一軸載荷応力状態での大型モルタル供試体の水圧破砕解析

京都大学大学院 農学研究科 学生会員 〇 塚田泰博,正会員 小林 晃, 学生会員 山本清仁,正会員 青山咸康

1.研究の背景と目的

放射性廃棄物処分施設では,放射性核種の生活圏環境への移行を抑止するために,処分施設内への地下水の 浸入を抑えることが重要になる.そこで,本研究では放射性廃棄物処分施設周辺の岩盤の亀裂に地下水が浸透 し水圧破砕を起こすような場合について評価することを目的とする.ここでは,その評価手法としてCam-clay モデル¹⁾を用いた有限変形解析²⁾の適用を考えた.この手法の信頼性の検討を大型モルタル供試体の水圧破砕 試験の結果と比較することにより行なった.なお,大型モルタル供試体の水圧破砕試験の詳細・結果は参考文 献3)を参照.

2. 水理破砕解析

Cam-clay モデルのパラメータは事前に行なったモルタルの一軸載荷 試験結果(弾性係数E, ポアソン比 ν , 初期間隙比 e_0)をもとに決定し た.限界状態パラメータMは, ν から式(1)によって得られる $^{4)}$.

$$M = \frac{6\sin\phi}{3-\sin\phi}, \quad \phi = \sin^{-1}(1-2\nu) \quad or \quad \phi = \sin^{-1}(\frac{1-\nu}{1+\nu})$$
(1)

次に膨潤指数 は, $E \ge \nu$ を用いて求め, 圧縮指数 λ は経 験的に膨潤指数 の2倍とした⁵⁾.ダイレタンシー係数D は以上で決定したパラメータを用いて式(2)から得られる.

$$D = \frac{\lambda - 1}{M(1 + e_0)} \tag{2}$$

以上のように決定した材料定数を表 1に示す.また,有限 要素メッシュと境界条件は図 1-(a)~(d) と図 2のようにな る.ボアホールへの注入圧載荷前に図1のx方向に向かっ て15MPaを載荷し,その荷重を維持した状態でメッシュ中 央のボアホール表面 (図 2の初期亀裂を除く注入圧載荷部 分)に水圧を荷重として与える.これは,試験ではゴムス リーブを介して水圧を載荷したため浸透を考慮する必要が ないからである.また,図2中の鋼管部分の節点変位は固 定した.

3. 結果と考察

水圧破砕解析の結果は図 3~図 7に示すようになる.まず,水圧破砕試験に おいて注入圧の急激な減少を起こした注入圧3.48MPa (図8)の時の応力分布 について検討する.図3と図4は,平均応力とせん断応力が高い(8.5MPa以上 の)部分を示している.同図から初期亀裂先端とボアホール底部で平均応力と せん断応力が他の部分よりも高くなっていることが分かる.また,図 5の最小 主応力分布ではボアホール底部および近傍で引張状態になっていることが分か る.一方,水圧破砕試験においては初期亀裂先端では亀裂進展が確認されてお り,注入時のAE震源と比抵抗の変化は初期亀裂とボアホールの底部付近に分布 していた.そこで,亀裂先端とボアホール底部の応力経路と最小主応力につい

表	1:	Cam-clav	y)	パラ	አ	ータ

45 0.0052
0.0052
0.0000
0.0026
0.185
0.0015
1.783
0.003
2.492



図 1: 有限要素メッシュと境界条件



図 2: ボアホールの境界条件

Key words: 亀裂性岩盤, 亀裂, 水理破砕, モルタル, 有限要素解析 〒 606-8502 京都市左京区北白川追分町 京都大学大学院農学研究科地域環境科学専攻 TEL:075-753-6346 FAX:075-753-6346 て検討すると以下のようなことが分かった.図 6の亀裂先端の応力経路は一軸載荷により平均応力が約9MPa, せん断応力が約20MPaまで増加していくが,ボアホールへの水圧注入時はほとんど変化していない.また, 応力経路は初期降伏曲面には達せず塑性負荷状態には至っていない.しかし,一軸載荷初期には応力比が限 界状態応力比よりも大きくなり, せん断応力が卓越している. さらに, 図 7の亀裂先端の最小主応力は一軸 載荷~注入過程を通して圧縮状態にあり表 1 中の引張強度には達していない.以上から試験で発生した初期 亀裂先端のクラックはせん断破壊による可能性が高いと考えられる.一方,図 6のボアホール底部の応力経 路は,一軸載荷時に初期降伏曲面に達し,平均応力が約22MPa,せん断応力約37MPaまで増加している.そ の後の注入時には平均応力が減少し,せん断応力も増加から減少へと徐々に変わっていることが分かる.し たがって,応力経路と対応するように図7のボアホール底部の最小主応力も一軸載荷時は圧縮状態にあるが, 水圧注入を始めると圧縮状態から引張状態になり注入圧2.05MPaで引張強度の2.492MPaに達している.こ の値を試験で急激な注入圧の減少が起こった注入圧3.48MPaと比較すると,解析結果における注入圧は小さ い値であることが分かる.しかし,試験において注入圧3.48MPaに達する以前からAEカウントには急激な 変動が現れており,これと比較するとボアホール底部が引張破壊したときの注入圧はそれほど小さい値でな いことが分かる.以上より,この解析によりボアホール底部における一軸載荷時のせん断と水圧注入時の引張 による破壊を予測することができる.

4.まとめ

大型モルタル供試体を用いた水圧破砕試験では、亀裂先端でクラックが発生し、ボアホールと初期亀裂の底 部でAE 震源と比抵抗の変化が得られていた.これに対し解析でも,初期亀裂先端とボアホール底部でせん断 あるいは引張による破壊の可能性を指摘することができた.

謝辞

本研究は核燃料サイクル開発機構の公募型研究の一環として行った.試験の際,核燃料サイクル開発機構の 御協力をいただいた.ここで,関係者に感謝の意を表す.



8.5MPa以上の領域)



8.5MPa以上の領域)



図 3: 平均応力分布(着色部分は 図 4: せん断応力分布(着色部分は 図 5: 最小主応力分布(着色部分は 引張領域)



1) Roscoe, K. H. Barland, J. H. On the generalized stress-strain behavior of 'wet' clay, Engineering Plasticity, (J.Heyman and F.A.Lekie eds.), Cambridge University Press, pp.535-609, 1968. 2) 例えば,高稲俊浩:水~土連成有限変形計算による過圧密地盤の進行性破壊の解析 3) 小林晃・青山咸康・塚田泰博・山本清仁:一軸載荷応力状態での大型モルタ とその抑止工法に関する基礎的研究,名古屋大学学位論文,1999. ル供試体の水圧破砕試験, 土木学会第58回年次学術講演会, 投稿中, 2003. 4) 社団法人 地盤工学会 北海道古平町国道 229号岩盤崩落調査委員会: 北海道古平町国道 229号 岩盤崩落調査委員会報告書, 社団法人 地盤工学会, pp.114, 1997. 5) 塚田泰博・小林晃・木山正一・青山咸康:フィルダム 基礎岩盤における水理破砕予測基準の提案, 亀裂性岩盤における浸透問題に関するシンポジウム発表論文集, 社団法人 地盤工学会 亀裂性岩盤におけ る浸透問題に関する研究委員会, pp.223-232, 2001.