

ダムコンクリートの粗骨材に起因する破壊メカニズムに関する研究

中部電力(株) 正会員 ○上田 稔・近藤 久雄
名古屋工業大学 正会員 長谷部宣男・中村 卓次

1. まえがき ダムコンクリートの強度変形特性を把握するためには、ダムコンクリートを特徴付ける、粗骨材に起因する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。著者ら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進展を破壊力学的応力特異性値により考察し、破壊過程の実験と理論が定性的によく一致することを示した¹⁾。本研究では前報に加え、引張荷重作用下の破壊力学的応力特異性値の解析を行い、圧縮及び引張荷重作用下の粗骨材に起因する破壊メカニズムについて考察を行う。

2. 解析モデルと破壊力学的応力特異性値 解析には、ブリージングによるはく離とクラックの生じたモデル骨材周辺領域(図-1～6内のモデル図参照)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。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、平面弾性混合境界値問題として解析を行った。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、はく離先端の応力の強さ $|\beta|$ は複素応力関数の一階微分を含む式で求められる。ここでは、次式で無次元化した値を用いる。 $F=K/(P\sqrt{\pi b})$, $G=|\beta|/(P\sqrt{b})$

3. 圧縮荷重による破壊メカニズム クラックの長さ(c/b)ごとに、 G 値とはく離の大きさの関係を図-1に示す。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、く形の場合は高さ(a/b)で示してある。図-2にはいくつかのはく離の大きさに対して、 F 値とクラック長さ c/b ($0 \leq c/b \leq 1$)、 b/c ($1 \geq b/c \geq 0$)との関係を示す。ポアソン比 ν の関数である κ は、ポアソン比 ν の影響を調べることを考慮して、 $\kappa=2$ と 3 に対して解析を行う。これは一般化された平面応力状態に対し $\nu=1/3$ と 0 、平面ひずみ状態に対し $\nu=1/4$ と 0 に相当する。図-1において、はく離が進展する前の、ブリージングによる空隙は、比較的小さなはく離のある初期状態に相当する。低荷重域において載荷荷重が徐々に増加すると、 G 値ははく離進展の限界値に達しはく離が界面を進展する。しかし G 値はモデル骨材がく形、円形ともはく離の大きさに対し上に凸の曲線となっており、荷重増加がない場合は、ある大きさではく離は停止する。モデル骨材下部のクラックの F 値は、 c/b がかなり小さい場合と b/c が大きい場合を除いて、クラックの進展とともにはく離の生じたモデル骨材の影響が弱まるため単調減少である(図-2)。また F 値はクラックが長くなると負をとる。このため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。

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、モデル骨材下部のクラックが進展する。

モデル骨材の上部及び下部のクラック先端の応力拡大係数は、図-2のモデル骨材下部のみにクラックがある場合や、円孔(図-3)やく形孔(図-4)の両側に発生したクラックの応力拡大係数から推察されるように、クラックが荷重の

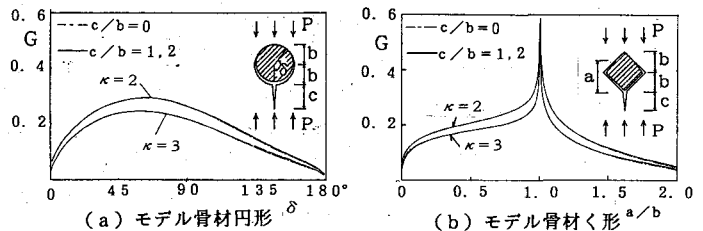


図-1 はく離の強さとはく離の大きさの関係(圧縮荷重)

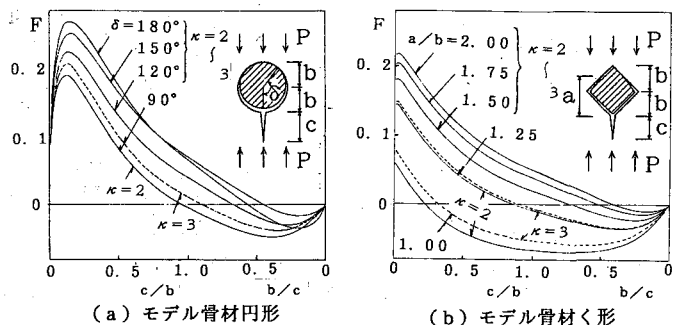


図-2 応力拡大係数とクラック長さの関係(圧縮荷重)

方向に進展し、進展につれてはく離のあるモデル骨材の影響が弱まるため単調減少であり、荷重の増加がなければクラックの進展は止まり、不安定破壊は生じない。以上、 G 値、 F 値とともに破壊の進行とともに最終状態まで単調増加するものでなく、圧縮荷重の場合は安定した破壊メカニズムであることがわかる。

4. 引張荷重による破壊メカニズム 圧縮荷重の場合と同様に、引張荷重の場合の G 値、 F 値をそれぞれ図-5, 6 に示す。圧縮荷重に比べモデル骨材が円形、く形の場合ともに G 値は、はく離が小さいときは、はく離の大きさに対しゆるやかな増加である。しかし G 値は圧縮荷重の場合 (図-1) と比べて全体として大きな値をとる。すなわち圧縮荷重の場合よりはく離しやすい。モデル骨材が円形の場合、 G 値はピークを有し、このピークの後、はく離の進展とともに低下するが、 $\delta = 180^\circ$ の近傍でもある程度の大きさの G 値が存在し、はく離が比較的小さいときの G 値までは低下しない。モデル骨材がく形の場合の G 値はピークの後ゆるやかに低下し、はく離が界面全周にわたって進展しても ($a/b = 2$ でも) G 値が存在し、はく離が小さいときの値まで低下しない。以上から引張荷重の場合は、一定荷重のもとで一旦はく離が発生すると界面全周にわたってはく離が進展する場合がある。

はく離の進展がモデル骨材の全周に達する以前に、モデル骨材底部にクラックが発生するかどうかは、モデル骨材と母材コンクリートの接着の強さと、モデル骨材底部の母材コンクリートの、クラック発生に対する靱性値の大きさにより決まる。図-6 は、モデル骨材底部にクラックと界面にはく離のある状態の F 値を示す。 F 値は、はく離の大きさにかかわらず、クラック長さに対し単調増加であり、クラックは不安定成長する。このときクラックが発生、進展するにつれ、はく離先端の G 値も大きくなり (図-5) はく離も進展する。モデル骨材底部のクラックの進展と界面のはく離進展は、互いにますます不安定さを増大させる。はく離がモデル骨材全周にわたって進展してから、モデル骨材の上下にクラックが発生する場合にも、図-3 (円形)、図-4 (く形孔) に示した孔の両側に対称に発生したクラックの F 値が、クラック長さに対し、単調増加であることからわかるように、クラックは不安定成長する。以上より、引張荷重の場合は、ブリージングを起点としたはく離やクラックの進展による破壊の進行とともに、ますます不安定さを増す破壊メカニズムであることがわかる。

5. まとめ 数値弾性解析を行い、求めた破壊力学的応力特異性値を用いて、ダムコンクリートの強度変形特性に大きな影響を与える、ブリージングを有する粗骨材に起因する破壊メカニズムについて考察し、圧縮荷重の場合は、安定な破壊メカニズム、引張荷重の場合には、不安定な破壊メカニズムであることを破壊力学的に示した。

参考文献 1) 上田・長谷部他: 土木学会第46回年次学術講演会, V-244, pp. 504-505, 1991.

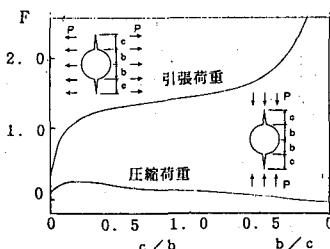


図-3 円孔の両側に発生したクラックの応力拡大係数 (圧縮・引張荷重)

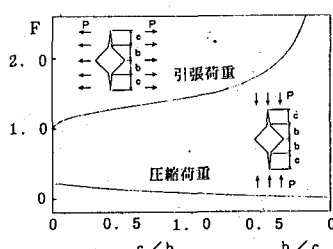
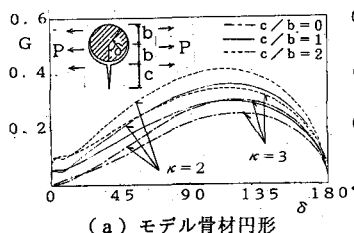
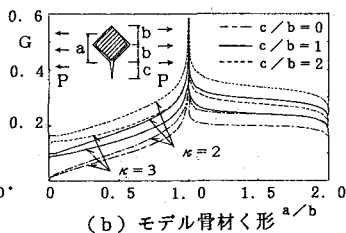


図-4 く形孔の両側に発生したクラックの応力拡大係数 (圧縮・引張荷重)

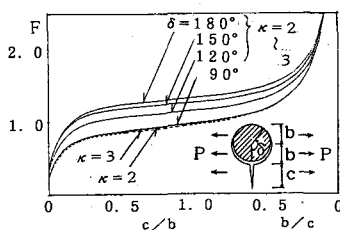


(a) モデル骨材円形

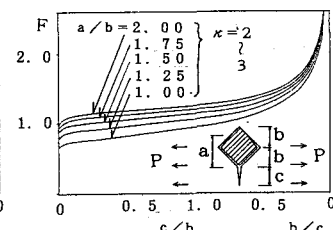


(b) モデル骨材く形

図-5 はく離の強さとはく離の大きさの関係 (引張荷重)



(a) モデル骨材円形



(b) モデル骨材く形

図-6 応力拡大係数とクラック長さの関係 (引張荷重)