

泥水工法における泥水管理に関する研究 (第24報)

—泥水中におけるスライムの沈降・堆積特性(2)—

喜田大三
川地武

Studies on Control of Slurry for Underground Excavation (Part 24)

—Sedimentation Properties of Slime Particles in Slurry (2)—

Daizo Kita
Takeshi Kawachi

Abstract

In a slurry excavation system, treatment of bottom slime is needed in order to construct diaphragm walls and foundations of high quality. And to treat sedimented slime, it is necessary to understand the properties of slime and the influence of slurry on slime. Therefore, laboratory experiments were carried out to clarify the influence of contaminated soil on the properties of slime, and the following results were obtained:

(1) The sedimentation velocity of slime particles is lowered and the void ratio of slime becomes higher on intermixing of soil into slurry. This tendency is marked with bentonite-base slurry, and the addition of a dispersant is effective in preventing these phenomena.

(2) The influence of intermixed soil is based on the increase in viscosity and yield value of the slurry, while the void ratio of the sedimented slime is increased markedly beyond 2-3 dyne/cm² in yield value. The upper limits of funnel viscosity to obtain compacted slime are 28-35 seconds for bentonite-base slurry and 40 seconds for polymer-base slurry.

概 要

泥水工法において良質な地中連続壁あるいは杭を築造するためにはスライムを適切に処理する必要がある。その際、スライムの性状に適した処理方法を採用する必要がある。前報でも述べたようにスライムの沈降・堆積特性は泥水の性状とくに流動特性に支配されるが、掘削土の混入は泥水の流動特性に影響し、このためスライムの性状にも影響することが考えられたので、スライム物質を標準砂として室内実験を行なった。その結果の概略を以下に示す。(1) 掘削粘性土の混入によって、泥水中のスライムの沈降速度は低下し、堆積スライムの間隙比は大きくなり、スライムの縮りは悪くなる。この傾向はベントナイト泥水で顕著であり、これを防止するには分散剤の添加が有効である。(2) 掘削粘性土の影響は泥水の粘度および降伏値の増大にもとづくものであり、堆積スライムの間隙比は降伏値が2~3 dyne/cm²を越えると大きくなる。縮りのよいスライムとするための泥水の粘度の上限はベントナイト泥水で28~35秒、ポリマー泥水で40秒である。

1. まえがき

OWS・SOLETANCHE 工法をはじめとする泥水工法において構築される地中壁の品質向上を図るうえでスライム処理は不可欠である。スライム処理の方法には各種のものが提案されているが、いずれの方法を採用するにせよ、スライムの沈降、堆積特性を適正に把握する必要がある。前報¹⁾ではベントナイト泥水、ポリマー泥水の

単独系において、スライムの沈降、堆積特性を検討した結果、これらが泥水の流動特性に支配されることを明らかにした。そこで、本報では、より現場泥水に近い状態を想定し、掘削土、添加材の混入した系において、スライムの性状を検討し、泥水の流動特性との関連について考察した。

2. 実験方法

2.1. 供試材料

- (1) ベントナイト：群馬県産のベントナイトAおよび山形県産のベントナイトBの250メッシュのものを4～10%の範囲で使用した。
- (2) ポリマー：当社で使用中のポリマーのうち、OP-1、OP-4、OP-14を0.4～0.6%の濃度で使用した。
- (3) 陶土：岐阜県産の粉末粘土（粘土分42%）を40%までの濃度で使用した。
- (4) 掘削土：東京沖積層の粘性土を使用した。この掘削土の粘土分は50%、砂分は5%、粘土鉱物はハロイサイト、イライトであり、自然含水比105%のものを湿潤状態で使用した。
- (5) 分散剤：縮合リン酸ソーダの分散剤Aおよび高分子カルボン酸の分散剤Bを使用した。
- (6) スライム物質：標準砂（豊浦産）を使用した。

2.2. 測定項目と方法

- (1) スライム粒子の沈降速度：シリンダー中に泥水と標準砂を入れ、標準砂の堆積が完了するのに要する時間を測定し、沈降速度を算出した。
- (2) 堆積スライムの間隙比、流動抵抗、重錘沈下量：いずれも前報に述べた方法によって測定した。
- (3) 泥水の流動特性：粘度はファンネル粘度計により、降伏値はB型粘度計（東京計器製）によって測定した。

3. 実験結果

3.1. スライムの沈降速度

掘削土のスライムの沈降速度への影響は図-1に示すように極めて大きい。例えばベントナイト泥水では、掘削土無混入で15.7 m/Hrの沈降速度のものが掘削土10%の混入により0.9 m/Hrにまで低下する。一方、ポリマー泥水でも沈降速度が低下するが、ベントナイト泥水ほどではない。従来、工事現場で実測されている沈降速度はベントナイト泥水で4 m/Hr前後、ポリマー泥水で8～10 m/Hrであり、図-1によれば、いずれの泥水においても掘削土が5%前後混入していることを示唆している。

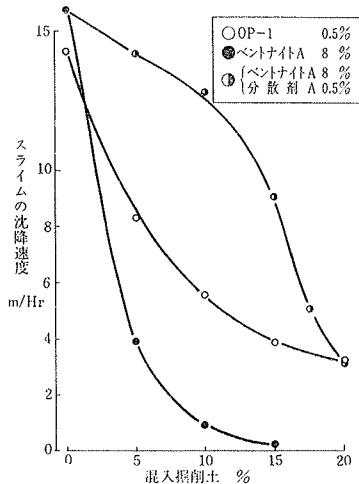


図-1 掘削土混入泥水中のスライムの沈降速度

しかし、粘性土地盤における掘削土

の混入量は20%近くなる場合もある²⁾ので、沈降速度の低下を防止する対策が必要であり、特にベントナイト泥水が必要である。その対策の一つとして分散剤を添加することがあるが、図-1に併せて示したようにこの対策は有効である。後述するように、掘削土混入系においてもスライムの沈降速度は泥水の粘度に支配され粘度の低下は沈降速度の増大をもたらす。ベントナイト泥水における分散剤の効果もその粘度低下作用に由来する。

泥水の添加材の沈降速度への影響は図示しないが、ポリマー泥水におけるベントナイトの添加、あるいはベントナイト泥水におけるCMCの添加は沈降速度の低下をもたらす。これらの現象も泥水の粘度の増大に起因している。

3.2. 堆積スライムの性状

掘削土混入系における堆積スライムの間隙比を図-2

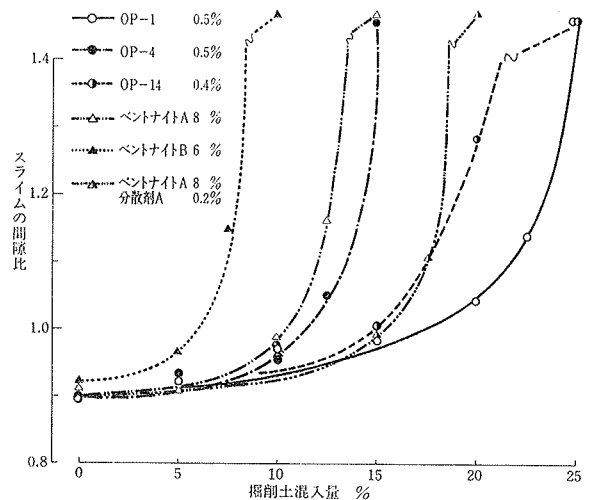


図-2 掘削土混入泥水におけるスライムの間隙比

に示す。この図によれば、いずれの泥水においても掘削土の混入は間隙比を増大させる。ベントナイト泥水の場合、ベントナイトBの泥水ではわずか10%の掘削土の混入によって間隙比が1.4を越え、スライムは全く締らなくなるのに対し、ベントナイトAの泥水では間隙比の増大する点がやや混入量の多い所にある。一方、ポリマー泥水はベントナイト泥水に比べれば、間隙比の増大は起りにくく、特にOP-1のポリマー泥水では掘削土が20%混入しても間隙比は極端には増大せず、この点からも、OP-1は粘性土地盤用のポリマーとして適している。

泥水の添加材のうち、分散剤の影響については図-2に例示したように、ベントナイト泥水における間隙比の増大を防止するうえで効果的である。また、分散剤は前報でスライム処理上好ましくないときれたベントナイトBの泥水における間隙比の低下にも有効であり、分散剤は単に泥水の転用性を向上させるだけでなく、スライム

処理を容易にするといえる。

その他の添加材のうち、ベントナイト泥水におけるCMC, ポリマー泥水におけるベントナイトは図示しないが、ある濃度を越えるとスライムの間隙比を増大させる。

なお、スライムの流動性や重錘沈下量は間隙比に密接に関係することを

前報で述べたが、今回検討した掘削土や添加材を含む泥水についても同様である。図-3に示すように、間隙比の大きいスライムでは流動抵抗が小さく、重錘の沈下量が大きい。このようなスライムでは下げ振り(重錘)による検

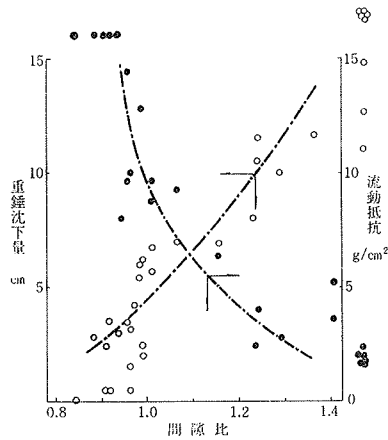


図-3 スライムの性状の相互関係

尺の精度が低下し、底ざらいをしてもスライムが流動化あるいは浮遊して効率が低下することになる。したがって間隙比の小さい、よく締ったスライムを堆積させるための泥水の管理が必要とされる。

3.3. 泥水の流動特性

(1) 掘削混入土の影響

図-4に示すように、ベントナイト泥水、ポリマー泥水ともに掘削土の混入によって粘度は増大する。増大の程度はベントナイト泥水、ポリマー泥水とでは異なり、また同種の泥水でもベントナイト、ポリマーの種類によって異なる。例えば、図-4から、当初の粘度よりファンネル粘度が20秒増大する際の混入量の順位を示すと、OP-1>ベントナイトA>OP-4>OP-14>ベントナイト

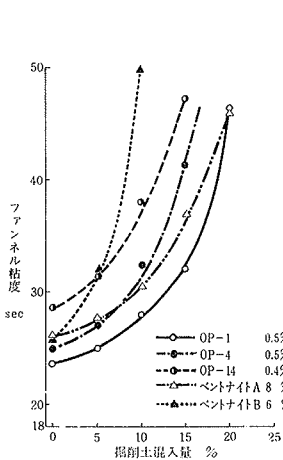


図-4 掘削土混入による粘度の増大

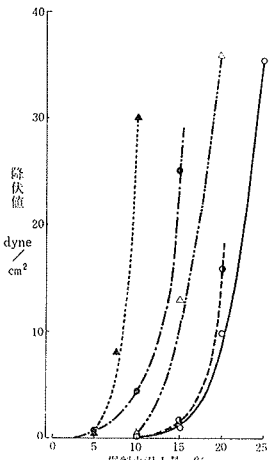


図-5 掘削土混入による降伏値の増大 (記号は図-4と同じ)

Bとなる。したがって、掘削土の混入による粘度増大が最高の泥水はベントナイトB泥水であり、最底の泥水はOP-1泥水である。このように、同種の泥水でもベントナイト、ポリマーの種類によって粘度増大に差異を生じることが、掘削土の混入による粘度の増大が単に泥水中の固形分濃度の増大のみに由来するものではないことを示唆している。

そこで、これらの泥水の降伏値を図-5に示した。泥水の降伏値は泥水中の固体粒子が凝集して形成するゲル構造の発達程度の指標である³⁾。図示したように、いずれの泥水においても掘削土の量がある限界を越えると、降伏値が発生し、ゲル構造が形成されていることを示している。降伏値がある値、例えば5 dyne/cm²となる際の掘削土の混入量の順位を取ると、上述の粘度増大の順位と一致し、OP-1が最高で、ベントナイトBが最低となる。これは、ベントナイトBが掘削土によって凝集しやすいことを示しており、先に述べた塩類凝集に対する抵抗性⁴⁾とも一致している。

なお、ポリマー泥水においては掘削土粒子はポリマーと複合体を形成して保護コロイド化し、泥水は完全な分散状態となることを先に述べた⁵⁾。今回の実験で掘削土が多量に混入すれば、ポリマー泥水の場合にも凝集化が起ることが明らかになったが、これは先に述べた掘削土粒子(S)とポリマー(P)の比S/Pが過大になると泥水の造壁性が低下する⁶⁾という現象と対応している。そして、ポリマーの種類によって泥水が凝集するS/Pが異なることを示唆している。

(2) 添加材の影響

添加材の流動特性への影響の一部についてはすでに報告しているが、ここではスライム処理との関連で再び取り上げる。分散剤の影響の一例を図-6に示したが、供試した分散剤はいずれも、掘削土の混入したベントナイト泥水の粘度、降伏値の低下に有効であり、その必要濃度は0.2~0.3%である。これらの分散剤は掘削土が混入しなくとも降伏値を発生するベントナイトBの泥水に対しても有効である。分散剤の効果発現機構については先に検討した⁴⁾ようにいくつ

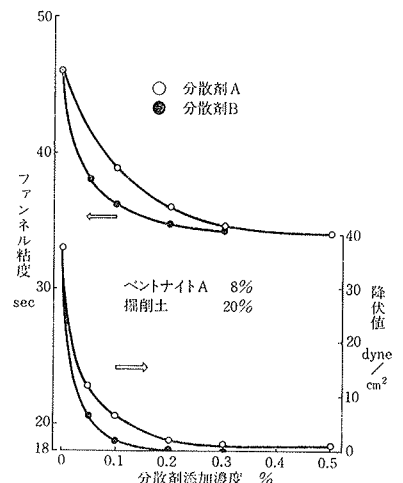


図-6 掘削土混入泥水における分散剤の効果

かのタイプに分けられるが、供試した分散剤は粘土粒子表面に吸着して動電位を増大させることにより、泥水を分散させるタイプに属すると考えられる。なお、これらの分散剤はポリマー泥水には効果を示さず、ポリマーによって表面を被覆された掘削土粒子表面には、これら分散剤が吸着せず、このために分散効果を発揮しえないものと考えられる。

次にベントナイト泥水における CMC の影響については図示しないが、CMC の添加は粘度だけではなく降伏値をも増大させ、例えばベントナイト A の泥水では CMC の 0.1% 添加で 30 dyne/cm² の降伏値が発生する。

また、ポリマー泥水を砂地盤に適用する際、ポリマー、粘土複合体をあらかじめ作るために、あるいは泥水比重を確保するために

ベントナイトを添加することがあるが、図-7に示すように、添加濃度によってかなりの降伏値を発生する。したがって、ベントナイトの添加濃度は 2% 以下にとどめる必要があり、さらに高濃度の粘土を添加する場合には陶土を採用した方がよい。

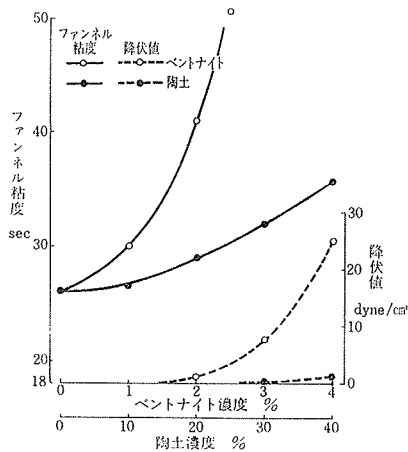


図-7 ポリマー泥水における添加粘土の効果

さらに、逸泥防止材の影響については図示しないが、例えばアスベストは通常の添加濃度である 1% 以下ではベントナイト泥水、ポリマー泥水のいずれに対しても降伏値を発生することはない。

4. 考察

4.1. スライムの沈降速度と泥水の流動特性

泥水中のスライム粒子の沈降はストークスの沈降式に従がい、沈降速度は粘度に反例することを前報で確認した。掘削土混入系についても同様な関係になるかどうかを見るため、沈降速度と粘度との関係を図-8に示した。ここで示した標準砂の沈降速度は前報で示した粗砂(0.2~1mm)のそれに近い。この図によれば、沈降速度と粘度との関係は掘削土の混入の有無にかかわらず、ほぼ一定している。しかし、両者の関係はポリマー泥水とベントナイト泥水とではやや異なり、全体的な傾向として、同一の粘度ではポリマー泥水の方が沈降速度が大きく、この差は粘度が大きくなるにつれて顕著になる。

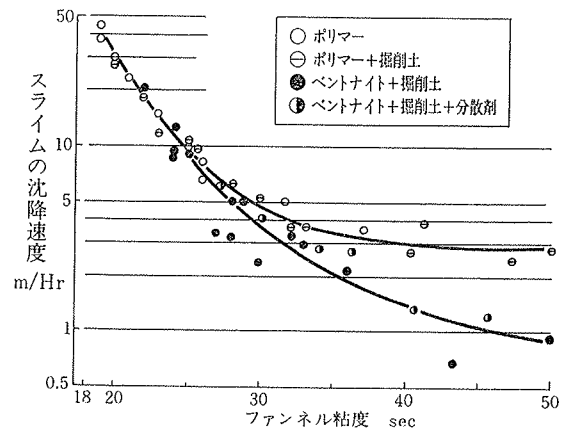


図-8 スライムの沈降速度と泥水の粘度との関係

この理由は前報でも述べたように、ベントナイト泥水とポリマー泥水とでは同一のファンネル粘度でも真の粘度が異なり、ベントナイト泥水の方が真の粘度が大きいことにある。真の粘度の差異は泥水の降伏値によって発生し、降伏値の大きい泥水ほど真の粘度が大きい。図-9に示すように、同一のファンネル粘度ではベントナイト泥水の方が降伏値が大きく、したがって真の粘度も大きいといえる。

なお、ベントナイト泥水の中でも分散剤添加泥水は沈降速度が大きい傾向が見られるが、これも分散剤による降伏値の低下にもとづくものといえる。

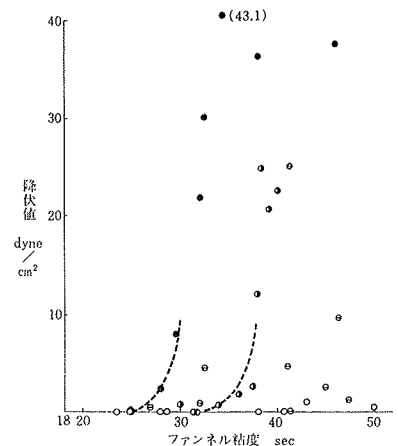


図-9 泥水の粘度と降伏値との関係(記号は図-8と同じ)

4.2. 堆積スライムの性状と泥水の流動特性

スライムの性状の指標として間隙比をとり、泥水の粘度との関係を図-10に示した。この図は前報における両者の関係とやや異なっている。すなわち、前報ではポリマー泥水では粘度が増大しても間隙比は変化しなかったのに対し、今回の掘削土混入系では間隙比の大きくなるものがある。これは、スライムの間隙比増大の原因となる泥水の降伏値が掘削土の混入によって発生し、その程度が図-5および図-9に示されるようにポリマーの種類によって異なることによる。なお、図-10によればスライムの締りを悪くしないためのポリマー泥水の粘度の上限値は約40秒である。

一方、ベントナイト泥水では分散剤添加の有無によって間隙比の上昇する点の異なり、分散剤無添加の場合に

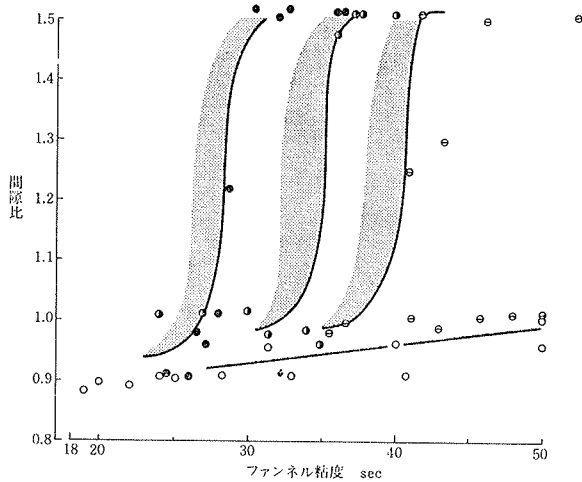


図-10 堆積スライムの間隙比と泥水の粘度との関係(記号は図-8と同じ)

はファンネル粘度28秒が粘度の上限値となる。この場合、ベントナイトの種類には関係がなくなる。また、分散剤添加の場合の粘度の上限値は35秒であり、これは図-9に示されているように、分散剤を添加することにより、ファンネル粘度が35秒未満の範囲では降伏値の発生を防止することができることによる。

さて、前報でも述べたようにスライムの間隙比は泥水の種類に関係なく、ある降伏値を越えると大きくなる。今回の実験結果を整理して示すと図-11が得られ、2~3dyne/cm²の降伏値が境界となり、これ以上の降伏値では間隙比が極端に大きくなり、泥水のわずかな降伏値がスライムの縮りを悪くしていることが明らかである。

なお、球状粒子を泥水中に浮遊させるのに必要な泥水の降伏値(τ)は次式で求められる。

$$\tau = 980 \times \frac{2}{3} \times D \times G_s \text{ (dyne/cm}^2\text{)}$$

ここに、D: 粒径 cm

G_s : 粒子の密度 g/cm³

この式から、標準砂における必要な降伏値を算出すると、約 18 dyne/cm となる。したがって、標準砂粒子が沈降はするが十分に密に充てんしない降伏値の範囲があり、今回の実験結果によれば、その範囲は 2~18 dyne/cm²であるということになる。

5. あとがき

前報に引続き、スライム処理を考慮した泥水の調査、管理の指針を得るため、フライムの沈降・堆積特性と泥水の流動特性との関係に着目して室内実験を行なった。本報では特に泥水中に混入する掘削粘性土、添加材としての分散剤などの影響について検討した。その結果、掘削土の混入は一般に泥水の流動特性に影響を与えることにより、スライムの沈降速度を低下させ、堆積スライムの縮りを悪くすることが判明した。しかし、ベントナイト泥水においては適切な分散剤の添加により、ポリマー泥水では適切なポリマーを選択することにより、また、泥水の粘度を適切な範囲に管理することにより、混入掘削土の影響を低減することができる。堆積スライムの性状を支配するのは泥水の有する微少な降伏値であり、添加材の影響も降伏値への影響程度によって判定が可能である。

参考文献

- 1) 喜田, 川地: 大林組技術研究所報, No. 14, (1977), pp. 87~93
- 2) 喜田, 川地: 大林組技術研究所報, No. 7, (1973), pp. 172~177
- 3) 後藤, 他: レオロジーとその応用, 共立出版, (1962), pp. 215~220
- 4) 喜田, 川地: 大林組技術研究所報, No. 4, (1970), pp. 107~116
- 5) 喜田, 川地: 大林組技術研究所報, No. 11, (1975), pp. 140~146
- 6) 喜田, 川地: 大林組技術研究所報, No. 9, (1974), pp. 103~110

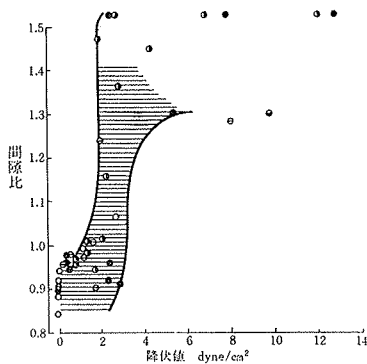


図-11 堆積スライムの間隙比と泥水の降伏値の関係(記号は図-8と同じ)