

戸建て住宅地の液状化対策における格子状地中壁工法の適用に関する実験（概要）

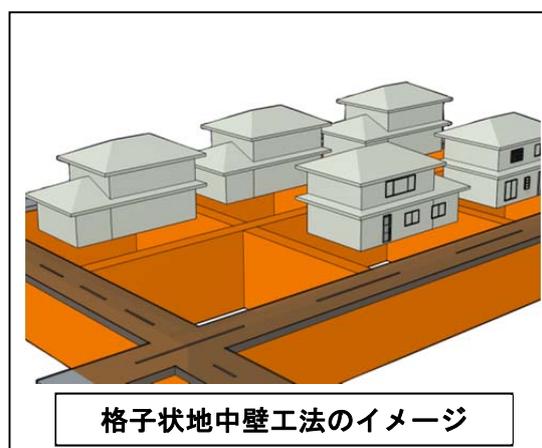
国土交通省国土技術政策総合研究所

1. 実験の目的

東日本大震災で液状化の被害を受けた被災地の復旧・復興を技術的に支援するために、既成住宅地に導入できる液状化対策の一つとして有力視されている格子状地中壁工法について、街区・宅地レベルの大きな格子間隔で用いた場合の効果を遠心模型実験により明らかにする。

2. 格子状地中壁工法

格子状地中壁工法は、地中の地下水位以下にセメント系の壁を格子状に構築し、地震の揺れによる地盤のせん断変形を抑えて液状化を抑制する工法である。



3. 遠心模型実験装置

遠心模型実験装置は、遠心力が地盤にかかる重力として作用することにより、縮尺模型地盤の応力状態を実物大にあわせることができる実験装置である。

例えば 60G の遠心場では、大きさは、1/60（模型地盤の深さ 10 cm が実地盤の 6m に相当）になる。



遠心模型実験装置

4. 実験条件

地盤条件は、「浦安市液状化対策実現可能性技術検討委員会」の条件(液状化層厚さ 12m、地下水位 GL-1m、GL-1m～GL-8m に比べて GL-8m～GL-12m での液状化強度が強い)とした。

入力地震動は、次の 2 種類とした。

- 1) マグニチュード 9.0、地表面加速度 200gal 相当（東日本大震災（東京湾岸）と同程度）

加振時間約 150 秒、東日本大震災の浦安市内で観測された地震波（K-NET 浦安観測

波¹⁾を約1.25倍して使用。

2) マグニチュード7.3、地表面加速度350gal相当(直下型地震を想定)

加振時間約40秒、阪神大震災のJR鷹取駅で観測された地震波²⁾を350galに調整して使用。

5. 実験内容

格子状地中壁工法を、住宅が既に建っていることを考慮して、道路に囲まれた街区と戸建て住宅の敷地割をベースとした大きな区画の格子で適用した場合の効果を確認する実験を行った。この際、コストダウンを考慮して格子の大きさを変化させて液状化の抑制状況を確認した。格子間隔は、表1の街区をイメージして、1宅地1格子、2宅地1格子、4宅地1格子の3種類を設定した。

また、格子状地中壁工法と併用して行う液状化対策の効果について確認した。併用する副工法は、ドレーン柱、部分締固め、盛土、壁体の剛性強化とした。

さらに、平面が長方形となる場合の格子について、加振方向による効果の違いを確認した。

表1 格子状地中壁の格子間隔と配置イメージ

格子間隔	格子状地中壁配置の平面図と断面図	
無対策		
13(16m) × 13m (加振方向 13m)		
32m × 13m (加振方向 32m)		
32m × 26m (加振方向 32m)		

6. 実験結果

1) 格子間隔による液状化抑制効果の違い

東日本大震災(東京湾岸)と同程度のマグニチュード 9.0・地表面最大加速度 200gal 相当の入力地震動に対する効果の比較。

a) 無対策地盤

無対策地盤では、加振後 60 秒以降に、GL-2m と GL-7m との間で液状化が発生し、以降長時間に渡って液状化した状態で加振が継続した。この結果、住宅の沈下量は実験ケースで最も大きい値(13.3cm)となった。

b) 4 宅地 1 格子

無対策地盤と比較してやや遅れて液状化が発生し、90 秒以降において深さ 7m 付近が広く液状化に至り、その状態で加振が継続した。その結果、住宅の沈下量は 10.9cm となった。

c) 2 宅地 1 格子

液状化の発生時刻はさらに遅くなり、90 秒～100 秒の間で瞬間的に広い範囲で液状化が発生したが、その前後においては、過剰間隙水圧の上昇はあるが液状化には至らない状態で推移した。住宅の沈下量は 6.6cm にとどまった。

d) 1 宅地 1 格子

加振時全般を通じて明確な液状化には至っておらず、特に浅層部では過剰間隙水圧が高くならず推移した。住宅の沈下量は、格子間隔 16m×13m の場合に 8.1cm、格子間隔 13m×13m の場合に 5.4cm 程度であった。

e) 1 宅地 1 格子プラス盛土 1m

加振時間全般を通じて液状化に至っておらず、また住宅沈下量も 2.5cm と軽微な値にとどまった。

2) 格子状地中壁と併用する副工法の効果

東日本大震災(東京湾岸)と同程度のマグニチュード 9.0・地表面最大加速度 200gal 相当の入力地震動に対する効果の比較。

a) ドレーン柱

住宅沈下量の低減を狙って、直径 0.3m のドレーン柱を住宅周囲に 1m ピッチで設置した。この結果、1 宅地 1 格子の場合に、沈下量が約半分に低減される効果が見られた。

b) 部分締固め

住宅が建っている状態での施工を想定して、締固めの範囲を敷地内の住宅が建っていない庭等の部分のみに限定した。この結果、2宅地1格子の場合において、締固めした部分は、液状化が回避できたものの、住宅の沈下量は、締固め対策なしの場合と比較して、約1.8倍にかえて増加した。

c) 格子状地中壁の剛性

格子状地中壁の剛性 (F_c) を高めた場合の効果を確認するため、 $F_c=1.5$ (N/mm²) と $F_c=3.0$ (N/mm²) の地中壁モデルを格子規模 20m×10m で作成した。両者で地表面の沈下量に顕著な差は認められなかったが、地中壁の剛性を高めた場合は、液状化に至る時間を遅らせる効果が見られた。

3) 直下型地震を想定した入力地震動の場合

格子間隔により液状化が発生した深さや範囲は異なるが、沈下量は、どの格子間隔の場合も無対策の場合の約半分程度に留まった。

4) 長方形の格子に対する入力地震波の方向の影響

格子形状が長方形となる場合について、加振方向の違いによる液状化抑制効果の差を確認するため、20m×10m の長方形平面を持つ地中壁を直交させて模型地盤内に配置した。この結果、短辺方向に加振される方が長辺方向に加振されるよりも液状化抑制効果が弱く地表面の沈下量が約2倍大きくなった。

7. まとめ

実験全体を通して、1宅地1格子の場合に液状化抑制効果が顕著であり、さらに副工法として盛土を1m追加した場合に抑制効果が高まることが認められた。このことを現実の適用場面に当てはめて考えると、地表面から深さ2m程度まで地下水位を低下させる工法と、深さ2m以深に格子状地中壁を構築する工法とを組み合わせる方法を適用する場合、格子状地中壁単独の工法に比較して、より大きな効果が期待できると考えられる。

地中壁格子の規模と液状化の抑制効果（1）

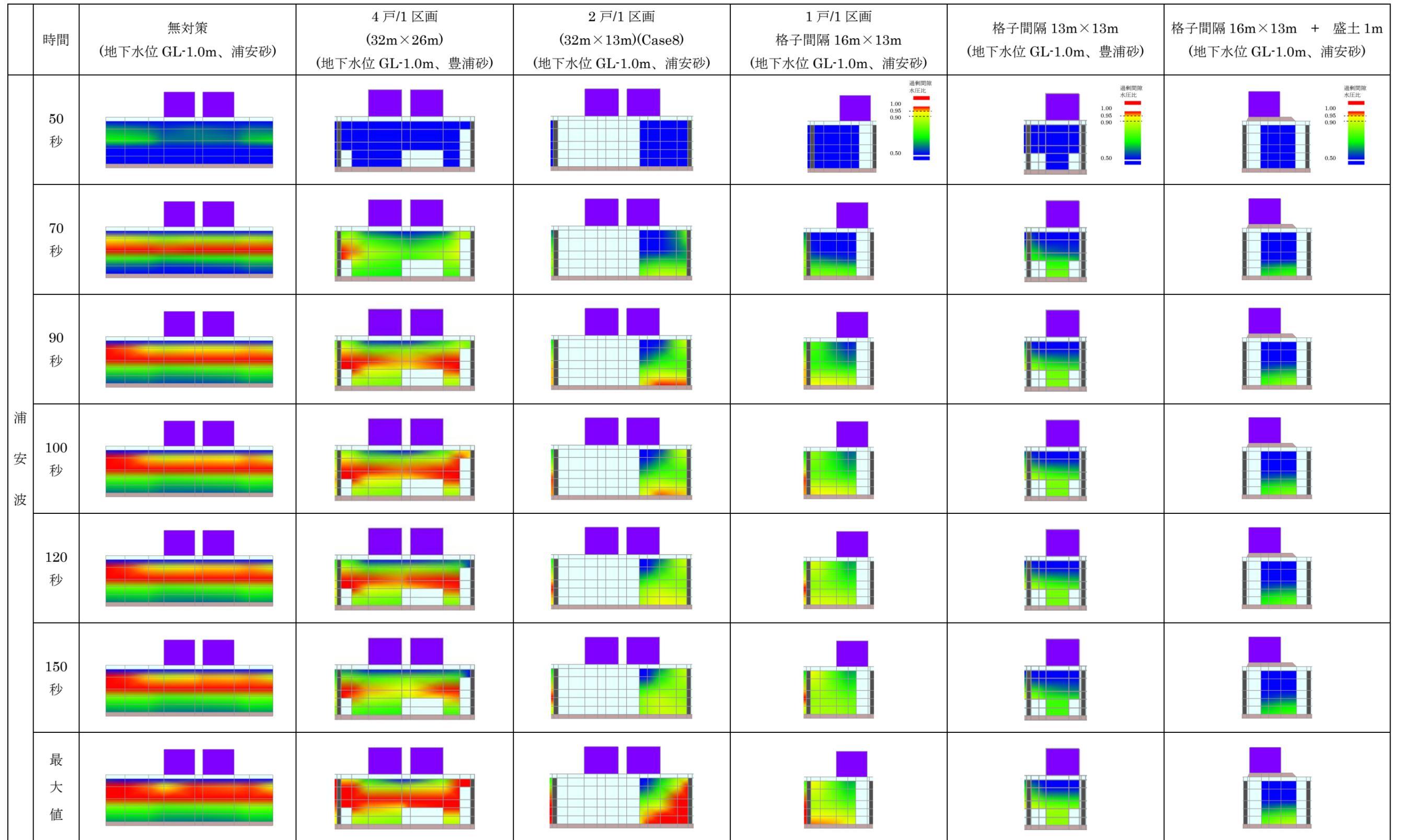
①入力地震動：地表面最大加速度 200gal 相当(浦安市観測約 160gal の約 1.25 倍)
 波 形 K-NET 浦安観測波
 加振時間 約 150 秒

②結果の概要

	過剰間隙水圧比コンター図(最大値)	水平応答加速度時刻歴	住宅の沈下量	模型地盤の試料土
無対策		GL-2m GL-7m GL-12m	13.3cm	浦安砂
4戸/1区画 (32m×26m)		GL-2m GL-7m GL-12m	10.9cm	豊浦砂
2戸/1区画 (32m×13m)		GL-2m GL-7m GL-12m	6.6cm	浦安砂
1戸/1区画① (16m×13m)		GL-2m GL-7m GL-12m	8.1cm	浦安砂
1戸/1区画② (13m×13m)		GL-2m GL-7m GL-12m	5.4cm	豊浦砂
1戸/1区画③ + 盛土 (16m×13m)		GL-2m GL-7m GL-12m	2.5cm	浦安砂

液状化発生による応答加速度の減衰

過剰間隙水圧比コンター図(K-NET 浦安波)



地中壁格子の規模と液状化の抑制効果（2）

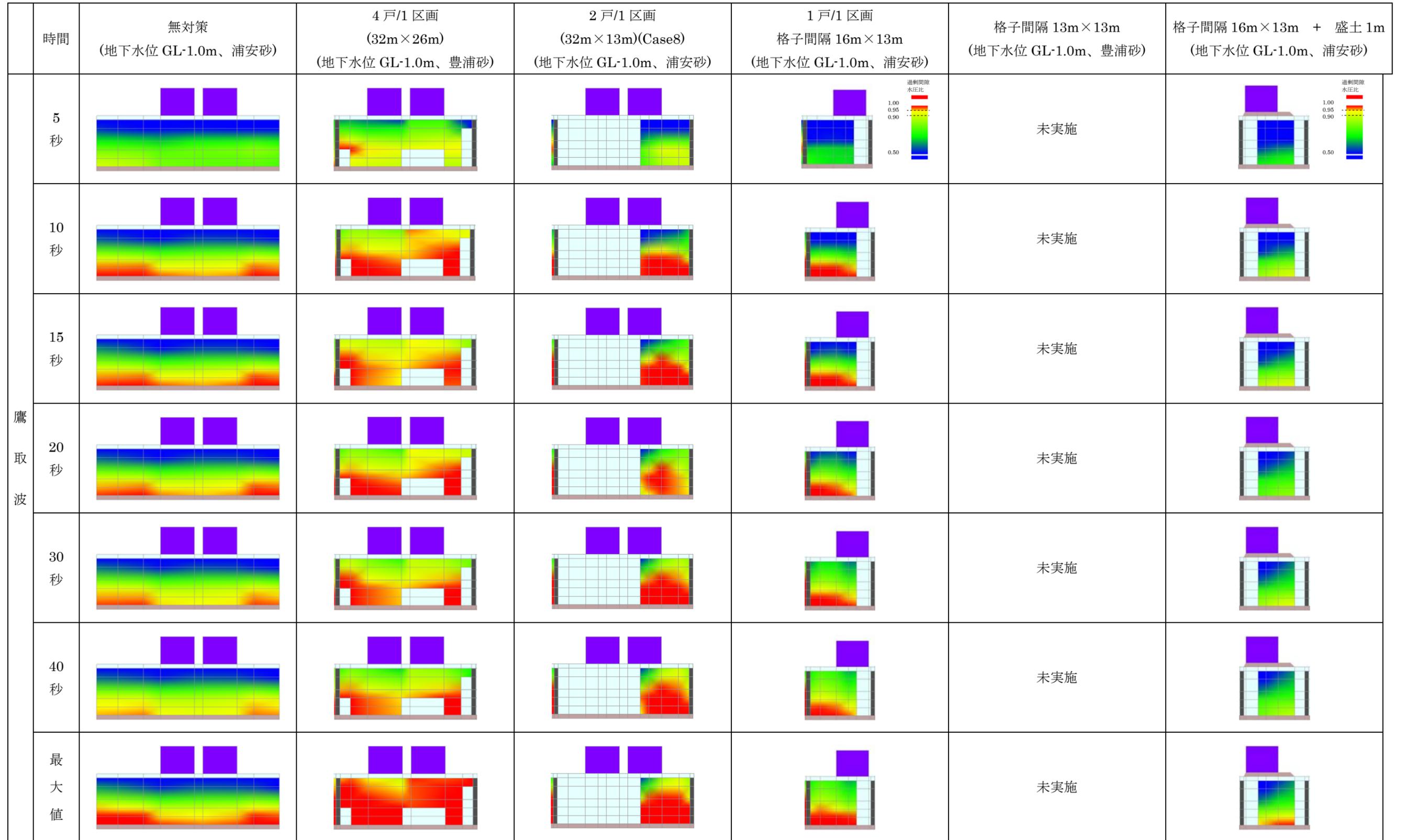
①入力地震動：地表面最大加速度 350gal 相当(浦安市観測約 160gal の約 2.2 倍)
 波 形 JR 鷹取駅観測波(阪神大震災)
 加振時間 約 40 秒

②結果の概要

	過剰間隙水圧比コンター図(最大値)	水平応答加速度時刻歴	住宅の沈下量	模型地盤の試料土
無対策		GL-2m GL-7m GL-12m	26.0cm	浦安砂
4戸/1区画 (32m×26m)		GL-2m GL-7m GL-12m	12.1cm	豊浦砂
2戸/1区画 (32m×13m)		GL-2m GL-7m GL-12m	13.7cm	浦安砂
1戸/1区画① (16m×13m)	<div style="display: inline-block; vertical-align: middle;"> <p>過剰間隙水圧比</p> <p>1.00</p> <p>0.95</p> <p>0.90</p> <p>0.50</p> </div>	GL-2m GL-7m GL-12m	8.6cm	浦安砂
1戸/1区画② (13m×13m)	未実施	未実施	未実施	豊浦砂
1戸/1区画③ + 盛土 (16m×13m)	<div style="display: inline-block; vertical-align: middle;"> <p>過剰間隙水圧比</p> <p>1.00</p> <p>0.95</p> <p>0.90</p> <p>0.50</p> </div>	GL-2m GL-7m GL-12m	11.0cm	浦安砂

液状化発生による応答加速度の減衰

過剰間隙水圧比コンター図(JR 鷹取駅観測波)



過剰間隙水圧比コンター図の作成手順

STEP1：過剰間隙水圧の時刻歴図の作成

ローパスフィルター処理により、観測した過剰間隙水圧時刻歴の生データから、10Hz以上の高周波数成分をカット。

STEP2：初期有効上載圧の決定

①60G場で加振前に計測された水圧、加振後に計測した間隙水圧計の深度から、水圧計が設置されていた深度を割り出す。

②設置深度に対応した有効上載圧を計算。

STEP3：水圧計設置位置間における補完過剰間隙水圧比の設定

主要動時間内(50秒～100秒)において、上部の応答加速度が直近下部の応答加速度に対して著しく低減して観測された場合、水圧計設置深度の中間点の過剰間隙水圧比を、次の方法で仮想的に設定する。

	過剰間隙水圧比
①周期 0.5 秒～1.0 秒の間で、80 秒以降の加速度の加速度応答スペクトルが、80 秒以降の振動台での加速度応答スペクトルの 50%以下になる周期がある。	0.95
②周期 0.5 秒～1.0 秒の間で、80 秒以降の加速度の加速度応答スペクトルが、80 秒以降の振動台での加速度応答スペクトルの 30%以下になる周期がある。	1.00

STEP4：以上による各深度の過剰間隙水圧比に関して、なめらかにカラーコンター図を描く。

地震記録の出典

1) 独立行政法人防災科学技術研究所 強震観測網 (K-NET, KiK-net) , <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>

2) 中村豊, 上半文昭, 井上英司：1995 年兵庫県南部地震の地震動記録波形と分析(II), JR 地震情報 No.23d, 財団法人鉄道総合技術研究所ユレダス開発推進部, 1996, 3.