総 説

掘 さ く 泥 水 に つ い て

—作井工学と粉体工学—

田 中 彰 一*

Shoichi Tanaka

1. 泥水の機能と必要な性質

石油・天然ガス・地熱流体などの地下の流体資源の開発はロータリー式掘さく法で掘られた坑井により行なわれる。この坑井掘さくのさい地表と坑井内との間を循環して、以下に記すような種々な作用をする流体を掘さく泥水と称している。地下の条件によっては気体や泡なども用いられるので、掘さく流体(drilling fluid)の方がより適切であるが、通常は掘さく泥水(drilling mud)あるいは単に泥水(mud)と呼ばれている。近年泥水は土木方面でも用いられるようになり、この方面では安定液と呼ばれている。以下において土木方面の事柄には安定

液とし、他は泥水を用いる。

ロータリー式掘さくにおける泥水の循環系統を図1に示す。泥水はサクシヨントankよりポンプに入り、加圧されて送り出される。スタンドパイプとロータリーホースを経てスイベルに入る。スイベルは槽上部より滑車系で吊り下げられており、これに接続するケリー以下が、槽の床に置かれたロータリーテーブルにより回転される。ケリー、ドリルパイプおよびドリルカラーは中空の鋼管であり、泥水はこれらの鋼管の内部を通して坑底のビットへ送られる。ビットより坑底へ噴出された泥水は砕かれた岩石を保持しながら鋼管の外側を上昇して地表に戻り、フローラインを経て、マッドスクリーンで岩石の屑を分離してサクシヨントankに戻る。

土木建築の基礎工事において、無騒音無振動の工事が要求されるときに泥水を用いた掘さく工法が採用され、表1に示す2つの工法に分類される。安定液使用方法において静止とあるのは掘さく杭の内に安定液を充満し、循環することのない使用法をいい、正循環はロータリー式掘さくと同じく鋼管内部より外側へ流れる場合をいい、逆循環は鋼管の外側より内部へ流れる場合をいう。

基本的な泥水の機能は次の5項目である。安定液においても同様である。

- (1) ビットにより砕かれた掘屑を坑底より取り除き、地表まで運びあげる。
- (2) ビットで掘さくされた地層に圧力を加えることおよびその表面に薄い壁を作ることにより、地層の崩壊を防ぐ。
- (3) 高い圧力の地層流体が坑井内に流入するのを抑える。
- (4) ビットおよびドリルパイプなどの鋼管を冷却する作用およびパイプと岩石との間の摩擦を下げる潤滑作用をする。

- (5) 地下の状態を知る材料を提供する。

これらの機能を果たすために泥水(安定液)は次の性質

図1 泥水の循環系統¹⁾

* 昭和54年2月15日受理

** 東京大学工学部資源開発工学科(〒113 東京都文京区本郷7-3-1)
TEL03-812-2111

表1 主な安定液掘削工法

分類	工 法	代表的掘削方法	安 定 液 使用方法
場所打ち杭	アースドリル	回転バケット	静止
	イコス	衝撃ビット	正循環
	HW	ハンマークラブ	静止
	OWS	クラムシェルバケット	静止
	KCC	回転ビット, 衝撃ビット	逆循環
	利根式BH	回転ビット	逆循環
	ベノト工法	ハンマークラブ	(静止)
地中連続壁	リバース・サーキュレーション	回転ビット	(逆循環)
	アースウォール	クラムシェルバケット	静止
	イコス	クラムシェルバケット	静止
	エルゼ	衝撃バケット	静止
	OWS	クラムシェルバケット	静止
	KCC	回転ビット, 衝撃ビット	逆循環
	ソレタンシュ	衝撃ビット	逆循環
	利根式BW	回転ビット	逆循環

を持つ必要がある。

(1) 適当な比重を持つこと。この値が低すぎると、石油や天然ガスあるいは地下水が坑井内へ地層より流入する。これに対し適切な処置をとらないと、制御不能となり、暴噴事故となる。

(2) 適当な粘性を持つこと。掘屑を搬出するにはある程度の粘性を必要とするが、あまり高くすると掘進速度が低下する。

図2 安定液による泥壁の形成

(3) 泥壁(filter cake)を作る性質が良いこと。浸透性の高い地層の表面に泥壁を作り、地層が崩れるのを防ぐとともに、泥水が地層中に入るのを防ぐ。油層やガス層に多量の泥水が侵入すると、後で油やガスの産出性が損なわれることがある。

(4) 地層中の割れ目や疎層などの浸透性の大きな部分に流出しないこと（逸水をおこさないこと）。

(5) 物理的に安定していること。熱、圧力などの影響を受けにくいこと。

(6) 化学的に安定していること。熱、圧力、塩分などの影響を受けにくいこと。

土木建築の基礎工事においてもっとも重要なことは坑壁の崩壊を防ぎ、地盤を安定させることである。砂層などの浸透性の良い地層において安定液が坑壁の崩壊を防止する作用を図2に示す。安定液の組成は後述のように水とベントナイトを主体としている。このベントナイト液は掘さくされた砂層の中に侵入する。砂と砂の間の小さい間隙にベントナイト粒子が入り、やがて小径の所で閉塞を起こし、水と分離する。この過程で砂の表層内部および表面に泥壁が形成され、一種のデープフィルタとして作用し、泥壁を介して坑内と砂層内に差圧が生じる。この泥壁が保護膜となって砂が崩れるのを防止する。

2. 安定液の組成例

安定液の性質は地盤の状態、掘削機械および工事の条件などにより調節されるが、その組成の例を表2に示す。以下各成分について簡単に説明する。

(1) 水

水については不純物を含まない、中性のものが望ましい。塩水または海水を用いるとベントナイトの膨潤性に悪い影響を与えるので一般的には不適當である。

(2) ベントナイト

安定液の材料としてもっとも重要なものであり、適当な粘性と泥壁を作る性質を与える。品質のよいベントナ

表2 安定液の材料の例

物 質	成 分
ベントナイト	モンモリロナイトを主体とした粘土鉱物
パライト	硫酸バリウム
CMC	ナトリウム・カルボキシ・メチルセルロース
フミン酸系分散剤	ニトロフミン酸ソーダ
リグニン系分散剤	フェロクロムリグニンスルホン酸ソーダ (FCL)
逸水防止剤	パルプ、綿の実など

イトは水100lに対し8kgの混合で限界濃度になり、通常はそれ以下の4～6kgの濃度で用いられることが多い。

(3) バライト

安定液の比重を重くするのに用いる。水とベントナイトだけでは1.05g/cm³が限度であり、それ以上に重くしたいときに用いる。

(4) CMC

粘性の増加と造壁性の改善に用いられる。ときにはベントナイトを用いずに、CMCで間に合うこともある。

(5) フミン酸系分散剤

安定液の粘性の減少、セメントによる汚染の予防などに用いる。混合量は0.1～0.3%。

(6) リグニン系分散剤

セメントのカルシウムイオン、またはその他のイオンによるゲル化状態を改善するために使われる。

(7) 逸水防止剤

安定液が地層中へ多量に流出するのを防ぐために用いられる。

3. 泥水試験法および泥水の性質

泥水の試験法はアメリカ石油協会 (API, American Petroleum Institute) により規格が定められている。主な項目は次のようである。

1. 比重
2. 粘性
3. 脱水量および泥壁の厚さ
4. 砂分
5. 固形分、ベントナイト分、油分、水分
6. pH
7. アルカリ度(p_m, p_r)
8. 塩分濃度
9. 潤滑性

図3 じょうご型粘度計とその使い方²⁾

これらのうちより若干の項目について詳述する。

(1) 粘性

現場における泥水の管理は比重と粘性により行なわれるが、粘性の測定にはじょうご型粘度計 (Marsh funnel viscometer) を用いることが多い (図3参照)。石油井などの掘さくのさいは、1,500ccの泥水のうち946ccが流出する秒数をもって粘性を表わし、API秒と呼ぶ。安定液の管理には500ccの泥水が全部流出するに要する秒数を用いている。このじょうご型粘度計は簡単なうえ、案外正確で実用的には十分役立つものであるが、より詳細な泥水の管理には下記のファン V-G メーター (Fann V-G meter) を用いる。

泥水の流動性のモデルとしては次の3つがよく用いられる。

$$\begin{aligned} \text{ニュートン流体} & \quad \tau = \mu \dot{e}_t \\ \text{ビンガム流体} & \quad \tau = \mu_{pl} \dot{e}_t + \tau_y \\ \text{擬塑性流体} & \quad \tau = K_v' \dot{e}_t^{n'} \end{aligned}$$

ここで τ = ずり応力, $\dot{e}_t$ = ずり速度, μ = ニュートン粘度, μ_{pl} = プラスチック粘度, τ_y = イールドバリュ, K_v' = コンシステンシーインデックス, n' = フロー ビヘ

図4 泥水の流動曲線

PV : プラスチック粘度 YV : イールドバリュ
CS : ゲルストレングス AV : 見掛け粘度

図5 ファンV-Gメーター

ビ ア イ ン デ ッ ク ス

一般に泥水はビンガム流体と擬塑性流体の中間の流動性を示し(図4), 4つのパラメータでその流動性を示している。ずり速度が大きい所ではビンガム流体で近似され, プラスチック粘度(PV) とイールドバリュ(YV) でそれを表わす。静止状態より力を加えて行き, ある大きさのずり応力に達すると流動を始める。この点をゲルストレングス(GS)と呼んでいる。ニュートン流体との対比を行なうのに便利のように原点と流動曲線の任意の点とを結ぶ直線の勾配より見掛け粘度(AV)を計算することもある。

これらの泥水の流動性の指数を測定する装置としてファン V-G メーターを用いる。これは図5に示すように外筒回転の回転粘度計であり, 回転数は3, 6, 100,

図6 ベントナイトのイールド曲線¹⁾

200, 300 および 600rpm の 6 段変速になっている。この粘度計は測定部の幾何学的寸法が巧みに設計されており, 簡単に前記の 4 つのパラメータを求めることができる。

$$PV(cp)=\theta_{600}-\theta_{300}$$

$$YV(lb/100ft^2)=\theta_{300}-PV$$

$$GS(lb/100ft^2)=\text{静止状態より } 3rpm \text{ で回転しはじめた時の目盛の最大値}$$

$$AV(cp)=\frac{1}{2}\times\theta_{600}$$

ここで $\theta_{600}=600rpm$ のときの回転粘度計の読み, $\theta_{300}=300rpm$ のときの回転粘度計の読み, なお, ゲルストレングスはかくはん後10秒静置した後測定したものを10秒ゲルストレングス, 10分間静置した後測定したものを10分ゲルストレングスと呼び, 両者の比較によりシクソトロピーの性質の目安としている。

泥水の粘性が低いほど掘進速度は良くなる。これは坑底において生成された掘屑を除去する作用がレイノルズ数が大きい程良くなることによる。ドリルパイプなどの外側と坑壁の間を通過して掘屑を地表に搬出するにはある程度の粘性を必要とする。泥水の循環が停止したさい坑井内を上昇中の掘屑を保持し, 坑底に沈殿するのを防ぐにはゲルストレングスが有効である。これら2つの相反する要求を満たすよう粘性を調節する必要がある。

泥水に用いるベントナイトの品質の判定法は種々あるが, その一つにイールドがある。乾燥粉末ベントナイト 1t 当りプラスチック粘度 8cp の泥水ができる容量 kl である。以前は V-G メーターの代りに内筒回転の回転粘度計を用い, これで 15cp の粘度を基準にしていたが,

図7 ろ過試験装置

表3 石油坑井掘さく用ベントナイトの基準(1)

“イールド”	13.5kl以上
プラスチック粘性	8センチポイズ以上
イールドバリュウ	10lb/100ft ² 以下
脱水量	10cc以下
泥壁	0.5mm以下
pH	8.0~10.0

このストーマー粘度を用いた各種粘土のイールド曲線の例を図6に示す。粘土の種類により粘性が大きく異なることが分かる。掘さく用粘土は前記のような機能が要求されるので、特に品質のよいベントナイトが用いられており、その基準を表3に示す。

(2) ろ過試験

泥水の造壁性の重要性は先に記したが、その性質の目安としてろ過試験を行ない、ろ過水と泥壁の厚さを測定する。ろ過試験装置を図7に示す。容器の底には金網とろ紙(東洋濾紙 No. 4)をしき、泥水を290cc以上入れる。圧力7kg/cm²で30分間加圧し、その間のろ過水量とろ紙上の泥壁の厚さを測定する。安定液の測定には3kg/cm²の圧力を用いる。石油坑井の掘さく用の泥水は表3に示すようろ過水量(脱水量)が10cc以下、泥壁の厚さ0.5mm以下のものが要求される。これは砂層などにおいて薄くて丈夫な泥壁を作り、崩壊を防ぐためである。泥壁が厚くなるとビットなどの器具類の昇降に支障をきたし、坑内事故の原因ともなる。油層やガス層を掘る場合はさらに厳しい条件がかせられ、ろ過水量をたとえば5cc以下にすることなどが要求される。この条件を満たすにはベントナイトのみでは不可能であり、CMCその他のろ過水調節剤を加えて調泥を行なう。水分を吸収して膨潤する性質のある頁岩や泥岩を掘るときはさらに厳しい制約がろ過水量にかせられ、泥水の主成分である水の代りに油を用いたり、エマルジョンを用いたりすることがある。

(3) 砂分

200メッシュ(0.074mm)の篩を用い、容量%で砂分を表わしている。

(4) 固形分

砂分を除いた泥水中的の固形分の割合をソリッドコンテンツと呼んでいる。この固形分はベントナイト、バライト、岩石の砕かれた微粒子より成っている。固形分は粘土を中心とした低比重固形分(平均比重2.6)とバライトの高比重固形分(平均比重4.25)とに分けられる。泥

水の性質はベントナイトの品質に左右されるが、岩石の微粒子(たとえばシルトやその他の粘土分)が混入ことは、いわば品質の悪いベントナイトを用いるのと同じことであり、掘進速度の低下、粘性の異常な上昇などの障害を起こす。

ベントナイトの含有量は、ベントナイトの塩基交換容量と表面積の大きいことを利用して、メチレンブルーの吸着量より求めている。

(5) イオンの影響

ベントナイトは水に分散されると表面は負に帯電し、その周辺に陽イオンを吸着して拡散電気二重層を形成している。泥水に用いられるベントナイトはNaモンモリロナイトを主成分としているが、このNaイオンは泥水中に多量の他のイオンが加わるとそれにより置換されたり、異付号のイオンに合うと中和されたりして様々な挙動を示す。

石油井は必要に応じてケーシング(鋼管)を降下し、地層との間にセメントを詰めて、保護枠とする。土木建築の基礎はセメントで固められる。これらの作業に伴ない泥水中にセメントが混入し、NaイオンがCaイオンに置換されることがある。地下深部の地層水は数1,000ppmから数10,000ppmの塩分を含んでおり、これらも泥水に影響する。一般にこれらのイオン置換により、ベントナイト粒子の凝集が起こり、ろ過水の増加、泥壁の厚さの増加が起こり、泥水の性質が悪化する。また多くの場合泥水の粘性も急増する。これらの対策として、先じめ特定のイオンを加えておいたり、粘性降下剤で凝集したベントナイトを分散させたりする。

ベントナイトの主成分であるNaモンモリロナイトは淡水と混合すると水を吸収して膨潤し、やがて分散して行く。地層中の泥岩中のモンモリロナイトも同様に泥水中的の水分を吸収して崩れてくる。これが泥岩の崩壊である。また泥岩の微粒子が泥水中に分散して、泥水の悪化をもたらす。これらの泥岩の膨潤を阻止し、泥化を阻止するよう特定のイオンを加えた泥水を抑制作用のある泥水(inhibited mud)と呼び、通常の泥水を分散性の泥水(dispersed mud)と呼んでいる。泥岩の微粒子の泥化を防ぎ、固形分の含有量を低く保った泥水は掘進速度に良い影響を与えることが知られており、その例を図8に示す。

(6) 潤滑性

掘さく中にドリルパイプとケーシングあるいは坑壁が接触することはしばしばあり、特に傾斜掘においてはそうである。このさい泥水はそれらの間にはさまり潤滑剤として作用するが、この潤滑性は泥水の組成、薬品の種

図8 固形分の掘進速度(掘進率)におよぼす影響¹⁾

図9 泥水の潤滑性を測るEPテスト⁶⁾

類に関係し、図9に示すEPテストで測定される。テストピースを60rpm、150in-lb (720psi) の圧力で押し付け、潤滑係数を測定する。その測定例を表4に示す。

(7) 泥水の流動性の例

ロータリー式掘さくの泥水循環系において泥水のうけるずり速度の範囲と粘度計の測定範囲を図10に示す。ドリルパイプの中では流速とパイプ径によるが $100 \sim 6000 \text{ sec}^{-1}$ の範囲のずり速度となり、ビットノズルから噴出して坑底面を洗浄するさいは $10,000 \sim 1,000,000 \text{ sec}^{-1}$ 、掘屑を保持してドリルパイプと坑壁の間(annulus)を上昇するときには $10 \sim 600 \text{ sec}^{-1}$ 位のずり速度となる。ファンV-Gメーターは $5 \sim 1,020 \text{ sec}^{-1}$ の範囲しか測定できず、それ以上の範囲の測定は図11に示す毛管粘度計で行なう。ファンV-Gメーターおよび毛管粘度計によるアタパルジャイト泥水の測定例を図12に示す。同図の左下よ

表4 泥水の潤滑係数の例(6)

泥水の種類	潤滑係数
淡水泥水	
1. 低比重泥水	0.44
2. 高比重泥水	0.34
淡水泥水、ポリマー添加	
1. 低比重泥水	0.17
2. 高比重泥水	0.25
オイルベース泥水	
1. 低比重泥水	0.08
2. 高比重泥水	0.12
ベントナイトおよび泥岩粉末添加	

り右上りの曲線がずり応力とずり速度の関係を示し、それを粘度に換算したものを左上から右下への曲線で示す。泥水はこれより明らかなように粘度はずり速度が増加すると低下する非ニュートン性流体であり、この現象をシアシンニング(shear thinning)と呼んでいる。掘進速度に関係するのはビットにおける粘度であり、こ

図10 循環中に泥水のうけるずり速度と粘度計の測定範囲⁵⁾

図11 毛管粘度計の概要⁵⁾

図12 アタパルジャイト泥水の流動性
毛管粘度計 (○ と △) と V-G メーター
(+) による測定値⁵⁾

図13 各種泥水のビットおよび環状部における
流動性の比較⁵⁾

- 1 : 薄いベントナイト泥水
- 2 : ベントナイト泥水
- 3 : ポリマー溶液
- 4 : アタパルジャイト泥水

このずり速度の平均を $30,000 \text{ sec}^{-1}$ とすると、ここにおける粘度は図12の泥水では 3 cp である。掘屑の搬出に關係する環状部のずり速度の平均を 100 sec^{-1} とすると同図の例では 125 cp である。このようにビットにおいては低粘度であり、環状部においては高粘度である泥水は、粘性の面からすれば掘さく泥水として適した性質を持っているといえる。若干の泥水について 100 sec^{-1} のずり速度の粘度と $30,000 \text{ sec}^{-1}$ のずり速度における粘度とを比べたのが図13である。ニュートン流体の粘度はずり速度により変化しないから 45° の破線で示される。前記のように右下にくるものほど粘性については適した泥水といえる。同図ではベントナイト泥水よりアタパルジャイト泥水の方がはるかにすぐれていることを示している。掘さく泥水としての必要な性質は前記のように粘性の他に造壁性も大切である。これらを総合して泥水の良否が決められるが、少なくとも粘性に関してはベントナイトより

図14 泥水の粘性におよぼす温度の影響⁷⁾

A : 比重2.16のウォーターベース泥水

B : 比重2.1の逆エマルジョン泥水(水分12%)

アタパルジャイトの方が良いといえる。アタパルジャイトやセピオライトは熱に対する安定性が良く地熱井の掘さく泥水に用いられる。

(8) 高温高圧下の性質

掘さく深度が増すと温度と圧力が比例して高くなり、地熱井においては浅い深度から高温になる。一般に泥水は高温になると粘土粒子の凝集が起り、分散剤の機能が劣化して低下する。粘性、イールドバリュが増加し、ろ過水も増加する。これらの高温高圧の坑井内条件を実験室内で再現することは非常に困難であるが、その努力はなされている。V-Gメーターを高温高圧にした粘度計が開発されており、その仕様は次のようである。最高測定温度 500°F (260°C)、最高測定圧力 $1,000 \text{ psi}$ (70 kg/cm^2)、ずり速度 $0 \sim 1,100 \text{ sec}^{-1}$ 、ずり応力 $0 \sim 10,000 \text{ dynes/cm}^2$ 。高温高圧下のろ過試験は 300°F (150°C)、 300 psi (35 kg/cm^2)、30分の条件で行なわれている。高温高圧下の泥水の測定例を図14に示す。上図はベントナイトにバライトを加えた通常の高比重淡水泥水(比重2.16)であるが、温度が 250°F (120°C) 以上になると泥水のゲル化が進行し、使用不能になる。下図は12%の水

を油中水滴型のエマルジョンとして含む高比重逆エマルジョン泥水（比重 2.1）の例であるが、420°F（215°C）までは使用可能なことを示す。これらは高温においても有効な分散剤の開発の必要性を示している。

4. 泥水の種類

アメリカの石油協会（API）および国際掘削請負業者協会（IADC, International Association of Drilling Contractors）による泥水の分類を示す⁴⁾

A ウォータベース泥水（水が連続相であるもの）

A-1 低 pH

(1) 淡水を用いた泥水。pH が 7～9.5 で塩分濃度が低いもの。

(2) 塩水あるいは海水を用いた泥水。pH は 7～9.5。

(3) 飽和塩水泥水。NaCl で飽和した泥水。淡水泥水あるいは塩水泥水より作られる。

(4) 石膏により処理された泥水。泥水に石膏を加えて作られる。Na モンモリロナイトは Ca モンモリロナイトに転換される。

A-2 高 pH

(1) 石灰により処理された泥水。pH は 11 以上。

(2) 淡水を用いた泥水。薬品処理により pH が 9 以上のもの。

A-3 低固形分システム

(1) 低固形分泥水。固形分の含有量が 10%wt 以下のもの、あるいは泥水比重が 1.14 以下のもの。

A-4 オイルベース泥水（油が連続相で水が分散相のもの）

(1) 逆エマルジョン泥水。水分は 50%vol まで。

(2) オイル泥水あるいはオイルベース泥水。使用開始時に水を含まない泥水あるいは 1～5 % 位の水をエマルジョンの形で含むもの。

A-5 空気、ガス、ミストシステム

(1) 空気、ガス、ミスト。空気あるいはガスを用いるが、掘さく中に地層から水が多少混合するときには発泡剤を加えてミストにする。

5. 調泥剤

泥水の主成分は水とベントナイト、あるいは油とアスファルトであるが、性質の調節に次のような薬品類が用いられる。

(1) アルカリ度、pH の調節剤。石灰、苛性ソーダおよび重炭酸ソーダが用いられる。

(2) バクテリアを殺す薬品。パラホルムアルデヒド、苛性ソーダ、石灰、および澱粉の防腐剤が用いられる。

(3) カルシウム分除去剤。硬石膏および石膏として地層より泥水に入ってくる硫酸カルシウムを除去するもので、苛性ソーダ、ソーダ灰、重炭酸ソーダ、ある種のポリリン酸塩を用いる。

(4) 防食剤。水和石灰やアミン塩が用いられる。適当量のコロイド分、ある種のエマルジョン泥水やオイル泥水はそれ自体ですぐれた防食効果を持つ。

(5) 消泡剤。塩水あるいは飽和塩水を用いるときに発生しやすい泡をけすのに用いる。

(6) エマルジョン化剤。改良したリグノサルホネイト、表面活性剤が用いられる。

(7) ろ過水減少剤。ベントナイト、CMC、澱粉などが用いられる。

(8) 凝集剤。ゲルストレングスを増加するためにまれに用いられる。また塩水、水和石灰、石膏、サジウムテトラホスフェイトなどは泥水中の固形分を凝集し沈殿除去するのに用いられる。

(9) 発泡剤。水の存在で発泡する表面活性剤。水を含む地層を空気またはガスで掘るとき用いる。

(10) 逸水防止剤。逸水層を閉塞するのに用いる。

(11) 潤滑剤。ある種の油、グラファイト粉末、ソープなどが用いられる。

(12) シェルコントロール抑制剤。頁岩あるいは泥岩が膨潤や水和泥化により崩壊するのを抑制するのに、石膏、サジウムシリケート、カルシウムリグノサルホネイトなどが用いられる。

(13) 表面活性剤。

(14) 粘性降下剤あるいは分散剤。凝集した粘土粒子を分散して粘性を下げ、イーロードバリュを下げることになり、タンニン、ポリリン酸塩、リグニンなどが用いられる。

(15) 増粘剤。ベントナイト、CMC、アタパルジャイトなどが泥水の粘性をあげるのに用いられる。

(16) 加重剤。主としてバライトが用いられる。

泥水は地層の状況、掘さく目的により選択され、坑内状況に応じて調節される。したがって泥水の取り扱いには専門の技術サービス会社により行なわれるのが普通である。わが国では幹テルナイトが調泥剤の製造から技術サービスまで行なっており、調泥剤の輸入販売は数社が行なっている。ベントナイトの製造は数社が行なっている。

泥水の値段は坑内状況により変化し、地域により差があるが、坑井 1 m 当り数万円に達することもある。アメリカの統計でも全坑井掘さく費のうち泥水費は約 6.9 % を占めている。参考までにあげるとアメリカの石油井の

図15 坑井元における泥水処理施設の例⁸⁾

掘さく費の平均は 29,700 円/m (1\$=200 円) である⁹⁾。

6. 調泥用機械

掘さく深度 6,000m 級の掘さく装置の泥水循環および処理施設の地表における配置の例を図15に示す。泥水は右下の 1300HP リグポンプより加圧されて右上で坑井内に送り込まれる。坑井内より戻って来た泥水はシュールシェーカで掘屑(cuttings)を分離し、泥水はマッドデッチを通して左下のサクシヨントタンクに送られる。サクシヨントタンクよりポンプを経て坑井へ循環される。サクシヨントタンク内の泥水の性質を調節するための調泥剤の添加は右側のマッドポッパで行なわれる。ここにはノズルがあり、泥水は調泥用の遠心パイプ E、B、C などで加圧されてノズルより高速で噴射される。この減圧作用と

かくはん力で調泥剤のかくはんを行なう。泥水は適宜クッションタンク以外のタンクに送られ、ガス抜きや砂の除去を行なう。主な調泥装置について簡単に説明する。

- (1) シェルシェーカー (マッドスクリーン)

泥水から掘屑を除去する装置で、金網を振動させて泥水と掘屑を分離する。金網は24〜32メッシュで、2〜3 HP モータを設えており、3〜4kl/min の処理能力がある。最近ではメッシュの異なる金網を二段にして用いるダブルデッキシーカーが使われ出した。

- (2) デサソダーおよびデルシター

泥水中の砂分およびシルト分を除去する装置で、液体サイクロンを数個組合せたものである。一般にデサnderが 6in コーンで、デシルターは 4in コーンである。

デサnderは74 μ 以上の砂分の90%を除去する。泥水処理量は2.8kg/cm²のチャージ圧でコーン1個につきデサnderが約0.42kl/min, デシルターが約0.18kl/minである。

(3) クレイジェクター

バライトを多量に含む高比重泥水に使用し、泥水中のクレイ分を除去する装置であり、サイクロンをタワー状に組み、主に高価なバライト分を回収してそれ以外の粘土分を捨てる方式である。地層の粘土分の泥化により泥水の粘性が著しく高くなる坑井においては特に必要とされる。

(4) デカンター型遠心分離機

クレイジェクターと同じ働きをする装置であるが、水の添加の必要がなく、粘土と水を除去して高比重化を

はかることもできるし、逆に固形分を除去して低比重にすることもできる。

(5) デガッサー

泥水中のガス泡を分離する装置であり、減圧ピット方式が主として用いられている。

石油・天然ガス・地熱流体の開発および土木建築の基礎工事に用いられている泥水について簡単に解説いたしました。泥水技術は調泥剤の開発の面とそれらの現場での使用技術とに大別され、前者は主として化学会社の領域に属し、後者は石油会社や土木会社の領域に属しています。この両者の協力により、より良い調泥剤が開発され、坑井の掘さくが経済的にかつ安全に行なえるようになることを希望します。

参 考 文 献

- 1) 沖野文吉：“ボーリング用泥水”(1965) 技報堂
- 2) 藤井清光：“基礎工における地盤の安定”(1966) 理工図書
- 3) 石油技術協会編：“日本の石油鉱業と技術”(1973)
- 4) “Guide to Drilling, Workover and Completion Fluids” World Oil, June, 1978, p. 49
- 5) Combs, G. D. : “New Testing Tool Improves Mud Control, Penetration Rate” Oil and Gas Journal, Oct. 2, 1967, P. 122
- 6) Mondshine, T. C. : “How to Measure and Improve Lubricity of Drilling Muds” World Oil, Aug. 1, 1971, p. 43
- 7) McMordie, Jr., W. C. : “Viscometer Tests Mud to 650°F” Oil and Gas Journal, May 19, 1969, p. 81
- 8) Records, L.R. : “Mud Systems and Well Control” Petroleum Engineer, March, 1972, p. 72
- 9) “Increasing Drilling Costs Reflect High Activity” World Oil, Feb. 15, 1978, p. 103

著 者 略 歴

昭和32年 東京大学工学部鉱山学科卒
35年 東京大学工学部助手
38年 東京大学工学部講師
43年 東京大学工学部助教授
工学博士