

直接基礎の上載圧による液状化抑制効果 に関する遠心力載荷実験

船原 英樹^{*1}・柴田 景太^{*1}・長尾 俊昌^{*1}・小林 治男^{*2}

Keywords : *liquefaction suppression, shallow foundation, overburden pressure, grid underground wall, centrifuge test*

液状化抑制, 直接基礎, 上載圧, 格子状地中壁, 遠心力載荷実験

1. はじめに

液状化対策の手法には、①ゆるい土の締固め、②粘着力のない砂の固化、③地下水位の低下、④格子状地中壁による地盤のせん断変形抑止¹⁾などがある。これらは、液状化発生に必要な複数の条件のうち、少なくともひとつを打ち消すという考え方に立脚している。

一方、直接基礎建物直下の飽和地盤では、建物の鉛直荷重による上載圧効果によって液状化抵抗が増大し、液状化が抑制される傾向にあることを著者らの研究²⁾で確認している。しかし、直接基礎直下の地盤が液状化しなくても、周辺地盤は液状化するため、基礎直下の地盤が水平方向にはらみだし、結果として建物が大きく沈下する(図-1)ので、直接基礎の上載圧効果を単独で液状化対策として利用するのは難しいことも指摘した。

本研究では、直接基礎の上載圧による液状化抑制効果を利用しつつ、建物の過度な沈下を抑制するために、前述の格子状地中壁を併用する対策法を検討した。

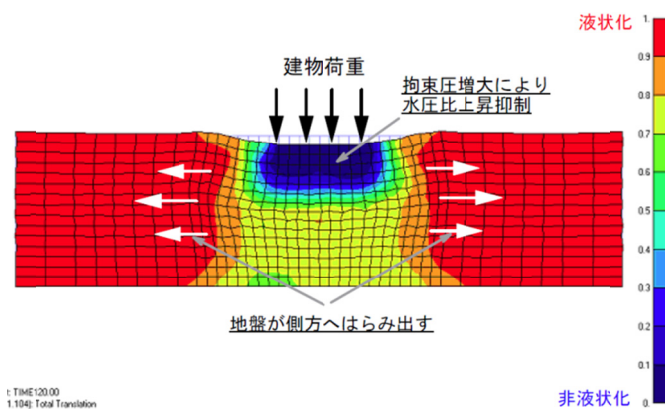


図-1 直接基礎直下の液状化抑制効果と沈下概念

Fig.1 Liquefaction suppression under shallow foundation and its settlement

2. 液状化抑制原理の概要

格子状地中壁の上にべた基礎形式の直接基礎建物を構築すると、建物荷重は格子間地盤よりも相対的に剛性の高い格子状地中壁により多く伝達される。そこで、本検討では、建物荷重が地中壁よりも格子間地盤により多く伝達される状態を実現するために、地中壁頂部と直接基礎の間に何らかの低剛性材料ないし空隙を配置することを想定している(図-2)。建物荷重を格子間地盤に伝達することによって、格子間地盤の液状化強度は増大する。さらに、格子状地中壁のせん断変形抑止効果が加わり、格子間地盤の液状化は抑制される。また、格子状地中壁があることによって、建物直下の格子間地盤が水平方向にはらみだして建物が大きく沈下することを防ぐ。さらに、周辺地盤の過剰間隙水圧が建物直下の格子間地盤に伝播して二次液状化が発生するのを、遮水性を有する地中壁によって防止できる。

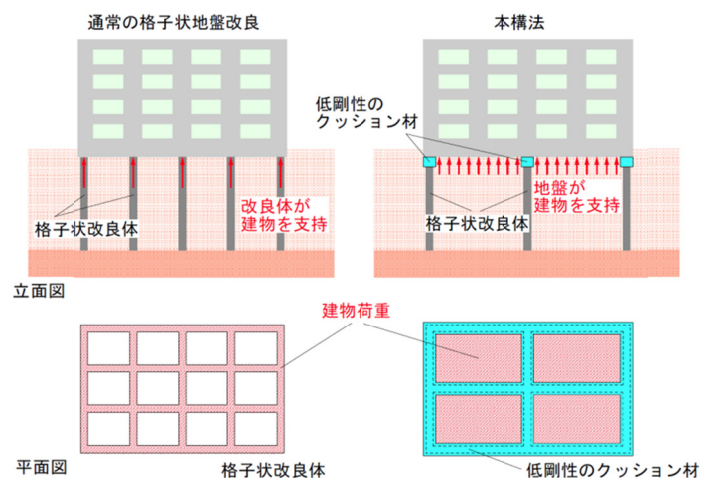


図-2 格子状地中壁と直接基礎拘束効果の組合せ利用

Fig.2 Combination of grid shaped underground wall and confining effect of shallow foundation

*1 技術センター建築技術研究所建築構工法研究室

*2 設計本部構造グループ

3. 効果確認のための遠心力载荷実験の概要

直接基礎の上載圧による液状化抑制効果を確認するために遠心力载荷実験を実施した。直接基礎荷重によって過剰間隙水圧比が抑制され、かつ格子状地中壁の存在によって直接基礎の沈下が抑制されることを確認することを主要な目的としている。

図－3に実験模型と計測の概要を示す。せん断土槽中に、飽和砂模型とアクリル製の地中壁模型を設置し、直接基礎の接地圧などをパラメータにして 50g の遠心場における振動台実験を行った。今回の実験では、想定した接地圧を確実に作用させるために、格子ごとに独立した基礎模型を直接格子間地表面に載置する形式としている。

地盤は豊浦硅砂（ $D_{50}:0.19\text{mm}$ ， $e_{\max}:0.988$ ， $e_{\min}:0.616$ ）を相対密度 60%となるよう空中落下法で作成し、水の 50 倍の粘性を持つシリコンオイルで地表面まで飽和させている。

本実験における主なパラメータは、直接基礎の接地圧、地中壁の格子間隔、液状化層厚である。以下に言及する物理量はすべて実物換算したものである。

まず、想定した直接基礎の接地圧は、 0kN/m^2 （基礎模型なし）、 30kN/m^2 、 60kN/m^2 の 3 種類である。次に、地中壁模型の加振方向の格子間隔は 3m、5m、10m の 3 種類とした。さらに、液状化層厚（地中壁深さ）は 5m、10m の 2 種類である。

最後に、地中壁がなく基礎が大きく沈下するケースを、地盤層厚 10m、接地圧 60kN/m^2 の条件下でのみ実施した。

入力地震動として、人工地震波（臨海波）を原波の約 40%（約 120cm/s^2 ）に調整して入力した。

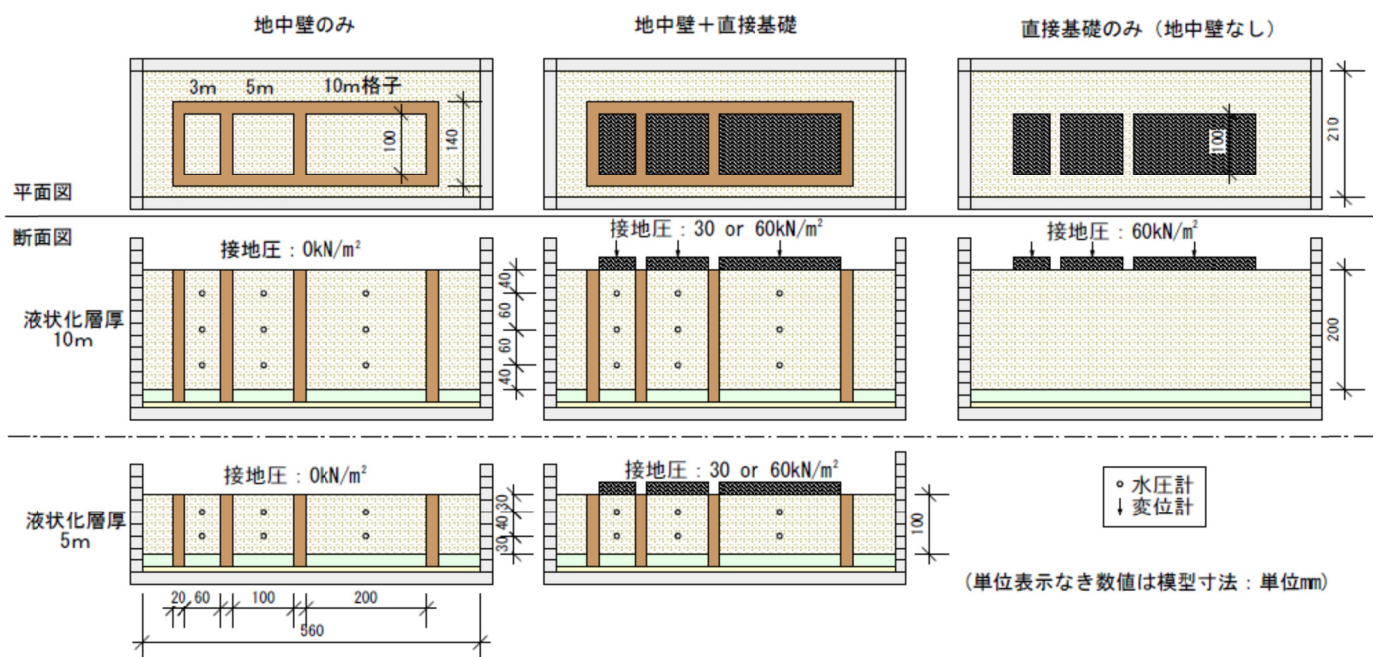
主な計測項目は基礎の沈下量と過剰間隙水圧の時刻歴である。

4. 過剰間隙水圧比の抑制効果

4.1 データ整理の概要

液状化の程度を示す指標として、地盤の過剰間隙水圧比を用いる。過剰間隙水圧比の計算に際して分母となる初期有効上載圧は、地盤の単位体積重量に加え、地表面に作用する基礎接地圧を考慮して評価する。

格子内で計測した過剰間隙水圧に基づいて評価した過剰間隙水圧比の時刻歴を図－4に示す。上段(a)は液状化層厚が 10m の場合であり、下段(b)は液状化層厚が 5m の場合である。液状化層厚が 10m の場合には 3 深度で、液状化層厚が 5m の場合には 2 深度で水圧を計測している。格子間隔は 3m、5m、10m の 3 種類あるが、すべての格子内の水圧データを深さごとに並べて示している。それぞれの時刻歴グラフ内では、地表面の基礎接地圧（ 0kN/m^2 、 30kN/m^2 、 60kN/m^2 ）をパラメータにして重ね書いている。



図－3 実験模型と計測の概要
Fig.3 Testing models and measurements

なお、層厚 10m・接地圧 30kN/m^2 のケースと層厚 5m・接地圧 0kN/m^2 のケースは、それぞれ接地圧 60kN/m^2 の加振後に同じ地盤模型を用いて実験している。したがって、完全に液状化した履歴はないものの、一度同程度の加振を受けた履歴を有しているため、若干密度増加しているものと考えられる。その影響は狭い格子間隔での 30kN/m^2 と 60kN/m^2 の水圧比上昇速度の逆転などとして計測データにも現れているため、加振履歴のあるデータは参考データとして位置づけ、グラフ内では括弧付きで表示している。

4.2 基礎接地圧の影響

全般的に、基礎がない場合（接地圧： 0kN/m^2 ）に比べて、基礎がある場合のほうが、過剰間隙水圧比は小さくなっており、上載圧が液状化を抑制する効果を有することが確認できる。

特に格子間隔が 10m ともっとも広いところでは、基礎の接地圧が大きいほうがより液状化抑制効果が大きくなる傾向が明確に読み取れる。

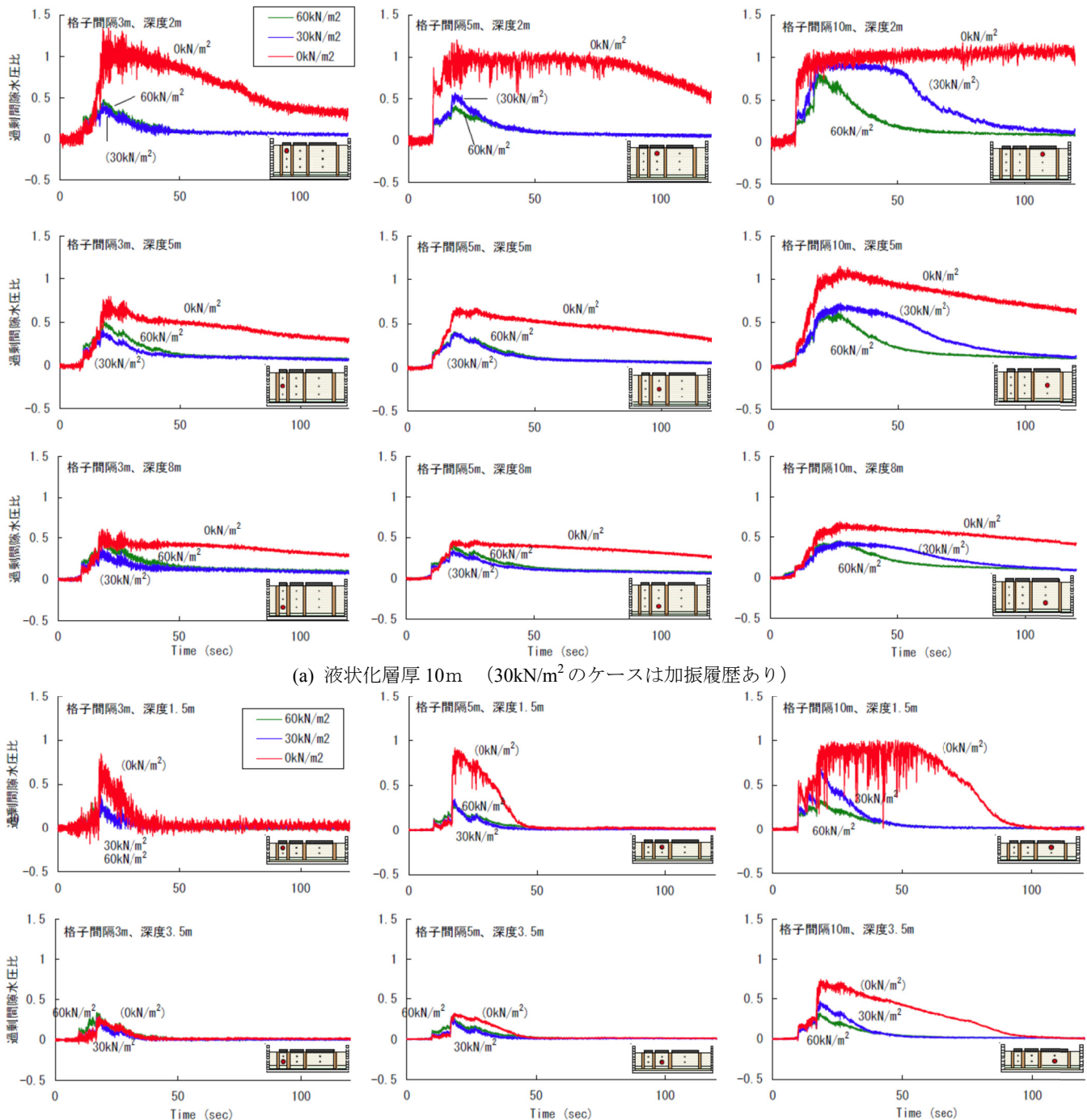


図-4 過剰間隙水圧比の比較

Fig.4 Comparison of excess pore water pressure ratios

4.3 格子間隔の影響

格子間隔の違いの影響に着目すると、格子間隔の広い方が液状化抑制効果が弱いことが確認できる。格子間隔が3mや5mと狭い場合には、接地圧が 30kN/m^2 と小さくても液状化を抑制できているのに対し、格子間隔が10mと広く、層厚が10mの場合には 30kN/m^2 の接地圧では液状化を抑制し切れておらず、液状化を防ぐためにはより大きな接地圧が必要となることが示唆されている。

4.4 液状化層厚の影響

図-4の(a)と(b)を比較すると、液状化層厚が10mの場合(a)のほうが、5mの場合(b)に比べて全般的に過剰間隙水圧比が大きく、液状化の程度が大きいことがわかる。層厚が異なると応答そのものも変わるため単純な結論付けはできないが、液状化層厚が厚い場合に液状化を抑制するためには、より大きな上載荷重が必要になる可能性が示唆される。

4.5 深度の影響

図-4において、深度ごとの過剰間隙水圧比に着目すると、格子状地中壁だけで深い位置の液状化を抑制できている場合でも、地表面近くの浅い位置では格子による拘束効果が十分でなく、格子間隔が狭くても液状化にいたりやすいことが分かる。このように格子間隔が狭くても液状化にいたるような浅い部分に対しては、 30kN/m^2 と小さな接地圧でも液状化抑制に有効である。浅部では初期有効上載圧が小さいため、建物による上載圧の影響が大きいと解釈できる。

5. 格子間隔/地中壁深さ比の影響

既往の研究では、地中壁（地盤改良）深さに対する

格子間隔の比率と液状化程度（過剰間隙水圧比）に正の相関があることが指摘されている³⁾。本実験で得られた結果に基づいて、「格子間隔/地中壁深さ」と最大過剰間隙水圧比の相関をプロットした結果を図-5に示す。

全体として、上述したような正の相関が確認できるが、液状化程度は計測深度や層厚（地中壁深さ）にも依存していることが指摘できる。すなわち、深度が浅いほど、かつ液状化層厚（地中壁深さ）が大きいほど、過剰間隙水圧比は上昇しやすい。

また、基礎の接地圧が大きいほど液状化しにくい傾向も読み取れる。接地圧が 60kN/m^2 で層厚（地中壁深さ）が5mと薄い場合には、「格子間隔/地中壁深さ」が2であっても安定的に液状化を抑制できていることが分かる。

6. 地中壁の基礎沈下抑制効果

図-6に直接基礎の沈下量時刻歴を地中壁がある場合とない場合を比較して示す。いずれも基礎の接地圧は 60kN/m^2 であり、液状化層厚は10mである。

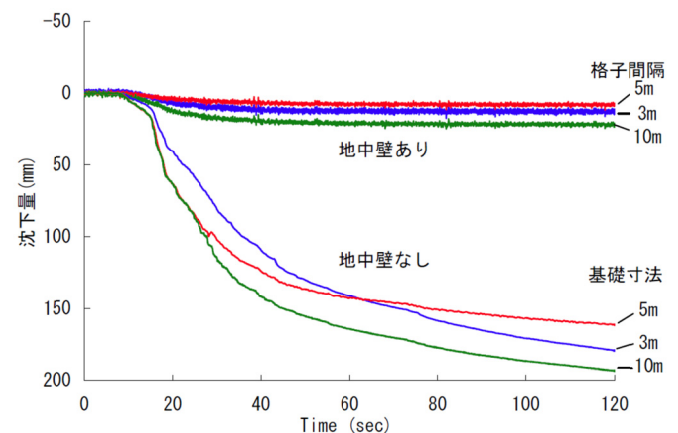


図-6 直接基礎（接地圧 60kN/m^2 ）の沈下量時刻歴
Fig.6 Settlements of shallow foundations

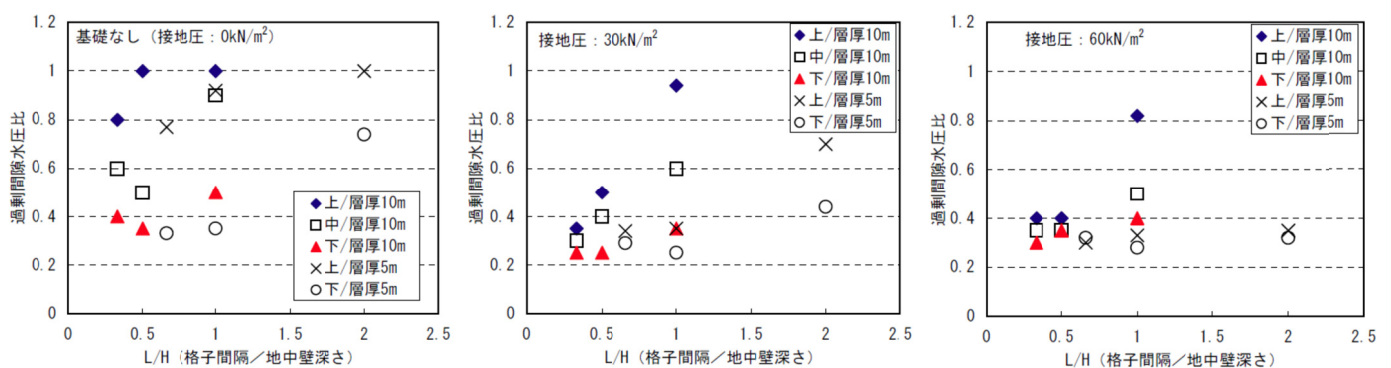


図-5 格子間隔と地中壁深さ比の影響
Fig.5 Effect of ratio between grid span and underground wall depth

3種類の格子間隔(3m, 5m, 10m)すべてについて結果を示している。いずれの格子間隔でも、地中壁がない場合には150~200mmの大きな沈下が生じたのに対し、地中壁が存在すると沈下量は大幅に低減され10~20mm程度に留まっていることが分かる。地中壁による沈下抑制効果が確認された。

格子間隔による沈下量の違いに着目すると、格子間隔(基礎寸法)がもっとも大きい10mの基礎沈下量がもっとも大きくなっているものの、格子間隔が3m, 5mの基礎では沈下量の大小関係が逆転しており、格子間隔と基礎沈下量の相関関係は必ずしも明確でない。ただし、地中壁がある場合に着目すると、図-4で確認されたように、もっとも広い格子間隔10mの領域では過剰間隙水圧比がもっとも上昇し、液状化に近い状態になっていることから、格子間隔10mの領域における沈下量がもっとも大きくなったと考えられる。

7. まとめ

直接基礎の上載圧効果と格子状地中壁によるせん断

変形抑止効果を併用した液状化対策に関する遠心振動実験を実施した。実験の結果、以下の事柄が明らかとなった。

- ・直接基礎の上載圧効果により、直接基礎直下の過剰間隙水圧比の上昇すなわち液状化の発生が抑制される。
- ・この傾向は、基礎接地圧が大きく、液状化層厚が小さいほど顕著であった。
- ・地中壁の存在により、直接基礎の沈下量が大幅に低減される。

なお、本構法は液状化地盤に建つ中低層の建物に適用することを想定している。今後、数値解析等に基づく評価・設計技術を確立していく予定である。

参考文献

- 1) 日本建築学会：建築基礎のための地盤改良設計指針案，pp100-117，2006
- 2) 船原英樹，柴田景太，長尾俊昌（2010）：直接基礎近傍の飽和砂層における間隙水圧の地震時挙動，日本建築学会学術講演梗概集（北陸），pp.439-440，2010
- 3) 日本建築学会：建築基礎のための地盤改良設計指針案，p.109，2006