

CSGコンクリートの性状および製造設備

Characteristic of CSG Concrete and Development of a High Performance Continuous Mixer

木村 一正* 細川 雅一*
 Kazumasa Kimura Masakazu Hosokawa
 前田 薫* 新谷 寿教**
 Kaoru Maeda Toshinori Shinya

要 約

本工事は、建設省中部地方建設局発注の重力式コンクリートダムであり、6km下流に建設された長島ダムへの堆砂軽減を主目的にしている。この貯砂ダムでは日本で初めてコンクリートダムの内部コンクリートとしてCSG (Cemented Sand and Gravel) 工法が採用された。しかし、CSGはまだ発展途上にあり、永久構造物に適用するにあたってはいくつかの課題を抱えていた。これらの課題を解決するため、CSGの性状把握を目的として室内試験を行い、さらに合理的なセメントと砂礫材料を混合するための装置として回転ドラムミキサを考案し、この製造設備を用いてCSGコンクリートの性能試験を行った。この結果、高品質なCSGコンクリートを連続的に供給することが可能となった。本報告書では、CSGコンクリートの室内試験による性状の確認と対策・処置およびCSG製造設備について報告する。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. 配合試験
- § 4. 混合設備
- § 5. おわりに

§ 1. はじめに

大井川水系大井川本川根に、多目的ダムとして建設された長島ダムの計画堆砂量は、100年間堆砂量1,000万 m^3 で計画されている。しかし、上流に位置する既設ダムにおいては、それぞれのダムの計画を上回る速度で堆砂が進行した。既設ダムの堆砂実績を考慮して検討した結果、長島ダムにおいても約2,400万 m^3 /100年と計画を上回る堆砂量が予想された。このため、上流約6kmの貯水池内に貯砂ダムを建設し、貯砂ダムに堆砂させた土砂を排除(1,400万 m^3 /100年)することによりダムの貯水容量を確保することとした。

貯砂ダムの特徴としては、長島ダムの制限水位時には越流部より上部が水面に姿を現し、常時満水時には完全に水没するダムである (図-1)。

本工事の特徴としては、建設省土木研究所が中心となって開発したCSG工法が、日本で初めてコンクリートダムの内部コンクリートに採用されており、永久構造物に適用することに対し、いくつかの課題を抱えていた。そこで従来の仮設盛土材としてのCSG工法とは若干異なり、コンクリートダム打設手法の合理化を目指したRCD工法をもとに、材料の合理化を目的としたRCD工法の改良型を提案するといった観点から業務を進めた。

§ 2. 工事概要

- (1) 工 事 名 長島ダム貯砂ダム建設工事
- (2) 発 注 者 建設省中部地方建設局
- (3) 施 工 者 西松・戸田特定建設工事共同企業体
- (4) 工 期 平成9年3月12日～平成12年3月3日
- (5) 工事場所 静岡県榛原郡本川根町大字犬間地先～梅地地先
- (6) 貯砂ダム諸元
 - 重力式コンクリートダム
 - ・ 堤 高 33.0m
 - ・ 堤頂長 127.0m
 - ・ 堤体積 54,000 m^3
 - 仮排水路トンネル
 - ・ 延 長 239.8m
 - ・ 内空断面積 15.8 m^2

* 中部 (支) 長島貯砂ダム (出)

** 技術研究所技術研究部土木技術研究課

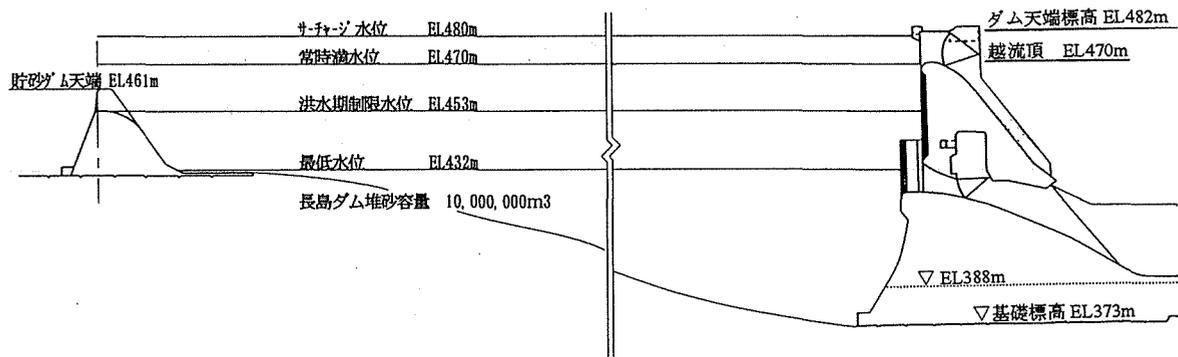


図-1 長島ダムと貯砂ダムの位置関係

§ 3. 配合試験

3-1 室内試験の経緯

当初計画ではCSGコンクリート(以下、CSGと略す)用骨材はダムサイト上下流の大井川河床部から採取した河床砂礫を粒径150mmで分級し、150mm以下の材料を自然粒度のまま使用する仕様になっていた。また、CSGの製造設備として一般に骨材プラントで緩衝用シュートとして用いられているロックラダーを利用した連続混合設備が計画されていた。

しかし、ロックラダーによる連続混合試験を行ったところ、バッチミキサによる練混ぜ性能に比べ混合物中のセメント量のバラツキが非常に大きく、また製造されたコンクリートのコンシステンシーも悪く、単位水量を増加させると材料の分離が生じた。

この結果から、ロックラダーでは十分な混合ができないことが判明した。さらに、施工に適したコンシステンシーが得られない原因として使用材料の性状(特に砂礫材の粒度)や単位水量などが考えられた。そこで、CSGの連続混合設備については当企業体主体でこれに適した装置の開発をするとともに、貯砂ダムCSGの基本性状の把握と本体部コンクリートに使用できる配合を確立する目的で、現場から採取した砂礫材と小型の傾胴式ミキサを用いて室内試験を行うこととした。

3-2 室内試験と結果

(1) 砂礫材の粒度、単位水量を変化させた試験

① 試験の目的

CSGコンクリートでは現地発生の砂礫材を調整することなく使用することが考えられていた。しかし、一定粒度の砂礫材が安定供給されるとは限らない。

そこで、1) 骨材の粒度分布 2) 単位水量の変化がVC値・単位容積質量・圧縮強度に与える影響について検討した。今回試験の対象とした粒度分布は過去に行われたふるい分け試験結果から決定し、試験は細粒・中粒・粗粒の3種類で行った。

② 試験の結果

試験練りでは、各粒度分布において小型試験器によるVC値が20±10秒になるような単位水量の範囲を見極め

ることと、圧縮強度の確認に主眼をおいた。また、セメントは高炉セメントB種を用い、単位セメント量は100kg/m³とした。

試験結果は表-1のとおりであり、下記の事項が確認できた。

- 1)各粒度において、所要のVC値を得るための単位水量の範囲が狭い。これは砂礫材中の微粒砂が不足しているためと考えられる。
- 2)砂礫材の粒度が異なると所要のVC値を得るための単位水量が大きく変化する。
- 3)単位セメント量100kg/m³を添加した場合、十分な練り混ぜを行うことによって、材齢28日で7N/mm²以上の強度が得られる。

表-1 砂礫材の粒度、単位水量を変化させた試験

粒度	単位水量 (kg/m³)	VC値 (秒)	単位容積質量 (kg/m³)	コンクリート温度 (°C)	圧縮強度(N/mm²)		
					σ7	σ28	σ91
細粒	100	60超	2,340	16	3	7	9
	105	60超	2,370	21	3	7	9
	110	25	2,380	20	2	8	9
	115	7	2,380	20	3	7	9
	120	5	2,360	19	3	8	10
中粒	90	42	2,400	20	4	10	12
	95	14	2,410	19	3	8	9
	100	5	2,420	18	4	8	11
	105	8	2,400	15	3	7	10
	110	8	2,380	20	3	7	10
	120	4	2,390	21	3	8	10
粗粒	70	60超	2,370	20	6	12	17
	75	49	2,420	15	5	11	15
	80	11	2,350	21	5	10	15
	90	2	2,410	21	5	10	14
	110	1	2,430	18	3	7	10

(2) 細粒砂を添加した試験

① 試験の目的

(1)の試験結果から、現地採取の砂礫材料は従来のRCDコンクリートに用いられる材料に比べて微粒部分が不足していることが確認できた。

そこで、長島ダム本体の上流から粗粒率が1.3程度の非常に細かい砂が採取できることが判明したので、この材料を粒度改善材として用いることについての検討を行った。

② 試験の結果

細粒砂の添加量は、50kg/m³、100kg/m³、150kg/m³の3ケースとした。

試験結果は表-2に示すとおりであり、また単位水量とVC値の関係・所要VC値(20秒)を得るための添加量と単位水量との関係の1例をそれぞれ図-2, 図-3に示す。この試験から、CSGとしてのフレッシュ性状および硬化性状を改善するためには、細粒砂の添加量を粗粒・中粒砂礫材に対して100kg/m³、細粒砂礫材に対して50kg/m³程度とするのが適当と考えられる。

表-2 細粒砂を添加した試験

粒度	添加量	単位水量	VC値	単位質量	圧縮強度(N/mm ²)	
	(kg/m ³)	(kg/m ³)			(秒)	(kg/m ³)
粗粒	50	80	27	2,460	7	16
	100	80	18	2,390	8	16
	150	80	12	2,450	6	16
中粒	50	95	22	2,430	4	10
	100	85	20	2,430	6	12
	150	95	18	2,400	4	11
細粒	50	90	16	2,390	4	9
	100	105	26	2,400	3	8
	150	105	21	2,360	3	8

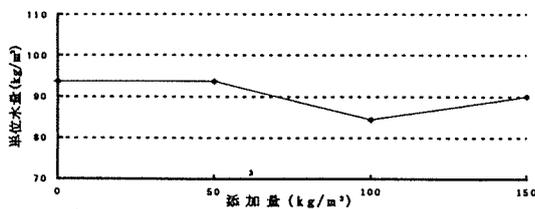


図-2 添加量と単位水量の関係 (中粒)

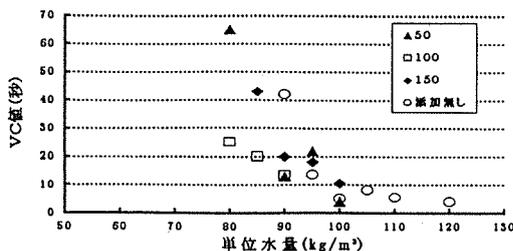


図-3 単位水量とVC値の関係 (中粒)

(3) 2分級した砂礫材を用いた試験

① 試験の目的

以上の試験結果から、微粒分を加えることによりコンクリートの性状を改善できることが確認できた。図-4に現地で採取した砂礫材の粒度分布を示す。この図から採取する砂礫材の粒度に大きなバラツキが見られ、砂礫材の粒度が異なると同一コンシステンシーを得るための単位水量も大きく異なるため実施工での品質管理が困難となることが予想された。さらに、ストックヤードに運ばれた砂礫材は表面水率の管理も困難となる。

これらのことから、本施工におけるCSGで用いる砂礫材は『2分級して用いるのもやむを得ない』という結論に至った。5mmで分級して粗骨材と細骨材とに分けて用いるのが理想的であるが、最大寸法150mmの砂礫材を乾式で5mmに分級することは困難である。そこで0~20mm, 20~150mmで2分級することに決定した(図-5)。

150mm骨材と20mm骨材との比を、5:5および4:6に変化させた配合について性状試験を行い最適混合率の選

定を行った。

② 試験の結果

現地発生材を有効に利用するためには、5:5の比率での使用が効果的であるが、既往のRCDコンクリートの配合では4:6での粒度分布に相当する。

試験結果は表-3に示す通りであり、両者にあまり差が見受けられなかったため混合比を5:5とした。

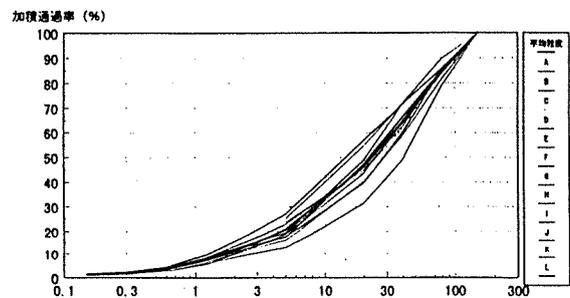


図-4 母材の粒度分布

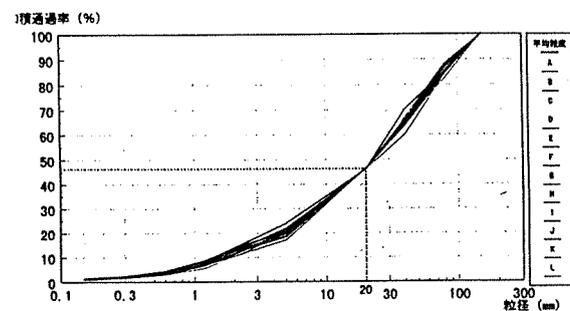


図-5 20mmで分級再混合した粒度分布

表-3 2分級砂礫材を用いた練混ぜ試験結果

混合比率	分級サイズ	細粒砂 添加剤	単位水量	VC値	単位容積 質量	圧縮強度		
						(kg/m ³)	(秒)	(t/m ³)
0~20: 20~150	20	100	90	5	2.42	6.93	14.75	19.05
			85	16	2.46	2.26	11.96	16.08
			80	25	2.42	5.82	10.62	12.35
			75	41	2.42	6.26	11.97	15.04
40:60	20	100	90	11	2.40	5.11	10.49	13.40
			85	18	2.41	5.15	11.01	15.82
			80	28	2.40	5.32	10.86	13.92
			75	45	2.39	4.27	8.34	9.91

(4) 示方配合(案)の選定

さらに、粗骨材の粒度・細骨材率を変化させた配合について試験を行ったが、VC値には細骨材率が大きく影響し、粗骨材の粒度の影響はさほどないことが判った。以上の試験結果からCSGの示方配合として表-4を選定した。

表-4 示方配合(案)

セメント	水	150-20mm骨材	20-150mm骨材	細粒砂
(kg/U)	(kg/U)	(kg/U)	(kg/U)	(kg/U)
100	80	1,100	1,100	100

注1) kg/Uは、骨材2,200kg当たりの配合である。
注2) 練り上がり量は約1.07m³となる。

3-3 実機試験

室内試験によりCSGの基本配合について試験を行った。しかし、実施工では新規に開発する回転ドラムミキサで連続的に製造するため、室内試験とは異なるコンクリートとなることも考えられる。そこで実機を用いたCSG性状試験を行った。

(1) 単位セメント量を変化させた試験

CSG実機試験において単位セメント量Wを80kg/U、90kg/U、100kg/Uと変化させた試験を行った結果、単位水量とVC値の関係は、単位セメント量が少なくなると同一VC値を得るために必要な水量は多くなる傾向がみられる。

単位水量と圧縮強度の関係については、圧縮強度は単位水量が多いほど小さくなる傾向がみられ、圧縮強度が最大となる単位水量は、単位セメント量が多いほど小さくなる傾向がある。単位セメント量(C)が100kg/Uの場合は単位水量(W)85kg/U、C=90kg/Uの場合W=90kg/Uで圧縮強度の最大値がみられる。また、C=80kg/Uでは最大値がみられなかったが、W=95kg/U以上に最大値があると推定される。なお、いずれの単位セメント量においても配合強度6N/mm²を満足している(図-6)。

単位容積質量はいずれの単位水量においても、単位セメント量が多いほど大きくなる傾向である。また、単位容積質量2.3t/m³を上回る単位水量は、C=100kg/UではW=75kg/U、C=90kg/UではW=80kg/U、C=80kg/UではW=90kg/U程度であった(図-7)。

圧縮強度とVC値の関係は、単位セメント量によって若干の差があるもののVC値が大きくなるほど圧縮強度が小さくなる傾向がある。

単位容積質量とVC値の関係は、単位セメント量による差はないがVC値が小さくなると単位容積質量が大きくなる傾向が見られる。VC値が15秒程度であれば単位セメント量に関係なく2.3t/m³を上回っている(図-8)。

単位容積質量と圧縮強度の関係は単位セメント量に若干の差はあるものの単位容積質量が大きいかほど圧縮強度が大きくなる傾向が見られる。

以上の結果から、配合強度6N/mm²および単位容積質量2.3t/m³を満足するためにはW=85kg/U以上がよく、単位セメント量は90kg/Uまたは100kg/Uがよいことが判った。

VC値10秒を目標とすると必要な単位水量は、C=100kg/UでW=83kg/U、C=90kg/UでW=90kg/U、C=80kg/UでW=89kg/Uとなることが判った。

(2) 経時変化試験

室内試験においてVC値の経時変化試験を行った結果、W=85kg/U以下の場合放置時間が1~1.5時間後にはVC値の急激な上昇が見受けられ、W=90kg/U以上では3時間後でもVC値50秒程度という結果を得た(図-9)。

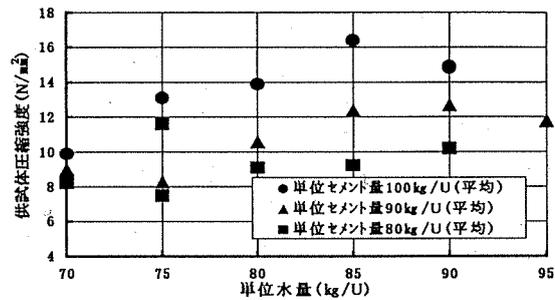


図-6 単位水量と圧縮強度

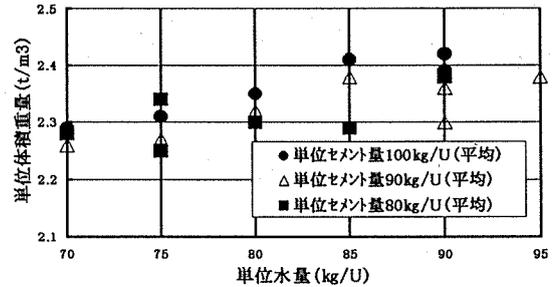


図-7 単位水量と単位容積質量

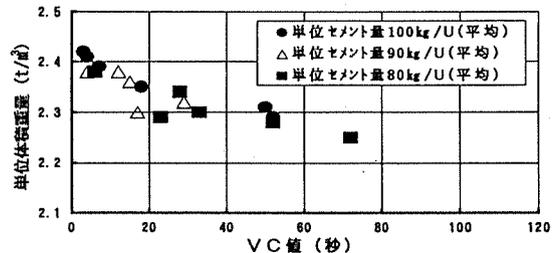


図-8 単位容積質量と圧縮強度

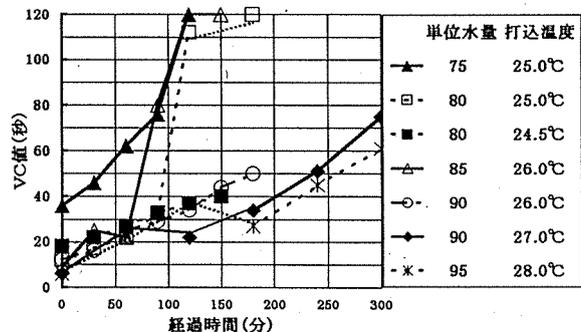


図-9 VC値の経時変化

表-5 現場配合

区分	項目	備考
骨材	骨材	河床砂礫
	分級	2分級
	混合比	50:50
添加剤	細砂	FML.3程度
現場配合	最大粗骨材寸法	150mm
	単位セメント量	90kg/U
	単位水量	90kg/U
	細砂添加量	100kg/U
	目標VC値	5~20秒

実施工の施工時間を考えると単位水量は90kg/U以上がよいと考えられ、練り上がりのVC値を10秒程度に抑える必要があることが判った。

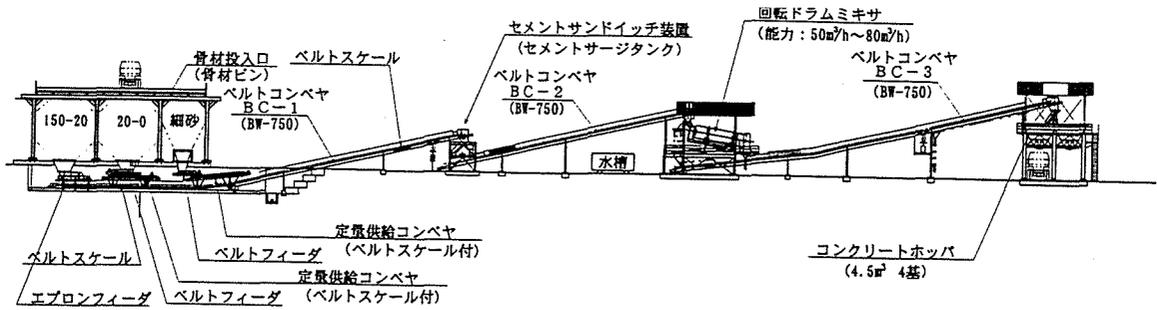


図-10 CSG製造設備側面図

3-4 現場配合の決定

室内試験から選定した示方配合をもとに実機試験を行った結果、表-5に示すと通りの現場配合に決定した。

§ 4. 混合設備

本工事は、当初ロックラダーを用いた混合設備にて設計されていたが、安定した混合ができないことから、連続的に80m³/hのCSGが製造できる設備として回転ドラムミキサを搭載したCSG製造設備を開発した(図-10)。

4-1 乾式骨材分級設備

CSGに使用する骨材は現地発生材(河床砂礫)をそのまま使用する予定であったが、室内試験の結果RCDコンクリートなみの管理を行う上でバラツキが大きく管理しがたいものであった。ストックヤードに仮置きを行う際にパイリングも検討したが、粒度が明確に把握できている材料が大量にある場合に可能な方法であり、本工事のように採取箇所により粒度分布が異なる材料ではバラツキは避けられなかった。このままでは、セメント量が増大し、経済的ではないことが判明し、20mmで分級した。すなわち、仮置き材料の粒度調査を行い、材料の粒度分布のバラツキから判断し、分級後の粒度分布のバラツキが最小になり、かつ、混合比率が1:1になるように20mmにて2分級を行った。

骨材分級設備は乾式傾斜型2床式(上40mmと下20mm)とし、50m³/hの分級能力を持つ。

4-2 CSG製造設備

CSG製造設備は、回転ドラムミキサを中心に骨材ビン、セメント供給装置、混練水加水装置、4連ホッパ、すべてを一連につなぐベルトコンベヤにて構成される。

CSG製造設備開発に伴い、各箇所の改良点は以下に記す。

(1) 回転ドラムミキサ

① 当初

ドラム内の攪拌羽根を進行方向に平行に8本設置したが、モルタル分の付着が多く大玉が先行し材料分離が激しい。

② 1回目改造

8枚の羽根を4枚にし、千鳥に配置したが、まだモルタ

ル分の付着が多く滞留時間が短い。

③ 2回目改造

出口の羽根を4枚、他の羽根を2枚にした、モルタル分の付着は少なくなったが、滞留時間が40秒と練り混ぜ時間が短い。

④ 3回目改造

羽根3枚を回転逆方向に設置し、羽根を50°傾け、なおかつドラム円周から10cm浮かせた。

その結果、モルタルの付着は少なく、滞留時間も飛躍的に伸びたが、小砂利が早く出てきた。

⑤ 4回目改造

ミキサ入口にスパイラル状の板を設置し、投入時の落下による勢いを減少させた。その結果、滞留時間も90秒(ドラム角6度、回転数10回転/min)となり、小砂利の出を遅くすることができ、高品質なCSGを製造できた(図-11、写真-1)。

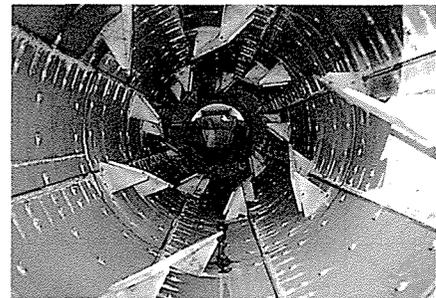


写真-1 回転ドラムミキサ内部

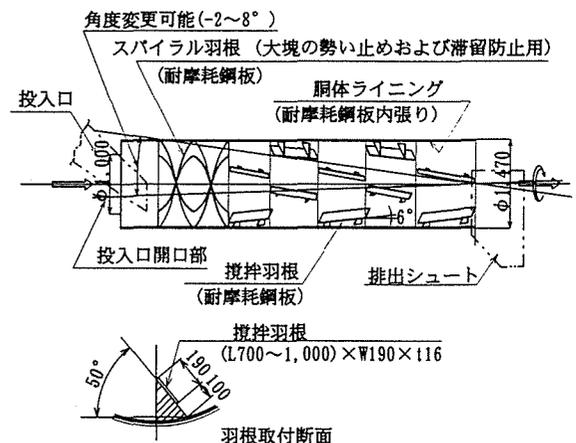


図-11 回転ドラムミキサ(改良後)

(2) セメント供給装置

本工事の回転ドラムミキサはバッチ式ミキサと異なる連続混合であるため、セメントの供給も連続でなければならない。また、セメント添加量が90kg/Uと少ないため、セメントの安定供給が求められた。当初、セメントサージタンクよりスクリューフイダにて引出添加したが、安定した供給ができなかった。原因として、サージタンク内のセメントの圧縮度の違いや引き抜き時にできる空洞が考えられた。改良として、サージタンク内に攪拌翼（FB-4.5×38×4枚）を3ヶ所取付け、その攪拌翼で攪拌することにより、セメントの圧縮度の一定化をはかり、攪拌翼の上部にバーをかけることでセメントサイロからの供給時の影響を抑えた。結果、スクリューフイダの周波数（回転数）を変えることによりセメントの定量供給が可能となった。また、設置後の計量試験の結果、周波数（回転数）によるセメントの供給量の関係が比例

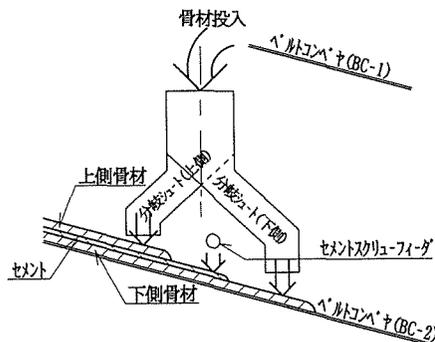


図-14 セメントサンドイッチ装置

及ぼす影響が大きい。そこで、変化の少ない骨材（150-20mm）は炉乾燥法にて1回/日の計測、表面水の多い骨材（20-0mm）においては骨材ピンからの引出部に取り付けた連続計測のRI式水分計により計量し、加水装置の電磁バルブおよび電磁流量計で管理する。

(5) 操作および材料計量システム

操作は中央操作盤による連動運転、および現場操作スイッチによる単独運転である。

中央操作盤はグラフィック式タッチパネルを採用し運転状況や電流値、運搬量、ホッパーレベル、故障内容を一目で把握できる。

骨材供給の自動運転は、骨材表乾重量を設定し、各骨材の切出量を自動調整し、各骨材別に取り付けたベルトスケールにより各骨材の切出量を計量確認する。

ベルトコンベヤ(BC-1, 図-14参照)に取り付けたベルトスケール（骨材総重量）の計量値により、セメントおよび混練水の量を決定する。またベルト速度のタイムラグを利用し、BC-1ベルトスケール通過骨材に添加する。

§5. おわりに

日本ではじめてCSGコンクリートを永久構造物に適用するに当たって、基本配合・練混ぜ方法から品質管理にいたるまで、試行錯誤の末『RCDと同等の品質』という評価を得る貯砂ダムCSGを確立することができた。

その後の試験施工により転圧仕様の他、施工仕様も決定し、本体コンクリート打設においては大きなトラブルもなく順調に打設工程を消化し、平成11年12月3日に無事CSGを打設完了することができた。

今回の結果から、今後コンクリートダムにおいてCSG工法が合理化施工の一翼を担うことは十分期待でき、非常に大きな成果であったと考えている。

また、CSG製造設備の内、セメントサンドイッチ構造は特許を取得し、製造設備一連としては(財)国土開発技術研究センターの技術審査に申請中である。

最後にCSGの性状把握から確立まで、多大な御指導御協力をいただいた建設省長島ダム工事事務所・建設省土木研究所・西松建設(株)技術研究所およびダム委員会他関係各位に深く感謝致します。

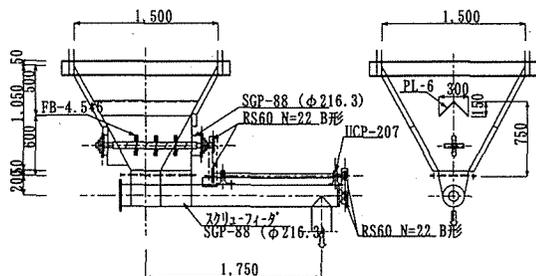


図-12 セメントサージタンク (改良後)

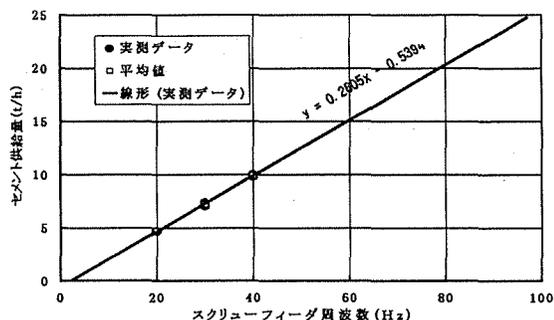


図-13 セメントサージタンク (改良後)

の関係を示した (図-12, 13)。

(3) セメントサンドイッチ装置

CSGは前節にも述べたようにセメントの添加量が少ない。また、セメント添加後にベルトコンベヤにて回転ドラムミキサに運搬するので、セメントの飛散による品質の低下が懸念された。改良方法として、セメント添加時に骨材を2分級し、骨材の間にセメントを挟みプレミックスを行った。その結果、セメントの飛散もなく良好な運搬が出来た (図-14)。

(4) 加水装置

CSGはセメント同様混練水が少ないので、VC管理を行う上で混練水管理が直接CSGの品質管理であると言える。そのため骨材（特に20-0mm）の表面水が加水量に