前橋泥流堆積物のブロックサンプルを基にした液状化強度

液状化	火山灰質砂質土	N 值	(株)	黒岩測量設計事務所	正会員	○樋口	邦弘
				同上		設楽	信昭
			群馬ナ	大学社会環境デザイン工学専攻	国際会員	鵜飼	恵三

1. まえがき

前橋泥流堆積物は弱固結した火山灰質砂質土地盤からなり、この地盤が利根川沿いに高さ 10 数 m の連続した崖をなして露 出している。当地盤は N 値が 3~10 前後と小さくかつ地下水で飽和されていることから、N 値から算定される液状化強度比 R_L =0.1~0.3 を基にこれまで液状化すると判定されてきた。しかし、当地盤は深度が 5m 以上と深いため試掘によるブロックサンプ リングが難しく、また大小の礫を大量に含むためボーリング孔を用いたサンプリングもできず、これまで乱さない試料を基にした液 状化強度特性を把握することができなかった。

筆者らは、2001年に当地盤の分布する下流部玉村町においてテストピットから採取したブロックサンプルを基に繰返し非排水 三軸試験を行い、液状化強度比 R_L =0.57(細粒分含有率FC=31.3%)の試験値を得た¹⁾。さらに、2008年~2009年に当地盤の分布する上流部大渡町と中流部六供町の下水道工事掘削箇所を利用して採取したブロックサンプルから同様に液状化強度比 R_L =0.43(FC=8.0%)および0.69(FC=28.2%)を得た。当地盤のFCは一般に20~35%であり、上流部大渡町のFC=8.0%は細粒分の極めて少ない局所的な粒度特性を示している。この細粒分の極めて少ない上流部大渡町の地盤においても液状化強度比が R_L =0.43と、N値から算定される R_L =0.1~0.3に比べ大きく、液状化しないと判定できた。

この判定の差異から、N 値による R_Lの算定値が未固結な砂質土地盤を対象としており、乱さない状態の弱固結した火山灰質砂 質土地盤に対しては N 値による R_L 値の算定が困難と言えよう。

2. 前橋泥流堆積物の分布とブロックサンプリング位置

浅間火山は、今から約 2.1~2.4 万年前に大規模な山体崩壊が発生し、崩壊した山体が岩屑なだれとなって浅間山の南麓と北 麓に流れ下った。群馬県側の北麓を流れ下った岩屑なだれは水と混じり泥流となって吾妻川沿いを流下し、榛名山と赤城山の間 から関東平野に流れ出した。この前橋市を頭として扇状に堆積した泥流は「前橋泥流堆積物」と呼ばれている。この堆積面はその 地形が平坦な広がりをもった台地を形成していることから「前橋台地」と呼ばれている。前橋台地は、図-1 に示すように西側を榛 名火山山麓から岩野谷丘陵で、また東側を赤城火山山麓から大間々扇状地で挟まれた地域に分布する。図-2 に前橋台 地におけるブロックサンプリングの位置を図示す。



Liquefaction resistance by Brock sample of Maebashi volcanic mudflow deposit

Kunihiro HIGUCHI, Kuroiwa Survey Design Office Co., Ltd. Nobuaki SHITARA, Kuroiwa Survey Design Office Co., Ltd. Keizo UGAI, Department of Civil and Environmental Engineering, Gunma University 前橋台地の下流部玉村町における地質断面図を図-3 に示す。 前橋砂礫層を覆って分布する前橋泥流堆積物は弱固結部を主とし, その上部は1~2m 程度の厚さをもった N 値 50 前後の固結部に変 化している。前橋泥流堆積物を覆って凝灰質シルトおよび腐植土 などの軟弱な新しい堆積物が 2~3m の厚さで堆積し,前橋台地 の表層部を形成している。

3. ブロックサンプリング位置のN値

ブロックサンプリング位置およびその近接地で実施されたボー リング調査に伴う標準貫入試験で得られた N 値を図-4 に示す。 同図に示した弱固結部の N 値の分布から,上流部大渡町の N 値 は深度 5~9m 間で小さく,10m 以深で増加する傾向が見える。 中流部六供町の N 値は深度 5~7m で小さく,それ以深では増加 している。下流部玉村町の N 値は深度 5~7m で小さくそれ以深 では増加している。このように 3 地点とも深度 5~7m 付近で N値が最も小さく,その最小値は N=3~6 の範囲にある。

このことからブロックサンプリングの位置を、礫の影響が少な くなる深度でかつ N 値の小さい区間とし、その中で掘削深さを 最小限に抑えることを考慮し、弱固結部の上部に当たる深度 5.5m±とした。



図-3 地質断面図(下流部玉村町)



図-4 ブロックサンプリング地点のN値

4. ブロックサンプリング

図-2 に示す井野川低地と広瀬川低地に囲まれた前橋台地において上流部大渡町,中流部六供町および下流部玉村町の3地点でブロックサンプリングを行った。下流部玉村町で2001年3月に実施したテストピット(深さ5.5m,底部の広さ10m×7m)の状況を写真-1に示す。また、上流部大渡町では2008年4月に下水道マンホール掘削部,中流部では2009年3月に下水道構造物箇所の開削部を利用してブロックサンプリングを行った。これらの状況を写真-2および3に示す。前橋泥流堆積物は礫を多く含むことからブロックサンプリングの可能性を懸念したが,弱固結していることもあり写真-4に示すように3地点ともブロックサンプルを採取することができた。3地点うち上流部大渡町のサンプルのみサンプルを持ち上げる時に割れることがあった。この原因は、上流部大渡町のサンプルのみが細粒分含有率 FC=8.0%ときわめて少ないことから、細粒分のセメンテーションで発揮される弱固結状態が他の2地点に比べやや弱くなり、砂粒子の影響が強くなったことによるものと推察される。

上流部大渡町、中流部六供町および下流部玉村町のブロックサンプリング位置、時期およびブロックサンプルの状況

を表-1 にまとめて示す。また、上流部大渡町・中流部六供町および下流部玉村町の順に並べたブロックサンプルの状況を写真-4 に示す。



写真-1 下流部玉村町のテストピット:深さ 5.5m (底部 10m×7m)

写真-1の右側掘削面の小段が前橋泥流堆積物の上面。小断面から 切り込んだ底部までが固結部で、その下位は弱固結部となる。



写真-2 上流部大渡町の掘削部



写真-3 中流部六供町の掘削部



上流部大渡町

中流部六供町

写真-4 ブロックサンプルの状況

下流部玉村町

表-1 ブロックサンプルの状況

地点名	時 期	距離	深度	サンプリング箇所の状況	ブロックサンプルの状態
上流部大渡町	2008年4月	0.9km	5.5m	下水道マンホール掘削部を利用	持ち上げるとき割れやすい
中流部六供町	2009年3月	5.0km	5.4m	下水道構造物の開削部を利用	割れにくく安定している
下流部玉村町	2001年3月	12.2km	5.5m	テストピット(10m×7m)	割れにくく安定している

注)距離は図-2に示す大渡橋から断面線に投影した距離とした。

5. 繰返し非排水三軸試験と液状化強度比 RL

下流部玉村町において、新しい堆積物の単位体積重量 $\gamma_t = 16 \text{kN/m}^3$ および前橋泥流堆積物の $\gamma_t = 19.5 \text{kN/m}^3$ を基に深度 5.5m の平均主応力 σ'_m を求める。現場透水試験から深度 5.5m の間隙水圧 $U=22.4 \text{kN/m}^2$ から、同深度の有効上載圧 $\sigma'_v = 79.6 \text{kN/m}^2$ が得られる。静止土圧係数を $K_o = 0.5$ とすると、

平均主応力 σ'm = (σ₁+2σ₃)/3 = (79.6+2×0.5×79.6)/3 = 53.1 ≒ 50kN/m² となる。

この平均主応力 $\sigma'_m = 50$ kN/m²を基に圧密応力 $\sigma'_c = 50$ kN/m²とした条件の下で繰返し非排水三軸試験を行った。この試

験で得られた軸ひずみの両振幅 DA=5% の繰返し載荷回数と繰返し応力振幅比の関係を図-5 に示す。同図から繰返し 載荷回数 Nc=20 に対する 3 地区の液状化強度比 R_Lを求め以下に示す。

上流部大渡町:液状化強度比 R_L=0.43 中流部六供町:液状化強度比 R_L=0.69 下流部玉村町:液状化強度比 R_L=0.57

6. 細粒分含有率 FC と液状化強度比 RL

ブロックサンプルの粒径加積曲線を図-6 に示す。 細粒分含有率 FC は上流部大渡町で FC=8.0%,中流部 六供町で FC=28.2%,下流部玉村町では FC=31.3%と なった。中流部六供町と下流部玉村町では FC=28.2~ 31.3%と細粒分を比較的多く含んでいるが,下流部大 渡町では FC=8.0%と細粒分が極めて少ない特徴があ る。図-2 に示した既存粒度試験位置の深度 5~6m における FC と 3 地点の供試体から得られた FC を併 せ図-7 にその分布を示す。この分布から,深度 5~ 6m の細粒分含有率は一般に FC=20~35%であり,中 流部六供町および下流部玉村町はこの範囲に含まれる。 しかし上流部大渡町の FC=8.0%は極めて小さく,局 所的な粒度特性を呈していると言えよう。



図-6 供試体の粒径加積曲線

3 地区の液状化強度比 *R_L*と細粒分含有
率 *FC*の関係を求めると図-8のようになる。*FC*の多い中流部六供町と下流部
玉村町で *R_L*が大きくなる傾向が認められる。

一般の砂質土において細粒分が多くなるにしたがって繰返し応力振幅比が高くなり、かつ同じ細粒分含有率 FC おいては塑性指数 Ip の大きい砂質土ほど液状化に対する抵抗率が高くなることが知られている。この傾向は図-8 に示したように弱固結した前橋泥流堆積物にも当てはまるようである。

上流部大渡町の場合、供試体の細粒分



図-5 繰返し載荷回数と繰返し振幅応力比の関係図



図-7 深度 5~6mの細粒分含有率 FC



含有率が FC=8.0%と小さいことから、細粒分間のセメンテーションに比べ粗粒子間のセメンテーションの結合力が小さくなるものと推察され、そのため R_Lも小さくなるものと考えられる。

7. 液状化強度比 RLの試験値と N 値による算定値との比較

下流部玉村町で実施した三成分コーン貫入試験から深度方向の液状化強度比 *R*_Lの増加傾向を推定した結果、深度方向 に 0.01/m の増加が推定できた。この深度方向の *R*_Lの増加を考慮しブロックサンプルを基にした *R*_Lの深度方向の分布を 求め図-9 に示す。

また同図に *N* 値による R_L の算定値を比較のために併記した。*N* 値による R_L の算定値は道路橋示方書 V 耐震設計編²⁾の算定方法を用いた。算定方法を以下に示す。

 $(N_a \le 14)$

(1)

 $R_L = 0.0882 (N_a / 1.7)^{0.5}$ $R_L = 0.0882 (N_a / 1.7)^{0.5} + 1.6 \times 10^{-6} \cdot (N_a - 14)^{4.5}$ 砂質土の場合 $N_a = c_1 \cdot N_1 + c_2$ (2) $N_1 = 170 N / (\sigma'_v + 70)$ $(0\% \le FC < 10\%)$ $c_1 = 1$ $c_1 = (FC + 40) / 50$ $(10\% \leq FC < 60\%)$ $c_1 = FC / 20 - 1$ $(60\% \leq FC)$ $c_2 = 0$ $(0\% \le FC < 10\%)$ $c_2 = (FC - 10) / 18$ $(10\% \leq FC)$ ただし, R_L:液状化強度比 *N*:N值 FC:細粒分含有率

これまでN値から算定されていた上式の方法で算定した R_L 値は、図-9に示す様に $R_L=0.1\sim0.3$ ときわめて小 さく表示される。一方、ブロックサンプルの繰り返し非 排水三軸試験から得られた R_L 値は $R_L=0.43\sim0.69$ と大き く、両者の値には明瞭な差異が認められる。



8. 液状化の判定

道路橋示方書V耐震設計編²⁾では,橋の供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度をもつ地震動(レベル2)を 対象とし、プレート境界型地震を想定したタイプIの地震動と、内陸直下型地震を想定したタイプIIの地震動について それぞれ液状化判定が行われている。同示方書における地盤種別の基準を基に前橋泥流堆積物をII種地盤とし、液状化 判定を行う。

液状化に対する抵抗率 FLを求める式を以下に示す。 $F_L = R / L$ (3) R:動的せん断抵抗比 L:地震時せん断応力比 $R = c_w \cdot R_L$ (4) $L = \gamma_d \cdot k_{hg} \cdot \sigma_v / \sigma'_v$ (5) $\gamma_d = 1.0 - 0.015x$ *x*:深度 c_{7} :地域別補正係数(群馬県: $c_{7}=1$) $k_{hg} = c_z \cdot k_{hg0}$ タイプIの地震動の場合 $c_w = 1.0$ (Ⅱ種地盤の場合) $k_{hg0} = 0.35$ タイプⅡの地震動の場合 $c_w = 1.0$ $(R_L \le 0.1)$ $c_w = 3.3R_L + 0.67$ $(0.1 \le R_L \le 0.4)$ $c_w = 2.0$ $(0.4 \le R_L)$ $k_{hg0} = 0.70$ (Ⅱ種地盤の場合) 液状化の判定基準 $F_L \leq 1.0$:液状化する

 $F_L > 1.0$: 液状化しない

表-2 液状化判定に用いた上載圧と間隙水圧

深度	上載	压σ _v (kt	N/m^2)	間隙水圧 U (kN/m ²)			
(m)	上流部 大渡町	中流部 六供町	下流部 玉村町	上流部 大渡町	中流部 六供町	下流部 玉村町	
2.5	40.00	40.00	43.50	0.00	0.00	0.00	
3.5	56.00	57.40	63.00	0.00	9.00	9.00	
4.5	73.65	76.20	82.50	3.00	15.00	15.00	
5.5	92.95	95.00	102.00	11.71	22.40	22.40	
6.5	112.25	113.80	121.50	17.43	31.10	31.10	
7.5	131.55	132.60	141.00	25.88	39.90	39.90	
8.5	150.85	151.40	160.50	34.63	48.60	48.60	
9.5	170.15	170.20	180.00	43.38	56.00	56.00	
			上流部大	大渡町 y _t =19.3kN/m ³			
前橋泥流堆積物の 単位休積重量			中流部六供町 γ, =18.8kN/m ³				
	구고가가질크		下流部玉村町 γ _t =19.5kN/m ³				
前橋泥流堆積物の間隙水圧:現場透水試験の平行水位から推定							

上記の液状化判定式に表-2に示す3地点上載圧と間隙水圧を考慮し、前橋泥流堆積物の液状化判定を行った。

タイプ I の地震動の液状化に対する抵抗率 F_L を図-10 に、タイプ II の地震動の液状化に対する抵抗率 F_L を図-11 に示す。なお、図-10 および図-11 において示した深度 5.5m の試験値による F_L は、ブロックサンプルの試験値 R_L に対応する F_L である。



図-10 と図-11 から、従来の N 値から算定された液状化強度比 R_L を基にした液状化に対する抵抗率 F_L はタイプ I の 地震動に対してほぼ F_L =0.3~0.7 の範囲にあり、またタイプ II の地震動に対してはほぼ F_L =0.1~0.6 の範囲にプロットさ れ、いずれも F_L <1.0 であり "液状化する"と判定された。しかし、ブロックサンプルすなわち乱さない試料を用いた 液状化強度比 R_L =0.43~0.69 を基にした液状化に対する抵抗率 F_L はタイプ I とタイプ II とも同じ値を示し、 F_L =1.15~1.7 の範囲にあり、3 地点とも F_L >1.0 から "液状化しない"と逆の判定となった。

9. あとがき

前橋泥流堆積物の液状化をこれまで N 値から判定してきた。今回,この地盤の分布域から代表できる上・中および下流部の3地点でブロックサンプルを基にした繰り返し非排水三軸試験で液状化強度比 R_Lを求め液状化判定をおこなった結果,前橋泥流堆積物は"液状化しない"と判定でき,従来のN 値からの液状化するとの判定とは逆な判定が得られ,N 値からの判定を否定することになった。

前橋泥流堆積物は弱固結した地盤である。一方, N 値による液状化強度特性の算定は未固結な砂質土地盤を対象としている。この判定から,弱固結地盤の液状化強度特性は N 値で評価することができないといえる。すなわち,前橋泥流 堆積物は液状化判定に N 値を適用することが困難な地域特性のある地盤であると判断される。

弱固結した前橋泥流堆積物の"液状化しない"との判定で、構造物基礎の経費が大幅に低減されることになる。すな わち液状化強度特性を正当に評価することでコスト縮減の可能性が高くなることから、重要構造物の設計施工に際して 当地盤の乱さない試料を採取し液状化強度特性を求める努力を続けることが望まれる。

現段階では,露頭観察やブロックサンプルの状態および走査電子顕微鏡観察などを基に「前橋泥流堆積物が弱固結している」と判断しているが,この固結状態の程度を力学的に証明するまでには至っていない。今後の研究課題として, 固結状態の程度の明確化と,固結状態の程度と液状化強度特性の発現との関係の究明等が挙げられる。

謝辞:(財)群馬県建設技術センターおよび前橋市下水道建設課にはブロックサンプリングと室内試験の実施の機会を与 えていただき,かつデータを提供して頂いた。また,応用地質(株)コアラボにおいて困難な試料整形作業を始めとし室 内試験に対する協力を得て液状化強度特性を確認することができた。ここに関係者各位に深く感謝する次第である。

参考文献

- 1) 設楽信昭, 樋口邦弘, 武井上巳, 廣井由美, 鵜飼恵三: 前橋泥流堆積物からなる地盤の液状化強度, 第 47 回地盤工 学シンポジウム, pp.165-172, 2002.
- 2) 社団法人日本道路協会:道路示方書·同解説 V 耐震設計編, pp.121-123, 2002.