

CSG の引張破壊特性に関する検討 (その 3)

独立行政法人 土木研究所 正会員 ○太田兵庫, 金銅将史, 小堀俊秀, 榎村康史
 防衛大学校 建設環境工学科 正会員 別府万寿博

1. はじめに

現地発生材を基本的に洗浄・分級せず、簡易な設備でセメント・水と混合した CSG (Cemented Sand and Gravel) のダムなど土木構造物への利用が進んでいる。一方、設計外力を上回る大規模地震による地震動を想定し、必要に応じて損傷過程を考慮して、構造物の耐震性能を照査する取組みが進んでいる。このため、筆者らは、CSG を用いた代表的構造物である台形 CSG ダムを対象に、CSG の引張破壊による損傷を考慮する上で必要となる CSG の引張破壊特性を明らかにするための実験的検討を進めている^{1),2)}。本報では、事前の繰返し載荷により、破壊前の応力履歴が引張強度や破壊エネルギーに及ぼす影響について報告する。

2. 試験方法

試験項目と試験に用いた供試体形状を表-1、CSG の配合を表-2 に示す。CSG 材は実際のダムに使用された材料を使用した。単位セメント量は実際のダムの例により、単位水量と CSG 材各粒径の割合は実施工で求められるワーカビリティ等が得られるよう調整した。供試体は、混合した CSG 材の最大粒径が 40mm となるよう混合後にウェットスクリーニングを行った上で、3 層 (破壊エネルギー試験用供試体は 2 層) に分けて型枠に詰め込み、各層で突き棒による突き固めと振動タンパによる締固めを行って作製した。20℃の恒温室にて封緘養生し、材齢 91~108 日で各試験を実施した。

割裂引張試験は、JIS A 1113 によった。直接引張試験は、円柱供試体の両端に鋼製治具をエポキシ系接着剤で固定し、偏心の影響を軽減するためユニバーサルジョイントを介して軸方向に引張荷重を加えた。破壊エネルギー試験は、JCI-S-001-2003 (切欠きはりをを用いたコンクリートの破壊エネルギー試験方法) によった。ただし、クロスヘッド変位制御で実施した。

各試験とも単調載荷 (静的載荷・急速載荷) のみによる破壊ケースと、事前繰返し載荷後に単調載荷 (同)

して破壊させるケース (図-1) を実施した。図に示すとおり、事前繰返し載荷は、単調載荷のみによる破壊ケース (静的載荷) での最大荷重の平均値 $\overline{P_{max}}$ の 0.1 倍から 0.7 倍の範囲で載荷・除荷を 10 回繰返した。なお、割裂および直接引張試験では、静的載荷は応力増加速度 0.05N/mm²/秒、急速載荷は地震応答解析の結果³⁾を参考に設定し、36~344N/mm² となった。急速載荷はサーボ制御式急速載荷試験装置⁴⁾を使用した。破壊エネルギー試験では、静的載荷は CMOD 速度 0.1mm/分、急速載荷は 10mm/分及び 100mm/分とした。事前繰返し載荷は全て静的載荷と同じとした。

表-1 試験項目と供試体形状

試験項目	供試体形状
割裂引張	φ 150mm×H240mm (H300mm の両端 30mm を切除)
直接引張	
破壊エネルギー	B150mm×H150mm×L550mm
圧縮	φ 150mm×H300mm

表-2 CSG の配合

		単位量(kg/m ³)				
W	C	CSG 材				
		80-40	40-20	20-10	10-5	5mm-
140	80	167	293	397	376	857

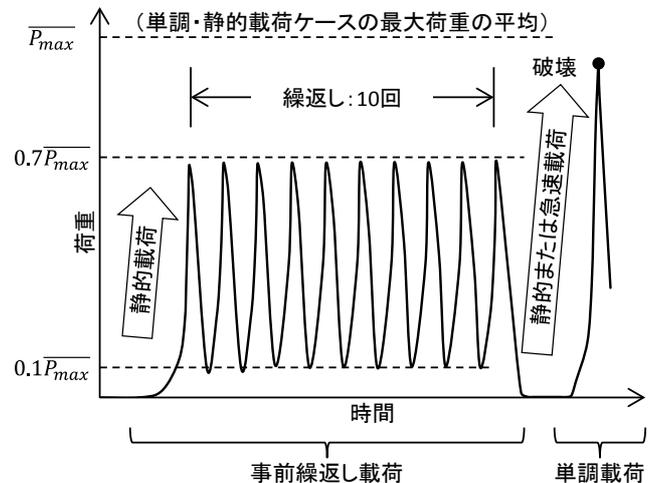


図-1 載荷方法 (概念図)

キーワード CSG, 引張強度, 破壊エネルギー, 繰返し載荷, 急速載荷

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (独)土木研究所 水工研究グループ 水工構造物チーム TEL029-879-6781

3. 試験結果

得られた引張強度及び破壊エネルギーを表-3 に示す。このうち、引張強度と載荷速度の関係を図-2 に示す。同図中、引張強度は静的・単調載荷ケースの強度の平均を基準とした増加率で示している。応力増加速度は最大応力時とその 1/3 の応力となる時刻の速度としている。割裂、直接引張強度とも、載荷速度が速くなると強度が増加する速度依存性が表れている。繰返し載荷の影響は、静的載荷ではほとんど認められないが、急速載荷した場合には単調載荷に比べ強度増加がやや小さい傾向が認められる。破壊エネルギーと載荷速度の関係を図-3、荷重-CMOD 曲線を図-4 に示す。CMOD 速度が増加すると破壊エネルギーが増加する傾向が認められるものの、繰返し載荷の影響はばらつきが大きく明確ではない。なお、両図中※を付したケースは破断面に骨材が介在しており、*を付したケース

は載荷途中で一時荷重低下を生じた。これらのケースを除けば、単調載荷に比べ事前繰返し載荷を行った場合の載荷速度の増加による破壊エネルギーの増加は小さくなるが、試験数が限られるためさらに検証が必要である。

4. まとめ

CSG 供試体を用いて、載荷速度や事前繰返し載荷の有無を変化させた割裂引張試験、直接引張試験、破壊エネルギー試験を行い、以下のことがわかった。

- ・CSG の引張強度は載荷速度が速くなると増加するが、破壊前の応力履歴の影響を受け、繰返し載荷を受ける場合には強度増加がやや小さくなる。
- ・CSG の破壊エネルギーも引張強度と同様の速度依存性とともに応力履歴の影響を受ける可能性があるが、応力履歴の影響についてはさらに検証を要する。

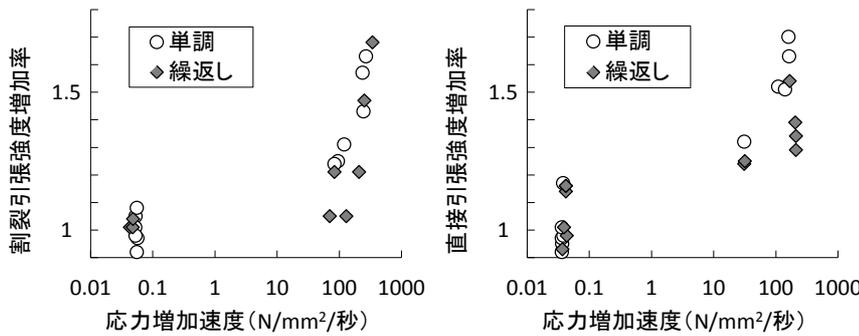


図-2 引張強度と載荷速度の関係 (左：割裂引張、右：直接引張)

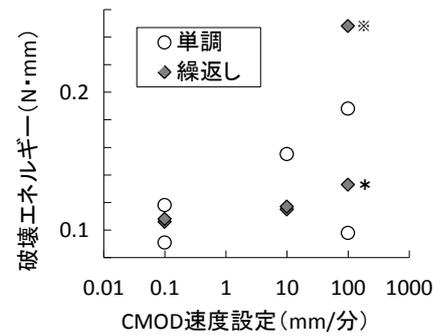


図-3 破壊エネルギーと載荷速度の関係

表-3 試験結果

試験	ケース	静的	急速	増加率 ^{注)}
割裂引張 (N/mm ²)	単調	0.567(6)	0.799(6)	1.41
	繰返し	0.581(3)	0.731(6)	1.26
直接引張 (N/mm ²)	単調	0.356(6)	0.547(5)	1.54
	繰返し	0.378(6)	0.477(6)	1.26
破壊エネルギー (N・mm)	単調	0.105(2)	0.147(3)	1.40
	繰返し	0.107(2)	0.153(4)	1.43
圧縮強度(N/mm ²)		3.31(5)		

注) 静的載荷に対する急速載荷の増加率。 ()内は数量。

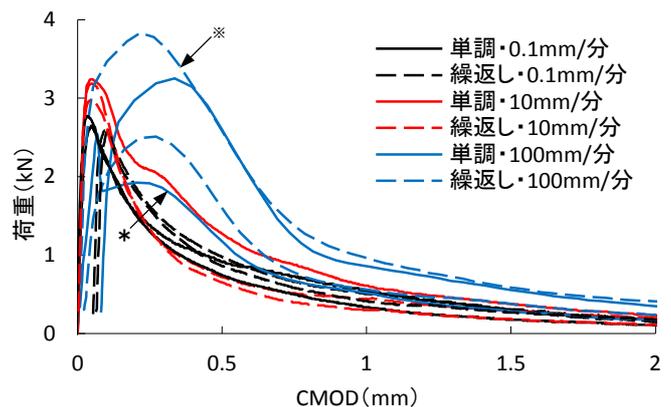


図-4 荷重-CMOD 曲線

参考文献

- 1)切無沢徹,金銅将史,小島裕之,山口嘉一:CSG の引張破壊特性に関する検討,土木学会第 67 回年次学術講演会,2012 年 9 月,V-415
- 2)小林雅幸,金銅将史,切無沢徹,佐々木隆:CSG の引張強度特性に関する検討(その 2),土木学会第 68 回年次学術講演会,2013 年 9 月
- 3)佐々木隆,金銅将史,切無沢徹:台形 CSG ダムの耐震性能照査に関する研究,(独)土木研究所平成 24 年度重点プロジェクト研究報告書
- 4)江田智,別府万寿博,大野友則,藤掛一典,佐藤志志:引張試験法および試験体寸法の相違がコンクリートの動的引張試験強度に及ぼす影響,土木学会構造工学論文集,Vol.49A,2003 年 3 月