

東日本大震災における住宅基礎谷埋め盛土の崩壊

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 2011年東日本大震災によって、広範囲にわたり液状化や造成盛土の崩壊による戸建住宅の大きな被害が生じた。それらの地盤災害の中で、筆者らは宅地造成盛土地盤の崩壊を対象に調査を行った¹⁾。その結果、崩壊した盛土は1970年代に造成された大規模な宅地造成盛土がほとんどであり、谷埋めあるいは腹付け盛土の末端部や切盛の境界での崩壊が多く見られた。また、盛土材料として、現地発生土である火山灰土が多く用いられていた。本研究は、このような盛土崩壊のメカニズム解明のため、宮城県山元町の造成盛土で崩壊した盛土材料を採取し、初期せん断を考慮した非排水繰返しせん断試験および排水・非排水単調せん断試験を行った結果について考察したものである。

2. 対象盛土の概況 対象とした盛土地盤は、宮城県南端の山元町に位置する太陽ニュータウンである。現地の宅地造成は1970年代に開始され、1979年に完成している。図-1に切盛図を示すが切土高は最大約10m、盛土高は最大約15mである。盛土に用いられた土は、切土による発生土であり、凝灰質砂岩の風化した砂質土である。現地で発生した大規模な盛土崩壊は、図-1に示すブロック1からブロック5の5ヶ所である。崩壊箇所は谷埋めおよび腹付け盛土の端部に集中していた。

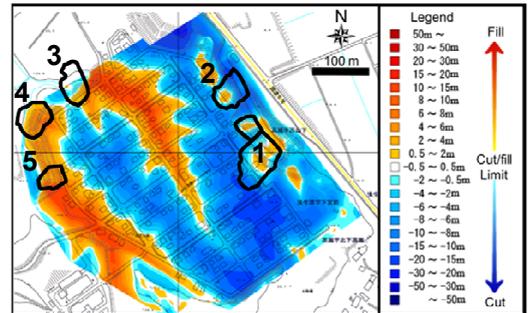


図-1 太陽ニュータウンの切盛図と崩壊箇所 (復建技術コンサルタント²⁾に加筆)

3. 試料の物理的特性と実験概要 粒度試験および締固め試験はそれぞれの崩壊ブロックの試料に対して行ったが、単調および繰返し三軸試験はブロック1より採取した試料を用いて行った。また、比較のために豊浦砂についても実験を行った。図-2には、各ブロックから採取した試料の粒度を示す。いずれの結果もほぼ類似した粒度であり、細粒分含有率は20%から30%程度を示している。図-3には、それぞれの締固め曲線を示すが、最大乾燥密度は1.67から1.82g/cm³程度、最適含水比は14から17%程度であることが分かる。図中、JGSによって定められた最小・最大密度試験より得られたブロック1試料の最小、最大乾燥密度も示しているが、締固め試験による最大乾燥密度と比較すると非常に低い乾燥密度となっていることが分かる。これは、締固め試験において試料が粒子破碎を伴い圧縮され高密度となったためと考えられる。また、図には三軸試験時に用いたブロック1のD_c=90%の密度も表示している。表-1には、ブロック1試料の物理的性質を豊浦標準砂のそれとの比較で示す。採取土は、豊浦砂に比べ土粒子密度が低く、最大・最小間隙比が大きい。

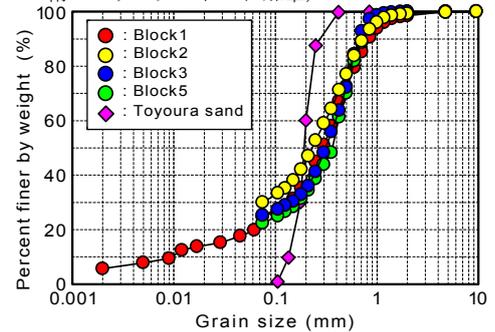


図-2 試料の粒度

本研究では、排水および非排水単調せん断試験、非排水繰返し三軸試験を行った。供試体は、湿潤突固め法により、最適含水比で、締固め度D_c=90%(ρ_d=1.640g/cm³)で直径5cm、高さ10cmの円筒形に作製した。なお、この密度は、締固め試験における最大乾燥密度の90%であるが、最小・最大密度試験から得られた相対密度で表すとD_r=188%となる。飽和供試体作製のため、供試体に二酸化炭素を注入後、脱気水を通水し、背圧200kPaを与え、B値が0.95以上となることを確認した。この飽和供試体に対し、単調せん断試験では拘束圧σ_{3c}'=50, 100, 150kPa、非排水繰返しせん断試験では拘束圧σ_{3c}'=100kPaで等方および異方圧密(初期せん断応力比σ_v'/2σ_c'=0.3, 0.375)の条件で試験を行った。単調せん断試験は、軸ひずみ速度0.1%/minのひずみ制御で、繰返しせん断試験は、周波数0.1Hzの正弦波軸荷重を載荷することにより行った。

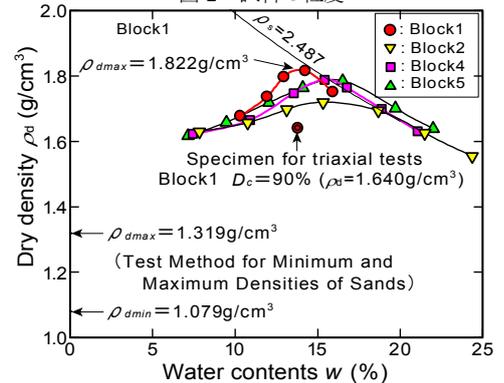


図-3 試料の締固め曲線

4. 排水・非排水単調せん断および非排水繰返しせん断特性 図-4にブロック1の排水単調せん断試験結果を示す。いずれの拘束圧下でも軸差応力-軸ひずみ関係にピークは現れず、終始硬化挙動を示し、体積変化も収縮性の強い挙動となって

表-1 試料の物理的特性

sample	$F_c(\%)$	$\rho_d(\text{g/cm}^3)$	e_{max}	e_{min}
Taiyo new town	20.2	2.478	1.296	0.879
Toyoura sand	0	2.643	0.973	0.635

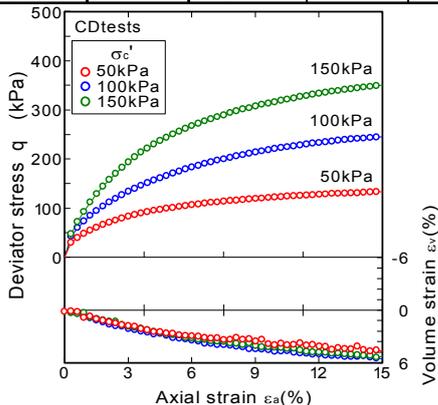


図-4 太陽ニュータウン（ブロック1）の単調せん断試験時の軸差応力-軸ひずみ関係

いる。図-5 に非排水単調せん断試験結果を $D_r=50\%$ の豊浦砂と対比して掲げている。豊浦砂は変相点から膨張挙動を示し軸差応力が高くなるのに対し、採取土では破壊線に到達後軸差応力がやや低下しながらひずみが進行し、破壊に至っている様子が認められる。これは、採取土の破碎性によるものと推察される。図-6 に採取土および豊浦砂の初期せん断応力比 $\sigma'_v/2\sigma'_c=0.3$ 時の代表的な非排水繰返しせん断試験結果を示す。有効応力経路を見ると、採取土は徐々に有効応力が低下し破壊線に近づくのに対し、豊浦砂は初期に大きな有効応力の低下がみられるものの、その後は有効応力の低下が小さくなり破壊線付近で定常な状態が続いている。また、採取土では破壊線に接近すると軸差応力が保てなくなり、破壊線に沿って振幅が減少する傾向が観察される。これは、非排水単調せん断試験の有効応力経路の傾向と一致する。応力ひずみ関係をみると、採取土では初期のひずみ増加は少ないが、有効応力の低下が大きくなったところから急激にひずみが発達し破壊に至る様子が認められる。一方豊浦砂では、初期のひずみが大きく発生するがその後の増加量は非常に小さい。また、これらの試験結果から、軸ひずみ両振幅または残留軸ひずみ 5%で破壊を定義し、繰返しせん断強度曲線を描き、繰返しせん断回数 20 回時の繰返しせん断強度を求め、初期せん断応力比との関係で表したものが図-7 である。この図より、採取土は締固め度 90%であるにも関わらず、初期せん断応力比の増加に伴い繰返しせん断強度が低下していることから、初期せん断応力の高い斜面では非常に低い繰返し強度であったことが推察される。

5. まとめ 本研究では、東日本大震災で崩壊した宮城県山元町太陽ニュータウンの盛土より採取した試料を用いて、排水および非排水単調せん断試験、非排水繰返しせん断試験を行った。その結果、排水単調せん断試験では、軸差応力-軸ひずみ関係に明瞭なピークが見られず体積ひずみも終始収縮傾向となった。非排水単調せん断試験結果も明確な変相点は見られず一定の低い軸差応力のまま破壊に至った。非排水繰返しせん断試験では、採取土は初期せん断応力比の増加に伴って繰返しせん断強度が低下する傾向が認められ、豊浦砂とは挙動が全く異なった。今回の地震による盛土崩壊は、このことが要因で発生したと考えられる。

5. まとめ 本研究では、東日本大震災で崩壊した宮城県山元町太陽ニュータウンの盛土より採取した試料を用いて、排水および非排水単調せん断試験、非排水繰返しせん断試験を行った。その結果、排水単調せん断試験では、軸差応力-軸ひずみ関係に明瞭なピークが見られず体積ひずみも終始収縮傾向となった。非排水単調せん断試験結果も明確な変相点は見られず一定の低い軸差応力のまま破壊に至った。非排水繰返しせん断試験では、採取土は初期せん断応力比の増加に伴って繰返しせん断強度が低下する傾向が認められ、豊浦砂とは挙動が全く異なった。今回の地震による盛土崩壊は、このことが要因で発生したと考えられる。

参考文献 1) 兵動正幸, 鈴木素之, 野田翔兵, 古川智, 岸田健太郎: 東北地方太平洋沖地震における宅地被害調査報告 (仙台市および山元町), 地盤工学会 HP, 2011. 2) 復建技術コンサルタント: 1/25,000 造成宅地地盤図, 2008.

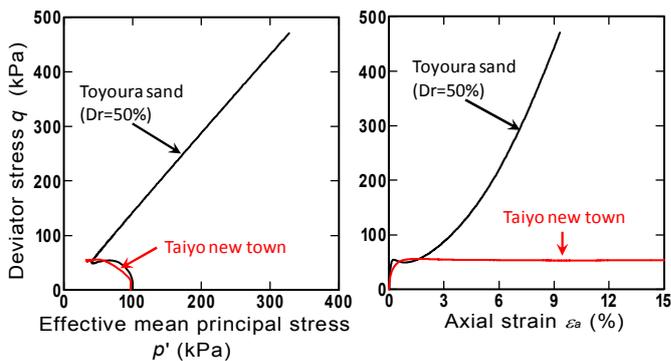


図-5 非排水単調せん断試験時の有効応力経路および軸差応力-軸ひずみ関係

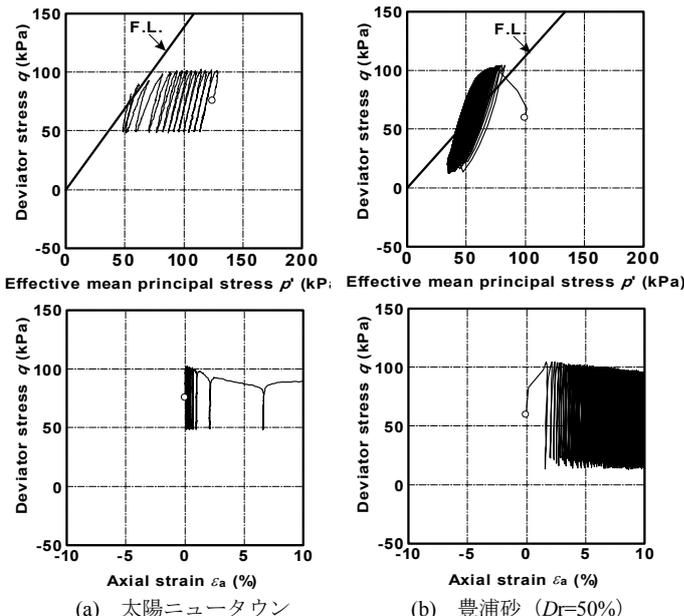


図-6 非排水繰返しせん断試験時の有効応力経路および軸差応力-軸ひずみ関係

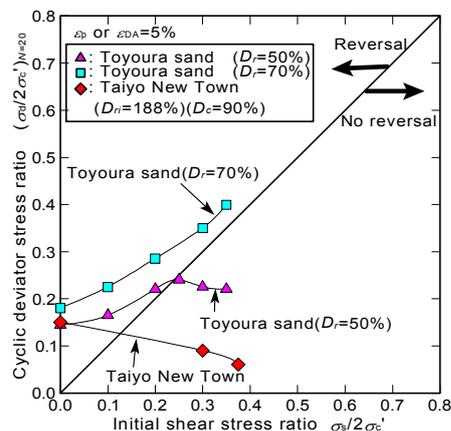


図-7 試料の締固め曲線