

III-235 乾湿繰返しを受けた泥岩の長期強度の推定

東京電力(株)技術研究所 正会員 中山武樹
 (株)組技術研究所 正会員 岩下夏季
 (株)組技術研究所 正会員 平井光之
 (株)組土木技術開発部 正会員 吉村和彦

1. まえがき

地下空洞周辺の岩盤は、掘削作業による地盤の損傷、掘削後の応力変化により生じる周辺岩盤の変形・破壊、あるいは大気中に暴露されることによる風化変質、施設運用時においては温度変化の影響による変質等種々の要因で劣化作用を受ける。また自然の岩盤は節理、亀裂等の弱面を含んでおり、地下空洞周辺の岩盤の挙動に少なからず影響を与えることになる。

本研究は、インタクト試料およびインタクト試料に乾湿繰返しを与えることで人工的に劣化させた試料について各種の力学試験を実施し、特に長期強度、疲労特性について検討したものである。

2. 試料・試験方法

試験に用いた試料は、房総半島で採取した上総層群黄和田層泥岩である。試料の基本物性を表-1に示す。試験条件の概要は表-2に示す通りであり、三軸圧縮試験以下の試験は、側圧条件を先行圧密荷重以下に設定した過圧密状態での圧密非排水試験である。表中の破壊応力比は、インタクト試料あるいは劣化試料各々の荷重速度0.03%/minでの三軸圧縮試験から求めた最大強度の平均値を基準としている。

乾湿繰返しの方法を図-1に示す。各試験での乾湿繰返し回数は、一軸圧縮試験では1~4回、三軸圧縮試験以下の試験では1回とした。

表-1 試料の基本物性

比 重 Gs	2.634	
自然含水比 ω %	25.9	
湿潤密度 ρ _w g/cm ³	1.978	
乾燥密度 ρ _s g/cm ³	1.575	
液性限界 ω _L	54.2	
塑性限界 ω _P	32.5	
粒 度 組 成	礫 分 %	1
	砂 分 %	0
	シルト分 %	62
	粘土分 %	37
一軸圧縮強度 kgf/cm ²	114.6	
弾性係数 kgf/cm ²	1.02 × 10 ⁴	

表-2 試験条件の概要

試験項目	試験条件		
一軸圧縮試験	荷重速度 0.1%/min		
三軸圧縮試験	側 圧	荷重速度	
	40 kgf/cm ² 70 kgf/cm ²	0.003%/min 0.03%/min 0.1%/min	
クリープ試験	側 圧	破壊応力比	
	40 kgf/cm ² 70 kgf/cm ²	0.8~0.95	
繰返し荷重試験	側 圧	荷重周波数	破壊応力比
	40 kgf/cm ² 70 kgf/cm ²	0.5 Hz 0.1 Hz 0.01 Hz	0.7~0.95

3. 試験結果・考察

一軸圧縮強度と乾湿繰返し回数との関係を図-2に示す。1回の乾湿繰返しで試料の強度は大きく低下し、2回以上の乾湿繰返しを与えても強度の低下は極めて小さい。これは1回目の乾湿繰返しで発生する幅の広い、顕著な亀裂が強度に大きく影響しており、2回目以降の乾湿繰返しで発生する比較的細かい亀裂は強度にそれほど影響しないことを示している。

図-3にインタクト試料、劣化試料のクリープ試験および繰返し荷重試験での破壊応力比と破壊時間の関係を示した。ここでは破壊時間をひずみ速度が上昇し始める時点と定義している。同図に示すように、インタクト試料、劣化試料ともに破壊応力比の低下に伴って、クリープ試験より繰返し荷重試験の方が破壊に至るまでの時間が短くなる傾向があり、筆者らが過去に上総層群国本層泥岩、あるいは上総層群中里層泥岩で得た知見¹⁾と一致している。

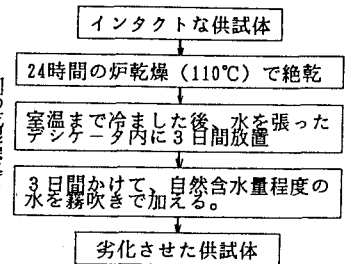


図-1 乾湿繰返しの方法

図-4は三軸圧縮試験、クリープ試験、および繰返し载荷試験のひずみ速度と軸差応力の関係を、インタクト試料および劣化試料について同一図上に示したものである。クリープ試験、および繰返し载荷試験のひずみ速度は、前に定義した破壊時のひずみ速度としている。同図より三軸圧縮試験の残留強度は、インタクト試料の場合ひずみ速度によらずほぼ一定値になること、また劣化試料の残留強度もインタクト試料の値とほぼ等しくなっていることがわかる。足立らの研究で不連続面を含んだ岩盤強度の下限値は、岩石の残留強度と一致することが報告されているが²⁾、本研究においてもそれを裏付ける結果が得られた。すなわち、乾湿繰返しを与えることで発生させた不規則に分布した不特定数の亀裂を含む劣化試料を岩盤と見たてると、その下限強度に当たる残留強度はインタクト試料の残留強度とほぼ等しくなっていることが示された。

一定荷重、あるいは繰返し荷重を受ける岩盤の数十年といった長期強度を問題とする場合、許容できる岩盤のひずみ速度は $10^{-7}\%$ /min程度以下のオーダーと考えられる。図-4からもわかるように、インタクト試料、劣化試料のいずれにおいても、この程度のひずみ速度では、最大強度は残留強度にほぼ一致していると推定される。このため長期に渡って一定荷重、あるいは繰返し荷重を受ける岩盤の設計強度を推定する場合、不連続面を含んだ岩盤、あるいは劣化作用を受けた岩盤についてもインタクト試料の三軸圧縮試験から求められる残留強度をひとつの基準にできるものと考えられる。

4. あとがき

乾湿繰返しを与えることで人工的に劣化させた泥岩の強度特性より、不連続面を含んだあるいは劣化作用を受けた実際の岩盤の長期強度の推定のための基準として、インタクト試料の残留強度が有効であることが本研究で示された。また、岩石は一定荷重を受ける場合よりも繰返し荷重を受ける場合の方が破壊が促進されることも再度確認された。今後、岩盤中に建設される地下空洞構造物のより安全で合理的な設計基準を得るためには、繰返し荷重による破壊の機構を解明する必要があると思われる。

<参考文献>

- 1) 中山武樹、平井光之他：繰返し荷重を受ける堆積軟岩の長期強度の推定、第23回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、1991年2月
- 2) 足立紀尚、林正之：軟岩の力学特性に及ぼす不連続面の影響、土木学会論文報告集、1981年1月

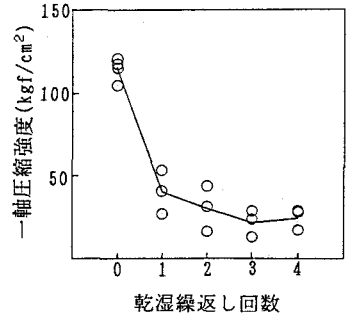


図-2 一軸圧縮強度と乾湿繰返し回数の関係

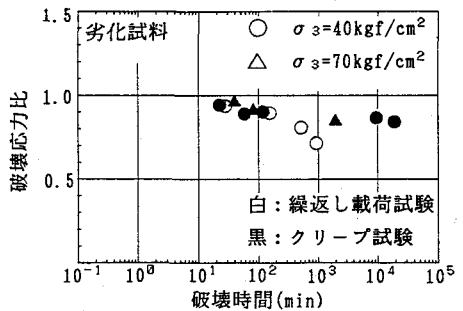
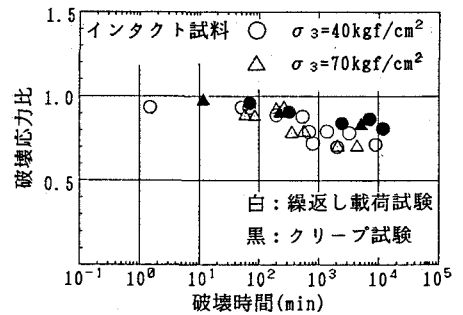


図-3 破壊応力比と破壊時間の関係

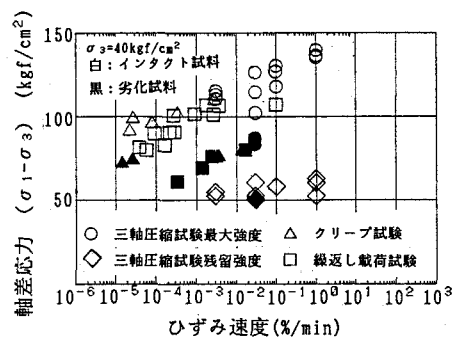


図-4 軸差応力とひずみ速度の関係