

CSG 材料製造システムの開発

—CRT ミキサシステムの開発と施工実績—

川村正身・佐藤幸三

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。本報文は、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 (CRT ミキサ) の開発、および施工実績に関するものである。

開発した CRT ミキサシステムに関して、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性能評価について報告する。また、骨材粒度のばらつきを抑え、安定した品質の CSG 材料の製造に関する配合上の改善点および施工実績を報告する。

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 (Cemented Sand and Gravel) 材料および RCD (Roller Compacted Dam) 用コンクリート製造システムである。CSG 工法とは、河床砂礫や掘削ずり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る (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、一バッチごとに材料を計量し、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。

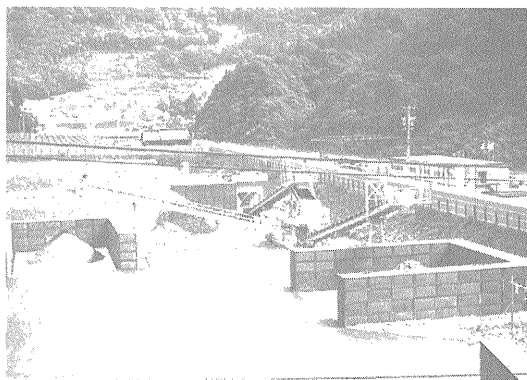
これに対して、連続で練混ぜを行えば、ロスタイムは無くなり、比較的簡易な設備で大量のコンクリートの練混ぜが可能となる。CRT ミキサシ

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 骨材を乾燥状態のまま分級する装置 (これによって濁水の発生を抑制できる (写真—1 参照))。



写真—1 乾式分級装置

- ② 分級された骨材を貯蔵し、定量的に切出す装置
- ③ 骨材の表面水率を連続測定し、加水量を補正する装置 (写真—2 参照)。
- ④ 骨材を 2 分割し、セメントを骨材で挟込む

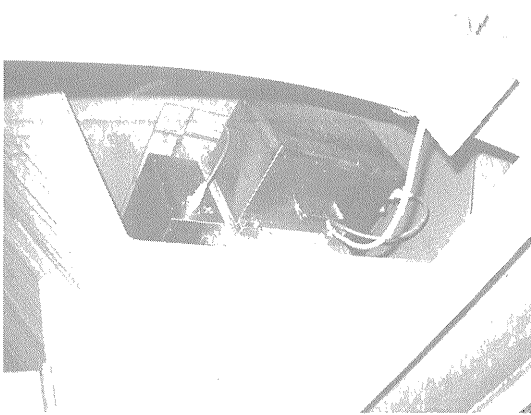


写真-2 RI水分計

ことによってセメントの飛散防止を図ったセメントサンドウィッチ装置 (写真-3 参照)。

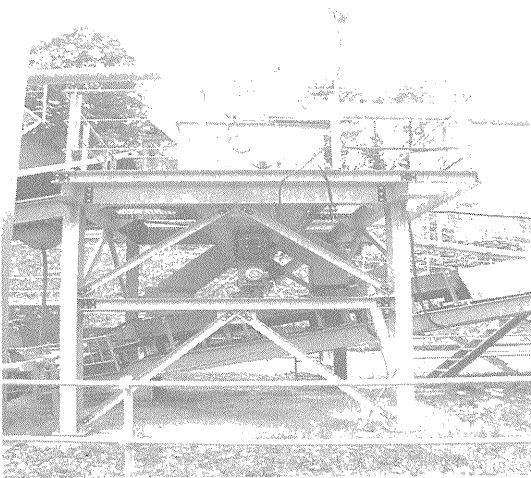


写真-3 セメントサンドウィッチ装置

- ⑤ 材料をCRT ミキサまで搬送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

- ⑥ セメントと骨材を連続的に練混ぜるCRT ミキサ (写真-4)

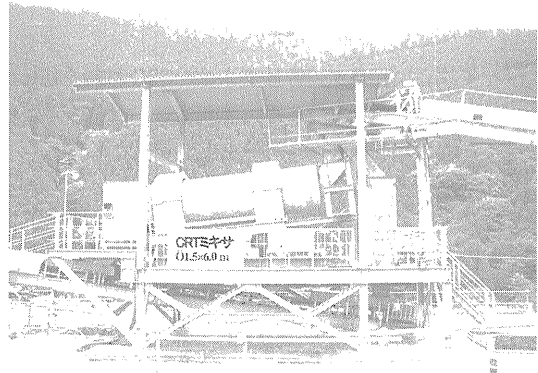


写真-4 CRT ミキサ

- ⑦ CRT ミキサにより練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 (写真-5 参照)。



写真-5 4連ホッパ

図-1 に CRT ミキサシステムの全体図を示す。

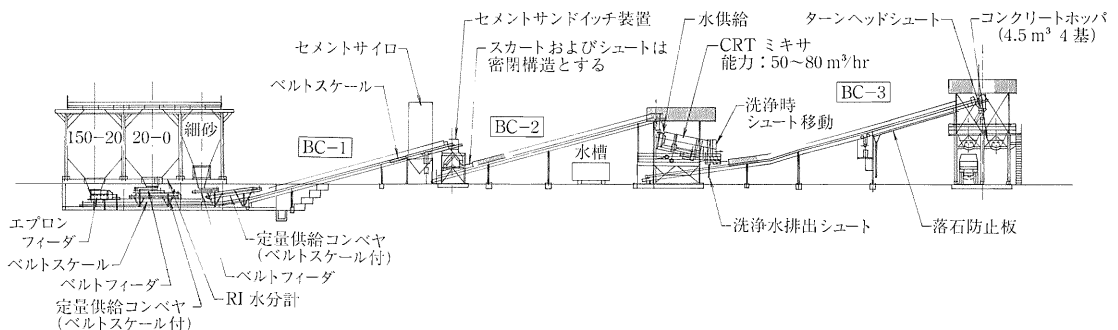


図-1 CRT ミキサシステム全体図

3. 開発の目標

本システムを開発するに当たって、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混ぜられること。

③ 製造能力

最大骨材寸法 80~150 mm の CSG 材料および RCD 用コンクリートを 50~80 m³/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、以下の項目および方法で確認した。

(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 80 mm および 150 mm、製造速度 80 m³/hr および 50 m³/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

表一に、材料供給性能試験の試験結果を示す。

表一から、材料供給性能に問題がないことが確認された(製造能力 80 m³/hr の結果を表示)。

表一 材料供給性能試験結果

材 料	種 類	80 m ³ /hr	
		測定値の変動係数(%)	前後5個の平均値の差(%)
骨 材	150~20 mm	1.80	2.47
	20~0 mm	1.41	1.75
	細 砂	1.72	2.14
	骨材全体 (150~0 mm+細砂)	1.53	2.38
	規定値	2%以下	3%以下
セメント		1.11	1.11
	規定値	1.3%以下	2%以下
水		0.50	0.88
	規定値	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

(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ばらつきが大きいものでは、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 コンクリート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。表二に RCD 用コンクリートで行ったミキサ性能試験結果を示す。

また、CRT ミキサがバッチミキサと同等の品

表二 ミキサ性能試験結果

試 験 例	RCD 用コンクリート			
	50		80	
製造能力 (m ³ /hr)	始め	終り	始め	終り
コンクリート試験採取箇所				
コンクリート中の単位粗骨材量 (kg/m ³)	1,430	1,320	1,330	1,420
コンクリート中のモルタルの単位容積質量 (kg/m ³)	2,510	2,480	2,470	2,510
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。

**表中の「始め」「終り」とは、コンクリート流の流れ「始め」および「終り」の意味である。

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（圧縮強度）を図-2に示す。

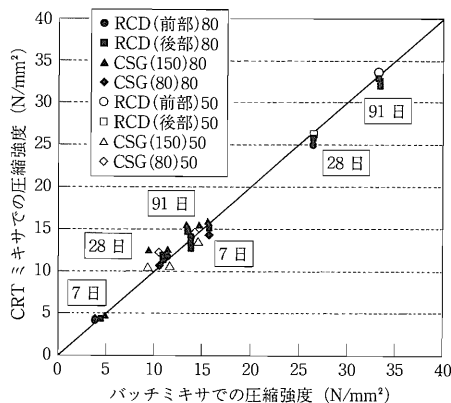


図-2 ミキサ比較試験（圧縮強度）

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、製造能力 50 m³/hr および 80 m³/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 150 mm における VC (Vibrating Compaction) 試験の結果は、以下の通りであり、圧縮強度試験結果は表-3 および図-3 に示す通りである。

・VC 試験結果

80 m³/hr：平均 12 秒，変動係数 6.3%

50 m³/hr：平均 13 秒，変動係数 6.8%

VC 値の変動係数が 6~7%程度，圧縮強度の変

表-3 圧縮強度試験結果 (G_{max}=150 mm)

材 齢	7 日		28 日		91 日	
製造能力 (m³/hr)	80	50	80	50	80	50
平均 (N/mm²)	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

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 材料が製造出来ることが確認された。

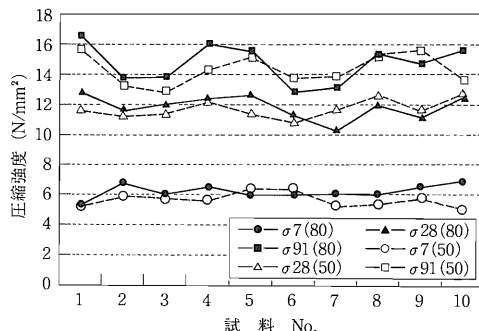


図-3 圧縮強度の変化 (G_{max} 150 mm)

以上に示した試験結果から，最大骨材径 80~150 mm の CSG 材料を 50~80 m³/hr の能力で，安定して製造できることが確認された。

6. 施工実績（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および施工実績に関して述べる。

(1) 配 合

(a) 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る。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。前章までで，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粒度分布を調査した結

果を図-4に示す。図から分かるように採取位置によつての粒度分布のばらつきが大きいこと、また、細粒分が不足気味であった。

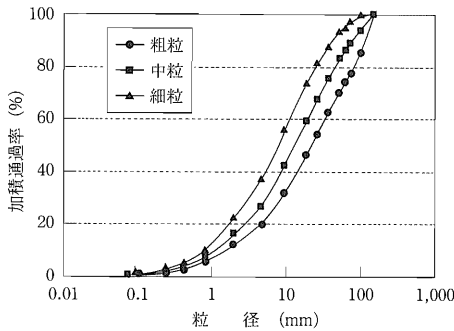


図-4 スtockヤードでの粒度範囲

そこで、若干の粒度調整とはなるが、

① 細粒分を添加する。

② 骨材を分級して粒度のばらつきを抑える。

等の方法を採用することもやむを得ないと判断した。

細粒分不足に対しては、現地河床から採取したF.M. (Fineness Modulus) 1.3程度の細粒砂を100 kg/m³添加することによって対応した。その結果、すべての粒度分布でCSG材料のフレッシュ性状は改善されたが、粒度分布ごとのフレッシュ性状のばらつき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ばらつきを改善するために、骨材を20 mm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50:50で使用した。

20 mm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80~100 kg/m³程度でVC値管理が可能であることが確認された。

(b) 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。

試験結果から、良好な経時変化を確保するためには単位水量が90 kg/m³以上必要であることが確認された。

(c) 基本配合

VC試験結果、VC値の経時変化試験結果から、90~100 kg/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90~100 kg/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-4のように基本配合を定めた。

表-4 基本配合表

区分	項目	備考	
骨材	骨材分級	河床砂礫 2分級	現地採取・洗浄無し 20 mm 150~20:20~0
	混合比	50:50	
添加材	細砂	F.M. 1.3程度	現地採取・洗浄無し
示方配合	最大骨材寸法	150 mm	骨材量 2,200 kg/m ³ (表乾状態)
	セメント量	90 kg/m ³	
	水量	90~100 kg/m ³	
	細砂添加量	100 kg/m ³	
	目標 VC 値	5~20 秒	

(2) 施工実績

長島ダム貯砂ダムにおける施工に関して以下に述べる。

(a) 長島ダム貯砂ダム諸元

- 発注：建設省中部地方建設局
- 工期：平成10年8月~平成11年12月
- 形式：重力式コンクリートダム
- 堤高：33.0 m
- 堤頂長：127.0 m
- 堤頂幅：5.0 m
- 堤体積：55,300 m³ (内 CSG: 27,500 m³)

(b) 施工手順

① CSG運搬

4連ホッパーから排出されたCSG材料は、10tダンプにて打設箇所まで運搬。

② 敷均し

D20Pブルドーザで、1リフト50 cmを2層に分けて敷均す。

③ 転 圧

- ・転圧機械：SD 450（10.0 t 級，振動数 2,600 rpm，起振力 1 軸 23 t）
- ・転圧仕様：無振動-2，振動-6，無振動-2（転圧のラップ長は 20 cm 以上とする）。内部および外部コンクリートの境の転圧によるわだちは 1 t ローラ・プレートで整形している）
- ・転圧完了時間：練混ぜ開始から 3 時間以内（敷均し完了からの放置は 1.5 時間以内）

④ 打継ぎ目の処理

RCD 工法を参考として以下の処理方法について，コア供試体を作成して検討を加えた。

- ・グリーンカット+モルタル敷き
- ・打設前清掃+モルタル敷き
- ・モルタル敷きのみ
- ・無処理（2.5 時間放置）

その結果，施工性，品質とも妥当であると判断された，「打設前清掃+モルタル敷き」を採用した。

⑤ 異種配合部の施工

本ダムの外部コンクリートには，生コンクリートが採用されている。この生コンクリートと CSG の接合部の施工は，外部コンクリートを先に施工する「外部先行打設」と，内部の CSG を先に施工する「内部先行打設」が検討対象となった。

打継ぎ目の処理と同様に，コア採取を行って検討した結果，施工性，品質とも妥当であると判断

された「外部先行打設」を採用した。

長島ダム貯砂ダムでの打設状況を写真-6 に示す。

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図ることが可能であると考えられる。また，本ミキサシステムは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技術である。

なお，CRT ミキサシステムは，西松建設(株)，戸田建設(株)，(株)大阪砕石工業所の 3 社で，平成 12 年 4 月に(財)土木研究センターから技術審査証明を取得し，平成 13 年 5 月にはダム工学会から技術開発賞を受賞している。

J C M A

【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)

【筆者紹介】



川村 正身（かわむら まさみ）
西松建設株式会社
機材部
副部長



佐藤 幸三（さとう こうぞう）
西松建設株式会社
技術研究所
副課長

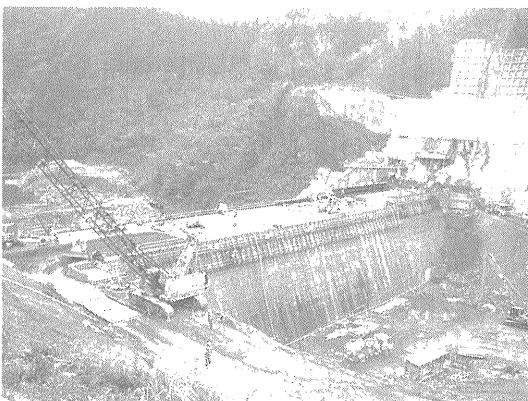


写真-6 打設状況