

ダムコンクリートの動的破壊特性に関する実験的検討

国立研究開発法人 土木研究所 正会員 ○藤田 将司, 金銅 将史, 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. 目的

大規模地震に対する土木構造物の耐震性について社会的関心が高まる中、ダムでは、必要に応じてその損傷過程まで考慮して大規模地震に対する耐震性能を照査¹⁾する取り組みが進められており、コンクリートダムでは、地震動の作用による堤体の引張破壊の発生・進展過程を推定することが必要となっている。ダムコンクリートの動的破壊特性については、既往研究²⁾において単調載荷によって、引張強度の載荷速度による影響が調べられている。しかし、大規模地震時を想定した条件での載荷速度が引張強度のほか破壊エネルギーに及ぼす影響や、繰返し載荷による応力履歴が引張強度に及ぼす影響については不明な点が多い。本報では、これらについてダムコンクリートを用いた実験的検討を行った結果を報告する。

2. 試験方法

試験項目・試験数量と供試体形状を表-1、ダムコンクリートを想定した供試体コンクリートの配合を表-2に示す。同表中の配合は、重力式コンクリートダムでの一般的なダムコンクリートの配合（A配合は外部コンクリート、B配合はRCD用コンクリート）をもとにウェットスクリーニングにより粗骨材最大寸法 $G_{max}=40mm$ とした場合を想定した配合である。供試体作製は、A配合は棒上バイブレーターで締固めた後木槌を使用して締固めを行った。B配合は突き棒で突き固め、振動ランマで締固めを行った。養生は約3ヶ月間恒温水槽で行った後、材齢91~115日で各試験を行った。

試験方法は、割裂引張試験はJIS A 1113、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、急速載荷時のCMOD（ひび割れ肩口開口変位）はクリップゲージの代わりに渦電流式変位計により高速(5kHz)で計測した。

試験内容は、表-1に示すとおり、載荷速度を変化させた試験に加え、割裂引張試験は事前繰返し載荷を行ったケースを実施した。載荷速度は、静的載荷と急速載荷（大規模地震時の地震応答解析結果³⁾より想定した速度）で行った。割裂引張試験は、静的載荷は応力増加速度約 $0.06N/mm^2/秒$ 、急速載荷は $30\sim860N/mm^2/秒$ で実施した。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 $10mm/分$ 、 $100mm/分$ および $667mm/分$ とした。事前繰返し載荷の方法は、図-1に示すとおり、静的引張強度 \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 $0.5\sim0.9$ の応力範囲で載荷・除荷を10回または20回事前に繰返した。

表-1 試験項目・試験数量・供試体形状

試験項目		試験数量 (本)				供試体形状	
		静的載荷		急速載荷			
		A配合	B配合	A配合	B配合		
圧縮		6	6	—	—	$\phi 150mm \times H300mm$	
割裂引張	事前繰返し無	9	9	5	5	$\phi 150mm \times H200\sim240mm$ (H300mmの両端30~50mmを切除)	
	事前繰返し有	$S_{min}=0.1, S_{max}=0.5$	2	3	—		—
		$S_{min}=0.1, S_{max}=0.7$	2	3	—		—
		$S_{min}=0.1, S_{max}=0.8$	8	9	7		5
		$S_{min}=0.1, S_{max}=0.9$	8	6	1		1
破壊エネルギー		3	3	8	8	B150mm \times H150mm \times L550mm	

表-2 供試体の配合

配合区分	スラングの範囲 (cm)	標準VCの範囲 (秒)	単位量 (kg/m ³)					
			水 W	セメント C	細骨材 s	粗骨材 S		
						80~40mm	40~20mm	20~5mm
A	3 \pm 1	—	139	282	785	—	564	564
B	—	20 \pm 10	112~118	158	876~879	—	630~635	630~634

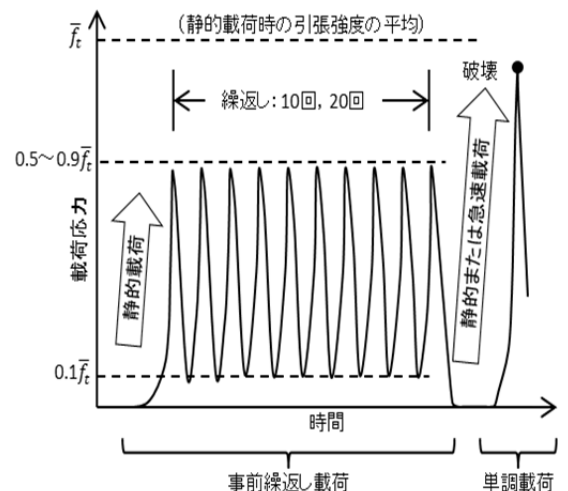


図-1 繰返し載荷方法 (概念図)

キーワード ダムコンクリート, 引張強度, 破壊エネルギー, 急速載荷, 耐震性能照査

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

3. 試験結果

引張強度と載荷速度の関係を図-2, 図-3 に示す. 同図中, 引張強度は静的・単調(事前繰返し無) 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. なお, 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間での応力変化率として求めた. 引張強度は, 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. 事前繰返し載荷の影響は, その後の載荷による破壊強度での比較(図-2, 図-3) では, 載荷速度によらず明確ではない. ただし, 図-2, 図-3 には事前繰返し途中で破壊した供試体の結果は含んでいない. 図-4 に示すとおり, 事前繰返し載荷(10回)の途中で破壊した供試体が, 最大応力比 $S_{max}=0.9$ のケースで16本中10本(63%), $S_{max}=0.8$ で29本中4本(14%)あったことから, 事前繰返し載荷による影響を受けている可能性が考えられる.

破壊エネルギー試験で得られた荷重-CMOD 曲線を図-5, 図-6 に, 同曲線から求めた破壊エネルギーと CMOD 速度の関係を図-7 に示す. 図-5, 図-6 より, ピーク荷重値は概ね CMOD 速度が速い方が大きくなっている. また, 図-7 より, CMOD 速度が増加すると破壊エネルギーが増加する速度依存性が表れている.

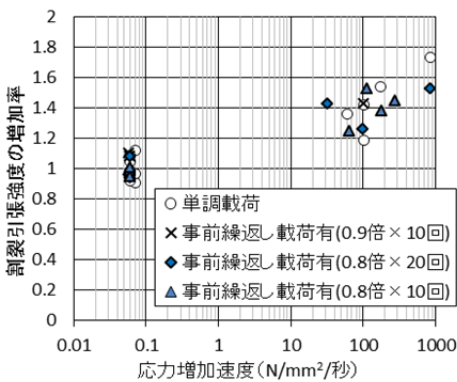


図-2 引張強度と載荷速度の関係 (A 配合)

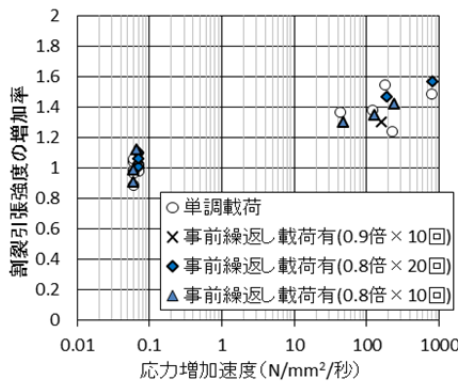


図-3 引張強度と載荷速度の関係 (B 配合)

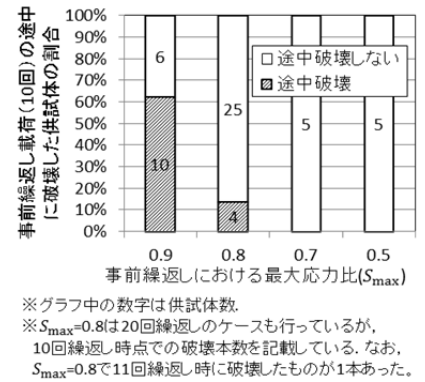


図-4 事前繰返し載荷(10回)の途中で破壊した供試体の割合

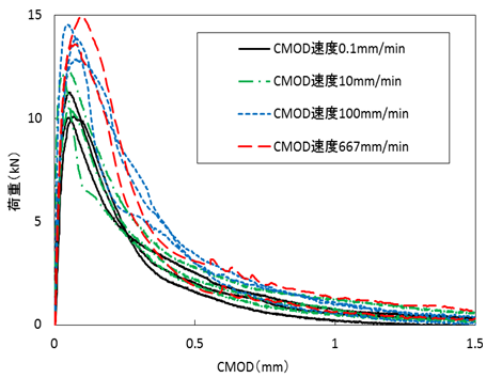


図-5 荷重-CMOD 曲線 (A 配合)

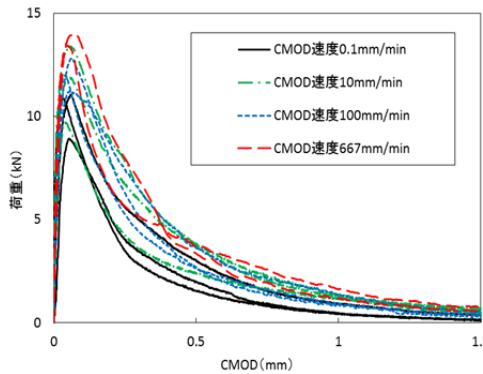


図-6 荷重-CMOD 曲線 (B 配合)

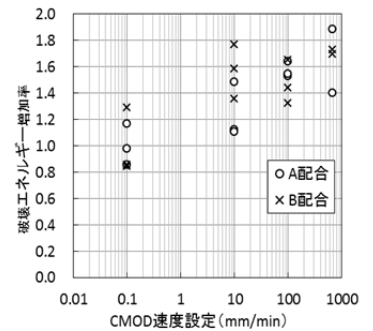


図-7 破壊エネルギーと CMOD 速度の関係

4. まとめ

ダムコンクリートを想定した配合での供試体を用いて, 事前繰返し載荷を含む引張強度試験及び破壊エネルギー試験を行い, 以下のことがわかった.

- ・ 既往研究と同様, 引張強度は載荷速度が速くなると増加する速度依存性が確認された.
- ・ 引張強度の繰返し載荷による影響は, 規定回数の繰返し後の載荷による破壊強度での比較では明確ではなかったが, 繰返し応力比が比較的高い(80%, 90%) ケースでは 10 回程度の繰返しでも途中破壊した供試体があった.
- ・ 破壊エネルギーは CMOD 速度が速くなると増加する傾向が認められた.

参考文献

- 1) 大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(案), 国土交通省河川局, 2005. 3
- 2) 永山功, 佐々木隆, 波多野正博: 載荷速度がコンクリートの引張強度に及ぼす影響, ダム技術, No. 148, 1999. 1
- 3) 佐々木隆, 金銅将史, 切無沢徹: 再開発重力式コンクリートダムの耐震性能照査技術に関する研究, (独) 土木研究所平成 24 年度重点プロジェクト研究報告書, 2013
- 4) 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