

地震動が土のせん断強度に及ぼす影響について

鳥居宣之, 沖村孝 (神戸大学都市安全研究センター)

大西哲史, 〇下田潤一 (神戸大学大学院), 濱澤忠史 (神戸大学工学部)

1. はじめ

兵庫県南部地震後, 六甲山系では降雨に伴って多くの斜面で表層崩壊が発生した。著者らは, これらの崩壊が多発した要因として, 地震動による土の骨格構造の破壊について着目してきた¹⁾。本報では, 繰返し三軸試験機を用いて繰返し荷重を与えた土と与えない土のせん断強度を比較することにより地震動が土のせん断強度に及ぼす影響を調べた。さらに浸水によるせん断強度低下に及ぼす繰返し荷重の影響についても調べた。なお, まさ土はサンプリングが難しく供試体間のばらつきも大きいことから, 人為的に粘着力を持たせた石膏混じり砂を供試体として用いた。

2. 供試体および試験装置

供試体は粘着力を持った均一な土を作るため, 豊浦砂に石膏を混ぜた石膏混じり供試体を用いた。豊浦砂と石膏を乾燥重量比 10 : 1 で混ぜ, $\phi 5 \times h 10 \text{cm}$ のモールドに 24 時間浸水した後, 2 日間モールド内で乾燥させた供試体を用いた。試験装置は写真-1 の繰返し三軸試験機を用いた。表層崩壊のすべり面に相当する 20kPa で圧密後, ひずみ 0.5% 周期 10 秒の繰返し荷重を 10, 50 波与える。その後, 地震後の降雨の影響を調べるため飽和させるものと飽和させないものとに分けて三軸圧縮試験を行い強度を求める。圧密過程では応力制御法とし, 繰返し試験時ならびに, 三軸圧縮試験時はひずみ制御法とする。

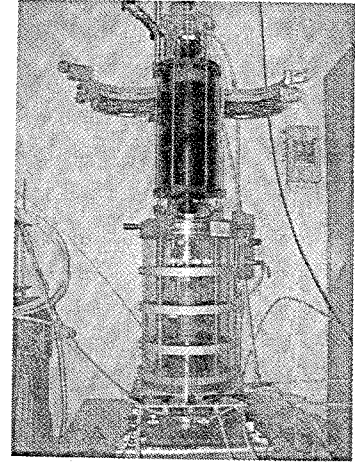


写真-1 繰返し三軸試験機

3. 試験結果および考察

3.1 不飽和条件

図-1 に繰返し荷重を与えない三軸試験の結果を示す。5 つの試料 (No. 1 ~ 5) に対し同様の試験を行った結果, ピーク強度は 78.8 (kPa) ~ 110 (kPa) となり, 平均ピーク強度は 96.4 (kPa) となった。ピーク強度にわずかな差は見られたが応力-ひずみ曲線は全てほぼ同じ曲線を描いていることがわかる。また, 軸ひずみが 2% 弱でピーク強度を示している。その後は軸ひずみが進むと共に強度が徐々に低下していった現象が見られる。

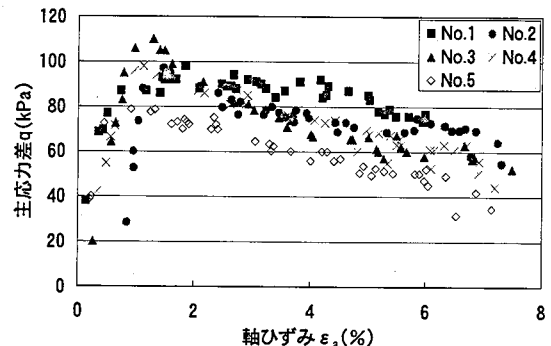


図-1 繰返し載荷前の強度特性

図-2 に繰返し荷重 (10 回) を受けた後の三軸試験の結果を示す。5 つの試料 (No. 6 ~ 10) に対し, 同様の試験を行った結果, ピーク強度は 71.5 (kPa) ~ 98.0 (kPa) となり, 平均ピーク強度は 86.9 (kPa) となった。供試体間のピーク強度にわずかな差は見られたが繰返しを与えず三軸試験を行った結果と比べ全体的にピーク強度が低下している様子がうかがえる。また, 繰返しを与えなかった場合は軸ひずみが 2% 弱でピーク強度を示していたのに対し, 繰返しを与えた場合は 1% 弱でピーク強度を示す結果となった。

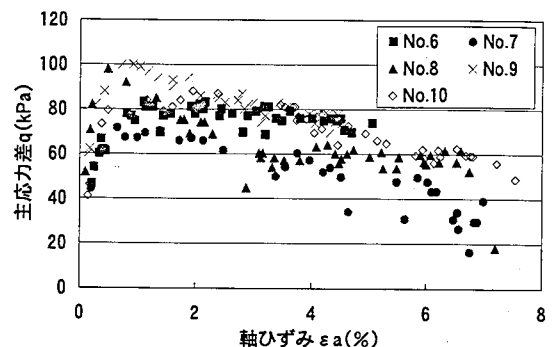


図-2 繰返し載荷後の強度 (繰返し 10 回)

図-3 に繰返し荷重 (50 回) を受けた後の三軸試験の結果 (No. 11 ~ 15) を示す。ピーク強度は 53.4 (kPa) ~ 87.0 (kPa) となり, 平均ピーク強度は 67.3 (kPa) となった。繰返し荷重を 10 回受けた時と同様に, 繰返しを与えなかった結果と比べ全体的にピーク強度が低下し, 軸圧縮初期段階にピーク強度に至った。また, 繰返しを与えることによるピーク強度の低下に関しては繰返し荷重を 10 回受けた時より顕著に現れた。ここで, 繰返しによる影響を見るために繰返しなし, 10 回, 50 回, に関してピーク強度についてのみ比べた。その結果を図-4 に示す。ピーク強度に関して繰返し回数が増えることによりピーク強度が低下している。ここで, 供試体間に多少のバラツキが見られるのでそれぞれ 5 つのピーク強度の平均をとって比較を行った。平均ピ

ーク強度は繰返しなしが 96.4 (kPa), 繰返し 10 回が 86.9 (kPa), 繰返し 50 回が 67.3 (kPa) となり繰返し回数が増えることによりピーク強度が低下していることがわかる。

つぎに, どの程度繰返しにより強度低下が起こったのかを見るために繰返しによる強度低下量を繰返し载荷前のピーク強度で除した値を強度低下率として算出すると, 繰返し 10 回で 9.8%, 50 回で 30.2% の低下率を示した。振幅の回数が強度低下に関与していることから繰返しによる影響評価として単に振幅の大きさではなく振幅エネルギーで評価していく必要があると考えられる。

3.2 飽和条件

図-5 に飽和状態 (繰返し荷重なし) における三軸試験の結果を示す (No. 16~18)。ピーク強度は 62.1 (kPa) ~ 80.0 (kPa) となり, 平均ピーク強度は 72.6 (kPa) となった。不飽和条件での結果と比べピーク強度が低く出ていることがわかる。一般に不飽和土では飽和度上昇に伴いサクシオンが解放されることによる強度低下が起こるとされているが本試験でも同様の結果が得られた。

図-6 に繰返し荷重を 50 回かけた後, 飽和状態にさせその後三軸試験を行った結果を示す (No. 19~20)。ピーク強度は 40.1 (kPa) ~ 59.7 (kPa) となり, 平均ピーク強度は 49.9 (kPa) となった。不飽和条件での結果と比べピーク強度が低く出ていることがわかる。このことから, 繰返しによって強度が低下した状態においてもさらに飽和度上昇に伴い強度が低下することがわかった。ここで, 繰返しを受けていない場合と受けた場合で飽和度上昇に伴う強度低下に違いが見られるのかを調べるためにそれぞれに対し不飽和条件から飽和状態へのピーク強度低下率を求め比較を行った。結果を図-7 に示す。飽和度上昇に伴う強度低下について繰返しを与えなかった場合の低下率は 24.6%, 一方, 繰返し 50 回を与えた場合の低下率は 25.8% とほぼ同等の低下率を示した。飽和度上昇による強度低下は, ひずみを受け強度が低下した供試体に対しても発生することがわかる。

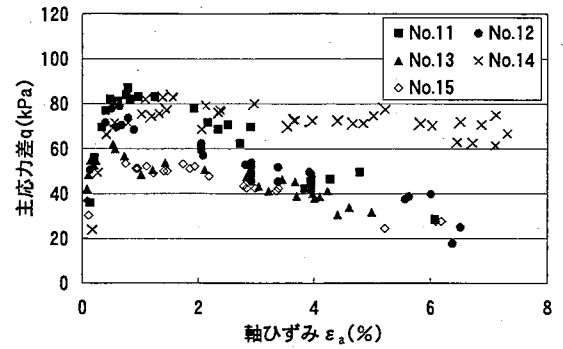


図-3 繰返し载荷後の強度 (繰返し 50 回)

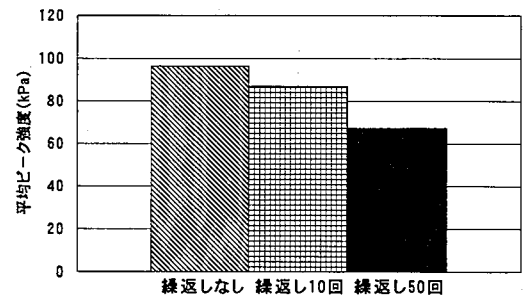


図-4 平均ピーク強度比較

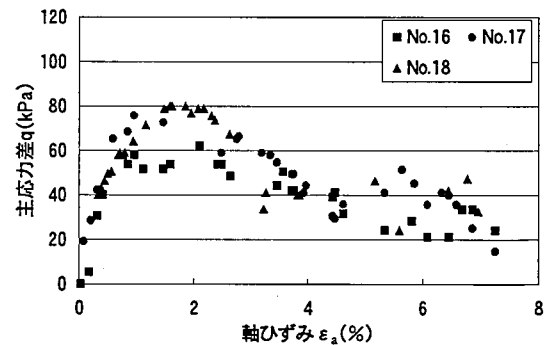


図-5 繰返し载荷前の強度 (飽和状態)

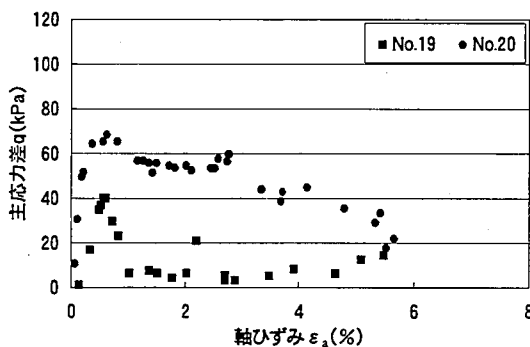


図-6 繰返し载荷後の強度 (飽和状態) (繰返し 50 回)

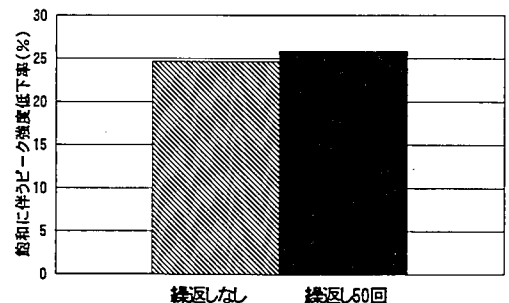


図-7 飽和度上昇に伴うピーク強度

4. まとめ

繰返し三軸試験を行った結果, 繰返しを与えることによりピーク強度に低下が見られた。また, 繰返しによる強度低下に関しては繰返し回数が増加することにより大きな低下率を示したことから単に振幅の大きさではなく振幅エネルギーで評価していく必要があると考えられる。飽和度上昇に伴い強度低下が見られ, 繰返しなし, 繰返し共に強度低下をおこした。

(参考文献) 例えば 1) 沖村孝ほか: 浸水による不攪乱ならびに攪乱まき土のせん断強度の低下について, 平成 15 年度砂防学会研究発表概要集, pp. 38-39, 2003.