

PHPAを使用した安定液による廃液発生抑制効果に関する研究

* 北本 利男
* 結城 知史

要 旨

PHPA (Partially Hydrolyzed Poly Acrylamide) を使用した安定液 (以下、「PHPA系安定液」という) は、安定液の劣化要因が安定液材料の消耗だけに限定できる安定液である。研究の結果、PHPA系安定液による廃液 (建設副産物) 発生抑制効果は、一般的な土質条件では施工規模が大きくなるほど顕著に現れ、想定した大規模工事ではベントナイト系安定液を使用した場合と比較して約6割強、ポリマー系安定液を使用した場合と比較して、約3割強の抑制効果がそれぞれ期待できると結論できた。

1. まえがき

安定液は地下連続壁の施工にともなって、掘削土砂の混入、安定液材料の消費、コンクリートとの接触によるイオン分の混入等の原因によってその品質が変化し、地下連続壁の安定液として適切な性状を維持することができなくなる。このため、常に適切な安定液管理を行って安定液性状を把握し、地下連続壁の各施工段階に使用可能な状態に維持することが必要である。

従来、地下連続壁の施工にはベントナイト系安定液やポリマー系安定液などの分散系安定液が多く用いられてきており、東京湾横断道人工島築造工事をはじめとする100mを超える大深度・大壁厚の地下連続壁の施工にも使用され、品質の高い壁体を築造できることが確認されている。

しかしながら、従来の安定液には掘削土砂分を安定液中から分離する機能が考慮されていなかったため、品質の高い地下連続壁壁体を築造するためには、大量の良液を確保する必要があるため、結果的に安定液使用量を増大させることとなっていた。

PHPA系安定液は、従来の安定液とは異なり、非分散系懸濁液の要素を取り入れた安定液である。具体的にいえば、このPHPA系安定液は、安定液に必要な材料成分はそのままに、安定液に混入してきた掘削土砂分を、微細なものまで選択的に凝集させ沈降を促進させることのできる機能を付加させた安定液である¹⁾。掘削時においてこの安定液の劣化要因は、安定液材料の消耗だけに限定することができることから、材料の補給を適切に行うことによって、安定液はほぼ新液の状態を維持できるものである。

この研究は、PHPA系安定液が従来の安定液と比較して、建設副産物のうち廃液量の低減効果に、どの程度有効であるかを定量的に把握することを目的としたものである。

2. 掘削土砂分混入実験

2.1 実験の目的

この実験の目的は、安定液の劣化要因を掘削土砂分の混入に限定した場合、従来のベントナイト系安定液、ポリマー系安定液およびPHPA系安定液の掘削安定液としての転用回数を定量的に再現・把握することにある。

2.2 実験内容

(1) 安定液配合

安定液の配合は、掘削土砂分混入による劣化要因に対して安定液配合の違いによる転用回数の比較を行なうため、表-1に示すように、①ベントナイト系安定液、②ポリマー系安定液、③PHPA系安定液の各配合で行った。使用材料の内、ポリマー (CMC) は、PHPA系安定液と条件を合わせるために低粘度タイプを使用した場合と、実施工で多く用いられている通常タイプ (中粘度タイプ) を使用した場合の2種類を用いた。なお、作液水は水道水とした。

表-1 掘削土砂分混入実験のための安定液配合

使用材料 (製品名)	安定液の配合 (%)		
	①ベントナイト系安定液	②ポリマー系安定液	③PHPA系安定液
ベントナイト (浅間)	6.0	2.0	1.0
ポリマー (CMC) (TP-30)	0.1	0.3	-
ポリマー (CMC) (TP-30L)	-	-	0.2
PHPA (スーパコート)	-	-	0.2

(2) 劣化要因

この実験の劣化材料 (疑似掘削土砂) は、表-2に示すように市販されている粉末粘土のSCP-Aおよびスミクレーを使用した。なお、試料には水を加えて (含水比50%に調整) 原位置の状態に近づけてから安定液中に混入させることとした。

* 技術本部PDWプロジェクトチーム

表一 2 実験に使用する疑似掘削土砂

疑似土砂分の種類	土質	備考
SCP-A	非膨潤性粘土	水を加えて原位置の状態に近づけてから安定液中に混入 (含水比50%に調整)
スミクレー	非膨潤性粘土 (関東ローム相当)	

(3) 実験の手順

①安定液の作液

安定液の使用量は1,000cm³とした。ただし、実際に使用する安定液は作液後12時間以上経過したものを使用した。また、この安定液は実験開始直前に再攪拌した。つぎに、安定液を3,000cm³のビーカーに1,000cm³秤り取る。

②掘削土砂分の混入

表一 2 に示した掘削土砂の含水比を調整したもの (含水比50%) を安定液に投入して攪拌する。なお、投入量は100cm³ (安定液量の10%相当) とし、直径7.5cmの4枚羽根のプロペラを取り付けたラボスターラーを用いて1,000rpmで3分間攪拌する。

③分離沈降

掘削土砂を混入攪拌した安定液の全量を、1,000cm³メスシリンダーに移して1時間静置して、スライムを沈降させる。

④安定液性状の測定

1時間静置後のメスシリンダーを別の乾燥した1,000cm³容量のメスシリンダーに静かに傾斜させて上層の900cm³だけ移動させる。その後、直ちに安定液の性状を測定する。

⑤安定液の補給

測定後の安定液はメスシリンダーに戻すものとするが、不足分として新液を補給して1,000cm³にして乾燥した3,000cm³ビーカーに移す。

⑥繰返実験

手順②～⑤を繰り返す。

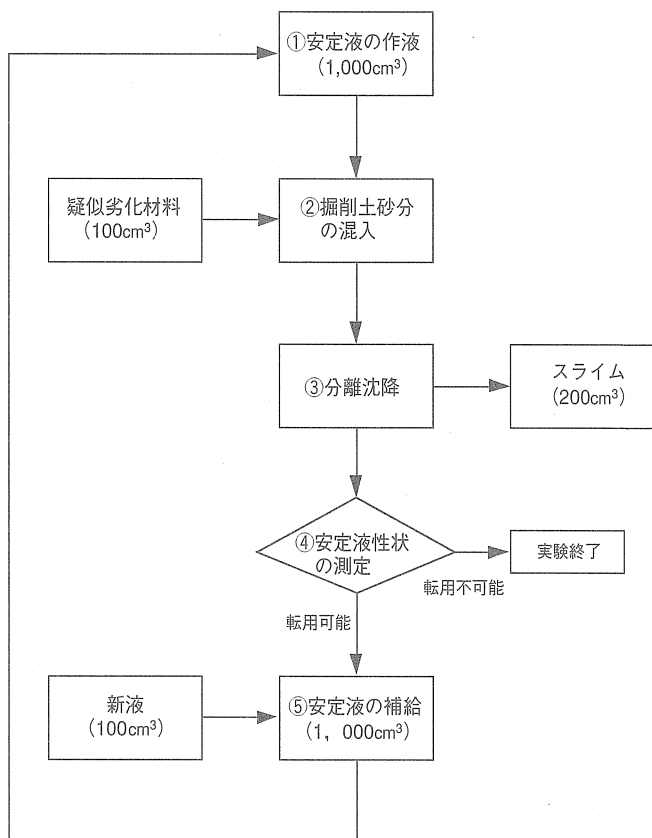
以上の実験手順を図一 1 に示す。ただし、各安定液の性状が明らかに掘削に用いる安定液として不相当であると判断された時点で実験を中止することとした。

(4) 性状試験内容

安定液の性状試験項目は、pH、比重、ファンネル粘性、VGメーターによる流動特性、ろ水量およびマッドケーキ厚の6項目とした。

2. 3 実験結果および考察

グラフ中の凡例を表一 3 に示すように定義し、2. 3 章のグラフ中の凡例を省略する。



図一 1 掘削土砂分混入実験手順

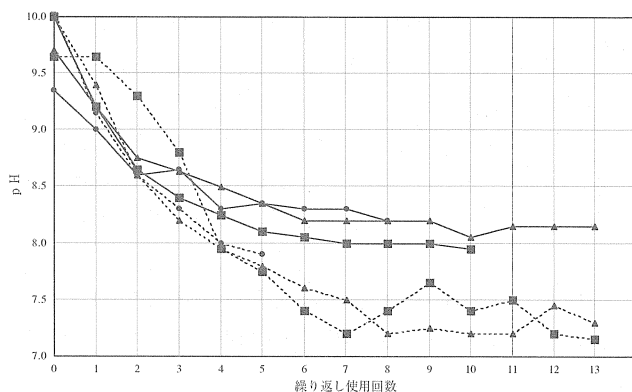
表一 3 凡例の内容

凡例	種別
●—○	ベントナイト系安定液+スミクレー
▲—▲	ポリマー系安定液+スミクレー
■—■	PHPA系安定液+スミクレー
●---●	ベントナイト系安定液+SCP-A
▲---▲	ポリマー系安定液+SCP-A
■---■	PHPA系安定液+SCP-A

(1) 低粘度ポリマー用いた場合

①pH

図一 2 に安定液の繰り返し使用回数と pH の関係を示す。繰り返し使用回数の増加に従って、劣化材料の種類に関わらず pH は低下するが、その程度はスミクレーの場合より SCP-A の場合の方が大きい。



図一 2 安定液の繰り返し使用回数と pH の関係

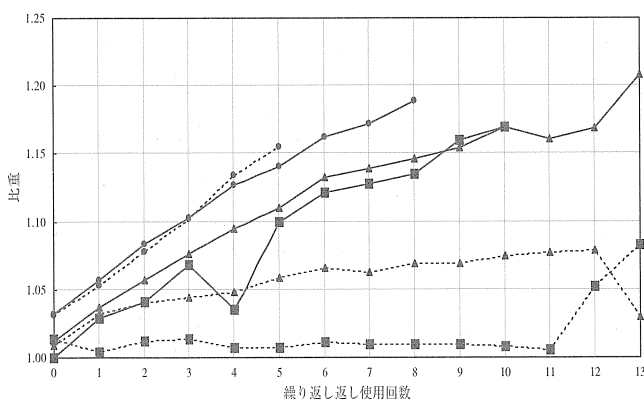
その理由は、スミクレーの場合、投入状態（含水比50%）の試料で、pH=7.2程度、SCP-AでpH=4.3程度であることに起因する。また、繰り返し回数の増加にしたがってpHは低下するが、その低下の度合いは、安定液の種類による差は小さい。

②比重

図一3に安定液の繰り返し使用回数と比重の関係を示す。3種類の安定液ともに、繰り返し回数の増加にしたがって比重が大きくなる傾向にある。特にベントナイト系安定液は、ポリマー系安定液やPHPA系安定液と比較して増加の傾向が大きい。

ポリマー系安定液とPHPA系安定液は、材料の種類によって増加傾向に違いが生じる。両安定液共にSCP-Aを加えた場合よりもスミクレーを加えた場合の方が比重の増加が激しい。ただし、その傾向はPHPA系安定液の方がポリマー系安定液よりも穏やかである。これは、スミクレーよりもSCP-Aの方が十分な選択凝集作用が働いているためと考えられる。また、SCP-Aを加えた場合、PHPA系安定液の方がポリマー系安定液より、繰り返し回数が少ない時点で増加傾向が目立つようになる。これは、PHPAの消耗によるものと考えられる。

しかしながら、比重の増加傾向が目立つまでのPHPA安定液の粘性は、ポリマー系安定液の粘性よりも低い値に一定している。これは、PHPAの消耗を押さえる管理を行った場合（適当な材料の補給等）、比重のコントロールが比較的容易であることを示している。



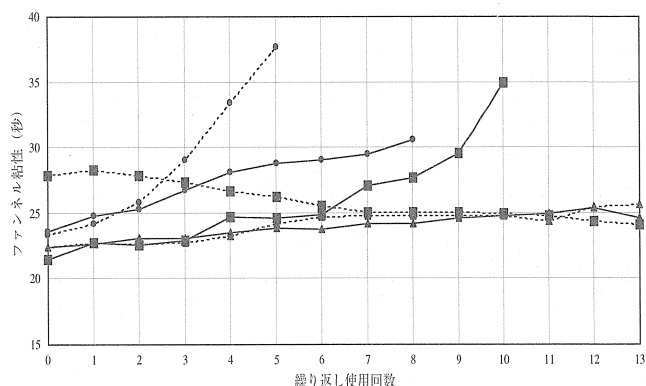
図一3 安定液の繰り返し使用回数と比重の関係

③ファンネル粘性

図一4に安定液の繰り返し使用回数とファンネル粘性の関係を示す。ベントナイト系安定液は、繰り返し回数の増加にしたがってファンネル粘性の増加が著しい。PHPA系安定液は、ベントナイト系よりも増加の傾向は小さいが、繰り返し回数が大きくなるにしたがって若干大きくなる。特に、PHPAが消費された時点で、ファ

ンネル粘性増加の傾向が大きくなる。それに対してポリマー系安定液は繰り返し使用回数に関係なくほぼ一定の値を示している。

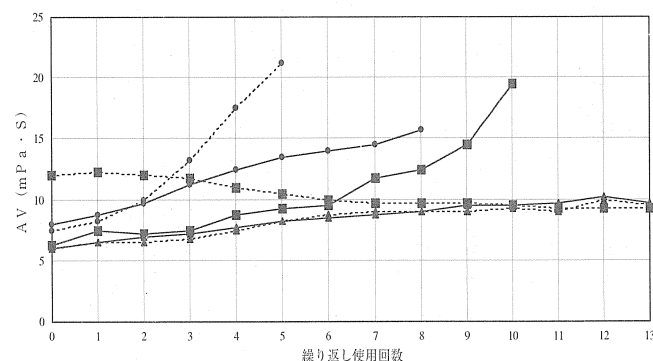
劣化材料の種類比較では、ベントナイト系安定液はスミクレーを加えた場合よりもSCP-Aを加えた場合の方がファンネル粘性の増加が激しい。それに対して、PHPA系安定液はSCP-Aを加えた場合よりもスミクレーを加えた場合の方がファンネル粘性の増加が激しい。ファンネル粘性は、安定液中のソリッド量と関係が大きいために、比重の関係と同様の傾向になる。



図一4 安定液の繰り返し使用回数とファンネル粘性の関係

④AV（見掛粘性）

図一5に安定液の繰り返し使用回数とAV（見掛粘性）の関係を示す。AVについてはファンネル粘性と全く同じ傾向になる。PHPA系安定液の場合、スミクレーではPHPAの消耗が激しく、繰り返し使用回数8回目頃からAVは急上昇したが、SCP-Aではそのような傾向は認められない。AVの増加する原因は、安定液中のソリッド濃度が大きくなること、すなわちPHPAの消耗がその原因であると考えられる。



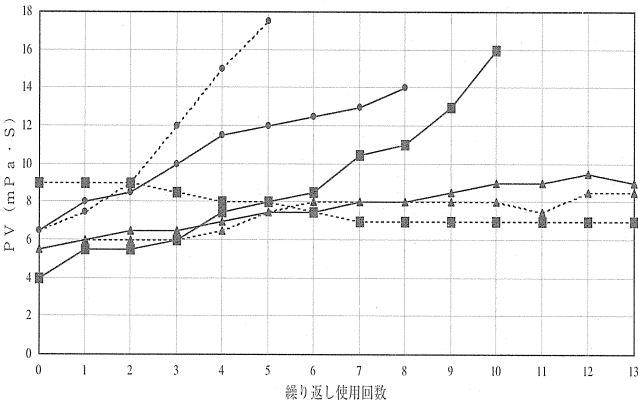
図一5 安定液の繰り返し使用回数とAVの関係

⑤PV（プラスチック粘性）

図一6に安定液の繰り返し使用回数とPV（プラスチック粘性）の関係を示す。

プラスチック粘性は、安定液中に含まれるソリッド分の機械的摩擦により生じる流動抵抗であり、ソリッド分の濃度、ソリッド分の大きさや形態、液層部の粘性により影響を受けるといわれている。したがって、安定液中のソリッド分が増加すると大きい値を示すようになり、ファンネル粘性、AVと同様の傾向を示すようになる。

ベントナイト系安定液では、次第に増加する傾向が大きい。ポリマー系安定液では増加傾向が小さく、逆にSCP-Aを劣化材料としたPHPA系安定液では、低下傾向にある。



図一六 安定液の繰り返し使用回数とPVの関係

⑥ YV (イールドバリュー)

図一七に安定液の繰り返し使用回数とYV (イールドバリュー) の関係を示す。

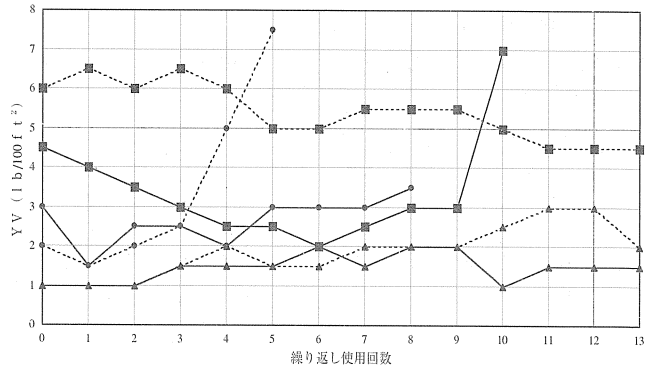
YVは、流体が流動状態にあるとき流動を続けるのに必要なせん断力である。安定液中のYVは、ソリッド粒子間の引力によって生じる流動抵抗であるため、良好な分散状態にあると小さい値を示すが、ソリッド分が増加するにしたがって粒子間の電氣的引力により増加する。

PHPA系安定液の場合には、掘削土を選択的に凝集させているために、ほかの安定液よりも大きめの数値を示しているが、わずかな減少傾向を示しており、繰り返し回数が増えるにしたがってPHPAの消耗とともに減少傾向を示す。なお、PHPA系安定液ではYVが大きいかかわらずソリッド分の分離沈降が良好であることが確認できている。これは選択凝集が良好に作用しているためと考えられるが、PHPAの消耗の限界を越えると急激な増加傾向が認められる。

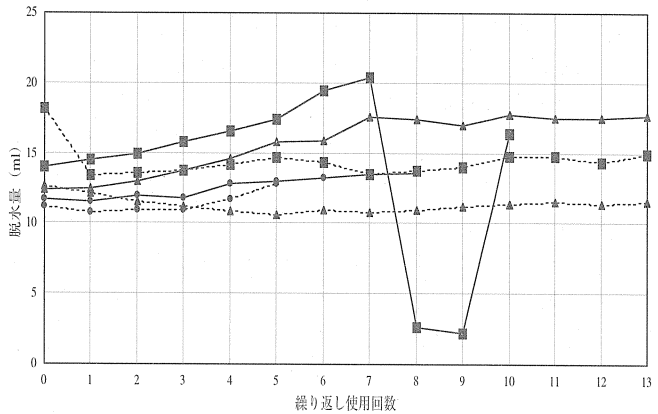
ベントナイト系安定液では繰り返しが進むと、急速に大きくなる。それに対して、ポリマー系安定液は、繰り返し使用回数に関わらず初期状態をほぼ維持している。

⑦ ろ水量 (脱水量)

図一八に安定液の繰り返し使用回数とろ水量の関係を示す。ろ水量は、安定液に必要な機能の一つである溝壁の安定に重要な役割を果たす、マッドケーキの透水性に



図一七 安定液の繰り返し使用回数とYVの関係



図一八 安定液の繰り返し使用回数とろ水量の関係

についての指標である。

ベントナイト系安定液は、主材のベントナイトの作用によりろ水量は小さい傾向を示し、転用回数が増加してもろ水量の増加する傾向は小さい。ポリマー系安定液はベントナイト含有率が小さいために比較的大きい値から始まり同様の傾向を示す。一方、PHPA系安定液は掘削土の混入直後に減少傾向が認められるが次第に増加する。なお、スミクレーを劣化材料に用いた場合、PHPAを消耗しきる前にろ水量が急激に低下することが確認できた。

⑧ マッドケーキ厚

図一九に安定液の繰り返し使用回数とマッドケーキ厚の関係を示す。マッドケーキ厚の主な機能は溝壁の安定のために安定液圧力 (液圧) を地山に伝えることであり、薄く透水性が小さいことが望ましい。

スミクレーを用いた場合、ベントナイト系安定液は初期状態においても比較的厚いが、繰り返しにつれてさらに厚みが増してくる。ポリマー系安定液では比較的薄い状態から始まるが、ベントナイト系安定液と同様に次第に増加する。PHPA系安定液は、最も薄い状態から始まるが、消耗が進むと急激に厚みが増加する。

一方、SCP-Aを用いた場合、PHPA系安定液お

よびポリマー系安定液は、薄い状態から始まり、スミクレーの場合と違って安定液材料の消耗が少ないために薄さを維持しているが、P H P A系安定液の方がその状態は顕著である。

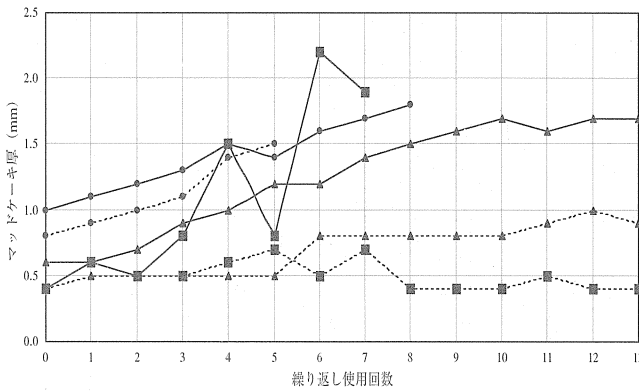


図-9 安定液の繰り返し使用回数とマッドケーキ厚の関係

(2) 中粘度ポリマー用いた場合

ベントナイト系安定液およびポリマー系安定液のポリマー (CMC) に中粘度ポリマー用いた場合の実験結果をつぎに示す。ただし、先の低粘度ポリマーを用いた場合と比較して、同様の傾向の試験項目は省いた。

①比重

図-10に安定液の繰り返し使用回数と比重の関係を示す。3種類の安定液ともに、繰り返し回数の増加にしたがって比重が大きくなる。特にベントナイト系安定液は、ポリマー系安定液やP H P A系安定液と比較して、増加の傾向が大きい。

ベントナイト系安定液は、疑似土砂分に関係なく比重が増加するのに比べて、ポリマー系安定液はSCP-Aよりスミクレーを使用した場合の方がその傾向が顕著である。また、P H P A系安定液もポリマー系安定液と同様な傾向ではあるが、その粘性はポリマー系安定液の粘性よりも低い値になっており、特にSCP-Aを使用した場合、その値は安定液材料を消耗するまでほぼ一定している。

先の実験と比較して、中粘度のポリマー (CMC) を使用した場合の方が低粘度タイプポリマー (CMC) を使用した場合よりも、ポリマー系安定液とP H P A系安定液性状の違いは明確に確認できた。

②ファンネル粘性およびAV (見掛け粘性)

安定液の繰り返し使用回数とファンネル粘性の関係を図-11に、AVとの関係を図-12にそれぞれ示す。今回の実験 (中粘度のポリマー (CMC) を使用した場合) の方が各安定液性状の違いは明確に確認できた。

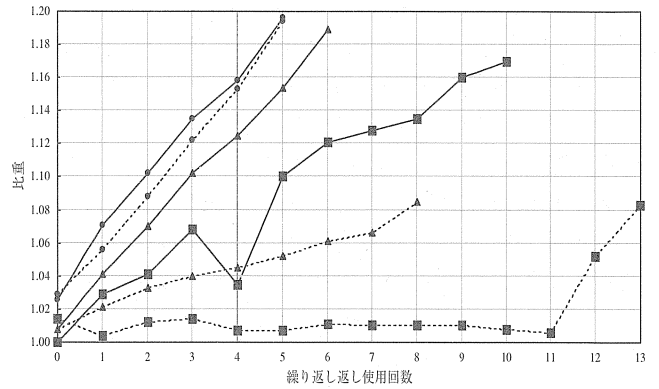


図-10 安定液の繰り返し使用回数と比重の関係

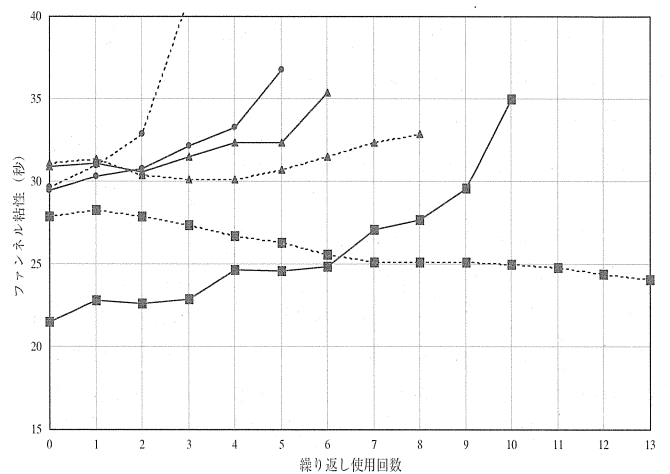


図-11 安定液の繰り返し使用回数とファンネル粘性の関係

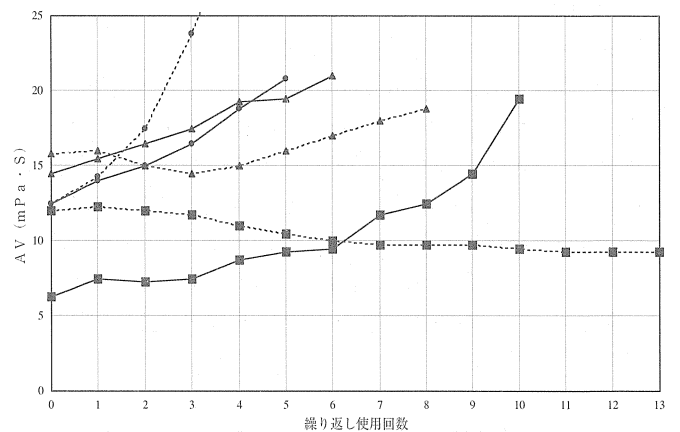


図-12 安定液の繰り返し使用回数とAVの関係

③その他の性状

図示は省略するが、P V, Y Vについても各安定液性状の違いは同様な傾向であったが、今回の実験の方が各安定液性状の違いは明確に確認できた。また、p H, ろ水量, マッドケーキ厚についてはポリマーの違いによる明確な差はみられなかった。

2. 4 掘削土砂分混入実験のまとめ

今回の実験結果から得られたベントナイト系安定液、ポリマー系安定液およびP H P A系安定液の各安定液性状からみた、掘削時の安定液転用回数について表-4に示す。ただし、転用回数の評価は劣化の激しかった劣化材料を掘削土砂分として添加した場合を読みとった。

なお、転用可能判断値として表中の値を設定した。この転用可能判断値は、各安定液の性状関係の値を考慮して設定したものであるが、結果的にA V（見掛粘性）を除き、一般工事の管理基準値とほぼ同じ値となった。また、ベントナイト系安定液およびポリマー系安定液の転用回数は、追加実験の値を採用した。

ベントナイト系安定液は、3種類の安定液の中で転用回数が一番低い。最低転用回数でポリマー系安定液の50%、P H P A系安定液の25%であった。換言すれば、実施工時の場合、掘削に使用される安定液はポリマー系安定液の2倍の作液量を必要とする。ポリマー系安定液は、ベントナイト系安定液の2倍の転用回数までその性状を維持できるが、P H P A系安定液と比較すると50%の転用回数であった。

ただし、この実験は性状回復のための再処理を全くしておらず、スライム分を常に廃棄した状態で算出した転用回数であるため、その値（ベントナイト系安定液の最低転用回数：2回、ポリマー系安定液の最低転用回数：4回、P H P A安定液の最低転用回数：8回）は、あくまで参考値としてとらえるべきであろうが、同じ実工事条件下での転用回数比率の目安（ベントナイト系安定液：ポリマー系安定液：P H P A系安定液：=1：2：4）は再現できたものとする。

なお、ベントナイト系安定液およびポリマー系安定液においては、使用するポリマー（CMC）を低粘度タイプとすることによって、上記の転用回数の比率は、ベントナイト系安定液：ポリマー系安定液：P H P A系安定液：=1：2：3程度になることも確認できた。安定液の転用回数に限定するならば、ベントナイト系安定液およびポリマー系安定液に使用するポリマー（CMC）は、低粘度タイプの実工事への適用を積極的に考慮すべきであるとする。

表-4 各安定液を用いた場合の転用回数結果

項目	種別	ベントナイト系安定液	ポリマー系安定液	P H P A系安定液	転用可能判断値
比重		3	4	8	≤1.15
ファンネル粘性(秒)		2	6	10	≤30(秒)
A V (mPa·s)		2	5	10	≤15(mPa·s)
平均転用回数		2.3	5	9.3	-
最低転用回数		2	4	8	-

3. セメント混入実験

3. 1 実験の目的

この実験の目的は、安定液の劣化要因をセメントに含まれるイオン分の混入に限定した場合、従来のベントナイト系安定液やポリマー系安定液およびP H P A系安定液がコンクリート打設時の劣化状況について定量的に把握することにある。

3. 2 実験内容

(1) 安定液の配合

安定液の配合は、先の掘削土砂分混入実験と同様に、①ベントナイト系安定液、②ポリマー系安定液、③P H P A系安定液の各配合で行なった。配合は、表-5に示すように掘削土砂分混入の追加実験の場合と同様とした。ただし、ベントナイト系安定液およびポリマー系安定液のポリマー（CMC）は実工事を想定して中粘度タイプを使用した。

表-5 セメント混入実験のための安定液配合

使用材料(製品名)	安定液の配合(%)		
	①ベントナイト系安定液	②ポリマー系安定液	③P H P A系安定液
ベントナイト (浅間)	6.0	2.0	1.0
ポリマー (CMC) (TP-30)	0.1	0.3	-
ポリマー (CMC) (TP-30L)	-	-	0.2
P H P A (スパーコート)	-	-	0.2

(2) 劣化要因および実験の手順

この実験は、以下の手順で安定液中に混入させ安定液の性状試験を行った。

①セメントスラリーの調製法

水道水を100.0cm³に対して、セメント・パウダーを146.5g添加し、スラリーを調製する。スラリー中のカルシウム分の溶出を一定にするため、ラボスターラーで16時間攪拌を続ける。このスラリー1cm³には、1gのセメントが含まれていることになる。

②イオン分混入量および性状試験頻度

安定液に対して外割で0~0.8% (0.2%ピッチ)の割合で上記のセメント・スラリーで汚染させて、直後及び1日後の安定液性質を測定した。

3. 3 実験結果および考察

グラフ中の凡例を表-6に示すように定義し、3. 3章のグラフ中の凡例を省略する。

表-6 凡例の内容

凡例	種別
○	ベントナイト系安定液
▲	ポリマー系安定液
■	P H P A系安定液

①ファンネル粘性

図-13に安定液のセメント添加濃度とファンネル粘性の関係を示す。ただし、グラフの各値は混入直後の値を採用している。(以下同様に、考察のグラフは混入直後の値を採用している。)

ベントナイト系安定液は、セメント添加濃度が0.6%になるとファンネル粘性の増加が著しくなる。ポリマー系安定液は、セメント添加濃度には関係なくほぼ一定のファンネル粘性を示している。一方、P H P A系安定液はセメント添加濃度が大きくなるとともにファンネル粘性が低下する傾向にある。

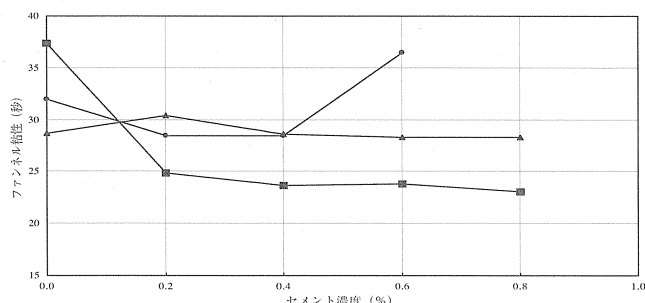


図-13 セメント添加濃度とファンネル粘性の関係

②Y V (イールドバリュー)

図-14にセメント濃度とY V (イールドバリュー)の関係を示す。ベントナイト系安定液は先のファンネル粘性と同様に、セメント添加濃度が0.6%になると、Y Vの増加が著しくなる。一方、ポリマー系安定液およびP H P A系安定液は、セメント添加濃度の増加とともに低下傾向を示した。

ベントナイト系安定液のY V増加の原因は、ベントナイト系安定液中のベントナイトが、セメントスラリー中のCa⁺⁺イオンの作用によって凝集し、安定液中にソリッド分として存在し、結果的に粒子間の電気的引力が増加したためと考えられる。また、ポリマー系安定液およびP H P A系安定液でもセメント添加濃度が0.8%になった時点で、安定液中の少量のベントナイトが同様の理由で凝集したため、Y V増加の傾向が若干みられているものと考えられる。

③ろ水量

図-15にセメント濃度ろ水量の関係を示す。ベントナイト系安定液は、主材のベントナイトの作用により初期のろ水量は3種の安定液中一番小さい値を示すが、セメント濃度の増加に従ってろ水量も増加する。ポリマー系安定液およびP H P A系安定液は、ベントナイト含有率が小さいために比較的大きい値から始まり、ほぼ一定の値を示す。

④マッドケーキ厚

図-16にセメント濃度とマッドケーキ厚の関係を示す。マッドケーキ厚は、先のろ水量と同様に、ベントナ

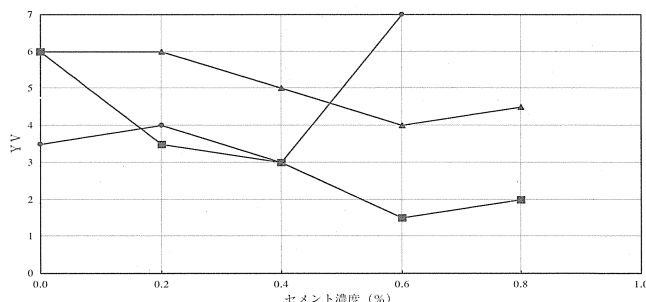


図-14 セメント添加濃度とY Vの関係

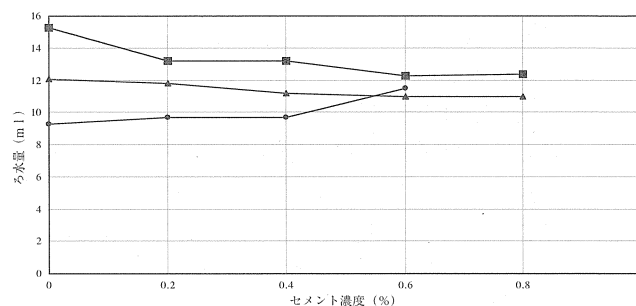


図-15 セメント添加濃度とろ水量の関係

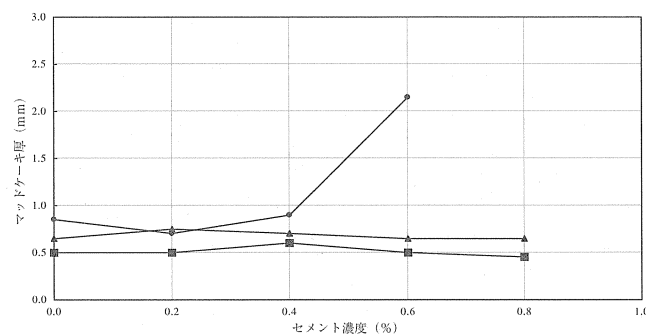


図-16 セメント添加濃度とマッドケーキ厚の関係

イト系安定液がセメント添加濃度が0.6%になると、その値が増加する。一方、ポリマー系安定液およびP H P A系安定液はほぼ一定の値を示しており、セメント汚染に強いことが確認できた。

3.4 セメント混入実験のまとめ

今回の実験から得られた結果は、従来から言われているようにベントナイト系安定液がセメント汚染に対してポリマー系安定液よりもかなり敏感に反応することが確かめられたとともに、P H P A系安定液は、ポリマー系安定液にほぼ匹敵する程度のセメント汚染に対する耐久性を持つことが確認できた。

しかしながら、安定液中のセメント濃度が0.4%を超えることはコンクリートの打設面付近でしか起きない現象であることを考えると、一般の施工で行われている対策を行えば(コンクリート打設面から2m以内の安定液を廃液として処分することや分散剤の適切な配合等)、ベントナイト系安定液での施工は問題ないものと考えられる。

以上の結果から、ベントナイト系安定液はポリマー系安定液やP H P A系安定液よりもコンクリート打設時の廃液量は若干多くなるものの、その量はごく僅かであると結論できる。

しかしながら、セメント系材料で地盤改良を行うような特殊な条件で掘削を行う場合には、ベントナイト系安定液とポリマー系安定液やP H P A系安定液の耐セメント性の違いが、廃液量にかなり大きく関わることが予想される。

4. 廃液量の推定

4. 1 検討方法

安定液工法における建設副産物発生量は、掘削残土を除くと、最終的な廃液の総量（場外処理の場合は、場外搬出量）に限定できる。実工事における廃液は、施工法や土質条件など各種の施工条件によって、その総量は大きく変動する。特に、地下連続壁工法の場合は、その使用用途（本設構造物か仮設構造物）や継手構造、施工規模、エレメント配置など、廃液量の変動要因が他の工法と比較してかなり多いといえる。しかも、安定液配合を同一の施工現場で意図的に異なったものを使用し、その廃液量の比較を行うことは、現実的に不可能に近い。

このような理由から、実施工において同一の条件で各種の安定液を使った廃液量の比較を行うことは、非常に困難であることが容易に推測される。

そこで、施工条件を統一した上で、安定液配合を従来の安定液配合とP H P A系安定液を用いた場合の廃液量を算出し、机上で検討を行うこととした。検討の方法を図一17に示す。

検討は、室内実験で得られた結果（廃液量・廃液率の推定結果）と実工事の施工条件および土質条件を仮定し、経験的に得られているデータも考慮し、総廃液量を算出した。

4. 2 検討条件

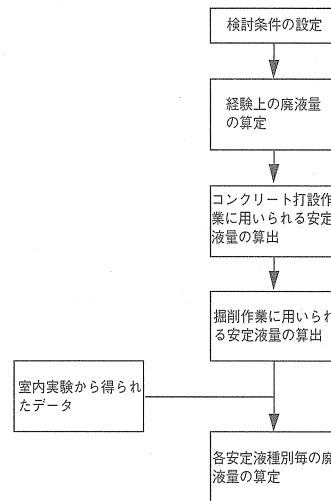
地下連続壁の工事における廃液量は、その施工条件によって大きく変動する。今回の検討では、工事の施工条件を表一7に示すように2種類想定した。

4. 3 土質条件

土質条件は、表一8に示すように想定する。なお、安定液の地盤への流出（逸泥）を砂礫層にて考慮することとする。

4. 4 経験上の廃液量の推定

表一7に示した想定工事において、ベントナイト系安定液を使用した場合の廃液の推定量（実績を基にした経験値からの推定）を表一9に示す。掘削土量に対する廃



図一17 廃液量算定検討フロー

表一8 土質条件

深度 (GL-m)	層厚 (m)	湿潤重量 (tf/m ³)	内部摩擦角 (度)	粘着力 (tf/m ²)	地層名 (土質区分)	備考
1.92	1.92	1.80	0	2.0	Bs (盛土)	地下水位以下の湿潤重量は水中重量を表わす。
3.42	1.50	0.80	0	2.0	Bs (盛土)	
5.32	1.90	0.80	22	0	Yu-s (砂質土)	
10.24	4.92	0.70	0	2.0	YI-c1 (シルト)	
15.17	4.93	0.60	0	4.0	YI-c2 (シルト)	
23.87	8.70	0.60	0	6.0	YI-c3 (シルト)	
27.22	3.35	0.65	0	10.0	YI-c4 (シルト)	
31.57	4.35	0.65	0	12.0	bt (粘性土)	
38.62	7.05	1.00	45	0	btg (砂礫)	

表一9 ベントナイト系安定液を使用した場合の廃液量の推定（経験値からの推定）

	掘削土量に対する作液量	作液量に対する地盤への損出量	作液量に対する廃液量	掘削土量に対する廃液量
工事1(小規模)	100% (1,540 m ³)	35% (539 m ³)	65% (1,001 m ³)	65% (1,001 m ³)
工事2(大規模)	75% (4,830 m ³)	35% (1,691 m ³)	65% (3,139 m ³)	48.75% (3,139 m ³)

液は、工事1（小規模工事）で1,001m³程度、工事2（大規模工事）で、3,139m³程度と推定された。

4. 5 各安定液を使用した場合の廃液量の推定

各安定液を使用した場合の廃液量の推定は、ベントナイト系安定液を用いた場合の経験値を参考として、以下の手順によって行った。

- ①コンクリート打設に用いられると考えられる安定液量の算定（ベントナイト系安定液）
- ②掘削に用いられた安定液量を推定廃液量からコンクリート打設に用いられると考えられる安定液を差し引くことによって求める。ただし、各安定液ともコンクリート打設に用いられると考えられる安定液量は同じ量と仮定する。

表-7 想定工事の施工概要

設定条件	工事1 (小規模工事)	工事2 (大規模工事)
用途	シールド発進立坑	建築構造物の地下外壁
継手構造	二方向版耐側圧壁 (剛結継手)	耐震継手 (ヒンジ継手)
壁厚	1,000 (mm)	
使用掘削機	バケット式掘削機 (MHL)	
エレメント数	8 (先行4, 後行4)	36 (先行18, 後行18)
最大エレメント長 (壁芯)	先行: 2.5m (直線) 後行: 9.5m (L型)	先行: 4m (直線) 後行: 6m (直線), 6m (L型)
壁面積 (壁芯)	1,540m ²	6,440m ²
最大エレメント体積	332.5m ³	210.0m ³
掘削深度	35 (m)	
掘削土量	1,540m ³	6,370m ³
エレメント配置	図-18 参照	図-19 参照
土質条件	表-8 参照	

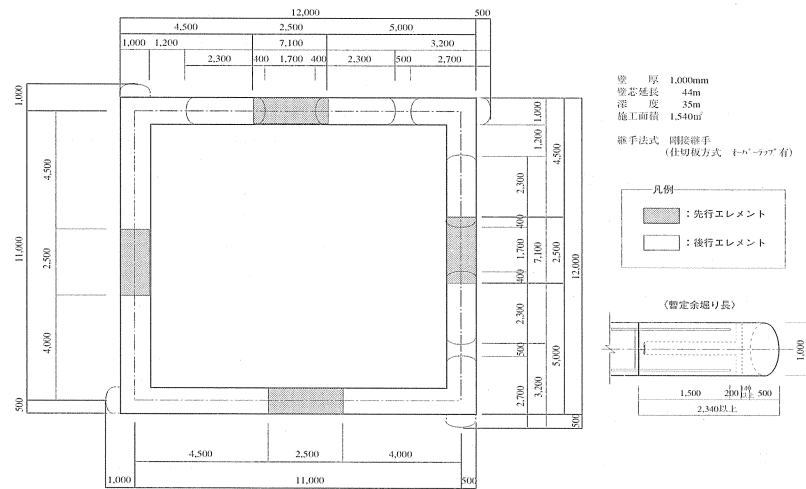


図-18 想定工事1 (小規模工事) エレメント配置・ガット割付け

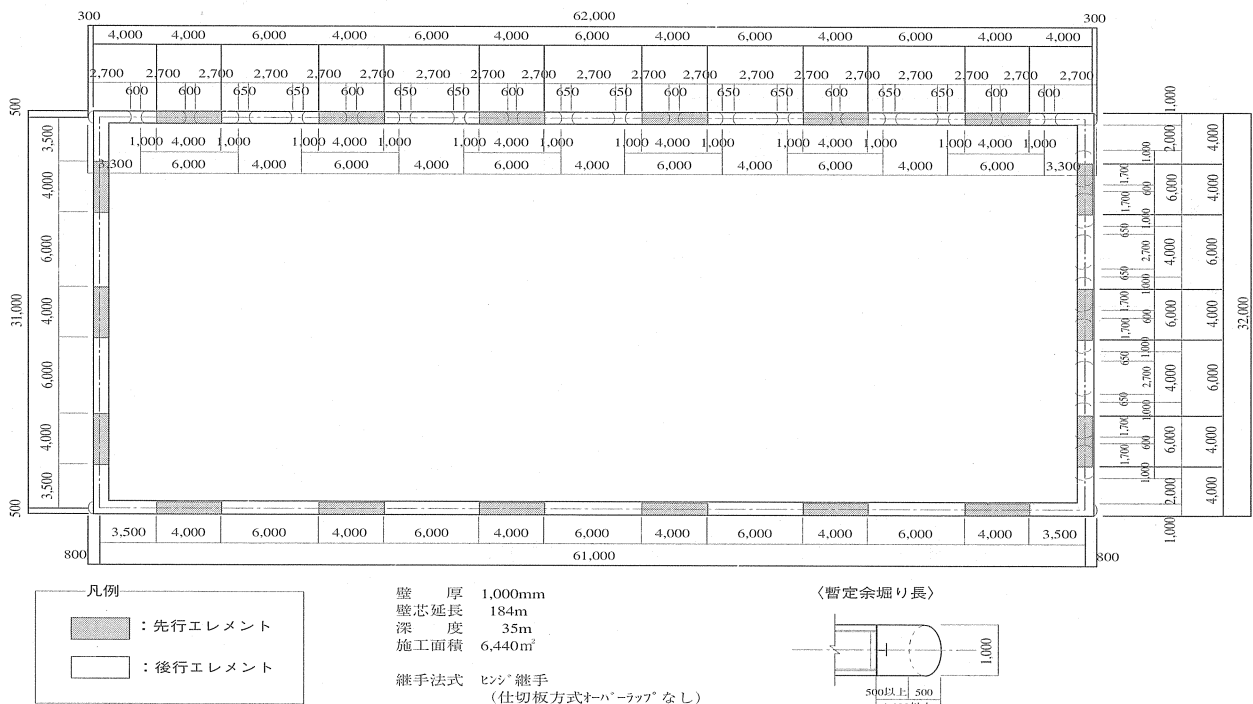


図-19 想定工事2 (大規模工事) エレメント配置・ガット割付け

③掘削に用いられた安定液量（ベントナイト系安液）に、室内実験からも求めた転用比率（ベントナイト系安定液：ポリマー系安定液：P H P A系安液：= 1：2：4）の逆数を掛けて各安定液の掘削必要な安定液量を算出する。

以上の結果から、各安定液の廃液量を推定・算出する。

(1) コンクリート打設に用いられる安定液量の算定
 コンクリート打設に用いられると考えられる安定液量(A)は、コンクリート打設面から2m以内の安定液を無条件で廃棄したものと仮定し、1式によって算定する。ただし、ポリマー系安定液およびP H P A系安定液を使用した場合も同様の施工方法を用いるものとする。

$$A = B + C \dots\dots\dots (1式)$$

ただし、

A：コンクリート打設に用いられると考えられる安定液量 (m³)

B：最大エレメント体積 (m³)

C：(施工延長-最大エレメント長) (m) × 2 (m) × 壁厚 (1m)

(2) 掘削に用いられた安定液量

①～③の手順によって掘削に用いられた安定液量を算定した結果を表-10に示す。

表-10 各系安定液を使用した場合の掘削安定液量推定結果

	推定廃液量 (a)	コンクリート打設に使用された安定液量 (b)	掘削に用いられた安定液量 (c) c = a - b	ポリマー系安定液を用いた場合の掘削安定液推定量 (c × 1/2)	P H P A系安定液を用いた場合の掘削安定液推定量 (c × 1/4)
工事1 (小規模工事)	1,001m ³	401.5m ³	599.5m ³	299.8 m ³	149.9m ³
工事2 (大規模工事)	3,139m ³	566 m ³	2,573m ³	1,286.5m ³	643.3m ³

(3) 各安定液の廃液量の算出

各安定液の廃液量の推定値を表-11に示す。ただし、工事1 (小規模工事)においてポリマー系安定液およびP H P A系安定液の掘削に用いられた安定液量の推定値 (ポリマー系安定液：299.8m³, P H P A系安定液：149.9m³) が、最大エレメント体積 (332.5m³) よりも少なかったため、その値は最大エレメント体積と同じ値を採用した。

工事1 (小規模工事)では、ポリマー系安定液およびP H P A系安定液を施工に用いた場合は、ベントナイト系安定液を採用した場合の73.2 (%)の総廃液量にとどまることが予想できる。工事2 (大規模工事)では、ポリマー系安定液を施工に用いた場合は、ベントナイト系安定液を採用した場合の59.0 (%)の総廃液量に、P H P A系安定液を施工に用いた場合は、ベントナイト系安定液を採用した場合の38.5 (%)の総廃液量になることが予想される。

表-11 各系安定液を使用した場合の廃液量の推定結果

		ベントナイト系安定液	ポリマー系安定液	P H P A系安定液
工事1 (小規模工事)	廃液量の推定値 (m ³)	1,001	734	734
	ベントナイト系安定液との比率	100 (%)	73.2 (%)	73.2 (%)
工事2 (大規模工事)	廃液量の推定値 (m ³)	3,139	1852.5	1209.3
	ベントナイト系安定液との比率	100 (%)	59.0 (%)	38.5 (%)

5. まとめ

今回のP H P A系安定液による廃液 (建設副産物) 発生抑制効果の結論は、あくまでも机上の検討結果であり、多くの仮定条件が含まれていること考慮しなければならないが、一般的な土質条件では施工規模が大きくなるほどその効果は顕著になることが予想できる。

廃液量の算出結果より、想定した小規模工事ではポリマー系安定液と同程度の効果であるが、想定した大規模工事ではベントナイト系安定液を使用した場合の約6割強の廃液発生抑制効果が、ポリマー系安定液を使用した場合の約3割強の廃液発生抑制効果が、それぞれ期待できることが確認された。

今回は一般的な土質条件で検討を行ったが、近年その施工件数が多くなってきている地盤改良をはじめとする特殊な条件での検討も、今後必要であると考えます。

謝 辞

室内実験を担当していただいた (株) テルナイト技術研究所佐藤主任研究員ならびに廃液量の推定に際して貴重な資料の提供およびご指導をいただいたオリエント開発 (株) 滝沢積算部長に感謝の意を表します。

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