

# 軟弱地盤を対象とした PFS 工法の地盤変状抑制効果に関する三次元数値解析

熊本大学 学生会員 ○田中恵祐

熊本大学院 正会員 大谷 順

## 1. はじめに

軟弱地盤地域での地盤変状抑制工として、全着底鋼矢板工法が広く用いられてきた。しかし、全着底鋼矢板は、軟弱粘土層が厚く分布するような軟弱地盤では、鋼矢板が非常に長尺となり施工費用が高くなることや嵌合施工が困難になるなどの問題がある。そのため、施工費用の縮減および施工性向上のための新工法として PFS 工法<sup>1)</sup>が提案された。PFS 工法とは、応力遮断を目的とするフローティング鋼矢板と沈下抑制を目的とする着底鋼矢板から成る工法である。

PFS 工法の試験施工は熊本平野や兵庫県円山川流域の軟弱地盤地域で行われている。また、熊本平野を対象とした三次元数値解析は実施され、PFS 工法の有効性については検討されている。しかし、異なる地盤条件での三次元数値解析は実施されておらず、PFS 工法の有効性についての検討は十分であるとはいえない。

そこで本研究では、兵庫県円山川流域での PFS 工法について、有限要素法を用いた土-水連成弾塑性数値解析を実施することで、PFS 工法の有効性について検討を行う。

## 2. 数値解析概要

PFS 工法は、各断面で鋼矢板長が異なるため三次元数値解析が必要である。そこで本研究では、名古屋工業大学の中井らによって開発された有限要素法による三次元土-水連成弾塑性解析プログラム FEMtj3D<sup>2)</sup>を用いた。このモデルは中間主応力による影響を考慮した弾塑性モデルである。今回数値解析に用いたメッシュ図を図 1 に示す。オレンジで示す箇所が新たに増設される盛土部分であり、これによる周辺地盤への影響を抑制する目的で PFS 工法が施工された。変位境界は、Y-Z 面を X 方向自

由、Y、Z 方向拘束、Z-X 面を Y 方向自由、Z、X 方向拘束、底面を X、Y、Z 方向拘束とした。排水境界については、Z-X 面を非排水境界、X-Y および Y-Z 面を排水境界とした。構成則は、粘土層を弾塑性体、砂層、鋼矢板および盛土を線形弾性体とした。表 1 に解析パラメータを示す。また図 2 に盛土載荷状況を示す。盛土は 5 日で 0.9m の段階載荷で、30 日で完了している。

## 3. 数値解析の有効性

図 3 に実測値観測位置を示す。A,B で鉛直変位を測定し、C,D で過剰間隙水圧を測定している。

図 4 は施工開始からの経過日数と軟弱地盤の鉛直変位と過剰間隙水圧の関係を示している。A、C では、それぞれ鉛直変位と過剰間隙水圧について、観測結果と解析結果が類似している。B では、解析結果と観測結果の沈下挙動に差異が生じている。しかし、最終沈下量は、誤差が 4cm 程度であり、比較的十分な精度で最終沈下を把握できると考えられる。D での過剰間隙水圧は、ピーク時で解析結果が観測結果より約 2 倍大きい値を示している。しかし、過剰間隙水圧が最大となる日数と上昇過程、消散過程が類似していることから、ある程度の精度で地盤内の応力状態を把握できると考えられる。

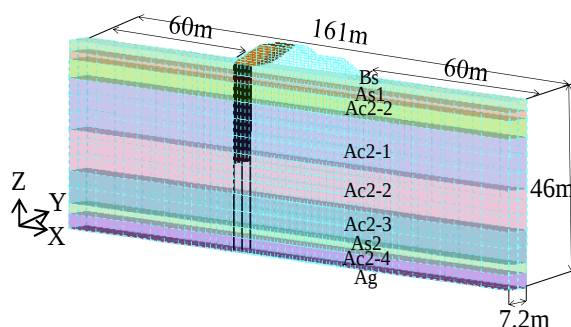


図 1 解析メッシュ図

表 1 解析パラメータ

| 深さ(m) |       | $E$ (kN/m <sup>2</sup> ) | $\nu$ | $G$ (kN/m <sup>2</sup> ) | $\lambda$ | $\kappa$ | $Rcs$  | $\beta$ | $e_0$ | $N$                      | OCR   | $k_0$ (m/day) | $\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> ) |
|-------|-------|--------------------------|-------|--------------------------|-----------|----------|--------|---------|-------|--------------------------|-------|---------------|---------------------------------|
|       |       | 弾性係数                     | ポアソン比 | せん断係数                    | 圧縮指数      | 膨潤指数     | 限界主応力比 | 修正応力係数  | 初期間隙比 | $P=98\text{kN/m}^2$ の間隙比 | 過圧密比  | 透水係数          | 湿潤単位体積重量                        |
| 0     | Bs    | 7000                     | 0.33  | 2632                     | 0.500     | 0.075    | 3.200  | 2.0     | 0.65  | 1.10                     | 0.000 | 2.59E-02      | 19.00                           |
| 2.8   | Ac1   | 5800                     | 0.35  | 2148                     | 0.390     | 0.059    | 3.200  | 1.5     | 1.05  | 1.00                     | 1.100 | 2.90E-03      | 18.20                           |
| 4.7   | As1   | 7210                     | 0.33  | 2711                     | 0.500     | 0.075    | 3.200  | 2.0     | 0.65  | 1.10                     | 0.000 | 2.59E-02      | 19.30                           |
| 9.2   | Ac2-1 | 7000                     | 0.37  | 2563                     | 0.900     | 0.135    | 3.200  | 1.5     | 1.33  | 1.22                     | 1.100 | 4.65E-04      | 17.40                           |
| 21.8  | Ac2-2 | 12700                    | 0.40  | 4533                     | 0.920     | 0.138    | 3.200  | 1.5     | 1.77  | 1.69                     | 1.000 | 3.68E-04      | 16.20                           |
| 31.8  | Ac2-3 | 14490                    | 0.37  | 5278                     | 0.900     | 0.135    | 3.200  | 1.5     | 1.42  | 1.37                     | 1.000 | 1.80E-04      | 16.90                           |
| 39.8  | As2   | 9100                     | 0.33  | 3421                     | 0.500     | 0.075    | 3.200  | 1.5     | 0.65  | 1.10                     | 0.000 | 3.46E-02      | 19.00                           |
| 42.3  | Ac2-4 | 12900                    | 0.37  | 4719                     | 0.500     | 0.075    | 3.200  | 1.5     | 1.12  | 1.09                     | 1.000 | 2.82E-04      | 17.40                           |
| 45.8  | Ag    | 29050                    | 0.33  | 10921                    | 0.008     | 0.001    | 3.200  | 2.0     | 0.65  | 1.10                     | 0.000 | 8.64E-01      | 19.00                           |

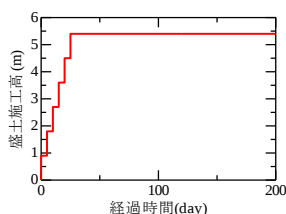


図2 盛土载荷重状況

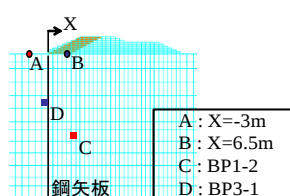


図3 実測値観測位置

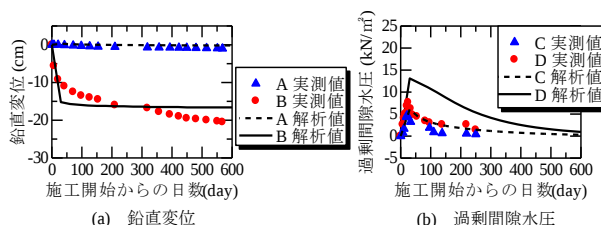


図4 観測結果と解析結果

## 4. PFS工法の有効性

### 4.1 沈下量による比較

盛土施工開始から 600 日後の地盤変位ベクトル図を図 5 に示す。(a) の無対策地盤では、周辺地盤が大きく乱れており、側方流動により地盤が隆起する傾向がある。また、沈下量も大きい値を示している。(b)、(c) の PFS 工法と全着底鋼矢板工法では、無対策地盤と比較すると地盤に大きな乱れもなく隆起する傾向はほとんど示さず、沈下も抑制できている。PFS 工法と全着底鋼矢板工法を比較すると、ほとんど差異はなく全着底鋼矢板工法と同程度の沈下抑制効果があるといえる。

### 4.2 過剰間隙水圧による比較

盛土施工開始から 30 日後のフローティング鋼矢板断面と着底鋼矢板断面の過剰間隙水圧分布を図 6 に示す。(a) の無対策地盤では、軟弱粘土が深く堆積する層で過剰間隙水圧が高くなっており、地盤全体に広がっている。(b)、(c) の PFS 工法と全着底鋼矢板工法では、無対策と比較して、過剰間隙水圧が低く、鋼矢板による応力遮断効果が表れている。着底鋼矢板断面とフローティング鋼矢板断面を比較すると(a)、(c)の無対策と全着底鋼矢板工法では違いが見られないが、(b)の PFS 工法ではフローティング鋼矢板断面の方が鋼矢板周辺で過剰間隙水圧が高くなっている。これはフローティング鋼矢板のためだと考えられる。

## 5. まとめ

本報告では、兵庫県円山川流域の軟弱地盤地域を対象とした PFS 工法について、FEM<sub>tij</sub>3D を用いた数値解析を行った。その結果、地盤変位と過剰間隙水圧について無

対策と比較して、その効果が認められた。しかし、解析結果と観測結果の比較については、まだ検討の余地があり、数値解析モデルの修正について、今後取り組む予定である。本研究は、日本鉄鋼連盟の研究助成を受けて実施したものである。ここに記して謝意を表する。

## 参考文献

- 1) PFS 工法研究会: PFS 工法技術資料, pp.197-232, 2005 年.
- 2) Nakai, T.: Modeling of soil behavior based on  $t_{ij}$  concept, 13<sup>th</sup> Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 2007.

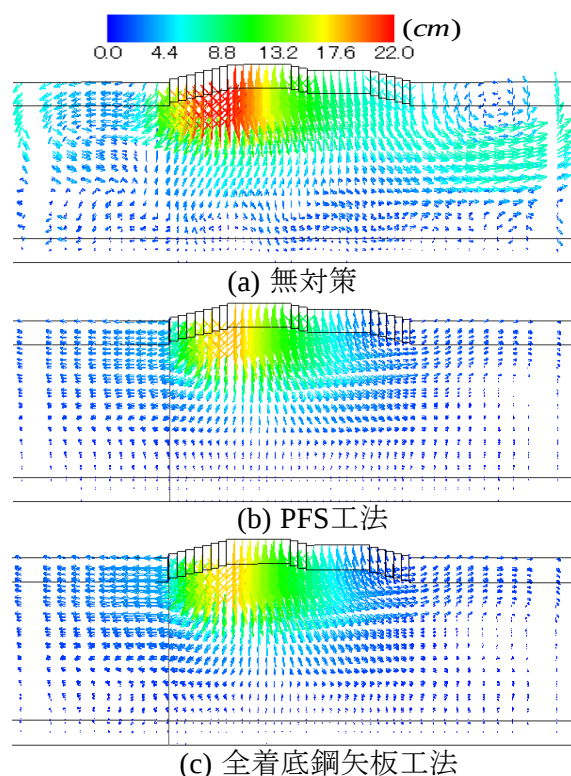


図5 地盤変位ベクトル図

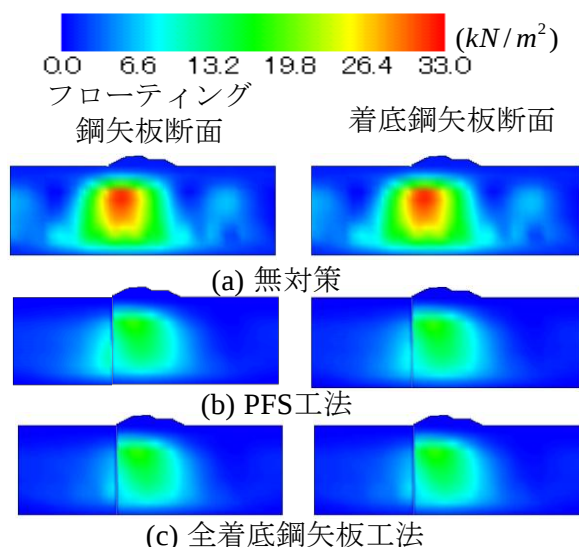


図6 過剰間隙水圧分布