

新潟県中越地震で斜面崩壊を生じた砂岩の地震時力学特性

和歌山工業高等専門学校 正会員○原 忠
 中央大学理工学部 正会員 國生剛治
 同 学生会員 古地祐規, 星 千恵

1. はじめに

2004年新潟県中越地震では、震源近傍の長岡市、小千谷市などで大規模な地盤災害が生じた。活褶曲地帯の旧山古志村一帯では多くの斜面崩壊が発生し、芋川周辺の東竹沢地区では崩壊土砂により河道閉塞を引き起こした。

本報では、地震により大規模な斜面崩壊が生じた旧山古志村東竹沢地点より不攪乱採取した砂岩（和南津層）を対象に、現地の飽和度に即した不飽和条件下での繰返し非排水せん断強度を求める。これら一連の試験結果を密な河床砂のそれと比較し、砂岩の地震時力学特性を検討する。

2. 試料の物理特性

図-1 に不攪乱試料の採取地点を示す。試料は東竹沢地すべり滑落崖、および旧地すべり滑落崖にそれぞれ露頭した2種類の砂岩(以下、砂岩 A、砂岩 B と称する)である。供試体は、砂岩 A が地震発生約1ヶ月後²⁾、砂岩 B は地震発生後およそ2年後にそれぞれ直径50mmのシンウォールチューブにてサンプリングした。

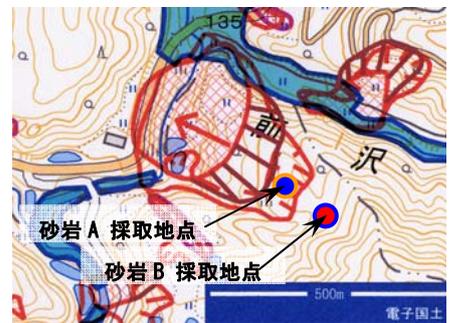


図-1 試料採取地点 (文献¹⁾に加筆)

図-2 に不攪乱試料の粒径加積曲線を示す。各砂岩とも供試体毎の粒度組成のばらつきは小さい。同図中には芋川流域の他の斜面崩壊地点より採取した砂岩、および豊浦砂の同様な関係を併せて示す。これより、砂岩 A がほぼ豊浦砂に類似の粒径加積曲線を示すのに対し、砂岩 B は同一地すべり面上で採取した試料ではあるが、細粒分を多く含み、他の斜面崩壊地点の粒度組成に類似している。

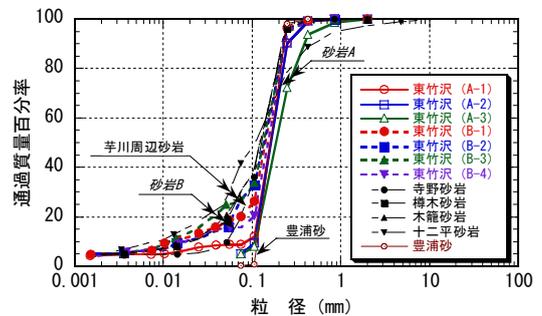


図-2 不攪乱試料の粒径加積曲線

表-1 に不攪乱試料の物理特性を示すが、供試体毎の物性値のばらつきは小さい。各試料の飽和度は砂岩 A が $S_r=40\%$ 程度であるのに対し、砂岩 B は採取時の降雪の影響により $S_r=80\%$ 程度の大きな値を示している。砂岩 A の試験直前の含水比は飽和試験に用いた不攪乱試料にほぼ等しい²⁾ので、サンプリング後の供試体の劣化は小さいと判断される。変水位透水試験より求めた砂岩 B の透水係数は $k_{15}=1.4 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$ であり、中位な土質材料の透水性を示している。

表-1 不攪乱試料の物理特性

試料名	試料番号	ρ_s (g/cm^3)	w_n (%)	ρ_t (g/cm^3)	ρ_d (g/cm^3)	e	S_r (%)	I_P
砂岩A	A-1	2.656	15.5	1.564	1.354	0.961	42.8	NP
	A-2	2.649	16.0	1.502	1.295	1.045	40.5	NP
	A-3	2.635	14.5	1.531	1.337	0.970	39.4	NP
砂岩B	B-1	2.654	27.9	1.765	1.380	0.924	80.1	NP
	B-2	2.594	29.4	1.728	1.336	0.942	80.9	NP
	B-3	2.605	27.4	1.675	1.314	0.982	72.8	NP
	B-4	2.567	28.2	1.770	1.381	0.859	84.2	NP

3. 試験方法

非排水せん断試験は直径50mm、高さ100mmの平均主応力一定小型三軸試験機⁴⁾を用いた。不飽和供試体は自然含水比状態のまま三軸試験機にセットし、各試料とも有効拘束圧 $\sigma'_c=49\text{kPa}$ で等方圧密した。

三軸試験は、まず $f=0.05\text{Hz}$ の正弦波軸応力にて平均主応力一定繰返し条件にて行った。続いて一部供試体では、上記試験にて両振幅軸ひずみが5%に達したことを確認した後に直ちに载荷を停止しそのまま非排水状態を保ち、 $0.09\%/min$ のひずみ制御による非排水単調載荷 (CU 試験) を行い、繰返しせん断後の力学特性を調べた。

キーワード：斜面安定, 三軸試験, 繰返しせん断

連絡先：和歌山工業高等専門学校環境都市工学科 〒644-0023 御坊市名田町野島 77 TEL: 0738-29-8461

4. 試験結果

図-3 に繰返し非排水三軸試験結果を，両振幅軸ひずみ DA が 5%に至るまでの繰返し応力比と繰返し載荷回数との関係で示す．供試体毎に間隙比がやや異なるためプロットにばらつきが見られるが，強度曲線は試料によらずほぼ類似の変化傾向を示し，繰返し載荷回数 $N_c=20$ の繰返し非排水せん断強度 R_{L20} は，図中の B 値が 0.96 以上の飽和試料^{2),5)} に比べ 2 倍以上も大きい．また， N_c が 10 以下の範囲では，密な砂質土に見られるような繰返し載荷回数の低下に伴う強度曲線の急激な立ち上がりは見られない．

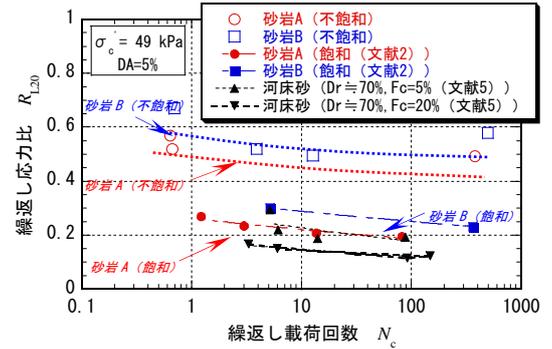


図-3 繰返し非排水三軸試験結果

図-4 に不飽和砂岩の飽和砂岩に対する繰返し非排水せん断強度増加率を S_r との関係でまとめる．ここでの縦軸は，図-3 より読みとった各試料の $N_c=20$ における繰返し非排水せん断強度 R_{L20} を飽和砂のそれと除して示している．これより，不攪乱砂岩の繰返し非排水せん断強度増加率は S_r の低下と共に大幅に増加している．今後ともデータの集積は必要ではあるが，本実験結果から，砂岩の繰返し非排水せん断強度は既往の文献で示された細粒分を含む河床砂⁴⁾や豊浦砂⁶⁾と同様に，飽和度の低下とともに増加傾向を示すことが分かった．

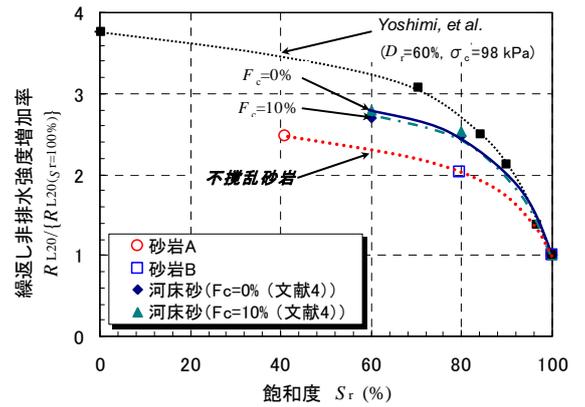


図-4 繰返し非排水強度増加率と飽和度の関係

図-5 に繰返し非排水せん断試験後に行った単調載荷試験より得られた偏差応力～軸ひずみ曲線を示す．ここでの軸ひずみは繰返し非排水せん断後の供試体高さを基準に算出している．各供試体とも $DA=5\%$ のひずみ履歴を受けているため土の軟化が進んでいるが，図中の飽和砂岩 $A^2)$ や河床砂⁵⁾ とは変化傾向が大きく異なり，いずれも $\epsilon_a=1\%$ 以下の小さいひずみ領域から偏差応力が増加し，最大強度に達した後はほぼ一定値を示している．不飽和砂岩のピーク強度は供試体毎にややばらつきが見られるが， $q_{max}=0.13\sim 0.18$ MPa 程度であり，飽和砂岩や $F_c=5\%$ の河床砂より小さい．

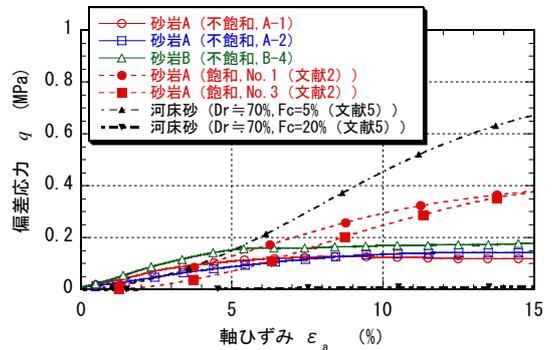


図-5 繰返しせん断後の単調載荷試験結果

5. まとめ

東竹沢滑落崖より不攪乱採取した不飽和砂岩の地震時力学特性に関して，以下の主要な知見が得られた．

- (1) 不飽和砂岩の繰返し非排水せん断強度は飽和砂岩の 2 倍以上の大きな値を有する．
- (2) 砂岩の繰返し非排水せん断強度は飽和度の低下に応じて増加傾向を示す．
- (3) 不飽和砂岩の繰返し載荷後の非排水せん断強度は軸ひずみの小さい範囲より回復するが，最大強度は飽和砂岩に比べ小さい．

謝辞：本研究は，文部科学省科学技術振興調整費による委託研究開発（活褶曲地帯における地震被害データアーカイブスの構築と社会基盤施設の防災対策への活用法の提案，研究代表者：小長井一男）の一環として実施いたしました．ここに謝意を表します．

【参考文献】1) 国土交通省：新潟県中越地震関連情報 HP, <http://www.mlit.go.jp/chuetsujishin/> 2) 原 忠，國生剛治，古地祐規，森戸義裕，田中正之：山古志村東竹沢で斜面崩壊を生じた砂岩の地震時力学特性，第 41 回地盤工学研究発表会発表講演集，pp.2025-2026，2006. 3) (社)地盤工学会編：土質試験の方法と解説，pp.136-138，2001. 4) 原 忠，國生剛治，古地祐規：非塑性細粒分を含む砂および砂礫の液状化特性，第 12 回日本地震工学シンポジウム論文集，pp.506-509，2006. 5) 原 忠，國生剛治：砂および砂礫の非排水強度特性に及ぼす非塑性細粒分の影響，土木学会地震工学論文集，第 28 巻，Paper No.93，2005. 6) Yoshimi, Y., Tanaka, K. and Tokimatsu, K.: Liquefaction Resistance of Partially Saturated Sand, Soils and Foundations, Vol.29, No.3, pp.157-162, 1988.