

台形 CSG ダムの大規模地震時挙動解析

独立行政法人土木研究所 正会員 〇志田孝之、金銅将史、切無沢徹、佐々木隆

1. はじめに

経済性や環境に配慮した新形式の台形 CSG ダムの建設が本格的に進んでいる。台形 CSG ダムは現地発生材を基本的に分級せずに、簡易な施設でセメントと水を混合した CSG (Cemented Sand and Gravel) を堤体材料に用いるダムである。本形式のダムは設計で考慮すべき地震動に対して滑動、転倒、および内部応力の面で十分な安定性を有するよう設計¹⁾されており、その手法は概ね確立されている。

一方で、大規模地震に対する構造物の耐震性能への社会的関心の高まりから、大規模地震に対するダムの耐震性能照査²⁾の試行が始まっている。本報では、台形 CSG ダムの大規模地震時の耐震性能照査に資するため、線形動的解析により得られる堤体内応力から、大規模地震時に台形 CSG ダムにおいて想定される損傷形態等を検討した結果を報告する。

2. 検討方法

本検討は、ダム堤体横断面形状を基礎岩盤とともに有限要素でモデル化し、線形動的解析を行った。解析は台形ダムモデル(図-1)を用い、CSG の物性(表-1)を一様に与えて実施した。モデルダムの堤高や CSG の物性は、台形 CSG ダムの設計・施工例³⁾を参考に設定した。また、台形 CSG ダムの内部構造を考慮したモデル(図-2、以下、「台形ダム詳細モデル」とする。)についても解析を実施した。

大規模地震を想定した入力地震動は、1995 年の兵庫県南部地震の際に、震源近傍のダム基礎部で観測された加速度時刻歴波形を、大規模地震に対するダムの耐震性能照査で考慮されている照査用下限加速度応答スペクトル²⁾(図-3)に適合するように調整した波形(図-4、最大水平加速度 341gal)を用いた。

3. 検討結果

①堤体内応力

解析結果より、地震時の最大最小主応力の分布を常時(非地震時)の応力分布とともに図-5 に示す。地震時応力を見ると、本解析の条件下での大規模地震時の最大引張応力は、CSG の引張強度を 0.3N/mm²(施工事例での圧縮強度試験で得られた弾性領域強度の 1/7¹⁾、以下同じ。)と仮定した場合、その引張強度を上回る。堤高が高いほど堤体材料として用いる CSG の強度は大きく設定することとなるが、ここでの検討結果から、地震動の大きさ次第では、上流端部において堤体の損傷が生じる可能性があると考えられる。また、下流端において局所的ではあるが圧縮応力が大きくなることから、用いる CSG の強度と地震動規模に

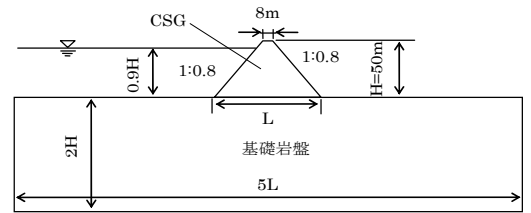


図-1 台形ダムモデル形状
(基礎岩盤の側方、底面は粘性境界)

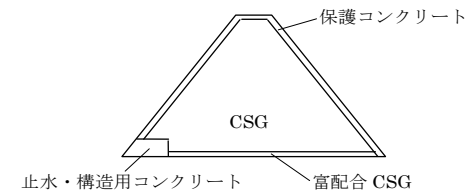


図-2 台形 CSG ダムの内部構造を反映したモデル
(堤体部)

表-1 物性値

物性値	堤体				岩盤
	均一	内部構造考慮			
		CSG	富配合 CSG	コンクリート	
密度 (kg/m ³)	2,300	2,300	2,300	2,300	2,300
弾性係数 (N/mm ²)	2,000	2,000	4,000	25,000	2,000

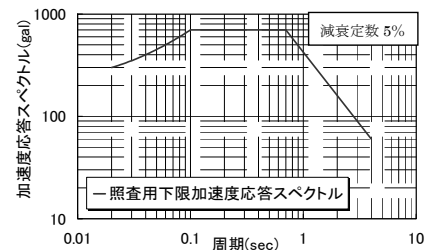


図-3 照査用下限加速度応答スペクトル²⁾

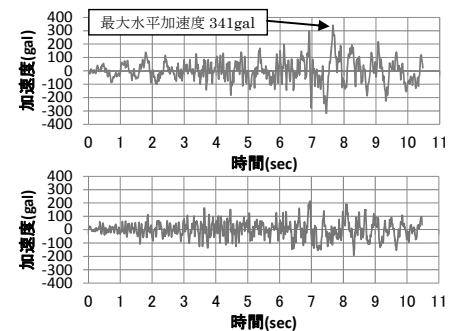


図-4 入力地震動(上: 水平方向、下: 鉛直方向)

キーワード 台形 CSG ダム, 耐震性能, 大規模地震, FEM 解析

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 土木研究所水工研究グループ水工構造物チーム TEL 029-879-6781

よっては塑性化が生じる可能性がある。
 なお、既設の台形 CSG ダムでは、大きな応力の発生する局所には、部分的に大きな強度の CSG を用いることで損傷が生じないよう対応がなされている。
 ②滑動に対する安定性と貯水位の影響

図-1 の台形ダムモデルについて、貯水位条件 ($0.9H$: H =堤高) を変化させた解析を実施し、滑動に対する安定性への影響を検討した。解析結果より、貯水位と鉛直応力、せん断応力、揚圧力、および堤敷の滑動安全率(粘着力 0、摩擦係数 1.0 と仮定した摩擦抵抗力に対する水平力の比) の関係を図-6 に示す。

堤敷全体の滑動に対する安全率は貯水位が高いほど小さくなる。これは、貯水位が低下した場合、鉛直応力はほとんど変化しないが、せん断応力、および揚圧力は低減するためである。

③堤体内部構造を考慮した場合の堤体内応力

台形ダム詳細モデル(図-2)を用いた解析の結果(常時および地震時の最大最小主応力の分布)を、台形ダムモデル(図-1)での結果とともに図-7 に示す。

堤体内構造を考慮すれば、堤体内 CSG 部の応力は台形ダムモデルと比較して小さく算出されることがわかる。ただし、堤体の CSG とコンクリートの変形性の違いにより、止水・構造用コンクリート部と CSG 部の境界部において応力が集中しやすく、引張応力が生じている。この応力は本検討で考慮した地震動の場合には、CSG およびコンクリートの強度に対して小さいものの、より大きな地震動を想定した場合、当該箇所への影響に着目する必要があると考えられる。

4. まとめ

- ・ 地震時に台形 CSG ダムの堤体内に発生する応力は、地震動の規模によっては CSG の引張強度や圧縮強度(弾性領域強度)を上回る可能性がある。このため、同形式ダムの耐震性能照査では、必要に応じ CSG の引張軟化や塑性化を考慮する必要がある。
- ・ 本研究の解析条件では、台形 CSG ダムの滑動に対する安全率は貯水位が高い場合の方が小さくなった。
- ・ 堤体内部構造を考慮した場合、堤体内の CSG 部に発生する最大応力は、均一の物性(CSG)とした場合より小さくなるが、大規模地震時を想定した耐震性能の照査では、堤体内部の CSG と上流側の止水・構造用コンクリートの境界部への影響に注意する必要がある。

今後は、堤体の損傷過程を考慮する非線形解析を行い、大規模地震時に対する台形 CSG ダムの耐震性能を照査する手法について検討を継続する。

参考文献

- 1) 台形 CSG ダム設計・施工・品質管理技術資料, 財団法人ダム技術センター, 2012. 6
- 2) 三石真也, 島本和仁, 大規模地震に対するダム耐震性能照査について, ダム技術 No. 274, p14, 2009. 7
- 3) 台形 CSG ダム等の設計・施工事例, ダム技術 No. 216, p59, 2004. 9

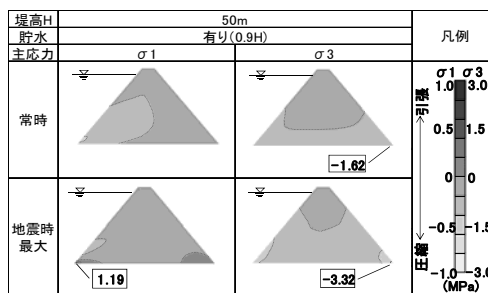


図-5 台形ダムモデル解析結果

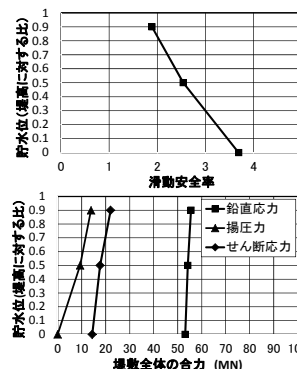


図-6 貯水位が異なる条件での解析結果



図-7 内部構造を考慮した台形ダム詳細モデルの解析結果
 (※は堤体内部 CSG と止水・構造用コンクリートの境界部の応力)