

CRT ミキサシステムの能力向上 Improvement of Mixing Ability of CRT Mixer System

新谷 壽教* 佐藤 幸三**
Toshinori Shinya Kozo Sato
小林 一則*** 小海 和哉****
Kazunori Kobayashi Kazuya Kokai

要 約

これまで CSG の混合設備として稼動してきた CRT ミキサシステムは、混合能力が 80 m³/hr であった。しかしながら、最近では台形 CSG ダムの大型化に伴い、大容量連続ミキサとしての混合能力の大幅アップが求められてきた。そのため今回、嘉瀬川ダム副ダムで使用した CRT ミキサシステムに対し、混合能力 200 m³/hr を目指したシステムを再構築した。構築にあたっては、材料供給設備や CSG 排出設備の見直しと改良を行うとともに、CRT ミキサ内部の羽根の改造も検討し、混合状況および混合性能を確認しながら実施した。再構築した CRT ミキサシステムは、(財)ダム協会 CSG 工法用混合設備検討小委員会において混合能力 200 m³/hr の認定を取得した。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. システムの開発
- § 3. システムの構築～性能確認 (その 1)
- § 4. システムの構築～性能確認 (その 2)
- § 5. 結論

§ 1. はじめに

現在稼動している CRT ミキサシステムは、平成 15 年に台形 CSG ダム技術資料作成委員会発行の CSG 混合設備として登録されている。これまで長島貯砂ダムをはじめ、伊木力ダムの仮締切工事、嘉瀬川ダム副ダム工事において稼動してきた。それらは登録時の混合能力 80 m³/hr として採用されている。

今回、嘉瀬川ダム副ダムで使用した CRT ミキサシステム(写真一)に対し、混合能力 200 m³/hr を目標に CSG 材、セメントおよび水の供給設備、さらに CSG の排出設備を再構築し、その新たなシステムを用いて混合能力確認試験および混合性能確認試験を実施した。

§ 2. システムの開発

2-1 開発の手順

混合能力の向上に必要な各設備能力の見直しから、シ

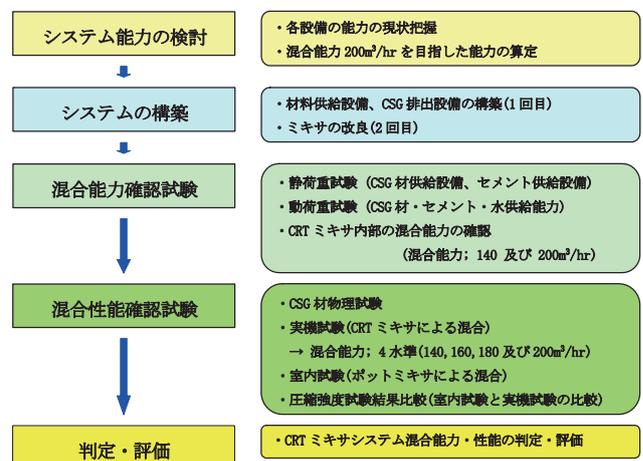
* 技術研究所土木技術グループ
** 技術研究所
*** 本社土木部
**** 本社機材部

ステムの再構築、確認試験および判定・評価に至るまでの流れを図一に示す。

システム能力の検討とは、現状の混合能力を 80 m³/



写真一 CRT ミキサシステムの全景



図一 開発の流れ

hr → 200 m³/hr に大幅アップした際に必要な各設備能力の算定、およびそのための改良に必要な部分の見極めを行ったものである。

混合能力確認試験は、再構築したシステムに対し静荷重試験、動荷重試験を行い、システムの構成要素である CSG 材、水、セメントの供給設備および CSG の排出設備の混合能力を主に確認したものである。

混合性能確認試験は、混合能力を 140, 160, 180 および 200 m³/hr の 4 水準とし、混合された CSG のフレッシュ性状および圧縮強度を確認したものである。本試験では、実機試験と併せてポットミキサを用いた室内試験を行った。この室内試験の目的は、CRT ミキサシステムで混合した CSG の大型供試体 (φ300×H600) の圧縮強度がポットミキサのそれと同等以上であることを確認することである。

システムの再構築は、2 段階で実施した。第 1 段階は、

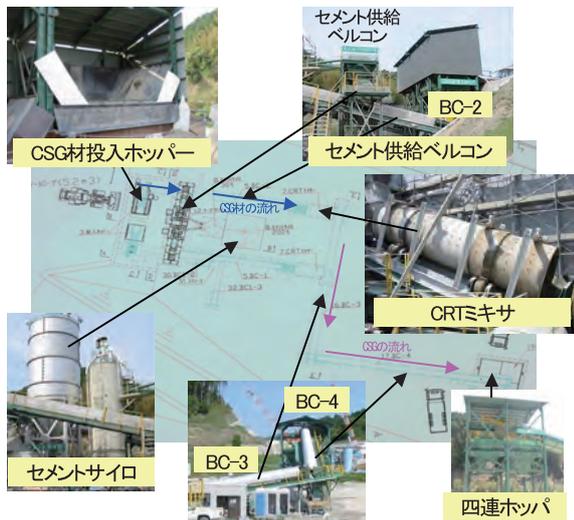


図-2 CRT ミキサシステム

表-1 CRT ミキサの諸元一覧

項目	仕様
形状(寸法)	円筒形 (内径 1.5m, 長さ 6m)
羽根の設置箇所数	計 21 箇所 (3 箇所/段×7 段)
ミキサの設置角度	20 度
ミキサ回転数	17 回転/分



(a) ミキサ外観 (b) ミキサ内部

写真-2 CRT ミキサの状況

CRT ミキサ自体の改造は行わないものとして設備能力の見直しに基づいて実施し、第 2 段階は第 1 段階で再構築したシステムのまま CRT ミキサの羽根、回転数を変更して実施した。

2-2 システムの概要

嘉瀬川ダム副ダム工事の中で使用した CRT ミキサシステムは、図-2 のとおりである。

このシステムは、材料 (CSG 材、水、セメント) 供給設備、混合設備そして CSG 排出設備の 3 種類の設備で構成されている。混合設備については、2 基の CRT ミキサ (80 m³/hr・基) を装備している。CRT ミキサの諸元を表-1 に、CRT ミキサの外観および内部の状況を写真-2 に示す。

§ 3. システムの構築～性能確認 (その 1)

3-1 システムの構築

現状の CRT ミキサシステムに対し、材料供給設備および CSG 排出設備について再構築を行った。一方、混合設備においては混合能力 200 m³/hr までは十分な能力を保有していると判断し、現状のままとした。主な改良内容を表-2 に示す。なお、システムの再構築にあたり、既存のシステムに新たに付加した設備はない。

3-2 混合能力確認試験

(1) 動作確認試験

混合能力 200 m³/hr を目標としたシステムに再構築後、動作確認を実施した。なお、この動作確認試験 (静荷重・動荷重試験) を含め、本開発に関係する全ての試験は、材料、配合ともに嘉瀬川ダム副ダムで使用のものと同じとした。表-3 に CSG 配合を示す。本試験では、混合能力を 140 および 200 m³/hr の 2 水準で実施した。

その結果、供給量の設定値に対しセメントおよび水の計測値の誤差は、概ね ±1% 程度、CSG 材については概

表-2 主要設備の改良内容

設備名称	設備能力		
	改良前	改良後	
CSG 材供給	ベルトフィーダー	200 t/hr	575 t/hr
	ベルコン	330 t/hr	575 t/hr
	計量器	100 kg/m	200 kg/m
セメント供給	ロータリーバルブ	15 t/hr	20 t/hr
	計量コンベア	15 t/hr	20 t/hr
水供給	制御ライン	8 m ³ /hr	22 m ³ /hr
CSG 排出	ベルコン	400 t/hr	595 t/hr

表-3 CSG 配合

セメント量(kg/m ³)	単位水量(kg/m ³)
80	95 ~ 125 (目標:110)



写真一三 排出状況

写真一四 混合状況

ね±2%程度に収まり、システムの動作に問題のないことを確認した。

(2) 混合状況の確認

CSG 材の混合能力 140 m³/hr および 200 m³/hr として動作確認試験を行った際、CRT ミキサの混合能力としてミキサ内部の混合状況、およびミキサからの CSG の排出状況を目視により確認した。写真一三および写真一四に排出状況 (140 m³/hr)、混合状況 (200 m³/hr) をそれぞれ示す。

確認した結果は、以下のとおりであった。

- ・混合能力によらず CRT ミキサ内部の材料は十分に攪拌され、混合状況は良好であった。
- ・混合能力の違いによるミキサ内での材料の滞留時間に違いはなかった。(滞留時間; 13~15 秒程度)
- ・時間の経過と共にミキサ内部の付着が多くなることによる材料の溢れ出し、閉塞等は確認されなかった。

3-3 混合性能確認試験

(1) 試験水準

本試験は、混合能力を 140, 160, 180 および 200 m³/hr の 4 水準とし、各試験水準とも CRT ミキサによる実機試験とポットミキサを用いた室内試験を同一材料で実施した。

CRT ミキサの混合性能の評価は、実機試験と室内試験の各々で混合した CSG の大型供試体による圧縮強度 (材齢 28 日) を比較することで行った。試験水準は表一四に示すとおりである。

(2) CSG 材物理試験

CSG 材は 80-0 mm を使用し、実施工と同様に粒度調整は行っていない。CSG 材の物理試験項目は表一五に示すとおりとし、「台形 CSG ダム (施工・品質管理技術資料)」に準拠した。

CSG の圧縮強度は、CSG 材の粒度の影響を受ける。そのため、各試験水準で使用した CSG 材に対して粒度試験を事前に実施し、各試験水準での粒度を把握した。その結果を図一三に示す。

粒度試験の結果は、以下のとおりであった。

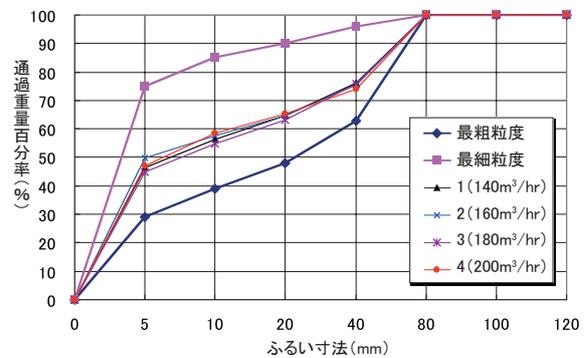
- ・各試験水準で使用した CSG 材は、嘉瀬川ダム副ダムのひし形を作成した最粗粒度・最細粒度の粒度分布の範囲内に収まっていた。
- ・CSG 材粒度は、いずれも平均粒度に近いものであった。また、密度・吸水率試験では、各試験水準で使用した

表一四 試験水準一覧表

試験水準 No	混合能力 (m ³ /hr)	実機試験 (CRT ミキサ)	室内試験 (ポットミキサ)
1	140	1 回	1 回(2バッチ)
2	160	1 回	1 回(2バッチ)
3	180	1 回	1 回(2バッチ)
4	200	1 回	1 回(2バッチ)

表一五 CSG 材物理試験項目

試験項目	粒度範囲	試験方法
粒度試験	80~40, 40~20, 20~10, 10~5, 5mm 以下の 5 分級	乾燥炉法 JIS A 1102
密度・吸水率試験	80~40, 40~20, 20~10, 10~5, 5mm 以下の 5 分級	乾燥炉法 JIS A 1109, 1110
表面水率試験	80~40, 40~20, 20~10, 10~5, 5mm 以下の 5 分級	乾燥炉法 JIS A 1125



図一三 粒度分布



写真一五 室内試験状況



写真一六 供試体養生状況

CSG 材の間に大きな変動は見られなかった。

(3) 室内試験

実機試験で実施した各試験水準における圧縮強度試験用大型供試体の作製方法は、締固め機器に電動ハンマーを用い、締固め時間と締固め層数は 20 秒/層×4 層とした。ポットミキサによる混合は 130 l/バッチとしたため、1 バッチ 2 本の供試体しか作製できない。そのため 2 バッチを混合した。さらに、バッチ間の CSG 材の粒度の変動が圧縮強度に影響を与えることを配慮し、1 バッチごとに大型供試体 2 本 (計 4 本) を作製した。

室内試験の状況および大型供試体の養生時の状況を、写真一五、六にそれぞれ示す。

台形 CSG ダムにおいて、CSG の強度とは CSG の弾性



写真一七 CSG (140m³/hr)



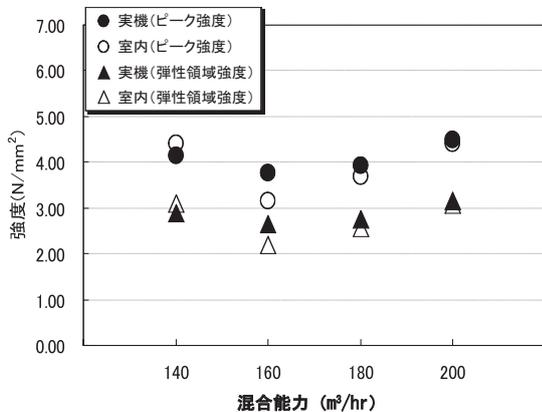
写真一八 CSG (200m³/hr)



写真一九 試料採取



写真一〇 供試体作製状況



図一四 圧縮強度試験結果比較 (平均値)

領域強度を示す。この弾性領域強度とは、一軸圧縮試験から得られる応力-ひずみ曲線の中で応力とひずみが直線関係にある範囲（弾性領域）内での最大応力のことである。

今回の試験では、実機試験と室内試験の強度比較として、この弾性領域強度と最大強度（ピーク強度）の両方を使用することにした。

(4) 実機試験

実機試験は、混合能力 140, 160, 180 および 200 m³/hr の 4 水準に対し、以下の項目①, ②を実施した。使用材料は室内試験と同様であり、このうち CSG 材についてはストックヤードから直接投入ホッパーへ投入した。

① 混合状況の確認

各試験水準にて混合した CSG を目視、およびフェノールフタレインの噴霧により、混合状況を確認した。このうち混合能力 140, 200 m³/hr の結果を写真一七, 八に示す。

フェノールフタレインの散布により、各試験水準とも散布した部分全面が赤紫色に着色し、CSG 材とセメントの混合が良好であることを確認した。

② 圧縮強度の確認

各試験水準における大型供試体の作製方法は、室内試験と同一とし、材齢 28 日で圧縮強度試験を行った。供試体作製までの状況を写真一九, 一〇に示す。

(5) 混合性能の評価・判定

実機試験および室内試験で得られた圧縮強度試験結果の各々平均値を図一四に示す。

混合能力 140 から 200 m³/hr において、CRT ミキサを用いた実機試験による圧縮強度は、同一材料を用いたポットミキサによる室内試験の圧縮強度と比較して、同等程度以上の強度発現の得られていることを確認した。

以上より、混合能力 200 m³/hr を目標として再構築した CRT ミキサシステムの混合能力確認試験および混合性能確認試験は共に良好な結果であり、実施工においても混合能力 200 m³/hr までの対応は可能であると判断した。

§ 4. システムの構築～性能確認 (その 2)

第 1 段階で実施したシステムの再構築により、混合能力 200 m³/hr までの混合性能は確保できていることを確認した。ここでは、第 1 段階で再構築したシステムに加え、CRT ミキサ内部の羽根を改造することにより、混合能力 200 m³/hr を目指した混合性能が確保されていることの確認を目的として実施した。

ただし、本試験は現場の工程上、第 1 段階で実施した試験のうち圧縮強度を確認する前の時点となるため、追加試験と位置づけて行ったものである。

4-1 システムの構築

ここでは、第 1 段階で再構築したシステムに対し、さらに CRT ミキサ内部の羽根を改造した。

羽根の改造仕様を図一五に示す。

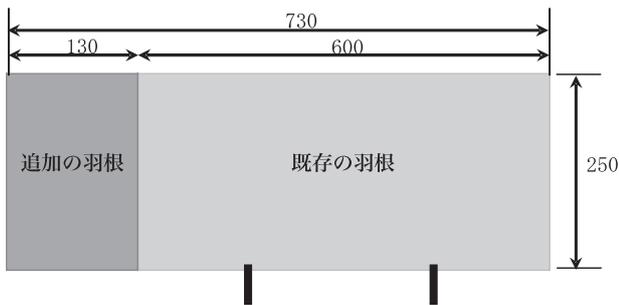
全ての既存の羽根に対し、追加パーツ（寸法 130×250 mm）を CRT ミキサの軸方向に延ばすように溶接して、羽根の面積を大きくした。羽根の改造前後の状況を、写真一十一～一十三に示す。

4-2 混合性能確認試験

(1) 試験水準

本試験は、混合速度を 180 および 200 m³/hr の 2 水準に絞り、水準毎に同一材料（CSG 材）を用いた実機試験と混合装置にポットミキサを用いた室内試験を 1 組とした。

また、2 水準とも実機試験で使用した CRT ミキサの回転数は、第 1 段階の混合性能確認試験で実施した 17 回転/分（50 Hz）の他に、新たに 21 回転/分（60 Hz）も実施した。試験水準を表一六に示す。



図一五 羽根の改造仕様

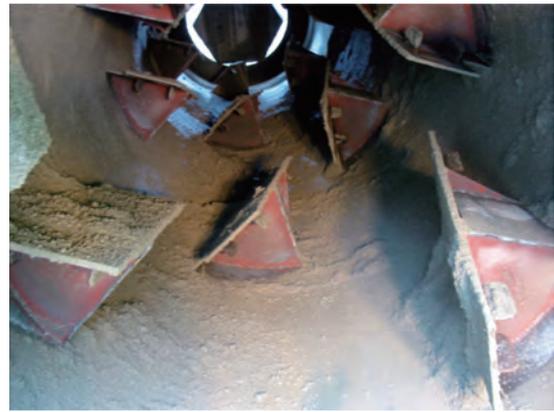


写真一11 改造前の羽根

写真一12 改造後の羽根



写真一13 改造後の状況



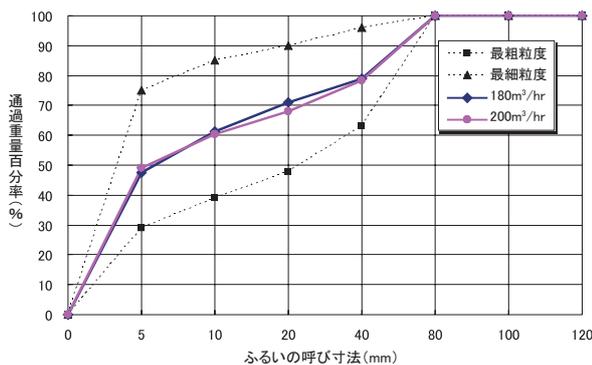
写真一14 ドラム内部のCSG 付着状況 (17回転)



写真一15 ドラム内部のCSG 付着状況 (21回転)

表一六 試験水準

試験 №	混合能力	CRTミキサ 回転数	実機試験	室内試験
1	180 (m ³ /hr)	17回転	1回	1回
2		21回転	1回	
3	200 (m ³ /hr)	17回転	1回	1回
4		21回転	1回	



図一六 粒度分布

(2) CSG 材物理試験

粒度試験は、180 m³/hr および 200 m³/hr 用にそれぞれ準備した CSG 材に対して行った。試験結果を図一六に示す。

試験で使用した CSG 材は、嘉瀬川ダム副ダムの本施工で使用した CSG 材であり、本施工の中で CSG 材粒度の日常管理として利用してきた最細粒度・最粗粒度の範囲内に収まっていることを確認した。

(3) 実機試験

① 混合能力 180 m³/hr

CRT ミキサを 17 回転/分とした場合、CRT ミキサ内部の羽根を改造する前の混合状況に比べ、改造後では羽根による材料のかき上げ量が多くなるように見受けられ、混合状況は良好であった。また、混合後の CRT ミキサ内部の付着状況は写真一四のとおりであった。ミキサ内部での CSG の付着量は少なく、付着状況は羽根の改造前（第 1 段階の試験結果）と同程度であった。この時点で羽根の改造は、効果的であるように見受けられた。

一方、CRT ミキサの回転数を 21 回転/分に増大して混合した場合、17 回転/分に比べ混合状況は荒っぽく見えた。17 回転/分と同一の CSG 材を用いた混合ではあったが、混合時の CRT ミキサ内部の付着状況は、写真一五に示すように付着量の非常に多い結果となった。



写真一六 ドラム内部のCSG 付着状況 (17回転)



写真一七 ドラム内部のCSG 付着状況 (21回転)

② 混合能力 200 m³/hr

CRT ミキサを 17 回転/分とした場合、羽根の改造前と比べて材料のかき上げ量が多く、混合能力 180 m³/hr の時と同様、混合状況は良好であった。また、CRT ミキサ内の付着状況は、羽根を改造する前と同様、付着量の少ないことを確認した。写真一六にその状況を示す。

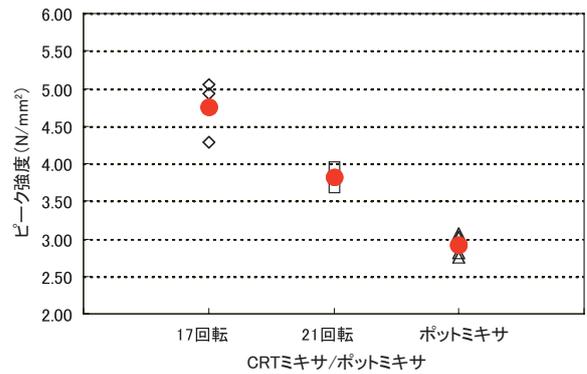
一方、回転数を 21 回転/分にした場合、混合状況は 17 回転/分に比べて非常に荒く、混合時の付着量も非常に多く、閉塞の懸念される状況であった。その状況を写真一七に示す。

(4) 混合性能の評価・判定

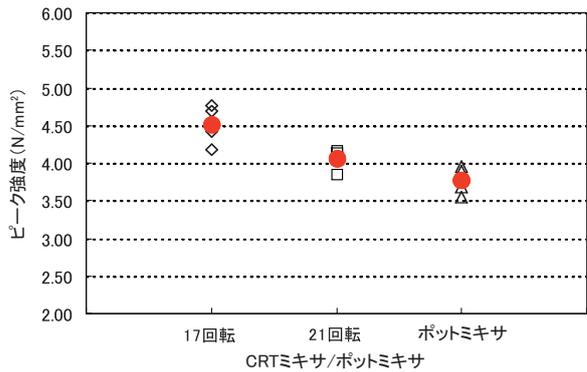
各混合能力に対し、CRT ミキサとポットミキサにより混合した CSG を用いて作製した大型供試体による圧縮強度の比較を行った。混合能力が 180 m³/hr、200 m³/hr の結果を図一七、八にそれぞれ示す。

180 m³/hr、200 m³/hr どちらの混合能力においても、CRT ミキサの回転数を 17 回転/分および 21 回転/分として混合した CSG の圧縮強度は、いずれもポットミキサよりも強度発現の大きいこと、また実機試験では 17 回転/分の方が 21 回転/分よりも強度発現の大きいことを確認した。

これらのことから、羽根を改造した CRT ミキサの混合性能は、ポットミキサよりも良好と判断できた。また



図一七 圧縮強度試験結果 (180m³/hr)



図一八 圧縮強度試験結果 (200m³/hr)

CRT ミキサの回転数による混合性能は、17 回転/分の方が 21 回転/分よりも良好と判断した。

§ 5. 結論

これまでに行った一連の試験結果より、再構築した CRT ミキサシステムは、混合能力 200 m³/hr に対応可能な混合性能を保有していることを確認した。

羽根の改造については、その効果として材料のかき上げ量が増え、混合性能はより改善されたように思われた。しかしながら、羽根の改造無しのシステム（第 1 段階で再構築したシステム）でも混合能力 200 m³/hr まで混合性能は確保できていることを考慮すると、今後の台形 CSG ダム工事への適用には、羽根の改造無しに再構築した第 1 段階のシステムで十分に対応可能と判断した。

そこで、第 1 段階の試験結果をもとに（財）ダム協会 CSG 工法用混合設備検討小委員会へ審査を依頼し、混合能力 200 m³/hr としての認定を受けることができた。

謝辞：今回実施した一連の CRT ミキサシステムの開発（能力向上）では、本社各部署をはじめ、九州支店嘉瀬川ダム副ダム出張所の方々の多大な御指導、御協力を戴いた。ここに深く謝意を表します。

参考文献

1) 財団法人ダム技術センター：台形 CSG ダム 施工・品質管理技術資料，平成 19 年 9 月