

CSG 構造物の振動応答に関する一考察

水資源開発公団試験研究所 正会員 大前智敬
 水資源開発公団試験研究所 米崎文雄
 水資源開発公団試験研究所 正会員 佐藤信光

1. はじめに

CSG (Cemented Sand and Gravel) による構造物の施工事例も増加し、近年 CSG を用いたダム建設の設計方法について検討が行われている¹⁾。本研究は、CSG にひずみの増加に伴いせん断弾性係数が低下する傾向(「非線形性」)のあることが言われていることから^{2),3)}、CSG の繰返し載荷変形特性試験を行うとともに、堤高 100m の CSG 台形モデルダムに対して、水平方向最大加速度 296Gal の模擬地震動を用いて線形および非線形で振動応答解析を行い、振動応答について比較検討した結果を報告するものである。

2. 室内試験

(1) 試験概要

今回の試験に用いた母材は T ダム堤体掘削ズリで、平均絶乾比重 $G_b = 2.74$ 、平均吸水率 $Q = 0.9\%$ である。試験含水比は、5 含水比 (3.0~7.0%) で予備試験を行い、供試体密度、一軸圧縮強度 (σ_c) 結果より、 $w = 5.0\%$ とした。供試体 $300\text{mm} \times h 600\text{mm}$ の作製方法は、下振式振動締固め装置により、4 層、締固めエネルギー 3G で行い、理論密度 2.592g/cm^3 の 95% 以上になるようにした。試験条件を表 - 1 に示す。

(2) 静的荷重載荷試験

表 - 2 に一軸および三軸圧縮試験結果を示す。三軸圧縮試験は測圧を 0.1、0.2、0.3、0.4 MN/m^2 の 4 側圧で、圧密排水条件とした。また、セメントを混ぜない掘削ズリのみ (気乾) についても、CSG と同一条件で三軸圧縮試験を行った。その結果、CSG は掘削ズリと比べて、内部摩擦角 ϕ で 1.07 倍、粘着力 C で 3.3 倍程度大きく、両者の違いは粘着力 C の差によるところが大きいことがわかる。

(3) 繰返し載荷変形特性試験 ($G, h \sim$ 試験)

繰返し載荷試験は、最初にせん断ひずみ γ が微小領域 ($1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-5}$) で、側圧を 0.05、0.1、0.2、0.3、0.4、0.6、0.8 MN/m^2 として、圧密排水条件で試験を行った。載荷波形は sin 波 (0.2Hz) とし、繰返し波数は 11 波で行った。その結果、拘束圧の増大に伴い初期せん断弾性係数 G_0 が増大する傾向が見られた (図 - 1)。

つぎに、せん断ひずみ γ を 1×10^{-4} の領域まで繰返し載荷した。載荷方法は、静的鉛直荷重を各段階ごとに片振幅応力分だけ加え、片振幅で繰返し載荷を行った。試験後に鉛直荷重によって増加した G_0 値を補正して G/G_0 を求めた。側圧は 0.1、0.2 MN/m^2 の 2 ケースとした。試験の結果を図 - 2 に示す。この図より、ひ

表 - 1 試験条件

単位セメント量	60kg/m ³
母材	60:20 : 20:0 = 50 : 50
含水比	5.0%
供試体寸法	300mm×h 600mm
養生日数	7日

表 - 2 一軸・三軸圧縮試験結果

試験種別	圧縮強度 (MN/m ²)	
	一軸圧縮試験	3.795 3.790 3.743
三軸圧縮試験	CSG	
	内部摩擦角 (°)	粘着力 C (MN/m ²)
	52.7	0.553
三軸圧縮試験	掘削ズリ (気乾)	
	内部摩擦角 (°)	粘着力 C (MN/m ²)
	49.3	0.168

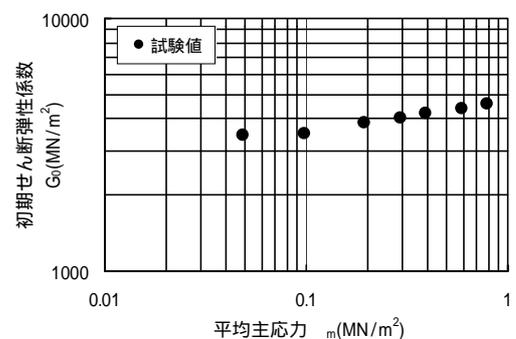


図 - 1 初期せん断弾性係数と平均主応力の関係

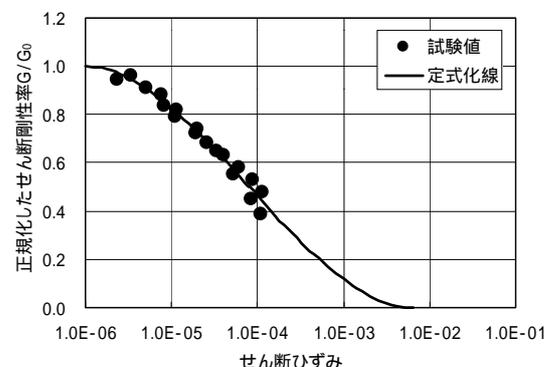


図 - 2 せん断ひずみと剛性率の関係

キーワード：CSG、繰返し載荷変形特性試験、振動応答、線形、非線形

連絡先：〒338-0812 さいたま市神田 936 番地 Tel:048-853-1785、Fax:048-855-8099

ずみが大きくなるにしたがい、せん断弾性係数が低下するという非線形性がうかがえる。なお、図中に示した定式化線とは、解析のために設定した試験値近似曲線である。

3. 振動応答解析

(1) 解析条件

CSG 材料試験結果に見られる非線形性を検討するために、Kダム近くに断層を想定して作成した模擬地震動（最大加速度は水平方向の296Gal）により、CSG 構造物の振動応答解析を線形および非線形で行った。対象とした構造物は、図-3に示す堤高100m、堤頂長10m、上下流法面勾配1:1.0のCSG台形ダムである。図-4に解析に用いた模擬地震動を示す。地震動は解析モデルダム底面より入力した。

堤体の物性値は、既往の研究成果^{1),4)}を参照し、弾性係数 $E_C = 2,000 \text{ MN/m}^2$ 、ポアソン比 $\nu = 0.3$ とした。初期せん断弾性係数 G_0 は、試験結果より $G_0 = 4,646 \times m^{0.11} \text{ (MN/m}^2\text{)}$ とした。図-5に初期せん断弾性係数分布を示す。非線形解析における剛性率とせん断ひずみの関係は、図-2に示した定式化線による。なお、今回は応答の比較検討を目的としていることから、上流側の貯水は考慮していない。

(2) 解析結果

図-6にダム軸の最大加速度分布図を示す。この図より、線形解析の場合、加速度は底部から天端にかけて一様に増加しているのに対して、非線形解析では底部に入力された地震動はダム低標高部において一度加速度が減少し、再び天端にかけて増加している。

図-7に最終せん断弾性係数分布を、図-8に最終せん断ひずみ分布を示す。これらの図より、堤体内部でひずみが大きくなり、せん断弾性係数が減少しているのがわかる。このことより、堤体の応答加速度が低減されたものと考えられる。

4. おわりに

今回実施した振動応答解析では、強い地震動によりCSG 構造物の振動応答は線形と非線形とでは異なり、材料試験で見られた非線形性を考慮することで堤体の応答が低減されることがわかった。

今回は1つの地震動により検討を行ったが、今後、異なったいくつかの地震動を用いて検討を進めていくとともに、堤体内部の応力に着目した解析を行っていく予定である。

参考文献

- CSG ダム研究会：CSG 材料を用いたダムの解析と設計方法の提案、ダム技術 No.166、pp.27～52、2000.7
- 川口昌尚、豊田光雄、中村昭：CSG の動的変形特性、土木学会第50回年次学術講演概要集、pp.828～829、1995.9
- 今井裕一、豊田光雄：CSG の単位セメント量、母材、密度の違いによる剛性率および減衰定数、土木学会第55回年次学術講演概要集、pp.502～503、2000.9
- 豊田光雄、今井裕一：弾性波探査などによるCSG 構造物の工学特性、土木学会第55回年次学術講演概要集、pp.508～509、2000.9
- 染矢武彦、住谷昌宏、佐藤信光、近藤崇、市川滋己：CSG 材の繰返し載荷特性、土木学会第54回年次学術講演概要集、pp.670～671、1999.

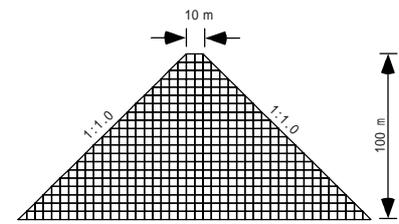


図-3 CSG 台形ダムモデル図

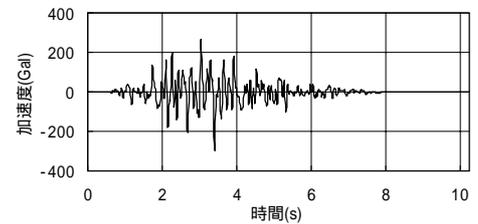


図-4 模擬地震波形

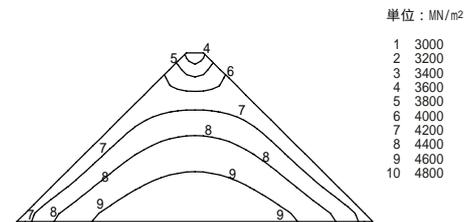


図-5 初期せん断弾性係数分布

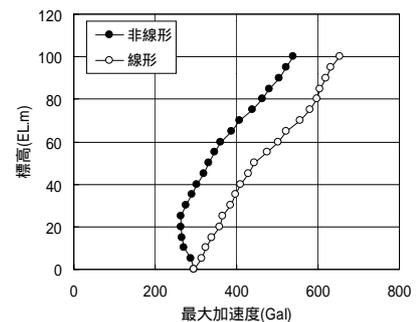


図-6 ダム軸の最大加速度分布

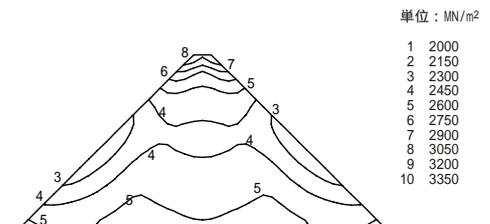


図-7 最終せん断弾性係数分布

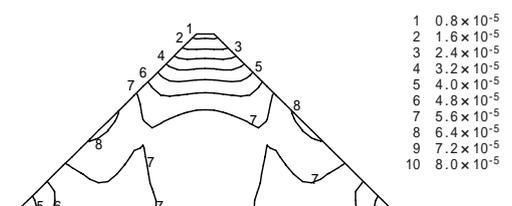


図-8 最終せん断ひずみ分布