

## 余震を考慮した浅層地盤改良による液状化変状抑止対策

大林組 正会員 ○樋口 俊一 山本 彰  
非会員 西山 高士

### 1. 研究の背景

筆者らは、軽量の構造物直下に比較的薄い固化系地盤改良体を構築することで液状化による構造物の沈下量を軽減する対策について、遠心模型振動実験による定量的な検証を実施してきた<sup>1)</sup>。一方、地盤改良体の透水係数は非常に小さいため、その直下が液状化した場合には地中の過剰間隙水圧の上方への伝播が阻害されて液状化状態が長時間継続する可能性がある。東日本大地震における液状化被害事例調査によると、本震に続けて来襲した余震において被害が拡大したとの報告<sup>2)</sup>もある。そこで、地盤改良体に排水経路（ドレーン）を設けて地中の過剰間隙水圧の蓄積を抑制することが、余震に対する沈下軽減効果に有効かを検討した。

### 2. 遠心模型振動実験

図1に示す地盤模型による遠心模型振動実験を、遠心重力 40G（縮尺  $s=1/40$ ）において実施した。模型地盤は幅 2,000mm（実物換算 80m）、奥行き 350mm（同 14m）で、砂地盤厚さ 250mm（同 10m）である。砂地盤は珪砂 7号を用いて水中落下法により作製し、地下水位は  $GL=-1m$ （以下、物理量は実物換算値とする。）に設定した。間隙水には透水の相似則を考慮して粘度  $40mPa \cdot s$  のメチルセルローズ水溶液を使用した。

建物は小規模構造物を想定した平面  $7m \times 7m$  の矩形アクリル模型で、接地圧は  $q=10kN/m^2$  とした。また、傾斜の生じやすい構造物を想定した偏心ケース（平均接地圧  $q=20kN/m^2$ 、重心位置は構造物の中心から右側に 1m）についても検討した。固化系地盤改良の範囲は構造物幅のほぼ倍の  $13.6m \times 13.6m$  四方で、1軸圧縮強度  $q_u=800kN/m^2$  のモルタル混合砂で作製した。改良体の厚さは地表面から 1.5m とした。排水経路（ドレーン）は、改良体に  $\phi=5mm$ （ $\phi=200mm$ ）の貫通孔を 50mm 間隔（2m 間隔）で設置した。貫通孔上下面にはフィルター材を取り付けて、砂の流入を防いでいる。

入力地震動は国交省告示<sup>3)</sup>にしたがって作成した人工地震波の時刻歴を用いた。実験でははじめに中規模地震を想定した最大加速度振幅  $1 \sim 2m/s^2$  相当での加振試験を実施し、一旦遠心重力を開放して地表面変位計測を実施後、再び遠心重力を載荷して大規模地震相当の最大加速度振幅  $4 \sim 5m/s^2$  の加振試験を実施した。

対策の種類や荷重条件をパラメータとした全 16 ケースの実験のうち、①無対策（3 ケース）、②浅層改良（4 ケース）、③浅層改良+ドレーン（4 ケース）の 3 モデルに着目して結果を整理して考察する。

### 3. 実験結果

実験結果の 1 例として、図 2～図 4 に②、③を同時加振した場合の振動台加速度、建物沈下量および改良体直下地盤の過剰間隙水圧比の各時刻歴を示す。これより、(1) 建物の沈下量の半分程度は地震動の継続中に発生していること、(2) ドレーンの有無により建物沈下量および過剰間隙水圧の収束過程が異なること、が明らかとなった。一方、建物の最終沈下量は建物 A が 0.18m、建物 B が 0.17m で、両者に大きな差はなかった。

図 5 に前述の①～③における、建物の平均的なめり込み沈下量を比較した。ここでめり込み沈下量 (c) は、建物沈下量 (a) から遠方地盤の沈下量 (b: 液状化による地盤の圧密沈下量) を差し引いたものである。中規模地震、大規模地震ともに、①と比較して②、③のめり込み沈下量が減少している。大規模地震時のめり込み沈下量は中規模地震時より大きい、加振履歴の影響により両者の差は小さくなった。一方、これらの結果からは②と③では建物のめり込み沈下量に大きな違いは見られず、ドレーンの効果は明確とは言えない。

### 4. 数値シミュレーションによる排水効果の検討

以上の結果を踏まえて、動的有効応力解析により余震の影響を検討することとした。図 6 にモデル図を示したが、解析では 1 棟モデルを用い、偏心荷重のケースを対象として実施した。ドレーンの効果は地盤改良部

キーワード 液状化, 沈下, 地盤改良, 動的有効応力解析

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 TEL 042-495-0947

の透水係数の設定により考慮することとした。検討に用いた入力地震動（図7）は、主要動（告示稀2倍当：最大加速度  $1.7\text{m/s}^2$ ）終了およそ900s（15分）後に加速度振幅を主要動の50%とした余震を付加している。

図8の地盤改良部直下地盤中の過剰間隙水圧時刻歴より、ドレーンの効果により過剰間隙水圧は速やかに消散している。一方図9の建屋の沈下時刻歴より、余震により本震以上の沈下量が発生すること、沈下量に対するドレーンの効果は実験結果と同様に限定的であることがわかる。これに対して、表1に整理した建物めり込み沈下量と傾斜角の比較より、ドレーンは建物の沈下量よりも、傾斜の抑制に効果的であることがわかった。

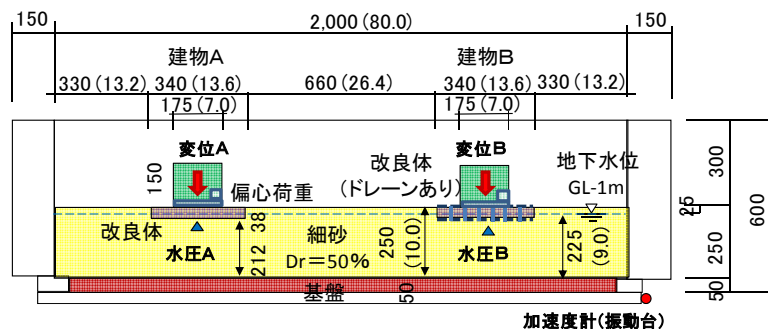


図1 遠心模型振動実験の模型地盤と代表計測器位置  
( $s=1/40$ , 単位: mm (m))

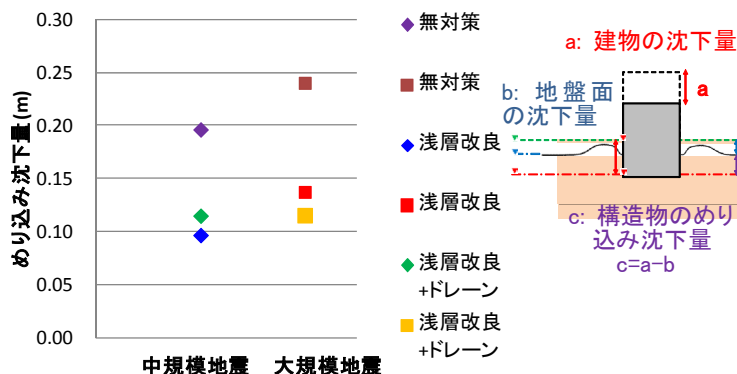


図5 建物めり込み沈下量の比較

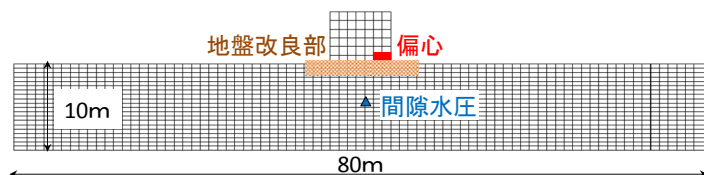


図6 有効応力解析モデル

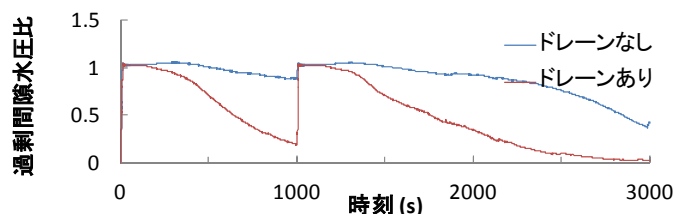


図8 地盤改良部直下地盤中の過剰間隙水圧比時刻歴

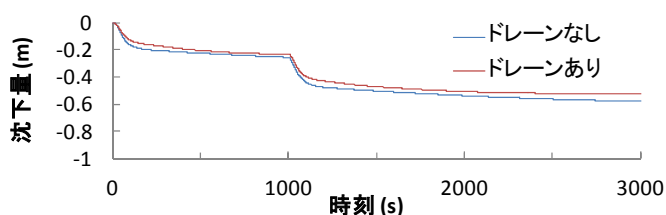


図9 建物中央部の沈下時刻歴

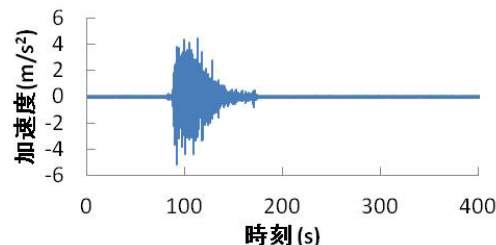


図2 入力地震動波形（大規模地震）

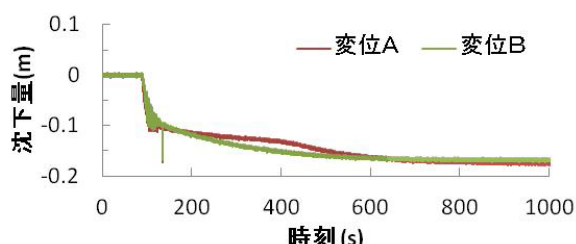


図3 建物沈下時刻歴（大規模地震）

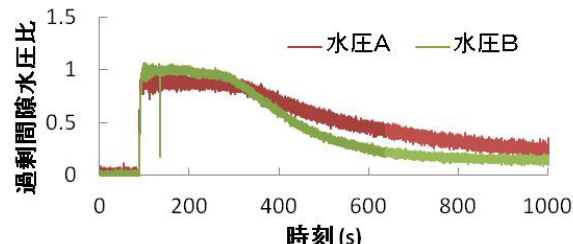


図4 過剰間隙水圧時刻歴（大規模地震）

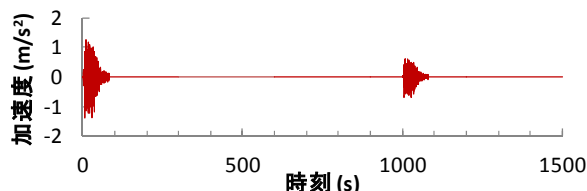


図7 検討用入力地震動加速度時刻歴

表1 建物沈下量と傾斜角の比較

|        | 本震後( $t=1,000\text{s}$ ) |                        | 余震後( $t=3,000\text{s}$ ) |                        |
|--------|--------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|
|        | めり込み<br>沈下量 (m)          | 傾斜角<br>$\times 1/1000$ | めり込み<br>沈下量 (m)          | 傾斜角<br>$\times 1/1000$ |
| ドレーンなし | -0.16                    | 32                     | -0.38                    | 69                     |
| ドレーンあり | -0.12                    | 21                     | -0.33                    | 39                     |

#### 参考文献.

- 樋口他：軽量な構造物直下の固化系地盤改良による液状化変状抑止効果一その1一，第67回土木学会年次学術講演会（名古屋），III-196，2012.
- 第2回浦安市液状化対策技術検討調査委員会議事録，平成23年9月12日.
- 建設省告示第1461号，平成12年5月31日.