

滝沢ダムにおける新工法への取組み

—CSG プラント及び SP-TOM を採用した新しいダムコンクリート施工法—

今村利博

水資源開発公団が荒川上流において建設を進めている滝沢ダム（総貯水容量 6,300 万 m³、堤体積約 180 万 m³ の重力式コンクリートダム）では、CSG（Cemented Sand and Gravel）を大量かつ連続製造する CSG プラントを開発し、高さ 9 m、延長約 1 km（CSG 材使用量約 115,000 m³）の開水路を短期間で施工した。また、コンクリートや土石類を連続して大量に運搬する新しい運搬工法 SP-TOM（Spiral Pipe Transportation Method）の実証実験及び減勢工コンクリートの実打設を行っているもので、本報文ではこれらの開発の経緯、装置及び稼働状況などについて概要を報告するものである。

キーワード：ダム、施工設備、コンクリート運搬設備、CSG、SP-TOM

1. はじめに

滝沢ダムでは、貯水池周辺地すべり対策工の一環として押え盛土工事（約 130 万 m³）を施工した。この施工にあたり河川の転流工（対象流量 840 m³/s）を必要としたため種々検討した結果、現地発生材の有効利用を図る観点からダム本体掘削ずりを利用した CSG（Cemented Sand and Gravel）工法により開水路を施工した。

開水路を完成させるために必要な CSG は全体で約 115,000 m³ であり、そのなかで工期的制約から 3 ヶ月間で 80,000 m³ を施工する必要があったため、最大 125 m³/h を製造可能な CSG プラントを新しく開発したものである。

また、滝沢ダムのコンクリート運搬は、本体コンクリートを 13.5 t の固定式ケーブルクレーン 3 基、減勢工を新しいコンクリート運搬工法 SP-TOM（Spiral Pipe Transportation Method）を用いて行っている。

当初計画において減勢工コンクリート運搬は、ダンプロック直送（一般道 2.2 km を経て）にて行う計画であった。しかし、新しい運搬工法 SP-TOM が開発されたので、事業費縮減対策としてダム本体コンクリート打設用としての採用を、実証実験を含め総合的に検討したもので、本体コンクリート打設用としては採用を見送ったが、減勢工打設用として採用したものである。

本報文ではこれらの開発の経緯、装置および稼働状況などについて概要を報告する。

2. CSG プラント

(1) CSG プラントの特徴

滝沢ダムでは大量（約 115,000 m³）の CSG を製造し、かつ時間最大 125 m³ の施工を可能としないことからは、CSG プラントの開発目標は、発生材料を最大限に利用し大量かつ連続した CSG の製造が可能であること、CSG 製造コストを抑えること、CSG を均質に練混ぜること、とした。

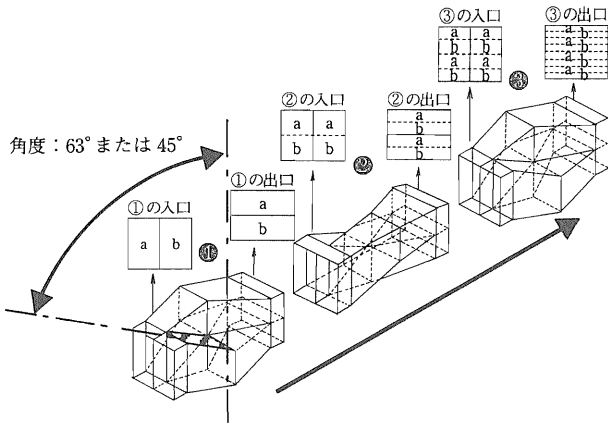
滝沢ダムで開発した CSG プラントの特徴をまとめると次のとおりである。

① 連続して練混ぜが可能なミキサとして図-1 の MY-BOX を使用する。

MY-BOX とは、二つのねじれた構造の箱を組合わせて使用し、ユニット内に材料を落下させることによって練混ぜを行う重力を利用したミキサである。重力エネルギーを利用して練混ぜを行うことから、練混ぜそのものにエネルギーを消費しないので CSG 製造にかかるコストを抑えることができる。

② 材料のばらつきを抑え、セメントを均一に練混ぜるため、投入設備を 2 系列、MY-BOX を 2 基とする。

プラントは、CSG 材を 80~20 mm と 20~0 mm に分け、引出し量を調整することにより粒



入口が縦長で出口が横長の2つの経路を有したユニットから構成される。MY-BOXの形状は入口の寸法と斜線の部材の角度で定義され、角度については63°と45°が標準となっている。

図-1 MY-BOX 構造

度のばらつきを抑えることが出来る。また、MY-BOXを2回通過させることによりセメントの均一な練混ぜを図るものである。

(2) CSG プラント装置概要

CSG プラントの全景を写真-1に、フローシートおよび平面配置図を図-2、プラント制御システムのフローを図-3に示す。

CSG プラントは、CSG 材供給装置、セメント供給装置、CSG 材とセメントの練混ぜ装置、加水装置および CSG 材を運搬するベルトコンベヤならびにコンベヤスケールを用いた計量装置、制御装置から構成されている。

CSG 材供給装置は、80~20 mm CSG 材と 20~0 mm CSG 材の2系統から構成される。20~0 mm

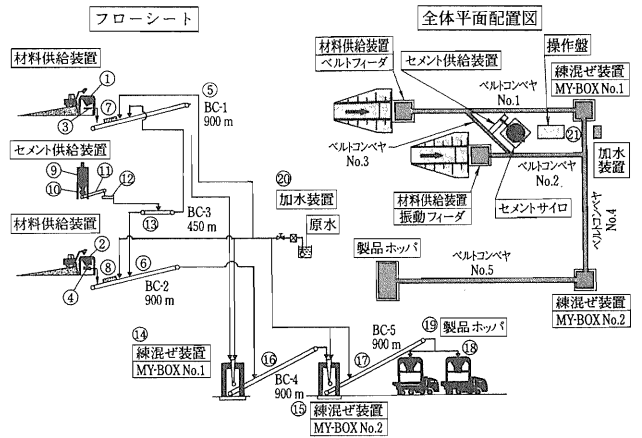


図-2 フローシートおよび平面配置図

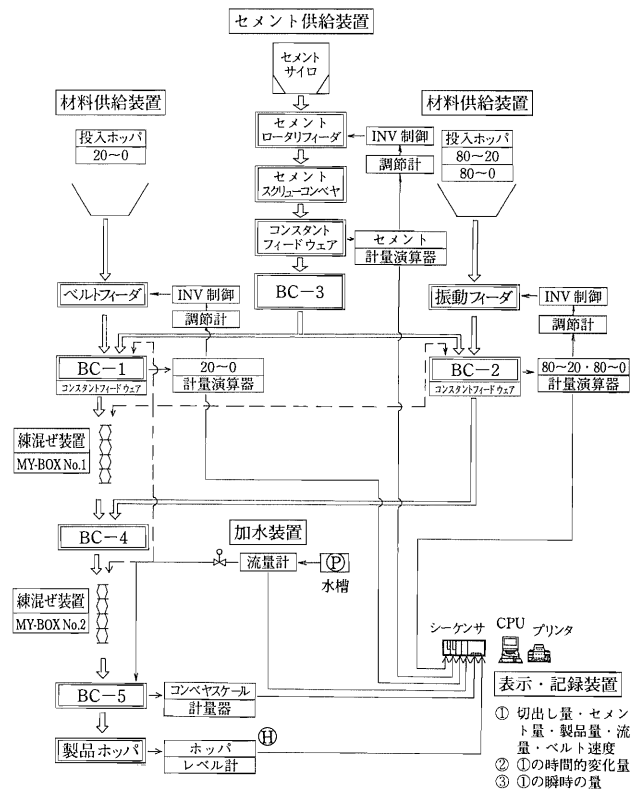


図-3 プラント制御システムのフロー

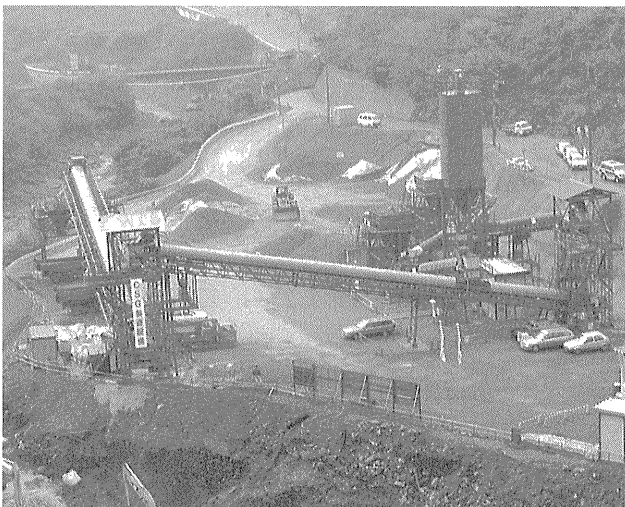


写真-1 CSG プラント全景

CSG 材の引出しにはベルトフィーダを採用し、設備能力の50%を供給できる規模とした。80~20 mmの引出しには振動フィーダを採用し、設備能力は80~0 mmのCSG 材単独での製造も考慮しCSG 材の100%を供給できる規模とした。

セメント供給装置は、セメントサイロ、ロータリフィーダ、スクリュコンベヤから構成される。

練混ぜ装置は、MY-BOX No.1とMY-BOX No.2から構成される。MY-BOX No.1は、20~0 mm CSG 材とセメントを練混ぜるために用いるもので、 400×400 (入口の断面寸法が400 mm \times 400 mm で

表-1 プラント稼働状況一覧

No.	期 間	使用材料 I : 掘削ずり II : 河床砂礫	混合比 (%)				系列数	平均 製造量 (m³/日)	平均 稼働 時間 (h/日)	平均 停止 回数 (回/日)	平均 停止 時間 (min/日)	稼働 率 (A-B)/A (%)	CSG 製造 1,000 m³ 当り							
			河床 砂礫 80~0 mm	掘削ずり									停止回数 (回)				停止時間 (min)			
				80~20 mm	60~20 mm	20~0 mm							MY- BOX	材料 詰り	機械 異常	合計	MY- BOX	材料 詰り	機械 異常	合計
①	12/16~1/8	I	—	50~60	—	50~40	2	468	7.3	5.3	101	77	0.3	8.7	3.6	12.6	6	142	91	239
②	1/9~1/31	I + II	50~40	25~40	—	20~30	2	1,332	12.2	6.8	80	89	0.5	2.2	2.3	5.0	13	20	26	59
③	2/1~2/21	I + II	50	20~30	—	30~20	2	1,430	13.1	5.2	55	93	1.7	0.6	1.4	3.7	21	5	13	39
④	2/22~3/7	I + II	50	20	—	30	2	1,246	12.1	6.5	56	92	3.1	0.8	1.3	5.2	30	7	9	46
⑤	3/8~4/8	I + II	50	20	—	30	2	985	9.5	1.7	20	96	0.4	0.3	1.0	1.7	4	2	19	25
⑥	4/10~4/22	I	—	80~0 mm の材料で製造		—	1	721	8.5	1.3	17	97	0.3	0.3	1.3	1.9	4	1	18	23
⑦	4/25~5/17	I + II	50	20	—	30	2	942	9.9	3.5	45	92	2.0	1.1	0.6	3.7	31	9	7	47
⑧	5/18~5/22	I	—	50	—	50	2	839	10.9	6.3	127	81	1.2	4.0	2.5	7.7	32	40	122	194
⑨	5/24~5/27	I + II	20	40	—	40	2	931	10.3	7.4	106	83	1.7	3.0	3.2	7.9	26	31	57	114
⑩	5/31~6/3	I	—	—	40	60	2	487	6.7	3.0	31	92	0.5	4.6	1.0	6.1	7	39	17	63
平 均								938	10	4.7	64	89	1.2	2.6	1.8	5.6	17	30	38	85

ある)とした。MY-BOX No.2 は、80~20 mm CSG 材と MY-BOX No.1 練混ぜ後の CSG 材との練混ぜに用いるもので、 $\square 500 \times 500$ とした。なお、MY-BOX の入口の断面寸法は CSG 材が閉塞することなく通過するために最大粒径の6倍を標準とされていることから、MY-BOX No.2 の入口断面寸法は 500 mm (80 mm の6倍)を選定した。また、MY-BOX は、45°と63°のものを製作したが試験施工の結果45°のものは閉塞しやすかったため本施工では63°のものを4個組合わせて使用した。

加水装置は、当初 MY-BOX の投入口で加水し、CSG 材、セメント、水を同時に練混ぜることを考え、各 MY-BOX の投入口に設置したが、試験施工の結果、水を同時に練混ぜると MY-BOX 内に CSG 材が付着し閉塞することが判明したため、本施工において MY-BOX No.2 通過後の BC-5 ベルトコンベヤ上で加水した。

制御システムは、CSG 材とセメントの切出し量を精度よく管理するため、各フィーダから切出された CSG 材とセメントのそれぞれの質量をコンスタントフィードウェアによりリアルタイムに直接計量し、この情報をフィードバックし、あらかじめ設定された CSG 材とセメントの切出し量に合うように各フィーダの速度制御を行えるものとした。また、コンベヤスケールによる CSG 材およびセメントの各計量値、流量計による加水量の計測値をリアルタイムでパソコン画面上に連続的に表示させることで、プラント稼働状況を集中監視し、材料の供給異常等による品質不良の発生を未然に防止することとした。

(3) CSG プラント稼働状況

表-1 にプラント稼働状況を示す。

表中の混合比とは、掘削ずり 80~20 mm、20~0 mm および河床砂礫 80~0 mm の各 CSG 材の配合割合を表したものである。

施工開始からしばらくの間(1/8まで)は、掘削ずりのみを使用して CSG を製造した。しかし材料目詰まりのため頻繁にプラントが停止したので、掘削ずりに加えて河床砂礫 80~0 mm を CSG 材として用いることとした。この場合には河床砂礫 80~0 mm と掘削ずり 80~20 mm の各 CSG 材を交互に No.2 投入ホッパに投入している。

表中の2系列とは、80~20 mm と 20~0 mm とに分けた CSG 材を各投入ホッパに投入し、MY-BOX No.1 および No.2 を使用し CSG を製造する場合であり、1系列とは、80~0 mm の CSG 材を No.2 投入ホッパに投入し、MY-BOX No.2 のみを使用して CSG を製造する場合である。

掘削ずりだけを使用した時期は、プラント平均稼働時間 7.3 h/日に対して平均停止回数は 5.3 回/日、平均停止時間は 1.7 h/日(停止率 23%)である。CSG 材として河床砂礫も加えた後(1/9~1/31)は、プラント平均稼働時間 12.2 h/日に対して平均停止回数は 6.8 回/日、平均停止時間は 1.3 h/日(停止率 10%)である。その後、3月までの1日当たりの CSG 製造量は 1,000 m³ を超えているがプラント停止時間は増えることなく、減少傾向にある。

表中の CSG 製造 1,000 m³ 当りの停止回数および停止時間は、停止原因別に分類したもので、「MY-BOX」とは、MY-BOX における材料の目詰まり、材料詰ま

りとは、ホッパやシュート部など MY-BOX 以外の目詰まり、「機械異常」とは、装置の誤作動や故障等によるプラントの停止を示したものである。

掘削ずりだけを使用した期間は、 $-74\mu\text{m}$ ($74\mu\text{m}$ 篩通過)が多く含水比も高かったことから材料目詰まりが頻繁に発生し、停止時間が4時間(2.5時間は材料目詰まり)に達した。河床砂礫を CSG 材に加えてからは、 $-74\mu\text{m}$ が低下したことで材料目詰まりが減少し、平均1時間(0.5時間は材料目詰まり)以下に改善できた。

CSG の製造能力は、当初計画の目標製造能力 $125\text{ m}^3/\text{h}$ に対して、材料目詰まり及び機械異常を除くと $122\text{ m}^3/\text{h}$ ($1/9\sim 1/31$ の CSG 平均製造量を実稼働時間で除したものを)製造していることから、計画能力をほぼ満足している。

(4) CSG プラントに対する評価

(a) 連続ミキサとしての性能

連続ミキサとしての性能評価項目には、CSG の品質と製造能力がある。

CSG の品質については開水路として十分な機能を果たしていることから十分満足できる結果を得たと考えられる。

製造能力は、目標製造能力に対して満足しているが、CSG 材の粒度特性および含水比がプラント稼働率に大きな影響を与えた。連続ミキサとしては、MY-BOX の投入部で水を加え、骨材、セメントと同時に練混ぜることが理想的であるため、目詰まりを生じない構造の開発が必要である。

(b) MY-BOX を2系列としたこと

材料のばらつきを抑え、セメントを均一に練混ぜるため、投入設備を2系列、MY-BOX を2基とした。

$-74\mu\text{m}$ が多く含水比が高い材料では粘性が高く CSG プラントの各設備で材料目詰まりが発生した。しかし、CSG プラントを2系列としたことにより、 $80\sim 20\text{ mm}$ と $20\sim 0\text{ mm}$ の各 CSG 材の混合割合を容易に変えられるとともに河床砂礫の併用も容易に行え、間接的にはあるが $-74\mu\text{m}$ を一定範囲に管理することができ、材料全体のばらつきも小さく抑えることができた。

しかし、セメントがどれくらい均一に練混ぜられたのか定量的に評価することができなかつたため MY-BOX を2基としたことがセメントの練混ぜに与える影響については把握できていない。

(c) プラント稼働率

施工当初は、CSG 材の $-74\mu\text{m}$ が多く含水比も高

かったため材料目詰まりなどが発生し、稼働率は7%と低かった。その後、河床砂礫を併用することで $-74\mu\text{m}$ が低下、稼働率は向上し全体平均で89%(表—1)まで向上した。

CSG の施工は所期の工程どおり完了したことから、CSG プラントはシステムとしては問題ないと考えられる。

しかし、材料目詰まりによるプラント停止がみられ稼働率に大きく影響したことから、稼働効率を向上させるための課題をまとめる。

① MY-BOX

$-74\mu\text{m}$ が6%程度を超えると MY-BOX の閉塞が生じやすいと考えられ、含水比については4%程度以下とすれば MY-BOX 閉塞に関係ないと考えられる。しかし、プラント稼働状況からみると $-74\mu\text{m}$ が6%以下であっても CSG 材が一定量以上通過すると閉塞しやすい傾向にある。CSG 材の最大粒径に対する MY-BOX 入口断面の寸法について今後検討する必要がある。

② ホッパやシュート部等

$-74\mu\text{m}$ が8%から4~6%に低下し、含水比も5%から2%へ徐々に低下したことで、材料目詰まりによる停止回数が減ったことから、 $-74\mu\text{m}$ と含水比が材料目詰まりに大きく影響すると考えられる。しかし、減ってはいるが完全に解消はしなかった。

今後 CSG プラントの設計にあたっては、CSG 材の特性を把握したうえでホッパやシュートの幅および傾斜角を決めることが必要である。

3. 新しいコンクリート運搬工法, SP-TOM

(1) SP-TOM 装置概要

SP-TOM は、斜面上において円管の内側に数枚の硬質耐摩耗性ゴムの羽根を螺旋状に取付けたもの(以下、搬送管という)を回転させることにより、重力及び動力を利用してコンクリートや土石類を安定した状態で、連続して大量に下方への輸送を可能としたものである。適用可能な下り勾配は $20\sim 45$ 度で、ベルトコンベヤで運搬できない急勾配の斜面においても適用可能である。

さらにこの工法を用いれば、

- ① 自然環境の改変をほとんど伴わない、
- ② 輸送管の内面に耐摩耗性のゴムをライニングしてあるので騒音が小さい、
- ③ 搬送管内を運搬させるため気象条件の影響を受け難く粉塵の発生や材料の飛散もほとんど生じな

い、
等、ダムコンクリートの運搬工法として数々のメリットがある。図-4に工法の概要を示す。

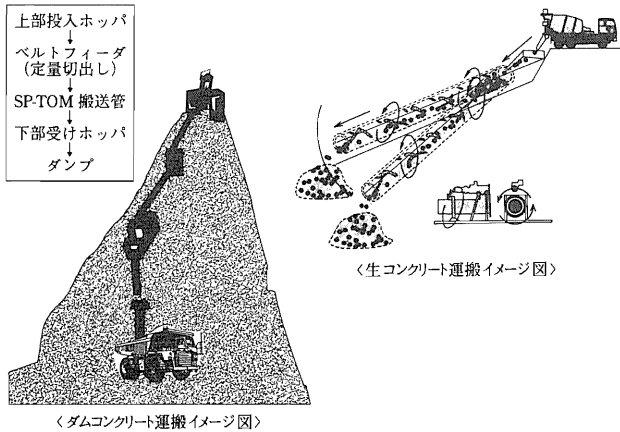


図-4 工法の概要

(2) SP-TOM 実証試験

実証実験は、先に報告したCSGプラントを改造しベルトコンベヤをクロズドサーキットに組んで、コンクリートおよび骨材を循環させて行った。

試験項目は、鋼製搬送管 $\phi 700$ mm, $L=16.5$ m, 耐摩耗性ゴムを貼付けたものを用いて、本体打設に適用することを念頭に置き、

- ① 運搬能力試験
- ② 長時間運転試験
- ③ 消費電力試験

等について実施した。

① 運搬能力試験

運搬能力試験は、有スランプコンクリートとRCDコンクリートについて搬送角度を 25° , 30° , 35° に変えて行った。鋼製搬送管運搬能力を図-5に示す。図は比較的輸送能力の低い有スランプコンクリートの運搬量を示したものである。運搬能力は搬送管の径および傾斜角度により決まる。なお、 $\phi 500$ における運搬量は参考文献¹⁾によるものである。

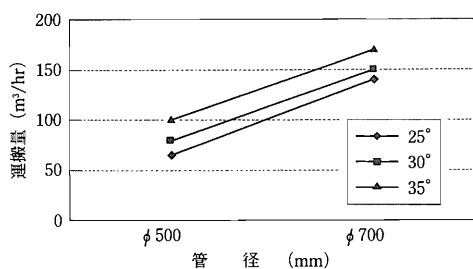


図-5 鋼製搬送管運搬能力 (有スランプコンクリート)

② 長時間運転試験

長時間運転試験は、コンクリートを使用して1.5時間(30分×3回)、骨材のみを使用して24時間の連続運転を行い、搬送管自体の温度上昇状況および、装置全体の耐久性について試験を行った。

コンクリート、鋼管、ライナ部および駆動部の温度は、外気温に対して顕著な変化は見られず、追従する傾向にある。装置の耐久性は、搬送管内面に貼ったライナゴムの摩耗状況により決まることから、連続運転終了後の摩耗状況を測定した。

普通ゴムと耐摩耗性ゴムの比較で摩耗状況は明らかであったが、耐摩耗性を使用してもある程度は摩耗が生じるため、メンテナンス性と耐摩耗性について検討する必要がある。

③ 運搬能力と消費電力

消費電力は、設備計画を行ううえで必要な電力量を把握するため実施した。図-6に消費電力(駆動部モータの消費電力)と運搬量の関係を示す。

図より明らかなように、消費電力と運搬量は反比例の関係にある。これは搬送管が運搬材料を羽根で切返しながら運搬するため、搬送角度が鉛直に近づくほど回転に必要なトルクは小さくなり、運搬量は傾斜角度が大きいほど多くなる。したがって、本運搬工法を計画する場合は、搬送管の角度を大きくした方が効率的な運搬となる。

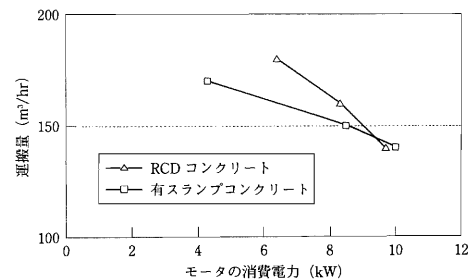


図-6 消費電力 (有スランプコンクリート)

(3) 減勢工コンクリート運搬設備への適用

ダム本体コンクリートの運搬用として検討を行った結果、運搬工法として優れた性能を有することは確認できたが、万一のことを考慮するとダム施工の成否を左右する主要設備にいきなり実績のない新工法を採用することは避けるべきであるとの結論に達したため、減勢工打設用としてSP-TOMを採用したものである。

減勢工用SP-TOMの仕様を表-2、設置状況を写真-2に示す。

減勢工用SP-TOMは、上部投入ホッパ、切出しフィーダ、 $\phi 500$ mmのSP-TOM搬送管、下部受けホッパ

表-2 減勢工 SP-TOM 仕様

搬送管径	外径：φ558.8 mm, 内径：φ508 mm
搬送管材質	外管：SPHC JIS G 3131 $t=3.2$ mm 内管：耐摩耗ゴム $t=12$ mm
延長	211 m
設置角度	上部 30度, 下部 40度
搬送管回転数	25 回転/分～35 回転/分 (可変)
出力	118.8 kW



写真-2 減勢工 SP-TOM 全景

及び搬送管を回転させる駆動装置と支持架台から構成される。下部受けホップから打設場所まではダンプトラックにより運搬するものである。

滝沢ダム減勢工における SP-TOM の搬送量は、平成 13 年 5 月に開始してから平成 14 年 12 月までに約 20,000 m³ を搬送している。

4. おわりに

滝沢ダムでは、大量製造、低コスト、均質な練混ぜ

を目標にして CSG プラントを開発した。CSG の施工は所期の工程どおり完了できたことから、CSG プラントシステムとしては問題なく、CSG の品質についても開水路として十分な機能を果たしていることから、十分満足できる結果を得たと考えられる。しかしながら、掘削ずりによる目詰まりが発生し、河床砂礫を併用することで若干改善できたものの目詰まりは発生しており、どのような材料を使用しても目詰まりを起こさない構造の開発が今後の目標である。

また SP-TOM は、実証試験だけでの本体コンクリート打設用への採用は信頼性の問題から採用はできなかった。しかしダムコンクリートの運搬工法としては数々の利点を有していることから、将来ダム本体の打設に採用可能なように、減勢工打設を通してデータを蓄積し信頼性のある工法としていきたい。

JCMA

《参考文献》

- 1) 加藤剛四郎, 廣瀬成道, 橋本 巧: コンクリート等輸送装置に関する基礎実験, ダム工学会第 11 回研究発表会講演集, 平成 12 年 11 月 20 日
- 2) 大藪勝美, 松枝修治, 徳田憲治, 加藤剛四郎, 水谷 淳: 新しいコンクリート運搬工法 SP-TOM を滝沢ダムへ適用するための検討, ダム技術, No. 178, 2001. 7.
- 3) 大藪勝美, 徳田憲治, 花田弘幸, 中村信一郎: 滝沢ダムにおける CSG プラントの稼働実績, ダム技術, No. 187, 2002. 4.

【筆者紹介】

今村 利博 (いまむら としひろ)
水資源開発公団
荒川ダム総合事業所機械課
機械第 2 係



建設機械用語集

- ・建設機械関係業務者一人一冊必携の辞典。
- ・建設機械関係基本用語約 2000 語 (和・英) を収録。
- ・建設機械の設計・製造・運転・整備・工事・営業等業務担当者用辞書として好適。

B5判 200 頁 定価 2,100 円 (消費税込) : 送料 600 円
頁 会員 1,890 円 (消費税込) : 送料 600 円

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8 (機械振興会館) Tel. 03(3433)1501 Fax. 03(3432)0289