

CSG の引張強度特性に関する検討 (その 2)

独立行政法人土木研究所 正会員 ○小林雅幸、金銅将史、切無沢徹、佐々木隆
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

ダム事業において、経済性や環境配慮の着目点から、現地発生材を基本的に分級せず、簡易な施設でセメントと水を混合した CSG (Cemented Sand and Gravel) を堤体材料とした新形式のダム (台形 CSG ダム) が建設されている。土木構造物の耐震性に対する社会的関心の高まりを受け、大規模地震を想定した耐震性能照査の試行が始まっている。本検討は、台形 CSG ダムの合理的な耐震性能照査法を確立するために必要な大規模地震時に想定される CSG の損傷形態やそれを規定する CSG の物性を明らかにするためのものである。本報では、大規模地震を想定した動的条件下における CSG の引張強度特性について、前報¹⁾ より大きな載荷速度 (急速載荷) 条件も含めて、直接一軸引張強度試験と割裂引張強度試験を実施した結果を報告する。

2. 試験方法

実施した試験と供試体形状について表-1 に示す。直接引張試験において、通常の円柱供試体では供試体作製時の締固め境界面が載荷方向と垂直になり、潜在的弱面となる可能性がある。このため、円柱供試体のほか、供試体作製時の締固め境界面を載荷方向に平行とした角柱供試体での試験も実施した。試験時の載荷速度は JIS A 1113「コンクリートの割裂引張試験」を参考に設定した載荷速度 (以下、静的載荷という) 及び、台形 CSG ダムの地震応答解析から推定した大規模地震時における載荷速度 (以下、急速載荷という) で実施した。急速載荷での試験はサーボ制御式急速載荷試験装置²⁾ を使用した。

直接引張試験は、鋼製治具にエポキシ系接着剤で固定した供試体を、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設置し、軸方向に引張荷重を加える方法で実施した (写真-1 参照)。割裂急速引張試験についても同様の急速載荷試験機を使用し、鋼製の載荷板を取り付けて実施した。その他、両引張試験に用いた CSG の基本的な物性を把握するため、静的載荷条件下における圧縮強度試験を実施した。

供試体には実際の台形 CSG ダムで使用された CSG 材 (表-2 参照) を使用し、表-3 の配合で作製した。CSG は混合した後、40mm のふるいでウェットスクリーニングを行い、振動タンパにより締固めた後、恒温室で封かん養生し、材齢 91 日程度で各種試験を実施した。

3. 試験結果

引張試験の結果を表-4 に示す。各試験とも引張強度は最大荷重時の応力 (ピーク強度) として、載荷速度条件毎の平均値を示すとともに、静的載荷速度時を基準とした増加率を示した。

表-1 実施試験・供試体形状

試験内容	供試体形状
直接引張	円柱 (φ150mm×H240mm)
	角柱 (□150mm×H240mm)
割裂引張	円柱 (φ150mm×H240mm)



写真-1 直接引張試験状況

表-2 CSG 材物性値・質量百分率

粒径	表乾密度 (g/cm ³)	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	質量百分率 (%)
80mm-40mm	2.52	2.46	2.44	13
40mm-20mm	2.52	2.45	2.62	19
20mm-10mm	2.52	2.45	2.78	19
10mm-5mm	2.52	2.44	3.25	19
-5mm	2.57	2.49	3.01	30

表-3 供試体配合

単位セメント量 (kg/m ³)	単位水量 (kg/m ³)	CSG 材量 (kg/m ³)
80	110	2064

キーワード CSG, 直接引張, 割裂引張, 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 TEL 029-879-6781

円柱供試体に比べ角柱供試体の引張強度は 1.4 倍程度の大きな値を示した。なお、円柱供試体の多くが締固め境界面から破断しているのに対して、角柱供試体は全て鋼製治具の基部で破断した。円柱供試体では潜在的な弱面となりやすい締固め境界面が載荷方向に対して垂直であるのに対し、角柱供試体は平行であったためと考えられる。また、急速載荷時の強度増加率は両供試体ともほぼ同程度の 1.4～1.8 倍となり、破断位置の相違による有意な差は見られなかった。

次に、直接引張試験と割裂引張試験から得られた載荷速度条件毎の引張強度を図-1 に示す。最も引張強度が低い直接引張試験（円柱）に対し、割裂試験から得られた引張強度は、静的条件下で 1.9 倍、急速条件下で 1.5 倍程度となった。直接引張試験では供試体の最も弱面となる位置で破壊が生じるのに対し、割裂試験では破壊面が規定されているためと考えられる。また、静的載荷時を基準とした引張強度の増加率は、直接引張試験よりも小さく（1.2～1.4 倍）なった。

載荷速度と引張強度の増加率を図-2 に示す。前報¹⁾の速度条件（1N/mm²/s 以下）では載荷速度の増加による明確な引張強度の増加は現れなかったが、今回の大規模地震時を想定した速度条件では明らかに引張強度の増加が見られた。

4. まとめ

実際のダムで使用された CSG 材を用いた供試体による急速載荷条件を含む引張強度試験を実施し、以下の結果を得た。

- ・ 供試体試験で得られる CSG の引張強度は、ある程度載荷速度が大きな範囲で増大することが確認された。
- ・ 供試体試験で得られる CSG の引張強度及びその静的載荷時に対する急速載荷時の増加率は、供試体作製方法及び試験方法（直接引張、割裂引張）の影響を受ける。

今後は、地震動を想定した繰り返し荷重が CSG の強度特性に与える影響、破壊特性についても解明を進めていきたい。

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) 江田智、別府万寿博、大野友則、藤掛一典、佐藤紘志、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)

表-4 試験結果一覧

試験	供試体形状	載荷条件	載荷速度 (応力増加速度) (N/mm ² /s)	試験数量	引張強度 (ピーク強度) 平均値 (N/mm ²)	強度増加率 (静的載荷=1)
直接引張	円柱	静的	0.002	4	0.41	1.0
		急速	15~45	5	0.63	1.5
			139~176	4	0.74	1.8
	角柱	静的	0.004	1	0.59	1.0
		急速	1~17	4	0.84	1.4
			133	1	1.07	1.8
割裂引張	円柱	静的	0.001~0.02	6	0.77	1.0
		急速	5~75	5	0.92	1.2
			123~154	2	1.11	1.4
圧縮強度	円柱	静的	0.05~0.06	3	5.88	—

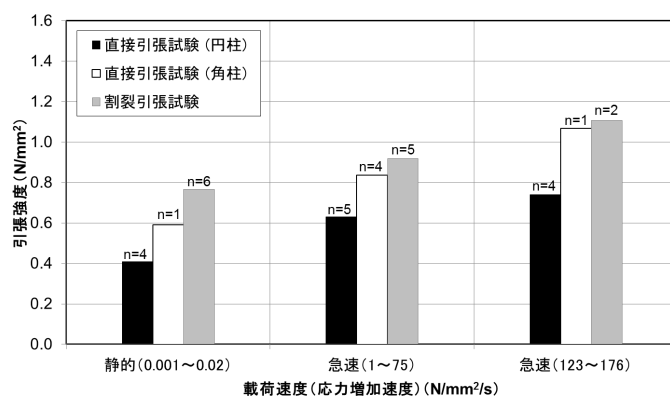


図-1 試験方法の相違による強度特性変化
(速度条件毎の平均)

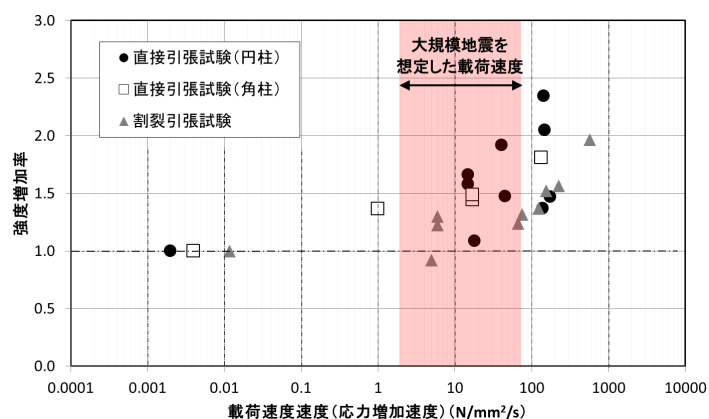


図-2 載荷速度と強度増加率の関係