

報告 CRT ミキサシステム (CSG 材料製造システム) の開発

佐藤 幸三^{*1}・鈴木 紘^{*2}・細川 雅一^{*3}・前田 薫^{*3}

要旨: 長島ダム貯砂ダムは、CSG材料を初めてコンクリートダムの内部コンクリートに適用したダムである。本報は、長島ダム貯砂ダムで使用したCSG材料を大量かつ高品質化に製造するためのミキサシステムの開発、および配合に関するものである。

CRTミキサシステムの性能評価は、連続練りミキサの練混ぜ性能試験、バッチミキサとの比較試験、ミキサの安定性試験で行った結果について報告する。配合に関しては、骨材粒度のバラツキを抑え、安定した品質のCSG材料の製造に関する配合上の改善点を報告する。

キーワード: CSG, コンクリートダム, RCD用コンクリート, 連続練りミキサ

1. はじめに

「CRT(Continuous Rotary Tube)ミキサシステム」(以降、「CRTミキサシステム」とは、材料供給装置、材料運搬装置および筒状の装置の内側に攪拌羽根を設けて、ある回転と角度を持たせることにより、材料を連続的に練混ぜることを可能とした連続練混ぜ装置「CRTミキサ」から構成されるCSG材料およびRCD用コンクリート製造システムである。CSG(Cemented Sand and Gravel)工法とは、河床砂礫や掘削ズリなどの建設現場周辺で発生する岩石質材料にセメントを添加・混合し、盛土の強度増加を図る工法であり、その工法に使用する材料をCSG材料という。)

従来のコンクリート製造設備では、バッチ式のミキサを練混ぜ装置としている、それゆえ、一バッチ毎に材料を計量し、ミキサに投入して練混ぜ、練混ぜ完了後、材料を排出することを繰り返す方式となっており、この間にロスタイムが発生することは避けられない。また、コンクリートを大量に練混ぜる場合には、設置するミキサの容量を大きくすることや、ミキサの数を増やすことで対応するのが一般的である。これに対して、連続で練混ぜを行えば、ロスタイムは無くなり、比較的簡易な設備で大量のコン

クリートの練混ぜが可能となる。「CRTミキサシステム」は、この点に着目した練混ぜシステムである。

2. CRTミキサシステムの構成

今回開発したCRTミキサシステムは、以下に示す装置およびシステムから構成されている。

- ①分級された骨材を貯蔵し、定量的に切り出す装置
- ②骨材の表面水率を連続測定し、加水量を補正する装置
- ③骨材を2分割しセメントを骨材で挟み込んで供給することによって、セメントの飛散防止を図る、セメントサンドイッチ装置(写真-1)

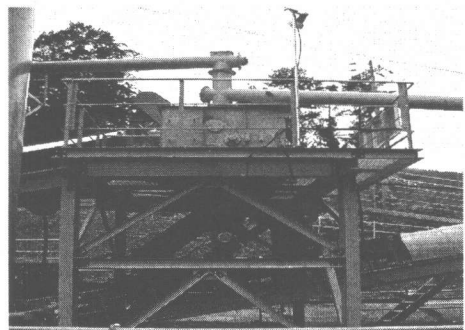


写真-1 セメントサンドイッチ装置

- ④材料をCRTミキサまで搬送するとともに、材料の質量を計量するための、ベルトコンベヤとベルトコンベヤスケール計測システム

※ 1 西松建設(株) 技術研究所 副課長(正会員)

※ 2 西松建設(株) 土木部 部長

※ 3 西松建設(株) 中部支店

⑤セメントと骨材を連続的に練り混ぜるCRTミキサ（写真－2）



写真－2 CRTミキサ

⑥CRTミキサにより練り混ぜられた混合物をダンプ1台分ごとに分配するターンヘッドシュートと4連ホッパ装置

図－1にCRTミキサシステム全体図を示す。

3. 開発の目標

本システムは、以下の項目を開発の目標とした。

(1)材料供給性能

使用材料を連続的に質量で計量し、供給できること。

(2)練混ぜ性能

バッチミキサと同等の性能でCSG材料およびRCD用コンクリートを練り混ぜられること。

(3)製造能力

最大骨材寸法80～150mmのCSG材料およびRCD用コンクリートを50～80m³/hr製造できること。

4. 性能確認項目および方法

本システムが、開発の目標を満足する性能を有しているかを、以下の項目、方法で確認した。

(1)材料供給性能

材料の供給性能確認は、JSCE-I 501-1986「連続ミキサの計量・供給性能試験方法（案）」に準拠して行った。

(2)練混ぜ性能

JIS A 1119 および JIS A 8603 に準拠し、JSCE-I 502-1986「連続ミキサの練混ぜ性能試験方法（案）」、および JIS A 8603-1994「コンクリートミキサ」を参考として行った。また、小型のバッチミキサとの比較試験も行った。

(3)製造能力

最大骨材寸法80mmおよび150mm、製造速度80m³/hrおよび50m³/hrで、「CRTミキサシステム」を用いて連続的に超硬練りCSGを製造し、連続的に採取した10試料の品質を比較した。

5. 性能確認試験結果

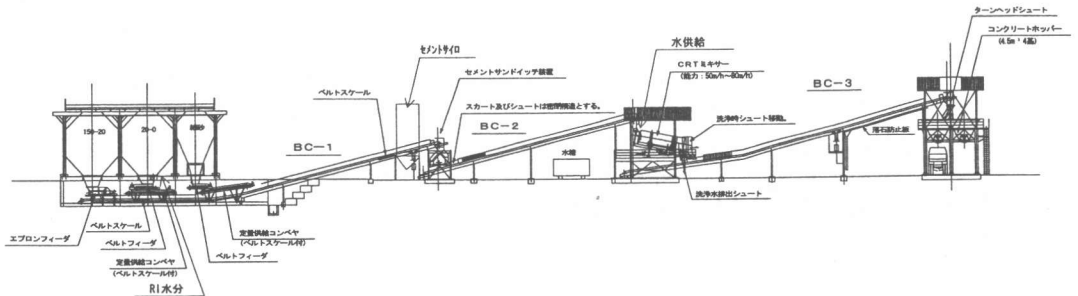
(1)材料供給性能

表－1に、材料供給性能試験の試験結果を示す。本表から、材料供給性能に問題がないことが確認された。

表－1 材料供給性能試験結果

材料	種類	80m ³ /hr		50m ³ /hr	
		測定値の変動係数 (%)	前後5個の平均値の差 (%)	測定値の変動係数 (%)	前後5個の平均値の差 (%)
骨材	150～20mm	1.80	2.47	1.82	2.36
	20～0mm	1.41	1.75	1.43	1.20
	細砂	1.72	2.14	1.76	2.42
	骨材全体 (150～0mm + 細砂)	1.53	2.38	1.54	1.96
	規定値	2%以下	3%以下	2%以下	3%以下
セメント		1.11	1.11	1.11	1.48
	規定値	1.3%以下	2%以下	1.3%以下	2%以下
水		0.50	0.88	0.52	0.60
	規定値	0.6%以下	1%以下	0.6%以下	1%以下

規定値とは、JSCE-I 501-1986「連続ミキサの計量・供給性能試験方法（案）」に規定されている値である。



図－1 CRTミキサシステム全体図

(2) 練混ぜ性能

ミキサ性能試験を行う場合、CSG材料のように供給される材料のバラツキが大きいものでは、正確な判断が困難である。そのため、配合が明確となっているRCD用配合をあらかじめバッチミキサで混合した骨材を使用して行った。表-2にRCD用コンクリートで行ったミキサ性能試験結果を示す。

CRTミキサがバッチミキサと同等の品質で製造が可能かどうかの確認のために、小型のバッチミキサと練混ぜ性能の比較をCSG材料およびRCD用コンクリートを用いて行った。その結果（VC値，単位容積質量，圧縮強度）を図-2～4に示す。なお，今回使用したCSG材料の配合，およびRCD用コンクリートの配合を表-3に示す。

表-2 ミキサ性能試験結果

試験CASE		RCD用コンクリート			
製造速度 (m ³ /hr)		80		50	
コンクリート試験採取箇所		前部	後部	前部	後部
コンクリート中の単位粗骨材質量 (kg/m ³)		1432	1317	1328	1415
コンクリート中のモルタルの単位容積質量 (kg/m ³)		2513	2476	2470	2506
材齢7日 (圧縮強度) (N/mm ²)		12.7	13.5	13.8	12.6
材齢28日 (圧縮強度) (N/mm ²)		24.8	25.8	25.4	26.3
材齢91日 (圧縮強度) (N/mm ²)		31.8	32.7	33.6	31.9
		規定値※			
コンクリート中の単位粗骨材量の差 (%)	5%以下	4.2	3.2		
コンクリート中のモルタルの単位容積質量の差 (%)	0.8%以下	0.73	0.72		
空気量の差 (%)	10%以下	8.5	4.5		
圧縮強度差 (材齢7日) (N/mm ²)	7.5%以下	3.1	4.5		
圧縮強度差 (材齢28日) (N/mm ²)	7.5%以下	2.0	1.7		
圧縮強度差 (材齢91日) (N/mm ²)	7.5%以下	0.9	2.6		

※JIS A 1119 「ミキサで練混ぜられたコンクリート中のモルタルの差及び粗骨材量の差の試験方法」

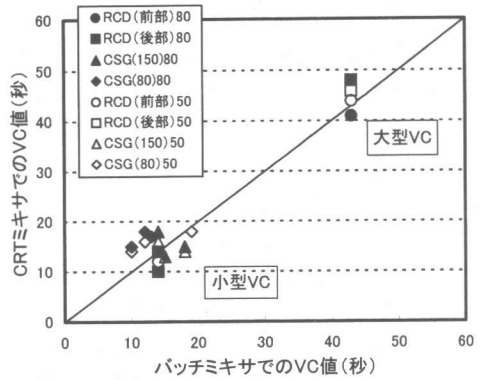


図-2 ミキサ比較試験 (VC値)

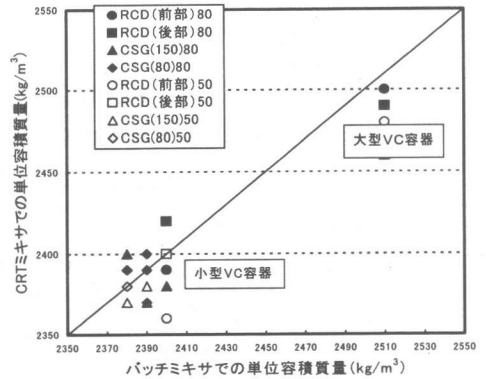


図-3 ミキサ比較試験 (単位容積質量)

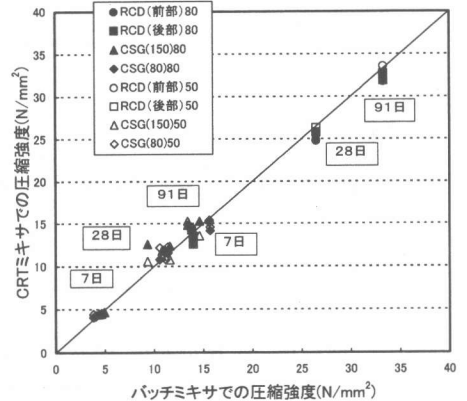


図-4 ミキサ比較試験 (圧縮強度)

表-3 ミキサ性能試験配合表

最大骨材寸法 (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)										備考
			C	W	S1	S2	G1 (150-80)	G2 (80-40)	G3 (40-20)	G4 (20-05)	Ad. ※		
150	105.5	29.9	90	95	575	100	282	413	405	525	—	CSG	
80	105.5	29.9	90	95	660	100	—	473	465	602	—	CSG	
150	61.5	30.0	130	80	678	—	386	386	402	434	0.26	RCD	

※A d. : AE 減水剤 (遅延型)

ミキサ性能試験結果および、バッチミキサとの比較試験結果から、CRTミキサはCSG材料およびRCD用コンクリートをバッチミキサと同等の性能で練混ぜることが可能であることが確認された。

(3) 製造能力

本ミキサシステムの製造の安定性を示すために、製造速度 50m³/hr および 80m³/hr で連続的に製造して、10 試料サンプリングした場合のフレッシュおよび硬化性状を比較した。

最大骨材径 150mm における VC 試験の結果は、以下の通りであり、圧縮強度試験結果は表-4 に示す通りである。

・ VC 試験結果

80m³/hr - 平均:12 秒,変動係数:6.3%

50m³/hr - 平均:13 秒,変動係数:6.8%

表-4 圧縮強度試験結果 (Gmax150mm)

材 齢	7 日		28 日		91 日	
速 度 (m ³ /hr)	80	50	80	50	80	50
平 均 (N/mm ²)	6.19	5.68	11.8	11.7	14.7	14.3
変動係数 (%)	7.0	7.7	6.3	5.2	8.3	7.0

以上の結果を図に示したものを図-5, 6 に示す。

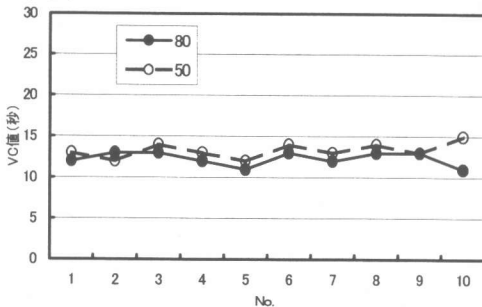


図-5 VC 値の変化 (Gmax150mm)

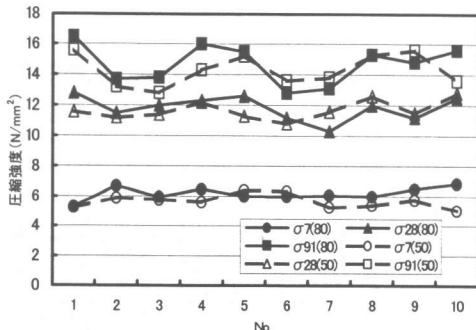


図-6 圧縮強度の変化 (Gmax150mm)

最大骨材径 80mm における VC 値の結果は、以下の通りであり、圧縮強度試験結果は表-4 に示すとおりである。

・ VC 試験結果

80m³/hr - 平均:15 秒,変動係数:9.3%

50m³/hr - 平均:16 秒,変動係数:9.3%

表-5 圧縮強度試験結果 (Gmax80mm)

材 齢	σ 7		σ 28		σ 91	
速 度 (m ³ /hr)	80	50	80	50	80	50
平 均 (N/mm ²)	4.30	4.19	11.4	11.6	14.6	14.5
変動係数 (%)	8.6	4.9	6.0	6.6	3.4	4.9

以上の結果を図に示したものを図-7, 8 に示す

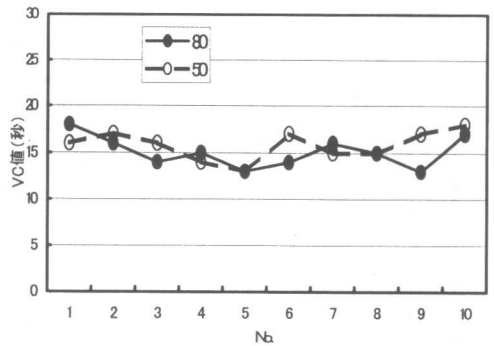


図-7 VC 値の変化 (Gmax80mm)

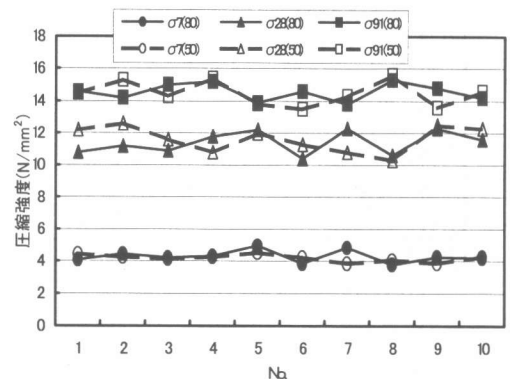


図-8 圧縮強度の変化 (Gmax80mm)

いずれの最大粒径においても、VC 値の変動係数が 6~9% 程度、圧縮強度の変動係数が 10% 以下となっており、変動の少ない安定した品質の CSG 材料が製造された。

以上に示した試験結果から、最大骨材径 80

～150mm の CSG 材料を 50～80m³/hr の能力で、安定した品質で製造できることが確認された。

6. 長島ダム貯砂ダムへの適用

以上で述べたように、CRTミキサシステムは、バッチミキサと同等の品質の CSG 材料を安定して製造できることが確認された。ここでは、CRTミキサシステムを長島ダム貯砂ダムの仮締切り堤および本体堤に適用した配合に関して述べる。

(1) 骨材の調整

長島ダム貯砂ダムにおいては、原則的に河床から採取した砂礫を粒度調整せずに使用する CSG 材料を、重力式コンクリートダムの内部コンクリートとして使用することが規定されていた。そのため、CSG 材料をダムコンクリートに相当する品質まで向上させる必要があった。前項までで、CRTミキサシステムを使用することにより、バッチミキサと同等の品質の混合物を安定して製造出来ることは確認された。ここでは、主として供給する材料の品質および安定性を向上させ、実施工に使用する配合を検討した。

ストックヤードでの骨材分布を調査した結果を図-9に示す。図から分かるように採取位置よりの粒度分布のバラツキが大きいこと、また、微粒分が不足気味であることが判明した。

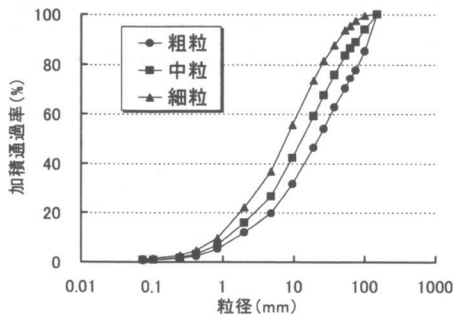


図-9 スtockヤードでの粒度範囲

そこで、若干の粒度調整とはなるが、①微粒分を添加する、②骨材を分級して粒度のバラツ

きを抑える 方法を採用することもやむを得ないと判断した。

微粒分不足に対しては、現地河床から採取した F.M.1.3 程度の細粒砂を 100kg/m³ 添加することによって対応した。図-10に細粒砂を添加した場合の単位水量と VC 値との関係を示す。

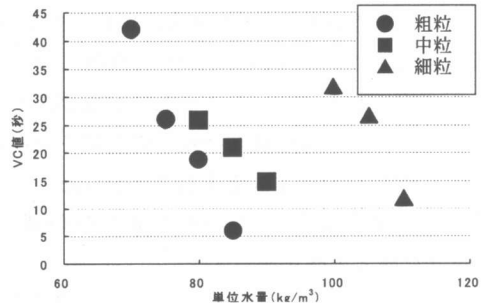


図-10 細粒砂を添加した場合の VC 値

全ての粒度分布で CSG 材料のフレッシュ性状は改善されたが、粒度分布毎のフレッシュ性状のバラツキに関しては改善されなかった。

そこで、骨材の粒度分布によるフレッシュ性状のバラツキを改善するために、骨材を 20mm で分級した。分級寸法を 20mm としたのは、現地発生材を有効に利用するためであり、分級したものは 5:5 で使用した。図-11に 20mm で分級後、細粒砂添加した場合の単位水量と VC 値との関係を示す。

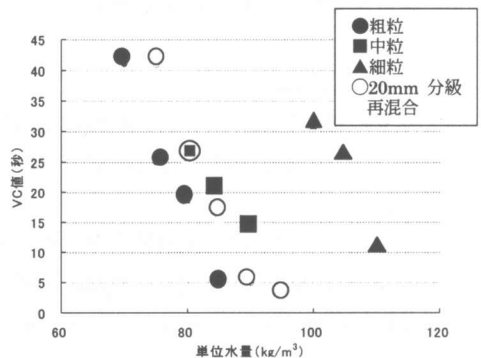


図-11 20mm で分級した場合の VC 値

20mm で分級後再混合したものは、中粒の粒

度分布と近いグラフとなり、水量の変化による VC 値の変化が緩やかになっている。これにより、水量 80~100kg/m³ 程度で VC 値管理が可能であることが確認された。

(2) 経時変化

CSG 材料には、化学混和剤が添加されていないため、運搬時間によるフレッシュ性状の低下が懸念された。配合を決定するに当たっては、練り上がり直後のフレッシュ性状のみならず、経時変化も考慮に入れておく必要がある。そこで、単位水量と経時変化との関係を把握し、単位水量の範囲を決定することとした。図-12 に、単位水量を変化させた場合の経過時間と、VC 値との関係を示す。

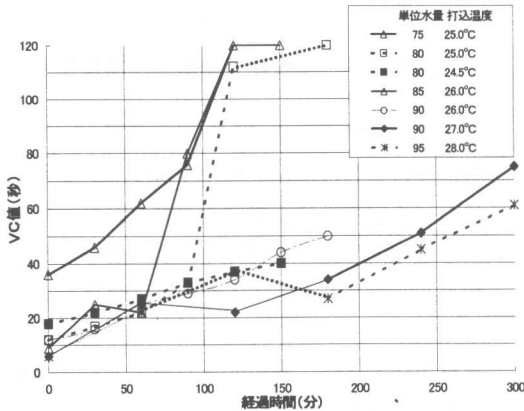


図-12 VC 値の経時変化

図から、良好な経時変化を確保するためには単位水量が 90kg/m³ 以上必要であることが分かる。

(2) 基本配合

VC 試験結果、VC 値の経時変化試験結果から、90~100kg/m³ の水量が適当であると判断された。

また、ミキサ性能試験結果からも、単位水量が 90~100kg/m³ 程度であれば、圧縮強度の発現性は問題ないことが確認されている。

以上の結果をまとめて、表-6 のように基本配合を定めた。本配合を基に仮締切り堤、本体堤 約 40,000m³ の CSG 材料の打設を行った。

表-6 基本配合表

区分	項目		備考
骨材	骨材	河床砂礫	現地採取、洗浄無し
	分級	2分級	20mm
	混合比	50:50	150-20:20-0
添加材	細砂	FM1.3程度	現地採取、洗浄無し
示方配合	最大粗骨材寸法	150mm	U:河床砂礫 2,200kg(表乾状態)
	セメント量	90kg/U	
	水量	90~100kg/U	
	細砂添加量	100kg/U	
	目標VC値	5~20秒	

7. おわりに

本システムを用いることによって、高品質で安定した CSG 材料を製造することが可能となり、CSG 材料を重力式コンクリートダムに適用することができた。

CRT ミキサシステムは、連続で大量の CSG 材料および RCD 用コンクリートの製造が可能である。今後は、打設箇所までの運搬方法を効率化することにより、今以上の施工の能率アップを検討することが有効である。また、フィルダムのフィル材・路床材の混合、土壌の改良等にも応用できるミキサシステムである。

参考文献

- 1) 村松正明：長島貯砂ダム CSG 工法について、ダム日本, No.658, pp.83-91, 1999
- 2) 木村一正, 細川雅一, 前田薫：CSG コンクリートの性状および製造設備, 電力土木, No.287, pp.98-99, 2000