

# セメント固化地盤の掘削泥水に関する研究 (その2)

——セメント固化土が掘削泥水に及ぼす影響——

喜田大三 炭田光輝  
千野裕之

## Studies on Slurry for Excavation of Cement-Stabilized Ground (Part 2)

——Effect of Cement-Stabilized Soils on Slurry for Excavation——

Daizo Kita Mitsuteru Sumida  
Hiroyuki Chino

### Abstract

The authors examined effects on slurry at the time of excavation of cement-stabilized ground using polymer-base slurry or bentonite slurry. The following were disclosed as a result: (1) Hydrated and hardened cement paste has less effect on slurry than cement powder. (2) The lesser the curing time of cement-stabilized soil is, the more degraded is the slurry, but when curing times are longer than 4 weeks, there is hardly any difference in slurry properties. (3) Bentonite slurry is inferior to polymer-base slurry in cement-resisting properties and is easily degraded by a small amount of cement intermixture, while there is little difference whether the stabilized soil is sandy or clayey, whereas polymer-base slurry is not degraded unless by a large quantity of contaminated cement-stabilized soil, more degradation occurring with cement-stabilized sandy soil than with clayey soil. (4) When cement-stabilized soils are crushed, grain sizes of 0.1 mm and less affect slurry properties prominently, but larger sizes affect the properties very little.

### 概 要

セメント固化地盤をポリマー泥水あるいはベントナイト泥水を用いて掘削する際に、固化土が泥水に混入したときの泥水への影響について検討した。その結果、以下のことが明らかとなった。

(1) セメントの泥水への影響は、未水和のセメント粉体では大きいですが、水和して硬化すると小さくなる。(2) 材令の影響は、若材令ほど大きいですが、4週以上ではほぼ一定となる。(3) 砂質固化土と粘土質固化土を比較すると、耐セメント性に優れたポリマー泥水では前者の方が混入による影響が大きい。一方、ベントナイト泥水では耐セメント性に劣るため少量の混入で劣化し、固化土の種類による差はほとんどない。(4) 固化土の破碎程度によって生じる粒径の影響は、0.1mm以下の場合には大きいですが、それ以上の粒径の場合には非常に小さい。

#### 1. まえがき

地中連続壁工法や泥水シールド工法のように泥水を用いて掘削する工法では、泥水は孔壁(切羽)の安定に、掘削土砂の運搬に、さらにコンクリート置換を伴う場合の置換媒体として重要な役割を果たす。従って、工事の施工性、経済性、さらには、構築物の性能には泥水技術すなわち泥水の調合技術・掘削土砂の分離技術、泥水の品質管理技術、廃棄泥水の処理技術が大きく左右する。

さて、掘削泥水の品質は、通常、比重・粘度・造壁性

で管理しており<sup>1)</sup>、比重が上限値を超えた場合には廃棄処理をしているが、粘度、造壁性が基準値を超えた場合には、分散剤などを添加して再生して使用している<sup>2)</sup>。

ところで、近年、海域あるいは臨海の大規模な建設工事に伴って、ソイルセメントで築島した地盤あるいは軟弱粘性土をセメントで改良した地盤などのセメント固化地盤を対象とした泥水掘削工事が増大している。このような工事においては、泥水はセメントの影響によって、比重が上限値に達するまでに粘度あるいは造壁性が基準値を超えて劣化する。従って、セメント固化地盤の掘削

においては、セメントによる泥水の劣化を予測し、耐セメント性の優れた泥水を使用し、劣化した際には、再生処理などの適切な処置が必要である。しかし、セメントによる泥水の劣化については、過去にコンクリートの置換の際、あるいはセメント粉体の混入による影響について研究されている<sup>3)</sup>ものの、セメント固化地盤の掘削を対象としたセメント固化土が混入した場合の影響については、ほとんど報告されていない。

そこで、セメント固化土が泥水に及ぼす影響を明らかにするために、ポリマー泥水およびベントナイト泥水にセメント固化土を混入したときの泥水性状への影響について室内実験を行なった。

ここでは、セメント固化土の材令、固化土を構成する土、固化土の破碎によって生ずる粒径の影響について報告する。

## 2. 実験概要

### 2.1. 泥水

ポリマー泥水およびベントナイト泥水を使用した。配合および性状を表-1に示す。一般にポリマー泥水では、ポリマーの濃度は0.5~0.7%で使用しているが、この実験では、劣化状況をより明確にするために劣化しやすい濃度の0.4%とした。

ポリマー泥水		ベントナイト泥水	
耐塩性ポリマー	0.4%	群馬産ベントナイト(#250)	6%
群馬産ベントナイト(#250)	1%	CMC	0.1%
		分散剤	0.1%
ファンネル粘度	27±1秒	ファンネル粘度	22±1秒
造壁性	1~2ml	造壁性	1~2ml

表-1 供試泥水の配合と性状

### 2.2. セメント固化土

砂質固化土および粘土質固化土を使用した。砂質固化土、粘土質固化土は、それぞれ砂質土あるいは粘性土にセメント、水を混合して作成し、20℃の水中養生を行ない、所定材令経過後供試した。

セメント固化土の配合および性状は表-2に示す。同表には、比較のために供試したセメントペースト固化体についても併記している。以下、セメント固化土およびセメントペースト固化体をあわせて、セメント固化体とよぶこととする。なお、供試土の粒度分布は表-1に示す。

### 2.3. 実験方法

粉砕したセメント固化体を泥水に混入し、家庭用ミキサーで十分に混合した。

混合してから原則として1日後にファンネル粘度およ

固化体種	配合(1m <sup>3</sup> あたり)			水セメント比	含水比 [%]	湿潤密度 [g/cm <sup>3</sup> ]	一軸圧縮強さ [kgf/cm <sup>2</sup> ]
	水 [ℓ]	セメント [kg]	土砂 [kg]				
砂質固化土	430	150	1397	2.87	24	1.87	6.6
粘土質固化土	760	150	510	5.07	108	1.42	23.3
セメントペースト固化体	485	1610	—	0.30	15	2.10	860

表-2 セメント固化体の配合と性状

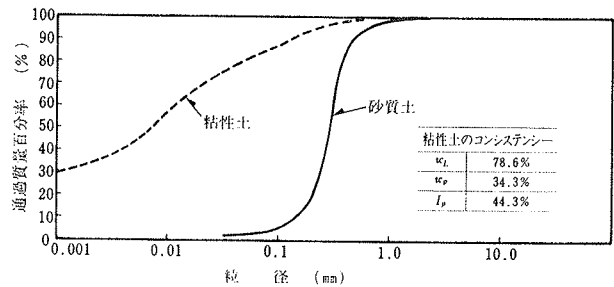


図-1 固化体の作成に使用した土の粒度分布

び大林式造壁性試験による脱水量を測定した。

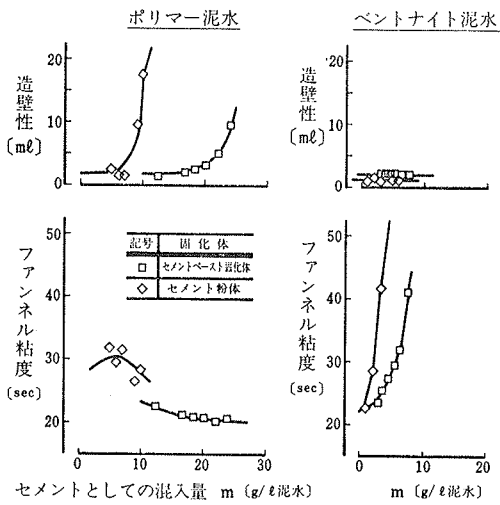
なお、セメント固化土の破碎程度の影響についての実験においては、泥水に固化体を静かに混入後、固化体がこわれないように静かに混合し静置した。性状は経時的に測定し、その際測定前にも上述のとおり混合した。

## 3. 実験結果と考察

### 3.1. セメント粉体とセメント固化体の影響

一般に、泥水にセメント粉体が混入すると、ポリマー泥水ではファンネル粘度が低下し、造壁性試験による脱水量が増大して造壁性が悪くなる。ファンネル粘度の低下は泥水の機能上問題のない範囲にあるが、造壁性は基準値を超える。一方、ベントナイト泥水ではファンネル粘度が上昇する。さらにセメント粉体が混入すると造壁性も悪くなるが、ファンネル粘度が基準値を超える付近の混入量では造壁性は悪くならない。すなわち、泥水にセメント粉体が混入すると、ポリマー泥水では造壁性が悪くなって劣化し、ベントナイト泥水ではファンネル粘度が増大して劣化する。

さて、図-2は未水和のセメント粉体とセメントが水和反応によって硬化したセメントペースト固化体をポリマー泥水あるいはベントナイト泥水に混入したときの混入量と大林式造壁性試験による脱水量(造壁性)およびファンネル粘度との関係を示すものであり、横軸は混入物の配合時のセメント量で表示している。ここでセメントペースト固化体は、3.2.で後述するように材令の影響がほぼ一定となる4週以上の材令のものを粉砕してプレーン比表面積がセメント粉末と同程度になるように調製して混入している。



図一2 セメント粉体とセメントペースト 固化体の影響

図に示すように、セメントペースト固化体が泥水に混入した場合も、セメント粉体と同様にポリマー泥水では造壁性が劣化し、ベントナイト泥水ではファンネル粘度が増加して劣化する。しかし、混入量あたりの泥水への影響は異なり、セメント粉体に対してセメントペースト固化体の影響は小さいことが明らかとなった。

以下の実験ではポリマー泥水の場合には造壁性を、ベントナイト泥水の場合にはファンネル粘度を指標として泥水への影響を検討する。

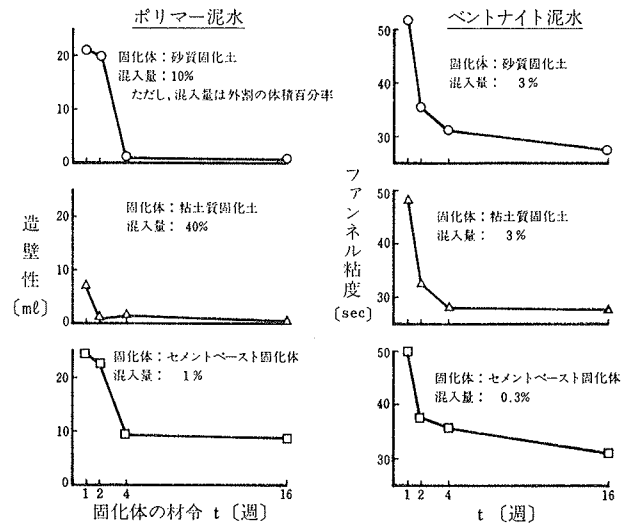
### 3.2. 材令の影響

図一3は、セメント固化体の材令の影響を明らかにするための実験結果であり、所定材令経過後の固化体を粉碎して泥水に混入したときの泥水性状を示すものである。

図から明らかなように、ポリマー泥水では、砂質固化土、粘土質固化土、セメントペースト固化体のいずれの固化体の場合にも造壁性は若材令のものほど悪くなり、材令とともに劣化程度が小さくなる傾向にある。そして、材令が2~4週以上の固化体ではほぼ一定となっている。また、ベントナイト泥水においてもいずれの固化体の場合にもファンネル粘度は若材令ほど大きく材令とともに小さくなり、2~4週以上の材令では材令の影響は小さくなっている。これらの事象は混入量が異なる場合にも認められた。

以上の結果から、固化体の材令による泥水への影響は固化体を構成する土の種類、ポリマー泥水とベントナイト泥水の別によらず、若材令のものほど大きい、材令が4週以上のものではほぼ一定になることが明らかとなった。

以下の実験では、上述の知見を踏まえて、固化体は材令の影響の小さい4週以上経過したものを使用した。



図一3 各種固化体の材令の影響

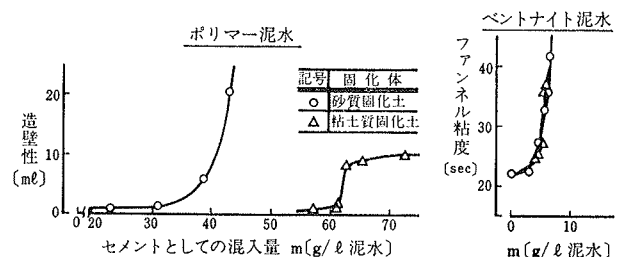
### 3.3. 固化土の種類の影響

図一4はセメント固化土を構成する土の種類異なる砂質固化土、粘土質固化土の混入量と泥水性状の関係を示すものである。同図の横軸は、図一2と同様に、セメント固化土中のセメント量で表示している。なお、表一1に示すように、両セメント固化土の単位セメント量は同一である。

図から明らかなように、セメント固化土を構成する土の種類の影響は、ポリマー泥水とベントナイト泥水で異なる。すなわち、多量の固化土の混入によってはじめて泥水性状に影響が現われる耐セメント性に優れたポリマー泥水では、砂質固化土の方が粘土質固化土に比べて影響が大きい、少量の混入によって影響が現われる耐セメント性に劣るベントナイト泥水では、砂質固化土と粘土質固化土の影響の差はほとんど認められない。

さて、一般に掘削泥水の造壁性は数 ml 以下、ファンネル粘度は20~35秒で管理している。今、造壁性の上限値を超えときの混入物中の配合時におけるセメント量を限界セメント量と称することにし、結果を整理すると表一3に示すとおりとなる。なお、同表には3.1.で述べたセメント粉体、セメントペースト固化体についても併記している。

表から明らかなように、限界セメント量は、ポリマー



図一4 砂質固化土と粘土質固化土の影響

固化体等	限界セメント量 (g/l 泥水)		限界セメント量の比 ポリマー泥水/ベントナイト泥水
	ポリマー泥水	ベントナイト泥水	
砂質固化土	38	6.0	6.9
粘土質固化土	62	5.5	10.3
セメントペースト固化体	22	7.0	3.1
セメント粉体	8	2.6	3.1

表-3 限界セメント量

泥水の場合、固化体中に土を含まないセメントペースト固化体に比べて固化土の方が大きい。すなわち、固化土は泥水への影響が小さい。その際、固化土を構成する土の種類は砂質土よりも粘性土の方が泥水への影響は小さい。一方、ベントナイト泥水の場合、セメントペースト固化体と固化土の差は小さくなり、固化土の泥水への影響は大きくなる。その際、土が砂質土よりも粘性土の方が影響が大きくなる傾向にある。

上述の現象は次の理由によるものと考えられる。すなわち、セメント分が泥水に混入して劣化するのはポリマー泥水では造壁性、ベントナイト泥水ではファンネル粘度であり、造壁性は土の混入によってほとんど悪くならないが、ファンネル粘度は土の混入、特に粘性土の混入によって増大する。一方、セメントは水和して硬化すると泥水に影響しにくい水和鉱物となる。その際土が混入すると土とセメントとのポゾラン反応などによってさらに影響しにくくなる。この傾向は砂質土よりも粘性土の方が顕著であると考えられる。

そのため、ポリマー泥水では、固化体に土が入るとセメントの影響が小さくなり固化土は泥水に影響しにくくなるが、ベントナイト泥水では土の効果が相殺されて土のない場合とさほど変わらないものと考えられる。そしてポリマー泥水では耐セメント性に優れていること、造壁性はファンネル粘度に比べると性状が変化しにくい傾向にあることから、固化土を構成する土の種類によって限界セメント量が大きく異なるが、ベントナイト泥水では逆に耐セメント性に劣り、性状の変化が顕著なファンネル粘度が劣化するので土の種類によって限界セメント量もさほど変わらないものと考えられる。

ところで、表-3にはベントナイト泥水に対するポリマー泥水の限界セメント量の比を併記している。この値から明らかなように、泥水劣化の観点からみるとセメント固化地盤の掘削に使用する泥水は耐セメント性に優れたポリマー泥水が有利であり、固化土を構成する土が粘性土の場合には特に有利である。

上述のように、セメント固化土の泥水への影響は固化土を構成する土によっても違うので、土の影響も考慮した調査を行なう必要があることが明らかになった。

### 3.4. 固化体の破碎程度の影響

セメント固化地盤を掘削すると地盤は掘削機などで破碎され種々の粒径の固化土になって泥水に混入する。そこで、破碎程度によって生ずる粒径の違いが泥水性状に及ぼす影響を明らかにするために実験を行なった。

図-5は0.1 mm以下、0.1~2 mm、2 mm以上の粒径に調製した固化体を静かに泥水に混入して接触させ経時的に性状を測定した結果の一例を示すものである。また、図-6は粒径の影響を明確にするために、接触1日後の性状を比較したものである。ここで、各粒径に調製した固化体の粒度分布は図-7に示す範囲であり、また、性状を測定する前に試料を均一にする目的で固化体がこわれないように静かに混合した。

図-5, 6から明らかなように、ポリマー泥水、ベントナイト泥水を問わず、いずれの接触時間においても粒径の小さいものほど影響は大きく、特に0.1 mm以下の粒径のものはその傾向が著しい。

図-8は各粒径に調製した固化体の混入量と接触1日後の性状を示すものである。0.1 mm以下の粒径の固化体ではセメント量として7 g/l 泥水と非常に少ない混入量で劣化するのに対して、0.1~2 mmの場合には400 g/

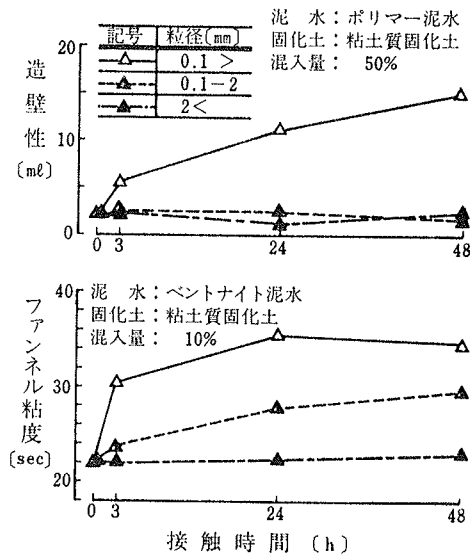


図-5 粒径別固化体の接触時間の影響

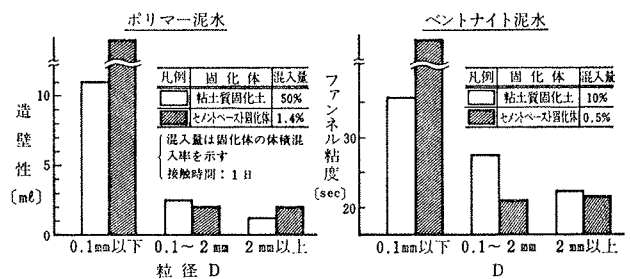


図-6 粒径の影響

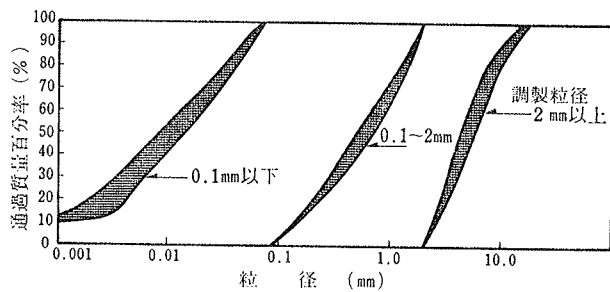


図-7 調整したセメント固化体の粒度

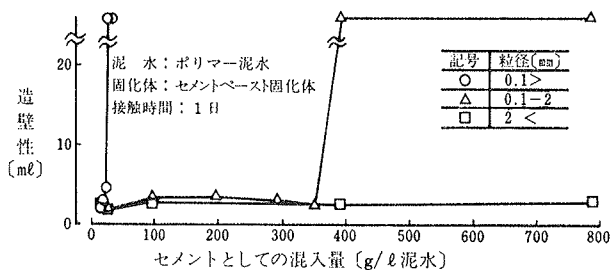


図-8 粒径別固化体の混入量の影響

1 泥水を混入してはじめて劣化し、2 mm 以上の場合には 800 g/l 泥水を混入しても劣化しない。

ところで、セメント固化地盤の掘削において、固化体が破碎されて泥水に混入する場合、特に泥水循環式の場合にはこの実験条件に比べると固化土は泥水とよく混合するものと考えられ、この実験結果から工事において 0.1 mm 以上の粒径の固化体は泥水にさほど影響しないと断言できない。

しかし、概ね 0.1 mm 以上の粒径の固化体は図-8 に示したように多量混入しても影響は小さく、しかもスクリーン、サイクロンなどの土砂分離機で短時間に除去される。反面、0.1 mm 以下の粒径の固化体は少量で大きく影響し土砂分離機で短時間に除去されないで循環泥水中に残留し、接触時間が長い。これらを考えあわせると、泥水への影響は 0.1 mm 以下の粒径の固化体の混入でほぼ決定されると言っても過言ではない。

従って、セメント固化地盤の泥水掘削工事においては、0.1 mm 以下の粒径に粉砕される量が極力少ない条件で掘削することが重要であり、泥水に混入する量を推定し、泥水調合を計画するとともに泥水に混入した場合にはできるだけ早く除去するとよい。

#### 4. まとめ

セメント固化地盤を掘削する際の泥水に混入するセメント固化土の泥水への影響を明らかにするためにポリマ

ー泥水およびベントナイト泥水を使用して、固化土の材令、固化土を構成する土、固化土の粒径の影響に関する実験を行なった。その結果、以下のことが明らかになった。

(1) 水和して硬化したセメントは未硬化のセメント粉体と同様にポリマー泥水では造壁性を悪化させて、ベントナイト泥水ではファンネル粘度を増大させて泥水を劣化させる。しかしその劣化程度はセメント粉体より小さい。

(2) 固化土の材令による影響は、固化土を構成する土の種類、ポリマー泥水とベントナイト泥水の別にかかわらず、若材令ほど泥水を劣化させるが、材令が 4 週以上のものではほぼ一定になる。

(3) 固化土を構成する土によって、ポリマー泥水では劣化程度が減少する。その際、砂質土よりも粘性土の方が顕著である。反面、耐セメント性に劣るベントナイト泥水では土によって劣化程度が大きくなる傾向にあり、粘性土の方が砂質土よりも悪影響を及ぼす傾向にある。

(4) 固化土の破碎程度によって生ずる粒径の影響は、小さいものほど大きく、工事においては 0.1 mm 以下の粒径の混入量で泥水の劣化程度が決まると考えてよい。

#### 5. あとがき

セメント固化地盤の掘削においては、耐セメント性の優れたポリマー泥水を使用するのが有利であり、粘土質固化土の場合には特に顕著である。ポリマー泥水を使用しても混入量によっては泥水は劣化する。その際、0.1 mm 以下の粒径の固化土の混入が性状を左右する。今後はこの粒径のものがどの程度混入するかを明らかにすることが重要である。また、掘削中の泥水は、ポリマー濃度、混入土砂量なども変化するのでこれらの条件を考慮した劣化状況を把握することも必要である。既にこれらの実験については着手しており、近く発表する予定である。

#### 参考文献

- 1) 辻, 喜田, 炭田: 泥水工法における泥水の品質管理の自動化 (その1), 大林組技術研究所報, No. 33, (1986), pp. 22~26
- 2) 喜田, 炭田, 辻: セメント固化地盤の掘削泥水に関する研究 (その1), 大林組技術研究所報, No. 35, (1987), pp. 42~46
- 3) 喜田, 川地: 泥水工法における泥水管理に関する研究 (第16報), 大林組技術研究所報, No. 9, (1974), pp. 103~110