

熊本地震で液状化した地盤のサウンディング試験結果

高知大学 正会員 原 忠 ○学生会員 田所 佑理佳
国立研究開発法人防災科学技術研究所 正会員 中澤 博志 佐賀大学 正会員 末次 大輔
株式会社ニュージェック 正会員 竹澤 請一郎 株式会社第一コンサルタンツ 正会員 北澤 聖司

1. はじめに

2016 年熊本地震では、4 月 14 日 21 時 26 分に熊本県熊本地方を震源とする $M_W=6.2$ の前震と、4 月 16 日 1 時 25 分に発生した $M_W=7.0$ の本震の 2 度の強い揺れにより、熊本市内や益城町などで広く液状化が生じた¹⁾。液状化被害が生じた地域では、その後の地盤強度の回復や堆積構造の変化が構造物の再建に大きく影響することから、液状化地盤の時系列的な強度の変化を適切に把握する必要がある。一方、地震後の液状化地盤の強度回復や堆積構造の変化を現地試験から検討した研究は多くない^{2), 3)}。

本報では、熊本市南区で液状化が生じた地点において、実施時期の異なる 2 種類のサウンディングの調査結果について貫入抵抗値の変化を整理する。

2. 現地調査の概要

現地調査は、図 1 に示す熊本市南区十三児童公園で実施した。当該地点は土地条件図⁴⁾で自然堤防に分類された地点である。図 2 は地震発生から約 1 か月後の被害状況を示したものである。地表面には帯状に噴砂が見られ、近接する民家では地震後に基礎部が 30cm 程度沈下していた。現地調査は、表 1 に示すように地震発生から約 1 か月後の 2016 年 5 月、約 3 か月後の 7 月、約 9 か月後の 2017 年 1 月の 3 回実施し、2 種類のサウンディング試験（簡易動的コーン貫入試験（以下、PDCP と称する）と軽量簡易動的貫入試験（以下、PANDA と称する））を噴砂が見られた同地点で実施した。ここで、PDCP は 5kg のおもりを 50cm の高さから落下させ、ロッドが 10cm 貫入するのに要する打撃回数（ N_d 値）を測定するもので（JGS 1433）、岡田ら⁵⁾の換算式から換算 N 値を算出できる。標準貫入試験に比べ簡便な方法ではあるが、地盤の連続的な変化を捉えることはできない。当該試験は液状化地盤の評価に用いられた実績⁶⁾を有する。一方、PANDA はハンマーによる任意の打撃力によってロッドと先端コーンを地盤に打ち込み、1 打撃毎の貫入抵抗値 q_d を求めるもので⁷⁾、液状化判定に用いる N 値との結びつきは低いものの、空間分解能が高く、PDCP に比べ連続的な地層の変化を捉えることができる。なお、第 1 回調査では、深度方向の内面的な地盤の軟硬を把握するため、表面波探査を併せて実施した。

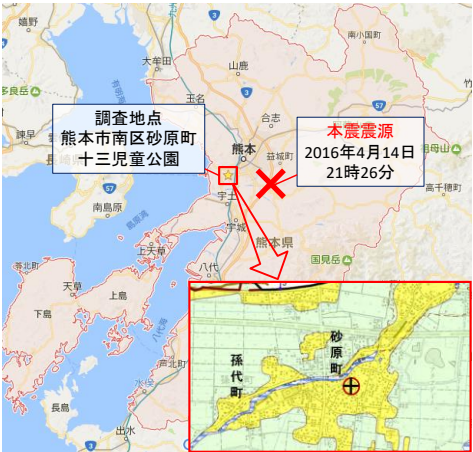


図 1 調査地点（Google マップと地理院地図に加筆）



図 2 十三児童公園の被害状況

表 1 十三児童公園における調査項目

調査日	調査項目
2016年5月5日	PDCP・PANDA・表面波探査
2016年7月26日	PDCP・PANDA
2017年1月21日	PDCP・PANDA

3. 液状化層の推定

図 3 は第 1 回調査で得られたサウンディング結果¹⁾を示す。図中には、表面波探査と国土情報検索サイト（KuniJiban）⁴⁾から抜粋した近隣のボーリングデータを併記する。両試験結果とも、G.L.-1m までの表層で造成時の締固めに起因した硬質な地盤がみられるが、おおよそ G.L.-1m～-5m の範囲では換算 N 値が 10 以下、貫

入抵抗値 $q_d = 10\text{MPa}$ 以下の軟弱な地層が連続して堆積し、せん断波速度 $V_s = 100 \sim 150\text{m/s}$ 程度の低速度層とほぼ合致している。G.L.-5m 以深では、特に PANDA の貫入抵抗値が増加し、地表面に比べ V_s も増加している。孔内水位計の結果によれば、G.L.-1m 付近から地下水位が見られること、PDCP のロッドに付着した堆積試料と噴砂の色彩が類似し、かつ近傍のボーリング結果に示された軟弱な砂層と地層構成がほぼ合致していることなどから、およそ G.L.-1m ～-5m 程度の軟弱層が液状化したと推定した。

4. サウンディング試験による液状化地盤の継続的な調査結果

図 4 は調査地点を対象とした計 3 回実施したサウンディング結果をまとめたものである。前述の G.L.-1m ～-5m の推定液状化層に着目すると PDCP は表層部で礫当たりと思われる換算 N 値の増加が見られるが、軟弱層の値の増減は大局的にほとんど見られない。それに対し、地震発生約 9 か月後の結果において、G.L.-3.5m 以深の換算 N 値が低下しているが、その原因は調査の範囲では不明である。一方、PANDA は G.L.-2m ～-4m 程度の推定液状化層において地震発生約 3 か月後の第 2 回の調査結果では貫入抵抗値 q_d が $6\text{MPa} \sim 9\text{MPa}$ 程度と大きく増加している。それに対し、地震発生約 9 か月後の第 3 回調査結果では前回調査に比べ、平均して約 1MPa の増加に留まる。すなわち、PANDA の結果に基づけば、液状化による地盤の緩みは、地震発生からの時間経過によって回復傾向を示し、貫入抵抗値の時系列的なわずかな値の増減は、打撃エネルギーが小さく連続的な地層の評価が可能な PANDA により、ある程度評価できると推察される。

5. まとめ

- ① サウンディング結果および表面波探査の結果から、G.L.-1m ～-5m 程度の軟弱層が液状化したと推察された。
- ② 調査地点で実施した 3 回のサウンディング結果から、液状化による地盤の緩みは、地震発生後からある程度の期間を経て回復傾向を示した。
- ③ 貫入抵抗値のわずかな変化は PANDA によりある程度評価することが出来ると推察された。

謝辞

現地調査では、株式会社ニュージェックの蔭山太俊氏、三浦英景氏、深津宗祐氏、佐賀大学の松尾光流氏、高知大学の棚谷南海彦氏、林聖淳氏の協力を得た。筆末にて感謝の意を表します。

【参考文献】1) 原ほか：平成 28 年熊本地震で被災した液状化地盤の特徴、日本地震工学会年次大会、2016。2) 楠ほか：液状化後地盤柱状の長期的変化に関する室内模型実験、土木学会論文集 A1、Vol.69、No.4、I 326-I 336、2013。3) 中澤ほか：空港における滑走路を対象とした液状化対策に関する実験的研究、土木学会論文集 F、Vol.66、No.1、pp.27-43、2010。4) 国土地理院（地理院地図）：<http://www.gsi.go.jp/>（2016.5.9.閲覧）5) 岡田ほか：盛土表層部の土質強度に関する異種のサウンディング試験の相関性、土と基礎、Vol.40、No.4、pp.11-16、1992。6) 原ほか：丸太打設で補強した液状化地盤の原位置調査、木材利用研究論文報告集、Vol.11、pp.87-94、2012。7) Langton, D.D.: The Panda lightweight penetrometer for soil investigation and monitoring material compaction. Ground Engineering, September, 1999, pp.33-34。8) 国土情報検索サイト（KuniJiban）：<http://www.kunijiban.pwri.go.jp/index.html>（2016.5.9.閲覧）

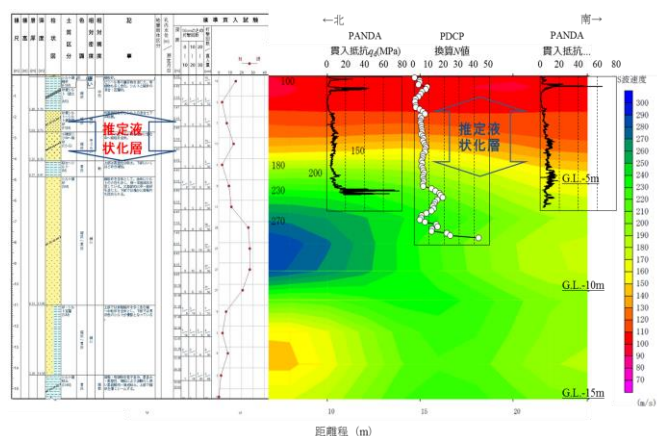


図 3 原位置試験結果と
既存のボーリングデータとの比較

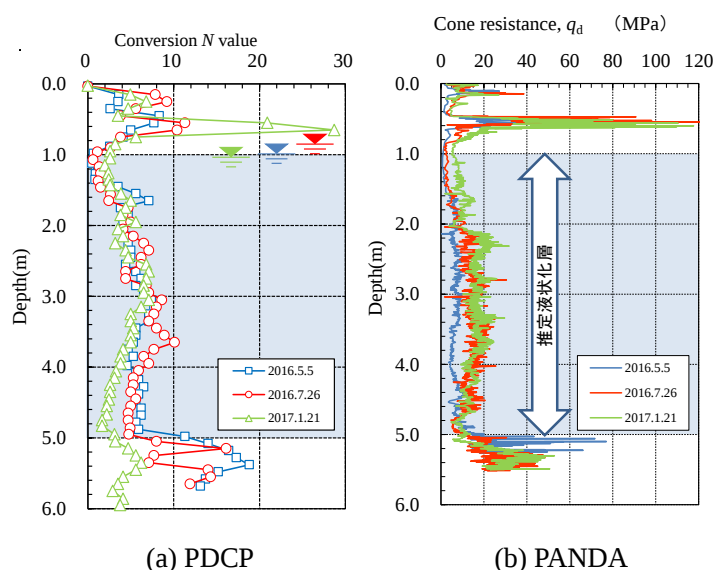


図 4 サウンディング試験結果