

AA山留め工法の開発 ―特殊三軸オーガーによるソイル柱列壁―

Development of AA (Asanuma and Aihara) Earth Retaining Method - Constructing Soil Mixing Wall by Particular Triaxial Auger -

森川 文雄* 山田 勝也*²

吉川 俊明*³ 高見 錦一*⁴

要 旨

掘削深さは浅いが山留め壁に近接して隣家があり、親杭横矢板工法を適用し難い場合等に使える、SMW工法の特徴を活かした合理的な工法を開発した。実現場において施工実験を実施し、良好な結果が得られたのでその概要を報告する。

キーワード：山留め／横矢板／ソイルセメント壁／三軸オーガー／AA山留め工法

1. はじめに

山留め工法として一般的によく使用されるものに、親杭横矢板工法やSMW（ソイルミキシングウォール）工法などがある。

親杭横矢板工法の最大の長所は、コストが安価なことであるが、その反面、①止水性がない、②横矢板を入れるときに裏側へ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現実の地盤が事前に推定していたよりも軟らかくて横矢板が施工できない、などの問題がある。また、SMW工法は、コストが高つくことや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。AA山留め工法はこのような問題を解決する為に開発した工法である。



写真-1 施工機械（三軸オーガーマシン）

2. 工法の概要

2.1 概要

当工法は、親杭横矢板工法における横矢板部分を横矢板に代わりソイルセメントにて築造するもので、親杭横矢板工法とSMW工法の中間的な工法である。近接して隣家が建っている場合、掘削地盤が軟弱な場合や掘削地盤に溜まり水がある場合などで、しかも比較的掘削深さが浅い場合においての使用を目的としている。

2.2 施工機械

施工機械（三軸オーガーマシン）は、中央のオーガーが両側のオーガーよりも長い三本のオーガーを有する（写真-1）。

中央の長いオーガーで親杭（芯材）設置部を削孔し、両側の短いオーガーで横矢板に代わりソイルセメント壁を築造する範囲を削孔する。なお両側のオーガー先端付

近にはリングを設け、先に設置した芯材にオーガーの翼が当たらないようにしている。

2.3 施工手順

以下に施工手順を示す（図-1参照）。

- ①先行エレメント1, 2, 3をセメントミルクと土を混練しながら順次削孔する。
- ②先行エレメント1, 2, 3に芯材を建て込む。
- ③先行エレメント間の後行エレメント4, 5を①と同じ要領で削孔する。その際、両サイドを先行エレメントとラップさせる。
- ④後行エレメント4, 5に芯材を建て込む。

以上の①～④の作業を繰り返し行い、山留め壁を築造する。

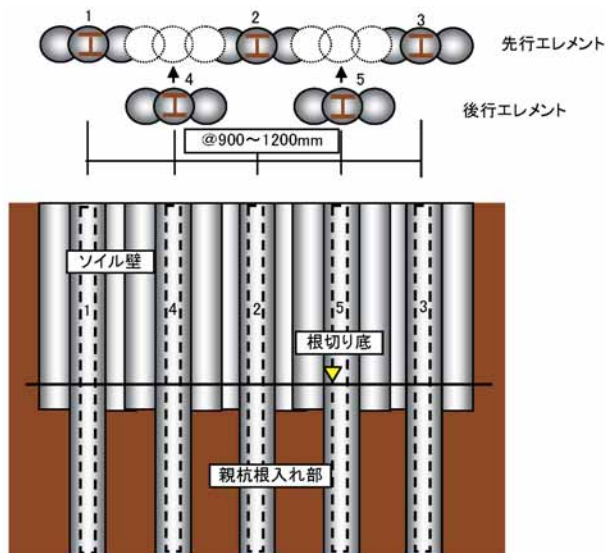
なお、芯材の間隔は、先行エレメントと後行エレメントのラップ寸法を変えることで対応する。

*大阪本店建築部工事部

*²大阪本店建築部技術グループ

*³大阪本店工務部積算グループ

*⁴技術研究所建築研究グループ



図－１ 施工手順

2.4 特徴及び適用範囲

(1) 特徴

- ・軟弱地盤に有利で、溜り水程度に対応できる止水性がある。
- ・山留め壁の剛性が高くなり変位も少なく、背面土の移動や沈下が起きないため、周辺への影響を低減できる。
- ・コストは、親杭横矢板工法とSMW工法の中間程度である。
- ・横矢板を入れる必要がなく、掘削工事期間を短縮できる。
- ・SMW工法と比較すると、残土処分量が低減できる。
- ・芯材間隔は@900～@1,200の範囲で自由に設定できる。
- ・地下水がなく根入れ部の地盤が良好な場合は、SMW工法の代わりに使用することもできる。

(2) 適用範囲

- ・近接して隣家が建っている場合
- ・地盤が軟弱な場合
- ・掘削地盤中に溜まり水がある場合
- ・地下1階程度の深さまでの規模
- ・芯材間隔は、900mm～1,200mm

3. 実大施工実験

以下、大阪府下の作業所において実大施工実験を行った結果を報告する。

3.1 ソイルセメントの事前調査試験

施工に先立ちソイルセメントの調査・注入率を決定するために室内試験を実施した。

表－１ ソイルセメントの調査

注入率 (%)	W/C (%)	土 1 m ³ 当たりの重量 (kg/m ³)		
		水	セメント	ベントナイト
70	147(150)	569	387	19
70	252(250)	617	245	12
70	357(350)	640	179	9
80	252(250)	706	280	14
60	252(250)	529	210	11
50	252(250)	441	175	9
35	300(300)	315	105	5
40	300(300)	359	120	6
55	300(300)	494	165	8
70	300(300)	629	210	10

() 内は計画時のW/C

(1) 使用材料・調査

使用した土は、原位置（盛土）から採取した。当該土の含水率は9.2%、密度は2.6g/cm³であった。粒度試験から土の工学的分類は、通常のマサ土と同様に砂質土のシルト質砂～シルトの範囲であった。

セメントミルクのセメントは普通ポルトランドセメントを、ベントナイトは赤城産のものをセメント重量の5%使用した。

表－１にソイルセメントの調査を示す。なお、土の見かけの比重は1.6と仮定した。

(2) 試験方法

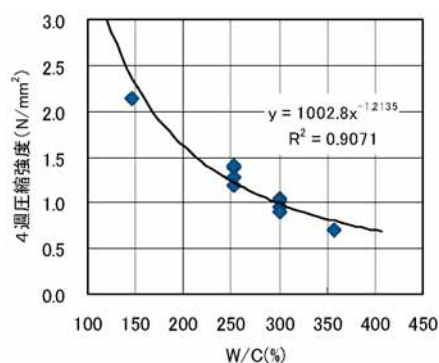
オムニミキサーを用いて、土とセメントミルクを練り混ぜ、供試体を作製した。圧縮用供試体は、φ50×100mmの形状とし、試験材齢まで湿空養生した。材齢1週と材齢4週で3体ずつ圧縮強度を測定した。また、一部の種類の試料については、150×150×150mmの鋼製型枠を用いて試験体を作製し、材齢4週に低強度用リバウンドハンマー（シュミットハンマーPT型）を用いて、反発度を測定した。

(3) 試験結果

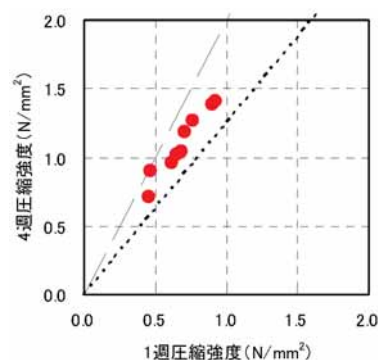
(a) 圧縮強度

全ての調査の材齢4週の水セメント比と圧縮強度の関係を図－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に示すように良好な右下がりの直線関係を示した。注入率と材齢4週の圧縮強度の関係を図－４に示す。注入率が大きくなると、圧縮強度は若干小さくなる傾向にあるが、水セメント比の方が注入率よりも圧縮強度に与える影響は大きくなることが分かった。

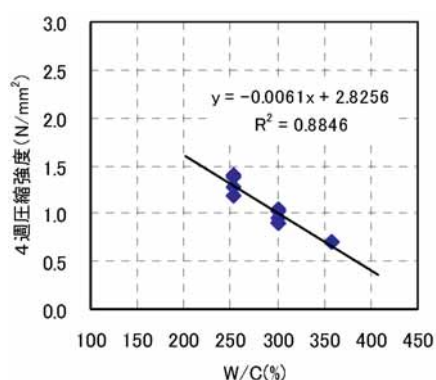
材齢4週の圧縮強度と材齢1週の圧縮強度の関係を図－５に示す。良好な直線関係を示し、材齢4週強度に対する材齢1週強度の比率はほぼ7割であった。



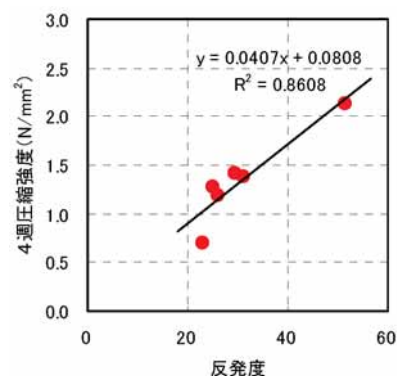
図－２ W/Cと4週圧縮強度



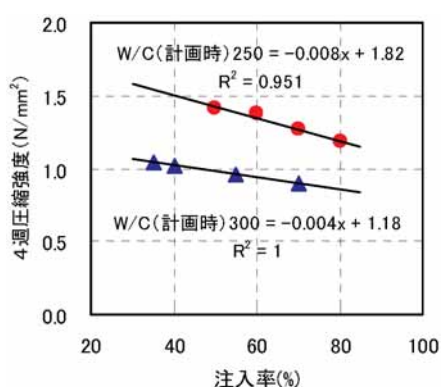
図－５ 4週圧縮強度と1週圧縮強度



図－３ W/Cと4週圧縮強度（W/C=250－350）



図－６ 反発度と4週圧縮強度



図－４ 注入率と4週圧縮強度

表－２ セメントミルクの調査・注入率

注入率(%)	計画	実施	バッチ数	1 エlementに使用する重量 (kg)		
				水	セメント	ベントナイト
35	34	2	1000	350	18	
50	51	3	1500	525	27	
65	68	4	2000	700	36	

圧縮強度は、安全率を2とした計算では0.25N/mm²であったが、当施工実験の調査は、設計基準強度を0.5N/mm²以上と設定して行った。W/Cは300%の一定値とし、注入率を65、50、35%の3水準、反復回数（ターニング）は普通（1回）と少（0回）の2水準とした。注入率は、1エレメントに対するバッチ数を2、3、4と変えることで対応した。セメントミルクの調査・注入率を表－2に示す。図－7にエレメント部位に応じた各パラメータの状況を示す。また、一部芯材間隔を1,200mm（一般部は900mm）とした箇所を設け、実施工において攪拌が充分に行え、均質なソイルセメント壁が築造できるかどうかを確認した。

エレメントNo.1～No.9までの間のソイルセメント壁の施工では、先行エレメントの削孔時に水を使用していないが、それ以降の先行エレメントの削孔時には、両サイドのオーガーによる削孔が始まるまで、即ち、中央のオーガーのみの削孔時には、セメントミルクは使用せず水の

(b) 反発度と圧縮強度の関係

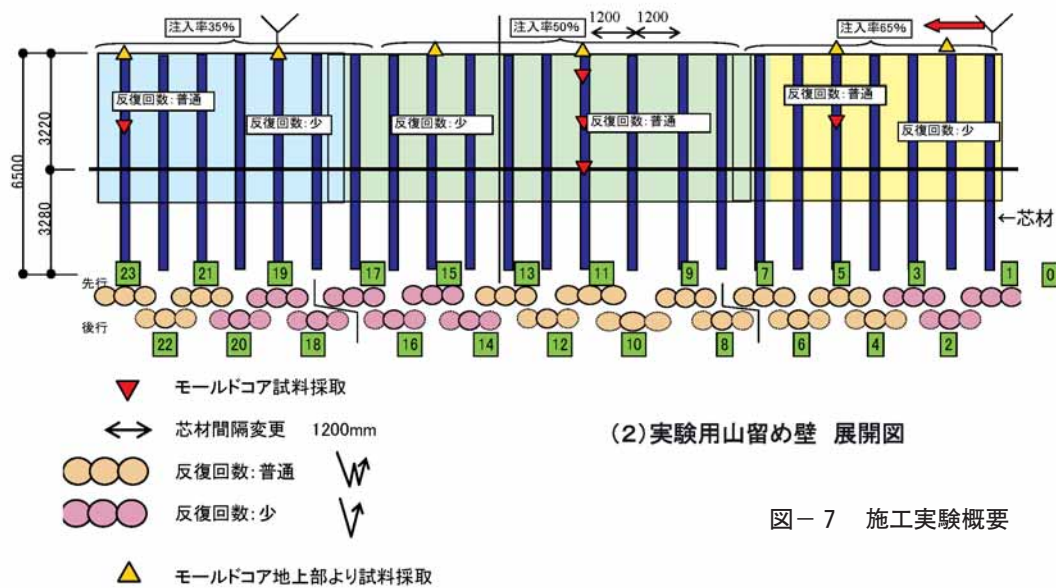
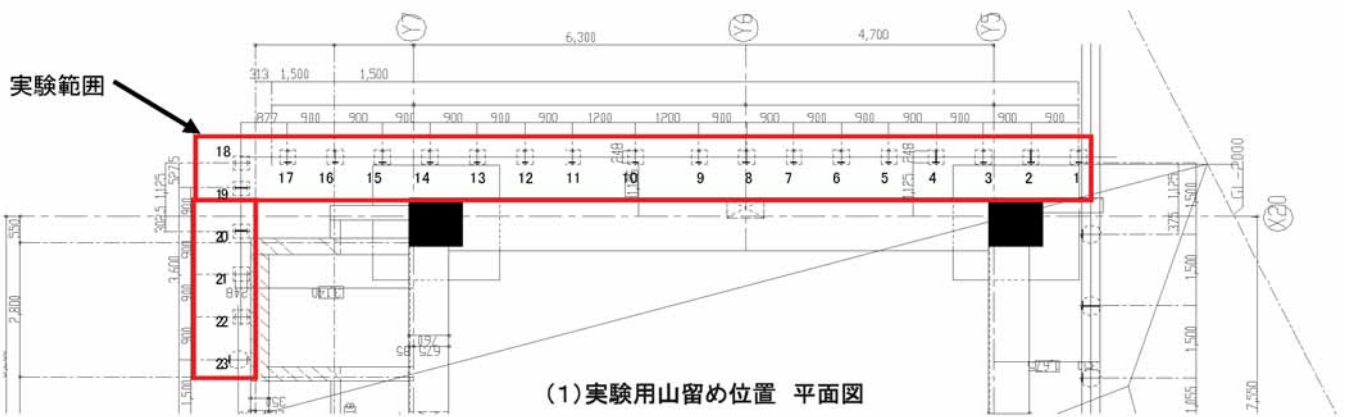
シュミットハンマーPT型で測定した反発度と材齢4週の圧縮強度の関係を図－6に示す。比較的良好な右上がりの直線関係を示しており、この関係から反発度を測定することで非破壊によって圧縮強度をほぼ推定できる。

3.2 施工

本工法で施工した部位の山留め位置図を図－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。

(1) セメントミルクの調査ほか

当該作業所におけるソイルセメント壁に必要とされる



図－ 7 施工実験概要

みを使用した。

(2) 施工結果

施工中の状況を写真－ 2 に、掘削完了時の状況を写真－ 3 に示す。表層0.7m程度の深さと4m程度の深さに部分的に硬質層が存在した箇所では、削孔におおよそ1エレメント当たり1時間掛かった。硬質層のない箇所では削孔・攪拌作業共に約25分程度で完了した。

また、リング部に土砂が詰まりやすく、その除去作業に5～10分程度時間を要した。これについては、リング下部の翼の位置や形状を変更するなどの改良が必要と思われる。極端に硬い地盤がなくリング部の土砂の詰まりが解消できれば、約35～40分で1エレメントの施工が可能であったと推定できる。

地上に溢れ出たソイルセメントは、地上部から観察される限りでは、土砂とセメントミルクは十分に攪拌されていた。

掘削完了時の出来形は、一部掘削機械による過掘りも見られたが、比較的良好的な状況であり、ソイルセメント壁も一様な色調で、攪拌に問題ないことを確認できた。



写真－ 2 施工状況



写真－ 3 掘削完了時の状況

(3) ソイルセメント壁の圧縮強度

ソイルセメント壁の圧縮強度をモールドコアとコア採取によって確認した。モールドコアの採取位置を図-7に示す。

横矢板をソイルセメント壁に代える当工法の主旨から、根入れ部からの採取は行っていない。モールドコアの試料は、削孔・攪拌混合終了直後にソイルセメントミルクを所定の位置から採取器具を使用して採取し、 $\phi 50 \times 100\text{mm}$ の供試体を作製して、材齢4週まで現場湿空養生した。コアは、エレメントNo.5、11、23から採取した。採取は芯材に沿わせて内径 $\phi 50\text{mm}$ の塩ビパイプを挿入し、その中にセメントミルクを流入させ、ソイルセメントの硬化後に塩ビパイプのままで取り出した。採取した試料は、試験材齢まで現場封緘養生とした。その後、深さ毎に試験体を切り出し、 $\phi 50 \times 100\text{mm}$ に成形して材齢4週に圧縮試験を行った。

また、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。

(a) モールドコアとコアの圧縮強度

モールドコアおよびコアの注入率別圧縮強度と深さの関係を図-8に示す。上部から採取したモールドコアの圧縮強度および注入率65%の深さ3～2mのコア強度以外は、 0.7N/mm^2 以上であった。上部から（-0.5m程度）採取したモールドコアの圧縮強度が小さくなったのは、オーガーの清掃に使用した水が混ざったために、水セメント比が大きくなったことによると思われる。

(b) 反発度とモールドコアおよびコアの圧縮強度の関係

塩ビパイプを挿入して採取したコアおよびモールドコアの圧縮強度と室内試験で得られた関係式（図-6参照）から推定した、反発度による圧縮強度推定値の一例を図-9に示す。反発度から得られた圧縮強度推定値は、コア強度より小さめであったが、概ねその部位の圧縮強度を示していると判断できた。また、深さ方向で圧縮強度が大きく変化することはなかった。

(c) 各エレメントにおけるソイルセメント壁の圧縮強度

芯材間（寸法=900mm、一部1,200mm）のソイルセメント壁で測定した反発度の平均値から推定した圧縮強度を、深さごとに図-10に示す。エレメントNo.9～11が芯材間隔を1,200mmで施工した部分である。当該部分のソイルセメント壁を600mm間隔で測定して推定した圧縮強度を図-11に示す。

反発度から推定したソイルセメント壁の圧縮強度は、

エレメントNo.10（芯材No.10）以降に施工したものは、深さや反復回数にあまり関係なくおおよそ 0.5 から 0.9N/mm^2 であった。芯材No.4～No.9までの間のソイルセメント壁の圧縮強度が $1.3\text{N/mm}^2 \sim 1.45\text{N/mm}^2$ と大きいのは、先行エレメントの削孔時に水を使用していないためと推察する。

芯材間隔を900mmから1,200mmに広げた芯材No.9からNo.11の間のソイルセメント壁では、芯材No.9とNo.10の中央で周囲と色が異なっており、他に比べて若干圧縮強度が小さい傾向であった。しかし、ラップ寸法が小さい部分だけが局所的に強度低下を生じていることはなかった。

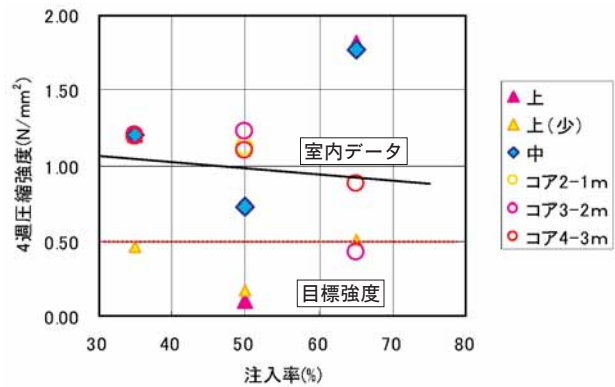


図-8 注入率と4週圧縮強度

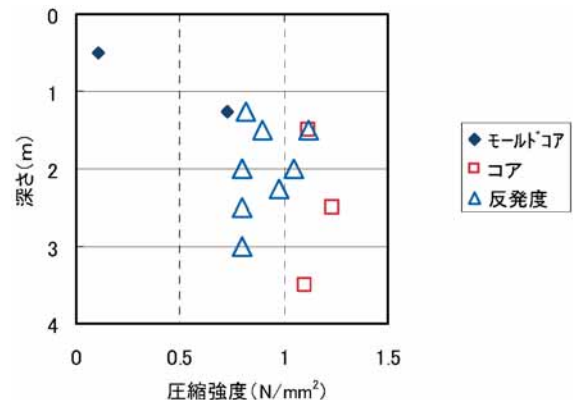


図-9 反発度からの圧縮強度推定値とコア圧縮強度の一例（No11エレメン）

3.3 施工実験のまとめ

施工実験の結果、ソイルセメント壁はほぼ均質なものが出来上がり、掘削時に崩壊などもなく良好な結果が得られた。以下に得られた知見を示す。

- 大阪府下等の一般的な地盤で、特に硬質なものでない限り、削孔深さが6～7m程度では1エレメント30分から40分程度で施工可能である。
- リング部で生じる土砂のつまりを解消するために、攪拌翼位置の変更など、機器の改良が必要である。
- 当地盤のようなマサ土による埋め戻し地盤での施工においては、十分に攪拌でき均質なソイルセメント壁ができる。
- 当地盤と類似の地盤では、W/Cが300%であれば、注入率を50%とすることで、地上部近辺を除き、中央のオーガーのみの削孔時に水のみを使用した場合でも、圧縮強度が0.5N/mm²以上のソイルセメント壁が構築できる。
- 当地盤では、注入率の違いによるソイルセメント壁の圧縮強度の差は明確ではなかった。
- 杭芯間隔を1,200mmとした場合、900mm間隔と比べると若干圧縮強度の低下傾向はあるが、エレメントラップ部におけるソイルセメント壁の局所的な強度低下は無く、ほぼ均質なソイルセメント壁が得られた。
- 当地盤では、ターニングの回数の違いによるソイルセメント壁の圧縮強度の違いは明確ではなかった。
- 中央のオーガーのみの削孔時に水のみを使用した場合、使用していない場合に比べ圧縮強度は約50%程度低下した。
- 当工法の施工に当たっては、事前に原位置の土を使用してソイルセメントの室内試験を実施し、調合計画を立てることが肝要である。

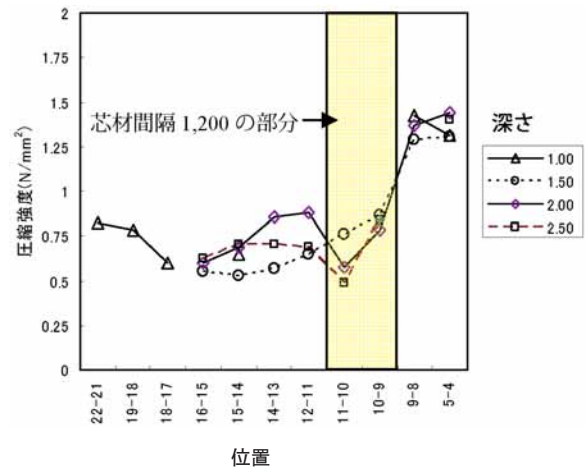
4. おわりに

一連の室内実験・施工実験を通して、当工法の実用性が確認できた。その後、同機械を使用して、大阪市内での軟弱な地盤で実施工を行い、良好な結果が得られている（写真－4）。

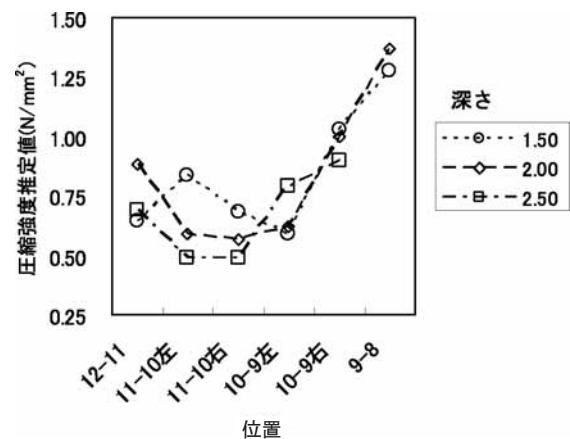
今後、各種の地盤に対応する調合を確立するとともに、新たに開発した25 tラフター搭載型機械によって施工を行い、当工法の普及を図りたい。

〔謝辞〕

最後に当工法を共同で開発した蓬原産業株式会社の蓬原様に感謝の意を表します。



図－10 反発度による芯材間の圧縮強度分布



図－11 芯材間隔が1,200mm部分の反発度による圧縮強度分布



写真－4 大阪市内の作業所における施工（掘削完了時の状況）