# 熊本地震における家屋被害に関わったと思われる火山灰性粘性土の動的変形特性

茨城大学 フェロー会員 ○安原一哉 茨城大学 学生会員 渡邊大樹 産業技術総合研究所 正会員 吉見雅行 中央開発(株) 非会員 細矢卓志 中央開発(株) 正会員 荒井靖仁

#### 1. はじめに

2016年の熊本地震において熊本県益城町では、伴に震度 7 に見舞われて、多くの家屋が厳しいダメージを受けた。その災害は、顕著な地震動の非線形性に伴う基礎地盤の劣化が大きなかかわりがあったことが指摘されている <sup>1)</sup>. その成果を受けて家屋の基礎を構成する火山灰性粘性土の沈下・変形を予測した事例を報告した <sup>2)</sup>. 本文ではこのような課題における重要なパラメータであるせん断剛性の特異性について考察した.

# 2. G-y 関係を求めた火山灰粘性土の代表的物性

# 2.1 物性の試験結果のまとめ

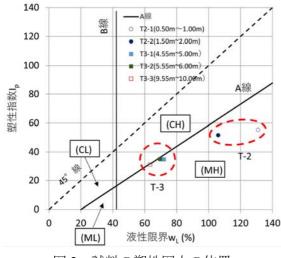
最も家屋被害の顕著だった熊本県益城町でサンプリングされた代表的な粘性土試料に対して行われた室内試験は,基本的な物理試験と動的三軸変形試験であり,これらの結果をまとめたものが表1である.

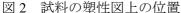
#### 2.2 G~y 関係と G<sub>max</sub>

まず、このうち代表的な物性試験結果として整理された塑性図と粒度試験結果をまとめたものが図2と図3である.これらを総合すると、用いた試料は、"圧縮性の高い silt-rich な粘性士"と判断される.

表1火山灰性粘性土の物性のまとめ

| 資料番号                                   | GS-MSK-2                 | GS-MSK-2           | GS-MSK-3           | GS-MSK-3           | GS-MSK-3   |
|--|--------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------|
| 具付田方                                   | T2-1                     | T2-2               | T3-1               | T3-2               | T3-3       |
| 深度 (m)                                 | 0.50~1.00                | 1.50~2.00          | 4.55~5.00          | 5.55~6.00          | 9.55~10.00 |
| 土粒子密度 ρ <sub>s</sub> (t/m³)            | 2.487                    | 2.646              | 2.763              | 2.771              | 2.756      |
| 初期間隙比 $e_{o}$                          | 3.06                     | 2.098              | 2.15               | 2.094              | 1.728      |
| 初期含水比 w <sub>0</sub> (%)               | 112.1                    | 78.8               | 74.2               | 73.3               | 63.3       |
| 飽和度 S,(%)                              | 91.1                     | 99.4               | 95.3               | 96.9               | 100        |
| 液性限界 W <sub>L</sub> (%)                | 131                      | 106                | 72                 | 69.6               | 63.4       |
| 塑性指数 / 。                               | 55.4                     | 51.6               | 34.8               | 35                 | 31.1       |
| 細粒分混合率 F <sub>c</sub> (%)              | 91                       | 84                 | 88                 | 84                 | 60         |
| 土質分類                                   | MH-S                     | VH <sub>2</sub> -S | VH <sub>1</sub> -S | VH <sub>1</sub> -S | MHS-G      |
| せん断剛性 G <sub>o</sub> (MN/m²)           | 8.27                     | 9.34               | 27.47              | 27.47              | 35.34      |
| 有効拘束圧 $\sigma'_c$ (kN/m <sup>2</sup> ) | 30                       | 35                 | 65                 | 75                 | 90         |
| 土質特性                                   | 盛土(クロボク、ローム、<br>シルトの混合土) |                    | 凝灰質シルト             |                    |            |





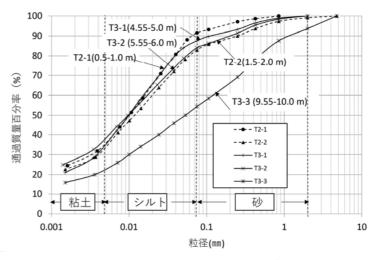


図3 試料の粒度分布曲線

次に、これらの資料の動的変形試験結果を図 5 に纏めている。これらの資料のそれぞれのデータを外挿して、初期せん断剛性  $G_0$ (または、 $G_{max}$ )を求めた結果はすでに示した表 1 にまとめられている。

キーワード 熊本地震,火山灰性粘性土,せん断剛性,住宅災害

連絡先 〒310-5012 茨城県水戸市文京 2-1-1 茨城大学 ICAS TEL 029-228-8724

# 2.3 初期せん断剛性と既成の評価式の適用性

図 4 は 5 つのサンプルの三軸動的変形試験による  $6\sim\gamma$  関係を示している。G/Go 関係はすでに吉見ら $^{3}$ によって報告されている。各試験の拘束圧は表1 に示しているように各サンプルが受けていた土被り圧 $\sigma$ 。を用いている。図 4 から初期せん断剛性 G。を求めて,拘束圧依存性を示したものが図 5 である。ここで用いた試料では、既存の提案式のうち,Marcuson-Wahls $^{4}$ と國生ら $^{5}$ による提案式の中間に位置している。加えて正規化せん断剛性の間隙比依存性を既存の提案式による計算結果と比較したものが図 6 である。ここでは,上記提案式と Hardin- $Black^{6}$  による提案式のいずれ計算結果も示しているが実験結果をうまく説明できていないので,火山灰性粘性土特有の提案が必要かもしれない。

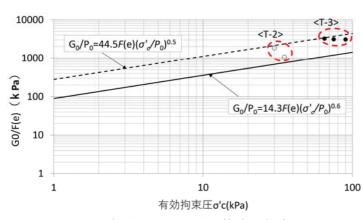
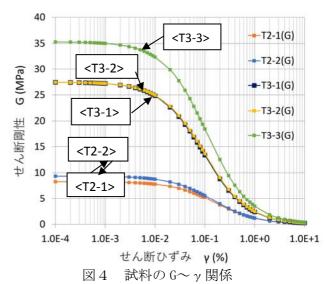


図5 初期せん断剛性の拘束圧依存性



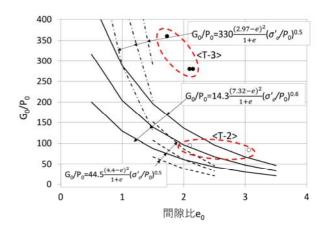


図 6 初期せん断剛性の間隙比依存性

# 3. まとめ

2016 年熊本地震において大きなダメージを受けた住宅基礎を構成する火山灰性粘性土のせん断剛性の特異性について考察した.動的三軸変形試験結果によれば、初期せん断剛性の間隙比や拘束圧への依存性は従来の提案式のいずれ計算結果も実験結果をうまく説明できていない.したがって、火山灰性粘性土特有の提案が必要かもしれない.ただ、このことを確認するためにはもう少しデータの蓄積が必要である.

**謝辞**:本研究の一部は、文科省科研費基盤研究 A (課題番号 16H02362 研究代表者 安原一哉)の助成を受けて実施された。また、茨城大学・小林薫教授、福岡大学・村上 哲教授には、本件について、ご助言いただいている。伴に付記して深甚の謝意を表する次第である。

#### 引用文献

(1) Yoshimi, M., Hata, T. Y., Goto, H., Hosoya, T., Morita, S. and Tokumaru, T. (2016). Boring exploration result in Kumamoto-ken Mashiki-machi, *Proc. of Fall Meeting, Japanese Society for Active Fault Studies*, S21–P17. (2) Yasuhara, K. et al. (2017). Instability of residences on volcanic ash cohesive soils during the 2016 Kumamoto Earthquake, *Proceedings of the International Workshop on the 2016 Kumamoto Earthquake, March 6, 2017, Fukuoka, Japan.* (3) 吉見雅行・後藤浩之・秦吉弥・吉田望(2017): 益城町市街地の 2016 年熊本地震被害集中域における非線形地盤応答特性,平成 28 年度京大防災研究所研究発表講演会,A05. (4) Marcuson, W. F. and Wahls, H. E. (1972). Time effects on dynamic shear modulus of clays、 *Proc. SMFD, ASCE*, 98(12), 1359-1373. (5) Hardin、B. O. and Black, W. L. (1968). Vibration modulus of normally consolidated clay, *Proc. SMFD, ASCE*, 94(2), 353-369. (6) Kokusho, T. Esashi, Y. and Yoshida, Y. (1982). Dynamic properties of soft clay with strain range, *Soils & Foundations*, 13(1), J. JGS, 1-18.