

## 風化花崗岩を用いた寸法の異なる三軸圧縮試験

(一財) 電力中央研究所 正会員 ○岡田 哲実, 日高 功裕, 関口 陽, 石丸 真  
 (株) セレス 中村 良太  
 関西電力(株) 正会員 横田 克哉, 松居 伸明

### 1. はじめに

設計用地震動の増大に伴い、原子力発電所の基礎岩盤や周辺斜面の耐震性評価において、岩盤の繰返し変形特性や破壊履歴を考慮できる時刻歴非線形解析手法の必要性が高まっている。解析手法や非線形モデルの検証では、これまで比較的均質な軟岩を対象とした事例が多く<sup>1)3)</sup>、不連続面を有する岩盤を対象とした事例はほとんどなかった<sup>4)</sup>。そこで、本研究では、不連続面を有する風化花崗岩の試料を用いて、大型の供試体の繰返し一面せん断試験を実施<sup>5)</sup>し、解析に用いる非線形モデルを検証<sup>6)</sup>する計画である。非線形解析では、不連続面を有する風化花崗岩を等価な連続体と仮定して解析パラメータを決めるため、各種の要素試験を実施した(表-1)。本報告では、このうち3種類の寸法の三軸圧縮試験の結果を報告する。

### 2. 三軸試験方法

対象岩盤は CL 級の風化花崗岩であり、割れ目間隔は 30～100mm 程度である。試料を 250mm 以上の立方体でブロックサンプリングし、室内にて二重管コアバレルで供試体を採取した。供試体サイズは、直径 $\phi 92\text{mm}$ 、 $\phi 50\text{mm}$ 、 $\phi 25\text{mm}$  の3種類、高さ H は全て直径の2倍とした。供試体には不連続面の角度や枚数が様々であるが、不連続面が分離しない限り、敢えて選別せず試験を実施した。全ての供試体を目視観察の後、X線CTで撮影し、超音波速度を計測した。X線CTでは目視では観察できなかった潜在的な不連続面も観察できた(図-1)。また、超音波速度の結果より、 $\phi 92\text{mm}$ の一部にP波速度 $V_p$ が小さな供試体があり、 $\phi 25\text{mm}$ は $\phi 50\text{mm}$ よりもややS波速度 $V_s$ が小さい傾向を示した(図-2)。割れ目の影響やサンプリングの乱れ等の影響と考えられるが、現時点では定かではない。

試験は、地盤工学会のCU三軸圧縮試験基準に則して実施した。拘束圧は0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6MPaとした。载荷の軸ひずみ速度は0.5%/minとした。外部変位に加え、供試体の側面でひずみゲージ(ゲージ長:30mm)および非接触式変位計(計測間隔:Hの70%)により局所ひずみも計測した。大型の供試体の繰返し一面せん断試験<sup>5)</sup>が自然含水比で試験を実施するため、三軸試験の供試体についても自然含水比(供試体での実測:4～8%)で試験を実施した。

表-1 本研究で実施した要素試験

試験項目	試験目的
三軸圧縮試験	せん断強度特性
	寸法効果の影響評価
繰返し三軸試験	繰返し変形特性
一軸引張り試験	引張り強度特性
一面せん断試験	岩盤不連続面の力学特性
	岩とせん断箱境界の力学特性

No.	1	2	3	4	5	
拘束圧MPa	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	
供試体直径 $\phi$ (mm)	92					
	50					
	25					

図-1 X線CT撮影結果の一例

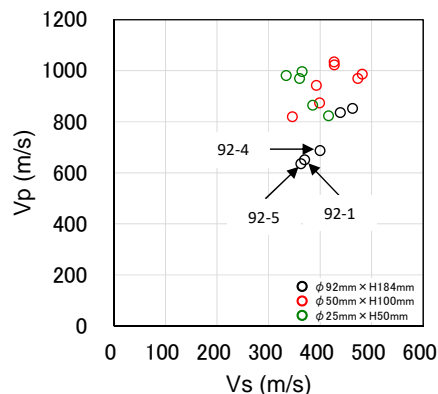


図-2 供試体の超音波測定結果

キーワード：寸法効果, 三軸試験, 力学特性

連絡先：〒270-1173 千葉県我孫子市我孫子 1646 (一財) 電力中央研究所 地球工学研究所 地震工学領域

### 3. 三軸試験結果

各サイズの応力-ひずみ関係を図-3に示す。外部変位計の計測結果はベディングエラーの影響により、ひずみを過大に計測する傾向があるが、不連続面が多い供試体ではその差は小さい。また、ひずみゲージと非接触式変位計の結果を比較すると、ひずみゲージのひずみが同等かやや小さい傾向がある。計測間隔が大きいほど割れ目の含む可能性が高いためと考えられる。各供試体のひずみゲージと非接触式変位計による $E_{50}$ を拘束圧の関係を図-4に示す。ひずみゲージの結果はばらつきが大きい、非接触式変位計の結果では拘束圧の増加に応じて $E_{50}$ が増加する傾向が見られる。ただし、明瞭な寸法効果は見られない。せん断強さ、残留せん断強さを図-5、図-6に示す。これより、ピーク強度については、供試体サイズが小さいほど強度が大きい傾向があるが、残留強度については明瞭な寸法効果は見られなかった。

以上の結果より、解析に用いるせん断強さについては、ピーク強度のみメッシュサイズの大きさに近い $\phi 25\text{mm}$ の結果を用いることとした。変形特性の寸法効果は見られないことから、繰返し変形特性については試験の簡便さを優先し、 $\phi 50\text{mm}$ の繰返し三軸試験の非接触式変位計の結果を用いる方針とした。

### 4. おわりに

敢えて割れ目を含んだ供試体を用いて三軸試験を実施したが、強度のばらつきは小さく、寸法効果も顕著ではなかった。今後、表-1に示す三軸圧縮試験以外の試験結果についても報告したい。

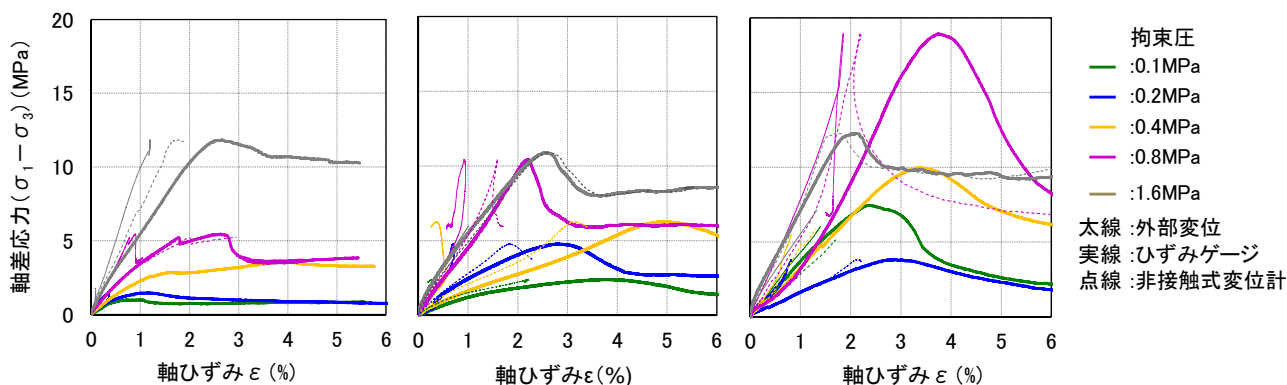


図-3 応力-ひずみ関係 (左:  $\phi 92\text{mm}$ , 中:  $\phi 50\text{mm}$ , 右:  $\phi 25\text{mm}$ )

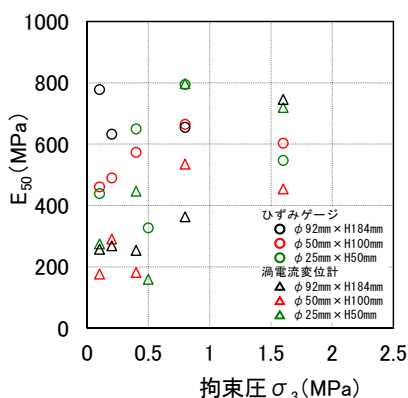


図-4  $E_{50}$ と拘束圧の関係

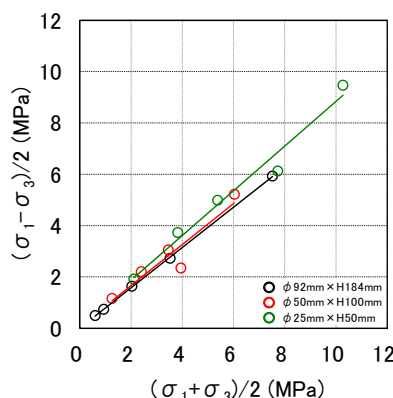


図-5 最大せん断強さ

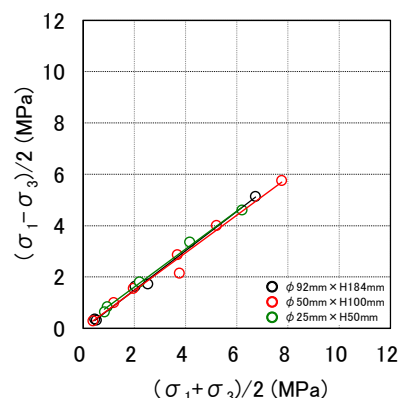


図-6 残留せん断強さ

### 謝辞

本論文は電力9社、日本原子力発電(株)、電源開発(株)、日本原燃(株)による原子力リスク研究センター共同研究(2018-2020年度)によって得られた成果である。

### 参考文献

- 1) 石丸ほか: 軟岩のせん断破壊後の強度変形特性のモデル化と斜面の地震時すべり安定性評価への適用, 土木学会論文集C(地圏工学) Vol. 73, No. 1, 23-38, 2017.
- 2) 澤田ほか: サンプルングした軟岩ブロックの繰返し一面せん断試験, 土木学会年次学術講演会, 2020.
- 3) 日高ほか: 天然の軟岩を対象とした繰返し一面せん断試験の数値解析, 土木学会年次学術講演会, 2020.
- 4) 石丸真, 河井正: 数値解析による不連続性岩盤斜面の地震時崩壊範囲の評価, 第14回岩の力学国内シンポジウム, 2017.
- 5) 澤田ほか: ブロックサンプルングした風化花崗岩の繰返し一面せん断試験, 土木学会年次学術講演会, 2021.
- 6) 鈴木ほか: 風化花崗岩の繰返し一面せん断試験の数値解析, 土木学会年次学術講演会, 2021.