

火山灰質土の液状化判定に資する簡易な液状化調査法に関する検討

土木研究所寒地土木研究所 正会員 ○橋本 聖
 土木研究所寒地土木研究所 正会員 林 宏親
 土木研究所寒地土木研究所 正会員 畠山 乃
 土木研究所寒地土木研究所 正会員 青木 卓也

1. はじめに

2018年9月6日に発生した北海道胆振東部地震（以下、地震とする）により、札幌市清田区里塚地区で造成された宅地盛土が液状化に伴い大規模に流動した。寒地土木研究所では地震直後より自主調査¹⁾を実施した結果、被災範囲は南北方向に約50～100m、東西方向約400mに及び、被災箇所西側では（図-1 ピンクの範囲）道路の陥没や家屋の変状が発生した、同東側（同ブルーの範囲）では大量の土砂（火山灰質土）が堆積した。

本報告は、経済的に地下水位以下にある盛土の液状化の有無を簡易に判定する調査法の妥当性について、非塑性の火山灰質土で宅地造成された盛土を対象に、従来の液状化調査手法と比較および検証した結果である。

2. 現地調査の概要

図-1 は地震により被災した影響範囲および現地調査を実施した位置を示す。現地調査は里塚中央ぽぷら公園（以降、公園とする）内でボーリング4箇所（B-1, 2, 3, 14）、簡易動的コーン貫入試験（PDC-1, 2, 3, 14、以降、PDC）4箇所のほか、採取した試料に対し物理試験を実施した。

PDC（Piezo Drive Cone）²⁾ はミニラムの先端コーンに間隙水圧を計測できる装置で、重さ 294N のドライブハンマーを高さ 35cm から自由落下させて、直径 28mm のロッド先端に角度 90°、直径 36.6mm、長さ 69mm の円錐コーンの 1 打撃ごとの貫入量から貫入抵抗値 N_d を評価するとともに、先端コーン内に設置された水圧計により、打撃貫入で生じる地盤内の間隙水圧 u_R から細粒分含有率 F_{c_pdc} を推定（ $F_{c_pdc}=18 \times u_R / \sigma'_v$, u_R / σ'_v : 間隙水圧を有効上載圧 σ'_v で正規化した値）することで、地盤の液状化強度を簡易に把握できる調査法といわれている。

図-2 は調査地点の断面図である。調査箇所は造成盛土（Bk）が地震後の流動と思われる事象によって、公園内の B-2 地点が大きく凹んだ。造成盛土は B-1 と B-2 の盛土底部は火山灰質シルト（Dvc）、B-3 と B-14 の盛土底部は火山灰（Dv）、B-1 と B-2 の盛土厚が相対的に厚い。

図-3 は公園内で採取（B-1, 2, 3, 14）した飽和部の盛土材料であり平均粒径 $D_{50}=0.145\text{mm}$ 、均等係数 $U_c=23.1$ 、細粒分含有率 $F_c=34.5\%$ の非塑性（N.P.）、土粒子密度 $\rho_s=2.31\text{g/cm}^3$ の礫混じり火山灰質砂（支笏火砕流堆積物（Spfl）、以下、火山灰質土）であった。この材料は 2003 年十勝沖地震の際に、本現場と同一材料で宅地造成した盛土が液状化で被害が生じている。本調査は 2 孔（B-1, B-2）のボーリング箇所 で標準貫入試験と土の粒度試験で得られた N 値と細粒分含有率（ F_{c_JIS} ）と、PDC で得た N_d 値と細粒分含有率（ F_{c_pdc} ）より、道路橋示方書³⁾（以降、道示）に従い液状化強度 R と液状化抵抗率 F_L を比較した。



図-1 里塚地区調査平面図

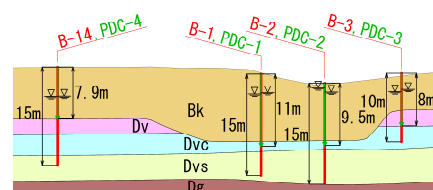


図-2 里塚地区調査断面図

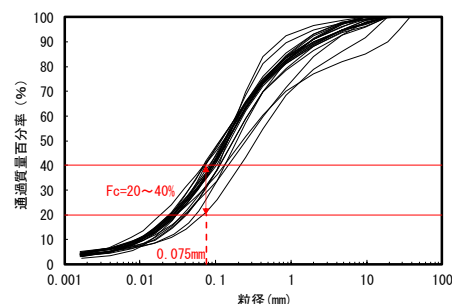


図-3 採取試料の粒度分布の比較

キーワード：火山灰質土、簡易動的コーン貫入試験、液状化

連絡先：〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号 寒地土木研究所寒地地盤チーム TEL:011-841-1709

3. 実験結果と考察

図-4 は B-1, B-2 において標準貫入試験と土の粒度試験で得られた N 値と細粒分含有率 F_{c_JIS} , B-1, B-2 近傍で PDC により得られた N_d 値と推定された細粒分含有率 F_{c_pdc} を示す。図中の WL_pdc (bor) は PDC 貫入孔とボーリング孔の地下水位を示す。

図-4 a), d) をみると、一部、 N_d 値は N 値を上回っているが概ね同一の値である。一方、図-4 b), e) をみると、土の粒度試験で得られた F_{c_JIS} は造成盛

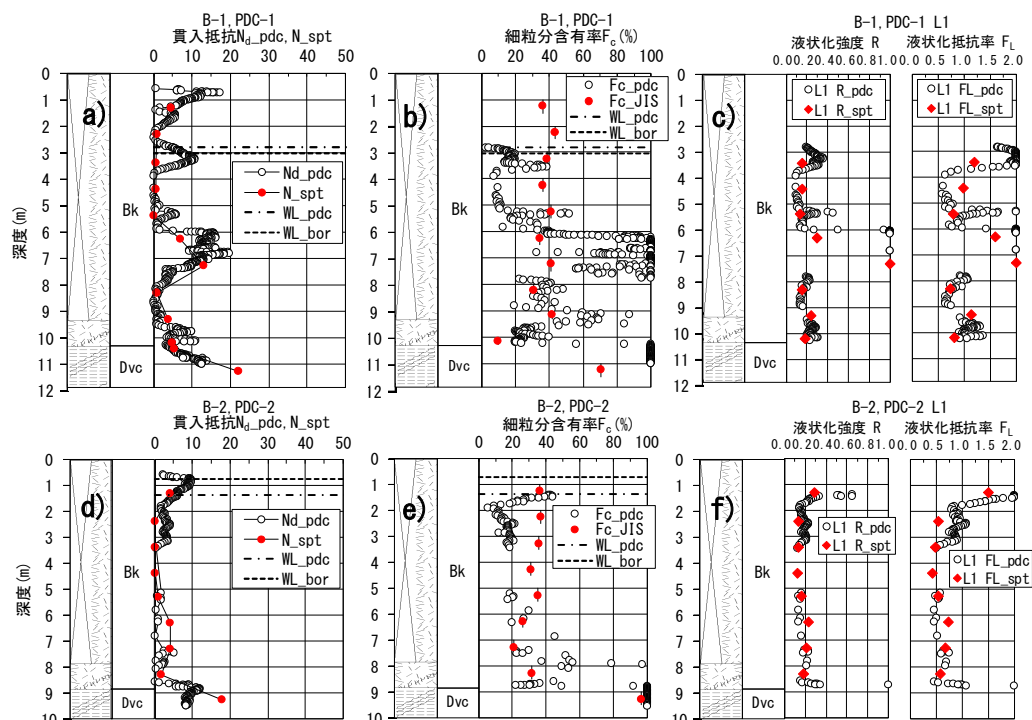


図-4 各調査箇所における調査深度と N (N_d), F_c , R , F_L の関係

土 (Bk) では 20~40% の範囲に対し、PDC で得られた F_{c_pdc} は 0~100% と非常に幅広い結果であった。 F_{c_pdc} は土被り圧が 5m 以浅でかつ $N_d \neq 0$ では相対的に F_{c_JIS} より小さく、 $N_d \geq 10$ あるいは $N_d \neq 0$ でも土被り圧が 5m 以深では逆に F_{c_JIS} より大きくなる傾向にある。これらの調査結果を基に R と F_L を整理すると、双方の貫入抵抗が $N(N_d) \leq 5$ であれば F_{c_JIS} と F_{c_pdc} に差があっても R と F_L は概ね良い相関がある (図-4 c), f))。

以上より、火山灰質土に対する PDC の適用性について考察する。八木ら⁴⁾は火山灰質土の N 値とコーン貫入抵抗には相関性が認められるとの結果を得ているが、本調査結果も八木らと同様に N 値と N_d 値は概ね高い相関性を有する結果を得た。また、 F_{c_JIS} は 20~40% であったが、既往調査⁵⁾による支笏火砕流堆積物の F_c は 10~50% であり本調査の F_{c_JIS} もその範囲内にあった。これに対して、 F_{c_JIS} と F_{c_pdc} を比較すると、土被り圧や N_d の大小によって相違が生じた。この理由として、火山灰質土の F_{c_JIS} は 20~40% であるが N.P. (非塑性) であるため、土被り圧が 5m 以浅でかつ $N_d \neq 0$ といった緩く火山灰質土が堆積した環境では透水性が高いために u_R が低く評価され、逆に $N_d \geq 10$ あるいは $N_d \neq 0$ でも土被り圧が 5m 以深では火山灰質土が密な状態で透水性が低いために u_R が高く評価された可能性がある。結果として R や F_L に良い相関がみられる箇所もあるが、PDC の特性上、 F_{c_pdc} は 2. で記載した式のとおり u_R に依存するため、非塑性の火山灰質土の堆積環境によって F_{c_pdc} は実態と大きく乖離することがわかった。

4. まとめ

細粒分を有する非塑性の火山灰質土に対する PDC の適用性を評価した結果、土の粒度試験と PDC で得られる F_c に差異が生じた。その要因は火山灰質土の締固め度や透水性に起因すると考えられるが、貫入抵抗が $N(N_d) \leq 5$ であれば従来の評価手法と PDC による F_L の評価は概ね調和的であった。今後、PDC を火山灰質土へ適用する際の適用性について、特に透水性 (締固め度) と u_R の関係を定量的に評価したいと考えている。

謝辞： 標準貫入試験と土の粒度試験の結果は札幌市役所より提供して頂いた。記して厚くお礼申し上げる。

【参考文献】 1) 国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所 HP : http://jiban.ceri.go.jp/news/news180912_01.html, 2015. 2) Sawada, S : Estimation of liquefaction potential using dynamic penetration with pore pressure transducer, International Conference on Cyclic Behavior of Soil and Liquefaction Phenomena, Bochum, pp.305-312, 2004. 3) 公社) 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, pp.161-170, 2018. 4) 八木一善, 三浦清一 : 破砕性火山灰地盤の力学特性の評価, 土木学会論文集, No.757/III-664, pp.221-234, 2002. 5) 公社) 地盤工学会北海道支部 : 実務家のための火山灰質土, pp.27-28, 2010.