

事業紹介・事業報告

台形CSGダム施工法に関する研究



綿貫布征
調査第一部 次長



武本隆太郎
前 調査第一部
上席主任研究員
(現 大成建設(株))

1. はじめに

コスト縮減や環境の保全に資することを旨として、ダムの合理化施工についてこれまで多くの検討が進められてきており、機械化施工によるフィルダム建設促進や、RCD工法によるコンクリートダムの施工など汎用機械による合理化が中心に検討されてきた。これまでの合理化は施工に着目して進められてきているが、昨今の社会情勢、経済情勢のもとでは、よりいっそうコスト縮減が要求されてくる。この要求に対し、施工だけでなく設計、及び材料の合理化が可能で、さらにそれらを同時に資するダム技術が必要と思われる。

最近では堤体内に発生する引張応力を最小限に抑制する台形ダムを新たなダム形式として捉え、「設計の合理化」を目指して、その基本的な考え方、応力解析や設計方法について議論されているところである。

一方、「材料の合理化」という点では、CSG (Cemented Sand and Gravel) 工法があり、平成4年度に長島ダムの上流二次締切に初めて使用され、その後、徳山ダム、久婦須川ダム、摺上川ダム、忠別ダムの各上流仮締切堤や宮ヶ瀬ダム、宇奈月ダム、徳山ダム、滝沢ダムの盛土等、着実に施工事例が増加している。

台形ダムをCSG工法で施工する台形CSGダムは、「設計

の合理化」と「材料の合理化」を同時に達成する新しいダム形式といえる。

本研究は、台形CSGダムの「施工の合理化」に着目し、材料母材の採取、CSG材料の生産、施工設備、施工規準を中心に懇談会形式（平成13年2月から7月にかけて5回開催）で問題点を整理し、検討を行ったものである。懇談会での検討内容は以下のとおりである。

- ①台形CSGダムの概要について
- ②母材の採取について
- ③CSG材料の生産について
- ④施工設備について
- ⑤施工基準について

2. 台形CSGダムの概要について

(1) 台形CSGダムの特徴

台形CSGダムは以下の特徴を有する。

- ①台形ダムの特徴とCSG工法の特徴をあわせ持つ新形式のダムである。
- ②「設計の合理化」、「材料の合理化」、「施工の合理化」を同時に達成するダムである（図-1）。
- ③材料に応じた堤体の設計（図-2）。

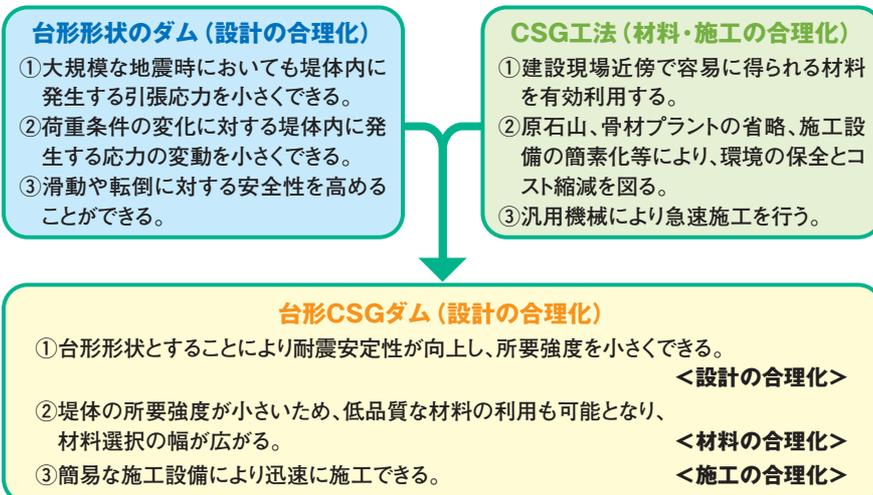


図-1

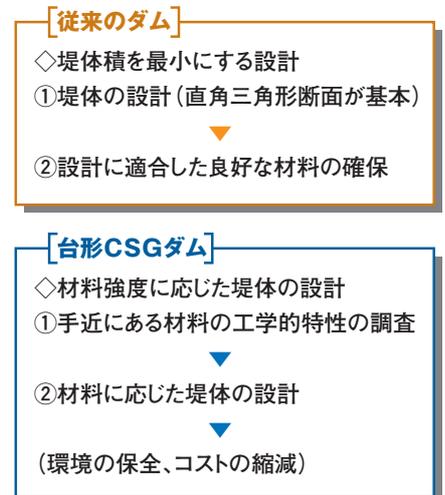


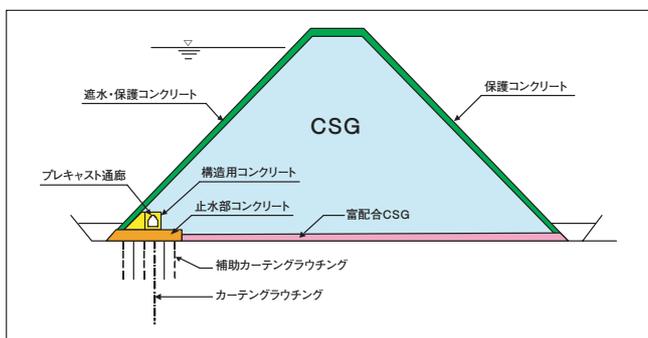
図-2

(2) 台形CSGダム設計の考え方

1) 前提条件

CSGを弾性体として取り扱うことのできる範囲内で設計する。

2) 台形CSGダムの基本構造 (案)



- ① 堤体内に放流設備や監査路、堤頂部には非常用洪水吐きを設置する。
- ② CSG材料の外側に遮水・保護コンクリート、保護コンクリートを用いる。

3) 設計方法 (案)

コンクリートダムと台形CSGダムの設計方法 (案) を表-1に示す。

3. 母材の採取について

- ① 台形CSGダムの堤体材料は、その堤体特性から従来のコンクリートダムに比べて、はるかに小さい強度の材料が使用可能である。このことから、台形CSGダムに使用される材料母材には、本体掘削や付帯工事掘削ズリ等を広く利用することが可能であり、これらの利用を踏まえた事前検討や計画が必要である。
- ② ①に記述した通り、台形CSGダムでは材料の選択幅が広く発生材の有効活用ができる。また、各ダム毎に材料の性状が異なることから、材料使用計画を確定する前に粒度試験、破砕試験、配合試験を実施し、使用の可否を確認しておく必要がある。

表-1 重力式コンクリートダムと台形CSGダムの設計方法

項目	重力式コンクリートダム	台形CSGダム
① 形状	・ 直角三角形が基本	・ 台形が基本
② 基本的な設計順序	[堤体積を最小にする設計] (1) 転倒安定性を検討 ↓ (2) 滑動安定性を検討 ↓ (3) 堤体形状の決定 ↓ (4) 堤体応力の計算 ↓ (5) 堤体材料の設計基準強度を設定	[材料強度に応じた堤体の設計] (1) 堤体材料の設計基準強度を設定 ↓ (2) 堤体応力の安全性を検討 ↓ (3) 転倒安全性を検討 ↓ (4) 滑動安定性を検討 ↓ (5) 堤体形状の決定
③ 転倒安定性	・ ミドルサードの条件	・ ミドルサードの条件
④ 滑動安定性	・ Hennyの式で検討	・ 滑動安全率で検討
⑤ 応力計算法 (基礎地盤の変形性)	・ 片持梁理論を基本に弾性論を一部応用 ・ 基礎の変形を考慮しない	・ 弾性論 ・ 基礎の変形性が堤体応力に与える影響を考慮
⑥ 耐震設計	・ 震度法	・ 動的解析法
⑦ 材料の強度	・ 圧縮強度 (震度法では、設計上引張応力は生じない)	・ 圧縮強度、引張強度ともに対象

③材料母材には基礎掘削ズリの流用も考慮することから、基礎岩盤の調査は従来の試掘横坑等による調査のみではなく、本体掘削面全面に稲妻状道路によるトレンチ調査を計画するなど、掘削面全体の岩質状況を把握できるような調査資料を得ることを計画段階から考える必要がある。

④材料母材の採取について、以下に示すような可能性を幅広く検討する。

1) 基礎掘削ズリの流用の他に、付帯道路、仮排水路等の付帯工事から発生するズリや、ダムサイト周辺の河床砂礫の利用の可能性を検討する。

2) 上記1) による母材の数量が不足する場合には、別途原石山等から採取する方法が考えられるが、原石山以外に本体上流側の貯水池斜面を追加掘削するなど、ダムサイト周辺での効率的な材料採取についても検討する。

3) 本体打設に先行する工事から発生する掘削ズリを有効利用するためには、全体の工事手順を考えた大量の母材をストックできるヤード設置に留意する。

⑤シルト質や粘土分等の微粒分を多く含む表土がCSG材料に混入することは、製造されるCSGの品質に好ましくない。従って、掘削時に効率よく表土を除去し、転用岩を掘削、採取する工法の更なる研究が必要である。

4. CSG材料の生産について

(1) 破碎試験の必要性

①母材の岩質により破碎特性は大きく異なる。また、製造されるCSGの性状は使用するCSG材料の粒度による影響が大きい。このため、母材を破碎して使用する場合には必ず材料の破碎試験を行って、これによって製造されるCSGの性状を把握しなければならない。

②破碎試験を行う場合には、5mm以下を20～25%程度製造することを第一目標とし、次にGmax80mmとすることを第二目標とする。

(2) CSG材料生産設備の選定

CSG材料の生産において、破碎設備は2段取りまでの工程が望ましい。

CSG材料の目標粒度を破碎工程だけで生産するか、細粒材を一部ブレンドすることで達成するかについては、生産コスト等の比較検討のうえで決定する必要がある。

5. 施工設備について

(1) 施工設備規模の選定

CSGの製造及び運搬・打設に関する施工設備の規模は、施工計画により決定されるリフト高さ、打設面積等による1日当たりの施工量から決定する。

リフト厚さは、50cmまたは75cmで、ダム規模にもよるが2～3分割での施工が一般的と考えられる。また、より急速な施工を目指し、30cm程度の薄いリフト厚による連続施工の採用も考えられる。

(2) CSGの製造設備

1) 製造設備の種類

CSGの製造設備の種類としては、①傾胴形・強制練りミキサ、②CRTミキサ、③JIOCE式ミキサ等が考えられ、使用するCSG材料、打設方法等各ダムの特性に応じて選択する(表-2)。

2) 製造設備の設置位置

CSG製造設備の設置位置は、①河床部、②ダム天端部、③中間部に設置することが考えられ、各ダムにおける地形状況や洪水時の影響、打設運搬方法等を考慮して、比較検討のうえ選択する。

(3) CSGの運搬・打設設備

CSGの主運搬・打設設備は、①ケーブルクレーン、②SP-TOM、③タワークレーン、④ベルトコンベア、⑤ダンプトラック直送等が考えられ、各ダムにおける地形等を検討のうえ選択する(表-3)。

表－2 CSG製造設備の種類

設備名	①傾胴形・強制練りミキサ	②CRTミキサ ^{※1}	③JIOCE式ミキサ ^{※2}
設備概要	一般的なコンクリート製造設備である。	練り混ぜは回転ドラムミキサで行い、連続的に製造するシステムである。	練り混ぜはMY-BOXで行い、連続的に製造するシステムである。
概要図	<p>100m ミキサ 25m ベルトコン トランスファーカー ダンプトラック</p>	<p>100m 回転ドラムミキサ ベルトコン トランスファーカー ダンプトラック</p>	<p>100m MY-BOX ベルトコン トランスファーカー ダンプトラック</p>

※1：Continuous Rotary Tube ミキサシステム

※2：CSG落下形ミキサ

表－3 CSG運搬・打設設備の種類

設備名	①ケーブルクレーン	②SP-TOM	③タワークレーン	④ベルトコンベヤ	⑤ダンプトラック直送
運搬設備とダムの規模	20 t クレーンまでが一般的であるが堤頂長により28 t クレーンまで可能である。堤頂長は約400m程度が限度である。	13.5 t までが一般的で、20.0 t も可能である。タワーの自立高が30m及び旋回範囲が75m程度のため堤高70m堤頂長250m程度が限度である。	理論上大量輸送も可能であるが実績がない。また、堤頂部の施工において限度がある。	大量輸送も可能である。また、堤頂部の施工により限度がある。	周辺の地形によるが、小～大規模まで施工が可能である。
場内運搬設備の有無	軌索式・移動式でもすべてをカバーできず定点供給となり、場内運搬設備が必要となる。	カバーエリアは広いが全てをカバーできず定点供給となり、場内運搬設備が必要となる。	左右岸に固定されるためクレーン同様場内運搬設備が必要となる。	場内への搬入位置が固定されるため、クレーン同様場内運搬設備が必要となる。	場内での運搬設備は兼用できるため不要である。但し、タイヤ洗浄設備が必要となる。
雑運搬設備	打設設備で兼用できる。	打設設備で兼用できる。	別途重機搬出入クレーンまたは雑資材運搬設備が必要となる。	別途重機搬出入クレーンまたは雑資材運搬設備が必要となる。	堤体天端までアクセス道路が設置可能であれば特に必要はない。困難な場合は別途重機搬出入クレーンまたは雑資材運搬設備が必要となる。
堤頂部の打設設備	ケーブルクレーンの場合はそのまま対応可能である。	堤高が70m以上になるとカバーエリアが不足し施工出来なくなり、別途打設設備が必要となる。	重機搬出入クレーンを利用する。また、左右岸へのSP-TOMの設置も考えられる。	重機搬出入クレーンを利用する。また、左右岸にベルトコンベヤの設置も考えられる。	左右岸へのアクセス道路を利用する。また、片側の場合は横断栈橋が必要となる。

6. 施工基準について

(1) CSGの打設方法

CSGの打設は、表-4の方法が標準と考えられる。

(2) 遮水・保護コンクリートの施工方法

遮水・保護コンクリートの施工は、通常のスライドフォームを用い、CSGを先行打設し、数リフト遅れてコンクリートを打設する方法が標準的と考えられる。

(3) 止水部・構造用コンクリート及び補助カーテンの施工方法

止水部・構造用コンクリート及びその直下の補助カーテングラウチングの施工は、止水部コンクリートを階段状に先行打設し、このコンクリートをカバーコンクリートとして補助カーテンを施工し、更に監査廊を含めた構造用コンクリートを打設する方法が標準的と考えられる。なお、監査廊はプレキャスト製品とする。なお、今後の課題として、CSGと止水部・構造用コンクリートの同時施工や監査廊間から補助カーテンを施工する方法も検討する必要がある。

(4) 水平打継面の施工方法

台形CSGダムにおける水平打継面の処理は、簡単な清掃+敷モルタルであり、グリーンカットを行わない。

(5) 有スランブコンクリートの運搬・供給方法等

①有スランブコンクリートは、生コン（レディミクストコンクリート）の購入あるいは購入骨材を使用した独自製造による供給とする。

②有スランブコンクリートの運搬・打設はコンクリートポンプ車あるいは生コン車（コンクリートミキサ車）による打設とする。

③生コン（レディミクストコンクリート）を使用する場合は、その供給能力や搬送時間等について十分留意する必要がある。

7. 講演会の開催

本研究の成果で取りまとめた成果を関係者に広く知っていただくため、平成13年8月31日に虎ノ門パストラルにおいて、講演会を開催した。関係行政機関やコンサルタント、建設会社等総勢約280名の参加をいただいた。

8. 今後の課題

本研究では、台形CSGダムの施工面に関して課題を抽出し検討を行ったもので、今後建設される台形CSGダム施工の参考となるものと期待するが、それぞれのダムサイトには独自の現場条件があるため、実施にあたっては本研究において検討・とりまとめた事項を中心にそれぞれのダムの独自条件について検討し、適切な施工法を選択する必要がある。

表-4 CSGの打設方法

工種	施工方法	備考
①岩着部処理	仕上げ掘削整形は、できる限り平坦に仕上げる。	不陸整正が必要な場合には、富配合CSGを打設する。
②敷均し	1リフト毎にブルドーザにおける薄層敷均しとする。	
③締固め	11t級の振動ローラにより速やかに転圧を行なう。	大型の振動ローラの使用も今後検討が必要である。
④撤出し・転圧方向	低標高部はダム軸平行方向、中高位標高部は上下流方向に撤出し、転圧を行なう。	ダンプトラックは転圧完了部分を走行する。
⑤打止部の施工	打止め部は型枠を設置せず、RCD工法のコールドジョイント方式とする。	