

特殊条件下での地下連続壁の施工（その2） — P H P A安定液・地下水位の変動・廃液場内処理—

北 本 利 男 * 吉 田 隆 一
* 田 中 千 秋 ** 生 島 俊 昭

要 旨

原町火力発電所1・2号機新設工事の放水口側立坑の地下連続壁工事は、非常に微細な土粒子を含む軟岩を対象とした工事であった。このような土質条件の場合、地下連続壁の掘削にはP H P A（Partially Hydrolyzed Poly Acrylamide）を主剤とした安定液（以下、P H P A安定液という）が、最も適していることが判明した。工事に使用した掘削機は、循環方式のF D 3 2ハイドロミル掘削機であったが、掘削中に地下水位上昇がかなり激しいことが観測できた。また、工事に伴って発生する廃液は、適切な処理剤を使用し、脱水処理を安定液プラントの設備を転用することによって、周辺環境に悪影響を与えずに廃液場内処理することができた。

1. まえがき

原町火力発電所1・2号機新設工事の放水口側立坑工事に用いた安定液は、次に示す条件を満たすものが必要とされた。

- ①海中および改良土中のイオン分に対して、充分対応できるものであること。
- ②循環式掘削に適したものであること。
- ③掘削対象地盤が軟岩であり、しかもかなりの細粒分を含んでいること。

また、当工事の地下連続壁は、閉合された小断面の立坑に用いられたため、連壁築造時の循環式掘削による地下水位の上昇が懸念された。

さらに、工事で発生する廃液の処理は、場外処理による地域環境の悪化等を考慮して、安定液プラントを利用した場内処理を行った。

この報告は、工事に用いたP H P A安定液の管理結果、循環式掘削が地下水位に及ぼす影響および場内で行った廃液処理結果について述べたものである。

2. P H P A安定液

2. 1 P H P Aの概要

P H P Aの主成分はアクリルアミドとアクリル酸N aの共重合体（copolymer）であり、主に石油掘削の分野において用いられているものである。なお、主成分のアクリルアミドは凝集剤として、またアクリル酸N aは分散剤としての働きがある。P H P Aの特徴として、特定の分子量、配合比のものは、一定濃度以下のベントナイトを凝集させず、土粒子だけを凝集させる効果がある。¹⁾

2. 2 基本配合

当工事は、ケーソン内の円筒部分に改良土を投入しその上部にガイドウォールを設置した後、地下連続壁の築造を行うことから、掘削に使用する安定液には、海水および改良土に含まれるイオン分が多く混入することが予想された。このため、安定液は耐イオン性（海水中のN a⁺イオンおよび改良土に含まれるC a⁺⁺イオン）に優れたものが必要であった。また、地下連続壁の掘削方法としてF D掘削機（ハイドロミル）による循環式掘削を採用したため、安定液中からの土砂分離が容易なことも必要条件となった。さらに、当該地盤には事前の土質調査の結果、砂層などの介在層の存在が確認されていたため、逸泥の危険性が予想された。

以上の条件を満足する安定液として、P H P Aを主剤とするP H P A安定液を使用した。安定液の基本配合を表-1に示す。

表-1 安定液基本配合

使用材料（使用品名）	配合（%）
ベントナイト（ケネルV2）	1. 0
ポリマー（CMC）（TP-30L）	0. 2
選択凝集剤：P H P A（スパーコート）	0. 2
変質防止剤（テルスター）	0. 0 5
炭酸ソーダ（ソーダ灰）	適宜使用

2. 3 安定液管理結果

安定液管理試験は、配合時、掘削時、スライム処理時およびコンクリート打設時の4工程において行った。工事場所の土質条件を勘案した各安定液管理試験の基準値

を表一 2 に示すように設定し、施工を行った。以下、その報告を行う。ただし、配合時の管理試験結果は、すべて定められた管理基準値の範囲内にあり、安定液の作液作業は、適切に管理されていたため省略する。

表一 2 安定液管理基準値

管理項目	管理基準値		
	掘削時	スライム処理時	コンクリート打設時
ファンネル粘性(秒)	20~36	20~30	20~30
比重	1.01~1.15	1.01~1.05	1.01~1.05
ろ水量 (ml)	50以下	30以下	30以下
マッドケーキ厚(mm)	5.0以下	2.0以下	2.0以下
pH	7.0~11.5	7.0~11.0	7.0~11.0
砂分率 (%)	5.0以下	1.0以下	1.0以下

(1) 掘削時管理試験

地下連続壁の掘削にともなう安定液管理試験は、流動特性（ファンネル粘度計とB型粘度計による粘性測定）、ろ水量、マッドケーキ厚、pH、比重および砂分率の6項目とした。管理試験の結果、ろ水量の増加や比重の増加など原位置地盤への適用性が充分でないと判断し、安定液配合の変更を行った。その詳細は、次項において述べる。

(2) スライム処理時安定液管理試験

スライム処理は、コンクリートと安定液の良好な置換性を維持するために、安定液全量置換を併用した。この

スライム処理工程（2次処理）において安定液全量置換を併用した主な理由は、後述するように安定液中に混入した土粒子が非常に微細なために、部分的な安定液置換ではコンクリート打設に必要な安定液性状が得られなかったためである。なお、全量置換の確認方法は、スライム処理に用いたエアリフト管の排出口から、良液が排出されることを目視にて行った。

試験項目は、ファンネル粘性、ろ水量、マッドケーキ厚、pH、比重および砂分率の6項目とした。表一 3 に管理試験を示す。試験の結果、置換後の安定液性状は、新液とほとんど同じであったため、以降の施工においてはスライム処理時安定液管理試験を省略した。

(3) コンクリート打設時安定液管理試験

コンクリート打設に伴う安定液劣化を管理するために、コンクリート打設時安定液管理試験を行った。表一 4 に試験結果を示す。試験項目は、ファンネル粘性、ろ水量、マッドケーキ厚、pH、比重および砂分率の6項目とした。ただし、処分方法（再使用、再生処理、廃棄）を迅速に決定する必要があるため、pH試験を最優先で行った。

結果として、コンクリート打設に伴う安定液劣化はほとんど認められなかったため、この回収液を良液または掘削液として、以降の施工に用いることとした。また、スライム処理時と同じ理由から、以降の施工においてはコンクリート打設時管理試験を省略した。

表一 3 スライム処理時安定液管理試験結果（初回施工エレメント）

測定日	採取深度 (GL-m)	ファンネル粘度 (秒)	B型粘度	比重	pH	液温度 (°C)	ろ水量 (ml)	マッドケーキ厚 (mm)	砂分 (%)	備考
1994/9/7	0	22.0	19.0	1.030	9.8	23.5	88.0	3.6	0.7	処理前
	25	37.0	—	1.180	9.7	23.6	60.0	7.6	3.0	
	48	—	—	—	—	—	—	—	—	
1994/9/7	0	26.0	17.5	1.005	10.2	25.1	41.6	0.2	0.0	処理後
	25	32.0	33.7	1.005	10.0	30.0	46.0	0.6	0.0	
	48	29.1	28.5	1.010	10.2	26.0	25.6	0.6	0.0	

表一 4 コンクリート打設時管理試験結果（初回施工エレメント）

測定日	コンクリート天端からの距離 (m)	ファンネル粘度 (秒)	比重	pH	ろ水量 (ml)	マッドケーキ厚 (mm)	砂分 (%)
1994/9/13	20	28.9	1.010	11.4	16.8	0.6	0.0
	15	29.0	1.015	11.1	16.7	0.6	0.0
	10	27.6	1.000	11.7	17.6	0.6	0.0
	8	30.0	1.020	11.7	15.6	0.6	0.0
	7	29.8	1.010	11.8	14.4	0.8	0.0
	6	30.6	1.015	11.8	13.6	0.6	0.0
	5	30.5	1.010	11.8	14.4	0.6	0.0
	0	32.6	1.010	12.1	19.2	0.6	0.0

2. 4 安定液配合の変更

安定液の配合は、表-1に示す基本配合によって施工を開始した。しかしながら、ろ水量の増加や比重の増加など原位置地盤への適用性が十分でないと判断し、掘削用安定液の配合を表-5に示すように変更して、施工を行った。

表-5 掘削用安定液の配合変更一覧

使用材料 (使用品名)	配合 (%)			
	基本配合 (~300 m ³)	変更1 (300 ~ 1,200 m ³)	変更2 (1,200 ~ 2,700 m ³)	変更3 (2,700 ~ 3,200 m ³)
ベントナイト (ケイダV2)	1. 0	1. 0	1. 0	-
ポリマー (CMO (TP-30 L))	0. 2	0. 3	0. 3	0. 2
選択凝集剤 (スパーコート)	0. 2	0. 2	-	0. 1
変質防止剤 (フレキター)	0. 05	0. 05	-	-
炭酸ソーダ (ソーダ灰)	適宜使用	適宜使用	適宜使用	適宜使用
変更理由	ろ水量の増加	ろ水量の増加	比重の増加	-

2. 4. 1 安定液性状の維持

施工に当たって、劣化した安定液性状の維持には、次の3つの方法を採用した。

- ①マッドセパマシンによる混入土粒子の分離
- ②炭酸ソーダの添加によるCaイオンの封鎖
- ③分散剤による性状回復

(1) マッドセパマシンによる混入土粒子の分離

マッドセパマシンによる混入土粒子の分離の度合いを把握するために、処理前後での安定液を採取し、試験を行った。マッドセパマシンでの処理前(掘削液)と処理後の比重と砂分の比較を図-1, 図-2にそれぞれ示す。

図から明らかなように、マッドセパマシンでは取りきれない微細粒子の存在が推測された。

施工においては、マッドセパマシンは掘削中は無論、他の作業中にも循環槽内の安定液を循環させて土粒子の分離を行い、比重および砂分の低減に努めた。

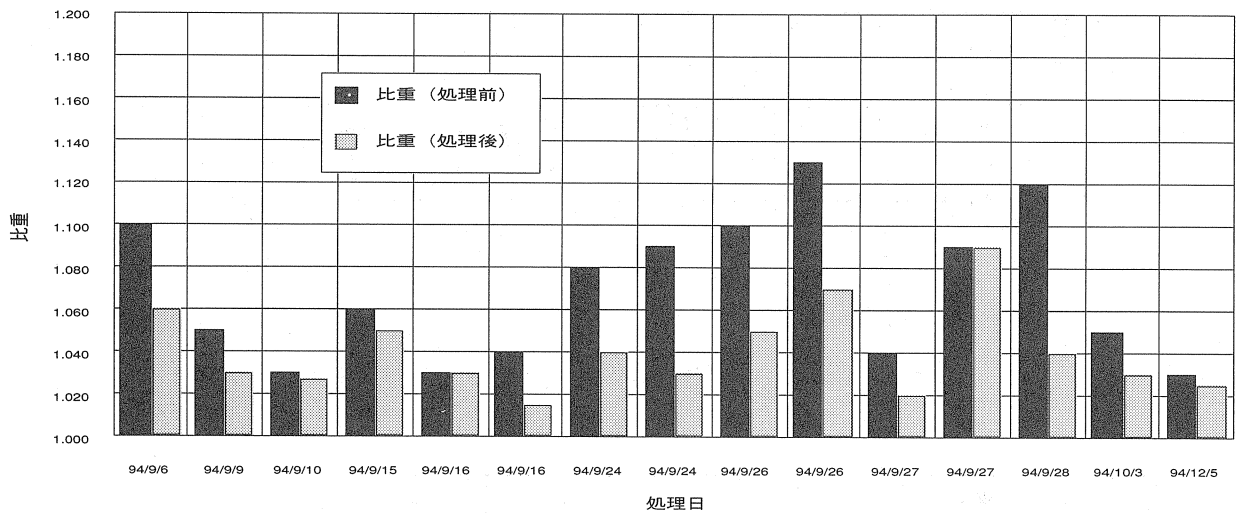


図-1 マッドセパマシンによる比重低減効果の比較

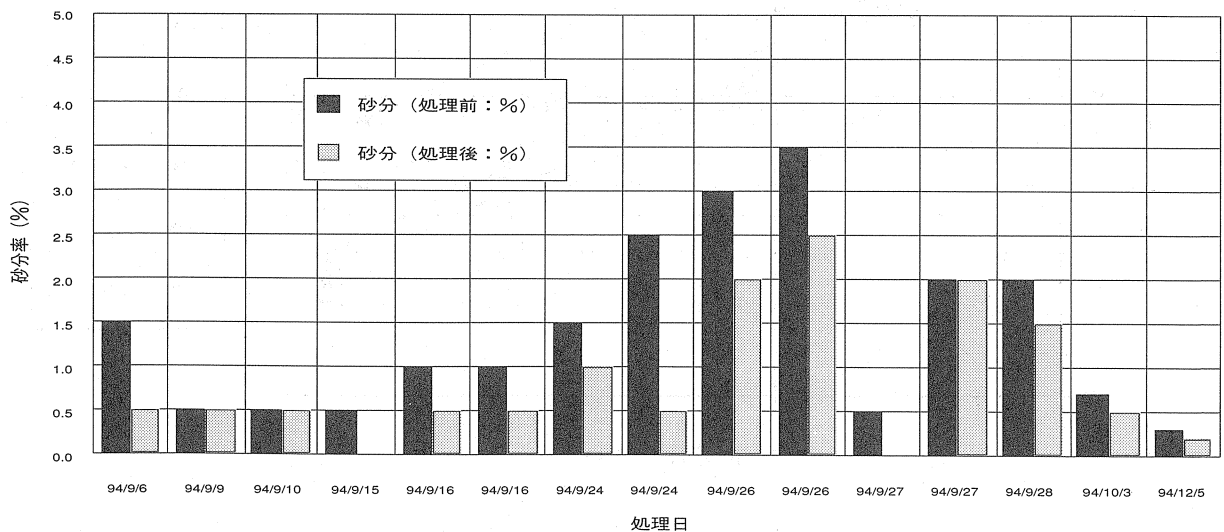


図-2 マッドセパマシンによる砂分率低減効果の比較

(2) 炭酸ソーダの添加によるCaイオンの封鎖

当初、イオン分は安定液性状に支障を与えるほど混入しないと予想していたが、ドロップテストの結果、約1,500(ppm)程度の混入が見られたため、ソーダ灰または重曹の添加によるCaイオンの封鎖を行った。その結果を図-3に示す。なお、Ca硬度の目標値は300(ppm)以下に設定した。

結果として、Ca硬度は、目標値以下をほぼ満足させることができた。このことから、安定液の性状劣化要因は、掘削中の掘削土砂分のみに限定することができたと考えられる。

(3) 分散剤による性状回復

掘削土砂分の混入による安定液劣化の場合、一般的には分散剤を添加する方法が用いられる。当施工の場合にもその方法が適用できると考えて、分散剤の添加実験を試みた。その結果を図-4に示す。

図から明らかなように、再生液量の4%の分散剤を添加しても性状回復はほとんど見られず、回復させるためにはかなりの添加量が必要であることから、分散剤による安定液性状回復は現実的ではないという結論を得た。

検討の結果、作液時の配合の変更と不良安定液の廃棄を行うことにした。

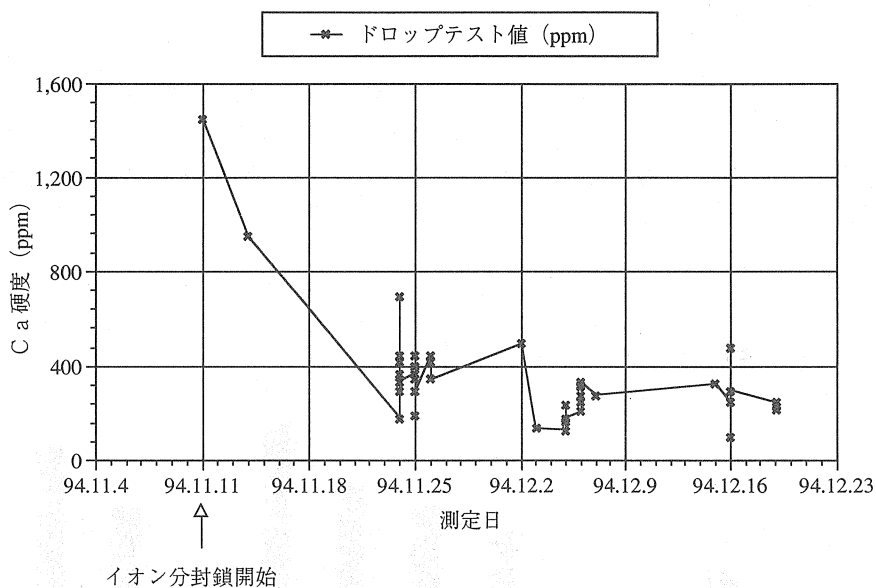


図-3 炭酸ソーダの添加によるCaイオンの封鎖効果

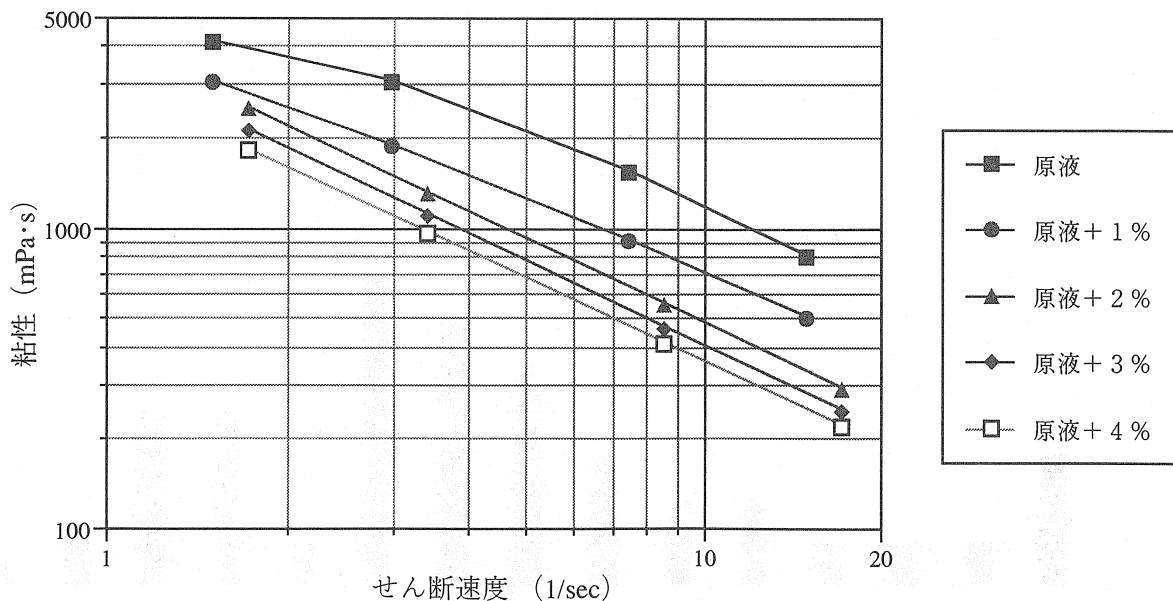


図-4 分散剤の添加実験結果

2. 4. 2 配合変更結果

安定液配合を表一5に示したように、その配合を変更し施工を行った。それぞれの配合における掘削循環液の試験結果の平均を表一6に示す。

表一6 各配合による掘削中の安定液平均性状

配合内容	ファン粘度 (秒)	B型粘度 (c p) *1	比重	pH	ろ水量 (ml)	マッドキ厚 (mm)	砂分 (%)
基本配合	23.4	68.5	1.087	10.2	91.5	6.9	2.2
変更1	24.2	62.4	1.059	10.5	131.7	6.5	1.5
変更2	29.5	60.6	1.088	11.4	117.0	5.3	5.3
変更3	25.0	54.6	1.067	11.3	71.7	4.1	4.4

* 1 : 1 (c p) = 0.001 (Pa·s)

安定液配合変更の理由および目的は以下の通りである。

①初期配合

初期配合の管理上の問題点として、ろ水量およびマッドキ厚が大幅に管理値を超えていた。この対策として、変更1の配合として、ろ水量の低減を目標とし、ポリマー濃度を上げる対策をとった。

②変更1

ろ水量およびマッドキ厚の低減を目標としてポリマー濃度を上げる対策をとったが、掘削の進行と共に、ろ水量はさらに増大した。検討の結果、P H P A が凝集作用のみの働きをしていることが予想されたためその使用を中止し、一般的なポリマー系安定液での施工を行うこととした。

③変更2

初期配合および変更1と同様に、掘削の進行とともに

ろ水量は増大し、さらに比重および砂分の増大を伴う結果となった。そこで、室内試験を行い検討を重ねた結果、最終的な安定液配合の変更3によって施工を行うこととした。

④変更3

この配合による作業は昼夜連続で行った。それにも関わらず安定液性状は、4種の配合の中で一番安定しているといえる。

結果的に、ベントナイトを用いずP H P A と低粘度ポリマーの複合液であるこの配合(変更3)が、当該地盤の掘削には適当であったと考えられる。

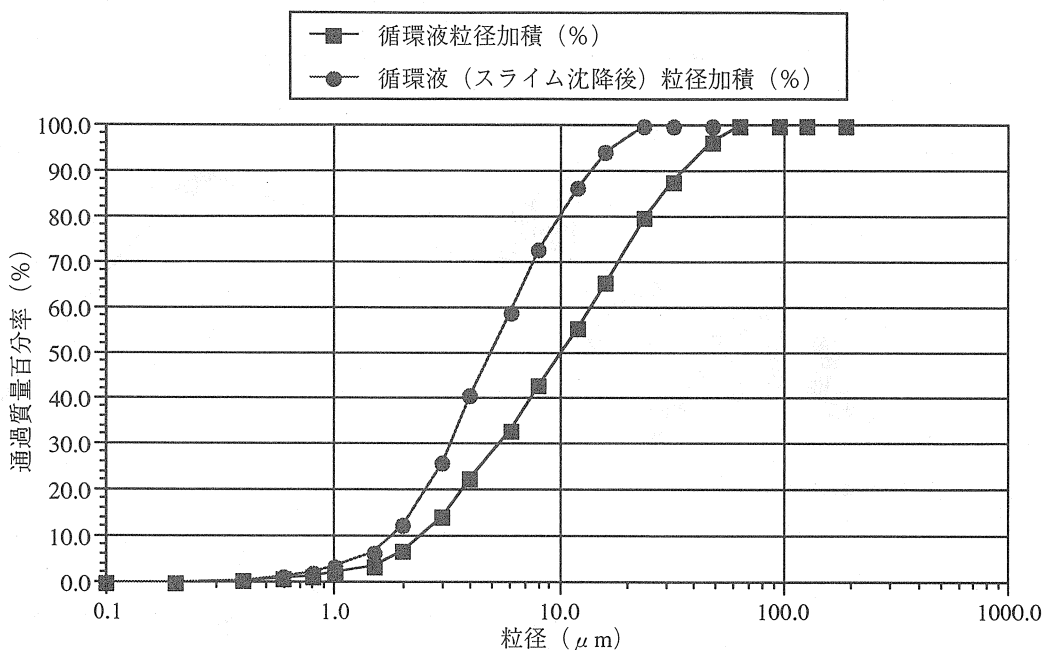
ここで、変更3の安定液が当該地盤の掘削に適當であった理由の一つに、先に述べた微細土粒子の存在が挙げられる。次にその微細土粒子についての測定結果について述べる。

2. 5 混入微細土粒子の測定結果

掘削中の安定液を採取し、安定液中に混入している粒径測定を行った。その結果を図一5に示す。

安定液中に混入している土粒子は、平均粒径20 μ m以下のシルトおよび粘土分によって構成されていることがわかった。また、X線解析の結果、土粒子には微量のベントナイトも検出された。

さらに、掘削循環液とそのスライム沈降後の循環液との粒径比較では、スライム沈降後も非常に微細な(平均5.0 μ m)土粒子が安定液中に存在していた。このことから、P H P A を主体とした変更3の安定液配合は、掘削中にこの非常に微細な土粒子を凝集させることによって、ある程度安定液性状を維持することができていた



図一5 安定液中に混入した土砂の粒径測定結果

と考えられる。

また、このような微細土粒子は、通常のスライム分として働いたため、良好な地下連続壁体の築造には障害となる。このことから、スライム2次処理での安定液全量置換は適当な処理方法であったといえる。

2. 6 安定液管理方法の見直し

当初の安定液管理基準値は、従来安定液配合によって一般的な地盤を掘削する場合の基準値を基礎としてその値を定めた。しかしながら、結果的にはP H P Aと低粘度ポリマーの複合安定液を用い、しかも、安定液には先に述べたように、非常に微細の土粒子を多量に安定液中に含んだまま、施工を行わざるを得なかった。このような状況では、掘削中の安定液（掘削土粒子を多量に含んだままの安定液）を試料として用いることが、その時点の安定液の性状を正確に表しているかどうか疑問である。

ここで、変更3の安定液について、掘削中の安定液とスライム沈降後の安定液との試験結果比較例を表一7に示す。配合時の安定液にベントナイトを添加していないため、スライム沈降後もろ水量が多い傾向にあるが、その他の試験項目については、工事の管理基準値内に入っていた。このように、特殊な土質条件の施工場所での安定液管理は、基準や管理時期の再検討が必要であると思われる。

表一7 掘削中の安定液とスライム沈降後の安定液との比較例

ファン粘度 (秒)	比重	pH	ろ水量 (ml)	マトク厚 (mm)	砂分 (%)	備考
23.7	1.0	12.1	105.2	7.0	4.8	掘削中の安定液
22.8	1.1	11.4	54.6	2.4	3.8	沈降後の安定液

3. 地下水位観測結果

3. 1 観測の目的

地中連続壁を施工する場合、地盤中の間隙水圧が変動することが報告されている²⁾。溝壁の安定性維持の観点からすると、間隙水圧が上昇すると溝壁の崩壊が懸念される。さらに、当工事のような立坑形状の構築物を施工する場合には、間隙水圧の上昇が顕著に現れることが経験的に示唆されている。

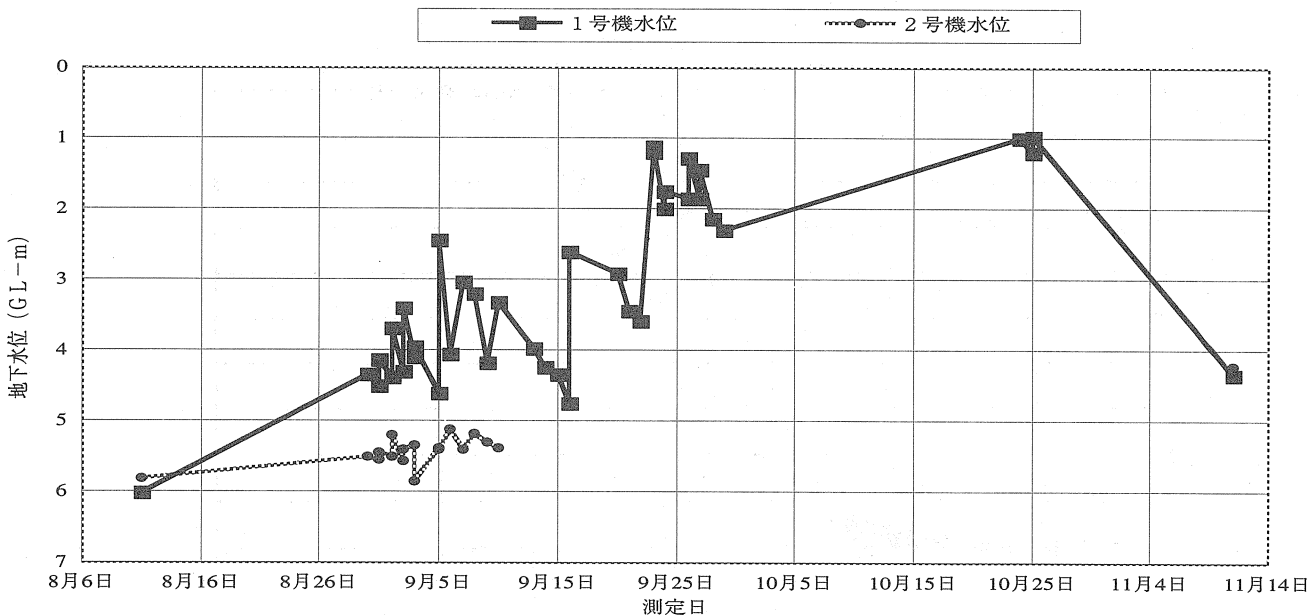
当工事においては、ガイドウォール下端からケーソン着底面までを流動化処理した改良土によって埋戻しを行っている。無論、この改良土の強度は、事前に検討を行い、溝壁安定を保つに必要な強度は確保していた。しかし、間隙水圧上昇に伴う地下水位上昇が原因の局所的な溝壁崩壊であっても、地下連続壁の構造および施工工程に重大な影響を与えることが危惧された。

そこで、1号機および2号機立坑の中心に水位観測井戸を設置し、地中連続壁の施工に伴う地下水位の変動を観測し、その結果を施工管理にフィードバックすることとした。なお、水位観測井戸は溝壁崩壊の危険がある場合、地下水を排水することによって地下水上昇を抑える緩衝井戸としての機能も持たせた。

3. 2 観測結果

水位観測の結果（1号機施工時）を図一6に示す。水位が上昇している時点の作業は、いずれの場合も連壁の掘削施工時であった。

掘削以外の施工時の場合、観測前の予想ではコンクリート打設時（特に立坑を締め切る際のエレメント施工時）に水位の上昇が見られると考えていた。しかし、今回の観測では掘削以外の施工時の場合、水位の上昇はほ



図一6 水位観測結果（1号機施工時）

とんど見られなかった。

今回の水位観測では、水位の上昇が最大で約5mに達することが確認できた。このことから、循環式掘削において地下連続壁の施工で行う場合、事前の溝壁安定解析に用いる地下水位は、地質調査による値をそのまま適用することには危険が伴うことが判明した。特に、連続掘削作業を行う場合は、慎重な事前検討が必要であるといえる。

4. 廃液場内処理

4.1 処理方法

廃液処理は、場外処分を行った場合の周辺環境への影響や場外処分場までの距離および、経済性を考慮して、場内処理による方法を用いた。検討の結果、地下連続壁の安定液プラント設備内の土砂分離装置であるマッドセパマシンで処理液を脱水することによって、効率の高い処理を行うことができた。

この処理方法の作業は、

- ① 攪拌用のタンクに廃液を投入する。
- ② 処理剤1を投入し攪拌を約10分間程度行う。
- ③ 処理剤2を投入しフロックが形成されるまで、約2分間程度攪拌を行う。
- ④ 処理した液をマッドセパマシンに送り込む。
- ⑤ マッドセパマシンから排出された残土を場内処分場へ運搬する。処理水は沈殿池にて浮遊物を沈殿させ浸透放流する。

以上の作業で処理が完了する。廃液処分方法の概要を図-7に示す。

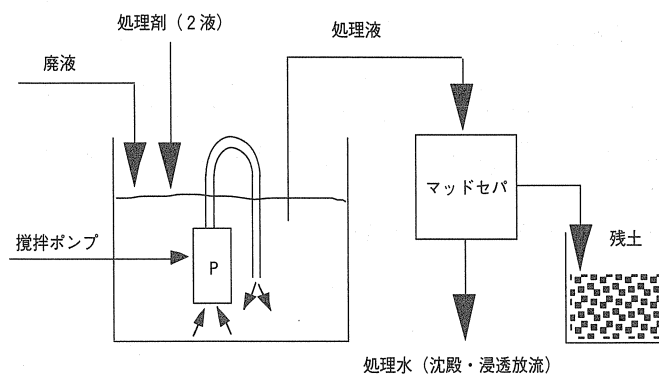


図-7 廃液処分方法概要

なお、処理剤は表-8に示すハイディー1号およびハイディー2号を使用した。

ここで、廃液性状の例を表-9に、写真-1, 2に処理水の放流状況および処理土の排出状況をそれぞれ示す。なお、処理土の含水比は、約145~230%程度の範囲であり、ダンプトラックによる場内輸送への障害はなく、処理土は場内の盛土に再利用された。

表-8 処理剤の一般特性

項目 \ 剤料名	ハイディー1号	ハイディー2号
主成分	ポリアリレート系共重合体	含鉄分ポリアリレート塩
比重	1.03~1.08	1.25~1.32
pH	6.5~7.5	2.0

表-9 廃液の性状

管理項目	管理基準値 (掘削時)	新液	廃液
ファンネル粘性(秒)	20~36	23.2	26.2
比重	1.01~1.15	1.01	1.04
ろ水量(ml)	30以下	28.0	120.0
マッドケーキ厚(mm)	3.0以下	0.4	7.6
pH	7.0~10.0	9.9	9.7
砂分率(%)	5.0以下	-	1.5

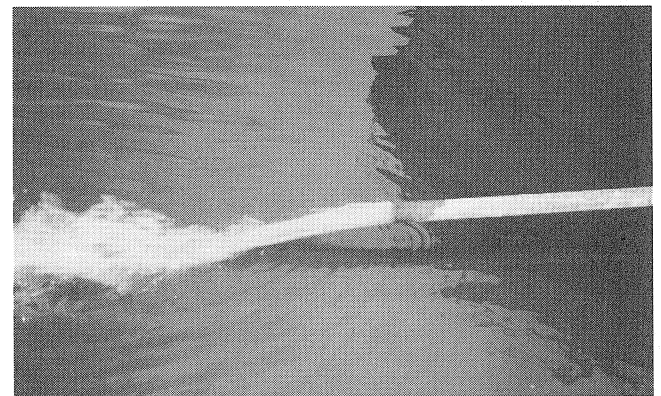


写真-1 処理水の放流状況

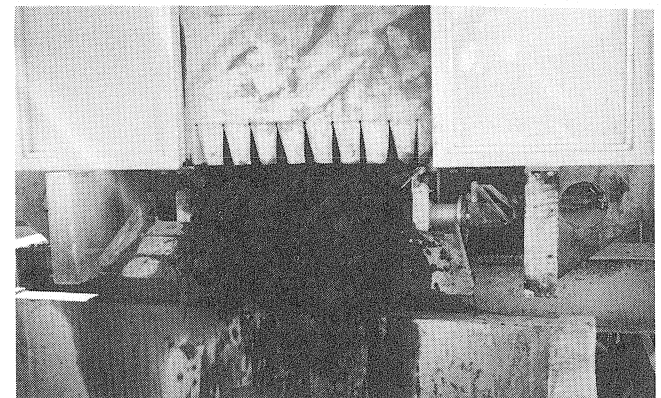


写真-2 処理土排出状況

4.2 処理水の水質試験結果

300m³に1回割合で行った水質試験の結果を表-10に示す。

試験結果は、処理直後の浮遊物質含有量(SS)が基準値を超えるものがあったが、沈殿後の採取液では基準値を超えるものはなく、周辺環境に与える影響は最小限に抑えることができたといえる。

表-10 処理水の試験結果

試験内容 試料番号	浮遊物質含有量 (SS) (mg/l)		pH (水素イオン濃度)		化学的酸素要求量 (COD) (mg/l)		溶存酸素量 (DO) (mg/l)	
	沈殿前	沈殿後	沈殿前	沈殿後	沈殿前	沈殿後	沈殿前	沈殿後
① (300 m ³ 処理時)	6.6	6.0	7.10	7.08	12.9	13.3	9.41	8.72
② (600 m ³ 処理時)	<u>127.0</u>	34.0	6.06	6.50	16.9	12.1	9.52	9.34
③ (900 m ³ 処理時)	<u>68.0</u>	25.5	7.09	7.36	14.9	18.9	9.54	7.50
④ (1,200 m ³ 処理時)	46.0	17.3	5.95	5.90	12.7	13.1	9.16	9.19
⑤ (1,500 m ³ 処理時)	<u>91.0</u>	44.0	6.44	6.76	15.5	14.7	9.96	9.96
⑥ (1,780 m ³ 処理時)	25.0	22.5	7.95	6.79	7.2	19.7	10.6	8.75
基準値	50 以下		5.8 ~9.0		30 以下		7.5 以上	

二重線は、基準値を超えた値を示す。

処理剤の配合は、ハイディー1号：0.4~0.5%，ハイディー2号：1.0~1.5%が適切であると判断し、廃液処理を開始した。表-11に処理剤の配合結果を示す。結果として、高比重の廃液に対して処理剤を高濃度添加する必要があった。

表-11 各処理剤の使用量

処理一回 当たりの使用量	ハイディー1号の濃度 (kgf/m ³)*2	ハイディー2号の濃度 (kgf/m ³)*2	備考
最高使用量	6.3 (0.63%)	21.25 (2.125%)	廃液比重≒1.12
最低使用量	3.6 (0.36%)	12.5 (1.25%)	廃液比重≒1.04
平均使用量	4.5 (0.45%)	15.9 (1.59%)	総処理量：1,780m ³

* 2 : 1 (kgf/m³) = 9.80665 (N/m³)

5. まとめ

PHPA安定液は、当工事の土質条件に最適な安定液配合であったと考えられるが、今後、その管理基準および管理方法の検討が必要であるといえる。また、今回の廃液処理には2液性の処理剤を使用した。より取り扱

いが簡便な処理剤による処理も検討していきたい。

当工事は、円形ケーソン上から地下連続壁を築造する施工方法はもとより、特殊な土質条件（改良土と軟岩）等、従来の地下連続壁の一般的な施工条件の範疇から、一歩踏み出したものであったと言える。今後、特殊な施工条件下での地下連続壁の工事立案およびその施工の際に、本報告が参考となれば幸いである。

謝辞

PHPA安定液の管理、地下水観測井戸の設置ならびに、廃液処理方法の検討・実施にあたって、東北電力(株)原町火力発電所建設所の皆様には貴重な御助言・御協力を頂きました。紙面を借りまして深謝致します。

参考文献

- 1) 北本，樋口，佐藤，松下；「選択凝集性安定液の実施工への適用」，土と基礎No42-3，1994.3
- 2) 細井，斉藤，西；「大深度・壁厚地下連続壁の施工」，土と基礎No42-3，1994.3