

FEM 現場計測事例報告書

平成 14 年 10 月

五大開発株式会社

目 次

| | |
|--------------------|------|
| 1. 現場計測の概要 | p.3 |
| 1.1 目的 | p.3 |
| 1.2 計測現場 | p.3 |
| 1.3 土層構成及びN値 | p.3 |
| 1.4 施工順序 | p.3 |
| 1.5 現場計測の過程 | p.3 |
| 2. 計測結果 | p.5 |
| 2.1 横断面形状 | p.5 |
| 2.2 周辺地盤(道路側)の沈下量 | p.6 |
| 2.3 鋼矢板の水平変位 | p.7 |
| 3. FEM解析及び計測結果との比較 | p.10 |
| 3.1 FEM解析 | p.10 |
| 3.2 周辺地盤の沈下量の比較 | p.12 |
| 3.3 鋼矢板の水平変位の比較 | p.14 |
| 4. まとめ | p.17 |

1. 現場計測の概要

1.1 目的

掘削工事を行っている現場で土留め壁の変位や周辺地盤の沈下状況を計測し、当社で開発した土留め工設計支援ソフト(土留丸)で行った FEM 解析結果と比較検討をすることにより、本手法の実用性を検証することを目的とした。

1.2 計測現場

既設鋼矢板がある幅約 3m、深さ約 1.5mの水路の拡幅工事において掘削過程での土留め壁の水平変位や周辺地盤の沈下状況の計測を行った。計測現場の計画平面図及び写真を別紙に示す。

工事名:平成 年度金沢市公共下水道事業 雨水幹線築造工事

工事箇所:金沢市内

1.3 土層構成及びN値

現場の土層構成について既存のボーリングデータに基づいて説明する。地層は5層から構成されている。表層から深度方向約7mあたりまでシルト質砂とシルト質粘土の互層である。それより深部は砂層となっている。それぞれの層のN値は第2層が1、第3層が8、第4層が4、第5層が22であった、第1層のN値はなかった。

土層構成及びN値を参照したボーリングデータを別紙に示す。

1.4 施工順序

工事における施工順序を以下に示す。

| | | | |
|---------------|---------------|--------------|------|
| 鋼矢板(8.5m)打ち込み | 旧鋼矢板及び既設水路を撤去 | 放置1ヵ月 | 掘削 |
| 放置1週間 | 底面処理 | コンクリート製の水路設置 | 埋め戻し |
| 鋼矢板の引き抜き | | | |

1.5 現場計測の過程

計測は上記に示した施工工程に基づいて旧鋼矢板の及び既設水路の撤去の直後から底面処理の直前の間で実施した。具体的な計測日時及び計測項目を以下に示す。

(1)計測日時

計測を実施した日時について以下に示す。括弧内は計測開始からの日数を表す。

計測期間:平成14年7月29日～8月28日(全7回)

第1回 7月29日 鋼矢板設置,既設水路撤去後(0日目)

第2回 8月20日 掘削前(22日目)

第3回 8月21日 掘削前(23日目)

第4回 8月22日 掘削前日(24日目)

第5回 8月23日 掘削直後(25日目)

第6回 8月26日 掘削3日後(28日目)

第7回 8月28日 掘削5日後(30日目)

(2)計測項目

以下に示すような項目に関して計測を行った。

-)横断面形状をトランシットで計測
-)鋼矢板の水平方向の移動量をさげ振りとスケールで計測
-)鋼矢板(頂上部先端)の座標をトランシットで計測
-)周辺地盤(道路側)と鋼矢板(頂上部先端)の高さをレベルで測定

(3)計測位置

計測を実施した場所を以下の平面図に示す。図中の No.1～No.4 が鋼矢板の頂上部先端に設定した計測地点である。

下
流
側

上
流
側

図 1.1 計測位置付近の平面図

2. 計測結果

現場計測の結果を以下に示す。

2.1 横断面形状

第1回目に計測した横断面形状を以下に示す。それぞれの断面の左側が道路、右側が畑である。
スケールは1/100である。

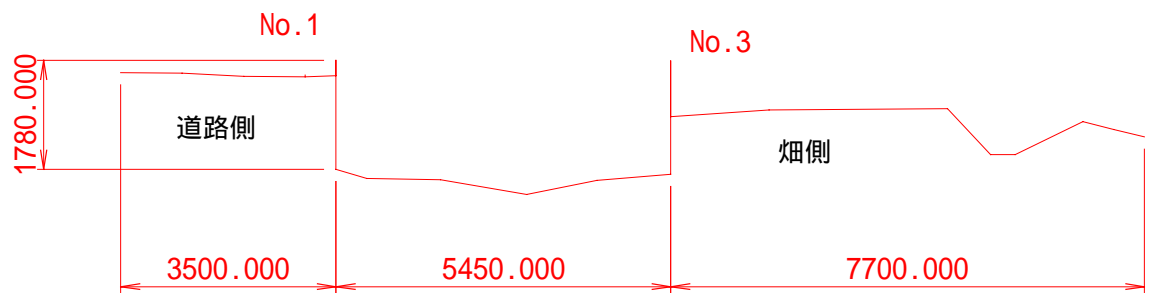


図 2.1 No.1-No.3 断面形状

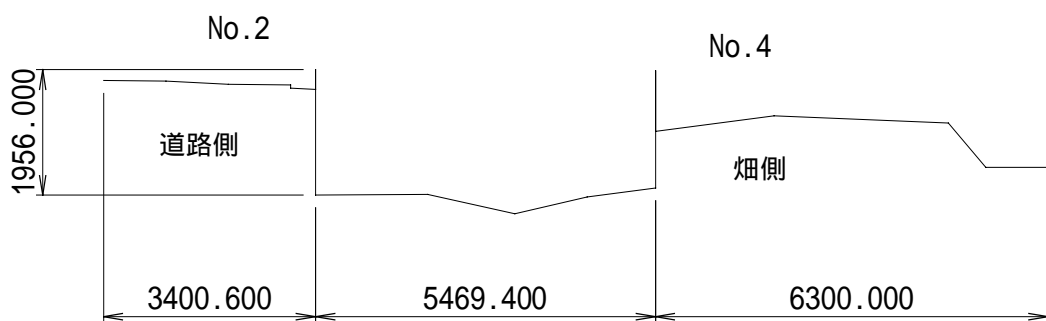


図 2.2 No.2-No.4 断面形状

2.2 周辺地盤(道路側)の沈下量

鋼矢板 No.1 から道路方向へ 0.5m, 1.5m, 2.5m, 3.5m の位置に計測地点を設定し、レベルを用いて沈下量の計測を行った。計測位置の概略図を下に示す。計測地点を表す番号は大きいほど鋼矢板からの距離が離れていることを意味する。以下に第 1 回目の計測からの相対沈下量 (cm) の変化を表とグラフで示す。相対沈下量とは第 1 回目の計測を 0 とした時の相対的な変化量を表している。第 2 回目以降の全ての計測時点において 0-2 地点で沈下量が最大となっている。第 3 回目～第 5 回目の計測の間で沈下量の変化が大きい。特に地点 0-1, 0-2 では第 3 回目と第 4 回目の間で約 2cm, 第 4 回目と第 5 回目の間で 1～2cm の沈下量が見られる。第 4, 5 回目は掘削直前及び掘削後の計測であり、掘削のための重機の移動が頻繁にあり、それが影響していると考えられる。

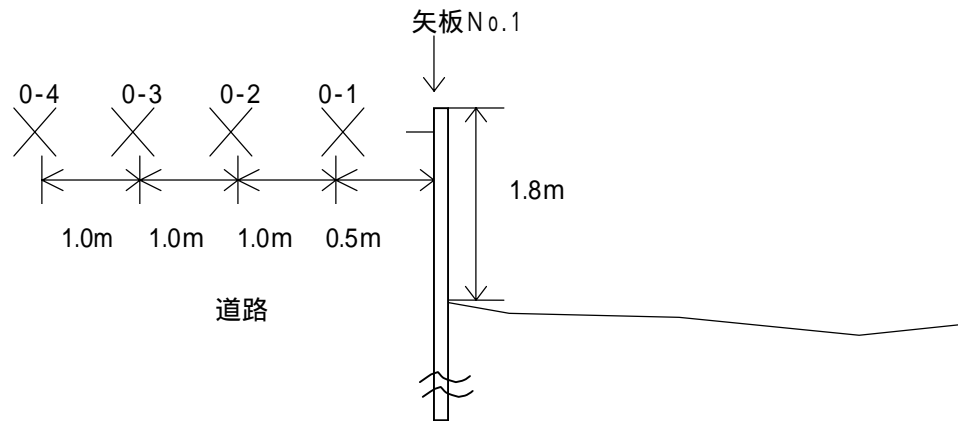


図 2.3 沈下量の計測位置の概略断面図

表 2.1 相対沈下量 (cm)

| 計測地点 | 第 1 回目 (0 日目) | 第 2 回目 (22 日目) | 第 3 回目 (23 日目) | 第 4 回目 (24 日目) | 第 5 回目 (25 日目) | 第 6 回目 (28 日目) | 第 7 回目 (30 日目) |
|------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 0-1 | 0 | 0.3 | 0.3 | 2.1 | 3.3 | 3.7 | 3.6 |
| 0-2 | 0 | 0.9 | 0.9 | 2.6 | 4.7 | 4.9 | 4.7 |
| 0-3 | 0 | 0.6 | 0.6 | 0.4 | 0.9 | 1.2 | 1.2 |
| 0-4 | 0 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.4 | 0.5 | 0.2 |

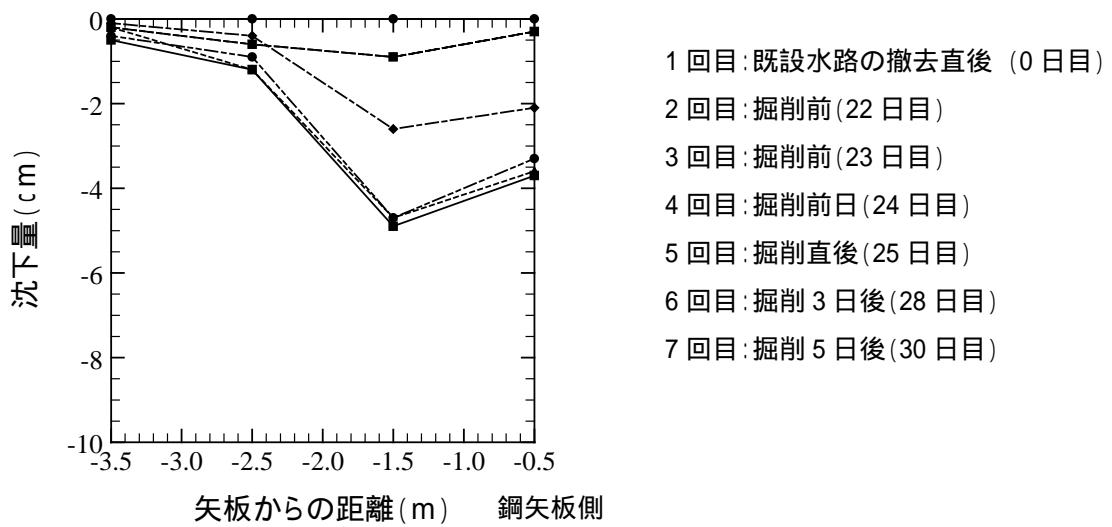


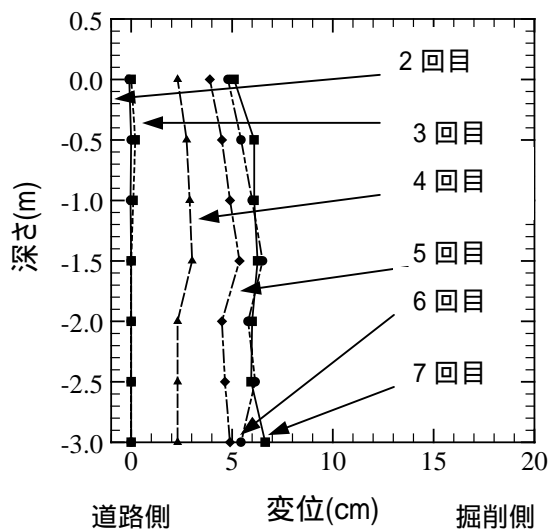
図 2.4 周辺地盤の相対沈下量(計測値)

2.3 鋼矢板の水平変位

矢板 No.1, No.2 は道路側の鋼矢板、No.3, No.4 は畑側の鋼矢板である。掘削前にそれぞれの矢板の3ヶ所(深さ-0.5m, -1.0m, -1.5m)に計測点を設定した。また、掘削後はそれぞれの矢板の3ヶ所(深さ-2.0m, -2.5m, -3.0m)に計測点を追加した。図 2.5 ~ 2.8 に鋼矢板ごとの水平変位図を示す。水平変位は、第1回目の計測を0とした時の相対的な変化量として表している。

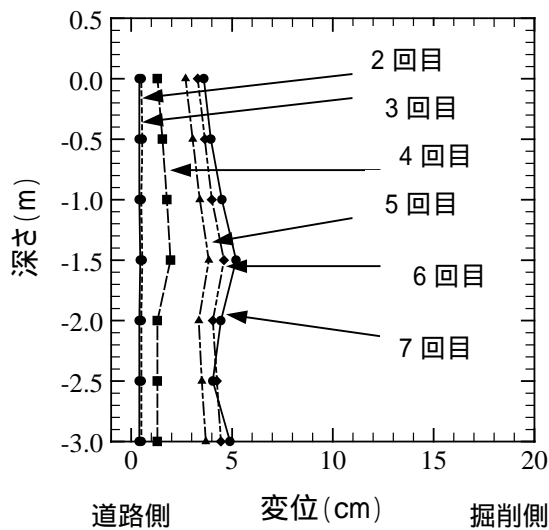
鋼矢板 No.1, No.2 で挙動の違いはあまり見られない。2, 3 回目(掘削前)の計測ではほとんど変位がないが、4 回目(掘削前日)では掘削後は深さ-1.5m より以浅で鋼矢板が掘削面側にはらみだしている。これは重機が掘削のために移動してきたため荷重が載荷されたことが原因であると考えられる。また5 回目以降に見られる水平変位は、掘削そのものによる影響と考えられる。

鋼矢板 No.3, No.4 で挙動の違いはほとんど見られない。2 ~ 5 回目の計測では水平変位は小さいが、6 回目の計測で水平変位が急速に大きくなっている。道路側の鋼矢板と異なりほとんど矢板のはらみだしはないが、鋼矢板先端では約 5 ~ 7cm、掘削底面では約 10 ~ 12cm の水平変位が見られる。これは掘削後の放置中において鋼矢板背面の地盤に発生したき裂に水路から汲み上げていたホースからの漏水が入り込み、き裂が拡大したことが主要な原因の一つと考えられる。



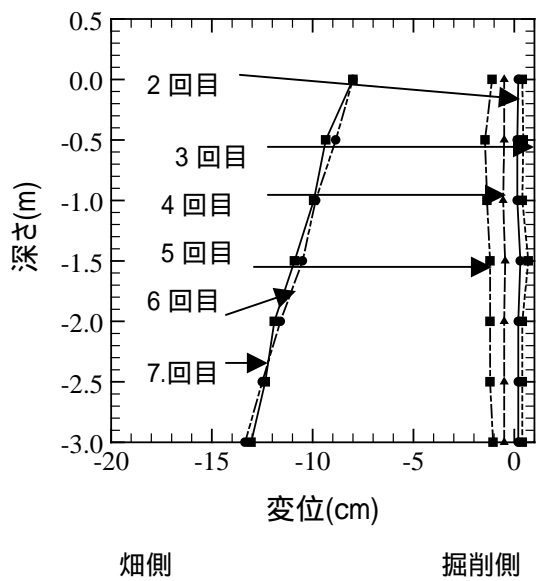
- 1 回目: 既設水路の撤去直後 (0 日目)
- 2 回目: 掘削前 (22 日目)
- 3 回目: 掘削前 (23 日目)
- 4 回目: 掘削前日 (24 日目)
- 5 回目: 掘削直後 (25 日目)
- 6 回目: 掘削 3 日後 (28 日目)
- 7 回目: 掘削 5 日後 (30 日目)

図 2.5 鋼矢板 No.1 の水平変位(計測値)



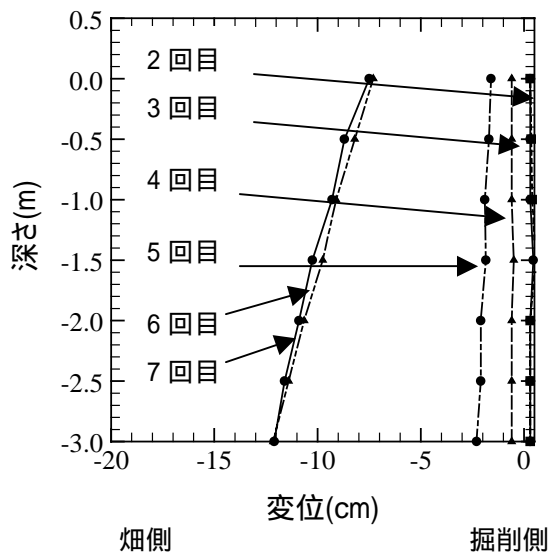
- 1 回目: 既設水路の撤去直後 (0 日目)
- 2 回目: 掘削前 (22 日目)
- 3 回目: 掘削前 (23 日目)
- 4 回目: 掘削前日 (24 日目)
- 5 回目: 掘削直後 (25 日目)
- 6 回目: 掘削 3 日後 (28 日目)
- 7 回目: 掘削 5 日後 (30 日目)

図 2.6 鋼矢板 No.2 の水平変位(計測値)



- 1 回目: 既設水路の撤去直後 (0 日目)
- 2 回目: 掘削前 (22 日目)
- 3 回目: 掘削前 (23 日目)
- 4 回目: 掘削前日 (24 日目)
- 5 回目: 掘削直後 (25 日目)
- 6 回目: 掘削 3 日後 (28 日目)
- 7 回目: 掘削 5 日後 (30 日目)

図 2.7 鋼矢板 No.3 の水平変位(計測値)



- 1 回目: 既設水路の撤去直後 (0 日目)
- 2 回目: 掘削前 (22 日目)
- 3 回目: 掘削前 (23 日目)
- 4 回目: 掘削前日 (24 日目)
- 5 回目: 掘削直後 (25 日目)
- 6 回目: 掘削 3 日後 (28 日目)
- 7 回目: 掘削 5 日後 (30 日目)

図 2.8 鋼矢板 No.4 の水平変位(計測値)

3. FEM 解析及び計測値との比較

3.1 FEM 解析

FEM 解析を行う際に設定した条件や設定した土質定数や境界条件などについて以下に示す。

(1) FEM 解析上の設定

現場の状況と比較検討して FEM 解析においては次のような設定を行った。

)鋼矢板の打設直後に既設水路の撤去が行われたが、第1回目の計測の際には既に撤去されていた。従って第1回目に計測した断面を初期断面とした。

)工事中の車両や重機の移動が頻繁にあるが、全てを把握することは困難なので、FEM 解析では掘削機械の荷重を想定して掘削直前に分布荷重を載荷させた。

)掘削後に発生した畑側鋼矢板の背後のき裂及びそこに浸透した漏水の影響は不明なので考慮しなかった。

)第2層、第4層は粘土層であるので、透水係数が不確定なため 10^{-7} (cm/sec)程度の値を設定し FEM 解析を行った。また第1層と第2層を同一層とみなし、全体を第4層として FEM 解析を行った。

(2) 構成モデル及び土質定数

土の構成モデルはDrucker-Prager弾塑性モデルを適用し、各層の土質定数は設計時のボーリングデータに基づいて以下の表に示す値を用いた。

表 3.1 各層の土質定数

| | | | | | |
|--------------------------------|------|---------------|-----------------------|---------------|---------------------------|
| 地層 | | | | | |
| 層厚(m) | 0.80 | 3.00 | 2.70 | 0.65 | 2.85 |
| 弾性係数 (kN/m ²) | - | 2740 | 22000 | 11000 | 60400 |
| 湿潤体積重量 (kN/m ³) | - | 12.0 | 18.5 | 15.0 | 20.0 |
| 透水係数(cm/s) | - | (10^{-7}) | 7.01×10^{-4} | (10^{-7}) | (7.01×10^{-4}) |
| 静止土圧係数 (-) | - | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| ポアソン比(-) | - | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| 粘着力(kN/m ²) | - | 6.3 | 0 | 25 | 0 |
| 内部摩擦角(°) | - | 0 | 25 | 0 | 31 |

(3) 現場の条件

地下水位: GL - 0.40m

土留め壁: 鋼矢板 型

掘削深さ: GL - 3.0m

(4) 境界条件

モデル側面は水平固定で排水とした。

モデル底面は鉛直，水平固定で非排水とした。

(5) 解析ケース

掘削底面，分布荷重の条件はそれぞれの解析ケースで次のように設定した。

ケース 1

分布荷重なし，掘削底面は排水

ケース 2

分布荷重(1tf/m，幅 4m)あり，掘削底面は排水

ケース 3

分布荷重(1tf/m，幅 3m)あり，掘削底面は排水

(6) 施工工程

FEM 解析において設定した施工工程を以下に示す。施工工程は実際の工程を忠実に反映した。

土留め壁 1, 2 の設置 放置(30日) 分布荷重の載荷 掘削(6時間) 放置(1週間)

3.2 周辺地盤の沈下量の比較

周辺地盤の沈下量(最終状態)の比較を表とグラフで以下に示す。道路側の鋼矢板の周辺地盤について比較を行った。計測値とケース3に注目すると、0-2地点で沈下が最大となっており、その傾向はよく一致しているといえる。最大沈下量は計測値が4.7cmに対して解析値が6.7cmと数cmの違いが見られる。計測値とFEM解析結果での沈下量の違いは、現場では重機など荷重のかかり方が一様でないのに対して、FEM解析では分布荷重で一様に載荷していることが原因と考えられる。

表 3.2 最終状態での沈下量の比較(cm)

| 計測地点 | 0-1 | 0-2 | 0-3 | 0-4 |
|------|-----|-----|-----|-----|
| 計測値 | 3.6 | 4.7 | 1.2 | 0.2 |
| ケース1 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.3 |
| ケース2 | 6.8 | 7.0 | 5.9 | 2.1 |
| ケース3 | 4.1 | 6.7 | 3.6 | 1.6 |

- 計測結果
- ケース1結果
- ケース2結果
- - - - ケース3結果

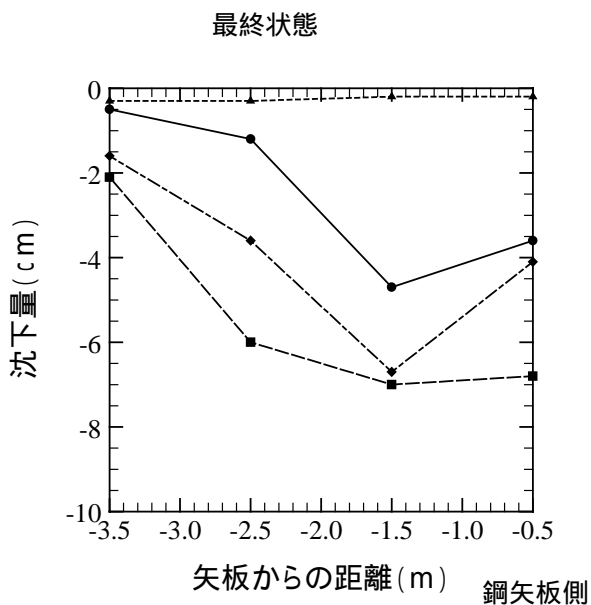
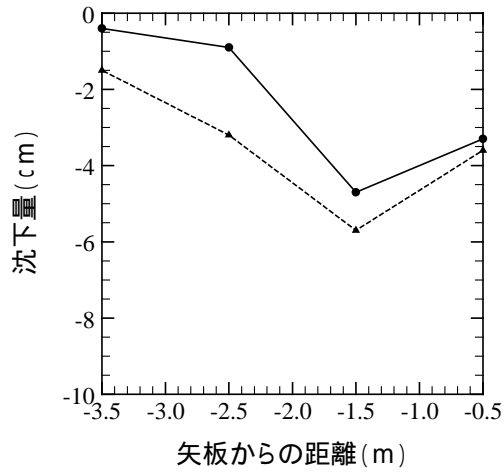
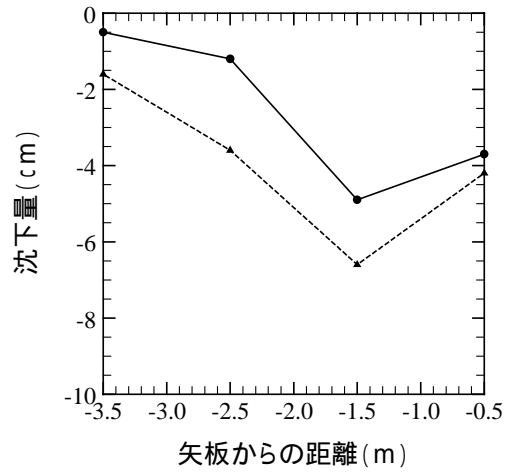


図 3.1 周辺地盤の沈下量の比較

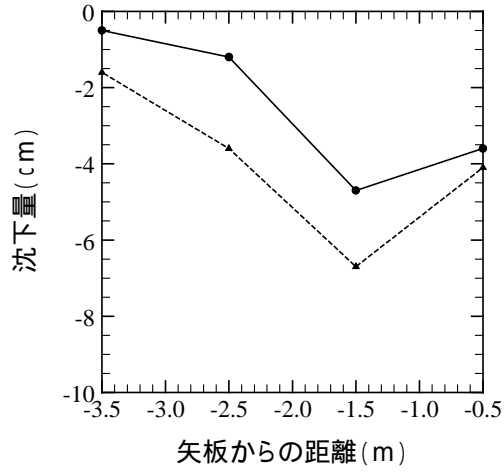
—— 計測結果
 - - - 解析結果(ケース No.3)



掘削直後



掘削後 3 日目



掘削後 5 日目

図 3.2 各時間ごとの沈下量の比較(計測値とケース 3)

3.3 鋼矢板の水平変位の比較

道路側, 畑側の鋼矢板で掘削直後と最終状態において水平変位の比較を行った。

(1) 道路側鋼矢板 (No.1) における水平変位の比較

- 計測結果
- ケース 1 結果
- ケース 2 結果
- - - - ケース 3 結果

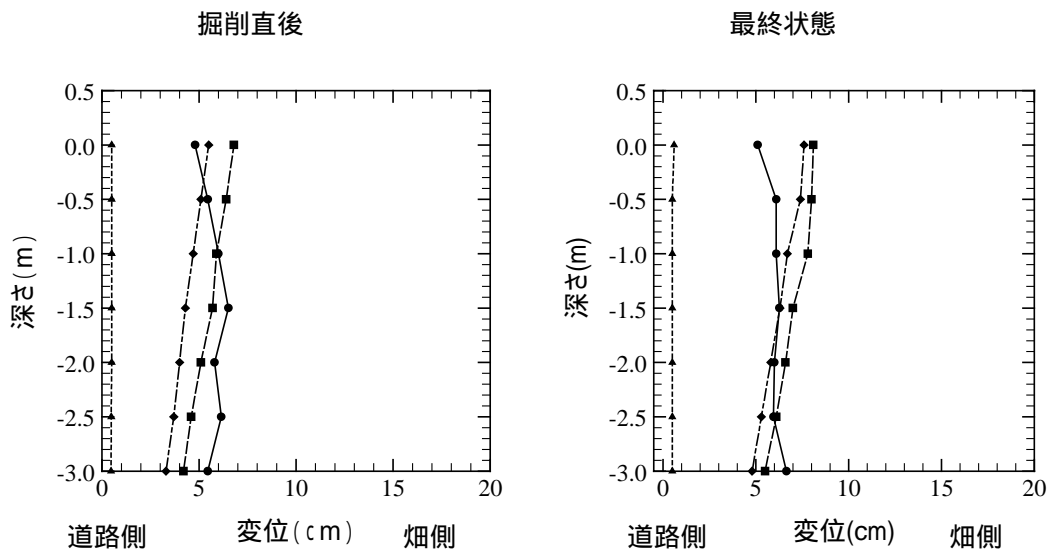
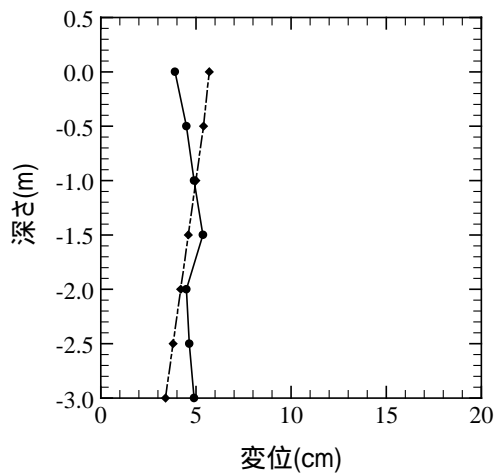
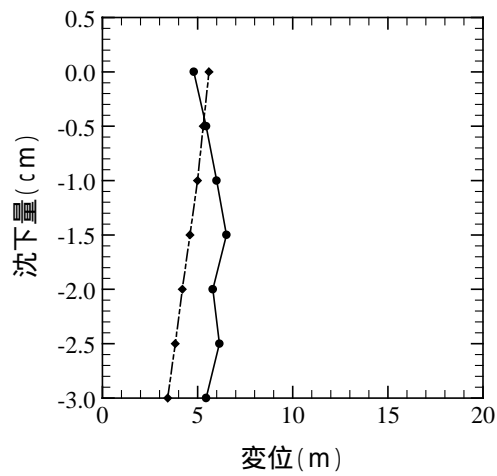


図 3.3 鋼矢板 No.1 の水平変位の比較

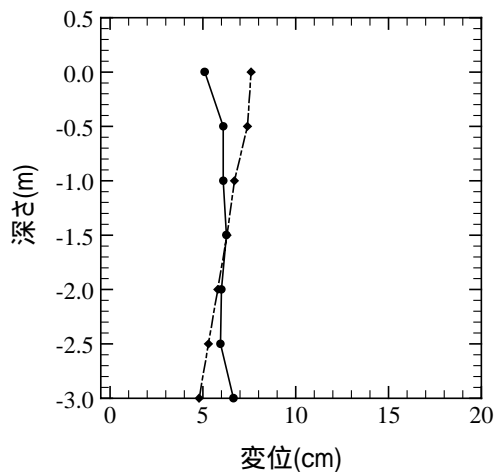
—— 計測結果
 - - - - 解析結果(ケース No.3)



掘削直後



掘削後3日目



掘削後5日目

図 3.4 鋼矢板 No.1 に関する各時間ごとの変位比較図(計測値とケース3)

掘削直後は計測値では4.8cm,5.5cm,6.0cm,6.5cm,5.8cm,6.2cm,5.5cm(平均6.7cm)に対してケース3(分布荷重1tf/m,幅3.0m載荷)のFEM解析結果は5.5cm,5.1cm,4.7cm,4.3cm,4.0cm,3.7cm,3.3cm(平均5.1cm)となっており,最終状態では,計測値は5.1cm,6.1cm,6.1cm,6.3cm,6.0cm,6.0cm,6.7cm(平均6.0cm)に対してケース3のFEM解析結果は7.6cm,7.4cm,6.7cm,6.3cm,5.8cm,5.3cm,4.8cm(平均6.2cm)となっていて,掘削直後及び最終状態のどちらでも,ケース3の結果がほぼ合っている。また,現場において重機などの荷重は動的であるのに対してFEM解析では静的なもの

としていること、掘削中に重機によって計測地点を示す器具が壊されたアクシデントなどの影響が出るのではないかと考えられたが、計測値と解析値がほぼ一致する結果が得られた。

(2) 畑側鋼矢板 (No.3) における水平変位の比較

- 計測結果
- ケース 1 結果
- ケース 2 結果
- - - - - ケース 3 結果

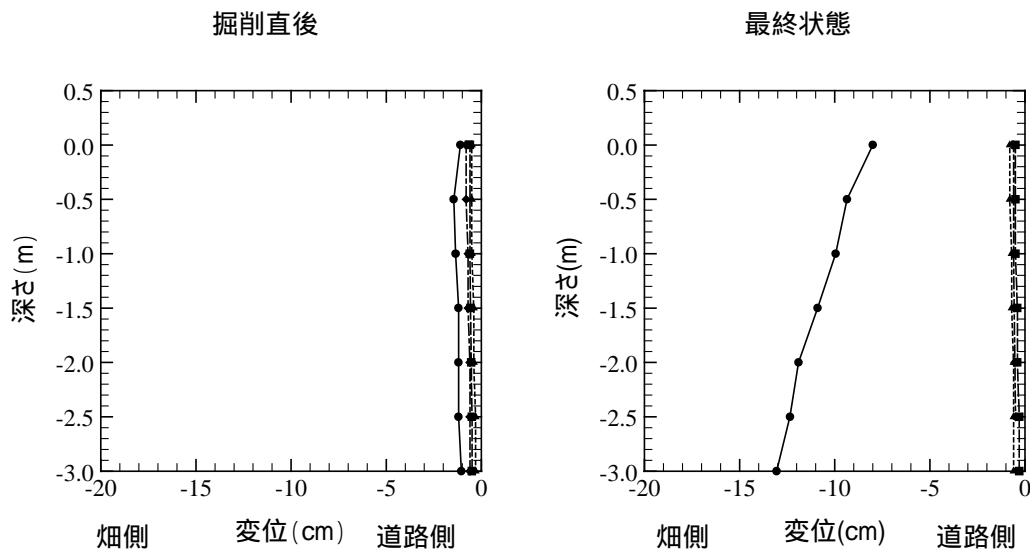


図 3.5 鋼矢板 No.3 の水平変位の比較

掘削直後の比較を行うと、計測値は 1.1cm, 1.5cm, 1.4cm, 1.2cm, 1.2cm, 1.2cm, 1.1cm (平均 1.3cm) に対してケース 3 (分布荷重 1tf/m, 幅 3m) の FEM 解析結果では 0.8cm, 0.8cm, 0.7cm, 0.7cm, 0.6cm, 0.6cm, 0.6cm (平均 0.7cm) となっていて計測値の方が若干大きめとなっている。最終状態の比較を行うと、計測と FEM 解析の結果が大きく異なっている。この違いは現場において掘削後の放置中、矢板背面畑側の地盤に発生したき裂に水路から汲み上げていたホースからの漏水が入り込み、き裂が拡大するという現象が起きていたが、FEM 解析ではそれを考慮していないことが主要因として考えられる。

4. まとめ

- (1) 幅 3m、深さ 1.5mの既設鋼矢板が設置されている水路の拡幅工事における掘削過程の検討を現場計測結果とFEM解析でのシミュレーション結果を比較することによって行った。
- (2) 実際の工事の施工順序は、鋼矢板(8.5m)を打設、旧鋼矢板及び水路を撤去、約一ヶ月放置、掘削開始、底面処理、新しいコンクリート製の水路を設置、埋め戻し、鋼矢板の引き抜きであった。計測はそのうち水路撤去後から底面処理の直前までの計 7 回実施した。計測内容は、計測地の横断面形状、鋼矢板先端の水平移動量、鋼矢板の深度ごとの水平変位量、周辺地盤の沈下量である。
- (3) 解析断面は既設水路撤去後に計測した横断面形状を初期断面とした。土質定数は既知のボーリングデータの値をもとに設定し、施工工程は実際に行われた過程とほとんど同じとした。解析は、掘削底面の排水条件と分布荷重の載荷条件を変えて3パターンで行った。掘削時の重機を考慮して分布荷重を載荷させたが、実際は動的なものであるのに対して静的なものとして与えている。
- (4) 道路側鋼矢板の周辺地盤の沈下は掘削直前に沈下量が大きく変化している。特に鋼矢板から 1 ~ 2m離れた地点で顕著に見られ、その値は約 4~5cmである。これは掘削のための重機が移動したことが原因で沈下したと考えられる。沈下量が最大となっているのは鋼矢板から 1m離れた所で沈下量は 4~5cmであり、そこから離れるに従い沈下量が減少している。解析結果では鋼矢板から 1~2m離れたところで沈下量が最大となり、その値は 3~5cmで、計測値とほぼオーダー的に合っている。
- (5) 鋼矢板の水平変位は、道路側の鋼矢板と畑側の鋼矢板で挙動が異なる。道路側の鋼矢板(No.1, No.2)に関して掘削前の計測ではほとんど変位がみられなかったが、掘削前日の計測で深さ1.5m以浅に約1cmほど畑側にはらみだしがみられ、掘削直後では掘削前日の計測値から2~3cm畑側へ移動している。掘削前日の変位は掘削機械の移動によるものであり、掘削直後の変位は掘削そのものによる影響であると考えられる。道路側の鋼矢板(No.1)の水平変位について掘削直後と最終状態で比較を行った。掘削直後に関しては解析結果(分布荷重 1tf/m、幅 3.0mを載荷)は平均 5.1cm、計測値で平均 6.7cmであり、少し違いが見られる。最終状態では解析結果(分布荷重 1tf/m、幅 3.0mを載荷)で平均 6.2cmであるのに対して計測値は平均 6.0cmであり、ほぼ一致している。一方、畑側の鋼矢板(No.3, No.4)は掘削直後の計測までほとんど水平変位がなく、掘削直後で計測値(平均 1.3cm)に比べ解析結果(平均 0.7cm)の方が少し小さくなっている。掘削 3 日後の計測では道路側へ約 8~13cm程度大きく傾いて移動しており、解析結果と大きく食い違っている。畑側の鋼矢板が大きく傾いた原因としては、掘削後に鋼矢板背面の地盤に発生したき裂に水路から水を汲み上げているホースからの漏水が浸透し、拡大したと考えられる。
- (6) FEM 解析においては重機の走行や漏水等の影響などを完全にはシミュレーションすることが出来ない事項もあるが、鋼矢板の変形形状や周辺地盤の沈下状況などは数値的なオーダーや変形傾向が大体一致することで、土留丸による解析が有効であると結論づけられる。今回、解析条件で構成モデルはDrucker-Prager弾塑性モデルを用いたが、今後は構成モデルにCam-Clay弾塑性モデルを用いるなど多角的に検討し、土留丸の適用範囲を決定していきたい。

計測現場の写真



鋼矢板打ち込み中



既設水路撤去後(放置中)



掘削後