

Ⅲ - 15

応力条件による水圧破碎の形態の違いについて

東北大学（学）○米原久人

東北大学（学） 成沢謙伸

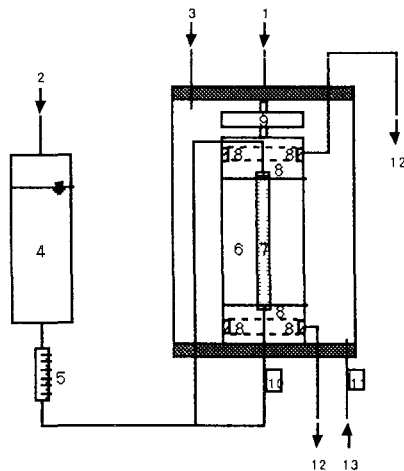
東北大学（正） 柳沢栄司

1. はじめに：アースダムやロックフィルダムなどにおけるダム堤体やダム基礎のコア材中のクラック発生機構を考える場合に水圧破碎現象を考える必要がある。また、ダム基礎にグラウト注入を行なう場合には水圧破碎は基礎地盤での注入圧や注入効果に関連して最も重要な因子となっている。本研究は藤の森粘土を試料とした水圧破碎実験を行ない、応力条件がその破碎面に及ぼす影響を調べたものである。

2. 試験方法：試料には藤の森粘土のうち $106\mu\text{m}$ のふるいを通過したものを用いた。供試体寸法は内径 2cm 、外径 5cm 、高さ 12cm の中空円筒形である。試料を最適含水比付近で金属製モールド内において5層に分けて突き固める。図1に試験装置の概略を示す。この装置は通常の三軸試験装置に若干の変更を加えたもので注入圧、拘束圧及び軸圧は独立に操作できる。

3. 試験結果および考察：試験は2通りに

分け、[シリーズ1]拘束圧を 0.7kgf/cm^2 として軸圧を変化させる試験、[シリーズ2]拘束圧を 1.0kgf/cm^2 として軸圧を変化させる試験である。表1にシリーズ1、表2にシリーズ2の結果として軸圧、そのときの破碎圧および破壊形態を示している。これらの結果から軸圧が拘束圧よりも大きいときには鉛直亀裂を起こし、軸圧が拘束圧よりある程度小さくなると水平亀裂もしくは不明瞭になる。しかし、破碎圧はシリーズ1、およびシリーズ2ともにほぼ一定である。ここで、破碎が内壁近傍の最大・最小主応力によるせん断破壊により起こるものと考え、供試体を等方、均質、弾性体と仮定し、モール・クーロンの破壊基準を導入することで、鉛直亀裂を生じるときの破碎圧 P_{fv} 、水平亀裂を生じるときの破碎圧 P_{fh} はそれぞれ



1 軸圧 σ_v 2 注入圧 P_i 3 拘束圧 σ_c 4 注入水シリ
ンダー 5 流量計 6 供試体 7 砂 8 ポラスス
トーン 9 軸圧計 10 注入圧計 11 拘束圧計 12 排水
管 13 セル水供給管

図1 水圧破碎実験装置の略図

$$P_{fv} = \frac{1 + \sin \phi_u}{1 + \frac{a^2}{b^2} \sin \phi_u} \sigma_c + \frac{(1 - \frac{a^2}{b^2}) \cos \phi_u}{1 + \frac{a^2}{b^2} \sin \phi_u} C_u$$

$$P_{fh} = \frac{1 + \sin \phi_u}{1 - (1 - 2 \frac{a^2}{b^2}) \sin \phi_u} \sigma_v + \frac{2(1 - \frac{a^2}{b^2}) \cos \phi_u}{1 - (1 - 2 \frac{a^2}{b^2}) \sin \phi_u} C_u$$

である。これらの式に、三軸試験からの C_u や形状からの a 、 b を代入したものと実験結果とをのせたグラフを図2、3に示す。これらのグラフから鉛直亀裂をようした時の破碎圧は理論式から得られた破碎圧とはほぼ一致している。しかし、不明瞭もしくは水平亀裂をようしたときの破碎圧は理論式から得られた破碎圧と全く一致していない。

これは、供試体が最適含水比で作成され、ボアホールに注入圧を徐々に上げながら通水するという実験の性質上、内壁近傍の含水比が関係していると考えられる。上で使った理論式に代入した C_u は鉛直亀裂が発生したときの内

壁近傍の含水比でおこなった三軸試験から得られたものである。図4において含水比が低い、即ち注入圧が小さいときに粘着力が著しく大きくなっていることから、注入圧が小さいときには破砕圧が三軸試験からの破砕圧よりはるかに大きいことが分かる。また、実験方法から注入圧を徐々に上げていくから内壁近傍の含水比も徐々に上がってくるので、破砕圧は低下する。こうして、注入圧と理論式からの破砕圧とが等しくなったところで破砕が起こるものと考えられる。このように考えると注入圧による内壁近傍の含水比上昇の割合によって破砕圧が変化する。例えば、極端であるが注入圧わずか変化させただけで含水比が急激に上昇し、その後は含水比が変わらないとすると破砕圧は図5の水平亀裂を表す直線になる。逆に、注入圧変化させても含水比が変化せず注入圧が破砕圧に達したときに含水比が急上昇すると、破砕圧は鉛直亀裂時のそれと一致する。実験結果は水平亀裂の破砕圧が鉛直亀裂時の破砕圧付近に分布しているから後者の場合に近いものと考えられる。このことから水平亀裂の破砕圧は図5の P_{fv} 直線と P_{fh} 直線とで囲まれた領域に存在することになる。

4. 結論

1. 軸圧が拘束圧より大きいときには破砕面は鉛直亀裂を起こし軸圧に関係なく破砕圧は一定である
2. 軸圧が拘束圧よりある程度小さいときには破砕面は少なくとも鉛直亀裂を起こさず、軸圧の変化とともに破砕をおこす可能性のある注入圧の値は広がってくる。
3. 水平亀裂を起こすときの破砕圧は土の含水比の影響を受ける。

参考文献：Komak Panah.A. and Yanagisawa.E.,"Laboratory Studies of Hydraulic Fracturing Criteria in Soil",Soil Mech. and Found. Eng.,No4,dec,1989,pp14-22

森 麟、” 圧力注入における地盤のハイドロ・フラクチャリング現象”、土と基礎、Vol 35,No 8,pp5-11,1987

軸圧 (Kg/cm ²)	破砕圧 (Kg/cm ²)	破壊形態
1.0	0.87	鉛直亀裂
	1.02	
0.7	0.88	
	0.89	
0.3	0.92	水平亀裂 または 不明瞭
0.2	0.75	
0.1	0.92	

表1 シリーズ1の結果

軸圧 (Kg/cm ²)	破砕圧 (Kg/cm ²)	破壊形態
1.0	1.24	鉛直亀裂
0.8	1.23	
0.6	1.24	水平亀裂 または 不明瞭
0.4	1.29	
0.2	1.19	
0.1	1.18	

表2 シリーズ2の結果

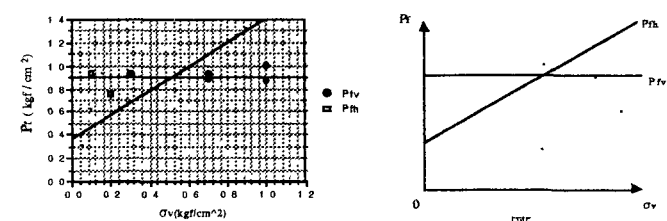


図2

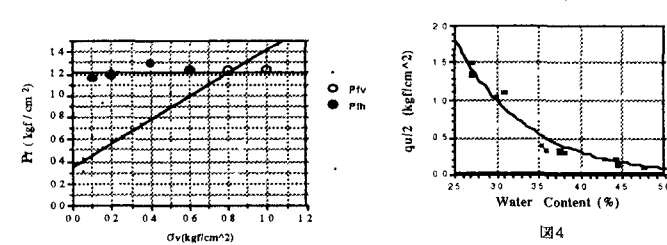


図3

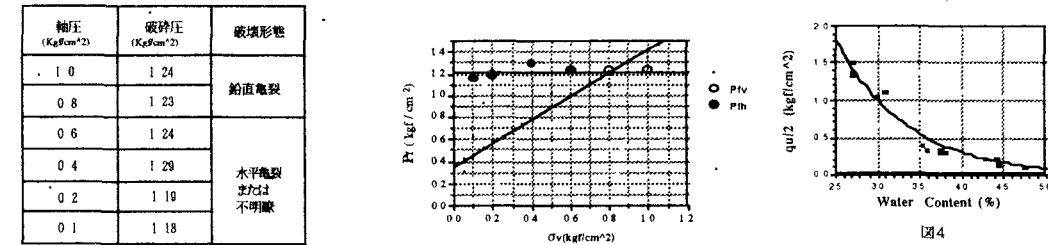


図4