

8. 特殊三軸オーガマシンを用いたソイルセメント壁山留め工法

(AA工法)の開発

Development of a Special Triaxial Auger Screw Earth Retaining Construction Method (AA Construction Method)

山田 勝也*¹

要 旨

特殊三軸オーガマシンを用い、親杭横矢板壁の横矢板に当たる部分のみを貧配合のソイルセメント壁とする山留め工法の開発を行った。本工法を開発するに当たり配合を検討するために室内実験を行うとともに、開発した施工機械による施工実験により施工の安全性および本工法で構築したソイルセメント壁の健全性を検証した。

キーワード：AA工法／山留め壁／SMW工法／親杭横矢板壁／貧配合／ソイルセメント壁

1. はじめに

建築工事での山留め壁の選定に際して最初に適用の可否を検討する山留め壁は一般的に親杭横矢板壁である。

親杭横矢板壁は、コストが安価であるがその反面下記の問題がある。

- ① 遮水性がない。
- ② 横矢板をはめ込む際に裏込めの土の充填が十分できないため、背面土の移動や沈下が起きやすい。
- ③ 地盤が軟弱な場合、横矢板が施工できない。

これらの問題等により、親杭横矢板壁が適用できない場合、ソイルセメント壁（SMW工法）・鋼矢板壁（サイレントパイラー工法）を適用するが、コストが高くなり、さらにSMW工法では削孔に伴い排出される残土処分量が多くなるなどの問題がある。

筆者らはこのような問題を解決することを目的として、新たな山留め工法の開発を行った。なお、新工法の名称は当社と共同開発会社の蓬原産業の頭文字をとり『AA工法』と名付けた。本稿ではAA工法の概要と開発に伴い行った室内実験および施工実験について述べる。

2. AA工法の概要

本工法の目標としたイメージは下記の通りである。

- ① 汎用性、安全性を考慮し、クローラーやラフター等の一般的な山留め壁工事用機械で施工可能な工法とする。さらに、山留め壁の適用範囲は掘削深さ4m、親杭先端深さ9m程度迄の自立山留め壁とする。

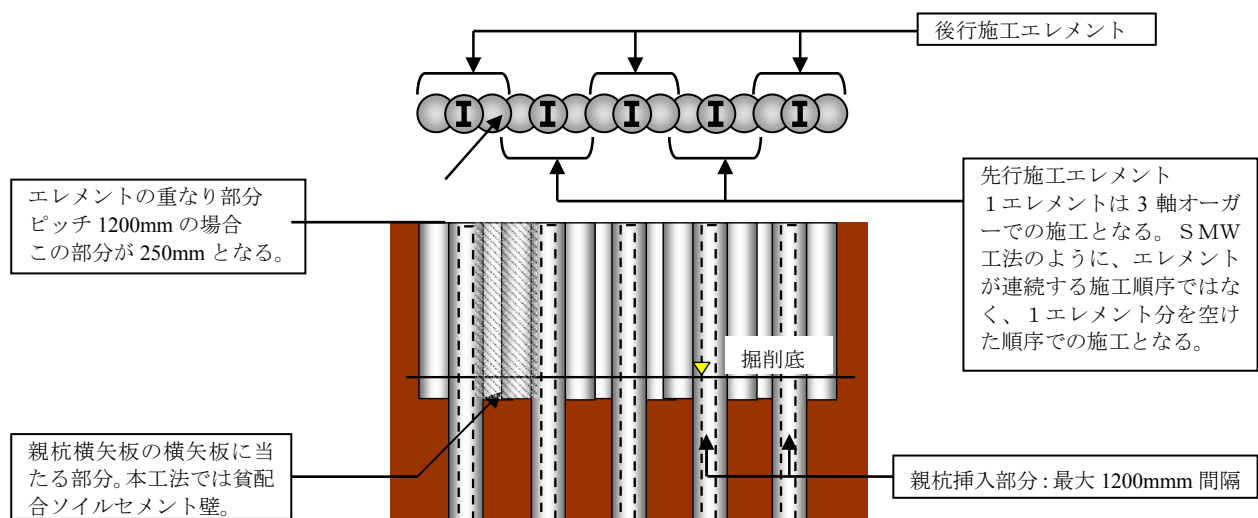


図-1 工法イメージ

*¹ 大阪本店建築部技術工務担当

- ② 親杭横矢板壁の横矢板部分をソイルセメント壁にし、裏込め作業そのものを無くするとともに、遮水性を確保し、掘削時の工期短縮をはかる。
- ③ 親杭の間隔は親杭横矢板壁に準じて 900mm～1200mm を適用範囲とする。
- ④ 本工法ではSMW工法のソイルセメント壁と同等の遮水性能を求めず、ソイルセメント壁の配合はSMW工法に比べ貧配合とする。

以上のイメージの具現化に向けて、本工法で構築するソイルセメント壁の配合決定のための室内試験を行った。さらに施工性、本工法で構築するソイルセメント壁の健全性を確認するため、開発した施工機械による施工実験を実施した。

3. 室内試験

3.1 試験概要

(1) 使用材料

使用した土は、施工実験を行う予定の大阪府下の原位置土である。使用した土の含水率は 9.2%、密度は、 $2.6\text{g}/\text{cm}^3$ であった、土の粒度試験結果から土の工学的分類は、通常のマサ土と同様な砂質土のシルト質砂～シルトの範囲であった。

対象土に加えるセメント系懸濁液には普通ポルトランドセメントと、赤城産のベントナイトをセメント重量の 5%使用した。原位置土の見かけの比重は 1.6 と仮定した

(2) 注入率およびセメント系懸濁液の配合

本工法では、一般的なSMW工法で構築するソイルセメント壁の水セメント比 (W/C) の 210%より貧配合で所要の品質が得られると考えた。そこで、試験練りの水準は表-1 の 7 水準とした。対象土に加えるセメント系懸濁液の割合である注入率を、W/C=250%では 50～80%の 4 水準、W/C=300%では 35～70%の 4 水準さらに注入率 70%では W/C=150%～350%の 4 水準とした。さらに W/C=150%および 350%では注入率を 70%とした。

セメント系懸濁液の配合を表-2 に示す。セメント系懸濁液の水セメント比 (W/C) は 150～350%の範囲とし 250 と 300%を中心に計 10 水準を設定した。

表-1 試験練り水準

注入率 (%)	W/C(%)			
	150	250	300	350
35			○	
40			○	
50		○		
55			○	
60		○		
70	○	○	○	○
80		○		

表-2 セメント系懸濁液の配合

注入率 (%)	W/C (%)	土 1m ³ 当たりの重量 (kg/m ³)		
		セメント	ベントナイト	水
35	300	105	5	315
40	300	120	6	359
50	252	175	9	441
55	300	165	8	494
60	252	210	11	529
70	147	387	19	569
70	252	245	12	617
70	300	210	10	629
70	357	179	9	640
80	252	280	14	706

(3) 試験方法

オムニミキサーで、土とセメント系懸濁液を攪拌し、ソイルセメントを製造した。そのソイルセメントで一軸の圧縮用供試体 (φ 50×100mm) を作製し、試験材齢まで湿空養生した。圧縮強度を材齢 7 日と 28 日に 3 体ずつ測定した。さらに、一部の配合について、150×150×150mm の鋼製型枠内にソイルセメントを詰めて、硬化後、材齢 28 日に低強度用リバウンドハンマー (シュミットハンマーPT 型) を用いて、ソイルセメントの反発度を測定した。

3.2 試験結果

(1) 圧縮強度

セメント系懸濁液の水セメント比と材齢 28 日の圧縮強度との関係を図-2 に示す。水セメント比が大きくなると圧縮強度は小さくなった。水セメント比が 250%から 350%の範囲では、図-3 に示すように明確な右下がりの直線関係を示した。

注入率と材齢 28 日のソイルセメントの圧縮強度との関係を図-4 に示す。水セメント比 300%で約 $1\text{N}/\text{mm}^2$ の圧縮強度が得られ、水セメント比 250%で約 $1.3\text{N}/\text{mm}^2$ の圧縮強度が得られた。注入率が大きくなると圧縮強度は僅かではあるが低下した。以上から圧縮強度に与える影響は注入率の違いよりも水セメント比の違いの方が大きいと考えられる。

材齢 7 日と 28 日の圧縮強度の間係を図-5 に示す。明確な右上がりの直線関係を示し、材齢 28 日強度に対する材齢 7 日強度の比率はほぼ 7 割であり、通常のソイルセメントの強度発現と同等であった。

(2) 反発度と圧縮強度の間係

シュミットハンマーPT 型で測定したソイルセメントの反発度と材齢 28 日の圧縮強度との関係を図-6 に示す。比較的明確な右上がりの直線関係を示しており、この関係から反発度を測定することで非破壊によって圧縮強度を推定できると考えられる。

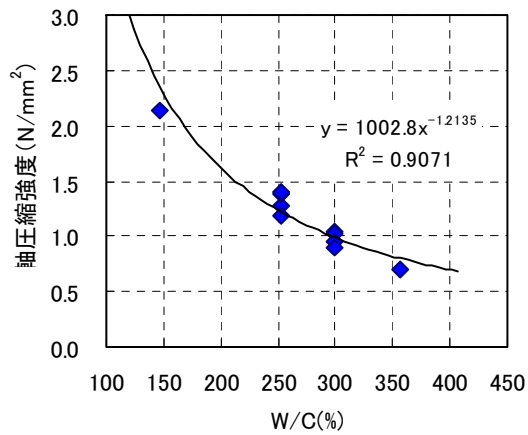


図-2 W/Cと圧縮強度

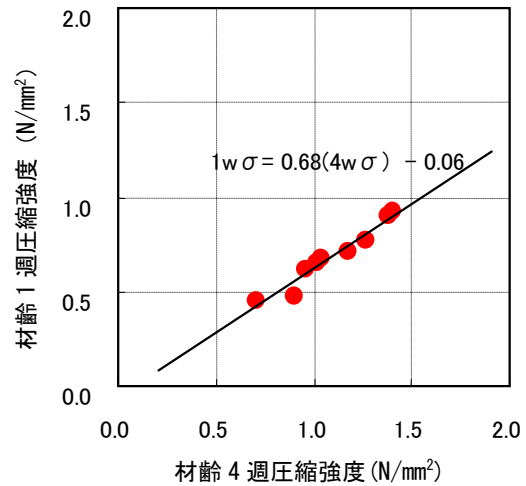


図-5 材齢4週圧縮強度と材齢1週圧縮強度

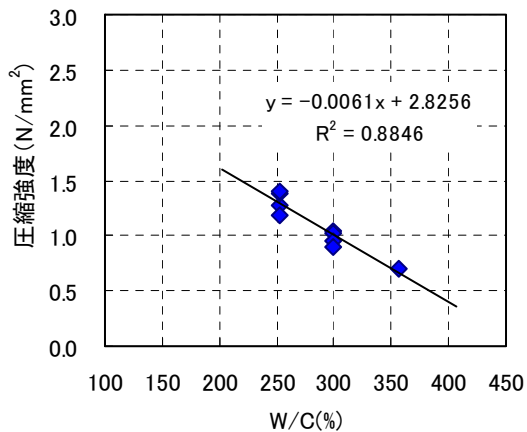


図-3 W/Cと圧縮強度 (250%-350%)

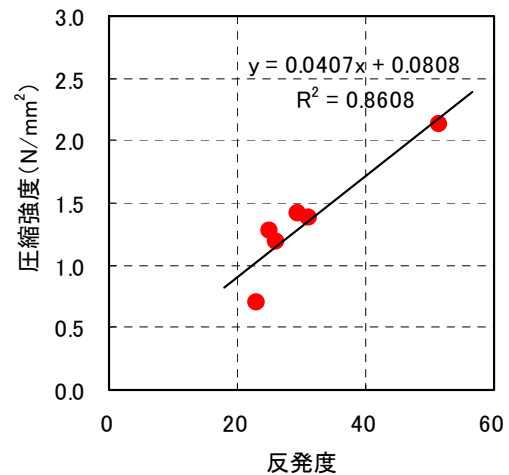
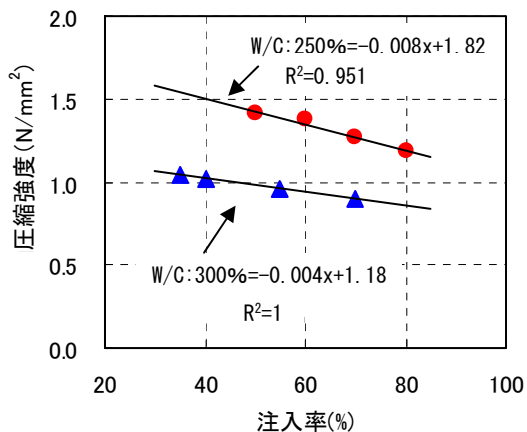


図-6 反発度と圧縮強度



※●はW/C：250%、▲はW/C：300%を示す

図-4 注入率と圧縮強度

4. 施工実験

4.1 実験概要

(1) 施工機械

本工法のために三連のオーガーを有する施工機械（特殊三軸オーガーマシン）を製作した。（写真-1,2）。中央のオーガーは両側のオーガーよりも長く、親杭を挿入する部位を削孔し、ソイルセメントを構築する。両側の短いオーガーは横矢板の代替となる部分を削孔し、ソイルセメント壁を構築する。なお両側のオーガー先端にはリングを設け、先に設置する親杭にオーガーが当たらないように改良を加えた。

製作した特殊三軸オーガーマシンを用いて、大阪府下の作業所において施工実験を行った。実験での施工概要を図-7に示す。親杭長さは6.5m、平均根切り深さは3.22mで、ソイルセメント壁の深さは4mである。

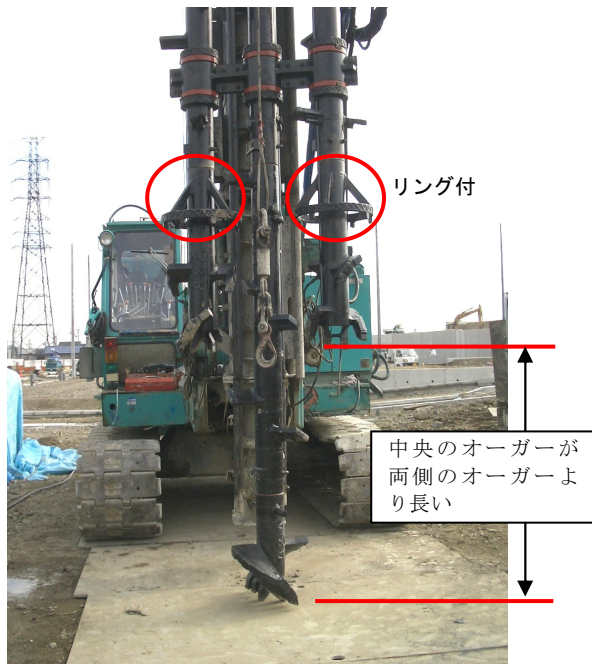


写真-1 特殊三軸オーガーマシン



写真-2 特殊三軸オーガーによる攪拌状況

(2) ソイルセメントの配合

施工実験のソイルセメント壁に必要とされる圧縮強度は、安全率を 2 とした計算で 0.25N/mm^2 であった。ソイルセメントの配合は設計基準強度を 0.5N/mm^2 以上と設定し、室内実験の結果をふまえ水セメント比を 300% の一定値とした。実験パラメータとして注入率を 35、50、65% の 3 水準に設定した。注入率別配合を表-3 に示す。

各パラメータの施工部位の区分を図-7 に示す。親杭間隔は 900mm としたが、一部 1200mm とした。1200mm 間隔でも攪拌が充分に行え、均質なソイルセメント壁が構築できるかどうかを確認した。セメント系懸濁液と原位置土の攪拌工程はオーガーの反復回数が 3 回の「普通」とそれより少ない「少」の 2 水準とした。反復回数とはソイルセメント壁の施工時にオーガーを上げ下げする回数を指す。

表-3 注入率別配合

設定注入率 (%)	実注入率 (%)	1エレメントに対する重量(kg)		
		セメント	ベントナイト	水
35	34	350	18	1000
50	51	525	27	1500
65	68	700	36	2000

※ 1 エレメントとはオーガーによる 1 工程（削孔⇒攪拌⇒引上げ）によって構築できるソイルセメント壁

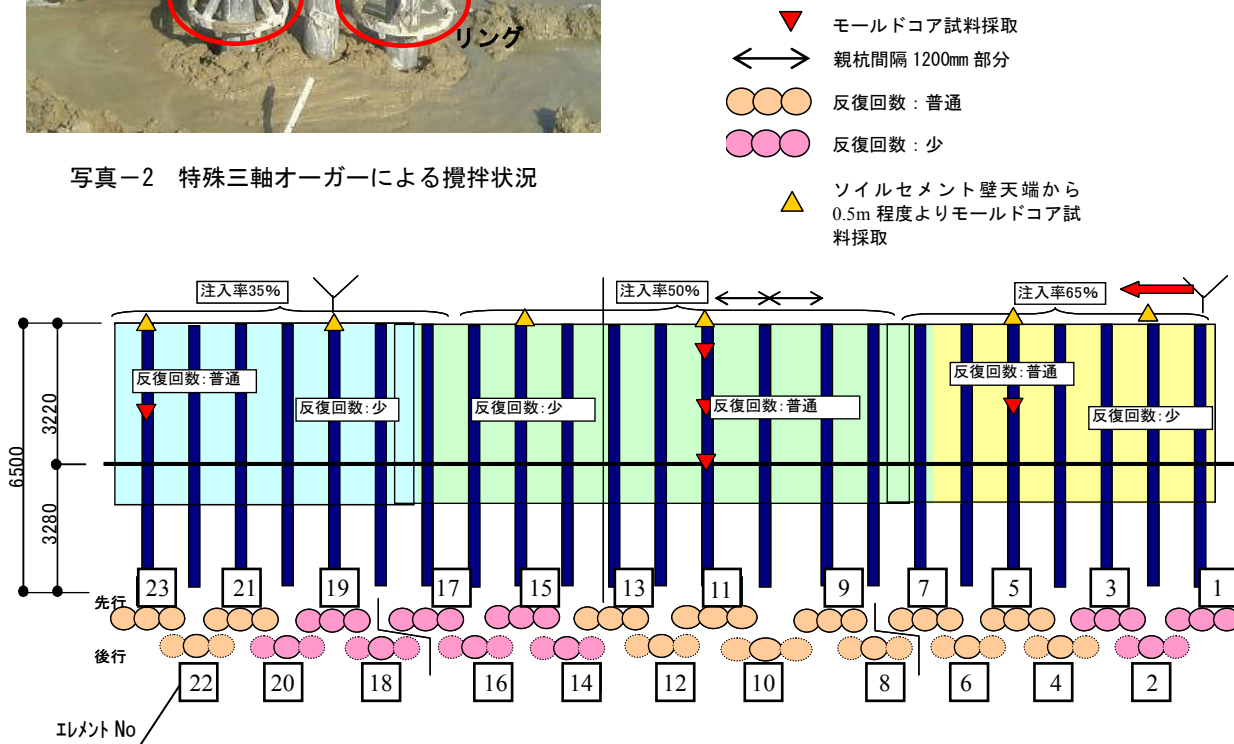


図-7 施工実験概要

(3) 試験方法

ソイルセメント壁の圧縮強度をモールドコアと塩ビパイプを挿入し採取したコアによって確認した。モールドコアの採取位置を図-7に示す。モールドコアの試料として削孔、攪拌混合終了直後に、硬化前のソイルセメントを所定の位置から採取した。φ50mm×100mmの供試体を作製し、材齢28日まで現場湿空養生した。塩ビパイプを挿入し採取したコアは、エレメントNo.5、10、22の芯材に沿わせて内径φ50mmの塩ビパイプを挿入し、その中に試料を流入させて、ソイルセメント硬化後に塩ビパイプごとに取り出し、試験材齢まで現場封緘養生とした。深さごとに試験体を切り出し、φ50×100mmに成形して材齢28日に一軸圧縮試験を行った。

さらに、掘削完了後(約35日後)にシュミットハンマーPT型を用いてソイルセメント壁の反発度を測定し、室内試験から得られた関係式を用いて圧縮強度を推定した。

4.2 実験結果

(1) 施工状況

施工実験の工程を表-4に示す。施工時間については、一般的な層では1mを2～3分で削孔したが、一部固い地盤では1mの削孔に、最大9分程度を要した。さらに、リング部に土砂が詰まりやすく、その水洗いに5～10分程度の時間を要するなどの問題が生じた。

極端に固い地盤がなく削孔が順調で、羽位置を変更するなどの改良でリングガイド部の土砂の詰まりが解消できれば、表-5に示すように1エレメントの施工は35～40分(23本2日間)で可能になると思われる。

セメント系懸濁液と原位置土の攪拌は地上部に溢れ出したソイルセメントを観察する限り良好であった。

表-4 施工実験工程

日数	施工概要
1日目	機械・搬入組立
2日目	掘削開始3エレメント
3日目	先行6エレメント
4日目	7エレメント
5日目	6エレメント+鉄板盛替え
6日目	解体搬出

表-5 推定施工時間

作業項目	分
杭芯セット	2
掘削	19.5
反復	5
芯材定規セット	5
芯材挿入	5
合計	36.5

(2) 圧縮強度

モールドコアおよび、塩ビパイプを挿入し採取したコア(以下、採取コアと呼ぶ)の材齢4週の圧縮強度を図-8に示す。ソイルセメント壁の天端から0.5m程度のモールドコアの圧縮強度および注入率65%のソイルセメント壁の天端から2～3mの採取コア以外の圧縮強度は0.7N/mm²以上であり、設定した設計基準強度0.5N/mm²を上回った。上部から採取したモールドコアの圧縮強度が他の部分に比べて低かったのは、オーガーを水洗いした多量の水が硬化前のソイルセメントに混入し、水セメント比が大きくなったためと思われる。

(3) 反発度と推定圧縮強度

モールドコアおよび、採取コアの圧縮強度と室内試験で得られた関係式から推定した反発度による圧縮強度の関係を図-9に示す。反発度から得られた推定圧縮強度は、採取コア強度より低めではあるが、概ねその部位の圧縮強度を示していると判断された。また、圧縮強度の深さ方向での大きな変化は見られなかった。

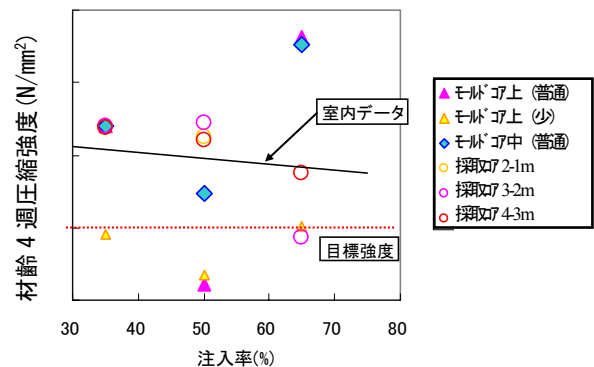


図-8 注入率と圧縮強度

No.10エレメント(注入率50%)

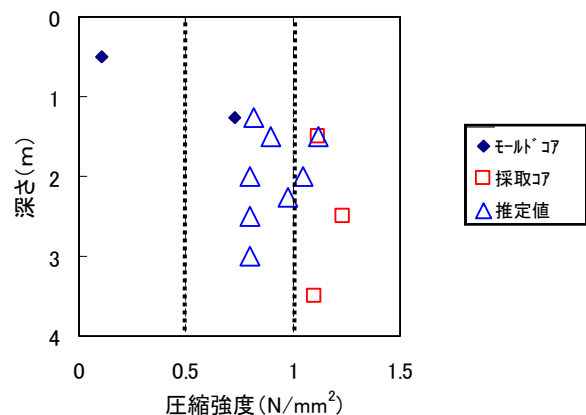


図-9 推定圧縮強度と採取コア圧縮強度

(4) 親杭間隔の圧縮強度への影響

ソイルセメント壁の深度ごとの反発度から推定した圧縮強度を図-10に示す。網掛けしたエレメントNo. 9～11が親杭間隔 1200mmの部分である。当該部分を600mm 間隔で測定した圧縮強度分布を図-11に示す。

推定圧縮強度は、エレメント No. 10～No. 23は深さや反復回数に関係なくおおよそ 0.5 から 1.0N/mm²であった。No. 4～No. 9 までの圧縮強度が大きいのは、No. 9 までの先行エレメントではオーガー先端から水を吐出せず削孔を行ったが、No. 10以降は、削孔開始時に両サイドのオーガーの先端から水を吐出して削孔を行ったことが原因ではないかと推察する。

親杭間隔を 900mm から 1200mm に広げた No. 9 から No. 11 部分でも、中央部分などで局所的に強度低下を生じていることは無く、ソイルセメント壁の硬化状態はほぼ均質で良好であった。

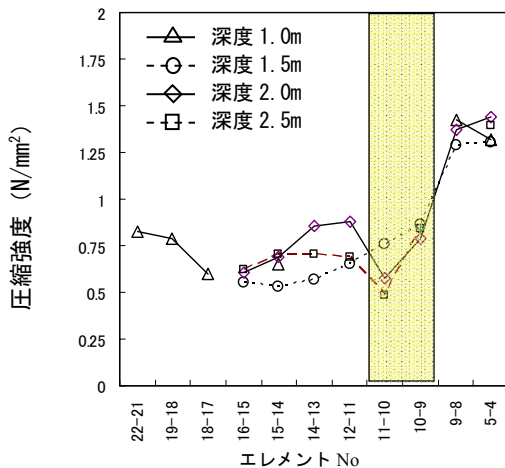


図-10 反発度によるエレメント別圧縮強度分

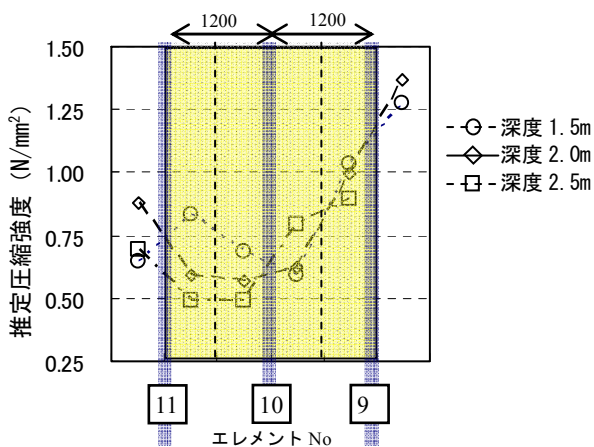


図-11 親杭間隔が 1200mm 部分の圧縮強度分布

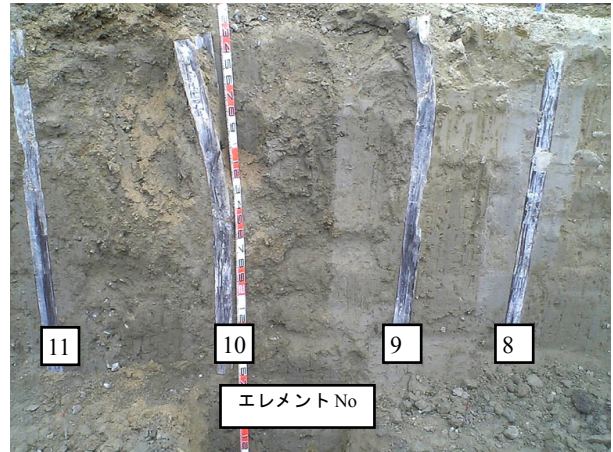


写真-3 親杭間隔が 1200mm 部分のソイルセメント壁の状況

5. まとめ

室内実験及び施工実験の結果を以下に記す。

- ① 現位置土を用いた室内試験の場合、水セメント比が 300%のセメント系懸濁液を攪拌し製造したソイルセメントは約 1N/mm²の圧縮強度が得られた。ただし、注入率が大きくなると僅かではあるが圧縮強度が低下した。
- ② シュミットハンマーPT 型を用い非破壊によってソイルセメント壁の圧縮強度を推定できると考えられる。
- ③ 特殊三軸オーガーを装着しての実機での施工は安全に行うことができ、構築したソイルセメント壁もほぼ均質なものが出来上がり良好な状態であった。
- ④ 実施工ではオーガーの洗い水による影響を受けたソイルセメント壁の天端付近を除き概ね 0.5N/mm²以上の安定したソイルセメント壁が構築できた。
- ⑤ 杭芯間隔が 1200mm の場合でもエレメント端部やエレメントラップ部における局所的な強度低下はなかった。

以上より、開発した施工機械による施工の安全性および本工法で構築したソイルセメント壁の健全性が検証できた。今後はAA工法の施工実績を重ね、必要に応じ改善を計り本工法の発展に努めたい。

[謝 辞]

本工法の共同開発者である蓬原産業㈱の関係者の方々に心より感謝申し上げます。