

# アッシュ添加泥水による逸泥防止法の検討

——泥水工法における泥水管理に関する研究(第9報)——

喜 田 大 三  
川 地 武

## 概 要

泥水工法の適用範囲の拡大に伴って、主として砂礫層掘削時に問題化してきている、いわゆる逸泥事故は、壁面崩壊、泥水材料の浪費、周辺の地下水汚染などを誘発する。そこで各種の逸泥対策のうち、泥水に逸泥防止剤を添加する方法を検討した。その結果従来市販されている逸泥防止剤に比べて性能、価格、取扱いなどの面ですぐれている逸泥防止剤アッシュ(特許申請中)を開発した。まず、川砂利より分離した細砂、粗砂、小礫を単独あるいは混合して地盤モデルを作成し、アッシュ添加泥水の逸泥防止作用を室内実験した。その結果粗砂の地盤ではアッシュが4～8%の添加濃度ですぐれた効果を示すこと、砂、礫混合地盤でもアッシュの効果が認められるが、その効果は構成土粒子の混合、配列の様式にも支配されることが判明した。次に、アッシュ添加泥水を使用した現場において、泥水の使用状況などを調査し、その結果、アッシュはほぼ期待どおりの逸泥防止効果を示していることが判明した。

## 1. まえがき

泥水工法は従来の地下工法に比べて、騒音、振動の程度が低いと、公害規制の強化につれ、ますます適用例が多くなる傾向にある。最近の特徴の1つとして、従来のように東京、大阪を中心とした大都市のみならず、中小都市でも本工法が採用されてきていることがあげられる。

これらの地域は内陸部の扇状地性の地域や、海岸部の小河川の流域に発達した地域を含み、両地域とも東京、大阪のように比較的広大な平野部に発達した地域とは堆積物の粒度などが異なる。すなわち、扇状地性の堆積物はとうた度が低く、粗粒であり、基盤までの全層が砂礫で構成されることもめずらしくない。一方、小河川の流域では層相の変化が激しく、細粒物と粗粒物とが互層をなすことが多い。

さて、こうした地域で泥水工法を施工する際、泥水が逃げることがあり、これを逸泥と称している。逸泥事故は、急激な泥水位の低下のために壁面の安定性が維持されないで、壁面崩壊を誘発したり、またベントナイトをはじめとする泥水材料の浪費の原因となり、さらに泥水が地下に混入して周辺の水質を汚染させたりする。したがって、泥水工法をこれらの地域でも適用させるためには、逸泥防止法の確立が望まれる。なお、逸泥事故は大都市においても、平野の縁辺部<sup>1)</sup>などで、また埋めもどし不完全な場合などにはやはり問題とされることがある。

ところで、逸泥事故は石油ボーリング分野では古くから重視され、各種の対策が検討、確立され、これに関する研究<sup>2)</sup>も行なわれている。これらの対策は次のように分類される<sup>3)</sup>。

- i) 掘削機の掘削速度を落としたり、循環圧力を低下させる。
- ii) 添加剤を用いて泥水の性状を調整し、逸泥防止用泥水とする。
- iii) 逸泥する地層、部位をグラウトする。

これらのうちの一部はすでに建設分野でも適用されているが、建設分野の実情を考慮すると、ii)の逸泥防止用泥水による方法について検討の余地があるものと思われる。

さて、逸泥防止用泥水としては、ベントナイト濃度を高めたり、CMCなどの調整剤を加えたり、あるいは逸泥防止剤を添加した泥水が用いられ、このいずれを採用するかは、逸泥の状況、特にその規模、原因によって変わる。中規模から大規模の逸泥には逸泥防止剤の添加が有効とされている。なお、従来市販の逸泥防止剤には、綿の実のしぼりかす、微粉状ヒル石、パルプ繊維などがあるが、いずれも高価(50～70円/kg)であり、また扱いにくい欠点を有している。

そこで、性能、価格、扱いやすさの面から満足しうる逸泥防止剤を開発することを意図し、その1つとしてアッシュを開発した。ここに、室内実験の結果および現場施工例を報告する。なお、本報告の一部はすでに土木学会第25回年次学術講演会で発表した<sup>4)</sup>。

## 2. アッシュについて

逸泥防止剤として開発したアッシュ（特許申請中）は微粉炭の燃焼残分から製造されるフライアッシュの一種であるが、従来のフライアッシュより粗粒分の多いものである。図-1 にベントナイト、フライアッシュおよびアッシュの粒径加積曲線を示す。これによればフライアッシュは JIS 規格でも規定されているように、44 $\mu$  よりあらい部分は25%以下であるが、アッシュでは50~70%を占めている。

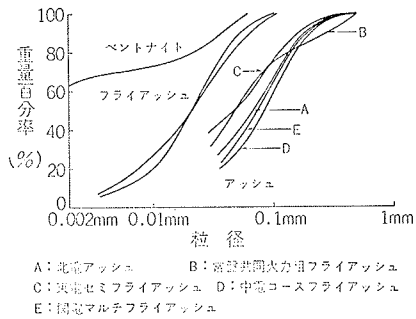


図-1 各種アッシュの粒径加積曲線

比重はC, D, Eアッシュそれぞれ2.14, 2.08, 2.13と測定され、ベントナイトに比べて低い値を示す。

また、アッシュは微粉炭の燃焼残分であり、高温で溶融されているため、その形状は図-2に示したように球状である。

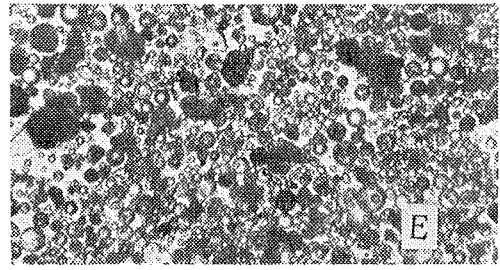
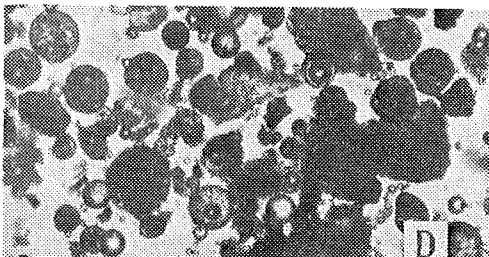
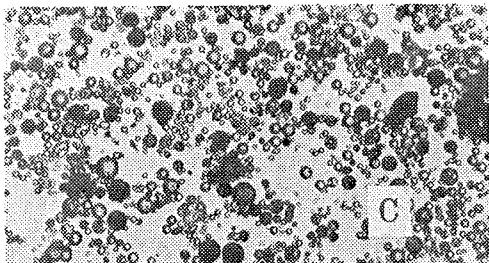
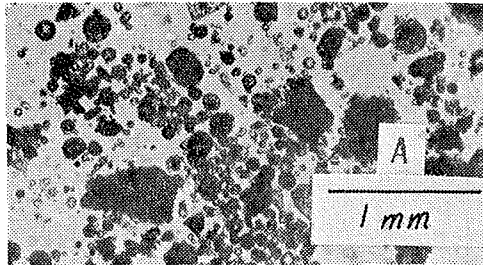


図-2 アッシュの顕微鏡写真

逸泥防止剤アッシュの化学的性質の1つとして水溶性陽イオン含有量を表-1に示す。

種類	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>
A	7.0	1.5	0.47
B	41.8	3.2	1.75
C	56.0	1.5	0.22
D	40.0	1.8	0.87
E	25.7	0.3	1.10

数値はいずれも、m·eq/100gで示している。

表-1 アッシュの水溶性陽イオン

これによれば、いずれのアッシュも水溶性陽イオン含有量が高い。この事実は、アッシュを泥水に添加した際に、粘度の上昇、懸濁分散性の低下が起こることが推定される。

なお、これらアッシュの諸性質はアッシュの種類によって相当大きな変動を示す。これは、アッシュの原料が微粉炭であることを考慮すれば当然ともいえ、現場で使用する際に、これらのうち適切なものを選択している。

## 3. 実験

アッシュの逸泥防止効果をみるため、まず地盤モデルを用いて、室内実験を行なった。

### 3.1. 実験材料

ベントナイト：群馬県産 250メッシュベントナイト

アッシュ：アッシュC, D, E

地盤モデル：川砂利（富士川産）より分離した細砂、粗砂、小礫をそれぞれ単独で地盤モデルとし、あるいはこれらを所定の割合で混合して地盤モデルとした。単独の場合について若干の特性値を表-2に示す。

	細砂	粗砂	小礫
粒径範囲 mm	0.1~0.29	1~2	2~5
間隙率 %	36.6	40.0	42.3
透水係数 cm/sec	$2.90 \times 10^{-2}$	1.00	2.88
有効径D <sub>10</sub> mm	0.135	1.02	2.10

表-2 供試した地盤モデル

### 3.2. 実験法

3.2.1. 供試泥水 ベントナイト濃度4~12%（外割・重量）、アッシュベントナイト比0~1.0になるよ

うにアッシュを含む泥水を、羽根付きかくはん機で約15分かきはんして調製した。

供試泥水のうち、ベントナイト8%泥水の耐凝集比、ファンネル粘度、泥水比重を図-3に示す。耐凝集比はCa<sup>++</sup>による凝集に対する抵抗性を、アッシュ無添加泥水を1.00として示し、懸濁分散性の尺度であり、この値の大きい泥水ほど懸濁分散性がすぐれているといえる。図-3によればアッシュ添加によって懸濁分散性が低下し、その低下量はC>D>Eの順である。また、ファンネル粘度は逆に、アッシュ添加によって上昇する傾向が認められ、アッシュCでは4%の添加で測定不能となる。粘度上昇の割合はC>D>Eであり、懸濁分散性の低下量と同じ順である。この順位は、表-1の水溶性Ca<sup>++</sup>含有量の順位と一致しており、これらの現象がアッシュに含まれる水溶性陽イオン特にCa<sup>++</sup>に由来することを示唆している。泥水比重はアッシュ添加によって、ほぼ直線的に上昇している。

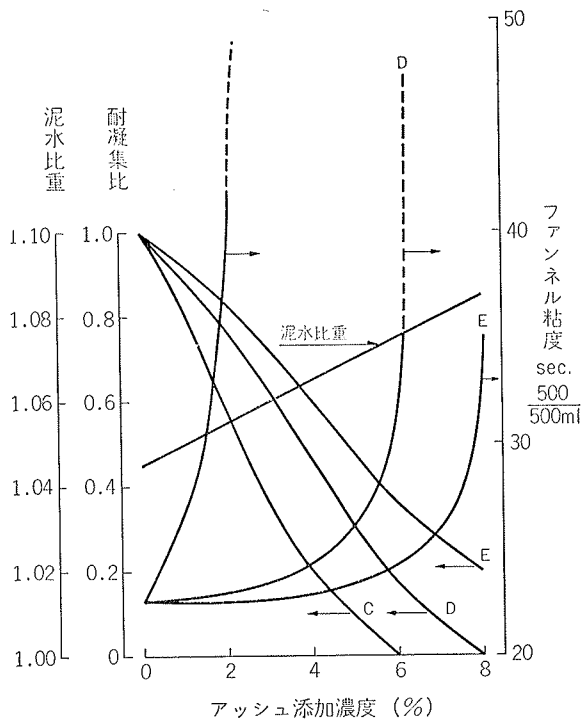


図-3 アッシュ添加泥水の諸性質

3.2.2. 測定 API (アメリカ石油協会) 規格のろ過試験器を改良した装置に、所定量の地盤モデルを水分飽和状態で充てんし、所定量の泥水を注ぎ、下記の条件下で加圧を行なった。

測定項目は、シリンダー中に排出する泥水の量、泥水位の経時測定、および地盤モデル表面に形成される泥膜の厚さ測定などであり、同時に排水のにごりを観察した。なお、この実験では地盤モデルの充てん法が問題となるが、ここでは水分飽和状態で、気泡のはいらないように、先のとがった5寸釘で作った突き棒で

30回突く方法と、上下方回に軽く衝撃を30回与える方法とを併用した。

また、加圧条件については、それぞれの地盤モデルで粘度の異なる各種泥水を用いて予備実験を行ない、0.5kg/cm<sup>2</sup>、30分とした。

3.3. 実験結果

3.3.1. 砂・礫単独の場合 細砂の場合については図示しないが、アッシュ無添加泥水でも排出される液は透明であり、液量は30ml未満であった。また、30分加圧の後、地盤モデル表面には密な泥膜が形成されていた。

次に、粗砂の場合について、実験結果を図-4に示す。図中、排水量が100ml未満から600ml以上まで変化するが、排水の濁りは200ml前後を境に、これ以上では顕著になる。これは地盤モデルの間隙率が40%であることから水分飽和状態の間隙水量が240mlであることと対応し、澄んだ間隙水が泥水と置換されるこ

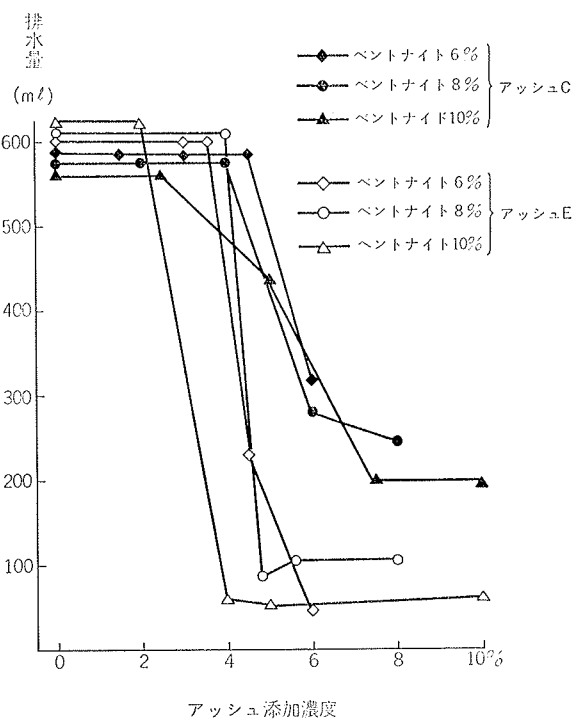


図-4 粗砂におけるアッシュ添加泥水の排水量

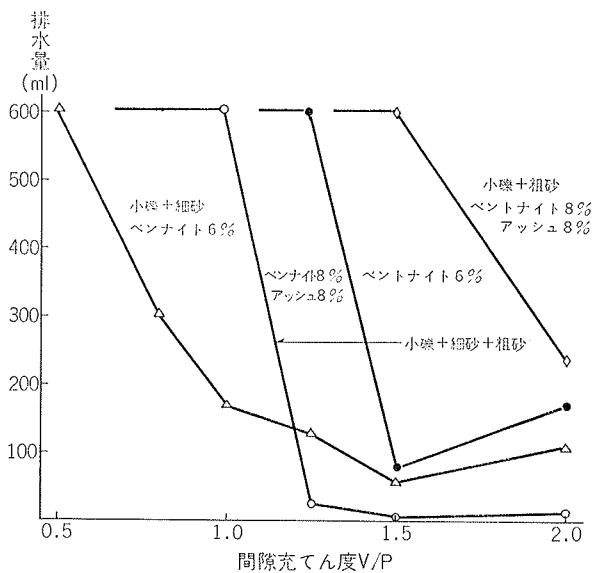
とを示している。したがって、逸泥の有無の判定は排水量240mlを目安とした。

さて、図-4でアッシュ無添加泥水は排水量が600mlを上回り、完全に逸泥する。ところがアッシュ添加泥水では、4%以上(アッシュE)、6%以上(アッシュC)の添加濃度で、排水量が200ml前後となり、逸泥は防止できる。排水量を200ml前後まで低下させるに要するアッシュの添加濃度はベントナイト濃度、アッシュの種類によって異なる。なお、粗砂の場合に、排水量が200ml前後のときには厚い泥膜(1~4mm)が形

成されていた。

小礫の場合図示しないが、アッシュ添加濃度が12%未満では、排水量は600mlを上回り、アッシュ添加濃度をこれ以上にすると、排水量は低下する。しかし、この場合の泥水はゲル化が著しく、流動性に乏しくなる。以上、砂、礫単独の地盤モデルにおけるアッシュの逸泥防止効果を実験的に検討した結果、粗砂で代表される地盤では有効であることが判明した。なお、粗砂モデルの透水係数は1.00cm/secであり、現場の砂礫層のほとんどが10<sup>-1</sup>cm/sec未満の透水係数であることを考慮すれば、アッシュは実際的にも効果が期待しうるといえよう。

**3.3.2. 砂・礫混合地盤モデルの場合** 実際の砂礫地盤あるいは砂礫層では、砂と礫は多様な混合比あるいは充てん様式で存在している。そこで砂と礫の混合比を変えた砂礫混合地盤モデルを作成し、このモデルにおけるアッシュ添加泥水の効果を検討した。混合比は、礫の間隙(P)と砂の体積(V)の比を変化させて調節した。



図一五 砂礫混合地盤モデルにおける排水量 (アッシュE)

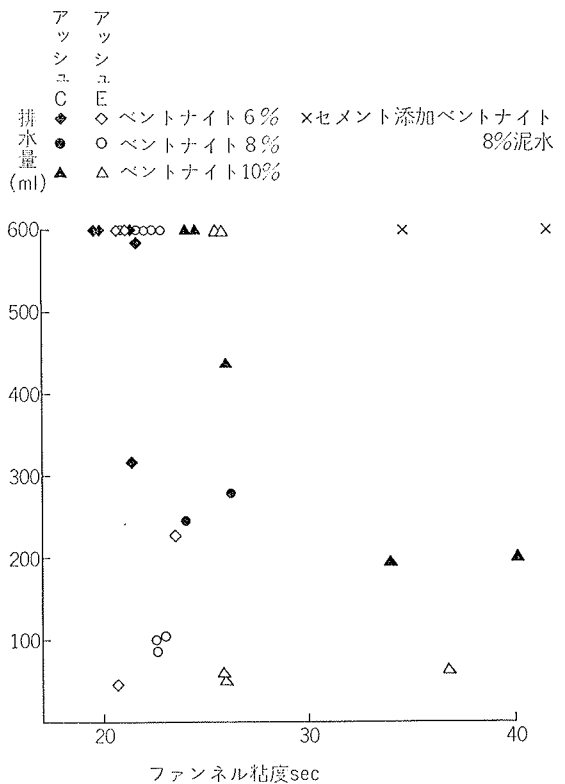
図一五に実験結果を示す。間隙充てん物が細砂の場合、V/Pが1.0以上になればベントナイト6%泥水でも排水量は200ml未満となり、礫の粗間隙が充てんされていることを示している。一方、粗砂を間隙充てん物とした場合、V/Pが1.5でもアッシュ8%添加泥水は逸泥し、V/Pが2.0で排水量が200ml近くになる。これは、粗砂の一部は礫の間隙充てんに関与しないこと、またこのような混合地盤モデルでは、間隙充てんが容易でないことを示すといえよう。充てん物を細砂

と粗砂の混合物(混合比1:1)とした場合、上記の2つの場合の中間的な傾向を示すが、やはりV/Pが1.0では排水量が600mlを上回る。

3.4. 検討

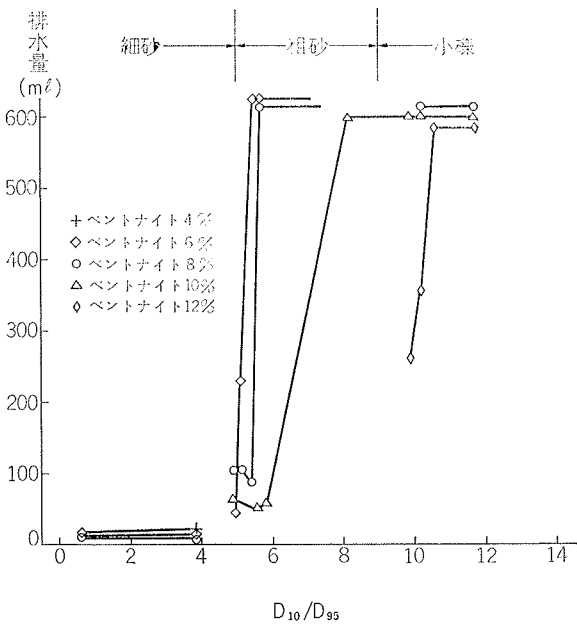
**3.4.1. 泥水の粘度と排水量の関係** 以上の実験結果から、アッシュ添加泥水の逸泥防止効果が主としていかなる原因によるものかを、まずアッシュの粘度上昇効果から検討してみる。図一六には、粗砂地盤モデルにおける排水量を泥水のファンネル粘度に対してプロットした。

図一六によれば、粘度の低い泥水では逸泥する場合としない場合があるが、粘度の高い泥水では逸泥しない。したがって、高粘度泥水であれば逸泥防止が可能のように考えられるが、アッシュの代わりにセメントを0.3%添加した高粘度の泥水の排水量が600mlを上回ったことを考えると、一概にこのようにもいえない。なお、小礫の場合にはファンネル粘度40秒以上の高粘度泥水も完全に逸泥する。



図一六 排水量とファンネル粘度との関係

**3.4.2. 地盤モデルと泥水の粒径比と排水量** 砂礫の間隙を泥水が流去する現象が逸泥である以上、間隙の径と泥水中の固形分の粒径の比が問題となろう。土粒子の間隙径は粒子径で表わされるので、土粒子径を有効径で代表させ、また泥水中の固形分の粒径を95%粒径(D<sub>95</sub>)で代表させることにより、間隙径と粒径の

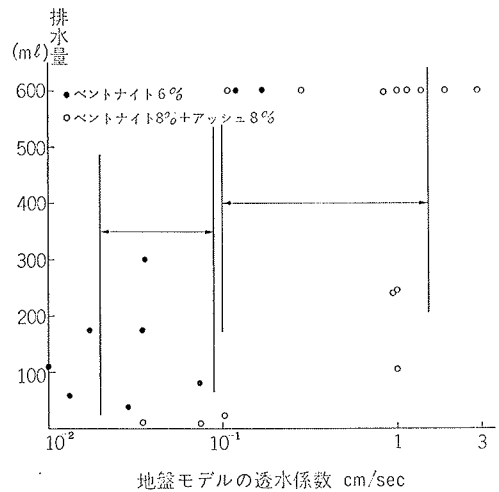


図一七 排水量と  $D_{10}/D_{95}$  との関係 (アッシュEの場合)  
比は粒径比  $D_{10}/D_{95}$  を目安として示される。これは従来懸濁液グラウトのグラウタビリティとされていたものである<sup>4)</sup>。

図一七に3.3.1.における排水量を粒径比  $D_{10}/D_{95}$  に対しプロットした。これによれば、排水量はある粒径比を上回ると排水量が多くなること、境界となる粒径比はベントナイト濃度によって異なり、ベントナイト濃度が高い場合には、大きな値となることが明らかである。同様の傾向はアッシュCの場合にも認められ、比較的粒径のそろった砂、礫単独の地盤モデルでは逸泥の有無が地盤モデルと泥水の粒径比に支配されることを示す。

なお、3.3.2.の砂礫混合地盤モデルにおける実験結果についても、地盤モデルと泥水の粒径比と排水量の関係をみたが、この場合には図一七のような関係は認められなかった。このことは、砂礫地盤における逸泥が単に地盤と泥水の粒径比のみならず、砂礫の混合状況、充てん様式などに支配されることを示唆している。

3.4.3. 地盤モデルの透水係数と排水量 図一八に3.3.1.および3.3.2.の実験結果を整理し、排水量を地盤モデルの透水係数に対してプロットした。これによれば、アッシュ無添加泥水、アッシュ添加泥水ともに、排水量と透水係数とは直接的に関係づけられない。しかし、ベントナイト6%泥水では、 $2 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$  未満の地盤では逸泥せず、 $9 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$  以上の地盤で逸泥し、 $2 \times 10^{-2} \sim 9 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$  の地盤では逸泥の有無が他の因子で支配されるといえる。一方、ベントナイト8%、アッシュ8%泥水では、 $10^{-1} \text{cm/sec}$  以下



図一八 地盤モデルの透水係数と排水量との関係

現場	A	B	C	D	E	
所在地	札幌市北三条	神戸市灘区	宇都宮市大工町	東京都渋谷区	名古屋市東区	
泥水工事規模	深さ m	13.0	17.5	6.7~8.0	13.0	19.0
	総延長 m	54.0	150.0	126.0	368.7	90.0
	壁面積 m <sup>2</sup>	702	2,100	845	4,813	1,710
	掘削容量 m <sup>3</sup>	351	1,750	465	3,812	1,026
地中壁の用途	土留壁	土留壁・本体壁	土留壁	土留壁	土留壁	
土質	G.L.	砂質粘土	砂	礫混り粘土	腐植土	砂
	-5	礫径 70~150mm	礫径 50~100mm	礫径 50~200mm	シルト混り細砂	砂質シルト
	-10	礫径 30~60mm	細砂	砂質ローム	礫径 30~100mm	砂
	-15	≧ -10.80m	粗砂	凝灰岩	土丹	粘土質シルト
	-20		シルト混り砂			礫径 20~150mm
泥水調合	ベントナイト	7%	8%	8%	10%	8%
	CMC	0.15%	0.05%	0.05%	0.05%	-
	逸泥防止剤	アッシュA 5%	アッシュE 5%	アッシュB 3%	アッシュC 2.5%	アッシュD 5%

表一三 調査現場概要

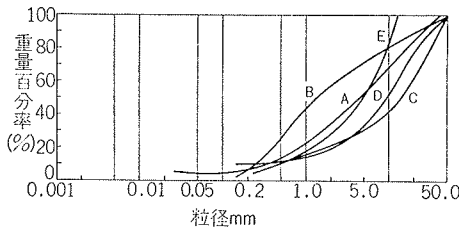
の地盤で逸泥せず、1.5cm/sec以上の地盤では完全に逸泥し、 $10^{-1} \sim 1.5$ cm/secの地盤では逸泥する場合としない場合があるといえよう。

#### 4. 適用例

アッシュが粗砂相当の地盤ではすぐれた逸泥防止剤であることが判明した。現在、この実験事実に基づいて、逸泥が懸念される各現場でアッシュを添加するようになっている。そこで、これらの各現場におけるアッシュの効果の実態について調査を行なった。以下にその調査結果について述べる。

##### 4.1. 調査現場

表一3に調査現場の概要を示す。これらのうち、現場AおよびCはいずれも扇状地性堆積物からなる土質を示す。現場Dはおぼれ谷堆積物を主体とし、その下部には東京礫層が位置する。現場Bは小河川の河口の押し出し堆積物を主体とした土質である。また、現場Eは濃尾平野の東北縁近部で河川勾配の変換点の近くに位置するため、砂礫を主体とした土質である。一部の現場では砂礫層の透水係数を測定しており、現場Dで $1.0 \sim 1.5 \times 10^{-4}$ cm/sec、現場Eで $3.0 \sim 10^{-3}$ cm/secである。なお、図一9に一部の現場の最も粗い砂礫層の砂礫について粒径加積曲線を示した。これによれば、有効径は0.14~0.55mmの範囲にある。



図一9 各現場の砂礫の粒径加積曲線

##### 4.2. 調査法

調査は泥水工事終了後、泥水材料の使用状況、掘削、コンクリート打設などについてアンケートをとり、これをまとめる方法を採用した。これらの結果のうち、泥水の使用状況については、みかけ転用回数などを次式に従って算出した。

$$\text{ベントナイト使用量 (t/m}^3\text{)} = \frac{W_B}{V_d}$$

$$\text{みかけ転用回数 } (\beta/\alpha) = \frac{V_d}{V}$$

$$\text{損失係数 } (\alpha) = \frac{V_d + V - V_{ab}}{V_d}$$

ここに、 $W_B$ : ベントナイト総使用量(t)

$V_d$ : 設計掘削容量( $m^3$ )

$V$ : 泥水作成量( $m^3$ )

$V_{ab}$ : 廃液量( $m^3$ )

現場	泥水の使用状況			コンクリート打設量超過率(%)
	ベントナイト t/m <sup>3</sup>	みかけ転用 率 $\beta/\alpha$	損失係数 $\alpha$	
A	0.089	0.78	1.28	22.8
B	0.068	1.12	1.33	14.3
C	0.103	0.96	1.04	4.4
D	0.061	1.34	1.54	3.3
E	0.079	1.20	1.00	15.1

表一4 各現場の泥水の使用状況など

#### 4.3. 調査結査

調査結果を表一4にまとめて示す。

ところで、アッシュを開発する以前においては、砂礫地盤で施工した際には、ベントナイト使用量が0.2 t/m<sup>3</sup>以上、みかけ転用率0.8以下、損失係数1.5以上と泥水材料の浪費が激しく、コンクリート打設量の超過も著しい場合があり、市販の逸泥防止剤を用いて逸泥を防止したこともあったが、泥水材料費が非常に高価なものとなった。

さて、表一4に示した各現場のうち、現場Aでは、あらかじめアッシュA添加泥水を用いて逸泥防止に努めた結果、ごくわずかの埋めもどし不完全部分での7.2 m<sup>3</sup>/hrの逸泥以外には、顕著な逸泥は認められなかった。

現場B、Cの両現場では、いずれも逸泥が懸念されたので、あらかじめアッシュ添加泥水を使用した。特に、現場Bでは周辺に醸造業地帯を控え、地下水の汚染が心配されたが、これは一応防止することができた。

現場DおよびEの両現場は、いずれも当初の調泥計画ではアッシュを加えていなかった。ところが、それぞれ砂礫層掘削時に、7m<sup>3</sup>/hr、1.2m<sup>3</sup>/hrの逸泥が認められた。そこで、表一4のようにアッシュを添加したところ、両現場ともほぼ完全に逸泥を防止することができ、以後はアッシュ添加泥水を使用した。現場Dについては詳細な報告<sup>6)</sup>がある。

なお、表示しないが、これらの現場の掘削能率は1~4m<sup>3</sup>/hrであり、現場によって相当大きく異なるが、一概に逸泥の有無のみとは関係づけられないようである。

#### 5. まとめ

泥水工法の適用範囲の拡大傾向に伴い、主として砂礫地盤掘削時に問題化してきている逸泥事故は、掘削壁面の崩壊、泥水材料の浪費あるいは周辺の地下水汚染などの原因となり、無視することができない。これを防止する逸泥対策は、機械、施工法、材料など各方面から考えられるが、ここでは比較的容易と考えられ

る逸泥防止泥水による方法について検討した。従来の逸泥防止剤がきわめて高価であり、同時に比較的扱いにくい欠点をもつのに対し、すぐれた性能が予想されると同時に安価である逸泥防止剤アッシュを開発し、若干の室内実験を行ない、その結果に基づいて実際に現場で使用した。その結果、以下に列挙する知見が得られた。

1) アッシュは球状粒子を主体とし、通常のフライアッシュに比べて粗粒である。また、水溶性の Ca<sup>++</sup> を多量に含むので、泥水に添加すると、泥水の粘度は上昇し、懸濁分散性は低下する。なお、アッシュの性質は種類によって相当大きく変化する。

2) 細砂、粗砂、小礫をそれぞれ単独の地盤モデルとした場合、アッシュの逸泥防止効果は地盤モデルの粒径によって変化し、粗砂で特に顕著に認められる。逸泥防止上必要なアッシュの最低濃度は、ベントナイト濃度およびアッシュの種類によって異なるが、ほぼ 4～8% である。

3) 礫の間隙を砂で充てんさせる割合を変化させて砂、小礫を混合した地盤モデルでもアッシュ添加泥水は逸泥防止効果を示す。しかし、砂、礫単独の場合と異なり、アッシュの効果は、地盤モデルの粒径だけでなく、構成粒子の混合状況、配列様式などにも支配されている。

4) アッシュ添加泥水を逸泥を生じた現場あるいは逸泥が予想された現場に適用し、泥水材料の使用状況などを調査した結果、アッシュの逸泥防止効果がすぐれていることが判明した。

終わりに、現場調査に当たって多大の御便宜をたまわった各現場の方々に深い感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 桐生正男：武蔵野（西）線東村山ざい道の連続地中壁掘削における安定液使用について，コンストラクション，8巻8号，26～34（1970）
- 2) 藤井清光：逸泥に関する実験的研究，石油技術協会誌，11巻10号，291～311（1943）
- 3) 沖野文吉：ボーリング用泥水，102～112，技報堂（1966）
- 4) 喜田・川地：逸泥防止剤アッシュの開発，土木学会第25回年次学術講演会，V-305～308（1970）
- 5) 藤井 和：地盤注入工法の合理化に関する資料，土と基礎，12巻4号，25～30（1964）
- 6) 耳野・和田：営団地下鉄第9号線代々木八幡工区における泥水式鉄筋コンクリート壁の設計と施工，コンストラクション，8巻12号，7～19（1970）