

III-292

泥岩の水圧破碎模擬実験

一 泥岩中空供試体の破碎圧力と寸法の関係 一

（株）大林組 鈴木健一郎，桑原 徹，平間 邦興

1 はじめに

基礎地盤や地下空洞においては、帯水層の間隙水圧上昇に伴うき裂の発生・進展や空洞壁面よりの引張りき裂の発生・進展が1つの破壊形態として考えられる。また地熱開発において使用される水圧破碎技術では、深部岩盤でのき裂の発生・規模を評価する必要がある。さらに、ルジオン試験などの岩盤注水試験においても、限界圧力などの考察を進めるに当たり、き裂の発生・進展機構の解明は重要な課題である。

今回の報告では、肉厚の異なる中空供試体を用いてき裂が進展し、供試体を破断させるのに要する内圧を測定し、肉厚と圧力の関係を実験的に調べた。以下にその概要を述べる。

2. 試験概要

2. 1 供試体：試料は更新世上総層群の砂質泥岩であり、その物理諸量は表-1に示すものである。岩塊として採取されたものに対して、表-2に示すような4種類の寸法及び形状をもつ中空供試体を作成した。円柱供試体の場合は、異方性の影響を考慮して、堆積面に対して直交する方向と水平な方向の2種類の供試体を作成しているが、角柱供試体については堆積面に直交する方向のみとした。他に一軸・三軸圧縮試験及び圧裂引張試験を実施したが、これらについては殆ど異方性はみられず、一軸圧縮強度25 kgf/cm²、圧裂引張強度2.5 kgf/cm²、粘着力10 kgf/cm²、内部摩擦角10deg という値が得られている。

2. 2 水圧破碎試験方法：水圧破碎試験装置は、図-1に示す放射流型の透水試験装置を改造したものをを用いた。供試体中央の注水孔中に0.5 kgf/cm²/minの速度で水圧を作用させ、破碎時の水圧を測定するものであり、注水孔壁より供試体への水の浸透は許している。また供試体上下面よりの漏水を防ぐために、ゴムパッキンを介して10 kgf/cm²の軸圧を作用させて試験を行なった。目視観察では漏水は認められなかった。尚、供試体周方向は自由面として拘束圧力は負荷していない。

3. 実験結果及び考察

試験結果を表-3にまとめる。結果より次のことが云える。即ち、1) 堆積面に対する異方性の影響は殆ど無い。2) 破碎形態は円柱、角柱とも同様で、亀裂は注水孔より供試体端部の最短距離を通る。3) 注水孔より供試体端部までの距離により破碎強度が異なる。

水圧破碎におけるき裂発生に必要な圧力は、周方向の拘束圧力がない場合次のように表わされる。

$$P_b = \sigma_c / [2 - \alpha (1 - 2\nu) / (1 - \nu)] \cdots (1)$$

表-1 泥岩の物理諸量

比重	2.68~2.71
自然含水比 (%)	26.9~27.3
単位体積重量 (g/cm ³)	1.91~1.96
間隙率 (%)	41.9~44.9

表-2 供試体寸法

	寸 法	個 数
(S-series) 円柱供試体 (M-series)	Φ 50 * h100	6
	Φ 100 * h100	5
(L-series) 角柱供試体 (LL-series)	B200*W200*h100	2
	B300*W300*h100	1

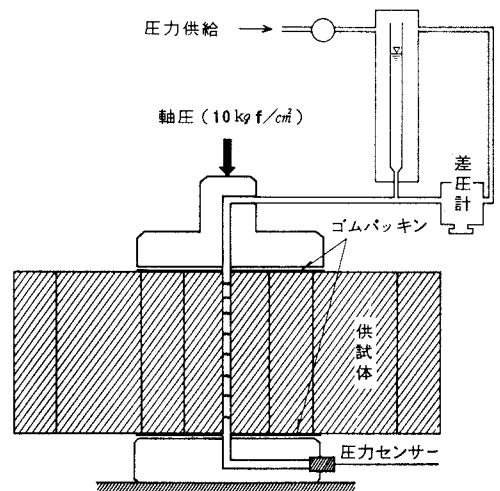


図-1 試験装置概要

ここで P_b はき裂発生圧力、 σ_b は岩石の引張強度、 ν はポアソン比である。また α は、浸透圧の影響を考慮するための定数で

$$\alpha = 1 - C_r / C_b$$

但し、 C_r は岩石中に液体が浸透できるようにして測定した岩石実質のみの体積圧縮率、 C_b は岩石中に液体が浸透しないようにして測定した岩石の体積圧縮率である。また今回の試験のように、内径 a 、外径 b の厚肉円筒供試体に対しては、弾性論より接線方向応力 σ 、半径方向応力 σ_r は次のように表わされる。

$$\sigma_r = -P_b \quad \dots\dots (2)$$

$$\sigma_\theta = P_b (W^2 + 1) / (W^2 - 1), W = b/a \quad \dots\dots (3)$$

三軸圧縮試験及び圧裂引張試験より得られた結果を $\tau \sim \sigma$ 面上に応力円として表わすことにより（図-3）引張破壊がクリティカルであることが明確である。圧裂引張強度 $T = 2.5 \text{ kgf/cm}^2$ を用いて各供試体（角柱については接円柱として考える。）のき裂発生に要する内圧を式（3）より試算し、結果を表-3に併記した。肉厚の違いによるき裂発生に要する内圧は、外径／内径の比が5程度では外径＞内径の場合の1割、1.0以上になればほぼ影響はなくなるので、破碎圧力の差は其の後のき裂の進展距離に対応するものと考えられる。 $\Phi 50$ の円柱供試体の場合、弾性解の65%程度の破碎圧力となっているのは浸透の影響と考えられる。実験値と弾性解を用いて式（1）中の定数 α を推定すると、 $\alpha = 0.6$ であり、 $C_r / C_b = 0.4$ である。ここで、発生時のき裂の長さは無視して供試体が破断するのに必要なき裂長さ、即ち肉厚に対して破碎時の圧力をプロットしたのが図-3である。横軸には対数目盛り上に肉厚を、縦軸には破碎圧力を引張強度で無次元化したものを取っている。図中の破線は、浸透を許している場合のき裂発生圧力の減少（65%）を考慮した内径5mmの円筒のき裂発生圧力をプロットしたものである。き裂進展に要する圧力はデータを近似する直線と破線との差であると考え、進展距離と進展に要する圧力との間におよそ直線関係が期待できる。

4. まとめ

今回の実験は、拘束なし、孔壁よりの浸透がある、見掛け上岩石は均質でき裂を含まないという条件下で供試体破

断までのき裂進展距離をパラメータとして行なわれ、亀裂進展距離の対数と破碎圧力との線形関係が得られた。現在、拘束圧のある場合、き裂発生圧力の確認と破壊力学を用いた進展に関する考察を進めている。

【参考文献】1) 小林ほか”封圧下の水圧破碎模擬実験”，日本鉱業誌/96 1113 ('80-11) 809 <21>

2) 土木学会 孔内載荷試験法の現状と課題

表-3 水圧破碎試験結果

試料No.	破碎圧力 (kgf/cm ²)	き裂発生圧力 (kgf/cm ²)	破碎状況
S V - 1	1.46	2.31	
S V - 2	1.42		
S V - 3	1.30		
S H - 1	2.00	2.31	
S H - 2	1.46		
S H - 3	1.28		
M V - 1	3.45	2.45	
M V - 2	4.50		
M H - 1	2.80	2.45	
M H - 2	3.88		
M H - 3	3.93		
L - 1	4.80	2.49	
L - 2	5.10		
L L - 1	5.40	2.49	

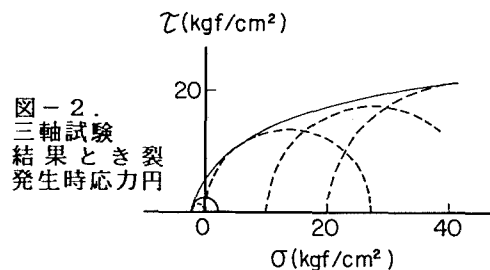


図-2 三軸試験結果とき裂発生時応力円

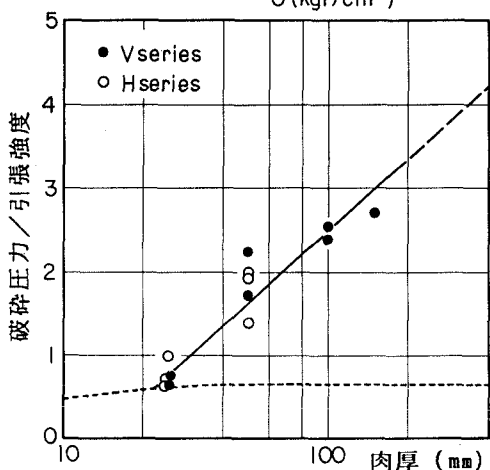


図-3 破碎圧力と寸法の関係