

しらす造成盛土の 地震時安定性に関する検討

安田 進¹ 松本 昇² 今井敦之³ 牛窪光明⁴

¹正会員 工博 東京電機大学教授 理工学部環境建設工学科 (〒350-0323 埼玉県比企郡鳩山町石坂)

²学生員 東京電機大学大学院 理工学研究科建設工学専攻 (〒350-0323 埼玉県比企郡鳩山町石坂)

³(株) ユーディケー 土木部工務課 (〒336-8585 埼玉県浦和市岸町 5-7-11)

⁴共生機構株式会社 (〒160-0022 東京都新宿区新宿 1-23-1 新宿マルネビル)

しらすを盛土材料として用いている造成地では、締固め程度や地下水位、法面勾配などによっては地震時に液状化やすべり破壊が生じる可能性がある。一次しらすは固結して液状化しにくい、一旦乱すと液状化しやすい。また、地震時の盛土斜面安定性を考える場合には、地震前からの初期せん断応力と地震時に発生する過剰間隙水圧を考える必要がある。

そこで東北のしらすを用いて締固め試験、繰返し三軸試験および動的強度試験を行ない、締固め度と液状化特性の関係、初期せん断応力を加えた場合の動的強度と過剰間隙水圧について調べた。そして、あるしらす盛土斜面を対象に初期せん断応力と過剰間隙水圧を考慮した地震時斜面安定解析の手法を検討した。

Key Words : Shirasu, Embankment, Liquefaction, Dynamic strength test

1. はじめに

近年、都市部において近郊の台地・丘陵地を宅地化する造成が多く行われている。その中にはしらすを盛土材料として谷部に用いている所もある。それらは締固め程度や地下水位、法面勾配などによって、地震時に液状化の発生やそれに起因したすべり崩壊が生じる可能性がある。一次しらすは固結して液状化しにくい、一旦乱すと液状化しやすい。また、地下水位が高い盛土斜面の地震時安定性を考える場合には、地震前からの初期せん断応力と地震時に発生する過剰間隙水圧を考える必要がある。

本研究では、東北に分布しているしらすを用いて締固め試験および繰返し三軸試験を行ない、締固め度と液状化特性の関係を調べた。また、初期せん断応力を加えた後、繰返しせん断応力を加える動的強度試験を行ない、初期せん断応力を加えた場合の動的強度と過剰間隙水圧について調べた。そして、あるしらす盛土斜面を対象に地震前からの初期せん断応力と地震時に発生する過剰間隙水圧を考慮した地震時斜面安定解析の手法を検討した。

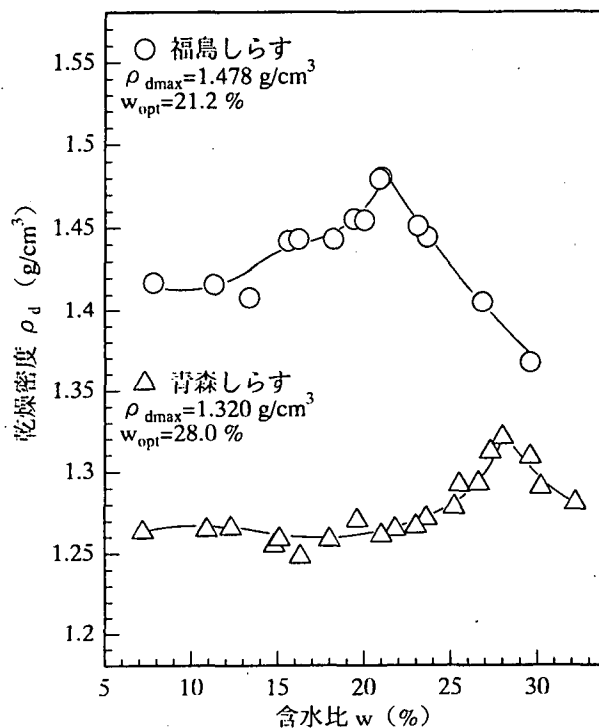


図-1 締固め曲線

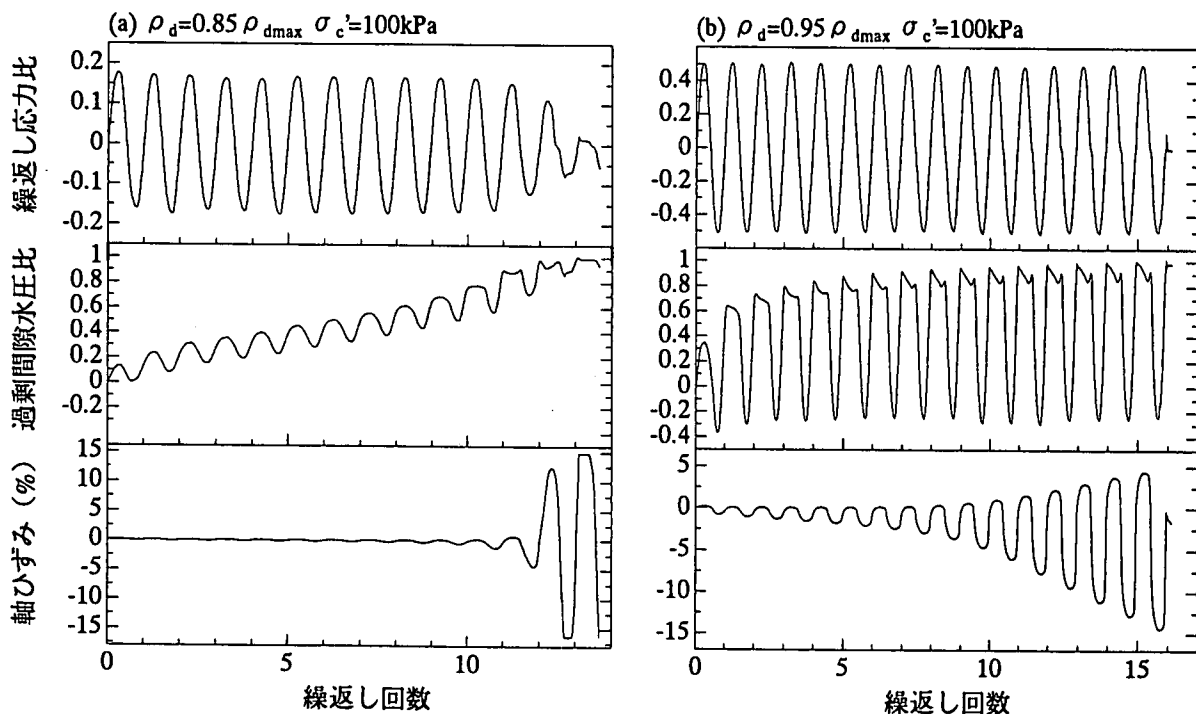


図-2(a), (b) 繰返し応力比・過剰間隙水圧比・軸ひずみの時刻歴例 (福島しらす)

2. 締固め度と液状化特性の関係

(1) 試料および試験方法

今回、試験に用いた試料は青森県十和田湖周辺に分布する青森しらす ($\rho_s = 2.441 \text{ g/cm}^3$) と福島県沼沢沼周辺に分布する福島しらす ($\rho_s = 2.503 \text{ g/cm}^3$) である。これらを $2000 \mu\text{m}$ ふるいでふるい分けしたものを用いた。

締固め試験は JSF T 711-1990 に準じて行った。試料は乾燥法・非繰返し法とし、10cm モールド、2.5kg ランマーを使用し、落下高さ 30cm で締固め層数と 1 層当たりの打撃回数をそれぞれ 3 層、25 回とした。図-1 に締固め試験結果を示す。

繰返し三軸試験の供試体は直径 5cm、高さ 10cm の円柱形で各試料を最適含水比に調節し、青森、福島しらすを最大乾燥密度の 85, 90, 95% になるようにモールド内で 5 層に分け、突き固めて作製した。その後、間隙空気を CO_2 で置換して脱気水を通水し、背圧を 200kPa 与え飽和した。B 値が 0.95 以上であることを確認した後、有効拘束圧 $\sigma'_c = 100 \text{ kPa}$ で圧密し、0.1Hz の sin 波で載荷した。

(2) 試験結果

繰返し三軸試験結果として図-2(a), (b) に福島しらすの締固め度 $D_c = 85, 95\%$ の繰返し応力比・過剰間隙水圧比・軸ひずみの時刻歴例を示す。締固め度 $D_c = 85\%$ では図-2(a) に見られるように繰返し回数の増加とともに過剰間隙水圧が徐々に蓄積している。また、軸ひずみの振幅は過剰間隙水圧比が 1.0 になるまでほとんど増加しないが、その後急増している。一方、締固め度 $D_c = 95\%$ では図 2-(b)

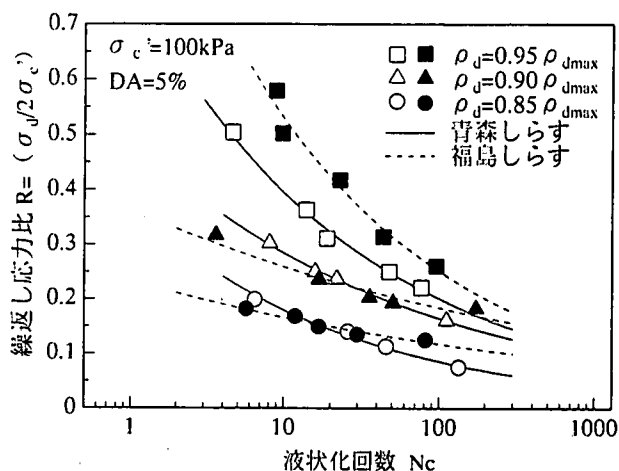


図-3 繰返し応力比～液状化回数関係

に見られるように過剰間隙水圧の蓄積は初期に急増するが、その後はゆるやかである。また、軸ひずみの振幅は過剰間隙水圧の蓄積にともない徐々に増加している。青森しらすについても同様な時刻歴を示している。

図-3 に青森および福島しらすの各締固め度に対する繰返し応力比と液状化回数の関係を示す。青森、福島しらすとも締固め度が大きくなるにつれ、繰返し応力比が大きくなった。そして、青森、福島しらすの締固め度 $D_c = 85, 90\%$ の液状化強度比 R_l ($DA = 5\%, N_c = 20$) はそれぞれ 0.14, 0.23 程度であった。また、青森、福島しらすの締固め度 $D_c = 95\%$ の液状化強度比 R_l はそれぞれ 0.32, 0.42 であった。

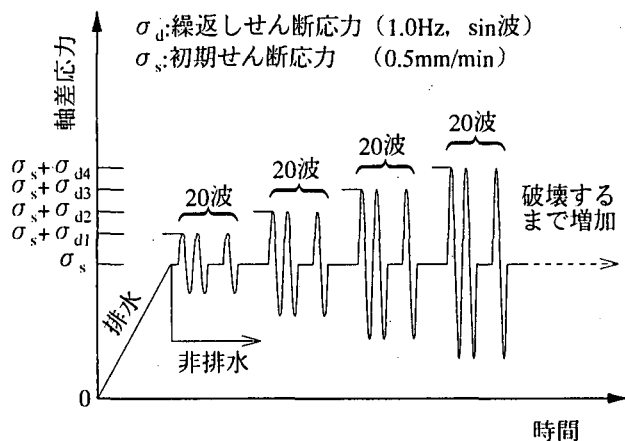


図-4 動的強度試験方法

3. 動的強度試験

(1) 試験方法

動的強度試験は繰返し三軸試験装置を用いた。試料は福島しらすを用い、供試体は繰返し三軸試験と同様に最大乾燥密度の90%になるように作製した。その後、飽和させ有効拘束圧の $\sigma_c' = 100\text{kPa}$ で圧密した。試験方法は、まずCD三軸圧縮試験から静的せん断強度 σ_f を求めた。次に、図-4に示すように排水状態で初期せん断応力 σ_s を加え、その後非排水状態にして一定振幅の繰返しせん断応力 σ_d (1.0Hz, sin波)を20波ずつ、破壊が生じるまで繰返しせん断応力の振幅を段階的に上げていった。

(2) 試験結果および考察

今回の動的強度試験では応力～ひずみ関係からピークの応力を動的せん断強度 $\sigma_s + \sigma_{df}$ と定義した。図-5に静的せん断強度 σ_f で除した動的強度比 $(\sigma_s + \sigma_{df}) / \sigma_f$ と初期せん断応力比 σ_s / σ_f の関係を示す。初期せん断応力比が大きくなるにつれ動的強度比も大きくなり、動的強度比が1.0を越えた。次に、初期せん断応力の違いが過剰間隙水圧に与える影響を知るために、繰返し応力比 R と過剰間隙水圧比 $\Delta u / \sigma_c'$ の関係を図-6に示す。初期せん断応力比が大きくなるにつれ、繰返しせん断応力の増加にともなう過剰間隙水圧の増加が小さくなった。

以上のことから、初期せん断応力が増加すると動的強度は増加し、過剰間隙水圧は発生しにくくなることが分かった。これは初期せん断応力が大きくなると繰返しせん断応力が両振りから片振りとなるためと考えられる。また、動的強度比が1.0を越えたのは繰返し载荷時間が静的载荷にくらべて速いことによる強度増加が生じたためと考えられる¹⁾。

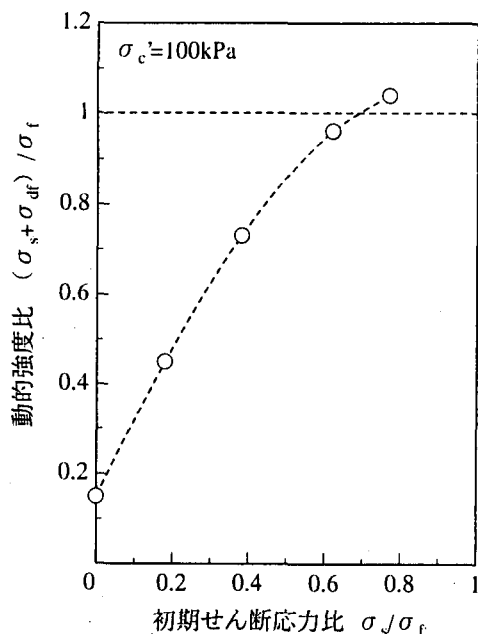


図-5 動的強度曲線

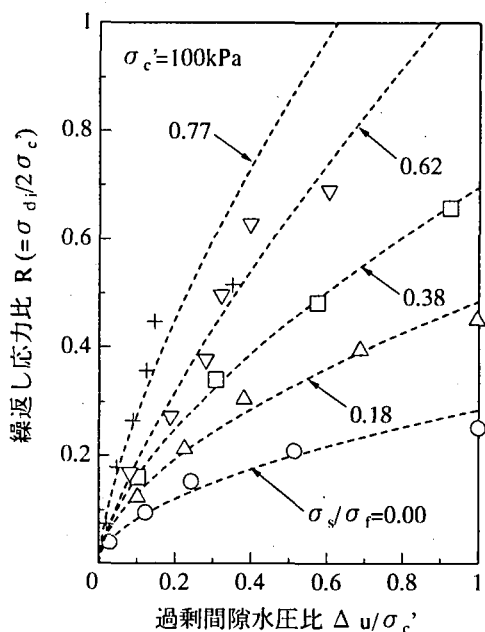


図-6 繰返し応力比と過剰間隙水圧比に与える初期せん断応力比の影響

4. 動的強度特性を用いた地震時斜面安定解析

(1) 解析断面

今回解析に用いた盛土断面は丘陵地帯の造成地で、1968年十勝沖地震で被災した札幌の清田団地を選定した。解析断面を図-7に示す。盛土高さは盛土前後の地図を用いて等高線の標高差から算出した。また、地下水位は盛土部が旧沢地であることを考慮して判断した。土質は福島しらすと同様と仮定し、土質定数は各章で求められたものを用いた。解析はすべて修正Fellenius法で、盛土

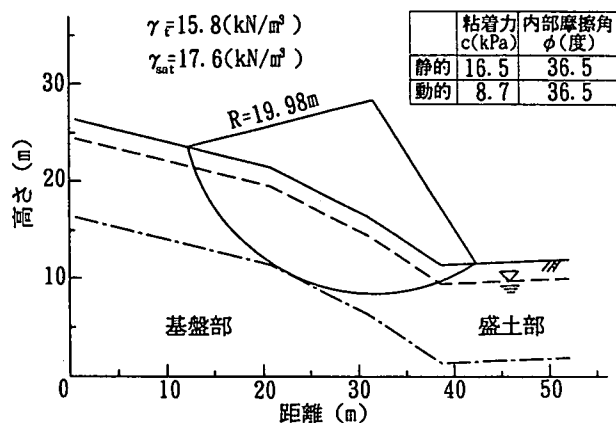


図-7 解析断面図

内にすべり面があると仮定し、7分割した。

(2) 解析方法

初めに初期せん断応力を考慮した動的強度を用いた場合の解析を行った。まず、CD三軸圧縮試験結果を用いて常時の最小安全率 F_s を求めた。次に、すべり面に加わっている初期せん断力比を最小安全率 F_s の逆数として、動的強度試験から求めた図-5の動的強度比～初期せん断力比関係から動的強度を求めた。そのモールの応力円を図示し、動的な内部摩擦角 ϕ が静的な内部摩擦角 ϕ と変わらないと仮定し、動的な粘着力 c を求めた。そして、これらを用いていくつかの水平震度 k_h を与え、安全率 F_s を求めた。ただし、地震時に発生する過剰間隙水圧は考慮していない。

次に、地震時に発生する過剰間隙水圧のみを考慮した場合の解析を行った。この場合、200galの地表最大加速度を仮定し、道路橋示方書・同解説で用いられている簡易式から各スライス底部に生じる繰返しせん断応力比 L を求めた。これを図-6の繰返し応力比～過剰間隙水圧比関係の縦軸と置き換え、各スライス底部での過剰間隙水圧を求めた。そして、求めた過剰間隙水圧に静水圧を加え、静的強度を用いて安全率 F_s を求めた。この場合、過剰間隙水圧は地震の主要動で発生すると考え、水平震度 k_h は加えなかった。

(3) 解析結果および考察

以上の方法で求めた安全率 F_s を図-8に示す。また、一般的に行われている静的強度を用いた結果も載せた。動的強度で計算した解析結果が静的強度の結果よりも安全率 F_s が全体に下がり、 $k_h=0.15$ 程度で F_s が1.0を下回った。また、過剰間隙水圧を考慮した安全率 F_s は1.53となった。長野西部地震地震での滝越地区の崩壊に対し、両者の解析結果が安全率 $F_s=1.0$ 程度となり、崩壊を説明できる結果もある²⁾。しかし、今回の解析では両者がかなり異なった安全率 F_s となった。これは土質を福島しらすと仮定したことや、地下水位、地震動も仮定しているこ

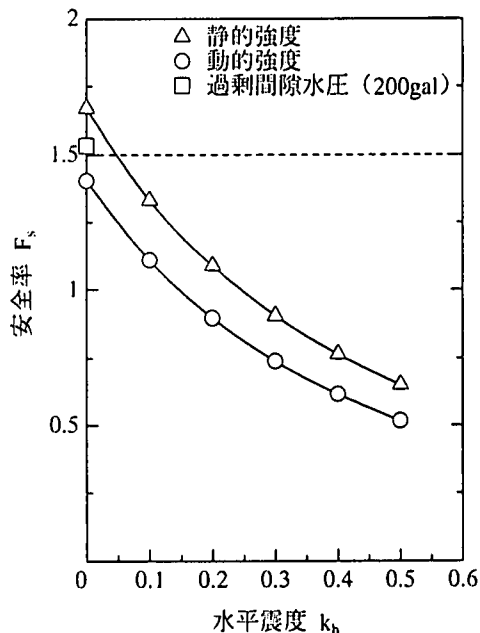


図-8 解析結果

とが影響していると考えられる。

4. まとめ

以上の検討から次のことが分かった。(1)締固め度と液状化特性の関係は青森、福島しらすとも液状化の難易が10%程度の締固め度に大きく依存した。(2)初期せん断応力を加えた福島しらすの動的強度および過剰間隙水圧は、初期せん断応力の大きさに大きく影響を受けた。(3)地震前からの初期せん断応力を考慮した地震時斜面安定解析と、地震時に発生する過剰間隙水圧を考慮した解析の一致については、今後も検討が必要である。

なお、本研究は平成10年度文部省科学研究費(課題番号:09450183)の補助を受けた。

参考文献

- 1)安田進:火山灰の動的特性に関する2,3の実験,火山灰に関する研究討論会論文集,土質工学会北海道支部,pp.44~52,1992.
- 2)初倉克幹・安田進・榊祐介:長野県西部沖地震での災害例にもとづいた斜面崩壊予測手法の検討,土と基礎,Vol.33, No.11, pp.41~46,1985.