

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）

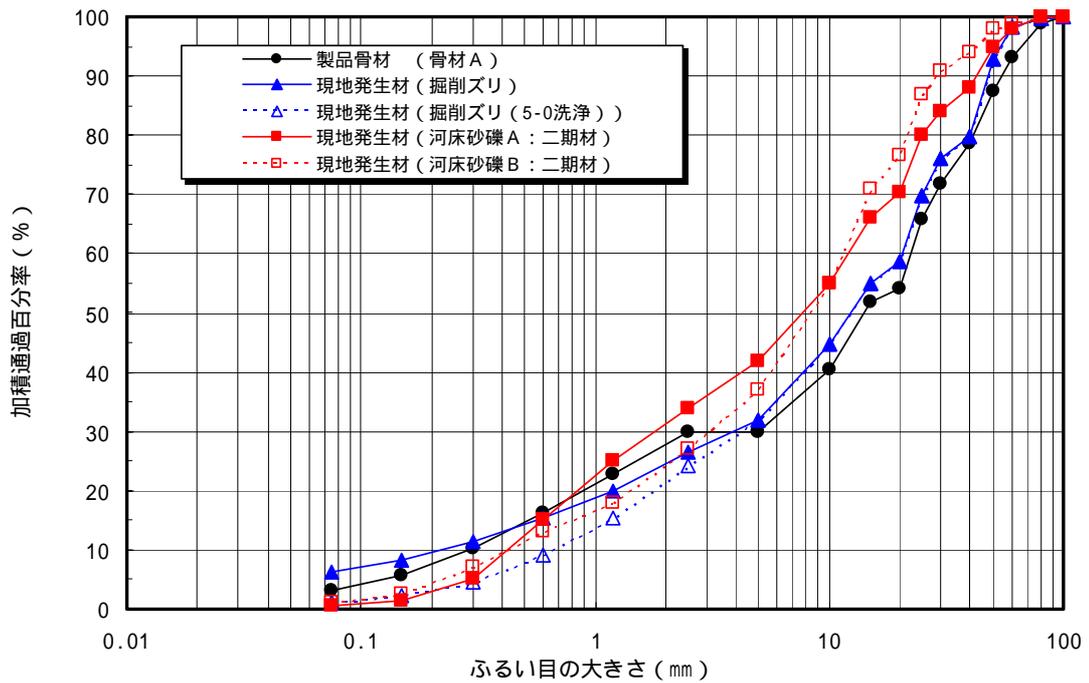


図 6.1.1 骨材およびC S G材の粒度分布曲線

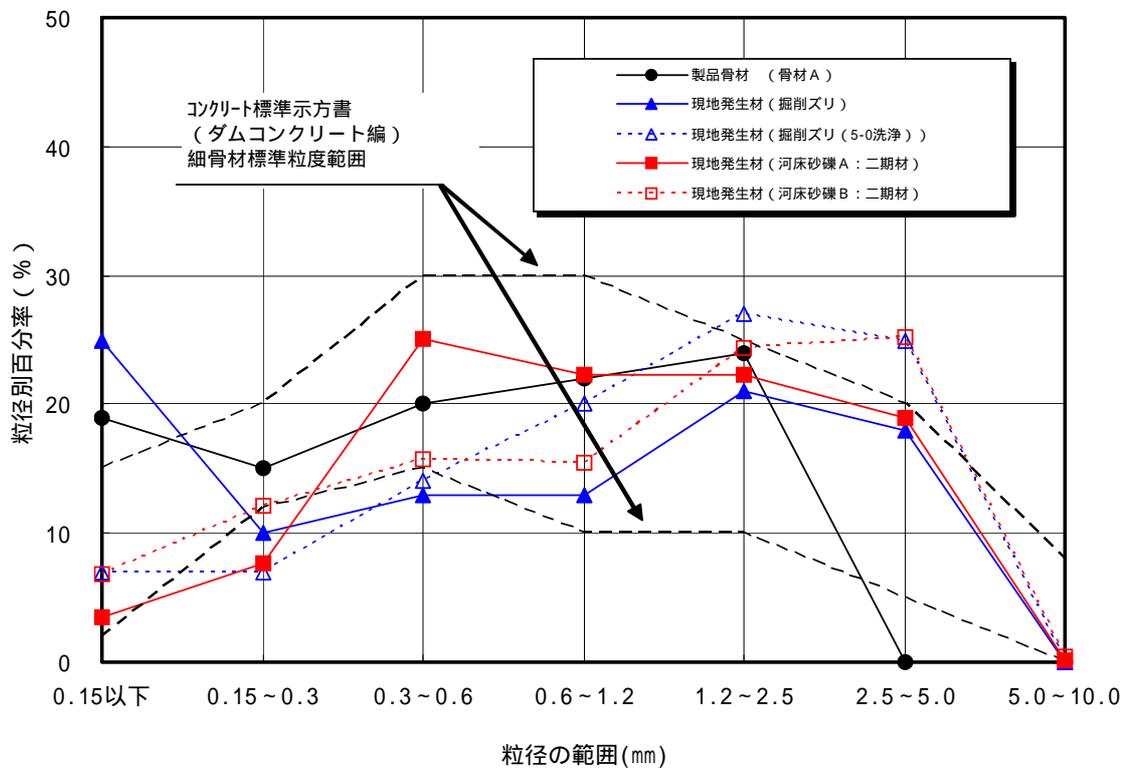


図 6.1.2 骨材およびC S G材の粒径別分布曲線 (5~0mm)

(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 (5-0mm)	骨材及びCSG材 (80-5mm)				減水剤	AE剤 (cc)	
						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。

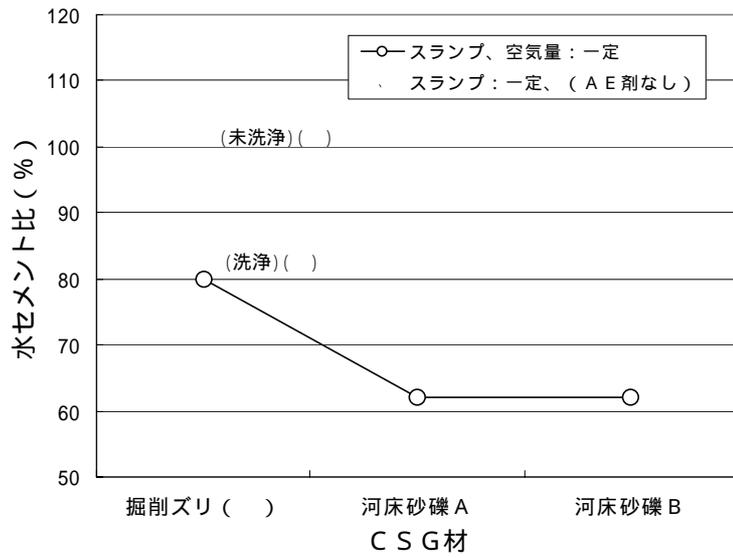


図 6.1.3 CSG材による水セメント比の比較 (、)

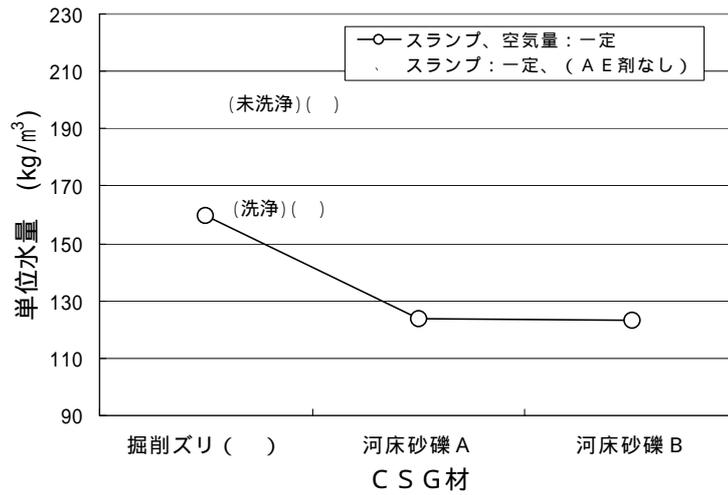


図 6.1.4 CSG材による単位水量の比較 (、)

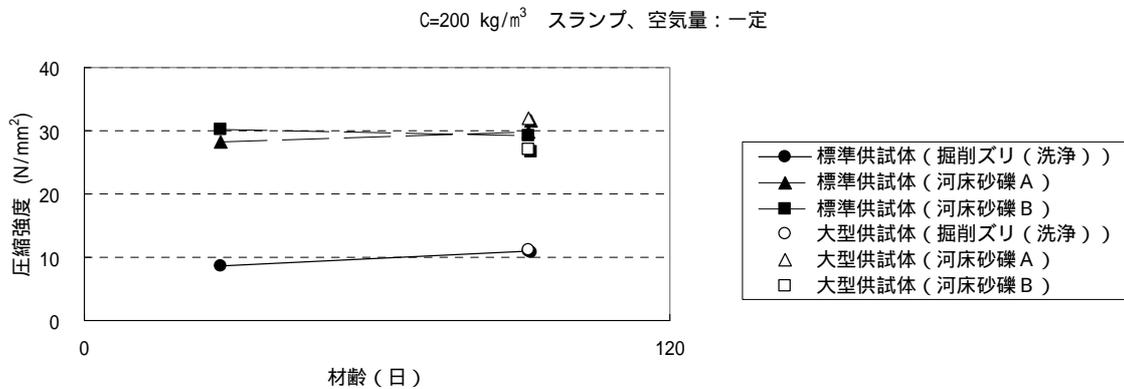


図 6.1.5 材齢と圧縮強度 ()

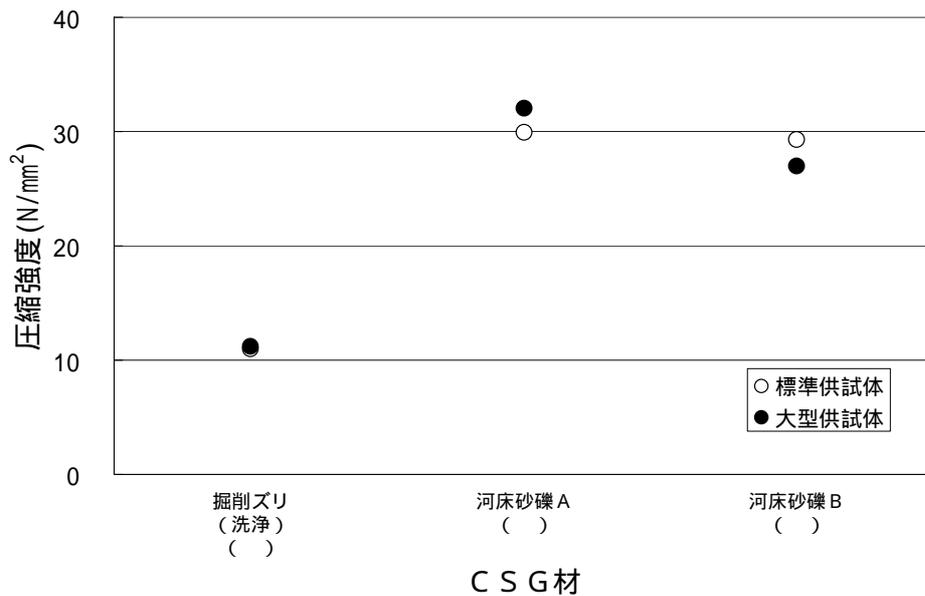


図 6.1.6 C S G 材による圧縮強度の比較 (材齢 91 日) ()

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、細骨材を洗淨した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、洗淨前よりはかなり改善されていた。

細骨材を洗淨した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、細骨材のみの洗淨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(細骨材は洗淨)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(未洗淨砂も考慮)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。

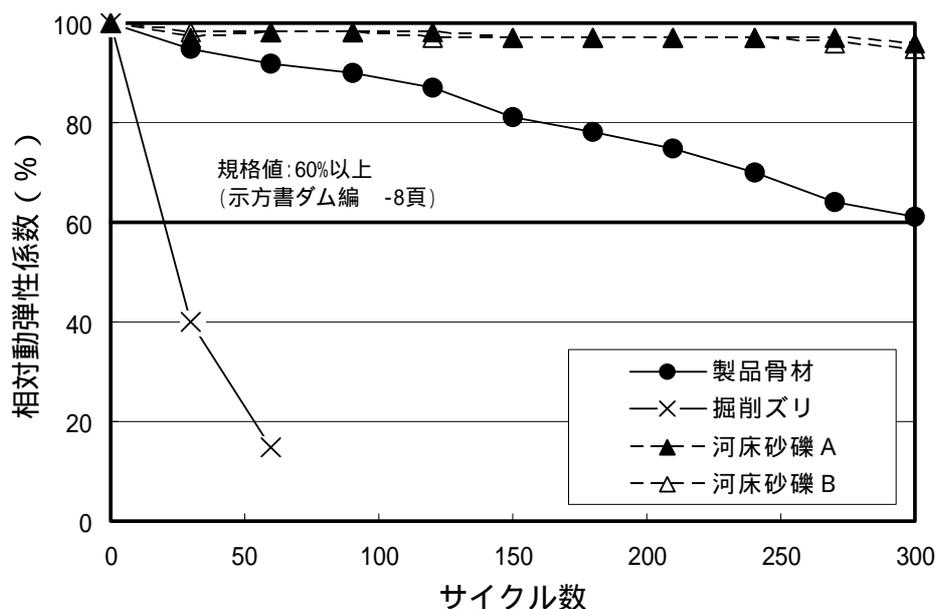


図 6.1.7 サイクル数と相対動弾性係数

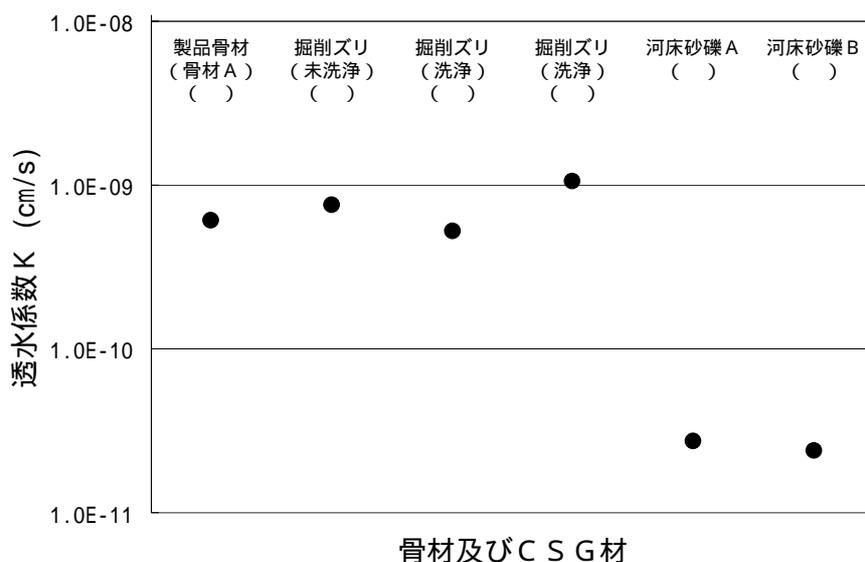


図 6.1.8 C S G 材による透水係数の比較 (、 、)

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を外部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。

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

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。

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

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	ホヰリス マイクII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II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CSG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CSG							
				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	

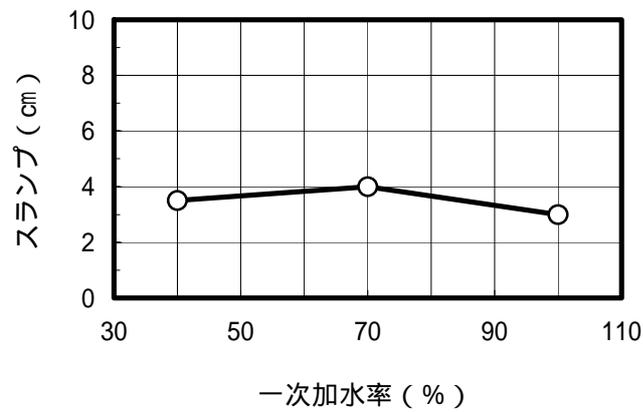


図 6.2.1 減水混合とスランプ ()

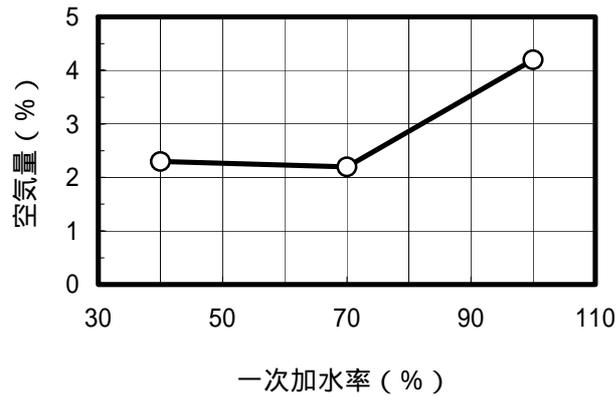


図 6.2.2 減水混合と空気量 ()

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。

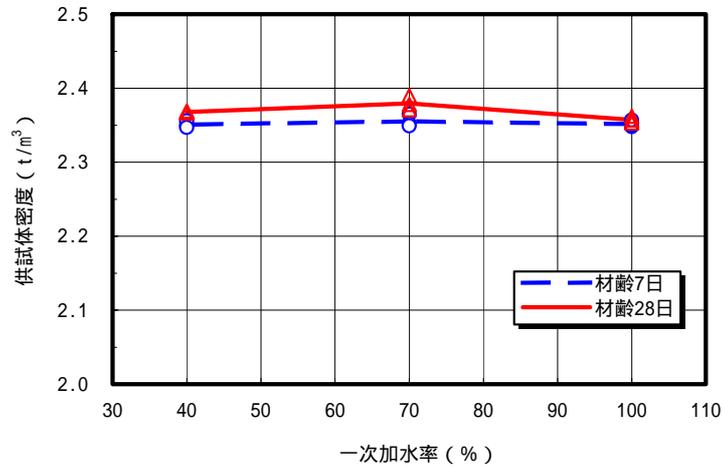


図 6.2.3 一次加水率と供試体密度 ()

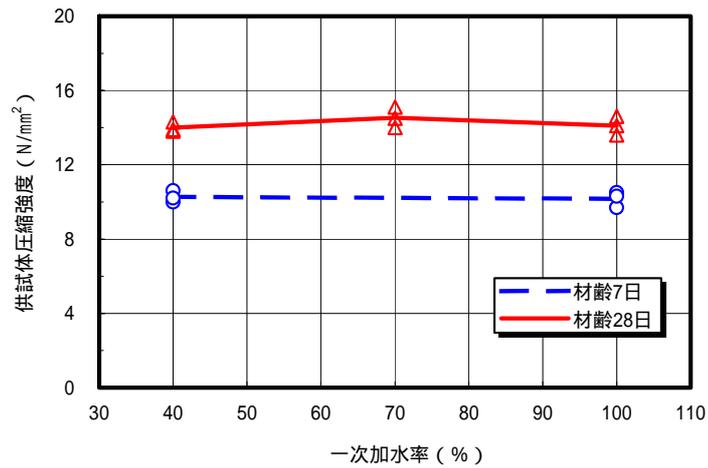


図 6.2.4 一次加水率と圧縮強度 ()

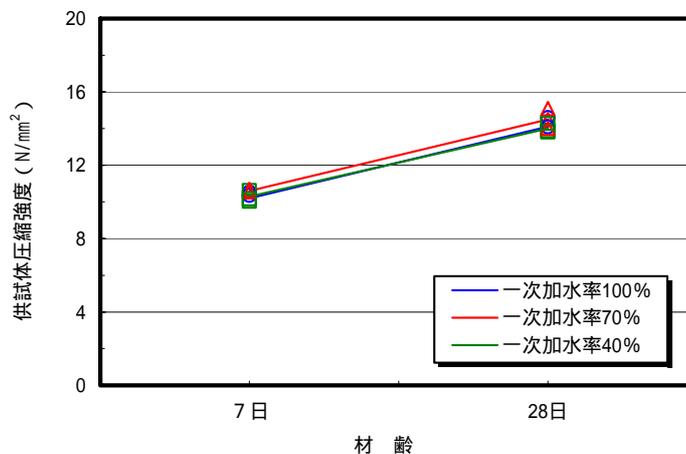


図 6.2.5 材齢と圧縮強度 ()

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	

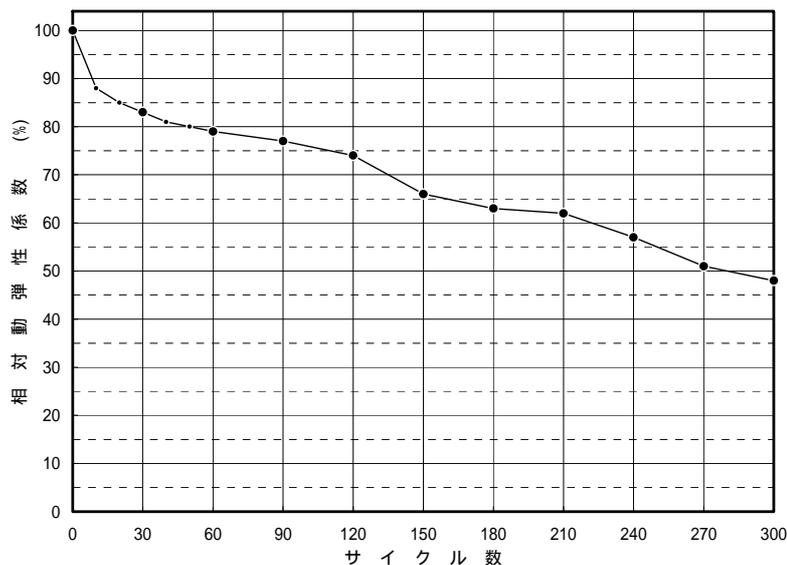


図 6.2.6 凍結融解試験結果 (相対動弾性係数) ()

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

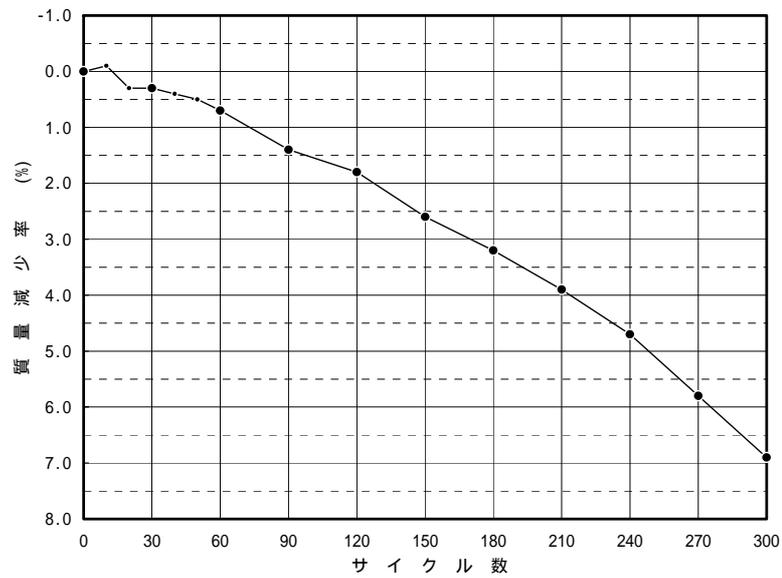


図 6.2.7 凍結融解試験結果（質量減少率）()

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		

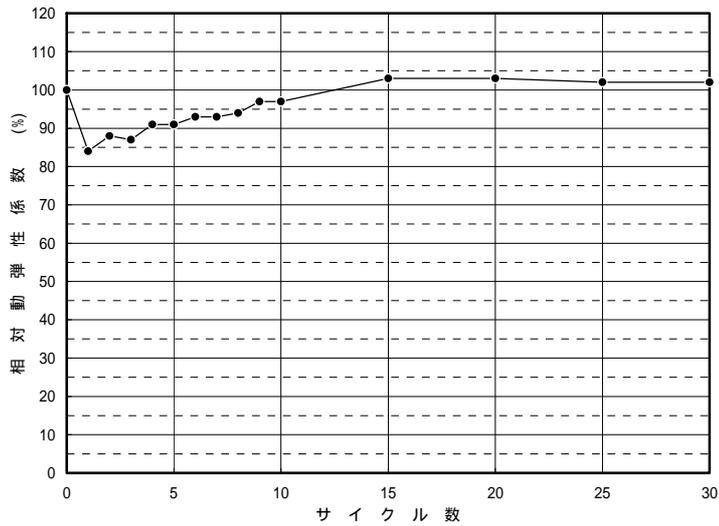


図 6.2.8 サイクル数と相対動弾性係数 ()

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	

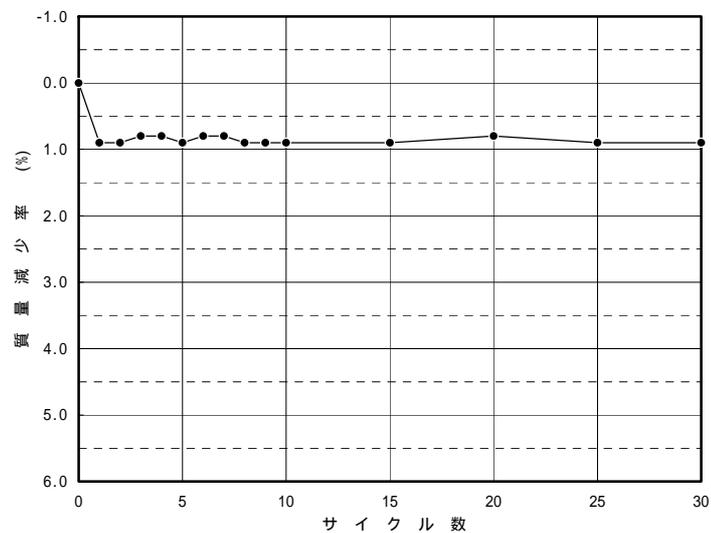


図 6.2.9 サイクル数と質量減少率 ()

(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プ、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プ、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、スランプがそれぞれ4cmと3.5cmで所定のスランプを満足しているが、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。