

10. 壁をつくるための掘削 (その 1)

「土と基礎」講座委員会

10.1 まえがき

ここで取り扱う壁をつくるための掘削とは、地盤を壁状または柱状に掘削し、この中にコンクリートを打設することを繰り返すことによってコンクリートあるいは、鉄筋コンクリート壁体をつくるための掘削に限っており、パイプを布設するためのミゾの掘削などは含まないものとする。したがって、本章における壁をつくるための掘削工法の多くは、泥水（重水ともいう）を使用して、掘削表面の安定を計るものであって、この泥水と置き換える状態でコンクリートが打設される。なお、この泥水は掘削時に土を排出するための循環流体としても使用されることがある。前 9 章において、柱状の掘削を行なうため、同様の泥水を用いるものが含まれていたが、泥水工法に関する事項は、便宜上ここで一括して取り扱うこととした。

ボーリングを行なうときの循環流体として泥水を水の代りに使用すると、掘りくず（スライム）を地上に排出する役目のほかに、地盤の崩壊を防いだり、地下水などの噴出を止める作用のあることが古くから認められていた。日本では上総（カズサ）掘りなどがこれに相当する。とくに、油井ボーリングでは、口径が比較的大きく深さも最も深い、崩壊のため掘れなかった地層を掘り抜くために、泥水に関しとくに多くの研究が行なわれている。

土建関係の工事に泥水が使用されるようになったのは、1930 年代以降のことで、1950 年代から欧米で、また、1960 年代では日本で多くの工法に泥水が用いられるようになった。しかし、油井ボーリングと比べて崩壊をとめなければならぬ時間が短かいうえに、現象が複雑であるので、泥水に関する研究は、それほど行なわれていない。

本稿の泥水に関する事項は、必ずしも現在の段階で基礎工法にすべて適用されているわけではないが、現状では、あまりにも経験とカンに頼りすぎるきらいがあるので、将来、少なくとも進むであろう方向と、泥水の性質および工法の理解に必要と思われるものについては、油井技術文献^{1)~5)}から借用して示すこととした。われわれ

が使用する条件、とくに鉄筋コンクリートと置き換えること、泥水にセメントの混入が避けられないことなどの特殊性から、油井に使用する泥水の考えをそのまま適用すると、かえって誤りを生むことがあるかも知れないが、この点を十分に含んでおいていただければ幸いである。なお、基礎関係では、経済性と時間の点から、ほとんどベントナイト泥水（近いうちには CMC 泥水が多く用いられるようになるかも知れない）に頼らざるを得ないであろうので、これに限って述べることとした。

壁をつくるための掘削工法の種類はきわめて多いが、それぞれの工法の基本となる方法のほかに、多種多様な地盤に適合するため、いろいろの補助手段がある。これらを含めると、すべての工法は、ほとんど共通の内容のものをもっていいと考えてよい。したがって、それぞれの工法で特徴のあるところとして詳述した個所が、決して他工法の類似のものよりすぐれているわけでないことをはっきり断っておきたい。どの工法を採用するかは、それぞれ工法がどのような条件を主体として考案されたかなどによって決定されるべきものであろうと考える。

10.2 泥水について

10.2.1 泥水工法の基本的問題について

(1) 泥水工法の概念

泥水が柱状の掘削と壁状の掘削に使用されているが、そのおもな目的は次のようなことにある。

- (i) 掘削した地盤の表面を安定に保つ（崩壊を防ぐ）
- (ii) 掘削した土砂を運び出す（循環流体となる）。

表面を安定に保つ泥水の働きは、次のような作用から成り立つであろう。

- (i) 表面に膜あるいは壁をつくり、肌落ちを防ぐ。
- (ii) 地下水の流出をおさえる。
- (iii) 土圧と反対方向の力を加え、あるいは土圧を減少させる。

また、掘削した土砂を運び出す働きは、次のような段階で果している。

- (i) ある流速があれば砂レキなどを浮遊させるほか、静止しても細かい粒子の沈殿を妨げる。

講座

(ii) 適当な方法で土砂を分離することができる。

以上の機能を泥水が静止あるいは流動（循環させる）した状態の下で果した後、最終的には掘削した地盤内にコンクリートが打ち込まれ、泥水と置き換えられる。

(2) 壁の崩壊を防ぐ作用

崩壊を防ぐ作用の大部分は、地表面より水位を高くした静水によってもある程度は行なうことができる。しかし、泥水は比重が大きいので水位を上げる必要がなく、また、土砂の表面から地盤内に侵入して、土粒子間を結合させ、あるいは、表面に膜または壁（ベントナイトケーキあるいはケーキとも呼び、厚さは 1~2 mm ほど多いことが多い）をつくって、肌落ちを防ぐとともに、地下水の通過を妨げる（透水係数が 10^{-8} ~ 10^{-9} cm/sec のオーダー）ことができる。泥水の侵入する深さは、大粒の砂レキのとき壁面から 50~200 cm、中砂のとき 40 cm、細砂のとき 2~3 cm 位である。また大きな浮力（泥水の比重は 1.05~1.10 のことが多いが、1.5 以上にすることもある）の作用と土粒子の結合によって土圧を減少させ、また、泥水圧によって、土圧と反対方向の力を加え、土が移動し崩壊するきっかけを少なくすることができる。

この現象の一部は、図-10.1 のような簡単なガラスソウ(槽)内の実験で確かめられる。たとえばベントナイトを 8~10% 加えた泥水の作用で砂は崩れることはない

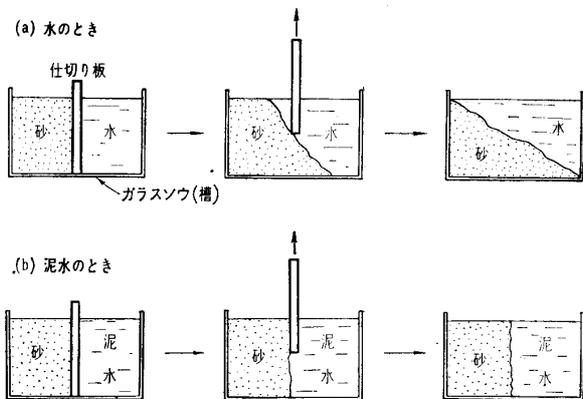


図-10.1 泥水の崩壊を防ぐ作用の説明図

が、清水の場合では、容易に砂が崩れることが見られる。

壁面の安定を力学的に説明するには、多くの問題がある。すなわち掘削面に働く全土圧に対抗するだけの泥水圧を準備したとき、掘削面の変形を妨げても止めることはできないので、土圧の大きさの計算にいろいろな仮定を導入しなければならぬからである。通常の土圧の計算においても、理論と実際に相当な差が見られるから、泥水の現象を含めて考えるとき、いっそう複雑なものになることは当然であろう。

壁面の安定について、Nash, Piaskowski, Prandle, Lorenz らの考え方、計算法など利用する方法を簡単にまとめると次のようになる（計算例は別章で示されるで

あろう）。

(i) Nash の方法

クーロン直立面の限界高さを求める式から誘導して泥水圧と比較する。

(ii) Piaskowski の方法

円孔の孔壁の変位は、壁面周辺の密度を増加させるように働く。すなわちアーチ作用により崩壊に対する安定性を高める結果となる。Westergaard や Terzaghi は、これらの計算式を導いている。Piaskowski は壁状の掘削も有限長で行なわれるので、端部には前述のような作用があると考え、掘削長さを決定する計算図表を示した。

(iii) Prandle の方法

トレンチ内の泥水を塑性体と見なし、二つの剛性粗面体の間にはさまれた完全塑性体の圧縮の問題として取扱うもので、この計算解は、Bishop によってアースダムの粘土コアの土圧計算にも利用されている。

(iv) Lorenz の方法

掘削時に壁面がわずかに変化するが、これによってトレンチ中の泥水の自由水面が上昇するので、このとき上方へ動いた泥水と壁面との境界面にせん断力が発生しこれが安定に寄与するという考え方である。

確実な工法の開発と発展のためには、土質と掘削寸法の選定、ならびに適用する泥水と工法との関連を経験的に処理しながら以上の計算方法を確実なものに仕上げてゆくことが必要であろう。

(3) 掘削した土砂を運び出す作用

泥水の比重と粘性で土砂の浮遊を容易にさせるとともに、泥水の循環時の流速によって、土砂を上昇、排出させる。

ベントナイト泥水中に石を浮遊させる能力は、濃度 8% 程度のもので粒径 1.5 mm, 11% のもので 5 mm ぐら

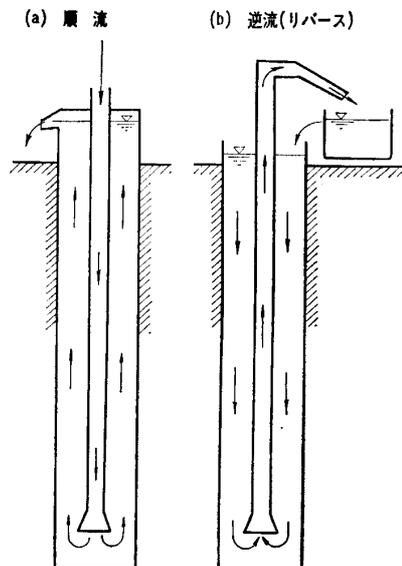


図-10.2 掘削土の流体による排出方向

いとされている。また濃度 8% のベントナイト泥水（粘性=95 c.p）は流速 15 cm/sec で粒径 2 mm, 25cm/sec では 5 mm のものが上昇し得ることが実験されている。しかし実際に使用する流速はもう少し早い方がよいので、0.5~1 m/sec 程度のも

のが多い。このため、図-10.2の(b)のように逆循環式を用いた方がポンプの容量は小さくてすむ。

(4) 塑性流体の基本的事項

ニュートン流体(水, グリセリン, うすい油など)には, 次の粘性式が成立する。すなわち, 図-10.3において液体がある方向に流れているとき, その流れの方向に対して, dx 隔たった二つの平行な面の流速の差が dv であれば, この dv によって生ずる内部摩擦力(せん断力) F は, 式(10-1)で表わされる。

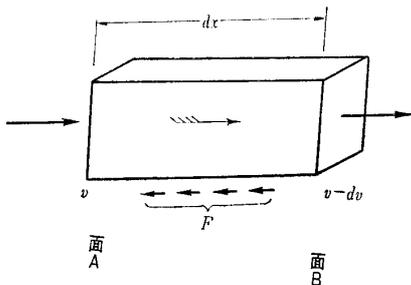


図-10.3 塑性流体の説明図

$$\frac{dv}{dx} = -\frac{1}{\eta} F$$

または $F = -\eta \frac{dv}{dx}$ (10-1)

- ここに F =摩擦力 ダイン ($g \cdot cm \cdot sec^{-2}$)
- η =粘性係数 ポアズ (poise, $g/cm \cdot sec$)=100 センチポアズ (c.p)
- dv =速度差 cm/sec
- dx =二層間の距離 cm
- dv/dx =速度コウ配 sec^{-1}

ニュートン流体は, 流動あるいは静止のいずれのときも, 温度, 圧力が変わらなければ, 粘性が一定である。すなわち, わずかな外力でも流動を始め, 外力の大きさと流速が比例する。これに対して, 泥水のような液体は, 外力がある大きさになるまで流動を始めない。しかも, もっと大きな外力となるまでは外力と流速が比例しない。このような流体を非ニュートン流体, 塑性流体あるいはビンガム (Bingham) 流体という。これを模式的に示したのが, 図-10.4 である。

非ニュートン流体の直線部分のコウ配の逆数 (cotan-

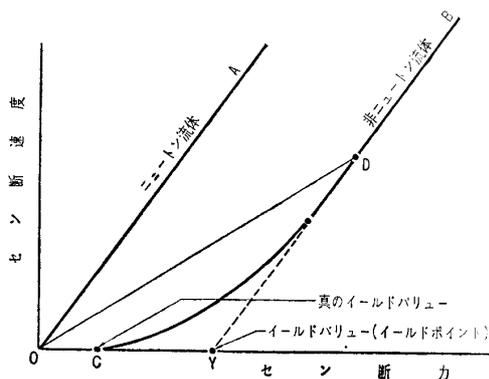


図-10.4 非ニュートン流体の模式図

gent) をプラスチック粘性 (plastic viscosity), Y 点をイールドバリュー (yield value) またはイールドポイント (yield point) という。したがって, イールドバリューは, 流体が流動状態にあるとき, 流動を続けるのに必要な力の測定値である。Y 点の 3/4 はビンガムのイールドバリューといわれ, V-G メーターで測定されるイールドバリューに相当するものとされている。

C 点は, 真のイールドバリュー (true yield value) という。ゲルストレングスは静止の状態から流動を始めるために必要な力の測定値であるが, ストーマー粘度計, あるいは V-G メーターにおけるゲルストレングスは, 真のイールドバリューに相当するものと考えられる。

原点と任意の点 D 点を結ぶ線で求めた粘性を見かけの粘性 (apparent viscosity) といい, 便宜的に用いてよい。

(5) 泥水のシキソトロピー性

シキソトロピー (Thixotropy, チクソトロピーともいう) 性とは, コロイド物質が, ゼルの状態からゲルの状態へ, またはゲルの状態からゾルの状態に可逆的に変化する性質のことであって, たとえば, コロイド性物質が静止状態を続けるとゾルからゲルに変わり, それをカクハンするとゾルになるときは, この物質はシキソトロピー性をもつという。

ベントナイト泥水は, 静置しておくとも流動性がやや小さくなる(見かけ粘性およびゲルストレングスが大きくなる)が, 普通使用されている濃度では, ゲルまでは変化しない。これがかきまぜられると, 再びもとの流動性に戻るのであるが, これをシキソトロピー性をもつというのは不相当であって, 正確には, シキソトロピー的性質をもつというべきであろう。シキソトロピー性の大きさは, ゲルストレングスで表わされる。

10.2.2 ベントナイトについて

(1) ベントナイトの性質と組成

ベントナイト (Bentonite) は, 火山灰や凝灰岩などの火山の噴出した際にできた岩石が変質して, モンモリロナイト (Montmorillonite) と呼ばれる粘土鉱物になったものを主成分としたものである。ベントナイトの新鮮な面は淡黄緑色であるが, 一般に白っぽいクリーム状を呈しており, きわめて吸水しやすく柔らかいノリ(糊)状になることが多い。

ベントナイトの真比重は 2.5~2.95 であるが, 粉体としての見かけの重量は, 0.83~1.13 t/m³, 液性限界は 330~590% である。

ベントナイトを水中に入れると, ただちに吸水し, もとの体積の数倍に膨張 (swell) する性質がある。このため一名「膨潤 (ボウジュン) 土」ともいう。

ベントナイトの粒子は非常に細かく不整形板状である

講 座

ため比表面積が非常に大きい。また塩基置換能力が大きいため、大きな粘性、可塑性および水中において複雑な界面化学現象を示すことがある。

ベントナイトの組成の一例をあげると次のようである。

表-10.2

組成(%) 産地	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Ig. Loss	備 考
山形産	72.88	14.94	1.76	1.46	1.22	2.74	0.14	4.48	
群馬産	65~85	12~16	<3	<3	0.5~4	0.5~4		3~8	
ウェスタン産	64.0	21.0	3.5	2.8		3.0			アルカリベントナイト
サウザン産	64.0	17.1	4.7	5.3		0.7			swell 大 アルカリ土類ベントナイト swell 小

(2) モンモリロナイトの構造と膨潤

モンモリロナイトは、ベントナイトの主要鉱物であって、化学的には、アルミニウムの含水ケイ(珪)酸塩で $(Mg \cdot Ca)O \cdot Al_2O_3 \cdot 5SiO_2 \cdot nH_2O$ の組成である。その構造は、まん中にギブサイト層をはさみ、上下各一部のケイ酸層をもった3層が一つの構成単位となっている。表面に吸着されている陽イオンにより、この薄い板状をした Si-Al-Si の構成単位が積み重なっているが、この間隔は吸着イオンの種類によって異なる。膨潤とは、この間隔すなわち隣接した構成単位との間隔を広げる現象である。

図-10.5 は、Ca-ベントナイトと Na-ベントナイトの膨潤の状態の差を模式的に示したもので、吸着イオンの種類により層間隔の広がり方が異なっている。膨潤度は、Na-ベントナイトは 8~12、Ca-ベントナイトでは 3~5 である。ここに膨潤度とは、1g のベントナイトが吸収(飽和)し得る水量を cc で表わしたときの数値である。

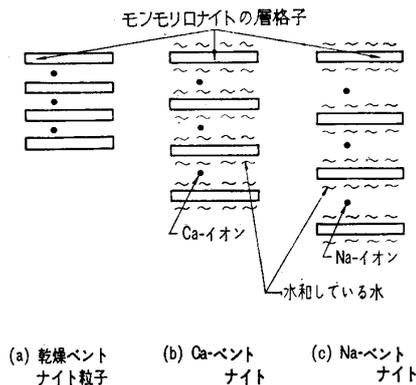


図-10.5 膨潤の模式図

(3) イールド

イールドとは、乾燥した粉末ベントナイト 1t を水と混合して、スターマー粘性が 15 c.p となる時のベントナイト泥水の容積を kl で表わしたもので、一般に膨潤度の大きいベントナイトほどイールドは大きい。

およそ 15 c.p まではベントナイトを加えても、ベントナイト泥水の粘性の変化は非常に小さいが、これ以上になるとベントナイトを加えると粘性が急激に上昇する

ことにイールドの意義がある。(図-10.6 参照)

蒸留水 100 cc に、乾燥粉末ベントナイトを 4, 6, 8, 10, 12...g などの割合に加え、ミキサー(ジュースミキサーなどで)で5分間カクハンして泥水をつくり、密封して 24 時間静置後、再びミキサーでカクハンし、ス

ターマー粘度計による粘性(c.p)を測定し、縦軸に粘性、横軸にベントナイトの重量をとったグラフを作成する。このようにして作成した曲線をベントナイトの“イールド曲線”という。この曲線から 15 c.p の粘性を示すベントナイトの重量を求め、

イールドを計算する。たとえば、真比重 2.5 のベントナイト 8 g の点であるとすれば、イールドは次のようになる。

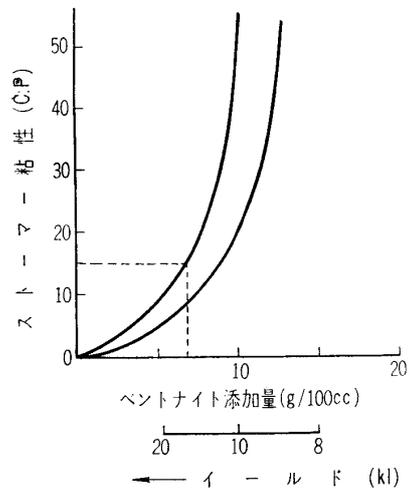


図-10.6 イールド

$$\text{“イールド”} = \frac{100}{8} + \frac{1}{2.5} = 12.5 + 0.4 = 12.9 \text{ kl}$$

なおAPI(アメリカ石油協会)では、石油ボーリング用のベントナイトの基準として、プラスチック粘性 8 c.p がスターマー粘性 15 c.p のかわりに使用されている。

(4) 泥水用ベントナイトの選定

市販されているベントナイトには、多くの産地、いろいろな品質のものがあるが、泥水用ベントナイトとして好ましいものは、膨潤度、粘性が大きく、泥壁形成性のよい(脱水量が少なく、薄くて丈夫な泥壁ができること)不純物の少ないものである。したがって泥水用ベントナイトの選定は主として、イールド、沈殿物、膨潤性によって判定する(泥水そのものの良否に関する判定でない)。

ベントナイトのイールドが 10 以下では不良品で 20 に近いほど良いベントナイトである。イールドの大きなベントナイトは、使用量が少なくても良好な泥水ができる。

水 100 cc に、ベントナイトの粉末をいろいろな割合で完全に混合して、24 時間経過すると、不純物が沈殿

表-10.3

(沖野氏による)

	モンモリロナイト	石英	方解石	イライト	石ゴウ	クリスト パライト	塩基交換容量 (mg 当量/100 g)	イールド (kl)	産地
ワイオミングベントナイト	Na-85~90%	3%		1~3%		—	95	17.5	ワイオミング
サブベントナイト	Ca-90~95	3~5	2~5	微	—	微	80	清水 8.7, 6000 ppm 塩水 7.0	テキサス

表-10.4

(沖野氏による)

イールド (kl)	プラスチック粘性 (c.p)	イールドバリュー	脱水量 (cc)	泥壁 (mm)	pH
>13.5	>8	<10 lb/100 ft ²	<10	<0.5	8~10

するが、濃度のうすいもの、粘性の少ないものほど沈殿が生じやすい。8g 以下の濃度の時に沈殿が生じなければ優良品、8~10g のときはやや良く、10g 以上のときは良くない。24 時間以内に沈殿するときは、不良品であると考えてよい。

また膨潤性の大きいものほど、同一濃度で高い粘性を生ずる。

以上に述べたのは、一般的に良質のベントナイトを選定する方法があるが、ベントナイトは水に含まれる Na-塩 (ナトリウム塩)、Ca-塩 (カルシウム塩) などのイオンの影響をうけて、その膨潤性がおさえられるが、良質のベントナイトほどその影響が大きい。したがって、海水、塩水あるいは Ca-塩が含まれている水で泥水を作るときは、Na-ベントナイトより清水中のイールドが小さい Ca-ベントナイトのほうが安定性が大きくて好ましい。また、建設工事用の泥水に使用されているときは、コンクリートのセメントと接触することが多くの場合避けられない。セメントの Ca-イオンは、とくに、ベントナイトの作用を妨げるから、やや品質の劣ったベントナイトを使用した方が有利なことも考えられるから、これらの点を検討することを忘れてはならない。

Ca-塩などを多量に含まない水をベースにする場合と含む場合に用いる代表的なアメリカ産ベントナイトの組成は表-10.3 のとおり

またわが国の石油ボーリング用ベントナイトの基準は表-10.4 のとおり。

このほか、建設工事用として当然のことであるが、ベントナイト液を作製したとき必要条件をみたすこと、値段が安く、かつ工事現場で入手しやすいものでなければならない。

10.2.3 ベントナイト泥水の性質

(1) ベントナイト泥水の製造

ベントナイトを主体とした泥水は、1.05~1.10 の比重になるように調製されることが多い。

ベントナイトを水に加えるとき、少量ずつ加えながら十分にカクハンしなければならぬ。良質なベントナイトほど分散しにくい。

ベントナイトを加えた直後の泥水の粘性は低いが、カクハンしているうちに、また放置しているうちに粘性がしだいに増加する傾向がある。混合して 24 時間後には、実用的にほとんど完全になっているが、現場で急いで使用するときでも 2~3 時間経過してからにすることが望ましい。

また使用する水を選ぶことに注意しないと、でき上がった泥水の性質が異なる。(表-10.5 参照)

(2) 比重と pH

ベントナイト液の比重は、ピクノメーター (試験室用)、ハイδροメーター、マツドバランスなどで測定する。ハイδροメーターの精度は不十分であるので、マツドバランスを用いることが望ましい。

ベントナイトの真比重と濃度とがわかっておれば、ベントナイト液の比重は計算によっても求められる。したがって、使用しているベントナイト液の比重が低下しておれば地下水などの水が加わったこと、また増加しておれば、粘土、シルトなどが混合されたことを示している。

通常使用されるベントナイト液の比重は、1.05~1.10 であるが、比重を 1.5 くらいまで上げるためには、パライトなどを加えている。パライトは重晶石 (硫酸バリウム) であって、真比重 4.15 以上、粒度 325 メッシュ 92% 以上の微粉末として使用する。

ベントナイト泥水の pH の適正値は 7.5~8.5 であるが、種類によっては 10 に近い。pH が 10 を越えたときは、セメントが混合したと考えてよい。ベントナイトの pH が 11 を越えると、静止状態のベントナイト液は分離をおこし、下にベントナイトが沈殿をおこすことがある。このようなベントナイト液を使用することは

表-10.5

(沖野氏による)

ベントナイト %	ストーマー粘性 (c.p)		ファンネル粘性 sec, 1500/500 cc		プラスチック粘性 (c.p)		ゲルストレングス (g, 0-10 分)		イールドバリュー (lb/100 ft ²)		脱水量 (cc)	
	清水	塩水	清水	塩水	清水	塩水	清水	塩水	清水	塩水	清水	塩水
6	12	5	26.0	19.5	11	4	0-0	0-0	3	3	12.0	14.5
8	26	9	38.5	23.0	20	5	0-0	17-40	12	7	8.2	12.0
10	104	18	202	30.0	53	9	5-5	20-50	44	12	6.5	9.6

(注) 塩水とはここで塩分 (NaCl) 5,000 ppm を含む水である。

講 座

好ましくない。

セメントの混入量が 0.03% で pH が 11 を越えるものもあれば、0.1% でようやく越えるベントナイトもある。

(3) 粘 性

粘性の種類としては、次のようなものがある。

- ファンネル粘性 (funnel viscosity)
- ストーマー粘性 (stormer viscosity)
- プラスチック粘性 (plastic viscosity)

(i) ファンネル粘性

漏斗型をしたファンネル粘度計で測定した見かけの粘性であって、単位は秒である。現場で簡単にテストできるので、日常管理に用いられる。

1,500 cc の泥水が 946 cc 流出するに要する時間(秒)あるいは、500 cc の泥水が 500 cc 流出するに要する時間(秒)で表示する。清水の場合 946 cc/1,500 cc は 26 ± 0.5 秒、500 cc/500 cc は 18.5 ± 0.5 秒である。

泥水における 500 cc/500 cc の粘性は、946 cc/1,500 cc から約 10 秒を差引いたものと考えてよい。表—10.6 は適正なファンネル粘性の大きさを示している。

表—10.6 泥水の適正な粘性 (藤井氏による)

施工条件	循環による排出		壁 体 保 護		
	砂まじり粘土	砂と玉石	砂まじり粘土	砂と玉石	地下水多く 崩れやすい
砂 500cc/500cc	30~35	50	35	70	100

(ii) ストーマー粘性

ストーマー粘性は、見かけの粘性で、c.p で表わされる。試験室では用いられるが、現場ではあまり使用されていないようである。ストーマー粘性は次の数値で表わされる。

ストーマー粘度計によって測定される 600 rpm の測定値

V-G メーター } の 600 rpm における測定値の 1/2
レオメーター }

(iii) プラスチック粘性

プラスチック粘性の意味は塑性流体の項で述べてある。単位は c.p で表わされる。

V-G メーター、またはレオメーターによる 600 rpm と 300 rpm の測定値の差である。

プラスチック粘性は、固形分(混入した粘土・砂レキなど)の多いとき、固形分の粒径が小さいときに大きくなるが、施工中に下げるには水を加えるか、機械的方法によって泥水中の固形分を除く方法がある。

(4) イールドバリューとゲルストレングス

イールドバリューの一般的なことは前述した。イールドバリューの単位は一般に lb/100 ft² で表わされ、V-G メーターまたはレオメーターで測定し、300 rpm の読み

からプラスチック粘性を引いたものである。

イールドバリューが大きくなるのは、粘土、シルト分、塩分、セメント分、その他が混入した場合などで、水を加えるか、リグニンスルホン酸塩などの分散剤を加えるとよい。一般に用いられる泥水のイールドバリューは、10 以下のことが望ましい(比重の大きいときはもう少し大きくてよい)。

ゲルストレングスは、泥水が静止状態から流動を始めるために必要な力の測定値であるが、シキントロピー性の大きさを表わすのに使用されている。

一般に、泥水は、静置しておくでゲルストレングスが增加する傾向をもっているが、増加の割合が小さい泥水が望ましい。急に増加する泥水には、粘土が多量に含まれたり、塩分やセメント分の混入があったりした場合が多く、pH や温度の高いときも同様である。

ゲルストレングスは、イールドバリューと同様の方法によって下げることができる。

ゲルストレングスの測定には、ストーマー粘度計、レオメーター、V-G メーターなどが用いられるが、V-G メーターによるのが最もよく、3 rpm の読みがこれに相当する。一般にカクハン直後と 10 分間静置後の二種類の大きさで表わされる。

(5) 造 壁 性

掘削面にある泥水は、砂層のような浸透性のある土層では、泥水と地下水の静水圧の差によって掘削面で水分がロ(濾)過され、地中に失なわれるが、これを脱水、ロ(濾)水などという。このとき掘削面に泥水中のコロイド分が、泥壁(mud cake or filter cake)として残され滞積するが、この性質を造壁性(泥壁形成性ともいう)という。温度や電解質物質によって変化されにくい良質な親水コロイド物質を適正量含有している泥水ほど造壁性がすぐれている。

造壁性は、API 規格のロ過試験器(泥壁試験器、脱水試験器ともいう)を使用し、7 kg/cm² の圧力の下で 30 分間の脱水量と泥壁の厚さを測定して判定しているが、これは泥水の静止した状態におけるものである。実際には、泥壁の形成は、泥水の流動下に行なわれるので、これらの測定値がただちに正確に実際のものを与えるものでないが、経験的に、かなりの相関性があることは認められている。

泥壁は、厚いのがすぐれているわけではなく、薄くて良質チ(緻)密であれば、脱水量は少ない。試験結果で、脱水量が 5 cc 以下、泥壁が強くて 1 mm 以下であり、温度が高くなっても脱水や泥壁の悪くならない泥水は、ボーリング用の泥水として機能がすぐれているとされている。

泥壁の造壁性を改善するには、良質のベントナイトを

使用するほか適当な分散剤を加えているが、油井ボーリングでは CMC (後述) が盛んに用いられている。

(6) 泥水の試験について

泥水の管理を完全に行なうため必要な試験は、比重、ファンネル粘性、プラスチック粘性、イーールドバリュウー、ゲルストレングス、ベントナイト含有量、脱水量、造壁性、塩分、砂分、固形分、pH などであろう。

壁をつくるための掘削に際しては、現場の状態、あるいはそのときどきの条件によって異なるが、だいたい比重、粘性 (とくにファンネル粘性)、pH の 3 種類の測定を行なえばよいとされている。最近、喜田文献⁶⁾は、懸濁状態、微細粒子濃度、塩類濃度の測定を加えることを提案している。

(7) 泥水の性質の改善

ベントナイト泥水の性質のうち比重の変化には、適当な濃度とするため、清水とベントナイトの添加ならびに掘削土の除去を行なう。比重を増加する必要があるときは、ベントナイトの濃度を上げるか、バライト、砂鉄などを加える。

pH の調節のためにカ性ソーダ、セメントの害を防ぐためにニトロフミン酸塩を使用したり、粘性、ゲルストレングスを改善するためのテルナイトなどが油井ボーリングに使用されているが、これらのものを壁状の掘削工法に適用するときには、価格、コンクリートの硬化と強さへの影響、鉄筋への影響などを検討することを忘れてはならない。

造壁改善のための CMC は、この工法に用いられ始めている。CMC は、ソジウム・カルボキシメチル・セルローズの略で、木材パルプをベースとして作った一種の人工糊料である。

なお、ベントナイト泥水のほか、エマルジョン泥水、クロム泥水、海水泥水、カルシウム系泥水などのあることを付記しておく。

10.2.4 泥水と壁の材料について

(1) ベントナイトと添加物の使用量

使用するベントナイトの性質、土質、地下水の状態あるいは工法の種類によって、ベントナイト液の濃度または使用量が異なるが、だいたい次の量が標準のようである。

粘土、砂のとき……………ベントナイト 80 kg/水 1 m³
 あるいは砂レキのとき……………ベントナイト 120~300 kg/
 水 1 m³

壁厚 60 cm のとき、掘削壁面 1 m² あたり、または掘削土量 1 m³ あたりのベントナイト消費量は、ほぼ表 10.7 が標準といわれている。

ベントナイト液に添加して、その性質を改善するための添加剤の使用量は、イコス工法の場合、表 10.8 の

表 10.7 ベントナイト概算消費量 (kg)

	粘 土	シルト質 粘 土	シルト質 砂	砂	砂レキ	玉石まじり 砂レキ
壁面 1 m ² あたり	80	100	130	150	170	230
掘削 1 m ³ あたり	130	170	220	250	280	380

表 10.8 ベントナイト液への添加剤

添加剤	成 分	添加量(%)	効 果
ソーダ	硫酸ナトリウム	0.8~5	粘性降下し、流動性が増加する
セメント		0.2~2	粘性を増加する
バライト	硫酸バリウム	10~20	比重を増加する
粘 土			粘性と比重を増加する

ようである。

その他、多くの添加剤が使用されつつあるが、CMC を除いては使用法がむずかしいといわれる。

(2) ベントナイト液によるコンクリート強さの低下

泥水工法によって、ベントナイト液と置き換えてトレミーでコンクリートを打設するが、コンクリート壁から採取したコアによる強さ試験成績によると、コンクリートの強さはほとんどドライで打設されたものと変わらないことが示されている。ただ、まれに数センチ以下の泥塊がコアの中に認められ、局部的には強さが低下しているが、注意深く施工されたものについては壁全体としての強さと透水性には、ほとんど影響がないと考えてよいと思われる。

イコス工法による畑薙の例では、セメント量 300 kg/m³ 7日強さが 80~157 kg/cm² のコンクリートを用いたとき、径 13~15 cm のコアの 28 日圧縮強さ (補正) は、5 例が 235~422 kg/cm² で 1 例が 195 kg/cm² であった。また同じく地下鉄方南町工区の例では、セメント量 390 kg/m³、28 日平均圧縮強さ 250 kg/cm² のコンクリートに対して、直径 9.1~9.2 cm のコア、材令 53~153 日の圧縮強さは、11 例が 282~446 kg/cm² で、2 例が 113 と 234 kg/cm² であった。

以上のように、強さのバラツキは相当にあることを予想しておく必要はある。

なお、コンクリートの下面と地盤の間には、ゆるめられた地盤と沈殿した砂、粘土塊、ベントナイトなどが残っているから、でき上がったコンクリート壁またはその一部に、鉛直荷重を支持させようとするときには、十分な注意と検討を行なうことを忘れてはならない。

(3) ベントナイト液による鉄筋の付着強さの低下

泥水工法においては、一般にベントナイト液を残したまま鉄筋をソウ入しコンクリートを打設するので、鉄筋の付着強さが減少するおそれがある。

鉄筋の付着強さに関する実験データは多いが、相当に異なった結果が与えられており、実験方法その他の条件によって、付着強さがかなり変わり得ることを意味していると考えたい。

講座

山本ら文献 7) は、イコス壁の実物に埋込んだ試験体について実験を行なっているが、炭酸ソーダを泥水に 0.3~0.6% 添加することが望ましく、かつその場合でもベントナイト量が 4~10% のとき、異型鉄筋の付着強さは 30~40% くらいに、丸鋼では 50% くらいに低下し、またベントナイト量が 10% を越えると付着強さがさらに急激に低下すると述べている。

しかし一般に壁として使用するとき、鉄筋の付着強さには余裕があって、上記のような付着強さの低下は問題にならないことが多い。

地下鉄方南町工区では、 $\phi 15 \times 30$ cm のシリンダーに鉄筋を埋込んで付着強さの調査を行ない良好な結果を得ている。 $\phi 25$ mm の普通丸鋼を埋込んだときの付着強さは、材令 14 日で $26.1 \sim 30.2$ kg/cm²、平均 27.9 kg/cm² であるのに対して、ベントナイト液を鉄筋に塗ってコンクリートに埋込んだとき、 $\phi 25$ mm の普通丸鋼は材令 7

日で $25.3 \sim 30.9$ kg/cm²、平均 27.4 kg/cm² であった。なお、ベントナイト液を塗布した $\phi 25$ mm の異型鉄筋は、材令 7 日で $58.1 \sim 67.7$ kg/cm²、平均 63.3 kg/cm² の付着強さを示した。

文 献

- 1) 沖野文吉：ボーリング用泥水，技報堂，昭和 41 年
- 2) 藤井清光：基礎工における地盤の安定（泥水工法），理工図書，昭和 41 年
- 3) Walter F. Rogers：Composition and Properties of Oil Well Drilling Fluids
- 4) F.W. Cole & P.L. Moore：Drilling Operation Manual
- 5) Magnet Cove Barium Corporation：Mud Engineering
- 6) 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
- 7) 山本康弘，武田一久，山下 弘：ベントナイト懸濁液中に打設したコンクリートの圧縮強度および鉄筋との付着強度，コンクリートジャーナル，1966 年 9 月

港湾技術で滑走路の研究に着手

航空路線の普及は近年目ざましいものがあり、海外旅行はもとより出張、帰省、観光などにもどしどし航空機が使われるようになってきた。ひと昔前には、俗に「赤とんぼ」と呼ばれた二枚翼の単発機がヒコークの代表として少年の夢を集めたものである。しかし、今や飛行機に乗ることは少年の夢ではなく、日常のちょっとしたでき事になってしまった。これにともない、航空機の運航回数は急増し、空港の整備は急を要することとなっている。

たまたま 1966 年には日本で航空機の大事故が相ついで発生し、空港整備の緊急性、重要性が強く叫ばれることとなった。

国内の空港は第 1 種（国際空港）、第 2 種（国内幹線空港）、第 3 種（国内ローカル線空港）に分類され、第 1 種と第 2 種の空港の土木工事は運輸省の各港湾建設局が担当することになっている。ただし、新東京国際空港は公団が設立されて建設に当たっている。空港の用地造成あるいは重要施設である滑走路、誘導路、エプロン舗装やその他の空港土木施設の建設維持については今後研究されねばならない問題が多い。ことに 1970 年ころ就航する巨人機、1970 年代のなかばに就航する SST（超音速航空機）はその規模も従来のジェット機とは比較に

ならぬほどで、これを取入れる空港の滑走路、エプロンその他の構造物の建設には高度の技術が要求される。

これら空港土木工事にに関する諸問題を研究するために、昭和 41 年 6 月に港湾技術研究所に滑走路研究室が新設され研究が開始された。目下米国・カナダの空港土木の現況調査や現場の問題点の整理などが行なわれており、昭和 42 年度からは実験的な研究も開始されることになっている。

参考までに現在就航している航空機のおもなものについて重量と接地圧の概略値を示すと次のとおりである。

機 種	重 量 (ton)	接地圧(kg/cm ²)
DC-8	145	12
ボーイング 707	150	13
” 727	65	11
コンベア 880	90	9
TU-114	180	
YS-11	25	6

橋を設計する際に考える自動車の重量が 20 ton（1 等橋に対して）で、その接地圧はだいたい 6.0 kg/cm² 前後とされていることと比較すると大体的見当がつくと思う。なお、巨人機（ボーイング 747 など）の重量は約 300 ton とされている。（土田）