

# 断層模倣供試体を用いた载荷パターンの異なる 繰返し三軸試験の動的強度

大熊 信之<sup>1</sup>・畑元 浩樹<sup>1</sup>・江藤 芳武<sup>2</sup>・城下 学<sup>3</sup>  
・大川 孝士<sup>4</sup>・岡田 哲実<sup>5</sup>

<sup>1</sup>九州電力株式会社 総合研究所 土木グループ (〒815-8520 福岡県福岡市南区塩原二丁目1-47)  
E-mail:nobuyuki\_ookuma@kyuden.co.jp

<sup>2</sup>西日本技術開発株式会社 土木本部 (〒810-0004 福岡県福岡市中央区渡辺通一丁目1-1)

<sup>3</sup>西日本技術開発株式会社 調査解析部 土木試験室 (〒815-8520 福岡県福岡市南区塩原二丁目1-47)

<sup>4</sup>独立行政法人 土木研究所 水工研究グループ (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

<sup>5</sup>財団法人 電力中央研究所 地球工学研究所 (〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子1646)

断層内物質の合理的な動的強度試験方法の提案を目的として、断層内物質を模倣した人工供試体を作製し、繰返し非排水三軸試験を実施した。試験方法は、正弦波の荷重振幅を一定にして繰返し荷重を加える単段階繰返し三軸試験（疲労試験）と、荷重振幅を人工地震波形で加えた不規則波繰返し三軸試験であり、これら载荷パターンの違う試験法で得られる動的強度の差異について評価を行った。その結果、不規則波繰返し三軸試験で得られた動的強度は単段階繰返し三軸試験で得られる疲労曲線とほぼ一致し、これらの载荷パターンの違いによる動的強度には差異がないことが明らかとなった。このことは、動的強度が規則波载荷試験のみにより合理的に評価できることを示している。

**Key Words :** triaxial compression test, dynamic shear strength, cyclic loading, irregular cyclic loading

## 1. はじめに

近年、新潟県中越沖地震（2007.7）や岩手・宮城内陸地震（2008.6）など大規模地震が頻発している。加えて、K-netやKIK-netなど強震観測設備の充実に伴い、一部構造物の設計地震動を超えるこれらの強震記録が次々と報告されており、重要構造物における大規模地震時の安定性に対する社会的関心が高まっている。原子力発電所の建設にあたっては、耐震設計審査指針の改定（2006.9）に伴い、原子炉建屋基礎地盤および周辺斜面の安定性については動的解析を主体とした評価に移行しており、解析結果を照査する強度についても動的強度を適切に評価した上で照査することが要求されている。また、水力発電分野においても、ダムの耐震性能審査指針（案）が試行運用（2005.3）され、静的震度法で設計された既設ダムを動的解析により照査する時代へとシフトしている。

岩石の動的強度に関する既往研究としては、泥岩について西ら<sup>1)2)3)</sup>による系統的な研究報告があり、「動的強度が静的強度を下回らない」という、現在の岩石における動的強度の基本的な定説となっている。このほか、凝

灰岩、砂岩、頁岩については同じく西ら<sup>4)</sup>により、凝灰岩については藤原ら<sup>5)</sup>により、泥岩、砂岩、凝灰岩については吉中ら<sup>6)7)8)</sup>により研究報告がなされている。しかし、これらの研究は主に軟岩を対象としたものであり、軟岩に比して低強度かつ破壊時ひずみの大きい断層内物質を対象とした研究事例は少ない。断層内物質の動的強度については、西らにより一部報告<sup>9)</sup>されているものの、調査・サンプリング・試験の困難さゆえ、粘性土のデータを含めた考察となっている。また、これらの既往研究では、規則波（正弦波）を基本とした「岩石の動的強度特性」という観点で整理されており、载荷パターンの違いによる動的強度の相違という点では言及されていない。

本研究は、低強度かつ破壊時ひずみが大きい断層内物質を対象とし、合理的な動的強度を求める試験方法の提案を目的とした。本論文では、まず材料の不確実性を排除するために作製した人工模倣供試体の物理・強度特性について述べる。次に単段階繰返し三軸試験（規則波）結果と不規則波（地震波）繰返し三軸試験結果から得られた動的強度特性を述べるとともに、動的荷重の载荷パターンの違いが動的強度に与える影響について考察する。

## 2. 断層内物質を模擬した人工模擬供試体

### (1) 人工模擬供試体作製の考え方

人工模擬供試体の作製にあたっては、九州管内の発電所調査地点（以下、「A地点」と略す。）で得られた断層内物質の物理・強度特性とその他全国の発電所地点を参考として、その供試体作製の仕様を決定した。まず、物理特性が模擬できるよう材料選定・配合を行い、次に強度特性が模擬できるよう結合材の選定や締固め、養生方法を決定した。なお、間隙比はダイレタンシー特性に強い影響を与え、繰返し荷重載荷時の強度を大きく左右することが考えられたため、供試体は各地点の平均間隙比（ $e=0.57$ ）と平均値+1 $\sigma$ 〔平均値+標準偏差〕付近（ $e=0.67$ ）の2パターンを作製することとした。

### (2) 人工模擬供試体の配合と物理・強度特性

人工模擬供試体の材料は、粒度と塑性指数 $I_p$ がA地点の平均的な値となるよう、まさ土：木節粘土を5.5:4.5の比率で混合し、強度発現のため結合材として普通ポルトランドセメントを1.5%添加した上で練混ぜ、モールド内で加圧整形して作製した。なお、供試体の含水比は飽和度 $S_r=90\%$ を目標として設定した。表-1に人工模擬供試体の物理・強度特性を、図-1, 2に粒度分布、および間隙比のグラフをそれぞれ示す。また、作製した人工模擬供試体とA地点断層内物質との静的三軸試験結果を図-3に示すが、静的せん断強度は間隙比 $e=0.57$ の試料でA地点の強度をほぼ再現している。

表-1 人工模擬供試体の物理・強度特性

物理・強度特性	$e=0.57$	$e=0.67$
液性限界 $w_L$ (%)	54.7	54.7
塑性限界 $w_P$ (%)	24.9	24.9
塑性指数 $I_p$	29.8	29.8
比重 $G_s$	2.62	2.62
含水比 $w$ (%)	19.6	23
湿潤密度 $\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.994	1.927
乾燥密度 $\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.667	1.567
飽和度 $S_r$ (%)	90	90
一軸圧縮強度 $q_u$ (MPa)	0.961	0.621

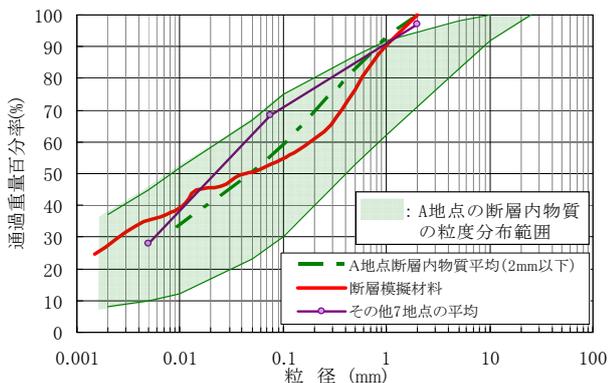


図-1 人工模擬供試体と断層内物質の粒度分布比較

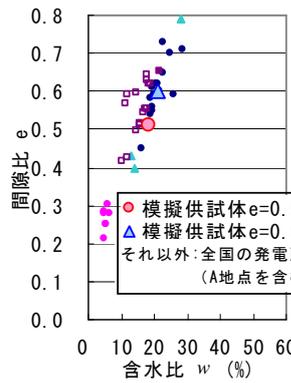


図-2 全国地点と人工供試体の間隙比比較

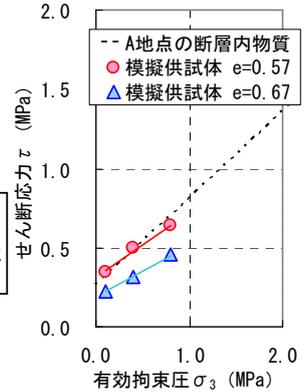


図-3 A地点と人工供試体の強度比較

## 3. 試験方法

試験は静的三軸試験、繰返し三軸試験ともに圧密非排水条件（ $\overline{CU}$ ）にて実施した。手順としては、まず供試体をセットし二重負圧法による飽和を行いSkemptonのB値90%以上を確認する。その後、所定の背圧（0.5MPa）および初期有効拘束圧を載荷して等方圧密を行い、せん断を実施した。載荷方法以外の試験法については、「地盤材料の変形特性を求めるための繰返し三軸試験方法（JGS 0542-2000:地盤工学会基準）」に準拠して実施した。なお、今回の繰返し三軸試験結果については、荷重はピストンの摩擦の影響を除くためセル内部のロードセルで計測されたデータを、変位は強度試験のため破壊までの軸ひずみの計測が必要なことからセル外部の変位計で計測されたデータに基づいて整理を行っている。

## 4. 静的三軸試験（ $\overline{CU}$ 試験）結果

本試験では、軸ひずみ速度0.05%/minとし、有効拘束圧 $\sigma_3=0.1, 0.4, 0.8$ MPaの3拘束圧下で行った。図-4, 5に間隙比 $e=0.57, 0.67$ における軸差応力（ $\sigma_1 - \sigma_3$ ）-軸ひずみ $\epsilon$ 、および間隙水圧 $u$ -軸ひずみ $\epsilon$ の関係をそれぞれ示しているが、これらの図から以下の特徴が指摘できる。

①間隙比 $e=0.57$ の応力-ひずみの関係については、3拘束圧下とも最大軸差応力に至るまで概ね弾性的な傾向を示す。 $\sigma_3=0.1$ MPaにおいては最大軸差応力発生後、ひずみは急激に進行し比較的小ひずみ量で残留強度へ到達している。 $\sigma_3=0.4, 0.8$ MPaにおいては、最大軸差応力発生後は徐々に軟化し、なだらかに応力が減少していく。

②間隙比 $e=0.67$ の応力-ひずみの関係は、間隙比 $e=0.57$ と概ね同じ傾向であるが、いずれの拘束圧下においても間隙比 $e=0.57$ に比べ明瞭なピークが見られず、ピーク発生後、徐々に応力が減少し続ける。

③間隙比 $e=0.57, 0.67$ のいずれにおいても、最大軸差応力発生時での破壊ひずみの発生状況には拘束圧依存性が認められ、拘束圧が高いほど破壊ひずみは大きい。

④間隙比 $e=0.57$ の間隙水圧の発生状況は、 $\sigma_3=0.1, 0.4\text{MPa}$ においては、最大軸差応力発生前にピークを迎えた後 $\sigma_3=0.1\text{MPa}$ では負圧に、 $\sigma_3=0.4\text{MPa}$ ではほぼゼロに近づきながら、なだらかに減少し収束する。しかし $\sigma_3=0.8\text{MPa}$ においては最大軸差応力発生後もしばらくは増加し、やがて収束していく。

⑤間隙比 $e=0.67$ の間隙水圧の発生状況については、間隙比 $e=0.57$ とほぼ同じ傾向であるが、 $\sigma_3=0.8\text{MPa}$ においてはひずみが10%を超えてもなお増加し、その最大値はいずれの拘束圧下においても間隙比 $e=0.57$ に比べ2倍以上である。また、両間隙比とも、間隙水圧の発生には拘束圧依存性が認められ、拘束圧が高いほど間隙水圧は高い。

なお、本論文では、後述する繰返し三軸試験結果の記述との整合性を図るため、圧密圧力を有効拘束圧、主応力差を軸差応力と表記している。

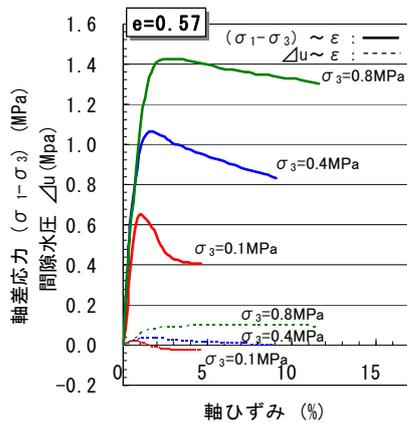


図4 軸差応力・間隙水圧と軸ひずみの関係 ( $e=0.57$ )

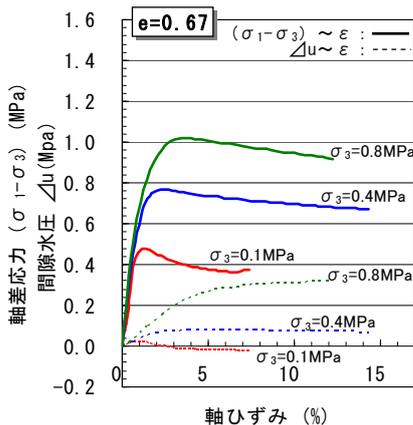


図5 軸差応力・間隙水圧と軸ひずみの関係 ( $e=0.67$ )

## 5. 繰返し三軸試験の試験ケースと載荷方法

### (1) 単段階繰返し三軸試験 (疲労試験)

単段階繰返し三軸試験は、表-2に示すケースにて実施

した。載荷方法は図-6に示すとおり、まず所定の拘束圧 $\sigma_3$ にて等方圧密を行った後、あらかじめ設定した軸差応力 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ の1/2の荷重で初期せん断応力 $\sigma_s$ を作用させ、軸差応力 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ を全振幅とした一様正弦波により載荷を行った。一連の載荷は非排水条件の下で作用させ、軸ひずみが15%に到達するまで載荷を続けた。なお、載荷した動的荷重の振動数 $f_{iq}$ と拘束圧 $\sigma_3$ は表-2のとおりである。

表-2 単段階繰返し三軸試験の試験ケース

供試体間隙比 $e$	振動数 $f_{iq}$ (Hz)	拘束圧 $\sigma_3$ (MPa)		
		0.1	0.4	0.8
0.57	0.01		○	
	0.1		○	
	1.0	○	○	○
0.67	1.0	○	○	○

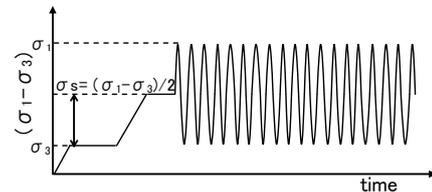


図-6 単段階繰返し三軸試験の載荷パターン

### (2) 不規則波繰返し三軸試験

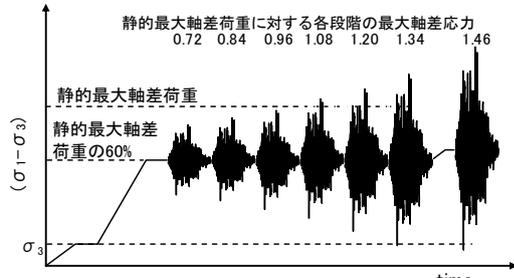
不規則波繰返し三軸試験には人工地震波形を用い、表-3に示す2ケースを実施した。Case-1は図-7(a)に示すとおり、まず所定の拘束圧 $\sigma_3$ にて等方圧密を行い、静的最大軸差荷重の60%を初期せん断荷重として与えた後に不規則波荷重を載荷した。不規則波荷重については、人工地震波形の最大加速度が静的最大軸差荷重の12%となるよう波形全体を調整したうえで載荷し、以降ひずみが15%に達するまで波形全体を12%ずつ増分しながら載荷した。Case-2は図-7(b)に示すとおり、まず所定の拘束圧 $\sigma_3$ にて等方圧密を行い、静的最大軸差荷重の20%を初期せん断荷重として与えた後に、不規則波荷重を載荷した。不規則波荷重については、人工地震波形のマイナス側の最大加速度が $\sigma_3$ となるよう波形全体を調整したうえで載荷し、以降ひずみが15%に達するまで、各段階毎に初期せん断荷重を20%ずつ増分させながら載荷した。一連の段階載荷は非排水条件の下で荷重制御により行った。また、Case-1の6段階では軸ひずみが15%に到達しなかったため、7段階前に静的最大軸差荷重の12%の初期せん断荷重を増加し7段階目を載荷した。

なお、試験に用いた不規則波は2ケースとも同じ人工地震動であり、卓越振動数は5~10Hzであるが、このような速度での動的載荷を15%のひずみレベルまで制御することは試験機の能力上困難であるため、時間軸を5倍に伸ばした不規則波形として載荷した。したがって、不規則波試験で用いた不規則波の卓越振動数は1~2Hzと

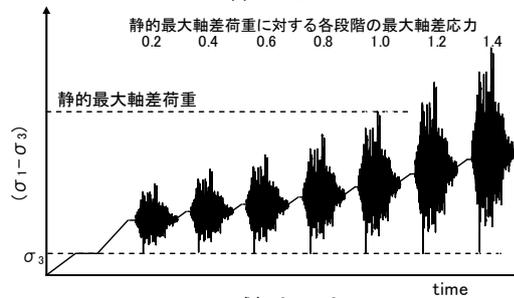
なり、前述した単段階繰返し三軸試験ケースのうち、間隙比 $e=0.57$ 、振動数 $f_{rq}=1.0\text{Hz}$ のケースとの比較考察が可能である。

表-3 不規則波繰返し三軸試験の試験ケース

	供試体 間隙比 $e$	拘束圧 $\sigma_3(\text{MPa})$	初期せん断荷重
Case-1	0.57	0.4	1段階目に載荷
Case-2			各段階毎に載荷



(a) Case-1



(b) Case-2

図-7 不規則波繰返し三軸試験の載荷パターン

## 6. 試験結果とその考察

### (1) 単段階繰返し三軸試験(疲労試験)結果

動的強度を評価する際に、まずどのように破壊を定義するかが問題となる。西らによると、泥岩(一軸圧縮強さ $2.7\text{MPa}$ 程度)において拘束圧 $\sigma_3=3.0\text{MPa}$ 未満では、ある繰返し回数のもとで急激にひずみが増大する時点を破壊と定義し、拘束圧 $\sigma_3=6.0\text{MPa}$ になると延性的にひずみが増大するため静的最大軸差応力発生時の軸ひずみ量で破壊を定義している<sup>24)</sup>。また、吉中らは、シルト質軟岩(一軸圧縮強さ $4.87\text{MPa}$ 程度)において、各波毎での軸ひずみ増分を变形率と微小变形率で整理し、その変化点により破壊を定義している<sup>10)</sup>。そこで、図-8に間隙比 $e=0.57$ 、振動数 $f_{rq}=1.0\text{Hz}$ 、拘束圧 $\sigma_3=0.4\text{MPa}$ 、載荷荷重振幅 $P_d=1,200\text{N}$ での載荷荷重、軸ひずみ、および間隙水圧の経時変化図を示す。断層内物質を模擬した同図の結果によれば、静的破壊ひずみ2%を超えても繰返し荷重は供試体に作用している。また、軸ひずみも全体的にやや下に凸ではあるが破壊ひずみ2%を超えてもほぼ直線的に伸び急増点は確認できない。載荷荷重は軸ひずみ

が15%を超えた(図中赤丸)付近からようやく低下(図中矢印)を示し、この付近から供試体が軟化傾向を示していることが伺える。これらのことから、破壊の定義は荷重の急落点、もしくは15%ひずみ到達時点とした。

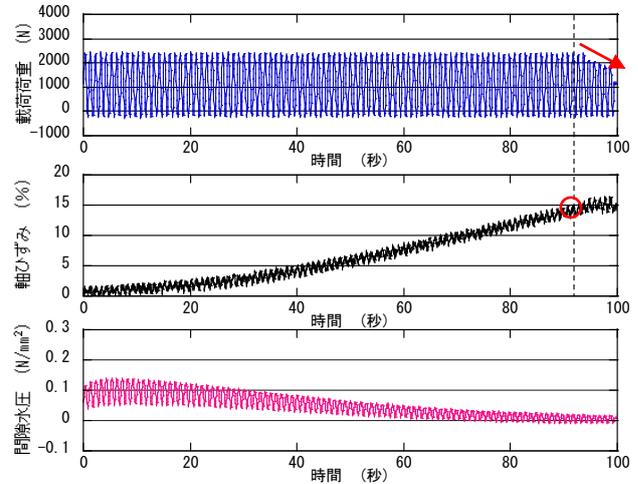


図-8 疲労試験結果の一例  
( $e=0.57, f_{rq}=1.0\text{Hz}, \sigma_3=0.4\text{MPa}, P_d=1,200\text{N}$ )

図-9, 10, 11に単段階繰返し三軸試験で得られた載荷荷重と破壊繰返し回数(以下、「破壊回数」と略す。)との関係(疲労曲線)を示す。図-11は静的最大軸差荷重(静的強度)に対する繰返し荷重の振幅(動的強度)の比 $P_d/P_s$ (以降、「荷重比」と称す。)で整理している。同図から以下のことが指摘できる。

①図-9から、動的強度の速度依存性が確認できる。振動数が大きくなるにつれ疲労曲線が上方にシフトしており、振動数が大きいほど動的強度は大きい。

②図-10から、動的強度の拘束圧依存性が一部確認できる。拘束圧 $\sigma_3=0.1, 0.4\text{MPa}$ を比較すると、拘束圧が大きいほど動的強度も大きい。しかし、 $\sigma_3=0.4, 0.8\text{MPa}$ を比較すると、動的強度に明確な差がない。今回用いた供試体は所定の間隙比・強度を再現するために加圧整形しており、 $\sigma_3=0.8\text{MPa}$ の拘束圧がこの供試体の先行圧密荷重レベルに達しているため正規圧密状態となっており、ひずみの進行が速いことが原因と考えられる。しかし、実際の断層内物質は大きな地殻変成による応力履歴を経て現在の性質を有しており、基本的には有効土被り圧以上の応力履歴がある(過圧密状態である)ため、このような拘束圧レベルでの大きな強度低下はないものと考えられる。しかし、実際の試験にあたっては、圧密試験を実施し先行圧密応力と拘束圧の関係を把握することも重要かと思われる。なお、類似の現象は西らの泥岩による動的試験と圧密試験結果でも報告されている<sup>12)3)</sup>。

③図-11は間隙比 $e=0.57, 0.67$ (一軸圧縮強さ約 $0.9\text{MPa}$ 、約 $0.6\text{MPa}$ )の荷重比を示しているが、静的強度に対する動的強度の比率は間隙比に依存しないようである。

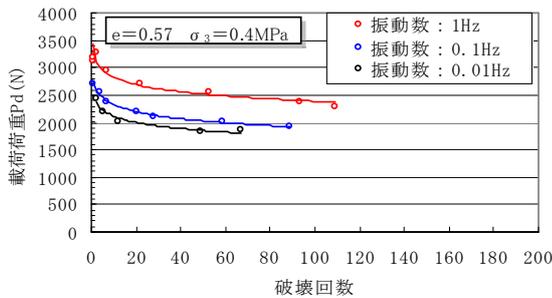


図-9 振動数の違いによる比較

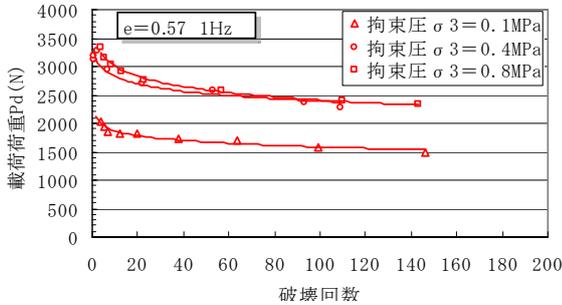


図-10 拘束圧の違いによる比較

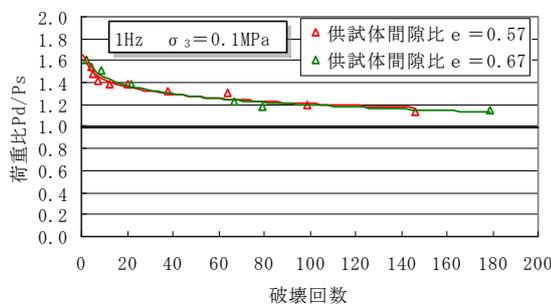


図-11 間隙比の違いによる比較

## (2) 不規則波繰返し三軸試験結果

図-12に不規則波繰返し三軸試験における載荷荷重、軸ひずみ、および間隙水圧の経時変化図を示す。同図によれば、いずれの載荷パターンにおいても静的最大軸差

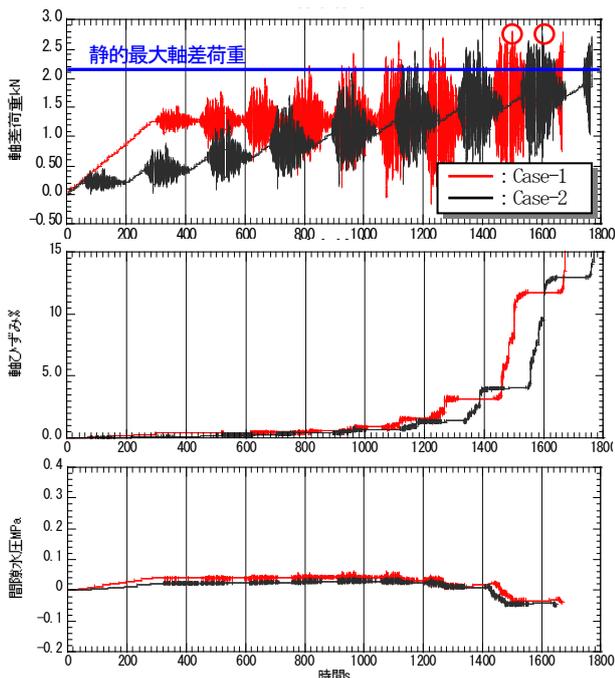


図-12 不規則波繰返し三軸試験結果

荷重を超える荷重が載荷した時に降に軸ひずみが急増している。これより、主に静的最大軸差荷重以下の荷重の影響は小さく、それ以上の荷重が供試体の破壊に寄与し、これらの荷重が繰返し供試体に載荷されることにより、損傷が蓄積し破壊に繋がるものと考えられる。

また、Case-1,2を比較すると、初期軸差荷重の載荷方法の違いによる軸ひずみ、間隙水圧の発生状況には明確な違いはなく、静的最大軸差荷重を超える荷重の載荷が時間的に早く訪れるCase-1の方が早めに増加しているものの、動的強度に明確な違いはない(図中赤丸)。

## 7. 載荷パターンの異なる試験で得られた動的強度の比較

不規則波繰返し三軸試験では、静的最大軸差荷重を超える荷重が載荷した時にひずみが蓄積することに着目し、これらの荷重による損傷を累積損傷の概念<sup>11)</sup>を用いて評価を行った。累積損傷度とは、図-13に示すとおり疲労曲線中の任意の振幅  $\tau_i$  の繰返し荷重が  $N_i$  回作用しているとすれば、それが破壊に寄与する程度は  $N_i/N_f$  と表され、繰返し荷重全体の累積損傷度  $D$  は、次式で与えられる。

(破壊条件  $D \geq 1.0$ )

$$D = \sum \frac{N_i}{N_f}$$

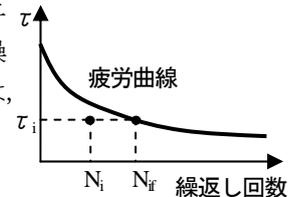


図-13 累積損傷度の考え方

累積損傷度を算出した結果、Case-1,2でそれぞれ、 $D=1.11, 1.03$ であった。ここで、 $\tau_i$ は不規則波荷重のうち、静的最大軸差荷重を超えた各波のピーク荷重値とし、 $N_f$ は各波のピーク荷重値  $\tau_i$  から、図-9の振動数1.0Hzの疲労曲線式(回帰式)で得られる破壊回数とし、 $\sum N_i/N_f$ は各ピーク荷重に対する  $N_i/N_f (=1/N_f)$  の総和として算出した。この結果、両ケースとも累積損傷度  $D$  は1.0をわずかに超えており、静的最大軸差荷重を超えるピーク荷重を用いた累積損傷の適用性が高いことが確認できた。

次に、間隙比  $e=0.57$ 、振動数1.0Hz、拘束圧  $\sigma_3=0.4\text{MPa}$  の条件による単段階繰返し三軸試験で得られた疲労曲線に、上記の累積損傷の概念を用いて整理した不規則波繰返し三軸試験結果をプロットしたのが、図-14である。この図から明らかなように、不規則波繰返し三軸試験結果は、単段階繰返し三軸試験で得られる疲労曲線とほぼ一致し、地震波に対して発揮される動的強度は規則波試験の結果で評価が可能であることを示している。

また、本研究では、西ら<sup>4)</sup>・吉中ら<sup>6),7),8)</sup>が実施した規則波による多段階繰返し三軸試験も実施しているが、不規則波繰返し三軸試験結果と同様に、疲労曲線とほぼ一致

する結果が得られている。

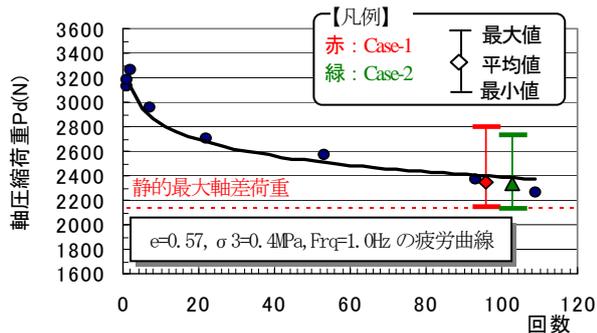


図-14 荷重パターンの異なる試験で得られた動的強度の比較

## 8. 結論

本論文では、単段階繰返し三軸試験結果から、断層内物質の動的強度は振動数と拘束圧に依存し、間隙比には依存しない(荷重比Pd/Ps)こと、不規則波繰返し三軸試験結果から、初期軸差荷重の荷重の違いによる軸ひずみ、間隙水圧の発生状況に明瞭な差はなく、静的最大軸差荷重以上の荷重荷重により軸ひずみは蓄積され破壊に至ることを示した。また、累積損傷の概念を用い両者の試験結果を比較した結果、不規則波繰返し三軸試験結果は単段階繰返し三軸試験結果と概ね一致し、動的強度は規則波を用いた試験のみで評価が可能であることを示した。動的強度を把握する目的は、地震時の地盤安定性を求めることであるため不規則波を用いた試験は合理的と思われるが、繰返し荷重の不規則さゆえ、試験結果から得る情報は少ない。また、波形の違いによる強度の違いという議論もあるが、これらのことを鑑みると、今回得られた結果は非常に有意義なものであると考えている。

謝辞：本研究を進めるにあたり、(財)電力中央研

究所 伊藤洋工博には格別のご指導を賜りました。また、不規則波の試験では応用地質(株)船戸明雄氏にご援助頂きましたことを付記し、ここに感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 西好一, 江刺靖行, 岡本敏郎: 泥岩の力学的特性に関する研究(その3) 各種荷重条件下における強度-変形特性とその統一的理解, 電力中央研究所研究報告 382013, pp.1-30, 1982.
- 2) 西好一, 江刺靖行: 泥岩の力学的特性に関する研究(その4) 振動荷重下における強度-変形特性, 電力中央研究所研究報告 382014, pp.134, 1982.
- 3) 西好一, 岡本敏郎, 江刺靖行: 各種荷重条件下における泥岩の強度-変形特性とその統一的理解, 土木学会論文集, No.338, pp.149-158, 1983.
- 4) 西好一, 江刺靖行, 国生剛治: 振動荷重時における軟岩の動的強度-変形特性, 電力中央研究所研究報告 383050, pp.1-60, 1985.
- 5) 藤原義一, 日比野敏, 駒田広也, 金川忠, 中川加明一郎, 石田毅, 新孝一: 動的繰返しせん断試験による岩盤の動的力学特性, 電力中央研究所研究報告 384042, pp.1-23, 1985.
- 6) 吉中龍之進, 萩野亥一郎, 高田志郎, 金澤克義: 動的繰返し荷重下における堆積軟岩の強度特性, 第7回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, pp.61-66, 1987.
- 7) 吉中龍之進, 萩野亥一郎, 鈴木雅章: 動的繰返し三軸試験による堆積軟岩の強度特性, 土木学会第43回年次学術講演会予稿集, No. III-317, pp.676-677, 1988.
- 8) 吉中龍之進, 萩野亥一郎, 星文高: 三軸圧縮試験による軟岩の動的強度特性, 第24回土質工学研究発表会講演概要集, pp.1081-1082, 1989.
- 9) 西好一, 江刺靖行: 断層破砕帯材料の力学的特性, 電力中央研究所研究報告 384033, pp.1-57, 1985.
- 10) 吉中龍之進, 瀬戸亥一郎, 上田幸男: シルト質軟岩の動的強度-変形特性, 土木学会第45回年次学術講演会予稿集, No. III-226, pp.488-489, 1990.
- 11) 例えば吉見吉昭: 砂地盤の液化化, 技報堂, pp.54-59, 1980.
- 12) 石原研而: 土質動力学の基礎, 鹿島出版, pp.209-230, 1976.

## DYNAMIC SHEAR STRENGTH UNDER SOME PATTERNS OF CYCLIC LOADING BY USING OF ARTIFICIAL TEST PIECES IMITATED FAULT FRACTURED MATERIALS

Nobuyuki OKUMA, Hiroki HATAMOTO, Yoshitake ETOU, Manabu JYOUSHITA, Takashi OKAWA and Tetsuji OKADA,

To propose the test method of dynamic strength of rocks, we conducted some patterns of cyclic loading test by using of the artificial test pieces which are imitated fault fractured materials (low-strength, large-strain). To define the "failure" by a certain value of axial strain, and to apply the concept of accumulation damage, these tri-axial tests results under the regular and irregular cyclic loading were evaluated. As a result, we clarify that dynamic strength under irregular cyclic loading is as same as dynamic strength under regular cyclic loading. It is confirmed that dynamic strength could be evaluated only by regular cyclic loading test.