

砂質地盤の液状化対策における排水工法の有効性に関する研究

建設工学専攻 2 年 土田雄大
指導教員 大塚 悟

1 はじめに

液状化の対策として数々の対策工法が考案されてきたが、それらは主に大規模な土地開発と同時に行われるものであり、宅地あたりの施工にはさほど着目されていなかった。その理由は、地盤改良が高コストであるなどさまざまな要因が挙げられる。そこで、大規模な地盤改良に比べ比較的 low コストで、狭隘な土地でも対策が可能な工法として「排水パイプ工法」がある。排水パイプ工法とは穴を開けた塩ビ管を地中に埋めることにより過剰間隙水圧の消散を促す工法である。

本研究では「排水パイプ工法」の有効性を確認するため、振動台模型実験を用いて性能評価を行い、排水性能のモデル化、国土交通省国土技術政策総合研究所での実規模振動台実験との比較・モデル化の検証、そして土・水連成有限要素解析による検討を行った。

2 振動台模型実験

2.1 実験概要

基本的な排水パイプの性能を評価するため、パイプ 1 本での性能評価【CaseA】と、複数本での性能評価【CaseB】を行い地盤内での過剰間隙水圧、応答加速度を計測した。

【CaseA】実験ケースを表-1 に示す。なお開口率とは、排水パイプの外周面積に対する開口部の面積部の比率である。計器は GL-5cm・-10cm に、排水パイプから 2cm・4cm 離れた場所に水圧計、3cm 離れた場所に加速度計を設置した。入力加速度については、初期振幅が小さく段階的に増幅する正弦波 6 Hz、40 波、目標加速度を 100Gal と設定した。

【CaseB】実験ケースを表-2 に示す。排水パイプの内径を 15 mm、開口率を 10% とし、実験概略図を図-1 に示すとおり、排水パイプ間隔を 9cm・12cm と変化させ実験を行った。また、目標加速度は CaseA と同じく 100Gal と設定した。

●排水パイプ

排水パイプについては、長さ 160mm（排水範囲 150mm）とし、内径は 15mm と 30mm の二つとした。また、排水のための側面の穴は、5 mm とした。なお、排水時の砂の流入を防ぐフィルタのため防虫網を被せている。

表-1 CaseA の実験ケース

Case	条件			
	相対密度[%]	管内径[mm]	開口率[%]	入力波
1	40	15mm	0%	100gal
2			10%	100gal
3			20%	100gal
4		30mm	0%	100gal
5			10%	100gal

表-2 CaseB の実験ケース

Case	条件				
	相対密度[%]	管内径[mm]	パイプ間隔	開口率[%]	入力波
1	40	15	9cm	0%	100gal
2				10%	100gal
3			12cm	0%	100gal
4				10%	100gal

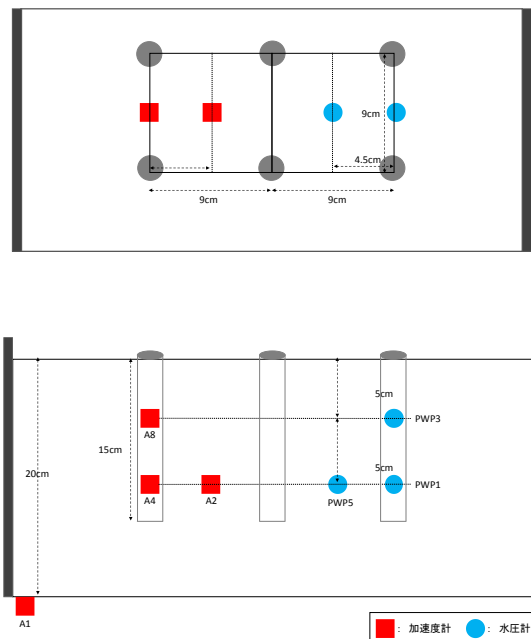


図-1 CaseB 実験概略図

2.2 実験結果

【CaseA】

図-2 に Case1~3(管内径 15mm)での GL-10cm・パイプ距離 2cm と GL-10cm・パイプ距離 4cm での過剰間隙水圧比の時刻歴を示し、次のことがわかった。また、以下のことが管内径 30mm でも同様な結果を得ている。

- ・排水パイプの距離に問わず、開口率 0%に比べ 10%・20%が間隙水圧の上昇を抑えられている結果となった。
- ・開口率 10%と 20%では明瞭な違いは見られなかった。
- ・パイプに近い箇所では水圧が抑制できる結果となった。これは排水効果とパイプにより地盤の変形が抑えられ、水圧の上昇が抑制されたものだと考えられる。

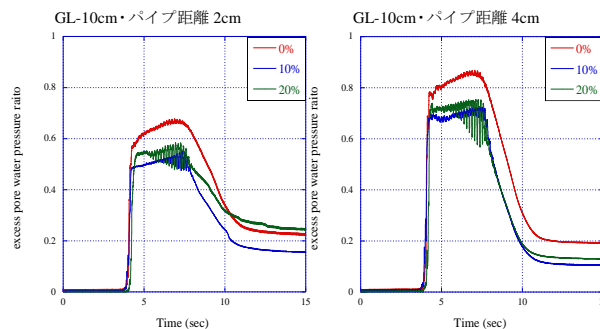


図-2 各過剰間隙水圧比の時刻歴

【CaseB】

図-3, 図-4 に深部(PWP1・PWP5)での過剰間隙水圧比の時刻歴について左図に間隔 9cm, 右図に 12cm として示す。CaseA 同様、開口率 0%に比べ 10%が間隙水圧の上昇を抑制している結果となった。また、加振終了時での水圧の消散について見ると、開口率 0%よりも早期に消散していることがわかる。特にパイプ間隔 9cm での開口率 0%と 10%(PWP5)を比較すると加振中に消散が確認できる。これは、複数の排水パイプを入れることで、排水効果も増していったと推測できる。

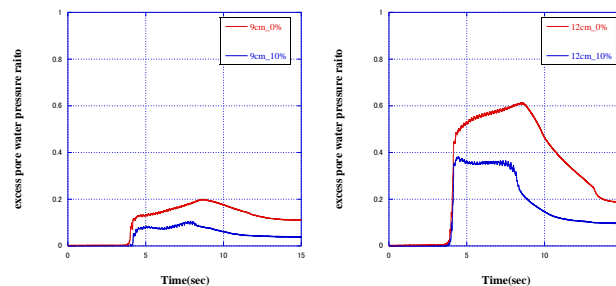


図-3 PWP1 での過剰間隙水圧比の時刻歴(左 9cm, 右 12cm)

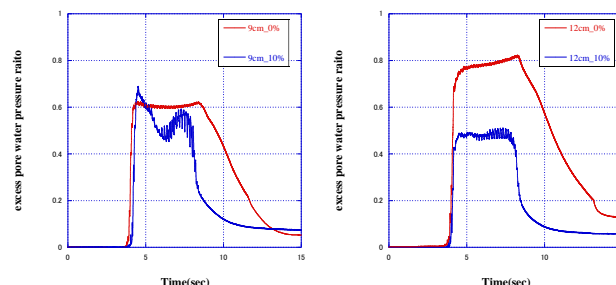


図-4 PWP5 での過剰間隙水圧比の時刻歴(左 9cm, 右 12cm)

3 モデル化・実規模振動台実験との比較・検証

3.1 排水効果モデル化

全域液状化を想定し、パイプによる排水効果の範囲距離 r_m を(式 1)と仮定する。

$$r_m = \sqrt{kTZ \cdot \frac{\gamma_t'}{\gamma_w}} \quad (\text{式 1})$$

ここで、 k は地盤の透水係数、 γ_t' は土の単位体積重量、 γ_w は水の単位体積重量、 Z は深度深さである。

3.2 モデルの検証

モデル化した排水距離を評価すべく、振動台模型実験と実規模振動台実験の結果を踏まえ考察していく。

パイプ内径の変化を評価するため、構造効果 SE (式 2)を設定した。また、パイプの開口率の変化を評価するため、排水効果 DE (式 3)を設定した。計測した距離 r をモデル化した排水距離 r_m で正規化した r/r_m と、構造効果 SE との関係を **図-5** に示す。また r/r_m と排水効果 AE の関係を **図-6** に示す。2つのグラフから次のことが確認できた。

$$SE = \left(\frac{u_e/\sigma'}{\phi_{11}} \right) / \left(\frac{u_e/\sigma'}{\phi_{22}} \right) \quad (\text{式 2})$$

$(u_e/\sigma')_{\phi_{11}}$: 径が大きいものでの過剰間隙水圧比

$(u_e/\sigma')_{\phi_{22}}$: 径が小さいものでの過剰間隙水圧比

$$AE = \left(\frac{u_e/\sigma'}{(10\% \text{ or } 20\%)} \right) / \left(\frac{u_e/\sigma'}{0\%} \right) \quad (\text{式 3})$$

$(u_e/\sigma')_{(10\% \text{ or } 20\%)}$: 開口率 10%・20%での過剰間隙水圧比

$(u_e/\sigma')_{0\%}$: 開口率 0%での過剰間隙水圧比

【構造効果】

図 5 より、パイプ内径での構造効果は、塩ビ管で 0.8~1 である。このことから、基本的に径の及ぼす排水範囲への影響は少ないと考えられ、パイプ面からの距離で整理できることがわかった。

次に、排水の影響範囲は、ばらつきのあるものの全体的に概ね $r/r_m=2$ で $SE=1$ であり、透水係数の見積精度を考えると、提案したモデルは有効であることが確認された。透水係数は室内試験と模型試験で一致せず、一般に数倍に設定することがよく報告させている。特に水平方向の透水係数は大きくなることが多く、透水係数については今後の課題となる。

また、振動台模型実験での結果を見ると、実規模振動台実験より構造効果の影響が大きいことが確認できる。模型実験は小型の為、パイプ径による構造効果 SE は大きい結果となった。

【排水効果】

図 6 より、パイプの開口率は 10%と 20%で差異は比較的小さいことから、20%で十分効果があることが確認された。施工においても、概ね 20%で効果が期待されると考えられる。また、計測深度の浅い地点では間隙水圧比が小さい結果が得られ、地表面方向への排水の影響があることが指摘される。排水パイプの液状化対策効果を判定する上で、地表面方向への排水には注意が必要である。

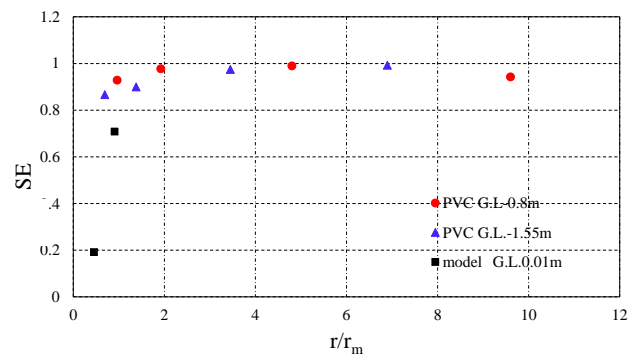


図-5 構造効果 $SE-r/r_m$ 関係

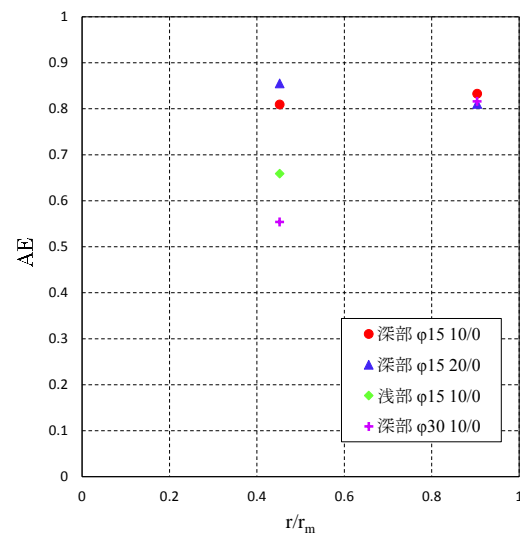


図-6 排水効果 $AE-r/r_m$ 関係

【深度による発生量の検討】

モデル化での深度方向を考察するため、振動効果 OE(Oscillating Effects)を設定する。

$$OE = \left(\frac{u_e}{\sigma'} \right)_d / \left(\frac{u_e}{\sigma'} \right)_s \quad (式 4)$$

ここで、同排水距離に対して深部での過剰間隙水圧比を $(u_e/\sigma')_d$ 、浅部での過剰間隙水圧比を $(u_e/\sigma')_s$ としている。図-7 は横軸に r/r_m 、縦軸に OE をとったグラフを示す。

提案モデルでは、全域液状化を想定しており、深度方向に液状化の差異はないはずである。しかし図 5. 2. 3. 1 に示す近似曲線では、傾き 0.0229 切片 0.5685 となっている。このことから、深度方向で発生レベルが異なる傾向があることがわ

かった。深度方向において液状化の発生が異なることを考慮する必要がある。

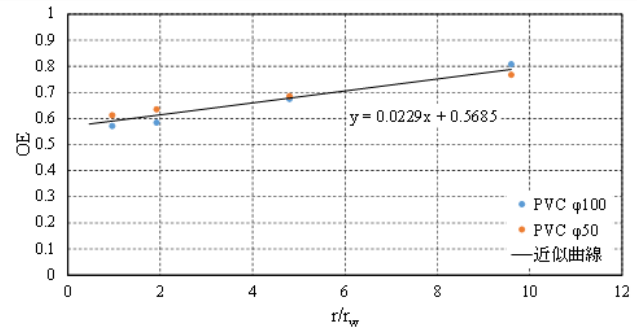


図-7 振動効果 OE-r/r_m 関係

4 まとめと今後の課題

排水パイプの性能について、構造効果 SE、排水性能 AE そして振動効果 OE を用い検討を行ってきた。それぞれで求めた補正係数を対応したのものに対し補正をしていき、実測距離を提案式で正規化したもの r/r_m と過剰間隙水圧比の関係は図-8 のようになる。

対数近似したものが (式 6) となる。また、 $0 \leq r/r_m \leq 2$ で線形近似をとり、 $r/r_m > 2$ の範囲で過剰間隙水圧比を 1 としているものが (式 6) となる。(式 6) を対数モデル、(式 7) をバイリニアモデルとする。どちらも実規模実験と振動台模型実験での結果をともに表わすことができ、提案したモデルは有用性があるといえる。また、対数モデルでは $0 \leq r/r_m \leq 4$ 、バイリニアモデルでは $0 \leq r/r_m \leq 2$ で排水効果があり、過剰間隙水圧比が 1 を超えたところで排水効果はなくなっていると仮定している。

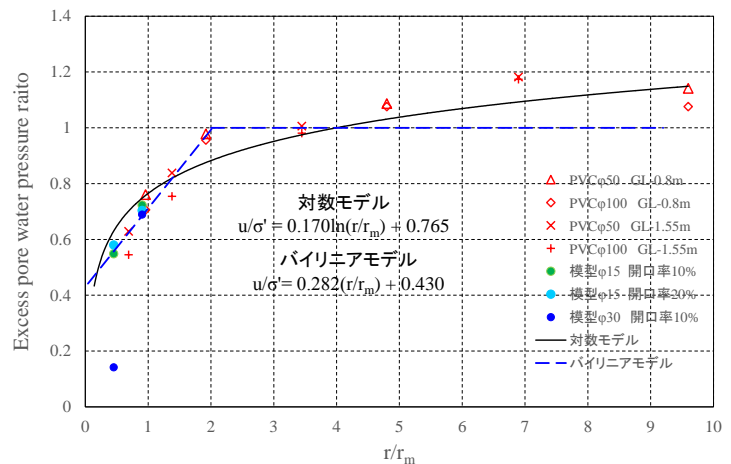


図-8 振動効果 OE-r/r_m 関係

(1)対数モデル

$$u/\sigma' = 0.170 \ln \left(\frac{r}{r_m} \right) + 0.765 \quad (0 \leq r/r_m \leq 4) \quad (式 5)$$

(2)バイリニアモデル

$$\begin{cases} u/\sigma' = 0.282 \left(\frac{r}{r_m} \right) + 0.430 & (0 \leq r/r_m \leq 2) \\ u/\sigma' = 1 & (r/r_m > 2) \end{cases} \quad (式 6)$$

5 参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所：柱状ドレーンによる液状化対策効果の計測，平成 24 年 3 月
- 2) 豊田浩史：地盤の振動台実験方法とその適用性