

V-244 ダムコンクリートの粗骨材に起因する内部挙動の破壊力学的研究

中部電力 正会員 ○上田 稔 東側 豊二
名古屋工業大学 正会員 長谷部 宣男 梅原 秀哲

1. まえがき ダムコンクリートは、①最大150mmの大きな粗骨材を含み、大きな骨材に優先的に応力が集中する。②大きな粗骨材の下面にはブリージングによって生じる空隙が存在する。③単位セメント量が少なく他のコンクリートに比べて骨材界面の付着強度が弱いなどの特徴を有している。破壊力学にもとづき材料の強度変形特性を解明しようとする試みがいくつかなされているが、圧縮強度と引張強度、二軸応力状態における強度、ウェットスクリーニングの影響等、ダムコンクリートの強度変形特性を把握するためには、上記ダムコンクリートを特徴付ける粗骨材に起因する、ダムコンクリートの破壊メカニズムを解明することが重要であると考えられる。

そこで本研究は、粗骨材を模擬したモデル骨材による圧縮試験のはく離やクラックの発生状況に対し、数理弾性解析により破壊力学的特異性値を求め考察を行ったものである。コンクリートの骨材に起因する破壊に対し、 $\sigma-\tau$ 曲線や引張強度にもとづく有限要素法による解析はみうけられるが、破壊力学的特異性値を用いた研究は少ないようである。

2. 実験方法とはく離クラック発生状況

図-1に示す、モルタルにより作製したモデル骨材を有する供試体を作製し圧縮試験を行った。モデル骨材の形状は川砂利など丸みを持つ骨材、砂石などの角をもつ骨材の代表例として円形と矩形とした。表-1にモデル骨材と母材コンクリートの配合及び圧縮強度を示す。図-1にはく離やクラックの発生状況とその順序を示した。

モデル骨材が円形の供試体では、低荷重域でモデル骨材両側にはく離が発生した。その後荷重の増加に伴いモデル骨材の下部にクラックが発生した。それと同時にモデル骨材両側のはく離が上部界面へ進展した後、そのはく離先端からモデル骨材上部にクラックが進展した。最後にモデル骨材上下部のクラックがそれぞれ進展して供試体は破壊した。モデル骨材が矩形の供試体のはく離やクラックの発生状況は、モデル骨材が円形の場合とはほぼ同じであるが、モデル骨材下部のクラックが発生したと同時に、モデル骨材界面上部へはく離が進展するのは認められなかった。

3. 数理弾性解析と解析モデル 上記実験の3(円形)、または2(矩形)までのはく離、クラック発生状況に対し数理弾性解析を行った。解法はブリージングによる空隙と、はく離及びクラックの生じたモデル骨材周辺領域(図-2, 3右上)を、単位円外に写像する写像関数と複素応力関数を用いる方法である。境界条件は母材コンクリートとモデル骨材が接合している境界を変位のない剛境界、はく離やクラックの境界を応力自由境界とし、平面応力状態の混合境界値問題として解析を行った。荷重条件は鉛直方向一様圧縮($P > 0$)とした。解のパラメーターを変えることにより、はく離の大きさやクラック長さを任意の値にできる。

4. 破壊力学的応力特異性値 クラック先端及びはく離先端近傍の応力は、ともに先端からの距離に対して -0.5 乗の特異性を持つ。この特異性の大きさを示す応力拡大係数(K)とはく離先端応力特異性値($|\beta|$)は複素応力関数の一階微分を含む式で求められる[1]。ここでは次式で無次元化した値を用いる。

$$F = K / (P \sqrt{\pi b}) \quad G = |\beta| / (P \sqrt{b})$$

表-1 供試体の配合と圧縮強度

	W/C (%)	単 位 量 (kg/m)				圧縮強度 (kg/cm ²)
		水	セメント	細骨材	粗骨材	
モデル骨材	30	430	1430	290	—	470
母材コンクリート	70	179	252	808	1079	215

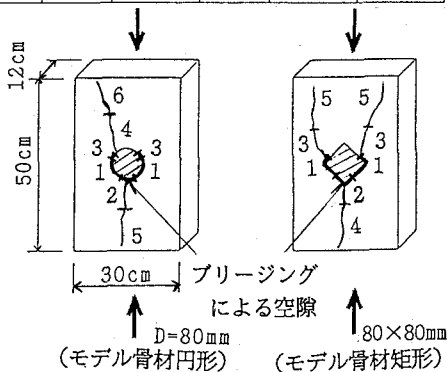


図-1 はく離やクラックの発生状況とその順序(数字)

5. 実験及び解析結果の考察 クラック長さ (c/b) ごとにG値とはく離の大きさの関係を図-2 (円形), 図-3 (矩形) に示した。はく離の大きさはモデル骨材が, 円形の場合は円周角 (δ) で, 矩形の場合は高さ (a/b) で示した。図-4 (円形), 図-5 (矩形) には, はく離の大きさごとにF値とクラック長さ c/b ($0 \leq c/b \leq 1$), b/c ($1 \geq b/c \geq 0$) の関係を示した。ポアソン比 (ν) については, ダムコンクリートが0.2程度であるが, この値は厳密には破壊の進行とともに変化すること, また粗骨材を含んだ供試体全体としての値であるのに対し, 本解析では粗骨材を除いたポアソン比に相当すること及びポアソン比の影響を調べることを考慮して, $\nu=1/3$ と0に対して解析を行った。

モデル骨材下部にはブリージングによる空隙が存在し, この空隙先端に応力集中が生じる。そのためこのブリージングを起点にしてはく離がモデル骨材界面を進展すると考えられる。図-2, 3において比較的小さなはく離のときは, はく離が進展する前でブリージングによる空隙が存在する初期の状態である。低荷重域において載荷荷重が徐々に増加すると, はく離進展の限界値に達しはく離が界面を進展するが, G値ははく離の大きさに対し上に凸の曲線となっており, ある大きさではく離は停止する。はく離の進展により骨材下面には圧縮荷重による引張応力が増大し, ある荷重レベルになると骨材下面よりクラックが発生する。このモデル骨材下面のクラックのF値は c/b に対し, c/b がかなり小さい場合と大きい場合を除いて単調減少であるため (図-4, 5), クラックは荷重増加とともに安定成長し, ある長さで停止することが実験においても認められた。このモデル骨材下部に発生するクラックの長さは, はく離の大きさにより異なると考えられるが, 概ねモデル骨材の大きさ程度以下でありモデル骨材が円形の場合の方が長い。モデル骨材下部のクラックの発生とともにモデル骨材が円形の場合は, はく離が上部界面へ進展するのが認められたが, これはモデル骨材下部のクラック発生によりG値が増加するためである。図-2に示すとおり $c/b=0$ のときと $c/b=1.0, 2.0$ のときではG値に差が認められるが, 矩形モデル骨材の場合はその差が認められない (図-3)。このため矩形モデル骨材の場合はモデル骨材下部のクラック

が発生してもはく離が上部界面へ進展しない。解析の対象としなかったが, モデル骨材の上部にクラックが発生すると, モデル骨材下部のクラック先端のF値が大きくなり, 図-1の5, 6 (円形) 及び

4, 5 (矩形) のクラックが荷重の増加とともに進展し供試体が破壊すると考えられる。

参考文献

[1] N. Hasebe
J. Appl. Mech.
vol. 55 (1988)
p. 574

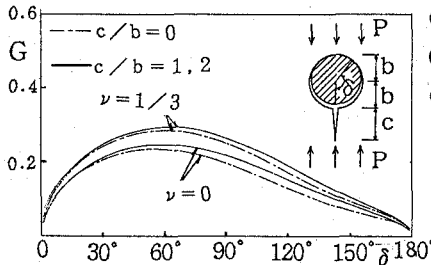


図-2 はく離先端の応力特異性値 (モデル骨材円形)

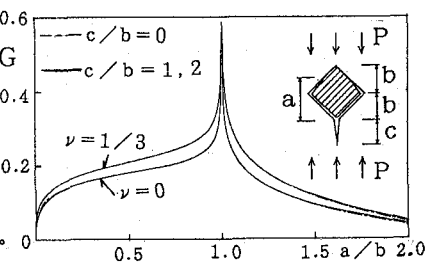


図-3 はく離先端の応力特異性値 (モデル骨材矩形)

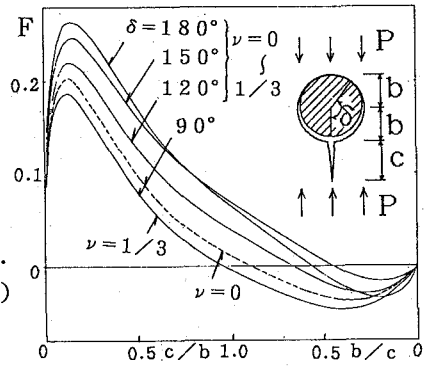


図-4 クラック先端の応力拡大係数 (モデル骨材円形)

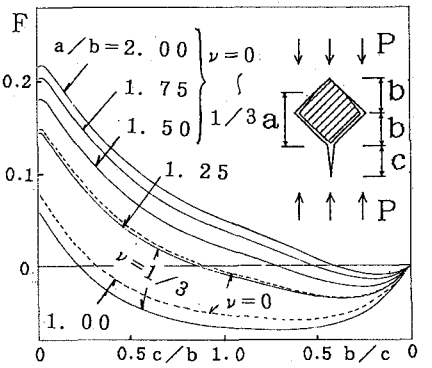


図-5 クラック先端の応力拡大係数 (モデル骨材矩形)