格子状改良・排水工法による液状化対策効果についての解析的検討(その2)

-3次元有効応力解析による遠心模型実験の再現解析-

| 群馬大学大学院理工学府 | (正) | 蔡 | 飛 |
|-------------|-----|-----|-----|
| 群馬大学大学院理工学府 | (学) | ○芦澤 | 拓八 |
| 西松建設㈱土木設計部 | (正) | 齋藤 | 禎二郎 |
| 西松建設㈱技術研究所 | (正) | 佐藤 | 透 |
| 西松建設㈱技術研究所 | (正) | 佐藤 | 靖彦 |

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日に東北地方太平洋沖地震により,多 くの地域で液状化現象が発生し,世界最大級の液状化被 害が生じた.液状化によって,宅地だけでなく,ライフラ インにも被害が生じ,生活に支障をきたす状況に陥った.

2. 研究目的

近年注目されている液状化対策として,既設の住宅や 公共施設に施工できる方法が求められる.その方法とし て格子状改良工法および排水工法が挙げられる.本研究 では既往の研究¹⁾で行われた動的遠心載荷実験 5Case (表 1)について3次元解析を行い,各液状化対策のメカニズ ムおよび液状化に対する沈下抑制効果を検討する.

3. 遠心模型実験

3-1. 実験 Case

表1に示す実験 Case の解析的検討を行い,格子状改良 工法,排水工法,並びに格子状改良工法と排水工法の併 用工法の液状化対策効果を評価する.

3-2. 実験条件

図1にC4(格子壁+排水対策1)を例として遠心模型 実験概要図を模型スケールで示す.実験は層厚10mの液 状化しうる地盤(以降,液状化地盤と表記)に設置された 直接基礎形式の建物(建物荷重15kPa)を想定し,1/50縮 尺の遠心模型実験(遠心力場50G)を行った.

入力地震波は南関東直下地震を想定して作成された最 大加速度 311gal の臨海波(RINKAI92h)を使用した.

4. 3 次元解析

解析には、液状化対策の効果を検討するために動的有 効応力解析プログラム UWLC3D を用いた.構成則とし て、液状化層・非液状化層・排水ドレーンは PZ-sand モデ ル、建物と格子壁は弾性モデル、不飽和層は HD モデル を使用した.各材料における構成則のパラメータは、実 験結果に基づき同定した.

なお, 排水ドレーンの効果は, 3 次元解析における要素 数制約のため, 排水ドレーンを直接表現するのではなく, 排水ドレーンの効果を等価な地盤鉛直透水係数 kve によ り表現した. 等価な地盤鉛直透水係数 kve は Terzaghiの1 次元圧密理論より次のように求めた²⁾.

表1 実験 Case

| | Case | 対策内容 |
|----|-------|-------------------|
| C1 | 無対策 | - |
| C2 | 格子壁対策 | 格子壁内寸:15.5m×15.5m |
| | | L/H=1.55 |
| C3 | 排水対策 | 排水ドレーン:建物直下及び |
| | | 周辺 1.4m ピッチ |
| C4 | 格子壁 | 格子壁内寸:15.5m×15.5m |
| | + | 排水ドレーン:建物直下及び |
| | 排水対策1 | 周辺 1.4m ピッチ |
| C5 | 格子壁 | 格子壁内寸:15.5m×15.5m |
| | + | 排水ドレーン:建物直下及び |
| | 排水対策2 | 周辺28m ピッチ |



$$\mathbf{k}_{\mathrm{ve}} = \left(1 + \frac{8l^2}{C_{\mathrm{d}}\mu d_{\mathrm{e}}^2} \frac{\mathbf{k}_{\mathrm{h}}}{\mathbf{k}_{\mathrm{v}}}\right) \mathbf{k}_{\mathrm{v}} \tag{1}$$

$$\mu = \frac{n^2}{n^2 - 1} \ln(n) - \frac{3n^2 - 1}{4n^2} + \frac{2\pi l^2 k_h}{3q_w}$$
(2)

ここで、*l* $はドレーン長、<math>C_d$ は最適な調整係数、 d_e はドレ ーンの等価円直径、 k_v と k_h はそれぞれ地盤の鉛直と水平 透水係数、 $n=d_e/d_w$ 、 d_w はドレーンの径、 q_w はドレーンの 鉛直方向通水能力である.本研究では、 $d_w=0.3m$ であり、 $k_h=k_v$ とした. 試計算の結果に基づき $C_d=0.42$ を用いた.

キーワード:液状化対策,格子状改良工法,排水工法,3次元数値解析 連絡先:〒376-8515 群馬県桐生市天神町1-5-1 群馬大学大学院理工学府,TEL:0277-30-1621

C3 および C4 においてはドレーン間隔 d=1.4m より等価 透水係数 k_{ve} =40 k_v , C5 においては d=2.8m より k_{ve} =10 k_v が 求められた.解析ではこれらの値を,排水工法を用いた 範囲内の地盤における鉛直透水係数とした.

5. 各 Case の改良効果

5-1. 沈下量

建物中心位置(L3)における沈下量の実験結果と解析 結果の比較を図2に示す.解析結果は実験結果と大きく 違わないことがわかり,沈下抑制効果が最大となるのは C2 格子状改良工法であり,C1 無対策と比較すると,建 物中心位置において,沈下量が151.7mm抑制された.

また,図3に長手方向中央断面における各 Case の 150s 時の変形図を示す. なお,図3 に赤く示されている部分 は格子状地中壁である.

格子状改良工法を施すと地盤の側方流動が抑制され, 建物の沈下が減少した. C3 排水工法は,地震により発生 した過剰間隙水圧を消散させたため,沈下量が C2 格子状 改良工法より大きくなったと考えられる.



5-2. 過剰間隙水圧

各 Case における最大過剰間隙水圧比の分布を図4 に示 す. C2 格子状改良工法は、せん断変形を防ぎ、過剰間隙 水圧発生の抑制効果があると言われているが、解析と実 験と共に過剰間隙水圧は C1 無対策と同程度となった. その理由としては格子状地中壁の間隔が大きいことや,入 力地震波が大きいことにあると考えられる.また,建物 直下中心位置(P2)における C1 無対策, C2 格子状改良 工法,C3 排水工法の過剰間隙水圧時刻歴(図5)より, 排水工法の過剰間隙水圧の蓄積の抑制および早期の消散 効果が確認できる.



図4各 Case における最大過剰間隙水圧比分布



図5 P2 における過剰間隙水圧時刻歴

6. まとめ

3次元解析を用いた本研究より以下の知見が得られた.

- 3 次元有効応力解析 UWLC3D により実験結果を概 ね再現できた.
- 格子状改良工法は地盤の側方流動を防ぎ、沈下を 抑止する効果を確認できた。
- 排水工法を施すことで過剰間隙水圧の蓄積の抑制 および早期の消散が期待できる。
- 格子状改良工法に排水工法を併用することで、過 剰間隙水圧の消散が促進され、液状化対策として より有効となると言える。

今後の課題としては必要とされる液状化抑制効果と経済性を考慮し最適な改良工法を検討する必要がある.

参考文献:1) 佐藤ら:格子状改良・排水工法による液状化対策効果について-遠心模型実験による効果の確認-, 土木学会第 69 回年次学術講演 会, III-015, 2014. 2) Chai et al.: Simple method of modering PVD-improved subsoil, J. Geotech. and Geoenvir. Eng., Vol. 127, No. 11, pp. 965-972, 2001.