

宇都宮大学大学院

学生員 ○藤田 学

宇都宮大学工学部

正会員 横山 幸満

宇都宮大学工学部

正会員 今泉 繁良

住友建設(株)技術研究所

正会員 高橋 直樹

1. はじめに

多大な人命損失と都市破壊をもたらした「兵庫県南部地震」を教訓に、都市計画や防災などの各分野で、広域地盤条件の把握を含めた地盤工学的検討の重要性が再認識された。このような背景のもと、防災対策の一環として行政、大学、企業において地盤情報データベースの整備・開発が推し進められている¹⁾。また、栃木県内においてもその作業が進められており²⁾、地盤工学的検討の一つとして液状化に対する安全性の検討が試みられている。ことに液状化の可能性を含む県内に堆積する沖積砂層については、その動的特性を調査・検討し、防災計画に活かしていく必要がある。そこで、ボーリングデータを使用して道路橋示方書³⁾(以下、示方書とする)に基づく液状化判定を行った。また、判定結果との比較のため、渡良瀬遊水池地域に広く堆積する砂試料を現地より採取し、繰返し非排水三軸試験を行い液状化強度比を求めた。

2. 液状化判定

液状化判定には、既存の液状化判定式 F_L ³⁾, P_L ⁴⁾を用いた。判定対象地盤として栃木県南部渡良瀬遊水池内の代表的な地盤データを抽出し、地域区分 A ($c_z=1.0$)、地震動 type I ($c_w=1.0$: プレート境界型の大規模な地震を想定)、Ⅲ種地盤という条件で、設計水平震度 $k_{hc}=0.40$ として液状化判定を行った。なお、物理特性データが不足していた層については、旧示方書⁵⁾の概略値を参照した。地表面からの深さ z と動的せん断強度比 $R(c_w, N, FC, D_{50}, \sigma'_v)$ 、地震時せん断応力比 $L=r_d k_{hc} \sigma'_v / \sigma'_v$ 、液状化に対する抵抗率 $F_L=R/L$ の関係を表-1 および図-1 に示す。

深度 4~5(m), 9~10.2(m)付近で $F_L \leq 1$ (液状化する) となり、液状化指数 $P_L=13.04$ ($5 < P_L \leq 15$: 液状化危険度が高い) という判定結果となる。しかし、各液状化層が粘性土層や $F_L > 1.5$ となる層に挟まれていることから、この結果のみでは「地盤の液状化」を明確に判断することはできない。よって、今後地震応答解析や動的三軸試験の結果を用いたより詳細な検討が必要である。

3. 繰返し非排水三軸試験

3-1. 試験試料

本来ならば、繰返し非排水三軸試験に用いる試料は現地盤から不撓乱試料を採取すべきであるが、砂質土の不撓乱試料の採取には多大な費用と時間と労力が必要であるので、本実験では栃木県南部渡良瀬遊水池において撓乱試料を採取し、空中落下法により試料を再構成し実験を行った。試料の物理特性を表-2 に示す。

表-1: 液状化判定結果

Z(m)	R	L	F_L
2	-	0.445	-
3	-	0.536	-
4	0.235	0.588	0.398
5	0.223	0.612	0.364
6	-	0.644	-
7	-	0.681	-
8	-	0.704	-
9	0.225	0.705	0.319
10	0.425	0.690	0.616
11	1.270	0.673	1.887
12	1.443	0.657	2.195
13	1.140	0.642	1.775
14	0.637	0.628	1.014
15	2.835	0.616	4.596
16	1.554	0.609	2.550
17	0.664	0.601	1.104
18	2.931	0.592	4.948
19	-	0.581	-
20	-	0.572	-

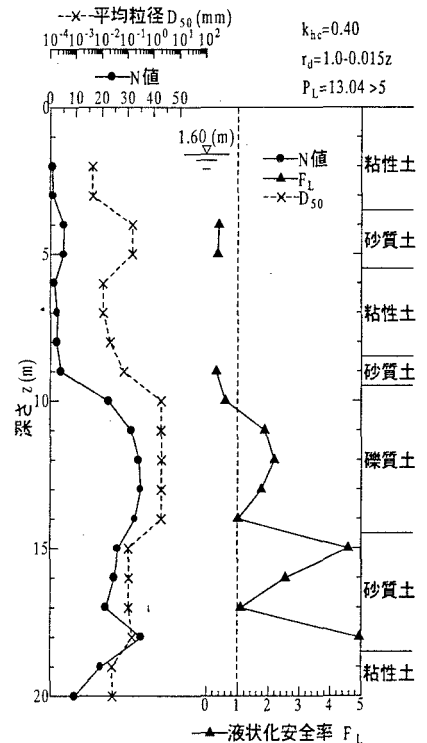


図-1: 液状化判定結果(渡良瀬遊水池内)

渡良瀬遊水池・砂の動的性質・繰返し三軸試験

栃木県宇都宮市石井 2753 TEL:028(689)6218 FAX:028(662)6367

3-2. 実験ケースおよび実験結果

圧密応力 $\sigma'_c=1.0(\text{kgf/cm}^2)$ ・正弦波軸荷重 (0.1Hz) で、現地盤を想定した 2 種の相対密度 $Dr=60,65(\%)$ に対して繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_c$ を 5 段階変化させて実験を行った. 表-3 に実験ケースおよび実験結果, 図-2(a),(b)に各 Dr における N と $\sigma_d/2\sigma'_c$ の関係を示す. 本実験では, 繰返し載荷回数 $N=20(\text{回})$ で軸ひずみ両振幅 $DA=5(\%)$ に達する時の $\sigma_d/2\sigma'_c$ を液状化強度比 $R_{\max}$ と定義した. すると図より, $Dr=60,65(\%)$ に対して, $R_{\max}$ はそれぞれ 0.187, 0.202 と求められる.

4. 液状化強度比の比較

実験に用いた試料の採取深度および物理特性が液状化判定対象地盤 4~5(m) 付近の砂層に近似していることより, 実験から求めた液状化強度比 $R_{\max}$ とボーリングデータを基に予測式から算出した $R_{4\sim5(m)}$ を同一砂層と考えて比較を行った. その結果 $R_{\max} < R_{4\sim5(m)}$ であり, ボーリングデータに基づく液状化強度比を用いた液状化抵抗率は, 過大に評価していることになる. したがって, 設計時には実験結果を優先すべきであると考えられる. 他方 $R_L < R_{4\sim5(m)}$ となる要因として, ① $R_{4\sim5(m)}$ を求めた予測式は Aging(年代効果)により粒子間の結合力および構造の発達を有した凍結不攪乱試料の実験結果に基づいたものであること②判定に用いた概略値と真値との間に大きな差が存在することが考えられるので, 今後①②の要因を解決していくため多くのデータの蓄積が必要である⁴⁾.

5. まとめ

- 1. 液状化判定の結果, 栃木県南部渡良瀬遊水池内の判定対象地盤では液状化の可能性が高いと判定されるが, その地盤構成上より詳細な検討が必要である.
- 2. 繰返し非排水三軸試験の結果, 栃木県南部の渡良瀬川流域に堆積する沖積砂層の液状化強度比 $R_{\max}$ を得た.
- 3. 液状化強度比の比較の結果, ボーリングデータに基づく液状化強度比を用いた液状化抵抗率は, 過大に評価していることになるので, 設計時には実験結果を優先すべきである.

参考文献

1) 全国地質調査業協会連合会技術委員会幹事会：地盤情報データベースの現況, 地質と調査 '94 第 2 号, 1994.

2) 藤田 学：栃木県地盤情報データベースの構築とその利用に関する研究, 宇都宮大学工学部建設学科平成 7 年度卒業論文, 1996.

3) 社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 平成 8 年 12 月, 1996.

4) 岩崎敏男・龍岡文夫・常田賢一・安田進：地震時地盤液状化の程度の予測について, 土と基礎, Vol. 28, No. 4, pp23-29, 1980.

5) 社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 平成 2 年 2 月, p112, 1990.

6) 柿本卓也・プラダン テージ・今井五郎：不攪乱及び再構成砂の液状化強度特性, 土木学会第 50 年次学術講演会講演概要集 3-A, pp496-497, 1995.

表-2：渡良瀬遊水池砂の物理試験結果

土粒子の密度 ρ_s	2.709	(g/cm ³)
最大密度 $\rho_{d\max}$	1.329	
最小密度 $\rho_{d\min}$	0.984	
最小間隙比 $e_{\min}$	1.038	
最大間隙比 $e_{\max}$	1.753	
粗礫分	0	(%)
中礫分	0	
細礫分	0	
粗砂分	4	
細砂分	77	
シルト分	6	(mm)
粘土分	13	
最大粒径	2	
D_{60}	0.140	
D_{50}	0.130	
D_{30}	0.110	
D_{10}	0.001	
均等係数 U_c	140	
曲率係数 U'_c	86.4	(%)
強熱減量 L_i	20.2	

表-3：繰返し非排水三軸試験の実験ケース及び実験結果 (sin 波, 0.1Hz)

実験 ケース	目標 $Dr(\%)$	実際の $Dr(\%)$	繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_c$	繰返し載荷回数 N_c		
				DA 1%	DA 2%	DA 5%
1	60	59.86	0.137	194.13	211.30	245.58
2		60.58	0.165	33.72	39.32	45.19
3		61.55	0.194	7.52	10.11	13.64
4		63.96	0.211	3.20	4.94	7.11
5		62.92	0.242	1.24	2.22	3.91
6	65	66.05	0.170	20.28	25.05	30.23
7		69.98	0.191	9.77	12.70	16.78
8		66.23	0.219	2.44	3.81	5.84
9		64.06	0.235	1.23	2.91	4.65
10		66.44	0.261	0.63	1.17	2.36

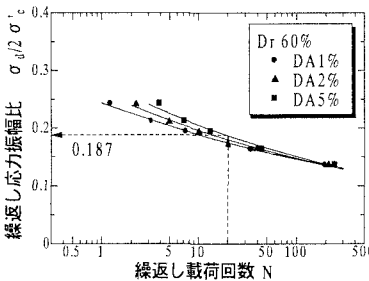


図-2(a)：繰返し応力振幅比と繰返し回数の関係

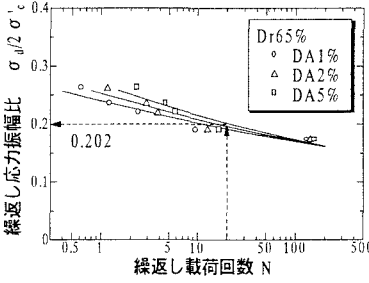


図-2(b)：繰返し応力振幅比と繰返し回数の関係