

Ⅲ-A346

堆積岩の力学特性への応力経路の影響に関する検討

東電設計 正会員 豊田耕一 田坂嘉章 宇野晴彦

1. はじめに

地下空洞などの掘削問題における物性評価として、掘削過程の応力変化の違いによる力学特性への影響を考え、通常実施される側圧一定の载荷条件とは異なる応力経路の力学試験が実施されている¹⁾²⁾。既往実施された室内の岩石三軸試験²⁾³⁾⁴⁾によれば、通常の側圧一定の载荷条件よりも側圧を減少させたせん断過程での応力～ひずみ関係には、顕著な非線形性が認められているが、そのメカニズムについては不明な点が多い。本研究では、岩石・岩盤の応力経路依存性に関する研究の第一段階として、比較的硬い砂質泥岩および細粒砂岩の岩石供試体を対象として3種類の異なる応力経路の室内岩石三軸試験を行い、堆積岩の力学特性に及ぼす応力経路の影響について検討した。

2. 試験方法

対象とした岩石試料は、表-1の力学特性を有する中・古生層の砂質泥岩および細粒砂岩であり、供試体寸法 $\phi 50\text{mm} \times 100\text{mm}$ に整形して自然状態で試験に供した。三軸圧縮試験機は、容量軸力500kN、側圧50MPaのサーボ試験機である(図-1参照)。試験では、クロスひずみゲージ(KFG-10-120-D16-11、共和電業)を供試体側面中央部に接着しシリコンゴムで被覆して軸方向ひずみ、周方向ひずみを計測した。表-2に試験の载荷条件を示す。試験は、所定の側圧まで等方的に载荷し、その後、側圧を一定として軸圧を増加させる σ_3 一定試験、軸圧を一定として側圧を減少させる σ_1 一定試験および $\sigma_m = (\sigma_1 + \sigma_3)/2$ を一定として軸圧を増加、側圧を減少させる σ_m 一定試験の3種類の異なる载荷条件で行った。軸応力は、载荷速度0.025mm/minのひずみ制御で行い、 σ_m 一定試験では、軸応力をフィードバックして载荷条件を満たすように側圧を制御した。各試験では、予想される破壊時軸差応力の50%および破壊時近傍において繰り返し载荷を行った。

3. 試験結果

図-2、図-3に応力経路の違いによる各岩種の軸差応力～軸ひずみ関係および軸差応力～周ひずみ関係を示す。図では、応力とひずみはどちらも圧縮方向を正とし、繰り返し载荷における除荷、再载荷過程のデータを除いてせん断過程のみを示した。砂質泥岩の軸差応力～軸ひずみ関係に着目すると、 σ_m 一定試験、 σ_3 一定試験には破壊近傍で明瞭な非線形性がみられ、特に σ_m 一定試験には低い応力レベルから非

表-1 各岩種の物性値

物性値	砂質泥岩	細粒砂岩
単位体積重量(kN/m ³)	2.75	2.73
一軸圧縮強度(MPa)	77	135
ヤング率(GPa)	67	64
ポアソン比	0.36	0.29
圧裂引張強度(MPa)	4.5	6.5
P波速度	5.6	6.5
S波速度	3.2	3.7

表-2 試験の载荷条件

载荷条件	初期側圧(MPa)
最小主応力 σ_3 一定試験	0.5 6 12
最大主応力 σ_1 一定試験	50
平均主応力 σ_m 一定試験	50

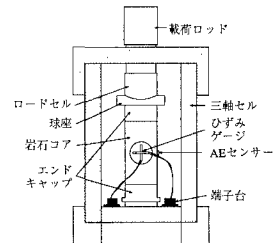


図-1 三軸試験装置の概要

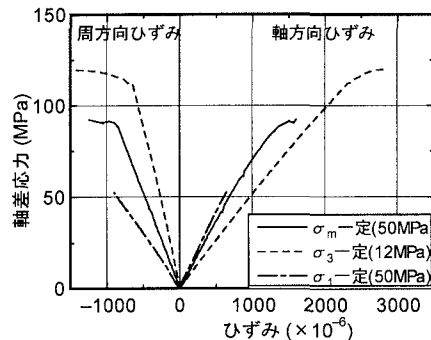


図-2 砂質泥岩の軸差応力とひずみの関係

キーワード：応力経路、力学特性、三軸圧縮試験、堆積岩

連絡先：〒110-0015 東京都台東区東上野3-3-3 東電設計上野センター TEL03-5818-7796 FAX03-5818-7608

線形性が現れている。なお、 σ_1 一定試験はこのせん断過程では非破壊であった。

ここで、各岩種の軸差応力～軸ひずみ関係から求めた接線弾性係数の非線形性に着目する。図-4に示す初期接線弾性係数(E_0)に対する接線弾性係数(E)の低下率 E/E_0 と破壊余裕度(R)を用いて試験結果を整理する。各試験結果における R を求める際の破壊基準は、既往の研究報告^{2),3),4)}に基づいて「破壊基準は応力径路に依存しない」ともと仮定し、図-5、図-6に示す σ_3 一定試験で求めた各岩種の破壊基準を適用した。なお、側圧を減少させた試験のうち、砂質泥岩の σ_m 一定試験のみがせん断破壊に至っており、図-5に示すように、この時の破壊時モジュールは σ_3 一定から求めた破壊基準に抵触しており、上記の仮定を示唆する結果となっている。

図-7、図-8に応力径路の違いによる各岩種の $E/E_0 \sim R$ 関係を示す。 R は、 $R=1$ の時に初期等方応力状態であり、载荷に伴い減少して、せん断破壊時には $R=0$ となる。同図によると、岩種の違いによらず、 σ_m 一定試験では初期の载荷段階から E が徐々に低下し、顕著な非線形性を示すのに対し、 σ_3 一定試験では载荷に伴う顕著な E の低下は認められず、破壊近傍の $R=0.1$ 付近で急激に E が低下する傾向を示す。 σ_1 一定試験については、砂質泥岩では σ_3 一定試験と同程度の剛性低下を、細粒砂岩では σ_3 一定試験より小さい剛性低下を示す傾向がみられる。

4. おわりに

比較的硬い泥岩および砂岩の応力～ひずみ関係に応力径路の影響がある試験結果が得られた。今後、ここでの試験結果を踏まえて、岩石・岩盤の応力径路依存性に関するメカニズムの検討を実施していく予定である。なお、本試験の実施および結果の分析にあたっては、大成建設技術研究所の伊藤氏、大里氏のご協力を頂いた。ここに記して謝意を表する次第である。

参考文献

- 1)土木学会編：地下構造物の設計と施工，pp. 86-90，1976。
- 2)安田、片岡：応力減少過程における土供試体の変形係数，第10回土質工学発表会，pp. 173-176，1975。
- 3)沈、孫、永井：岩石の力学特性に及ぼす応力径路の影響に関する一考察，第3回岩盤システム工学シンポジウム講演論文集，pp. 49-52，1995。
- 4)大里、伊藤、宇野、田坂：三城目安山岩の応力径路依存性に関する検討，第33回地盤工学研究発表会講演集，1998。

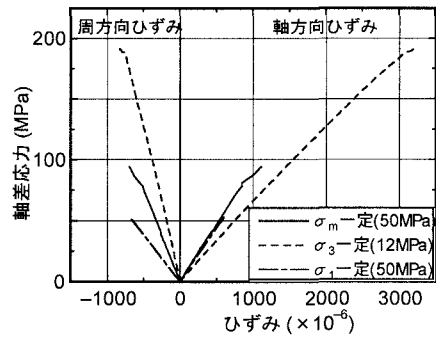


図-3 細粒砂岩の軸差応力～ひずみの関係

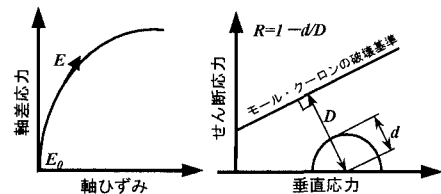


図-4 接線弾性係数(E_0 , E)および破壊余裕度(R)の定義

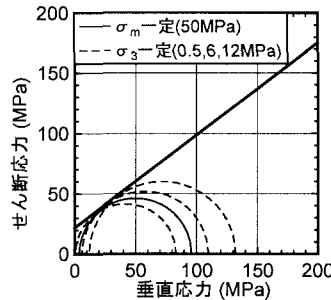


図-5 砂質泥岩の強度特性

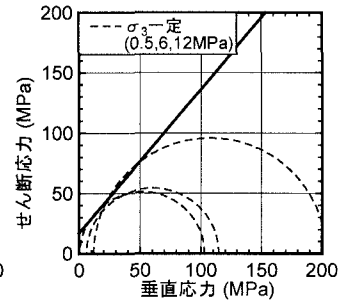


図-6 細粒砂岩の強度特性

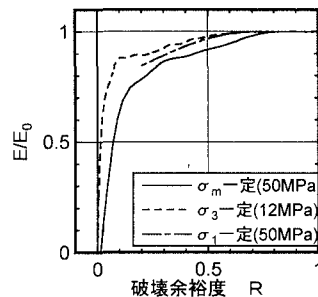


図-7 砂質泥岩の $E/E_0 \sim R$ の関係

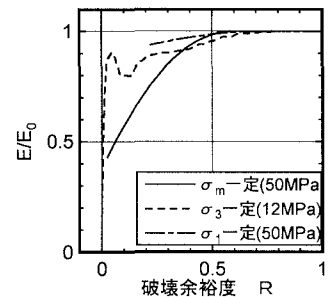


図-8 細粒砂岩の $E/E_0 \sim R$ の関係