

種々の液状化対策工法の改良効果の評価について

○東北大学 学生会員 赤堀一彦
 東北大学 正会員 風間基樹
 東北大学 正会員 柳澤栄司

1. はじめに

現在、土の液状化抵抗は、一定応力振幅制御の繰返し三軸試験から評価されている。一方、風間ら¹⁾は、レベル2地震動に対する土の液状化抵抗を評価する指標として、一定ひずみの繰返し三軸試験の応力-ひずみ関数のループの面積から得られる累積損失エネルギーを使うことを提案している。そこで、本研究では定応力三軸試験と定ひずみ三軸試験の両者の方法で土材料の靱性の観点から整理し、いくつかの液状化対策工法の改良効果の評価を行ったのでそれを報告する。

2. 対象地盤と実験方法

本研究の対象とした原地盤は細粒分を比較的多く含む(30%程度以上)埋め立て地盤である。また、液状化対策工法は、SBP(ストロング・バックパイル)、SDP(静的締固め)、CPG(コンパクション・グラウチング)、溶液型薬液注入法により改良された地盤である。供試体は、φ5cm、高さ10cmの円柱供試体である。これら試料の諸元を、表-1に示す。定応力試験方法は土質工学会基準「土の繰返し非排水三軸試験方法(JSF T 541-1990)」に基づき土質調査会社が実施したものである。一方、定ひずみ三軸試験方法は、著者らが実施したものであり、各供試体の現地盤における有効上載圧のもとで等方圧密した後、非排水繰返しせん断を行ったものである。載荷方法は、ひずみ振幅一定のステップ載荷とし、周波数0.1Hzの正弦波で行った。各ステップは20回の繰返し載荷で終了とし、次のステップに移った。ステップ数はひずみ両振幅を0.6, 1.2, 2.0, 4.0, 8.0, 16.0%の6ステップとした。

3. 改良効果の評価について

1) 定応力三軸試験における評価

図-1に定応力三軸試験による強度曲線を示す。また図-2は、せん断応力-せん断ひずみループが描く面積の積分値である累積損失エネルギーの蓄積に伴うせん断ひずみエネルギーの発達を描いた例である。ここで、圧縮側ひずみの包絡線を描いて、応力比で比較すると図-3のようになる。図中の線が2次曲線的に増加するのは、ひずみが大きくなると、ダイレイタンスに伴う剛性回復によって、エネルギー吸収性能が大きく回復するからであり、土の靱性を表している。また、図から応力が異なると、エネルギーの吸収量とひずみの発達の仕方が異なり、吸収エネルギーが同じでも応力比が大きい方がひずみが大きく発達する事が分かる。次にこれを各工法間で比較すると図-4の様になり、CPGがもっともねばり強く、SDPとSBPにはそれほど差が認められない事が分かる。

表-1 実験供試体の諸元

評価法	改良法	充填率	採取深度(GL-m)	応力比
定応力三軸試験	SBP	20%	2.00~3.00	0.204
				0.245
				0.222
	CPG	20%	7.00~8.15	0.210
				0.287
				0.298
SDP	20%	7.35~7.98	0.308	
			0.200	
			0.150	
定ひずみ三軸試験	SBP	20%	2.00~3.00	0.232
			4.00~6.00	0.1310
			7.00~8.00	
	SDP	20%	4.50~5.00	
			6.30~7.30	
			薬液 *	5.00~6.00

SBP ストロング バックパイル工法
 CPG コンパクション グラウチング工法
 SDP 静的締固め工法
 薬液 溶液型薬液注入工法
 * 一軸目標強度 0.8kgf/cm²

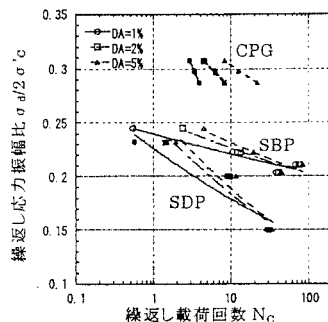


図-1 施工後の液状化強度曲線

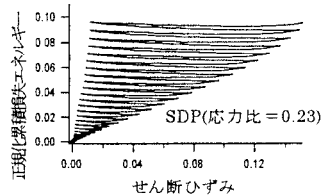


図-2 定応力三軸試験におけるひずみ-エネルギー関係

2) 定ひずみ三軸試験に

における液状化抵抗評価

一定ひずみ制御繰返し三軸試験から得られるせん断ひずみと応力の関係を図-5 に示す。この図から、ステップが移る毎に剛性が回復していることが分かる。また、回復の大きさは圧密工法よりも薬液注入工法の方が大きい。次に、図-3と同様に、正規化累積損失エネルギーとせん断ひずみの関係を描くと、図-6 のようになる。この図からも薬液注入工法による改良地盤が靱性能が高い事が分かる。

3) 過剰間隙水圧比と

累積損失エネルギーの関係

図-7 に過剰間隙水圧比と正規化累積損失エネルギーの関係を示した。この図より、応力比や応力経路によらず過剰間隙水圧比と正規化累積損失エネルギーは一義的な関係があるようである。また、水圧がほぼ一定化になってから損失エネルギーはさらに大きくなる事が分かる。

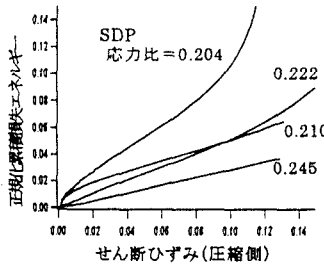


図-3 定応力試験における各応力比のひずみ-損失エネルギー関係

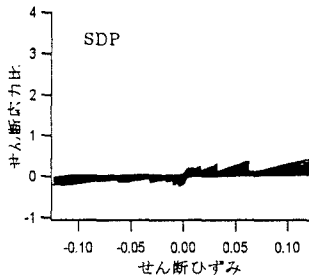


図-4 定ひずみ試験におけるせん断応力比-せん断ひずみ関係

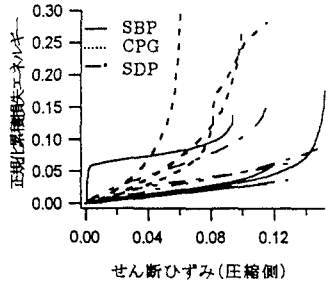


図-5 定ひずみ試験におけるせん断応力比-せん断ひずみ関係

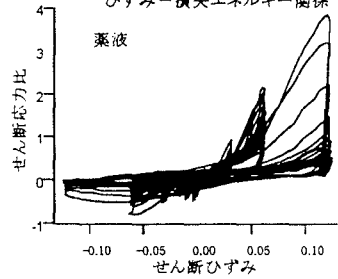


図-6 異なる条件での過剰間隙水圧比-損失エネルギーの関係

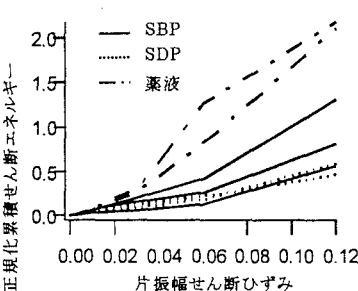


図-7 異なる条件での過剰間隙水圧比-損失エネルギーの関係

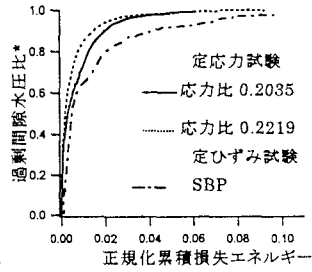


図-8 異なる条件での過剰間隙水圧比-損失エネルギーの関係

*過剰間隙水圧比はひずみ 0 の時の値

4. 結論

本研究では、繰返し三軸試験の応力-ひずみ関係から得られる累積損失エネルギーに着目し、種々の改良地盤の液状化に対する土のねばりを評価した。結論を要約すると以下の通りである。

- 1) 累積損失エネルギーと過剰間隙水圧比の関係は、応力-ひずみ履歴によらずほぼ一義的な関係が認められた。
- 2) エネルギーの蓄積に伴うひずみの発達の様子は、荷重履歴に依存し、小さな応力比で何回も繰り返す方が、ひずみが発達しにくい。これは、マクロな軸ひずみの大小によって供試体内の局地的なひずみ分布が異なるためと考えられる。従って、実地震に対する応力履歴を規定しないと、ひずみの大きさを累積損失エネルギーから算定できないことになる。
- 3) 薬液注入工法など、化学的固結作用による靱性能の向上を期待する工法に対しては、一軸圧縮強度などに代えて、エネルギー吸収性能で液状化抵抗の増加を評価すべきと考える。
- 4) 累積損失エネルギーで評価する限り、定ひずみ試験と定応力試験の差はないとも言えるが、定ひずみステップ載荷試験では、ひずみ-エネルギー関係が一つ決定されるのに対し、定応力試験ではその関係が応力比に依存し、一つには決まらない。

参考文献 1) 風間, 柳澤, 増田: 定ひずみ制御繰返し三軸試験による液状化強度評価の可能性, 地盤工学会誌 第 46 巻 第 4 号, 1998