

BHW 工法現場実験の報告

Report on in-situ experimental work of BHW Method

稲葉 力*)
Tsutomu Inaba

森 仁司**)
Hitoshi Mori

要 約

従来の BHW 工法を改良し、現場実験を行った。改良点は、①掘削に BH 機を用いていたのを、TBH 機に変更した。②それに伴い、2 軸ビットを 3 軸ビットとした。③同じく正循環方式を逆循環方式とした。④掘削時の泥水比重の管理限界を 1.15～1.20 とした。

実験工事は、当社大和独身寮で行った。規模は 26 エレメント、幅 50cm、深度 12m であった。その結果、掘削は良好に終了し、固化も初期の目標を達成できた。コアボーリングによる一軸圧縮試験の結果と透水試験の結果、当社のこれまでの室内実験結果を裏付ける結果が得られた。

室内でも、掘削孔を模擬したアクリルパイプの泥水中に固化液を注入する実験と、オーバーラップ部の施工を確認する重ね掘りの実験を行った。

目 次

- §1. はじめに
- §2. 実験概要
- §3. 実験結果
- §4. 室内実験および結果
- §5. あとがき
- 謝辞
- 参考文献

§1. はじめに

昭和58年に土木設計部、技術研究部、東関東支店が共同で BHW 工法を開発した²⁾³⁾。当時の BHW 工法は、掘削機として利根ボーリングの BH 機を用い、専用に製作したガイド付きの 2 軸ビットを用いて、正循環方式で

*技術研究所土木技術課副課長

**技術研究所土木技術課

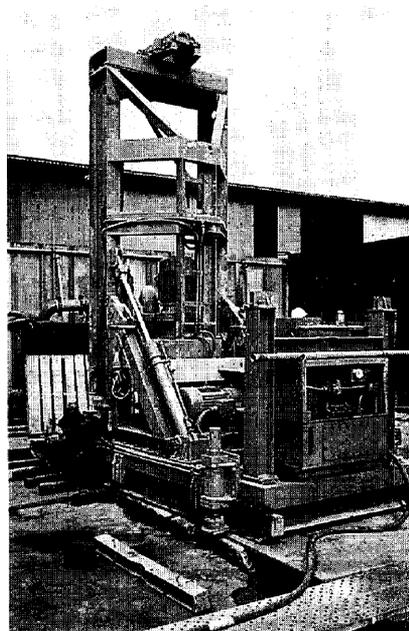


Photo 1 TBH機全景

Table 1 使用設備一覧表

種別	機 械 名	型式・規格	台数	備 考
掘削関係	トップドライブリバー		1台	
	サーキュレーションドリル	TBH	"	41.0kW
	サクショポンプ (150mm)	UPS-70-1520N	"	44.5kW
	マッドスクリーン	LWM-6	"	7.5kW
	サンドポンプ (150mm)		"	22.0kW
	サンドポンプ (100mm)		"	11.0kW
安定液関係	安定液ミキサー	MCE-2000又は600	1台	15.0kW
	水中ポンプ (50mm)		"	1.5kW
	" (100mm)		"	5.5kW
	鋼製タンク	30m ²	1ヶ	
	"	20m ²	"	
安定液固化関係	三軸ビット (BH, Hビット)	φ400~500mm		
	サンドポンプ (150mm)	MCG-60	1~2台	1台 22.0kW
	ミキサー			1式 11.0kW
	ハイワッシャー			1台
	モルタル圧送用ポンプ	スクイーズ式		2台 15.0kW
	セメントサイロ	30t		1基
その他	油圧ショベル コンテナ車又はバキューム車 クレーン			

掘削した。したがって、泥水は高濃度泥水であった。現場施工の結果、改良すべき箇所を検討した。

その結果、下記の改良を実施し、再び現場施工実験を行った。

- ① 掘削機をBH機からTBH機に変更した。(写真と諸元をPhoto 1とTable 1に示す。)
- ② 2軸ビットから3軸ビットに変更した。
- ③ 泥水循環を正循環方式から逆循環方式に変更した。
- ④ 従来1.2以上であった泥水比重の管理限界は1.15~1.20とした。
- ⑤ オーバーラップ部はリークストップシート²⁾³⁾を用いず、重ね掘りを採用した。

以下、実験計画と結果を報告する。なお、当工法は高鳴建設工業(株)と共同開発したものであり、今回の実験においても高鳴建設工事が施工を担当した。

§ 2. 実験概要

2-1 施工手順について

従来のBHW工法についての詳細は、参考文献²⁾に述べているので、ここでは述べていない。改良したBHW工法は以下の手順で施工する。

- ① 全体にガイドウォールを作る。
- ② 先行エレメントを必要数だけ3軸掘削する。
- ③ 先行エレメントを固化する。
- ④ 先行エレメントに応力材を建て込む。

⑤ 後行エレメントの掘削をする。

⑥ 後行エレメントの固化をする。

⑦ 後行エレメントに応力材を建て込む。

⑧ 必要な回数だけ②~⑦を繰り返す。

応力材を固化後に速やかに建て込むのも、従来と異なる点である。

2-2 実験目的

実験の目的は、次の項目である。

- ① 当工法の掘削に適した泥水比重・粘度の把握
- ② 使用する泥水の特性と固化強度の関係の把握
- ③ 固化強度と透水係数の関係の把握
- ④ オーバーラップ部の連続性と強度および透水係数の確認
- ⑤ 工法全体の将来性を見極めること。

2-3 実験場所および条件

実験場所は、当社の横浜支店が管轄する大和独身寮の一部とした。

場所についての説明図は省略する。土質柱状図をFig. 1に示す。柱状図でわかるように、土質は関東ロームである。掘削幅は、50cm、深さは12mとした。掘削幅はビットの幅で決まるが、深さは当工法にはガイドがないことから、現状での限界と考えた深さである。

エレメント割は、Fig. 2に実験結果とともにまとめて示す。

2-4 測定項目

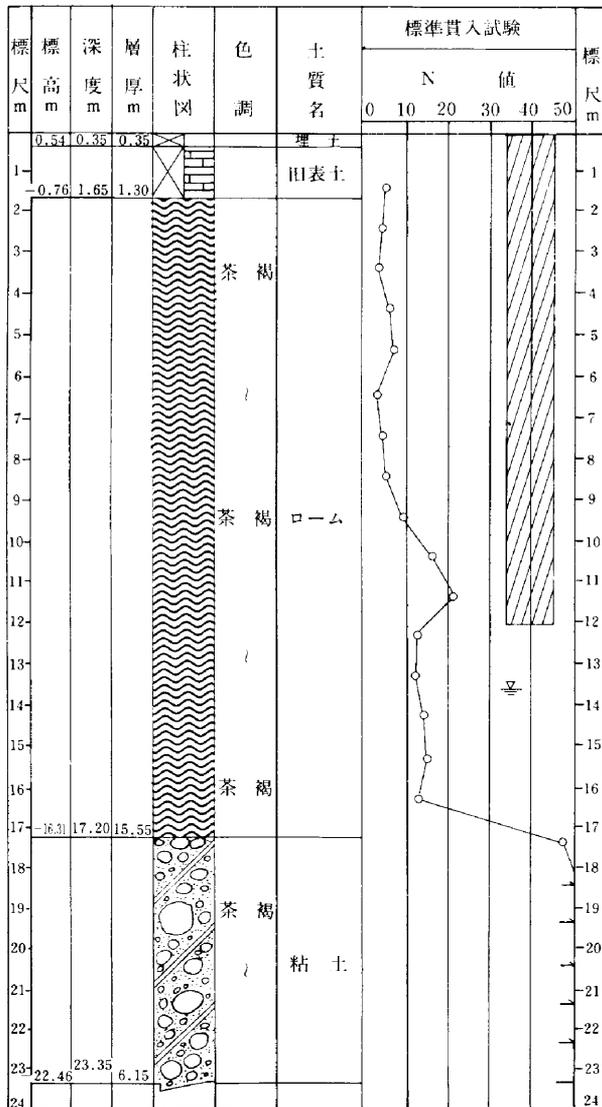


Fig.1 土質柱状図

今回の施工では、次の項目を測定した。

- ① 泥水に関して
泥水比重, 粘性 (ファンネル/500cc), pH
- ② 固化液に関して
比重, 粘性 (P ロート), pH, 一軸圧縮強度 (1週, 4週), 固化作業の歩掛かり
- ③ 掘削時
掘削精度 (超音波測定), 歩掛かり
- ④ 固化終了後
一軸圧縮強度 (コアボーリング), 透水係数 (コアボーリング), オーバーラップ部の仕上がり (連続性)

§ 3. 実験結果

3-1 掘削について

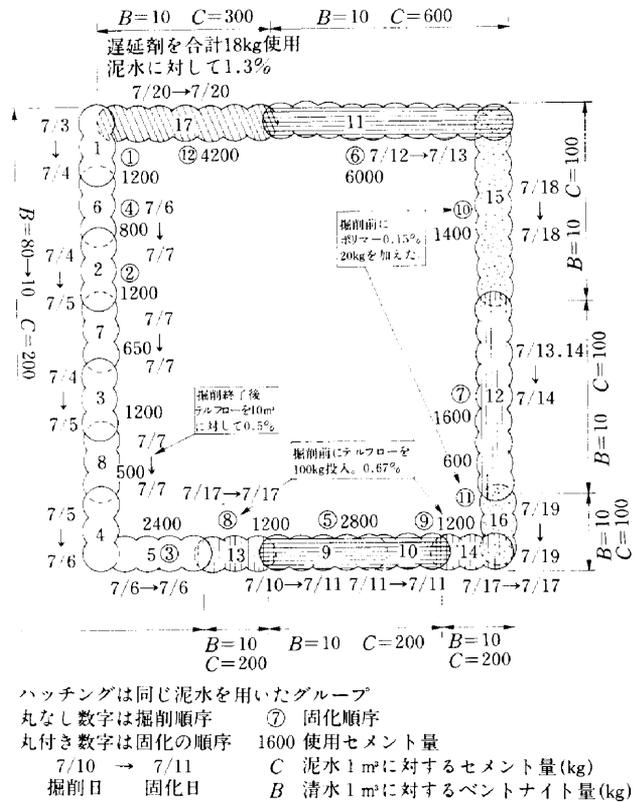


Fig.2 掘削・固化実施説明図

Fig. 2 に示した順序で掘削を行った。掘削当初は、ベントナイト濃度を8%として掘削したが、関東ロームでは粘度が上がり過ぎ、以降1%に落とした。8%にした場合は粘度が高すぎて、2エレメント目からの掘削が困難であった。なお、使用したベントナイトは浅間である。

計画では、単独エレメント3軸分の掘削が中心で、間をオーバーラップ掘削する予定だったが、掘削効率の面で単独はふさわしくないことがわかったので、原則として3エレメントは連続して掘削することにした。実施工では、3エレメントずつ間隔を空けて掘削し、固化後に、そのあいだのエレメントを掘削するのが好ましいと考えられる (例えば、Fig. 2 の12, 15のように)。

掘削中は、1.5m 掘削毎に泥水比重、ファンネル粘度、pH を測定しパソコンに入力し、データベースを作っていたので、泥水特性の時系列変化が即座にわかった。Fig. 3, 4 に各々泥水比重と掘削深さの関係、ファンネル粘度と掘削深さの関係を示す。Fig. 2 に示す掘削順序9, 10, 11のエレメントに関するものである。泥水比重の増加量と掘削深さの関係、ファンネル粘度の増加量と掘削深さの関係は割愛する¹⁾。

Fig. 3 で、1エレメントの掘削が終了して次のエレメントに移るときに、比重が増加していないのは、新泥水

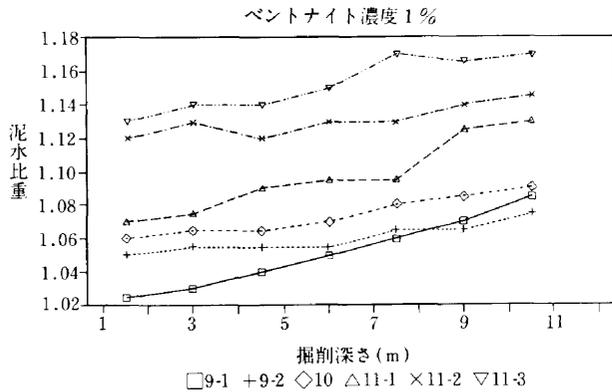


Fig.3 泥水比重と掘削深さの関係 (No.9, 10, 11)

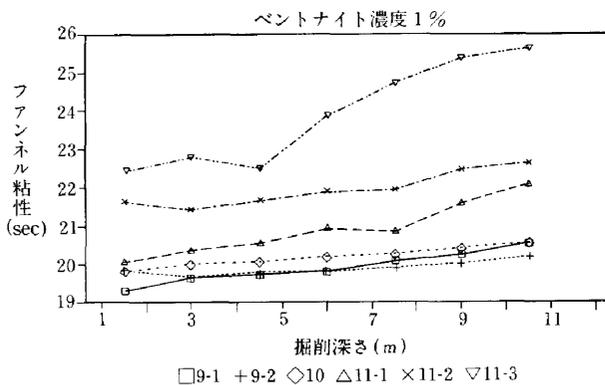


Fig.4 ファンネル粘性と掘削深さの関係 (No.9, 10, 11)

を追加したものである。追加しなければ、比重、粘度ともどんどん増加する。今回は管理限界を、比重は1.20、ファンネルを30秒とした。比重については、固化前の値を1.15以上1.20以下にするようにした。この理由は、所定の一軸圧縮強度を得て、しかも固化作業に障害を与えないためである。

1エレメントの掘削時間は約1時間で、トラブルがない限りほとんど同じであった。TBH機には方向修正装置がないので、地盤の強度が極端に異なると掘削孔が曲がる恐れがある。今回は、土質柱状図でも明らかなように、その恐れはなかった。超音波測定器で孔壁の仕上がりを測定した例を Fig. 5 に示す。

これは、掘削順序9の中央の横断方向であるが、深さ6mから10mにかけて、水平方向に10cmだけ曲がったことがわかる。工事全体を通じて、掘削下部で特定の方向に10cm程度傾斜する傾向があったが、原因は不明である。

コーナー部の連続掘削も特に問題はなかった。

固化材(今回は普通ポルトランドセメント)を200kg(泥水1m³に対して)を使用する場合、固化後1週間で一軸圧縮強度は4 kgf/cm²程度に達する。オーバーラップ掘削を

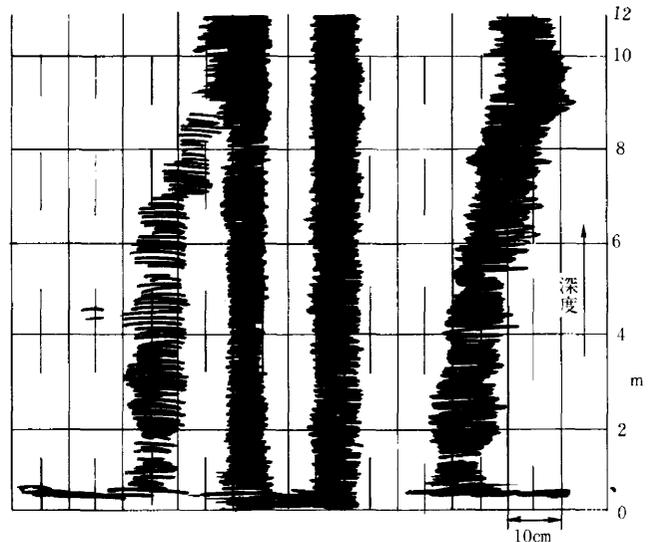


Fig.5 超音波計測結果 (No.9) 横断方向, 中央(上が孔底)

すると、先行して固化した部分のポゾラン反応が進んでいないセメント粒子が泥水と混合し、泥水に悪影響を与えるおそれがある。通常、固化後1週間もおかずに2、3日で掘削すると考えられるので、今回も同様の条件を考えて掘削を行った。

単独部を掘削中の泥水の pH は、8 から 9 以下であり、固化してから1週間近くたって掘削した場合でも、pH10を越えることはなかった。しかし、固化して1、2日後にオーバーラップ部を掘削すると、pHは12程度まで上昇し、固化液の pH と変わらない値であった。

オーバーラップ部を掘削するとき、泥水にテルフローを混合した場合、遅延材を混合した場合、泥水をポリマー泥水とした場合の3ケースの泥水で試みた。遅延材を用いた場合は強度の発現が遅れるだけで、他のものと比べて一番好ましいと思われた。ただし、定量的に評価できるものではなかった。

掘削時の特徴として、廃棄泥水が通常工法の半分ほどに減ること、排出土も30%ほど減少することが上げられる¹⁾。

3-2 固化について

固化液の配合は、基本的には泥水1m³に対してセメント200kgとした。それに、100、300、600kgの各配合を追加した。固化は、掘削孔から泥水を汲み上げ、2連(1m³×2)のミキサーに入れ、セメントサイロでセメントを自動計量してミキサーに投入し、混合してからグラウトポンプで掘削孔底に塩化ビニールのパイプ(1インチ)1本あるいは、2本で送り込んだ。

3軸分の掘削体積は約6m³であり、標準配合の場合で

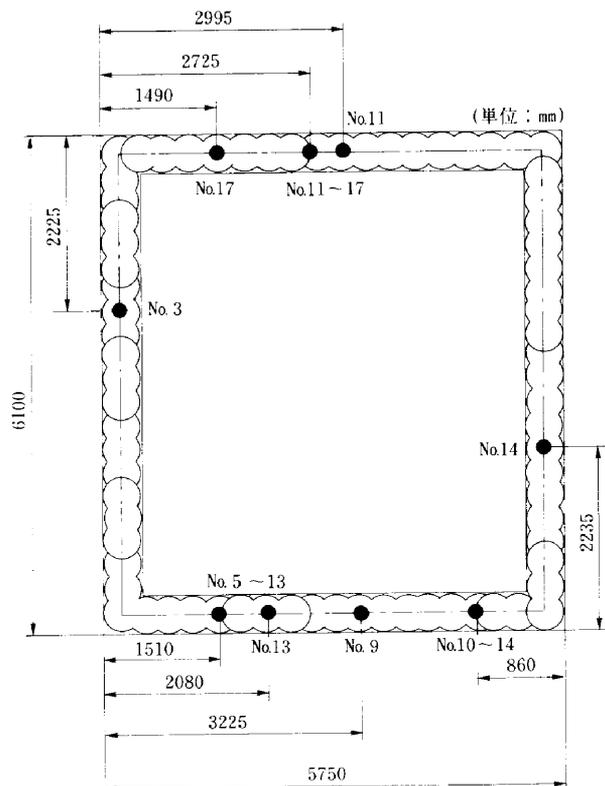


Fig.6 コアボーリング採取位置(実施)

使用セメント量は1,200kgである。今回の施工ケースでは、全てが1時間で固化作業を終えた。固化の終了は、計算セメント量を投入してから、掘削孔上部の泥水を観察して固化液が上昇していることを確認してから終了とした。固化中は、モールドに試料を採取したほか、pHの測定、Pロートでの粘度を測定した。Pロートで、固化時の粘性の管理限界を決める予定であったが、Pロートでは決められなかった。Pロートで測定不能でも、ミキサーでは攪拌可能であり、ポンプも十分に圧送可能であった。

実験終了後にコアボーリング(φ46)を実施し、一軸圧縮試験(4週)と透水試験を実施した。Fig. 6にコアの採取位置を示す。オーバーラップ部の3本は上部だけφ100のサンプラーを用いてコア採取を行ったが、思うように採取できなかった。したがって、オーバーラップ部の試料を用いた試験は実施できなかった。

Fig. 7, 8にFig. 2の13, 17の一軸圧縮強度と深さの関係を示す。単位体積重量・含水比と深さの関係は割愛する。Fig. 7は単位セメント量が200kgの例である。一軸圧縮強度のばらつきが少なかった。これに対して、Fig. 8は単位セメント量が300kgの例である。上部と下部で強度が2分化しているが、単位体積重量の測定結果

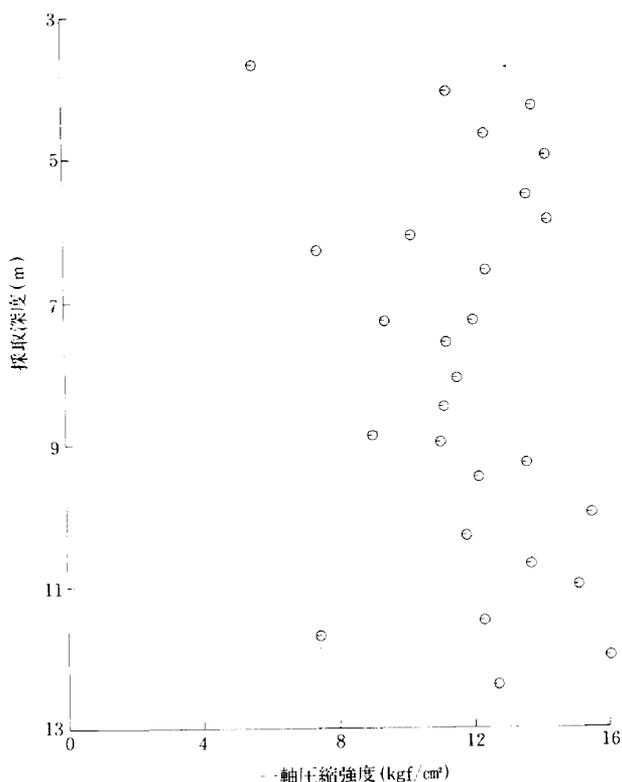


Fig.7 一軸圧縮強度と採取位置の関係(No.13)

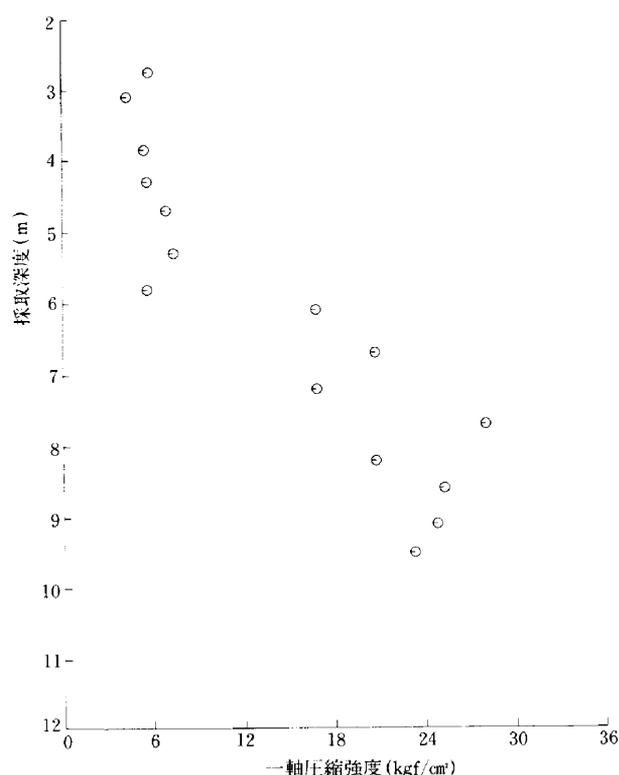


Fig.8 一軸圧縮強度と採取位置の関係(No.17)

から、固化材の投入が不十分であったことがうかがえた。

モールド試料の試験結果は、図示しないが採取した時間によって大きく異なっていた。時間が後になるほど強度が大きかったので、固化液を掘削孔底に注入すると、固化液が全体で静かに上昇せず、一部攪拌されながら上昇するものと考えられる。これは、目視でも確認できた。

3-3 透水係数について

3-2で述べたコアボーリングの試料を用いて透水試験を行った。BHW工法による泥水固化壁は、土留めと

止水に用いるのが主な用途であり、どちらの場合でも不透水性の確保は重要なポイントである。

土質試験法で定められた透水試験は各種あるが、一般の土質に用いる定水位法、変水位法は透水係数が小さいと時間がかかりすぎるので、筆者らがこれまでに用いている Fig.9 に示す方法を用いた¹⁾。この方法は、三軸圧縮試験機を用いて試料に背圧を加える方法であり、透水係数が小さい場合でも、早く終わることができる。

結果を Fig.10 に示す。一軸圧縮強度と透水係数の関係を示す。一軸圧縮強度は透水係数の測定に用いた試料の近傍のデータである。ここに得られた結果は、筆者らがこれまで室内実験で普通ポルトランドセメントについて求めた結果と矛盾がない²⁾。一軸圧縮強度10kgf/cm²以上では今回の方が係数が小さくなっている。一軸圧縮強度10kgf/cm²で透水係数 $k=10^{-6}$ cm/sec を確保できると

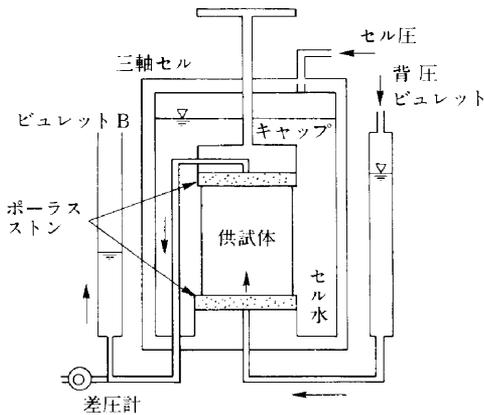


Fig.9 実験システム図



Photo 2 No.17掘り出した孔壁

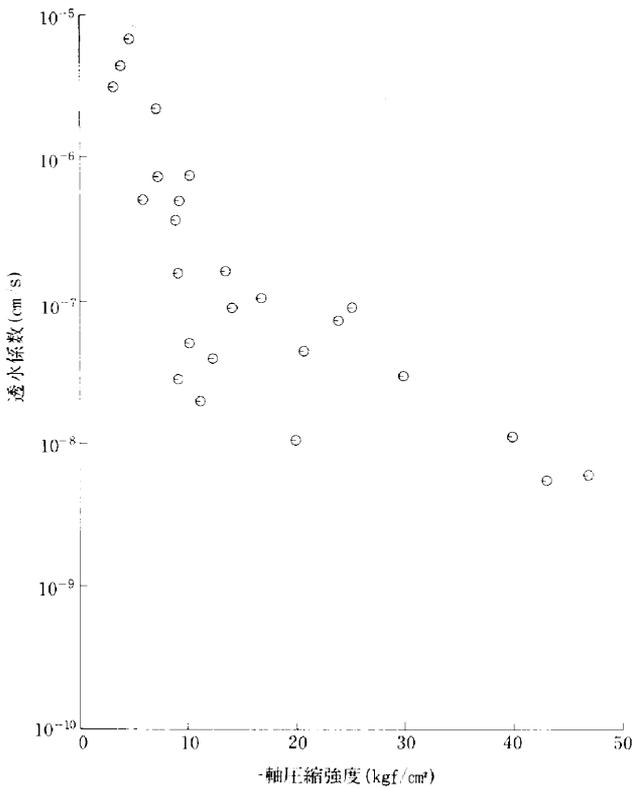


Fig.10 一軸圧縮強度と透水係数の関係

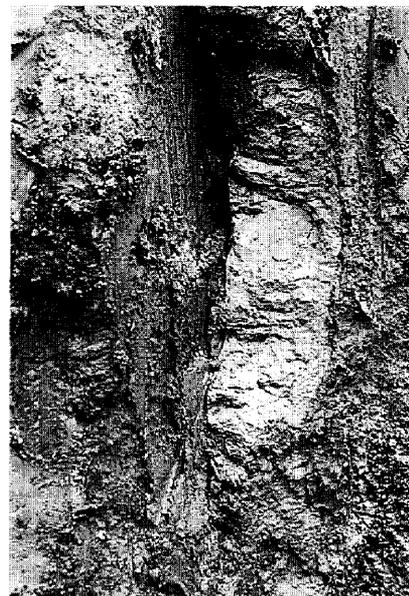


Photo 3 No.11と17の境目

考えられる。

3-4 固化壁の仕上がり状態について

施工がすべて完了してから、地表から上部4 m程をバックホーで掘削して、壁の仕上がり状態を観察した。単位セメント量を100kgとした部分は、上部固化状態が悪いため掘削しなかった。

Photo 2, 3に壁の仕上がり状態の例を示す。Photo 2は掘削順序17の箇所であり、固化が比較的良好であったところである。一軸圧縮強度は6 kgf/cm²程度であった。壁の中は大変硬かった。その他の部分も、単位セメント量200kgf/cm²の部分は良好であったが、用いた泥水の状態などにより、オーバーラップ部の固化が不十分であった。

Photo 3に示したものは、写真中央の白い部分が固化した非常に硬い部分で、その左側がラップ部である。5 mm程度の強度の劣る部分があったが、周囲の硬い部分に覆われているので、実用には差し支えないと思われる。

一方で、泥水の粘性などが高かった部分のラップ部は、柔らかい粘土状となり、不透水性はともかく強度を確保する観点からは問題があるように思われた。

§4. 室内実験および結果

今回の実験計画で、現場実験の実施に伴って確認の必要なものに次の項目があった。

- ① オーバーラップ部の掘削および固化の方法。
- ② 固化の際の固化液の上昇状態。
- ③ 混和剤を用いた場合の固化体の強度。

①には、掘削の際、どういった泥水を用いるかが含まれる。つまり、ポリマー泥水を採用するか、泥水に遅延剤を混合するか、テルフローなどの分散剤を混合するかである。

また、①に関しては地表部掘削の結果、オーバーラップ部の固化不良が生じ易いことがわかったので、現場実験後、室内実験でも確認することにした。

②固化の際の固化液の上昇状態は、室内実験以外では確認のしようがないので、室内実験で確認することにした。

③については、分散剤を用いた場合には、混合量によって強度に影響があることが、当社のこれまでの実験でもわかっていたので、今回は室内実験は行わなかった。遅延剤に関しては、使用量が適量であれば、量に応じて強度の発現が遅れるだけであることが、現場での実験でわかったので特別に室内実験は計画しなかった。

4-1 固化の際の固化液の上昇状態

Photo 4に示す装置を作成した。外形300mm×長さ2000mmの亚克力パイプに掘削状態を模擬した泥水を入れ、上から泥水を汲み上げながら、下まで入れた耐圧ホースでセメントを混合した固化液を注入した。固化液には染料（ローダミン）を入れて赤色をつけておいた。用いた配合3種類はTable 2のようである。

結局、泥水と固化液との比重の差が、0.05程度あれば注入された固化液全体が静かに上昇することが観察されたり、比重差がほとんどない状態では、上昇の状況がわからなかった。

4-2 オーバーラップ部の掘削および固化

あらかじめ土槽全体を泥水固化しておき、まん中をφ500mmで土槽の下まで掘削して、泥水を入れておいた。2, 3日おいた後、この泥水を汲み上げてミキサーに入れ、セメントを混合して掘削孔に戻した。装置の全景はPhoto 5に示す。注入するときの耐圧ホースは注入実験と同じものを用いた。

実験の結果は、Fig. 11に図示する結果となった。こ

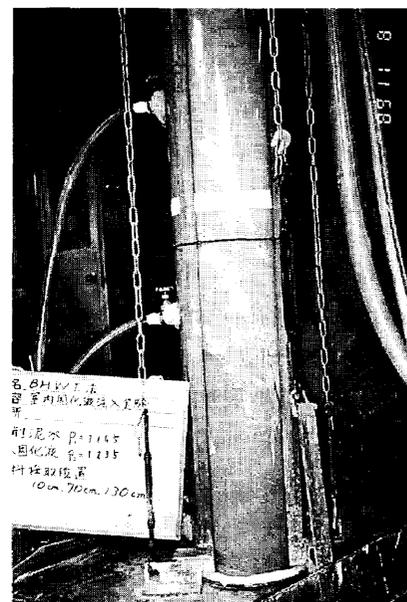


Photo 4 注入実験装置図

Table 2 注入実験配合表

配合名	ベントナイト量 (kg)	セメント量 (kg)	粘土分重量 (kg)	比重
配合A	80	100	300	1.15
配合B	80	200	300	1.20
配合C	80	300	300	1.25

それぞれ、清水1000kgに対する重量。泥水の比重は、1.08である。

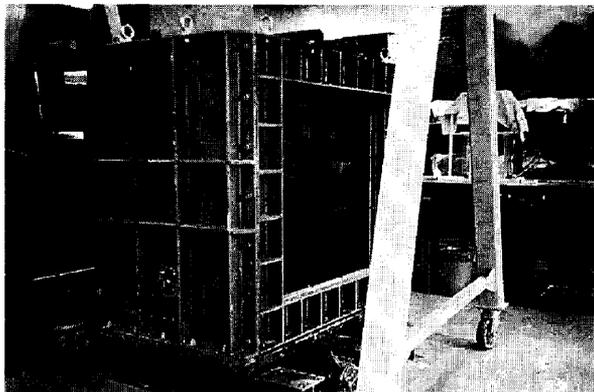


Photo 5 重ね掘り装置全景

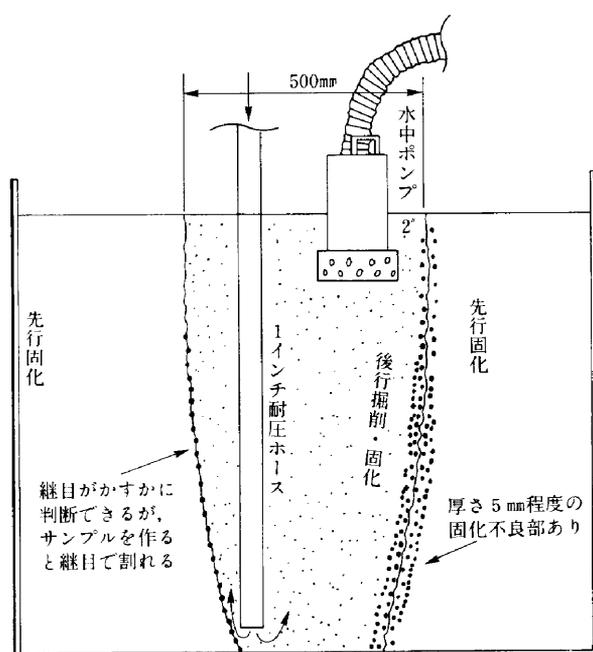


Fig.11 重ね掘り実験の結果

のときの配合は、先行部分も後行部分も同じ標準配合である。結局、孔壁を洗うことなく固化した場合にはなんらかの固化不良を生じることが予測される結果となった。

混合セメント量を増加すれば、この問題はある程度解決されるようである。また、地中深い部分についてはどうなっているか詳細は不明である。これについては、水中ミキサーで攪拌しながら固化する解決方法を考えている。

§5. あとがき

平成元年7～8月に実施したBHWの現場実験について、施工結果を中心に報告した。昭和58年に開発した

BHW工法と比較して、施工能率で上回り、オーバーラップ部の信頼性を向上した工法であることがわかった。

反面、オーバーラップ部の固化については、課題が残っていると考えられる。さらに、今回実施した12m以深の深さについても掘削・固化が可能となるようにする必要がありと考えられる。

謝辞 今回の施工実験にあたり、横浜支店桃崎課長および目黒出張所山沢所長には、資材の手配その他で大変お世話になった。実験全体は、平塚製作所の関上勇蔵氏が常駐して、実質的に取り仕切ってくれた。室内実験は、アルバイトの松江君、宇都宮大学の倉知君のお世話になった。紙面を借りて、お礼を申し上げたい。

参考文献

- 1) 西松建設株式会社技術研究部：「BHW工法現場実験報告書」1990年2月
- 2) 稲葉 力他：「BHW工法における泥水固化方法の研究」西松建設技報 Vol.7 pp.1～9 '84
- 3) 西平福宏他：「小型掘削機を利用した泥水固化連続壁工事例」基礎工 Vol.14 No.8 pp.96～102 '86
- 4) 金子範彦他：「安定液固化体のせん断強度と変形係数について」土木学会年次学術講演会概要集 第3部 Vol.42nd pp.758～759 '87
- 5) 稲葉 力他：「安定液固化体の透水係数について」土木学会年次学術講演会概要集 第3部 Vol.42nd pp.756～757 '87
- 6) 金子範彦他：「安定液固化体の一軸圧縮強度について」土質工学研究発表会講演会 Vol.22nd pp.145～1452 '87
- 7) 稲葉 力：「泥水固化杭系工法の適用事例」第4回新しい材料・工法・機械講習会 土木学会施工小委員会 pp.49～52 '89