

締固めによる飽和二戸しらす地盤の耐液化性能

八戸工業高等専門学校専攻科 学生会員 ○西塚 萌
八戸工業高等専門学校 正会員 清原雄康

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日東北地方太平洋沖地震が発生し、その後の余震により岩手県二戸市にある二段に造成された宅地盛土のうち、下段部の高さ約 5m が泥流状に崩壊した。この宅地盛土は保水性の高いしらす地盤であり、谷を埋めた集水地形に建設されていたために地下水位より上でも土壌水分が高くなっていた。ここに地震動が加わったことで液状化に似た挙動をとったと言われている¹⁾。

本研究では、当該地盤の液状化対策として締固めに着目し、締固めにより相対密度 Dr : 75%, Dr : 90% 程度にした供試体を用いて、繰返し三軸試験から当該地盤の液状化強度特性、液状化強度向上効果を把握する。

2. 繰返し三軸試験方法

当該地盤から採取した 2mm ふるい通過試料を用いて、3 層 20 回および 3 層 50 回に突き固めた $\phi 5 \times 10 \text{cm}$ の供試体を作製した。試料土の諸性質を表 1 に、変形特性を図 1 に示す。 Dr : 67% では等価ヤング率 E_{eq} : 88MPa であったのに対し、 Dr : 90% では E_{eq} : 105MPa であった。表 2 に本研究で用いた供試体諸元及び繰返し三軸試験条件を示す。供試体設置後、 CO_2 通気・脱気水通水により飽和化を促進、背圧 100kPa、拘束圧 σ'_c : 90kPa をかけて B 値を測定した。その後等方圧密をし、0.5Hz の載荷周波数として、表 2 の設定軸差応力 σ_d でそれぞれ非排水条件のもと、繰返し三軸試験を行った。

3. 繰返し三軸試験結果

図 2 に Dr : 75% での軸差応力 σ_d : 53.4kPa、 Dr : 90% での σ_d : 62.5kPa、103kPa の繰返し三軸試験結果の一例を示す。 Dr : 75%, σ_d : 53.4kPa では 25 回で液状化に至ったのに対し、 Dr : 100%, σ_d : 62.5kPa では過剰間隙水圧比 $\Delta u/\sigma'_c$ が 0.54 までしか上昇せず、液状化に至らなかった。また、 Dr : 98%, σ_d : 103kPa では正のダイレイタンシーに伴う負の水圧が発生し、有効応力が大きくなっていることが分かる。 Dr : 90% の供試体では他の試験結果でも同様に負の水圧が発生していた。 $p'-q$ 履歴では、 q の増加に伴い p' の増減が大きくなっている。 σ_d : 53.4kPa では、破壊付近の p' は圧縮側で 20kPa、引張側で 60kPa 程度回復するのに対し、 σ_d : 103kPa では、圧縮側で 40kPa、引張側で 90kPa 程度回復した。

図 3 に、液状化に至った全ての場合の液状化強度曲線を示す。本研究では、過剰間隙水圧比 $\Delta u/\sigma'_c$ が 0.94~0.95 に至るまでの繰返し回数を N_c と定義している。 σ_d が大きくなるにつれ、 N_c が低下することが分かる。20 回での $\sigma_d/(2\sigma'_c)$ は Dr : 67% で 0.15²⁾, Dr : 75% で 0.30, Dr : 90% で 0.56 であった。 Dr : 67% と Dr : 75% を比較すると約 2.1 倍、 Dr : 67% と Dr : 90% を比較すると約 3.8 倍液状化強度が向上した。

宅地盛土に被害をもたらした余震の二戸 K-net IWT024 の EW 方向成分の最大加速度³⁾をもとに、深さ 5m と仮定して式(1)~(3)より液状化抵抗率 FL 値を求めた結果、 FL 値は

表 1 試料土の諸性質

土粒子密度(g/cm ³)	2.57
最小乾燥密度(g/cm ³)	1.127
最大乾燥密度(g/cm ³)	1.566
透水係数(m/s)	3.41×10^{-7}
圧密降伏応力(kPa)	86.3
圧縮指数	0.067

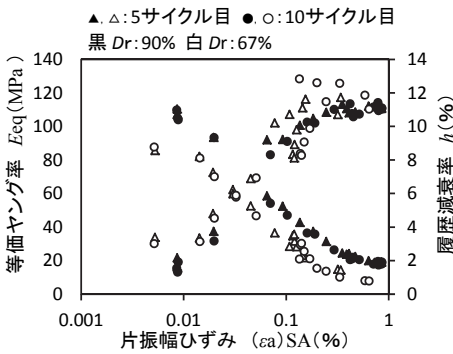


図 1 二戸しらすの変形特性

表 2 繰返し三軸試験条件と供試体諸元

供試体作製条件	σ_d (kPa)	B 値	圧密後		
			ρ_d (g/cm ³)	間隙比 e	Dr (%)
3 層 20 回	45.8	0.94	1.51	0.70	91
	53.4	0.66	1.43	0.80	75
	58.0	0.61	1.41	0.82	72
3 層 50 回	62.5	0.79	1.60	0.61	100
	75.3	0.74	1.55	0.66	97
	86.3	0.72	1.55	0.66	98
	93.4	0.67	1.52	0.69	93
	103	0.79	1.55	0.65	98
	115	0.70	1.55	0.66	97

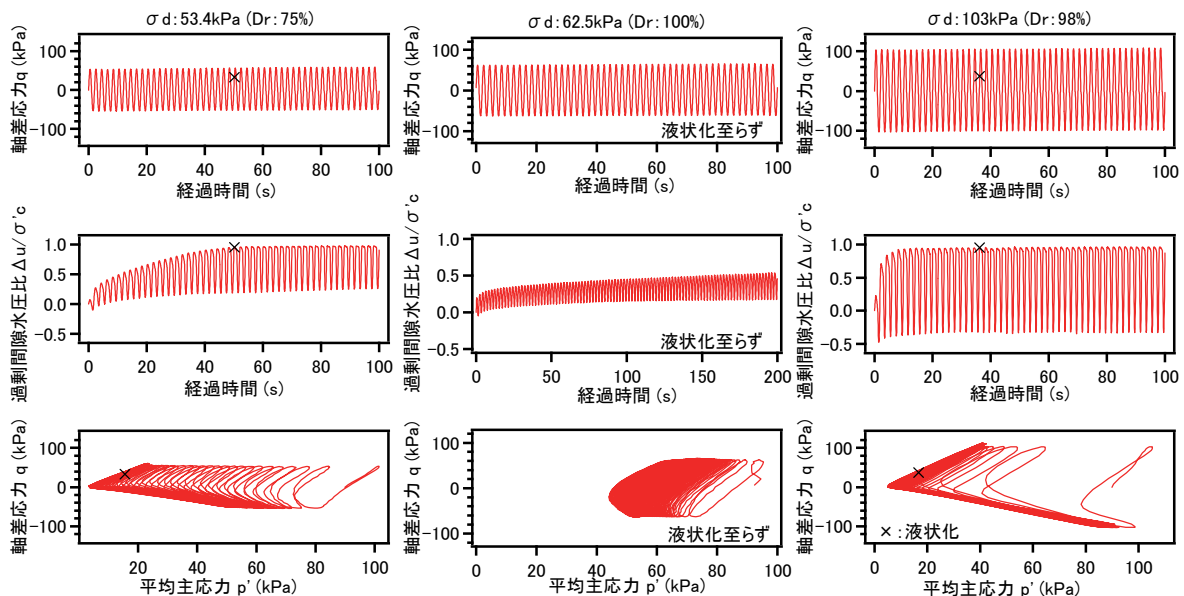


図2 繰返し三軸試験結果一例

1.76 となり液状化に至る可能性は低いという結果が得られた。

$$FL = R/L \quad (1) \quad R = \sigma_d / (2\sigma'_c)_{N=20} \quad (2) \quad L = \gamma_d \sigma_v A_{max} / (\sigma'_{vc} g) \quad (3)$$

ここで、 σ_v ：全上載圧(96Pa)， σ'_{vc} ：有効上載圧(47Pa)， A_{max} ：最大加速度(179gal)， γ_d ：割引補正係数(0.85)， g ：重力加速度(981gal)である。

4. エネルギー法による液状化性能評価

過剰間隙水圧や発生したひずみは供試体内部の損失エネルギーと密接に関連していることから、三軸試験結果を統一的に検討するため、本研究では式(4)に示すエネルギー法⁴⁾による結果の整理を行った。

$$\sum \Delta W / \sigma'_c = \sum \Delta (\int \sigma_d d\varepsilon) / \sigma'_c \quad (4)$$

ここで、 ε ：軸ひずみである。

液状化に至るまでの基準化累積損失エネルギー $\sum \Delta W / \sigma'_c$ は、 Dr が同じ供試体の場合、 N_c の違いに関わらずほぼ一定となった。図4に各 Dr での $\sum \Delta W / \sigma'_c$ と $\Delta u / \sigma'_c$ の関係を示す。液状化に至るまでの $\sum \Delta W / \sigma'_c$ は、 Dr ：67%で約1.5， Dr ：75%で約4.1， Dr ：90%で約13.3であった。 Dr ：67%と Dr ：75%を比較すると約2.7倍， Dr ：67%と Dr ：90%を比較すると約8.8倍 $\sum \Delta W / \sigma'_c$ が増加している。 Dr が高いほど液状化に至るまでに、より多くのエネルギーが必要であるという結果が得られた。

5. まとめ

締固めによって Dr ：90%にした密な二戸しらす供試体を用いて、繰返し三軸試験より液状化強度特性を求め、 Dr ：67%の中詰めの供試体との比較を行ったところ、 Dr ：90%の密な供試体では正のダイレンタンシー効果により有効応力の回復が大きくなり、粘り強さが増したことにより、液状化強度比が約3.8倍向上した。液状化に至るまでの基準化累積損失エネルギーは、中詰めの供試体と比べ、約8.8倍多くのエネルギーを要する結果が得られた。また、液状化抵抗率 FL 値は1.76となり、密な二戸しらす地盤では耐液状化性能が向上するという結果が得られた。

【参考文献】

- 1) 東日本大震災合同調査報告書編集委員会：東日本大震災合同調査報告書，共通編3 地盤災害，2014。
- 2) 清原雄康，佐々木裕貴：東北地方太平洋沖地震において泥流状崩壊をもたらした二戸しらすの液状化強度特性，平成25年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集，III-53，2013。
- 3) 防災科学技術研究所：強震観測網 (K-net, KiK-net) <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>
- 4) 國生剛治：地震地盤動力学の基礎－エネルギー的視点を含めて，鹿島出版会，2014。

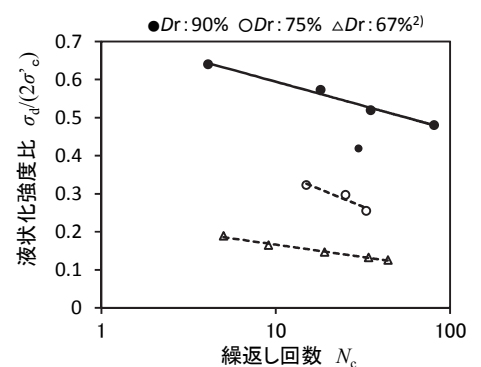


図3 二戸しらすの液状化強度曲線

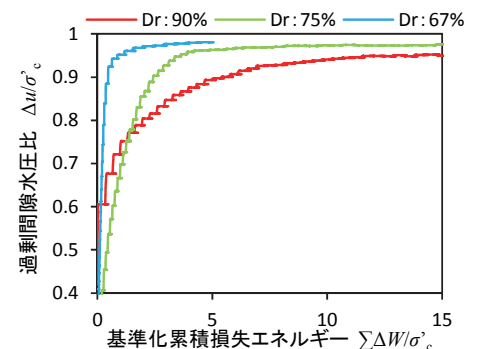


図4 損失エネルギーと過剰間隙水圧比