格子状改良・排水工法による液状化対策効果について（その 1）
―遠心模型実験による効果の確認―

西松建設技術研究所（正）○佐藤透（正）今村眞一郎（正）佐藤靖彦（正）岩谷隆文
西松建設土木設計部（正）平野孝行（正）土屋光弘，福島高専（正）金澤伸一

１．はじめに

2011 年に発生した東日本大震災において，東京湾岸の広い範囲で液状化被害が発生し，多くの戸建て住宅やインフラ設備や工場等の民間設備なども被害を受けた．筆者らは，格子状改良工法と排水工法や浅層改良との併用による液状化対策効果についての研究を行っており，宅地の液状化対策において格子状改良工法と排水工法の併用が効果的であることを確認している [1)]．本報告ではより規模の大きな工場施設等の直接基礎の建物に対して，格子状改良工法と排水工法を組み合わせた液状化対策の効果について遠心模型実験を用いて確認した．

２．実験概要

図-1 に遠心模型実験の概要図，表-1 に模型の諸元を示す．実験は実規模深さ 10m の液状化地盤を想定して，建物を格子壁と排水工法で対策した場合に対し，1/50 縮尺の遠心模型実験（遠心力場 50g）を行った．模型地盤は粘性流体と豊浦砂を用いて作製した．実施工での斜めドレーンを想定した模型地盤の製作が難しいため，斜めドレーンの改良効果を模擬するため，鉛直ドレーンと上部排水層を設置することにした．

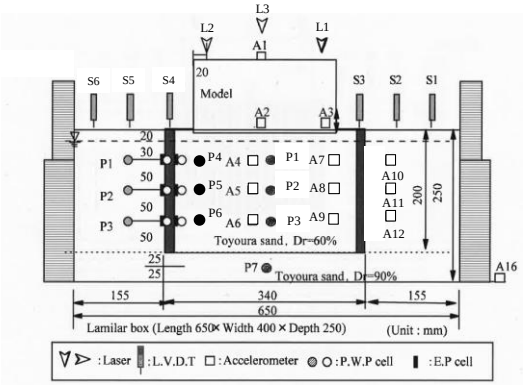


図-1　模型実験概要図（C2）

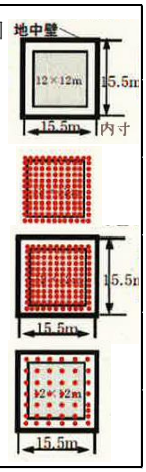
実験は格子状改良と排水工法をそれぞれ単独で対策した場合と，併用した場合の対策効果を確認するため，表-2 に示す 5 ケース（C1～C5）を実施した．入力地震動は最大加速度 311Gal の臨海波（ST3:RINKAI 92h）である（図-2）．以下の実験結果は全て実物換算して記した．

表-1　模型の諸元

種類	模型スケール	実物スケール	模型の材質	備考
液状化層	層厚：200mm （上部20mmは不飽和層）	層厚：10m （上部1mは不飽和層）	豊浦砂	相対密度 Dr=60%
非液状化層	層厚：50mm	層厚：2.5m	豊浦砂	相対密度 Dr=90%
建物	W×D×H =240mm×240mm×110mm 根入れ深さ：5mm	W×D×H =12m×12m×5.5m 根入れ深さ：0.25m	アクリル	建物荷重 15kPa
格子壁	内寸：W×D×H =310mm×310mm×H：200mm 壁厚：15mm	内寸：W×D×H =15.5m×15.5m×10m 壁厚：0.75m	アクリル ＋ 鉄板	圧縮強度 q_u=2MPa程度
ドレーン	外径：6mm 長さ（建物直下）：190mm 長さ（建物周辺）：200mm	外径：0.3m 長さ（建物直下）：9.5m 長さ（建物周辺）：10m	鋼製バネ ＋ 不織布	透水係数 3cm/s
排水層	層厚：5mm	層厚：0.25m	硅砂3号	ドレーン上部

表-2　実験条件（実物換算スケール）

Case		対策内容	平面図
C1	無対策	-	C2
C2	格子壁対策	格子壁　内寸：15.5m×15.5m L/H=1.55（L：格子幅，H：格子壁深さ）	C3
C3	排水対策	排水材：建物直下および周辺　1.4m ピッチ	C4
C4	格子壁+排水対策　1	格子壁　内寸：15.5m×15.5m L/H=1.55 排水材：建物直下および周辺　1.4m ピッチ	C5
C5	格子壁+排水対策　2	格子壁　内寸：15.5m×15.5m L/H=1.55 排水材：建物直下および周辺　2.8m ピッチ	



（1）過剰間隙水圧と建物の沈下の挙動

図-3 に建物直下 P1 における過剰間隙水圧比の時刻歴を示す．20～30 秒付近の主要動（図-2）で，C1，C2 の過剰間隙水圧比は，C1 で約 1.0，C2 で約 0.8 まで上昇し，主要動後も過剰間隙水圧比の高い状態が継続した．一方，ドレーン設置間隔が 1.4m ピッチの C3，C4 における過剰間隙水圧比は C3 で約 0.8，C4 で約 0.6 まで上昇するが，主要動後は消散する結果となった．ドレーンの設置間隔が C3，C4 の 2 倍である C5 では過剰間隙水圧比が 0.8 まで上昇し，主要動後は消散と上昇を繰り返した．図-4

キーワード　液状化対策，格子状改良工法，排水工法，遠心模型実験
連絡先　〒105-8401　東京都港区虎ノ門 1-20-10　西松建設㈱　技術研究所　　TEL 03-3502-0273

に建物の 3 測点（L1～L3）における平均沈下量の時刻歴を示す．加振終了時点 130 秒までの沈下量に着目すると C1 が最も大きく，C2 が最小となった．C1，C2 は他のケースと比べ加振終了後も沈下が継続する傾向となる．加振終了時点での C3, C4 の沈下量は C2 よりも大きいものの，C1，C2 のような加振終了後の継続的な沈下傾向は示さない結果となった．C5 の沈下量は C3, C4 よりも大きいが C1，C2 のような継続的な沈下傾向は示さない結果となった．

（2）建物の沈下量・傾斜角の挙動

図-5 に建物の平均沈下量を加振終了時点と加振終了後（過剰間隙水圧の消散が完了する 1000 秒後）に分けて示す. 無対策の C1 と比較すると，格子壁のみの C2 の加振終了後の沈下量は C1 の約 1/2 であった．この沈下差は格子壁の拘束による過剰間隙水圧の上昇が抑制されたことと（図-3）, 主要動付近の建物直下地盤の沈下が格子壁により抑制される（図-4）ことで生じたものと考えられる．

排水対策を行っている C3～C5 の加振後の沈下量は C1，C2 と比較して大幅に減少した．これは排水対策により過剰間隙水圧の蓄積の抑制と早期消散により，加振終了後の沈下が抑制されたものと考えられる．また，格子状改良工法と排水工法を併用した C4，C5 の平均沈下量は，単独工法の C2，C3 と同程度であった．

図-6 に建物上 2 測点（L1, L2）の沈下差 S_{dif} を 2 測点の水平距離 L（8.65m）で除して求めた傾斜角 S_{dif}/L を示す．C2，C3 の傾斜角は C1 よりも若干大きいが，C4 の傾斜角は C1 の約 1/10 という結果となった．図-7 に傾斜角の時刻歴を示す．格子壁のみの C2 では傾斜角の変動が大きく，加振終了後の傾斜角は C1 より大きくなった．鋼矢板を用いた液状化対策の実験事例 [2] においても，無対策の場合より傾斜角の変動が大きくなることが報告されている．一方，図-6 に示すようにドレーンの設置間隔を 2 倍にした C5 の傾斜角は C4 よりも大きくなったが, C3 よりは小さく，本実験ではドレーンのみを密に設置する対策よりもドレーンの間隔を 2 倍とし格子壁と併用する対策が傾斜角の抑制に効果のある結果となった．

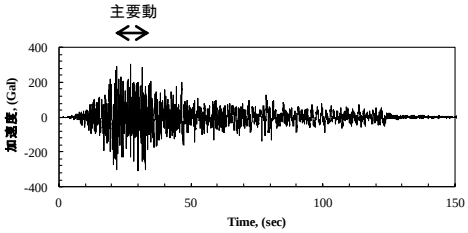


図-2　入力地震波（臨海波）

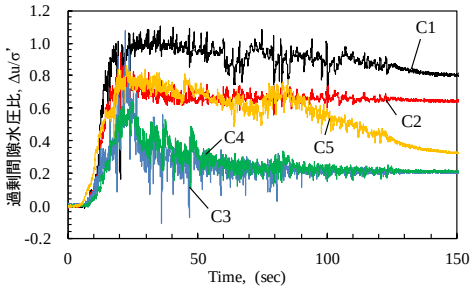


図-3　過剰間隙水圧比の時刻歴（P1）

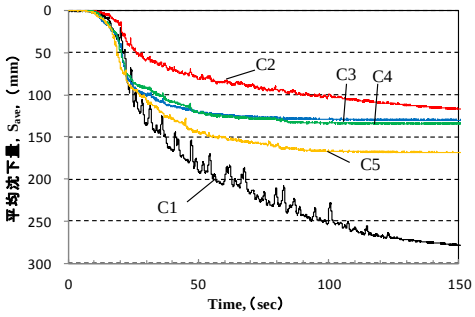


図-4　平均沈下量の時刻歴

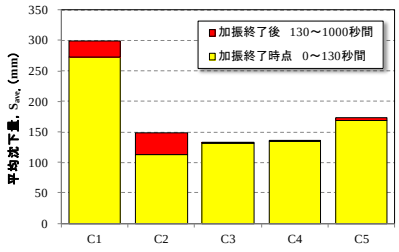


図-5　平均沈下量の比較

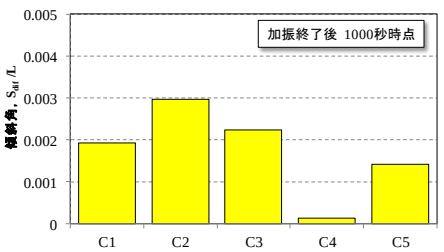


図-6　傾斜角の比較

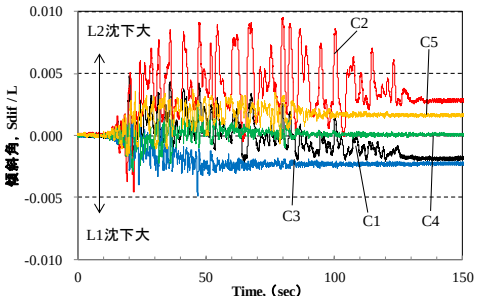


図-7　傾斜角の時刻歴

4．まとめ

1) 格子状改良工法と排水工法を併用した液状化対策は，単独工法よりも建物の傾斜角を抑制するのに効果があり，併用することでドレーン間隔を 2 倍としても傾斜角の抑制効果が確認された．

2）本実験は建物の重心が中央にあり，地盤が均質であったため無対策においても傾斜角が大きくならない実験結果であったが，偏心荷重のある建物や，地盤が不均質な条件における傾斜角の抑制効果については，今後の検討課題である．

参考文献　1）今村ら：格子状改良工法と他工法との併用による液状化対策効果について，土木学会第 68 回年次学術講演会，2013.

2）古谷ら：1g 場振動台実験による鋼矢板を用いた宅地液状化対策工法の効果について，第 48 回地盤工学研究発表会，2013.