

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—その2—

大林組	フェロー	○山本 彰
大林組	正会員	樋口 俊一
大林組	非会員	西山 高士

2011 年東日本大地震では関東平野の広い地域で液状化が発生し、住宅やインフラ施設などに大きな被害や機能損失を及ぼした。本研究は、液状化する地盤において、住宅等の比較的軽い構造物直下にセメント固化系の地盤改良を適用した場合の構造物の変状防止効果を遠心模型振動実験により検討したものである。

1. 研究の概要

別報¹⁾では、軽量な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、継続時間が長い海溝型地震動による 1.5m/s^2 相当の加振（中地震）に対しては、固化系地盤改良による建物沈下量の抑制効果が認められることを示した。本報では、大地震（地表面加速度 3.0m/s^2 ）に対する対策工の効果に関する検討結果を示す。

2. 遠心模型振動実験の概要

遠心模型振動実験に用いた地盤模型の概要を図1に、実験ケースを表1に示す。模型地盤の作成方法および入力地震動等については別報¹⁾を参照されたい。実験でははじめに振動台の最大加速度振幅 1.5m/s^2 相当の加振（以下 1.5m/s^2 加振）を実施し¹⁾、一旦遠心重力を開放して地表面変位を計測した後に再び遠心重力を載荷し、最大加速度振幅 3.0m/s^2 相当の加振（以下 3.0m/s^2 加振）を実施した。

別報¹⁾で示したが、 1.5m/s^2 加振では、建物残留沈下量は建物直下の地盤改良厚が大きいほど低減できることがわかった。既往の指針²⁾による宅地における液状化影響評価指標（図2）では、地表面付近の非液状化層の厚さ $H1$ と液状化層厚 $H2$ により表層への影響を評価することとしている。図2中にこの遠心模型実験での地盤改良層を非液状化層とみなした $H1$ と $H2$ の関係を赤丸で示したが、 1.5m/s^2 加振（中地震）において建物沈下量が軽減できた（改良時の赤丸が実線（最大加速度 $\approx 2.0\text{m/s}^2$ 相当）より右にある）ことと整合している。

3. 実験結果の考察

(1) 加振履歴の影響について 3.0m/s^2 加振時には、地盤は既に 1.5m/s^2 相当の加振履歴の影響を受けていることから、まず実験データの考察に際し以下の点を検討した。

○地盤の密度： 1.5m/s^2 加振において自由地盤部で 84mm （各ケースの平均値）の地表面沈下が生じた。模型地盤の初期相対密度は $Dr=50\sim 55\%$ 、層厚は 10m であるから、加振履歴による密度変化は相対密度換算で $2\sim 4\%$ 程度である（表1）。したがって、地盤密度の変動は模型地盤の液状化挙動に対して大きな影響を及ぼさないと考えられる。

○建物模型の残留沈下： 1.5m/s^2 加振で建物に生じた残留沈下は 3.0m/s^2 加振の実施に際してそれを修正しなかった。残留沈下量の大きなケース1については建物が地中にめり込むような状況であり、建物の上載荷重が $q=10\text{kN/m}^2$ と小さいが、初期せん断応力分布に対する影響は他のケースに比べてやや大きいと考えられる。また、 1.5m/s^2 加振において地表に水が浸出しており地下水位は地表面付近と考えられるため、更に沈下が進行した場合には浮力を生じる可能性がある。一方、ケース2～4については、建物沈下量と地盤沈下量に大きな差が無かったため、相互の比較における影響は小さいと考えられる。

(2) 3.0m/s^2 加振時の時刻歴について 図3に入力地震動（ 1.5m/s^2 加振と 3.0m/s^2 加振の比較）を、図4に過剰間隙水圧時刻歴（同左）を、図5に建物鉛直変位時刻歴の各ケース比較を示す。図3と図4より、 3.0m/s^2

キーワード 液状化, 沈下, 地盤改良, 住宅

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

加振では 1.5m/s^2 加振よりも液状化の発生時刻が 10 秒程度早くなることがわかる。また、図 5 より建物鉛直変位が増加し始める時刻は過剰間隙水圧が発生し始める時刻とほぼ一致している。建物鉛直変位は地盤改良の無いケース 1 を含めて、いずれのケースでも 200mm 程度の最終沈下量となった。

4. 大地震に対する改良の効果

図 6 に建物最終沈下量と建物直下の地盤改良厚の関係を整理した。ケース 1 の 3.0m/s^2 加振による残留沈下増分は 222mm であり、 1.5m/s^2 加振時の建物沈下量 (357mm) よりも小さくケース 2~4 と同程度となっている。一方、ケース 2~4 の建物沈下量はいずれも 1.5m/s^2 加振時¹⁾の 2 倍程度になっているものの、改良厚による沈下量の違いは明確には認められない。また、 1.5m/s^2 加振と 3.0m/s^2 加振の累積沈下量はケース 1 では 1.5m/s^2 加振の沈下量が大きいため、他のケース 2~4 の 2 倍程度となっている。なお、ケース 2~4 において改良厚による違いは認められない。これらのことから、地盤の初期条件はやや異なるものの、建物直下を部分改良した場合の 1.5m/s^2 加振時の残留沈下量は改良厚が支配的要因となっているのに対して、 3.0m/s^2 加振時のそれは軽量ではあるが地表面の載荷重が支配的要因になっていると推察される。

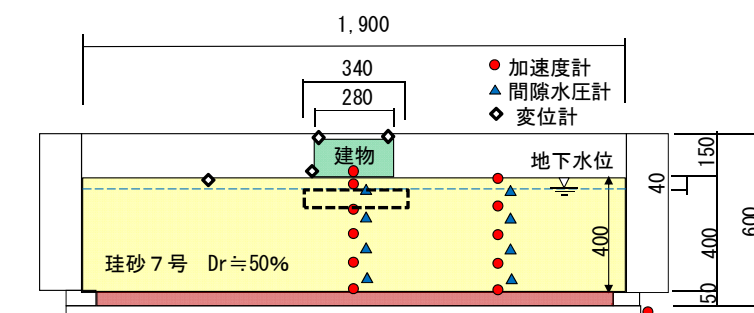


図1 遠心模型振動実験の模型地盤と計測器配置 (単位: mm)

表1 実験ケースと地盤改良の仕様

ケース	1	2	3	4
初期地盤密度Dr(%)	53	50	55	54
3m/s^2 加振時地盤密度Dr(%)	55	54	56	58
改良範囲		8.5m x 8.5m		
改良厚	無し	1.5m	3.0m	4.5m
改良強度		400kN/m ²		

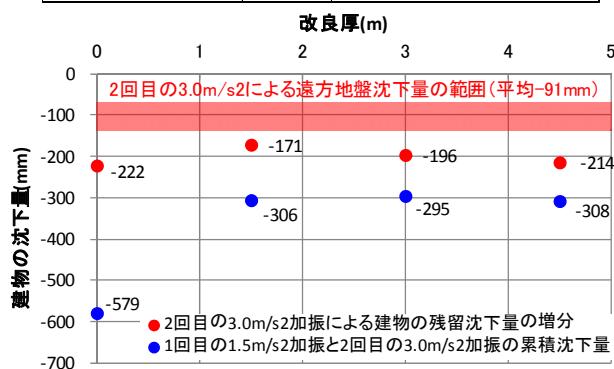


図6 建物最終沈下量と地盤改良厚の関係 (3.0m/s^2 加振後)

謝辞：本研究は、建設技術研究助成「浅層盤状改良による宅地の液状化対策の合理的な設計方法の研究」を受けたものです。ここに記し深謝いたします。

参考文献.

- 樋口他：軽量の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—その1—, 第67回土木学会年次学術講演会, 2012 (投稿中)。
- 宅地耐震設計マニュアル (案): 都市基盤整備公団 (2003)。

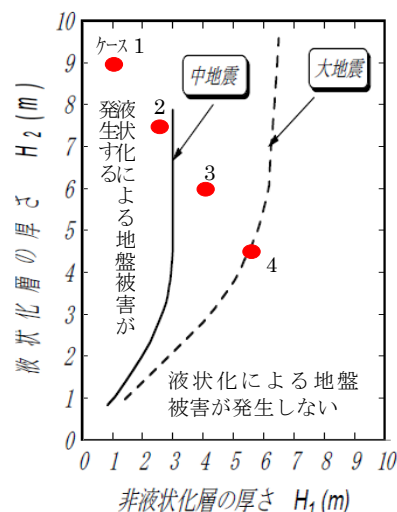


図2 宅地における液状化の影響評価指標と遠心実験の改良層厚設定 (文献2に加筆)

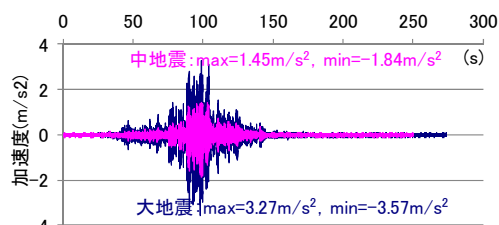


図3 入力地震動波形 (ケース1)

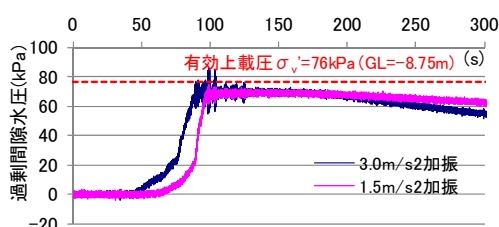


図4 過剰間隙水圧時刻歴 (ケース1)

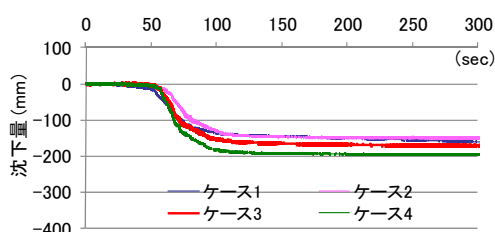


図5 建物鉛直変位時刻歴の比較 (3.0m/s^2 加振)