

各種の泥水分散剤の性能比較

—泥水工法における泥水管理に関する研究（第8報）—

喜 田 大 三
川 地 武

概 要

泥水工法では、地盤掘削時にベントナイト泥水を使用するが、掘削土だけでなく、セメント成分の Ca^{++} 、海水を含んだ地下水中の Na^+ などが泥水中に混入し、その懸濁分散状態が劣化する。この劣化を防止するため分散剤が添加される。そこで、無機系（炭酸ソーダ、ヘキサメタリン酸ソーダ）および有機系（フミン酸ソーダ、鉄クロムリグニンスルホン酸ソーダ）分散剤それぞれの性能を比較し、さらにその経済性をも検討し、次のことが判明した。

Na^+ による劣化を防止する効果は、炭酸ソーダ以外の分散剤に認められ、ヘキサメタリン酸ソーダの性能が最もすぐれ、経済的でもある。また、 Ca^{++} による劣化を防止する効果はいずれの分散剤にも認められ、使用限界濃度に注意を要するけれども、炭酸ソーダの性能が最もすぐれ、経済的でもある。

1. まえがき

当社の OWS・SOLETANCHE 工法では、地盤掘削時にベントナイト泥水を使用する。この泥水は 6~12%濃度にベントナイト粘土を水に懸濁させ、必要に応じて無機および有機の調整剤すなわち高分子糊 CMC、分散剤および逸泥防止剤などを添加している。

さて、この泥水が地盤掘削用泥水としての機能を十分に発揮するためには、特殊な場合を除いて、粘土粒子が水中に安定に懸濁すなわち分散していなければならない。ところが、泥水中に地盤掘削時には掘削土および地下水が、またコンクリート打設時にはセメント成分が混入して、分散していた粘土粒子は凝集し、沈降する。いかえれば、使用中にベントナイト泥水は劣化して、その機能が低下する。そして、当社で考案し、採用している泥水の使用可否を判定する管理試験法（大林式泥水試験法）¹⁾²⁾によれば、使用不可と判定された泥水の大半は懸濁分散状態の劣化に起因していることが判明している³⁾⁴⁾。

したがって、このような泥水の劣化を防止するためには、上述の泥水劣化因子に対する抵抗性をさらに増大させる処置が必要である。そこで、泥水に分散剤を添加することが望ましく、現在では分散剤を積極的に使用するようになってきた。分散剤を有効に使用するためには、その特性を正しく把握して、経済的に泥水を調合し、泥水の劣化を防止して転用率を高めるよう

にしなければならない。

そこで、本報では市販の4種の分散剤の性能を比較、検討した結果を報告する。本報文の一部は第13回材料研究連合講演会にて発表した⁵⁾⁶⁾。

なお、筆者の一人、喜田は先に、海水による泥水汚染を受ける現場で、分散剤を使用して泥水の転用率を非常に高め、泥水経費を約 30% 節約した研究結果を報告している³⁾。

2. 供試ベントナイト、分散剤および試験法

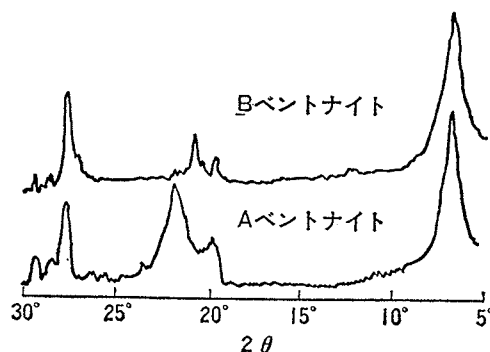
2.1. ベントナイト

一般にもっともよく使用されている、産地を異にする二種のベントナイトAおよびBを供試した。

A：群馬県産，250メッシュ

B：山形県産，250メッシュ

いずれも Na 系ベントナイトであり、その根拠を以



図一 供試ベントナイトのX線回折図

上に示す。一般に、モンモリロナイトは気乾状態で12~15ÅにX線回折ピークを示し、図-1のX線回折図ではNa型モンモリロナイトに相当する12.8Å付近に鋭い回折ピークが認められる。また、表-1の理化

種類	含水比 %	粒 径 分 布 %					C・E・C m.e./100g	置換性+水溶性陽イオンme/100g				膨潤度 g/g	pH	
		>0.02mm	0.02-0.01mm	0.01-0.002mm	0.002-0.001mm	>0.001mm		Na	K	Ca	Mg			
A	11.5	10.8	6.5	18.9	12.2	51.6	58.8	54.0	3.5	15.7	5.4	78.6	5.6	9.60
B	7.1	15.9	10.0	22.2	2.4	49.5	65.2	47.8	1.8	27.7	7.0	84.3	7.9	9.65

表-1 供試ベントナイトの理化学的諸性質
 学的諸性質の分析結果によれば、置換性陽イオンとしてNa⁺が他の陽イオンより多量に含まれており、またその膨潤度もNa系であることを示唆している。以

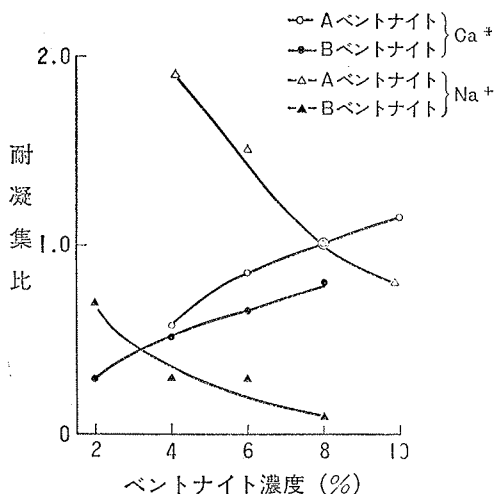


図-2 分散剤無添加泥水の耐凝集比

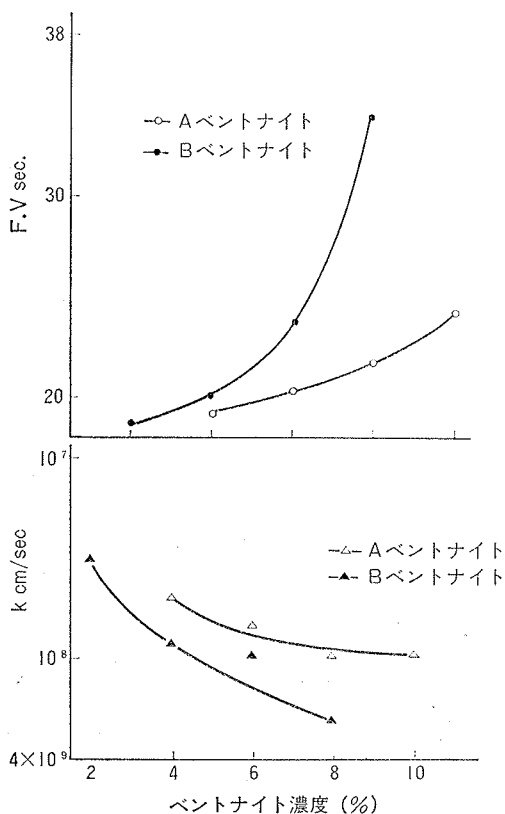


図-3 分散剤無添加泥水の粘度・透水係数

上の結果、供試ベントナイトをNa系ベントナイトであると判定した。

なお、これらのベントナイトを水に懸濁させた泥水について、泥水工法で重要視されている耐凝集比、粘度および透水係数を測定した結果を図-2、図-3に示す。これらの測定法は2.4で説明している。

2.2. 分散剤

一般に広く使用され、または将来使用されると考えられる四種の分散剤を選定して供試した。その一覧表を表-2に示す。参考までに、これら分散剤の諸性質を以下に説明する。

D 1	炭酸ソーダ
D 2	ヘキサメタリン酸ソーダ
D 3	フミン酸ソーダ
D 4	鉄クロムリグニンスルホン酸ソーダ

表-2 供試分散剤

(1) 炭酸ソーダ (D1)

無機系の白色粒状結晶であり、水中では加水分解してアルカリ性反応を示す。Ca²⁺と反応して難溶性の炭酸カルシウムの沈殿を形成し、Ca²⁺を非イオン化する。従来から泥水分散剤として使用されている。

(2) ヘキサメタリン酸ソーダ (D2)

無機系のメタリン酸ソーダの六量体であり、白色粉末状結晶であり、吸湿性がある。多くの多価金属イオン、たとえばCa²⁺、Mg²⁺、Fe²⁺、Al³⁺などとキレート化合物を形成し、これらを非イオン化する。硬水軟化剤、防錆剤、洗浄剤などの用途がある。現在のところ、建設分野の泥水分散剤としては、一部に使用されているにすぎない。

(3) フミン酸ソーダ (D3)

有機系の黒褐色粉末状分散剤であり、その化学構造は不明であるが、主成分はフミン酸類似物質である。フェノール性水酸基、カルボキシル基を有する高分子陰イオンのナトリウム塩である。そして、多価金属イオンとキレート化合物を形成し、これを非イオン化するといわれる。テルナイトB、ハイベントなどの商品名で市販され、ひろく使用されている。

(4) 鉄クロムリグニンスルホン酸ソーダ (D4)

パルプ廃液のリグニンを化学処理して得られる、有機系の黒褐色粉末状分散剤である。化学構造は不明であるが、キレート形成能を有し、鉄、クロムをイオン化していない高分子陰イオンのナトリウム塩である。当社では、海岸付近の掘削に建設分野で初めてこれを使用し、顕著な効果を示すことを確認している³⁾。

2.3. 泥水試料の調製

ベントナイトは、その銘柄、価格、地盤の性状および工法などを考慮して、一般に6~12%の濃度範囲で使用されている。本実験で供試した泥水のベントナイト濃度は、ベントナイトAで4, 6, 8, 10%であり、ベントナイトBで2, 4, 6, 8%である。一方、分散剤は0.1~0.5%の濃度範囲で使用されている。本実験では、分散剤を各種濃度のベントナイト泥水に、0.5, 1.0, 2.0%の濃度で添加し、必要に応じて、これらの中間濃度を採用した。

さて、泥水試料の調製は次のようにして行なった。蒸留水に所定量のベントナイトおよび分散剤を加え、家庭用ミキサーで高度に数分間かくはんした。そして、一夜以上放置したのち試料とした。

2.4. 試験項目と方法

2.3. で得た泥水試料について、粘土粒子の分散・凝集に関係し、しかも泥水工法で重要視されている3項目について試験した。その試験法を以下に述べる。

(1) 耐凝集比 分散状態の泥水はセメント、主としてCa[#]、および海水、主としてNa⁺によって凝集し、その懸濁分散状態は劣化する。そこで、懸濁分散状態の指標として、この劣化に抵抗する程度いかえれば耐凝集の程度を下記のように測定し、耐凝集比として表示した。

所定量の泥水試料を凝集させるに要するCa[#]およびNa⁺の添加量を、分散剤無添加のベントナイトA 8%泥水のそれに対する比率で示し、耐凝集比とした。当然ながら、この値が大きいほど劣化に対する抵抗性が高いことになる。

(2) 粘度 ファンネルロート(500ml)を泥水500mlが流下するのに要する時間(sec.)を測定し、ファンネル粘度(F・V)で示した。

(3) 泥壁の透水係数 API(アメリカ石油協会)規定の汙過試験器で測定した。200mlの泥水を底に汙紙をしいた円筒に入れ、3kg/cm²で加圧し、30分後の汙過水量および形成された泥膜厚さを測定した。これらの測定値から泥壁の透水係数(k)を計算した。透水係数はいわゆる造壁性の指標であり、この値が小さいほど造壁性はすぐれている。

3. 各分散剤の性能

本実験結果を理解しやすくするため、ベントナイト泥水の分散、凝集を簡単に説明する。

ベントナイト泥水中の粘土粒子の分散・凝集は、主として、粒子表面の負の動電位に起因する静電的反発力と粒子間のファン・デル・ワールス吸引力との相対的な強さで決まる。分散剤を添加しない供試泥水中

では、粘土粒子相互間の反発力が吸引力にまさるので、粘土粒子は分散しているのである。この泥水にCa[#]またはNa⁺が添加されると、粒子表面の負の動電位が低下するので反発力が小さくなり、相対的に吸引力が反発力より大きくなる結果、粘土粒子は凝集するのである。その際、供試分散剤は、粘土粒子に吸着して負の動電位を増大させる作用あるいは添加陽イオン特にCa[#]を不活性化して負の動電位の低下を防止する作用を有している。粘土粒子相互間の反発力が相対的に吸引力にまさり、粘土粒子の凝集を抑制するのである。しかし、分散剤の多量添加は、粘土粒子表面の負の動電位を逆に低下させ、ひいては粘土粒子を凝集させるようになる。

3.1. 炭酸ソーダ(D1)

図-4にD1添加泥水のNa⁺に対する耐凝集比を

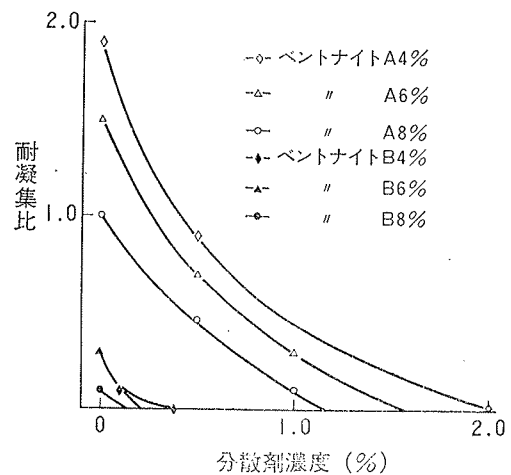


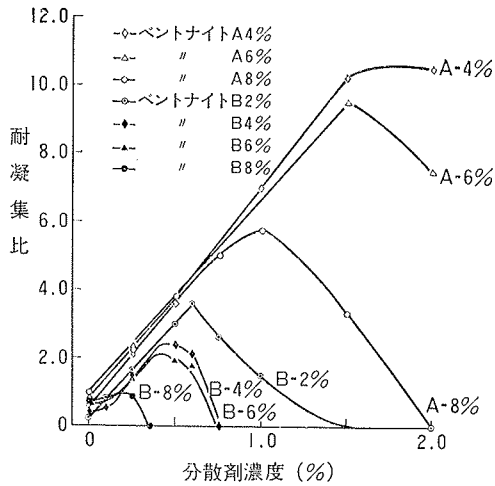
図-4 炭酸ソーダ添加泥水のNa⁺に対する耐凝集比

図示する。後述する他の分散剤とは逆に、D1の添加濃度の増大とともに耐凝集比は低下するという異常な現象が認められる。そして、耐凝集比ゼロ、すなわち完全に凝集してしまうD1の添加濃度は、ベントナイトAでは1.1~2.0%の範囲であるのに反して、ベントナイトBでは極めて低く、約0.3%以下である。また、このようなD1添加濃度は、一般にベントナイト濃度が高くなるほど低下する傾向が認められる。以上、いずれにしても、D1添加泥水にNa⁺が混入してくる場合には、D1は分散剤としてではなく、凝集剤として使用することが判明した。

このように、D1が凝集剤として作用する機構は次のように推察される。D1には、Na⁺を不活性化作用もなく、また粘土粒子表面の動電位を上昇させる作用もない。逆に、D1はそれ自身のNa⁺の濃度増大にともない動電位を低下させる作用を發揮する。いかえれば、Na⁺が混入してくる場合には、D1は凝

集剤としての作用のみを示す。

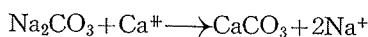
次に、図一5に Ca[#] に対する耐凝集比を示す。後述のように他の分散剤では添加濃度の増大とともに耐凝集はもっぱら上昇する。したがって、炭酸ソーダの効果は特徴的である。すなわち、ベントナイトAおよびBいずれの泥水においても、D1の添加濃度の増大にもなって耐凝集比は上昇するが、ある濃度でピークに達したのち、さらに添加濃度を増すと、逆に耐凝集比が低下し、ついにはゼロとなる。そして、耐凝集比が上昇傾向を示すD1の限界濃度はベントナイトAにくらべてBで小さく、またいずれのベントナイトにおいてもベントナイト濃度を増すとともに小さくなる。



図一5 炭酸ソーダ添加泥水の Ca[#] に対する耐凝集比

さて、前述のように、Na⁺ が混入してくる場合には、D1は凝集剤としてのみ作用する。しかし、Ca[#] が混入してくる場合には、耐凝集比の上昇が認められるD1の限界濃度範囲では、D1は分散剤としての作用をも有する。この作用は以下に解説するように、主としてD1のCa[#]不活性化作用に由来していると推察される。

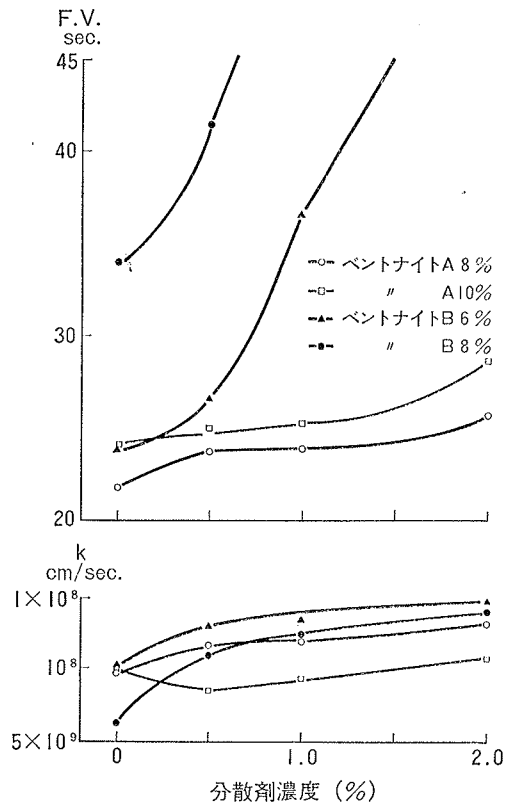
図一5の耐凝集比上昇のこう配、すなわちD1の効率はベントナイト濃度によって異なるが、6.2~6.7/g D1である。なお、この計算時には、D1の凝集効果をも考慮している。一方、D1はCa[#]と次式に示す反応を行ない、難溶性の炭酸カルシウムを形成し、Ca[#]を非イオン化すなわち不活性化する。



この反応式から計算されるD1の効率の理論値は6.72/g D1であり、実測した上記の効率とほぼ一致する。これはD1の耐凝集比上昇効果が主としてCa[#]不活性化作用に由来することを示している。

一方、図一5に示すように、D1をある限界濃度を

こえて添加すると、添加濃度が増大するとともに耐凝集比は低下していく。この事実は次のように説明される。この限界濃度以上では、D1のCa[#]を不活性化して耐凝集比を上昇させる効果が、D1のNa⁺濃度増大にもなる粘土粒子表面の動電位低下のため減殺されるのである。図一6には粘度、透水係数を示す。まず、粘度において、ベントナイトA泥水ではわずかに上昇が認められるのに対し、ベントナイトB泥水では顕著な上昇が認められる。



図一6 炭酸ソーダ添加泥水の粘度・透水係数

このように、いずれのベントナイト泥水においても粘度が上昇するのはD1の凝集作用のあらわれであり、またベントナイトAとBにおける粘度上昇の程度の差異は、Na⁺に対する耐凝集比の結果からも予想されるように、ベントナイトB泥水がより著しく凝集作用を受けていることに起因するのであろう。

また、透水係数はD1添加によってわずかに上昇する傾向が認められた。この原因もD1の凝集作用に起因するの考えられる。

3.2. ヘキサメタリン酸ソーダ (D2)

図一7にD2添加泥水のNa⁺に対する耐凝集比を示す。ベントナイトAおよびBいずれの泥水においても、D2約0.2%までの添加で耐凝集比が著しく増大し、それ以上添加してもさらに上昇することはなく、

ほぼ平衡的な値となる。この平衡時の耐凝集比の値はベントナイトBよりAで大きく、またベントナイト濃度が低いほど大きい。

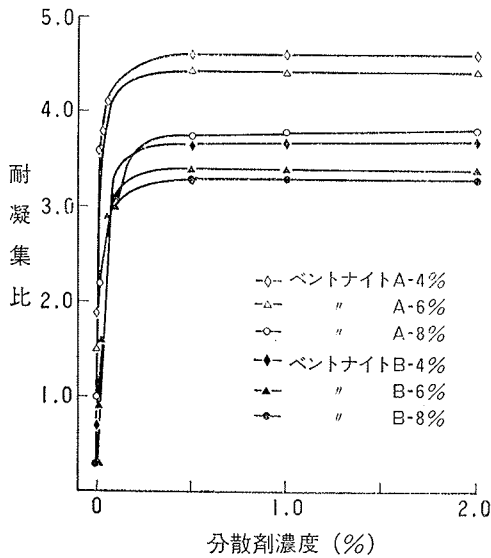


図-7 ヘキサメタリン酸ソーダ添加泥水のNa⁺に対する耐凝集比

さて、D2はNa⁺と反応して不活性化作用がない。したがって、D2を約0.2%以下で添加した場合、耐凝集比が上昇するのは、以下に解説するように、D2が粘土粒子表面に吸着して動電位を上昇させる作用に由来していると推察される。D2は粘土粒子表面の、正に帯電しているアルミニウムを主体とする、いわゆる broken edge に吸着され、表面動電位を上昇させるといわれている⁷⁾。そこで、D2の吸着量を算出した。Na型モンモリロナイトの正荷電を9~18m·e/100g⁷⁾とし、本試験で供試したベントナイトのモンモリロナイト含有量を50%と仮定すると、ベントナイトの正荷電は4.5~9.0m·e/100gとなる。この平均値6.75m·e/100gの正荷電と結合するD2の所要濃度は、ベントナイト濃度4~10%泥水において、0.16~0.37%と計算される。この計算値は耐凝集比上昇の効率の高いD2の限界濃度約0.2%とほぼ一致する。そこで、約0.2%以下で添加されたD2は粘土粒子表面の正荷電部位に吸着されて動電位を上昇させ、その結果耐凝集比を上昇させたと判定した。

一方、D2を約0.2%以上添加した場合、耐凝集比はほとんど変化しない理由は次のように推察される。D2は、後述のようにCa²⁺を不活性化作用があるが、Na⁺を不活性化作用がないこと、およびこの添加濃度範囲ではD2添加にともなう塩類濃度の増大による凝集作用がないことである。なお、塩類濃度の増大による凝集作用は、3.1.で説明したように炭酸ソーダでは顕著に認められた。

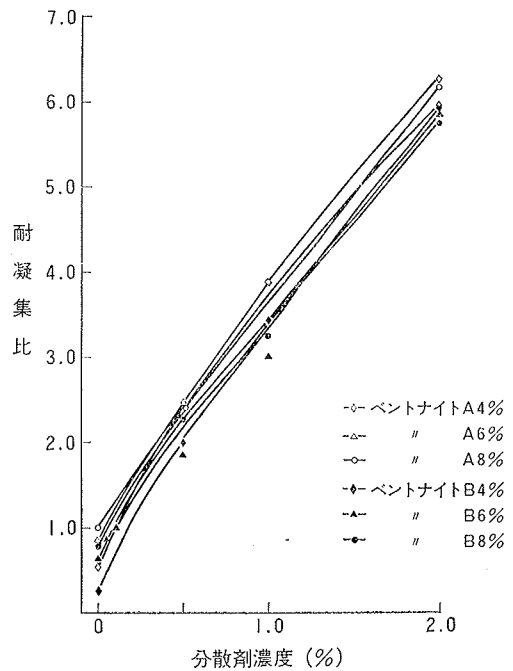


図-8 ヘキサメタリン酸ソーダ添加泥水のCa²⁺に対する耐凝集比

図-8にCa²⁺に対する耐凝集比を示す。図-7のNa⁺に対する耐凝集比の実験結果とは異なって、D2添加によって耐凝集比は添加量の増加とともに上昇する。その際、D2約0.2%までは、それ以上添加する場合に比べて耐凝集比上昇のこう配がやや大きい。

さて、このような耐凝集比の上昇は、当然ながら、D2が粘土粒子表面に吸着して動電位を上昇させる作用およびD2がCa²⁺を不活性化作用に由来すると推察される。そして、D2約0.2%以下では前者の作用が、一方、D2約0.2%以上では後者の作用が支配的に関与している。この理由を以下に解説する。

D2を約0.2%以上添加した場合、その添加濃度に比例して耐凝集比は上昇するが、この直線のこう配すなわちD2の効率はほぼ2.4/gD2となる。ところで、D2はCa²⁺と反応してキレート化合物を形成することによってCa²⁺を非イオン化するなわち不活性化作用がある。この反応は次式で示される。



この反応式から計算されるD2の効率は2.34/gD2となる。このように、D2の効率の実測値は理論値とよく一致するので、泥水中におけるD2の効果は、約0.2%以上の添加濃度範囲では、Ca²⁺をキレート形成により不活性化作用に由来すると判定される。

一方、D2を約0.2%以下で添加した場合、D2の効率は約0.2%以上添加した場合のその約2倍である。このように高い効率は、上述のD2とCa²⁺のキレ

ート形成作用では説明できない。しかし、 Na^+ に対する耐凝集比の項で明らかにしたように、約0.2%以下のD2は粘土粒子表面に吸着されて動電位を増大させるので、この作用が高い効率に關与したと判定される。

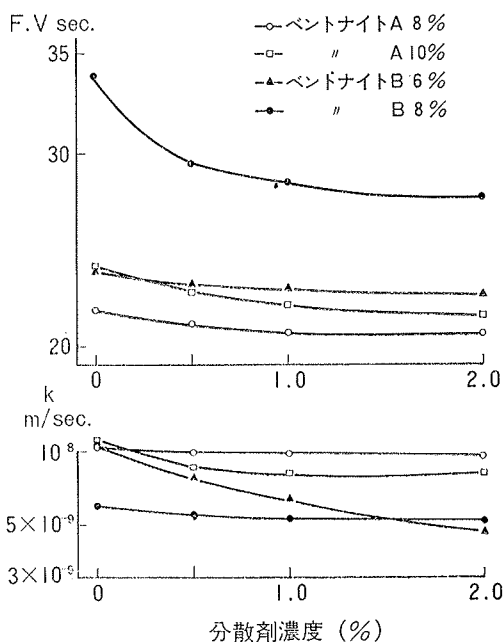


図-9 ヘキサメタリン酸ソーダ添加泥水の粘度・透水係数

次に、図9に粘度、透水係数を示す。ベントナイトAおよびBいずれの泥水においても、一般にD2の添加によって粘度はわずかに低下し、また、透水係数はほとんど変化しないか、わずかに低下する。

この事象は、供試したベントナイトがNa系のものであり、分散剤を添加しない状態でも、懸濁分散状態がすぐれているので、分散剤の効果があらわれないも

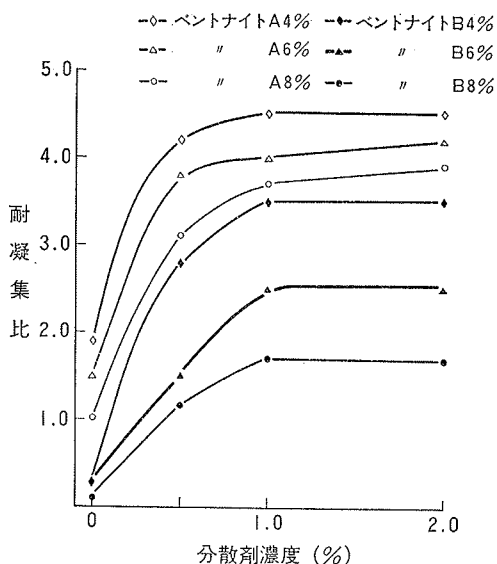


図-10 フミン酸ソーダ添加泥水の Na^+ に対する耐凝集比

のと解釈される。

3.3. フミン酸ソーダ (D3)

図-10にD3添加泥水の Na^+ に対する耐凝集比を示す。ベントナイトAおよびBいずれの泥水においても、D3 0.5~1.0%までの添加で耐凝集比が著しく増大し、それ以上添加してもさらに上昇することはなく、ほぼ平衡的な値となる。この平衡時の耐凝集比の値はベントナイトBよりAで大きく、またベントナイト濃度が低いほど大きい。

さて、D3はD2と同じく、 Na^+ を不活性化作用がない。したがって、D3を0.5~1.0%以下で添加した場合、耐凝集比が上昇するのは、高分子陰イオンのD3が粘土粒子表面に吸着して動電位を上昇させる作用に由来していると推察され、その詳細な実験は今後行なう予定である。

一方、D3を0.5~1.0%以上添加した場合、耐凝集比がほとんど変化しないのは、やはりD2と同じく、D3が Na^+ を不活性化作用がなく、また本実験のD3添加濃度範囲で凝集作用を示さないことによると推察される。

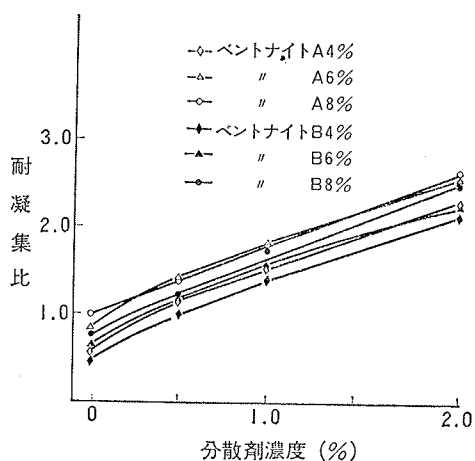


図-11 フミン酸ソーダ添加泥水の Ca^{++} に対する耐凝集比

図-11に Ca^{++} に対する耐凝集比を示す。ヘキサメタリン酸ソーダの場合と同じく、D3添加によって耐凝集比は添加量の増加にほぼ比例して、直線的に上昇する。この直線のこう配すなわちD3の効率は0.73/g D3であり、ヘキサメタリン酸ソーダのその約 $1/3$ である。

さて、 Na^+ に対する耐凝集比の項で推察したように、D3は表面電位を上昇させて、耐凝集比を上昇させる効果を有している。しかし、前述のようにD3 0.5~1.0%以上添加した場合にも、耐凝集比がなお上昇しているのは、D3は Ca^{++} をキレート形成によって不活性化させる作用を有していることを示している。すなわち、D3はキレート作用を有するカルボキシ基、

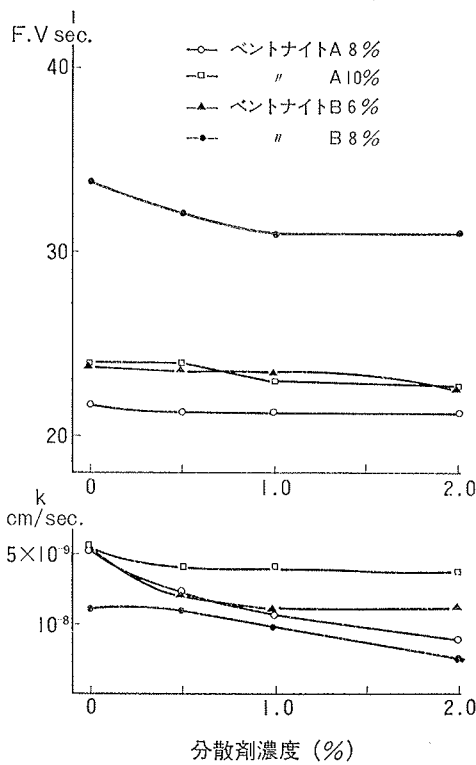


図-12 フミン酸ソーダ添加泥水の粘度・透水係数

フェノール性水酸基を含み、これら反応基は泥水のような高い pH の水中では解離し、混入してくるCa⁺と反応して不活性化させることができる。

図-12に粘度、透水係数を示す。いずれも D3 の添加によってほとんど変化しないか、わずかに低下する。この事象は、供試したベントナイトが Na 系のものであり、分散剤を添加しない状態でも懸濁分散状態が比

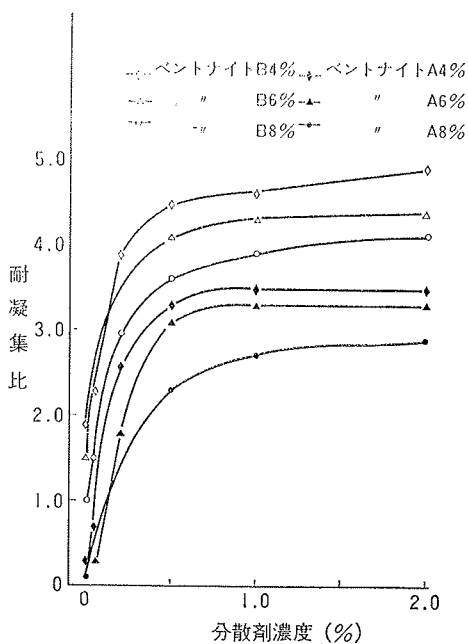


図-13 鉄クロムリグニンスルホン酸ソーダ添加泥水の Na⁺ に対する耐凝集比

較的すぐれているので、分散剤の効果があらわれないものと解釈される。

3.4. 鉄クロムリグニンスルホン酸ソーダ (D4)

図-13に D4 添加泥水の Na⁺ に対する耐凝集比を示す。前述のヘキサメタリン酸ソーダあるいはフミン酸ソーダの場合とほぼ同様な傾向が認められる。

図-14に Ca⁺ に対する耐凝集比を示す。フミン酸ソ

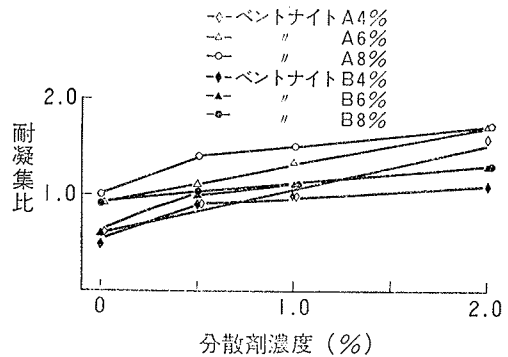


図-14 鉄クロムリグニンスルホン酸ソーダ添加泥水の Ca⁺ に対する耐凝集比

ーダの場合とほぼ同様な傾向が認められるが、耐凝集比上昇のこう配すなわち D4 の効率は 0.4/gD4 であり、フミン酸ソーダのそれよりやや低い。

図-15に粘度、透水係数を示す。D2 および D3 と同様に、D4 の添加によって、粘度、透水係数ともほとんど変化しないか、わずかに低下する。

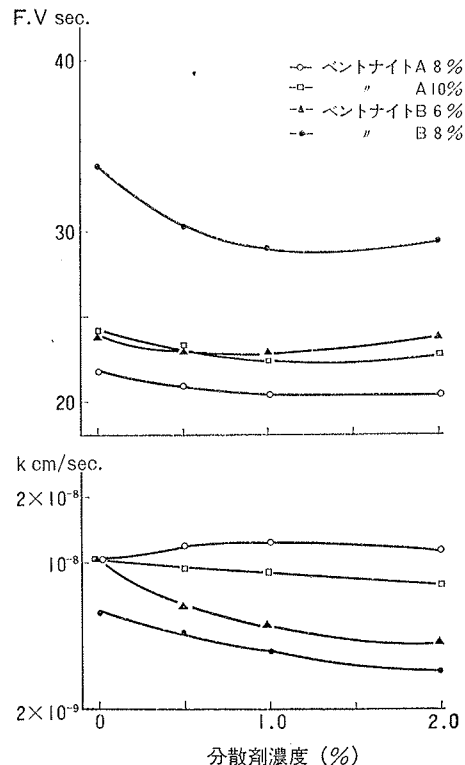


図-15 鉄クロムリグニンスルホン酸ソーダ添加泥水の粘度・透水係数

4. 分散剤の相互比較

前章において、4種の分散剤それぞれについて、Na系ベンリナイト泥水の耐凝集比、粘度および透水係数に与える効果を検討した。その結果、これら分散剤の耐凝集比を上昇させる効果が、特に顕著に異なっていることが判明した。そこで、これら分散剤の耐凝集比を上昇させる効果を比較、検討する。さらに、これら分散剤を実用に供する場合には、その価格をも当然考慮しなければならない。そこで、各分散剤の耐凝集比を上昇させる効果と価格から、その経済性を比較、検討する。

さて、比較するにあたって、分散剤の性能の指標として耐凝集比上昇効率を計算した。この値は分散剤単位重量あたりの耐凝集比の上昇値である。さらに、分散剤の効果を経済的に比較するために、経済的耐凝集比上昇効率を計算した。この値は単位価格あたりの耐凝集比上昇効率であり、すなわち、上記の耐凝集比上昇効率を1gあたりの価格で除した値である。

4.1. Na⁺ に対する耐凝集比の場合

前章の図-7、-10および-13に示したように、分散剤の添加濃度の増大とともに、耐凝集比は上昇するが、次第にその上昇がゆるくなり、ついには平衡に達する。そして、耐凝集比の上昇効果が最も大きい最適限界濃度はヘキサメタリン酸ソーダで0.2%、他の有機系分散剤で0.5%である。実用的にも、この限界濃度範囲内で使用するのがよい。

ところで、耐凝集比の上昇効率はベントナイト濃度に影響され、一般に低濃度ほど大きい。ここでは、泥水の標準濃度であるベントナイト8%泥水の場合を例示し、比較する。表-3にベントナイトAおよびBそれぞれについて、耐凝集比上昇効率を示す。なお、炭酸ソーダは耐凝集比を上昇させる効果が全くないので、当然ながら除外している。いうまでもなく、同表の値は、図-7、-10および-13の実験結果にもとづいて計算し、比較のためにフミン酸ソーダの値に対する比を

ベントナイト 分散剤 (注)	A			B		
	D 2	D 3	D 4	D 2	D 3	D 4
価 格 (円)	200	150	130	200	150	130
耐凝集比上昇効率 (/g)	12.5	4.2	5.2	14.5	2.1	4.4
同 上 比	3.0	1.0	1.2	6.9	1.0	2.0
経済的耐凝集比上昇効率 (/円)	62.5	28.0	40.0	72.5	14.0	33.8
同 上 比	2.2	1.0	1.4	5.2	1.0	2.4
最適限界濃度 (%)	0.2	0.5	0.5	0.2	0.5	0.5

(注) D 2:ヘキサメタリン酸ソーダ D 3:フミン酸ソーダ
D 4:鉄クロムリグニンスルホン酸ソーダ

表-3 Na⁺ に対する耐凝集比に及ぼす各分散剤の効果

も求めた。

さて、表-3において、鉄クロムリグニンスルホン酸ソーダの耐凝集比上昇効率はフミン酸ソーダのそれよりやや大きい。それに対して、ヘキサメタリン酸ソーダの値は、これら両分散剤のそれに比べて極めて大きい。なお、このようにヘキサメタリン酸ソーダの耐凝集比上昇効率が大きいので、他の両分散剤に比べて、その適用限界濃度は低いけれども、適用限界濃度における耐凝集比の値はほぼ類似している。

また、ここには表示しないが、ベントナイト濃度が4および6%の場合についても、上記と同様の傾向が認められた。

次に、表-3の経済的耐凝集比上昇効率を比較する。この結果によれば、鉄クロムリグニンスルホン酸ソーダの経済的耐凝集比上昇効率はフミン酸ソーダのそれよりやや大きい。それに対して、ヘキサメタリン酸ソーダの値は、これら両分散剤に比べて極めて大きいので、最も安価な分散剤であると判断される。

4.2. Ca⁺ に対する耐凝集比の場合

表-4に各分散剤のCa⁺に対する耐凝集比上昇効率および経済的耐凝集比上昇効率を示す。同表の値は、前章の図-5、-8、-11および-14の実験結果にもとづいて計算した。なお、炭酸ソーダでは、表の値が適用

分 散 剤 (注)	D 1	D 2	D 3	D 4
価 格 (円/kg)	35	200	150	130
耐凝集比上昇効率 (/g)	6.7	2.4	0.7	0.4
同 上 比	9.2	3.3	1.0	0.6
経済的耐凝集比上昇効率 (/円)	191.4	12.0	4.8	3.0
同 上 比	39.3	2.5	1.0	0.6

(注) D 1:炭酸ソーダ D 2:ヘキサメタリン酸ソーダ
D 3:フミン酸ソーダ
D 4:鉄クロムリグニンスルホン酸ソーダ

表-4 Ca⁺ に対する耐凝集比に及ぼす各分散剤の効果

される添加濃度の範囲が、ベントナイトの種類および濃度によって異なるが表示しない。

さて、同表によれば、フミン酸ソーダの耐凝集比上昇効率は鉄クロムリグニンスルホン酸ソーダのそれよりわずかに大きい。それに対し、ヘキサメタリン酸ソーダの値はこれらの数倍である。また、その経済的耐凝集比上昇効率も、これら3種の分散剤は価格が近似しているので、耐凝集比上昇効率の順位と同様の順位となる。

一方、炭酸ソーダ耐凝集比上昇効率が極めて大きくまた価格も安いので、その経済的耐凝集比上昇効率はさらに大きくなる。したがって、炭酸ソーダは最も経済性のすぐれた分散剤であるといえる。ただし、図-1

5に示したように、高濃度のベントナイトB泥水では0.5%以下でも、凝集作用を示すこともあるので、使用に際しては注意する必要がある。

以上、分散剤のCa[#]に対する耐凝集比を上昇させる効果を比較、検討した。ここに参考までに、分散剤を0.5%添加した各泥水および無添加泥水のCa[#]に対する耐凝集比を、ベントナイト濃度と関連させて、図-16に例示する。なお、分散添加濃度0.5%の泥水を比較するのは、従来から泥水工法では分散剤を0.1~0.5%添加しているが、最近では高濃度に添加する傾向にあることを考慮したからである。

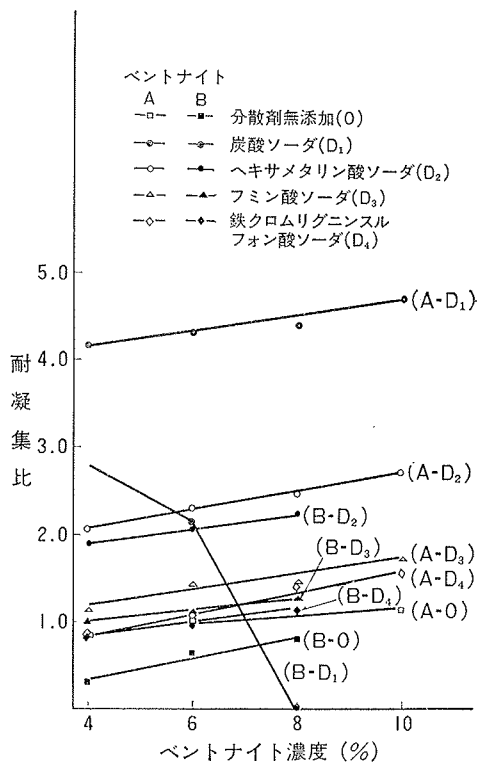


図-16 分散剤 0.5% 添加泥水の Ca[#] に対する耐凝集比

5. まとめ

泥水工法では地盤掘削時にベントナイト泥水を使用するが、この泥水には使用中に掘削土だけでなくセメント溶出成分、海水の混入した地下水などが混入し、泥水の懸濁分散状態が劣化し、機能が低下する。セメント溶出成分の場合には主として Ca[#] が、海水の場合には主として Na⁺ が懸濁分散状態を劣化させる。こうした泥水の劣化を防止するため分散剤が使用される場合が多くなってきた。分散剤を有効に使用するには、その性能を正しく把握する必要がある。

そこで、市販の無機系分散剤として炭酸ソーダ (D1)、ヘキサメタリン酸ソーダ (D2) および有機系分散剤としてフミン酸ソーダ (D3)、鉄クロムリグニン

スルホン酸ソーダ (D4) を供試した。そして、代表的なベントナイト2種の泥水について、懸濁分散状態の指標として、Na⁺ および Ca[#] に対する耐凝集比を測定し、分散剤の性能を価格をも考慮して比較、検討した。同時に、懸濁分散状態に支配される泥水の粘度および泥壁の透水係数をも測定した。なお、これら分散剤の作用機構について考察を加えた。以下に、その結果を列挙する。

1) D1を除く分散剤はいずれも、Na⁺ に対する懸濁分散状態を改良する。これら分散剤は、ある濃度以下の添加で、耐凝集比を上昇させ、それ以上の添加では、耐凝集比をさらに上昇させることはない。このような最適限界濃度は D2 で 0.2%、D3 および D4 で 0.5% である。そして、これら分散剤の効果は、主として粘土粒子表面の負の動電位を上昇させる作用に由来すると推察した。

一方、D1 は耐凝集比を低下、すなわち懸濁分散状態を劣化させ、凝集剤としてのみ作用する。

2) D1を除く分散剤はいずれも、Ca[#] に対する耐凝集比を、その添加濃度にほぼ比例して上昇させる。これら分散剤の効果は、主として Ca[#] をキレート形成によって不活性化作用に由来すると推察した。

一方、D1 も添加濃度に比例して耐凝集比を上昇させるが、ある添加濃度以上では、逆に低下させる。この限界添加濃度はベントナイトの種類および濃度によって異なる。この D1 の特異な効果は、Ca[#] を炭酸カルシウム形成によって不活性化作用と凝集剤としての作用とに由来すると推察した。

3) 最適限界濃度範囲で、Na⁺ に対する耐凝集比を上昇させる効率は、D2>D4≧D3 の順位であり、価格を考慮した経済的効率も同様の順位である。

また、Ca[#] に対する耐凝集比を上昇させる効果は、D1≫D2>D3≧D4 であり、経済的効率も同様の順位である。ただし、D1 には使用限界濃度があり、供試した2種のベントナイトのうち、一方では特に限界濃度が低いので、実用上注意する必要がある。

4) 泥水の粘度および泥壁の透水係数も、上述の耐凝集比から推定される懸濁分散状態を反映していると判断した。

終りに、実験は主として技術研究所の茂手木敬子職員および朝野三千代職員が担当したことを記して、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) 泥水有効性の簡易判定法, 第1回土質工学研究発表会講演集, 33, (1966)大林組技術研究所報 No. 1, (1966)
- 3) 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, 第2回土質工学研究発表講演集, 335 (1967), 大林組技術研究所報 No. 1 (1966)
- 3) 喜田: 泥水工法における泥水管理に関する研究 (第4報) 分散剤鉄クロムリグニンスルホン酸ソーダの効能と経済性, 第3回土質工学研究発表会講演集, 481 (1968), 大林組技術研究所報 No. 3, 107 (1969)
- 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, 第3回土質工学研究発表会講演集, 487 (1968), 大林組技術研究所報 No. 3, 114 (1969)
- 5) 喜田・川地: 泥水工法における分散剤に関する研究(I)ベントナイト泥水の懸濁分散性におよぼす各種分散剤の効果, 第13回材料研究連合講演会前刷集, 137 (1969)
- 6) 喜田・川地: 泥水工法における分散剤に関する研究(II)ベントナイト泥水の粘性, 造壁性におよぼす各種分散剤の効果, 第13回材料研究連合講演会前刷集, 139 (1969)
- 7) Van Olphen, H: Stabilization of montmorillonite sols by chemical treatment (II), Rec. Trav. Chim., 69, 1313 (1950)