

泥水工法における泥水管理に関する研究 (第21報)

—逸泥防止用ポリマー泥水の開発—

喜 田 大 三
川 地 武

Studies on Control of Slurry for Underground Excavation (Part 21) —Development of Polymer Base Slurry for Prevention of Mud Loss—

Daizo Kita
Takeshi Kawachi

Abstract

In underground excavation using slurry, the loss of slurry occurring in excavation of gravelly ground must be prevented from the viewpoints of safety, ground water pollution and economy. Consequently, a new polymer-based slurry (OP-7) was developed for excavation of gravelly ground. The properties and effects of this slurry are as follows. i) The properties of this slurry without gelling reagent are similar to those of other polymer-based slurries, but this slurry is more easily degraded by less contaminated soil and shows higher cement-resisting properties than other polymer-based slurries. ii) This slurry gellates on addition of a small amount of reagent and forms a soft gel resembling pudding. The viscosity of this gelled slurry is about 20,000 cp and the yield values is about 5,000 dyne/cm². iii) In laboratory experiments, this gelled slurry is very effective in reducing slurry losses with three ground models of different permeabilities. At a site of gravelly ground of high permeability ($k = 9.1 \times 10^{-1}$ cm/sec), this gelled slurry showed excellent effects in preventing slurry loss and ground water pollution.

概 要

泥水工法における逸泥の防止は、工事の安全、公害の防止、経済性の向上を図るうえで不可欠であるが、決定的な方法がないとされてきた。そこで、新しく逸泥防止用ポリマー泥水 (OP-7) を開発し、極めて透水係数の高い地盤の現場に適用した結果、すぐれた逸泥防止効果を確認した。以下に、このポリマー泥水の性状と効果を列記する。

i) この泥水はゲル化剤を添加しない場合には、通常のポリマー泥水に類似した性状を示すが、OP-4 泥水に比べて、混入土によって劣化しやすく、耐セメント性が高い。ii) 少量 (0.05%前後) のゲル化剤を添加したOP-7泥水は、20000cp 前後の粘度、5000dyne/cm² 前後の降伏値を有するこんにゃく状のゲルとなる。iii) 透水係数の異なる三種の地盤モデル ($k=1.5 \times 10^{-1} \sim 4.4 \times 10^0$ cm/sec) において、このゲル化泥水は顕著な逸泥防止効果を示し、透水係数が 9.1×10^{-1} cm/sec の砂礫地盤の OWS 工事にこの泥水を適用したところ、逸泥を完全に防止し、周辺の井水を汚染することなく工事を終了した。

1. まえがき

泥水工法では地盤掘削時に泥水を使用する。本工法では掘削孔内に充満した泥水が、掘削壁面に形成される泥壁を介して泥水圧を発現することにより、掘削壁面が安定化されている。したがって、掘削壁面の安定には孔内に泥水が充満していることが不可欠である。ところが、砂礫地盤のように透水係数の高い地盤では多量の泥水が周辺地盤に浸透する、いわゆる逸泥事故

が発生することがある。この逸泥事故は泥水位を急激に低下させるために、掘削壁面の崩壊を招くだけでなく、現場周辺の地下水を汚染することになり、また泥水の多量の消耗を伴なう。例えば、ある現場では現場から 100M 以上離れた井戸水が泥水で汚濁したり、また、他の現場では掘削土量の 2 倍以上の泥水を損失したことがある。したがって、工事の安全性だけでなく、公害の防止、経済性の向上などの点からも逸泥の防止が必要とされる。ところで、これまでも各種の逸

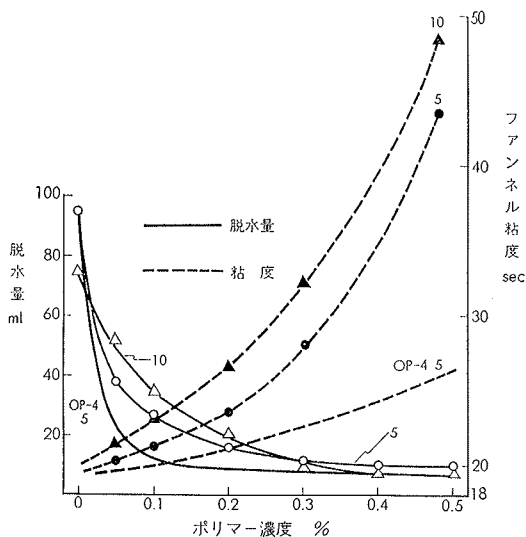
泥防止対策が提案、採用され、その代表的なものには、逸泥層をあらかじめグラウトしたり、泥水をセメントなどでゲル化させたり、あるいは泥水に各種の逸泥防止剤を添加する方法などがある。しかし、これらの対策も一長一短があり、よりすぐれた逸泥防止対策の確立が望まれている。

そこで、少量のゲル化剤の添加によって容易にゲル化し、しかも、このゲルが砂礫層中に浸透して地盤を止水化する新しいポリマー泥水を開発し、この泥水を極めて透水係数の大きい砂礫地盤に適用したところ、すぐれた逸泥防止効果が確認できた。本報告では、このポリマー泥水の一般的性状、ゲル化した際の逸泥防止効果および現場への適用例を述べ、文中、このポリマーを OP-7、このポリマーの泥水を OP-7 泥水と記載している。なお、このポリマー泥水はゲル化させないで掘削に使用し、逸泥の認められる場合にのみ孔内へゲル化剤を投入してゲル化させたり、あるいはミキサーで混練時にゲル化させた状態で使用するが、OP-7 泥水を用いた逸泥防止法は現在特許申請中である。また、本報告の一部はすでに第10回土質工学研究発表会で報告している¹⁾。

2. ゲル化前の OP-7 泥水の一般的性質

2.1. 実験方法

2.1.1. 試料泥水の作成 ポリマーを家庭用ミキサーで水道水に溶解させ、この溶液に掘削土（東京沖積層シルト）をかくはん混合させて試料泥水とした。また、セメント添加系では、この泥水にセメント粉末をミキサーで混合させている。作成した試料は、変質抵



図一 OP-7泥水の造壁性、粘性（添字は混入土濃度%）

抗性を試験するものを除いて、5°C に保存した。

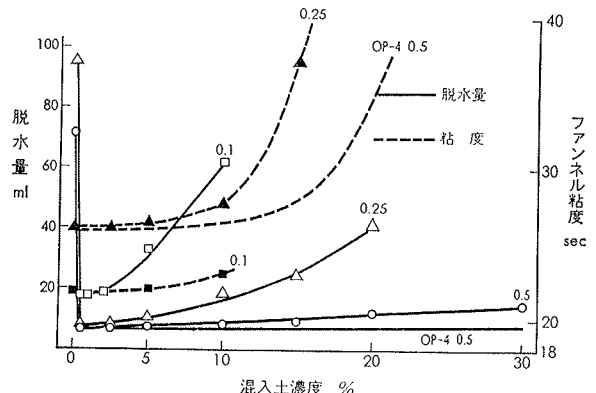
2.1.2. 測定項目と方法 測定は造壁性、粘性、pH について行った。造壁性は API 規格の加圧汙過試験器により、圧力 3 kg/cm² 加圧時間30分として汙過水を測定し、脱水量で表示した。また、粘性はファンネル粘度計 (500ml) によって、pH はガラス電極法によって測定した。

2.2. 実験結果と考察

2.2.1. 掘削土混入泥水の造壁性、粘性 図一に造壁性、粘性とポリマー濃度との関係を示すように、粘度はポリマー濃度の増大につれて高くなり、一方、脱水量は減少し、造壁性が改善される。造壁性の限界値として脱水量20mlを採用すると、0.15~0.2%のポリマー濃度が必要とされ、同図に併示した既報の OP-4泥水に比べて、OP-7 泥水ではやや高濃度のポリマーを必要とする。また粘度は OP-4 泥水に比べて高い。

次に、OP-7 泥水の造壁性、粘性と混入土濃度との関係を図二に示す。この結果によれば、脱水量は掘削土が混入していない場合には、極めて多いが、少量 (0.5%前後) の掘削土の混入によって著しく減少する。そして、ポリマー濃度に応じたある濃度以上の掘削土が混入すると、再び脱水量が増大し、過剰の混入土は OP-7 泥水の場合にも泥水を劣化させる要因となる。このように脱水量の多い泥水ではブロックが形成されており、ポリマーが凝集剤として作用している。脱水量が限界値の 20ml 以上となる混入土の濃度はポリマー濃度によって異なり、ポリマー濃度 0.1%で2%, 0.25%で15%, 0.5%で25%前後である。この傾向は OP-4 泥水でも認められている²⁾が、OP-7 泥水の方が少量の混入土で劣化すると言える。一方、粘度は混入土濃度の増大につれて高くなる傾向にある。また、泥水の pH は 6~7 で中性を示す。

さて、上述のように OP-7 泥水でも OP-4 泥水と同様、泥水の造壁性が土粒子濃度 (S) とポリマー濃度



図二 OP-7 泥水の造壁性、粘性（添字はポリマー濃度%）

(P)の相対的割合,すなわちS/Pによって支配されS/Pがある範囲内ですぐれた造壁性を示す。したがって,OP-7泥水においてもポリマー・粘土複合体が形成され,この複合体の性状が泥水の造壁性を支配すると思われる。この点については,今後さらに詳細な検討を行う予定である。なお,OP-7泥水においては比較的少量の掘削土の混入によって泥水が劣化するので,混入土濃度の高くなる粘性土地盤では適用できない。

2.2.2. 耐セメント性 セメント混入泥水の脱水量を図-3に示すように,いずれの泥水もセメントの混入によって脱水量が増大する。脱水量の増大はポリマー濃度が低いほど,また混入土濃度が高いほど著しく,この傾向はOP-4泥水の場合と一致している。脱水量が20mlを越える点のセメント混入量は,ポリマー濃度0.25%で0.4~0.7%,ポリマー濃度0.5%で2~5%であり,ポリマー,混入土の濃度の同一なOP-4泥水の2倍近い限界セメント混入量,すなわち耐セメント性となる。また,OP-4泥水と異なり,セメントが混入しても脱水量がある点で急増するのではなく,徐々に増大する。

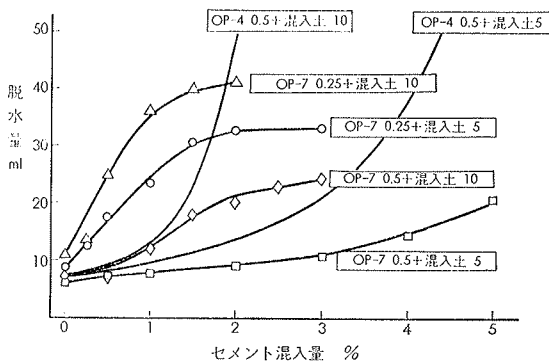


図-3 OP-7泥水のセメント混入による造壁性の変化(添字は泥水組成%)

また,セメント混入泥水の粘度は図示しないが,ベントナイト泥水のように異常に高くなることもなく,また,OP-4泥水のように低下することもなく,やや高くなる傾向にある。

このように,OP-7泥水はセメントによる劣化を受けにくい。この原因として,OP-7が非イオン性のポリマーであるため,セメントから溶出するCa⁺⁺などによる塩類凝集を受けにくいことが考えられる。すなわち,イオン性ポリマーであるCMCなどは塩類の添加によってコイリングや脱水和を生じる³⁾のに対し,非イオン性のOP-7ではこのようなことが起りにくいと思われる。

2.2.3. 変質抵抗性 既報²⁾のように,ポリマー泥水は有機高分子を主材とするため,バクテリアなどによって変質,分解を受けるので,泥水には変質防止剤が添加される。OP-7泥水の場合には,図-4に養生温度25°Cの例を示すように,OP-4泥水に比べ短期間に変質する。すなわち,変質防止剤を添加しない泥水では養生開始とともに粘度が低下しはじめ,5日後にはポリマー無添加系の粘度に近い値となり,同時に脱水量が著しく増大する。

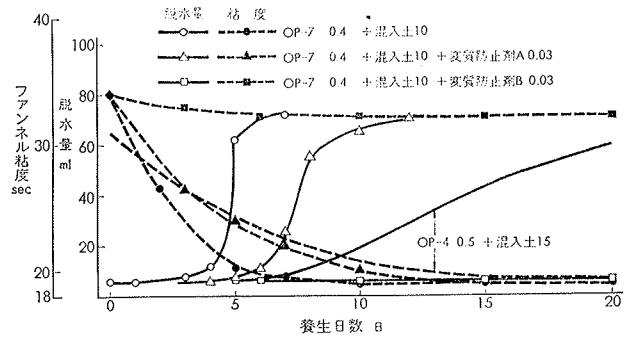


図-4 OP-7泥水の変質(25°C養生,泥水組成は%で表示)

そこで,OP-4泥水で効果の確認されている変質防止剤Aを添加したところ,変質の完了,すなわち脱水量の急増する養生日数を2日程度遅らせることしかできない。ところが,化学組成の異なる変質防止剤Bを添加したところ,粘度,脱水量ともに20日間養生後もほとんど変化しない。したがって,OP-7泥水の場合にはOP-4泥水の場合とは異なる変質防止剤を添加する必要がある。なお,このように有効な変質防止剤がポリマーの種類によって異なるのは,ポリマーの基本単位を結合させている結合の種類がポリマーによって異なり,このためポリマーの結合を切断するバクテリアの種類も異なることに由来すると考えられる。

3. ゲル化したOP-7泥水の性状及びゲルの逸泥防止効果

3.1. 実験方法

3.1.1. 供試材料及び試料の作成法 ポリマーはOP-7,ゲル化剤は無機系のものを,変質防止には変質防止剤Bを使用した。一部の試料には粘土を添加したが,粘土にはベントナイト(群馬産),朝鮮カオリン(韓国産)を採用した。

試料作成は次の順序で行った。すなわち,ポリマー,変質防止剤,粘土を家庭用ミキサーで水道水に溶解,懸濁させたのち,ゲル化剤を粉末あるいは溶液で加え,家庭用ミキサーで混合してゲル化させた。作成したゲルは5°Cに保存し,作成後一夜以上経過して

から測定に供した。

3.1.2. 測定項目と方法

i) 粘度：B型粘度計あるいはトルクメーター付きかくはん機によって回転時のトルクを求め、ズリ応力、粘度を算出した。ズリ速度の範囲はB型粘度計で0.07~1.5sec⁻¹、かくはん機では10~60sec⁻¹である。

ii) 造壁性、pH：2.1.2で述べたと同様である。

iii) 逸泥排水量：API規格の加圧濾過試験器を改造し、濾過円筒部を長くして、この円筒に粒径範囲の異なる三種のガラス玉を地盤モデルとして充てんし、これを水で飽和して実験を行った。表一に地盤モデルの透水係数を示す。この実験では圧力を0.5kg/cm²を

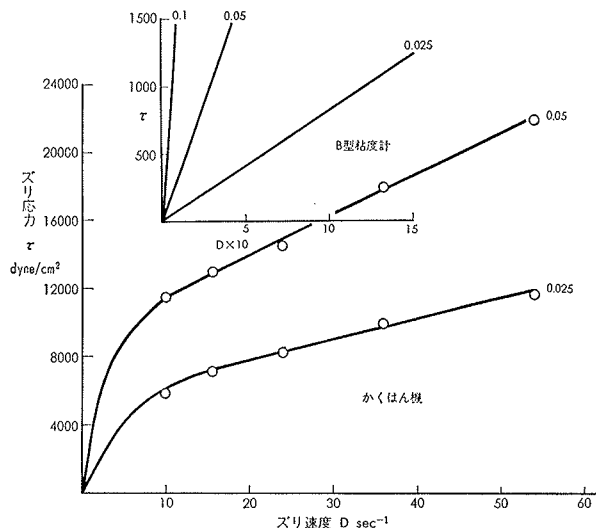
No	粒径範囲 mm	透水係数 cm/sec
1	0.42~0.59	1.50×10 ⁻¹
2	1.00~1.40	6.31×10 ⁻¹
3	4.50~5.50	4.45×10 ⁰

標準とし、加圧15分後の排水量、ゲル化泥水(ゲル)の浸透距離、排水のにごりを測定した。

表一 地盤モデル

3.2. 実験結果と考察

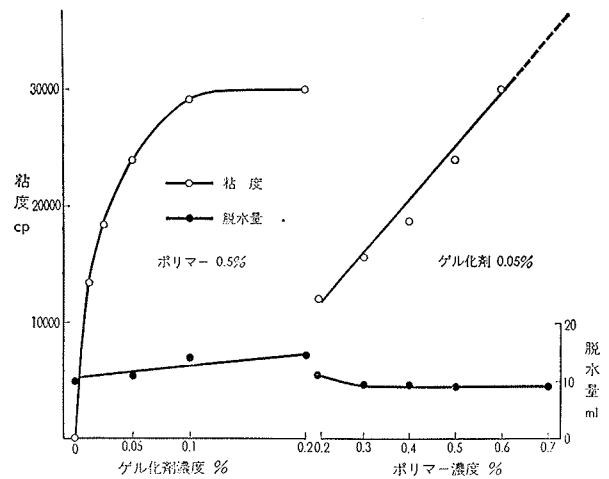
3.2.1. ゲル化したOP-7泥水の性状 OP-7泥水にゲル化剤を添加すると急速にゲル化し、弱いこんにゃく状を呈する。ゲル化剤を粉末で加えても、溶液で加えてもゲルの性状には大差がない。図一5にゲル化泥水(以降、ゲルと略称する)の流動曲線の例を示す。この図によれば、かくはん機による流動曲線では4000~10000dyne/cm²の降伏値を示す、いわゆるビンガム流体であるのに対し、B型粘度計による流動曲線では原点を通る直線となり、ニュートン流体と扱われる。この差異は両測定方法のズリ速度範囲の差異に由来すると考えられるが、実用上は泥水が施工過程で受けるズリ速度範囲(10~100sec⁻¹)に近い、かくはん機に



図一5 OP-7ゲルの流動曲線(ポリマー0.5%、添字はゲル化剤濃度%)

よる流動特性を重視すべきと考えられる。なお、かくはん機による流動曲線から明らかなように、このゲルは構造粘性を示し、粘度がズリ速度によって変化する。そして、ズリ速度60sec⁻¹の粘度はズリ速度10sec⁻¹の粘度の約1/3に低下する。そこで、以降ゲルの粘度はズリ速度50sec⁻¹の場合の値を採用する。

さて、かくはん機によるOP-7ゲルの粘度は図一6に示すように、ゲル化剤およびポリマーの濃度によって大きく変動する。すなわち、ポリマー濃度0.5%の場合、ゲル化剤無添加の泥水では50cp前後の粘度が、ゲル化剤0.1%添加によって、約30000cpまで上昇する。さらにゲル化剤を添加しても効果は見られず、ポ



図一6 OP-7ゲルの粘度と組成の関係(D=50sec⁻¹)

リマー濃度0.5%のゲルでは、ゲル化剤は0.1%までの濃度で有効である。これは、ポリマーがゲル化剤によって架橋されてゲル化する際、ポリマーの架橋位置の数に対応したゲル化剤の濃度以下では、添加したゲル化剤が架橋作用に参加するが、それ以上のゲル化剤は架橋に参加しないことを示唆している。

一方、ポリマー濃度とゲルの粘度とは、ほぼ直線的な関係となり、ポリマー濃度の増大につれて粘度が高くなる。したがって、OP-7のゲルの粘度はポリマー濃度、ゲル化剤濃度によって調節が可能である。

なお、図一6にはゲルの造壁性をも示しているが、いずれも10ml前後の脱水量となり、造壁性は良好である。ゲルのpHは図示しないが8.0~8.5の範囲にある。

また、実際の施工においては泥水中に掘削土やセメント成分が混入するが、OP-7ゲルはこれらの混入によって粘度、造壁性ともにほとんど変化しない。

ところで、ベントナイト泥水はセメントの混入によってゲル化するので、ゲル化したベントナイト泥水を逸泥防止用を使用することがある。OP-7ゲルをこの

ベントナイトセメントゲルに比べると、粘度は3倍以上であり、特にプラスチック粘度が高い。また、ベントナイトセメントゲルでは、造壁性が低いのに対し、OP-7ゲルでは良好な造壁性を示す。降伏値やゲル強度あるいはチキソトロピー性にも差異があるが、これらについては別の機会に報告する予定である。

3.2.2. ゲルの逸泥防止効果 図-7に逸泥実験における排水量とゲル化剤濃度との関係を示す。ゲル化剤無添加のOP-7泥水では、いずれの地盤モデルにおいても排水量が15分で450mlを越え、排水は濁っている。換算した総排水量は透水係数が最大の地盤モデルNo. 3で最も多い。ところが、ゲル化剤を添加してゲル化させると、排水量は顕著に減少し、排水の濁りは認められなくなる。なお、この場合にも地盤モデルの透水係数が高いほど排水量は多い。逸泥の有無の判定基準として排水量 50ml/15分 (浸透距離約2cm) を採用し、逸泥防止上必要とされるゲル化剤の添加量を求めると、地盤モデル No. 1 で0.01%, No. 2で0.025%, No. 3で0.05%となる。この事実は、地盤モデルの透水係数が高くなるにつれて、よりゲル化の著しい、粘度の高いゲルが必要なことを示唆している。

わち、ベントナイト泥水では地盤モデル中に浸透した泥水は地盤モデル中の間隙水に希釈、拡散され、完全に逸泥しない場合でも排水が濁るのに対し、OP-7ゲルでは排水が濁りにくい。したがって、このゲルは地盤モデル中に浸透しても拡散、希釈されることなく不動化していると考えられる。そこで、浸透距離の実測値を排水量に対してプロットすると直線となり、しかも、この直線に浸透したゲルが地盤モデル中の間隙水と完全に置換し、拡散、希釈されないと仮定して計算した直線とほぼ一致する。さらに、逸泥実験の際の圧力を 1 kg/cm^2 、加圧時間を17時間として、浸透距離の経時変化を測定したところ、加圧30分までは浸透距離が長くなるが、以後は全く変化しないことが判明した。これらの事実は、上述のように地盤に浸透したOP-7のゲルは、かく乱を受けたりしなければ、地盤中に不動化することを示唆しており、この点に関しては後述の現場実験で確認した。

さて、これまでの逸泥実験の結果によれば、逸泥の有無は地盤モデルの透水係数とゲルの粘度との関係によって決定されることが推察される。そこで、この点を確認するため、図-9に逸泥の有無と透水係数およびゲルの粘度との関係を示した。図中、逸泥の有無の

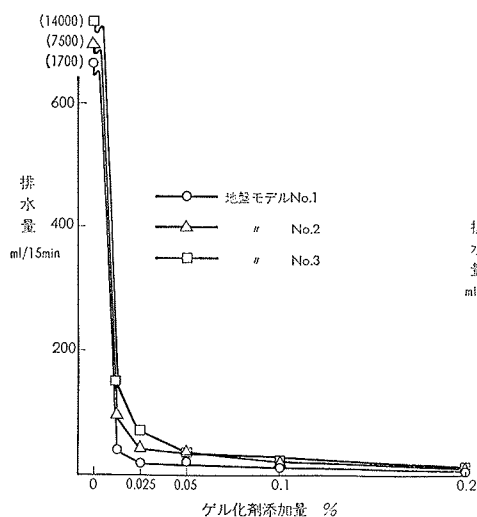


図-7 逸泥実験の結果(1)
(ポリマー0.5%, ベントナイト1.5%)

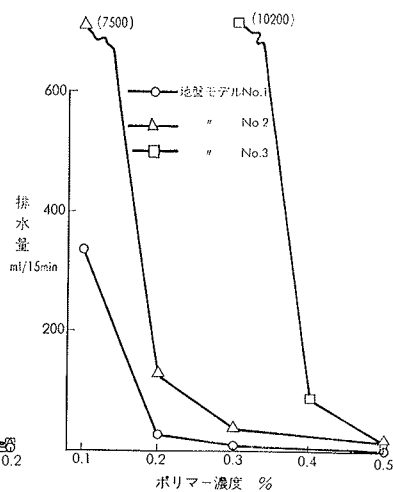
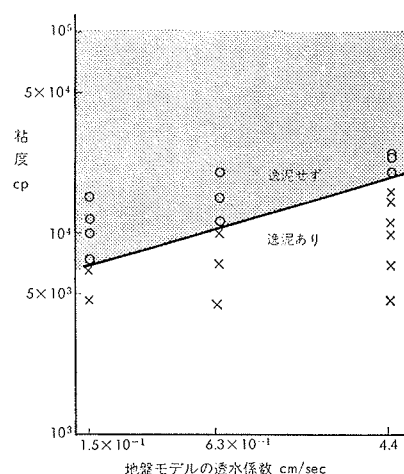


図-8 逸泥実験の結果(2)
(ゲル化剤0.1%, ベントナイト1.5%)



ある。一方、図-9によれば、 $10^{\circ}\text{cm}/\text{sec}$ の透水係数の地盤では 12000 cp 以上の粘度のゲルで逸泥防止が可能であり、この程度の粘度は OP-7ゲルで容易に得ることができる。したがって、泥水工法における逸泥防止には OP-7ゲルは事実上いかなる砂礫地盤においても適用可能といえよう。

4. 現場施工例

4.1. 予備実験

4.1.1. 現場概要 実験および施工の行われた現場は岐阜市の市街地中心部に位置し、地盤は長良川の扇状地性の砂礫地盤である。図-10に土質性状図を示すように、OWS 掘削深さの GL-15M まで表土を除いて全層が砂礫であり、径30cm 前後の玉石も点在している。各層の10%粒径から算出される透水係数は $10^{-1} \sim 10^{\circ}\text{cm}/\text{sec}$ のオーダーであり、最大値は GL-12M 付近の $6.76 \times 10^{\circ}\text{cm}/\text{sec}$ である。また、地盤の平均透水係数は最大値で $9.1 \times 10^{-1}\text{cm}/\text{sec}$ である。地下水位は GL-5 ~ -6M を上下しており、水量は豊富で、水質に恵まれている。このため、地下水が広く生活用水として利用されており、現場周辺にも深さ 20M 未満の浅井戸が多数分布している。したがって、工事公害を防止するうえでも逸泥を完全に防止することが要求された。

4.1.2. 実験方法

実験は揚水試験用に現場敷地内に掘削した深さ10Mの深礎孔2本と、深礎孔の周辺にボーリングした水質監視用の観測井5本を利用して行った。すなわち、一方の深礎孔の地下水を排水したのち、ゲル化前の OP-7泥水を GL-1M 前後まで

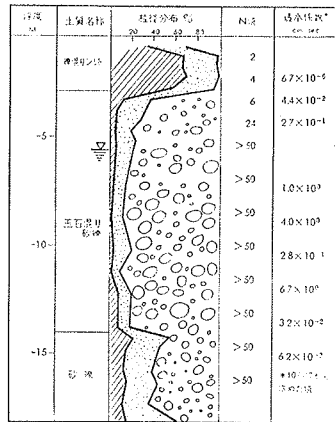


図-10 土質柱状図

注水し、泥水位の変化を経時的に測定するとともに観測井の水位および水質を監視した。水質分析の項目としては、透視度(濁度)、過マンガン酸カリ消費量を採用した。この実験を行って2週間後に、ゲル化した OP-7泥水を他の深礎孔に注水し、同様の測定を行った。泥水の組成は、第1回目の実験では OP-7 0.5%, ベントナイト1%とし、第2回目の実験ではこれにゲル化剤0.03%を添加した。なお、深礎孔の内壁面は崩壊を防ぐため波形鉄板および木矢板で保護し、

これらには有孔率5%で径2cmの孔をあけた。またゲル化した OP-7泥水は水中ポンプやサンドポンプでは送泥できないので、ブレードレスポンプ(4")を使用した。

4.1.3. 実験結果 ゲル化前の OP-7 泥水を用いて、当現場で逸泥防止対策を講じない場合の逸泥量及び地下水の汚染範囲を求めた。深礎孔への注水には30分を要したが、なお泥水位を GL-1M にすることができず、注水中に約 10M^3 の泥水が逸泥により損失した。泥水位が高くなると、注水速度を逸泥速度がうまわるようであったので、水位観測を泥水位が GL-1.35M から開始した。水位低下曲線を図-11の曲線 A に示す。

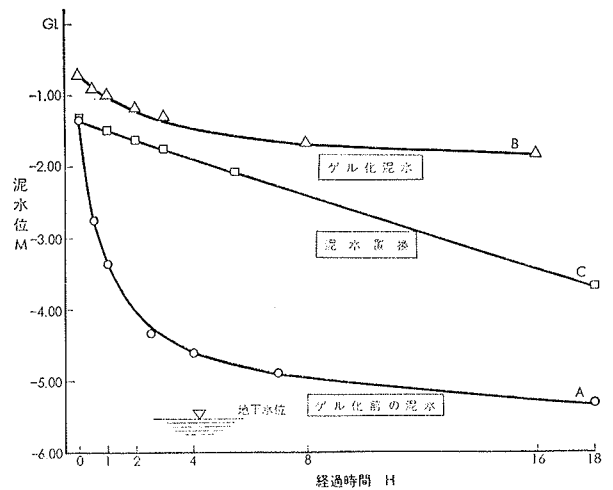


図-11 逸泥実験における水位低下曲線

さて、図-11に示したように、この泥水では水位低下が著るしく、低下速度は最初の1時間に約2Mに及ぶ。そして、泥水位の低下は以後も進行し、一夜後には泥水位は地下水位と等しくなる。当初の水位低下速度を GL-0.5M の水位からの値に補正すると、約 $3.6\text{ M}/\text{H}$ となり、 $11.3\text{M}^3/\text{H}$ の逸泥速度と計算される。さらに、OWS 工事の1パネルの内壁面の面積は深礎孔のその約3倍であるので、OWS 掘削の際には最高 $30\text{M}^3/\text{H}$ 以上の逸泥が予想される。このような多量の逸泥は、これまで経験したことのある逸泥に比べてもはるかに大規模であり、現在の泥水製造設備ではとても泥水を補給しきれない。したがって、泥水位の低下およびこれに伴う掘削壁面の崩壊は避けられない。したがって、逸泥防止効果が相当すぐれた泥水の使用が必要である。

ところで、このように著るしい逸泥が生じたならば当然、周辺の地下水が泥水で汚染されよう。そこで、

観測井の水質に着目すると、注水した深礎孔から 5M の観測井では注水開始後10分で地下水が濁りはじめ、60分経過後に濁度が最大となる。また、注水孔から25M離れた観測井でも水質の汚濁が認められ、逸泥による地下水汚染の範囲が広いことを示している。そこで各観測井から採取した地下水の濁度の最大値と注水孔からの距離との関係を求め、地下水汚染の範囲を求めると、注水孔から半径30M以内の範囲で地下水の汚染が生じていることが判明した。

さて、この実験では合計 26M³ の泥水が逸泥によって損失した。そこで、この逸泥量から泥水の浸透範囲を計算すると約 2M となる。この計算では泥水の浸透が砂礫層で均等に生じており、泥水は砂礫層中の間隙水と完全に置換すると仮定している。実測した泥水の浸透範囲は30Mであるので、実測値は計算値の約15倍である。したがって、逸泥によって地中に浸透したゲル化前の OP-7泥水は、地下水によってかなり希釈、拡散されていることを示している。

次に、ゲル化した OP-7泥水 (以後 OP-7ゲルと呼ぶ) を、もう一方の深礎孔に注水した。注水には 2 時間を要したが、その間の逸泥量は約 2M³であった。注水終了後の泥水位の低下は図-11の曲線 B に示すように、水位低下速度は曲線 A に比べて小さく、注水終了直後でも約 30cm/H、注水終了後3時間後には約 4cm/H と極めて小さくなり、一夜後の泥水位は GL-1.85M にとどまっている。逸泥速度は注水当初で約 1M³/H、注水終了3時間後には 0.12M³/H であり、注水当初の逸泥は周辺地盤の止水化を図るうえで有効に作用していると言える。したがって、実際の施工時には、掘削の際にある程度の逸泥を生じつつ周辺地盤を止水化し、掘削を休止して放置する際の逸泥は減少すると考えられる。

なお、OWS 工事における 1 パネル掘削終了後の逸泥速度は、この実験で得られた値の約 3 倍に相当する。したがって、逸泥速度は約 0.4M³/H、水位低下速度は約 12cm/H となる。この程度の水位低下速度であれば、掘削の際の仕切りを 3 パネル以上とすることにより一夜の水位低下量を 50cm 以下とすることができ、ガイドトレンチの下端が露出することはないであろう。

ところで、この実験では注水孔から 5M 離れた観測井でも水質の変化が認められなかった。合計逸泥量から泥水の浸透範囲を計算すると約 40cm となり、前述の拡散、希釈による倍率を乗じると、地下水の汚染範囲は約 6M となる。したがって、5M の位置の観測井では濁りが認められると考えられるが、実際には濁り

が認められない。これは、砂礫層に浸透した OP-7ゲルが地中で不動化し、地下水によって希釈、拡散されにくくなっていることを示唆している。そこで、この点を確認するため、深礎孔内の OP-7ゲルをポンプで回収しつつ、ゲル化前の OP-7泥水と置換し、置換終了後の泥水位の変化を測定した。その結果は図-11の直線 C で示されているが、この直線から得られる水位低下速度は 13cm/H であり、前述のゲル化前の OP-7泥水の水位低下速度 2M/H の約 1/15 となる。したがって、地盤に浸透したゲルは砂礫層の間隙内で不動化することにより地盤の止水性を向上しており、このゲルはかく乱を受けたりすることがなければ地下水によって希釈、拡散されにくいことを裏付けている。

4.2. 本工事への適用

4.2.1. OWS 工事の概要

OWS 工事は昭和50年1月から3月にかけて行われた。その概要を表-2に示す。

掘削機	KELLY-40M 2台	
ミキサー	ベントナイトミキサー(1M ³)	
ポンプ	ブレードレスポンプ(6")	
貯泥槽	約300M ³	
1パネルの規模	深さ	15M
	長さ	5.4M
	幅	0.5M
OWS壁面積	2963M ²	

表-2 OWS 工事概要

4.2.2. 泥水の調査と管理

泥水の調査を表-3に示す。ここで、ベントナイトを添加しているのは、ゲルのチキソトロピー性を向上させるためであり、またポリマー濃度を予備実験の場合より高くしているのは、掘削中に泥水に地下水が混入してポリマ

材 料	濃度 %
ポリマー(OP-7)	0.6
ベントナイト	1
変質防止剤	0.02
ゲル化剤	0.04

表-3 泥水の調査

一濃度が低下することが予想されたからである。

一方、泥水の品質管理は粘度によって行い、粘度測定には回転粘度計の一種であるビスコテスターを使用した。管理基準値として、良液で 2000cp 以上、転用液、孔内泥水で 400cp以上を使用可とした。なお、ビスコテスターで得られる粘度は、3.1.2. で述べたかくはん機によって得られる値の約 1/10 となる。

4.2.3. 施工結果

掘削は玉石層などでかなり難行したが、シェルの改造などで平均 4~5M²/H の掘削能率となった。掘削中の様子を写真-1に示す。掘削中の逸泥速度は変動する

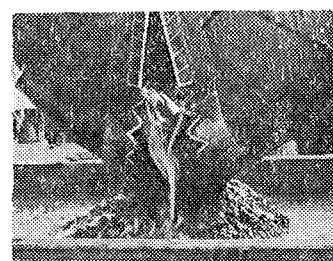


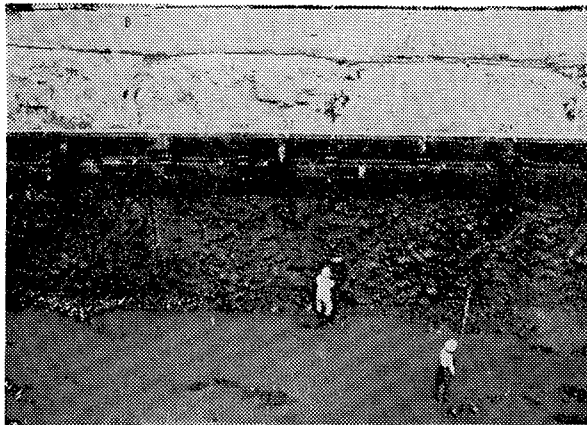
写真-1 掘削の状況

ものの、最高 $0.3\text{M}^3/\text{H}$ で、一夜の泥水位の低下量は最大 20cm となり、泥水位の急激な低下は全く認められなかった。泥水の使用実績を表一4に示すように、みかけ転用回数は砂礫地盤にしては比較的高い値となり、逸泥に由来する損失係数は 1.45 となった。これらの値を従来の逸泥が防止できなかつた場合のみかけ転用回数 0.5 以下、損失係数 2.5 以上⁴⁾ に比べると、ゲル化した OP-7 泥水の逸泥防止効果が顕著であると言えよう。また、周辺の井水の汚染は全く認められなかつた。

掘削土量 V_d	1800M^3
泥水作成量 V_m	1470M^3
廃棄泥水量 V_{ob}	300M^3
みかけ転用回数 β/α	1.22
逸泥による損失係数 α	1.45
真の転用回数 β	2.25
泥水コスト	$3400\text{円}/\text{M}^3$

表一4 泥水の使用実績

また、コンクリート打設量の設計数量に対する増加率は約 20% で、内部崩壊もなかつた。従来、砂礫地盤では逸泥を防止してもコンクリートの増加率はさらに大きくなることを考えると、この程度の増加率であつ



写真一2 根切り時に露出した壁体

たことは、OP-7 ゲルの地盤改良効果の表われとも考えられる。写真一2に根切り時に露出した壁体の一部を示す。

一方、工事中の泥水の粘度は良液で 4000cp 前後であるが、掘削孔内では 900cp 前後に低下し、コンクリート打設の際の粘度変化はほとんど認められなかつた。泥水の比重は良液で 1.005 前後、掘削孔内で 1.02 前後であり、掘削中に若干の掘削土が混入している。また、造壁性はいずれも良好で、脱水量は 10ml 前後を維持していた。

5. まとめ

泥水工法で砂礫地盤あるいは透水係数の高い砂礫層をはさむ地盤を掘削する場合、逸泥事故は工事の安全性だけでなく、公害防止、経済性の向上を図るために

も未然に防止する必要がある。逸泥防止対策として、従来多くの方法が提案、採用されてきたが、いずれも一長一短があつた。そこで、新しく逸泥防止用のポリマー泥水 (OP-7) を開発し、極めて透水係数の高い砂礫地盤に適用し、すぐれた逸泥防止効果を確認した。以下に、開発過程で明らかになった事実および現場への適用結果をまとめる。

i) この泥水はゲル化させない場合には、従来のポリマー泥水と同様、ポリマーが混入する土粒子と複合間を形成し、すぐれた造壁性を示す。しかし、多量の土粒子の混入により泥水は劣化する。耐セメント性は従来のポリマー泥水よりすぐれているが、変質抵抗性に劣る。変質防止には従来のものとは異なる変質防止剤が有効である。

ii) この泥水にゲル化剤を $0.01\sim 0.1\%$ 添加すると急激にゲル化し、弱いこんやく状のゲルとなる。ゲル化泥水の物性はポリマー濃度、ゲル化剤濃度によって異なるが、標準的なもので 20000cp 前後の粘度、 $5000\text{dyne}/\text{cm}^2$ 前後の降伏値を有し、泥水の粘度はブリーディング速度によって変化する。

iii) 透水係数の異なる三種の地盤モデル ($k=1.5\times 10^{-1}$, 6.3×10^{-1} , $4.4\times 10^0\text{cm}/\text{sec}$) において、ゲル化泥水はすぐれた逸泥防止効果を示す。この泥水による逸泥防止は地盤の間隙中でゲル化泥水が不動化することに基づくものである。

iv) 透水係数が $9.1\times 10^{-1}\text{cm}/\text{sec}$ の砂礫地盤の現場で深礎孔を利用した逸泥実験を行った結果、ゲル化前の OP-7 泥水では $11.3\text{M}^3/\text{H}$ の逸泥が認められるが、ゲル化した OP-7 泥水では注水直後で $1\text{M}^3/\text{H}$ 、注水3時間後には $0.12\text{M}^3/\text{H}$ と逸泥速度が顕著に低下することが判明した。

v) ゲル化した OP-7 泥水を上記現場の OWS 工事に適用した結果、逸泥はほぼ完全に防止でき、現場周辺の地下水を汚染することなく、掘削壁面の崩壊も全く認められなかつた。

なお、本研究を進めるにあたり、現場実験では本社機械部、名古屋支店十六銀行本店工事事務所の方々に大変お世話になった。記して深い謝意を表します。

引用文献

- 1) 喜田・川地：第10回土質工学研究発表会講演集，p. 1011-1013 (1975)
- 2) 喜田・川地：大林組技研所報 No. 9, p. 103-110 (1974)
- 3) 喜田・川地：大林組技研所報 No. 11, p. 140-146 (1975)
- 4) 喜田・川地：未発表データ