

◆ 特集：新しい時代に向けたダム技術 ◆

CSGを用いたダム技術に関する最新動向

川崎秀明* 平山大輔**

はじめに

近年の公共事業費の削減、自然環境の保護・保全に対する強い要望を受け、ダム事業には今まで以上のコスト削減と環境への配慮が望まれている。このような背景から、河床砂礫や掘削ズリなどの現地発生材料を有効に活用することのできるCSG (Cemented Sand and Gravel) を用いたダムの建設に注目が集まっている。

CSGは、通常のダムコンクリートに比べると、強度が小さく品質のバラツキが大きい材料である。一方、ダムの堤体形状が台形である場合、堤体内に発生する応力が小さく、比較的強度の小さい材料であっても堤体材料として十分利用することができる。台形CSGダムは、このようなCSGと台形ダムとの両方の特徴を組み合わせた新形式のダムであり、世界からも注目を集めている。

平成14年6月に、沖縄総合事務局億首ダム（ダム高39m）が台形CSGダム第1号として、国土交通大臣により承認された。このような背景を踏まえ、国内では台形CSGダムの実現に向けた取り組みが活発になっており、試験施工などを通じて官民一体となった技術開発が盛んに行われている。本文では、その最新の動向について紹介する。

1. 台形CSGダムの特徴

図-1に示すように、台形CSGダムは、CSGと台形ダムの両方の特徴を合わせ持ったダムである。台形CSGダムを採用した場合、以下のようなメリットが考えられる。

- (1) 現地発生材を積極的に活用することにより、原石山や材料山の省略または大幅な規模の縮小が可能
- (2) 堤体材料の製造設備、濁水処理設備等の省略または簡略化が可能
- (3) 洪水吐きや通路などを堤体内に配置することが可能
- (4) 基礎地盤に作用する応力が小さく、比較的軟質な基礎地盤上にも建設が可能
- (5) 廃棄岩の減少、掘削法面および施工設備規模の縮小により環境への影響を軽減

コンクリートダムにおいて、コンクリート骨材の確保が困難な場合やダムサイトの地質条件が良くない場合、また、フィルダムにおいて基礎岩盤が比較的良好であるが洪水吐きの設置に伴う掘削量が多い場合などは、ダム形式の比較において台形CSGダムが有利となる可能性がある。

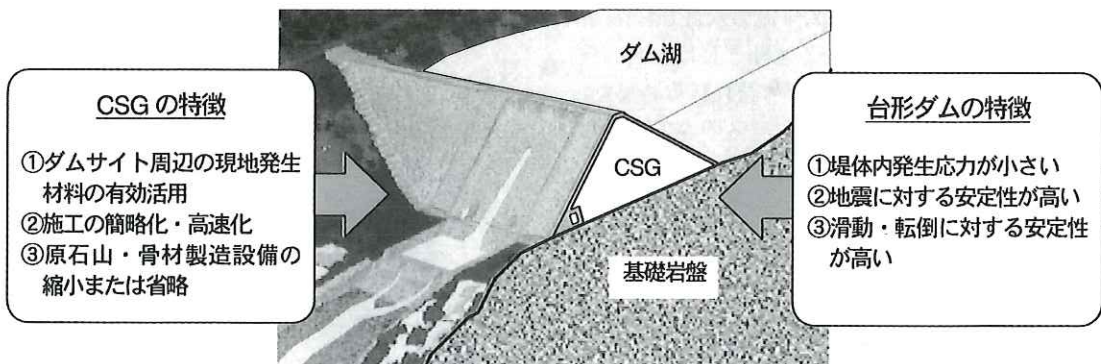


図-1 台形CSGダムの特徴

2. CSGの施工方法

一般的なCSGの施工工程を図-2に示す。CSGの施工方法は、現場で得られる母材（河床砂礫、掘削ズリなど現地で発生する岩石を主体とする材料）の特性、施工の合理性、構造物に求められる所要強度などを勘案し、その現場で最適な方法が選択される。

CSGは、CSG材にセメント、水を添加し、混合することにより製造される。ここで、CSG材は、母材から大玉だけを取り除いたものであり、一般に、分級、ブレンドおよび水洗いなどは行わない。このため、通常のコンクリートダムで必要となるような大規模な骨材製造プラントや濁水処理設備などを簡略化することができる。

CSGの混合方法には、スケルトンバックホウなどを用いて現場で混合する簡易な方法から、通常のミキサなどを用いる方法、落下エネルギーを利用して混合する方法など、CSGを連続的に製造することができる簡易な設備が次々と開発されている。CSGの製造においては、母材の特性、施工条件に応じた最適な混合設備を採用し、施工の簡略化、高速化を図ることが重要である。

CSGは、RCD工法などと同様に面状工法により打設される。打設に用いる機械は、通常のダム

工事で用いられるダンプトラック、ブルドーザ、振動ローラなどの汎用機械である。

3. 最近の試験施工事例

最近CSGを施工した事例を表-1に示す。ダムサイトにおける仮締切堤などでの施工事例が多い。各ダムでの施工事例を参考に、以下にCSGの母材、混合、打設、施工管理事例などの最新動向を紹介する。

3.1 母材

CSGに用いられる母材は、大きく、河床砂礫系の母材と掘削ズリ系の母材の2つに分類される。河床砂礫系母材は、一般に微粒分が少なく、岩石が丸い形状をしているため、ワーカビリティが良い。また、採取地の地下水位が高ければ、母材採取時に地下水を利用して簡易な洗浄を行うこともできる。

一方、道路やダム周辺の工事で発生する掘削ズリなどを母材とする場合、母材中に粘土などの微粒分が混入することが多く、水分管理、混合方法などに配慮が必要となる。CSGのようにセメント量が少ない貧配合材料では、母材中に適度な微粒分が存在する方が良く締め固まり、密実なCSGを作ることができるが、微粒分量が多くなりすぎると、逆にワーカビリティが低下してしまう。

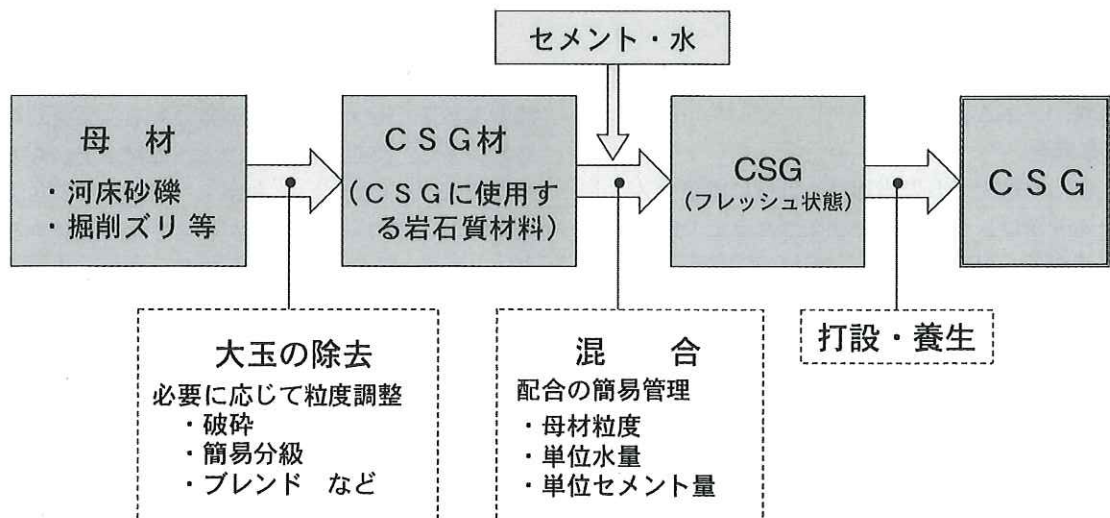


図-2 CSGの施工工程

表-1 最近のCSG施工事例

ダム名	構造物概要	母材
大保ダム (沖縄総合事務局)	汚泥貯留堤 ダム高16m、堤頂長33m、堤体積5,800m ³ 、上下流面勾配1:1.0	掘削ズリ
	原石山上流締切堤 ダム高14m、堤頂長44m、堤体積5,200m ³ 、上下流面勾配1:1.0	掘削ズリ
	本ダム上流締切堤 ダム高12m、堤頂長34m、堤体積3,600m ³ 、上下流面勾配1:1.0	掘削ズリ
灰塚ダム (中国地方整備局)	下流仮締切堤 ダム高13.1m、堤頂長101m、堤体積18,300m ³ 、上下流面勾配1:1.0	河床砂礫
中野方ダム (岐阜県)	上流仮締切堤 ダム高7.0m、堤頂長37m、堤体積1,600m ³ 、上下流面勾配1:1.0	掘削ズリ
中木庭ダム (佐賀県)	上流仮締切堤 ダム高6.8m、堤頂長67m、堤体積4,100m ³ 、上下流面勾配1:1.0	掘削ズリ
広神ダム (新潟県)	上流仮締切堤 ダム高6.5m、堤頂長36m、堤体積2,200m ³ 、上下流面勾配1:1.0	掘削ズリ
稲葉ダム (大分県)	転流水路基礎 高さ0.5～6.7m、幅8.7m、総延長445m、堤体積22,000m ³ 、法面勾配1:1.0	河床砂礫



写真-1 河床砂礫を母材とした事例



写真-2 掘削ズリを母材とした事例

河床砂礫、掘削ズリを母材に用いた事例を写真-1、2に示す。

3.2 混合

CSGが開発された当初は、母材に直接セメントをふりかけスケルトンバックホウなどで混合する方法が多く取られていた。母材の性状が良く、丁寧に施工すれば、この方法でも立派なCSGを製造することができるが、微粒分が多く粘性の大きい母材の場合や、CSGの施工数量が多い場合などは、このような方法では対応が困難である。そこで、連続的に大量のCSGを製造することを目的として、ベルトコンベアと混合機を組み合わせた様々なCSG混合システムが開発されている。このようなシステムの中には、ベルトコンベアを通過

する母材の重量を計量し、リアルタイムで母材に加える水量、セメント量を調節できるシステムもある。また、CSGの混合機には、母材が上から下へ落ちる力（重力）を利用して混合する方法（写真-3）、重力を利用しながらミキサで混合する方法（写真-4）など、様々なユニークな方法が開発されており、それぞれ良好な実績を残している。

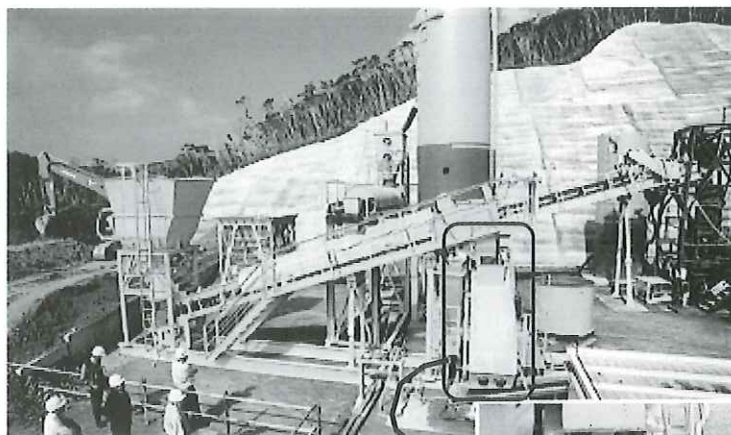
3.3 打設

混合設備で製造されたCSGは、一般に、ダンプトラックにより打設現場に運搬され、写真-5、6に示すように、ブルドーザでまき出し、振動ローラにより締固められる。台形形状のCSG構造物を築造するため、法面は、写真-7に示すように法バケットなどで締固め、整形する。既往の施工実績では、



管の中に羽が設置されており、CSG が落下する際にその羽により、混合される仕組み

写真-3 重力を利用した混合機の事例



二軸ミキサを傾斜させることにより、CSG が落下する力を利用し混合する仕組み

写真-4 重力と動力を組み合わせた混合機の事例

法勾配が1:0.8程度までであれば、このような方法で法面整形が可能であることが確認されている。また、振動ローラによる締固めが困難な着岩部付近や法肩などには、写真-8に示すように、小型の振動ローラや電動ハンマなどが用いられる。また、写真-9のようにバックホウの先端に締固め専用の小型の振動機を取り付け施工した事例もある。夏場の施工などでは、日射によりCSGの水分が失

われ、ワーカビリティが低下することがあるため、CSG打設時に散水を行い、ワーカビリティの改善を図った事例もある。

3.4 施工管理

CSGの母材は、採取箇所、採取時期等により、粒度、含水量が変動するという特性を有している。そのため、事前調査の段階で採取地における母材粒度の変動幅を把握するとともに、図-3に示すよ



写真-5 ブルドーザによるまき出し作業



写真-6 振動ローラによる締固め作業

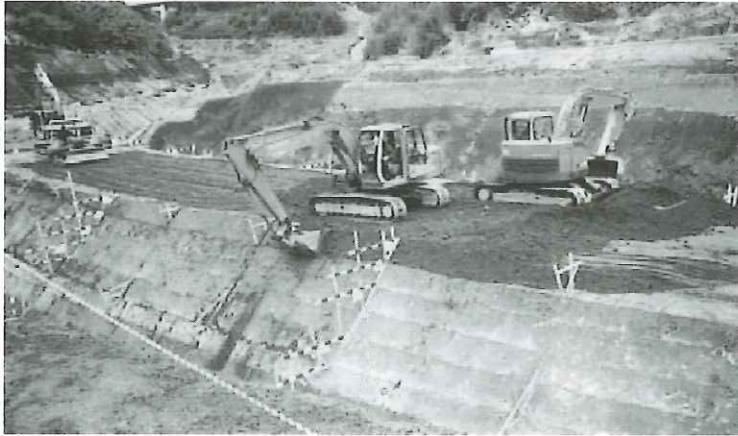


写真-7 法面整形作業



写真-8 小型の振動ローラによる締固め作業



写真-9 振動機付きバックホウによる締固め作業

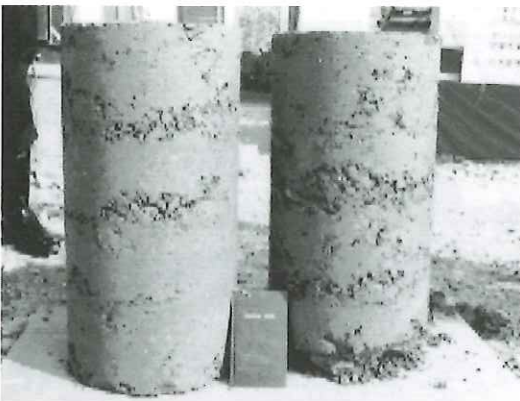


写真-10 大型供試体 (直径300mm × 高さ600mm)

うに、CSGの単位水量と強度の関係を室内試験等により把握しておくことが重要である。

たとえば、図-3において、混合設備におけるCSGの水量をW1～W2の範囲で管理した場合、母材粒度が事前調査の範囲内で変動したとしても、製造されるCSGの強度は図の塗りつぶした領域内、すなわち、CSGの強度でP1～P2の範囲内に収まっていることになる。

日常的なCSGの強度管理に用いる供試体は、直径150mm × 高さ300mmの標準供試体であり、40mmふるいでウェットスクリーニングされたCSGにより作製される。この標準供試体と、実施工で用いられるフルスケールの母材を用いたCSG

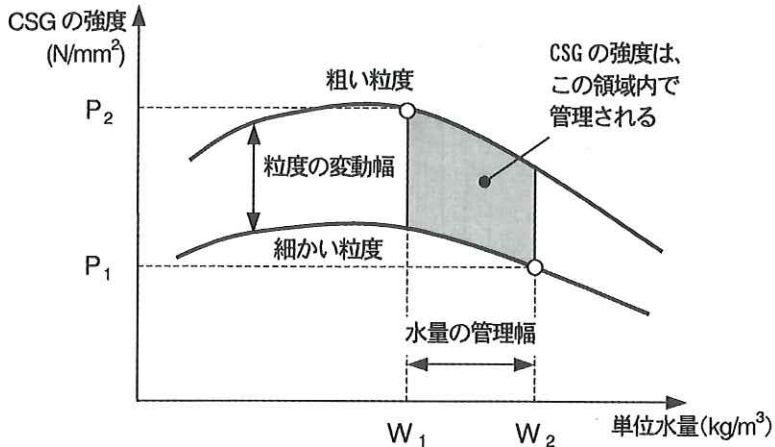


図-3 CSGの水量と強度の関係

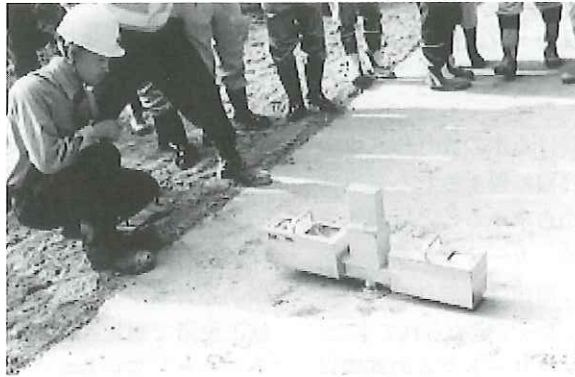


写真-11 RI法による密度試験

の強度を比較するため、写真-10に示すような直径300mm×高さ600mmの大型供試体による強度試験を実施し、試験値の整合性を確認している。

また、一般に、CSGの強度と締固め密度の相関が高いことから、打設後のCSGに対し、砂置換法やRI法(写真-11)などによる密度試験を実施し、所定の強度が確保されているかどうかを確認している。

4. 今後の課題

本文では、CSGの施工方法を中心に、最新の動向を紹介した。これまで実施されてきた数多くの室内試験や現地での試験施工結果から、CSGの基礎的な特性が明らかになっている。

今後は、CSGのより効率的な施工管理、品質管理方法、母材の特性を考慮した混合・打設方法な

どについて検討を進めていく予定である。また、台形CSGダムの堤体設計法についても、有限要素法による数値解析等を実施し、CSGの材料特性を考慮した合理的な堤体設計法について検討を進めていく予定である。

川崎秀明*



国土交通省国土技術政策
総合研究所河川研究部ダ
ム研究室長、工博
Dr. Hideaki KAWASAKI

平山大輔**



国土交通省国土技術政策
総合研究所河川研究部ダ
ム研究室主任研究官
Daisuke HIRAYAMA