

OWS・SOLETANCHE 工法の泥水粘度の現場調査と管理

— 泥水工法における泥水管理に関する研究 (第6報) —

喜 田 大 三
中 田 礼 嘉
扇 孝 三 朗

概 要

建設分野において泥水を用いて地中連続壁を構築する泥水工法では、泥水粘度は掘さく土の保持、運搬、適切な泥水比重の維持、逸泥の防止などの機能を発揮する重要な性質である。したがって、泥水を適切に管理するために、工事現場では粘度を常時測定する必要があるといわれている。

そこで、東京、横浜、大阪などの当社の OWS, SOLETANCHE 工法の施工現場において粘度の変動状況ならびに分布範囲を調査した。さらに、砂レキ地盤以外では、泥水の有効性すなわち使用可否の判定を粘度測定によって適切に行なうことができないことを明らかにした。

1. まえがき

泥水工法では、ベントナイト粘土の水懸濁液を主体とし、必要に応じて各種の無機・有機調整剤を加えた泥水を用いて、地盤を崩壊させることなく掘さくできる。これは、既報^{1,4)}で述べたように、ベントナイト泥水が有する特徴的な機能による。

ことに、本報で扱う泥水粘度は掘さく土の保持・運搬、適切な泥水比重の維持、逸泥の防止などの機能を発揮する重要な性質の1つであり、泥水材料の種類・濃度ならびに掘さく土、地下水およびセメントなどの混入によって変化する。したがって、泥水を適切に管理するために、工事現場では粘度を常時測定する必要があるといわれている。

そこで、当社の OWS, SOLETANCHE 工法の現場泥水について、粘度の変動ならびに分布範囲を調査し、粘度が管理項目として適切であるかどうかを検討した。その際、泥水の有効性判定に当社が採用している大林式泥水試験法による判定結果を参考資料とした。

さて、本報で述べる粘度とはファンネル粘度と呼ばれるものであり、API (アメリカ石油協会) 規定のファンネル (漏斗型) 粘度計で測定され、いわゆる見かけ粘度である。

そして、このファンネル粘度はプラスチック粘度とイールドバリュウの両方によって影響されるが、特にイールドバリュウに大きく影響を受ける。ここで、プラスチック粘度とは、泥水中に含まれる固体粒子 (ベントナイト、掘さく土粒子) 間の機械的摩擦、固体粒

子とそれを取り囲んでいる水との機械的摩擦ならびに泥水自体のせん断によって生ずる流動抵抗である。またイールドバリュウとは、泥水中に含まれる粘土粒子間のけん引力の大きさを流動下で測定した値であり、粒子間のけん引力は粘土粒子表面の性質、固体粒子の濃度および電気化学的性質などによって影響されるものである。

なお、本報の内容は第3回土質工学研究発表会³⁾ (1968.6) で発表した。

2. 調査現場の概要と調泥

地盤の性状が異なる東京、横浜、大阪の各地区の OWS (クラムシェル方式、非循環泥水)、SOLETANCHE (パーカッション方式、逆循環泥水) 工法の4現場を選択した。

調査現場の土質ならびに泥水工事の概要を表一1に示した。

そして、これら調査現場の調泥割合を表一2に示した。同表に示した調泥計画は現場の地盤条件および施工条件などを考慮して行なった。

3. 泥水試料と採取

表一3に示すような各種の泥水試料を昭和42年6～10月の間に採取した。

さて、良液槽、再使用液槽、廃液槽などの泥水の採取に際しては、採取前にスロップなどで泥水をよくかく

現場名	A	B	C	D	
場所	東京都港区	東京都千代田区	横浜市鶴見区	大阪市南区	
用途	仮設土留壁・地下外壁	仮設土留壁・地下外壁	土留壁・地下外壁本体	仮設土留壁	
工事規模	掘さく深度(m)	16.3	19.7	23.0	20.0~27.3
	壁厚(cm),延長(m)	50, 111	60, 331	60, 204	60, 151
	壁面積(m ²)	1,809	6,521	4,700	3,766
	設計掘さく容量(m ³)	905	3,913	2,820	2,159
	1パネル中のガット数	2	4	5	3,一部5,7
備考	大通りに面し,片側に地下2階・地上7階の建物に隣接	地下2階・地上12階の建物,高速道路(高架)河川に隣接	岸壁近くの平地で,直径68mの円形に施工	交通量の多い大通りで一部既設の地下鉄がある。	
掘さく機名	OWS	OWS SOLETANCHE	OWS SOLETANCHE	OWS	
土質	N値と柱状図				

表-1 工事現場の概要

材料	現場	A	B	C	D
ベントナイト	計画	銘柄 クニゲルV ₁ 濃度 8%	赤城 8	クニゲルV ₁ 0.3	赤城 10
	実施	銘柄 クニゲルV ₁ 濃度 8~6%	赤城 8	クニゲルV ₁ 9.0	赤城 10
	使用量	50 t	220	134	129
	C	計画	銘柄 AG-HH 濃度 0.05~0.025%	BH-600 0.05	帝石テルセロス* 0.1
M	実施	銘柄 AG-HH 濃度 0.05~0.025%	BH-600 0.05	帝石テルセロス* 0.07	帝石テルセロス 0.075
分散剤	計画	銘柄 ———	———	テルナイトFCL (炭酸ソーダ) 0.5%	(炭酸ソーダ) 0.3
	実施	銘柄 ———	———	テルナイトFCL 0.59%	(炭酸ソーダ) 0.3
	使用量	———	———	8.24 t	3.87
	*耐塩性CMC	———	———	———	———

表-2 各現場の調泥割合

記号	泥水の種類	記号	泥水の種類
●	ミキサー	△	OWS
○	良液槽	◇	SOLETANCHE (吸上げパイプ)
◎	再使用液槽	◆	SOLETANCHE (アンダーフロー)
⊙	廃液槽	◇	SOLETANCHE (トレンチリターン)
⊕	先行ボーリング	×	コンクリート打設

表-3 泥水試料の種類と記号

はんした。OWS 掘さくの泥水は掘さく機が駆動しているとき泥水面から試料を採取した。SOLETANCHE 掘さくの泥水はその循環過程(吸上げパイプ, アンダー・フロー, トレンチ・リターン)で採取した。また, コンクリート打設時には, 再使用液槽あるいは廃液槽

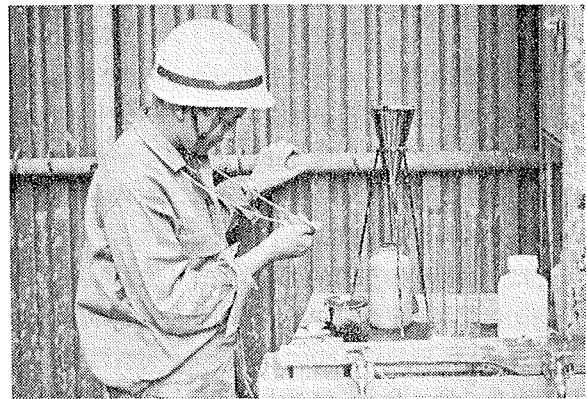


図-1 現場における粘度測定

に回収される泥水をコンクリート打設深度と関連させて系統的に採取した。

なお, 現場泥水の実態を調査するために約 550 個の試料を採取したが, 泥水粘度に関してはその内 155 個の試料を選択し測定に供した。

4. 試験項目と方法

(1) ファンネル粘度 (FV, sec./500ml/500ml) API 規格⁵⁾ のファンネル粘度計を用いて測定した。図-1 に現場における粘度測定を示した。

(2) 泥水比重 (γ_m , g/cm³) API 規格のマッドバランス⁵⁾ を用いて測定した。そして, 比重の値から全濃度 (C_t , 乾土・内割重量%) を次式から算出した。 $C_t = 160 \times (\gamma_m - 1)$ 。

(3) 砂分濃度 (C_s , 乾土・内割重量%) まず AP

I 規格の砂分測定器⁵⁾を用いて粒径 74 μ 以上の砂分の容量 (V_s , %) を測定し、次にこの値を次式から砂分濃度 (C_s) に換算した。 $C_s=1.4V_s$ 。

(4) 懸濁分散度 (S_m) 泥水有効性の迅速判定法²⁾の試験 1 に準じて、泥水の懸濁分散状態を観察した。

(5) 微細粒子濃度 (C_{M2} , 乾土・内割重量%) 泥水有効性の簡易判定法¹⁾の実験 2 に準じて測定した。

5. 粘度の分布範囲と変化

OWS, SOLETANCHE 工法で粘性土・砂質土地盤を掘さくする際の泥水粘度の大部分は21~40秒の範囲にあり、その粘度で安全に掘さくすることができた。この値は従来から推奨されているものよりも幾分低いものである。

また、掘さく時の粘度が粘性土地盤では良液槽のものよりも大きくなるが、砂質土地盤では逆に小さくなる現象について、二・三の検討を加えた。

そして、作成時、使用時において、粘度測定から泥水管理を行なうことが困難であることを明らかにした。

さて、図-2 に各現場における泥水の各種類ごとの粘度の分布範囲を示す。同図の直線のうち太い部分ほど、そこにより多くの試料が存在していることを示す。

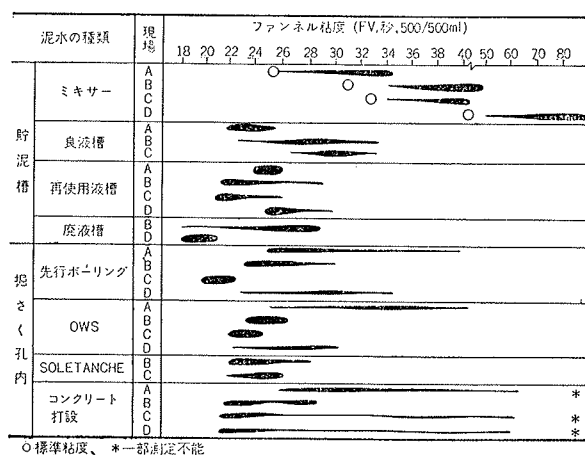


図-2 泥水の種類と粘度分布

5.1. 作成時の泥水粘度

泥水は現場の諸条件を考慮して調泥するので (表-2 参照), その粘度も現場によって当然異なっている。

さて、図-2 に示すように、ミキサー混練直後の粘度は、あらかじめ室内で同一調泥設計で作成した泥水の (標準) 粘度あるいは良液槽中の泥水のものに比べて大きく、しかも広範囲に分布している。このことは、1,000rpmで約10分のミキサー混練ではベントナイトおよび CMC などが十分に水和・溶解していなく、小さな塊が多数存在するため、それがファンネル粘度計の

先端つまってそのような誤差になったものと思われる。

ところで、ミキサー混練後の泥水を良液槽に数時間以上貯泥し、十分水和・溶解させた。この良液槽の泥水粘度は前述の標準粘度より小さく、またバラついている。このバラツキは作成時における泥水比重⁴⁾のそれと比べるとはるかに大きく、この事象は調泥剤の濃度のバラツキのみでは説明できなかった。

以上から、作成時の泥水濃度を粘度測定によって判定することはできないと判断した。

5.2. 掘さく時の泥水粘度

図-2 に示すように、非循環泥水を用いる OWS 掘さくの粘度は粘性土地盤の現場 A, B では21~40秒の範囲にあり、特に現場 B では23~27秒に分布していた。また逆循環泥水を用いる SOLETANCHE 掘さくの粘度は砂質土地盤の現場 C, D では21~28秒の範囲に分布していた。

ところが、泥水を管理するため工法や地盤条件に応じて表-4 に示す泥水粘度の値が従来から推奨されている。⁶⁾ そして、上記の実測粘度と表-4 のそれとを比較した結果、少なくとも粘性土・砂質土地盤では従来から推奨されている粘度よりも小さい粘度で壁面崩壊や逸泥などの事故もなく掘さくできることが判明した。なお、砂レキ土地盤では粘性土・砂質土地盤よりも大きい粘度を必要とし、現在調査している。これについては別に発表する予定である。

次に、掘さく時の泥水粘度は良液槽または標準の泥水粘度より大きくなる場合 (現場 A), 類似している場合 (B), 小さくなる場合 (C, D) が認められた。表-1 の土質柱状図から、現場 A は主としてシルト層, B はシルト層・砂層, C・D は砂層であり、上述の粘度変化に土質が関与していると推察される。

そこで、この事象の原因を以下に推察する。その主なる原因として、地下水による泥水の希釈効果すなわち粘度低下、および掘さく土の混入効果すなわち粘度増大などが考えられる。

まず、地下水による泥水の希釈効果による粘度低下について検討する。この効果は砂質土で顕著であり、粘性土で微弱であると推察される。すなわち、別の調査 (未発表) によれば、砂質土地盤では掘さく土中の地下水の約半分が孔内に取り残され、そのために泥水が希釈されるが、それに反して粘性土地盤ではこのような現象がほとんどなかった。

次に、掘さく土の混入効果による粘度増大について検討する。一般に固形分濃度を増すと粘度も増大するといわれているので、図-3 に示すように、固形分濃

泥水の使用法	地盤の性状	粘度(秒, 500/500ml)
循環する	砂まじり粘土 砂および玉石	30~35 50
循環しない	砂まじり粘土 砂および玉石 地下水多く 崩れやすい	35 70 100

表-4 必要な泥水の粘度 (藤井)⁶⁾

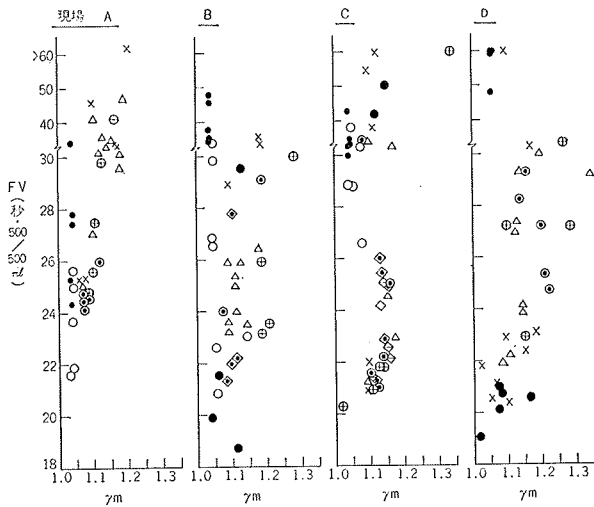


図-3 泥水の比重(γ_m)と粘度(FV)との関係

度(比重として表示する)と粘度との関係を調べた。図示したように、いずれの現場においても明瞭な関係が得られなかった。さらに、図示しないが、粘度に大いに関与する微細土粒子すなわち粘土・シルト固形分濃度と粘度との関係を調べたけれども、同様に明瞭な関係が得られなかった。したがって、混入土の量的効果から粘度増大を説明することができなかった。そこで混入土の質的効果すなわち混入土の界面化学的効果を考慮する必要がある。恐らく粘性土地盤では混入土の界面が活性であるために泥水を凝集させイールドバリューを高くしその結果ファンネル粘度を上げるが、砂質土地盤ではこのような影響は微弱であると思われる。これについては現在検討中である。

なお、図-3に示したように、泥水比重すなわち全固形分濃度と粘度との間に、さらに粘土・シルト分濃度と粘度との間に、明瞭な関係が得られなかった。したがって、泥水の粘度を測定することによって、混入土の多少を推定することは困難である。

5.3. コンクリート打設時の泥水粘度

図-2において、コンクリート打設時の泥水粘度は掘さく時のそれとほぼ同じであるか、あるいは一部異常に大きくなる傾向が認められた。この現象を図で説明する。

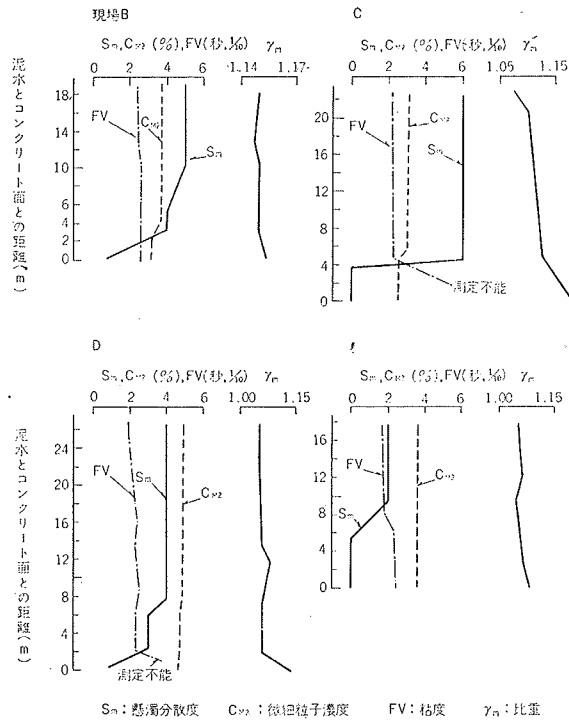


図-4 コンクリート打設時の泥水の諸性質の変化

図-4にコンクリート打設時の泥水の諸性質変化の代表例を示す。同図で現場C、Dのようにコンクリート接触面から2~5mの粘度が異常に大きくなり、ファンネル粘度計で測定できない場合がある。一方、現場A、Bのように粘度が大きくなる場合もある。

また同図において、泥水の懸濁分散度 S_m はコンクリートとの接触面近くで悪くなり、泥水は凝集する(S_m は小さくなる)。一般に未使用の泥水の粘度は S_m が小さくなると大きくなる。図-4に示す現場C、Dにおいてこの事象は認められ、A、Bでは認められなかった。恐らく、現場泥水の粘度にはその他の複雑な因子が関与するため上述の結果になったと推察される。

以上から、コンクリート打設時において、粘度測定から泥水の管理、すなわち泥水の劣化判定を行なうことが困難であると判断した。

6. 泥水の有効性判定と粘度測定

当社では、前述したように、泥水の有効性を大林式泥水試験法(簡易判定法¹⁾、迅速判定法²⁾、改良迅速判定法)で管理している。本試験法では泥水の懸濁分散度(S_m)と微細粒子濃度(C_{m2})を基本的な試験項目としている。しかし、従来から泥水の有効性を管理するためのもっとも重要な試験の1つとして、粘度の測定が推奨されている⁶⁾。そこで、当社の試験法による判定結果を概説し、続いてこの判定結果と粘度測定との関係について検討する。

まず、迅速判定法を現場泥水に適用した結果を表一

泥水の種類	使用可	使用不可	使用不可の内容		
			CM ₂	CM ₂ :Sm	Sm
貯					
ミキサー	100 %	0 %	— %	— %	— %
良液槽	100	0	—	—	—
再使用液槽	77.8	22.2	5.5	5.5	11.2
廃液槽	7.1	92.9	14.3	21.4	57.2
掘					
先打					
先行ボーリング	85.0	15.0	0	0	15.0
OWS	85.0	15.0	2.5	5.0	7.5
掘					
SOLETANCHE	63.1	36.9	21.0	10.5	5.4
掘					
コンクリート打設	55.2	44.8	3.4	6.9	34.5

CM₂ : 微細粒子濃度 Sm : 懸濁分散度
 総試料数 : 180(第5報⁴⁾の現場Eの泥水を含む)

表-5 泥水の種類と迅速判定の結果

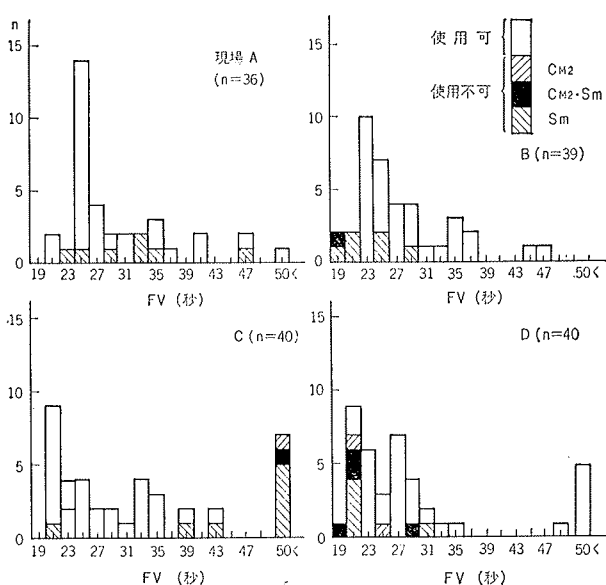


図-5 迅速判定の結果と泥水粘度 (FV, sec/500ml/100ml) との関係

5に示す。この表は調査現場の泥水の判定結果を種別ごとにまとめたものである。

同表では、ミキサーおよび良液槽の泥水は当然使用可である。再使用液槽の泥水の大部分は各現場とも管理が良くその約80%が使用可である。当然ながら廃液槽の泥水はほとんど使用不可である。

一方、掘さく中の泥水の63~85%が使用可である。ここで使用不可と判定される事態は、雨水・雑廃水などが流入した場合、再使用液槽の泥水のみを供給している場合などに発生した。現場では、掘さく孔内の泥水を適時試験し使用不可と判定された場合には、ただちに良液槽の泥水を補給したり分散剤を添加するなどの対策によって泥水を改良している。

また、コンクリート打設時の泥水の半分弱は使用不可となっている。これは、掘さく孔内の底部よりコンクリートを打設するので、孔内の深い部分の泥水はセメント溶出成分の拡散によって汚染されたためである。いうまでもなく、使用不可の泥水は廃棄処理している。

そして、注目すべきことに、使用不可と判定された

泥水の多くは懸濁分散度に起因していることが判明した。特にコンクリート打設時にはそれが明瞭である。

次に、大林式泥水試験法で基本的試験項目としている懸濁分散度および微細粒子濃度と泥水粘度との関係を調べた。一般に未使用の泥水では、懸濁分散度が小さくなるにつれてあるいは微細粒子濃度が高くなるにつれて、粘度は増大する。図示しないが、このような傾向は一部の現場泥水で認められたが、大部分の現場では明瞭でなかった。このことは、現場泥水の粘度にはその他の複雑な因子が関与していることを示唆している。

さて、泥水の有効性判定と関連して、図-5に前述の迅速判定法の結果と泥水粘度との関係を示す。

同図の現場B, Dでは、小さな粘度の泥水は迅速判定法でも使用不可となっている。また現場Cでは、大きい粘度の泥水は迅速判定法でも使用不可となっている。したがって、現場に応じて粘度の最低あるいは最高限界の基準を決めれば、泥水の使用可否を判定することが可能に思える。しかし、そのような基準で使用不可にならなかった泥水試料中にも迅速判定法で使用不可と判定されたものも含まれている。その上、そのような基準は現場によって異なっており、工事開始前にその基準を設定することは困難である。

したがって、粘度測定で泥水の有効性を判定することができないと判断した。

7. まとめ

建設分野における泥水工法では、泥水粘度は掘さく土の保持・運搬、適切な泥水比重の維持、逸泥の防止などの機能を発揮する重要な性質である。したがって、泥水の有効性を適切に管理するために、工事現場では粘度を常時測定する必要があるといわれている。

そこで、当社の OWS, SOLETANCHE 工法の現場泥水について、(ファンネル)粘度の変動ならびに分布範囲を調査して、泥水管理上、粘度測定が必要であるかどうかを検討した。その結果、次のことが判明した。

(1) 作成時における泥水濃度の管理に粘度測定は使用できない。

(2) OWS, SOLETANCHE 工法で粘性土・砂質土地盤を掘さくする際の泥水粘度の大部分は21~40秒の範囲にある。この値は従来から推奨されているものよりも幾分低い。一方、砂レキ地盤ではこの値より大きい値が必要である。したがって、掘さく中の粘度測定は砂レキ地盤を除いて必要でない判断した。

(3) 使用時の粘度は良液槽のものよりも大きくなる

場合、類似している場合、小さくなる場合が認められ、このような粘度変化に土質が関係していると推察した。

(4) コンクリート打設時において、粘度測定から泥水を管理することは困難である。

(5) 泥水の有効性すなわち使用可否と関連して、当社の大林式泥水試験法の適用結果と泥水粘度との関係を検討したが、両者の間に一定の関係が認められず、粘度測定で泥水の有効性を管理することができないと判断した。

終りに、泥水の試料採取ならびに調査に快く協力して下さった多くの現場職員の皆さんに、心からの謝意を表します。

参考文献

- 1) 喜田：泥水工法における泥水管理に関する研究（第1報）簡易有効性判定法，大林組技研所報 No. 1 (1966)，第1回土質工学研究発表会講演集（1966）
- 2) 喜田：泥水工法における泥水管理に関する研究（第2報）泥水有効性の迅速判定法，大林組技研所報 No. 1 (1966)，第2回土質工学研究発表会講演集（1967）
- 3) 喜田・扇・中田：泥水工法における泥水管理に関する研究（第6報）現場泥水の粘度の実態調査と管理，第3回土質工学研究発表会講演集（1968）
- 4) 喜田・中田・扇：泥水工法における泥水管理に関する研究（第5報）OWS, SOLETANCHE 工法の泥水比重の現場調査と管理，大林組技研所報 No. 3 (1969)
- 5) たとえば，沖野：ポーリング用泥水，技報堂，(1966)
- 6) 藤井：基礎工における地盤の安定(泥水工法)，理工図書（1966）