

浮き基礎工法を用いた戸建て住宅の液状化対策に関する研究

正会員 ○伴 知寛*

同 余川 弘至*

同 中村 拓造**

同 中村 充孝**

同 久世 直哉***

液状化 液状化対策工法 戸建住宅

1. まえがき

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震によって、戸建て住宅など、小規模建築物の立地する地盤に液状化現象の発生が確認された。地盤の液状化によって、住宅の沈下、傾斜などの甚大な被害が生じた（写真-1）。この原因の1つとして、個人負担が非常に大きくなるため、公共事業を対象に実施されてきた液状化対策の戸建て住宅への適用が少ないことが挙げられる。



写真-1 液状化により傾斜した住宅¹⁾

2. 研究目的

本研究では、軟弱地盤対策である浮き基礎工法を液状化地盤対策に応用した場合における傾斜抑制効果の確認を目的とした。また、沈下・傾斜量の予測手法の試みとして簡易的な計算結果と実験結果との比較を行った。

3. 研究方法

本研究では、東日本大震災規模の地震を想定した模型振動台実験を行った。模型住宅基礎下には、「ビーズ法発泡スチロール：Expanded Poly Styrene」²⁾（以下、EPS と称す）を設置し、模型振動台実験により地盤を液状化させた。模型振動台実験の縮尺を 1/50 スケールとし、使用する振動台装置は、水平一方向にのみ加振することができる電気油圧サーボ方式の加振装置である。模型振動台実験に用いる土槽の内寸は、幅 1,000mm×奥行 200mm×高さ 800mm である（写真-2）。振動台土槽の正面方向は、アクリル板とし、振動台土槽にカメラを固定することで模型振動実験時に地盤等の動的挙動を把握できるものとした。模型住宅は、幅 150mm×奥行 150mm×高さ 50mm である（写真-3）。模型地盤は、珪砂 6 号を水中落下させ、相対密度 50% を目標に作成した。加振装置に入力する地震動は、最大加速度 350gal で周波数 2Hz の正弦波である。

実験から得られた振動台の加速度波形を図-1 に示す。

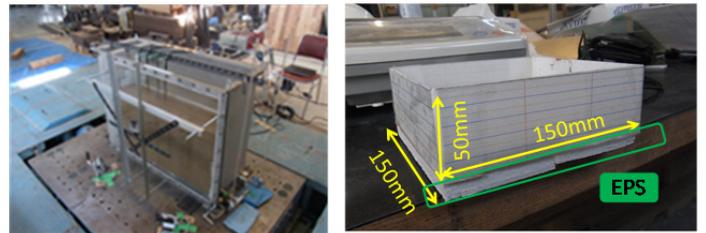


写真-2 振動台土槽

写真-3 模型住宅

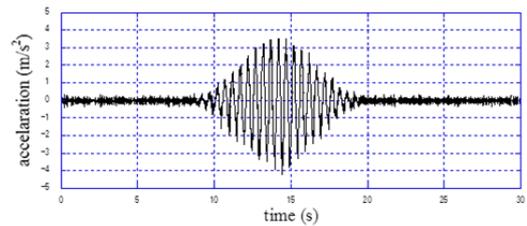


図-1 入力地震動

入力加速度や地盤と模型住宅の応答を確認するために加速度計、水圧計、レーザー変位計およびひずみゲージ式変位計により、応答加速度、過剰間隙水圧、模型住宅の沈下量および傾斜量を計測するものとした。加速度計、水圧計およびレーザー変位計の配置を図-2 に示す。

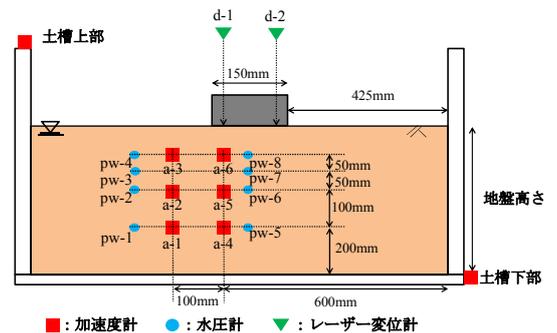


図-2 計測器配置

4. 実験ケース

本研究では、模型振動台実験を 2 ケース実施した。土槽地盤に対し、不均一に自重が作用する模型住宅を使用し、無対策の場合と基礎下に EPS を設置した場合の 2 ケースである。実験条件の詳細を表-1 に示す。

表-1 実験条件

CASE	相対密度	初期地盤高さ	対策の有無
1	54%	451mm	無
2	43%	440mm	有

5. 実験結果

図-3、図-4、図-5 に実験結果を示す。図-3 の過剰間隙水圧のグラフより、CASE1、CASE2 の過剰間隙水圧が、初期地盤条件から算出した有効上載圧を超えているため、液状化が発生していることが確認できる。図-4 のレーザー変位計の計測グラフより、CASE1 の対策なしは、傾斜量が 2.8mm であり、CASE2 の対策ありでは、0.7mm と傾斜量が抑えられている結果となった。図-5 の加振後の模型住宅のカメラ画像より、CASE2 の対策ありは、CASE1 の対策なしに比べ、住宅沈下量が抑えられており、傾斜も確認できない。これらの実験結果から、対策によって、模型住宅の沈下や傾斜を抑制されることが分かった。対策効果のメカニズムとして、模型住宅基礎下に EPS を設置することで見かけ上の模型住宅の自重が低減されることで、無対策に比べて沈下および傾斜を抑制できたと考えられる。

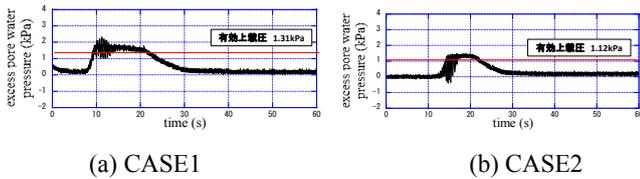


図-3 pw-6 地点の過剰間隙水圧

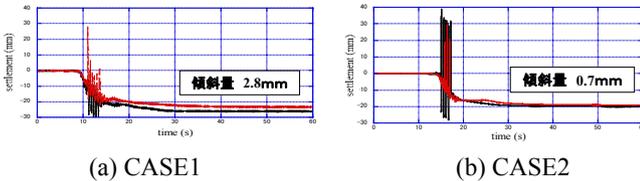


図-4 レーザー変位計計測による模型住宅の沈下量

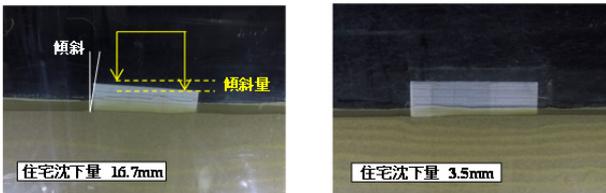


図-5 加振後 模型住宅

6. 力のつり合いによる沈下量計算の試行

構造物に作用する外力を想定することで、力のつり合いによる、沈下量や傾斜量を簡易的に求められると考える。地盤が液状化した場合、住宅に作用する力を、①住宅の沈下量に応じた地盤から受ける浮力(式 1)、②圧密に

より排水された水によって受ける浮力(式 2)、③住宅側面と地盤の間に生じる摩擦力(式 3)、④地盤が圧縮されて生じる反力(式 4)とした。(1)~(4)式により算定される力は、地盤が完全に液状化し、模型住宅の沈下に伴い生じる鉛直上向きの力である。つまり、鉛直下向きの力とした模型住宅重量とこれらの合力がつり合った時に、液状化後の模型住宅の沈下量、傾斜量を求めることができると考えた(図-5)。傾斜量は、図-5 と定義する。力のつり合い計算に用いた計算式を式(1)~(4)に示す。

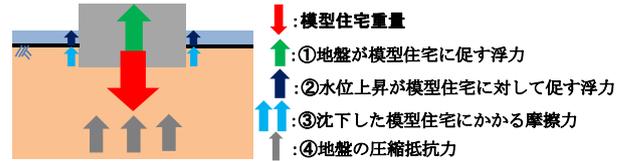


図-5 力のつり合いモデル

$$F_g = \rho_g \cdot V_g \cdot g \quad (1)$$

$$F_w = \rho_w \cdot V_w \cdot g \quad (2)$$

$$F_f = \sigma' \cdot A_a \cdot \tan \phi \quad (3)$$

$$F_E = E \cdot A_b \cdot \varepsilon \quad (4)$$

ここで、 $\rho_g (t/m^3)$ は、本実験で用いた剛土槽内の地盤の湿潤密度、 $V_g (m^3)$ は、模型住宅の沈下した部分の体積、 $\rho_w (t/m^3)$ は、水の密度で $1.0 (t/m^3)$ 、 $V_w (m^3)$ は、地盤地表面から水位までの、模型住宅に接している部分の体積、 $\sigma' (kN/m^2)$ は、沈下した模型住宅にかかる有効応力、 $\phi (^{\circ})$ は、内部摩擦角、 $A_a (m^2)$ は、模型住宅の沈下した周面積、 $E (kPa)$ は、模型地盤の液状化時のヤング率、 $A_b (m^2)$ は、模型住宅の底面積、 ε は、住宅沈下による地盤の圧縮ひずみ、 $g (m/s^2)$ は、重力加速度である。地盤の液状化時のヤング率については、安田ら³⁾の方法を参考に、初期ヤング率を 1/100 とした。また、加振終了直後で非排水条件を仮定すると、式(2)および(3)は無視できることから、本検討ではいずれも 0 とした。

計算結果および実験結果を表-2 に示す。計算結果は、模型振動台実験の結果と概ね対応していた。

表-2 実験と計算の比較

ケース名	沈下量 (cm)		傾斜量 (cm)	
	実験	計算	実験	計算
CASE1	1.7	1.1	0.5	0.4
CASE2	0.4	0.5	0.0	0.4

参考文献

- 1) 諏訪靖二, 神宮司悠介 : 東日本大震災における宅地の液状化被害について, 第 10 回地盤改良シンポジウム論文集, PP71~76, 2012.10.
- 2) 中村物産有限公司, 地盤置換工法コロンプス(地盤改良の特許工法) | 中村物産, <http://nakamura-jishin.com/columbus.html>, 2015-9-13.
- 3) 安田ら: 液状化に伴う流動の簡易評価法, 土木学会論文集, NO.638/III-49,71-89, pp75-79, 1992.

*中部大学工学部都市建設工学科.

**中村物産有限公司.

***ベターリビングつくば建築試験研究センター.

*Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Chubu University.

**NAKAMURA BUSSAN Co., Ltd.

***Tsukuba Building Reserch and Testing Laboratory, Center for Better Living.