

砂質土の液状化強度に及ぼす締固めの影響

日本大学工学部 ○学生会員 長谷川 輝
日本大学工学部 正会員 仙頭 紀明

1. 研究背景と目的

2011年の東日本大震災において、埋戻し土の液状化による下水道の被害が数多くみられた。福島県須賀川市の長沼地区では農道部のマンホール浮き上がりや、管路埋戻し部の沈下などの被害により、農村部の生活環境に多大な影響をあたえた。被害箇所は丘陵地の麓という地形条件に該当し、地下水位が高い地盤であったと推定される。周辺の水田に噴砂等の被害がみられなかったことから、周辺地盤は液状化せず、埋戻し土のみが液状化したと考えられる。これは、地下水位が高いことに加え、管路埋戻しには管に損傷を与えるような重機械は使用できず、狭隘な場所での施工となるため、埋戻し土の十分な締固めができないことが原因である。一方で、砂質土の液状化強度に及ぼす締固め度の影響については十分な研究がなされていない。そこで本研究では、定体積応力制御繰返し一面せん断試験により、含水比と締固め度を変化させた砂質土について実験を行い、液状化強度に及ぼす締固めの影響を明らかにすることを目的とする。

2. 試験方法

試験には須賀川市で下水管設置後の埋戻しに使用される砂質土を試料として使用した。実験では2mmふるい通過分の試料を使用した。試料の粒径加積曲線を図-1に示す。物理特性は土粒子の密度 $\rho_s=2613\text{g/cm}^3$ 、均等係数 $U_c=2.0$ 、曲率係数 $U_c'=1.02$ となった。2mmふるいでふるい分けたため、実際用いられている材料と比べて、締固まりにくい条件であることに留意する必要がある。供試体は内径75cm、高さ7cmの塩化ビニルパイプのモールドに3層に分けて突固めて作製した。突固めには1175gのおもりを用いたランマーを使用した。締固めエネルギーは突固めによる土の締固め試験(JISA1210)のA法と同等になるよう調整した。供試体はカッターリング法により、直径6cm、高さ2cmに成形した。表-1に試験ケース及び供試体の乾燥密度を示す。試験は締固めエネルギーと含水比を変化させた12ケースを行った。締固めエネルギーは、A法(約 550kJ/m^3)を100%とし、落下回数を調整して50%、20%と変化させた。最適含水比を挟んで3~5個の含水比とし、各ケースで3つのせん断応力について試験を行った。ケース1,2,3は締固めエネルギー20%、ケース4,5,6,7は締固めエネルギー50%、ケース8,9,10,11,12は締固めエネルギー100%である。実験には繰返し一面せん断試験装置を用いた。図-2に試験機の概略図を示す¹⁾。上部せん断箱と下部せん断箱は4本のボルトで固定して、供試体をせん断箱内に設置する。20kPaで予備圧密した後、30分間蒸留水を通水した。その後、供試体を圧密応力50kPaで圧密

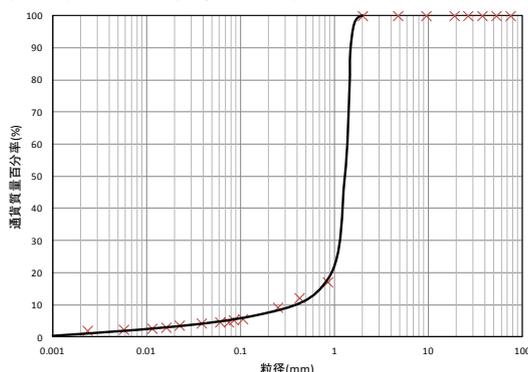


図-1 粒径加積曲線

表-1 試験ケース

ケース	含水比 (%)	締固めエネルギー	ρ_d (g/cm^3)	応力比	ケース	含水比 (%)	締固めエネルギー	ρ_d (g/cm^3)	応力比
1	12.21	20%	1.386	0.21	7	27.41	50%	1.487	0.26
	11.4		1.382	0.26		27.68		1.542	0.36
	12.86		1.384	0.38		28.23		1.474	0.48
2	19.11	20%	1.443	0.2	8	5.91	100%	1.558	0.2
	18.86		1.439	0.25		6.53		1.537	0.32
	21.5		1.483	0.37		6.28		1.532	0.38
3	28.62	20%	1.474	0.28	9	9.6	100%	1.61	0.27
	28.51		1.515	0.25		10.6		1.589	0.39
	28.21		1.484	0.36		10.7		1.653	0.52
4	5.64	50%	1.533	0.2	10	16.4	100%	1.701	0.27
	6.84		1.511	0.32		16.1		1.67	0.39
	6.51		1.612	0.38		16.3		1.677	0.56
5	16.4	50%	1.543	0.27	11	19.92	100%	1.592	0.22
	15.6		1.559	0.39		20.92		1.585	0.25
	15.3		1.522	0.56		21.28		1.602	0.37
6	21.47	50%	1.565	0.18	12	23.63	100%	1.561	0.26
	21.96		1.558	0.25		22.48		1.559	0.36
	23.03		1.578	0.37		22.84		1.564	0.5

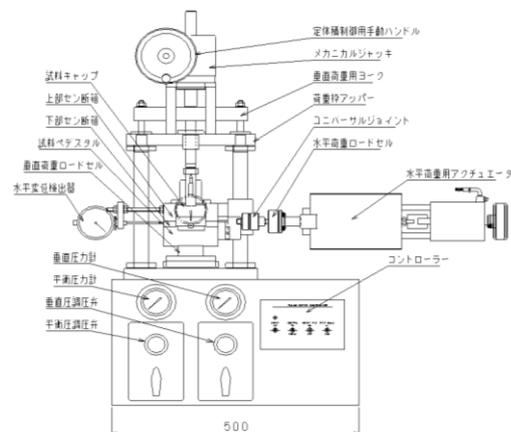


図-2 繰返し一面せん断試験装置

キーワード：液状化強度 締固め 砂質土 定体積応力制御繰返し一面せん断試験

〒 963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1 番地, TEL 024-956-8710, FAX 024-956-8858

した。圧密終了は β 法により確認した。その後上記のボルトを外して、上下せん断箱の隙間を0.2mmに調節した。せん断試験は、0.1Hzの正弦波のせん断応力を与えた。定体積制御は垂直変位が $\pm 0.01\text{mm}$ となるよう上部メカニカルジャッキにより手動で制御した。

3. 実験結果

締固め曲線を図-3(a)に示す。締固めエネルギーの低下につれて締固め曲線が右下に移動し、最適含水比が高くなり、最大乾燥密度は低くなる²⁾。さらに締固めエネルギーが小さくなると曲線がなだらかなる傾向を示す。

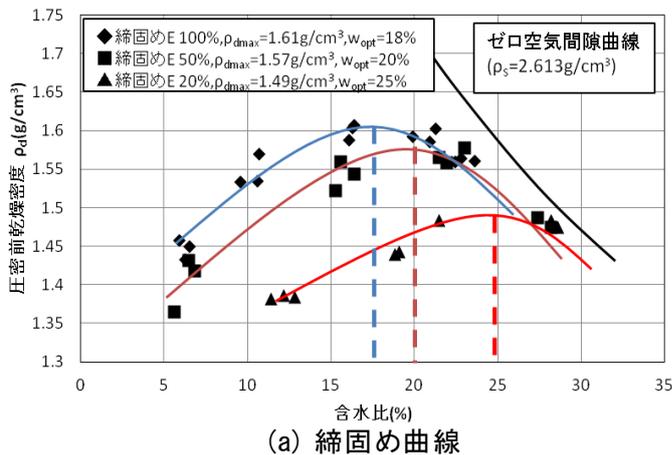
含水比20%のケースの液状化強度曲線を図-4に示す。液状化の判定は、両振幅せん断変位 $\delta_{DA}=0.6\text{mm}$ とした。阿部ら¹⁾は粘着力を有する砂質土について $\delta_{DA}=0.2\sim 1.0\text{mm}$ の結果を示し、 $\delta_{DA}=0.2\text{mm}$ で液状化強度の判定を行ったが、本実験では繰返し回数 $N=20$ 回に達する前に両振幅せん断変位が0.2mmに達したケースがあったため、0.2~1.0mmの平均値である $\delta_{DA}=0.6\text{mm}$ を液状化の判定基準とした。図-3(b)は液状化強度と含水比の関係である。液状化強度は繰返し回数 $N=20$ 回における強度である。液状化強度は、締固めエネルギーの減少につれてその曲線の傾きが減少し、なだらかな形状となる。すなわち含水比の増加による強度の増加が小さいことがわかった。このことから、締固めエネルギーが小さい場合は、含水比を調整しても液状化強度の増加があまり見込めないといえる。また、各締固めエネルギーの液状化強度-含水比曲線をみると、液状化強度は最適含水比を越えたあたりにそのピークが現れる傾向がある。このことから液状化強度に着目すると、最適含水比よりも少し湿潤側で施工管理すると、最大の液状化強度が得られることを示唆している。締固めエネルギー100%において含水比が高い領域では過度に締固めることで、土を乱してしまい、大幅な液状化強度の低下がみられた。

4. まとめ

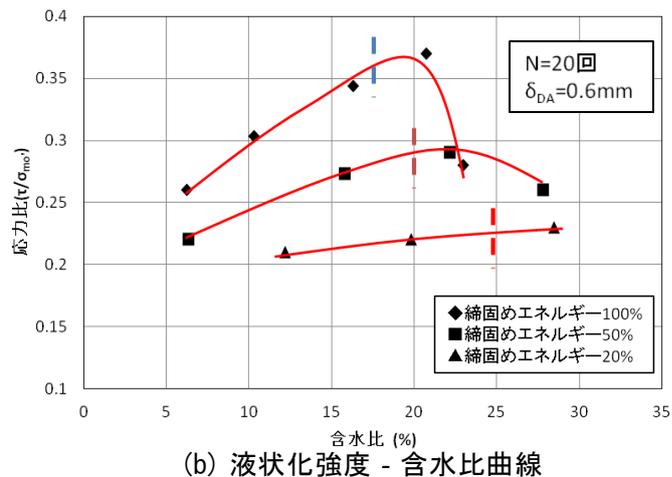
本研究では、定体積応力制御繰返し一面せん断試験によって締固めた砂質土の液状化強度について以下のことがわかった。1) 締固めエネルギーが増加するにつれて、液状化強度-含水比曲線の傾きが急になる。2) 液状化強度-含水比曲線は締固め曲線と同様に締固めエネルギーが増すと曲線が左上方に移動する傾向にある。3) 液状化強度のピークは最適含水比より湿潤側にあらわれる。

参考文献

- 1) 阿部, 仙頭, 定体積繰返し一面せん断試験機による粘着力を有する砂質土の液状化抵抗評価, 第46回地盤工学研究発表会, D-07, pp.415-416, 2011.
- 2) 地盤工学会, 地盤材料試験の方法と解説 - 二分冊の1, 丸善株式会社, pp.376-377, 2009.



(a) 締固め曲線



(b) 液状化強度 - 含水比曲線

図-3 締固め曲線と液状化強度の関係

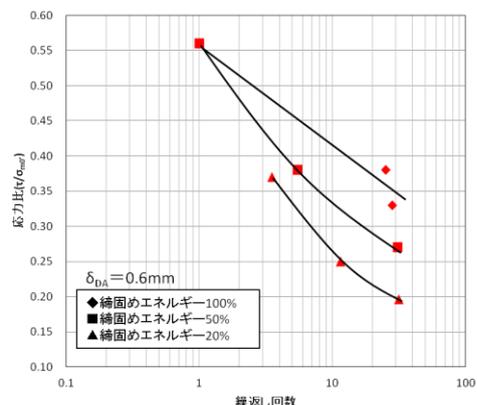


図-4 液状化強度曲線
($w=20\%$ ケース 2, 5, 10)