

CSG の引張破壊特性に関する検討 (その 4)

国立研究開発法人 土木研究所
防衛大学校 建設環境工学科

正会員 ○矢田一也, 金銅将史, 小堀俊秀, 榎村康史
正会員 別府万寿博

1. はじめに

近年, 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, 大規模地震に対して, 必要に応じて構造物の損傷過程まで考慮して耐震性能を照査する取組みが進んでいる。本報では, CSG 構造物の損傷過程の推定に必要となる CSG の引張破壊特性を明らかにすることを目的として, 載荷速度および繰返し載荷による応力履歴が CSG の引張破壊特性に及ぼす影響について, 既報告^{1),2),3)}に引続き, 事前繰返し載荷や急速載荷を含む引張強度試験および破壊エネルギー試験を行い検討した結果を報告する。

2. 試験方法

試験項目と試験に用いた供試体形状を表-1 に示す。CSG 材は実際のダムに使用された材料を使用した。その母材と配合を表-2 に示す。なお, 表中 I 材, II 材は, 母材の材質(硬さや風化の程度)に応じた採取区分を示している。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い, 振動タンパによる締固めを行って作製した。その後, 20℃の恒温室内にて保管(封緘養生)した。試験材齢は, K-I A, K-I B, K-I C, K-II B および S-A は 91 日前後, K-II A は 300 日前後である。

引張強度試験は, 直接引張試験および割裂試験により実施した。割裂試験は, JIS A 1113 に準じて行った。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。直接引張試験・割裂試験とも, 載荷速度は JIS A 1113 に規定される, 応力増加速度 0.06N/mm²/s 前後から急速載荷条件(大規模地震を想定した CSG 構造物(ダム)の地震応答解析の結果⁴⁾を参考に 100N/mm²/s オーダー)となる範囲で設定した。事前繰返し載荷は有・

無の両ケースを実施した。有のケースでは, 図-1 に示す通り, 静的載荷時の引張強度 $\bar{f}_t$ に対する, 最小応力比 S_{min} を 0.1, 同最大応力比 S_{max} を 0.5~0.9 の応力範囲で載荷・除荷を 10 回繰返した後に, 種々の載荷速度で破壊させた。

破壊エネルギー試験は, JCI-S-001-2003 (切欠きはりを用いたコンクリートの破壊エネルギー試験)に準じて行った。静的載荷は, ひび割れ肩口開口変位 (CMOD) 速度 0.1mm/min, 急速載荷は同 10mm/min および 100mm/min で実施した。

表-1 試験項目と供試体形状

試験項目	供試体形状
割裂試験*	φ 150mm×H240mm
直接引張試験*	(H300mm の両端 30mm を切除)
破壊エネルギー試験	B150mm×H150mm×L550mm (中央に切欠き 45 mm)
圧縮試験	φ 150mm×H300mm

※ 事前繰返し載荷ケースも実施

表-2 CSG の配合

ケース名	母材*	単位量(kg/m ³)			備考
		C	W	CSG 材	
K-I A	Kダム(I材)	80	85	2258	既報告 ^{1),2),3)} において使用
K-I B	Kダム(I材)	120	85	2226	
K-I C	Kダム(I材)	80	110	2064	
K-II A	Kダム(II材)	80	110	2154	
K-II B	Kダム(II材)	80	140	2090	
S-A	Sダム	80	100	2139	

※ Kダムでは砂岩粘板岩互層から採取, Sダムでは河床砂礫を利用

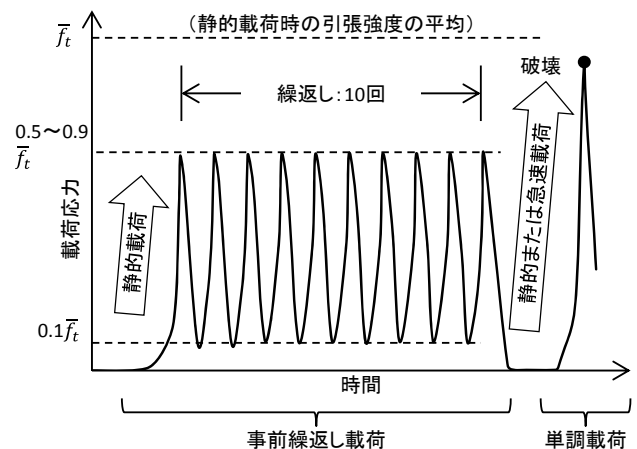


図-1 事前繰返し載荷方法 (概念図)

キーワード CSG, 引張強度, 破壊エネルギー, 事前繰返し載荷, 急速載荷

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

表-3 割裂試験結果 (ケース S-A)

試験項目	事前繰返し载荷条件		载荷速度※ ()は試験本数		
			静的	中速	高速
割裂強度 (N/mm ²)	なし		1.10 (3)	1.43 (1)	1.59 (4)
	有	$S_{min}=0.1, S_{max}=0.5$	1.18 (3)	1.63 (2)	1.56 (3)
	有	$S_{min}=0.1, S_{max}=0.7$	1.09 (3)	1.58 (2)	2.02 (3)
	有	$S_{min}=0.1, S_{max}=0.8$	1.33 (3)	1.33 (3)	1.74 (2)
	有	$S_{min}=0.1, S_{max}=0.9$	1.30 (3)	1.48 (4)	1.73 (2)
圧縮強度(N/mm ²)			9.88 (6)		

※ 「静的」、「中速」、「高速」はそれぞれ応力増加速度 1N/mm²/s 以下, 1~10N/mm²/s, 100N/mm²/s 以上

※ 試験値は平均値で示している。

表-4 破壊エネルギー試験結果 (ケース S-A)

試験項目	CMOD 速度(mm/min) ()は試験本数		
	0.1mm/min	10mm/min	100mm/min
破壊エネルギー試験(N/m)	55.42 (3)	98.55 (3)	97.74 (5)

※ 試験値は平均値で示している。

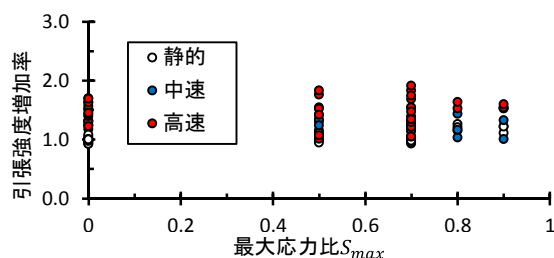


図-3 最大応力比と引張強度の関係 (事前繰返し载荷 10 回)

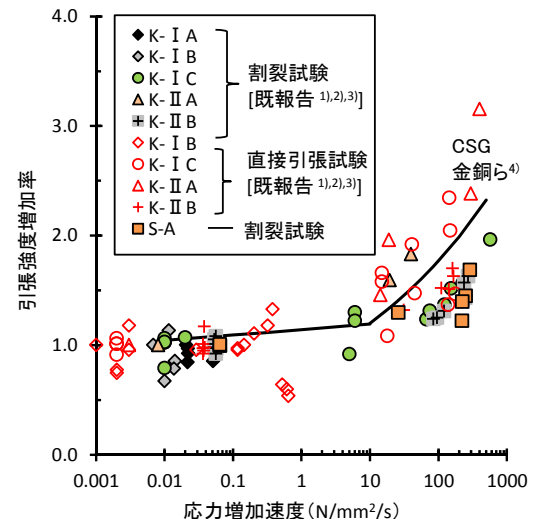


図-2 応力増加速度と引張強度の関係

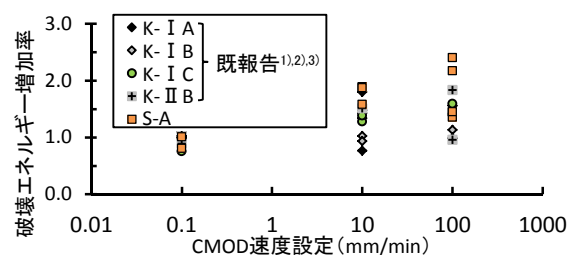


図-4 CMOD 速度と破壊エネルギーの関係

3. 試験結果

今回実施したケース S-A の割裂試験結果を表-3 に示す。このうち引張強度と载荷速度の関係について、事前繰返し载荷無のケースを既報告^{1),2),3)}のものと合わせて、図-2 に示す。引張強度は静的引張強度で基準化した増加率で示している。ばらつきが大きいものの、既往研究⁴⁾と同様に、引張強度は载荷速度が速くなると増加する傾向が認められた。なお、配合や母材の違いによる明確な影響は認められなかった。

次に、事前繰返し载荷が引張強度に及ぼす影響について、最大応力比 S_{max} と引張強度の関係を前報³⁾と合わせて、図-3 に示す。今回の試験条件 (最大応力比 $S_{max} \leq 0.9$, 事前繰返し回数 10 回程度) では、事前繰返し载荷による引張強度への影響は認められなかった。

破壊エネルギーについて、ケース S-A の試験結果を表-4 に示し、CMOD 速度との関係で既報告^{1),3)}と合わせた結果を図-4 に示す。既往研究⁴⁾と同様に、CMOD 速度が大きくなると破壊エネルギーが増加する傾向が認められた。ただし、ばらつきも大きくなっている。一因として、破断面の骨材の入りが供試体ごとに異なることが関係している可能性があるが、この原因については今後検討が必要である。

4. まとめ

CSG の载荷速度や事前繰返し载荷の有無を変化させた引張強度試験、破壊エネルギー試験を行った。その結果、以下のことがわかった。

- ・引張強度は载荷速度が速くなると増加する傾向が確認できた。
- ・最大応力比 0.9, 事前繰返し载荷 10 回程度では、引張強度への影響は認められない。
- ・CSG の破壊エネルギーは、载荷速度の増加により大きくなる傾向を示すが、ばらつきも大きくなる。

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, 2012.9
- 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, 2013.9
- 3) 太田兵庫, 金銅将史, 小堀俊秀, 榎村康史, 別府万寿博: CSG の引張強度特性に関する検討 (その 3), 土木学会第 69 回年次学術講演会, 2014.9
- 4) 金銅将史, 佐々木隆, 別府万寿博: CSG の引張強度・軟化特性とその载荷速度依存性, 土木学会論文集 E2, 2014.6