

初期せん断応力を受ける谷埋め盛土の地震時挙動について

山口大学大学院 学生会員 ○野田 翔兵

山口大学大学院 正会員 兵動 正幸

中電技術コンサルタント(株) 正会員 古川 智

1. まえがき 近年の地震において、谷埋め盛土上の家屋の被害が大きな社会問題となっている。これらの地震被害を受け、国は平成 18 年に宅地耐震化推進事業を創設した。この事業の創設により、宅地造成盛土の地震時安定性の検討を行う必要性が生じてきている。谷埋め盛土で問題となるのは、集水地形であることにより盛土内へ地下水が流入することであり、地震前の降雨により盛土内の地下水位が上昇し、安全率が低下している可能性がある。そのような状態で地震が発生すると崩壊の危険性が高まり、さらに、地震終了後も周囲より間隙水圧の伝播が続き、盛土が崩壊に至ることも考えられる。本研究では、現地から採取した盛土材料を対象に、谷埋め盛土の初期および地震時における応力状態を再現するため、種々の初期せん断応力下における非排水繰返しせん断試験を行った。さらに、地震後の間隙水圧の伝播を考慮して、繰返しせん断試験終了後に初期せん断応力状態で供試体に間隙水圧を静的に注入し挙動を調べた。

2. 試験概要 本研究で用いた試料は、鳥取市内の谷埋め盛土から成る団地より採取した砂質土である。実験には 2mm ふりを通過した試料を用いた。また、同地点より不攪乱試料も採取した。表-1 に用いた試料の物性値を示し、図-1 には粒径加積曲線を示す。実験に用いた再構成試料は、不攪乱試料から求めた粒度と等価な粒度となるよう調整を行い作成した。この試料を用いて初期せん断応力を作用させた非排水繰返し三軸試験を行った。供試体は、高さ 10cm、直径 5cm であり、空中落下打撃法により所定の密度になるよう作製した。供試体作成時の密度は、不攪乱試料の乾燥密度より決定しており、 $\rho_d = 1.497 \text{ g/cm}^3 (D_r = 90\%)$ であった。三軸試験において、側方有効拘束圧 σ_{3c}' は 130kPa としており、これは不攪乱試料の採取深度での拘束圧を算出して決定したものである。このように作成した供試体に対し、非排水条件で周波数 0.1Hz の正弦波を軸荷重として加え繰返しせん断を行った。初期せん断応力作用下の繰返しせん断試験は、繰返し軸応力が片振りとなり、その場合供試体は液状化に至らず残留ひずみによって破壊が生じる。従って本研究では、初期せん断応力下ではピーク軸ひずみが 10%に至った時点をもって破壊と定義した。また、排水単調せん断試験は 0.1mm/min の載荷速度でせん断を行った。

表-1 試料の物理的特性値

$F_c(\%)$	$\rho_s(\text{g/cm}^3)$	e_{max}	e_{min}
12.1	2.581	1.076	0.699

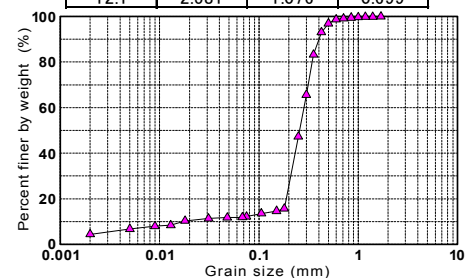


図-1 試料の粒径加積曲線

3. 初期せん断応力の応力載荷経路 図-2 は本実験で初期せん断応力を載荷した時の応力経路である。図-2 に示すように初期せん断応力載荷の経路は 1, 2, 3 と進む経路と 2 から 3'へと進む経路の 2 種を考えた。1, 2, 3 と進む経路は、排水単調せん断試験と同じ応力経路であり、盛土高さや斜面勾配の増加などによって初期せん断応力が増加する経路である。それに対し、2 から 3'へと進む経路は、盛土造成後に雨水の浸透などにより地下水位が上昇し、有効応力が低下することによって初期せん断応力比が増加する経路である。今回対象としている谷埋め盛土は、集水地形であるため地下水が盛土内へ流入し易く、地下水流入による応力経路は後者のようになると考えられる。本研究では、1 を 0.3, 2 を 0.5, 3 および 3'を 0.7 の初期せん断応力比として実験を行った。初期せん断応力比 0.7 は 2 種あるため、区別するために 3 の経路のものを 0.7a とし、3'の経路のものを 0.7b と表記する。1, 2, 3 の経路上の詳細な試験結果は別紙¹⁾に掲載。

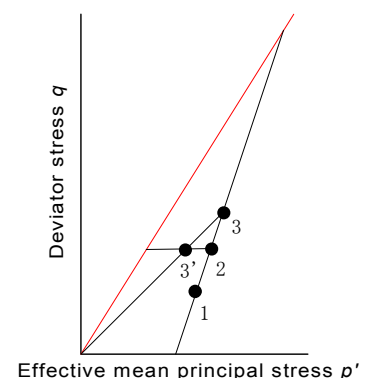


図-2 初期せん断応力経路

4. 初期せん断応力作用下の非排水繰返しせん断挙動 図-3 に初期せん断応力比 $\sigma_s/2\sigma_c' = 0.5$ および 0.7 における非排水繰返しせん断強度曲線を示す。 $\sigma_s/2\sigma_c' = 0.5$ は図-2 の応力点 2 から、 $\sigma_s/2\sigma_c' = 0.7$ は応力点 3 と 3'からそれぞれ繰返しせん断を行ったものである。初期せん断応力比 0.7b の繰返しせん断応力比については、図-2 で応

力点 2 から 3' まで間隙水圧を与え、繰返しせん断を行う直前の 3' の有効応力で除したものと、2 の有効応力で除したものと (0.7b-2) の 2 通りを示している。 $\sigma_s / 2\sigma_c' = 0.7b-1$ の繰返しせん断強度は、初期せん断応力比 $\sigma_s / 2\sigma_c' = 0.5$ や $\sigma_s / 2\sigma_c' = 0.7a$ と比べ大きな結果が得られた。 $\sigma_s / 2\sigma_c' = 0.7b-1$ の場合、過圧密の影響が出たためと考えられる。

5. 地震後の水圧伝播による影響

地震時に発生した間隙水圧が消散する際に、盛土内要素には他の要素から水圧が伝播し間隙水圧が上昇する可能性が考えられる。その概念を示すと図-4 のようになる。図-4(a)では、地震前に降雨による地下水が地山から盛土内に流入する様子を示す。特に谷埋め盛土は集水地形であるため、水の流れとともに水圧も伝播する可能性があると考えられる。また、地震後には図-4(b)のように、土被り圧の違いによって地震時に上昇した間隙水圧が伝播してくる可能性がある。本研究では、これらの現象を把握するため、繰返しせん断試験後に排水（吸水）状態とし、軸差応力一定、側圧一定の条件で間隙水圧の加圧を行った。実験の流れを応力経路で表すと図-5 のようになる。すなわち、最初に盛土造成に対応して初期せん断応力を載荷する。その後、降雨による地下水位上昇に対応する間隙水圧を与える。この状態から地震を想定して非排水繰返しせん断試験を行い、ピーク軸ひずみが 10%に至ったところで繰返し載荷を終了する。その後、間隙水圧の伝播に対応して間隙水圧の加圧を行い軸差応力、軸ひずみの変化を観察した。

図-6 に代表的な試験結果を示す。非排水繰返し終了後の応力経路に着目すると、間隙水圧の加圧過程において、応力経路が破壊線に到達するまでは軸差応力は一定を保ちながら有効応力だけが減少しているが、有効応力経路が破壊線を越えようとするとき破壊線に沿って急激な軸差応力の低下が見られ、最終的に液状化に至る。時刻歴をみると、軸差応力の急激な低下に合わせて軸ひずみも急激に増加している様子が認められる。このように、地震の繰返し応力だけでは大きな破壊に至らなかった場合でも、間隙水圧の伝播により軸差応力の急激な低下を伴い軸ひずみが急激に増加し液状化を起こす可能性があることを示唆している。これが盛土末端部において発生すればさらに大規模な盛土破壊につながる恐れがあると考えられる。

6. まとめ 本研究では、現地から採取した盛土材料を対象に、谷埋め盛土の初期および地震時における応力状態を再現するため、種々の初期せん断応力下における非排水繰返しせん断試験を行った。さらに、地震後の間隙水圧の伝播を考慮した実験も行い、以下の結果が得られた。(1)初期せん断応力載荷経路の違う2つの結果を比較すると、載荷経路の違いにより非排水繰返しせん断強度は大きく異なる結果となった。(2)非排水繰返しせん断後に間隙水圧の加圧を行うと、破壊線に沿って急激な軸差応力の低下が見られ、それに伴って軸ひずみも急激に増加し液状化に至る様子が認められた。

参考文献

1)野田翔兵, 兵動正幸, 山根陽一, 岸田健太郎, 古川智: 砂丘砂による大規模宅地造成盛土の動的強度の評価, 第 46 回地盤工学研究発表会投稿中

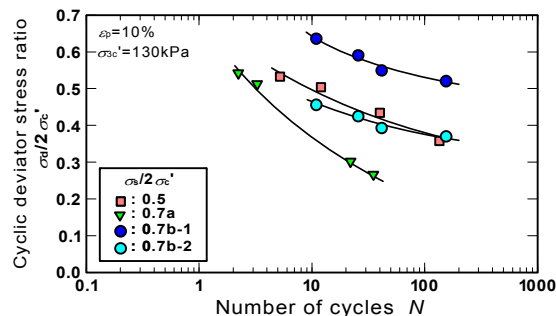


図-3 初期せん断応力下での非排水繰返しせん断強度

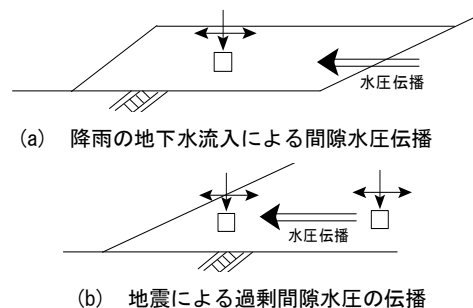


図-4 地震前後の間隙水圧伝播の概念

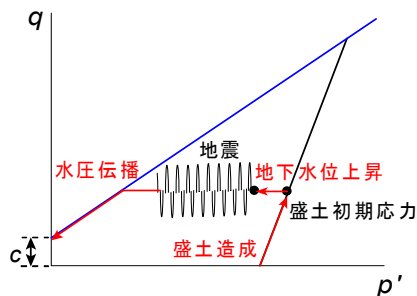


図-5 実験の有効応力経路

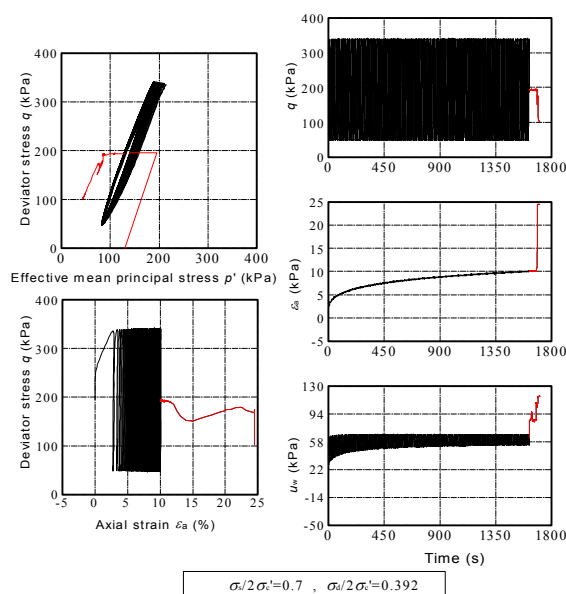


図-6 非排水繰返し試験および間隙水圧加圧実験結果