

宮城県築館町・河南町で斜面崩壊を生じた土の地震時力学特性

斜面安定，三軸試験，繰返しせん断

中央大学理工学部 正会員 國生剛治
学生会員 堤 千花

原 志
星野研一郎

1. はじめに

2003年5月26日に発生した三陸南地震では築館町館下地区において、7月26日に発生した宮城県北部地震では河南町北村地区において斜面崩壊が発生した。地震後行った現地調査の結果、これらの地点は比較的緩斜面の造成地であり崩壊の様子も非常に似ていたが、崩壊土の物理特性に違いのあることが分かった。そこで本研究では崩壊面から採取した不攪乱試料を用いて三軸試験機により非排水繰返し載荷試験と非排水単調載荷試験を行い、これら2地点の崩壊土の地震時および地震後の力学特性について比較検討した。

2. 試験試料の基本物性

築館町，河南町の不攪乱試料は地震発生の日後，翌日にそれぞれ崩落崖左岸直下から1m程度掘り込んだ地点においてブロックで採取した。また両地点の崩壊斜面下流部に流動砂が観察されたので，それらの地点から攪乱試料を採取した。図-1に両地点の不攪乱試料，流動砂の粒度分布，表-1に基本物性を示す。図-1，表-1から両地点とも不攪乱試料と流動砂の基本物性はほぼ等しく，不攪乱試料は斜面崩壊の際に流動を引き起こした土であると判断される。次に築館，河南の試料を比較すると，いずれも礫分を含む非塑性材料で含水比も同程度である。しかし築館の試料は火山灰質土であり，細粒分含有率は42%と高く不攪乱試料の間隙比も非常に大きい。それに対し河南の試料は砂質の堆積土であり，細砂分を多く含み不攪乱試料の間隙比は築館よりも小さい。また河南の試料に含まれる細粒分(粒径75μm以下)は $I_p = 18$ となり塑性を示す。

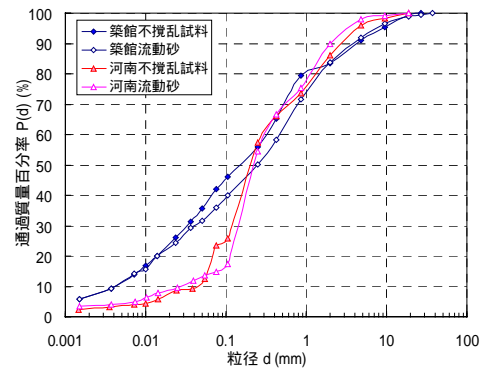


図-1 採取試料の粒度分布

表-1 採取試料の基本物性

試料採取地点	平均自然含水比 $w_n(\%)$	土粒子密度 $s(g/cm^3)$	間隙比 e	湿潤密度 $\rho_t(g/cm^3)$	塑性指数 I_p
河南崩落崖(不攪乱)	32.9	2.765	0.98 ~ 1.03	1.78 ~ 1.84	NP
河南流動砂	-	2.741	-	-	NP
築館崩落崖(不攪乱)	28.9	2.483	1.30 ~ 1.54	1.29 ~ 1.47	NP
築館流動砂	-	2.461	-	-	NP

* 75 μm以下の細粒分は $I_p=18$ で塑性を示す

3. 試験方法

不攪乱試料はトリミングして直径5cm，高さ10cmの円柱供試体に成形する。その後三軸試験機にセットした供試体に炭酸ガスと脱気水を通してB値0.95以上を確認し，有効拘束圧49kPa，背圧294kPaで等方圧密する。次に応力制御で正弦波(周波数0.1Hz)による非排水繰返し載荷試験を両振幅最大軸ひずみ DA_{max} が10%に達するまで行い，非排水状態を保持したままで単調載荷(CU)試験(ひずみ制御，載荷速度0.1%/min)を行う。築館の不攪乱試料は応力比 R_L が0(CU試験のみ)から0.25まで変化させた7供試体について，河南の不攪乱試料は R_L が0から0.4までの4供試体について試験を行っている。

4. 試験結果

図-2，図-3に築館，河南の不攪乱試料で行った非排水繰返し載荷試験の代表的な時刻歴を有効応力経路と応力-ひずみ関係で示す。いずれも DA_{max} が10%に達するまでの繰返し載荷回数が同程度の試験結果である。これによると築館の試料は繰返し載荷によりある程度試料が軟化した後急激にひずみが大きくなるのに対し，河南の試料はひずみの増加が全体を通して緩やかであることが分かる。

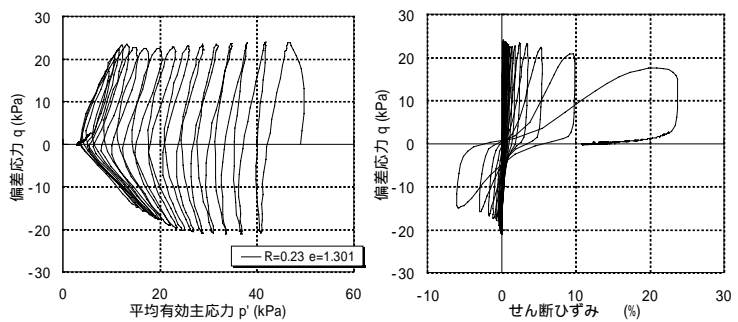


図-2 非排水繰返し載荷試験の時刻歴(築館)

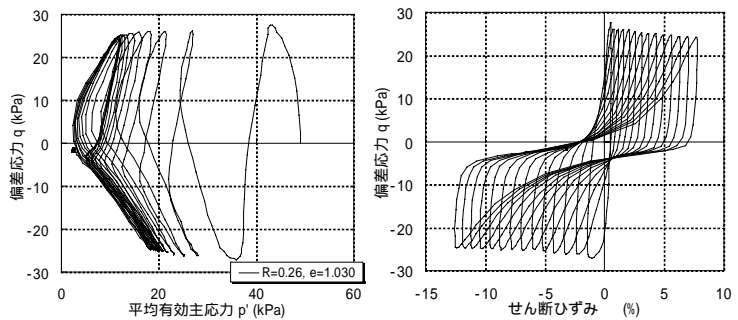


図-3 非排水繰返し載荷試験の時刻歴(河南)

両振幅軸ひずみが5%に達した時点での繰り返し荷回数 N_c と繰り返し応力比 R_L との関係により、図-4 に液状化強度曲線を示す。築館の試料は供試体ごとの間隙比のばらつきが大きいいため試験結果にもばらつきが見られるが、 $N_c=20$ での液状化強度は $R_L=0.19$ 程度であり、繰り返し回数の減少に伴う強度増加も小さい。一方河南の試料の液状化強度は $R_L=0.22$ で築館よりもやや大きく、繰り返し回数の減少に伴う強度増加が見られる。また築館、河南の試料の R_L は間隙比 $e=0.72$ (相対密度 70%) の豊浦砂と同程度である¹⁾。以上のように築館の試料は河南の試料に比べひずみの増加が急激で液状化強度も若干小さいが、これは築館の試料の密度が河南の試料に比べ低いためであると考えられる。また砂質土等に対する既往の研究²⁾にもあるように、非塑性細粒分が多く含まれていることも関与しているものと考えられる。

図-5 は築館、河南の試料の非排水単調荷試験の代表的な結果を偏差応力 q 、過剰間隙水圧 u と軸ひずみ の関係で示している。繰り返し荷を受けた供試体では、過剰間隙水圧は繰り返し荷試験の終了時を原点とした値を示しており、軸ひずみも繰り返し荷試験終了後の供試体高さを基準としている。

まず築館の試験結果に着目すると、繰り返し荷を受けていない試料はひずみの増加に伴い正の過剰間隙水圧を発生し、約 43kPa のピーク強度を示した後偏差応力を減少させており、緩い砂のせん断特性を示していることがわかる。繰り返し荷を受けた試料はひずみの初期の段階から負の過剰間隙水圧が発生して明瞭に強度を回復し、ひずみが 10%程度で繰り返し荷を受けていない試料のピーク強度の約 20%の強度に収束する。この残留強度は繰り返し荷の応力比によらずほぼ同程度である。

次に河南の試験結果に着目すると、繰り返し荷を受けていない試料はひずみの増加と共に過剰間隙水圧が負に転じ、明確なピーク強度を示さないまま偏差応力は増加し続けており、密な砂に見られるせん断特性を示している。繰り返し荷を受けた試料は供試体ごとに強度増加に違いが見られ、繰り返し応力比の小さい、すなわち繰り返し荷回数の多い供試体ほど強度回復の始まる軸ひずみが大きいようである。各供試体の偏差応力は明確なピークを示さないままひずみの増加と共に大きくなる。軸ひずみ 20%での各供試体の強度を比較すると、繰り返し荷によって非排水せん断強度は約 57~78%まで低下することが分かる。

以上の結果から築館、河南の試料を比較すると、非排水強度は河南の試料の方が高く、繰り返し荷による強度低下は築館の試料において特に顕著であることが分かる。これは築館の試料の間隙比が河南よりも大きい、すなわち密度が小さいことに加え、非塑性細粒分が多く含まれていることも原因であると考えられる。また築館の試料は繰り返し荷による試料の軟化が河南の試料に比べ急激であるため、土粒子の骨格構造がより著しく崩壊した可能性があり、このことも繰り返し荷後の強度低下の違いに影響を及ぼしているものと考えられる。

5. まとめ

築館町、河南町から採取した不攪乱試料について以下のことが分かった。

- ・ 両地点の不攪乱試料はいずれも斜面崩壊下流部に見られた流動砂とほぼ同様の物理特性を示しており、斜面崩壊時に流動を引き起こした崩壊土であると判断された。
- ・ 築館の不攪乱試料は細粒分を多く含み間隙比の高い火山灰質土である。また河南の不攪乱試料は細砂分を多く含み築館よりも密な砂質の堆積土である。ともに含水比が高く、非塑性材料である。
- ・ 繰り返し回数 20 回での液状化強度は築館の試料で 0.19、河南の試料では若干高く 0.22 となった。また河南の試料では繰り返し回数の減少に伴う強度増加が見られた。
- ・ 繰り返し荷により非排水強度は築館の試料で 20%、河南の試料で 57~78%まで低下した。

<参考文献> 1)地盤工学会：土質試験の方法と解説、第 6 章 土の液状化強度を求めるための繰り返し三軸試験、pp.635-657 2)古関潤一ら(1986)：細粒分を含む砂の三軸液状化試験、第 21 回土質工学研究発表会講演集、pp.595-596

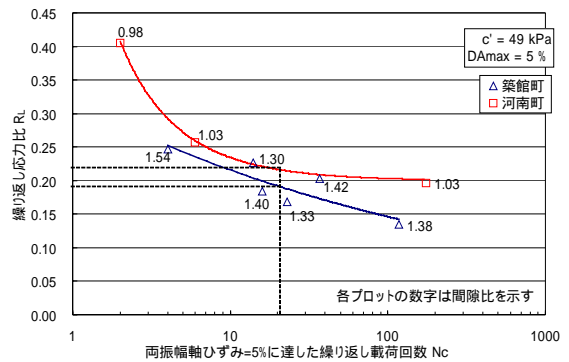


図-4 液状化強度曲線

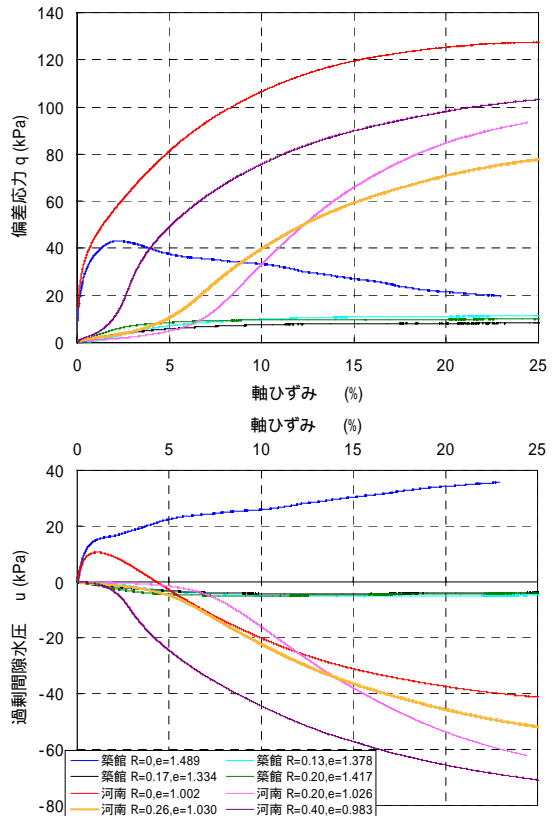


図-5 非排水単調荷試験結果