

7. C S Gにおける水平打継目処理

(1) 検討目的と検討方法

台形C S G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R C D工法と同様である。よって、台形C S G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、C S G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、R C D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C S G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、C S G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C S G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C S G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

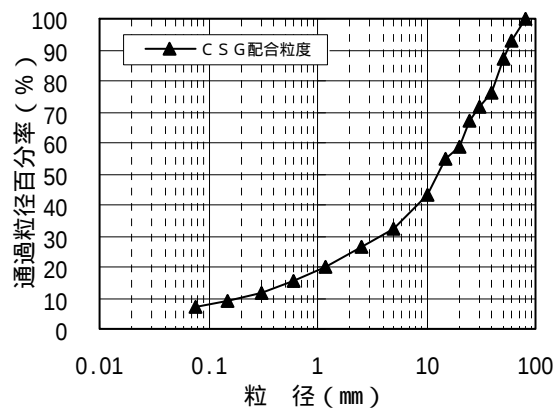


図 7.1 母材粒度分布 ()

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

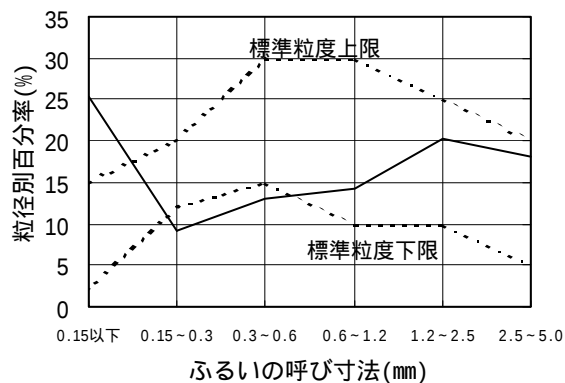


図 7.2 CSG 配合粒度(母材(5mm 以下))()

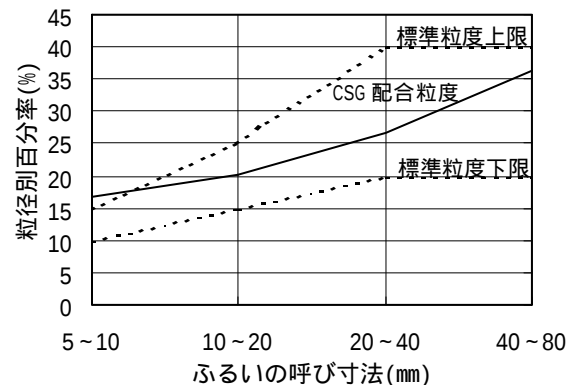


図 7.3 CSG 配合粒度(母材(5mm 以上))()

(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 V C 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 $80\text{kg}/\text{m}^3$ 、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 $\phi 200 \times h200$	圧縮強度 試験用 $\phi 150 \times h300$	
1	未処理	打継処理材なし	3 角度 $\times$ 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 $\times$ 3 本=9 本	3 本	ペースト厚 $t=10\text{mm}$
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 $\times$ 3 本=9 本	3 本	ペースト厚 $t=10\text{mm}$
3	モルタル	モルタル塗布処理	3 角度 $\times$ 3 本=9 本	3 本	モルタル厚 $t=15\text{mm}$
4	一般部	打継を有しない 供試体	3 角度 $\times$ 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 ($\phi 500\text{mm} \times h400\text{mm}$) 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 ($h200\text{mm}$) 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 ($h200\text{mm}$) 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 ($\phi 200\text{mm} \times h200\text{mm}$)、圧縮強度試験用 ($\phi 150\text{mm} \times h300\text{mm}$) 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。

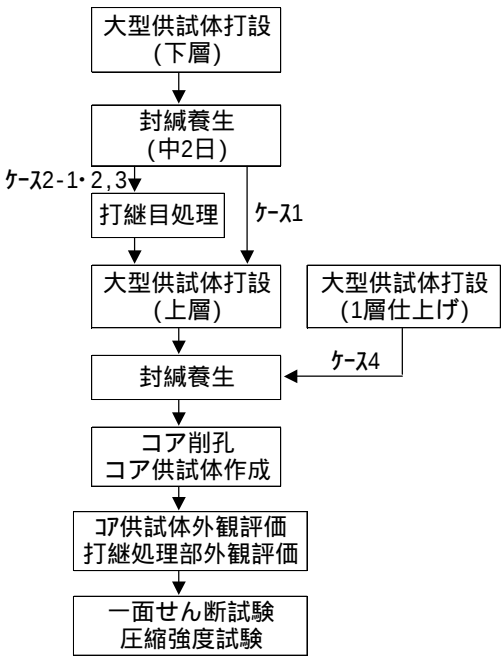


図 7.4 試験フロー ()

(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)	σ_{28} (N/mm ²)	σ_{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	σ_{28} (N/mm ²)	σ_{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 ($\phi 500 \times h400$) 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(φ200×h200)圧縮強度試験用コア(φ150×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(τ=τ₀+fσ：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

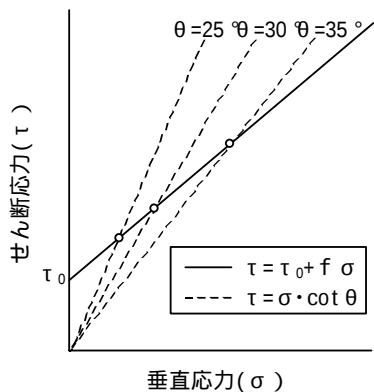


図 7.5 せん断破壊基準線 ()

(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。

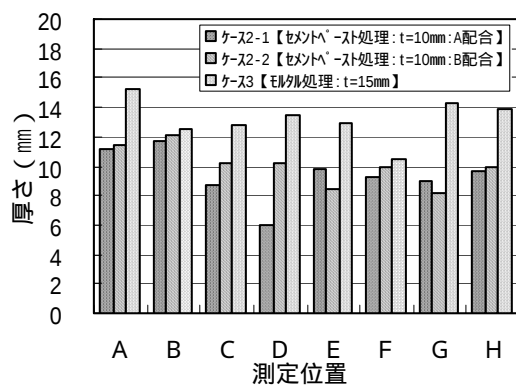


図 7.6 ペースト厚さと測定位置 ()

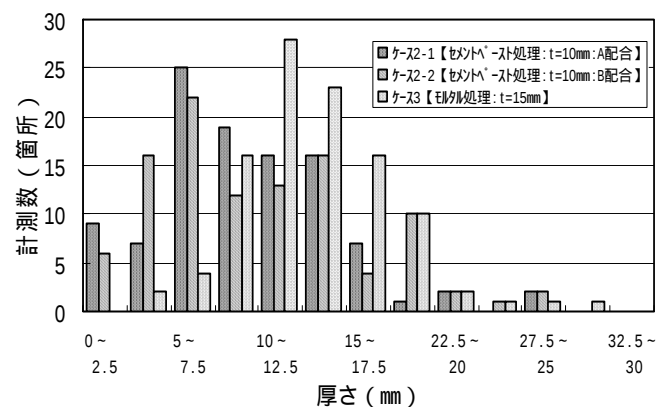


図 7.7 ペースト厚さと計測数 ()



写真 7.1 打継処理部(ケース 2-2) ()

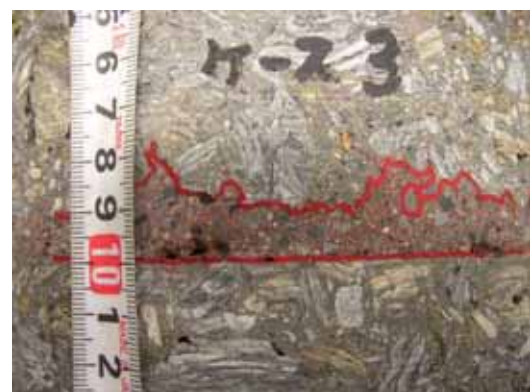


写真 7.2 打継処理部(ケース 3) ()

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ので、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。

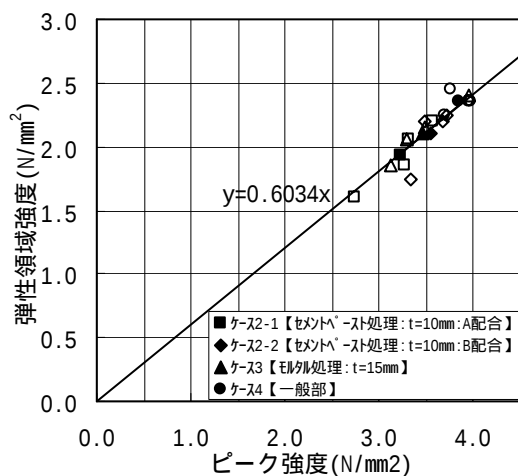


図 7.8 ピーク強度と弾性領域強度 ()

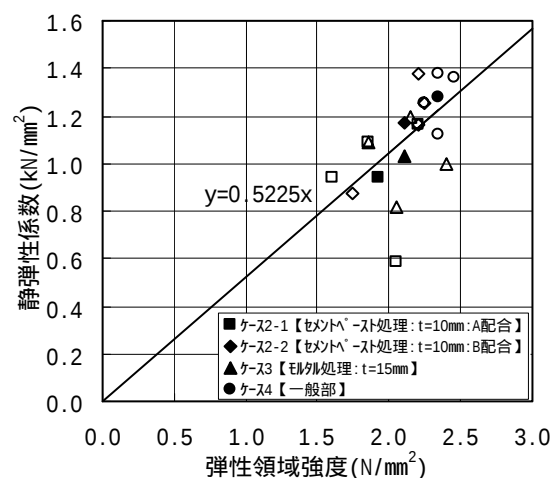


図 7.9 静弾性係数と弾性領域強度 ()

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	
						σ_{28} (N/mm ²)	σ_{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

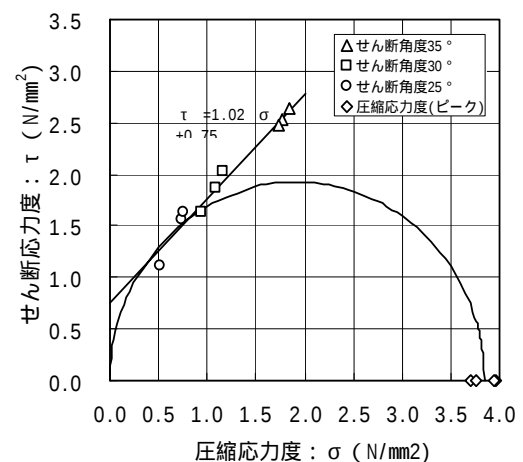


図 7.10 せん断試験結果(ケース 4) ()

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にはブリージ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。

(1 2) 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。