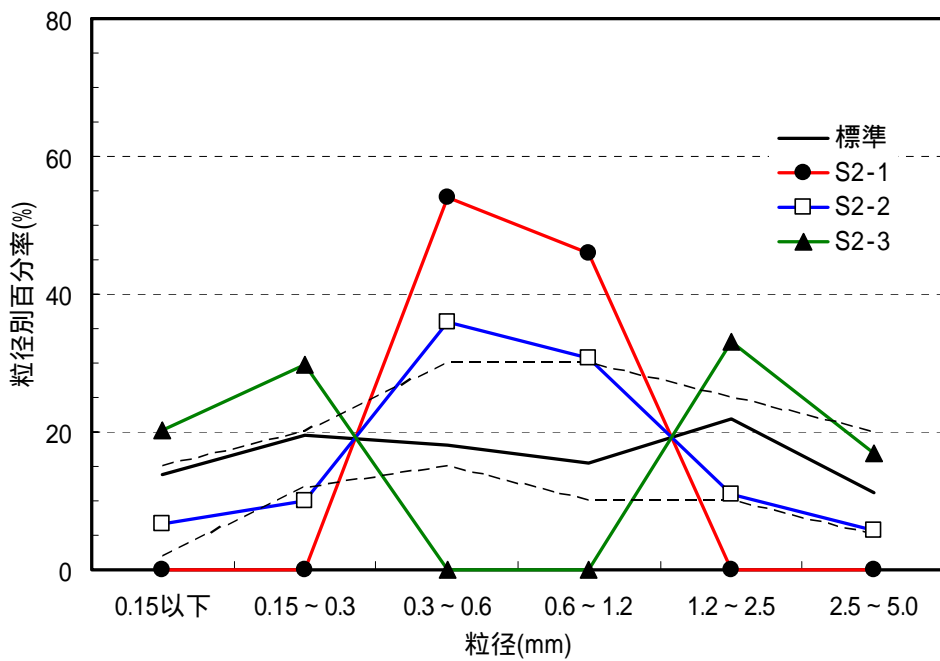


図 2.2.9 細骨材の粒径別分布曲線 (S 2 - 1 ~ S 2 - 3) ()

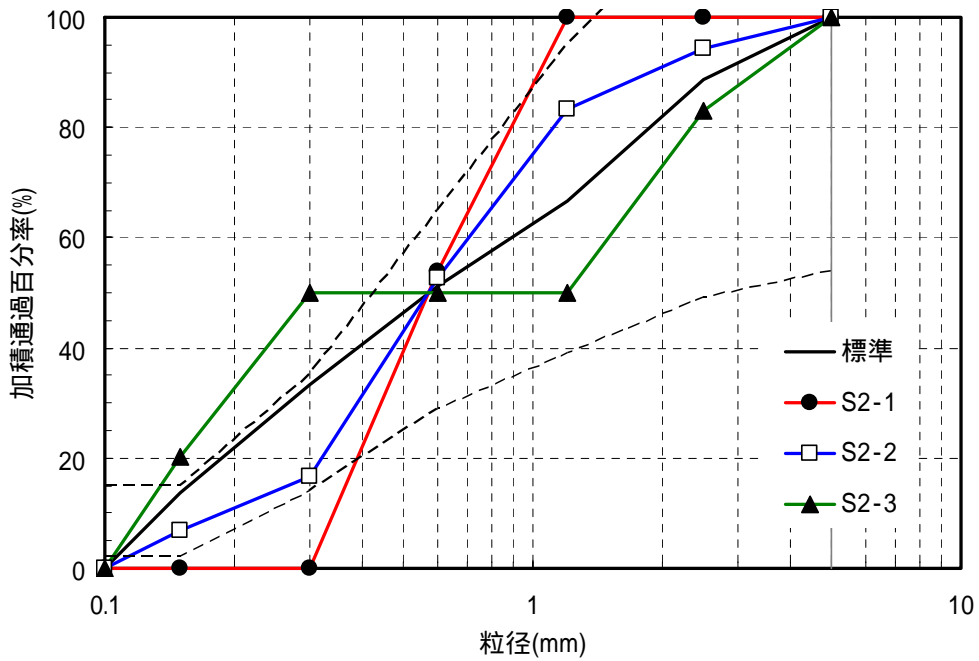


図 2.2.10 細骨材の粒度分布曲線 (S 2 - 1 ~ S 2 - 3) ()

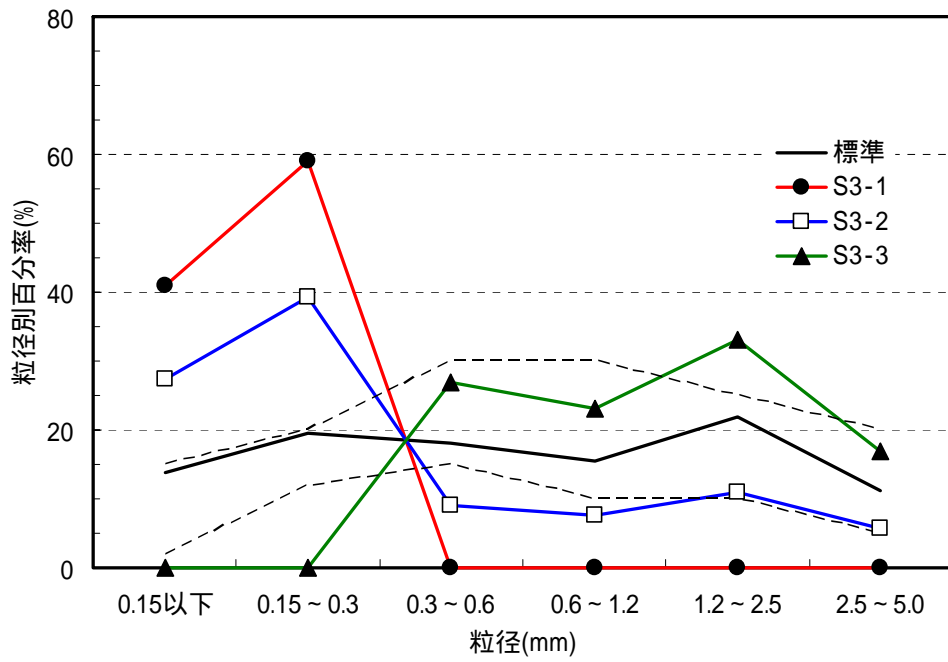


図 2.2.11 細骨材の粒径別分布曲線 (S 3 - 1 ~ S 3 - 3) ()

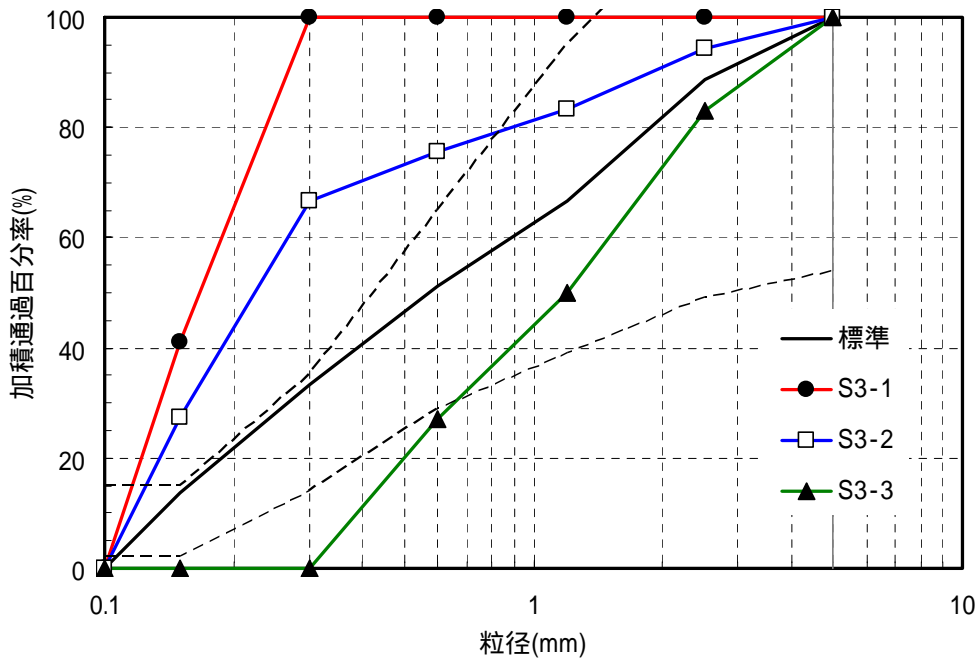


図 2.2.12 細骨材の粒度分布曲線 (S 3 - 1 ~ S 3 - 3) ()

(6) 試験結果

1) 細骨材粒度と V C 値

試験結果一覧表を表 2.2.6 に示す。この表から、細骨材がそれぞれ S 1、S 2、S 3 の単一粒度からなるケースである S 1 - 1、S 2 - 1、S 3 - 1 では、大型 V C 値、標準 V C 値ともに測定できたのは細骨材率 23% の S 2 - 1 だけであった。このことから、細骨材粒度が単一粒度だけに偏ると、適切なコンシステンシーが得られないと言える。また、細骨材率が大きいほど、大型 V C 値、標準 V C 値ともに、試験を行ってもペーストが上がってこないため計測できないケースが多くみられた。

表 2.2.6 試験結果 ()

細骨材率 (%)	粒度区分	細骨材粒度比率 (%)			粗粒率 F M	均等係数 U c	ペースト細骨材空隙比	大型 V C 値 (秒)	標準 V C 値 (秒)
		S 1	S 2	S 3					
30	基本 1	33.3	33.3	33.3	2.46	7.70	1.29	60	20
	S1-1	100	0	0	4.34	1.70	0.86	×	×
	S1-2	66.7	16.7	16.7	3.40	9.97	1.33	80	30
	S1-3	0	50	50	1.53	4.20	0.96	165	50
	S2-1	0	100	0	2.46	1.91	0.84	×	×
	S2-2	16.7	66.7	16.7	2.46	3.72	1.14	100	32
	S2-3	50	0	50	2.47	16.30	1.30	65	22
	S3-1	0	0	100	0.59	2.68	0.67	×	×
	S3-2	16.7	16.7	66.7	1.53	3.26	0.99	120	35
S3-3	50	50	0	3.40	3.88	1.11	×	53	
23	基本 2	33.3	33.3	33.3	2.46	7.70	1.77	60	20
	S1-1	100	0	0	4.34	1.70	1.19	×	×
	S1-2	66.7	16.7	16.7	3.40	9.97	1.82	65	19
	S1-3	0	50	50	1.53	4.20	1.32	65	23
	S2-1	0	100	0	2.46	1.91	1.15	100	33
	S2-2	16.7	66.7	16.7	2.46	3.72	1.57	60	20
	S2-3	50	0	50	2.47	16.30	1.79	55	19
	S3-1	0	0	100	0.59	2.68	0.92	×	87
	S3-2	16.7	16.7	66.7	1.53	3.26	1.36	75	24
S3-3	50	50	0	3.40	3.88	1.53	85	30	
37	基本 3	33.3	33.3	33.3	2.46	7.70	1.13	60	20
	S1-1	100	0	0	4.34	1.70	0.76	×	×
	S1-2	66.7	16.7	16.7	3.40	9.97	1.16	70	27
	S1-3	0	50	50	1.53	4.20	0.84	×	102
	S2-1	0	100	0	2.46	1.91	0.74	×	×
	S2-2	16.7	66.7	16.7	2.46	3.72	1.00	130	38
	S2-3	50	0	50	2.47	16.30	1.14	65	22
	S3-1	0	0	100	0.59	2.68	0.59	×	×
	S3-2	16.7	16.7	66.7	1.53	3.26	0.87	×	155
S3-3	50	50	0	3.40	3.88	0.97	×	×	

注)「×」: V C 試験を行ってもセメントペーストが表面に一樣に上がらない「V C 値測定不能状態」をいう。

V C 値が 140 秒を超えるものは、試験結果の精度がよくないと考えられ、グラフにプロットしないこととした。

粒径別百分率とV C 値の関係

細骨材率 30%におけるS 1 ~ S 3 粒径骨材の粒径別百分率とV C 値の関係を図 2.2.13 ~ 図 2.2.15 に示す。なお、粒度区分S 1 - 3 (大型V C 値 165 秒)のデータについては、大型V C 値を精度良く計測できる限界としては140 秒程度までと考えられることから、同図のとりまとめから除外した。

これらの図から、以下のことが言える。

- ・ S 1 粒径骨材の粒径別百分率とV C 値の関係は、凹型曲線となる。適切なV C 値の範囲を大型V C 値 60 ± 20 秒とすると、適切なV C 値を得るためのS 1 粒径骨材の粒径別百分率の範囲は約 27% ~ 65% となった。
- ・ S 2 粒径骨材の粒径別百分率とV C 値の関係においては、S 2 粒径骨材の粒径別百分率が 0% であっても適切なV C 値を得ることができ、S 2 粒径骨材の粒径別百分率が大きくなるほどV C 値が大きくなる傾向を示した。適切なV C 値を得るための範囲は不明確であると言える。
- ・ S 3 粒径骨材の粒径別百分率とV C 値の関係は、凹型曲線となる。適切なV C 値を得るためのS 3 粒径骨材の粒径別百分率の範囲は約 21% ~ 55% となった。

細骨材率が 23%、37% におけるS 1 ~ S 3 の粒径骨材の粒径別百分率と大型V C 値の関係を、細骨材率 30% の場合と比較したものを図 2.2.16 ~ 図 2.2.18 に示す。

これらの図から、S 1、S 2、S 3 粒径骨材の粒径別百分率とV C 値の関係は、細骨材率 23%、37% の場合も細骨材率 30% と同様の傾向を示しているが、細骨材率が大きくなるほど、同一粒径別百分率ではV C 値が大きく、V C 値も変化が大きい。逆に、細骨材率が小さいほどV C 値が小さく、V C 値の変化も小さい。

以上のように、細骨材の中の粒度分布を粒径別百分率で表し、それらが様々に変化する場合はV C 値との関係を把握することで、実施工において細骨材の中の粒度分布が変化しても十分な施工性を有するCSGを製造するための対処方法を検討することは可能と考えられる。しかし、表 2.2.6 に示すような試験を全て実施することは、極めて煩雑と考えられる。

そこで、細骨材の中の粒度分布についての他の指標(粗粒率、均等係数、ペースト細骨材空隙比)でV C 試験結果を整理し、粒径別百分率の場合よりも簡単にV C 値の傾向を説明できるかどうかについて検討する。

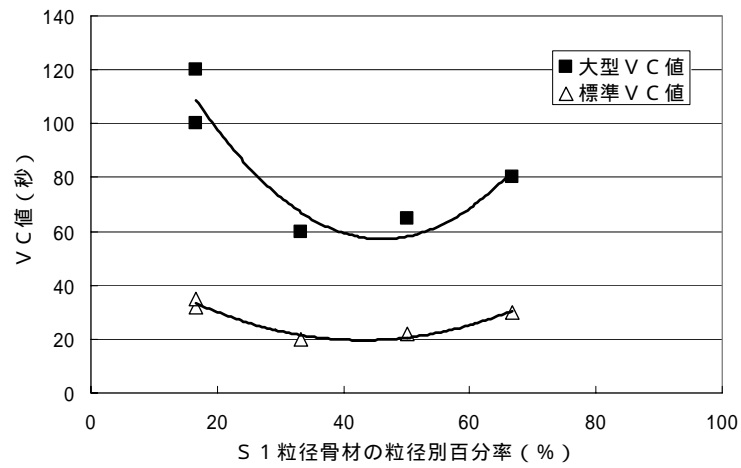


図 2.2.13 S 1 粒径骨材の粒径別百分率と V C 値の関係 (s/a=30%一定) ()

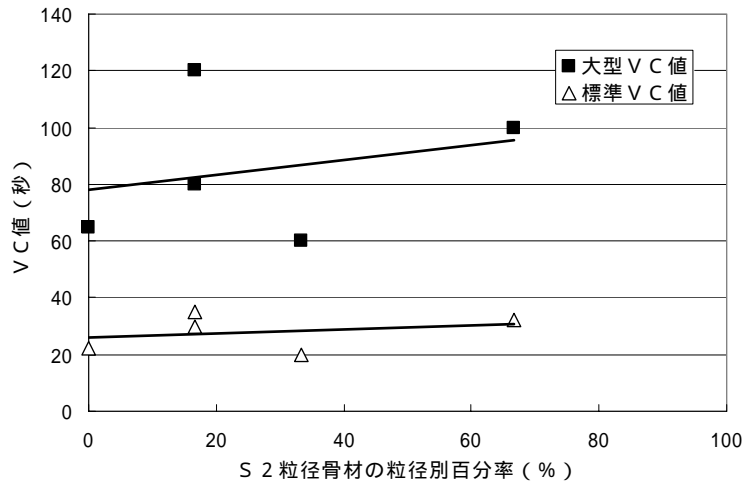


図 2.2.14 S 2 粒径骨材の粒径別百分率と V C 値の関係 (s/a=30%一定) ()

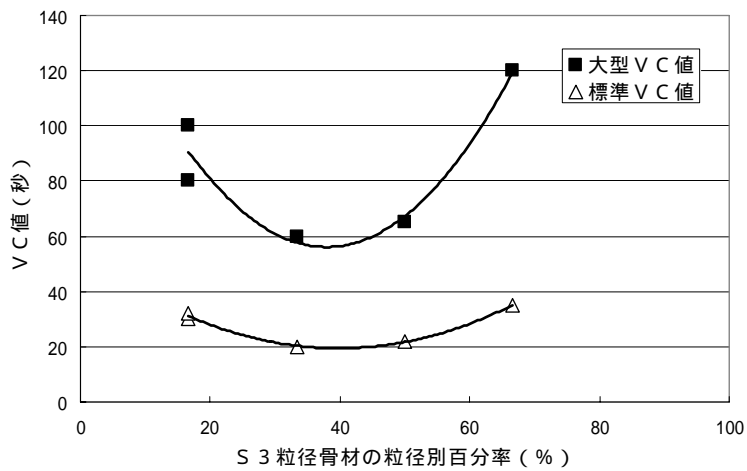


図 2.2.15 S 3 粒径骨材の粒径別百分率と V C 値の関係 (s/a=30%一定) ()

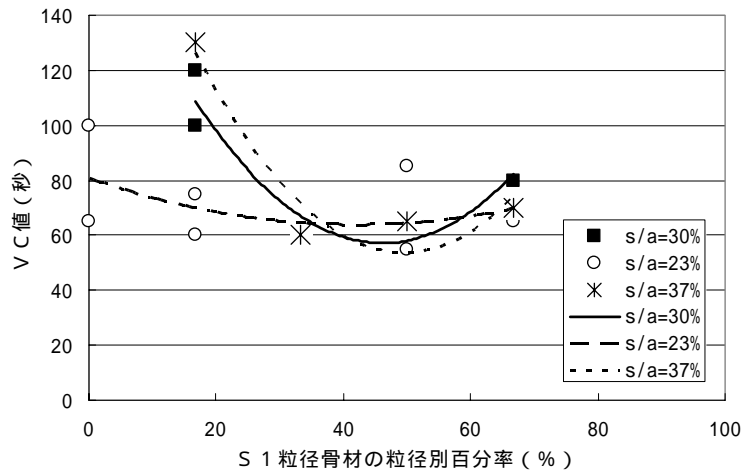


図 2.2.16 S 1 粒径骨材の粒径別百分率と大型 V C 値の関係 ()

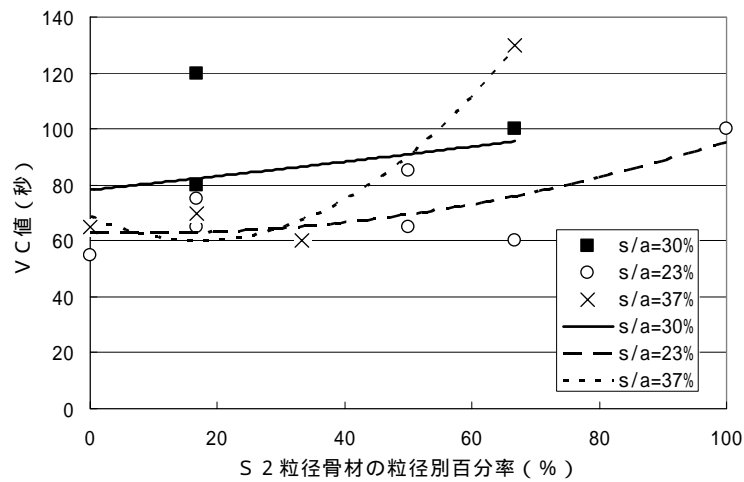


図 2.2.17 S 2 粒径骨材の粒径別百分率と大型 V C 値の関係 ()

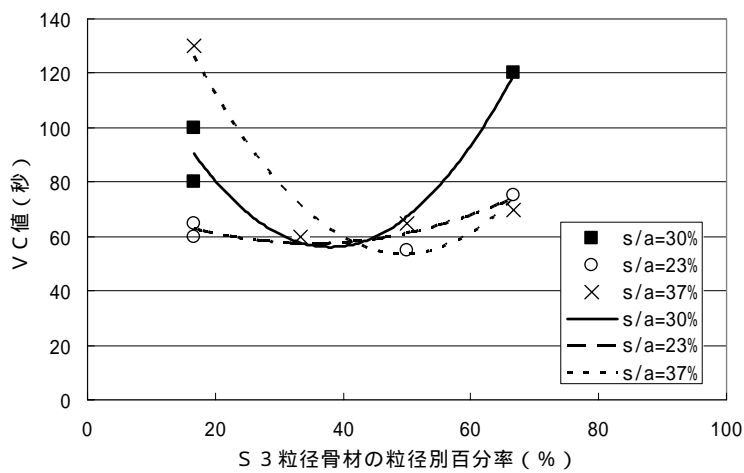


図 2.2.18 S 3 粒径骨材の粒径別百分率と大型 V C 値の関係 ()

粗粒率、均等係数、ペースト細骨材空隙比とV C値の関係

細骨材の粗粒率F Mと大型V C値の関係を図 2.2.19 に、均等係数 U_c と大型V C値の関係を図 2.2.20 に、ペースト細骨材空隙比 α と大型V C値の関係を図 2.2.21 に示す。なお、細骨材率37%については大型V C値の計測ができなかったケースが多かったことから、近似曲線を描いていない。

図 2.2.19 より、粗粒率F Mと大型V C値の關係に一定の傾向は見られない。これは、細骨材の粒度分布が異なっても、粗粒率が変わらないケースが存在するためである。

図 2.2.20 より、均等係数 U_c と大型V C値の關係は、概ね均等係数 U_c が8までは均等係数が大きくなるほど大型V C値は小さくなる傾向を示し、 U_c が8以上ではほぼ横ばいとなっている。また、細骨材率が大きいほど、 U_c の変化に対するV C値の変化が大きい傾向にある。

図 2.2.21 より、ペースト細骨材空隙比 α と大型V C値の關係は、 α が大きくなるほど大型V C値は小さくなる傾向にあり、 α が1.0以下になると大型V C値が120秒以上、もしくはV C値測定不能となり、フレッシュCSGが締め固めにくくなっていることがわかる。また、細骨材率が大きいほど、 α の変化に対するV C値の変化が大きい傾向にある。

図 2.2.20 のような關係が見られる原因は、細骨材の均等係数と細骨材の実積率との關係によるものである。細骨材の均等係数 U_c と細骨材の実積率との關係を図 2.2.22 に示す。この図より、 U_c が概ね8以上で細骨材の実積率として最大値が得られており、 U_c が8未満では細骨材の実積率が低下している。このことより、図 2.2.20 において U_c が8未満ではV C値が大きくなる傾向になるものと考えられる。

以上より、細骨材の粒度が変化した場合のCSGのV C値の評価は、細骨材の粗粒率F Mよりも均等係数 U_c およびペースト細骨材空隙比 α が有効であることが明らかとなった。また、細骨材の粒度変化がCSGのV C値に及ぼす影響は、細骨材率が大きいほどその影響が大きいことが明らかになった。

これらの指標（細骨材の均等係数 U_c 、ペースト細骨材空隙比 α 、細骨材率 s/a ）とV C値との關係を統一的に導くことの試みとして、表 2.2.6 で大型V C値が計測できたケースについて、 $U_c \cdot \alpha / (s/a)$ と大型V C値との關係を整理したものを図 2.2.23 に示す。これより、両者には明快な關係が得られているように思われる。しかし、これを図 2.2.3～図 2.2.6 の基本配合選定試験の場合に適用したものを、図 2.2.24 に示す。この図からは、細骨材率ごとにデータが分散し、明快な傾向が見られないものとなった。これは、V C値に対してはモルタル粗骨材空隙比 β （式 2.2.3 参照）も大きく影響すると考えられるが、これを考慮に入れていないためと考えられる。

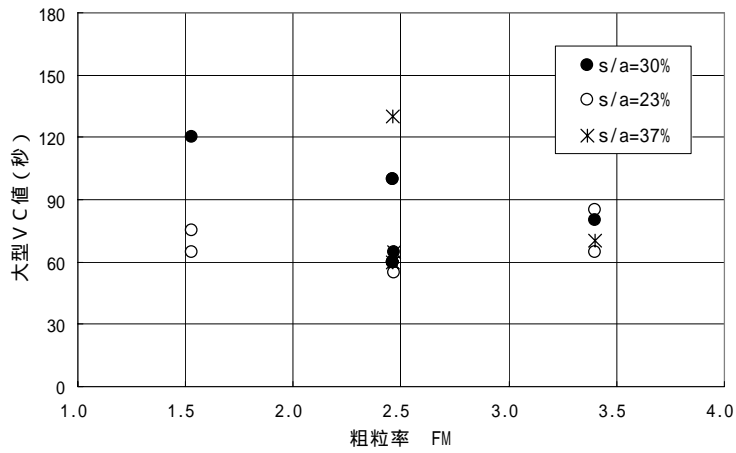


図 2.2.19 粗粒率と大型VC値 ()

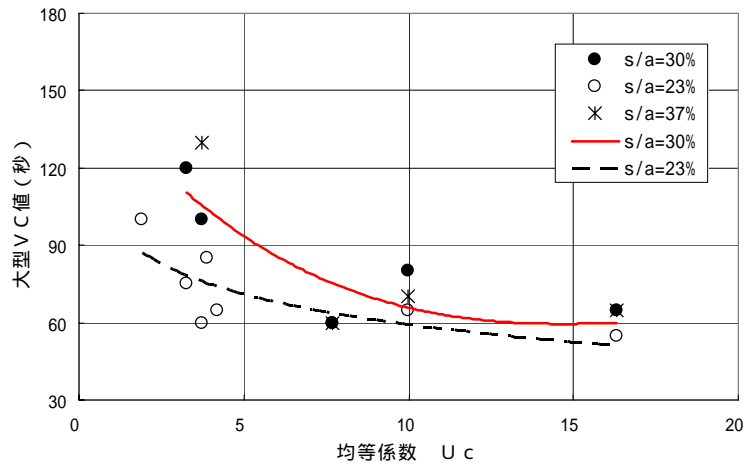


図 2.2.20 均等係数と大型VC値 ()

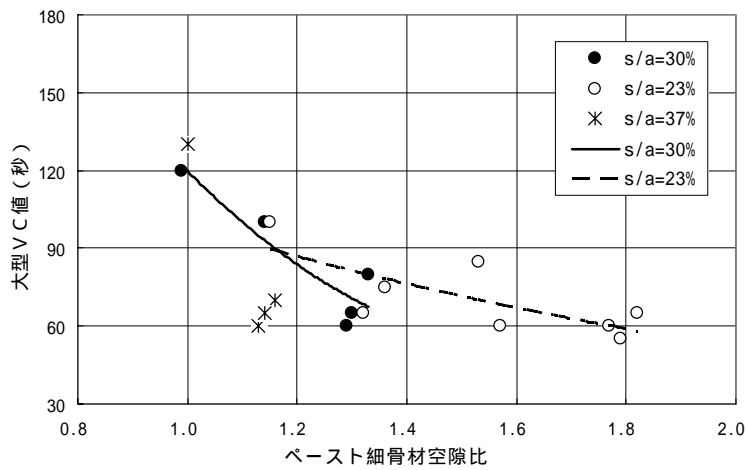


図 2.2.21 ペースト細骨材空隙比 α と大型VC値 ()

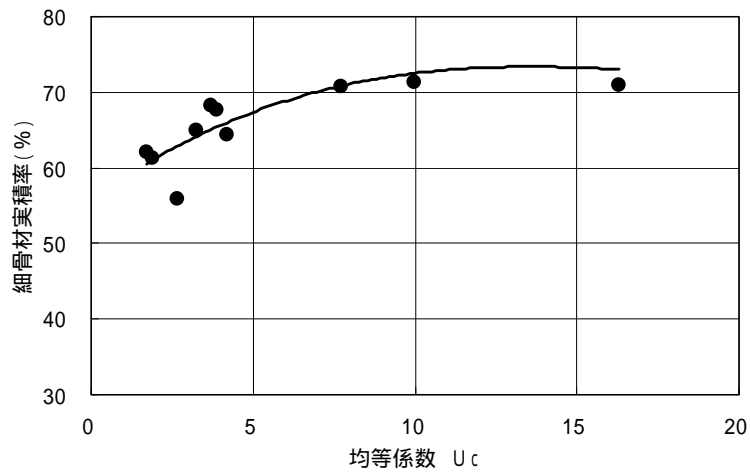


図 2.2.22 細骨材の均等係数と実積率の関係 ()

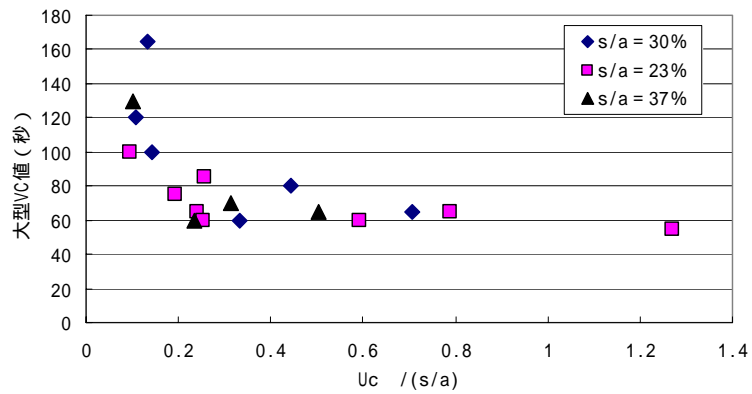


図 2.2.23 $U_c \cdot \alpha / (s/a)$ と大型 VC 値との関係 (表 2.2.6 の結果について)

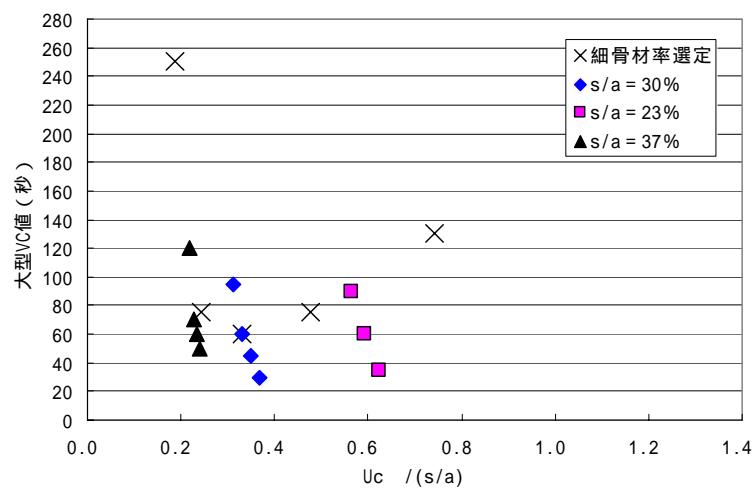


図 2.2.24 $U_c \cdot \alpha / (s/a)$ と大型 VC 値との関係 (図 2.2.3 ~ 図 2.2.6 の結果について)

2) 細骨材粒度と供試体の評価点、密度比、圧縮強度

C S Gのフレッシュ性状評価の指標として、均等係数 U_c およびペースト細骨材空隙比 α が有効であることが判明したことを踏まえ、大型供試体試験のコア評価点、コア密度比、圧縮強度についても同様に、均等係数およびペースト細骨材空隙比 α を用いて評価したものを図2.2.25～図2.2.30に示す。

ここで、コア評価点とは、表2.2.7に示す供試体の外観観察結果に基づいて与えるものである。密度比とは、供試体の単位容積質量を、理論配合上の単位容積質量（空気量を無視）で除したものである。（密度比＝100%は、空隙が無いことを意味する。）

表2.2.7 供試体の外観評価基準（ ）

区 分	供試体の外観	評価点
良 (A)	表面が緻密である	5
ほぼ良 (B)	表面がややポーラスな部分、砂分が現れている部分がある	4
やや不良 (C)	表面がポーラスな部分、モルタル分がはげ落ちている部分がある	3
不 良 (D)	モルタルが粗骨材のまわりにゆきわたらず、豆板状の部分がある	2
極めて不良(E)	粗骨材がばらばらでC S Gとしての外観を呈していない部分がある	1

図2.2.25～図2.2.27より、細骨材の均等係数 U_c が8程度までは、均等係数が大きくなるほどコア評価点、密度比、圧縮強度が大きくなる傾向を示し、 U_c が8以上ではほぼ横ばいとなっている。

図2.2.28～図2.2.30より、ペースト細骨材空隙比 α が大きくなるほどコア評価点、密度比、圧縮強度が高くなる。 α が1.0以上になるとコア密度比は96%以上となり、良好な締め固め密度が得られていることがわかる。

U_c は細骨材の粒度分布のみを示す指標であるのに対し、 α はその試験ケースの配合における単位ペースト量の多少を含んだ指標である。したがって、 α が大きくなるほど単位ペースト量が大きくなり、締め固めが良好になるものと考えられる。

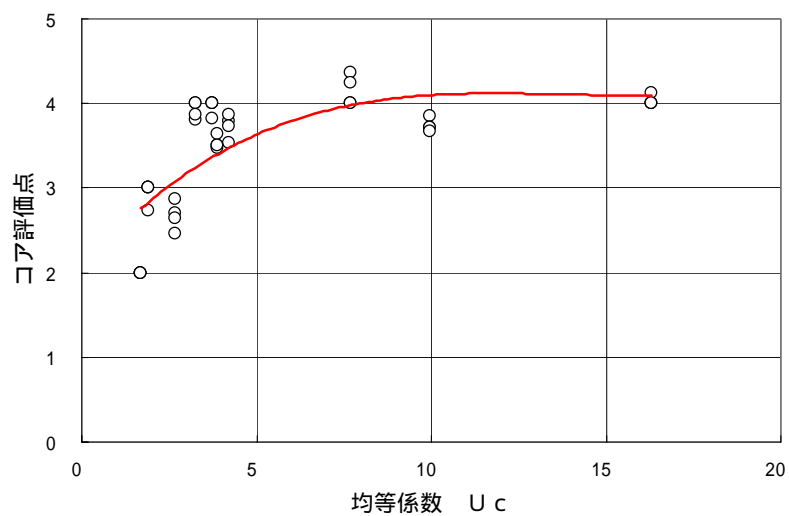


図 2.2.25 均等係数 U_c とコア評価点 ($s/a=30\%$ 一定) ()

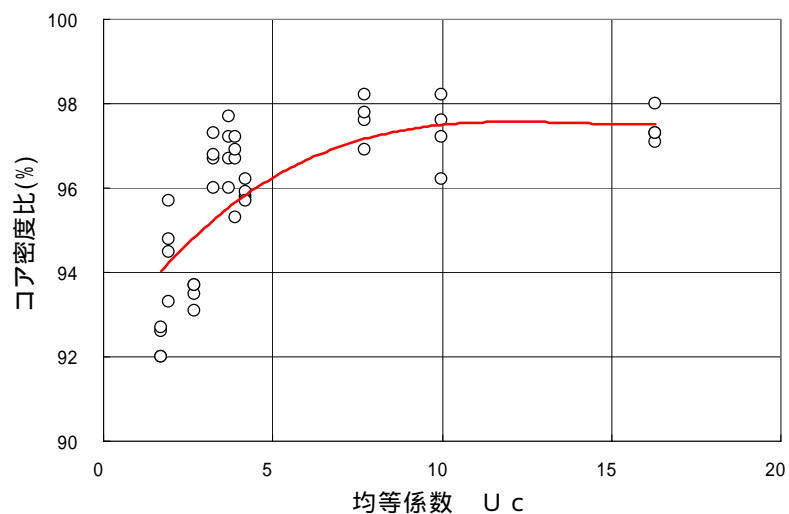


図 2.2.26 均等係数 U_c とコア密度比 ($s/a=30\%$ 一定) ()

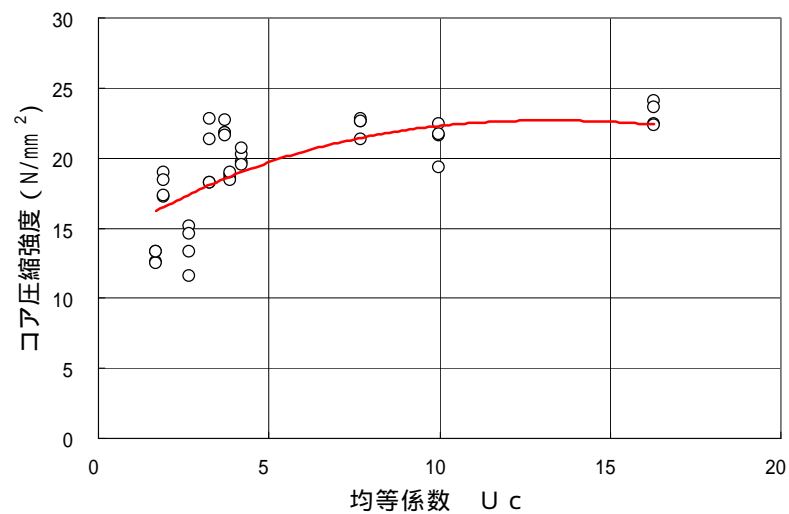


図 2.2.27 均等係数 U_c とコア圧縮強度 ($s/a=30\%$ 一定) ()

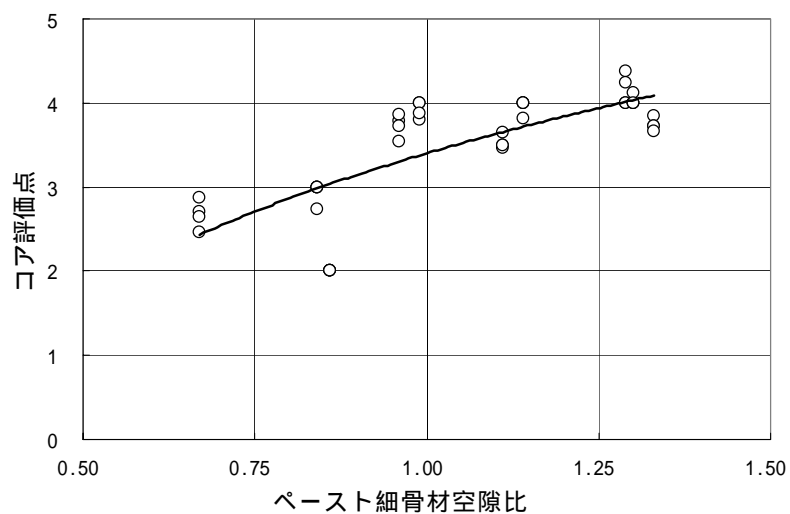


図 2.2.28 ペースト細骨材空隙比 α とコア評価点 ($s/a=30\%$ 一定) ()

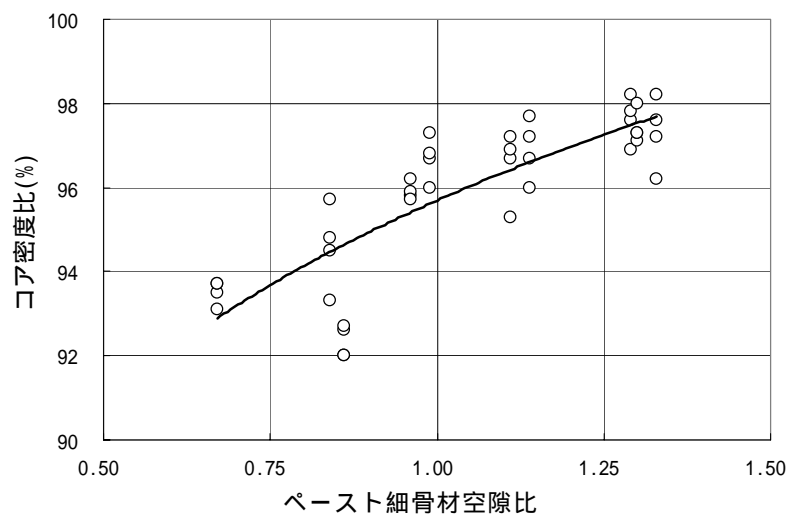


図 2.2.29 ペースト細骨材空隙比 α とコア密度比 ($s/a=30\%$ 一定) ()

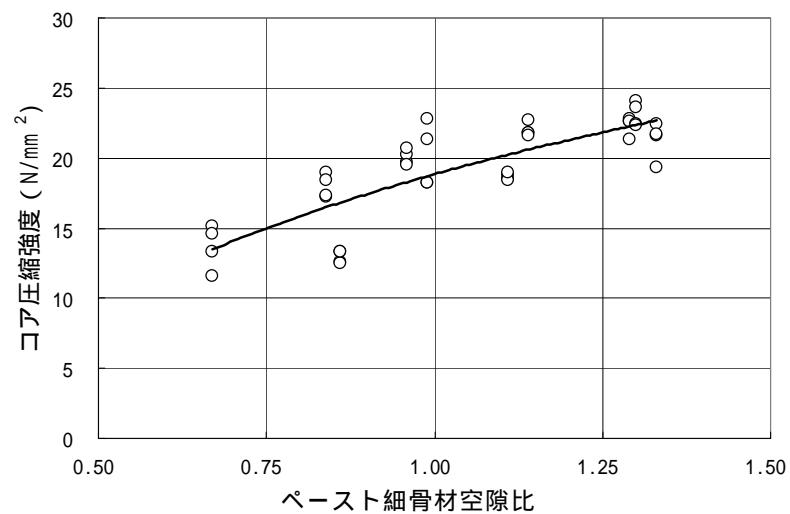


図 2.2.30 ペースト細骨材空隙比 α とコア圧縮強度 ($s/a=30\%$ 一定) ()

次に、標準供試体における、均等係数と圧縮強度の関係を図 2.2.31 に、ペースト細骨材空隙比 α と圧縮強度の関係を図 2.2.32 に示す。

これらの図より、細骨材の均等係数 U_c が 8 程度までは均等係数が大きくなるほど圧縮強度も大きくなる傾向を示し、 U_c が 8 以上ではほぼ横ばいとなっている。また、ペースト細骨材空隙比 α の場合は、 α の増加にともない圧縮強度は増加する傾向を示している。これらの傾向は、コア供試体における傾向（図 2.2.27、図 2.2.30）と同様である

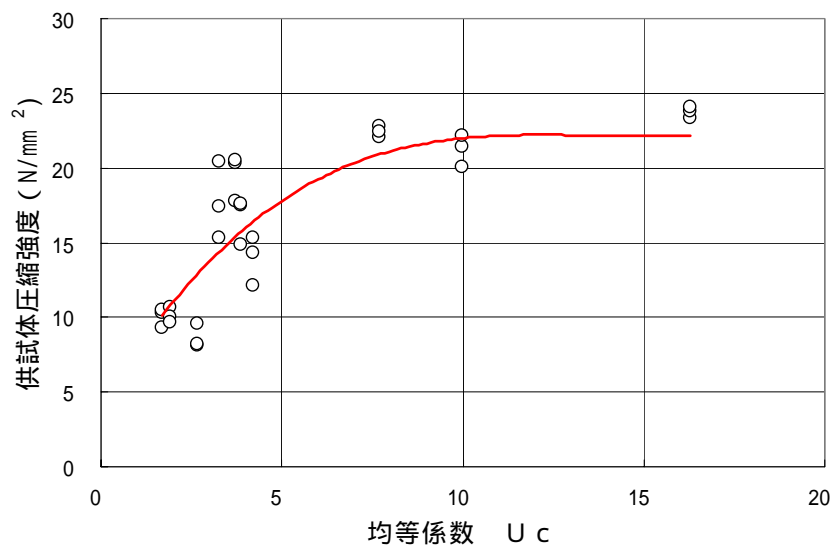


図 2.2.31 均等係数 U_c と供試体圧縮強度 ($s/a=30\%$ 一定) ()

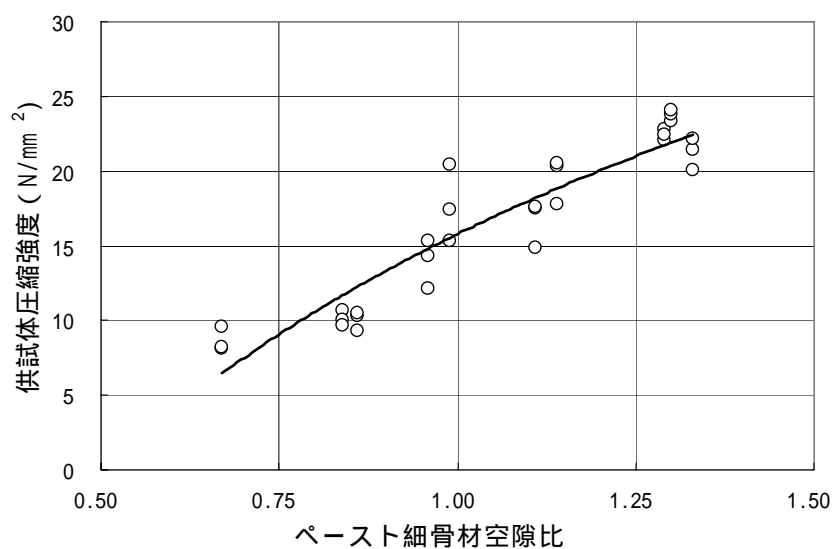


図 2.2.32 ペースト細骨材空隙比 α と供試体圧縮強度 ($s/a=30\%$ 一定) ()

3) コア密度比とコア圧縮強度の関係

参考として、この試験から得られたコア密度比とコア圧縮強度の関係を図 2.2.33 に示す。この図より、コア密度比とコア圧縮強度の間には比例関係が成り立つといえる。したがって、CSGの締固め密度は、強度管理を行う上での有効な指標になるものと言える。

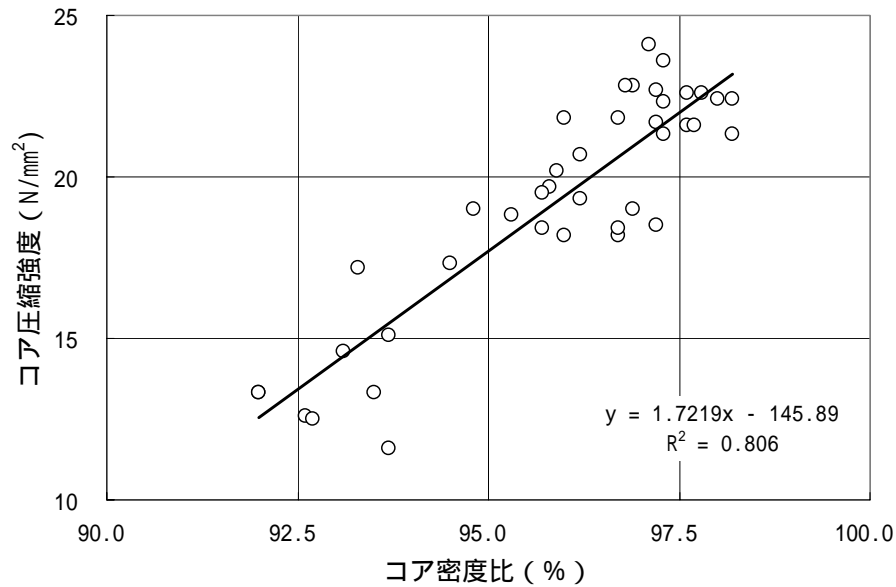


図 2.2.33 コア密度比とコア圧縮強度 ()

4) 標準供試体圧縮強度と採取コア圧縮強度の関係

参考として、この試験から得られた標準供試体圧縮強度とコア圧縮強度の関係を、図 2.2.34 に示す。両者には比例関係があることが見受けられる。

なお、コア圧縮強度の方が標準供試体圧縮強度よりも高い傾向となっている。これは、大型供試体作製装置と標準供試体作製装置の締め固めエネルギーの違いによるものである。参考文献²⁾によれば、大型供試体作製装置で締め固めた大型供試体の圧縮強度と、標準供試体作製装置で 40 秒間（本試験では 40 秒間）締め固めて作製した標準供試体の圧縮強度を比較すると、大型供試体試験の圧縮強度が大きくなるが、標準供試体作製装置の締め固め時間を 60 秒間とすると、両者の圧縮強度は一致するとされている。

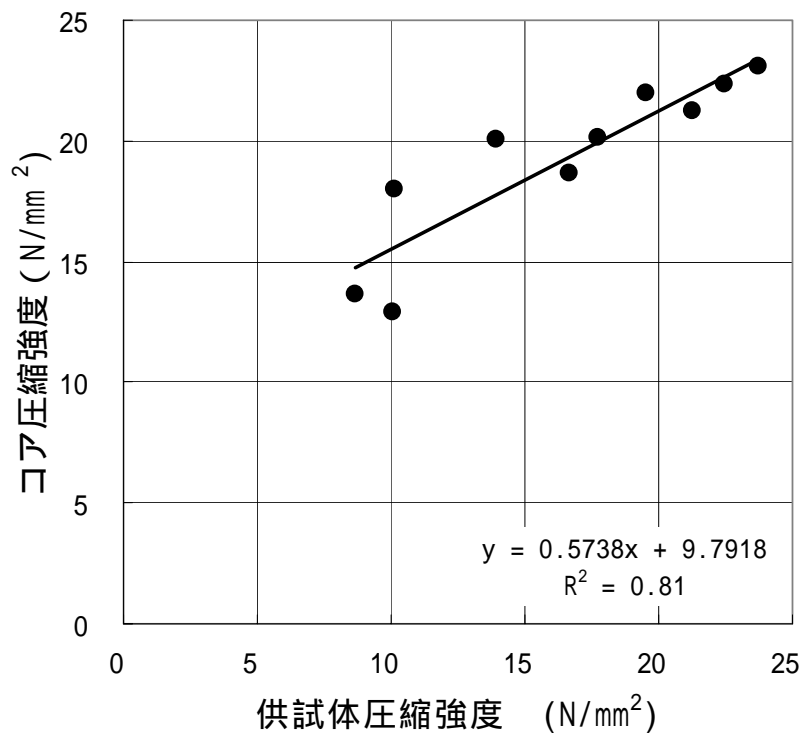


図 2.2.34 供試体圧縮強度とコア圧縮強度 ()

(7) まとめ

細骨材の中の粒度分布の変化(細骨材 5~0mm を 5~1.2mm、1.2~0.3mm、0.3~0mm に 3 分級)が C S G のフレッシュ性状および強度等に与える影響について試験を実施した。その結果、以下のことがわかった。

細骨材粒度が単一粒度(1分級)だけに偏ると、適切な V C 値が得られにくくなる。

細骨材率が大きくなるほど、細骨材の粒度の変化が V C 値に及ぼす影響が大きい。

適切な V C 値を得るためには、5~1.2mm と 0.3mm 以下の分級骨材が適切な範囲(5~1.2mm : 27~65%、0.3mm 以下 : 21~55%)に入っていないなければならない。

細骨材の均等係数 U_c が 8 までは U_c が大きくなるほど V C 値は小さくなる傾向を示し、 U_c が 8 以上となると V C 値はほぼ横ばいとなった。また、ペースト細骨材空隙比 α については、 α が大きくなるほど V C 値は小さくなる傾向を示した。このことから、細骨材の粒度が変化する場合の C S G の V C 値の評価には、 U_c および α が有効な指標となり得る。

均等係数 U_c が 8 までは U_c が大きくなるほど密度比、圧縮強度は高くなる傾向を示し、 U_c が 8 以上となると密度比、圧縮強度はほぼ横ばいとなった。また、ペースト細骨材空隙比 α については、 α が大きくなるほど密度比、圧縮強度は高くなる傾向を示した。

大型供試体のコア密度比とコア圧縮強度には比例関係が認められる。したがって C S G の圧縮強度を予測するうえにおいて、密度比は有効な予測手段であると言える。

以上の知見より、C S G の施工において C S G の V C 値を管理する場合、次のような方法で対処することが考えられる。

- ・ 「2.1.1 分級骨材の単位量変化試験(その1)(7)まとめ」で述べたとおりの基本配合を定める試験や、C S G 材の粒度分布が基本粒度と異なる場合での試験を実施する。
- ・ C S G 材の粒度分布が基本粒度と異なる場合において、細骨材の中の粒度分布の違いにも着目し、均等係数やペースト細骨材空隙比を算出して、図 2.2.20 や図 2.2.21 に示されるような V C 値との関係を整理する。
- ・ 実際の施工において、細骨材の中の粒度分布を適切な頻度で試験し、それが基本粒度と異なる場合には図 2.2.20 に示すような関係から、均等係数が十分な値を確保できているかどうかを確認する(この検討における C S G 材の場合には、 U_c 8)。また、図 2.2.21 に示すような関係から、適切な V C 値が得られるような単位ペースト量の増減を検討する。

なお、この検討では細骨材の中の粒度分布に着目したため、一般に R C D 用コンクリートの配合特性を表す指標として用いられるモルタル粗骨材空隙比 β に着目した整理を行っていない。しかし、V C 試験は粗骨材の空隙を満たしながらモルタルが上昇していく時間を計測するものであり、V C 値の大小に対して β も大きく影響するものと考えられる。したがって、図 2.2.20 や図 2.2.21 に示されるような細骨材の粒度特性と V C 値の関係に対して、 β を関わらせることによってより明快な関係を導き出せるものと考えられる。

2.3 骨材粒度特性の影響

骨材粒度の変化が、CSGのフレッシュ性状（指標としてVC値）や所要のVC値を確保するために必要な単位ペースト量に及ぼす影響について検討するために、粗骨材や細骨材における各分級骨材の単位量を変化させてVC試験を行った。この時の各分級骨材の単位量を変化させることによる粒径別百分率の変化範囲は、概ね示方書ダム編の標準粒度範囲以内とした。その結果、以下のことがわかった。

CSGのVC値は、骨材の粒度分布に影響を受ける。VC値に対する影響度合いは、粒径の小さい骨材ほど大きくなる。

所要のVC値を確保するために必要な単位ペースト量は、骨材の粒度分布に影響を受けるが、その影響度合いは細骨材率が最も大きい。細骨材率に比べると、粗骨材粒度の影響は小さい。

次に、粗骨材粒度の粒径別百分率が示方書ダム編の標準粒度範囲外まで変化した場合についてVC試験を行った。その結果、以下のことがわかった。

粗骨材の各分級骨材の粒径別百分率の変化が大きい場合においても（示方書ダム編の標準粒度範囲外となるほど変化しても）、VC値に与える影響は小さい。

粗骨材の粒径別百分率（細骨材率）の変化は、VC値に大きな影響を及ぼす。

また、細骨材の中の粒度分布の変化（細骨材5~0mmを5~1.2mm、1.2~0.3mm、0.3~0mmに3分級）がCSGのフレッシュ性状および強度等に与える影響について試験を実施した。その結果、以下のことがわかった。

細骨材粒度が単一粒度（1分級）だけに偏ると、適切なVC値が得られにくくなる。

細骨材率が大きくなるほど、細骨材の中の粒度変化がVC値に及ぼす影響が大きい。

適切なVC値を得るためには、5~1.2mmと0.3mm以下の分級骨材が適切な範囲（5~1.2mm：27~65%、0.3mm以下：21~55%）に入っていないなければならない。

細骨材の均等係数 U_c が8までは U_c が大きくなるほどVC値は小さくなる傾向を示し、 U_c が8以上となるとVC値はほぼ横ばいとなった。また、ペースト細骨材空隙比 α については、 α が大きくなるほどVC値は小さくなる傾向を示した。このことから、細骨材の粒度が変化する場合のCSGのVC値の評価には、 U_c および α が有効な指標となり得る。

均等係数 U_c が8までは U_c が大きくなるほど密度比、圧縮強度は高くなる傾向を示し、 U_c が8以上となると密度比、圧縮強度はほぼ横ばいとなった。また、ペースト細骨材空隙比 α については、 α が大きくなるほど密度比、圧縮強度は高くなる傾向を示した。

大型供試体のコア密度比とコア圧縮強度には比例関係が認められる。したがってCSGの圧縮強度を予測するうえにおいて、密度比は有効な予測手段であると言える。

これらをまとめると、CSGのフレッシュ性状は主にCSG材における細骨材率と細骨材の中の粒度分布に影響され、これを評価する指標として U_c および α が有効であると言える。また密度比や圧縮強度を確保するうえでも、 U_c や α での管理が有効であると考えられる。

-
- 1) 志水茂明、永山功：R C D用コンクリートの配合とその締固め特性、強度特性についての考察、ダム技術 No.34、1989.
 - 2) 永山功、渡辺和夫：標準供試体作製装置を用いたR C D用コンクリートの配合設計についての検討、コンクリート工学年次論文報告集、vol.18、No.1、1996.

3. ペースト量に関する検討（単位ペースト量による圧縮強度・引張強度への影響）

（1）検討目的と検討方法

CSGは単位セメント量が比較的少ないため、CSG材の粒度変化等によってCSG材の空隙に対しペースト量が不足することも考えられる。そのような場合には、CSGのVC値が大きくなり、締め固めにくくなることはもちろんであるが、それによって硬化CSGの性状が低下し、またばらつきが大きくなり、CSGの強度についてのひし形理論における想定されたばらつき（単位水量およびCSG材の粒度のばらつき）以外のばらつき要因を大きくしてしまう可能性がある。したがって、このようなペースト量の不足により、CSGの性状についてどの程度の性状の低下およびばらつきの増大が生じるかを把握する必要がある。

本検討では、適切なVC値が得られる基本配合から単位ペースト量を徐々に減じていった場合の、CSGのVC値、密度、強度等の各物性値の低下やばらつきの変化について試験を実施した。

（2）使用材料

この試験で用いた骨材は現地発生材ではなく、コンクリート用砕石・砕砂であり、試験に用いたCSGは、それらの骨材によって模擬的に製造したものである。

試験に用いた材料および材料の物性を表3.1.1に示す。また、細骨材の粒径別分布曲線を図3.1.1、粗骨材の粒径別分布曲線を図3.1.2に示す。粗骨材の基本粒度は図3.1.2に示すとおり、示方書ダム編の標準粒度範囲のほぼ中間値になるように設定した。

表 3.1.1 使用材料および物性（ ）

使用材料	種類および物性
セメント	中庸熱ポルトランドセメント (密度 = 3.21g/cm ³ 比表面積 = 3,360 cm ² /g)
混和剤	A E 減水剤 遅延形 (種)
細骨材 (5 ~ 0mm)	岩種：安山岩 (密度 = 2.65, 吸水率 = 1.86%, 粗粒率 = 2.49)
粗骨材 (mm)	岩種：安山岩
150-80	(密度 = 2.74, 吸水率 = 0.31%)
80-40	(密度 = 2.73, 吸水率 = 0.53%)
40-20	(密度 = 2.72, 吸水率 = 0.78%)
20-10	(密度 = 2.72, 吸水率 = 0.97%)
10-5	(密度 = 2.70, 吸水率 = 1.26%)

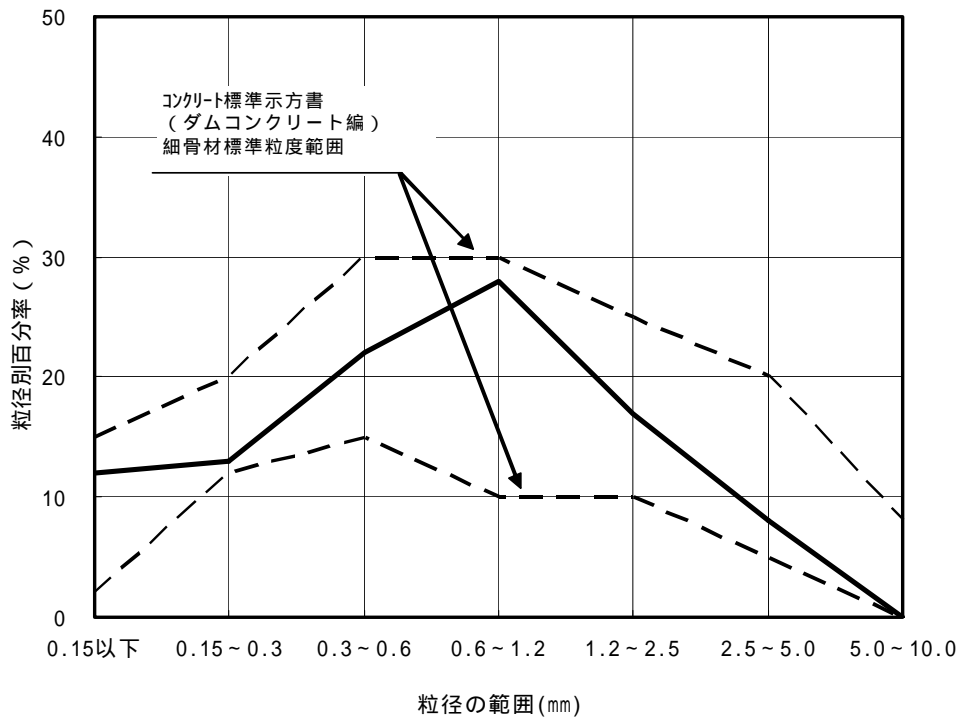


図 3.1.1 細骨材の粒径別分布曲線 ()

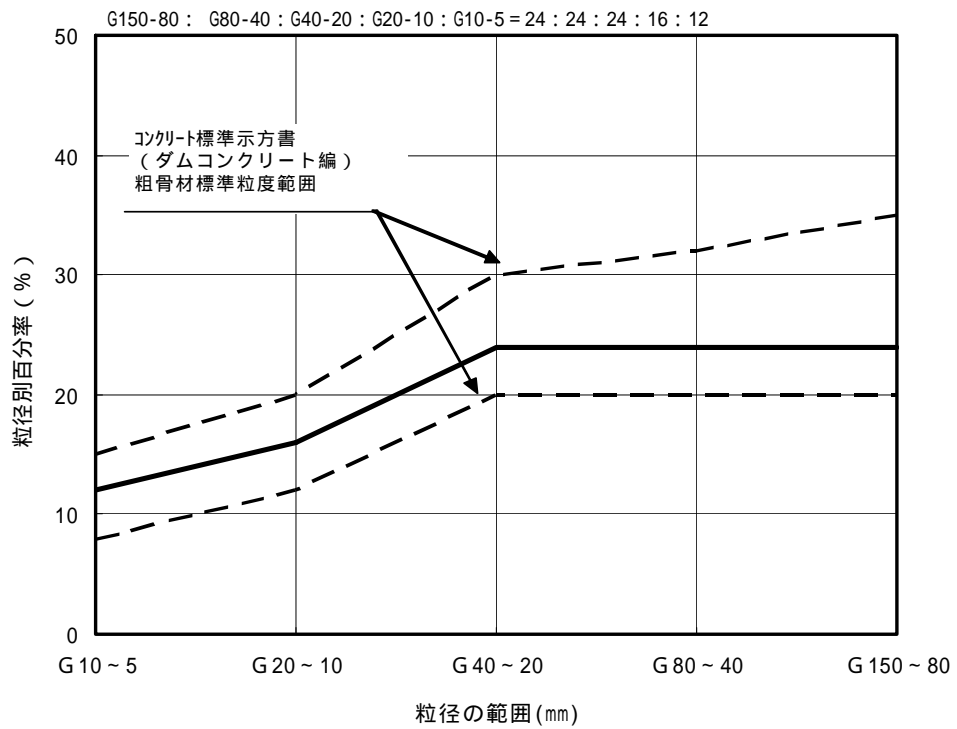


図 3.1.2 粗骨材の粒径別分布曲線 ()

(3) 試験項目および方法

この検討における試験項目および試験方法を以下に示す。

基本配合の選定試験

前章と同様、この試験に使用するCSG材において適切なVC値を確保するための最適な細骨材率および単位ペースト量を定める試験を実施し、基本配合を選定する。この試験では、基本配合としてW/C=98%（ケース1）およびW/C=150%（ケース2）の2つの配合を定める。

単位ペースト量変化試験

上記で定めた2種類の基本配合のそれぞれにおいて、単位ペースト量を徐々に減じたケースを設定してCSGを練り混ぜ、VC試験、標準供q試体試験、大型供試体試験(「1.概要(2)CSGの試験要領」を参照)を実施する。これらの試験により作製した供試体について、VC値、供試体の外観評価、密度比、圧縮強度、引張強度を求め、それらについてどのような傾向(単位ペースト量の減少に伴う性状の低下や試験値のばらつき)が見られるかを検討する。

単位ペースト量変化試験における試験項目および方法を表3.1.2に示す。

表3.1.2 単位ペースト量変化試験における試験項目および方法

試験区分	試験項目	試料サイズ	供試体寸法	作製方法	養生方法
性状試験	標準VC試験	40mm ウェットスクリーング	-	JSCE-F507	-
標準供試体試験	供試体作製	40mm ウェットスクリーング	150×H300mm	標準供試体作製装置による	封緘養生
	圧縮強度試験		"	-	
	引張強度試験		"	-	
大型供試体試験	供試体作製	フルサイズ	500×H450mm	大型供試体試験装置による	封緘養生
	コア外観観察		170×H340mm	コア供試体	
	コア密度		"	"	
	コア圧縮強度		"	"	

(4) 基本配合の選定

細骨材率s/aとVC値の関係を図3.1.3に示す。これより、 $C = 100\text{kg/m}^3$ 、 $W = 98\text{kg/m}^3$ (一定)において大型VC値が最小となる細骨材率s/aは30%であった。次に、 $W/C = 98\%$ (ケース1)および $W/C = 150\%$ (ケース2)における単位ペースト量PとVC値の関係を図3.1.4、図3.1.5に示す。これより、 $C = 100\text{kg/m}^3$ 、 $s/a = 30\%$ (一定)とした時の大型VC値が60秒となるような単位ペースト量は、 $P = 198$ 、 165kg/m^3 であった。以上の結果に基づき、基本配合を選定した。基本配合を表3.1.3に示す。なお、ケース2における細骨材率は、ケース1と同じく30%としているが、一般に水セメント比が異なる場合には最適細骨材率も異なるのが普通である。ここでは、CSG材における細骨材率が30%であることを想定し、その条件での試験を実施することとした。

表3.1.3 基本配合表 ()

最大骨材寸法 (mm)	目標大型VC値 (s)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位ペースト量 (kg/m^3)	単位量 (kg/m^3)									混和剤 (AE減水剤)
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G						
									150-80 (mm)	80-40 (mm)	40-20 (mm)	20-10 (mm)	10-5 (mm)		
150	60	1.5 ± 1.0	98	30	198	98	100	680	392	392	392	261	194	0.250	
150	60	1.5 ± 1.0	150	30	165	99	66	688	397	397	397	264	196	0.165	

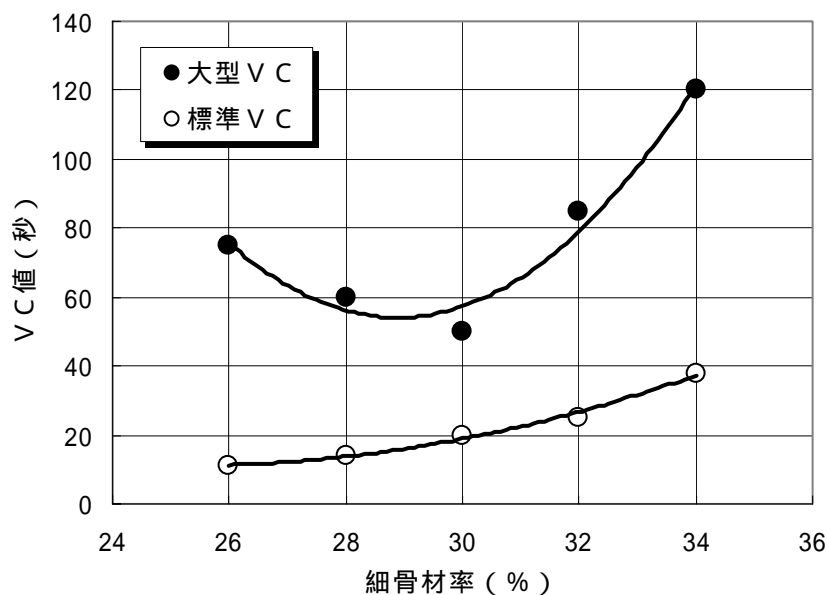


図3.1.3 細骨材率とVC値 ($C = 100\text{kg/m}^3$ 、 $W = 98\text{kg/m}^3$) ()

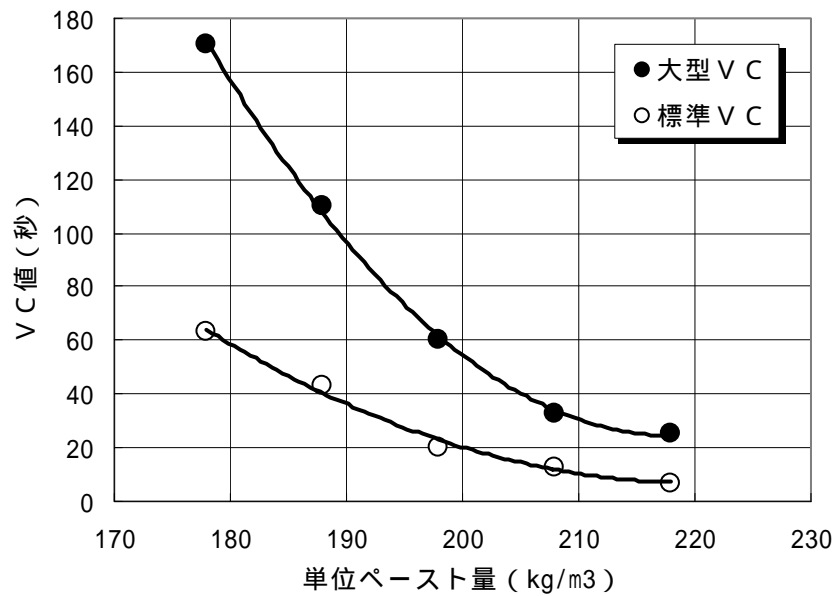


図 3.1.4 単位ペースト量とVC値 (W/C = 9.8%、s/a = 30%) ()

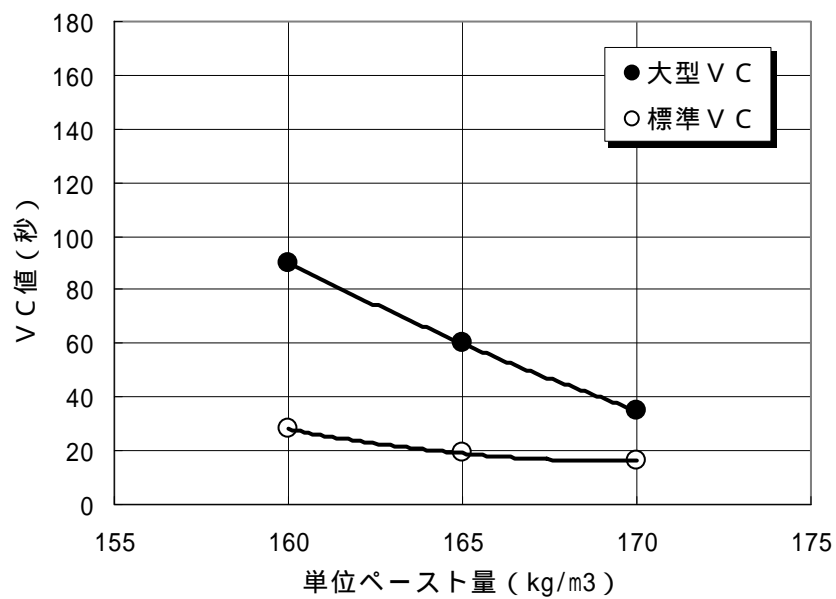


図 3.1.5 単位ペースト量とVC値 (W/C = 150%、s/a = 30%) ()

(5) 試験ケース

単位ペースト量変化試験の試験ケースを表 3.1.4 に示す。基本配合(ケース 1 - 1、2 - 1) は、標準 V C 値 20 秒(大型 V C 値 60 秒) を満足する配合である。ケース 1 では W/C = 98%、ケース 2 では W/C = 150% で固定したまま、供試体が作製可能と考えられる範囲まで単位ペースト量を減じていったものである。

表 3.1.4 試験ケース ()

ケース	水セメント比 W/C (%)	単 位 ペースト量 P (kg/m ³)	単 位 量 (kg/m ³)		強 度 試 験 項 目		
			水 W	セメント C	圧縮強度試験 (標準供試体)	圧縮強度試験 (コアリング 供試体)	引張強度試験 (標準供試体)
1 - 1 (基本配合 1)	98	198	98	100			
1 - 2		183	91	92			
1 - 3		168	83	85			
1 - 4		153	76	77			
1 - 5		138	68	70		-	
1 - 6		108	53	55		-	
1 - 7		78	39	39		-	
2 - 1 (基本配合 2)	150	165	99	66		-	-
2 - 2		152	91	61		-	-
2 - 3		139	83	56		-	-
2 - 4		126	76	50		-	-
2 - 5		113	68	45		-	-

各ケースにおける単位ペースト量とペースト細骨材率空隙比 α の関係を図 3.1.6 に示す。

単位ペースト量の減少に伴い、 α も小さくなる。また、同一ペースト量では、水セメント比の大きい方が α は高くなっている。これは、水の方がセメントよりも密度が小さいため、同一ペースト量であっても、水セメント比の大きい方がペースト容積は大きくなるためである。

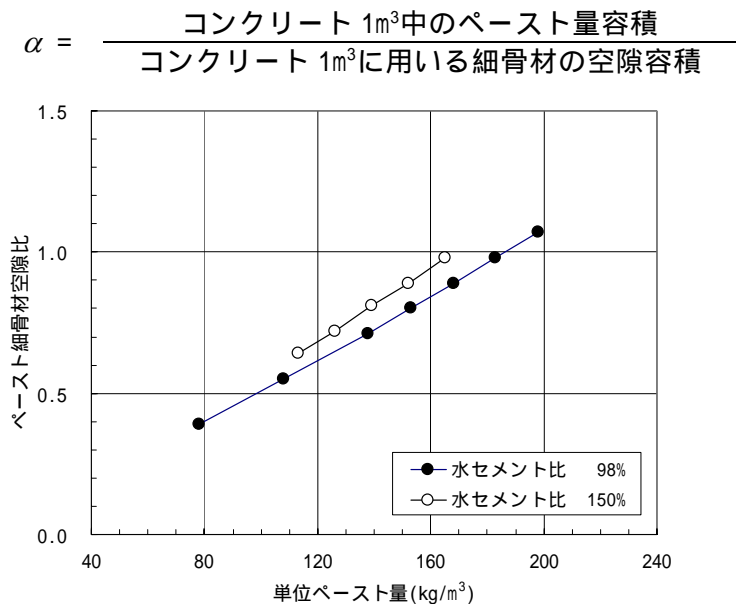


図 3.1.6 単位ペースト量とペースト細骨材空隙比 α ()

(6) 試験結果

1) VC値

単位ペースト量およびペースト細骨材空隙比 α とVC値の関係を図3.1.7、図3.1.8に、単位水量とVC値の関係を図3.1.9に示す。

図3.1.7より、標準VC試験でVC値が測定できたのは、ケース1-1~1-3(P=198~168kg/m³)、ケース2-1~2-2(P=165~152kg/m³)であり、これよりもペースト量が少なくなるとVC値の測定ができなかった。

図3.1.8より、単位ペースト量、すなわちペースト細骨材空隙比 α を小さくするとVC値は極端に大きくなり、計測が不可能となる(本試験結果では $\alpha=0.89$ 未満で計測不可能)。

また、同一単位ペースト量、同一 α においては水セメント比の大きい方がVC値は小さい。これは、図3.1.9からわかるように単位水量はVC値に及ぼす影響が大きく、同一単位ペースト量、同一 α でも水セメント比の大きい方が単位水量は多いためである。

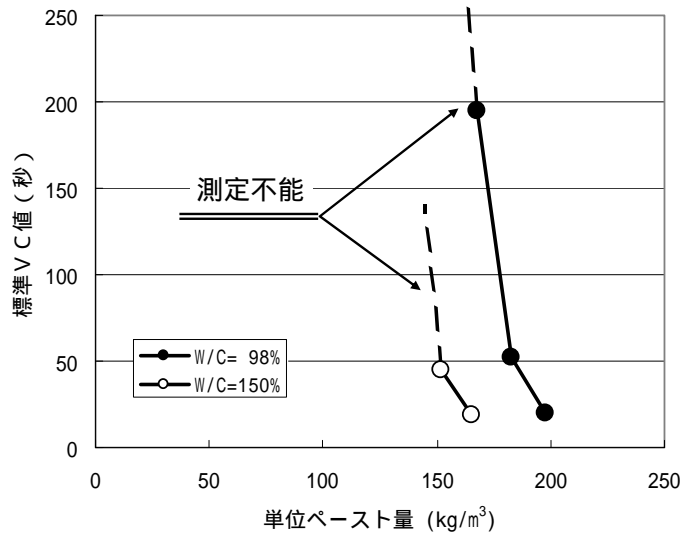


図3.1.7 単位ペースト量とVC値の関係 ()

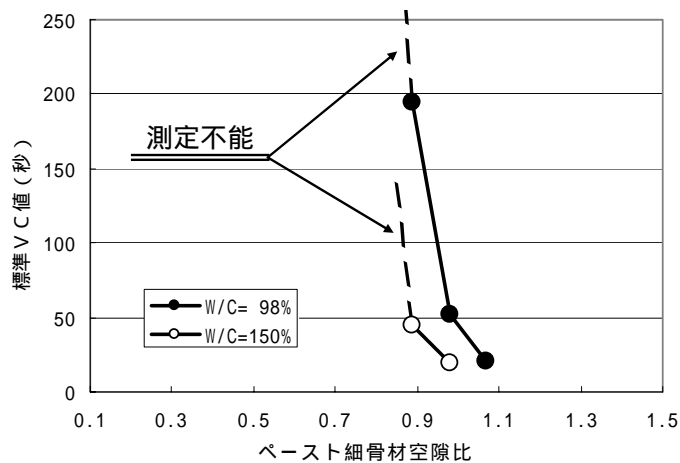


図3.1.8 ペースト細骨材空隙比 α とVC値の関係 ()

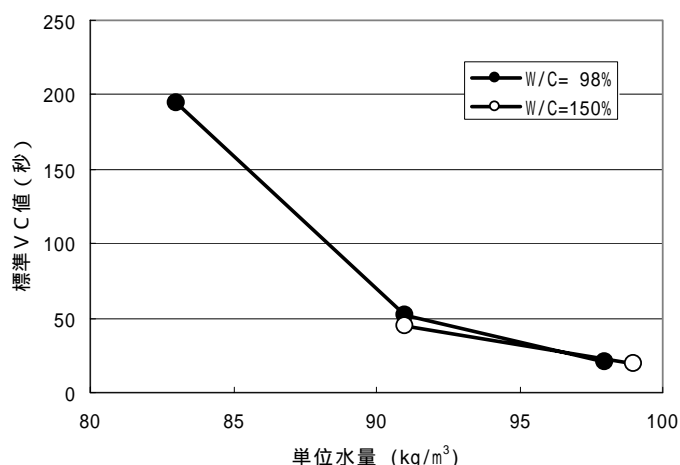


図 3.1.9 単位水量とVC値の関係 ()

2) 単位ペースト量と評価点、密度比、圧縮強度および引張強度

標準供試体

水セメント比を 98% および 150% としたときの標準供試体における単位ペースト量と評価点、密度比および圧縮強度の関係を図 3.1.10 ~ 図 3.1.15 に示す。いずれの図にも、供試体ごとの試験結果 (図中の) と、その平均値 (図中の) を併せて示している。

単位ペースト量と密度比の関係においては、単位ペースト量の減少に伴い、密度比が小さくなることが確認できる。基本配合においては、ケース 1、2 とともに密度比が 95% と大きく、骨材間の空隙がペーストによりほぼ充填されていると考えられる。これに対し、単位ペースト量が減少すると、空隙を十分に満たすだけのペースト量が不足し、密度比が低下している。

圧縮強度および評価点においても、単位ペースト量の減少とともに、強度、評価点が減少する傾向が認められる。

また、標準供試体における単位ペースト量と引張強度の関係を図 3.1.16 に示す。単位ペースト量の減少とともに、引張強度が小さくなる傾向が確認できる。

いずれの試験結果についても、単位ペースト量の低下に伴って供試体間の結果のばらつきの増大は見られない。しかし、同じ標準誤差であっても平均値が小さくなる場合には、変動係数 = (標準誤差 / 平均値) が大きいものとなり、ばらつきとしては大きくなる。この変動係数での評価は後述する。

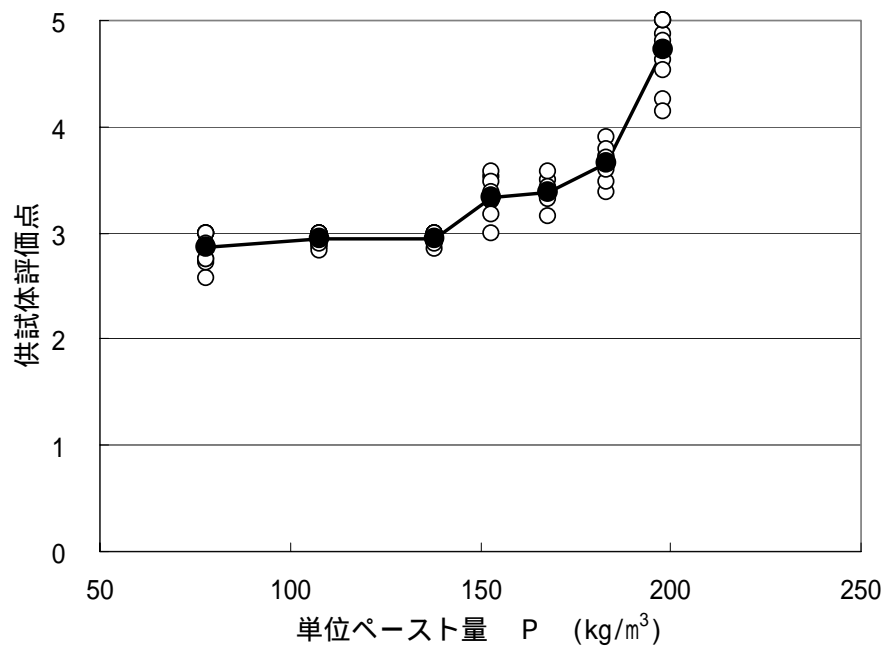


図 3.1.10 単位ペースト量と評価点 (W/C=98%) ()

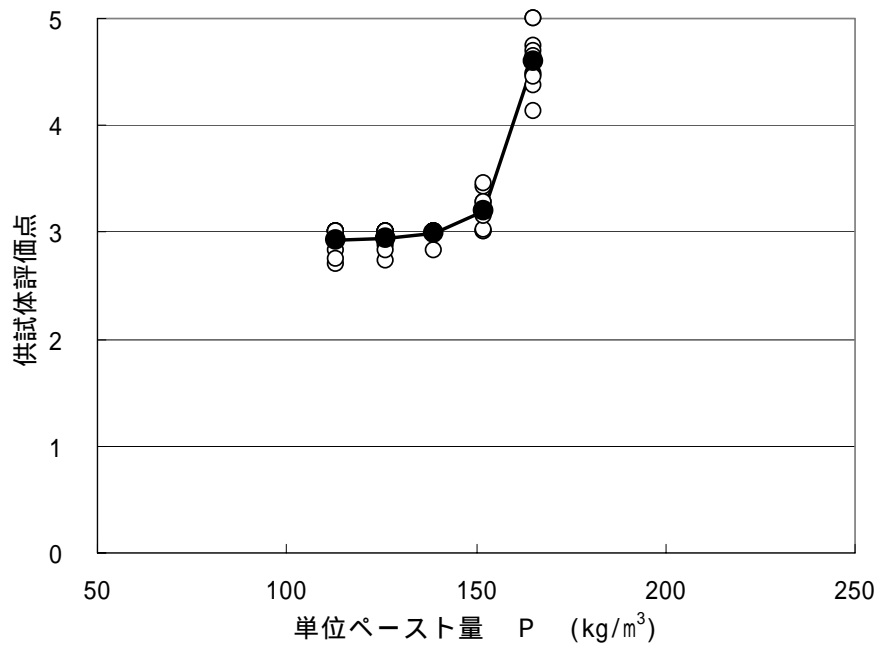


図 3.1.11 単位ペースト量と評価点 (W/C=150%) ()

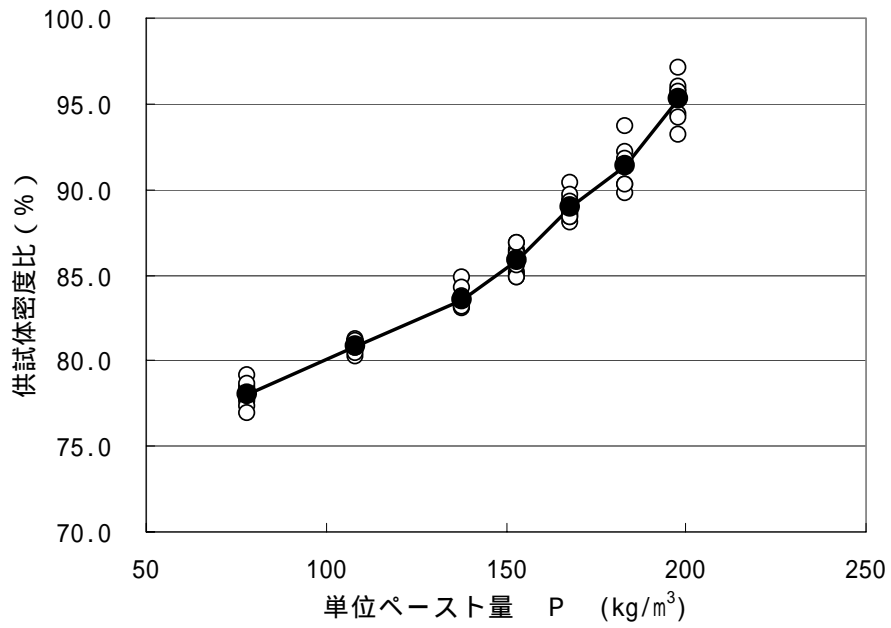


図 3.1.12 単位ペースト量と密度比 (W/C=98%) ()

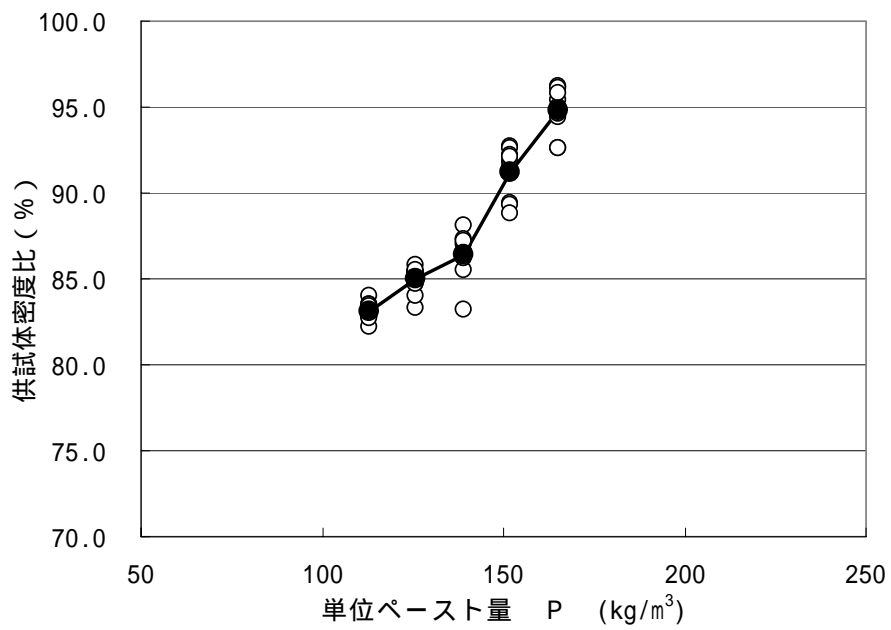


図 3.1.13 単位ペースト量と密度比 (W/C=150%) ()

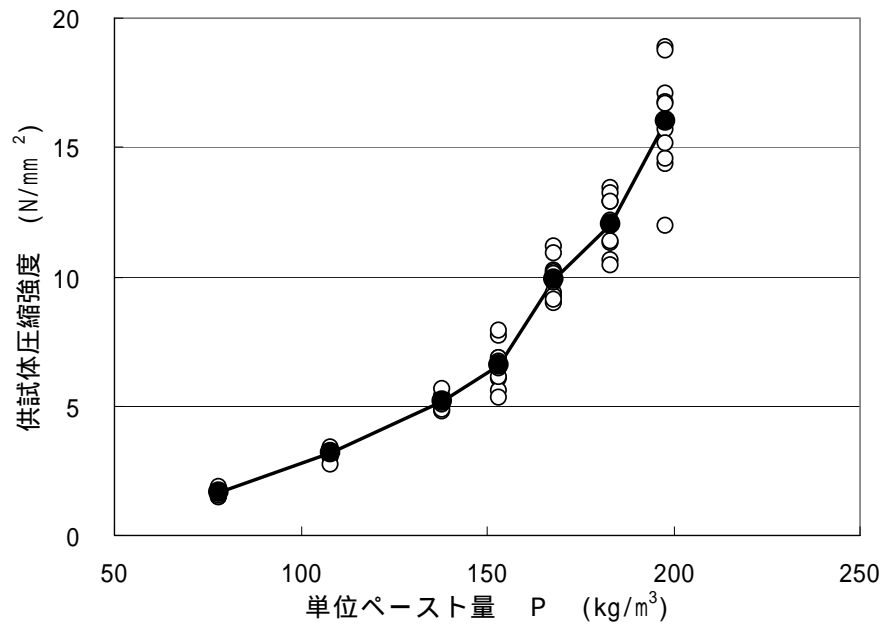


図 3.1.14 単位ペースト量と圧縮強度 (W/C=98%) ()

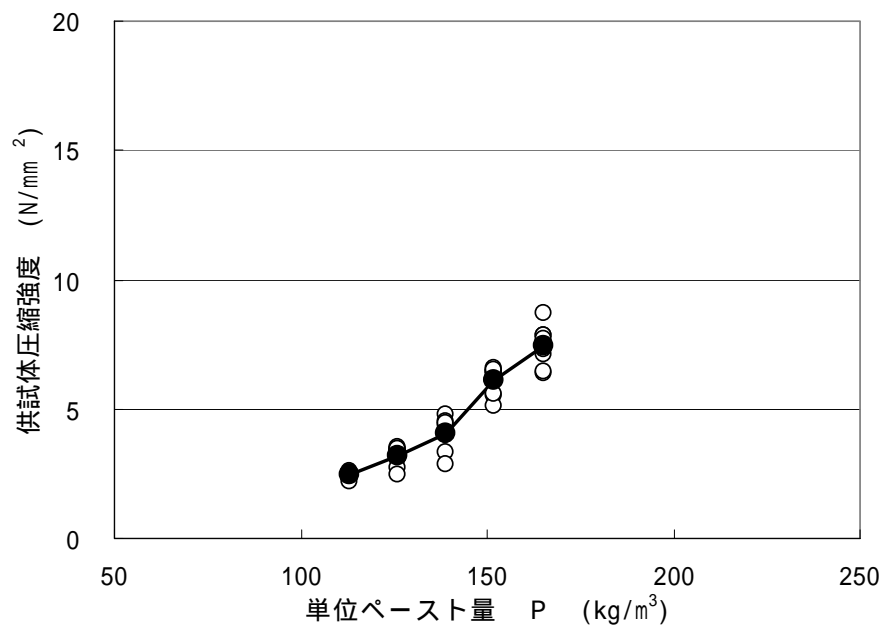


図 3.1.15 単位ペースト量と圧縮強度 (W/C=150%) ()

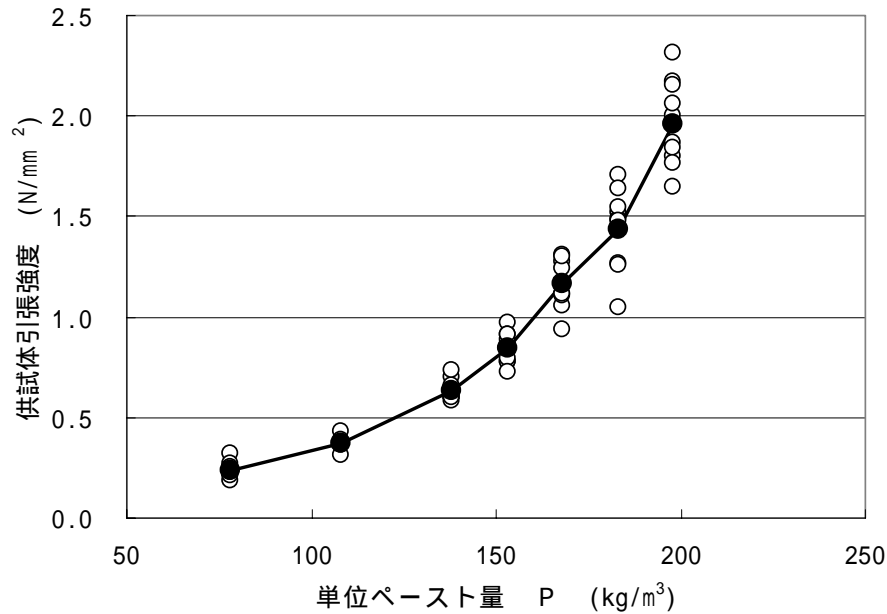


図 3.1.16 単位ペースト量と引張強度 (W/C=98%) ()

大型供試体からのコア供試体

次に、W/C = 98%の大型供試体からの供試体の単位ペースト量とコア評価点、密度比、および圧縮強度の関係を図 3.1.17 ~ 図 3.1.19 に示す。いずれの図にも、供試体ごとの試験結果 (図中の) と、その平均値 (図中の) を併せて示している。

これらの図より、単位ペースト量の減少とともにコア評価点、密度比、および圧縮強度は、いずれも小さくなる傾向があることがわかる。

P = 183kg/m³のコア強度は、基本配合 (標準 V C 値 20 秒 : $\alpha = 1.1$) の単位ペースト量 P = 198kg/m³のコア強度とほぼ同程度の値を示しており、単位ペースト量が小さくなるにもかかわらず圧縮強度の低下が見られない。これは、大型供試体試験における締固めエネルギーが大きいことから、単位ペースト量がいくぶん小さくても十分な締固め効果が得られたことによるものと考えられる。このことから、実際の施工においても、CSG材の粒度変化によってCSG材の空隙に対するペースト量の多少の不足が発生したとしても、十分な締固めエネルギーを与えれば圧縮強度の低下は起こらないものと考えられる。

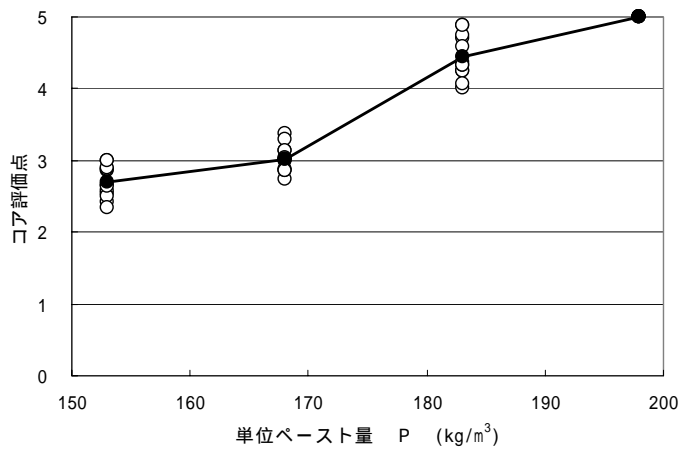


図 3.1.17 単位ペースト量とコア評価点 (W/C=98%) ()

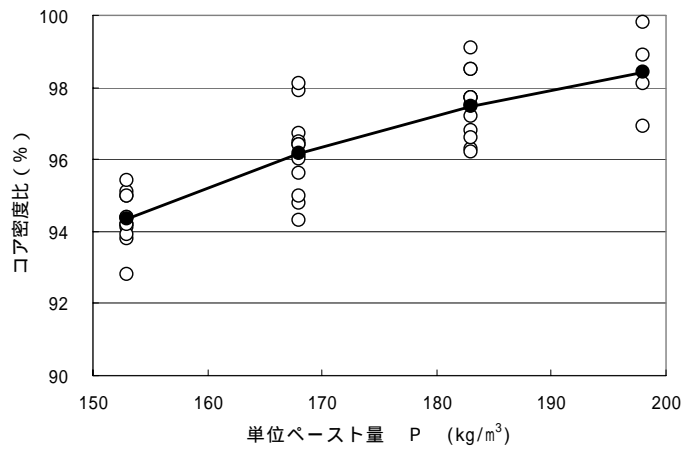


図 3.1.18 単位ペースト量とコア密度比 (W/C=98%) ()

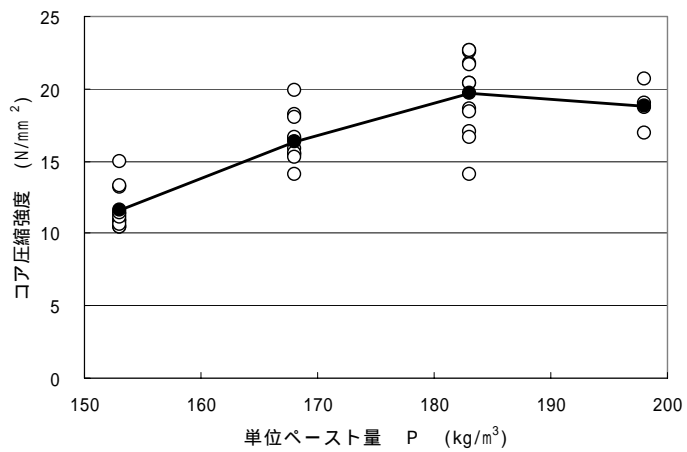


図 3.1.19 単位ペースト量とコア圧縮強度 (W/C=98%) ()

各物性値間の関係

標準供試体の密度比と圧縮強度の関係を図 3.1.20 に、密度比と引張強度の関係を図 3.1.21 に示す。圧縮強度、引張強度ともに、密度比が小さくなると直線的に強度が小さくなる傾向を示しており、密度比と強度には密接な関係が認められる。これより、CSGの締固め密度は、強度管理を行う上での有効な指標になるものと言える。

大型供試体のコア密度比とコア圧縮強度の関係を図 3.1.22 に示す。大型供試体においても標準供試体と同様に、コア密度比が小さくなるとコア圧縮強度も小さくなる傾向が見られる。

図 3.1.20 と図 3.1.22 を比較すると、大型供試体のコアについての試験結果（図 3.1.22）のほうがばらつきは大きい。これは、コアの直径が 150mm で粗骨材の最大寸法と同一であり、コアにおける粗骨材の位置や角度によって圧縮強度の結果が大きく左右されるためである。

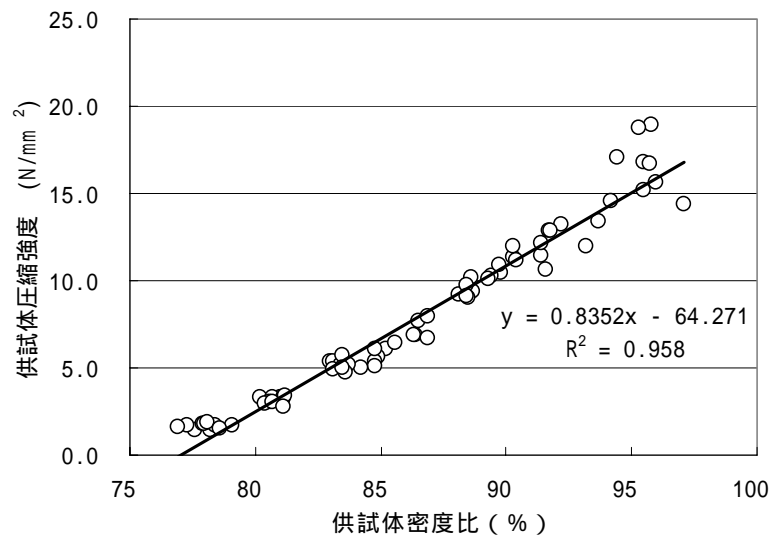


図 3.1.20 標準供試体の密度比と圧縮強度 ()

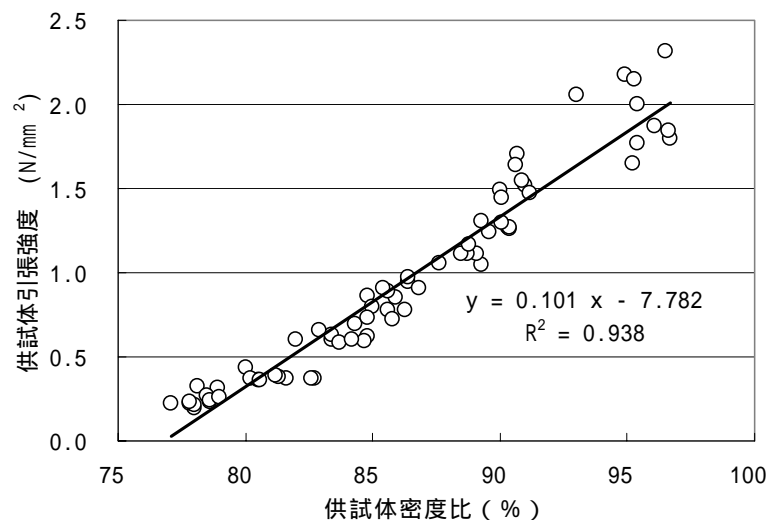


図 3.1.21 標準供試体の密度比と引張強度 ()

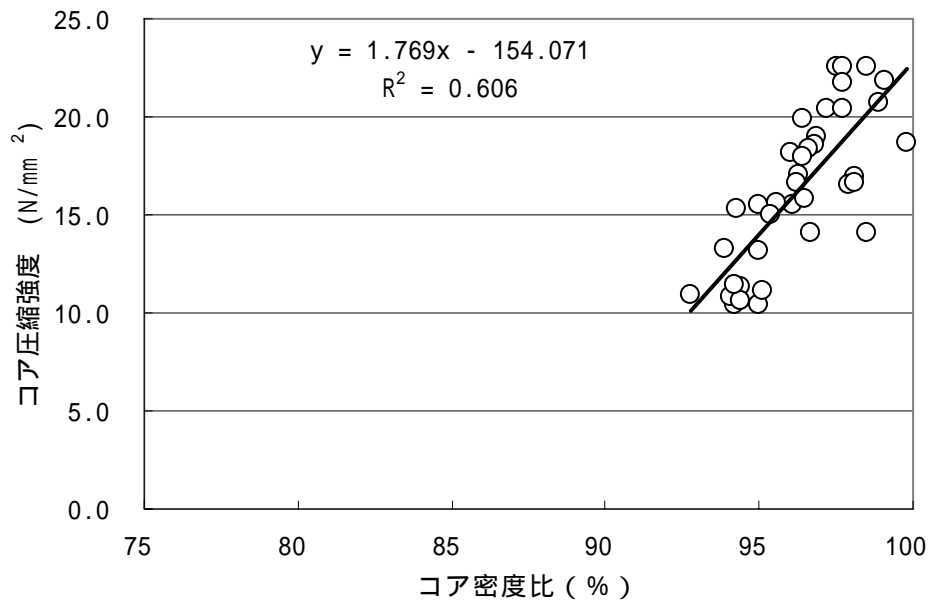


図 3.1.22 コア密度比とコア圧縮強度 ()

次に、各ケースにおける単位ペースト量と圧縮強度および密度比の関係を図 3.1.23、図 3.1.24 に、ペースト細骨材空隙比 α と圧縮強度および密度比の関係を図 3.1.25、図 3.1.26 に示す。

標準供試体 (W/C = 98%、150%) および大型供試体コア (W/C = 98%) の密度比、圧縮強度は、いずれのケースも単位ペースト量、ペースト細骨材空隙比 α の減少とともに小さくなる傾向が確認できる。

W/C = 98% においては、コア供試体の方が標準供試体よりも密度比、圧縮強度とも大きい傾向が見られる。これは、大型供試体作製装置による締固めの方が、標準供試体作製装置 (締固め時間 40 秒) による締固めよりも締固めエネルギーが大きいことによる影響と考えられる (前章「2.2 細骨材粒度の変動によるフレッシュ性状および強度への影響 (6) 試験結果」参照)。

図 3.1.23 と図 3.1.24 より、標準供試体の試験において単位ペースト量が同一である場合、水セメント比の小さい方が強度は大きくなっているがその差は小さい (約 0.5 ~ 2N/mm²)。これは、W/C = 150% の方が 98% に比べて密度比が高い (約 2 ~ 6%) ことによるものである。

図 3.1.25 と図 3.1.26 より、標準供試体の試験においてペースト細骨材空隙比 α が同一である場合、供試体の密度比は、水セメント比による差がほとんど現れない (0 ~ 3%)。そのため、供試体の圧縮強度には水セメント比による差が現れ、W/C = 98% の方が 150% に比べて強度が大きく (約 2 ~ 5N/mm²) になっている。

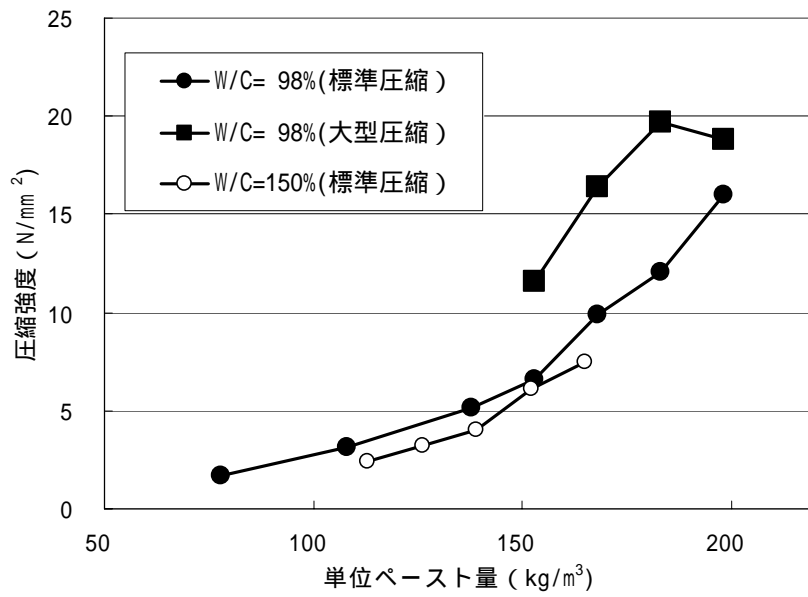


図 3.1.23 単位ペースト量と圧縮強度 ()

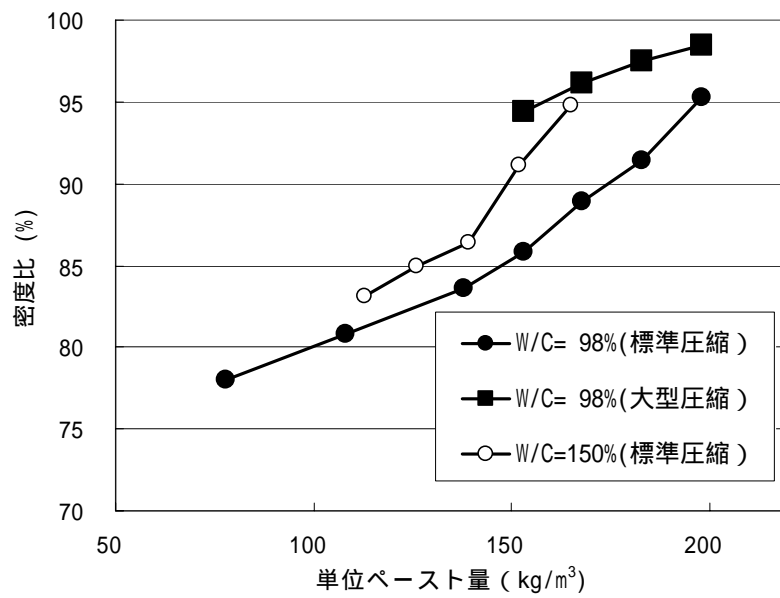


図 3.1.24 単位ペースト量と密度比 ()

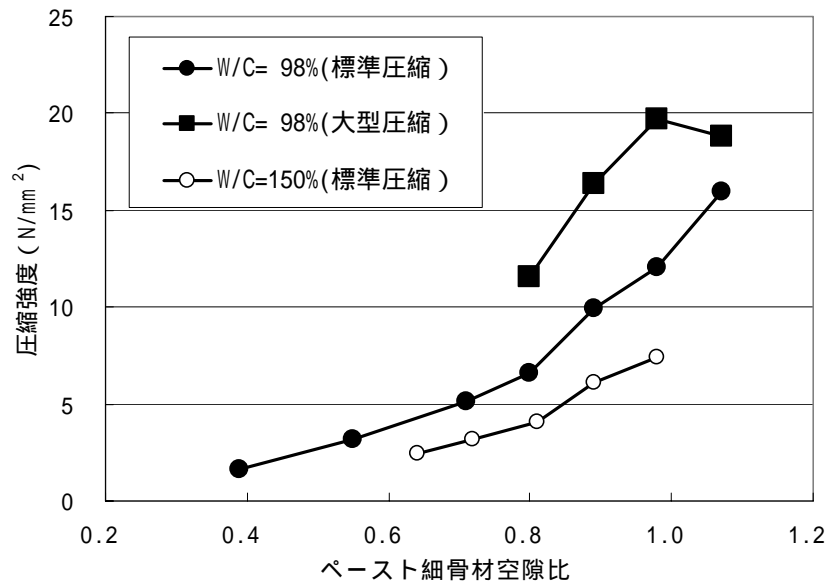


図 3.1.25 ペースト細骨材空隙比 α と圧縮強度 ()

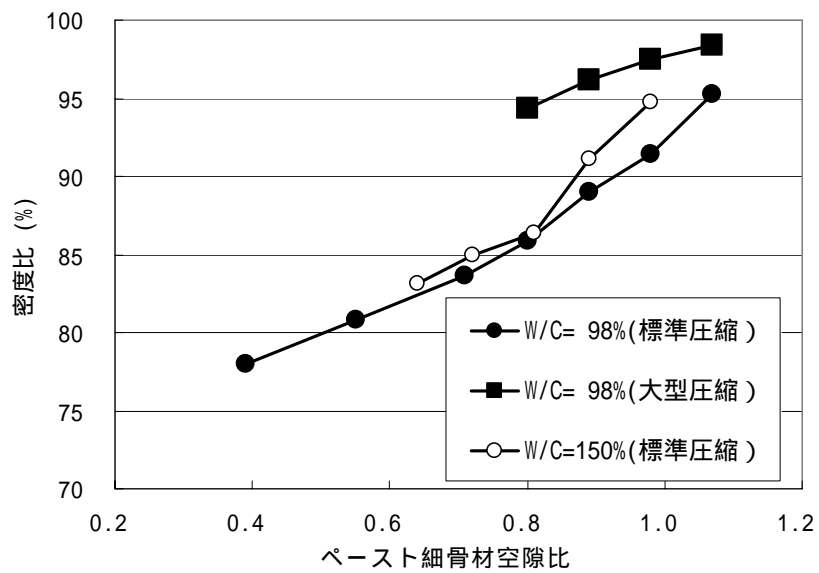


図 3.1.26 ペースト細骨材空隙比 α と密度比 ()

圧縮強度と引張強度の関係を図 3.1.27 に示す。圧縮強度と引張強度との間には、比例関係が確認でき、引張強度は圧縮強度の約 12% (およそ 1/8 程度) である。

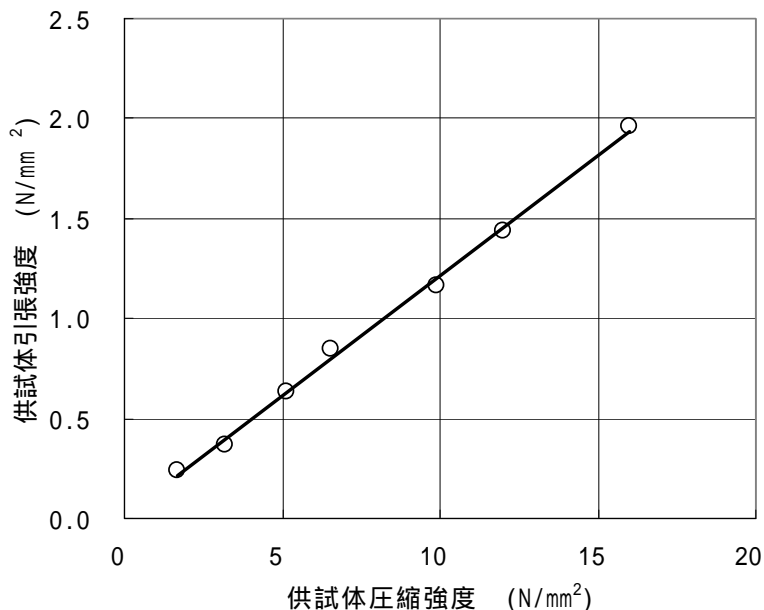


図 3.1.27 圧縮強度と引張強度 ()

3) 変動係数

単位ペースト量の減少に伴い、CSGの物性値のばらつきの増大があるかどうかを見るため、圧縮強度試験の変動係数(標準誤差/平均値)によって評価する。

単位ペースト量と標準供試体および大型供試体圧縮強度の変動係数を図 3.1.28 に示す。

標準供試体のW/C = 98%での変動係数(供試体数N = 10 個のデータ)は、単位ペースト量P = 198 ~ 78kg/m³で約 5 ~ 13%の範囲を示し、W/C = 150%での変動係数(N = 10)は、単位ペースト量P = 165 ~ 113kg/m³で 5 ~ 14%の範囲を示した。

また、大型供試体(W/C = 98%)での変動係数は、P = 198kg/m³(N = 4)で 8%、P = 183 ~ 153kg/m³(N = 12)で 10 ~ 14%の範囲であった。

これより、供試体の作製が可能と考えられる範囲まで単位ペースト量を減じた各供試体の圧縮強度の変動係数は 10%前後で、単位ペースト量の減少に伴う圧縮強度のばらつきの増大は見られなかった。

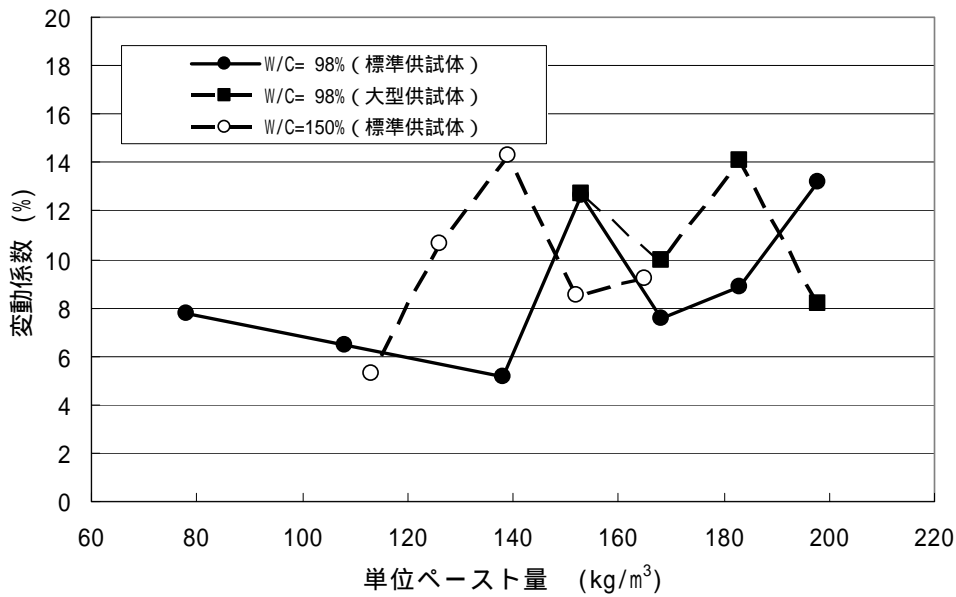


図 3.1.28 単位ペースト量と変動係数の関係 ()

(7) まとめ

CSGにおいて適切なVC値が得られる基本配合から、単位ペースト量を徐々に減じていった場合のCSGのVC値、密度、強度等の各物性値の低下やばらつきの変化について試験を実施した。その結果、以下のことが明らかになった。

単位ペースト量を減じることにより、VC値が大きくなる。この試験では、ペースト細骨材空隙比0.89未満で標準VC値の計測が不可能となった。

単位ペースト量を減じることにより、密度比、圧縮強度、引張強度の値が低下する傾向が確認された。ただし、単位ペースト量が多少小さいもの(この試験では15kg/m³減少)であっても、締固めエネルギーが十分に大きい場合には、その強度は基本配合とあまり変わらなかった。

標準供試体の密度比と圧縮強度には比例関係が認められることから、密度比はCSGの強度管理を行う上での有効な指標になる。

同一単位ペースト量の場合、水セメント比が違っていても、圧縮強度の違いは小さかった。これは、水セメント比が大きいケースではペースト細骨材空隙比 α が大きいため、CSGの充填性が高くなり密度比が高くなるためである。

供試体の作製が可能と考えられる範囲まで単位ペースト量を減じた標準供試体および大型供試体の圧縮強度の変動係数は、いずれの単位ペースト量においても10%前後であり、単位ペースト量の減少に伴う圧縮強度のばらつきの増大は見られなかった。

以上の知見において、特に が重要と考えられる。つまり、CSG材の粒度変化等によって

C S G材の空隙に対してペースト量が理論上不足するような場合であっても、不足するペースト量の程度にもよるが、十分に大きな締固めエネルギーを与えれば、C S Gの強度は基本配合と変わらないということである。このことは、C S G材の粒度のばらつきによる硬化C S Gの強度のばらつきの発生を、強力な締固めによって解消できるということであり、C S Gの強度についてのひし形理論におけるひし形の面積を小さくできることを意味する。また、これにより、実施工におけるC S G材の粒度管理(C S G材のふるい分けによる粒度分布の把握と、それに合わせた単位ペースト量の調整等)の頻度を減らすこと等が可能になるものと考えられる。

これについては、ペースト量が不足しても締固めでカバーできるペースト量の範囲(これを仮に「不足可能ペースト量」という)や、ペースト量が不足してもC S Gの強度が保持できる締固めエネルギー(この締固めエネルギーを仮に「強度保持可能締固めエネルギー」という)についての検討が今後の課題と考えられる。また、不足可能ペースト量や強度保持可能締固めエネルギーは、C S G材の材質によっても異なると考えられ、さまざまな材質のC S Gでの試験および検証が課題であると考えられる。

これらと前章での知見をまとめると、以下のことが言える。

- ・ C S Gのフレッシュ性状をできるだけ一定とするために、 U_c や α を用いて管理するのが有効であるが、何らかの原因で単位ペースト量が不足するようなことがあっても、締固めエネルギーが十分に大きい場合には、強度はそれほど低下せず、強度のばらつきも増大しない。これは例えば、実施工においてC S G材の粒度分布をある間隔で測定し、それに対して十分なフレッシュ性状を確保できる単位ペースト量を設定してC S Gを製造していたとしても、C S G材の粒度分布は常に測定結果と同一であるとは限らないため、場合によってはある時点でのC S G材に対して単位ペースト量が不足することが考えられる。このとき、C S Gの締固めにおいてそのエネルギーが十分に大きい場合には、単位ペースト量がある程度不足したC S Gであっても、単位ペースト量が足りているC S Gと同等の強度が得られるということになる。
- ・ 同一単位ペースト量の場合、水セメント比が違っていても圧縮強度の違いは小さいことから、C S Gの製造において例えば目視等により単位ペースト量の不足が見られるような場合、単位水量を増加することによって単位ペースト量を回復すれば、水セメント比を一定として単位セメント量と単位水量を同時に増加する場合と同様な強度回復が得られるということになる。ただし、図3.1.29に示されるように、本試験は単位ペースト量を基本配合から減じたケースについて実施しているため、このような法則性は「ペースト不足により十分な締固めが行えない範囲」でのみ成り立つものと考えられる。

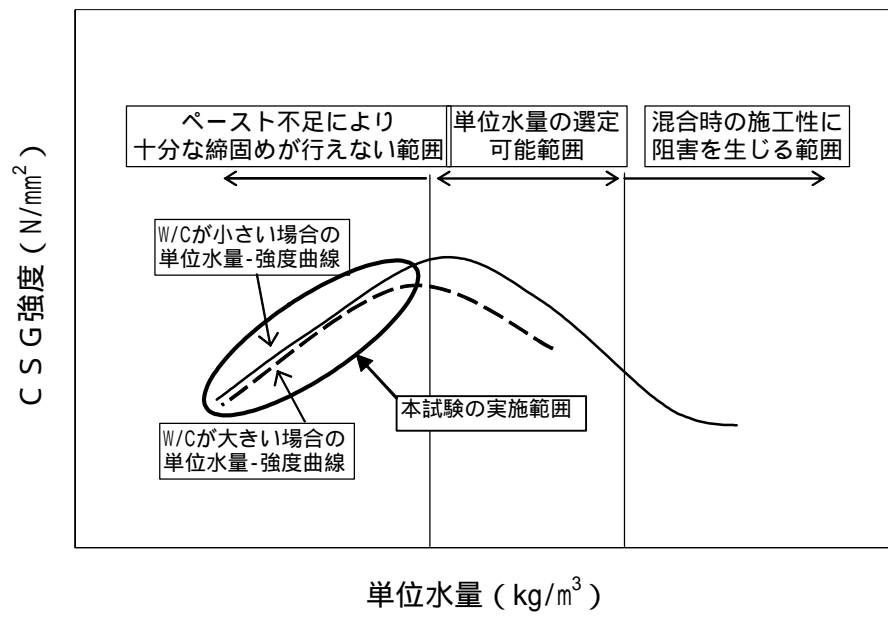


図 3.1.29 水セメント比の大小による単位水量-強度曲線の関係（「技術資料」を参考に作成）

4 . 減水混合の効果に関する検討

4 . 1 製品骨材によるCSGのフレッシュ性状および強度等への影響

(1) 検討目的と検討方法

CSG材の中に微粒分が多い場合、微粒分とセメント粒子が吸着しあい、CSG材、水、セメントが均一に混ざらないことによる不均一な混合や、強い粘りが生じることによってCSGが混合機内部に付着する等の混合が困難な状態になりやすい傾向にある。このようなCSG材では、水の混合を2段階に分けて実施する減水混合(「技術資料」では段階混合)による対処が有効な場合がある。したがって、混合機におけるCSGの混合において不均一混合や付着が生じないような加水量や、減水混合によるCSGの性状への影響について把握する必要がある。

本検討では、減水混合によるCSGの性状への影響を確認し、より有効な減水混合の方法について検討するため、製品骨材によるCSG材について減水混合によって練り混ぜ、VC値、密度および強度等の各種試験を実施した。

(2) 使用材料

この試験で用いた骨材は現地発生材ではなく、コンクリート用砕石・砕砂であり、試験に用いたCSGは、それらの骨材によって模擬的に製造したものである。

使用材料の種類および物性を表4.1.1に示す。

粗骨材(80~5mm)は、製品骨材を使用し、示方書ダム編の標準粒度範囲内のほぼ中間となるように設定した。

表 4.1.1 使用材料の種類および物性 ()

使用材料	種類および物性
セメント	普通ポルトランドセメント (密度 = 3.15g/cm ³ , 比表面積 = 3,330 cm ² /g)
混和剤	A E 減水剤 遅延形 (種)
細骨材 (5~0mm)	岩種：安山岩 ・標準粒度砂(密度 = 2.64g/cm ³ , 吸水率 = 1.74%, 粗粒率 = 2.63) ・スクリーニングス(密度 = 2.71g/cm ³ , 吸水率 = 1.00%, 粗粒率 = 2.17) ・石粉(密度 = 2.64g/cm ³ , 吸水率 = 1.92%, 粗粒率 = 0.59)
粗骨材(mm)	岩種：花崗岩
80-40	(密度 = 2.71g/cm ³ , 吸水率 = 0.74%)
40-20	(密度 = 2.72g/cm ³ , 吸水率 = 0.79%)
20-10	(密度 = 2.72g/cm ³ , 吸水率 = 1.04%)
10-5	(密度 = 2.67g/cm ³ , 吸水率 = 1.68%)

細骨材（5～0mm）については、以下の3種類¹⁾を用いた。（写真4.1.1参照）

標準粒度砂

骨材A：細骨材がスクリーニングス

骨材B：細骨材がスクリーニングス+石粉（50：50）

骨材Aと骨材Bは、現地発生材を想定し、標準粒度砂よりも微粒分を多く含み、示方書ダム編の標準粒度範囲を満足しない材料である。

各細骨材の粒径別分布曲線を図4.1.1に、粗骨材の粒径別分布曲線を図4.1.2に示す。各細骨材の粒度分布曲線を図4.1.3に示す。

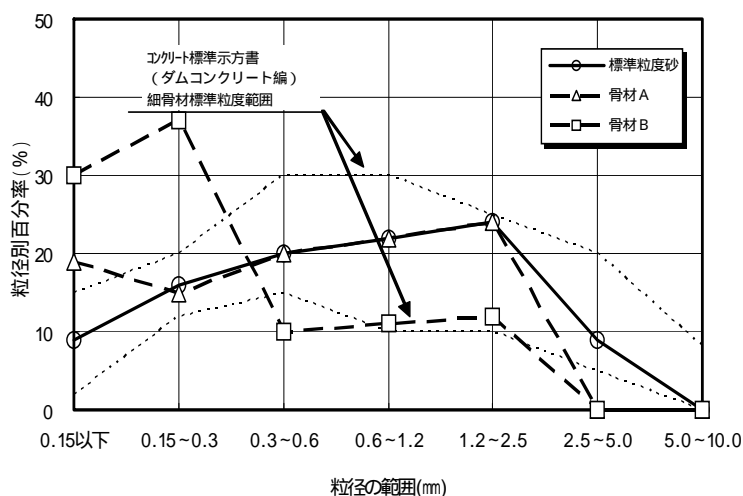


図 4.1.1 細骨材の粒径別分布曲線 ()

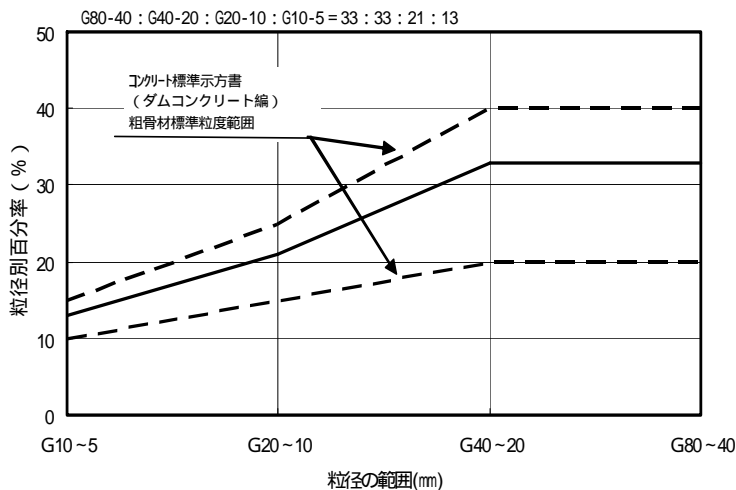


図 4.1.2 粗骨材の粒径別分布曲線 ()

1) 標準粒度砂とは、示方書ダム編の標準粒度範囲内にある製品砂である。スクリーニングスとは、粗骨材製造の際に発生する微粒分で、2.5mm以下の粒径のものである。石粉とは、平成12年度の試験()で使用した0.3mm以下の細骨材である。



写真 4.1.1 細骨材の状況 ()

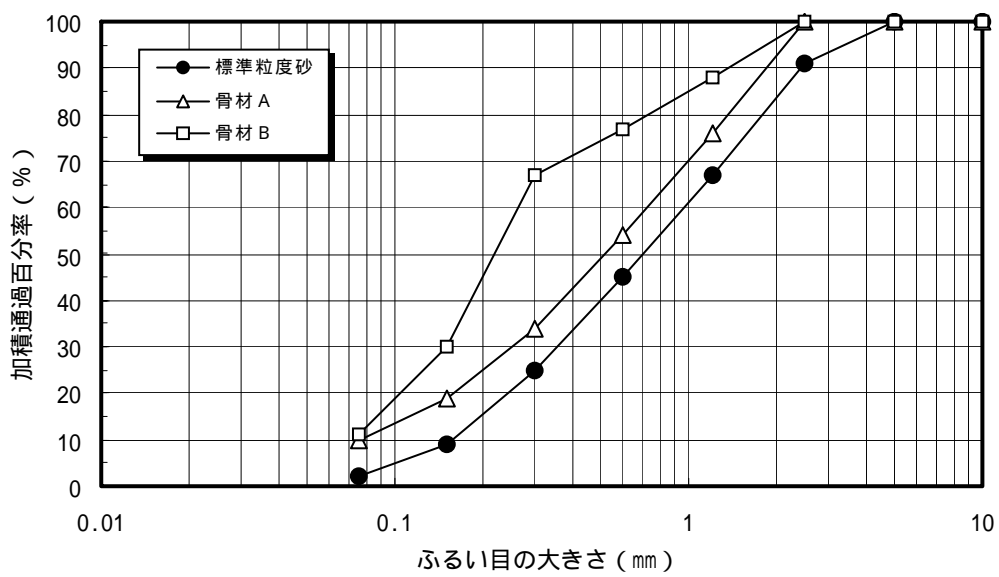


図 4.1.3 細骨材の粒度分布曲線 ()

(3) 試験項目と方法

この検討における試験項目および試験方法を、以下に示す。

基本配合の選定試験

この試験に使用する標準粒度砂を用いるCSG材において適切なVC値を確保するための、最適な細骨材率および単位ペースト量を定める試験を実施し、基本配合を選定する。骨材Aおよび骨材Bを用いるCSG材については、標準粒度砂を用いるCSG材と同じ細骨材率、単位水量、単位セメント量によって基本配合とする。

減水混合試験

上記で定めた3種類の基本配合のそれぞれにおいて、混合機における加水（これを一次加水という）量と混合機から排出した後の加水（これを二次加水という）量をさまざまに変えてCSGを練り混ぜ、VC試験、標準供試体試験、大型供試体試験（「1.概要 (2) CSGの試験要領」を参照）を実施する。これらの試験により作製した供試体について、VC値、供試体の外観評価、密度比、圧縮強度、透水係数（「1.概要 (2) CSGの試験要領」を参照）を求め、それらについてどのような傾向（一次加水量・二次加水量の違いによる各試験結果への影響）が見られるかを検討する。

なお、一次加水を行う混合機での混合を一次混合、混合機からの排出した後での二次加水を行う混合を二次混合という。この試験においては、混合機（ミキサ）から排出した一次混合後のCSGをパレット上にスコップで均等に広げ、二次加水として残りの水量をじょうろにて均等に散布し、直ちにスコップにて切り返しにより二次混合を行った。

減水混合試験における試験フロー（標準供試体試験の例）を、図4.1.4に示す。

減水混合試験における試験項目および方法を表4.1.2に示す。

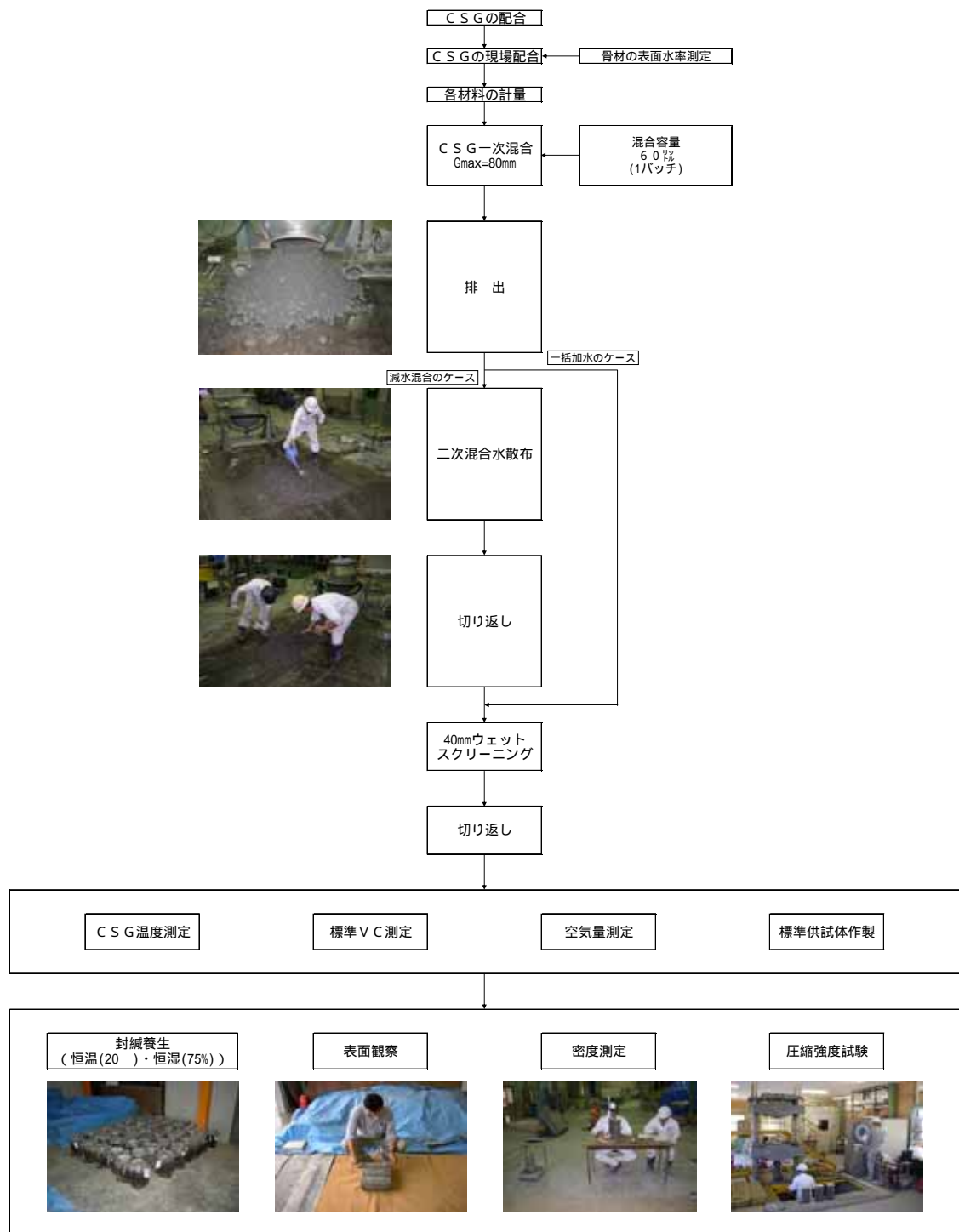


図 4.1.4 減水混合試験における試験フロー（標準供試体試験の例）

表 4.1.2 減水混合試験における試験項目および方法

試験区分	試験項目	試料	養生方法
フレッシュ性状	標準 V C 試験	40mm ウェットスクリーニング	-
標準供試体試験	供試体作製 外観評価 密度 圧縮強度	40mm ウェットスクリーニング	封緘養生
大型供試体試験	供試体作製 コア外観評価 コア密度 コア圧縮強度 コア透水試験	フルサイズ	封緘養生

(4) 基本配合の選定

標準粒度砂を用いた C S G における細骨材率 s/a と V C 値の関係を図 4.1.4 に示す。これより、 $C = 80\text{kg/m}^3$ 、 $W = 100\text{kg/m}^3$ (一定) において大型 V C 値が最小となる細骨材率 s/a は 32% であった。次に、単位ペースト量 P と V C 値の関係を図 4.1.5 に示す。これより、 $C = 80\text{kg/m}^3$ 、 $s/a = 32\%$ (一定) としたときの大型 V C 値が 60 秒となるような単位ペースト量は、 $P = 180\text{kg/m}^3$ であった。以上の結果に基づき、基本配合を選定した。基本配合を表 4.1.2 に示す。なお、骨材 A、骨材 B を用いた C S G の基本配合については、標準粒度砂と同じ細骨材率、単位水量、単位セメント量とした。

表 4.1.2 基本配合表 ()

細骨材の種類	呼称	最大骨材寸法 (mm)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位ペースト量 (kg/m^3)	単位量 (kg/m^3)							
						水 W	セメント C	細骨材 S (5~0mm)	粗骨材 G				混和剤 (AE減水剤)
									80-40 (mm)	40-20 (mm)	20-10 (mm)	10-5 (mm)	
標準粒度砂	ケース 1	80	125	32	180	100	80	726	523	525	334	203	0.200
スクリーニングス	骨材 A							745					
スクリーニングス(50%) +石粉(50%)	骨材 B							736					

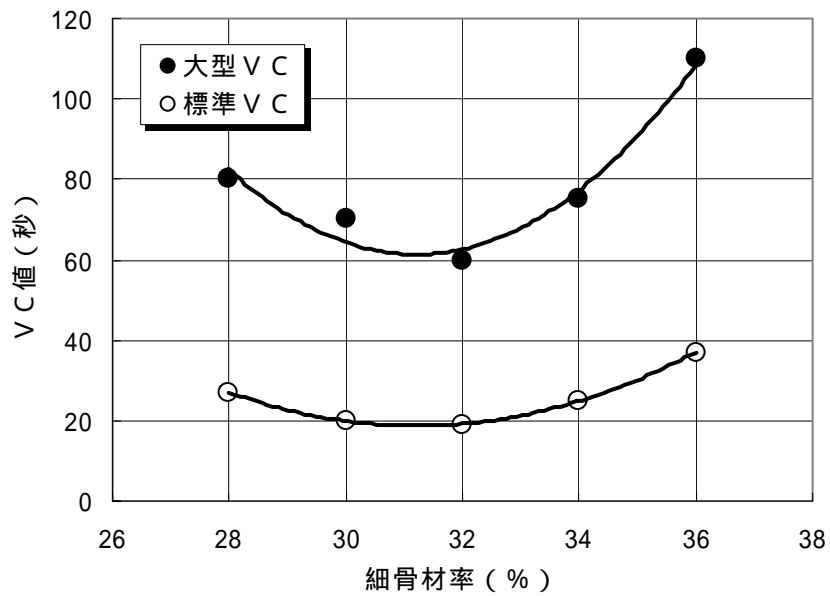


図 4.1.4 細骨材率と VC 値 ($C = 80\text{kg/m}^3$ 、 $W = 100\text{kg/m}^3$) ()

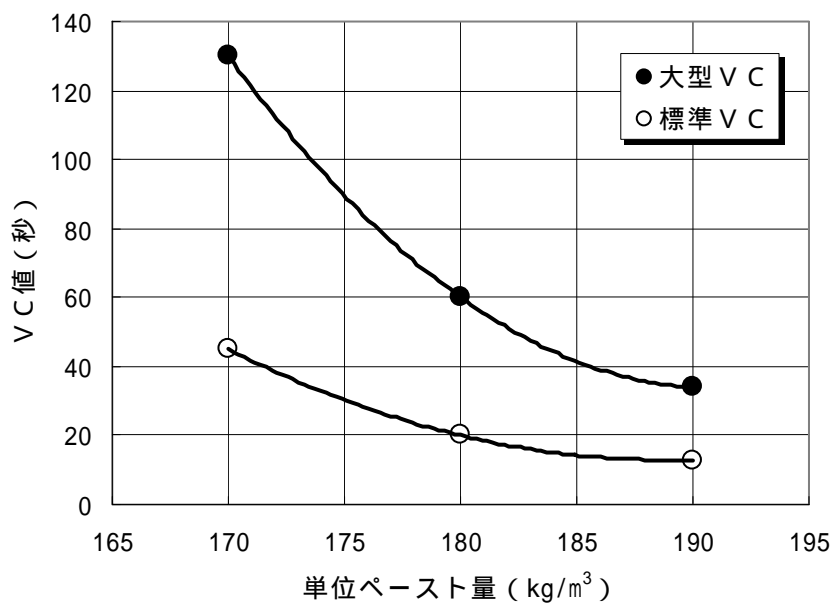


図 4.1.5 単位ペースト量と VC 値 ($W/C = 125\%$ 、 $s/a = 32\%$) ()

(5) 試験ケース

減水混合試験の試験ケースを表 4.1.3 に示す。

この試験では、混合水を 2 段階に分けて混合することとし、一次加水率（その配合における練混ぜ水全量に対する一次加水量の割合）を 100、85、70%（骨材 A については、55% も実施）で、二次加水率（練混ぜ水全量から一次加水量を差し引いた二次加水量の、練混ぜ水全量に対する割合）を 0、15、30%（骨材 A は 45% も実施）と変化させて実施した。

表 4.1.3 試験ケース ()

試験ケース	細骨材の種類	単位体積重量 (kg/m ³)	単位水量 (kg/m ³)	減水混合		試験項目
				一次加水率 W 1 (%)	二次加水率 W 2 (%)	
1 - 1	標準粒度砂	80	100	100	0	・ VC 試験 ・ 標準供試体試験 ・ 大型供試体試験 ・ 透水試験 （採取コア）
1 - 2				85	15	
1 - 3				70	30	
2 - 1	骨材 A (スクリーニングス)	80	100	100	0	
2 - 2				85	15	
2 - 3				70	30	
2 - 4				55	45	
3 - 1	骨材 B (スクリーニングス(50%) + 石粉(50%))	80	100	100	0	
3 - 2				85	15	
3 - 3				70	30	

(6) 試験結果

1) C S G のフレッシュ性状

ミキサにおける混合状況

減水混合試験における各ケースの C S G の傾動ミキサによる混合状況は以下のとおりであった。

- 一括加水：一次加水率 100% におけるミキサの混合状態としては、微粒分の多い骨材 A、骨材 B の C S G において、ミキサ内にモルタル分が多く付着していた（一括加水は一次混合時に練混ぜ水を全量混合するもの）。
- 減水混合：減水混合（一次加水率 85 ~ 55%）を行った場合は、いずれの細骨材を用いた C S G においても、ミキサ内へのモルタル付着はほとんど見られず、一括加水よりも混合が容易であった。

VC 値

減水混合試験における一次加水率と、一次混合後および二次混合後の VC 値の関係を図 4.1.6 に示す。

標準粒度砂を用いた C S G における一次加水率 100% では、VC 値は 20 秒である。これに対し、微粒分を多く含む骨材 A および骨材 B を用いた C S G では、一次加水率が 100% の場合の VC 値は 40 秒、80 秒で標準粒度砂より大きな値となった。

次に、減水混合した場合の二次加水後のV C 値は、標準粒度砂においては、いずれも 20 秒程度であり、一次加水率を減じた場合でも、一括加水時のV C 値 20 秒と同等まで回復している。微粒分量の多い骨材 A と骨材 B の場合は、一次加水率を減じるほど、一括加水時に比べ二次加水後のV C 値が小さくなっている。これより、微粒分を多く含む骨材を用いたC S Gの方が、減水混合によって、よりV C 値を小さくできると言える。

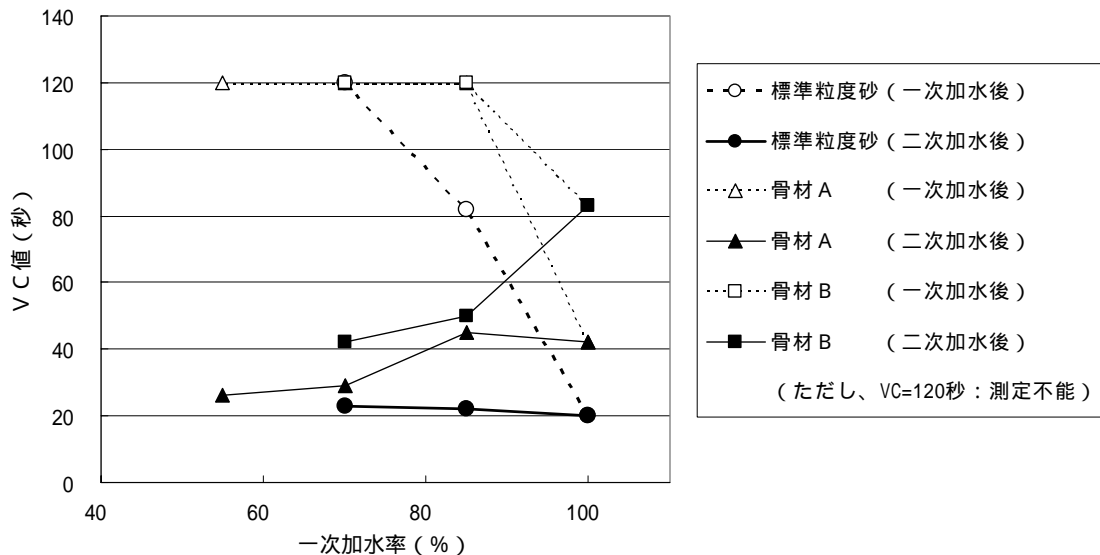


図 4.1.6 一次加水率の違いによる減水混合の効果 ()

2) C S G の評価点、密度比、圧縮強度

骨材 A を用いた C S G の一次加水率の違いによる標準供試体の供試体評価点、供試体密度比、供試体圧縮強度の関係を図 4.1.7 ~ 図 4.1.9 に示す。減水混合を行うことにより、評価点が高くなる傾向がみられる。また、供試体密度比と圧縮強度は、減水混合を行った場合でも一括加水の場合と同じ程度の値を示しており、減水混合が密度、圧縮強度に与える影響は小さいものと考えられる。

同様に、材齢 91 日の大型供試体のコア評価点、コア密度比、コア圧縮強度について、各骨材を比較したものを図 4.1.10 ~ 図 4.1.12 に示す。これらの図より、大型供試体のコア外観、密度、圧縮強度の結果についても標準供試体の場合と同じ傾向が見られる。

細骨材の違いによる影響としては、微粒分の多い骨材 B を用いた C S G はコア評価点、コア密度比ともに低い値を示した。しかしコア圧縮強度に関しては、標準粒度砂を用いた C S G が最も小さい値を示した。この原因は不明であるが、標準粒度砂の密度が骨材 A (スクリーニングス 100%)、骨材 B (スクリーニングス 50% + 石粉 50%) よりも小さいことから、細骨材の強度としては標準粒度砂が最も小さかったということも考えられる。

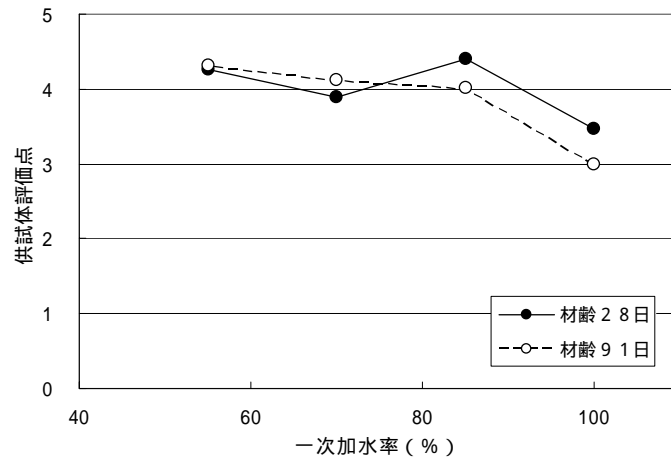


图 4.1.7 一次加水率と評価点 (骨材 A、標準供試体) ()

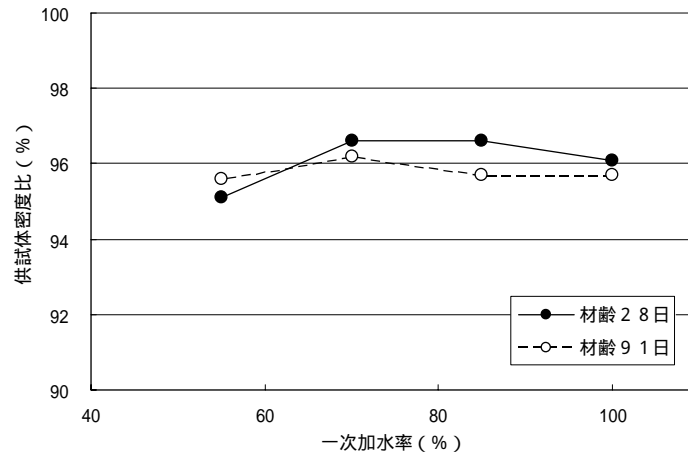


图 4.1.8 一次加水率と密度比 (骨材 A、標準供試体) ()

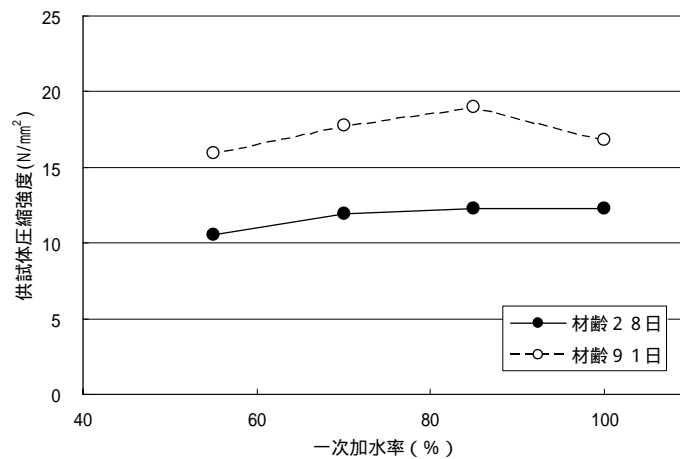


图 4.1.9 一次加水率と圧縮強度 (骨材 A、標準供試体) ()

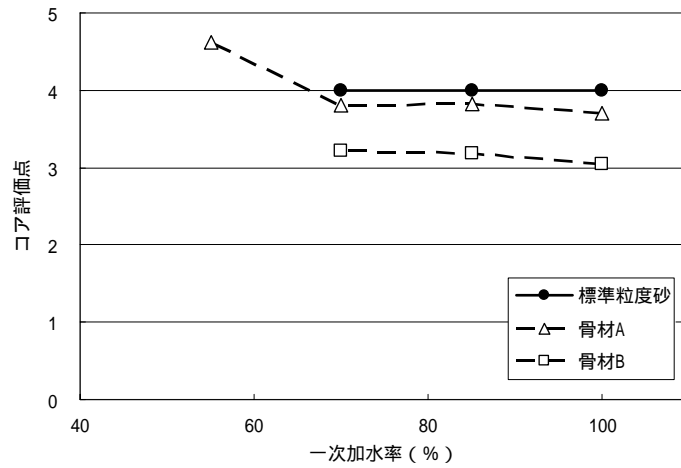


図 4.1.10 一次加水率とコア評価点 (骨材A、大型供試体、材齢 91 日) ()

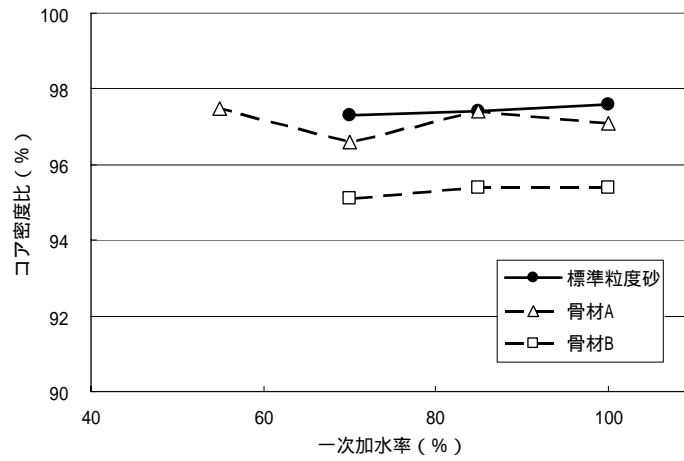


図 4.1.11 一次加水率とコア密度比 (骨材A、大型供試体、材齢 91 日) ()

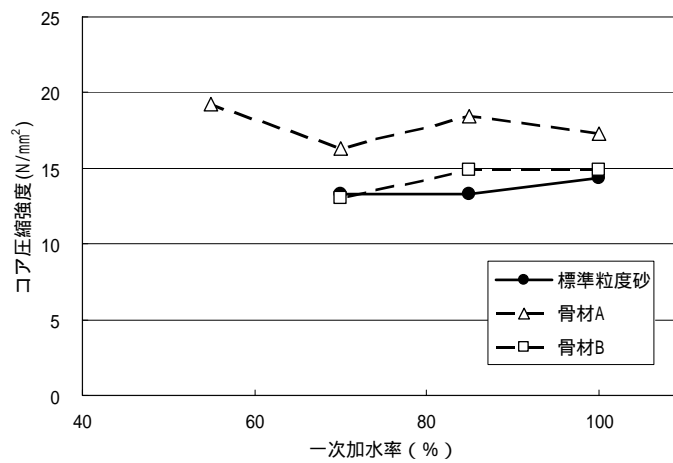


図 4.1.12 一次加水率とコア圧縮強度 (骨材A、大型供試体、材齢 91 日) ()

3) CSGの透水係数

大型供試体より採取したコアの透水係数を図 4.1.13 に示す。

透水試験の結果、各骨材の透水係数は $3.7 \times 10^{-10} \sim 1.1 \times 10^{-9} \text{cm/s}$ の範囲であった。減水混合を実施した骨材 A による CSG は、一次加水率 70% までは一括加水と同程度の透水係数を示したが、一次加水率 55% においては、それよりも小さい透水係数となった。

参考文献²⁾によれば、コンクリートの一般的な透水係数は、水セメント比 45~75% の場合は約 $10^{-12} \sim 10^{-10} \text{cm/s}$ であることが報告されている。この試験における CSG の透水係数は、コンクリートの一般的な透水係数よりもやや大きな値となっている。ただし、この CSG は水セメント比が 125% であることから、それによって透水係数が大きくなる影響を考慮すると、通常のコンクリートと遜色のない透水係数であると考えられる。

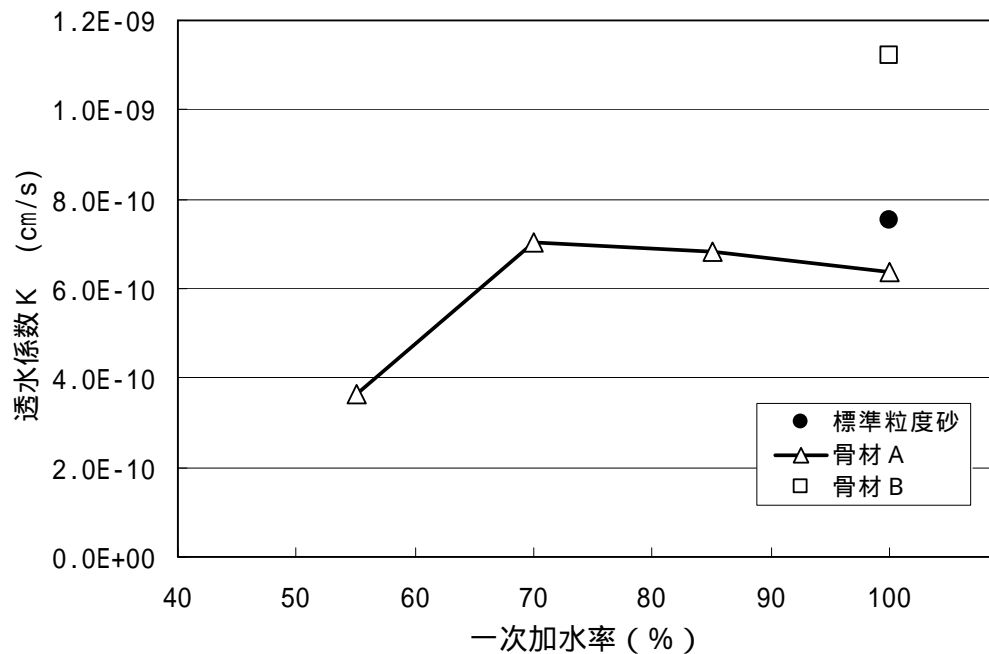


図 4.1.13 一次加水率とコア供試体の透水係数 ()

(7) まとめ

混合機における一括加水による混合が困難であるようなCSGについて、減水混合によるCSGの性状への影響を確認し、より有効な減水混合の方法について検討するため、製品骨材によるCSG材について減水混合によって練り混ぜ、VC値、密度および強度等の各種試験を実施した。その結果、以下のことが明らかになった。

ミキサにおけるCSGの混合状況は、0.15mm以下の微粒分の多い細骨材(骨材A、骨材B:細骨材の0.15mm以下の量19、30%)によるCSGの場合、一括加水(一次加水率100%)では、混合中の粘性が増し、ミキサの羽根や内面にモルタル分が多く付着する現象が確認された。これに対して、一次加水率を減らして(85%、70%(骨材Aの場合は55%も実施))混合したCSGは、粘性が増すこともなく、骨材とセメントが均一に混ざり、ミキサ内面にモルタル分が付着する現象も少なかった。

微粒分の多い細骨材を用いたCSGにおいて、一次加水率を85%、70%(骨材Aの場合は55%も実施)とした場合の一次加水後のVC値は、一括加水のVC値に比べて、当然大きい値となる。しかし、これらの二次加水後のVC値は、一括加水のVC値よりも小さい値を示しており、微粒分が多いCSGに関しては、減水混合によって施工性を改善できるものと考えられる。

一次加水率と密度比、圧縮強度の関係から、同一のCSGでは、減水混合を行っても密度比や圧縮強度は一括加水の場合とほぼ同じ値を示していることから、減水混合が密度、圧縮強度に与える影響は小さい。

CSGの透水性についても、減水混合による影響は小さい。

以上の知見より、骨材に微粒分(0.15mm以下)が多く一括加水では混合が困難である場合には、減水混合はCSGの混合方法として有効であり、その時のCSGの性状は一括加水の場合の同等以上であるといえることができる。

また、減水混合をより実用的な方法とするためには、以下に示す課題について解決することが必要と考えられる。

- ・ 減水混合が必要となるようなCSG材の材質や微粒分の量の把握
- ・ 実施工における二次混合の具体的な方法の開発

また逆に、減水混合を実施するようなCSG製造プラントやCSG施工方法は、一括加水の場合よりも複雑になると考えられることから、減水混合を行わなくても十分な練混ぜが可能で、かつ経済的な混合機の開発を考えることも必要と考えられる。

4.2 現地発生材によるCSGのフレッシュ性状および強度等への影響（その1）

（1）検討目的と検討方法

前節では、製品骨材によって模擬的に製造した、微粒分量が多いCSG材について減水混合試験を実施した。その結果、減水混合によって硬化CSGの性状に悪影響を与えずに、ミキサによる混合し易さおよび締固め易さ等のフレッシュ性状を改善できるという成果が得られた。

そこで、現地発生材によるCSGにおける減水混合の効果を検証するために、現地発生材の掘削ズリと河床砂礫A（粒度分布が細粒側）、B（粒度分布が粗粒側）の3種類を用いて減水混合試験を実施し、前節と同様にCSGのフレッシュ性状および強度等に及ぼす影響について検討した。

（2）使用材料

使用材料の種類および物性を表4.2.1に示す。現地発生材の掘削ズリは、沖縄地方における建設工事で発生した緑色岩系の道路掘削ズリ（5mm以下の加積通過百分率32%）である。一方、河床砂礫は、中部地方における貯水池上流に堆積した堆積岩系の河床砂礫（5mm以下の加積通過百分率42%（河床砂礫A）、32%（河床砂礫B））である。

表4.2.1 使用材料の種類および物性（ ）

使用材料		種類及び物性
セメント		普通ポルトランドセメント (密度 = 3.15g/cm ³ , 比表面積 = 3,360cm ² /g)
混和剤		A E 減水剤 遅延形 (種)
CSG材		物性
掘削ズリ	(mm)	岩種：緑色岩 (CL級)
	80-40	密度 = 2.82g/cm ³ , 吸水率 = 2.49%
	40-20	密度 = 2.77g/cm ³ , 吸水率 = 3.60%
	20-10	密度 = 2.68g/cm ³ , 吸水率 = 5.68%
	10-5	密度 = 2.59g/cm ³ , 吸水率 = 9.14%
	5-0	密度 = 2.70g/cm ³ , 吸水率 = 4.83% (5~0mm中、0.15mm以下の微粒分36%)
河床砂礫A (一期材)	(mm)	岩種：堆積岩系河床砂礫 (細粒材)
	80-40	密度 = 2.72g/cm ³ , 吸水率 = 0.59%
	40-20	密度 = 2.73g/cm ³ , 吸水率 = 0.73%
	20-10	密度 = 2.71g/cm ³ , 吸水率 = 0.95%
	10-5	密度 = 2.69g/cm ³ , 吸水率 = 1.25%
	5-0	密度 = 2.66g/cm ³ , 吸水率 = 1.51% (5~0mm中、0.15mm以下の微粒分3.2%)
河床砂礫B (一期材)	(mm)	岩種：堆積岩系河床砂礫 (粗粒材)
	80-40	密度 = 2.70g/cm ³ , 吸水率 = 0.64%
	40-20	密度 = 2.69g/cm ³ , 吸水率 = 0.80%
	20-10	密度 = 2.69g/cm ³ , 吸水率 = 0.95%
	10-5	密度 = 2.67g/cm ³ , 吸水率 = 1.35%
	5-0	密度 = 2.66g/cm ³ , 吸水率 = 1.50% (5~0mm中、0.15mm以下の微粒分2.5%)

表中の微粒分は、洗い試験による微粒分量（0.15mmふるいを使用）

河床砂礫A、Bは一期材（2回採取されたもののうち1回目のもの）

各CSG材（掘削ズリおよび河床砂礫A、B）を、写真4.2.1～写真4.2.4に示す。掘削ズリは粘土分を含むような材料であることがわかる。

各CSG材の細骨材（5～0mm）の粒径別分布曲線を図4.2.1に、粗骨材（80～5mm）の粒径別分布曲線を図4.2.2に示す。各CSG材の粒度分布分布曲線を図4.2.3に示す。

掘削ズリと河床砂礫では、0.15mm以下の微粒分量が大きく異なり、掘削ズリは微粒分量が全体粒度の8.2%（5～0mmの中に25%）と多いが、これに対し河床砂礫A、Bでは微粒分量が全体粒度の1.5%、1.9%（5～0mmの中に3.7%、5.8%）で掘削ズリの1/5～1/4に過ぎない。

洗い試験（0.15mmふるい使用）結果においても、微粒分量は掘削ズリの場合36%とかなり多い。河床砂礫A、Bではそれぞれ3.2%、2.5%と、掘削ズリの1/10以下である。



写真4.2.1 現地発生材：掘削ズリ（分級前）（ ）



写真4.2.2 現地発生材：掘削ズリ（分級後）（ ）



写真 4.2.3 現地発生材：河床砂礫 A ()



写真 4.2.4 現地発生材：河床砂礫 B ()

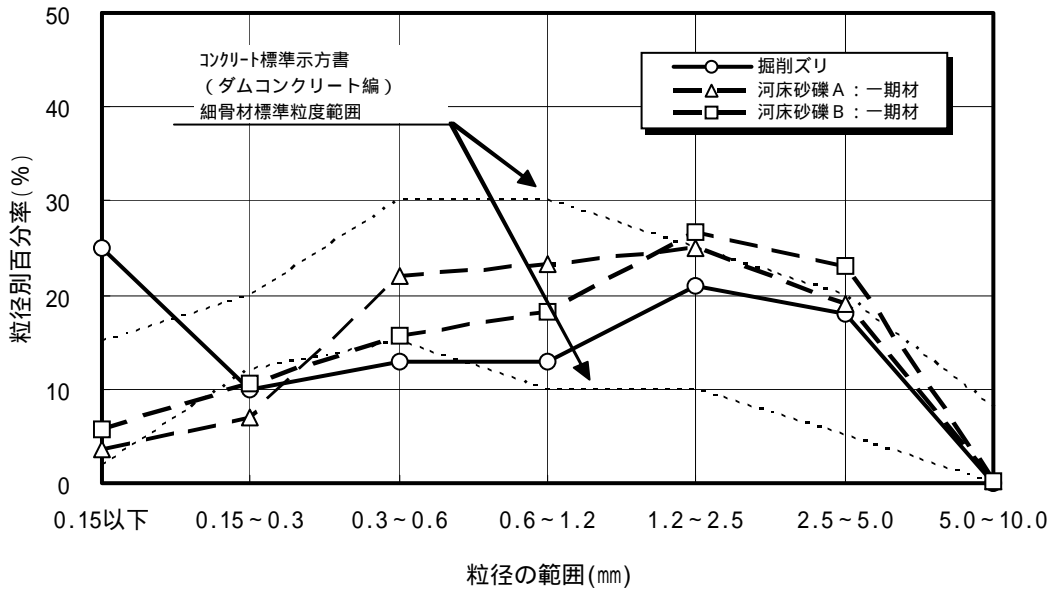


図 4.2.1 細骨材の粒径別分布曲線 ()

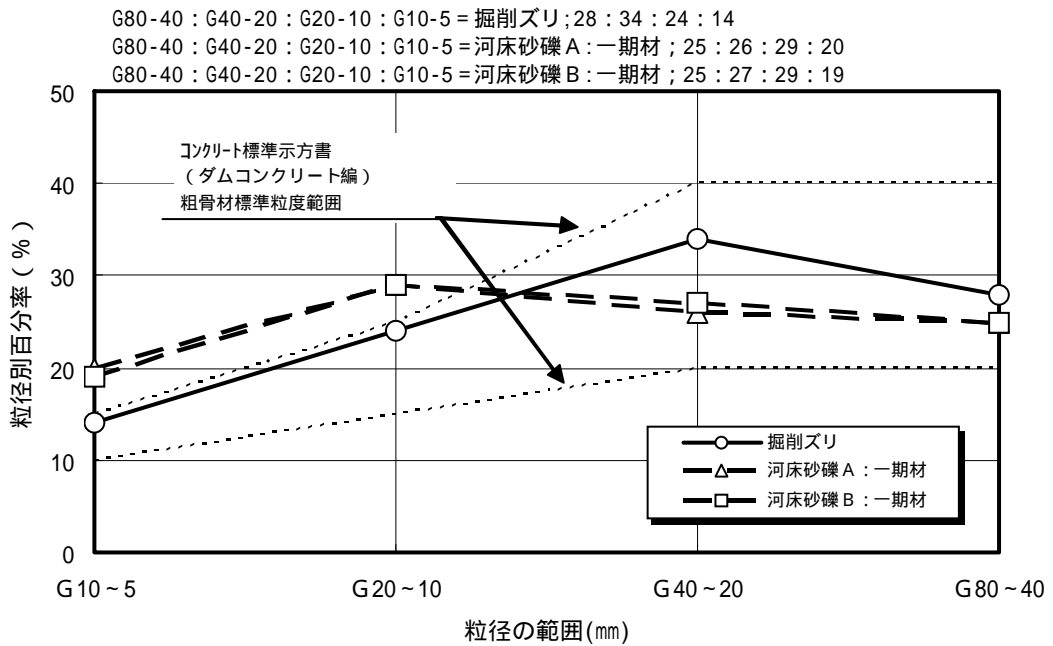


図 4.2.2 粗骨材の粒径別分布曲線 ()

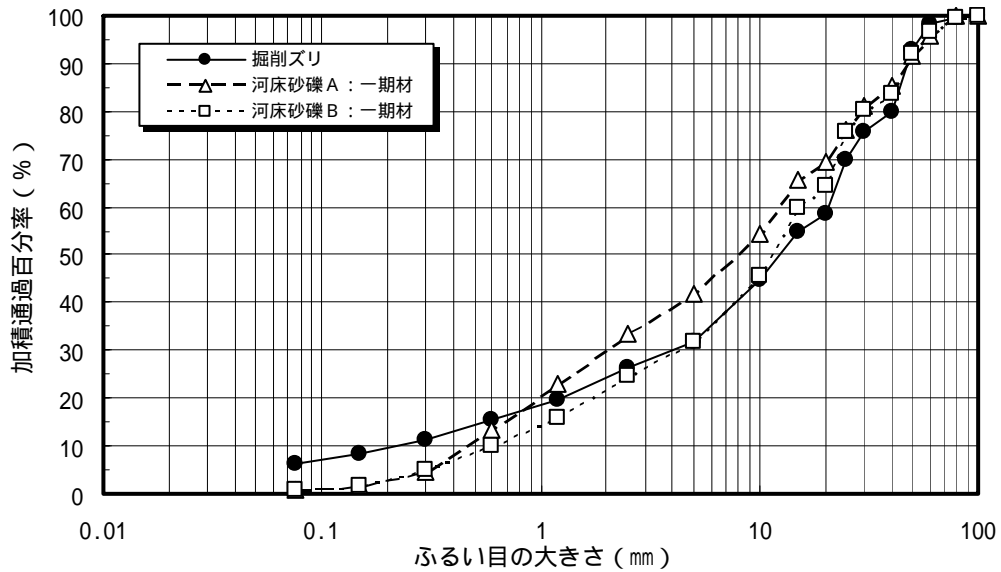


図 4.2.3 各 C S G 材の粒度分布曲線 ()

(3) 試験項目と方法

この検討における試験項目および試験方法を、以下に示す。

基本配合の選定試験

3 種類の C S G 材において、適切な V C 値を確保するための最適な単位水量を求める試験を実施し、基本配合を選定する。この検討における C S G 材はいずれも現地発生材であるため、C S G 材の最大寸法を 80mm とする以外は粒度調整を行わない。したがって、これまで基本配合選定において実施してきた、最適細骨材率の選定は実施しない (C S G 材の現状の粒度分布をもって最適細骨材率とする)。

減水混合試験

上記で定めた 3 種類の基本配合のそれぞれにおいて、混合機における加水 (これを一次加水という) 量と混合機から排出した後の加水 (これを二次加水という) 量をさまざまに変えて C S G を練り混ぜ、V C 試験、標準供試体試験、大型供試体試験 (「 1 . 概要 (2) C S G の試験要領」を参照) を実施する。これらの試験により作製した供試体について、V C 値、供試体の外観評価、密度比、圧縮強度を求め、それらについてどのような傾向 (一次加水量・二次加水量の違いによる各試験結果への影響) が見られるかを検討する。

なお、標準供試体の作製において、河床砂礫 A、B については従来通り標準供試体作製装置を用いるが、掘削ズリに関しては振動タンパによる締固めとした。これは、掘削ズリには微粒分が極めて多いために、標準供試体作製装置で作製した供試体の密度のばらつきが非常に大きくなり、試験の精度を確保できなかったためである。

減水混合試験における試験項目および方法を、表 4.2.2 に示す。

表 4.2.2 減水混合試験における試験項目および方法

試験区分	試験項目	試料	供試体作製	養生方法
フレッシュ性状	標準V C 試験	40mm ウェットスクリーニング	-	-
標準供試体試験	供試体作製 外観評価 密度 圧縮強度	40mm ウェットスクリーニング	掘削ズリ： 振動タンパ 河床砂礫： 標準供試体作製装置	封緘養生 湛水養生
大型供試体試験	供試体作製 コア外観評価 コア密度 コア圧縮強度	フルサイズ	大型供試体作製装置	封緘養生 湛水養生

(4) 基本配合の選定

基本配合は、各CSG材についてC = 80kg/m³ (一定) で標準V C 値が 20 秒となる配合を選定した。各CSG材における単位水量とV C 値の関係を図 4.2.4 に示す。

標準V C 値 20 秒となる単位水量は、掘削ズリが最も多くW = 130kg/m³、河床砂礫AがW = 105kg/m³、河床砂礫Bが最も少なくW = 90kg/m³であった。このような最適単位水量の違いが出た理由は、以下の通りと考えられる。

- ・ 掘削ズリには微粒分 (0.15mm 以下) が最も多い。
- ・ これに対して、河床砂礫は微粒分がほとんどなく、粒子の形状が丸い。
- ・ 5 mm 以下の細粒分は、河床砂礫A (全体粒度のうち 42%) の方がB (32%) より多い。

選定した各CSG材の基本配合を、表 4.2.3 に示す。

表 4.2.3 基本配合表 ()

CSG材	最大骨材寸法 (mm)	空気量 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)							
					水 W	セメント C	CSG材 S (5~0mm)	CSG材				混和剤 (AE減水剤)
								80-40 (mm)	40-20 (mm)	20-10 (mm)	10-5 (mm)	
掘削ズリ	80	0	163	32	130	80	734	453	540	364	210	0.200
河床砂礫A	80	0	131	42	105	80	960	342	364	393	281	
河床砂礫B	80	0	113	32	90	80	758	395	440	476	302	

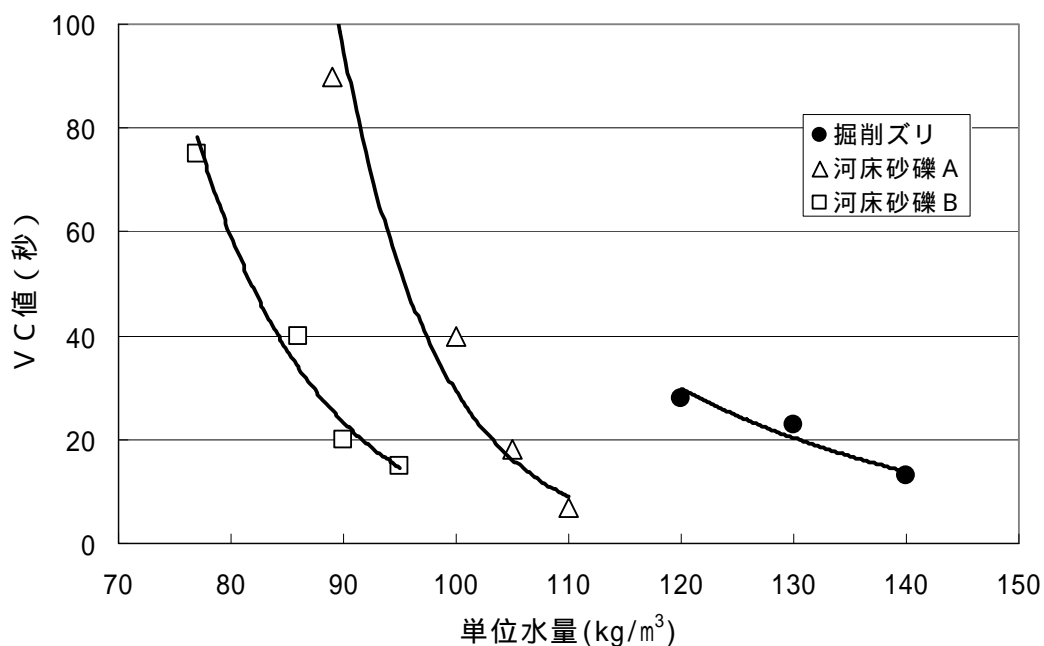


図 4.2.4 単位水量と VC 値 ()

(5) 試験ケース

減水混合試験の試験ケースを表 4.2.4 に示す。

この試験では、混合水を 2 段階に分けて混合することとし、一次加水率を 100、85、70% で、二次加水率を 0、15、30% と変化させて実施した。

表 4.2.4 試験ケース (現地発生材) ()

試験ケース	C S G 材	単位セメント量 (kg/m ³)	単位水量 (kg/m ³)	減水混合		試験項目
				一次加水率 W 1 (%)	二次加水率 W 2 (%)	
1 - 1	掘削ズリ	80	130	100 (130)	0 (0)	<ul style="list-style-type: none"> ・ VC 試験 ・ 標準供試体試験 ・ 大型供試体試験
1 - 2				85 (111)	15 (19)	
1 - 3				70 (91)	30 (39)	
2 - 1	河床砂礫 A	80	105	100 (105)	0 (0)	
2 - 2				85 (89)	15 (16)	
2 - 3				70 (74)	30 (31)	
3 - 1	河床砂礫 B	80	90	100 (90)	0 (0)	
3 - 2				85 (77)	15 (13)	
3 - 3				70 (63)	30 (27)	

() 内は一次、二次加水量 : kg/m³

(6) 試験結果

1) CSGのフレッシュ性状

ミキサにおける混合状況

減水混合試験における各ケースのCSGの、傾胴ミキサによる混合状況は以下のとおりであった。

- ・ 一括加水：一次加水率 100%におけるミキサの混合状態としては、微粒分の多い掘削ズリのCSGにおいては、ミキサ内にモルタル分が多く付着して混合が困難であった。河床砂礫のCSGでは、正常に混合できた。
- ・ 減水混合：掘削ズリのCSGにおいては、減水混合（一次加水率 85、70%）を行った場合は、ミキサ内に付着が発生することなく、均一な混合が可能であった。河床砂礫のCSGでは、一括加水の場合と同様に正常に混合できた。

VC値

減水混合試験における一次加水率と、一次混合後および二次混合後のVC値の関係を図4.2.5に示す。

掘削ズリにおける一次加水率 100%の標準VC値は 20 秒程度である。減水混合したときの二次加水後のVC値は一次加水率 85、70%で 43 秒～44 秒となり、一次加水率 100%のVC値の 20 秒程度まで回復していない。

これに対して、河床砂礫 A、B の場合、減水混合したときの二次加水後のVC値は 15～20 秒程度となり、一次加水率 100%のVC値 22 秒よりもVC値が小さくなる傾向にある。

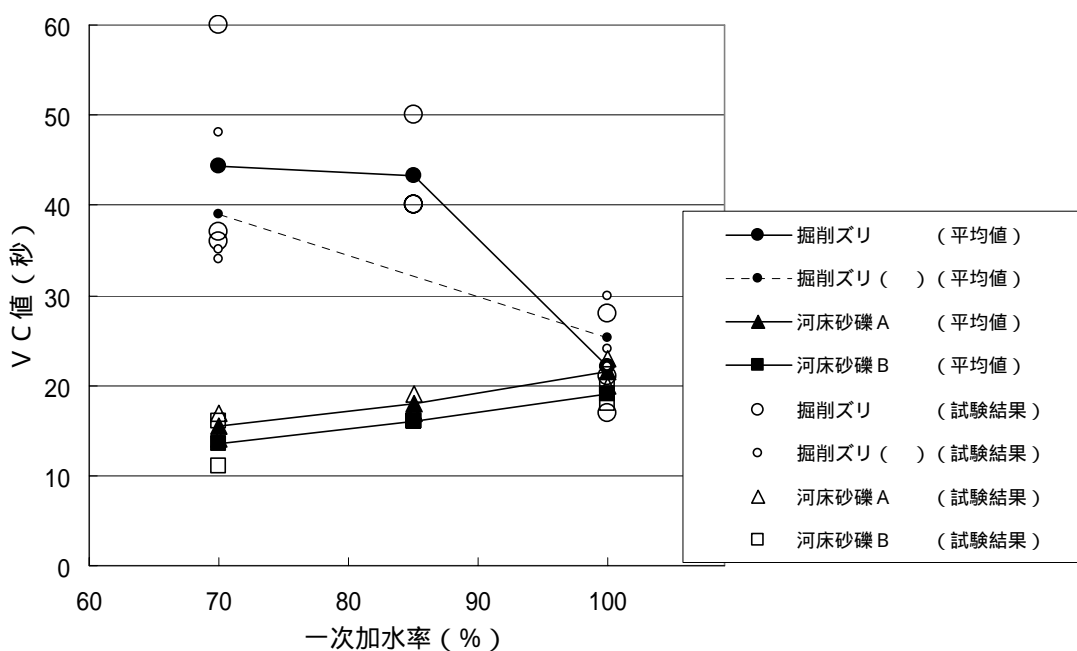


図 4.2.5 CSG材の違いによる一次加水率と二次加水後のVC値 ()
 (図中の は、同じ掘削ズリ材料を前年度に試験した結果である)

2) C S Gの評価点、密度比、圧縮強度

各C S G材における一次加水率と供試体評価点、供試体密度比、供試体圧縮強度の関係(材齢 28 日、91 日)を図 4.2.6~図 4.2.11 に示す。また、大型供試体のコア評価点、コア密度比、コア圧縮強度の関係(材齢 91 日)を図 4.2.12~図 4.2.14 に示す。

供試体評価点、コア評価点

減水混合(一次加水率 85、70%)を行った標準供試体評価点および大型供試体コア評価点は、ミキサによる一括加水(一次加水率 100%)とほぼ同じ評価点を示しており、減水混合が外観に与える影響はほとんどないと考えられる。

供試体密度比、コア密度比

密度比についても、減水混合のケースは一括加水のケースとほぼ同じ値を示していることから、減水混合が密度比に与える影響は小さいと考えられる。

供試体圧縮強度、コア圧縮強度

掘削ズリにおける減水混合のケースの圧縮強度は、一括加水のケースとほぼ同じ強度を示しており、減水混合が圧縮強度に与える影響は見られない。一方、河床砂礫においては、減水混合の強度が一括加水に比べて同等もしくは低い値を示した。

次に、C S G材の種類によって強度差が見られるが、これは各C S G材の配合における水セメント比の違いによるものであり、河床砂礫 B は水セメント比が 113%でC S G材 3 種類の中で最も圧縮強度が高く、河床砂礫 A は水セメント比が 131%で河床砂礫 B より強度が低く、掘削ズリの場合は水セメント比が 163%で最も低い強度を示した。

また、供試体の養生条件を封緘と湛水の 2 方法で実施したが、両者には顕著な強度差は見られなかった。

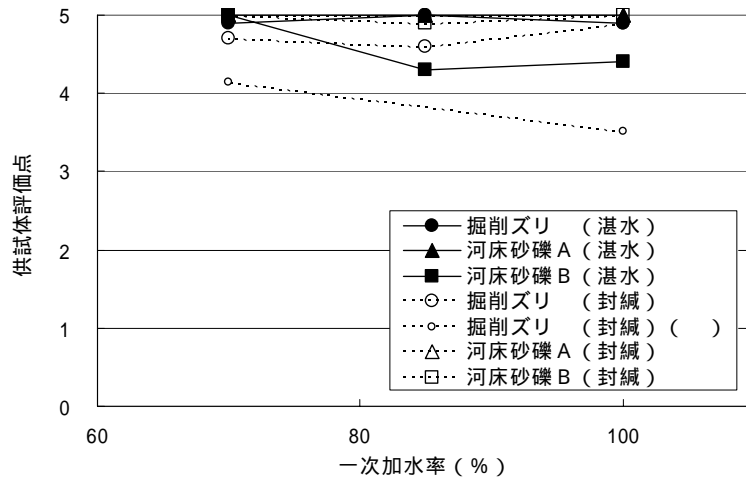


图 4.2.6 一次加水率と供試体評価点 (標準供試体、材齡 28 日)()

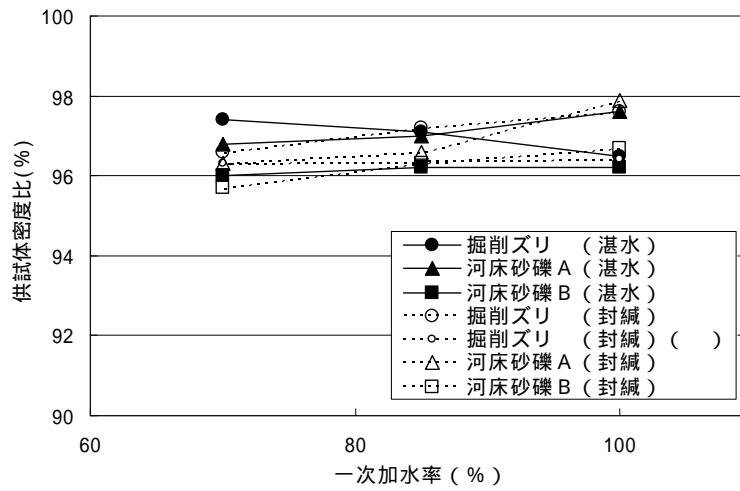


图 4.2.7 一次加水率と供試体密度比 (標準供試体、材齡 28 日)()

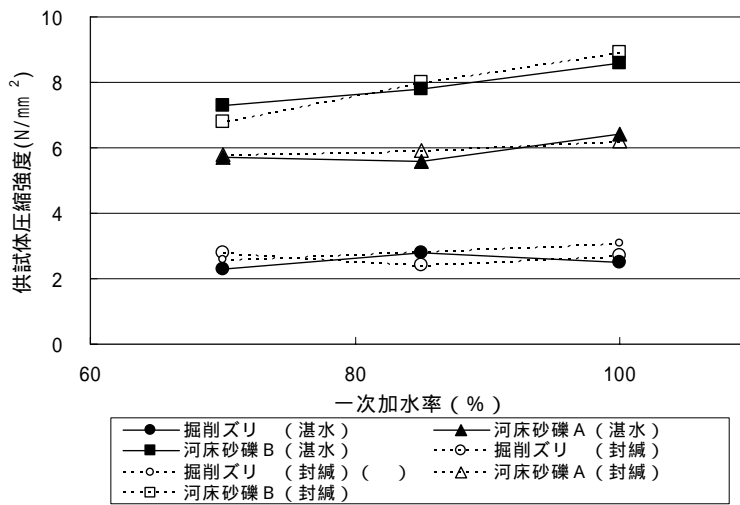


图 4.2.8 一次加水率と供試体圧縮強度 (標準供試体、材齡 28 日)()

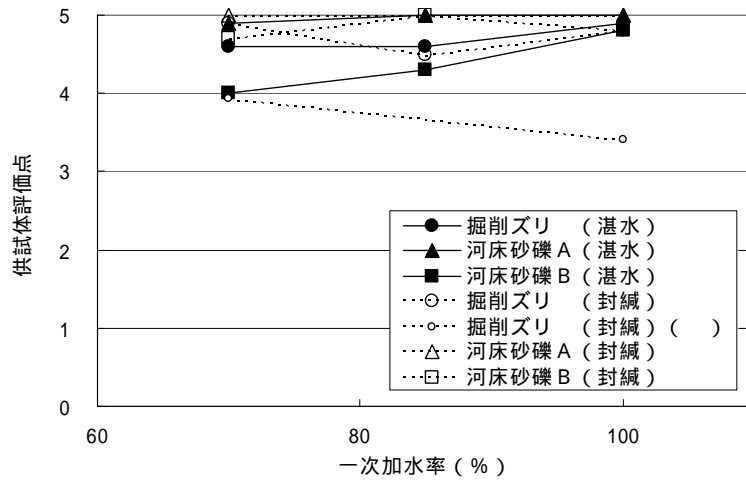


図 4.2.9 一次加水率と供試体評価点 (標準供試体、材齢 91 日) ()

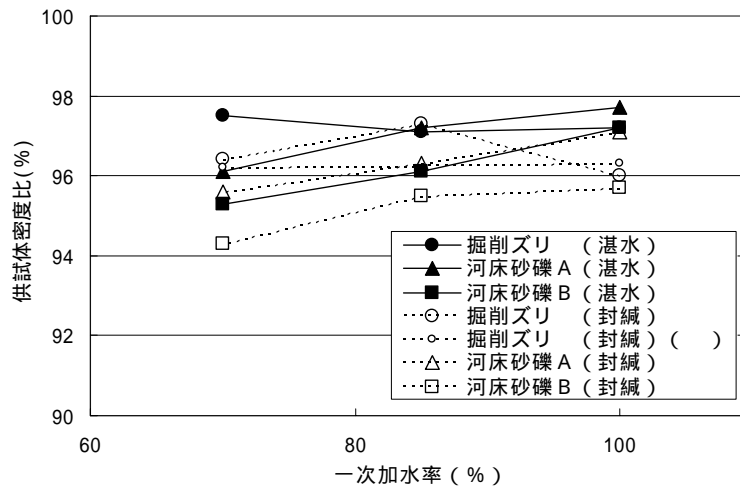


図 4.2.10 一次加水率と供試体密度比 (標準供試体、材齢 91 日) ()

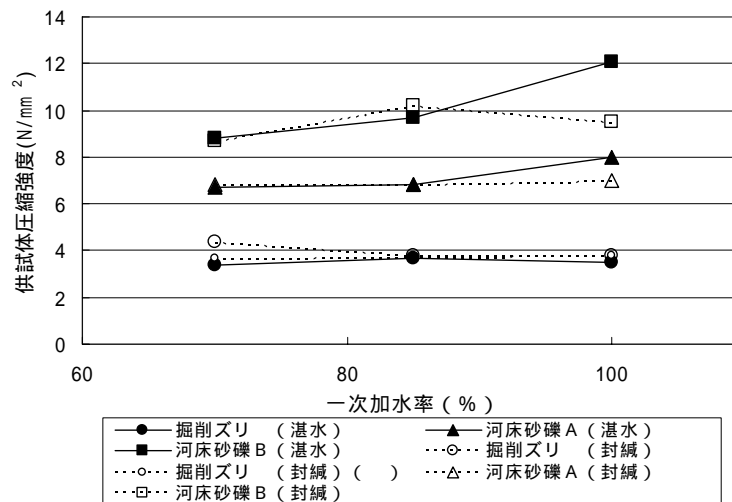


図 4.2.11 一次加水率と供試体圧縮強度 (標準供試体、材齢 91 日) ()

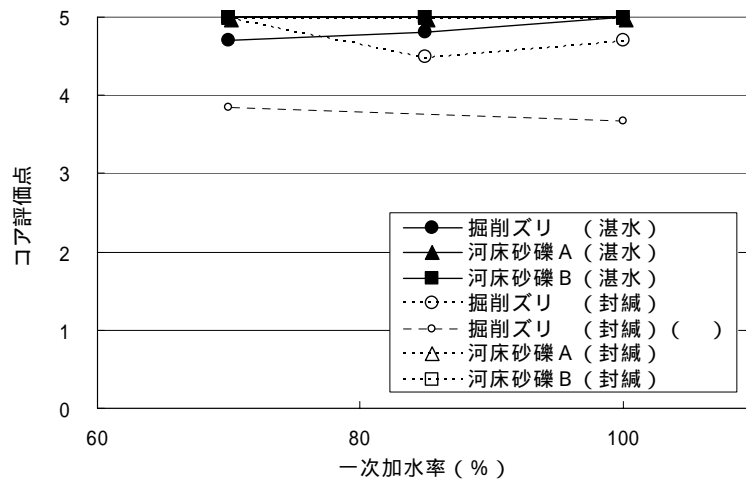


図 4.2.12 一次加水率とコア評価点 (大型供試体、材齢 91 日) ()

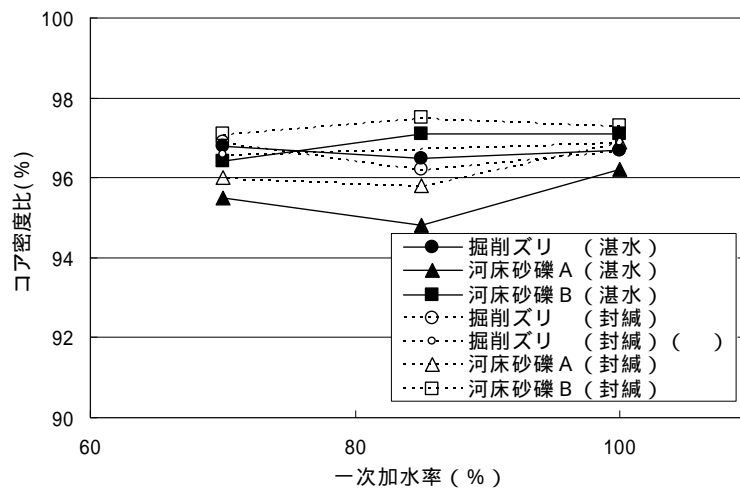


図 4.2.13 一次加水率とコア密度比 (大型供試体、材齢 91 日) ()

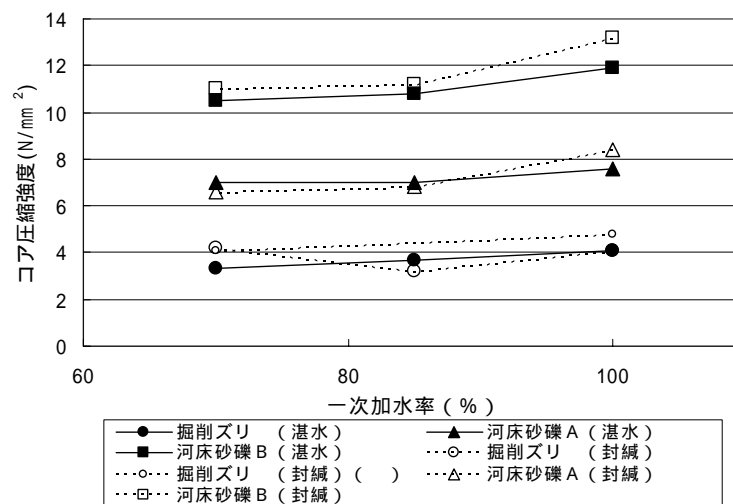


図 4.2.14 一次加水率とコア圧縮強度 (大型供試体、材齢 91 日) ()

(7) まとめ

混合機における一括加水による混合が困難であるようなCSGについて、減水混合によるCSGの性状への影響を確認し、より有効な減水混合の方法について検討するため、3種類の現地発生材（掘削ズリ、河床砂礫A、B）によるCSG材について減水混合によって練り混ぜ、VC値、密度および強度等の各種試験を実施した。その結果、以下のことが明らかになった。

ミキサにおけるCSGの混合状況は、0.15mm以下の微粒分の多い掘削ズリ（細骨材の0.15mm以下の量25%、洗い試験では36%）によるCSGの場合、一括加水（一次加水率100%）では、混合中の粘性が増し、ミキサの羽根や内面にモルタル分が多く付着する現象が確認された。これに対して、一次加水率を減らして（85%、70%）混合した場合は、粘性が増すこともなく、CSG材とセメントが均一に混ざり、ミキサ内面にモルタル分が付着する現象も少なかった。河床砂礫によるCSGの場合は、0.15mm以下の微粒分が少ない（河床砂礫A・B：細骨材の0.15mm以下の量3.7%・5.8%、洗い試験では3.2%・2.5%）ため、一括加水の場合でも正常に混合できた。

微粒分の多い掘削ズリを用いたCSGにおいて、一次加水率を85%、70%とした場合の二次加水後のVC値は、一括加水のVC値よりもかなり大きい値を示した。なお、この傾向は前節「4.1 製品骨材によるCSGのフレッシュ性状および強度等への影響」で得られた結果とは相反するものとなっている。これについては後に考察する。河床砂礫A、Bについては、一次加水率を小さくするほど二次加水後のVC値が小さくなる傾向が見られた。

一次加水率と密度比の関係から、同一のCSGでは、減水混合を行っても密度比は一括加水の場合とほぼ同じ値を示しており、減水混合が密度に与える影響は小さい。圧縮強度に関しては、掘削ズリについては減水混合による影響は小さいものであったが、河床砂礫A、Bについては一次加水率を小さくするほど圧縮強度が小さくなる傾向が見られた。また、CSG材の種類によって強度差が見られたが、これは各CSG材の配合における水セメント比の違いによるものである。

4.3 現地発生材によるCSGのフレッシュ性状および強度等への影響（その2）

（1）検討目的と検討方法

前節までの検討の結果、減水混合によって強度等の硬化後の品質に悪影響を与えずに締固め易さ等のフレッシュ性状を改善できるという成果を得た。また、CSG材に微粒分が多い場合には減水混合がより有効であることが明確になった。

そこで、過年度に引き続きCSGにおける減水混合の効果を検証するために、大保ダム沢処理工に使用されたCSG材を用いた室内実験により、CSGのフレッシュ性状および強度等に及ぼす影響について検討した。

（2）使用材料

使用材料の種類および物性を表4.3.1に示す。母材は、沖縄県の大保脇ダム沢処理工に使用されたものである。大保ダムサイト周辺に分布する中生代白亜紀の四万十帯に分布する千枚岩C_L級であり、大保脇ダム沢処理工の母材山より採取されたものである。採取時における母材の最大粒径は400mmであり、これを既設の大保脇ダムフィルター材製造設備でCSG材の最大粒径が80mmになるように全量破碎を行ったものである。

表 4.3.1 使用材料の種類および物性（ ）

使用材料		種類及び物性
セメント		普通ポルトランドセメント (密度=3.15g/cm ³ ,比表面積=3,360cm ² /g)
CSG材		物性
掘削 ズリ	(mm)	岩種:千枚岩CL級(大保脇ダム用原石)
	80-40	密度=2.62g/cm ³ ,吸水率=1.97%
	40-20	密度=2.55g/cm ³ ,吸水率=2.94%
	20-10	密度=2.55g/cm ³ ,吸水率=2.78%
	10-5	密度=2.52g/cm ³ ,吸水率=3.27%
	5-0	密度=2.70g/cm ³ ,吸水率=0.70%

各CSG材の細骨材(5~0mm)の粒径別分布曲線を図4.2.1に、粗骨材(80~5mm)の粒径別分布曲線を図4.2.2に示す。各CSG材の粒度分布曲線を図4.2.3に示す。CSG材は沖縄県の大保脇ダム沢処理工に使用されたものである。母材は大保ダムサイト周辺に分布する中生代白亜紀の四万十帯に分布する千枚岩C_L級であり、大保脇ダム沢処理工の母材山より採取されたものである。採取時における母材の最大粒径は400mmであり、これを既設の大保脇ダムフィルター材製造設備でCSG材の最大粒径が80mmになるように全量破碎を行ったものである。

現地にて製造されたCSG材は実験施設に搬入し、施設内のふるい分け設備で分級し、写真4.3.1のように、80~40mm、40~20mm、20~10mm、10~5mm、5~0mmの各分級ごとに保管した。

使用するCSG材の粒度分布を表4.3.2、図4.3.1に示す。図4.3.2~図4.3.3、表4.3.3~表4.3.4は、示方書ダム編においてダム用コンクリート骨材の標準とされる粒度範囲に対応するように、使用するCSG材の粒度を表示したものである。図4.3.2によると、使用するCSG材は0~5mmの粒度内に0.15mm以下の微粒分を25%(全体粒度で14%)含み、ダム用コンクリート骨材の標準粒度範囲内には収まらないCSG材である。また、セメントには普通ポルトランドセメント(住友大阪セメント(株)社製比重=3.15)を使用した。



写真 4.3.1 C S G材：掘削ズリ（千枚岩）()

表 4.3.2 C S G材の粒度分布 ()

ふるいの呼び寸法 (mm)	80	60	50	40	30	25	20	15	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	0.075
通過重量百分率 (%)	100	94	90	82	79	76	70	67	59	51	42	32	25	19	14	11

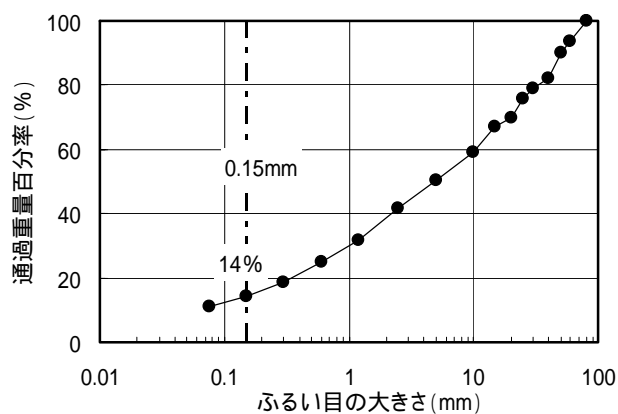


図 4.3.1 C S G材の粒度分布 ()

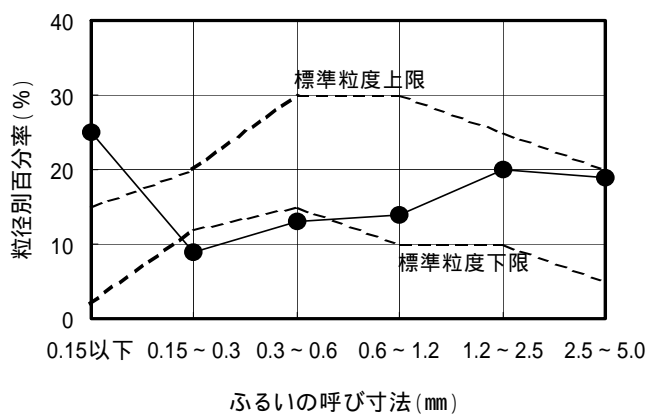


図 4.3.2 C S G材（0～5mm）の粒度 ()

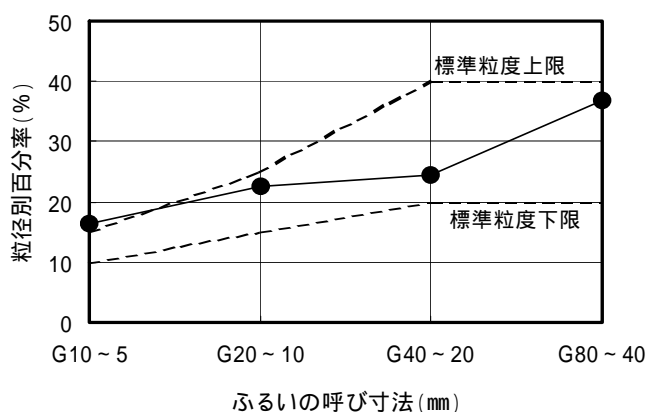


図 4.3.3 C S G 材 (5mm 以上) の粒度 ()

表 4.3.3 C S G 材 (0~5mm) の粒度 ()

[0~5mm]		[粒径別百分率]				
ふるい目	0.15以下	0.15~0.3	0.3~0.6	0.6~1.2	1.2~2.5	2.5~5.0
上限	15	20	30	30	25	20
実験粒度	25	9	13	14	20	19
下限	2	12	15	10	10	5

表 4.3.4 C S G 材 (5mm 以上) の粒度 ()

[5~80mm]		[粒径別百分率]			
ふるい目	G10~5	G20~10	G40~20	G80~40	
上限	15	25	40	40	
実験粒度	16	22	24	37	
下限	10	15	20	20	

(3) 試験項目および方法

この検討における試験項目および試験方法を以下に示す。

基本配合の選定

C S G 材において、適切な V C 値を確保するための最適な単位水量を求める試験を実施し、基本配合を選定する。この検討における C S G 材はいずれも現地発生材であるため、C S G 材の最大寸法を 80mm とする以外は粒度調整を行わない。したがって、これまで基本配合選定において実施してきた最適細骨材率の選定は実施しない (C S G 材の現状の粒度分布をもって最適細骨材率とする)。

減水混合試験

上記で定めた基本配合のそれぞれにおいて、混合機における加水 (これを一次加水という) 量と混合機から排出した後の加水 (これを二次加水という) 量をさまざまに変えて C S G を練り混ぜ、V C 試験、標準供試体試験、大型供試体試験 (「1. 概要 (2) C S G の試験要領」を参照) を実施する。これらの試験により作製した供試体について、V C 値、供試体の外観評価、密度比、圧縮強度を求め、それらについてどのような傾向 (一次加水量・二次加水量の違

いによる各試験結果への影響)が見られるかを検討する。

なお、標準供試体作製時の締固めは振動タンパを使用し、3層詰めとしたが、締固め時間についてはこれまでの室内試験結果、RCDにおける一般的な締固め時間を参考に30秒と仮設定し試験を実施した。

減水混合試験における試験項目および方法を表4.3.5に示す。

表 4.3.5 減水混合試験における試験項目および方法

試験区分	試験項目	試料	供試体作製	養生方法
フレッシュ性状	標準VC試験	40mm ウェットスクリーニング	-	-
標準供試体試験	供試体作製 外観評価 密度 圧縮強度	40mm ウェットスクリーニング	振動タンパ	封緘養生
大型供試体試験	供試体作製 コア外観評価 コア密度 コア圧縮強度	フルサイズ	大型供試体作製装置	封緘養生 湛水養生

(4) 基本配合の選定

基本配合は、CSG材について $C = 80\text{kg/m}^3$ (一定)で標準VC値が20秒となる配合を選定した。CSG材における単位水量と単位水量と密度比、VC値、圧縮強度の関係を図4.3.4に示す。

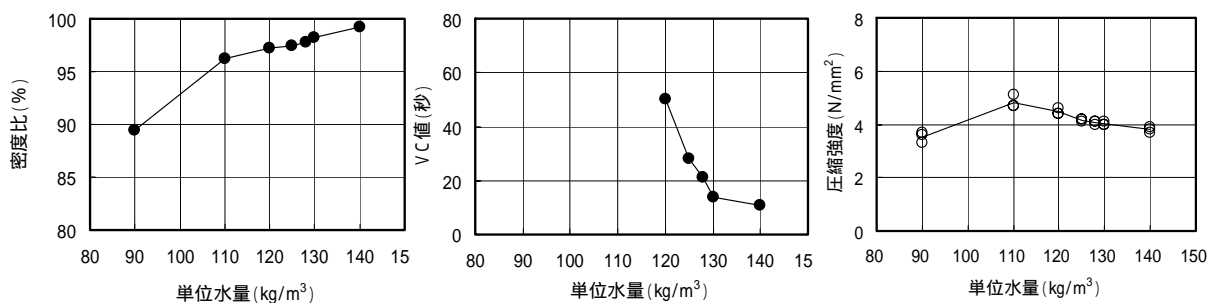


図 4.3.4 単位水量と密度比、VC値、圧縮強度 ()

選定したCSG材の基本配合を表4.3.6に示す。

表4.3.6 基本配合表()

最大寸法 G _{max} (mm)	水セメント 比 w/c (%)	単体量(kg/m ³)						
		水 W	セメント C	CSG 材 5mm以下 S	CSG材80~5mm			
					G1 80~40	G2 40~20	G3 20~10	G4 10~5
80	160	128	80	726	557	408	307	257

(5) 試験ケース

減水混合試験の試験ケースを表4.3.7に示す。

この試験では、混合水を2段階に分けて混合することとし、一次加水率を100、70、40%で、二次加水率を0、30、60%と変化させて実施した。

表4.3.7 試験ケース()

ケース	配合	供試体 種別	養生方法	一次加水率 (%)	二次加水率 (%)
1-1	基本配合A C=80kg/m ³ W=128kg/m ³	標準	封緘	100	0
1-2				70	30
1-3				40	60
1-4-1		大型供試体 からの コアリング	封緘	100	0
1-4-2					
1-5-1			封緘	70	
1-5-2					
1-6-1			封緘	40	
1-6-2			湛水		

(6) 試験結果

1) 標準供試体CSGのフレッシュ性状

ミキサにおける混合状況

CSGの混合状態は、CSG材に0.15mm以下の微粒分が多いことから一括加水(一次加水率100%)の混合では粘性が増し、CSGがミキサ内に多く付着して混合が困難であった。

これに対して、減水混合(一次加水率70%、40%)ではCSGのミキサ内への付着はほとんど見られず、混合しやすくなっていた。

これより、一括加水では混合が困難であったが、適切な減水混合を行なうことで混合性状は改善された。

減水混合によるCSGの標準VC値を図4.3.5に示す。

一括加水のVC値は、21、23秒である。

減水混合の場合、一次加水後のVC値は計測できなかったが、二次加水後のVC値は、一次加水率70%、二次加水率30%でVC値が22、23秒であり、一括加水のVC値20秒程度まで回復しており、減水混合の効果が現れている。

一方、一次加水率40%、二次加水率60%のケースは、VC値が35、18秒とバラツキが見られ、一括加水のVC値まで回復するに至らなかった。

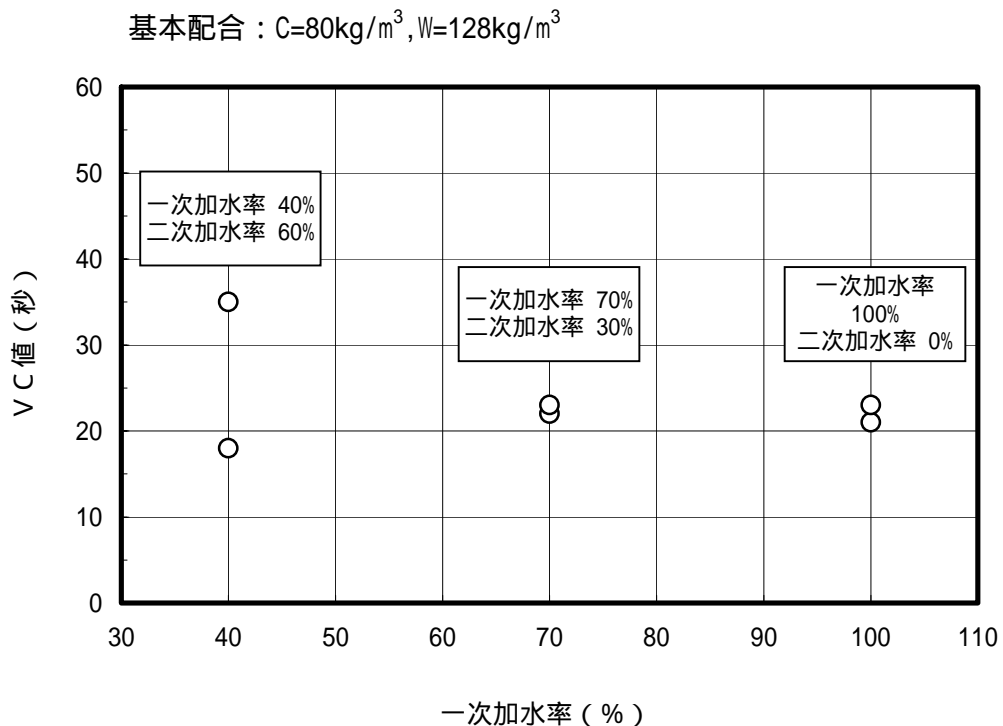


図4.3.5 減水混合とVC値 ()

2) 標準供試体CSGの評価点、密度比、圧縮強度

標準供試体(フレッシュCSG)の密度、密度比

標準供試体(材齢7日、28日)の密度測定結果を図4.3.6に示す。

一括加水(一次加水率100%：ケース1-1)の密度比は、97.7~98.8%(全平均98.3%)の範囲である。減水混合(一次加水率70%、二次加水率30%：ケース1-2)の密度比は、97.4~98.4%(全平均98.1%)の範囲で、一括加水とほぼ同程度である。減水混合(一次加水率40%、二次加水率60%：ケース1-3)の密度比は、97.1~98.2%(全平均97.7%)の範囲で、一括加水より若干低い値を示している。

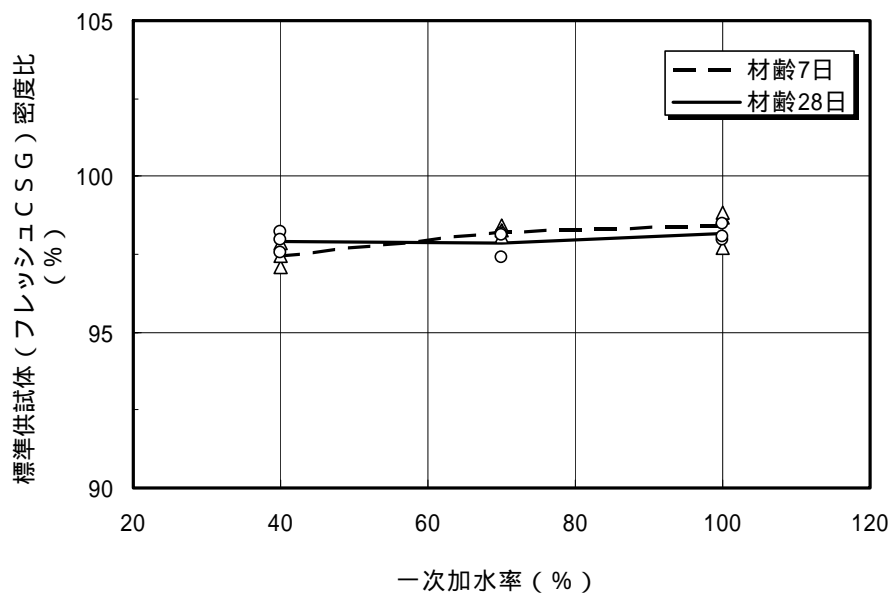
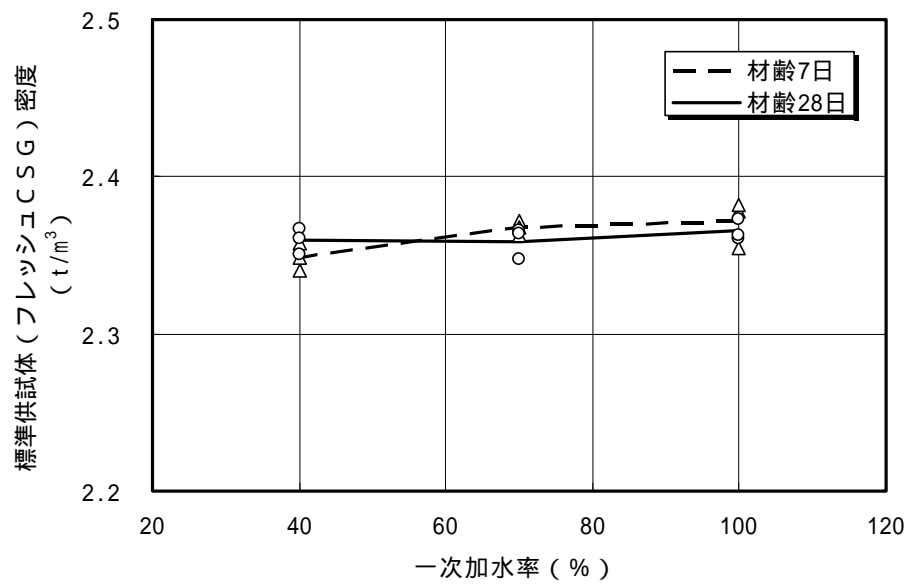


図 4.3.6 減水混合と標準供試体 (フレッシュCSG) の密度・密度比 ()

標準供試体（硬化CSG）の外観、密度、圧縮強度

減水混合と標準供試体評価点の関係を図4.3.7に示す。また、減水混合と標準供試体密度、密度比、圧縮強度の関係を図4.3.8に示す。

・ 標準供試体（材齢7日、28日用）の評価点

一括加水（一次加水率100%：ケース1-1）は、4.5～4.8（全平均4.7）の範囲で高い評価点を示している。減水混合（一次加水率70%、二次加水率30%：ケース1-2）は、4.3～4.6（全平均4.4）の範囲で、良好な外観を示しているが一括加水より若干低い値を示している。減水混合（一次加水率40%、二次加水率60%：ケース1-3）は、3.9～4.2（全平均4.1）の範囲で、やや不良な外観を示す供試体もあり、一括加水と比べて低い値を示している。

・ 標準供試体（材齢7日、28日用）の密度比

一括加水（一次加水率100%：ケース1-1）は、97.0～98.7%（全平均97.6%）の範囲である。減水混合（一次加水率70%、二次加水率30%：ケース1-2）は、97.1～97.8%（全平均97.6%）の範囲で、一括加水と同程度である。減水混合（一次加水率40%、二次加水率60%：ケース1-3）は、96.6～97.4%（全平均97.0%）の範囲で、一括加水より若干低い値を示している。

・ 標準供試体（材齢7日、28日用）の圧縮強度

減水混合（一次加水率70%、二次加水率30%：ケース1-2）は、一括加水（一次加水率100%：ケース1-1）とほぼ同程度の強度となっているが、データに若干のバラツキが見られる。一方、減水混合（一次加水率40%、二次加水率60%：ケース1-3）は、一括加水や減水混合（一次加水率70%、二次加水率30%：ケース1-2）に比べて明らかに低い強度を示し、データにもバラツキが見られる。

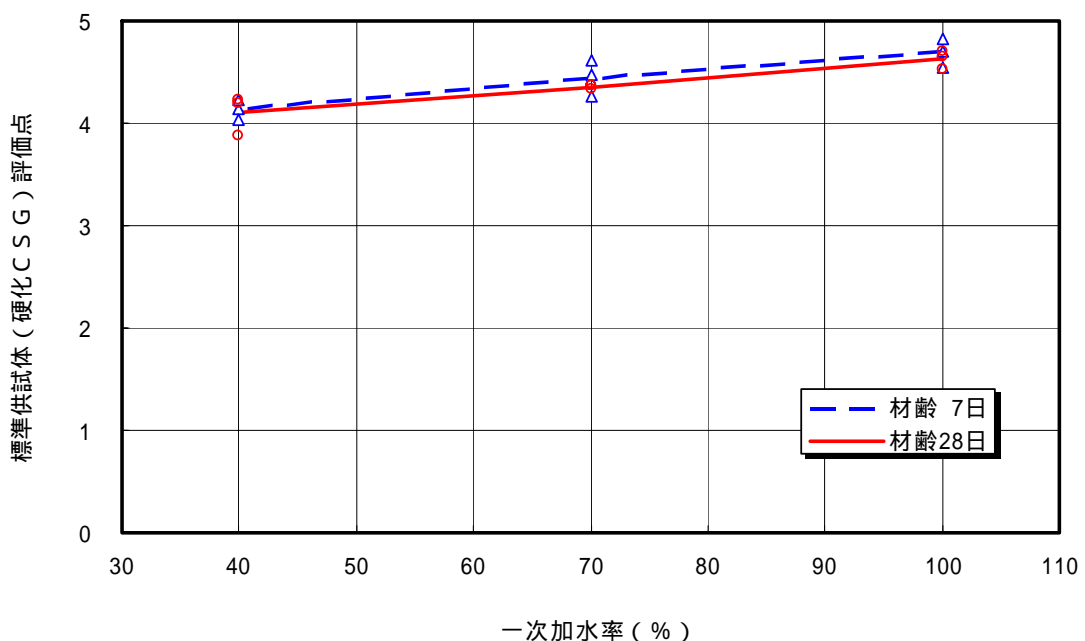


図4.3.7 減水混合と標準供試体（硬化CSG）評価点（ ）

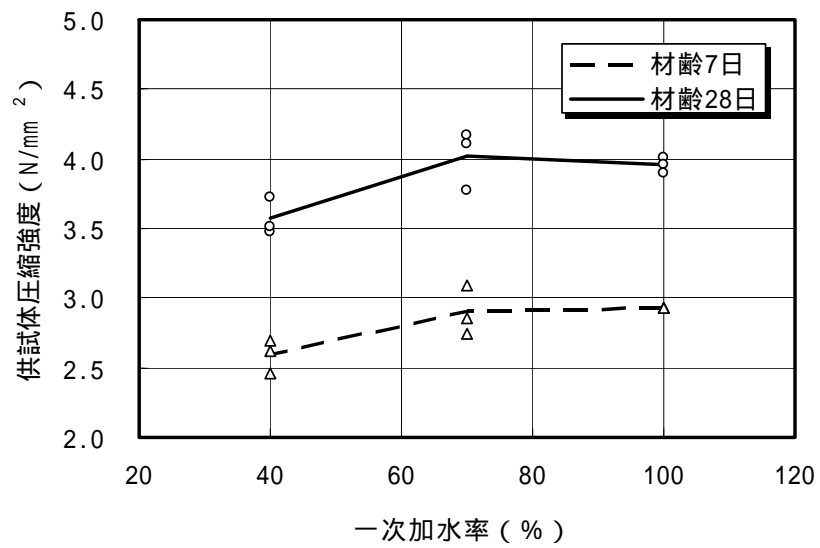
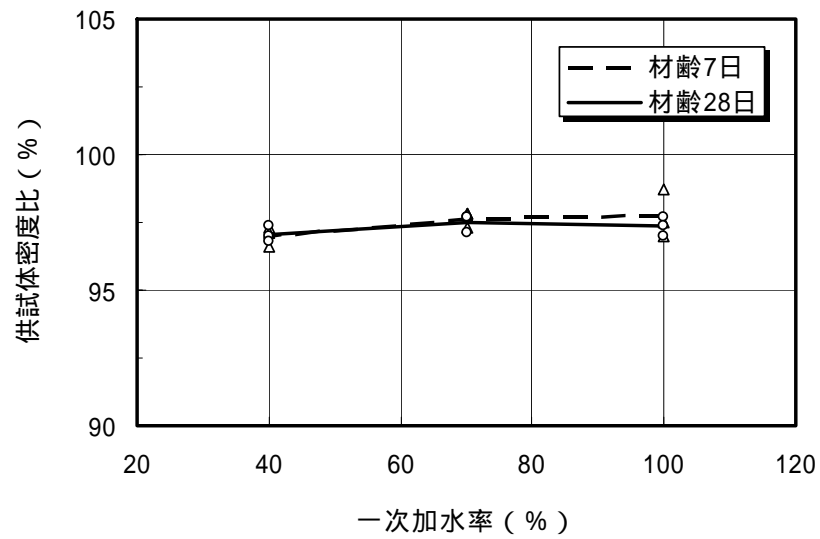
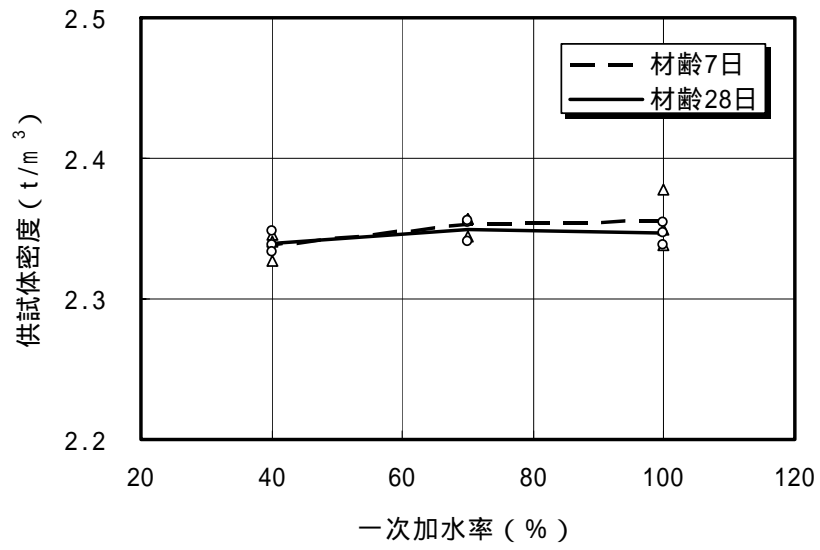


図 4.3.8 減水混合と標準供試体 (硬化CSG) 密度・密度比・圧縮強度 ()

3) 大型供試体CSGの評価点、密度比、圧縮強度

大型供試体全体密度と密度比

大型供試体試験は、フルサイズ試料のCSGを大型供試体型枠に3層に分けて詰め、各層25回突き固めた状態を初期状態とする。これに起振機をセットし、規定締固め時間（総締固め時間60秒）における沈下量からフレッシュCSGの単位容積質量を求め、これを大型供試体全体密度とした。また、大型供試体全体の密度比は、大型供試体全体密度を配合表により求まる理論最大密度（空気量0%）で除した百分率で示される。

一次加水後における締固め時間と締固め密度および締固め時間と密度比の関係をそれぞれ図4.3.9および図4.3.10に示す。締固め時間60秒における一次加水率と締固め密度および一次加水率と密度比の関係をそれぞれ図4.3.11および図4.3.12に示す。

・ 一次加水後における締固め時間と締固め密度および締固め時間と密度比の関係

一括加水（一次加水率100%：ケース1-4-1、1-4-2）および減水混合（一次加水率70%：ケース1-5-1、1-5-2）は、いずれも締固め時間の増加に伴い締固め密度、密度比は大きくなる傾向を示している。一方、減水混合（一次加水率40%：ケース1-6-1、1-6-2）は、15秒締固め以降の締固め密度、密度比の上昇は顕著に見られない。

・ 一次加水率と締固め密度および一次加水率と密度比の関係

一次加水率が減少するにつれて、直線的に締固め密度、密度比が減少している。一括加水（加水量 $W = 128\text{kg/m}^3$ ）の密度比が、97.5、97.2%に対して、一次加水率40%（加水量 $W = 51\text{kg/m}^3$ ）は、88.4、88.9%と低い値を示し、明らかにCSGの締固め不足である。

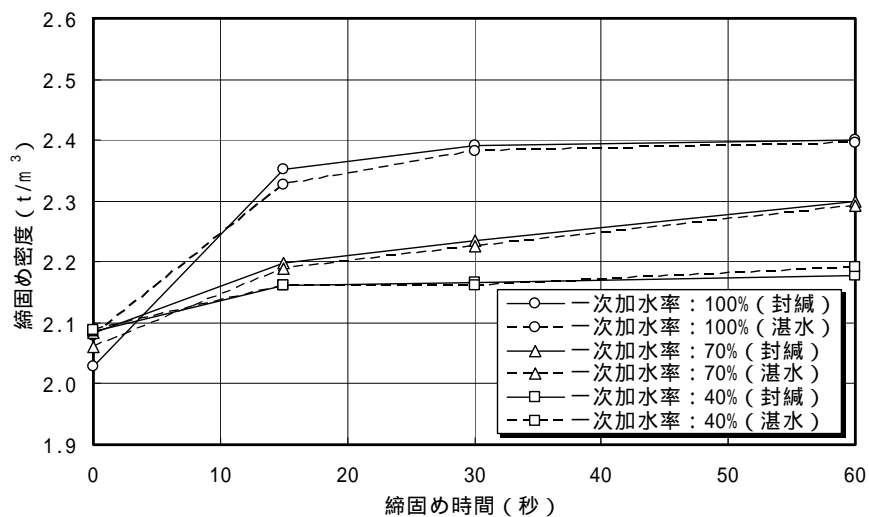


図 4.3.9 締固め時間と大型供試体CSG締固め密度（一次加水後）()

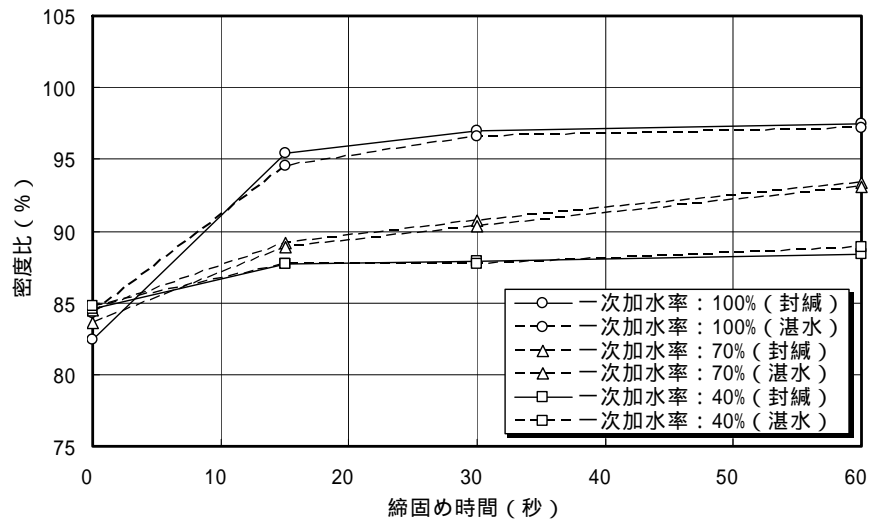


図 4.3.10 締固め時間と大型供試体 C S G 密度比 (一次加水後) ()

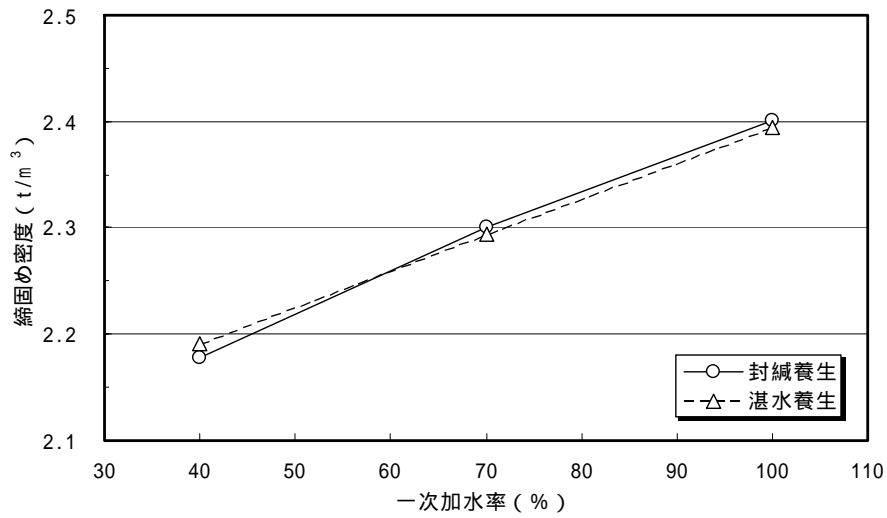


図 4.3.11 一次加水率と大型供試体 C S G 締固め密度 (締固め時間 60 秒) ()

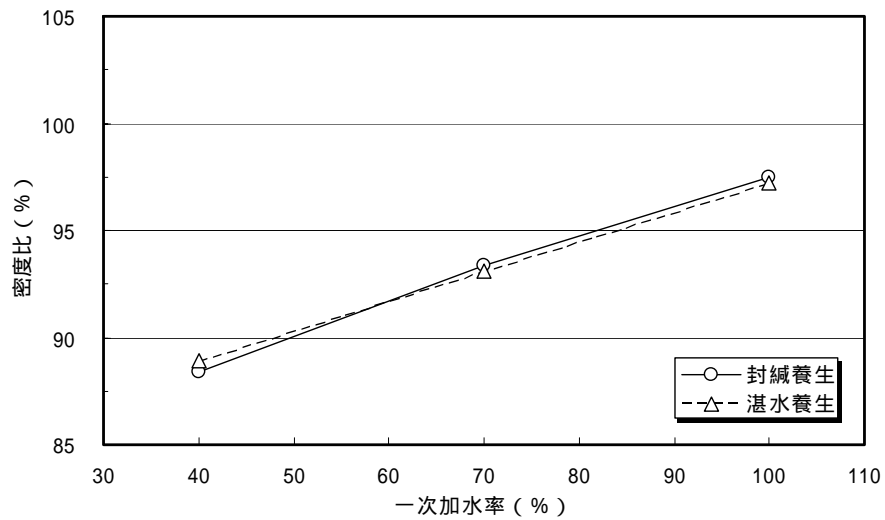


図 4.3.12 一次加水率と大型供試体 C S G 密度比 (締固め時間 60 秒) ()

大型供試体採取コアの外観、密度、圧縮強度

一次加水率と採取コア評価点の関係を図 4.3.13 に示す。一次加水率と採取コア密度、採取コア密度比、採取コア圧縮強度の関係を図 4.3.14 に示す。

・ 一次加水率と採取コア評価点の関係

封緘養生、湛水養生の違いは、一次加水率を変化させても見られなかった。一括加水（一次加水率 100%：ケース 1-4-1、1-4-2）は、4.2~4.7（全平均 4.5）で、高い評価点を示している。減水混合（一次加水率 70%：ケース 1-5-1、1-5-2）は、3.0~3.4（全平均 3.3）で、一括加水に比べて評価点が低い。さらに、減水混合（一次加水率 40%：ケース 1-6-1、1-6-2）は、1.0（全平均 1.0）で、評価点が最も低い極めて不良の結果となっている。このケースの採取コアは、コア採取時に供試体がバラバラとなり、コアの様相を呈していなかったため、採取コア密度、採取コア密度比、採取コア圧縮強度の測定はできなかった。

・ 一次加水率と採取コア密度、採取コア密度比の関係

封緘養生、湛水養生の違いは、一次加水率を変化させても見られなかった。一括加水（一次加水率 100%：ケース 1-4-1、1-4-2）は、採取コア密度 2.38 t/m^3 （平均）、採取コア密度比 96.7%（平均）で、高い締固め密度を示している。減水混合（一次加水率 70%：ケース 1-5-1、1-5-2）は、採取コア密度 2.35 t/m^3 （平均）、採取コア密度比 95.2%（平均）で、一括加水より低い値を示した。減水混合（一次加水率 40%：ケース 1-6-1、1-6-2）は、測定不能である。

・ 一次加水率と採取コア圧縮強度の関係

封緘養生、湛水養生の違いは、一次加水率を変化させても見られなかった。一括加水（一次加水率 100%：ケース 1-4-1、1-4-2）は、 3.6 N/mm^2 である。減水混合（一次加水率 70%：ケース 1-5-1、1-5-2）は、 3.3 N/mm^2 であり、一括加水より低い値を示し、値にバラツキも見られる。減水混合（一次加水率 40%：ケース 1-6-1、1-6-2）は、測定不能である。

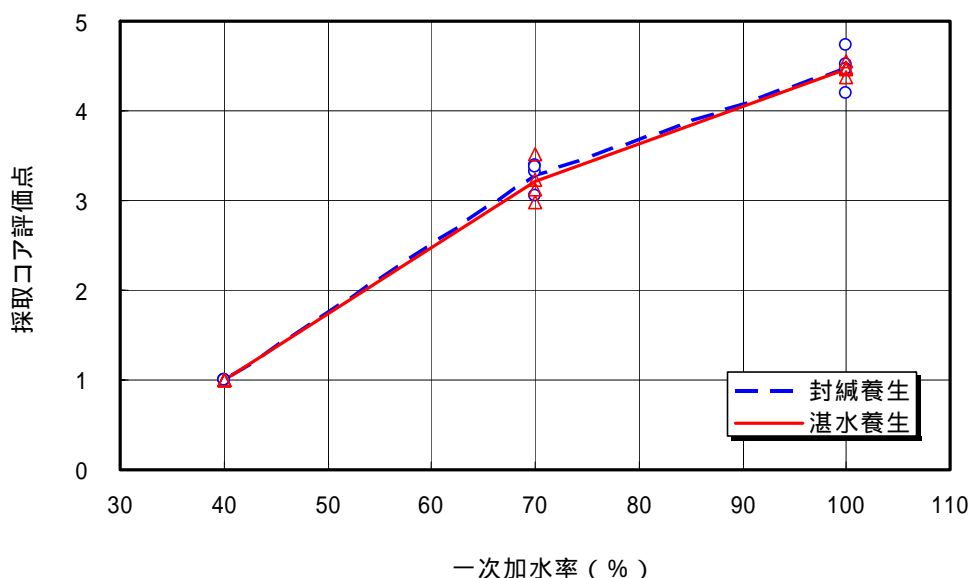


図 4.3.13 一次加水率と採取コア評価点 ()

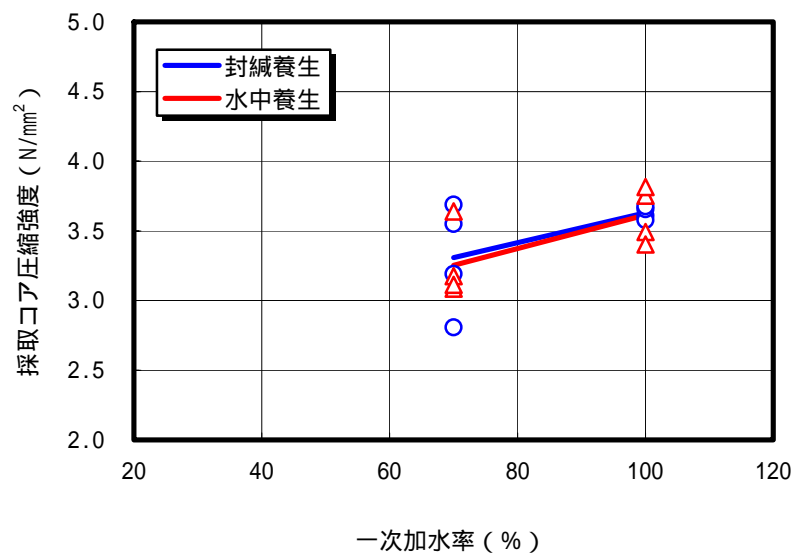
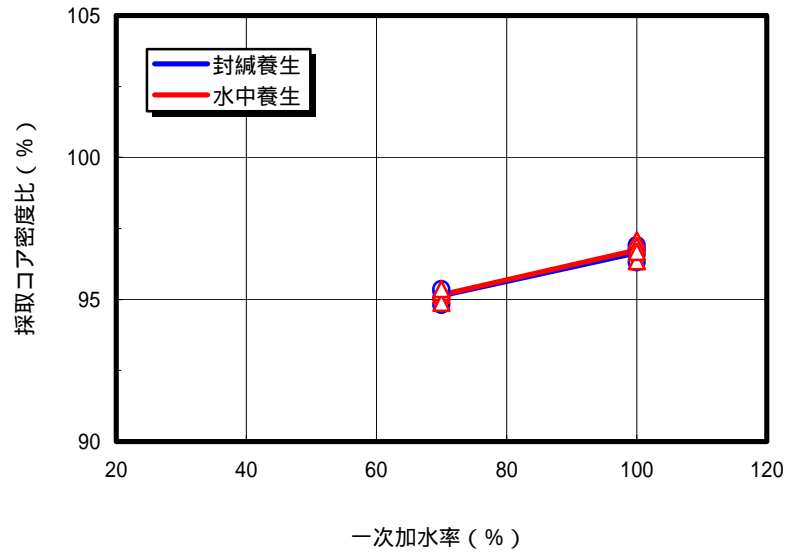
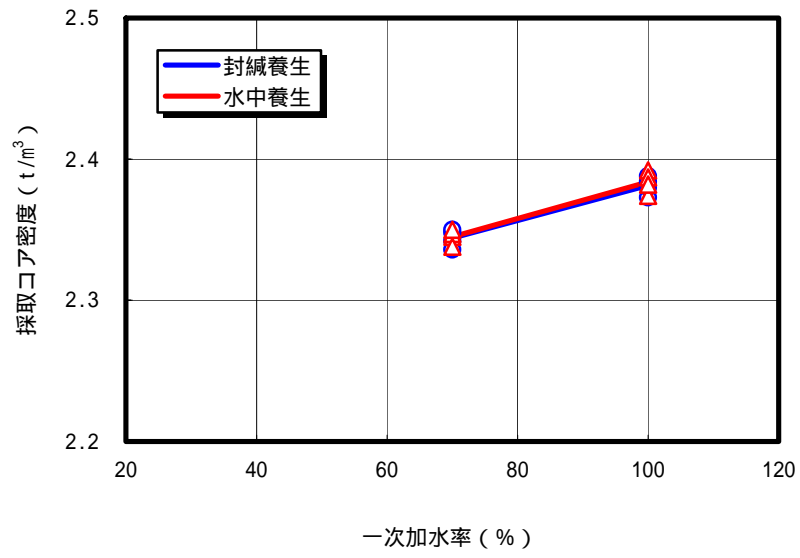


図 4.3.14 一次加水率と採取コア密度、密度比、圧縮強度 ()

(7) まとめ

単位セメント量の少ないCSGの混合時に単位水量を減じ、締固め前に加水して製造したCSGのフレッシュ性状、および強度特性について確認した。

1) CSGのフレッシュ性状

ミキサによるCSGの混合状態は、母材に0.15mm以下の微粒分が多いことから、一括加水（一次加水率100%）の混合では粘性が増し、CSGがミキサ内に多く付着して混合が困難であった。これに対して、減水混合（一次加水率70%、40%）ではCSGがミキサ内に付着することはほとんどなく、混合しやすくなっていた。このことから、一括加水では混合が困難であったが、適切な減水混合を行うことで混合性状は改善された。

減水混合によるCSGの一括加水のVC値は、21、23秒である。減水混合の場合、一次加水後のVC値は計測できなかったが、二次加水後のVC値は、一次加水率70%、二次加水率30%の場合でVC値が22、23秒であり、一括加水のVC値20秒程度まで回復しており、減水混合の効果があらわれている。一方、一次加水率40%、二次加水率60%の場合では、VC値が35、18秒とバラツキが見られ、一括加水のVC値まで回復するに至らなかった。

2) 標準供試体の評価点、密度比、圧縮強度

減水混合の一次加水率70%、二次加水率30%のケースでは、標準供試体評価点、密度比、圧縮強度（以下、標準供試体の品質という）とも、一括加水と同等の標準供試体の品質を示しており、減水混合の効果が認められる。

一方、減水混合の一次加水率40%、二次加水率60%のケースでは、標準供試体の品質は一括加水よりも低下しており、減水混合の効果は認められなかった。

3) 大型供試体の採取コア評価点、密度比、圧縮強度

この試験は、基本配合の単位水量を減じて大型供試体試験を行ったものである。

一括加水（ $W = 128\text{kg/m}^3$ ）のコア評価点は4.5と高い値を示し、コア密度比も97%と高い締固め特性を示している。これに対して、単位水量を減じた一次加水率70%（ $W = 90\text{kg/m}^3$ ）および一次加水率40%（ $W = 51\text{kg/m}^3$ ）のケースでは、単位水量が少ないことによるワーカビリティの低下から供試体の締固めが不足し、採取コアの品質は一括加水に比べて大きく低下した。なお、一次加水率40%のケースでは、コア採取もままならず、密度、圧縮強度の測定はできなかった。

大型供試体作製後に養生方法を封緘養生と湛水養生に分けて実施した。その結果、養生方法の違いによる強度発現に顕著な差は認められず、平成14、15年度に実施した結果と同様であった。

以上の結果より、次のことが言える。

掘削ズリの場合、減水混合を行うと、ミキサ内部でのモルタル分の付着はなくなるものの、二次加水後のVC値は大きくなる。しかし、それによって締固めが悪くなることはなく、密度比や圧縮強度は一括加水の場合とあまり変わらない。このことから、この材料に関しては、減水混合を実施するほうが有利であると言える。

河床砂礫A、Bの場合、減水混合を行うと、VC値は小さくなる傾向が見られる一方、圧縮強度も小さくなる傾向が見られる。したがって、この材料のように一括加水による混合が可能なCSGは、減水混合を行わないで施工するほうが、CSGの品質としても製造設備の経済性としても有利であると言える。

このように、材料によって減水混合の効果が異なる理由は、次のように考えられる。

そもそも減水混合は、通常の場合は混合効果を悪くする混合方法であると考えられる。それは、ミキサ等の混合機によって混合するほうが混合効果がよいのに対し、二次混合は混合機以外の手段（この試験においてはスコップによる切返し）で混合するためである。

しかし、この試験における掘削ズリは、微粒分が極めて多いためにミキサにおける混合効果が悪い材料であり、一括加水では十分な混合ができない。そこで減水混合を行えばミキサにおける混合効果は一次混合としては改善されるものの、二次混合の混合効果は前述のとおり悪いものであるため、最終的には十分に混合されていないCSGになるものと考えられる。このため、一括加水による混合も、減水混合も、同じ程度に十分に混合されていないCSGとなり、これによって密度比や圧縮強度があまり変わらないものになったものと考えられる。なお、一括加水のほうがVC値が小さくなった理由は不明であるが、この掘削ズリの微粒分は粘土質を多く含むことから、加水の回数や、加水からVC試験を実施するまでの時間等の違いによって、粘土への水の浸透に差が生じ、このような結果につながったことが考えられる。このように、CSGの材質による適切な減水混合方法の検討は、今後の課題と考えられる。

一方、河床砂礫は、減水混合における二次混合の混合効果が悪いため、一次加水率を小さくすると圧縮強度が低下する傾向が見られたものと考えられる。また、一括加水よりも減水混合のほうがVC値が小さくなるのは、減水混合により十分に混合されていない水があるために、VC試験においてそのような水がすばやく上昇するためと考えられる。

5 . C S Gの温度および放置時間による影響に関する検討

(1) 検討目的と検討方法

台形C S GダムにおけるC S G施工は、R C D工法と同様に、面状に広く大量の打設を行うことを前提としているため、混合から締固めまでの時間（以下、放置時間）が生じるのは避けられない。よって、適切な施工を行うためには、放置時間がC S Gのフレッシュ性状や圧縮強度に及ぼす影響を把握し、放置時間を適切に制限する必要がある。一般にR C D工法では、R C D用コンクリートのフレッシュ性状において、標準V C 値が50秒を超えると締固めが困難とされており、R C D用コンクリートがこのような状態とならないよう放置時間の規制（2～4時間が普通）を設けている。

C S Gについても、実際の施工を考えた場合、一般に発生し得る気象条件のもとで、放置時間によるC S Gフレッシュ性状や圧縮強度への影響を把握する必要があると考えられる。

そこで本章では、製品骨材によるC S Gについて温度条件や混合後の放置時間を変えて、C S Gのフレッシュ性状および圧縮強度に及ぼす影響を室内試験により確認した。

(2) 使用材料

使用材料とその物性を表5.1に示す。この材料は、前章の「4 . 1 製品骨材によるC S Gのフレッシュ性状および強度等への影響」の「骨材A」と同じものである。

細骨材（5～0mm）は、微粒分を多く含み、示方書ダム編の標準粒度を満足しないスクリーニングスを用いた。粗骨材（80～5mm）については、製品骨材を使用し、粒度分布が標準粒度範囲内のほぼ中間値になるように設定した。

細骨材の粒径別分布曲線を図5.1に、粗骨材の粒径別分布曲線を図5.2に示す。

表5.1 使用材料および物性（ ）

使用材料	種類及び物性
セメント	普通ポルトランドセメント (密度 = 3.21g/cm ³ , 比表面積 = 3,360cm ² /g)
混和剤	A E減水剤 遅延形(種)
細骨材 (5～0mm)	岩種：安山岩 ・スクリーニングス (密度 = 2.71g/cm ³ , 吸水率 = 1.00%, 粗粒率 = 2.17)
粗骨材(mm)	岩種：花崗岩
80-40	(密度 = 2.71, 吸水率 = 0.74%)
40-20	(密度 = 2.72, 吸水率 = 0.79%)
20-10	(密度 = 2.72, 吸水率 = 1.04%)
10-5	(密度 = 2.67, 吸水率 = 1.68%)

スクリーニングス；砕石砂利を作る工程において自然発生する2.5mm以下の細かい岩粉。

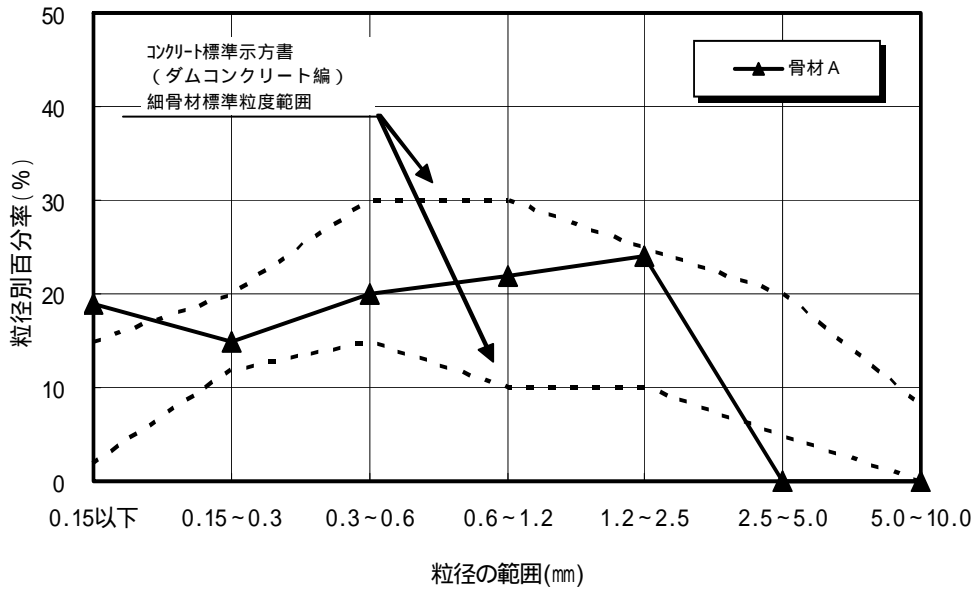


図 5.1 細骨材の粒径別分布曲線 ()

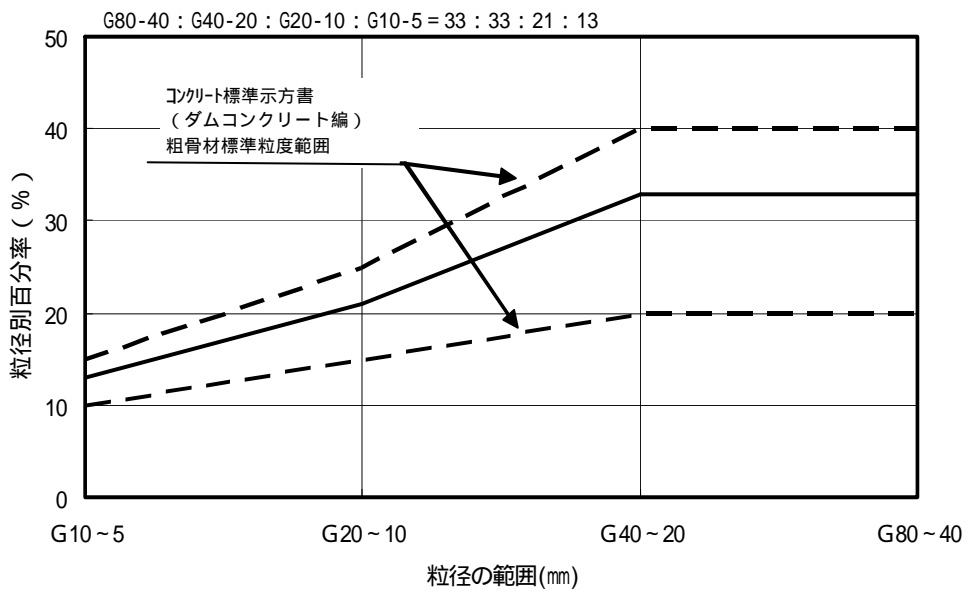


図 5.2 粗骨材の粒径別分布曲線 ()

(3) 基本配合

基本配合を表 5.2 に示す。

この配合は、前章の「4.1 製品骨材によるCSGのフレッシュ性状および強度等への影響」における「骨材A」と同じものである。

表 5.2 基本配合表 ()

細骨材の種類	最大骨材寸法 (mm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位数 (kg/m ³)							
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G				混和剤 (AE減水剤)
								80-40 (mm)	40-20 (mm)	20-10 (mm)	10-5 (mm)	
スクリーングラス	80	1.5±1.0	125	32	100	80	745	523	525	334	203	0.200

(4) 試験ケース

CSGの現場施工時の外気温や、CSGの温度変化および混合時から締固めまでの経過時間を想定して、この検討では温度変化試験、経時変化試験の2種類の試験を実施した。

1) 試験1：温度変化試験

CSGの施工時期が異なる場合を想定し、混合および養生時のCSG温度を3段階に設定して、CSGのVC値、圧縮強度を測定した。試験ケースを表 5.3 に示す。

表 5.3 試験ケース (温度変化試験)

ケース	混合後の温度 養生温度	放置時間	試験項目
1 - 1	10	0分	・標準VC試験 ・標準供試体試験 (標準供試体作製装置による)
1 - 2	20	0分	
1 - 3	30	0分	

2) 試験2：経時変化試験

CSGの施工において、混合から締固めまでに一定時間を要する状況を想定し、混合・養生温度を20、30として、放置時間を60分、120分とした場合のCSGのフレッシュ性状、圧縮強度を室内試験により求めた。試験ケースを表 5.4 に示す。

表 5.1.4 試験ケース (経時変化試験)

ケース	混合時の温度 養生温度	放置時間	試験項目
2 - 1	20	60分	・標準VC試験 ・標準供試体試験 (標準供試体作製装置による)
2 - 2	20	120分	
2 - 3	30	60分	
2 - 4	30	120分	

試験 1 および試験 2 の試験フローを図 5.3 に示す。

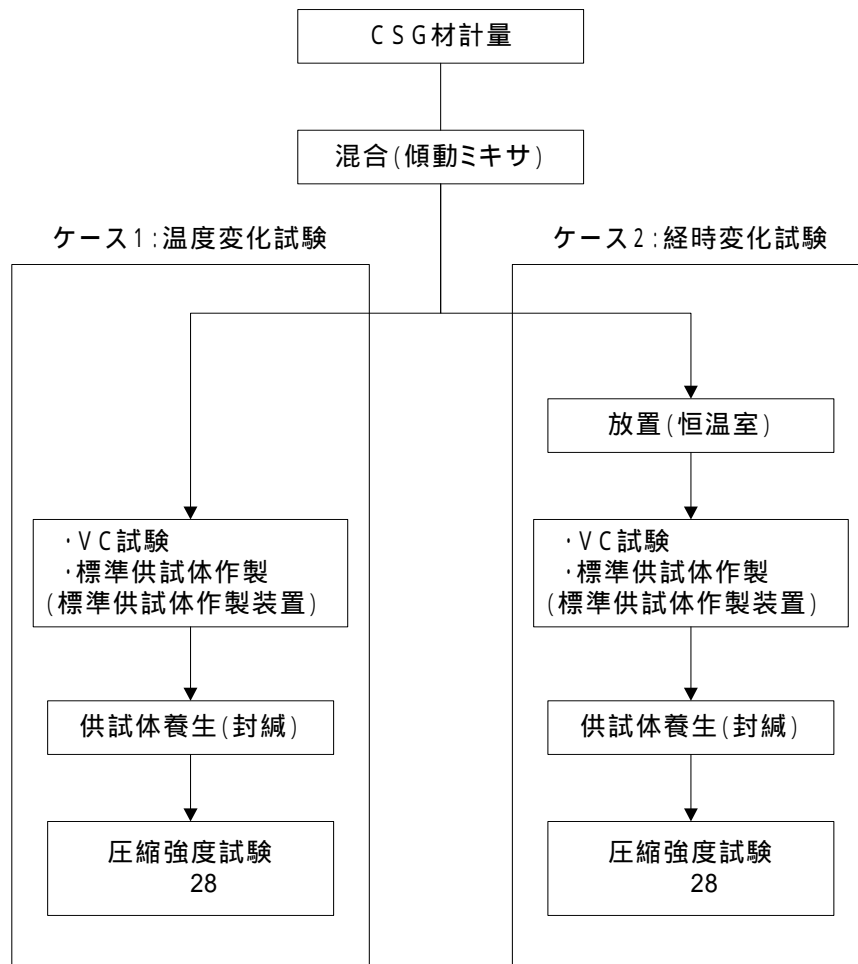


図 5.3 試験フロー ()

(5) 試験結果

1) 試験1：温度変化試験

試験1における混合時の温度とVC値の関係を、図5.4に示す。混合時の温度が10℃では、VC値は25秒程度であったが、温度が20℃、30℃と高くなるにつれ、VC値は比例して約40秒、60秒と大きくなる傾向が見られた。コンクリート技術の要点¹⁾によれば、コンクリートにおいてもフレッシュコンクリートの温度が高いほどスランプが低下するとされており、CSGのフレッシュ性状(この場合はVC値)においても、これと同様の傾向になると言える。

混合時の温度と標準供試体評価点、密度比および圧縮強度の関係を図5.5～図5.7に示す。混合温度が高くなるほど、密度比と評価点は低くなる傾向が見られた。これは、温度が高くなることによりCSGのVC値が大きくなり、締め固めにくくなったことによる影響と考えられる。

また、圧縮強度は混合時の温度および養生温度が10℃上がるごとに、圧縮強度は約1割増加する傾向が見られた。これは、養生温度が高くなることによりセメントの水和反応が促進したためと考えられる。

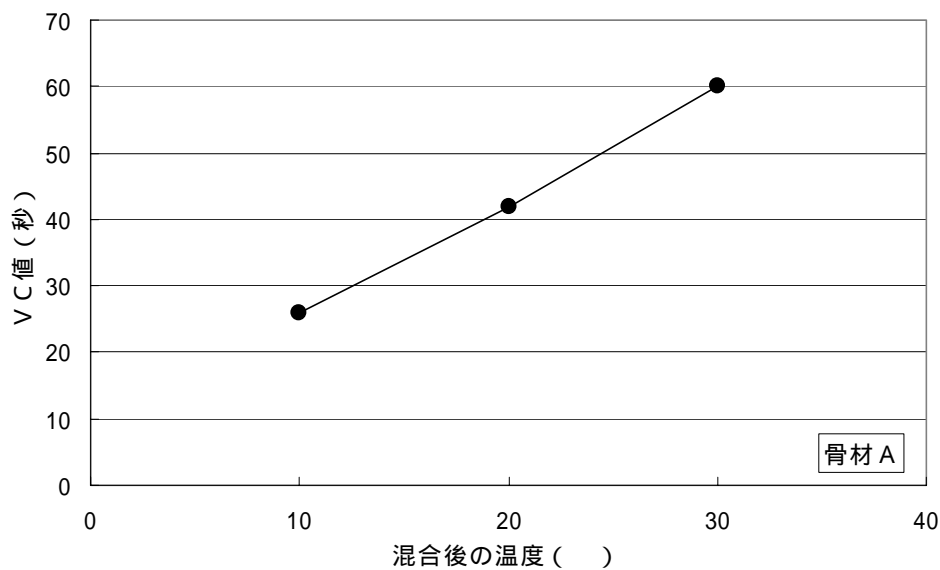


図5.4 混合後の温度とVC値 ()

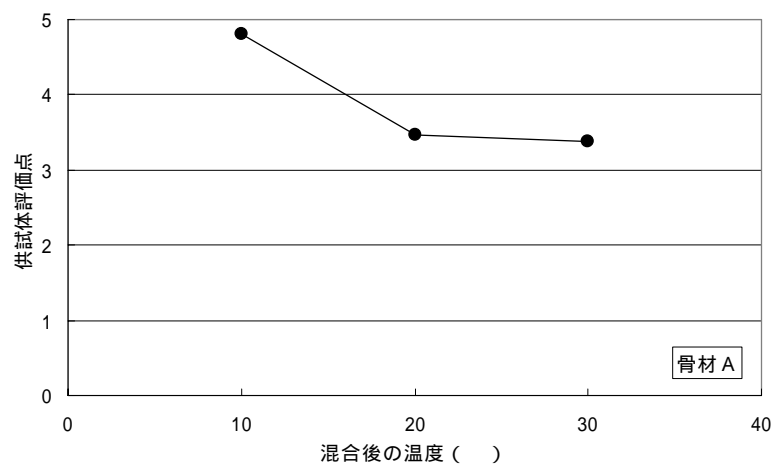


図 5.5 混合後の温度と評価点 ()

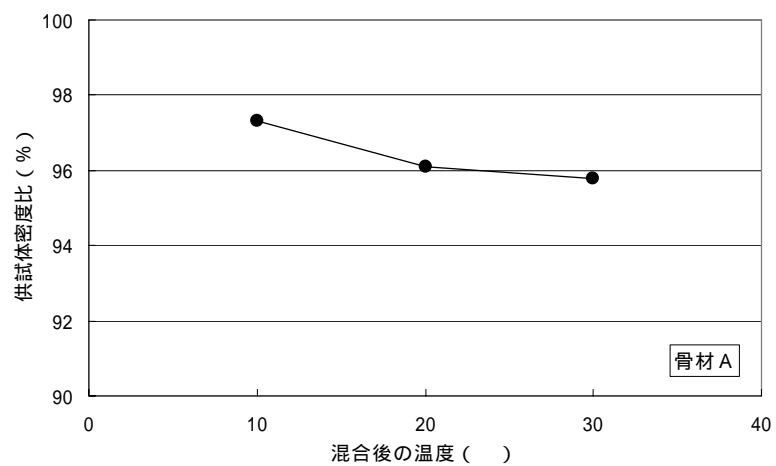


図 5.6 混合後の温度と密度比 ()

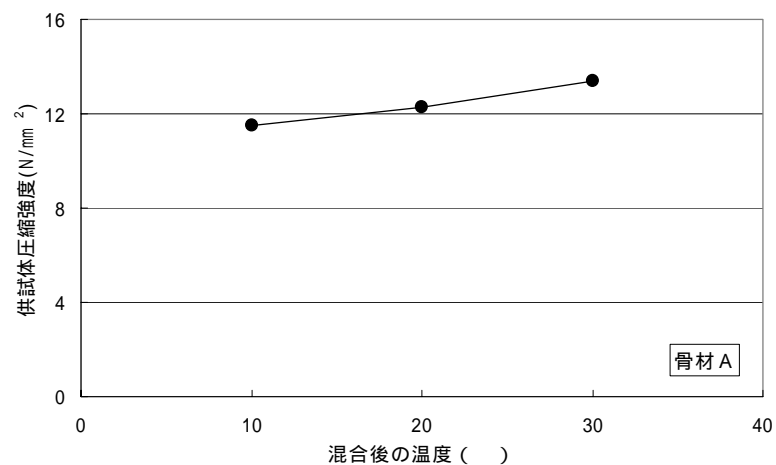


図 5.7 混合後の温度と圧縮強度 ()

2) 試験2：経時変化試験

放置時間とVC値の関係を図5.8に示す。20、30のケースとも、放置時間とともにVC値は増加する傾向が確認され、放置時の温度が高い30の方が、より高いVC値を示した。

なお、コンクリートにおいては、コンクリートの放置時間によるコンシステンシーの低下は、主にセメントの水和反応の影響が大きいと言われている²⁾。

放置時間と評価点、密度比および圧縮強度の関係を図5.9～図5.11に示す。

供試体評価点と密度比は、放置時間とともに減少する傾向が認められ、放置時の温度が高い30のケースについては、密度比の減少傾向が顕著であった。

圧縮強度については、混合直後(放置時間0分)を基準とすると、60分経過後では温度20で1程度、温度30で3程度の強度低下となり、また120分経過後では温度20で3程度、温度30では5程度の強度低下となった。これは、図5.8で示した放置時間とVC値の関係のとおり、温度が高いほど同じ放置時間でもVC値は大きくなり、締固めの困難さが強度低下としてあらわれたものと考えられる。

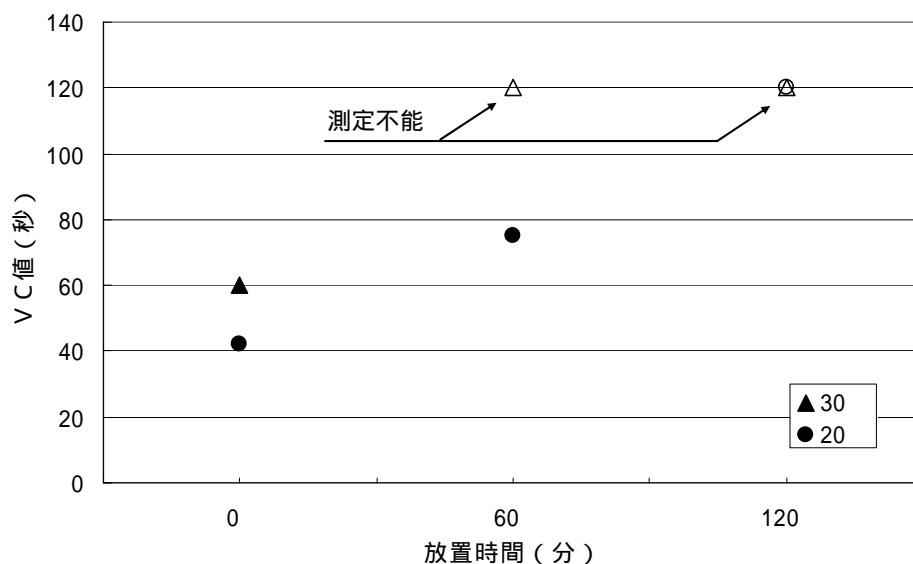


図5.8 放置時間とVC値()

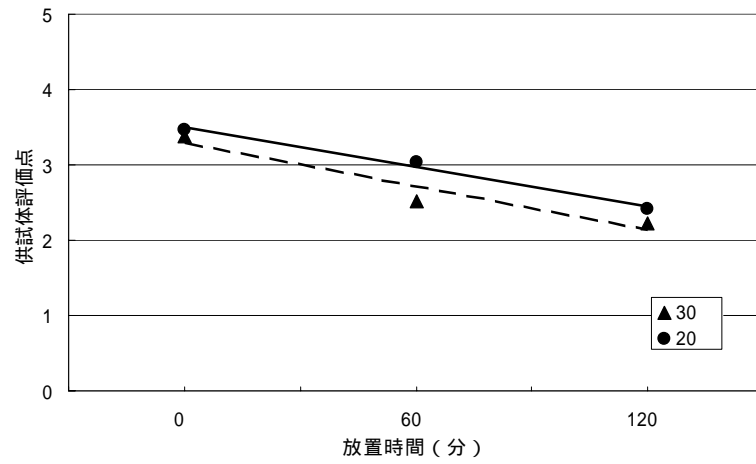


図 5.9 放置時間と評価点 ()

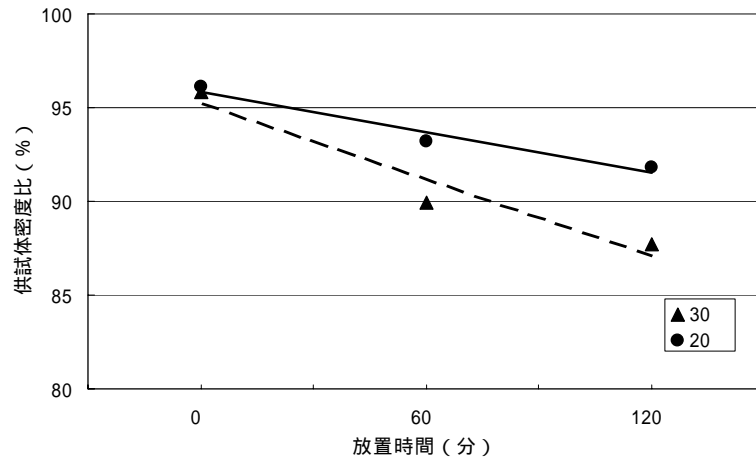


図 5.10 放置時間と密度比 ()

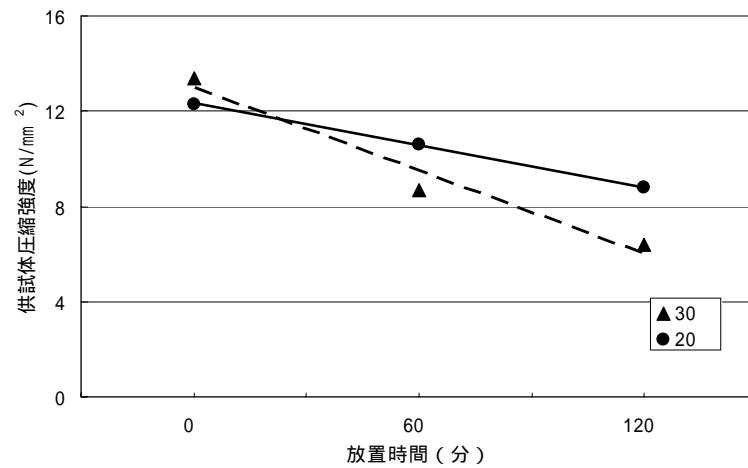


図 5.11 放置時間と圧縮強度 ()

(6) まとめ

温度条件や混合後の放置時間がCSGのフレッシュ性状、圧縮強度に及ぼす影響として、以下のことが確認できた。

CSGのフレッシュ性状は、環境温度が高いほど、また、放置時間が長いほどVC値が大きくなる。

CSGの強度は、環境温度が高いほど高いが、環境温度が高いほど放置時間による強度低下が大きくなる。

-
- 1) (社)日本コンクリート工学協会編
 - 2) コンクリート総覧、笠井芳夫、技術書院

6. 富配合CSGに関する検討

6.1 富配合CSGの適用性に関する検討

(1) 検討目的と検討方法

富配合CSGは、主として堤敷における岩着部処理に使用することを想定される単位セメント量を多くしたCSGである。

一般に台形CSGダムにおける上流面や下流面は、水密性、凍結融解作用に対する抵抗性および越流水等に対する耐久性が必要であるため、「保護コンクリート」、「保護・遮水コンクリート」と称するコンクリートを使用することが標準とされている。しかし、このためにはレディミクストコンクリートの購入あるいは現場でのコンクリートプラントによる製造などが必要になる。これは、CSGの製造のみの場合に比べて購入費や設備費の増加をもたらすことになる。したがって、ダムの上流面や下流面もCSGによって施工することができれば、経済的に有利であることは言うまでもない。このためには、上流面や下流面に使用することを想定したCSGに水密性、凍結融解抵抗性、耐久性が確保されていることが必要となる。

そこで、単位セメント量を多くしたCSGである富配合CSGについて、水密性、凍結融解抵抗性、耐久性が確保され、「保護コンクリート」、「保護・遮水コンクリート」(以下、外部コンクリートという)として適用し得るかどうかを検討するため、有スランプの富配合CSGのフレッシュ性状および硬化後の強度、耐久性、水密性に関する試験を実施した。

(2) 使用材料

試験に用いる材料は、製品骨材(細骨材は現地発生材を模擬したスクリーニングスを使用)と現地発生材(掘削ズリ、河床砂礫)である。

富配合CSG試験を実施する材料の種類と物性を表6.1.1に示す。また、各骨材およびCSG材の粒度分布曲線を図6.1.1に、5~0mmの粒径別分布曲線を図6.1.2に示す。

製品骨材において、粗骨材(80~5mm)はJISに適合する製品骨材であり、粒度分布は示方書ダム編の標準粒度範囲内のほぼ中間値である。細骨材(5~0mm)は、0.15mm以下の微粒分を多く含む(約19%)示方書ダム編の標準粒度範囲を満足しないスクリーニングスである。現地発生材の掘削ズリは、沖縄地方における建設工事で発生した緑色岩系の道路掘削ズリ(5mm以下の加積通過百分率32%)である。一方、河床砂礫は、中部地方における貯水池上流に堆積した堆積岩系の河床砂礫(5mm以下の加積通過百分率42%(河床砂礫A)、37%(河床砂礫B))である。

現地発生材の掘削ズリと河床砂礫の大きな違いは、0.15mm以下の微粒分量であり、掘削ズリは、微粒分量が全体粒度の8.2%(5~0mmの25%)と多いが、これに対し、河床砂礫A、Bでは、微粒分量が全体粒度の1.5%、2.5%(5~0mmの3.5%、6.8%)で掘削ズリの1/5~1/3に過ぎない。

また、洗い試験(0.15mmふるい使用)結果においても、CSG材5~0mmの微粒分量は掘削ズリの場合、36%とかなり多い。河床砂礫A、Bではそれぞれ3.2%、2.5%と、掘削ズリの約1/10である。

掘削ズリについては、吸水率がかなり大きいもの(10~5mmで9%を超える)も見られる。

表 6.1.1 使用材料の種類および物性 (、 、)

骨材及び CSG材	区分 (mm)	密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	微粒分量 (%)	FM	粒度分布からの 0.15mm以下	
						全体粒度 に対して	5~0mm に対して
製品骨材 (骨材A) () スクリーニングス	80-40	2.71	0.74	-	8.95	5.7 %	19.0 %
	40-20	2.72	0.79		8.00		
	20-10	2.72	1.04		6.92		
	10-5	2.67	1.68		5.99		
	5-0	2.71	1.00		2.17		
掘削ズリ (緑色岩) ()	80-40	2.82	2.49	3.2	8.92	8.2 %	25.0 %
	40-20	2.77	3.60	5.6	8.03		
	20-10	2.68	5.68	11.0	6.86		
	10-5	2.59	9.14	18.0	5.90		
	5-0	2.70	4.83	36.0	2.49		
掘削ズリ (緑色岩) () 5~0mm洗浄	80-40	2.82	2.49	3.2	8.92	2.3 %	7.0 %
	40-20	2.77	3.60	5.6	8.03		
	20-10	2.68	5.68	11.0	6.86		
	10-5	2.59	9.14	18.0	5.90		
	5-0	2.77	2.95	5.5	3.28		
掘削ズリ () 5~0mm洗浄	80-40	2.82	2.49	3.2	8.92	2.3 %	7.0 %
	40-20	2.77	3.60	5.6	8.03		
	20-10	2.68	5.68	11.0	6.86		
	10-5	2.59	9.14	18.0	5.90		
	5-0	2.77	2.95	5.5	3.28		
河床砂礫A () 二期材	80-40	2.70	0.52	-	8.93	1.5 %	3.5 %
	40-20	2.72	0.65		7.98		
	20-10	2.72	0.80		6.98		
	10-5	2.71	1.08		5.86		
	5-0	2.68	1.49		3.10		
河床砂礫B () 二期材	80-40	2.68	0.56	-	8.83	2.5 %	6.8 %
	40-20	2.68	0.74		7.99		
	20-10	2.68	0.94		6.97		
	10-5	2.67	1.17		5.90		
	5-0	2.66	1.72		3.16		

注1 : 表中の微粒分量は、洗い試験による微粒分量 (0.15mmふるいを使用)

注2 : 河床砂礫A、Bは二期材 (採取は現場において2回実施した。二期材は2回目に採取した材料を指す)

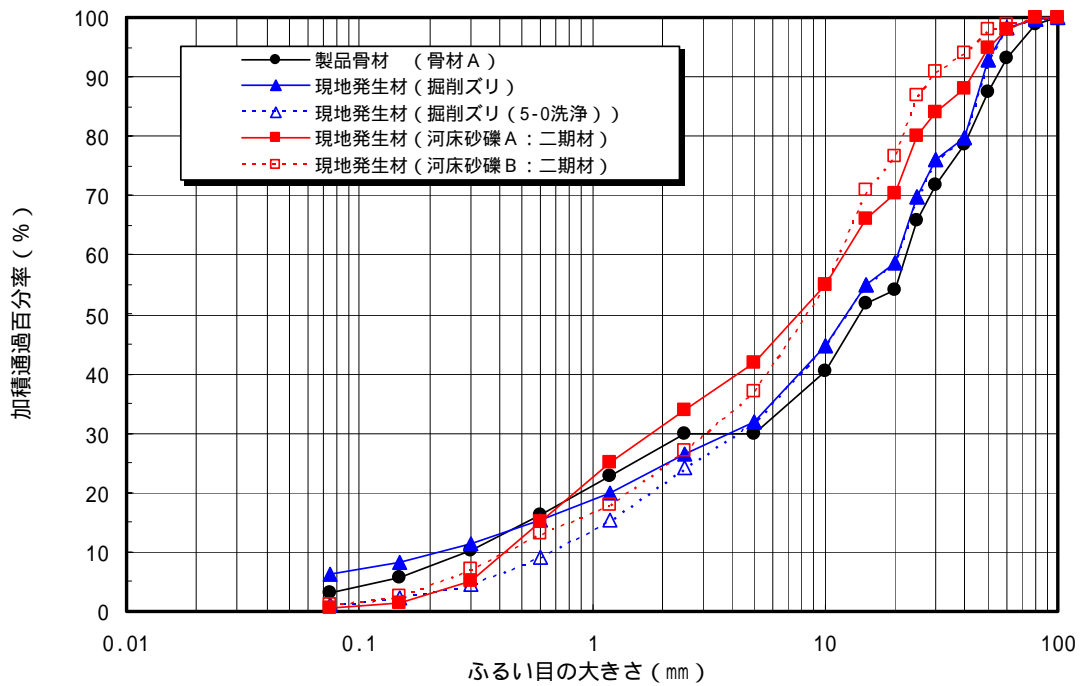


図 6.1.1 骨材およびC S G材の粒度分布曲線

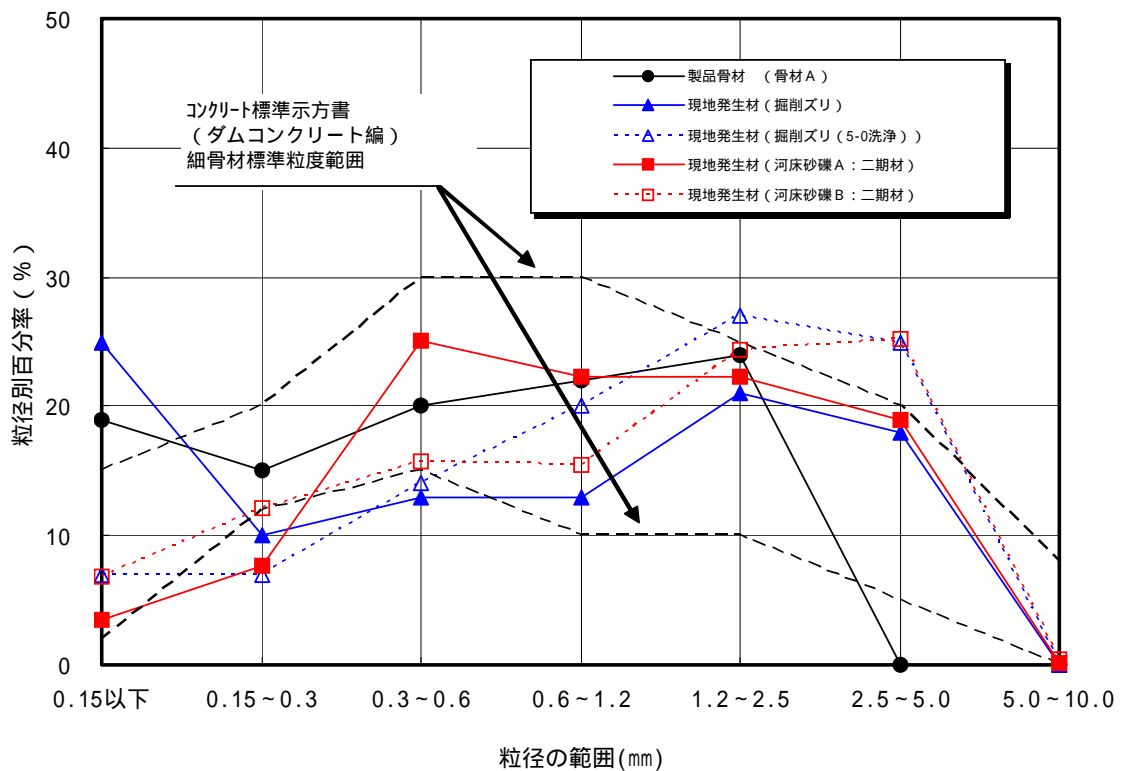


図 6.1.2 骨材およびC S G材の粒径別分布曲線 (5~0mm)

(3) 基本配合

各材料について、有スランプコンクリートと同様に内部振動機による締固めを想定し、目標スランプ3cmとして配合を定めた。単位セメント量は、製品骨材によるCSGではC = 140kg/m³、現地発生材によるCSGではC = 200kg/m³とした。富配合CSGの配合を表6.1.2に示す。

(4) 試験結果

1) フレッシュ性状および圧縮強度

各富配合CSGのフレッシュ性状および圧縮強度を表6.1.3に示す。CSG材による水セメント比および単位水量の比較を図6.1.3、図6.1.4に示す。また、材齢と圧縮強度の関係を図6.1.5、CSG材による圧縮強度の比較を図6.1.6に示す。

表6.1.2 富配合CSGの配合 (、 、)

骨材及びCSG材	Gmax (mm)	スランプの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)								混和剤	
						水 W (kg/m ³)	セメント C (kg/m ³)	骨材及びCSG材 (80-5mm)				減水剤	AE剤 (cc)		
						骨材及びCSG材 (5-0mm)	80-40 (mm)	40-20 (mm)	20-10 (mm)	10-5 (mm)					
製品骨材 (骨材A) () スクリーニングス	80	3 ± 1	3.5 ± 1	96	30	135	140	639	492	494	314	191	0.35	49	
掘削ズリ ()	80	3 ± 1	-	101	32	202	200	608	375	448	302	174	0.5	-	
掘削ズリ () 5-0mm洗浄	80	3 ± 1	-	83	32	166	200	656	394	471	317	183	0.5	-	
掘削ズリ () 5-0mm洗浄	80	3 ± 1	3.5 ± 1	80	32	160	200	661	397	474	320	184	0.5	200	
河床砂礫A () 二期材	80	3 ± 1	3.5 ± 1	62	42	124	200	888	270	339	362	240	0.5	14	
河床砂礫B () 二期材	80	3 ± 1	3.5 ± 1	62	37	123	200	758	145	325	505	346	0.5	30	

* 空気量の値は、フルサイズ試料によるもの。

表6.1.3 富配合CSGのフレッシュ性状および圧縮強度 (、 、)

骨材及びCSG材	スランプ (cm)	空気量 (%)	密度 (t/m ³)		圧縮強度 (N/mm ²)			
			標準供試体密度	大型供試体コア密度	標準供試体		大型供試体	
					28日	91日	28日	91日
製品骨材 (骨材A) () スクリーニングス	3.0	4.4	2.386	2.395	16.0	-	12.6	-
掘削ズリ ()	3.0	1.2	材齢28日 2.314 材齢91日 2.336	2.369	8.4	9.7	-	7.8
掘削ズリ () 5-0mm洗浄	3.0	1.6	材齢28日 2.392 材齢91日 2.416	2.484	10.6	12.1	-	10.4
掘削ズリ () 5-0mm洗浄	3.0	4.3	材齢28日 2.349 材齢91日 2.348	2.436	8.6	11.0	-	11.2
河床砂礫A () 二期材	3.5	4.8	材齢28日 2.433 材齢91日 2.415	2.462	28.2	29.9	-	32.0
河床砂礫B () 二期材	4.0	4.9	材齢28日 2.420 材齢91日 2.400	2.423	30.1	29.3	-	27.0

* 空気量の値は、40mm ウェットスクリーニング試料によるもの。

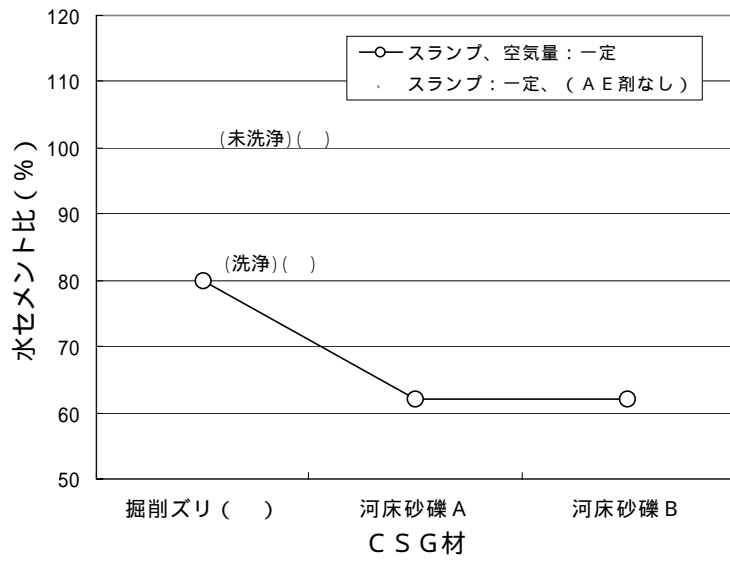


図 6.1.3 CSG材による水セメント比の比較 (、)

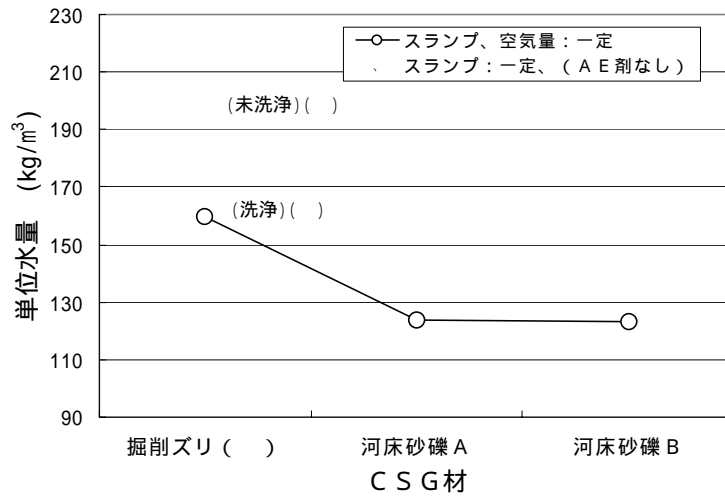


図 6.1.4 CSG材による単位水量の比較 (、)

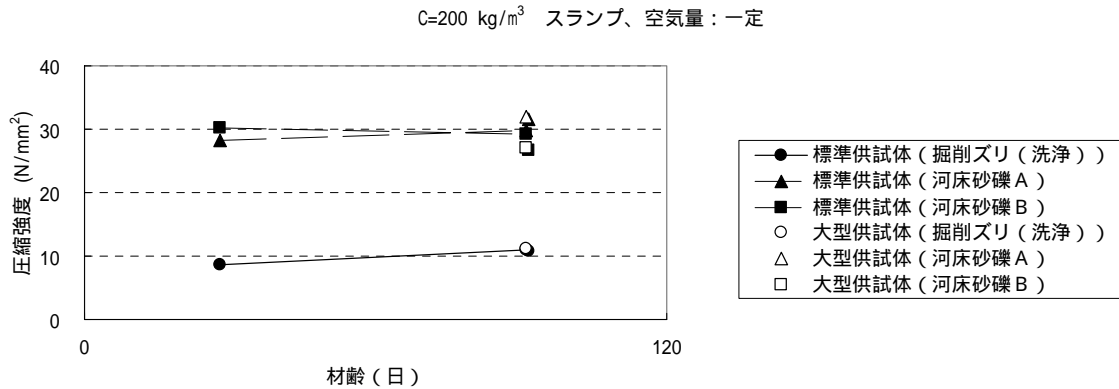


図 6.1.5 材齢と圧縮強度 ()

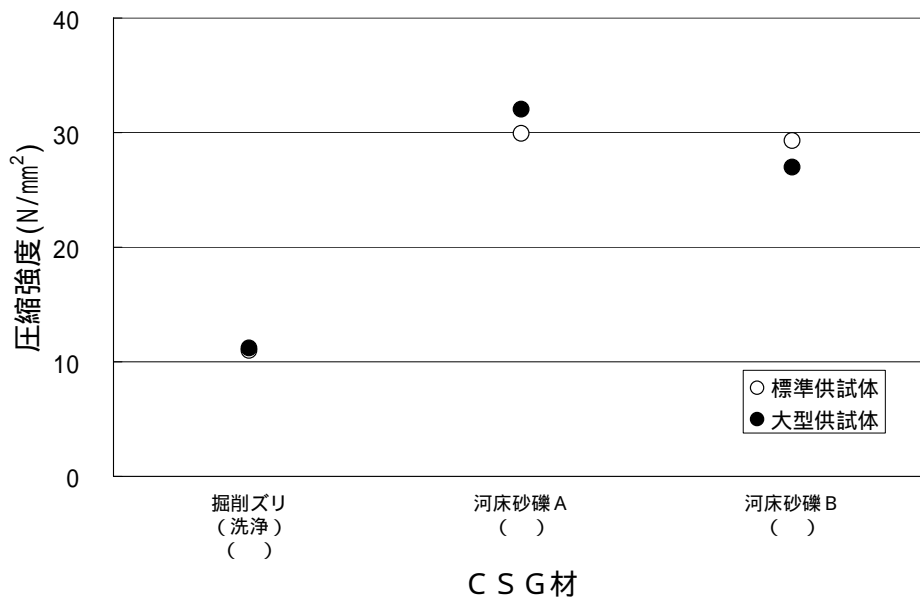


図 6.1.6 C S G 材による圧縮強度の比較 (材齢 91 日) ()

これらの図表より、以下のことが言える。

製品骨材による富配合 C S G では、所要のフレッシュ性状 (スランプ 3 ± 1 cm、空気量 $3.5 \pm 1\%$) を満足するのに必要な単位水量は $W = 135 \text{ kg/m}^3$ で、単位セメント量 $C = 140 \text{ kg/m}^3$ のもとでの水セメント比は $W/C = 96\%$ ということになる。一般的にコンクリートダム of 外部コンクリートの水密性や耐久性を確保するために必要とされる水セメント比の上限値は 60% とされており、これを満足するためには単位セメント量として $C = 225 \text{ kg/m}^3$ が必要となる。これは、粗骨材の最大寸法 80 mm での一般的な外部コンクリートの単位セメント量 220 kg/m^3 よりもやや大きい単位セメント量となる。このような配合となるのは、細骨材の粒度が細かすぎるためと考えられる。したがって、外部コンクリートに使用する C S G 材の細骨材としては、示方書ダム編に規定される標準粒度の範囲が確保されていることが望ましいと言える。

A E 剤を使用しない掘削ズリの配合は、水セメント比が $W/C = 101\%$ となった ($C = 200 \text{ kg/m}^3$ 、 $W = 202 \text{ kg/m}^3$)。したがって、この C S G 材の水セメント比はかなり大きい値を示しており、外部コンクリートとしての所要の水密性や耐久性を確保できないものと考えられる。

この配合におけるミキサの混合状況は、C S G 材中の微粒分 (0.15 mm 以下) が非常に多いことから、粘性が異常に増して細粒分が団塊となり、ミキサの羽や内面にモルタル分が多く付着して、正常な混合が困難となった。これより、微粒分量の多いままでの富配合 C S G の試験は困難と判断し、C S G 材の細骨材のみについては、微粒分量を減少させるために湿式 (クラッシュファイヤによる) で洗浄した。洗浄後の洗い試験 (0.15 mm ふりい) による微粒分量は 5.5% (洗浄前では 36%) であった。

この細骨材を洗浄した C S G 材において所定のスランプが得られる単位水量は $W = 166$

kg/m³、水セメント比W/C = 83%となり、大幅な配合の改善効果 (W = 36 kg/m³減、W/C = 18%減) が得られた。しかし、依然として水セメント比が大きく、外部コンクリートとしての所要の水密性や耐久性を確保できないものと考えられる。

なお、細骨材を洗浄したCSG材での混合状況は、ミキサ内へのモルタル分の付着はあるものの、洗浄前よりはかなり改善されていた。

細骨材を洗浄したCSG材における、細骨材の0.15mm以下の微粒分が少ないものとなっている(河床砂礫Bと同等)にも関わらず、水セメント比が大きい配合となっている原因としては、粗骨材にも多量の微粒分が付着しており、細骨材のみの洗浄では微粒分除去が不十分であったためと考えられる。

AE剤を使用した掘削ズリ(細骨材は洗浄)の配合は、水セメント比がW/C = 80% (C = 200 kg/m³、W = 160kg/m³) であり、AE剤を使用しないケースに比べて単位水量が6kg/m³少ないものとなった。しかし、依然として水セメント比が大きく、外部コンクリートとしての所要の水密性や耐久性を確保できないものと考えられる。また、AE剤の使用量は、製品骨材や河床砂礫に比べて約10倍と多大なものになり、空気量のばらつきも大きかった。したがって、このCSG材も配合、空気量の管理およびミキサの混合性(未洗浄砂も考慮)等から判断すると、外部コンクリートへの適用は困難と思われる。

河床砂礫A、Bの配合は、いずれも水セメント比がW/C = 62% (C = 200kg/m³、W = 124、123kg/m³) であり、外部コンクリートとしての所要の水密性や耐久性を確保するために必要とされる水セメント比の上限値60%に近いものとなった。したがって、これらについては単位セメント量をC = 207kg/m³以上とすれば水セメント比が60%以下となり、外部コンクリートとしての適用が可能と考えられる。

外部コンクリートとしての適用に可能性があると考えられる河床砂礫A、Bについては、圧縮強度は材齢91日で30N/mm²を示しており、十分な強度を有していると言える。

2) 富配合CSGの耐久性と透水性

富配合CSGについて、耐久性および水密性を確認するために、凍結融解試験および透水試験を実施した。凍結融解試験はJIS A 1148:2001「コンクリートの凍結融解試験方法」のA法に準拠して実施した。透水試験については、大型供試体より採取したボーリングコアにより、インプット法で試験を実施した(「1.概要 (2)CSGの試験要領」を参照)。

凍結融解試験および透水試験結果を表6.1.4に、凍結融解試験におけるサイクル数と相対動弾性係数の関係を図6.1.7に示す。CSG材による透水係数の比較を図6.1.8に示す。

表 6.1.4 凍結融解試験結果および透水試験結果

骨材及びCSG材	水セメント比 W/C (%)	空気量 (%)	相対動弾性係数 ¹ (%)	透水係数 (cm/s)
製品骨材 () スクリーニングス	96	4.4	61	6.05E-10
掘削ズリ ()	101	1.2	×	7.57E-10
掘削ズリ () 5~0mm洗浄	83	1.6	×	5.24E-10
掘削ズリ () 5~0mm洗浄	80	4.3	×	1.06E-09
河床砂礫A ()	62	4.8	96	2.7E-11
河床砂礫B ()	62	4.9	95	2.4E-11

1: 凍結融解試験における300サイクル時の相対動弾性係数(%)。「×」は300サイクルまで達しなかったものを示す。

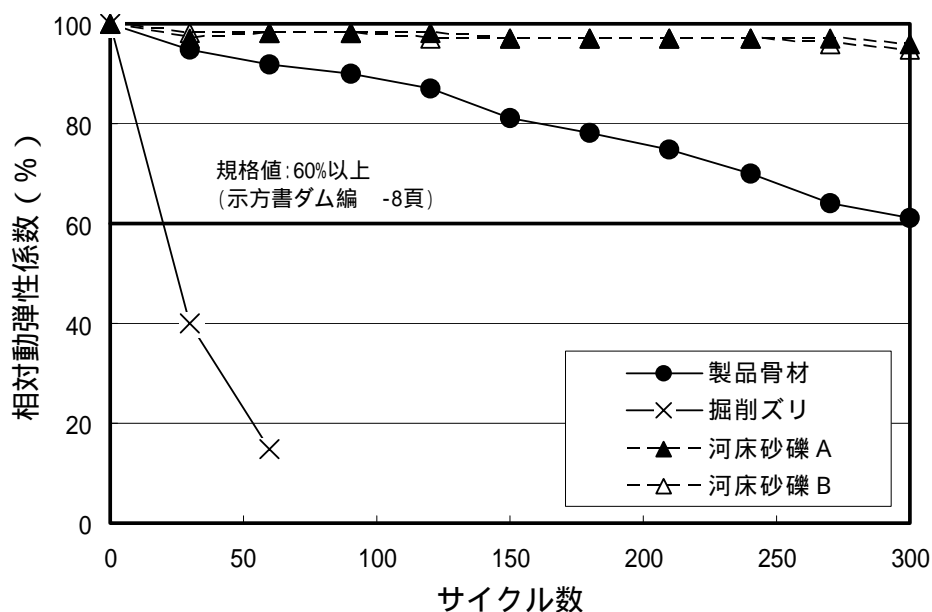


図 6.1.7 サイクル数と相対動弾性係数

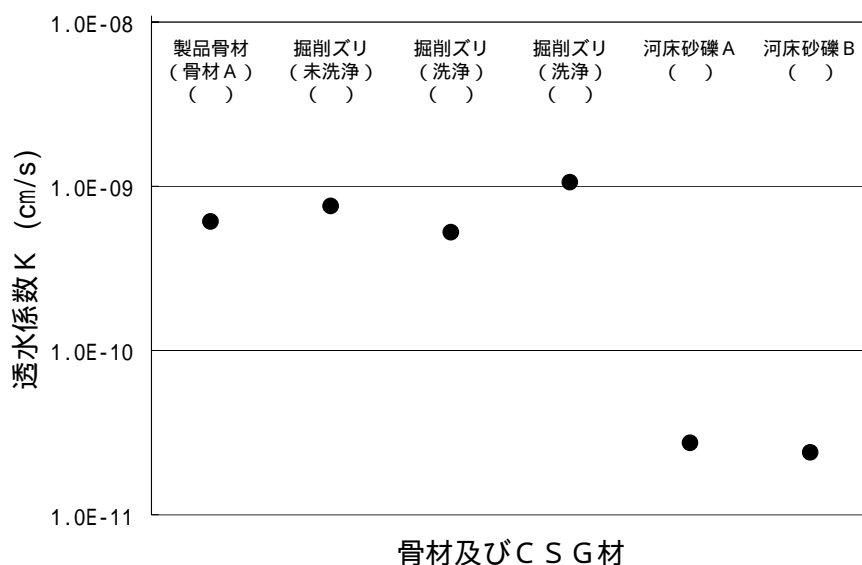


図 6.1.8 C S G 材による透水係数の比較 (、 、)

これらの図表より、以下のことが言える。

凍結融解試験において相対動弾性係数が 60% よりも十分に大きく、凍結融解作用に対する抵抗性を有していると判断できるのは河床砂礫 A、B であった(相対動弾性係数 96、95%)。それ以外の C S G については、凍結融解抵抗性が劣ると判断される結果となった。表 6.1.4 に示されるように、河床砂礫 A、B は水セメント比が 60% をわずかに上回るだけであり、空気量も十分に確保されている。一方、それ以外の C S G については、水セメント比が 60% を大きく上回り、空気量が不足しているものもある。このことから、富配合 C S G を凍結融解抵抗性が確保できる外部コンクリートとして使用するためには、一般の外部コンクリートの場合と同じように水セメント比を 60% 以下とし、十分な空気量を確保することが必要であると言える。

一般的なコンクリートの透水係数は水セメント比 45 ~ 75% で約 $10^{-12} \sim 10^{-10}$ cm/s とされている。この試験において富配合 C S G がこのような透水係数を示したのは河床砂礫 A、B のみである。したがって、富配合 C S G を水密性が確保できる外部コンクリートとして使用するためには、一般の外部コンクリートの場合と同じように水セメント比を 60% 以下とすることが必要であると言える。

(5) まとめ

富配合CSGを台形CSGダムにおける堤敷岩着部のみならず、上下流面にも適用し得るかどうかを検討するため、製品骨材や現地発生材（掘削ズリ、河床砂礫）による有スランプの富配合CSGを練り混ぜ、そのフレッシュ性状、強度、耐久性、水密性に関する試験を実施した。その結果、以下のことがわかった。

CSG材に微粒分が多量に含まれている場合、所要のスランプを得るための単位水量が大きくなる。したがって、所要の水密性や耐久性を得るための水セメント比（一般にW/C 60%）を確保するために単位セメント量を大きくしなければならないことになる。微粒分を除去するために細骨材部分を洗浄した場合でも、粗骨材部分に微粒分が付着していると所要のスランプを得るための単位水量が大きくなる。逆に、細骨材の粒度分布が示方書ダム編に規定される標準粒度分布の範囲内であり、粗骨材も清浄なCSG材（河床砂礫）については、所要のスランプを得るための単位水量が小さく、所要の水セメント比を確保するための単位セメント量も小さくできた。

富配合CSGの凍結融解試験の結果、水セメント比が大きい場合については、所要の相対動弾性係数（60%を大きく上回る）を満足することができなかった。逆に、水セメント比が約60%で、空気量が確保された富配合CSGの場合（CSG材は河床砂礫）は、所要の相対動弾性係数を確保できており（95%以上）、凍結融解作用に対して十分な抵抗性を有していると判断された。

富配合CSGの透水試験の結果、水セメント比が大きいものについては一般的なコンクリートの透水係数（水セメント比45～75%で約 10^{-12} ～ 10^{-10} cm/s）よりも透水係数が大きくなった。逆に、水セメント比が約60%の富配合CSGの場合（CSG材は河床砂礫）は、透水係数が $2\sim 3\times 10^{-11}$ cm/sで、一般的なコンクリートの透水係数と同等となった。

以上の知見より、現地発生材において細骨材部分の粒度分布が示方書ダム編の標準粒度分布の範囲内に適合し、粗骨材部分も清浄である場合には、そのCSG材による富配合CSGは少ない単位セメント量で水セメント比60%以下を確保できる可能性が高いと言える。その場合の富配合CSGは、十分な耐久性や水密性を確保できる可能性が高く、台形CSGダムの上下流面の材料としての適用性は高いと考えられる。

ただし、CSG材の粒度分布の変化が大きい場合、単位ペースト量を一定とする配合においては、富配合CSGのスランプも大きく変動すると考えられる。スランプがあまりに小さくなると内部振動機では締め固めることができず、上下流面にジャンカが発生し、所要の水密性や耐久性を確保できなくなる可能性が考えられる。したがって、富配合CSGを外コンクリートとして使用し、内部振動機によって締め固める場合には、CSG材の粒度分布の変化についての対応方針について検討することが今後の課題と考えられる。

6.2 富配合CSGの減水混合および耐久性

(1) 検討目的と検討方法

単位セメント量を多くしたCSGである富配合CSGにおける減水混合の効果を検証するために、大保ダム沢処理工に使用されたCSG材を用いた室内実験により、CSGのフレッシュ性状および強度特性、耐久性（凍結融解試験、乾燥湿潤試験）について検討した。

(2) 使用材料

母材は、沖縄県の大保脇ダム沢処理工に使用されたものである。大保ダムサイト周辺に分布する中生代白亜紀の四万十帯に分布する千枚岩C_L級であり、大保脇ダム沢処理工の母材山より採取されたものである。（参照：表4.3.1～表4.3.4、図4.3.1～図4.3.3）

(3) 試験項目および方法

この検討における試験項目および試験方法を以下に示す。試験条件は表6.2.1に示す。

基本配合の選定

単位セメント量 200kg/m³の基本配合を選定するものである。スランプ 3±1cm、空気量 3.5±1.0%になる単位水量と混和剤添加量を求める試験を実施し、基本配合を選定する。この検討におけるCSG材はいずれも現地発生材であるため、CSG材の最大寸法を80mmとする以外は粒度調整を行わない。

減水混合試験

上記で定めた基本配合のそれぞれにおいて、混合機における加水（これを一次加水という）量と混合機から排出した後の加水（これを二次加水という）量をさまざまに変えてCSGを練り混ぜ、スランプ試験、空気量試験、標準供試体試験を実施する。これらの試験により作製した供試体について、供試体の外観評価、密度比、圧縮強度を求め、それらについてどのような傾向（一次加水量・二次加水量の違いによる各試験結果への影響）が見られるかを検討する。

凍結融解試験

凍結融解試験は、JIS A 1148:2001「コンクリートの凍結融解試験方法」のA法によった。

測定項目は、JIS A 1127:2001「共鳴振動によるコンクリートの動弾性係数、動せん断弾性係数および動ポアソン比試験方法」により、たわみ振動の一次共鳴振動数および質量とした。

相対動弾性係数は、式6.2.1によって算出し、小数第1位を四捨五入し、整数で表す。

$$P_n = \frac{f_n^2}{f_0^2} \times 100 \quad \dots \dots \dots \text{式 6.2.1}$$

ここに、 P_n ：凍結融解 n サイクル後の相対動弾性係数（%）

f_n ：凍結融解 n サイクル後のたわみ振動の一次共鳴振動数（Hz）

f_0 ：凍結融解 0 サイクルにおけるたわみ振動の一次共鳴振動数（Hz）

耐久性指数は、式 6.2.2 によって算出し、小数第 1 位を四捨五入し、整数で表す。

$$DF = \frac{P \times N}{M} \quad \dots \dots \dots \quad \text{式 6.2.2}$$

ここに、DF：耐久性指数

P：相対動弾性係数（%）

N：相対動弾性係数が 60% になるサイクル数、または 300 サイクルのいずれか小さい値

M：300 サイクル

質量減少率は、式 6.2.3 によって算出し、小数第 2 位を四捨五入し、小数第 1 位で表す。

$$W_n = \frac{W_0 - w_n}{w_0} \times 100 \quad \dots \dots \dots \quad \text{式 6.2.3}$$

ここに、W_n：凍結融解 n サイクル後の質量減少率（%）

w₀：凍結融解 n サイクル後の供試体の質量（g）

w₀：凍結融解 0 サイクルにおける供試体の質量（g）

乾燥湿潤験

乾燥湿潤繰り返し試験は、宮ヶ瀬ダムコンクリート特性試験¹⁾で実施された「促進試験」に準拠し、100×100×400mmの角柱供試体で実施した。

表 6.2.1 凍結融解および乾燥湿潤試験条件（ ）

ケース	一次加水率 (%)	二次加水率 (%)	単位セメント量 C (kg/m ³)	単位水量 W (kg/m ³)	W / C (%)	混和剤	養生方法	乾燥湿潤試験 (開始材齢)
2 - 1	100	0	200	150	75	ホゾリス マイクシア	水中 (20)	28 日 (1 セット 3 本)

スランブの範囲 3±1cm、空気量の範囲 3.5±1%

(4) 基本配合の選定

試験の結果、所定のスランブ (3±1cm)、空気量 (3.5±1.0%) が得られた配合は表 6.2.2 に示すとおりであり、この配合を基本配合に決定した。

表 6.2.2 富配合 C S G の基本配合（ ）

粗骨材の最大寸法 Gmax (mm)	スランブの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 w/c (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)								
					水 W	セメント C	C S G 材 5mm以下 S	C S G 材 80 ~ 5mm				混和剤	マイクシア
								G1 80 ~ 40	G2 40 ~ 20	G3 20 ~ 10	G4 10 ~ 5		
80	3±1	3.5±1	75	32.2	150	200	639	490	359	270	226	C×0.25% 0.5	C×0.09% 0.18

C S G 材 5mm 以下：洗浄砂使用

選定した基本配合において材齢 28 日用の標準供試体を作製した。標準供試体の外観評価、密度、圧縮強度の測定結果を表 6.2.3 に示す。

これにより、供試体の外観は評価点 5 点で満点の値を示し、材齢 28 日の圧縮強度は 14.4N/mm² となっている。

表 6.2.3 標準供試体の外観、密度、圧縮強度 ()

配合	硬化CSG							
	標準供試体							
	供試体評価 (%)					評価点	密度 (t/m ³)	圧縮 強度 (N/mm ²)
	良	ほぼ良	やや不良	不良	極めて不良			
[基本配合] C=200kg/m ³ W=150kg/m ³	100	0	0	0	0	5.0	2.332	14.1
	100	0	0	0	0	5.0	2.356	14.7
	100	0	0	0	0	5.0	2.346	14.3
平均	100	0	0	0	0	5.0	2.345	14.4

(5) 試験ケース

減水混合試験の試験ケースを表 6.2.4 に示す。

この試験では、混合水を 2 段階に分けて混合することとし、一次加水率を 100、70、40% で、二次加水率を 0、30、60% と変化させて実施した。

表 6.2.4 試験ケース ()

試験 ケース	配合	供試体 種別	養生方法	一次 加水率 (%)	二次 加水率 (%)
2-1	[基本配合] C=200kg/m ³ W=150kg/m ³	標準供試体	水中	100	0
2-2			"	70	30
2-3			"	40	60

(6) 試験結果

1) 減水混合におけるフレッシュ性状と圧縮強度

試験結果を表 6.2.5 および図 6.2.1、図 6.2.2 に示す。

一括加水 (一次加水率 100% : ケース 1-1) のスランプ、空気量はそれぞれ 3cm と 4.2% (フルサイズ換算 3.5%) であり、所定のスランプ値、空気量を満足している。

一方、減水混合の一次加水率 70% (二次加水率 30%) と 40% (二次加水率 60%) のケース 1-2 と 1-3 はスランプがそれぞれ 4cm と 3.5cm であるが、空気量は 2.2% と 2.3% (40mm アンダー) であり、必要空気量を下回る結果となった。

表 6.2.5 富配合 C S G 減水混合試験結果 ()

ケース	配合	一次加水率 (%)	二次加水率 (%)	フレッシュ性状			材齢 (日)	硬化 C S G							
				CT ()	スランプ (cm)	空気量 (%)		標準供試体					評価点	密度 (t/m ³)	圧縮強度 (N/mm ²)
								供試体評価 (%)							
								良	ほぼ良	やや不良	不良	極めて不良			
2-1	[基本配合] C=200kg/m ³ W=150kg/m ³	100	0	20.2	3.0	4.2	7	100	0	0	0	0	5.0	2.352	10.2
28							100	0	0	0	0	5.0	2.357	14.1	
2-2		70	30	21.0	4.0	2.2	7	100	0	0	0	0	5.0	2.355	10.6
28							100	0	0	0	0	5.0	2.380	14.5	
2-3		40	60	21.3	3.5	2.3	7	100	0	0	0	0	5.0	2.351	10.3
28							100	0	0	0	0	5.0	2.368	14.0	

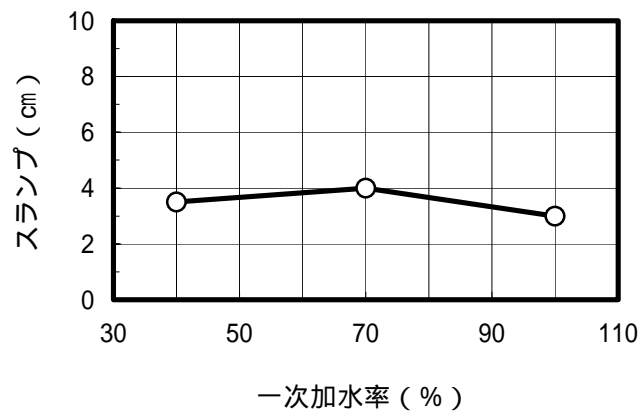


図 6.2.1 減水混合とスランプ ()

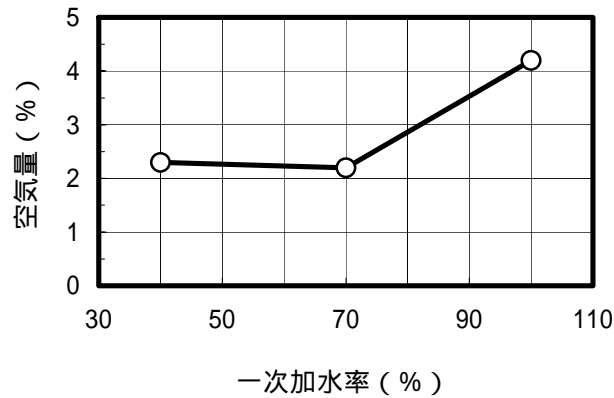


図 6.2.2 減水混合と空気量 ()

また、圧縮試験結果を図 6.2.3～図 6.2.5 に示す。

標準供試体の圧縮強度は一括加水および減水混合に強度差はみられず、1 週強度で 10.2～10.6N/mm²、4 週強度では 14.0～14.5N/mm²となっている。

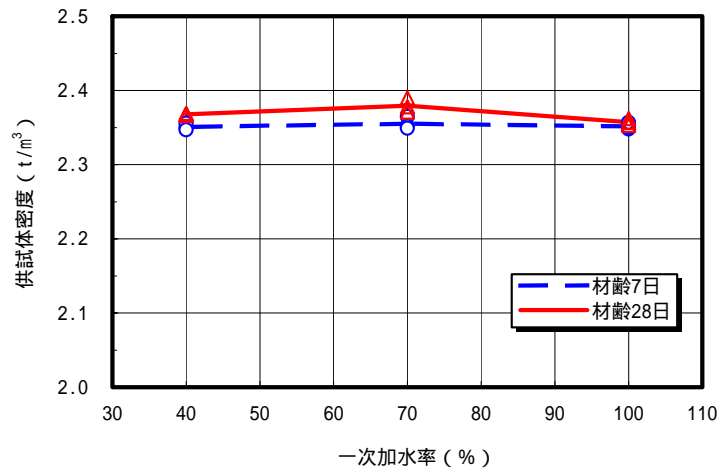


図 6.2.3 一次加水率と供試体密度 ()

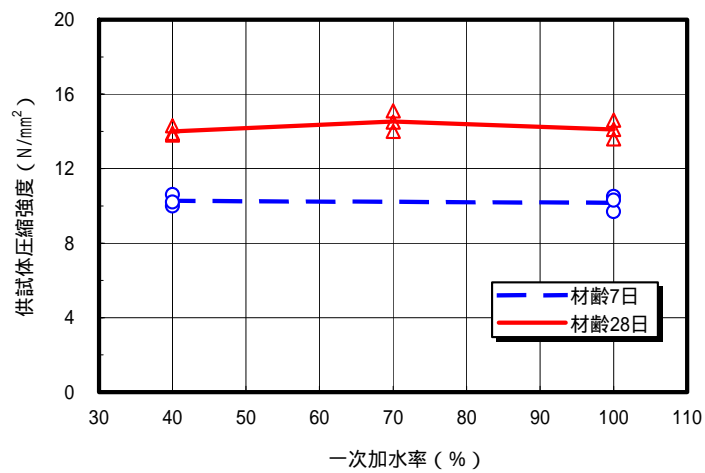


図 6.2.4 一次加水率と圧縮強度 ()

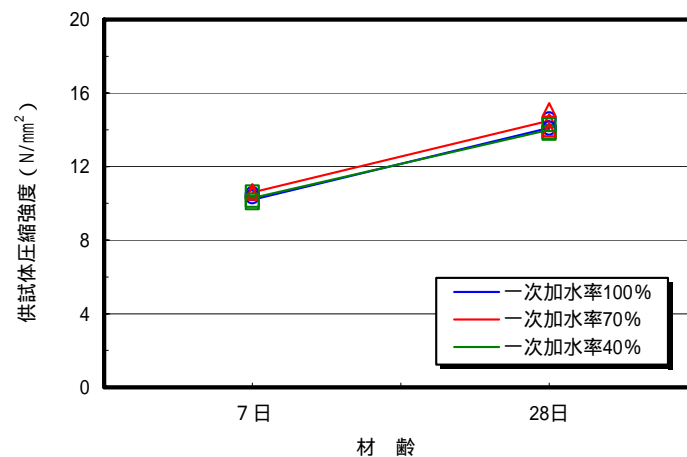


図 6.2.5 材齢と圧縮強度 ()

2) 凍結融解試験結果

試験結果を表 6.2.6、表 6.2.7 に示す。サイクル数と相対動弾性係数の関係を図 6.2.6 に示す。サイクル数と質量減少率の関係を図 6.2.7 に示す。

相対動弾性係数および耐久性指数の判定基準は、示方書施工編「2章 コンクリート構造物の耐久性照査 2.4 凍結融解作用に関する照査」によれば、凍害に関するコンクリート構造物の性能を満足するための相対動弾性係数は、300 サイクルで 60%以上とされている。

凍結融解試験の結果、300 サイクル終了時の相対動弾性係数は 48%、耐久性指数は 44 であり、今回の試験結果はこれよりも低い値を示した。これは、水セメント比が 75%と高いことによる影響と考えられる。示方書ダム編によれば、基本的に凍結融解作用が懸念される場合、水結合材比を 60%以下(水密性をもとに決める場合でも 60%以下)にしなければならぬとされている。

また、相対動弾性係数と共に凍結融解試験結果を判断するための目安とされている質量減少率は 300 サイクルで 6.9%である。良好な耐久性を有するコンクリートの質量減少率は通常 3%程度であり、今回の試験結果はこれよりも低い値を示した。

なお、試験によるスケーリングおよび表層付近にある骨材の膨脹と思われるポップアウトは認められたものの、供試体の崩壊は見受けられなかった。

表 6.2.6 凍結融解試験結果 (相対動弾性係数)()

種 別	No.	試験開始時 動弾性係数 ($\times 10^4 \text{N/mm}^2$)	サイクル - 相対動弾性係数 (%)														耐久性 指数 (D.F)	
			0	10	20	30	40	50	60	90	120	150	180	210	240	270		300
ケース2-1 基本配合B (C=200kg/m ³)	1	2.56	100	88	84	81	79	78	78	77	76	63	62	62	61	51	49	44
	2	2.60	100	90	86	84	81	80	79	78	75	65	62	61	53	53	47	
	3	2.52	100	86	84	83	83	81	81	77	71	69	64	63	57	50	49	
	平均	2.56	100	88	85	83	81	80	79	77	74	66	63	62	57	51	48	

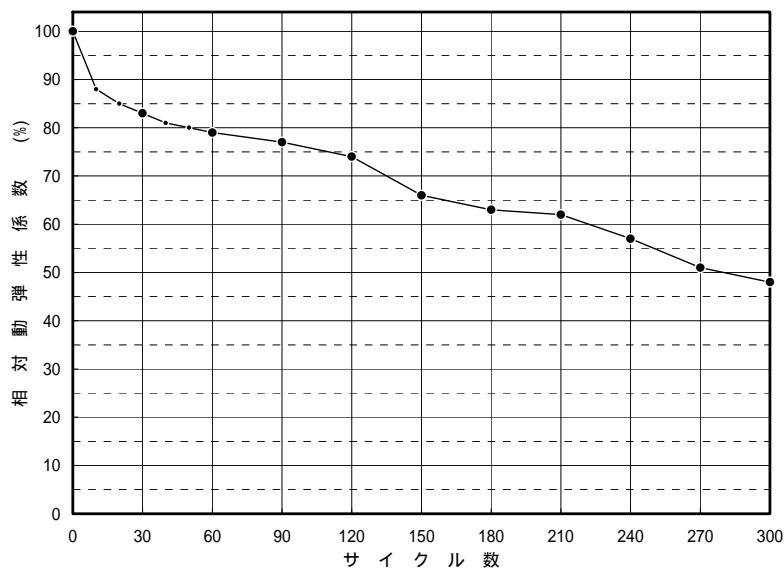


図 6.2.6 凍結融解試験結果 (相対動弾性係数)()

表 6.2.7 凍結融解試験（質量減少率）()

種 別	No.	試験開始時 質 量 (g)	サイクル - 質量減少率 (%)														
			0	10	20	30	40	50	60	90	120	150	180	210	240	270	300
ケース2-1 基本配合B (C=200kg/m ³)	1	9488	0.0	-0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	1.1	1.7	2.6	3.1	3.7	4.4	5.2	5.9
	2	9419	0.0	-0.1	0.3	0.4	0.4	0.6	1.0	2.0	2.5	3.1	3.7	4.3	5.0	6.0	7.1
	3	9362	0.0	0.0	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	1.0	1.3	2.2	2.9	3.6	4.8	6.1	7.6
	平均		0.0	-0.1	0.3	0.3	0.4	0.5	0.7	1.4	1.8	2.6	3.2	3.9	4.7	5.8	6.9

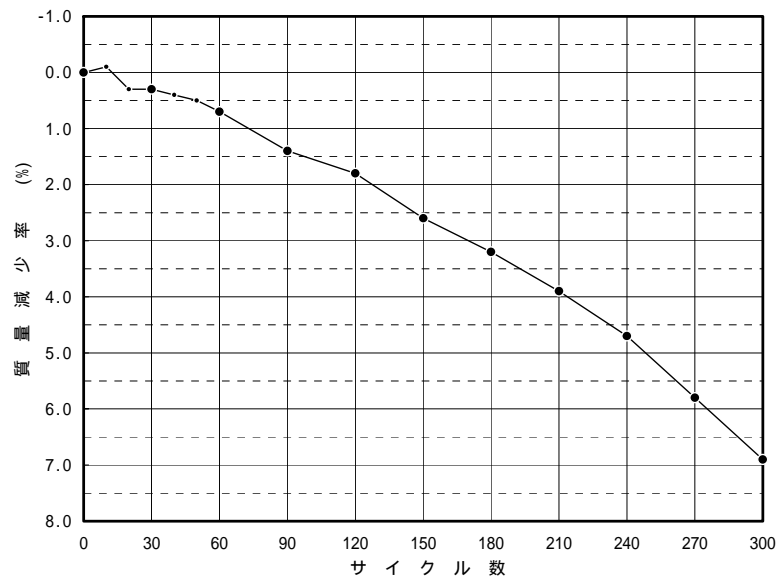


図 6.2.7 凍結融解試験結果（質量減少率）()

3) 乾燥湿潤試験結果

試験結果を表 6.2.8、表 6.2.9 に示す。サイクル数と相対動弾性係数の関係を図 6.2.8 に示す。サイクル数と質量減少率の関係を図 6.2.9 に示す。

宮ヶ瀬ダムコンクリート特性試験¹⁾によれば濁沸石を含む骨材をコンクリートに用いた場合の特徴として、次のように記されている。

『濁沸石（ローモンタイト）は沸石の一鉱物であり、モンモリロナイトのようにフレッシュなコンクリートの性状には影響はないものの、含有量の程度や含有形状によっては、硬化コンクリートを劣化させるとされている。これは、鉱物中の結晶水は加熱・湿潤を受けるとその一部が容易に着脱し、その際に体積変化を生じることから、コンクリート表面のスケールングやポップアウトといった劣化を引き起こすためとされている。また、こうした作用によってコンクリートの組織が緩み、中性化の進行や強度の低下を招くとされている。

自然環境下においてコンクリートにこうした作用をする条件としては、乾燥湿潤の繰り返し作用が考えられる。』

乾燥湿潤試験の結果、30 サイクル終了時の相対動弾性係数は 102%、耐久性指数は 102 であった。また、質量減少率は 30 サイクルで約 1% であり、供試体表面のスケールングやポップアウトは見受けられなかった。

試験開始から 1 サイクルまでに相対動弾性係数の大幅な低下が認められるが、2~15 サイクルにかけて相対動弾性係数は増加し、15 サイクルでは開始時の相対動弾性係数以上に回復している。また、15 サイクル以降の相対動弾性係数はほぼ一定となっている。

試験開始初期の相対動弾性係数の低下は、湿潤状態であった C S G が温度 80 の急激な乾燥を受けることにより、供試体の表面に微細なひび割れが発生し（目視観察より確認）、C S G 表面の品質が一時的に劣化した影響と考えられる。その後、2 サイクル以降の相対動弾性係数の増加は、湿潤行程において、水中養生を施すことにより C S G の水和が増進することによるものと考えられる（目視観察より 2 サイクル以降の表面劣化の進展は確認されなかった）。なお、相対動弾性係数の増加は、添付資料においても報告されている。15 サイクル以降の相対動弾性係数がほぼ一定を示しているのは、15 サイクルは C S G の材齢が約 120 日を経過しており、強度の増進が緩やかになったためと考えられる（使用セメントは普通ポルトランドセメント）。

これより、試験に用いた C S G には、乾燥と湿潤の繰り返し作用を受ける環境下で破壊を起こす C S G 材は無いものと考えられる。

表 6.2.8 乾燥湿潤試験結果 (相対動弾性係数) ()

種 別	No.	試験開始時 動弾性係数 ($\times 10^4 \text{N/mm}^2$)	サイクル - 相対動弾性係数 (%)																耐久性 指数 (D.F)
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30		
ケース2-1 基本配合B ($C=200\text{kg/m}^3$)	1	2.51	100	85	87	88	90	89	91	92	94	95	95	104	105	101	101	102	
	2	2.60	100	82	89	85	93	94	97	95	97	100	100	102	102	105	104		
	3	2.51	100	86	87	87	89	90	90	91	92	96	95	102	101	101	101		
	平均	2.54	100	84	88	87	91	91	93	93	94	97	97	103	103	102	102		

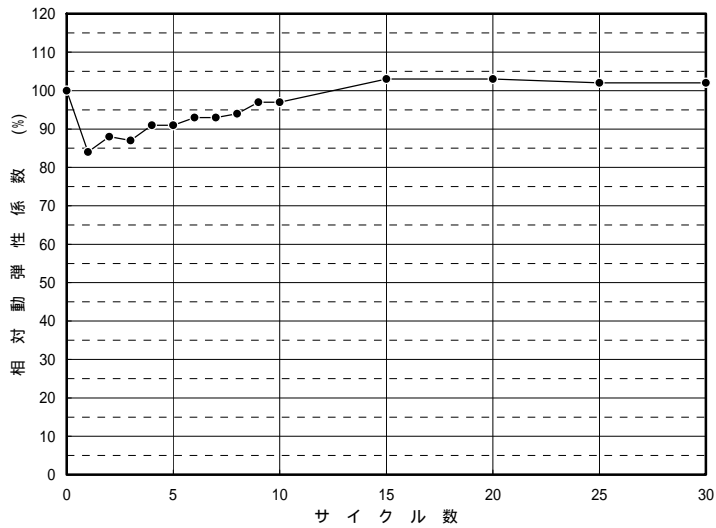


図 6.2.8 サイクル数と相対動弾性係数 ()

表 6.2.9 乾燥湿潤試験結果 (質量減少率) ()

種 別	No.	試験開始時 質 量 (g)	サイクル - 質量減少率 (%)															
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	
ケース2-1 基本配合B ($C=200\text{kg/m}^3$)	1	9486	0.0	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	
	2	9404	0.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.9	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	
	3	9361	0.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.9	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	
	平均		0.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.9	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	

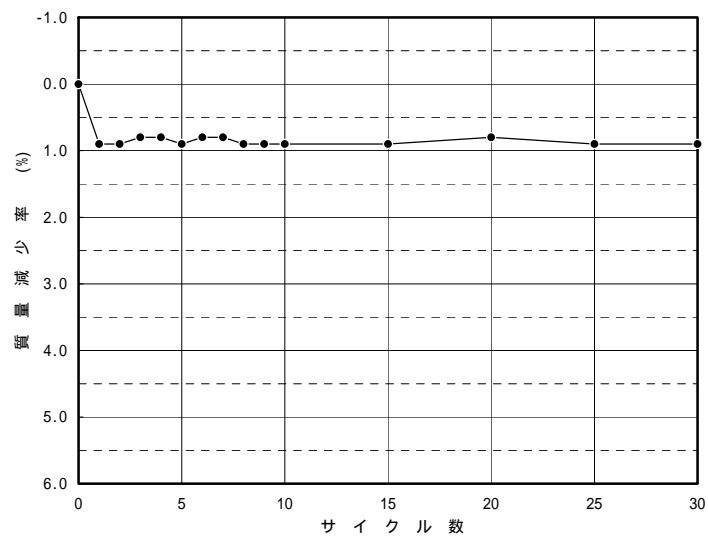


図 6.2.9 サイクル数と質量減少率 ()

(7) まとめ

単位セメント量の多いCSG（富配合CSG）の混合時に単位水量を減じ、締固め前に加水して製造したCSGのフレッシュ性状、および強度特性を確認した。なお、耐久性（凍結融解試験、乾燥湿潤試験）については減水混合のスランブ、空気量試験結果を踏まえて一括加水のみのケースとした。

1) 富配合CSGの減水混合

一括加水は所定のスランブ、空気量を満足している。

これに対して、減水混合の一次加水率70%と40%の場合は、スランブがそれぞれ4cmと3.5cmで所定のスランブを満足しているが、空気量については2.2%と2.3%（40mmアンダー実測値）であり、必要空気量を下回る結果となった。

したがって、富配合CSGの減水混合方法は、フレッシュ性状の試験結果からは適していないことが明らかにされた。

2) 富配合CSGの耐久性

凍結融解試験

凍結融解試験の結果、300サイクル終了時の相対動弾性係数は48%、耐久性指数は44であり、示方書ダム編の規格値である耐久性指数60%以下よりも低い値を示した。

これは、本配合の水セメント比が75%と高いことによる影響と考えられ、同解説表によれば、基本的に凍結融解作用が懸念される場合、水結合材比を60%以下にしなければならないとされている。

乾燥湿潤試験

乾燥湿潤試験の結果、30サイクル終了時の相対動弾性係数は102%、耐久性指数は102であった。これより、試験に用いたCSGには、乾燥と湿潤の繰り返し作用を受ける環境下で破壊を起こすCSG材は無いと考えられた。

¹⁾ 河野広隆、高橋弘人、宮ヶ瀬ダムコンクリート特性試験 - コンクリート用骨材特性 - 、土木研究所資料第3085号、1992年2月。

7. CSGにおける水平打継目処理

(1) 検討目的と検討方法

台形CSGダムにおける打設は、締め固め作業がローラー等の振動エネルギーにより実施され、層状で打設される点はRCD工法と同様である。よって、台形CSGダムにおける打継目処理についても、打継部の強度特性の改善やジャンカ防止、止水性への効果について考慮の必要がある。強度特性に対しては、CSG工法の場合でも、水平打継目が他と比べて弱点にならない処理方法が必要である。しかし、打設時におけるブリージングがほとんどないことから、RCD工法に比べて打継処理を簡素化できるとしている。このことはCSG工法の「施工の合理化」に貢献している点で具体的にはグリーンカットの省略などがある。また、ジャンカ防止、止水性に関しては、CSGの打継材にもある程度の流動性状を持つことが必要であると考えられる。適度な流動性状を持つことはCSGへの充填性を向上させるので、打継目において上、下層に確実に付着する効果をもたらすと考えられる。

本研究では上記について考慮し、台形CSGダムの打継目処理について、施工設備の簡易化が可能なセメントペーストや在来工法であるモルタルを使用した場合の効果を確認した。打継処理方法の違いによる影響を主に打継目のせん断強度特性に着目している。内容としては、大型供試体で打継目を再現し、そこから採取したコア供試体について外観観察、圧縮強度試験、一面せん断試験を実施した。それらの試験結果より処理方法ごとの効果について確認を行っている。

(2) 使用材料

使用材料および物性について表7.1に示す。母材は内閣府沖縄総合事務局で進められている大保ダム建設工事のうち、脇ダム原石山で採取された千枚岩とした。搬入した母材は試験場のふるい分け設備にて分級を行い各分級ごとに保管した。母材粒度分布を表7.2、表7.3、図7.1～図7.3に示す。特徴としては、0.15mm以下の微粒分量を5mm以下の粒度分布に対して25%(全体粒度では9%)含む母材であることがあげられる。表、図にある標準粒度上限、下限は、示方書ダム編で規定している粒度分布の範囲であり、参考に記載した。

表 7.1 使用材料 ()

名称	種類および物性	
セメント	普通ポルトランドセメント：密度：3.15(g/cm ³)	
母材	岩種：千枚岩（大保脇ダム原石山採取）	
(粗骨材)	80～40	絶乾密度：2.62(g/cm ³)・吸水率：1.97(%)・FM：8.94
	40～20	絶乾密度：2.55(g/cm ³)・吸水率：2.94(%)・FM：7.83
	20～10	絶乾密度：2.55(g/cm ³)・吸水率：2.78(%)・FM：6.91
	10～5	絶乾密度：2.52(g/cm ³)・吸水率：3.27(%)・FM：5.88
(細骨材)	5～0	絶乾密度：2.70(g/cm ³)・吸水率：0.70(%)・FM：2.52
フライアッシュ	JIS 種 (JIS A 6201)・密度：2.25(g/cm ³)	
砂(モルタル用)	富士川産川砂・絶乾密度：2.63(g/cm ³) 吸水率：1.29(%)・FM：2.84	

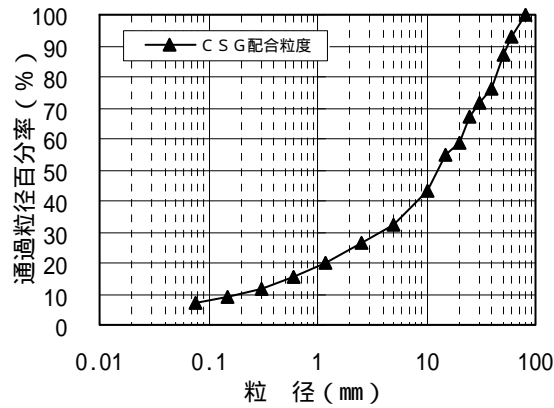


図 7.1 母材粒度分布 ()

表 7.2 CSG 配合粒度(母材(5mm 以下))() 表 7.3 CSG 配合粒度(母材(5mm 以上))()

ふるい目	0.15 以下	0.15 ~ 0.3	0.3 ~ 0.6	0.6 ~ 1.2	1.2 ~ 2.5	2.5 ~ 5.0
標準粒度上限	15	20	30	30	25	20
母材粒度	25.3	9.1	13.1	14.1	20.2	18.2
標準粒度下限	2	12	15	10	10	5

ふるい目	5 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 40	40 ~ 80
標準粒度上限	15	25	40	40
母材粒度	16.8	20.1	26.7	36.4
標準粒度下限	10	15	20	20

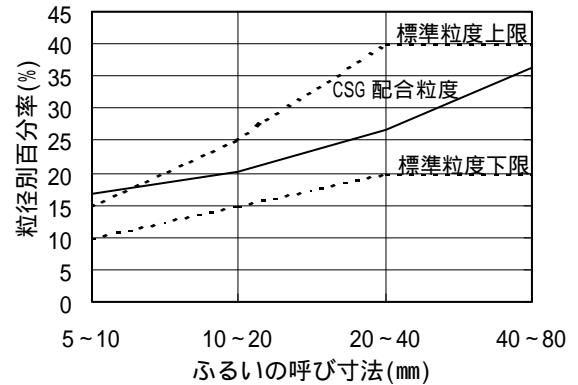
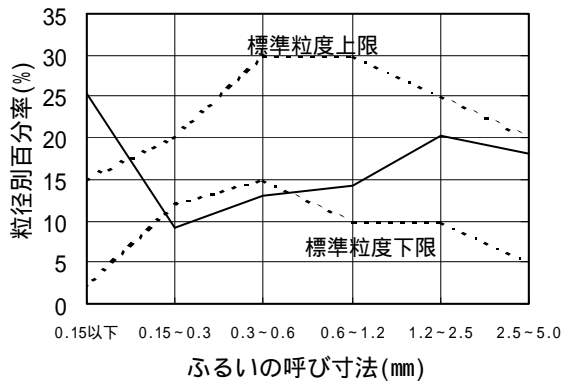


図 7.2 CSG 配合粒度(母材(5mm 以下))() 図 7.3 CSG 配合粒度(母材(5mm 以上))()

(3) 試験項目と方法

この検討における試験項目および試験方法を、以下に示す。

表 7.4 減水混合試験における試験項目および方法

試験区分	試験項目	試料	養生方法
フレッシュ性状	標準 VC 試験	40mm ウェットスクリーニング	-
大型供試体試験	供試体作製 コア外観評価 コア密度 コア圧縮強度	フルサイズ	封緘養生

(4) 基本配合

今回の試験で使用する母材に対し、母材の最大粗骨材寸法 80mm、単位セメント量 80kg/m³、標準 V C 値 20 秒、細骨材率 32% を満足するように予備試験を実施し、C S G の基本配合を表 7.5 のように決定した。

表 7.5 C S G の基本配合 ()

配合名称	Gmax (mm)	Air (%)	W/C (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)						
					水	セメント	母材 0-5mm	母材:80-5mm			
								80-40	40-20	20-10	10-5
C S G 基本配合	80	0	160	32	128	80	726	557	408	307	257

(5) 試験ケース

試験ケースを表 7.6 に示す。一般部(打継を有しない供試体による試験)と他ケースの比較を目的とし、処理方法の効果について検討を行う。なお、各ケースとも打継目を湿潤に保つこと以外の清掃やグリーンカットなどの処理は実施しない。未処理は、打継処理材を使用しないで上層の打設を実施する。セメントペースト処理は、セメントをフライアッシュに 50% 置換した A 配合と、置換しない B 配合の 2 種類とし、塗布厚さを 10mm とした。モルタル処理は、塗布厚さを 15mm とした。一般部は大型供試体を 1 層 1 回打設で作製とした。

表 7.6 試験ケース ()

ケース NO	名称	内容	供試体数		備考
			タ 仮せん断 試験用 200 × h200	圧縮強度 試験用 150 × h300	
1	未処理	打継処理材なし	3 角度 × 3 本=9 本	3 本	
2-1	セメントペースト A 配合	セメントペースト (F 置換あり)塗布処理	3 角度 × 3 本=9 本	3 本	ペースト厚 t=10mm
2-2	セメントペースト B 配合	セメントペースト (F 置換なし)塗布処理	3 角度 × 3 本=9 本	3 本	ペースト厚 t=10mm
3	モルタル	モルタル塗布処理	3 角度 × 3 本=9 本	3 本	モルタル厚 t=15mm
4	一般部	打継を有しない 供試体	3 角度 × 3 本=9 本	3 本	

(6) 試験フロー

図 7.4 に試験フローを示す。表 7.5 に示した C S G 基本配合を用いて大型供試体(500mm × h400mm) を打継処理方法別に作製した。打継目のある大型供試体の作製手順は、まず下層(h200mm)の打設を行い中 2 日の養生をとる。その後、各ケースにおける打継処理を行い、上層(h200mm)の打設を実施した。打継目のない大型供試体の作製は、1 層 1 回の打設により行った。打設完了後、約 3 週間養生し、コア削孔によりせん断試験用(200mm × h200mm)、圧縮強度試験用(150mm × h300mm) のコア供試体を作製した。材齢 28 日において打継処理部およびコア供試

体の外観観察を行い、せん断試験と圧縮強度試験を実施した。せん断試験の方法については一面せん断試験機を使用し実施した。また、圧縮強度試験については全体ひずみ測定を実施し、弾性領域強度とピーク強度について評価した。

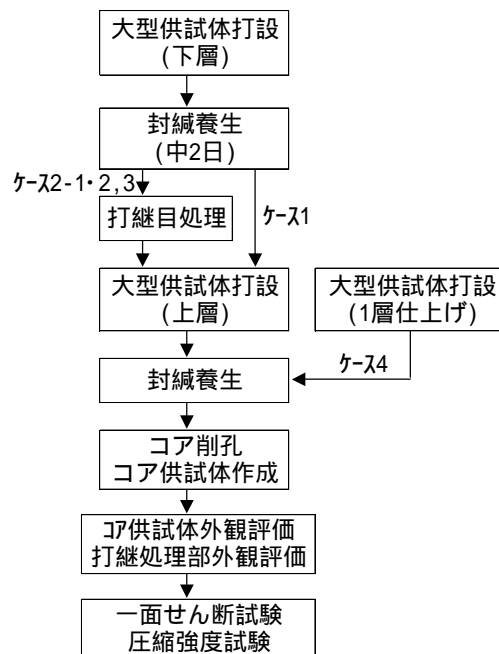


図 7.4 試験フロー ()

(7) モルタルとセメントペーストの配合

表 7.7 にセメントペーストおよびモルタルの配合表を示す。材齢 28 日、91 日での圧縮強度試験結果も記載した。セメントペーストについては、各配合で充填モルタルの流動性試験(JCI-F 541-1999)を実施し、 J_{14} 漏斗の評価で 10 秒を目標に配合の調整を実施し決定した。

表 7.6 セメントペースト・モルタル配合表 ()

配合名	F/(C+F) (%)	(C+F):W	J_{14} 漏斗 試験(s)	28 (N/mm ²)	91 (N/mm ²)
セメントペースト A 配合	50	1:0.5	10	18.4	29.6
セメントペースト B 配合	0	1:0.4	11	67.1	85.4
配合名	F/(C+F) (%)	W/(C+F) (%)	(C+F):S	28 (N/mm ²)	91 (N/mm ²)
モルタル	30	55	1:2.5	30.2	43.8

(8) 供試体作成

C S Gの混合および性状試験完了後に大型供試体(500×h400)の作成をおこなった。C S Gの締固めには人為的なバラツキの低減を目的に大型供試体締固め装置を用いた。なお締固め時間は、予備試験により締固め時間と供試体密度の関係を検討し決定した。

3週間の封緘養生後、大型供試体よりコア削孔を実施し、せん断試験用コア(200×h200) 圧縮強度試験用コア(150×h300) にカッター切断により整形した。

(9) 圧縮強度試験

材齢 28 日の供試体について圧縮強度試験を「コンクリートの圧縮強度試験方法」(JIS A 1108) に準じて実施した。測定にあたっては全体変位計でひずみの測定を実施し、弾性領域強度とピーク強度、静弾性係数についての評価を実施した。弾性領域強度および静弾性係数の算出方法は、技術資料に遵守し、応力 - ひずみの関係より求めている。

(10) せん断強度試験

C S Gのせん断試験として、材齢 28 日に一面せん断試験を実施した。この試験は試験用治具を圧縮試験機に取り付けてせん断照査面(ケース 1~3 は打継処理面)に垂直力とせん断力を同時に戴荷する試験方法である。せん断角度(θ)は、せん断治具の上下のスペーサを取り替えることによって変化させ、本試験では 25°、30°、35° の 3 ケースとした。破壊時にせん断照査面に作用しているせん断応力 τ と垂直応力 σ は式 7.1 および式 7.2 によって算出し、この値より Mohr-Coulomb のせん断破壊規準線 ($\tau = \tau_0 + f\sigma$: 図 7.5) を特定する。

$$\sigma = \frac{P}{A} \sin \theta \quad (\text{N/mm}^2) \quad \dots \dots \dots \text{式 7.1}$$

$$\tau = \frac{P}{A} \cos \theta \quad (\text{N/mm}^2) \quad \dots \dots \dots \text{式 7.2}$$

ここで、 P : 破壊荷重(N)
 A : せん断照査部面積(mm²)
 θ : せん断角度

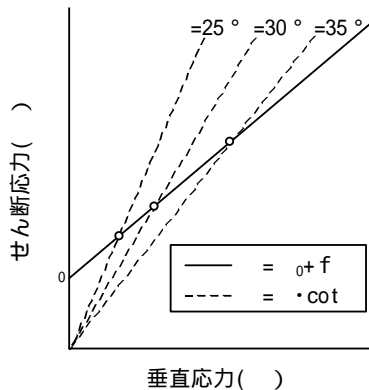


図 7.5 せん断破壊基準線 ()

(1 1) 試験結果

1) 打継部外観評価結果

結果をもとに集計した測定位置とペースト厚さの関係を図 7.6 に、またペースト厚さと計測数の関係を図 7.7 に示す。

測定位置 A 付近は大型供試体の型枠際に位置するので、枠伝いにペースト分の上昇が懸念されていたが各ケースともさほど顕著な偏りは見られなかった。

ペースト厚さ別の計測数についてはケース 2-1、2-2 にばらつきがみられ、塗布厚さは 10mm であるが 25mm 以上の計測結果も見られる。原因としては、セメントペーストを主に構成する粒子が細かい為細部に行きわたりやすく、転圧によるエネルギーでペースト分が上昇しやすいことが考えられる。写真 7.1 に示すようにセメントペーストが C S G の骨材周囲によくまわり込む特徴が顕著に見られた。

これに対し、モルタル処理については平均厚さ $t=13.2\text{mm}$ を中心にばらつきのない分布の形状を示している。打継部の外部観察からは写真 7.2 のようにモルタル分は転圧によるエネルギーを加えてもさほど上昇はなく、ある程度の厚さを維持し上、下層の C S G によく密着している。

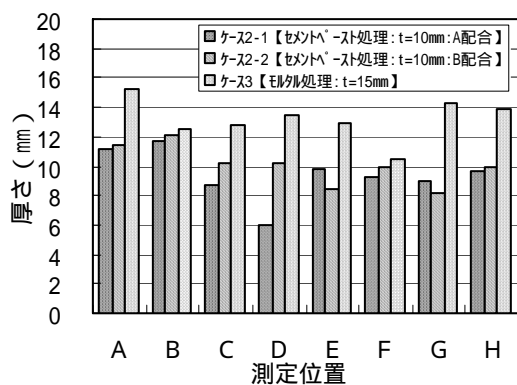


図 7.6 ペースト厚さと測定位置 ()

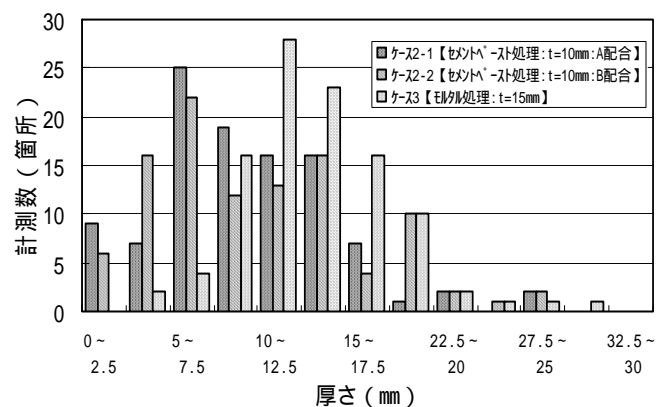


図 7.7 ペースト厚さと計測数 ()



写真 7.1 打継処理部(ケース 2-2) ()

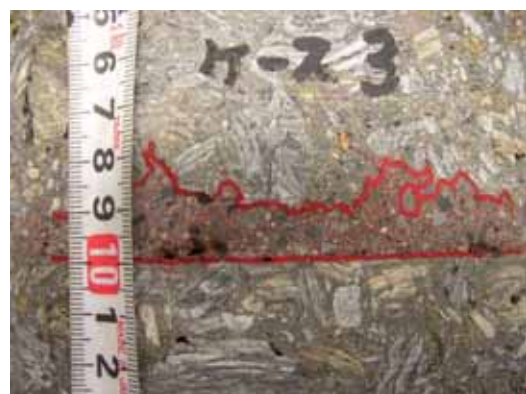


写真 7.2 打継処理部(ケース 3) ()

2) 圧縮強度試験結果

各ケースにおける一軸圧縮強度試験結果を表 7.8 に示す。材齢 28 日での試験結果である。ケース 1(未処理)については圧縮強度試験における全体ひずみ測定について、安定した計測が出来なかった為検討の対象からは除外した。

表 7.8 圧縮強度試験結果 ()

ケース NO	名称	圧縮強度試験		
		ピーク強度 (N/mm ²)	弾性領域強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (N/mm ²)
1	未処理	3.13(0.108)	***	***
2-1	セメントペースト A 配合	3.22(0.094)	1.93	943
2-2	セメントペースト B 配合	3.55(0.043)	2.10	1165
3	モルタル	3.46(0.089)	2.11	1070
4	一般部	3.85(0.031)	2.35	1278

() 値は変動係数

弾性領域強度とピーク強度との関係、静弾性係数との関係について図 7.8、図 7.9 に示す。各ケースの平均値についてピーク強度は 3N/mm² 以上の値を示し、弾性領域強度については 2N/mm² 前後の値となっている。

打継目の再現は、コア供試体の長さ方向に直角になるように十分に配慮したので、軸方向応力に対する影響は少ないと考えられるが、ケース 4 の強度値に対し他ケースについてはわずかながら減少がみられた。また、CSG の強度試験なので、ばらつきについての評価は難しいが、変動係数にも打継処理による影響がみられた。ケース別の結果の評価については、ケース 4 と比較した場合、強度値の低下やばらつきの程度は打継処理材自体の強度特性が高いケースほど値は小さい。しかし、ケース 2-1、3 についてはセメントの一部をフライアッシュで置換した打継処理材を使用しているため、長期材齢での評価とした場合強度特性の改善やばらつきの解消が期待できる。

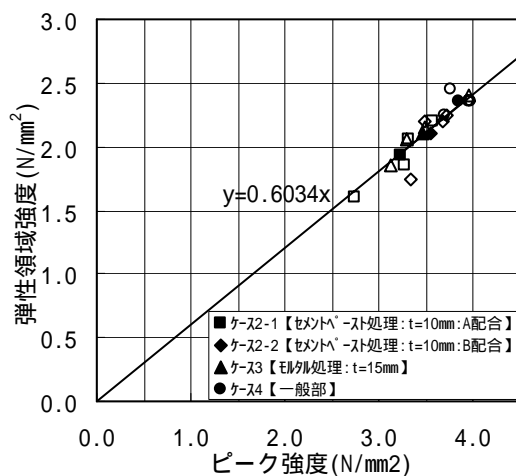


図 7.8 ピーク強度と弾性領域強度 ()

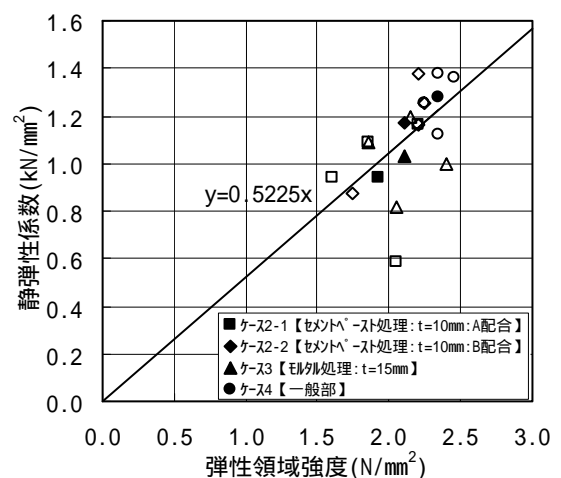


図 7.9 静弾性係数と弾性領域強度 ()

3) せん断強度試験結果

a) せん断試験結果

各ケースにおけるせん断強度 τ_0 と内部摩擦係数 f について表 7.9 に示す。

表 7.9 せん断強度 τ_0 と内部摩擦係数 f ()

ケース NO	名称	内容	せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	内部摩擦係数 f	決定係数 (R ²)	打継材圧縮強度	
						28 (N/mm ²)	91 (N/mm ²)
1	未処理	打継材なし	0.09	1.129	0.951	***	***
2-1	セメントペースト A 配合	セメントペースト塗布 F50%置換 t=10mm	0.80	0.854	0.820	18.4	29.6
2-2	セメントペースト B 配合	セメントペースト塗布 Fなし t=10mm	0.73	1.016	0.868	67.1	85.4
3	モルタル	モルタル塗布 t=15mm	0.63	1.018	0.945	30.2	43.8
4	一般部	打継面を有しない箇所での試験	0.75	1.021	0.971	***	***

b) 一般部(ケース 4)におけるせん断強度

ケース 4(一般部)における一面せん断試験より得られたせん断破壊規準線と、圧縮強度試験におけるピーク強度より得られた Mohr 円との関係を図 7.10 に示す。せん断破壊規準線は僅かに Mohr 円より下回ったが包絡線として評価できる位置である。このことは、供試体の破壊が Mohr-Coulomb のせん断破壊規準説で説明できることも意味する。

c) 打継目におけるせん断強度

打継処理材を使用したケースでは顕著なせん断強度の低下はみられず、ケース 4(一般部)と同様な特性と判断できた。

- ・ ケース 1(未処理)

$\tau_0=0.09\text{N/mm}^2$ と非常に小さな値となった。

- ・ ケース 2-1(セメントペースト A 配合)

決定係数が $R^2=0.82$ となり、試験結果に他のケースと比較して一番ばらつきが見られた。原因としては、せん断試験時における材齢 28 日での打継処理材の強度特性が影響したことが考えられる。

- ・ ケース 2-2(セメントペースト B 配合)

ケース 4(一般部)にもっとも近似したせん断破壊規準線を得る試験結果となった。セメントペーストについてケース 2-1 の試験結果と合わせて判断すると、今回採用した 2 配合の効果は

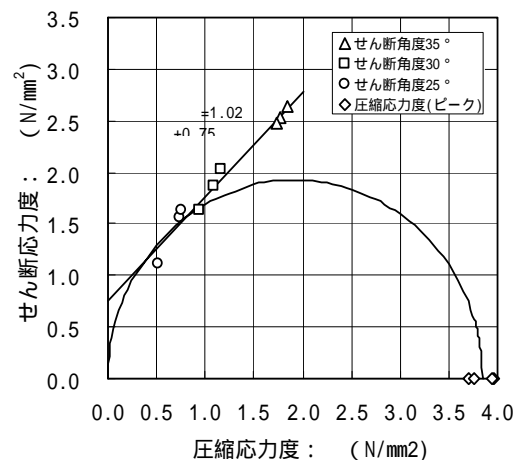


図 7.10 せん断試験結果(ケース 4) ()

打継目のせん断強度特性に対しては有効だったと判断できる。

・ケース3(モルタル)

ケース4(一般部)と比較して、せん断強度に顕著な変化は見られなかった。CSGにはブリーディングがほとんどないのでレイタンス処理が必要ない。このことを合わせて考慮し、ケース3で設定した打継目処理に問題はないことがわかった。

(12)まとめ

本検討はCSG工法について打継部のせん断強度特性に主に着目し、打継処理ごとの供試体について圧縮強度試験、一面せん断試験を実施した。供試体の作成方法は、上層、下層の2層に分けたCSGの大型供試体を打設する事で打継目を再現し、そこからコア供試体を採取する方法とした。一連の試験結果より、セメントペーストやモルタルを打継材として使用した場合の効果を検討している。結論をまとめると以下のとおりである。

- (1) セメントペースト処理についてはA・B配合とも骨材の周囲によく回りこみ上層、下層によく密着していた。また、モルタル処理については塗布時の厚さを転圧後もある程度維持し上、下層によく密着している。
- (2) 比較の基本としたケース4(一般部)のせん断破壊規準線は、圧縮強度試験におけるピーク強度によるMohr円を僅かに下回るが包絡線として評価できる位置になった。したがって、CSG供試体の破壊がMohr-Coulombのせん断破壊規準説で説明できることがわかった。
- (3) 打継処理をした供試体はすべて打継目で破壊している。したがって、打継目のせん断強度特性の比較方法として、今回採用した試験方法は妥当であったと判断される。
- (4) J_{14} 漏斗での流動性試験結果で10秒程度のセメントペーストであれば、打継材として使用してもCSGへの充填性が確認され強度的に弱点とならない事が解った。ただし、フライアッシュ置換率などの配合特性は、セメントペースト自体の圧縮強度特性にも留意し決定することが必要である。

CSGの場合、打継目の処理(グリーンカットや清掃)を実施しなくてもモルタルやセメントペーストなどの打継材を使用すれば、せん断強度は顕著に変化しない事が確認できた。原因としてCSGにレイタンスの発生が少ないことや、CSG自体のせん断強度特性が低いことが考えられる。このことは台形CSGダムの「施工の合理化」に貢献している点と判断される。

室内試験においては、今回想定した打継材を使用した処理方法はいずれもその効果が確認でき、良好な試験結果になったと考えている。しかし、今回の検討に加えて、止水性に関する問題や現場施工での確認なども必要と思われる。また、CSG自体の強度特性を考えれば、今回の検討とは逆に打継材を使用しない場合についても検討の余地はあると思う。いずれにせよ、台形CSGダムの利点である「施工の合理化」を最大限に活かすために、様々な角度からの検討が必要ではないかと考えた。

8. CSGの破壊エネルギーに関する検討

(1) 検討目的と検討方法

コンクリートにおける破壊エネルギーや引張軟化曲線などの破壊特性は、粗骨材の種類や物性、粒度分布および粒径などに影響を受けることが既に知られている。ダムコンクリートの分野でもそれらを考慮した研究成果が既に報告されている。しかし、CSGではコンクリートと違った特性を有するので、既往の文献などの試験結果から破壊特性を推定することは難しい。このことは、CSGの特徴として強度特性は小さいが使用される粗骨材の最大粒径が80mm程度と大きいことや、静弾性係数が一般的なコンクリートと比較すると小さな値になることなどから判断できる。

本研究では、CSGの破壊エネルギーの計測を、プレーンコンクリートでの(社)日本コンクリート工学協会「JCI-S-001-2003」(以下、破壊エネルギー試験)の計測方法に準拠し実施した。これは、ひび割れを誘発させる位置に切欠きをつけた供試体に3点曲げ载荷を実施し、荷重-ひび割れ肩口開口変位(以下、荷重-CMOD)を計測する試験である。試験より得られた荷重-CMOD曲線から、多直線近似解析法により引張軟化曲線の特定を実施した。また、得られた引張軟化曲線を構成関数が簡易な二直線型にする定式方法を検討し、CSGにこの試験方法を採用した場合の諸問題について検討した。

(2) 破壊エネルギー

1) 破壊エネルギー

コンクリートの場合、圧縮強度と粗骨材の最大寸法の影響を考慮した破壊エネルギーの推定式が示方書構造型能照査編 P27～P28 に式 8.1 のように記載されている。また、同式で求めた粗骨材の最大寸法が 40mm、80mm の破壊エネルギーと圧縮強度の関係を図 8.1 に示す。

$$G_f = 10(d_{\max})^{\frac{1}{3}} \cdot f'_{ck}{}^{\frac{1}{3}} \div 1000 \quad (\text{N/mm}) \quad \dots \dots \dots \text{式 8.1}$$

ここで、 G_f : 破壊エネルギー (N/mm)

d_{\max} : 粗骨材の最大寸法 (mm)

f'_{ck} : 圧縮強度の特性値 (設計基準強度) (N/mm²)

仮にコンクリートで粗骨材の最大寸法が 40mm で圧縮強度が 4.0(N/mm²)程度であれば、図 8.1 の関係では破壊エネルギーは 0.055(N/mm)程度となる。しかし、破壊エネルギーの特性は普通コンクリートとダムコンクリートに相違があるといった報告がある。そこでは、破壊エネルギーは粗骨材の最大寸法に対して強い依存性があり、粗骨材の形状にも影響されるとしている。CSGの場合、粗骨材の最大寸法はコンクリートダムと同程度で

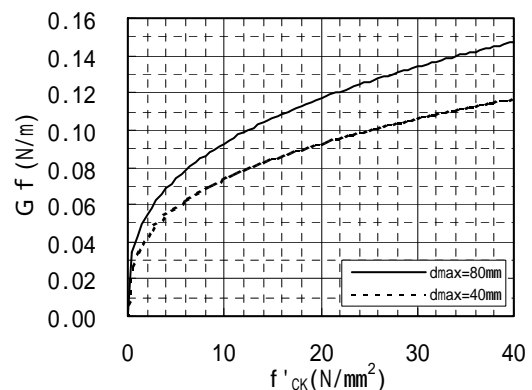


図 8.1 破壊エネルギーと圧縮強度 ()

あるが、骨材の品質はコンクリートの場合と比べて低品質なものも採用される。また、CSGの強度特性はコンクリートと比較して極度に低く、また弾性係数にも違いがある。これらの事より、CSGの破壊特性については十分な検討が必要であると判断される。

2) 引張軟化曲線

コンクリートの破壊現象は、完全に開口しているひび割れの先端に存在する破壊進行領域の挙動に大きく関係しているとされている。この破壊領域では軟化現象が生じており、コンクリートの破壊現象は非線形性を示すとされている。この非線形破壊挙動をモデル化するために、図8.2に示す仮想ひび割れモデルが提案されている。このモデルは、コンクリートの破壊進展領域を、1本の仮想ひび割れに結合応力が作用する力学モデルに置換えたものである。結合応力は仮想ひび割れ幅(開口変位)に応じて変化するものとして、この関係を図8.3に示す引張軟化曲線としている。この引張軟化曲線の推定方法は、破壊エネルギー試験で得られた荷重-CMOD曲線よりこの仮想ひび割れモデルに基づいた考え方で逆解析を行い推定する「多直線近似解析法」が提案されている。また、これらのひび割れの考え方や特性値はコンクリート構造物の数値解析に取り入れられ、コンクリートダム分野でも想定地震での地震動解析などで行われる非線形解析に多く利用されている。

また、引張軟化曲線の形状に対する評価方法として様々な評価方法が提案されている。本研究では、CSGの引張軟化曲線を二直線型引張軟化曲線で扱う場合の検討を実施した。この方法は構成関数が簡易で数値解析でも扱いやすい特徴を持つ。また、示方書構造性能照査編でもこの形式で図8.4の評価方法が記載されている。ここでは、コンクリートの破壊エネルギー G_f と

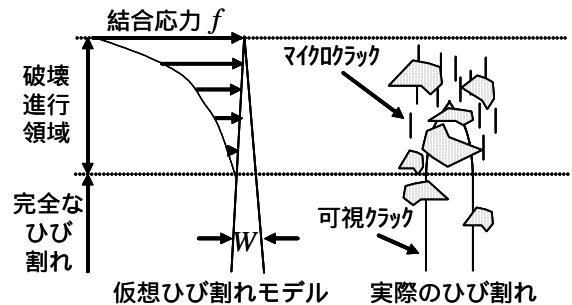


図 8.2 仮想ひび割れモデル ()

限界仮想ひび割れ幅 W_c 、初期結合応力 f_t の関係は式8.2に示すものとしている。

$$W_c = 5.0 \times \frac{G_f}{f_t} \dots \dots \dots \text{式 8.2}$$

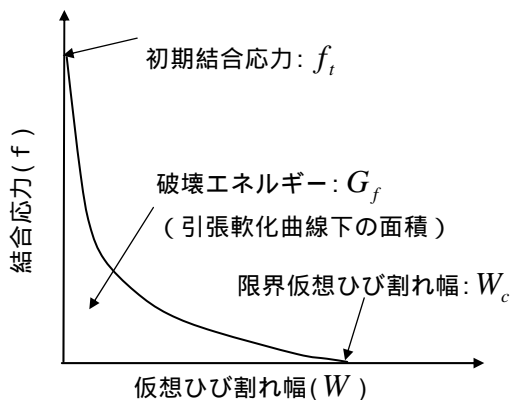


図 8.3 引張軟化曲線 ()

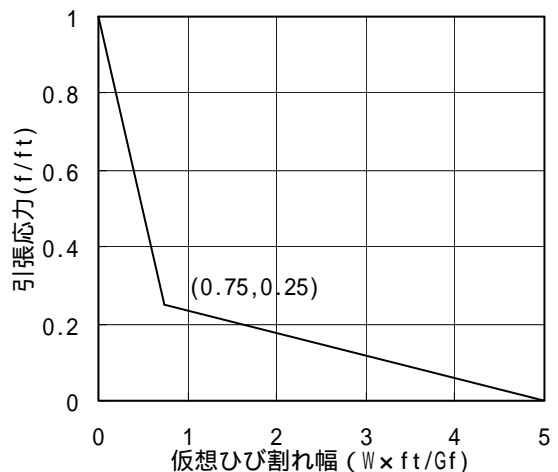


図 8.4 二直線型引張軟化曲線(示方書)

(3) 試験方法

1) 使用材料

使用材料および物性について表 8.1 に示す。母材 A : 千枚岩 (大保ダム母材) 母材 B : 安山岩 (静岡県芝川町) 母材 C : 河床砂礫 (美和ダム上流砂防ダム) 以上の 3 種類を使用する。

搬入した母材は試験場のふるい分け設備にて分級を行い各分級ごとに保管した。CSGの基本配合に用いる母材粒度分布を表 8.2、表 8.3、図 8.5 ~ 図 8.7 に示す。特徴としては、掘削ズリである CSG 材 A、B の 5mm 以下における 0.15mm 以下の微粒分量は標準粒度範囲を外れており A 材 25%、母材 B 36% と微粒分が非常に多く河床砂礫である母材 C は 11% 含む母材であることがあげられる。表、図にある標準粒度上限、下限は示方書ダム編で規定している粒度分布の範囲であり、参考に記載した。

表 8.1 使用材料及び物性値 (,)

CSG 材の種類	分級区分		表乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	微粒分量 (%)	実積率 (%)
A 材 : 千枚岩 (大保ダム)	G1	80 ~ 40mm	2.67	1.97	1.2 (1.3)	59.2
	G2	40 ~ 20mm	2.63	2.94	1.6 (2.0)	58.3
	G3	20 ~ 10mm	2.63	2.78	2.0 (2.4)	57.4
	G4	10 ~ 5mm	2.60	3.27	3.1 (3.3)	61.6
	S	5 ~ 0mm	2.72	0.70	25.7 (27.7)	62.9
B 材 : 安山岩 (静岡県芝川町)	G1	80 ~ 40mm	2.72	1.24	-	59.2
	G2	40 ~ 20mm	2.66	3.24	-	60.9
	G3	20 ~ 10mm	2.55	5.53	-	60.8
	G4	10 ~ 5mm	2.44	6.50	-	61.1
	S	5 ~ 0mm	2.53	5.03	36.5 (38.9)	66.8
C 材 : 河床砂礫 (美和ダム)	G1	80 ~ 40mm	2.69	0.56	-	60.6
	G2	40 ~ 20mm	2.69	0.78	-	60.7
	G3	20 ~ 10mm	2.68	0.91	-	61.0
	G4	10 ~ 5mm	2.67	1.29	-	61.1
	S	5 ~ 0mm	2.63	1.65	8.0 (13.6)	72.7
規格 (基準) 値	J I S		2.50以上	3.00以下	-	-
	標準示方書		2.50以上	-	粗骨材 : 1% 細骨材 : 3% - 5%	-

注1 CSG材AにおけるCSG材5mm以下の密度、吸水率試験はJIS A 1134 (軽量細骨材の密度吸水率試験方法)

注2 微粒分量の上段はJIS A 1103(0.075mm), 下段の()は0.15mmの値を示す。

注3 赤字は規格 (基準) 値に満たない値である。

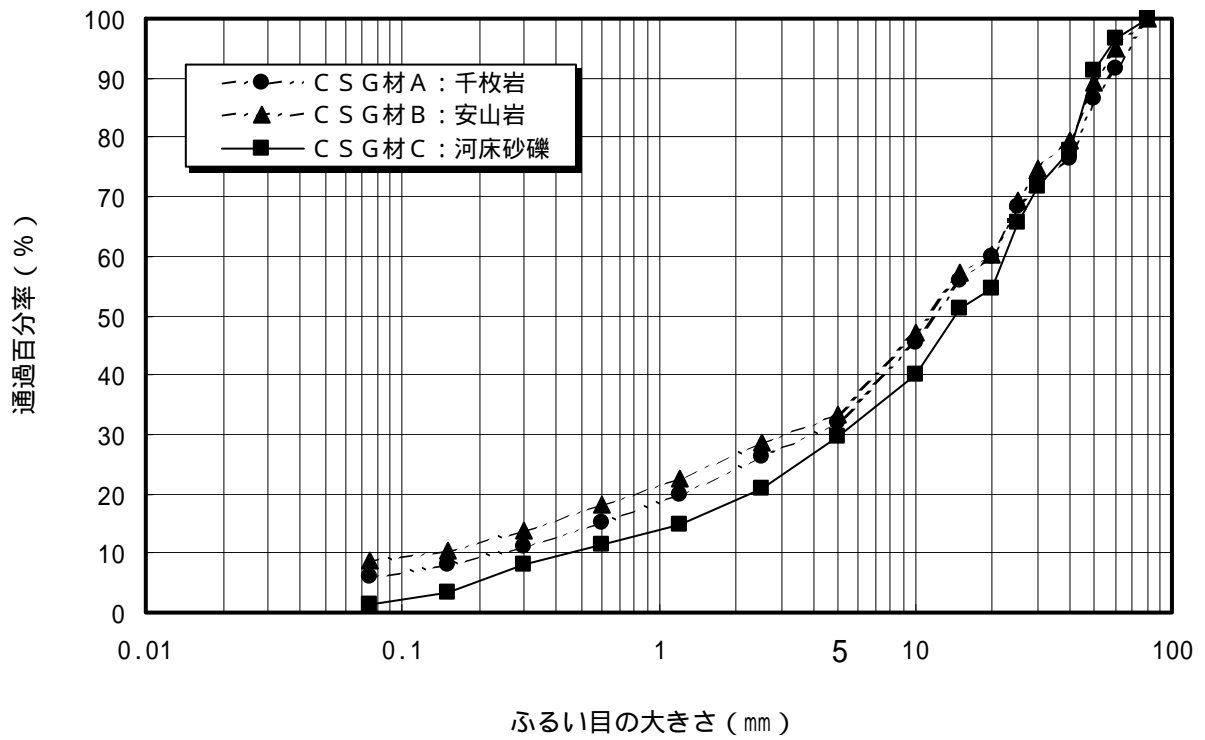


図 8.5 CSG材粒度分布 (,)

表 8.2 CSG材の粒度(母材(5mm以下))

ふるい目	0.15 以下	0.15~ 0.3	0.3~ 0.6	0.6~ 1.2	1.2~ 2.5	2.5~ 5.0
標準粒度上限	15	20	30	30	25	20
CSG材 A	24.7	9.3	12.9	14.2	20	18.4
CSG材 B	27.3	10.6	13.3	14.1	18.9	15.0
CSG材 C	11.3	16.4	11.3	11.1	21.6	27.6
標準粒度下限	2	12	15	10	10	5

表 8.3 CSG材の粒度(母材(5mm以上))

ふるい目	5~10	10~20	20~40	40~80
標準粒度上限	15	25	40	40
CSG材 A	16.8	20.1	26.7	36.4
CSG材 B	19.3	20.4	28.7	31.7
CSG材 C	12.0	22.6	33.0	32.4
標準粒度下限	10	15	20	20

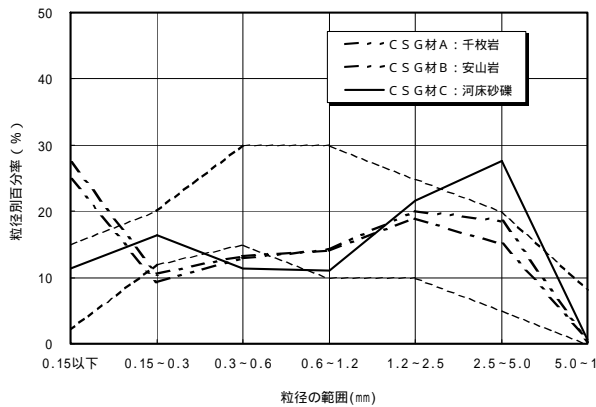


図 8.6 CSG材の粒度(母材(5mm以下))

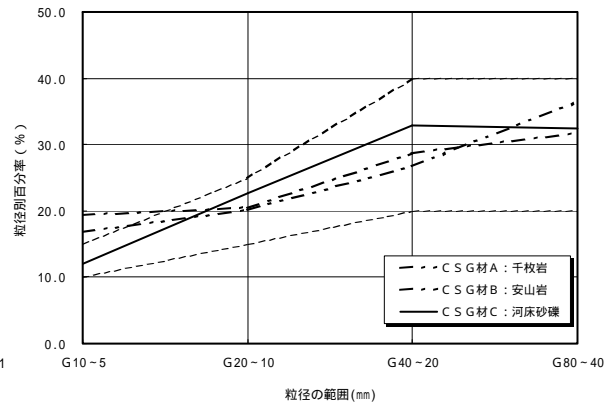


図 8.7 CSG材の粒度(母材(5mm以上))

2) CSG基本配合

今回の試験で使用する母材に対し、母材の最大粗骨材寸法 80mm、単位セメント量 60、80、140kg/m³、標準VC値 20 秒を満足するように予備試験を実施し、CSGの基本配合を表 8.4 のように決定した。

また、この配合でのCSGの強度特性を表 8.5 に示す。粗骨材の最大寸法をウエットスクリーニングより 40mm とした場合の標準供試体(封緘養生: 150mm×H300mm)での試験結果である。なお、引張強度については、引張割裂試験(JIS A 1113)より求めている。

表 8.4 CSGの配合 (,)

CSG材	Gmax (mm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)							
					W 水	C セメント	S 5mm 以下	80~5mm				
								G1 80~40	G2 40~20	G3 20~10	G4 10~5	
A	80	0	160.0	31.5	128	80	726	557	408	307	257	
	"	"	100.0	"	140	140	700	537	393	296	248	
B	"	"	246.7	34.4	148	60	725	452	409	290	275	
	"	"	187.5	"	150	80	718	447	405	287	273	
	"	"	112.9	"	158	140	694	433	391	278	264	
C	"	"	141.7	29.7	85	60	701	548	557	383	203	
	"	"	103.8	"	83	80	697	545	554	381	202	
	"	"	53.6	"	75	140	689	538	548	376	200	

表 8.5 CSGの強度特性 (,)

CSG材種類	単位セメント量 (kg/m ³)	単位水量 (kg/m ³)	標準供試体			引張強度 圧縮強度	弾性領域 強度 (N/mm ²)	ピーク強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (N/mm ²)
			圧縮強度 (N/mm ²)		引張強度 (N/mm ²)				
			材齢 7 日	材齢 28 日					
A	80	128	2.94	3.98	0.61	1/6.5	2.10	4.02	1910
	140	140	5.01	7.59	1.06	1/7.2	4.37	7.59	3037
B	60	148	2.36	2.88	0.43	1/6.8	1.49	2.88	1467
	80	150	2.96	3.75	0.55	1/6.8	2.14	3.75	2189
	140	158	4.90	7.72	1.20	1/6.5	5.14	7.72	4651
C	60	85	4.61	6.71	0.94	1/7.1	4.17	6.71	4380
	80	83	8.11	11.41	1.39	1/8.2	7.69	11.41	9981
	140	75	24.40	31.53	2.81	1/11.2	23.23	31.53	16481

3) 破壊エネルギー試験

(1) 供試体形状

破壊エネルギー試験用供試体の寸法を図 8.8 に示す。粗骨材の最大寸法（ウエットスクリーニングより $d_{max} = 40\text{mm}$ ）と既製の鋼製型枠の寸法を考慮し、 $B150 \times H150 \times L530\text{mm}$ の角柱供試体とした。なお、切欠きは写真 8.1 のように鋼製型枠を細工し、厚さ 3mm の鋼板を取付けることで対応している。

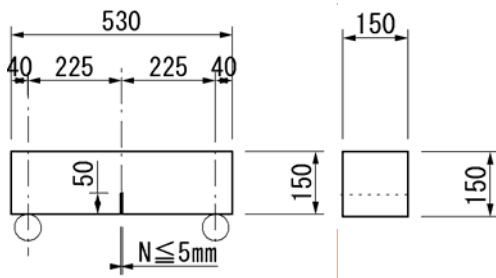


図 8.8 破壊エネルギー試験供試体寸法



写真 8.1 破壊エネルギー試験型枠

(2) 供試体の作製

供試体の打設は、CSGを1層75mmの2層打設とした。締固めには写真 8.2 のような切欠きのある転圧プレート(200mm×140mm)を装着した振動タンパ(振動数 3000cpm、起振力 140kgf)を使用し、図 8.9 に示す方法で供試体を作製した。下層の転圧は1層を3ゾーンに分け1ゾーンあたり 10 秒の転圧で 4 サイクル実施する。下層転圧完了後、上層とのなじみを良くするため表面を粗面処理した。上層の転圧は下層と同様の方法で 3 サイクル実施し、仕上げとして 1 ゾーン 10 秒を目安に天端を平滑した。転圧完了後、金ごてで天端を仕上げ、数時間の養生の後に切欠き部の鋼板を引き抜いた。打設完了時の供試体を写真 8.3 に示す。なお、この手法で作製された供試体は密度比で 98%以上の値を示した。また、供試体の養生方法は写真 8.4 に示すとおり、恒温(20)・恒湿(75%)の養生室で封緘養生を実施した。

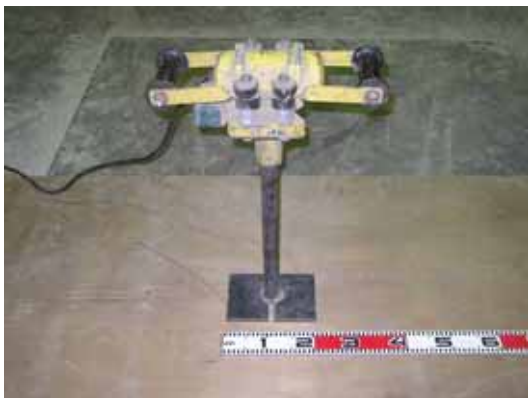
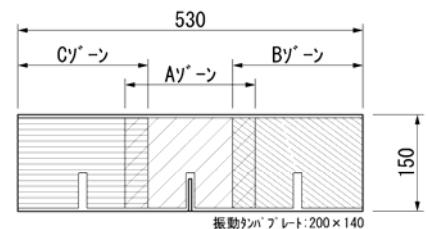


写真 8.2 振動タンパ



工程	内容
下層打設	Cy'-ゾーン:10s → Ay'-ゾーン:10s → By'-ゾーン:10s ↑ 4サイクル
目荒らし	粗面処理
上層打設	Cy'-ゾーン:10s → Ay'-ゾーン:10s → By'-ゾーン:10s ↑ 3サイクル+仕上げ1サイクル
天端仕上げ	金ごて仕上げ

図 8.9 供試体作製方法 ()



写真 8.3 破壊エネルギー試験供試体



写真 8.4 封緘養生状況

(3) 試験装置

CSGの荷重 - CMOD曲線を計測するため、表 8.6 に示す仕様の試験機器を使用した。コンピュータ計測制御式万能試験機に、図 8.10 および写真 8.5 に示す 3 点曲げ試験装置を装着して供試体に载荷した。荷重、CMODの計測はCSGの強度特性を考慮し、動ひずみレコーダーで行った。CMODの計測位置は写真 8.6 のように供試体の下端部 2 箇所で行い、計測値の平均値を採用した。

表 8.6 使用試験機器の仕様

名称	仕様
コンピュータ計測制御式万能試験機	AG-25TD: 島津製作所製 負荷方式: 定速ひずみ方式 ひょう量: 0.01N ~ 250kN /min
動ひずみレコーダー	DC-104R: (株)東京測器研究所製 サンプリング速度: 最速50 μ sec/ch ch数最大: 4ch
クリップ型変位計	RA-5: (株)東京測器研究所製 容量: 5mm (2mm ~ 7mm) 定格出力: 約1.5mV/V (3000 $\times 10^{-6}$ ひずみ) 感度: 600 $\times 10^{-5}$ ひずみ/mm

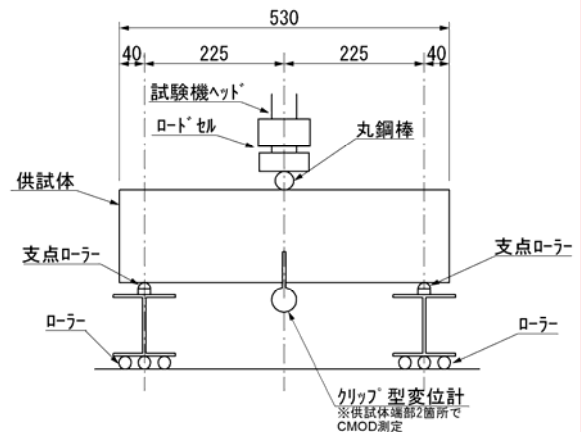


図 8.10 3点曲げ試験装置 ()



写真 8.5 3点曲げ試験装置



写真 8.6 CMOD測定位置

(4) 試験ケース

破壊エネルギーのクラック進展速度による影響を把握するため載荷速度に着目し、表 8.7 に示す 2 ケースを設定した。CSG 材 A 単位セメント量 80kg/m³の配合において 2 ケース実施した。

表 8.7 試験ケース (,)

ケース NO	配合名	載荷速度 (mm/min)	測定間隔 (s)	供試体本数 (本)
1	CSG 材 A C80	0.1	1.0	4
2	CSG 材 A C80	1.0	0.1	4

測定間隔は、破壊までの時間と引張軟化曲線の推定時における測定数を考慮し決定している。

CSG 材 A 単位セメント量 80kg/m³の試験結果より、ケース 1 のCMOD速度の平均値は全体で 0.15mm/min以内であった。また、ケース 2 のCMOD速度は開始から最大荷重の区間で 0.15mm/min以内であった。試験方法で規定している今回の供試体寸法でのCMOD速度は、0.075~0.15mm/minである。そのため残りの配合においては、ケース 1 の載荷速度 0.1(mm/min)を採用し実施した。

(5) 破壊エネルギーの算出

図 8.11 のように破壊エネルギー試験で得られた荷重 - CMOD 曲線から、式 8.3 及び式 8.4 より破壊エネルギーを算出した。

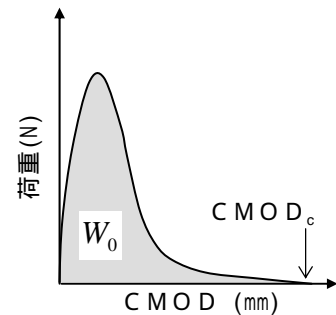


図 8.11 荷重 - CMOD 曲線

$$G_f = \frac{0.75W_0 + W_1}{A_{lig}} \quad \dots \dots \dots \text{式 8.3}$$

$$W_1 = 0.75 \left(\frac{S}{L} m_1 + 2m_2 \right) g \cdot CMOD_c \quad \dots \text{式 8.4}$$

ここで、 G_f : 破壊エネルギー (N/mm)

W_0 : 供試体が破断するまでの荷重 - CMOD 曲線下の面積 (N・mm)

W_1 : 供試体の自重および載荷治具がなす仕事 (N・mm)

A_{lig} : リガメントの面積 (mm²)

m_1 : 供試体の質量 (kg)

S : 載荷スパン (mm)

L : 供試体の全長 (mm)

m_2 : 試験機に取付けられておらず、破断するまで供試体に乗っている治具の質量 (kg)

g : 重力加速度 (9.807m/s²)

$CMOD_c$: 破断時の CMOD (mm)

(6) 引張軟化曲線の推定

引張軟化曲線は、仮想ひび割れモデルのひび割れ進行領域での結合応力と仮想ひび割れ幅の関係を示すもので、初期結合応力と引張軟化曲線の形状で表現される。

本試験では、(社)日本コンクリート工学会のホームページからアクセス可能であった「引張軟化曲線多直線近似解析ダウンロード版(FEM FT法)」を解析プログラムとして多直線近似解析法で

推定した。解析結果より得られる荷重 - CMOD曲線と実験値での荷重 - CMOD曲線の許容誤差は2%に設定した。今回解析に使用した解析モデルを図 8.12 に示す。

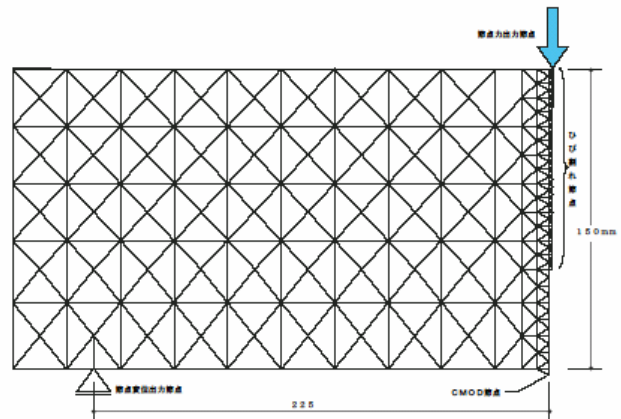


図 8.12 解析モデル (,)

(7) 二直線型引張軟化曲線の特定

多直線近似解析にて推定した引張軟化曲線より、構成関数が簡易な二直線型引張軟化曲線の特定を実施した。二直線型引張軟化曲線について概略図を図 8.13 に示す。今回採用した特定方法はまず、引張軟化曲線の仮想ひび割れ幅が 0.005mm 以下のデータを削除した。この区間は結合応力が安定しない区間であり、仮想ひび割れ幅が非常に微細なことを考慮した。

引張軟化曲線における 0.1N/mm^2 以下の結合応力と仮想ひび割れ幅を繰り返し予測し、P - D 曲線へ回帰させることにより、結合応力が 0.1N/mm^2 以下の極小領域における解析値の不足を補った。

その後、解析から得られた引張軟化曲線の区間で、その下の面積と二直線下の面積との差が最小になるようにブレイクポイントを繰り返し移動し、最小二乗法の回帰より二直線を特定した。なお、本研究では破壊エネルギーの記号について、混乱を避けるために実験値によるものを G_f 、二直線下の面積により算出したものを G_f' とした。

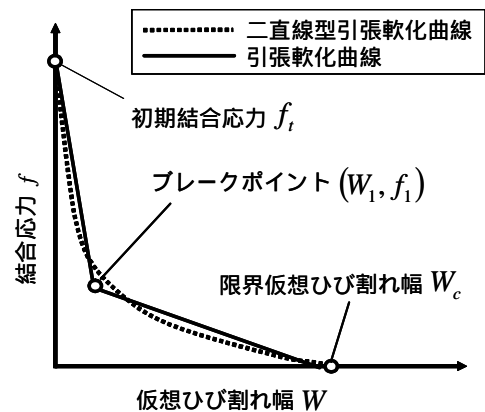


図 8.13 二直線型引張軟化曲線

(4) 試験結果

表 8.8 に破壊エネルギー試験結果を示す。

表 8.8 壊エネルギー試験結果 (,)

C S G 材の種類	試験ケース	載荷速度 (mm/min)	計測間隔 (s)	最大荷重時			供試体破断時		C M O D 速度			破壊エネルギー		
				計測時刻 (sec)	最大荷重 (N)	CMOD (mm)	計測時刻 (sec)	CMODc (mm)	試験開始 ~ 最大荷重 (mm/min)	最大荷重 ~ 破断時 (mm/min)	全体 (mm/min)	Gf (N/mm)	W0 (N・mm)	W1 (N・mm)
A (C = 80kg/m ³)	A80-	1.0	0.1	19.0	3063	0.042	126	2.778	0.133	1.534	1.323	0.0965	1237	549
A (C = 80kg/m ³)	A80-	0.1	1.0	447.4	2667	0.047	1703.2	3.962	0.006	0.187	0.140	0.1279	1536	781
A (C = 140kg/m ³)	A140	0.1	1.0	579.5	4411	0.051	1620.2	3.641	0.005	0.207	0.135	0.1431	1933	722
B (C = 60kg/m ³)	B60	0.1	1.0	369.9	1297	0.032	921.5	2.922	0.005	0.314	0.190	0.0601	486	553
B (C = 80kg/m ³)	B80	0.1	1.0	572.8	2115	0.045	1027.5	3.494	0.005	0.455	0.204	0.0779	715	661
B (C = 140kg/m ³)	B140	0.1	1.0	635.6	3513	0.046	1304.3	2.929	0.004	0.259	0.135	0.1058	1432	557
C (C = 60kg/m ³)	C60	0.1	1.0	628.6	3950	0.024	1523.0	4.465	0.002	0.298	0.176	0.1482	1804	929
C (C = 80kg/m ³)	C80	0.1	1.0	720.4	5558	0.028	2044.5	5.607	0.002	0.253	0.165	0.1948	2478	1,171
C (C = 140kg/m ³)	C140	0.1	1.0	944.8	9718	0.055	1983.5	5.300	0.003	0.303	0.160	0.3004	4743	1,105

1) C M O D と荷重の関係

(1) C M O D と荷重の関係

各材料におけるセメント量毎の平均荷重 - C M O D 曲線 (載荷速度 0.1 (mm/min)) を図 8.14 ~ 図 8.16 に示す。なお、計測開始から最大荷重までの C M O D の計測値に振動が見られたのでスムージング処理を実施した。その方法は、動ひずみレコーダーにより記録された値を [n-2] ~ [n] ~ [n+2] の 5 点で平均値を求め、さらに Microsoft Excel の Match 関数を用いて検査値 (C M O D) が 0.001mm 間隔となるように間引きを行った。

- ・ C M O D と荷重の関係は、試験開始時より荷重が増大し、C M O D の増大は微小であり、最大荷重の 1/3 ~ 1/2 まで荷重と C M O D の関係はほぼ直線で弾性的な挙動であった。最大荷重近傍になると徐々に C M O D は増大して緩やかな曲線を描いている。最大荷重時は、クロスヘッドが等速 0.1mm/min で下降しているにも関わらず荷重は一時的に停止したかのように一定に保ち、その後荷重は減少し C M O D は急激に増大した。供試体 C 80 及び C 140 は最大荷重後の軟化部分で変位が加速して若干曲線が膨らむ形状となった。C M O D 0.5mm 以降は、C M O D が先行する挙動に変化し、供試体の破断まで緩やかな荷重の減少が続いた。

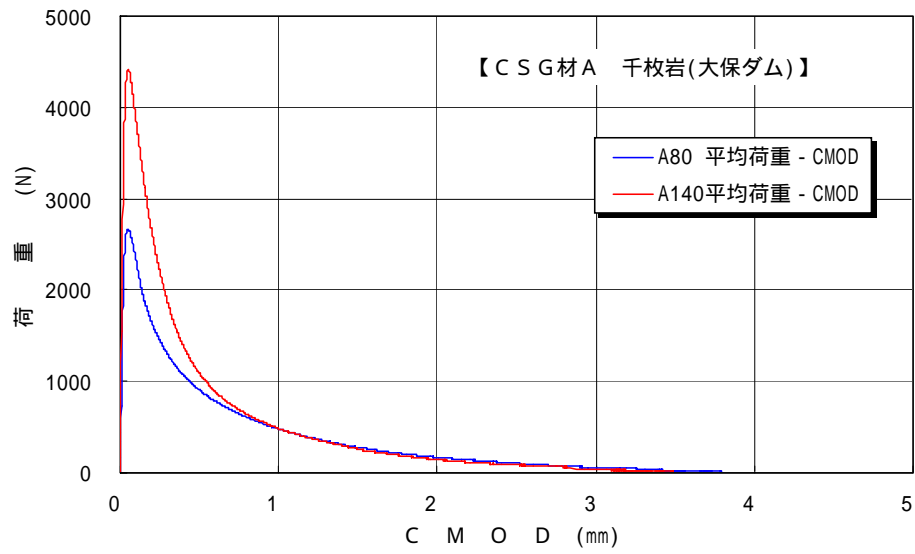


図 8.14 CSG材A 平均荷重 - CMOD曲線 (,)

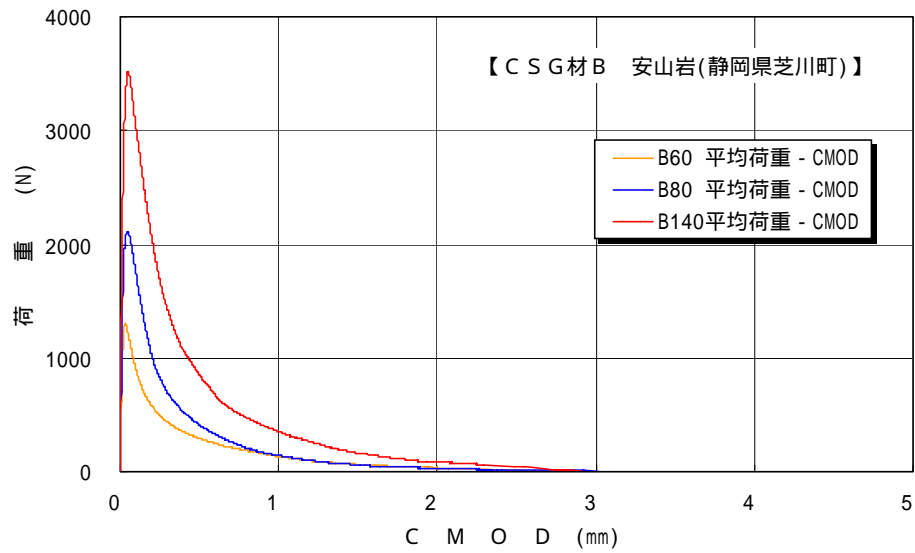


図 8.15 CSG材B 平均荷重 - CMOD曲線 ()

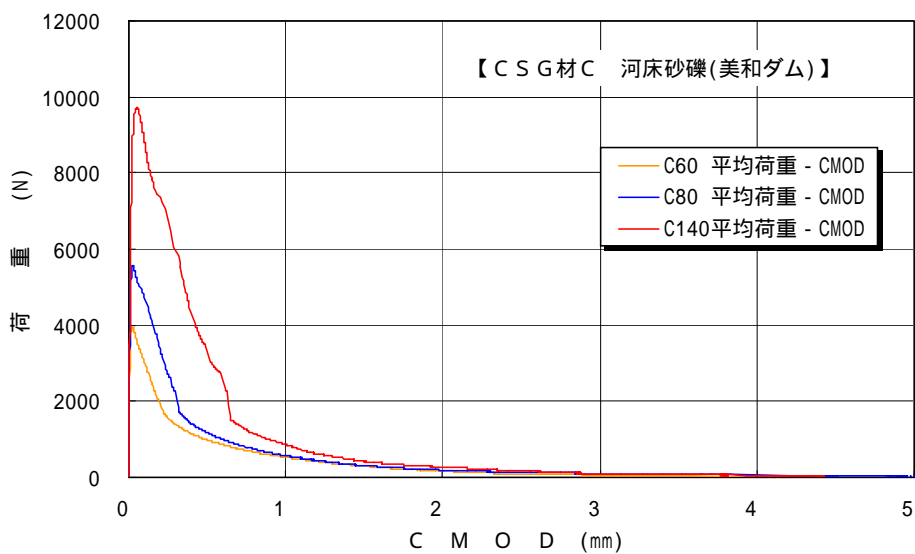


図 8.16 CSG材C 平均荷重 - CMOD曲線 ()

(2) 最大荷重

破壊エネルギー試験における圧縮強度と最大荷重の関係を図 8.17 に示す。

本試験に用いたCSG材A、B及びCの配合は、単位セメント量を60、80及び140kg/m³と変動させており、コンシステンシー試験によってVC値20秒となる単位水量を決定している。CSG材における圧縮強度で比較すると各材料により差異はあるものの、圧縮強度が大きいほど最大荷重は大きくなり、圧縮強度と最大荷重の相関関係が見られた。CSG材間で比較すると、CSG材B A Cの順で大きくなる関係にあった。

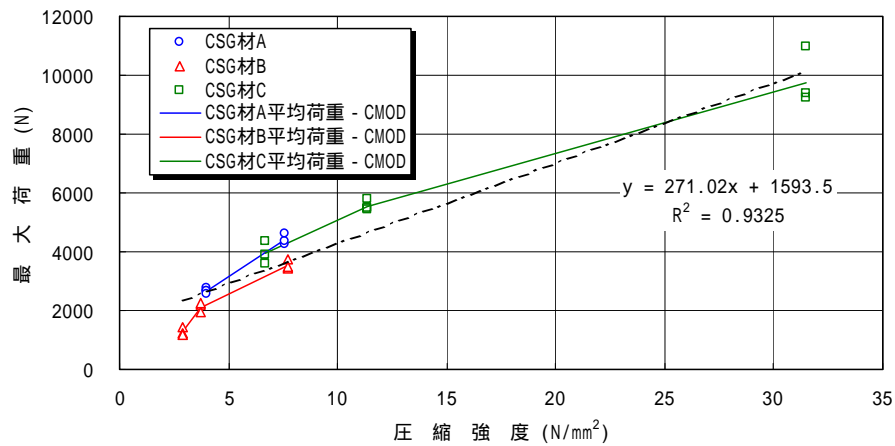


図 8.17 最大荷重と圧縮強度 (,)

(3) 破断時CMOD_c

破壊エネルギー試験における圧縮強度とCMOD_cの関係を図 8.18 に示す。

同一CSG材による相違は認められなかった、またCSG材間で比較するとCSG材B A Cの順で大きくなる関係にあった。

試験結果における破断時は、荷重が0Nになった時点を目指すものであり、実際には荷重が0N近くになっても供試体が自立し崩落までCMODは増加し続けた。これはリガメント部におけるセメントペースト及び細骨材や粗骨材の噛み合わせによるものと考えられる。

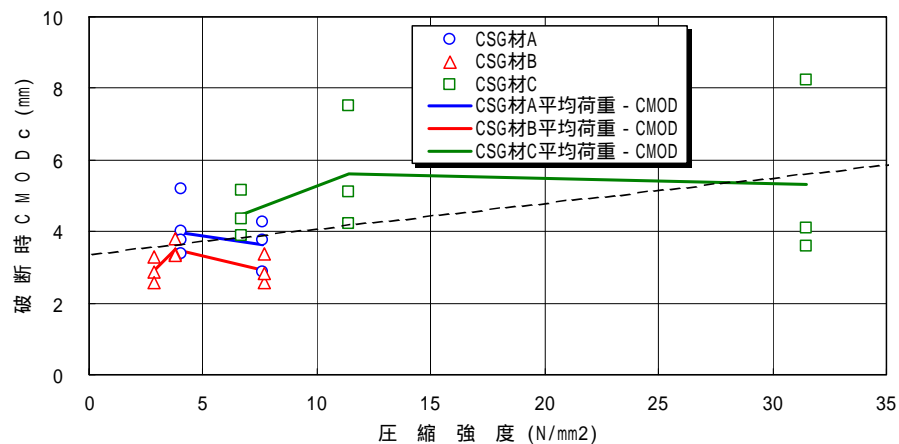


図 8.18 破断時CMOD_cと圧縮強度 (,)

2) 供試体の破壊状況

試験開始より最大荷重まで、微小のCMODは発生しているものの、リガメント部側面には目視で確認できるひび割れは認められなかった。最大荷重直後に目視で確認できる僅かなひび割れが発生し、徐々に供試体上面に到達して破断に至った。

リガメント部の破断面を観察したところ、CSG材Aは無数の破断している骨材が分布していた。CSG材BはCSG材の微粒分及びセメントペーストが付着した骨材が分布していた。CSG材Cは骨材の破断は少数認められ、破断の生じていない骨材の表面はきれいに露出していた。

3) CMOD速度

破壊エネルギー試験における経過時間とCMODの関係を図8.19に示す。

- ・ CSG材A単位セメント量 80kg/m^3 の試験結果より、ケース1(A80)のCMOD速度の平均値は全体で 0.15mm/min 以内であった。また、ケース2(A80-)のCMOD速度は開始から最大荷重の区間で 0.15mm/min 以内であった。
- ・ 試験方法で規定している今回の供試体寸法でのCMOD速度は、 $0.075\sim 0.15\text{mm/min}$ である。そのため残りの配合においては、ケース1の載荷速度 $0.1(\text{mm/min})$ を採用し実施した。
- ・ 試験開始から破断までとして試験全体のCMOD速度を考慮すると、CSG材Aは $0.126\sim 0.159\text{mm/min}$ 、CSG材Bは $0.129\sim 0.280\text{mm/min}$ 、CSG材Cは $0.137\sim 0.195\text{mm/min}$ であり、各配合の平均速度は規準のCMOD速度よりも若干速いケースもあるが、各供試体の速度は規準速度の上限以下に多く分布していることが確認された。

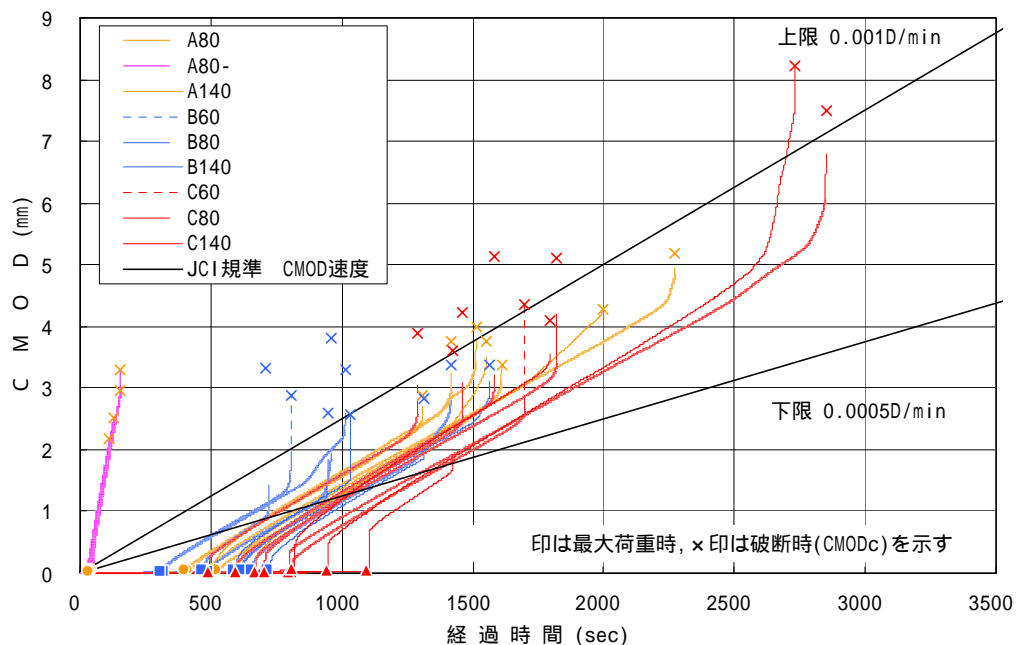


図 8.19 経過時間とCMOD (,)

4) 破壊エネルギー

(1) 破壊エネルギー

破壊エネルギー試験結果を図 8.20 に示す。

- ・ C S G 材 A 単位セメント量 $80\text{kg}/\text{m}^3$ の載荷速度を変化させた試験結果は、ケース 1 (A80-) の破壊エネルギーの平均値は $0.128\text{N}/\text{mm}$ で、ケース 2 (A80-) の平均値 ($0.096\text{N}/\text{mm}$) より大きい。
- ・ 試験により得られた破壊エネルギーは、供試体 A 80 は $0.128\text{N}/\text{mm}$ 、A 140 は $0.143\text{N}/\text{mm}$ 、B 60 は $0.060\text{N}/\text{mm}$ 、B 80 は $0.080\text{N}/\text{mm}$ 、B 140 は $0.106\text{N}/\text{mm}$ 、C 60 は $0.148\text{N}/\text{mm}$ 、C 80 は $0.195\text{N}/\text{mm}$ 、C 140 は $0.300\text{N}/\text{mm}$ であった。
- ・ 自重及び治具がなす仕事量 W_1 は、全 C S G 材の平均荷重 - C M O D 曲線において $553.2 \sim 1170.7\text{N}\cdot\text{mm}$ に分布していることと、破断時の C M O D_c が寄与することから、C S G 材間及び単位セメント量による相違は認められなかった。
- ・ B 60 の荷重 - C M O D 面積 W_0 は、最大荷重が小さかったことから自重及び治具のなす仕事量 W_1 を下回った。

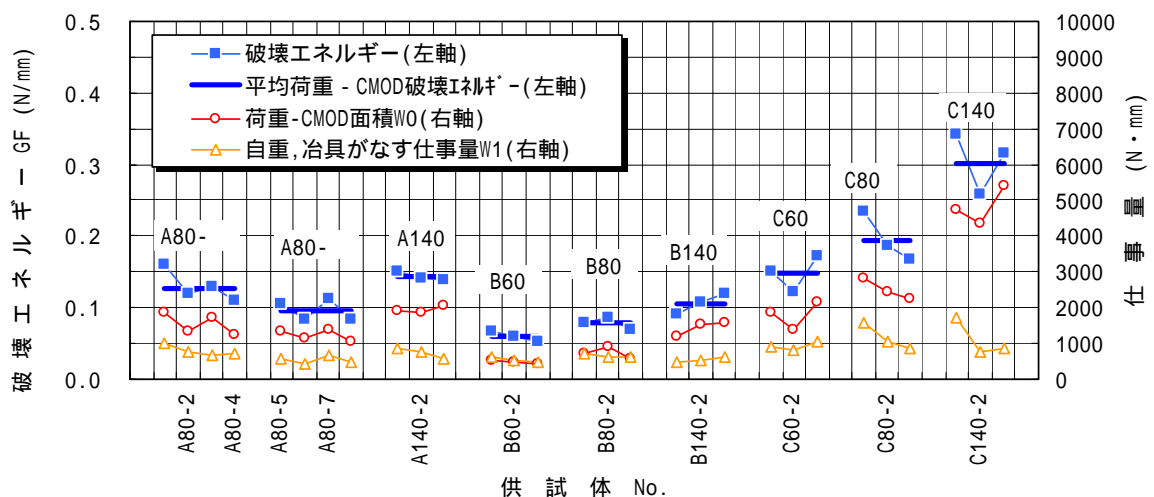


図 8.20 破壊エネルギー試験結果 (,)

(2) 圧縮強度と破壊エネルギー

圧縮強度と破壊エネルギーの関係を図 8.21 に示し、試験値・破壊エネルギーと計算値・破壊エネルギーの関係を図 8.22 に示す。

- ・ 圧縮強度による破壊エネルギーの影響は、C S G 材 A、B 及び C を問わず、圧縮強度が大きいほど破壊エネルギーは大きくなった。
- ・ 圧縮強度の比較的近い C S G 材 A と C S G 材 B を比較すると C S G 材 B の方が小さい。これは C S G 材の骨材の分布 (供試体差ではなく配合上の粗骨材が占める割合)、強度及び粒形の違いによるものであると考えられる。
- ・ 本試験より得られた破壊エネルギーと計算により導かれた破壊エネルギーは計算値/試験値 = $1.24 \sim 2.78$ の関係となった。C S G 材は普通コンクリートとは締固め方法、C S G 材の配合が通常のコンクリートと異なることが影響しているものと思われる。

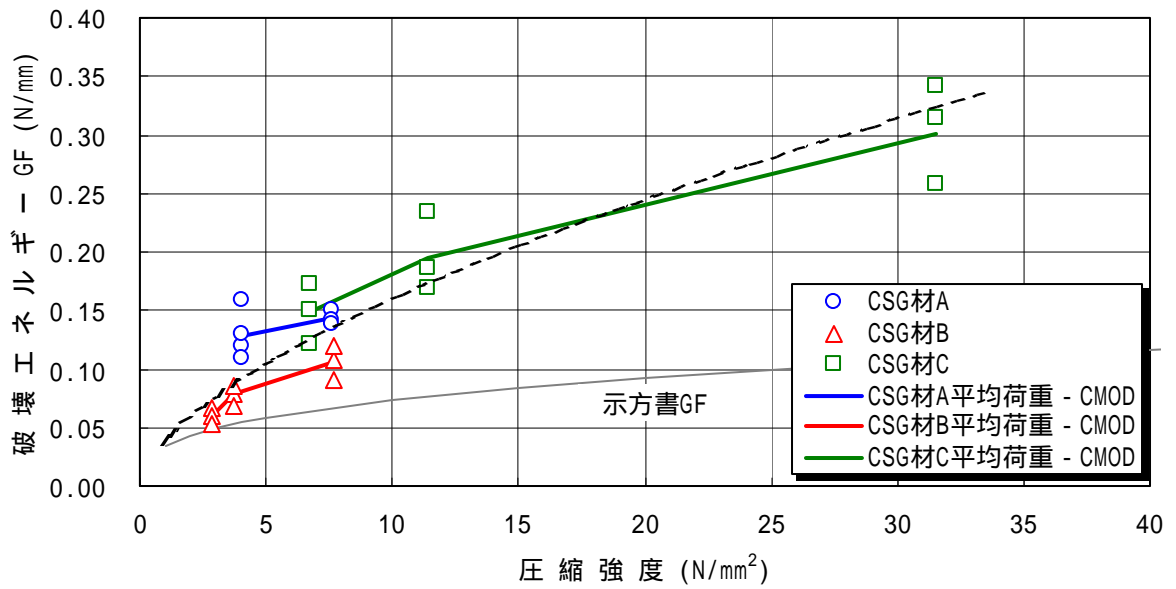


図 8.21 圧縮強度と破壊エネルギーの関係 (,)

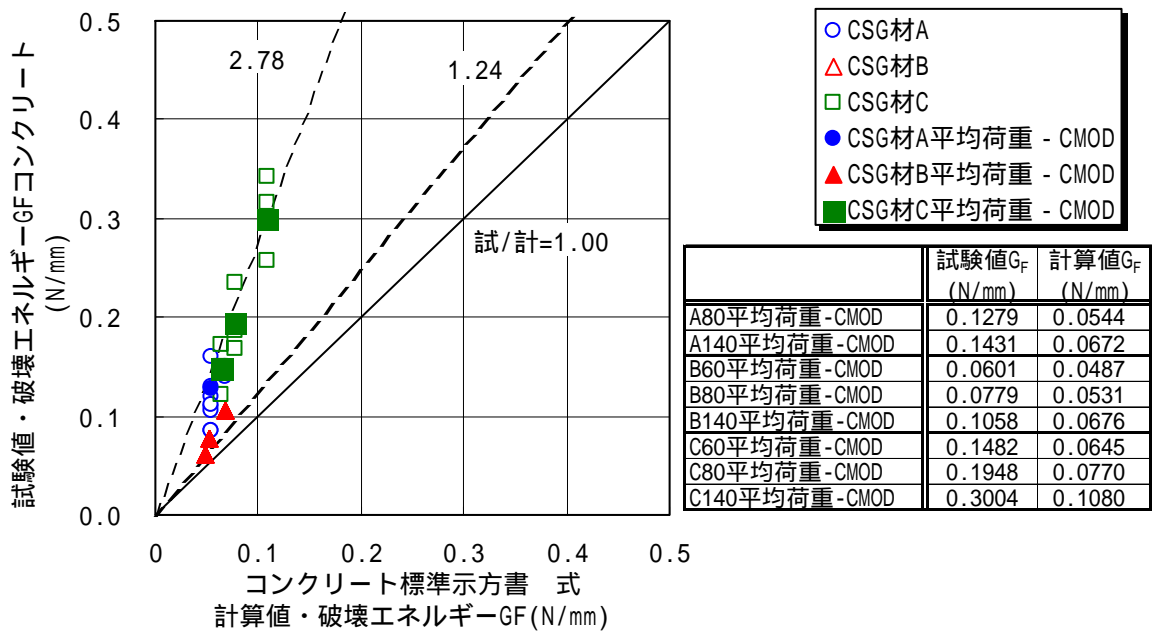


図 8.22 試験値破壊エネルギーと計算値破壊エネルギーの関係 (,)

(3) 引張強度と破壊エネルギー

引張強度と破壊エネルギーの関係を図 8.23 に示す。

引張強度と破壊エネルギーの関係は、圧縮強度の試験結果と同様に、引張強度が大きくなると破壊エネルギーは増大する傾向であった。

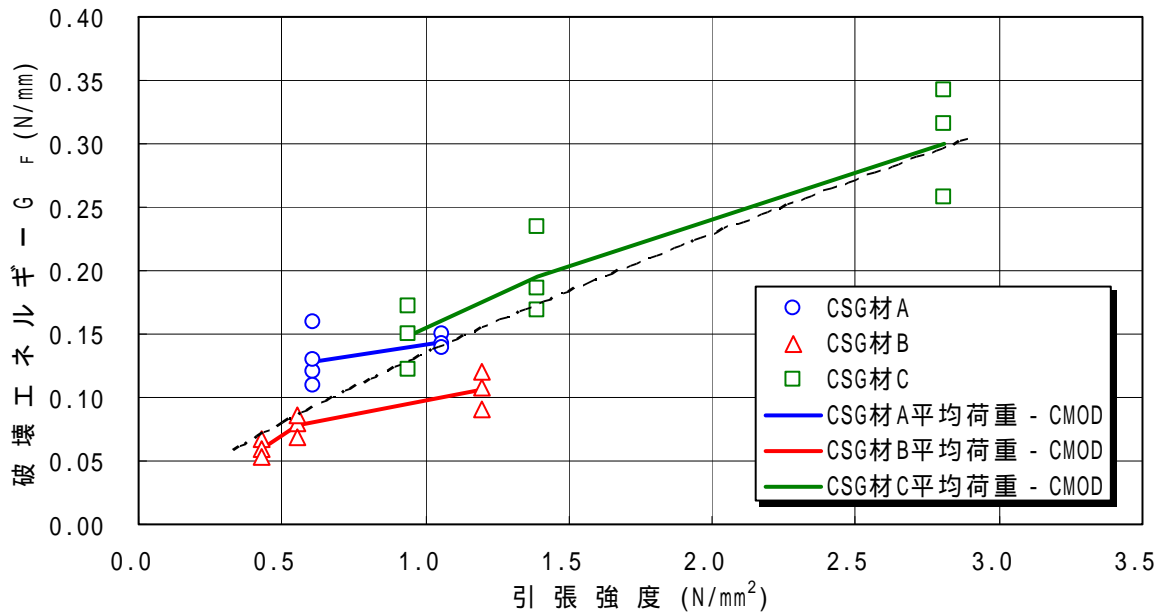


図 8.23 引張強度と破壊エネルギー (,)

(4) 静弾性係数と破壊エネルギー

静弾性係数と破壊エネルギーの関係を図 8.24 に示す。

静弾性係数と破壊エネルギーの関係は、圧縮強度の試験結果と同様に、静弾性係数が大きくなると破壊エネルギーは増大する傾向であった。

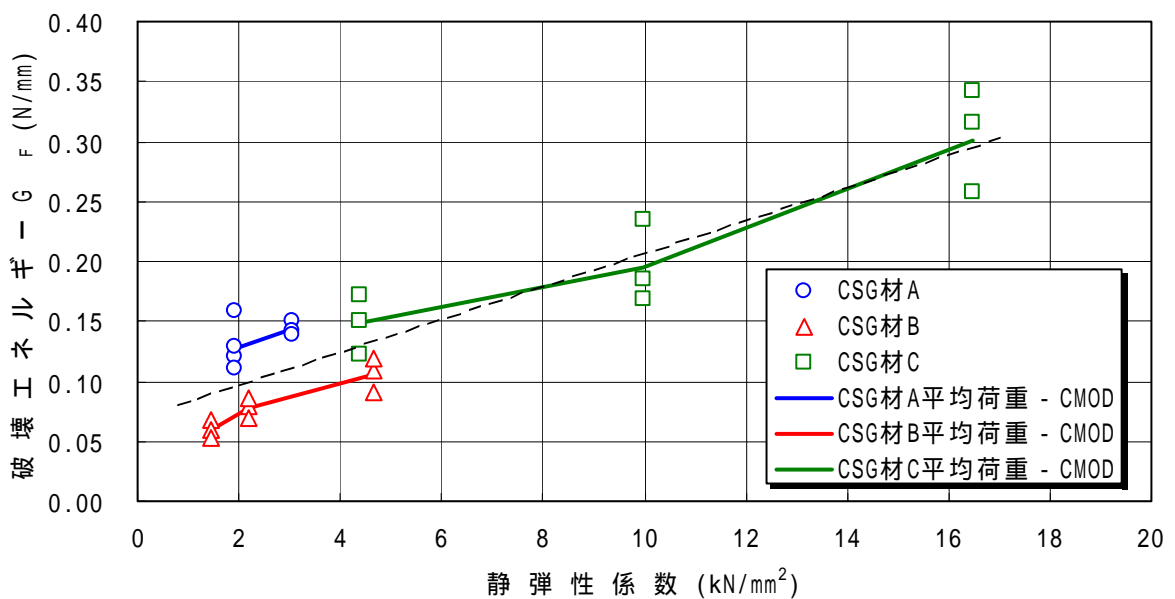


図 8.24 静弾性係数と破壊エネルギー (,)

(5) 引張軟化曲線の推定

破壊エネルギー試験より得られたCMOD及び荷重の関係より、完全に開口しているひび割れ先端の破壊挙動をモデル化し、仮想開口ひび割れ幅と結合応力の関係を推定する。

解析結果を表 8.9 に示す。引張軟化曲線と回帰により推定した二直線引張軟化曲線の間を関 8.25 及び関 8-26 に示す。解析による P - D 曲線、平均荷重 - CMOD 曲線の間を関 8.25 及び関 8-26 に示す。

1) 引張軟化曲線及び P - D 曲線

本解析より得られた引張軟化曲線は、仮想ひび割れ 0 ~ 0.01mm 時に割裂引張強度に近い値で維持し、その後は徐々にひび割れ開口に伴って結合応力が減衰している。

引張軟化曲線を同一CSG材別に比較したところ、単位セメント量が多いほうが初期結合応力、仮想ひび割れ発生後の結合応力ともに単位セメント量の小さい引張軟化曲線を包絡していた。

逆解析より得られた引張軟化曲線を用いて順解析し、算出された P - D 曲線は試験結果とほぼ一致しており、その最大荷重の誤差は平均荷重 - CMOD 曲線で最大 2% であり、ほぼ一致していると思われる。CMOD が 0.3 ~ 0.5mm を超えたあたりから若干下方に推定する傾向にあった。

表 8.9 解析結果 (,)

CSG材の種類	供試体 No.	破壊エネルギー試験結果		解析結果								
		最大荷重 (N)	最大荷重時CMOD (mm)	ヤング係数 (N/mm ²) [ym. for]	初期結合応力 (N/mm ²) [ft. for]	最大結合応力 (N/mm ²) [soft. for]	最大荷重 (N) [pd. for]			最大荷重時CMOD (mm) [pd. for]		
							解析値	試験結果との誤差	誤差 (%)	解析値	試験結果との誤差	誤差 (%)
A (C=80kg/m ³)	平均荷重-CMOD曲線	2667	0.047	8308.3	2.000	2.000	2690.32	23.32	1	0.04489	-0.00211	4
A (C=140kg/m ³)	平均荷重-CMOD曲線	4411	0.051	21795.5	0.700	1.125	4491.56	80.56	2	0.05081	-0.00019	0
B (C=60kg/m ³)	平均荷重-CMOD曲線	1297	0.032	7798.7	0.600	0.600	1322.60	25.60	2	0.03144	-0.00056	2
B (C=80kg/m ³)	平均荷重-CMOD曲線	2115	0.045	8242.9	1.000	1.000	2155.82	40.82	2	0.04417	-0.00083	2
B (C=140kg/m ³)	平均荷重-CMOD曲線	3513	0.049	17806.3	1.200	1.200	3544.40	31.40	1	0.04757	-0.00143	3
C (C=60kg/m ³)	平均荷重-CMOD曲線	3950	0.024	59261.0	1.600	1.600	3978.78	28.78	1	0.02263	-0.00137	6
C (C=80kg/m ³)	平均荷重-CMOD曲線	5558	0.028	68619.2	1.900	1.900	5597.31	39.31	1	0.02607	-0.00193	7
C (C=140kg/m ³)	平均荷重-CMOD曲線	9930	0.055	75582.8	3.000	3.000	10000.98	70.98	1	0.05790	0.00290	5

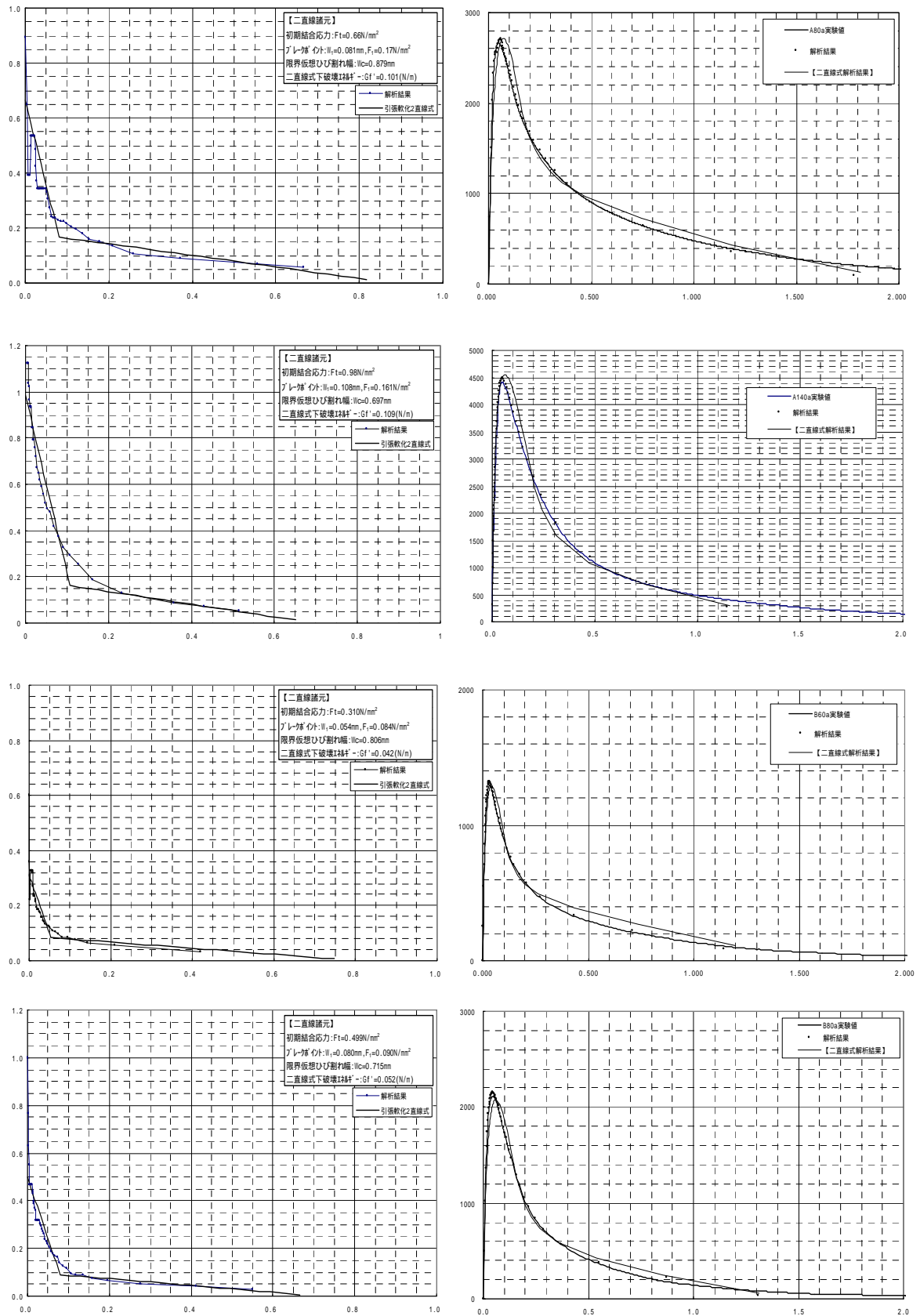


図 8.25 引張軟化曲線と荷重 (平均) - CMOD 曲線 (,)

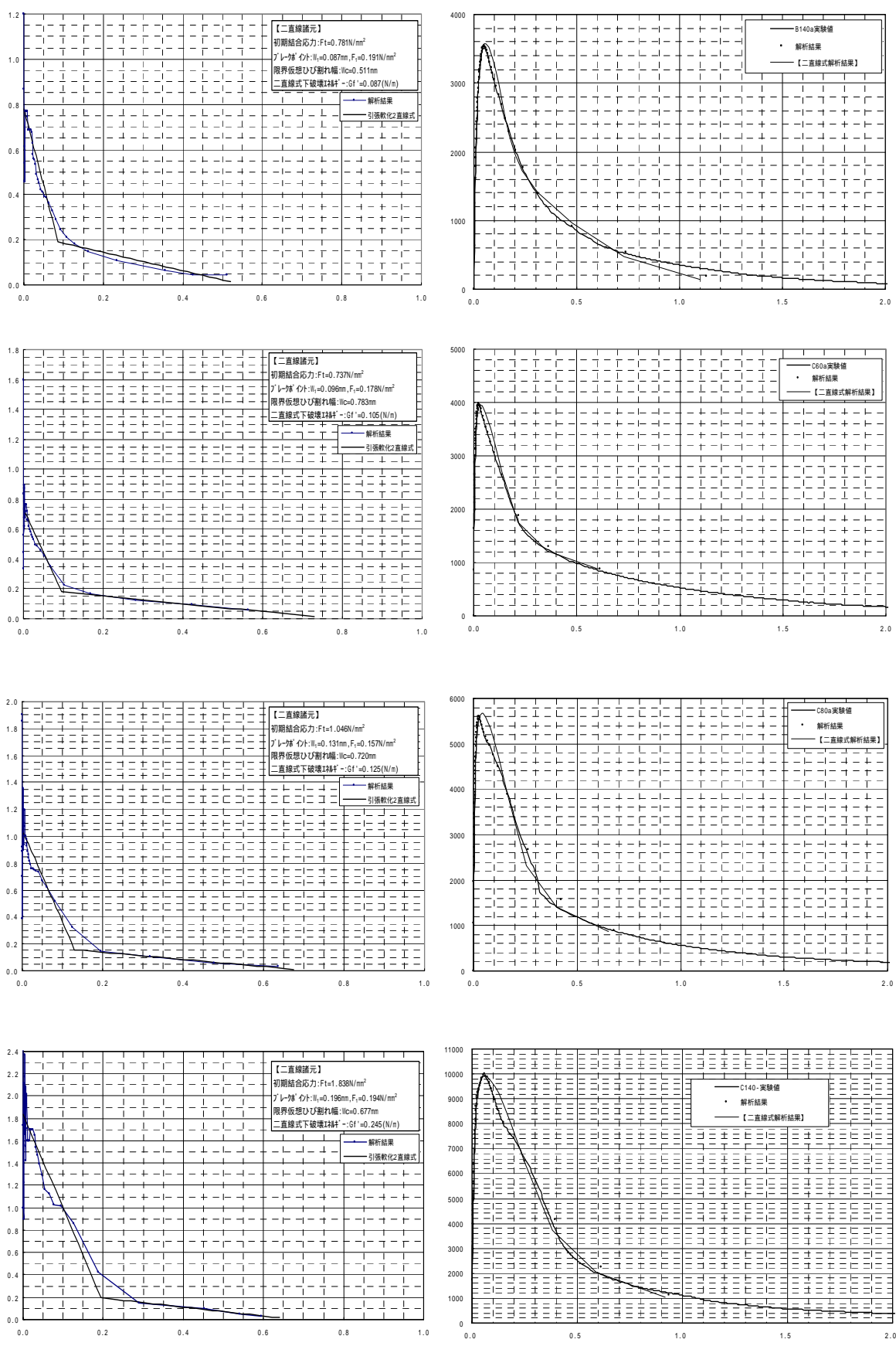


図 8.26 引張軟化曲線と荷重 (平均) - CMOD 曲線 (,)

2) 二直線型引張軟化曲線

引張軟化曲線より特定した二直線型引張軟化曲線の特定値を表 8.10 にしめす。解析結果について以下の傾向が見られた。

- ・ 二直線型引張軟化曲線より特定した初期結合応力は、引張割裂試験で得た引張強度の 65% ~ 95% となった。特に A 配合においては 90% 以上となりほぼ同値となった。
- ・ ブレークポイントの特定値は、圧縮強度が大きいほどひび割れ幅が大きくなる傾向が認められた。しかし、限界仮想ひび割れ幅については、圧縮強度が大きいほどひび割れ幅が小さくなる傾向が認められた。
- ・ 引張軟化曲線の形状は、一般的なコンクリートで得られるものと同じであった。
- ・ 二直線型引張軟化曲線より得た破壊エネルギー (G_f') は実験値で得られた破壊エネルギー (G_f) より小さく、 $G_f' = 0.73 G_f$ の関係であった。
- ・ 荷重 - C M O D 曲線について C M O D が 0.5mm 以上の区間から判断すると、二直線型引張軟化曲線より解析された C M O D_c は実験値より小さな値となる。その他の区間は解析値と実験値に大きな違いは見られない。

表 8.10 二直線型引張軟化曲線の特性値 (,)

C S G 材の種類	供試体 NO.	引張強度 (N/mm ²)	2 直線式					破壊エネルギー		
			初期結合応力 (N/mm ²)	初期結合応力 / 引張強度	ブレークポイント W1 (mm)	ブレークポイント F ₁ (N/mm ²)	限界仮想ひび割れ幅 : Wc (mm)	2 直線型 G _f (N/mm)	実験値 G _f (N/mm)	G _f ' / G _f
A (C=80kg/m ³)	A80-Average	0.610	0.546	0.90	0.0807	0.1677	0.879	0.0991	0.1279	0.77
A (C=140kg/m ³)	A140-Average	1.060	1.002	0.95	0.1064	0.1893	0.634	0.1134	0.1431	0.79
B (C=60kg/m ³)	B60-Average	0.430	0.313	0.73	0.0537	0.0843	0.806	0.0423	0.0601	0.70
B (C=80kg/m ³)	B80-Average	0.550	0.461	0.84	0.0848	0.0890	0.715	0.0514	0.0779	0.66
B (C=140kg/m ³)	B140-Average	1.200	0.781	0.65	0.0846	0.2052	0.556	0.0869	0.1058	0.82
C (C=60kg/m ³)	C60-Average	0.940	0.737	0.78	0.0957	0.1784	0.783	0.1051	0.1482	0.71
C (C=80kg/m ³)	C80-Average	1.390	1.046	0.75	0.1306	0.1567	0.720	0.1247	0.1948	0.64
C (C=140kg/m ³)	C140-Average	2.810	1.838	0.65	0.1956	0.1939	0.677	0.2453	0.3004	0.82

3) 修正二直線型引張軟化曲線

回帰により特定した二直線型引張軟化曲線では、結合応力が 0.1N/mm^2 以下の解析値の不足より限界仮想ひび割れ幅 (W_c) を小さく特定する傾向が見られた。この問題を解消するためには、ブレイクポイント以降の直線の定式方法を変える必要がある。構成関数が増えるが、もう一つブレイクポイントを特定し三直線を特定するのが確実な方法といえる。また、他の二直線型の特定方法として、ブレイクポイントの特定までは前述の方法とし、限界仮想ひび割れ幅だけを移動させることで実験値による破壊エネルギー (G_f) に強引に合致させる方法が考えられる。この場合ブレイクポイント以降は回帰によらないので、これにより解析された荷重 - C M O D 曲線は実験値と合わない。しかし、C S G の特徴である限界仮想ひび割れ幅の伸びを表現でき、引張軟化曲線での破壊エネルギーが確実に実験値と同値になる利点も含む。なお、本研究ではこの方法より求めた二直線型引張軟化曲線を修正二直線型引張軟化曲線と表現し、この場合の限界仮想ひび割れ幅を修正限界仮想ひび割れ幅 (W'_c) とした。表 8.11 に修正二直線型引張軟化曲線の特定値を示す。また、その特定値について図 8.27 のような関係を得た。図より判断すると、今回の条件での C S G は、コンクリート標準示方書での二直線型引張軟化曲線の推定方法で説明のできる結果となった。このことは、荷重 - C M O D 曲線を計測し破壊エネルギーを計算すれば、この条件での引張軟化曲線の特定ができることを意味する。

表 8.11 修正二直線型引張軟化応力の特定値 (,)

ケース NO	荷重速度 (mm/min)	計測間隔 (s)	限界仮想ひび割れ幅 W_c (mm)	修正限界仮想ひび割れ幅 W'_c (mm)	破壊エネルギー (実験値) G_f (N/mm)	$f_t \times W'_c / G_f$
A80-	0.1	1.0	0.621	0.955	0.122	4.76
A80-	1.0	0.1	0.517	0.810	0.096	5.12

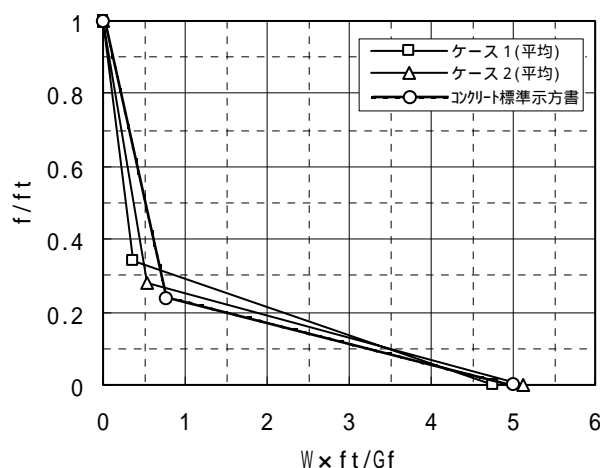


図 8.27 修正二直線型引張軟化応力の特定値 (,)

(6) 考察

本研究では、CSG供試体について破壊エネルギー試験を実施し得られた荷重 - CMODの関係より引張軟化曲線を多直線近似解析により求めている。また、引張軟化曲線から二直線型引張軟化曲線を最小二乗法より回帰直線として特定し、それについて評価を実施している。

破壊エネルギー試験について結論をまとめると以下のとおりである。

- ・ 今回の条件ではCSGで破壊エネルギー試験を実施し、荷重 - CMOD曲線を計測することができた。
- ・ 載荷速度の影響は、速い場合は最大荷重を大きくし、遅い場合はCMOD_cを大きくした。また、荷重 - CMOD曲線全体のばらつき具合にも違いが見られる。
- ・ 最大荷重時でのCMODは微小であるがCMOD_cの計測値に伸びが大きい。CSGは弾性領域後に高い靱性を有している事がわかった。
- ・ 圧縮強度による破壊エネルギーの影響は、CSG材A、B及びCを問わず、圧縮強度が大きいほど破壊エネルギーは大きくなった。
- ・ 圧縮強度の比較的近いCSG材AとCSG材Bを比較するとCSG材Bの方が小さい。これはCSG材の骨材の分布(供試体差ではなく配合上の粗骨材が占める割合)、強度及び粒形の違いによるものであると考えられる。
- ・ 本試験より得られた破壊エネルギーと計算により導かれた破壊エネルギーは、試験値が計算値より1.2~2.8倍となっていた。
- ・ 今回の検討では、CSGの強度特性から判断される破壊エネルギーよりも実験では大きな値を示した。CSGは破壊に至るまでの塑性領域に粘りが期待できる。この特性を数値解析に反映させる場合、引張軟化曲線の定式化にこの範囲をカバーすれば良いことになる。今回は構成関数が簡易である二直線型について検討したが、引張軟化曲線については以下のことが解った。
- ・ 初期結合応力(f_t)は載荷速度を変えた、両ケースとも0.6N/mm²程度CSGの引張応力度とほぼ同値となった。
- ・ 引張軟化曲線を同一CSG材別に比較したところ、単位セメント量が大きいほうが初期結合応力、仮想ひび割れ発生後の結合応力ともに単位セメント量の小さい引張軟化曲線を包絡していた。
- ・ 解析より得られたヤング係数と試験により得られた静弾性係数を比較したところ、解析値は実際の静弾性係数を過大評価していることが確認された。
- ・ 解析より得られた初期結合応力と試験により得られた割裂引張強度を比較したところ、解析値/試験値=0.66~2.46の関係であり、解析値は実際の引張強度の傾向は概ね把握できているものの、ばらつきが大きかったと考えられる。
- ・ 限界仮想ひび割れ幅(W_c)の特定は、解析値の不足により過小に評価する傾向となった。このことにより、二直線型引張軟化曲線により求めた破壊エネルギー(G_f')を小さくしている。
- ・ 今後の課題

CSGの強度特性はコンクリートより特段に低い。よって、コンクリートの感覚では無視し

てしまうような、結合応力の極めて小さい所の特徴でも引張軟化曲線の特定で扱う必要がある。このことは、CSGでの破壊特性を捉える上で極めて重要なことで、これからの課題であると考えた。また、引張軟化曲線の定式方法は、実際に行う数値解析などに求める精度や反映させるべきCSGの特性を考慮し選択すればよいと考えた。

本試験におけるCSGの破壊エネルギー特性の検討は、CSG材最大寸法40mmで実施したものである。

実施工に用いられるCSG材の最大寸法は一般的に80mmであり、実施工の品質管理においてCSGの強度管理は締固め密度管理を行う為、フルサイズの締固め密度と強度の関係を把握している。

このような背景から、CSG材最大寸法80mmのフルサイズの破壊エネルギー試験についても把握しておく必要があり、標準示方書[構造性能照査編]第3章に述べられているように、材料の圧縮強度特性と粗骨材の最大寸法が大きく寄与すると考えられていることから、今後フルサイズにおける試験を行う必要があると考えられる。

台形CSGダムでは設計の合理化を目標としており、有限要素法による地震動解析などを積極的に取り入れている。CSGの破壊特性の把握はそのような背景からも重要な分野であると言える。

.....

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 330 June 2006

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

.....

本資料の転載・複写の問い合わせは

〒305 - 0804 茨城県つくば市旭1番地

企画部研究評価・推進課 TEL 029 - 864 - 2675