ダムコンクリートの動的破壊特性に関する実験的検討（その 2）

国立研究開発法人　土木研究所　　正会員　○繁田　淳吾，藤田　将司，金銅　将史，榎村　康史

１．目的

大規模地震に対する土木構造物の安全性に対する社会的関心の高まりを受けて，ダムにおいても大規模地震に対する耐震性能照査[1)]が試行されている．コンクリートダムの耐震性能照査では，必要に応じダム堤体の損傷過程まで考慮してその動的挙動を推定することで，貯水機能などの耐震性能への影響を照査することが求められる．しかし，地震時のような動的載荷時におけるダムコンクリートの破壊特性については，これまで十分に確認されていない．そこで，本報告では，載荷速度がダムコンクリートの引張軟化特性に及ぼす影響について，ダムコンクリートを想定した配合のコンクリート供試体を用いた室内試験（破壊エネルギー試験）により検討した結果を報告する．

２．試験方法

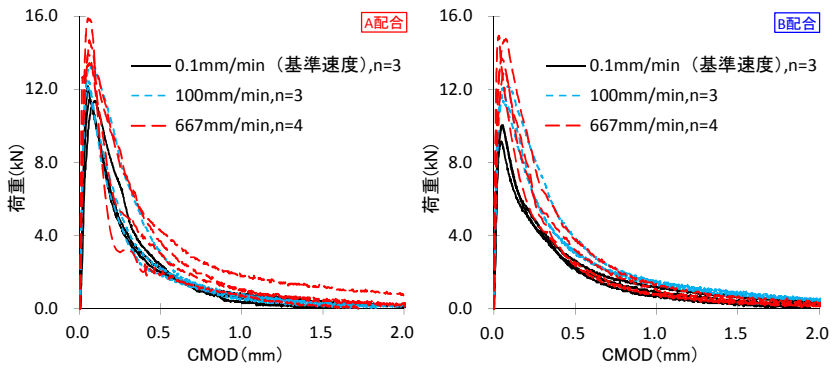
試験用供試体のコンクリート配合は，重力式コンクリートダムでの一般的な配合（A 配合：外部コンクリート相当，B 配合：RCD コンクリート相当）を参考に，ウェットスクリーニングにより粗骨材最大寸法G_{max}=40mm とした場合を想定した配合とした（表－1）．試験用供試体は□150mm×長さ 1530mm のはりで，中央に深さ 45mm の切欠きを設けた．供試体作製には鋼製型枠を使用し，A 配合は棒状バイブレーターで締固めた後，木槌を使用して締固めた．B 配合は突き棒で突き固め，振動ランマで締固めを行った．供試体は約 3 ヶ月間恒温水槽で養生したのち試験に供した．試験材齢は 114～115 日である．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方法」を基本に，通常の載荷速度（切欠き肩口の開口変位（CMOD）の増加率である CMOD 速度=0.1mm/min）のほか，大規模地震時に想定される載荷速度を考慮した急速載荷（CMOD 速度=100mm/min 及び 667mm/min）で実施した．載荷中の CMOD は，通常の載荷速度の試験ではクリップゲージ，急速載荷試験では過電流式変位計を用いて測定した．

表－1　供試体の配合

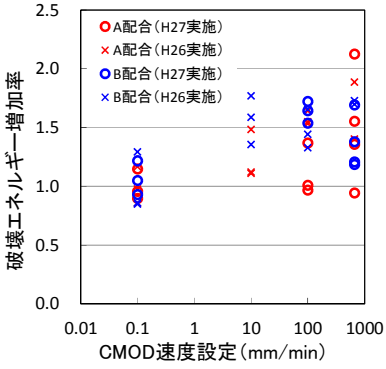
配合区分	ｽﾗﾝﾌﾟの範囲（cm）	標準ＶＣの範囲（秒）	単位量 (kg/m³) 水 W	セメント C	細骨材 s	粗骨材 S 80～40mm	40～20mm	20～5mm
A	3±1	－	139	282	782	—	564	564
B	－	20±10	112	158	879	—	635	634

３．試験結果

破壊エネルギー試験より得られた荷重－CMOD 曲線を図－1 に，図－1 より求めた破壊エネルギーと CMOD 速度の関係を既報告[2)]の結果も含めて図－2 に示す．図－1 より，ピーク荷重値は概ね載荷速度（CMOD 速度）が速い方が大きくなっている．また，図－2 より載荷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．ただし，載荷速度が増加すると破壊エネルギーのばらつきも大きくなっている．



図－1　荷重－CMOD 曲線（n：供試体数）

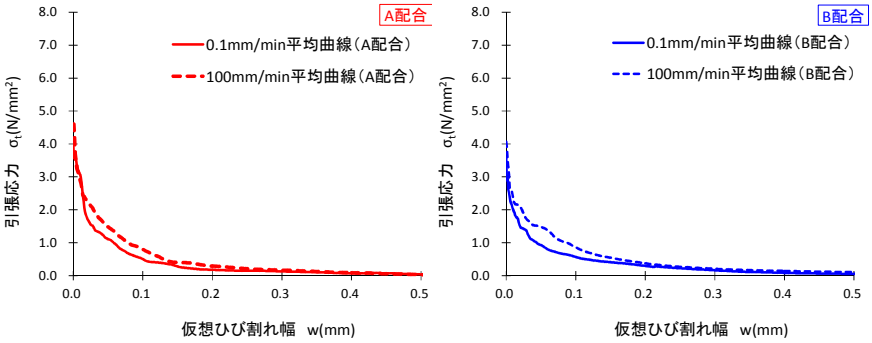


図－2　CMOD 速度と破壊エネルギーの関係

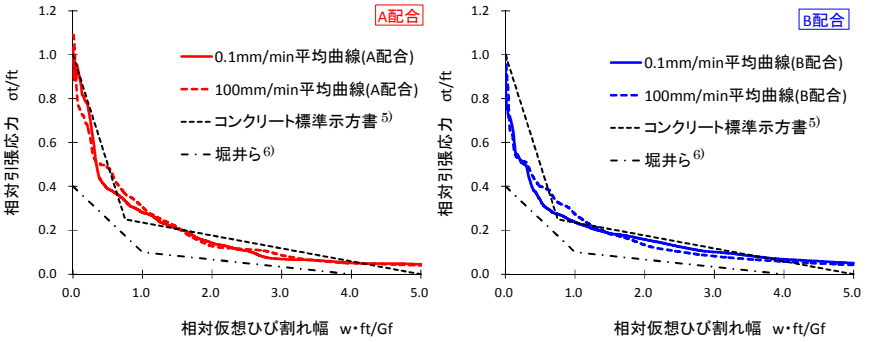
キーワード　ダムコンクリート，破壊エネルギー，急速載荷，耐震性能照査

連絡先　　〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 国立研究開発法人土木研究所 研究企画課 TEL029-879-6751

次に，荷重－CMOD 曲線（図－1）をもとに多直線近似解析法 [3),4)]を用いた逆解析により，試験に用いたコンクリートの引張軟化曲線を推定した．個々の供試体での試験結果から得られた引張軟化曲線の平均曲線（同一ひび割れ幅時の引張応力の平均をとったもの）の比較を図－3 に示す．同図より，A 配合，B 配合とも通常の載荷速度での試験から得られた曲線より急速載荷試験で得られた曲線の方が上方にあり，引張軟化開始時の応力も大きい．このことが載荷速度の増加に伴う引張強度や破壊エネルギーの増加に対応していると考えられる．



図－3 引張軟化曲線の推定結果（平均曲線）



図－4 引張軟化曲線の推定結果（無次元化したもの）

また、配合や載荷速度の違いが引張軟化曲線の形状に及ぼす影響を把握するため、図－3 に示した引張軟化曲線を引張応力σ_tを引張強度f_t、仮想ひび割れ幅wを[破壊エネルギーG_f／引張強度f_t]でそれぞれ無次元化したものを図－4 に示す。図中には，一般のコンクリートを対象としたコンクリート標準示方書 [5)]の引張軟化モデル及びダムコンクリートを対象とした堀井ら [6)]のモデルも併せて示しているが，A 配合の引張軟化曲線はコンクリート標準示方書のモデルと概ね類似した傾向，B 配合は A 配合に比べ軟化開始直後の応力低下が大きく，コンクリート標準示方書のモデルと堀井らのモデルの中間的な形状となった．

4．まとめ

ダムコンクリートを想定した配合の供試体を用いて急速載荷を含む破壊エネルギー試験を実施し，以下のような結果が得られた．

・破壊エネルギーは，載荷速度の増加に伴って試験値のばらつきが大きくなるものの，全般的に増加する．

・試験結果から推定される引張軟化曲線は，載荷速度の増加に伴う引張強度や破壊エネルギーの増加に対応して上方に移動する．なお，無次元化した引張軟化曲線の形状は，外部コンクリートを想定した配合では一般のコンクリートでのモデルと概ね類似し，RCD コンクリートを想定した配合では一般のコンクリートのモデルに比べ軟化開始直後の応力低下が大きい．

参考文献

1) 国土交通省河川局：大規模地震に対するダム耐震性能照査指針（案）・同解説，2005.3.
2) 藤田将司, 金銅将史, 榎村康史：ダムコンクリートの動的破壊特性に関する実験的検討, 土木学会第 70 回年次学術講演会, 2015. 9
3) 橘高義典，上村克郎，中村成春：コンクリートの引張軟化曲線の多直線近似解析，日本建築学会構造系論文報告集，第 453 号，pp.15-25，1993.
4) 栗原哲彦，安藤貴宏，国枝　稔，内田裕市，六郷恵哲：多直線近似法による引張軟化曲線の推定と短繊維補強コンクリートの曲げ破壊性状，土木学会論文集，No.532/V-30，pp.119-129，1996.
5) 土木学会：2012 年制定コンクリート標準示方書［設計編］，pp.37-38，2013.
6) 堀井秀之，内田善久，柏柳正之，木全宏之，岡田武二：コンクリートダム耐力評価のための引張軟化特性の検討，電力土木，No.286，pp.113-119，2000.