

セメント固化地盤の掘削泥水に関する研究 (その1)

——地中連続壁工事におけるポリマー泥水の適用例——

喜田大三 炭田光輝
辻 博和

Studies on Slurry for Excavation of Cement-Stabilized Ground (Part 1)

——Application of Polymer Base Slurry in Diaphragm Wall Construction——

Daizo Kita Mitsuteru Sumida
Hirokazu Tsuji

Abstract

This report describes the results of polymer base slurry applied in diaphragm wall construction at two sites of cement-stabilized ground. Polymer base slurry is less easily degraded by contaminated cement particles and more readily rejuvenated than bentonite slurry. However, when a large amount of cement is contained, the wall-building properties of the slurry are impaired. Improvement can be made without difficulty by addition of a dispersant. As a result of suitable addition of dispersants at the two project sites, polymer base slurry was not degraded by cement particles and could be controlled the same as ordinary ground excavation. Therefore, the projects were carried out satisfactorily, and excellent diaphragm walls were constructed.

概 要

この報告では、セメントで固化した地盤における泥水循環式の地中連続壁工事にポリマー泥水を適用した実績2例について紹介している。一つは、陸上で軟弱粘性土をセメントによる深層混合処理によって改良した地盤にシールド立坑を構築した工事であり、一つは、海域での築島工事に際しアクアソイル工法によって造成したセメント固化地盤に橋梁基礎として連壁剛体基礎を構築した工事である。ポリマー泥水はベントナイト泥水に比べてセメントの混入によって劣化しにくく再生しやすいが、多量のセメントが混入すると造壁性が悪くなる。しかし、分散剤を添加することによって造壁性は容易に改善できる。両現場とも分散剤を適切に添加した結果、泥水はセメントの混入によって劣化することなく、通常的地盤の掘削と同様の性状範囲に保つことができ、機能を十分発揮できた。その結果、順調に工事が進行し、優れた地中連続壁を構築することができた。

1. まえがき

構造物の地下外壁、土留壁、止水壁、基礎杭などの構築には、騒音、振動、地盤沈下などの少ない地中連続壁工法が多く採用されている。また、地下鉄、上下水道、共同溝などのシールドトンネルのうち約3分の1は泥水シールド工法で築造されている。このような地中連続壁工法や泥水シールド工法などの泥水を用いて地盤を掘削する工法では、泥水は安定液とも呼ばれ、孔壁や切羽の安定、掘削土砂の運搬などに重要な役割を果たし、それらの機能に応じた所要性能を確保・維持する必要がある。

ところで、泥水は土中の塩類、コンクリート打設時などのセメントあるいは掘削土中の細粒分の混入などによって劣化するので、これらの混入によって劣化しにくい泥水材料を使用するとともに劣化した際には適切に再生あるいは必要に応じて廃棄処理する必要がある。筆者らを含めたグループはこのような課題に答えるため、地中連続壁工法や泥水シールド工法などの泥水技術に関連する研究開発を推進してきた。

さて、近年、海域あるいは臨海などの建設工事に伴って、セメントで固化した地盤に泥水を用いて掘削する工事が増えてきている。セメント固化地盤を泥水工法によ

って掘削する場合には、セメントによって泥水が劣化する。従来、セメントによる泥水の劣化は、地中連続壁工事におけるコンクリート打設時の際に経験している。しかし、この場合には、コンクリート面に近い一部の泥水が劣化するだけで、劣化した泥水は廃棄処理して対応している。セメント固化地盤を掘削する場合、特に泥水循環方式による掘削の場合には、循環泥水中に多量のセメントが混入して泥水が著しく劣化する。しかも、この泥水は再度循環利用する必要がある。したがって、セメント固化地盤を掘削する場合には、耐セメント性の優れた泥水を使用する必要があり、また劣化した泥水の再生技術が重要である。

当社は既に耐セメント性の優れたポリマー泥水を開発しており¹⁾、また、泥水循環掘削方式による地中連続壁工事において止水性を高めるためジョイントパネル掘削時に標準パネルのコンクリート面をカッティングする工法の中でセメントによって劣化した泥水を化学的に再生する技術を確認している。^{2),3)}

そこで、これらの技術を集約して、陸上の軟弱粘性土を深層混合処理工法で改良したセメント固化地盤および海域での築島工事に際しアクアソイル工法⁴⁾によって造成したセメント固化地盤において、泥水循環掘削方式による地中連続壁工事にポリマー泥水を適用した。

ここでは、これらセメント固化地盤におけるポリマー泥水の適用実績について報告する。

2. 掘削泥水の種類と特徴

泥水の機能は①孔壁あるいは切羽の安定、②掘削土砂の運搬・分離媒体、③コンクリート置換を伴う場合の置換媒体である。①の機能はいずれの工法においても必要である。②の機能は特に泥水循環掘削方式において必要である。③の機能は地中連続壁工事のように掘削後コンクリートを打設する場合に必要である。

上述の①、②、③の機能は掘削地盤、掘削工法・システムあるいは構造物の用途などの条件によってその重要度は異なり、これら機能を果たすためにそれぞれの条件

を考慮して泥水の品質（性状）を確保し維持管理している。

さて、泥水工法で一般に使用されている泥水は表-1に示すように、ベントナイト泥水、ポリマー泥水およびシルト泥水である。

ベントナイト泥水はベントナイト粘土の6~8%の水懸濁液を主体にし、必要に応じて無機および有機調整剤が加えられた泥水であり、地中連続壁工法や泥水シールド工法で使用されている。この泥水は懸濁分散性は優れているが、セメントなどの塩分が混入するとゲル化しやすい。

ポリマー泥水は水溶性高分子の0.5~0.7%の水溶液にベントナイトを1%程度添加して高分子・粘土複合体を形成させた泥水であり、当社が開発したものである。ポリマー泥水は主に地中連続壁工法において使用されており、耐セメント性、懸濁分散性、サイクロン・沈砂池などにおける土砂分離性、スライムの沈降・除去性のいずれにおいても優れた泥水である。

シルト泥水は、地山に粘性土が富む場合、掘削開始後地山の粘性土によって泥水の品質を保持する泥水であり、泥水シールド工法、リバースサーキュレーション工法で使用されている。この泥水は、地山の粘性土によってその特性は左右されるが、一般にはベントナイト泥水と類似の特性を有している。

3. セメント固化地盤の掘削泥水としての適用性

セメント固化地盤を掘削するとセメントの混入によって泥水がゲル化して粘度が増大したり、懸濁分散性が低下し、その結果として造壁性が悪くなる。粘度が増大すると掘削土砂の運搬・分離に支障をきたすことになり、また懸濁分散性が低下すると槽・管などで固液分離が発生しやすくなりそしてセメント固化地盤以外の掘削場所においては孔壁（切羽）の安定に支障をきたすことになる。それゆえ、セメント固化地盤の掘削泥水には特に耐セメント性が要求されさらに泥水が劣化した際の再生のしやすさも重要視しなければならない。

図-1はベントナイト泥水およびポリマー泥水に沖積土を混入させて泥水比重を1.05に調整した泥水に消石灰を添加して劣化させ、ファンネル粘度あるいは大林式造壁性がおおむね基準値を越えると分散剤を添加して再生し、以下同様に劣化、再生を繰返した試験結果である。

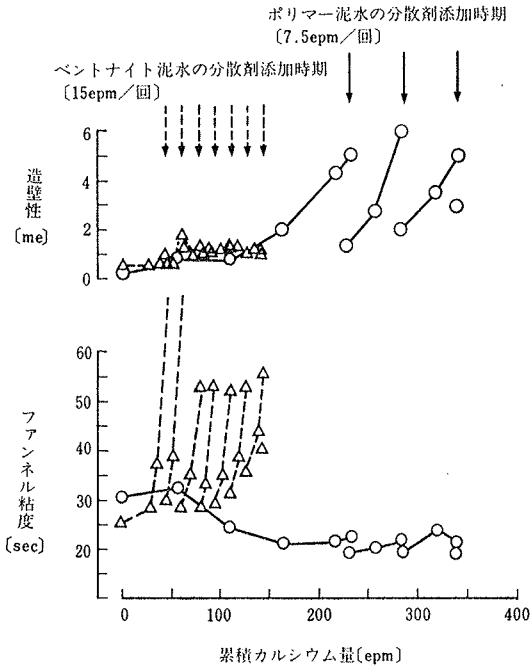
ベントナイト泥水の場合、カルシウム Ca が 43 epm 混入するとファンネル粘度が測定不能になるほど劣化する。そして、この泥水を再生するために必要な分散剤は 15 epm である。しかし、さらに Ca が 16 epm 混入する

泥水種	主に使用される工法	主な使用材料と一般的な配合	特 徴		
			耐セメント性	懸濁分散性	スライムの沈降特性
ベントナイト泥水	地中連続壁工法	ベントナイト 6~8% 分散剤 0.1~0.3% CMC 0.05~0.1%	×	○	△
	泥水シールド工法	ベントナイト 5~10% 一般粘土 20~30% CMC 0.05~0.1%			
ポリマー泥水	地中連続壁工法	ポリマー 0.5~0.7% ベントナイト 0.5~2%	○	○	○
	泥水シールド工法	地山粘性土 15~40%	△	△	△
シルト泥水	リバースサーキュレーション工法	地山粘性土 0~15%	△	△	△

○優れている、△やや優れている、×影響されやすい

表-1 泥水種とその特徴

△ ベントナイト泥水 $\rho = 1.05$ 配合(m ³ 当り) ベントナイト 60kg 分散剤 1kg C M C 1kg 沖積土、水	○ ポリマー泥水 $\rho = 1.05$ 配合(m ³ 当り) OP-8 5kg ベントナイト 10kg 沖積土、水
---	---



図一1 泥水の劣化・再生試験結果

と同様に劣化し、分散剤を同量添加すると再生するものの再生の程度は徐々に悪くなり、Ca が 140 epm 混入すると再生が非常にしづらくなる。なお、この間に造壁性は悪くなる傾向にあるが問題はない。

一方、ポリマー泥水の場合にはファンネル粘度は大きくならない。むしろ低下する傾向にあり全く問題はない。しかも、劣化して造壁性が悪くなるのは Ca が 230 epm と多量に混入した段階である。この泥水の再生に必要な分散剤は 7.5 epm であり、再度劣化する Ca は 54 epm である。このように、ポリマー泥水は劣化しにくくしかも再生しやすい泥水であることがわかる。

さて、セメント固化地盤を泥水循環掘削方式で掘削すると泥水中に Ca が 200~300 epm 混入することがコンクリートカッティングなどの類似の実績から予測された。消石灰とセメント固化地盤中のセメントでは泥水への影響は違うかもしれないが、図一1の結果から、ベントナイト泥水の場合劣化して掘削が困難であり、一方、ポリマー泥水の場合には分散剤を適切に使用することによって支障なく掘削できると考えられた。

そこで、セメント固化地盤の泥水循環掘削方式による地中連続壁工事にポリマー泥水を適用した。

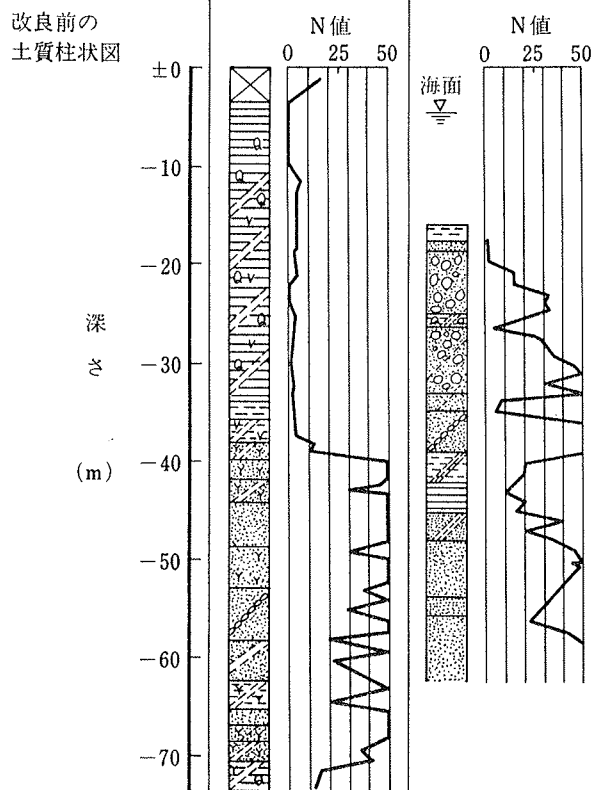
4. ポリマー泥水の適用例

4.1. 工事概要

今回の報告は2現場の適用例であり、これらの現場の概要は表一2に示すとおりである。

現場Aはシールド立坑の仮設土留・止水壁を構築する地中連続壁工事であり、掘削深さは73mであった。上部の粘性土は軟弱であったので、そのまま地中連続壁工事を施工すると過剰間隙水圧による孔壁のはらみ出しや軟弱土層域の孔壁の崩壊などによるトラブルが懸念された。そこで、地中連続壁工事に先だてて深層混合処理工法に

	現場 A	現場 B	
所在地	愛知県	香川県	
施工期間	59.10~60.2	61.1~61.4	
連用用途	シールド立坑	橋梁基礎	
壁規	掘削深さ	73m	60m
	壁厚	1m	1.5m
模	掘削面積	3,574m ²	1,909m ² ×3基
	掘削方式	泥水循環式	泥水循環式
掘削機	ハイドロフレーズ	ハイドロフレーズ	



改良	セメント固化地盤の範囲	GL-37mまでの軟弱粘性土を深層混合処理工法によって改良	水深10~12mの海上にアクアソイル工法によってまき土で水面から+4.6mまで築島
地盤	セメント量 (改良後の強度)	GL-13mまで210kg/m ³ (q _{u56} 7.1kgf/cm ²)	116kg/m ³ (q _{u28} 10kgf/cm ²)
		GL-13~37m144kg/m ³ (q _{u56} 5.6kgf/cm ²)	
泥水の基本調合		ポリマー 0.5% ベントナイト 0.5%	ポリマー 0.5% ベントナイト 1%

表一2 適用現場の概要

よって地盤改良を行なった。この地盤改良は高炉セメントを使用し、GL-13 m までは 210 kg/m^3 、GL-13~-37 m の区間は 144 kg/m^3 の配合で施工した。改良56日後の一軸圧縮強さ q_{u56} はそれぞれ 7.1 kgf/cm^2 、 5.6 kgf/cm^2 であった。

現場Bは海上に橋梁基礎を3基連壁剛体基礎によって構築した工事であった。掘削深さは60 m であり、このうち上部の14~16 m は連壁剛体基礎工事に先だって水深10~12 m の海上で、土砂・セメント・粘結剤から成るアクアソイルを水中に打設するアクアソイル工法によって築島したセメント固化地盤である。アクアソイルに使用した土砂は細粒分をほとんど含まない粗粒のまさ土であり、セメントは普通ポルトランドセメントとし、 116 kg/m^3 の配合とした。また、 q_{u28} は約 10 kgf/cm^2 であった。

両現場における土砂分離システムはスクリーン・サイクロンから成る一次処理装置と沈砂槽（沈砂池）を基本とし、細粒分は現場Aではフィルタープレスで、現場Bでは遠心分離機を使用して除去した。

後述の泥水管理を含めた施工管理を入念に行なった結果、両現場とも仕様を十分満足する地中連続壁を作ることができた。すなわち、現場Aでは内部掘削時にコンクリート壁面の仕上がり状態がよいことが確認され、壁の変形も少なく、また揚水量も少なかった。現場Bでは、頂版掘削時に均質なコンクリートが打設できていたことが確認された。すなわち、壁厚全体にコンクリートがよく回り込んでおり、またパネル間相互にスライムの巻き込みも認められなかった。

4.2. 掘削泥水の調査と管理実績

(1) 泥水の調査 3章で示したように、ベントナイト泥水でセメント固化地盤を掘削することは困難であることが予測された。一方、ポリマー泥水は耐セメント性に優れしかも再生しやすいので掘削泥水としての機能を十分発揮できると考えられた。それゆえ、ポリマー泥水を使用した。使用したポリマー泥水は、表-2に示すように、基本配合はポリマー0.5%とした。その際、ベントナイトは、現場Aでは地盤中に細粒分が富んでいたもので0.5%とし、現場Bでは上部のまさ土、下部の非改良地盤とも細粒分が少なかったため1%とした。なお、掘削に際しては両現場とも分散剤、逸泥防止材を適宜使用した。

(2) 管理項目・基準値 セメント固化地盤の掘削においても泥水の所要性能は基本的には通常の地盤の場合と同じであるので、掘削時には表-3に示すように従来通りの比重、造壁性、ファンネル粘度を管理した。また、コンクリート打設前にはスライム処理を十分に行なって

管理項目	対象	管理基準値	
		現地 A	現場 B
比重	送泥水	1.0~1.2	1.01~1.15
造壁性	〃	0~8 ml	0~8 ml
ファンネル粘度	〃	22~35 sec	22~30 sec

表-3 管理項目と基準値

砂分率を管理した。特に、現場Bは連壁剛体基礎であったのでスライム量を極力制限するためファンネル粘度、比重の上限を下げたスライム発生のもととなる土砂の分離に努めた。

(3) 管理実績 現場A、現場Bとも泥水管理を入念に行なった結果、掘削泥水は表-3に示した管理基準値内に管理することができた。

図-2は現場Bの3基の連壁剛体基礎のうち1基の最終パネル掘削時の送泥水の性状変化を示すものである。掘削に伴って孔内に、回収泥水あるいは良液を補給している。また、上部のセメント固化地盤の掘削に際しては適宜分散剤も添加した。図から明らかのように、上部のセメント固化地盤の掘削においては比重、造壁性はほとんど変化せず、ファンネル粘度は低下している。この時の泥水中のCaは200~250 epmであった。

一方、下部の非改良部の掘削においては比重が徐々に増加する傾向にあり、それに伴ってファンネル粘度も増

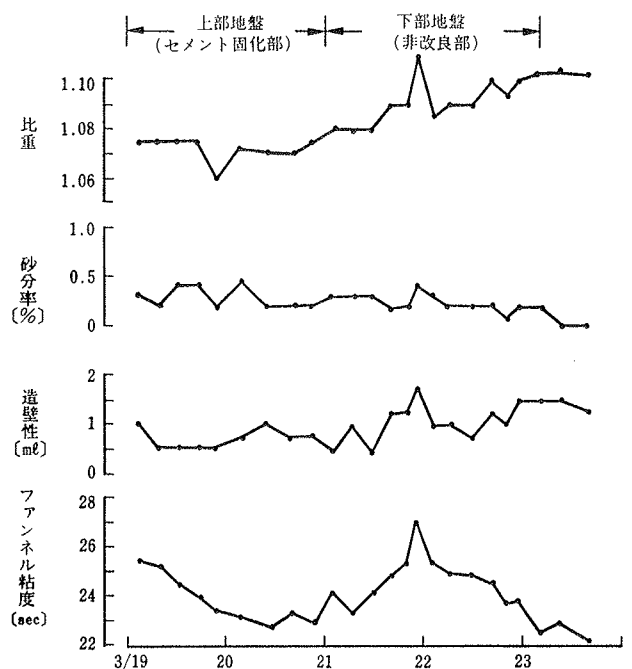


図-2 泥水管理結果の一例（現場B送泥水）

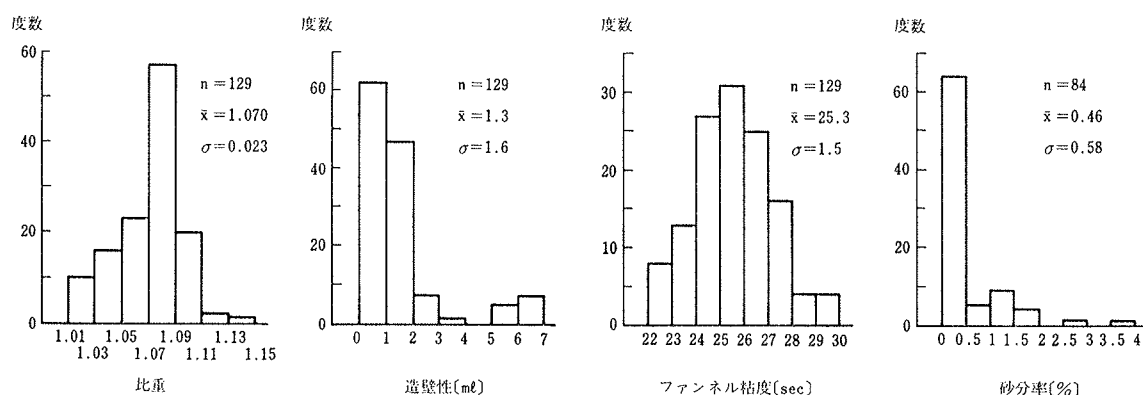


図-3 送泥水の比重・造壁性・ファンネル粘度・砂分率の分布（現場B）

加している。途中で泥水を処理した結果、一時比重は低下したもののまた徐々に増加した。しかし、ファンネル粘度は後工程のスライム処理を考慮して泥水の配合、特にポリマー濃度を調整して下げた。その間、造壁性はさほど変化していない。

上述の泥水性状の変化は図-1に示した室内試験の結果とも対応している。すなわち、ポリマー泥水はセメントが多量に混入するとファンネル粘度が低下し、造壁性が悪くなる。しかし、造壁性は分散剤を添加することによって改善されるので、現場では分散剤の効果によって維持できた。また、下部の非改良部の掘削では地山中の細粒分が泥水中に解け込み比重が増大し、その結果ファンネル粘度が増大している。しかし、先に述べたような管理によってファンネル粘度の増大を制御している。なお、このような事象は現場Aでも認められた。

さて、図-3は現場Bにおける工事期間中の送泥水の性状の分布を示すものである。セメント固化地盤の掘削においてもポリマー泥水の場合、比重・造壁性・ファンネル粘度の性状範囲はハイドロフリーズ掘削機で一般の地盤を掘削したときの性状範囲²⁾と全く同様であり、掘削時の送泥水中の砂分率も少なく、掘削終了後のスライム処理もスムーズに行なうことができた。

5. あとがき

海域の、また臨海の建設工事に伴ってセメント固化地盤を造成したのち泥水工法で掘削する工事が今後増大するものと考えられる。

そこで、ここでは、セメント固化地盤における泥水循環掘削方式の地中連続壁工事にポリマー泥水を適用した実績2例について報告した。

セメント固化地盤を泥水工法で掘削すると泥水中にセメントが多量混入するので、掘削泥水にはセメントで劣

化しにくいこと、また劣化した際の再生のしやすさも要求された。まず、室内において劣化・再生試験を行なった結果、ポリマー泥水は劣化しにくく再生しやすいのでセメント固化地盤の掘削泥水としての性能を有しており適用可能であるが、ベントナイト泥水は逆に劣化しやすく再生しにくいので適用が困難であることが予想された。そこで、ポリマー泥水を適用した。その結果、ここに報告した2現場の事例からも明らかのように、分散剤を適切に添加することによってセメント固化地盤の掘削においても通常の地盤と全く同様に掘削可能であることが確認できた。

今後は、劣化程度に応じたより簡便な改善方法を確立する所存である。そのためには、セメント固化地盤掘削における泥水の劣化の要因、影響程度、再生方法の改善、場合によっては新しい泥水の開発も必要である。既にこれらの研究については着手しており、今後発表する予定である。

おわりに、現場調査に協力していただいた本社特殊工法部および現場の皆様へ深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 喜田, 川地: 高分子・粘土複合体の泥水工法への適用, 土と基礎, Vol. 28, No. 2, (1980), pp. 23~30
- 2) 喜田, 川地, 辻, 炭田, 他: 泥水工法における泥水管理に関する研究(第28報), 大林組技術研究所報, No. 24, (1982), pp. 108~114
- 3) 喜田, 川地, 斉藤, 辻, 他: 若令埋立地(人工島)における海水練り安定液によるWFの施工, 大林組技術研究所報, No. 27, (1983), pp. 65~71
- 4) 喜田, 久保, 漆原, 他: アクアソイル工法に関する研究(その1), 大林組技術研究所報, No. 34, (1987), pp. 47~51