

PHPA系安定液の循環式掘削工法への適用

北本 利男* 結城 知史**
 山浦 一郎*** 木下 裕行****
 平山 達也***** 岡田 圭司***

要 旨

PHPA系安定液（選択凝集性安定液）は、安定液自体に凝集性を持たせ、掘削土砂およびスライム分を選択的に凝集・沈澱させることのできる安定液である。今回、微細土粒子の混入が予想される一般的な地盤において循環式掘削工法への適用を試みた。その結果、以下の結果を得た。

- ①循環式掘削においても選択凝集作用によって、溝壁内の砂分沈降が明確に現れた。
- ②PHPA系安定液は、従来の分散系安定液（ベントナイト系安定液およびポリマー系安定液）が、ろ水量とマッドケーキ厚にある程度の相関関係を見いだせるのとは対照的に、掘削が進行してもろ水量の値はほぼ一定の値を示したが、マッドケーキ厚の値はかなり変動する傾向にあった。
- ③PHPAを補給する際の添加レートは、1.50 (g/(m³・分)) 程度以下に設定すればよい。

1. まえがき

地下連続壁に使用される安定液は、掘削溝壁を安定させるために用いられるが、安定液に必要な機能は、掘削溝壁の安定ばかりでなく、コンクリートとの置換流体としての機能、掘削土粒子を保持し地上まで運搬する機能およびスライム沈降を促進させる機能などが要求される。

従来は、安定液中に浮遊する掘削土砂分およびスライム分を自然沈降や、デカンタ等の機械式分離機を用いて安定液中から除去していた。

筆者らは、掘削土砂分だけに凝集作用を限定する選択凝集性を安定液自体に持たせ、安定液に混入した掘削土砂を凝集・沈澱させることによって、安定液中のソリッドコントロールを積極的に行うことのできる安定液の研究開発を行ってきた¹⁾²⁾。

今回、選択凝集性安定液を一般的な地盤（成田砂層）を対象として循環式掘削工法に適用した事例を報告する。

なお、この掘削実験はEMX240掘削機の追加認定のための原位置試験の一環として、鉄建建設および戸田建設と共同で行った。

2. 実験工事概要

2.1 実験場所

千葉県成田市新泉9-1 鉄建建設株式会社
 成田研究所内 EMX240掘削機掘削試験場

2.2 実験期間

- (1) 実施期間：平成8年3月21日～5月17日
- (2) 掘削試験期間

- 第1エレメント：平成8年4月 6日～ 4月12日
- 第2エレメント：平成8年4月15日～ 4月20日
- 第3エレメント：平成8年4月22日～ 4月27日

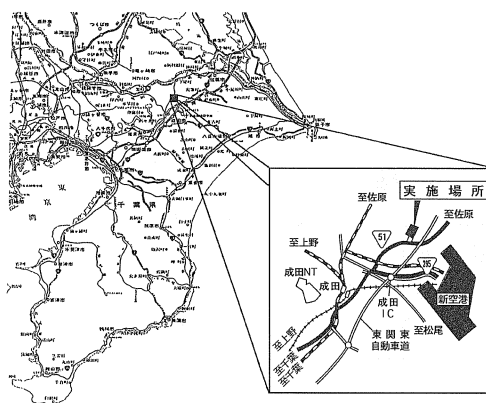


図-1 実験位置

2.3 実験規模

実験規模の概要を表-1に、エレメント形状を図-2に示す。

表-1 掘削試験の概要

掘削壁厚	2,400 (mm)
掘削長さ	6,000 (mm)
掘削深度	21.5 (m)
壁面積	387.0 (m ²)
掘削土砂量	(928.8 (m ³))
ガット数	先行ガット×2、後行ガット×1

*東京支店 **第一技術部 ***技術研究所 ****第二技術部 *****機械部

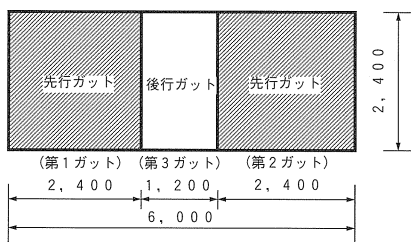


図-2 エレメントの形状



写真-1 EMX-240掘削機

標尺	深度 G.L (M)	層厚 (M)	土質記号	土質名	色	観察記号	相対密度	標準貫入試験														
								深度 G.L (M)	打撃数	100mmの打撃回数/100mm	打撃数 (回)											
0.15	3.15	0.15	コンクリート	雑土	灰	コンクリート塊状。腐植物等少量混入。含水率低い。粒径は不均一である。粘土は細かい。	1.00	9	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1.70	1.50	0.15	砂	黄褐色	灰	腐植物等少量混入。所々シルト等に挟む。含水率低い。粒径は不均一である。粘土は細かい。	2.00	8	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3.00	1.30	0.15	シルト混じり細砂	黄褐色	灰	腐植物等少量混入。所々シルト等に挟む。含水率低い。粒径は不均一である。粘土は細かい。	2.00	26	11	8	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
4.70	1.70	0.15	砂	茶褐色	灰	上部にシルト等不規則に挟む。腐植物等少量混入。含水率低い。粒径は不均一である。粘土は細かい。	4.00	14	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
6.10	1.40	0.15	砂質シルト	黄褐色	灰	腐植物等少量混入。含水率低い。粘着性乏しい。	5.00	10	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
7.00	0.90	0.15	シルト	茶褐色	灰	腐植物等少量混入。含水率高い。粘着性乏しい。全体的に固結している。所々シルト等不規則に挟む。含水率高い。粘着性乏しい。シルトは一部固結している。	7.00	25	3	2	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
8.50	1.50	0.15	砂	灰褐色	灰	腐植物等少量混入。含水率高い。粒径は不均一である。粘土は細かい。	8.00	15	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
10.45	1.95	0.15	シルト質細砂	灰褐色	灰	腐植物等少量混入。含水率高い。粘着性乏しい。シルトは一部固結している。	10.00	10	1	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
12.60	2.15	0.15	シルト	灰褐色	灰	腐植物等少量混入。含水率高い。粘着性強い。シルトは一部固結している。	11.00	10	1	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
12.50	0.93	0.15	砂質シルト	灰褐色	灰	上部に細砂不規則に混入。含水率高い。粘着性強い。	12.00	21	2	2	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
14.55	1.05	0.15	砂混じりシルト	灰褐色	灰	所々腐植物等不規則に挟む。含水率高い。粘着性強い。水 $2-3$ の有り。	14.00	9	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
16.50	1.95	0.15	砂	黄褐色	灰	腐植物等少量混入。所々シルト等不規則に挟む。含水率高い。粒径は不均一である。粘土は細かい。	15.00	26	2	8	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
17.75	1.25	0.15	砂	黄褐色	灰	腐植物等少量混入。含水率高い。粒径は不均一である。粘土は細かい。	16.00	18	3	4	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
19.40	1.65	0.15	貝殻混じり細砂	黄褐色	灰	腐植物等少量混入。含水率高い。粒径は不均一である。粘土は細かい。	18.00	27	6	8	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
20.70	1.30	0.15	砂	黄褐色	灰	腐植物等少量混入。含水率高い。粒径は不均一である。粘土は細かい。	19.00	20	1	4	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
22.10	1.40	0.15	砂	黄褐色	灰	所々シルト等不規則に挟む。含水率高い。粒径は不均一である。粘土は細かい。色調の変化が強い。	20.00	20	1	4	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
23.25	1.15	0.15	砂	黄褐色	灰	所々黄褐色の砂不規則に混入。含水率高い。粒径は不均一である。粘土は細かい。色調の変化が強い。	21.00	23	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

図-3 土質柱状図

2.4 地盤概要

当試験場は、房総丘陵の下総台地に位置し、周囲には古利根川水系によって形成された広大な沖積低地が分布している。地質構成は、地表部の約0.5m下位より主として砂質土と粘性土で構成されている下総層群が出現し、敷地内においてほぼ水平に近い堆積形態を呈している。この砂質土は、いわゆる「成田砂層」と呼ばれる非常に微細な砂層を主体としたものである。土質柱状図を図-3に示す。

2.5 使用掘削機

掘削機械は、今回評価取得を目標としたEMX-240掘削機（株式会社利根製：リバースサーキュレーション方式）を使用した。EMX-240掘削機を写真-1に示す。

2.6 安定液プラントの概要

安定液のプラント設備としては、循環槽の有効容量は約120m³（154m³×0.8）、良液槽の容量は、215m³であり、掘削土砂量（約310m³）から勘案するとプラント設備の容量が若干不足していたと考えられる。図-4に安定液の循環フローをそれぞれ示す。

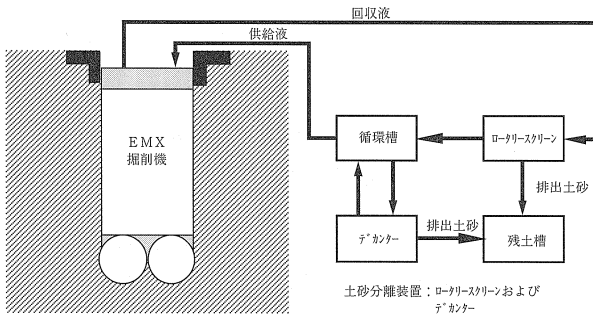


図-4 安定液の循環フロー

3. 安定液の概要

3.1 安定液の配合と管理基準

(1) 安定液の配合

当実験に用いる安定液は、施工（掘削）に耐えうる

ことは無論、スライム処理（良液の部分置換）後の安定液性状がコンクリート打設に適するように、安定液中の砂分を1%以下にすることを目標としていた。当初、この実験工場の安定液配合は、ベントナイト（浅間）3.0%、ポリマー（TP-30MまたはTP-30L）0.3%を基本配合としていたが、計画していた安定液基本配合では、掘削対象地盤および循環槽・良液槽の容量を考慮すると、次の2つの点で問題が発生することが予想された。

- ・掘削中（特に最終エレメント施工時）における砂層中の細粒分の混入による安定液性状（比重・砂分率の上昇）の劣化
- ・部分置換によっても砂分を1%以下に低減できない可能性

検討の結果、選択凝集剤：PHPA（部分加水分解型ポリマー）を安定液中に適当に配合する安定液：選択凝集性安定液（以下「PHPA系安定液」という）を使用することによって、上記の問題をほぼ解決することができるものと考えられた。使用した安定液の配合を表-2に示す。

表-2 安定液の配合

使用材料（製品名）	安定液の配合（%）
ベントナイト（浅間）	1.00
ポリマー（CMC）（TP-30L）	0.15
PHPA（スパーコート）	0.15

(2) 管理基準

PHPA系安定液の特性を考慮し、表-3に示すように安定液の管理基準値を設定した。

表-3 安定液の管理基準値

	掘削時	スライム処理時
比重	1.01~1.15	1.01~1.05
ファンネル粘性(秒)	21~32	20~30
ろ水量 (cm ³)	50以下	40以下
砂分率 (%)	4.0未満	1.0未満
マッドケーキ厚(mm)	3.0以下	2.0以下
pH	7.0~11.0	

3.2 安定液の再生方法

PHPA系安定液の再生は、図-5に示すように回収槽から循環槽への出口においてPHPA（原液）の添加を行うことによって処理を行った。なお、PHPAの添加は少量ずつ行うことが必要であるため、写真-2に示すように缶に小さな孔を開け重力式による添加作業とした。

4. 配合時管理試験結果

(1) 作液方法について

作液は、通常の安定液と同様にベントナイト、ポリ

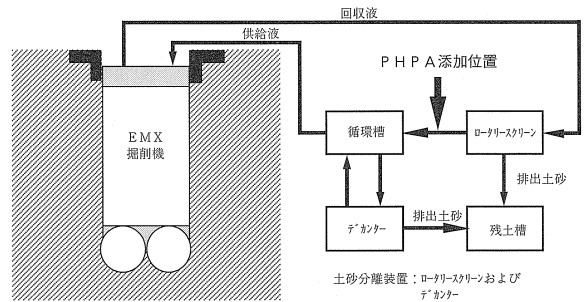


図-5 再生時のPHPAの添加位置

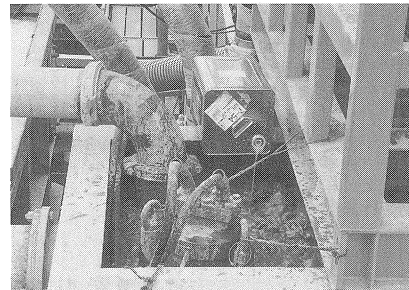


写真-2 P H P Aの再生添加状況

マーの順でミキサーに投入し、PHPAは作液完了直前（攪拌終了30~60秒前）に規定量を投入することとした。この理由は、PHPAが安定液材料の内、ベントナイトの膨潤を抑制する働きがあるためである。なお、PHPA系安定液の特性として、作液終了時の粘性にバラツキ（ファンネル粘性で23秒~35秒程度）がみられる場合があるが、タンク内に一昼夜放置することによってほぼ一定の値となるため、特に問題にならない。

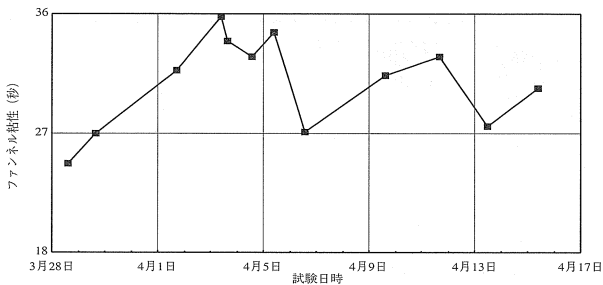
(2) 管理試験結果

配合時の比重、ろ水量、マッドケーキ厚およびpHについては、ほぼ一定の値を示しており、それらの性状は比較的安定していた。一方、ファンネル粘性およびB型粘度計から測定された見かけ粘性は、当初予想されたように、かなりの変動が見られた。繰り返になるが、この粘性の変動は、PHPA系安定液の特徴であり、ある程度の掘削土砂分が安定液に混入することによって、粘性は一定の値を示す傾向にある。ファンネル粘性およびB型粘度計から測定された見かけ粘性の性状変化の結果を図-6および図-7に示す。

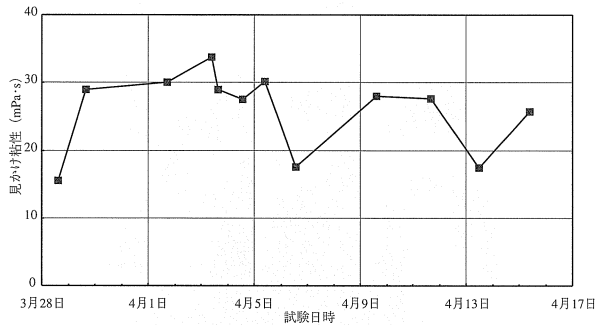
5. 掘削時管理試験結果

掘削時の安定液性状変化の結果を図-8および図-9に示す。なお、測定は試料中のPHPAによって凝集した掘削土砂分を含めたままで行った。

比重は、ほぼ一定の値を示したが、数回ピーク的に



図一六 配合時のファンネル粘性試験結果



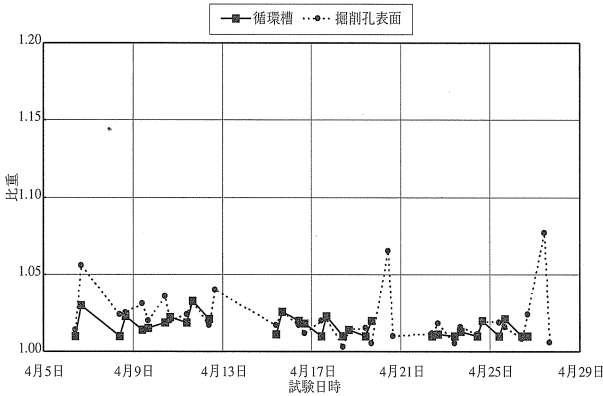
図一七 配合時のB型粘度計による見かけ粘性試験結果

高い値を示した。この原因は、試料の採取時にP H P Aによって凝集した掘削土砂分を取り込んだため、結果的に高い値を示したと考えられる。

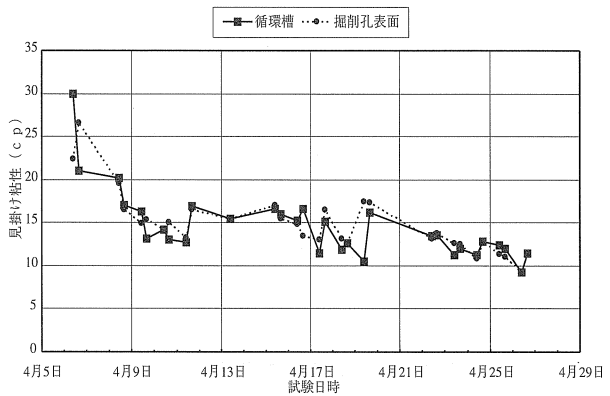
ファンネル粘性はほぼ一定の値を示したが、比重の場合と同様に数回ピーク的に高い値を示した。一方、B型粘度計から測定された見かけ粘性は、ファンネル粘性にみられたピークは見られなかった。これは、回転粘度計の測定メカニズムが凝集した掘削土砂分に影響されにくいことを示している。

ろ水量は、比重やファンネル粘性と同様に、ほぼ一定の値を示したが、数回ピーク的に高い値を示した一方、マッドケーキ厚は値がかなり変動している。従来の分散系安定液（ベントナイト系安定液およびポリマー系安定液）は、ろ水量とマッドケーキ厚にある程度の相関関係を見いだせるのとは、対照的である。

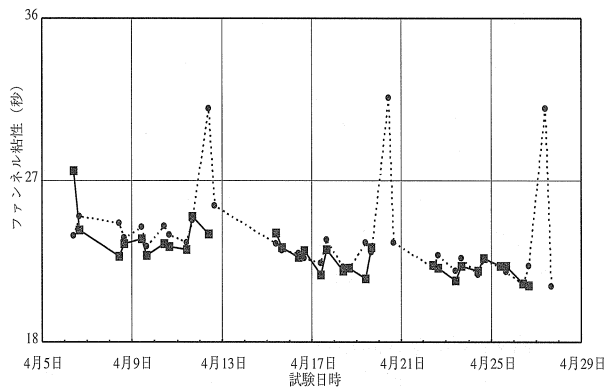
p Hは、掘削の進行とともにほぼ一定の値を示しており、地盤本来のp Hの値に漸近していった。写真一3に掘削土砂の状況を示す。



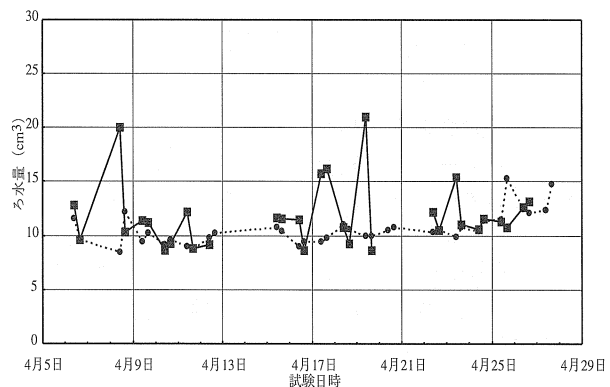
比重



B型粘度計による見かけ粘性

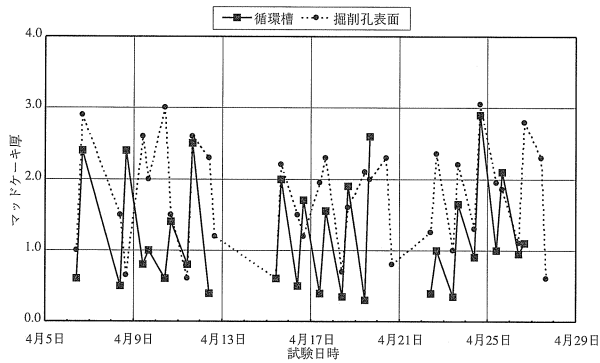


ファンネル粘性

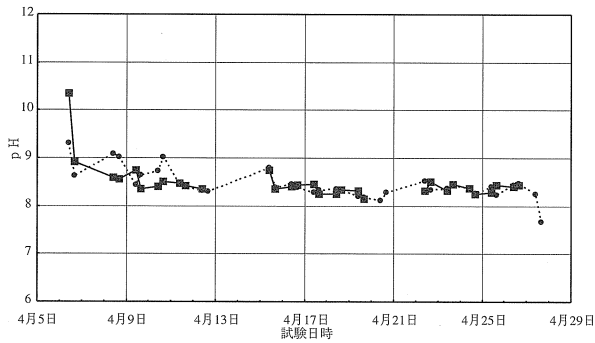


ろ水量

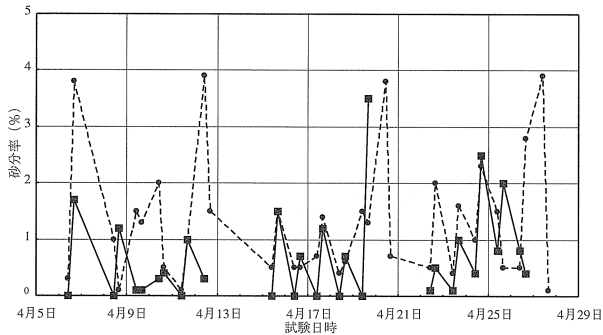
図一八 掘削時の安定液性状変化一1



マッドケーキ厚



pH



砂分率

図-9 掘削時の安定液性状変化-2

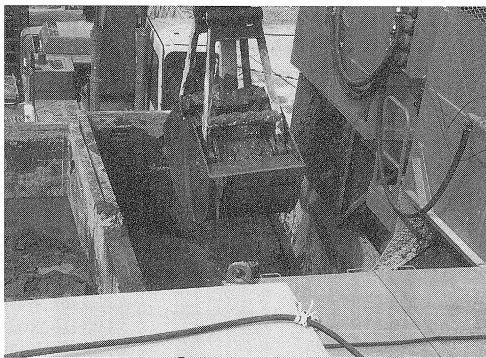


写真-3 掘削土砂の搬出状況

6. スライム処理時管理試験結果

スライム処理時の安定液性状変化の結果を図-10および図-11に示す。なお、測定は試料中のP H P Aによって凝集した掘削土砂分を含めたままで行った。また、スライム処理時の安定液の置換率は約50%であった。

スライム処理前は、GL-10m程度まで各測定結果とも低い値を示しており、P H P A系安定液の選択凝集作用が明確に現れている。深度が深くなるにつれて(特に最深度：GL-21.5m)、P H P A系安定液の作用で凝集した掘削土砂分によって、比重、ファンネル粘性、マッドケーキ厚および砂分率は高い値を示している。

スライム処理後は、各値ともコンクリート打設に適した値を示していることが分かる。

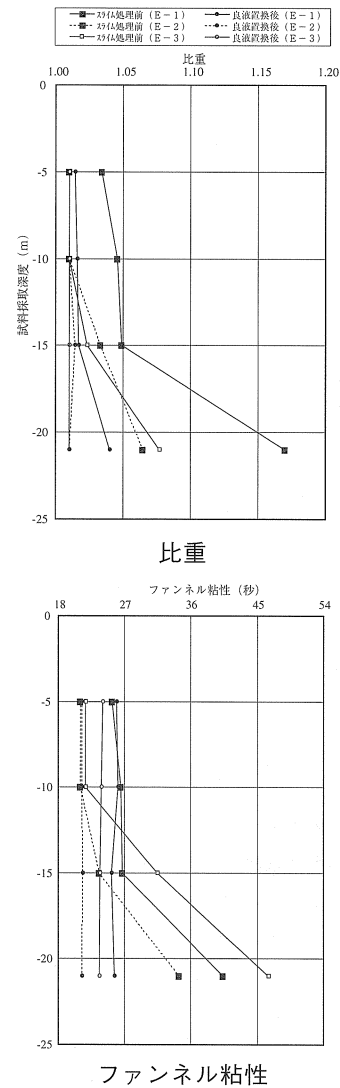
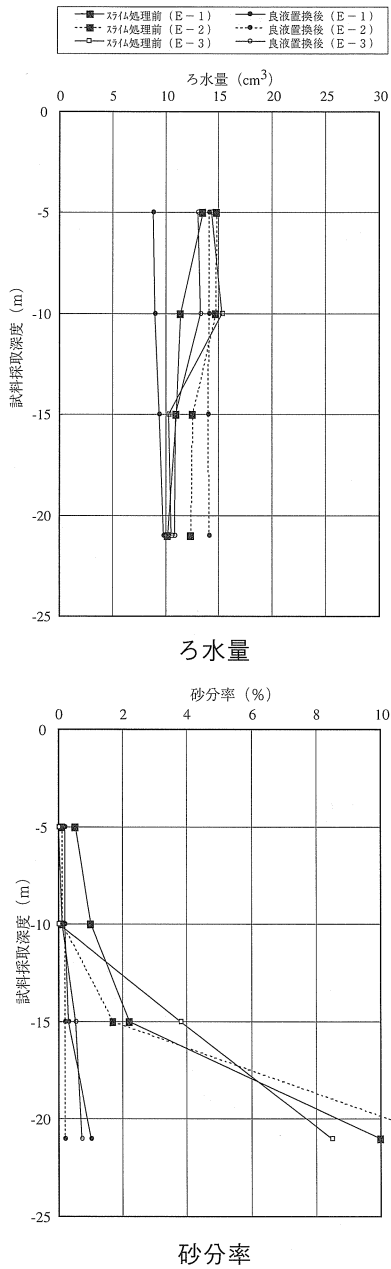


図-10 スライム処理時管理試験結果-1



図一 1 1 スライム処理時管理試験結果一 2

7. 再生実験結果

7. 1 土砂分離装置による性状回復結果

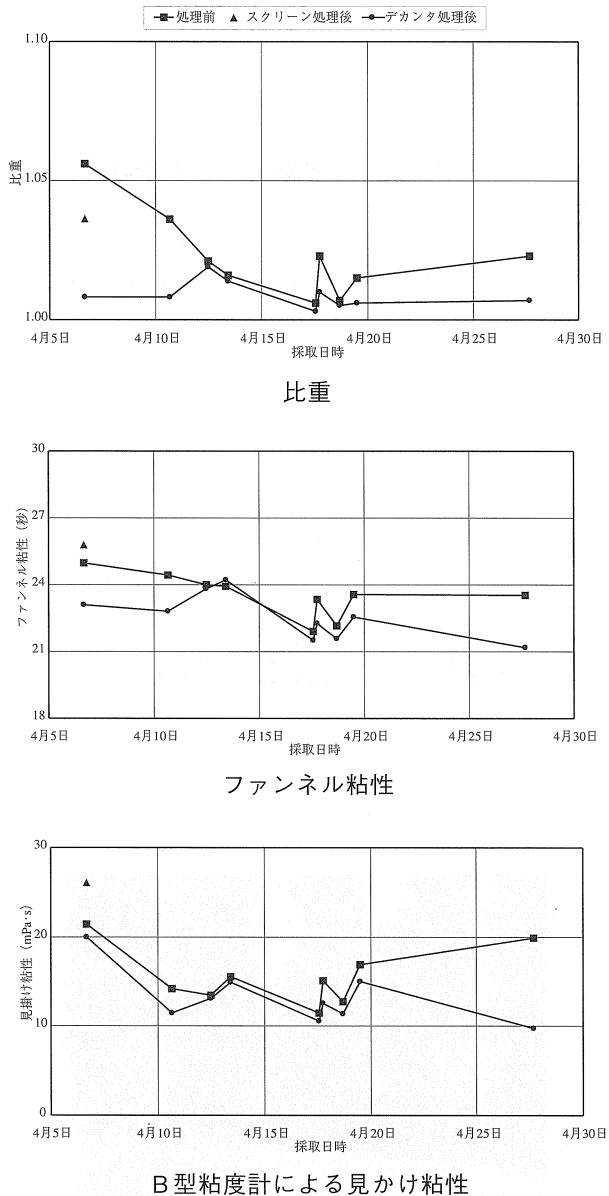
土砂分離装置を用いた場合の掘削安定液の性状回復状況を図一 1 2 および図一 1 3 に示す。なお、測定は試料中の P H P A によって凝集した掘削土砂分を含めたままで行った。

比重、マッドケーキ厚および砂分率は、デカンタによる処理の後は、ほぼ一定に低い値を示した。特に、砂分率のデカンタ処理後の値はすべて 0 % であった。このことから、今回の実験工事の場合、デカンタは P

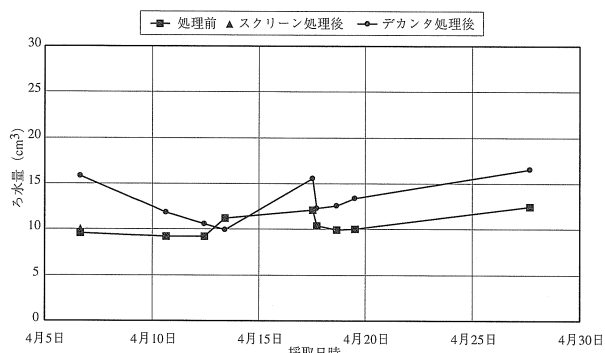
H P A によって凝集した掘削土砂分をも取り除くことができたと考えられる。

一方、ろ水量はデカンタ処理前後でほぼ一定の値を示している。しかしながら、土砂分離装置を用いた場合の掘削安定液の性状回復状況からも、ろ水量がほぼ一定にも関わらずマッドケーキ厚が変動する現象が見られた。

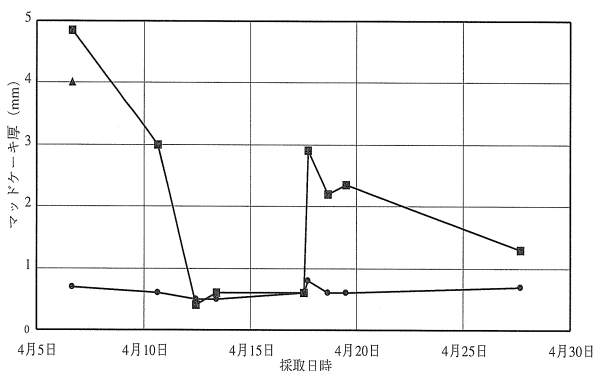
ファンネル粘性および B 型粘度計から測定された見かけ粘性は、ほぼ一定の値を示したが、比重の場合と同様にデカンタによる処理後の安定液の方がその値は低い。



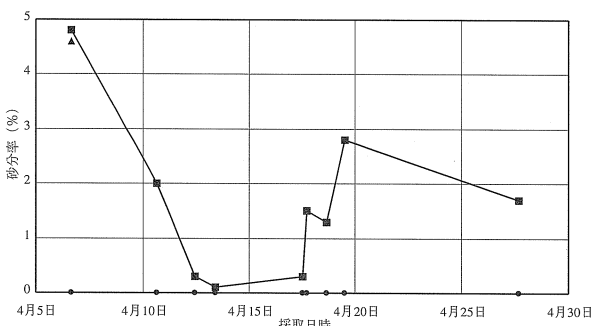
図一 1 2 土砂分離装置による性状回復状況一 1



ろ水量



マッドケーキ厚



砂分率

図-13 土砂分離装置による性状回復状況-2

7.2 P H P A 添加による性状回復

P H P A 系安定液は、その主材の P H P A が掘削とともに、掘削土砂分への吸着（凝集）および地盤への浸透によって消費されて行く。それにともなって、安定液内の P H P A がある濃度以下になると、掘削土砂分に対して急激な凝集作用を及ぼす場合がある。

今回、表-4 に示すように P H P A の添加による安定液の再生処理を 4 回行った。ここで、その時点の安定液性状の変化について述べる。なお、P H P A の添

加時期は、B 型粘度計による見かけ粘性が、15 (mPa・s) を下回った時点で設定した。

今回の P H P A の掘削循環液への添加レートは、0.94 ~ 1.74 (g/(m³・分)) であった。P H P A は、安定液内の濃度が部分的に高くなると、粘性が急上昇する現象（いわゆる Hump 現象）があるため、特に添加レートを設定せず、安定液の状況を確認しながら行った結果、このような添加レートとなった。写真-4 に P H P A の再生添加状況を示す。

表-4 P H P A 添加による安定液の再生処理概要

	①P H P A 添加量 (kg)	②循環液量 (m ³)	③添加時間 (分)	循環液 1 m ³ 当たりの 添加速度 (①/(②・③)) (g/(m ³ ・分))
第 1 回 (E-1.3 ガット)	144 (90)	430 (430)	355 (120)	0.94 (1.74)
第 2 回 (E-2.2 ガット)	126	410	185	1.66
第 3 回 (E-2.3 ガット)	144	430	210	1.59
第 4 回 (E-1.3 ガット)	126	410	290	1.06

() 内は、Hump 現象が見られた時点までの値

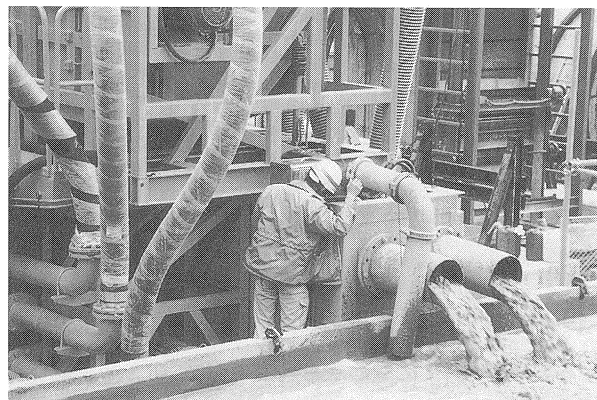
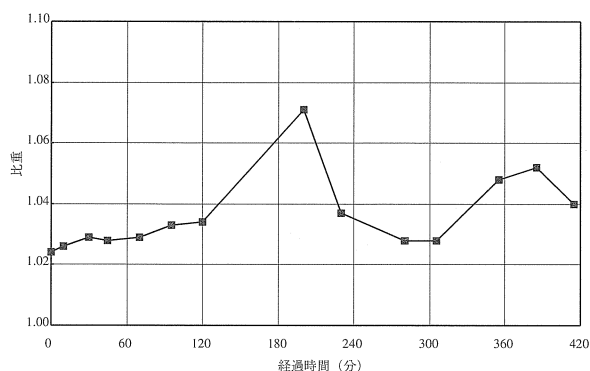


写真-4 P H P A の再生添加状況

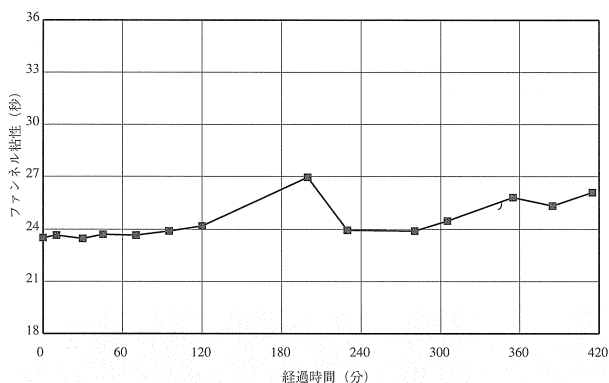
P H P A 添加による安定液の性状変化のうち、Hump 現象の見られた第 1 回目の性状を図-14 に示す。なお、測定は試料中の P H P A によって凝集した掘削土砂分を含めたままで行った。

今回の P H P A 添加レート：1.74 (g/(m³・分)) で Hump 現象は見られ、1.66 (g/(m³・分)) で見られなかった。安定液中の P H P A およびポリマー濃度の違いや掘削対象地盤を考慮しても、P H P A 添加速度の上限値は、1.50 (g/(m³・分)) 程度以下に設定すれば、Hump 現象はある程度抑えられるものと推定できる。

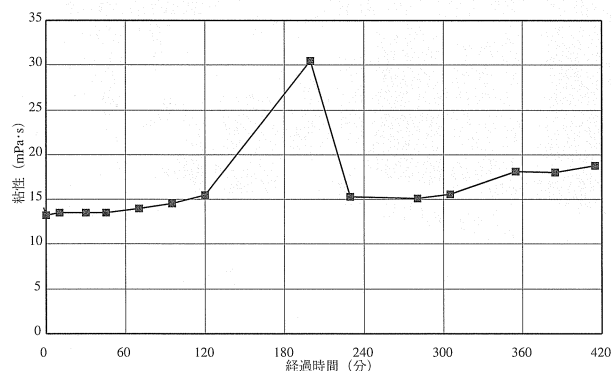
なお、Hump 現象は、P H P A の添加を取りやめ安定液を循環させること（P H P A の希釈）によって収束することも確認できた。



比重



ファンネル粘性



B型粘度計による見かけ粘性

図-14 P H P A添加による性状変化
第1回 (E-1.3ガット)

8. まとめ

今回の実験によって得られたP H P A系安定液に関する結果をまとめると、つぎの5点に要約できる。

(1) 粘性の変動

粘性に関しては、当初予想されたように、特に配合時にかなりの変動が見られたが、掘削土砂分が安定液に混入することによって、ほぼ一定の値を示す傾向にあった。

(2) ろ水量とマッドケーキ厚の関係

P H P A系安定液は、掘削に伴ってろ水量の値は、ほぼ一定の値を示したが、マッドケーキ厚の値はかなり変動する傾向にあった。従来の分散系安定液(ベントナイト系安定液およびポリマー系安定液)が、ろ水量とマッドケーキ厚にある程度の相関関係を見いだせるのとは対照的である。

(3) 砂分の沈降について

P H P A系安定液の選択凝集作用によって、砂分の沈降が明確に現れた。なお、従来は安定液中に浮遊していた掘削土砂分の凝集物まで砂分として取り扱っているため、これを除く砂分(一般的な安定液における砂分)はかなり低い。

(4) 土砂分離装置について

P H P A系安定液から掘削土砂分を取り除くためには、デカンタは非常に有効である。砂分率はデカンタ処理後はすべて0%であった。このことから、今回の実験工事の場合、デカンタはP H P Aによって凝集した掘削土砂分をも取り除くことができたと考えられる。

なお、スクリーンは今回の実験ではその効果を十分発揮できなかったが、各種の設定を掘削対象地盤および安定液に適するように行えば、かなりの量の凝集した掘削土砂分を取り除くことが期待できる。

(5) P H P Aの添加速度

P H P Aを補給する際の、添加レートの上限值は、1.50 (g/(m³・分))程度以下に設定すれば、Hump現象はある程度抑えられるものと考えられる。なお、P H P Aを補給する際には、今回のような添加実験を行い、安定液の性状を調査・確認することが肝要であると考ええる。

参考文献

1) 北本ほか：選択凝集性安定液の実施工への適用、土と基礎、Vol.42、No.3、pp.13-18、1994.3
2) 北本ほか：特殊条件下での地下連続壁の施工(その2)、五洋建設技術研究所年報、Vol.25、pp.129-136、1995