

III-225 堆積軟岩における繰返し载荷の影響について

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

1. まえがき

近年、首都圏を中心として大深度地下利用に関する検討が盛んになっている。特に、エネルギー貯蔵施設として地下空間を利用する場合には、岩盤が繰返し荷重を長期にわたって受けることになるため、岩盤の疲労特性、長期強度に対する検討が必要となるが、軟岩におけるこれらの基礎的な特性については不明な点が多い。

本研究は、堆積軟岩のうち上総層群泥岩ならびに相模層群泥岩を試料として、各種载荷速度による静的三軸圧縮試験、クリープ試験、繰返し载荷試験を実施した結果、特に繰返し载荷の効果について両泥岩試料に共通した知見を得たので報告するものである。

表-1 試料の基本物性

項 目	(a)上総層群泥岩	(b)相模層群泥岩
比 重	2.703	2.673
自然含水比(%)	25.9	26.3
湿潤密度(gf/cm ³)	1.958	1.932
乾燥密度(gf/cm ³)	1.550	1.524
液性限界(%)	43.5	55.8
塑性限界(%)	27.9	22.0
粒 度	砂 分(%)	23
	シルト分(%)	53
	粘土分(%)	24
一軸圧縮強度(kgf/cm ²)	35.6	22.0
弾性係数(kgf/cm ²)	3.85×10 ³	2.28×10 ³

2. 試験方法・供試体

試験に用いた試料は房総半島で採取した上総層群泥岩ならびに神奈川県東部で採取した相模層群泥岩である。両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、いずれの試験も圧密非排水試験である。また、両試料とも側圧条件を先行圧密荷重以下に設定しており、過圧密状態での試験となっている。

3. 試験結果・考察

クリープ試験、繰返し载荷試験における破壊は、それぞれひずみ速度が上昇し始める時点をもって定義しており、その時点におけるひずみ（破壊ひずみ）は静的三軸圧縮試験における最大強度発揮時点のひずみにほぼ対応している。また、破壊ひずみは試験時の側圧、载荷応力レベルには特に依存しなかった。

図-1に示すように、両試料とも応力レベルの低下に従って、一定応力载荷（クリープ）に比べ繰返し载荷の方が破壊に至るまでの時間が短くなる傾向が現れており、クリープ試験結果が安全側にならないという点で特徴的である。

なお図の破壊応力比とは载荷応力と静的三軸圧縮試験時の最大応力との比を表す。

ここで、最小ひずみ速度と破壊時間の関係を見ると、図-2に示すように両対数グラフ上で1本の直線で近似でき、クリープ、繰返し载荷において差はない。これは、破壊ひずみが载荷条件によって変わらないことを裏付けるものである。

一方、载荷応力レベルと最小ひずみ速度の関係では、図-3に示すように両者には依存性があり、同一の応力レベルにおいてはクリープ試験に比べ繰返し载荷試験の方がひずみ速度が大きい。即ち、クリープ

表-2 試験条件の概要

試験項目	(a) 上総層群泥岩	(b) 相模層群泥岩
静的三軸圧縮試験	側圧 5kgf/cm ²	側圧 5kgf/cm ²
	载荷ひずみ速度 0.03%/min	载荷ひずみ速度 0.001%/min
	10kgf/cm ² 0.03%/min	10kgf/cm ² 0.03%/min
クリープ試験	側圧 5kgf/cm ²	側圧 10kgf/cm ²
	10kgf/cm ² 0.7~1.1	20kgf/cm ² 0.8~1.0
	30kgf/cm ²	
繰返し载荷試験	側圧 5kgf/cm ²	側圧 10kgf/cm ²
	载荷周波数 0.5Hz	载荷周波数 0.5Hz
	破壊 10kgf/cm ² 0.1Hz 0.7~1.2	破壊 20kgf/cm ² 0.1Hz 0.6~0.9

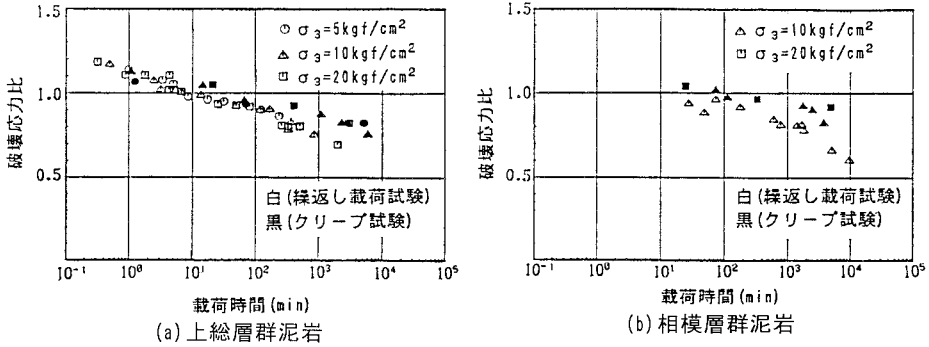


図-1 応力レベルと破壊までの載荷時間の関係

試験よりも繰返し載荷試験の方が破壊までの時間が短いという現象は、繰返し載荷を行った場合に、相対的なひずみ速度が大きいことに基づいている。

同様に、図-4に示すように同程度の載荷荷重であっても定常状態（最小ひずみ速度）に達するまでの遷移期間が繰返し載荷試験結果において短いという傾向も現れており、そのために最小ひずみ速度を押し上げていると考えることもできる。

図-3には静的三軸圧縮試験における最大強度および残留強度と載荷速度の関係もあわせて示しているが、静的三軸試験における最大強度とひずみ速度の関係はクリープ試験における載荷応力と最小ひずみ速度の関係とほぼ等価であり、両載荷方法については共通した見方が可能であることを示している。

西らも指摘しているように¹⁾、残留強度については比較的ひずみ速度への依存性が小さく、また、ひずみ速度を十分小さくした場合の最大強度は残留強度に一致することが予想されることから、数十年といった長期の強度を問題とする場合は残留強度を設計強度として考えればよいと推定される。

4. あとがき

2種類の堆積軟岩を用いた種々の載荷試験を通して、載荷荷重を変動させることによって供試体の破壊が促進されることがわかった。しかし、荷重変動の影響の物理的な意味については現時点では十分にはわかっていない。この点についての検討が今後必要であろう。また、この種の堆積軟岩では掘削後の風化または乾湿繰返しによる劣化等についての検討も欠かせないと考えられる。

ただし、稼働時の荷重に関する実際の構造物の設計に限れば、数十年といった長期の安全性を考慮することになるだろうが、その場合には静的載荷試験における残留強度が設計の目安となると考えられる。

参考文献：1) 西ら、電中研報告No.382013、1982

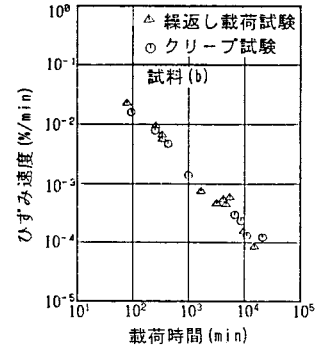


図-2 ひずみ速度と破壊までの載荷時間の関係

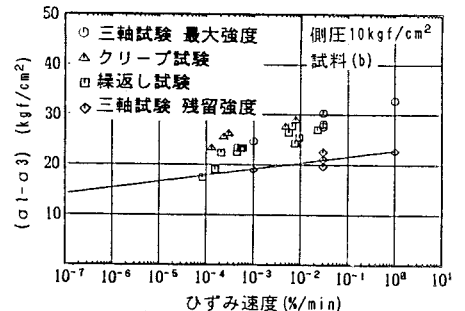


図-3 応力レベルとひずみ速度の関係

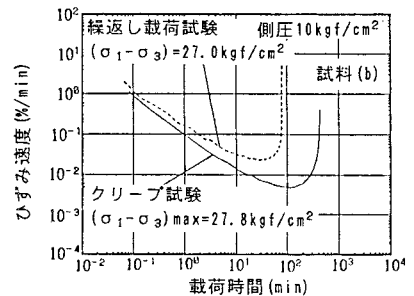


図-4 遷移期間の比較