

# 泥水工法における泥水管理に関する研究

## (第1報) 泥水有効性の簡易判定法

喜田大三

### 概 要

建設分野における泥水工法では、地盤掘削を安全に、正確に、そして経済的に行なうため、ベントナイト泥水を作製する際、また使用している際、そして廃棄処理する際の各過程に応じて、泥水を適切に管理しなければならない。とくに使用している際に泥水は掘削土およびセメント溶出成分などと反応し、その諸性質は激しく劣化している。したがって、現場では使用中の泥水の有効性すなわち使用可否およびその良否の程度の判定が重要視されてきた。

しかし、OWS工法の施工現場のベントナイト泥水を調査した結果、石油関係に準じた従来の有効性判定法が妥当でないことが判明した。そこで、適切な試験項目として泥水の懸濁状態、微細粒子濃度、塩類濃度を提案し、泥水有効性の簡易判定法を開発した。

本法では、これら試験項目を化学的手法を導入して簡易に測定できるようにした。さらに、これらの試験項目を組合せて有効性判定用管理図を考案し、各項目の測定結果を管理図上にプロットし、泥水の有効性すなわち使用可否ならびにその良否の程度を科学的に判定できるようにした。

### 1. まえがき

近年、建設分野では泥水を用いて地盤を掘削する泥水工法が広く採用されている。本工法では、泥水を掘削孔内に満たし孔壁の安定をはかりつつ円形とくに横長(壁状)に地盤を掘削し、この中に鉄骨または鉄筋コンクリート造りの剛強な構造体すなわち基礎くい、建築物の地下外壁、土留壁、止水壁、地下鉄道の側壁などを築造することができる。当社のOWS工法も泥水工法の一つであり、1962年以来、その施工実績を着々と積み重ね、現在壁体面積にして62,000m<sup>2</sup>余が施工されている。

さて、一般に使用されている泥水はベントナイト泥水であり、ベントナイト粘土とくに置換性カチオンとしてナトリウムの多いベントナイト粘土の7~15%の水懸濁液を主体にし、必要に応じて各種の無機および有機調整剤が加えられている。

そして2.に後述するように、ベントナイト泥水は地盤掘削に対しきわめて有効に作用している。泥水のかかる作用を十分に発揮させ、地盤掘削を安全に、正確に、そして経済的に行なうために、泥水を次の三作業過程に応じて適切に管理しなければならない。

(1) 作製時の泥水管理：ベントナイトの製品種別、濃度および調整剤の種類、濃度などの決定。泥水の作製操作など。

(2) 使用時の泥水管理：有効性すなわち使用可否ならびに良否の程度の判定。鉄筋コンクリートの強度を考慮した泥水処理。泥水の劣化防止対策および劣化泥水の改質など。

(3) 使用後の泥水管理：廃棄処理など。

とくに、使用時に泥水は掘削土およびセメント溶出

成分などと反応し、その諸性質は激しく変化し劣化している。したがって、現場では使用中の泥水の有効性すなわち使用可否とかその良否の程度を判定することがとくに重要視されてきた。

ところで、以前から地質調査特に石油・ガス採取時のボーリングにベントナイト泥水は循環流体として使用され、泥水の有効性判定法が研究されてきた<sup>1,2)</sup>。そして建設分野でも石油関係に準じて泥水を管理してきた。しかし、実状に合わないため、施工現場では多くの場合に勘という経験によって泥水の管理を行なってきた。そのため、定量的で科学的な有効性判定法の確立が強く要望されていた。

そこで、まずOWS工法の施工現場で使用中のベントナイト泥水の諸性質を調査した。その際、地盤掘削を可能にしている泥水の機能は、ベントナイト粘土の活性成分である2:1型膨張性結晶質粘土鉱物モンモリロナイトの特徴的な物理化学的作用によるものと考え、使用中の泥水の物理的諸性質ばかりでなく化学的諸性質をも分析した。そして、従来の有効性判定の試験項目が妥当でない実態を明らかにするだけでなく、さらに新しい試験項目を見いだすことができた。以上の研究成果はおいて報告する予定である。

また、これらの研究成果に基づいて、施工現場における泥水有効性の簡易判定法を開発することができ、ここに第1報として発表する。<sup>3)</sup>

### 2. 泥水の有効性判定の試験項目

表一1に、地盤掘削を可能にしている泥水の特徴的な諸機能、これら機能を発揮させる泥水の諸性質、そしてこのような性質を管理する試験項目の相互関係を、石油および建設関係の泥水工法の資料に基づいて

模式的にまとめた。

同表に示すように、泥水工法ではベントナイト泥水の特徴的な機能によって地盤を崩壊させることなく掘削することができる。このような泥水の諸機能を十分發揮させるために、使用中の泥水の諸性質を絶えず試験し、泥水を適正に管理しなければならない。そのために、各種の試験項目が提案されている。

さて、使用時の泥水の有効性を判定する試験項目を選択するためには、まず泥水の機能ならびにそれらの重要度を、掘削地盤の性状、掘削の機械と方法、泥水の循環方式、掘削孔の形状と深さなどに応じて検討しなければならない。その検討結果に基づいて泥水の性質についてはその性質を検定する試験項目を適切に決定しなければならない。

建設分野では泥水の機能とくに掘削壁面安定に対する機能が十分解明されていないため、石油関係に準じて表一1中の試験項目のうち、主として比重、全濃度、粘度、懸濁状態が採用されてきた。ところがOWS工法の施工現場の泥水を調査した結果、これらの試験項目は泥水作製時には重要な基準になりうるが、懸濁状態以外の項目は使用時の泥水の有効性を判定する基準としては不適当であることが判明した。さらに現場調査の結果、懸濁状態以外に微細粒子濃度および塩類濃度が必要な試験項目であることを見いだすことができた。これらの試験項目は、前掲の表一1からも明らかのように、泥壁形成による壁面崩壊防止という泥水の

機能がきわめて重要であることを示唆している。以上の成果はおって別に報告する。

さて、本報における泥水有効性の簡易判定法では、次の3.で説明するように、上記の3つの試験項目（懸濁状態、微細粒子濃度、塩類濃度）を、化学的手法を導入して、現場で簡易に測定できるようにした。しかも管理図によって泥水の有効性を科学的に判定し、泥水管理が適確に行なえるように考案した。

### 3. 簡易判定法

#### 3.1. まえがき

この判定法は、建設分野の泥水工法において使用時のベントナイト泥水の有効性すなわち使用可否ならびにその良否の程度を簡易に判定する新しい方法である。

そして本法では、2.に前述した3つの試験項目（懸濁状態、微細粒子濃度、塩類濃度）を、化学的手法を導入して現場で容易に測定できるようにしている。さらに、これらの試験項目を組合せて、図一1に示す有効性判定用管理図（次節3.2.参照）を作成し、この管理図を用いて泥水の有効性を判定できるように考案している。

そこで、本法では下記の3つの試験を1, 2, 3, と順次行なう。

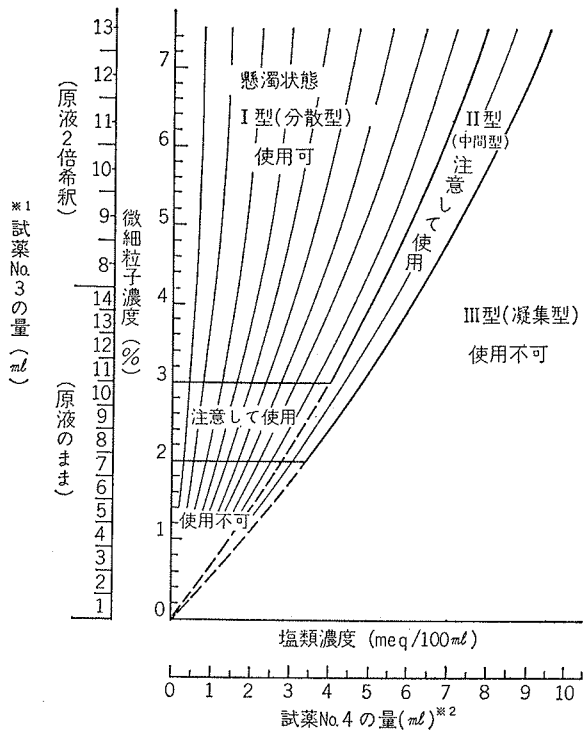
- 試験1 懸濁状態の型の分類と判定
- 試験2 微細粒子濃度の測定と判定
- 試験3 塩類濃度の測定と総合判定

掘削を可能にしている 泥水の機能	泥水の機能を發揮 させるための泥水の 性質	泥水の性質を管理する試験項目						
		泥水の性質と試験項目との関係（注1）						試験項目 （注2）
		1	2 (1)	2 (2)	2 (3)	3	4	
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 掘削孔底やビット付近から掘屑を除去し、ビットを清浄にすると共に掘屑を地表まで運搬する。</li> <li>● 掘屑が沈澱しないように泥水中に保持する。</li> <li>● 泥水の側方圧力または応力による孔壁土砂の安定および湧水防止。</li> <li>● 孔壁面に不透水性のしかも強靱な泥膜を作って崩壊を防ぐ。</li> <li>● 泥水が孔壁内に浸透しゲル化して土粒子を連結し、また不透水性を増加させることによって地盤を安定にする。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. 適当な比重</li> <li>2. 適当なレオロジーの性質 (1) 粘性 (2) イールドバリュー (3) チキソトロピー</li> <li>3. 良好な泥壁（泥膜および浸透沈積層）形成性</li> <li>4. すぐれた安定性（懸濁分散性）</li> </ul>	◎	◎					比 重 全濃度 粘 度 イールドバリュー チキソトロピー 泥壁形成能 懸濁状態* 微細粒子濃度* 塩類濃度* PH
		◎	○	○	○			
		◎	◎					
			○	◎				
			○		◎			
		○	○	○	○	◎	◎	
	○	○	○	◎	◎			
	○	○	○	◎	◎			
				○	○			

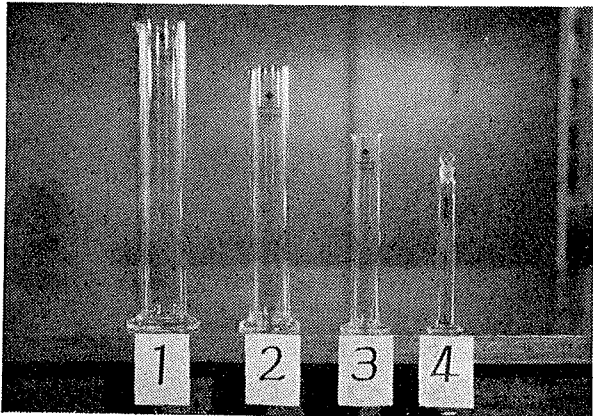
表一1 泥水の機能、性質および試験項目

注 1) ◎：大いに関係がある ○：関係がある。

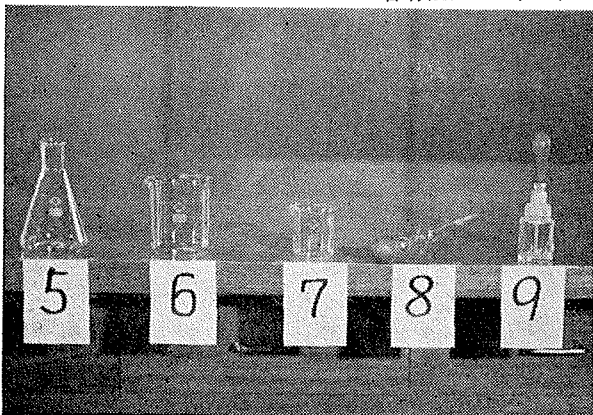
注 2) \*：簡易判定法で提案し採用している試験項目



図一 有効性判定用管理図 (当社某現場用)  
 ※1 試験2 (微細粒子濃度の測定) 参照  
 ※2 試験3 (塩類濃度の測定) 参照



写真一 用具の名称  
 1 1l 容メスシリンダー  
 2 500ml 容メスシリンダー  
 3 200ml 容メスシリンダー  
 4 50ml 容有栓メスシリンダー



写真二 用具の名称  
 5 200ml 容三角フラスコ  
 6 200ml 容ビーカー  
 7 50ml 容ビーカー  
 8 駒込ピペット  
 9 滴ビン

その際、管理図を用いて測定結果から泥水の有効性を判定し、その試験で使用不可すなわち廃棄と判定されなければ次の試験に移る。このようにして、泥水の有効性を科学的に判定し、適切に泥水を管理する。

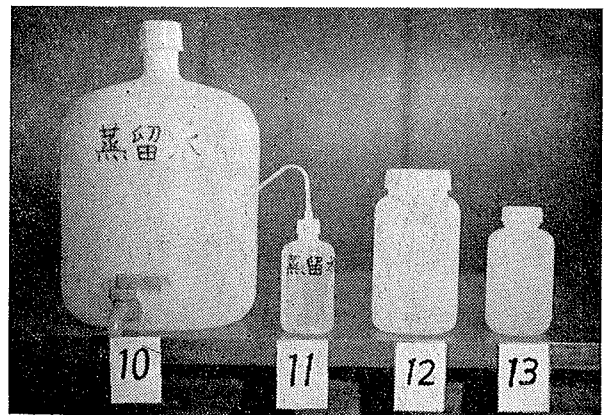
### 3.2. 有効性判定用管理図

図一に使用時の泥水の有効性を判定する管理図を示した。同図では、縦軸に微細粒子濃度を取り、横軸に塩類濃度を取り、塩類濃度/微細粒子濃度の比に応じて泥水の懸濁状態の各型が占める領域を分割している。なお、懸濁状態の各型すなわちI型の分散型、II型の中間型、III型の凝集型は次節3.3.の図二に模式的に図示されている。しかも、この管理図中には泥水管理に必要な指示すなわち使用可、注意して使用、使用不可が記入されている。

さて、ベントナイト泥水中の活性な微細粒子主として2:1型膨張性結晶質粘土鉱物モンモリロナイトは地盤掘削中に泥壁形成などによって消費され、その濃度は一般に低下していく。したがって、泥水中の活性な微細粒子濃度を測定しなければならない。そして、その最低限界濃度を掘削地盤の性状、掘削の機械と方法、泥水の循環方式、掘削孔の形状と深さ、ベントナイトの品質などを考慮してあらかじめ決め、図一の管理図上に記載しておく必要がある。

また、この微細粒子は泥水中で分散状に懸濁していなければならない。しかし使用中に掘削土とくにセメントから由来する塩類によって微細粒子は次第に凝集し泥水は劣化していく。したがって、泥水の懸濁状態および泥水中の塩類濃度を測定しなければならない。そして、図一の中に斜線で示すように塩類濃度/微細粒子濃度の比が増すにつれて泥水の懸濁状態は使用可の分散型から使用不可の凝集型へ移行していく。しかも、この比は主としてベントナイトの製品の品質(銘柄)によってあらかじめ決めておくことができる。

以上のような管理図を施工現場に応じて前もって作成し、以下に説明する3つの試験によって、泥水が管



写真三 用具の名称  
 10 20l 容下栓付ポリ製ビン  
 11 500ml 容ポリ洗浄ビン  
 12 2l 容ポリ製広口ビン  
 13 1l 容ポリ製広口ビン

理図上のどの箇所に位置するかを知って、泥水の有効性を科学的に診断する。前述のように管理図上において、微細粒子濃度が大きいほど、また塩類濃度が小さいほどその泥水は良好と診断される。

なお、これら試験に使用する主な用具の名称を写真一1、一2、一3に一括して示した。

### 3.3. 試験1 懸濁状態の型の分類と判定

#### (1) 試験用具および試薬 (写真一4)

有栓メスシリンダー (50ml)、メスシリンダー (500ml または 1l)、ビーカー (200ml)、ポリ製広口ビン (1l または 2l)、ポリ製洗浄ビン (500ml)、下栓付ポリ製ビン (20l) など。

蒸留水 (20l 容下栓付ポリ製ビンに保存)。

#### (2) 測定法

2.1 泥水試料を泥水面から適当な容器 (たとえば 1l または 2l 容ポリ製広口ビン) に約 1l 採取する (注1)。

2.2 試料 50ml を 2本の 50ml 容有栓メスシリンダーにとる (注2) (写真一5)。

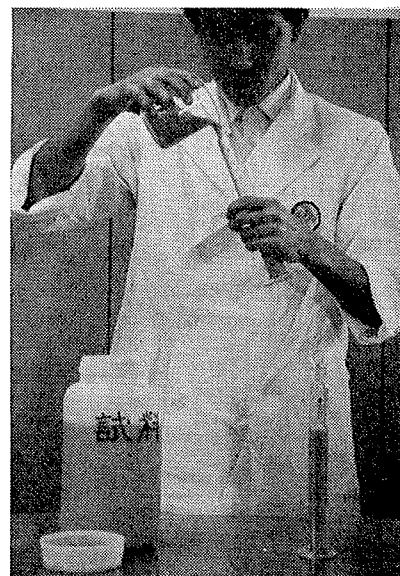
2.3 このメスシリンダーを 50 回手で激しく反転振とうしたのち静置する (写真一6)。

2.4 静置後 30 分～2 時間の間、図一2に基づいて懸濁状態の型を分類する (注3) (写真一7)。

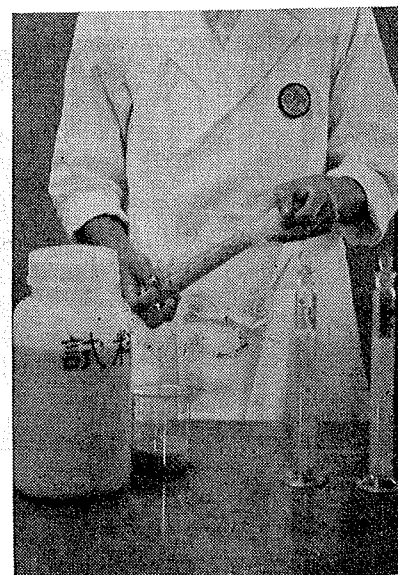
注1) 掘削孔内の泥水試料は掘削機の駆動時に、またストレージタンクの試料は十分カクハンしたのちに採取されなければならない。

注2) 泥水の全濃度が高い場合には、懸濁状態の型を判別しにくい。判別しやすい泥水濃度は 2～4% である。したがって、高濃度の場合には、あらかじめ適当な濃度になるように蒸留水でうすめる必要がある。

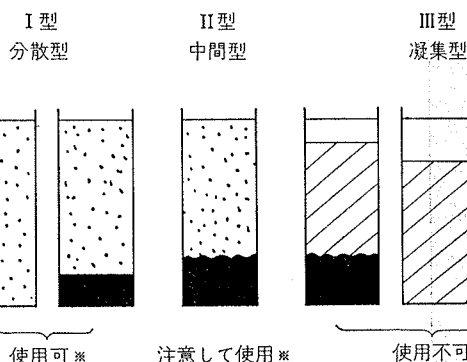
注3) 実際には、懸濁状態の型を 30 分前後で分類で



写真一5 試料を有栓メスシリンダーにとる (試験1, 2.2)



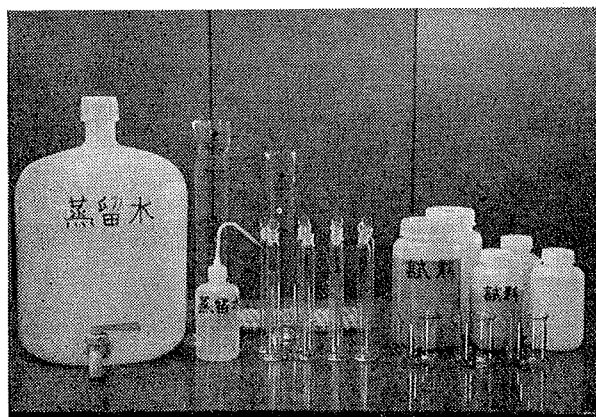
写真一6 激しく反転振とうする (試験1, 2.3)



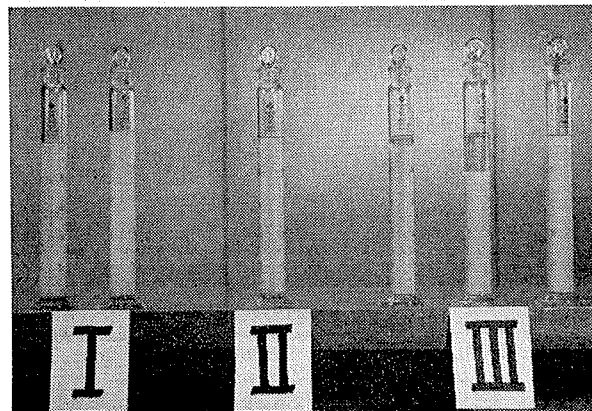
図一2 懸濁状態の型の分類 (模式図)

※ただし、この泥水の微細粒子が最低限界濃度以上であること。

(3の3.3試験1参照)



写真一4 試験1の用具



写真一7 懸濁状態の型 (試験1, 2.4)

きる場合が多い。その際メスシリンダー中の沈殿層の表面の凹凸および上澄液の生成有無に、とくに注目する。また懸濁状態の観察は実験のポイントであるからなるべく同一人で行なうのが好ましい。

(3) 判定法

懸濁状態Ⅲ型の泥水は使用不可すなわち廃棄と判定して良い(図-2参照)。事情によって廃棄できない場合には適切な処置をしなければならない。処置法は技研より別に指示する。

懸濁状態がⅠ型およびⅡ型の泥水試料について次の試験2を行なう。

3.4. 試験2 微細粒子濃度の測定と判定

(1) 試験用具および試薬 (写真-8)

三角フラスコ(200ml), ビーカー(50ml), メスシリンダー(200ml), 駒込ピペット(10ml), 滴ビン(50ml) 注射器(1ml および 5ml, 無色の内筒), 注射器(2ml, 青色の内筒), ポリ製洗浄ビン(500ml), 東洋口紙(15×30cm<sup>2</sup>), ガラス棒(技研特製), 加熱装置(ガスコンロあるいは電熱器) など。

技研特製の試薬 No.1, No.2, No.3 および蒸留水。

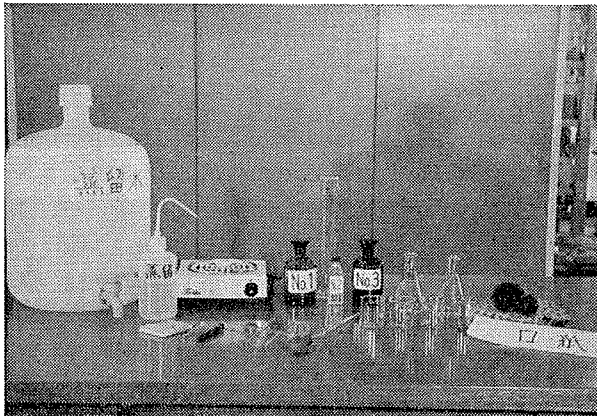


写真-8 試験2の用具と試薬

(2) 測定法

2.1 泥水試料を50ml 容ビーカーに移し、良くかきまぜながら注射針のない 2ml 容注射器で 2ml 採取し、200 ml 容三角フラスコに入れる(注1)(写真-9)。

2.2 試薬 No. 1 を駒込ピペットで約 10ml 入れる(写真-10)。

2.3 試薬 No. 2 を滴ビン付属のスポイドで10滴入れる(写真-11)。

2.4 加熱装置によって約1分間沸トウさせたのち、加熱を止めて約2分間以上放置する(写真-12)。

2.5 しかるのち、蒸留水で全量を約 40ml とする(写真-13)。

2.6 試薬 No. 3 の最少量, すなわち管理図において微細粒子の最低限界濃度に相当する試薬 No. 3 量(注2)を 5ml 容注射器で添加し, 30秒以上良くふる(写真-14)。

2.7 ガラス棒でフラスコから泥水を1滴取りだし, 口紙上にたらす。そして空色に着色した微細粒子のまわりに広がってゆく水の色を観察する(写真-15)。

2.8 まわりの水の色が空色であれば, 試薬 No. 3 を加えないで2分間良くふり, 操作2.7によって水の色の変化を再確認する。そして, 空色であれば, 微細粒子濃度は最低限界濃度以下であると判定し, 以下の操作を行なう必要がない。他方, 水の色が無色であれば以下の操作を続行する。

2.9 試薬 No. 3 を 1ml 容注射器で1ml 添加し, 数秒間良くふる(写真-16)。

2.10 ガラス棒でフラスコ内から泥水を1滴取り出し口紙上にたらす。そして2.7と同様に空色に着色した微細粒子のまわりに広がってゆく水の色を観察する(写真-17)。



写真-9 試料を注射器でとる (試験2, 2.1)

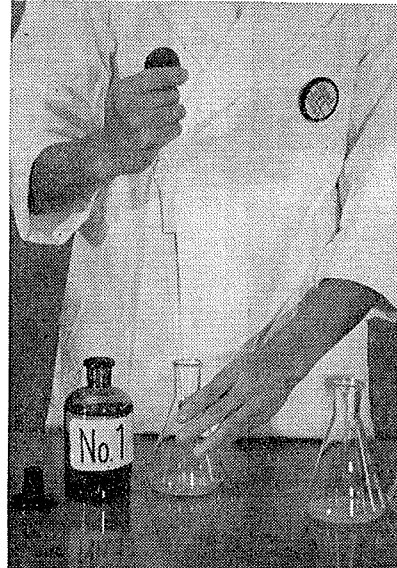


写真-10 試薬 No. 1 を駒込ピペットで入れる (試験2, 2.2)

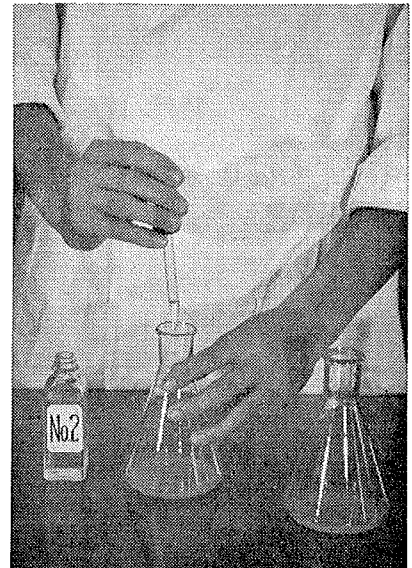


写真-11 試薬 No. 2 をスポイドで滴下する (試験2, 2.3)

2.11 まわりの水が無色から空色に変化するまで、操作2.9および2.10をくり返す。

ただし、操作2.6およびその後に添加した試薬 No.3の含量が 15ml 以上になるようであれば、実験をやり直す必要がある(注3)。

2.12 水の色が空色になれば、試薬 No.3 を加えないで2分間良く振る。そして、操作2.10によって水の色の変化を再確認する(写真-18)。もし空色が消えて

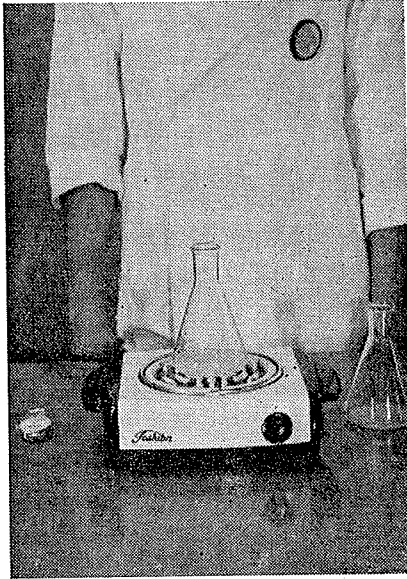


写真-12 約1分間沸トウさせる(試験2, 2.4)

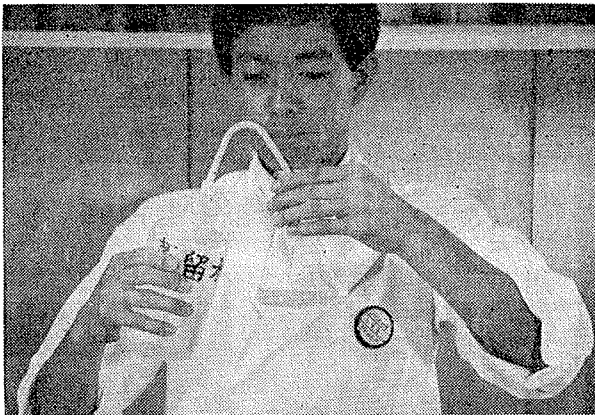


写真-13 蒸留水を加える(試験2, 2.5)

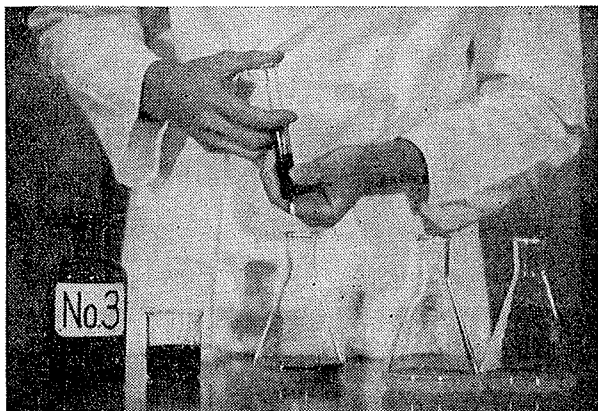


写真-14 試薬No.3の最少量を注射器で入れる(試験2, 2.6)

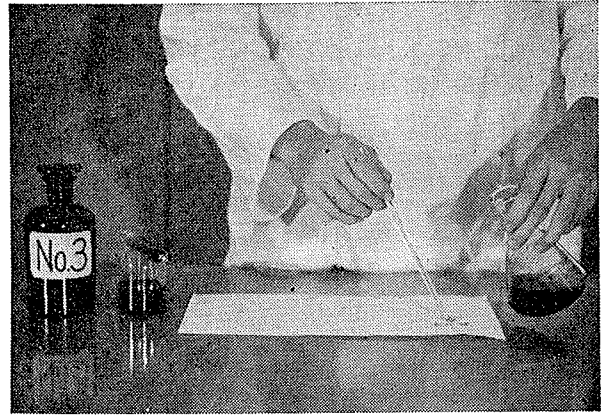


写真-15 口紙上に1滴とり、水の色を観察する(試験2, 2.7)

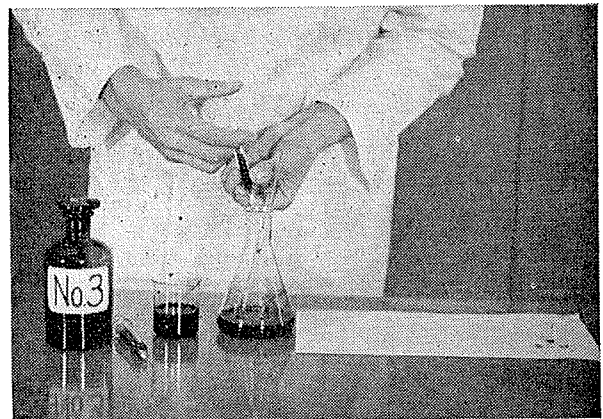


写真-16 試薬 No.3 を注射器で 1ml 入れる(試験2, 2.9)

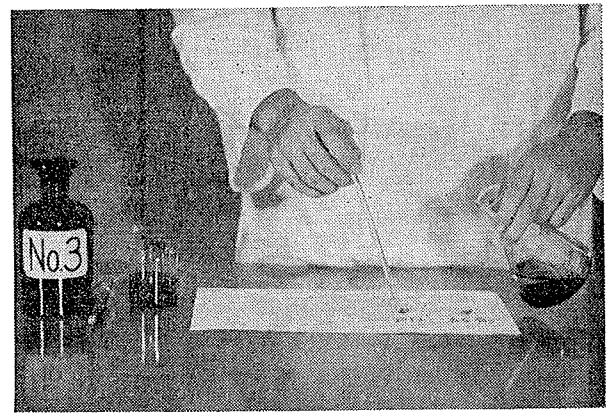


写真-17 口紙上に1滴とり、水の色を観察する(試験2, 2.10)

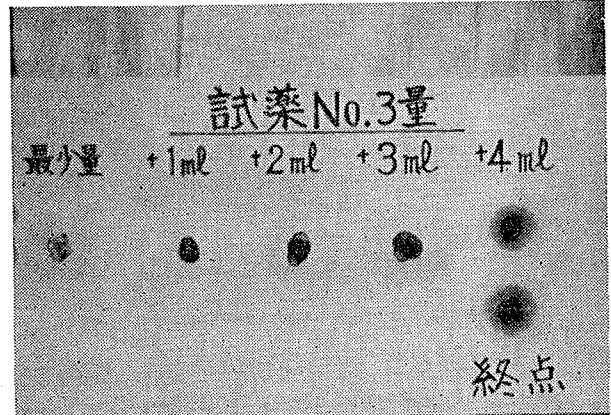


写真-18 終点を判定した1例(試験2, 2.12)

おれば、操作2.9以下をくり返す。

2.13 ロ紙上の水の色が空色になるに必要な試薬 No. 3 の添加量から、微細粒子濃度を有効性判定用管理図を用いて計算する(図一1 参照)(注4)。

注1) 三角フラスコの内壁面に泥水試料がくっつかないように注意して入れる。

注2) 試薬 No. 3 の最少量の求め方。たとえば図一1の管理図において、微細粒子の最低限界濃度2%に相当する試薬 No. 3 量は7.7ml であり、小数点以下を切り捨てて、試薬の最少量を7ml とする。

注3) 試料は一般に希釈しないで試験に供して良い。しかし、試薬 No. 3 量が15ml を越える場合には、試料を2倍に希釈して実験をやり直す必要がある。その場合、上記の操作のうち、操作2.6、2.7、2.8を省略する。

注4) ロ紙上の水の色が空色になるに必要な試薬 No.3 の添加量(x ml)から、微細粒子濃度(y%)を次式によって計算することもできる。

試料原液を使用した場合  $y=0.3x-0.3 \sim y=0.3x$   
 原液を2倍に希釈した場合  $y=0.6x-0.6 \sim y=0.6x$   
 一般に現場では、安定性を考慮して微細粒子濃度として低い方の値を採用するのが良い。

(3) 判定法

微細粒子濃度が最低限界濃度(一般に1.5~3%の範囲)にあり、各現場に応じた適正濃度を技研より指示する)以下の泥水は使用不可と判定する(管理図参照)。

その濃度が最低限界濃度以上の泥水試料について、次の試験3を行なう。

3.5. 試験3 塩類濃度の測定と総合判定

(1) 試験用具および試薬(写真一19)

有栓メスシリンダー(50ml), メスシリンダー(500ml), ビーカー(50ml, 200ml, 500ml), 注射器(1ml, 青色の内筒), ポリ製洗浄ビン(500ml) など。

技研特製の試薬 No. 4 および蒸留水。

(2) 測定法

2.1 試験2の測定値に基づいて、微細粒子濃度が1~3%になるように泥水試料を希釈する。その希釈濃度を記録する。

2.2 調製された試料を25ml づつ10本の50ml 容有栓メスシリンダーに入れ、蒸留水を加えて約40ml にする(注1)(写真一20, 21)。

2.3 試薬 No. 4 を1ml 容注射器を用いて、それぞれ0.5, 1.0, 1.5……4.5, 5.0ml 加え、さらに蒸留水で全量を50ml にする(注1)(写真一22)。

2.4 これらメスシリンダーを手で50回激しく反転振トウし静置する。そして30分~2時間の間に図一2に基づいて懸濁状態の型を判別する(注2)(写真一23)。

2.5 この観察によって、懸濁状態 III 型を呈するに必要な試薬 No. 4 の最低量を求める。

2.6 管理図において、希釈試料の微細粒子濃度(2.1で求めている)の箇所横線を引き、II型とIII型との境界線との交点を求める(図一3 試験例参照)。

2.7 その交点より微細粒子濃度の横線上を2.5で測定した試薬 No. 4 の量だけI型(左方)の方へもどる。その点がこの試料の仮の存在位置である(注3)(図一3 参照)。

2.8 管理図中の斜線にそって仮の存在位置を通る曲線を引き、希釈前すなわち原試料の微細粒子濃度との交点を求める。この点がこの泥水の真の存在位置である(注3)(図一3 参照)。

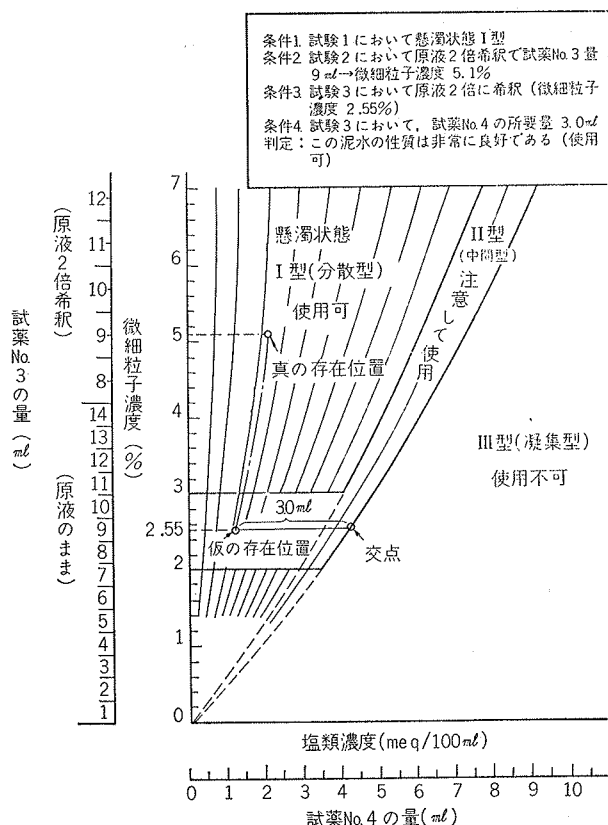
注1) 原則として有栓メスシリンダー数は10本、試薬 No. 4 の最高添加量は5ml である。泥水試料に応じて、これら値を減らすことができる。その操作法は別に説明する。

注2) 懸濁状態の型は1時間以内で判別される場合が多い。

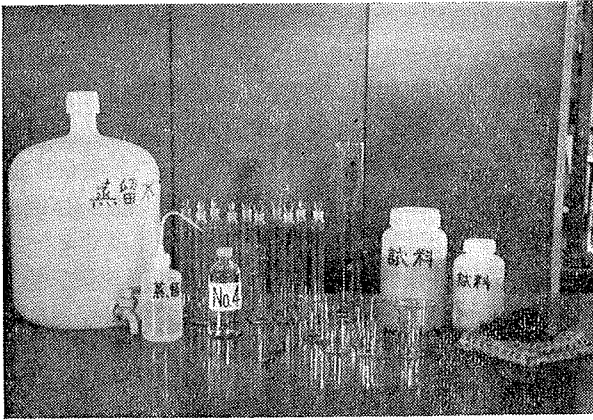
注3) 泥水に分散剤を添加している場合には、管理図の縦軸の左側に位置することもある。このことは、泥水がきわめて良好な分散状態にあることを意味する。

(3) 判定法

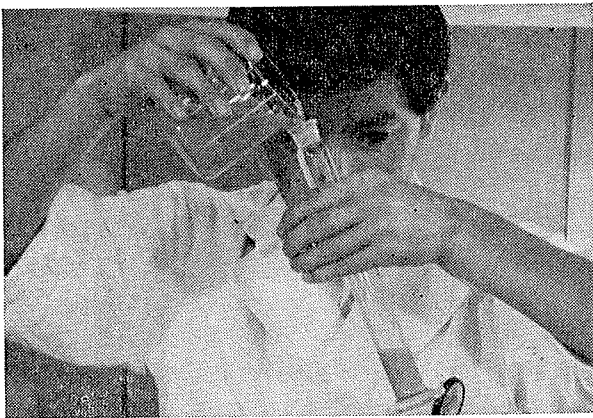
3.1 管理図上における泥水の真の存在位置がI型とII型の境界線よりI型の方(左方)に離れているほど、すなわち塩類濃度がうすいほど、また微細粒子濃度が濃いほど、泥水の性質は地盤掘削に対し良好である。



図一3 試験例



写真一19 試験3の用具と試薬



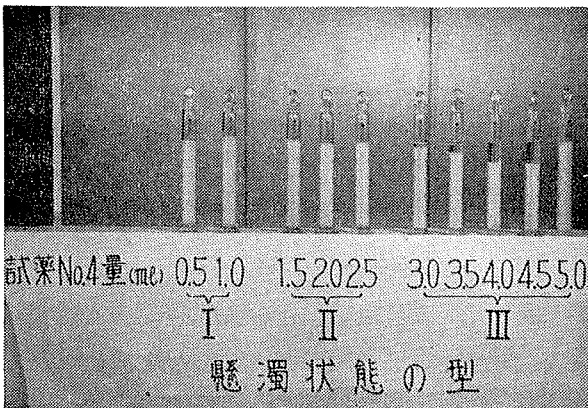
写真一20 既知濃度の試料を有検メスシリンダーにとる (試験3, 2.2)



写真一21 水を所定量注ぐ (試験3, 2.2)



写真一22 試薬No.4を注射器で入れる (試験3, 2.3)



写真一23 懸濁状態の型を判別する (試験3, 2.4)

る。

3.2 真の存在位置が管理図中のI型とII型の境界線に隣接もしくはII型の領域にある場合、ならびに微細粒子濃度が最低限界濃度に近い場合には使用にあたり細心の注意を要する。注意事項は技研より別に指示する。

### 3.6. その他

1. 本法の試験では、蒸留水を希釈水として用いることにしている。しかし、蒸留水を入手しがたい場合には技研の指示にしたがって、泥水作成用の清水を使用してよい。

2. 本判定法では試験1→2→3とそれぞれ判定しながら、必要ならば次の試験を行なう。そして、各試験の所要時間は、熟練すれば試料4点あたり1で約40分、2で約20分、3で約50分である。現在さらに迅速に判定できるように検討しており、第2報として発表する予定である。

### 4. まとめ

建設分野における泥水工法では、地盤掘削を安全に正確にそして経済的に行なうために、使用時の泥水の有効性すなわち使用可否とその良否の程度を判定することは極めて重要なことである。

しかし、施工現場のベントナイト泥水を調査した結果、従来の有効性判定の試験項目が妥当でないことが

判明した。そこで適切な試験項目として泥水の懸濁状態、微細粒子濃度、塩類濃度を提案し、泥水有効性の新しい簡易判定法を開発した。本法では、これら試験項目を化学的手法を導入して簡易に測定できるようにした。さらに、これらの試験項目を組合せて有効性判定用管理図を考案し、各項目の判定結果を管理図上にプロットし、泥水の有効性を科学的に判定できるようにした。

本測定法を当社のOWS工法の施工現場に適用し、成果をあげている。

終りに、当技術研究所の中田礼嘉職員、扇孝三朗職員、その他が試験に従事したことを付記する。

### 参考文献

- 1) 藤井清光：ボーリングに使用する循環流体の処理法（昭和32年）
- 2) 沖野文吉：掘鑿泥水の基礎と応用（昭和40年）
- 3) 喜田大三：泥水工法における泥水管理に関する研究（第1報）第1回土質工学研究発表会（昭和41年度発表講演集），昭41.11