

大歪みを受けた薬液注入改良土のせん断強度について

五洋建設（株）技術研究所 林 健太郎（正会員）
秋本 哲平（正会員）

1. はじめに

液状化の定義には、両振幅歪みで5%に達したときと過剰間隙水圧比が95%に達したときのいずれかの基準が適用される場合が多い。薬液が固まった物質で間隙が充填された改良土では、過剰間隙水圧比が95%に達しても、両振幅歪みが5%を超えても、個々の土粒子が浮いた状態になる、いわゆる一般的な砂の「液状化現象」は生じないが、大歪みが生じた場合、せん断剛性が大幅に減少し、構造物に大きな変形が生じることから、薬液改良土についても、この二つの液状化の基準が適用される。

近年の設計で用いられるレベル2の地震動に対しては、「液状化が生じても構造物が機能を失わないこと」が求められる。薬液注入による改良土に関しては大歪み後のせん断強度は分かっておらず、通常の砂のように液状化によってせん断強度を失うのか不明である。このため、繰り返し3軸試験で5%の歪みを受けた改良土を用いて、その状態から排水せん断試験を行い、地震により大歪みを受けた改良土のせん断強度を測定した。

2. 実験の内容

① 三軸供試体の作成

今回の実験で使用する供試体は、直径5cm、長さ1.2mの塩ビパイプに表-1の3種類の乾燥砂をDr60%で詰めた後、パイプの下部より、水を注入した後、薬液（エコシリカI、シリカ濃度7%）を充填して作成した。パイプから5～6つの供試体を作成し、内2つ（下から2つめと4つめ）で一軸圧縮強度試験を実施し、残りの3つで繰り返し三軸圧縮試験を実施した。

表-1 実験砂

項目		単位	千歳砂	Y砂	石巻砂
使用砂		—			
土粒子密度		g/cm ³	2.706	2.696	2.685
粒度	礫分	%	21.24	14.71	0.08
	砂分	%	72.18	79.85	75.80
	シルト分	%	4.42	5.44	18.30
	粘土分	%	2.16		5.82
	均等係数	—	6.5	6.8	16.0
pH		—	7.5	8.5	6.3
砂の最小密度	4.75mm以下	g/cm ³	1.269	1.394	1.054
砂の最大密度		g/cm ³	1.588	1.750	1.362

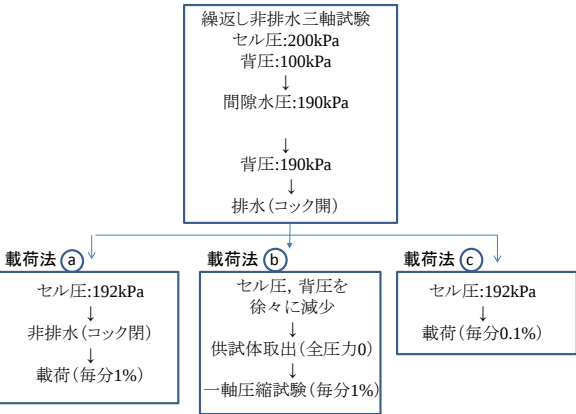


図-1 載荷手順（載荷方法a～c）

② 三軸圧縮試験

上記の供試体を用いて、通常の繰り返し三軸試験を実施し、両振幅5%に達し液状化状態となるまで載荷を続けた。実験の目的は、地震動により大変形が生じた土のせん断強度である。せん断強度の測定方法には明確な試験法はないため、図-1に示す三つの方法でせん断強度の測定を行った。いずれの方法も、過剰間隙水圧と同じ状態(190kPa)まで背圧(BP)を増加させた後、排水している。

③ 大歪み時のせん断強度の測定

載荷方法aでは、その後、一端排水バルブを閉め、三軸試験装置で圧縮を行っている。載荷方法bは、排水を行った後、徐々に背圧とセル圧を0まで戻し、供試体を取り出し、一軸試験装置で圧縮強度を測定した。載荷方法cでは、排水を行った後、排水バルブを開けた状態で、三軸試験装置で圧縮強度を求めている。

キーワード：液状化、薬液注入、大歪み

連絡先：〒329-2743 栃木県那須塩原市四区町1534-1 五洋建設株式会社技術研究所

表-2 実験ケースと最大せん断応力

試験番号	試験材料	一次元浸透試験 結果からの想定 一軸圧縮強さ	繰り返し三軸試験			大歪み後のせん断試験				
			繰返し三軸 応力比	載荷回数	両振幅5%時 載荷回数	載荷法	排水条件	試験機器	載荷速度	大歪み後 最大せん断応力 最大応力
1	千歳砂	120kN/m ²	0.737	4	1.5	載荷法 a	非排水	三軸試験機	毎分1%	188kN/m ²
2		90kN/m ²	0.580	25	18	載荷法 c	排水			101kN/m ²
3		66kN/m ²	0.437	62	53		排水			86kN/m ²
4	Y砂	120kN/m ²	0.746	10	7.5	載荷法 b	排水	一軸試験機	毎分1%	119kN/m ²
5		120kN/m ²	0.701	42	38		排水			113kN/m ²
6		100kN/m ²	0.667	9	6		排水			71kN/m ²
7	石巻砂	40kN/m ²	0.341	245	236	載荷法 c	排水	三軸試験機	毎分0.1%	89kN/m ²
8		40kN/m ²	0.428	31	28		排水			56kN/m ²

3. 実験結果

実験条件、載荷方法と各ケースの最大せん断強さをとりまとめたものを表-2 に示す。表中の各ケースの「一次元浸透試験結果からの想定一軸圧縮強さ」は、一次元浸透実験における供試体の上と下のサンプルの平均値から想定した一軸圧縮強度である。

実験結果の最大せん断応力だけを見ると、非排水状態で載荷した方法 a の場合、試験前の強さに比べ、1.5 倍以上の強度となった。供試体をセルから取り出した方法 b では、試験前の強さより若干小さめの値となった。排水状態でそのまま載荷した方法 c の場合、試験前の強さより若干大きめの値となった。繰返し荷重の載荷前の状態に比べると、歪み 5%までの載荷により供試体は乱れの影響を受けており、また、載荷後の排水により、過剰間隙消散による圧密で強度が増加している。今回の載荷方法ではいずれのケースも繰返し荷重の載荷前と比べ 70%～150%程度のせん断強度を持っていることがわかった。すなわち、改良された地盤は地震の直後も載荷前と同程度の最大せん断強度を保有していることが分かる。

図-2～4 に、載荷方法 a～c の場合の代表的な応力～歪み曲線を示す。応力～歪み関係は砂の種類によらず、載荷方法に従って同様な傾向を示した。同図には、一次元浸透実験の近傍供試体の一軸圧縮試験の応力歪み関係(赤破線)も表示している。

一軸圧縮の供試体では、いずれも軸歪み 3%で最大せん断力がピークを示している。非排水で繰返し載荷を行った図-2 では、歪み 5%で最大せん断応力のピークを示し、凸型の曲線となる一軸試験と異なり、凹型の曲線となり、歪み初期には小さな抵抗力しか発生していない。

供試体を取り出した case4 (図-3) では、ピーク歪みや最大せん断応力は、一軸圧縮試験とほぼ同じであったが、歪み初期の抵抗力は小さい。排水後、そのまま載荷した case2(図-4)では、ややピーク強度は大きくなっているが、歪み初期の抵抗は非常に小さくなっている。

これらのことから、大歪みを受けた改良土は、地震後の排水とともに強度は従来通り回復するが、偏荷重を受けると変形が生じやすい状態になることが分かった。

4. まとめ

今回の試験結果から、大歪みを受けた改良地盤は変形が生じやすい状態になるが、地震後の排水とともに従来通りのせん断強度に回復することが分かった。

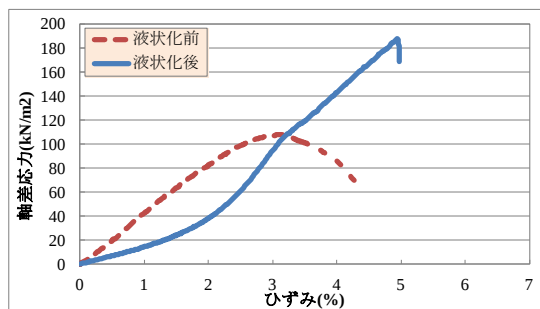


図-2 case1 (載荷方法 a)

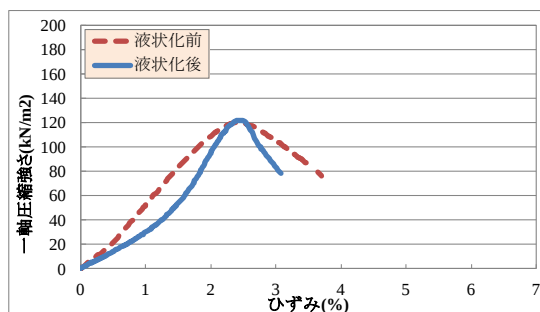


図-3 case4 (載荷方法 b)

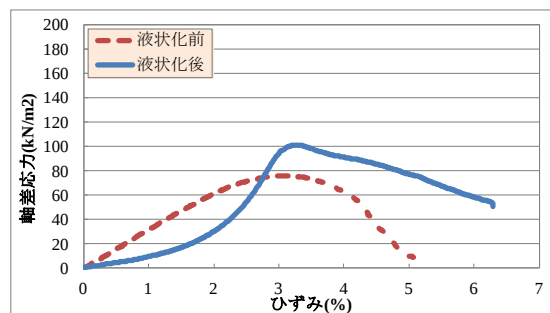


図-4 case2 (載荷方法 c)