

大規模地震時における台形 CSG ダムの損傷形態に関する検討

独立行政法人土木研究所 正会員 〇志田 孝之、金銅 将史、榎村 康史

1. はじめに

土木構造物の耐震性への社会的関心の高まりを受け、ダムにおいても大規模地震による堤体の損傷過程まで考慮した耐震性能照査¹⁾が試行されている。筆者らは、経済性や環境に配慮した新形式のダムである台形 CSG (Cemented Sand and Gravel) ダムの耐震性能照査手法を確立するため、大規模地震時における同型式ダムの挙動や損傷形態について、地震応答解析による検討を行ってきた。その結果、CSG の材料特性などから、考慮する地震動の強さによっては、コンクリートダムと同様に引張破壊による損傷が考えられることがこれまでに分かっている²⁾。しかし、台形 CSG ダムは堤体断面形状や内部構造が一般的なコンクリートダムとは異なる。このため、組み合わせ応力による損傷の可能性も含め、大規模地震時において想定される同ダム型式の損傷形態について検討した。

2. 解析概要

ダム堤体横断面と基礎岩盤からなる 2 次元有限要素モデルを用い、線形動的解析を実施した。解析モデルの概要を図-1 に示す。物性条件は、既設の台形 CSG ダムの設計・施工例³⁾を参考に表-1 のとおり設定した。

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る照査用下限加速度応答スペクトル¹⁾に適合するよう調整した波形(図-2、最大水平加速度 341cm/s²)をもとに、損傷形態を明確に把握するため、その振幅を 2 倍(同 682cm/s²)および 3 倍(同 1023cm/s²)に引伸ばしたものとした。

3. 検討結果

解析結果による主応力分布から、最大主応力 σ_1 の時刻歴最大値・最小主応力 σ_3 の時刻歴最小値がそれぞれ各堤体材料の引張・圧縮強度 (CSG の圧縮強度は弾性領域内の最大応力³⁾) を超える領域、および以下の式により算定した局所せん断摩擦安全率の時刻歴最小値が 1.0 未満となる領域を図-3 に着色して示す。

$$Fs' = \frac{\tau_0 \cos \phi + \frac{1}{2}(\sigma_3 + \sigma_1) \sin \phi}{\frac{1}{2}(\sigma_3 - \sigma_1)}$$

ここに、 Fs' :局所せん断摩擦安全率、 τ_0 :各堤体材料のせん断強度 (N/mm²)、 ϕ :同内部摩擦角 (°)、 σ_1 :最大主応力 (N/mm²)、 σ_3 :最小主応力 (N/mm²) である。図-3 において最も着色した領域が広いのは最大主応力 σ_1 が引張強度を超える領域 (図-3(a))

である。この領域は、CSG 部については入力地震動倍率 2 倍ケースで堤敷の止水・構造用コンクリート境界部(図中 A)と下流端付近(図中 B)の富配合 CSG、倍率 3 倍ケースではこれに加えて止水・構造用コンクリート隅角部付近の内部 CSG (図中 C) である。また、コンクリート部

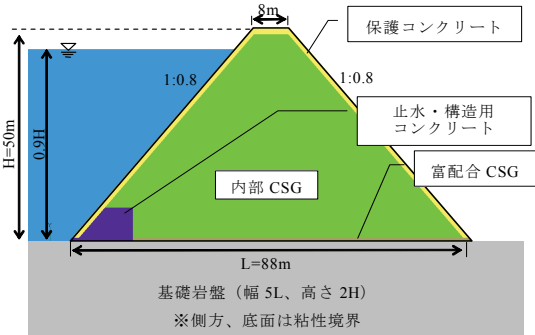


図-1 台形 CSG ダムモデル形状

表-1 物性条件

モデル	堤体			岩盤
	CSG	富配合 CSG	コンクリート	
密度(kg/m ³)	2,300	2,300	2,300	2,300
弾性係数(N/mm ²)	2,000	4,000	25,000	2,000
ポアソン比	0.25	0.25	0.2	0.3
引張強度 σ_R (N/mm ²)	0.51		2.4	
圧縮強度 σ_R (N/mm ²)	3.59 (弾性領域内の最大応力 ³⁾)		24	
せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	1.0		4.8	
内部摩擦角 ϕ (°)	43		45	

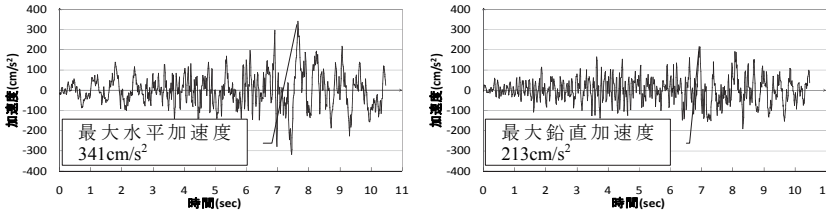


図-2 入力地震動作成用波形

(左：水平方向、右：鉛直方向、いずれも引伸し前)

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 (独) 土木研究所 水工構造物チーム TEL 029-879-6781

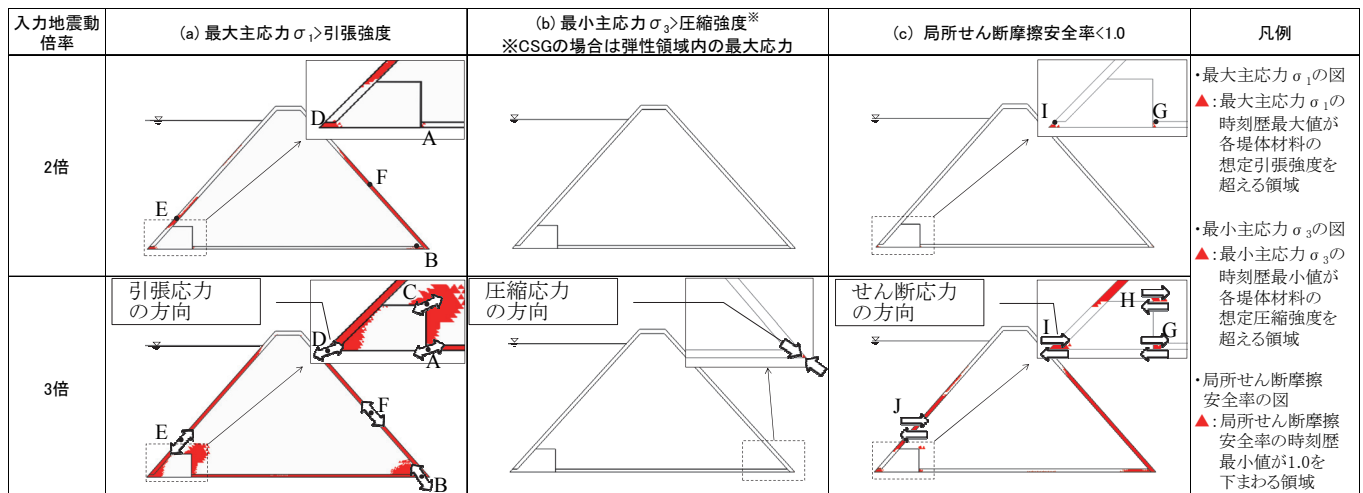


図-3 大規模地震時に主応力が堤体材料の引張強度、圧縮強度を超える領域
および局所せん断摩擦安全率が 1.0 を下まわる領域（線形動的解析）

については、倍率 2 倍ケースで堤体上流端付近の止水・構造用コンクリート（図中 D）および上下流面の保護コンクリートの一部（図中 E、F）であり、倍率 3 倍ケースでは同様の位置で領域がさらに拡大している。

算出された引張応力 σ_1 が大きい箇所における引張応力の作用方向を図-3（倍率 3 倍ケース）に示す。引張応力は、堤体内部 CSG と止水・構造用コンクリート部の境界（図中 A、C）では両者が分離する方向に、上下流端部（図中 B、D）では堤体が基礎岩盤から浮き上がる方向に、保護コンクリート部（図中 E、F）では軸方向に作用する。

なお、圧縮応力が圧縮強度を超える領域（図-3(b)）は、倍率 3 倍ケースでも堤体下流端部のごく一部のみであり、想定した地震動の規模では、圧縮応力による損傷が先行して生じる可能性は低いと考えられる。

また、局所せん断摩擦安全率が 1.0 を下まわる領域（図-3(c)）は、CSG 部については倍率 2 倍および 3 倍の両ケースで止水・構造用コンクリートとの境界付近の富配合 CSG（図中 G）、倍率 3 倍ケースでは止水・構造用コンクリート隅角部付近の内部 CSG（図中 H）である。コンクリート部については、倍率 2 倍ケースで堤体上流端付近の止水・構造用コンクリート（図中 I）、倍率 3 倍ケースではこれに加えて上流面の保護コンクリートの一部（図中 J）である。しかし、これらの領域は図-3(a)の引張応力が引張強度を超える領域に含まれている。また、図-3(c)（倍率 3 倍ケース）に示したせん断応力の方向はほぼ水平方向となっている。仮に図-3(c)に示した着色領域でせん断損傷が発生したとしても、堤体内部に進展する可能性は低いと考えられる。

以上のことから、大規模地震時において、台形 CSG ダムの堤体に圧縮やせん断による損傷が先行して生じる可能性は低く、最も考慮すべき損傷形態は、堤体内部の CSG と止水・構造用コンクリート部の境界や保護コンクリート部などに引張応力が集中することによる損傷であると考えられる。

4. まとめ

本研究より得られた成果を以下に述べる。

- ・大規模地震時において最も考慮すべき台形 CSG ダムの損傷形態は、堤体内部の CSG と止水・構造用コンクリート部の境界や保護コンクリート部などに引張応力が集中することによる損傷である。
- ・大規模地震により台形 CSG ダム堤体内に圧縮破壊やせん断破壊が先行して生じる可能性は、引張破壊による損傷に比べ相対的に低いと考えられる。

参考文献

- 1) 国土交通省河川局：大規模地震に対するダム耐震性能照査指針（案），2005. 3.
- 2) 志田孝之，金銅将史，切無沢徹，佐々木隆：台形 CSG ダムの大規模地震時挙動解析，土木学会年次学術講演会講演概要集，68th，2013. 8.
- 3) 財団法人ダム技術センター：台形 CSG ダム設計・施工・品質管理技術資料，2012. 6.