

泥水工法における泥水管理に関する研究 (第26報)

——砂地盤用逸泥防止泥水の検討——

喜 田 大 三 川 地 武

Studies on Control of Slurry for Underground Excavation (Part 26)

—Method of Preventing Slurry Loss at Sandy Ground—

Daizo Kita Takeshi Kawachi

Abstract

In a diaphragm wall construction system, preventing slurry loss is necessary to ensure safety and economy of the system. At gravelly ground, gelled slurry is used to prevent slurry loss but at sandy ground this slurry is not suitable from the standpoint of slime treatment. Slurries with sealing materials were tested at artificial ground of permeability coefficient of $3 \times 10^{-1} \text{cm/sec}$. The following results were obtained: Three of the tested materials were effective. One was flaky and others were flexible fibers which were 0.1 to 0.5 mm in length. These materials in company with the main component of the slurry form mud cakes at ground wall surfaces and these cakes are nearly impermeable. In order to quality control of slurry fluid loss, viscosity and a content of sealing material are necessary. Sealing materials were applied to a construction site of sandy ground which initially had shown loss of $0.8 \text{m}^3/\text{hr}$, and marked effects were confirmed.

概 要

地中連続壁工法における逸泥防止は本工法の安全性、経済性を向上させるうえで不可欠であり、すでに砂礫地盤における逸泥防止法としてゲル化泥水による方法を開発してきた。ところが、砂質地盤ではこの方法がスライム処理との関係で不適であるので、逸泥防止材による方法について検討した。透水係数が $3 \times 10^{-1} \text{cm/sec}$ 前後のモデル地盤における室内実験などを行ない次のような知見を得た。

(1) 供試した6種の逸泥防止材のうち効果のすぐれたものは繊維状2種、板状1種であり、これらは泥水成分と共に壁面に止水性のマッドケーキを形成する。これらの所要添加濃度は0.5~1%である。

(2) 逸泥防止に必要な泥水管理項目は造壁性、粘度、逸泥防止材含有率であり、脱水量を5 ml以下、粘度を25秒以上で管理する。

(3) 当初 $0.8 \text{m}^3/\text{Hr}$ 前後の逸泥の見られた砂質地盤の現場へ繊維状、板状の防止材を適用し、顕著な効果を確認した。

1. はじめに

地中連続壁工法における施工上の問題点のひとつに逸泥対策があげられる。逸泥とは泥水が掘削孔から周辺地盤に過剰に浸透することをいい、逸泥が発生すると、泥水位の低下にもとづく孔壁の崩壊、周辺の地下水の汚染、泥水材料の消耗を伴う。したがって、逸泥対策の適否が本工法の安全性、経済性を左右する場合もあり、すでに筆者らは砂礫地盤における逸泥対策に関する研究報告¹⁾²⁾を発表している。これらは、ゲル化したポリマー泥水や粗粒フライアッシュによりゲル化させたベントナイト泥水による方法であり、逸泥の顕著な砂礫地盤で有効

であるが、スライム成分の多い砂地盤に適用するにはスライムの分離、底ざらいが困難となり問題がある。そこで、泥水をゲル化させることなく逸泥を防止し、スライム処理にも支障を生じない方法として、逸泥防止材による方法を検討した。本報告では逸泥防止材の選定、逸泥防止用泥水の調合および管理方法について、室内実験の結果および新しい逸泥防止材の現場への適用例を述べる。なお、本報告の一部はすでに第16回土質工学研究発表会に発表³⁾している。

2. 実 験

2.1. 実験方法

(1) モデル地盤

粗い砂地盤を想定して径がそろったガラス玉 (0.4~0.6 m/m) を用い、このガラス玉を振動を与えつつ充てんし、透水係数が 3×10^{-1} cm/sec 前後となるように調整した。

(2) 逸泥実験装置

図-1 に示すような加圧濾過試験器を改造したものを用い、圧力は 0.5 kg/cm^2 として実験を行った。

(3) 供試材料

泥水にはポリマー泥水、ベントナイト泥水を用い、

逸泥防止材としては表-1 に示す各種材料を用いた。泥水の性状は粘度、造壁性 (脱水率) 砂分率によって管理した。

(4) 測定項目 逸泥実験では加圧時の泥水の浸透排水量、浸透距離を経時的に測定した。また、逸泥防止材については顕微鏡による形態観察を行なうとともに、泥水中の沈降速度、沈降容積を測定した。

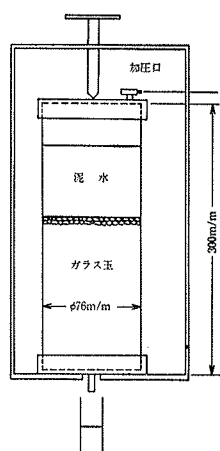


図-1 逸泥実験装置

材 料	産 状	含水比
アスベスト	市販の逸泥防止材	< 5%
A	繊維工場廃棄物	250%
B	絶縁体工場廃棄物	80%
C	製紙用原料	177%
D	繊維工場製品裁断物	< 5%
E	水処理用濾過助材	< 5%

表-1 供試材料

材 料	形 状	沈降容積 ml/g		
		清水中	泥水中	
アスベスト	細繊維の集合体	0.2~2 %	6.0	3.7
A	繊維状	0.1~0.4%	6.9	4.8
B	板状	0.1~0.5%	6.2	5.5
C	繊維状	0.1~0.7%	30.5	27.0
D	繊維状	1~3 %	29.0	23.8
E	繊維質、粒状物混合	0.1~1 %	15.5	10.2

表-2 供試材料の形状とみかけ容積

防止材の効果を判定する際に、懸濁型注入材の場合のように地盤の有効径 (D_{10}) と泥水中の固形分の95%径 (D_{95}) の比 (D_{10}/D_{95}) が重要であり粗砂ではこの値が5以下で効果を示すことを報告²⁾した。この点では、今回用いたモデル地盤の有効径を 0.5 m/m とすれば、 0.1 m/m 以上の成分は有効と考えられ、供試した材料はいずれもこの条件を満たしている。また、各材料の沈降容積は大きく、特にC, D, Eで著しい。このように大きな値は、逸泥防止材が泥水中でからみ合い、一種の凝集体を形成していることを示唆しており、沈降容積の値は凝集体の緻密度を示すものと考えられる。

(2) 逸泥防止材の効果

図-2 に各材料を1%添加した泥水の浸透曲線を示す。いずれの泥水も加圧直後に大量の排水があり、その後はほとんど浸透しない。ところが、図示しないが逸泥防止材を添加しない泥水および防止材Dを添加した泥水では当初の大量の排水がその後も継続する。したがって、図示した泥水では加圧直後に生じる浸透の際に、浸透した泥水中の逸泥防止材によってモデル地盤表面にマッドケーキが形成され、このマッドケーキがその後の泥水の浸透を防止するのである。逸泥防止材Dは効果が認められないが、この場合、モデル地盤表面に繊維相互のからまったケーキ状のものではあるものの、緻密なものではなく、泥水成分はこのケーキ状のものを通過する。図中

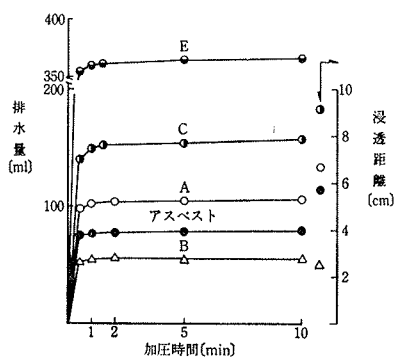


図-2 加圧時の泥水浸透曲線

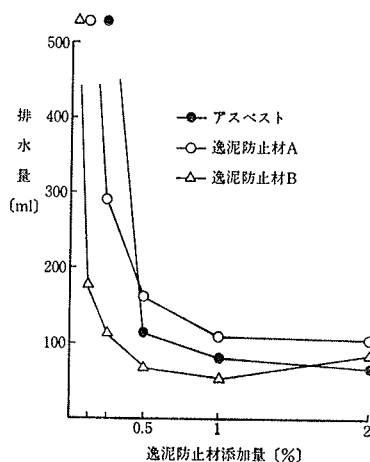


図-3 逸泥防止材の効果

の平衡状態における排水量は各泥水の逸泥防止能の指標となるが、逸泥防止材A, B, アスベストに比べC, Eの効果はやや劣る。これはDと同じく泥水中の沈降容積が大きいいため、マッドケーキもルーズなものとなっていることによると思われる。

次に、逸泥防止材の添加量と排水量の関係は図-3のようになり、添加量が多ければ排水量は少なくなるものの1%以上添加しても添加量に見合った効果は期待できない。その際の排水量は 100 ml 前後、浸透距離は 5 cm 前後である。なお、逸泥防止上必要とされ

る防止材の添加量は許容される排水量によって異なるが、浸透距離10cmに相当する排水量約200mlで見た場合、所要添加量の順位はアスベスト、防止材A、防止材Bであり、防止材Bが最も効果的である。防止材Bは形状が板状であることが有効に作用していると思われる。

(3) 造壁性の影響

逸泥防止材の効果は透水性の高い地盤においても孔壁に止水性のマッドケーキを形成するところにある。したがって、マッドケーキが形成されても、その止水性が乏しければ十分な効果は期待できないであろう。図-4に造壁性の異なる泥水の浸透曲線を示しているが、脱水量の大きい造壁性の劣る泥水では逸泥防止材が添加されていても排水量は多くなり、初期のマッドケーキ形成後も浸透が進行する。その際、泥水中の粘土分などの濁りはケーキで除去され、初期のケーキ形成の後の浸透水は透明である。したがって、この場合には掘削中だけでなく、掘削壁面にマッドケーキが形成された後の掘削休止中やスライム処理などの際にも徐々に逸泥が進行するこ

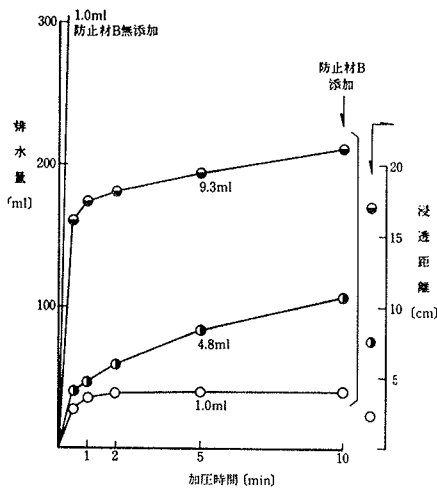


図-4 加圧時の泥水浸透曲線 (添え字は泥水の造壁性)

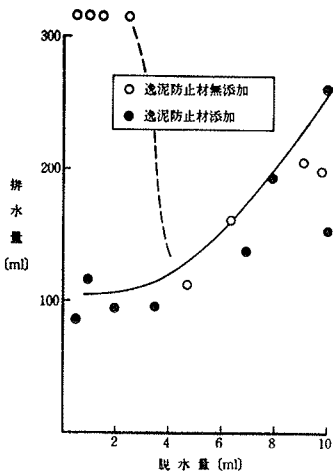


図-5 泥水の造壁性と逸泥実験結果の関係

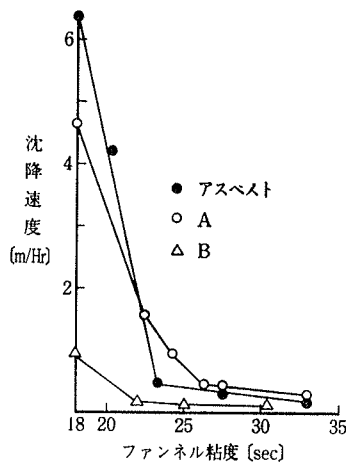


図-6 逸泥防止材の沈降速度

とになる。また、マッドケーキの厚さも造壁性の良好な泥水では1~3m/mであるのに対し、造壁性の劣る泥水では10~20m/mに及び、時間経過とともにさらに厚くなる傾向にある。なお、図には逸泥防止材を添加しない事例も示しているが、当然ながら、造壁性が良好でも逸泥防止材を添加しなければ排水量が多くなる。

3. 考察

3.1. 逸泥防止用泥水の管理

(1) 造壁性

上述したように、逸泥防止材添加泥水の場合にも造壁性は重要である。そこで、加圧10分後の排水量と造壁性(脱水量)の関係を図-5に示す。これによれば、逸泥防止材添加泥水では脱水量が5ml前後を越えると排水量が増大する。したがって、一般の逸泥防止材添加泥水においては造壁性はできるだけ良好なことが望ましく、脱水量は5ml以下とすべきであろう。

一方、逸泥防止材無添加泥水では、脱水量が少ない時には排水量が極端に多いが、脱水量が5ml前後で排水量が減少し、さらに脱水量が多くなると排水量は多くなる。排水量の減少する理由は造壁性低下に伴い泥水中の固形分(ベントナイト、掘削土など)が凝集体(フロック)を形成し、この凝集体が逸泥防止材の作用をするものと考えられる。この現象は、逸泥防止材を添加していないので急激な逸泥が発生した場合、応急処置としてセメントなどの泥水を凝集させる材料を適度に加えることが一時的には有効であることを裏付けている。しかし、泥水の脱水量を5ml前後に維持することは困難であり、一般にはさらに大きな値に移行するので、上述の方法は応急的処置に限定すべきである。

(2) 粘度

泥水に添加した逸泥防止材は泥水槽や掘削孔内で沈殿することなく、泥水中に浮遊していなければならない。防止材の沈降速度は図-6に示すように、粘度による影響が大きい。清水中の沈降速度はアスベスト、防止材Aではかなり大きく、粘度が25秒前後を超えると0.5m/Hr以下となる。泥水槽の深さは2~5mが通常であるので、4~10時間で材料は底に沈殿することになる。泥水槽での泥水の貯留時間は24時間以上の場合が多いので、添加した防止材は底に堆積することになる。これを防止するためには、泥水槽の泥水に流れを与えることが望まれる。

一方、掘削孔内における防止材の沈降

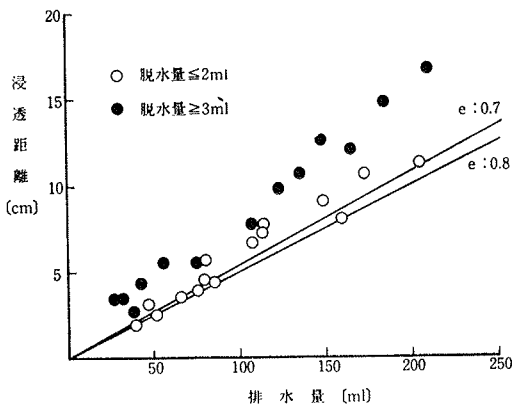
分離に関しては、特にスライムをさらう際にスライムと一緒に除去することを避ける必要がある。スライム処理のための待ち時間はスライム粒子の沈降速度に支配され、これまでの実測例では沈降速度は5~10 m/Hr である⁴⁾。したがって、例えば掘削深さが30 m の場合には3~6時間の待ち時間が必要であり、一般には15時間以下である。この間の逸泥防止材の沈降距離は、防止材の沈降速度を0.5 m/Hr 以下とすれば7.5 m 以下となり、添加した防止材の大半は泥水中に浮遊しうる。このように、泥水のファンネル粘度を25秒以下にしないよう管理すれば、添加した逸泥防止材の大半をスライム処理の際にも除去させることはない。

(3) 逸泥防止剤含有率

泥水の逸泥防止材含有量は使用中に変化するもので、含有量は適時把握し、不足分を補給する必要がある。逸泥防止材の含有率の計測方法としては、逸泥防止材の粒径、繊維長から考えて砂分率試験が適している。すなわち、砂分計は74 μ 以上の粒径分が計測でき、また、地山からの砂と逸泥防止材とが層状に分離するため、防止材と砂分を明確に区別して計測しうる。今回供試したアスベスト、防止材A、B 1%の添加量は砂分計における砂分率がそれぞれ6、10、5.5%と計測される。なお、逸泥防止材含有率の管理基準値は材料により、掘削地盤により異なる。

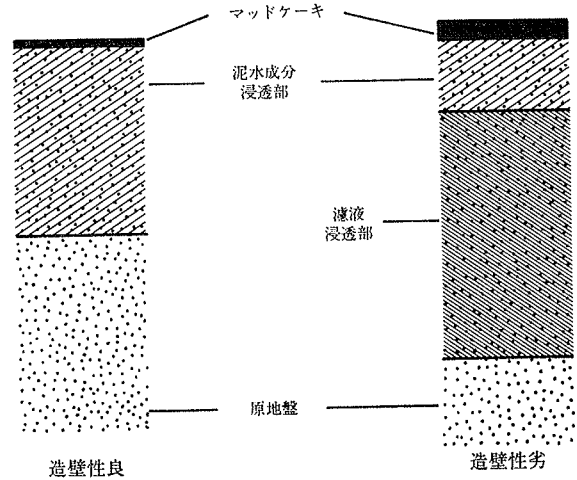
3.2. 泥水の浸透距離

逸泥実験を行なった際の排水量と浸透距離の関係を図一七に示す。浸透距離は泥水をフェノールフタレインで着色し、モデル地盤の着色部から求めている。ガラス玉は間隙比が0.7~0.8の範囲で充てんされているので、浸透した泥水と間隙水が置換されているとすれば、浸透距離は図中の直線の範囲となるはずである。脱水量が少ない、造壁性の良好な泥水ではほぼこの傾向にある。脱水量の多い泥水では浸透距離が予想より長くなり、モデル地盤内で浸透水の拡散、乱流が生じていることを示唆し



図一七 排水量と浸透距離の関係

ている。この場合には泥水中のベントナイトやポリマーの大部分がマッドケーキ部に残留し、浸透するのはケーキで濾過された着色した水のみであり、この水が間隙中に拡散あるいは乱流しているようである。これを模式的に示すと図一八のようになる。



図一八 地盤中の泥水浸透様式の模式図

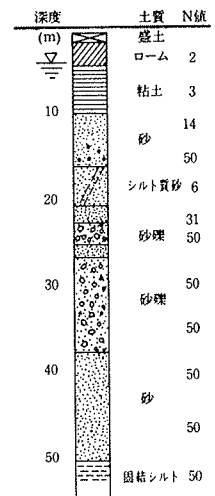
ところで、泥水の浸透した砂層では泥水成分によって粘着力が発生し、一種の土質改良が行なわれることを報告した⁵⁾。今回の実験結果では、造壁性の良好な泥水の浸透部では泥水の土質改良効果が期待できるが、造壁性の劣る泥水の浸透部では期待できる範囲が少ない。

4. 現場適用例

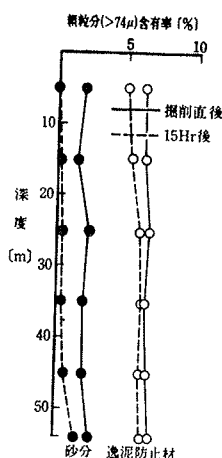
以上の実験結果及び考察にもとづき、当初 0.6~2.0 m³/Hr の逸泥の認められた現場へ性能がすぐれていると判定された逸泥防止材A、Bを適用した。現場の土質は図一九に示すように、砂及び礫混り砂を主体とするもので、地下水位はGL-3.5 m 付近にあった。掘削はKELLY-60M でGL-54 m まで行なわれ、1パネルの施工に6~7日を要した。

使用した泥水はポリマー泥水で当初は逸泥防止材を添加していない。逸泥はGL-12 m 以深の各層で生じ、平均0.8m³/Hr であり、損失泥水量は掘削土量の50%にも及んだ。

そこで逸泥防止剤A及びBを合計1%添加するとともに、泥水の粘度を27秒から36秒の間に維持し、掘削孔内の逸泥防止材の含有率を砂分計によって管理した。



図一九 土質柱状図



図一〇 掘削孔内の逸泥防止材の分布

その結果、逸泥は $0.1 \sim 0.2 \text{ m}^3/\text{Hr}$ にまで減少し、泥水の損失量は掘削土量の $9 \sim 10\%$ にまで減少した。その際の逸泥防止材の分布は図一〇に示すように、静置15時間後にも大きな変化はなく、逸泥防止材が孔底に沈殿することがないことを確認できた。また、スライム処理の際にも逸泥防止材がスライムと共に除去されることはほとんどなかった。このように、逸泥防止

材A、Bはともに泥水中に安定に浮遊し、十分な逸泥防止効果を有する。

5. おわりに

地中連続壁工法における逸泥防止は本工法の安全性、経済性を確保するうえで不可欠であり、特に砂質地盤における中規模の逸泥を防止することが課題となっている。そこで、このような逸泥防止法として逸泥防止材による方法を検討し、逸泥防止材の選定、調合、泥水の品質管理などに関し、以下の知見を得た。

- (1) 供試した逸泥防止材は市販のアスベストと新しい材料5種で、形状は繊維状および板状である。これらの繊維長、粒径は 0.1 m/m 以上であり、清水中の沈降容積は $6 \sim 30 \text{ ml/g}$ である。
- (2) 透水係数が $3 \times 10^{-1} \text{ cm/sec}$ 前後のモデル地盤における逸泥実験では、繊維長が最大で沈降容積の大きな防止材Dを除き、他は逸泥防止効果が見られた。従来のアスベストに匹敵する効果を示したのは水中沈降容積が小さく、繊維長が $0.1 \sim 0.5 \text{ m/m}$ の防止材AとBである。
- (3) 逸泥防止上必要な防止材の添加量は $0.5 \sim 1\%$ であり、泥水と地盤との接触面に逸泥防止材と泥水成分と

が止水性のマッドケーキを形成することによって泥水の過剰な浸透（逸泥）が防止される。このマッドケーキが形成されるためにはある程度の泥水の浸透は不可欠で、その浸透距離は 5 cm 前後である。

(4) 逸泥防止材が添加されていても、泥水の造壁性が劣る場合にはマッドケーキ形成後も逸泥は継続する。

(5) 逸泥防止材添加泥水の品質管理は造壁性、粘度、逸泥防止材含有率などによって行なう必要がある。その際の管理基準は、造壁性が脱水量で 5 ml 以下、ファンネル粘度25秒以上が妥当である。逸泥防止材含有率は砂分計によって計測され、逸泥防止材含有率の管理基準値は防止材の種類、掘削地盤によって異なる。

(6) 新しい逸泥防止材A、Bの効果を確認するため当初 $0.8 \text{ m}^3/\text{Hr}$ の逸泥が見られた砂質地盤にこれらを適用し、泥水の造壁性、粘度、防止材含有率を管理したところ、逸泥は $0.1 \sim 0.2 \text{ m}^3/\text{Hr}$ にまで低下した。その際、逸泥防止材の泥水中での分布は垂直方向にほぼ均一であった。

参考文献

- 1) 喜田, 川地: 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―, 大林組技術研究所報, No. 12, (1976), pp. 93~100
- 2) 喜田, 川地: アッシュ添加泥水による逸泥防止法の検討, 大林組技術研究所報, No. 5, (1971), pp. 120~126
- 3) 川地, 喜田: 泥水工法における泥水管理に関する研究(第25報)―砂地盤用逸泥防止泥水の検討―, 第16回土質工学研究発表会講演集, (昭和56), pp. 1809~1812
- 4) 喜田, 川地: 泥水工法における泥水管理に関する研究(第23報)―泥水中におけるスライムの沈降堆積特性―, 大林組技術研究所報, No. 14, (1977), pp. 87~93
- 5) 喜田, 川地: 泥水工法における泥水管理に関する研究(第22報)―泥水浸透による土質改良効果―, 大林組技術研究所報, No. 13, (1976), pp. 90~96