

### III-A 333 岩石不連続面の繰返し载荷およびクリープによるせん断変形

清水建設技術研究所 正会員 ○若林 成樹、石塚与志雄、熊坂 博夫  
 中部電力電力技術研究所 正会員 三浦雅彦、上田 稔、西村 均

**1. はじめに** 変圧方式の圧縮空気貯蔵発電施設では変動内圧が長期間、岩盤空洞に作用するため、繰返し载荷に伴う岩盤不連続面の変形挙動を把握する必要がある。既報告では人工的に作成した岩石不連続面で周期20秒の短周期繰返しせん断試験を行い、载荷応力・繰返し回数とせん断変位増分との関係を求めたり。この変位増分には载荷・除荷の繰返しの影響以外に载荷時間に依存した変形が含まれている。そこで周期を2,000秒にした長周期繰返しせん断試験とクリープせん断試験を行い、時間に依存した変形成分を把握した結果を報告する。

**2. 試験方法** 試験に用いた供試体、試験装置は既報告と同じである。愛知県足助町付近に産出する花崗岩（足助荒目石）ブロックをrift面で割裂した約220×100mmの大きさの不連続面の粗さを計測し、フラクタル次元<sup>2)</sup>、最大高低差・正負平均勾配<sup>3)</sup>などの指標から、同程度の粗さと判断されたものだけを用いた。垂直応力は2.94MPaとし、载荷せん断応力は表-1に示すように設定した。

表-1 試験条件一覧

試験方法	供試体番号	载荷応力 (MPa)	せん断強度 (MPa)	载荷応力比	ケース
長周期繰返しせん断試験 周期=2,000秒 100回 サイン波	AA329	1.12~2.24	4.42	0.25~0.51	La-3
	AA332		5.33	0.21~0.42	
	AA297	1.73~3.45	6.10	0.28~0.57	La-4
	AA301		4.39	0.39~0.79	
	AA314		4.89	0.35~0.71	
クリープ試験 载荷時間 =72,000秒	AA326	1.12	6.73	0.17	C-1
	AA327		5.43	0.21	
	AA330		6.02	0.19	
	AA291	1.73	6.94	0.25	C-1
	AA300		6.51	0.27	
	AA285	2.61	6.40	0.41	C-2
	AA293		7.28	0.36	
	AA286	3.45	6.59	0.52	C-3
	AA298		7.21	0.48	
	AA288	4.34	6.74	0.65	C-4
AA299	5.31		0.82		
AA322	5.20	6.68	0.78	C-4	
短周期繰返しせん断試験 周期=20秒 1,000回 サイン波	AA096	0~1.73	8.29	0~0.21	S-1
	AA106		7.09	0~0.25	
	AA077	0~2.61	6.73	0~0.52	S-3
	AA139		7.38	0~0.47	
	AA125	0~6.06	7.70	0~0.79	S-4
	AA148		破壊(8.70)	推定0~0.7	
	AA092	1.73~2.61	6.89	0.25~0.51	Sa-3
	AA166		7.02	0.25~0.50	
	AA152	2.61~6.06	7.00	0.50~0.87	Sa-4
	AA165		---	推定0.4~0.7	

また、各試験の終了後、静的せん断試験（载荷速度1.2MPa/min）を行い、载荷応力比（载荷応力/せん断強度）を求めた。長周期繰返しせん断試験（以後は長周期試験）で2段階（ケースLa-3:载荷応力比で0.2~0.5前後, La-4:0.3~0.8）、クリープ試験で4段階（C-1:0.2前後, C-2:0.4, C-3:0.5, C-4:0.8）の载荷応力比とした。また、既報告の短周期繰返しせん断試験（以後は短周期試験）での载荷応力比は5段階（S-1:0~0.2前後, S-3:0~0.5, S-4:0~0.8, Sa-3:0.25~0.5, Sa-4:0.5~0.8）であった。せん断強度が求められなかった場合は、別途求めておいた基準せん断強度（短周期繰返しせん断試験では8.70MPa）から推定した。

**3. 試験結果** 長周期試験の载荷応力とせん断変位関係の例を図-1に示す。1回目の载荷時には比較的大きく変形し、除荷時の戻りは少なくなっている。2回目以降では载荷・除荷時にわずかにループを示すが、変形挙動は繰返してもほとんど変化がない。また、繰返しに伴い、徐々にせん断変形は進行している。1回目の最大载荷応力に達したときのせん断変位を基準にしたせん断変位増分と繰返し回数との関係を図-2に示す。長周期試験の変形は繰返しによって徐々に進行し、100回（20万秒）の繰

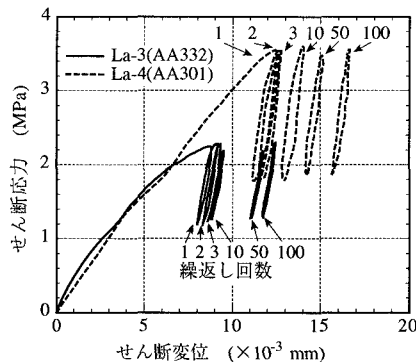


図-1 長周期繰返しせん断試験のせん断応力とせん断変位の関係

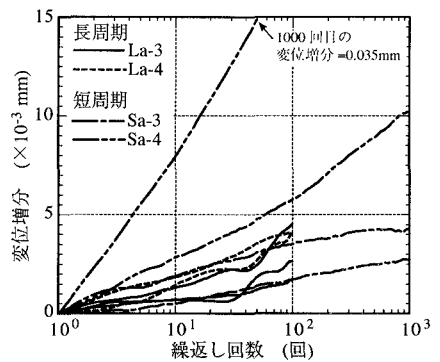


図-2 変位増分と繰返し回数の関係

返して変位増分は0.0017～0.0045mmに達する。概ね、載荷応力比が大きい方が変位増分も大きくなる傾向がある。図-2には既報告の短周期試験の載荷応力比がほぼ同じであるケースSa-3,Sa-4の結果も示した。長周期試験の場合と同様に繰返しにともない徐々に変形は進行し、載荷応力比が大きい方が変位増分も大きくなっている。概ね、繰返し回数が同じであれば長周期、短周期試験の変位増分は等しく、繰返し載荷によるせん断変形の進行は周期の違い(2,000秒と20秒)による影響より載荷・除荷の繰返し回数の影響が大きいと考えられる。

載荷応力比を4段階に変化させたクリープ試験のせん断変位増分と時間の関係を図-3に示す。図中には長周期、短周期試験の繰返し回数を載荷時間に交換した変位増分も示した。載荷応力比が0.2、0.4前後(C-1,S-1,C-2)ではクリープ試験、長周期・短周期試験とも変形の進行はほとんど見られない。載荷応力比が0.5前後(C-3,La-3,Sa-3,S-3)になると、クリープ試験の変形は進行しないが、長周期・短周期試験ではわずかに変形が進行しており、載荷・除荷の繰返しの影響が現れていると考えられる。載荷応力比が0.8前後(C-4,La-4,Sa-4,S-4)の場合、短周期試験の変位増分には大きなばらつきがあるものの、最も大きく、次いでクリープ、長周期試験の変位増分の順になっている。載荷時間が短いにもかかわらず短周期の変位増分がクリープ、長周期試験より大きいのは載荷・除荷の繰返しの影響と考えられる。一方、長周期試験は載荷応力が変動するため平均的な載荷応力比がクリープ試験より小さく、載荷・除荷の影響も含まれるものの繰返し回数が少ないため、クリープ試験の変位増分より小さくなったと考えられる。

同じ載荷時間で比較するためにクリープ試験では2万秒後、長周期試験では10回目(2,000×10)、短周期試験では1,000回目(20×1,000)の載荷時の変位増分と載荷応力比との関係を図-4に示す。クリープ試験では載荷応力比が0.8前後で変形が進行し始める。短周期試験では0.5前後に達すると徐々に変形が進行し始め、0.8前後に達すると破壊に至る程の変形を示すものからクリープ試験程度の変形しか示さないものまで大きなばらつきがある。長周期試験では繰返し回数が少ないこと、平均載荷応力比も小さいこともあり、ほとんど変形は進行していない。したがって、1,000回程度の繰返し回数を経れば、変位増分の下限値はクリープによる変位増分と考えられる。

**5. まとめ** 人工的に作成した不連続面を用いて周期2,000秒の長周期繰返しせん断試験とクリープ試験を実施し、既報告の周期20秒の短周期繰返しせん断試験結果と比較した。載荷応力比が0.5前後では繰返し載荷によってせん断変形は進行し始めるが、クリープでは変形が生じない。そのため、周期ではなく繰返し回数に依存して変形は進行する。載荷応力比が0.8前後になるとクリープ変形が生じ始める。繰返しせん断試験の変位増分は大きくばらつくが、1,000回程度の繰返し回数を経れば下限値はクリープによる変位増分とみなせる。

<参考文献> 1) 近藤寛通, 上田稔ら:繰返し載荷に伴う不連続面の変形挙動について, 不連続性岩盤と構造物に関する研究報告書, pp.417-420, 地盤工学会, 1995. 2) 若林成樹, 福重郁 録: 岩石不連続面のフラクタル次元とせん断強度に関する実験的研究, 第23回岩盤力学に関するシボジウム講演論文集, pp.132-136, 1991. 3) 吉中龍之進, 清水昭男ら: 岩盤不連続面の粗さの指標について, 第19回岩盤力学に関するシボジウム講演論文集, pp.386-390, 1989.

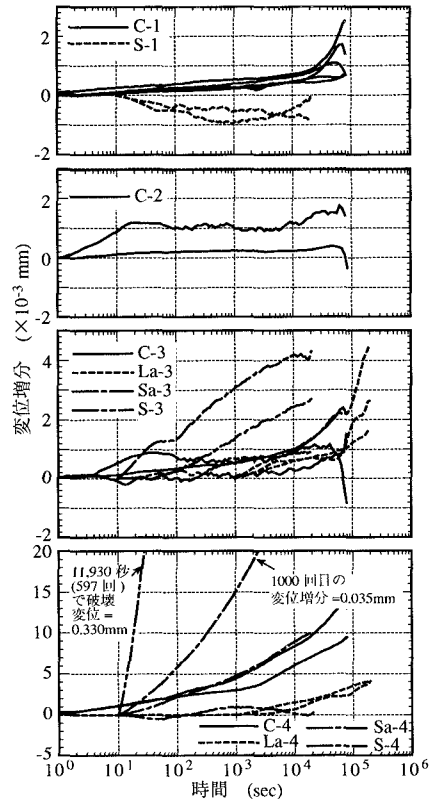


図-3 変位増分と載荷時間の関係

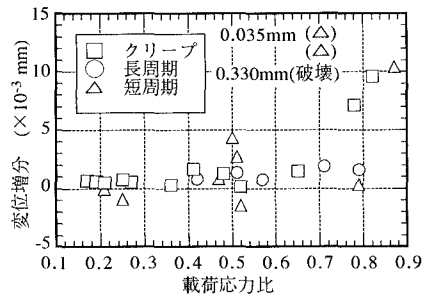


図-4 変位増分と載荷応力比の関係 (載荷時間20,000秒)