

泥水特性に関する基礎的研究（その4） （泥水式シールド用海水練り泥水に関する研究）

Fundamental Study on Characteristics of Slurry —Part 4— (Study on Slurry Prepared with Sea Water)

森 仁司*
Hitoshi Mori

野本 寿**
Hisashi Nomoto

渡辺 徹***
Toru Watanabe

新藤 敏郎*
Toshirō Shindō

要 約

本研究は、泥水式シールド用海水練り泥水の特性の把握と海水中の有害イオンの除去および添加剤の有効な使用方法の検討を目的としたものである。その結果、ポリマーと分散剤の添加により清水練り泥水と変わらぬ造壁性と粘性を持つ海水練り粘土泥水の配合を見出すことができた。また、有害イオンの除去によって泥水特性が改善されるだけでなく、添加剤の効果を期待するうえでも有効であることが分った。

目 次

- §1. はじめに
- §2. 実験方法
- §3. ベントナイト泥水の検討
- §4. 粘土泥水の検討
- §5. 海水と人工海水の比較検討
- §6. まとめ
- §7. おわりに

§1. はじめに

海岸域での泥水式シールドでは、海水練り泥水を使用するケースが考えられる。この場合、海水の影響に関する研究報告^{1),2)}によれば、泥水は海水中のイオンの影響で劣化が生じることが知られている。しかし、海水を練り混ぜ水として使用した泥水の特性の変化や添加剤の有効な使用方法について未だ不明な点が多い。

そこで、本研究においては、人工海水を用いて海水練り泥水の特性の変化や添加剤の有効な使用方法を究明するとともに、人工海水中のイオンの一部を化学的に除去

した海水（以後人工処理海水と呼ぶ）を練り混ぜ水とした泥水の特性試験を行い、泥水に悪影響をおよぼす因子の除去法について検討することを目的とした。

§2. 実験方法

2-1 測定項目および使用器具

本研究においては、海水練り泥水の基本的特性を解明するためにレオロジー特性、ろ過特性、PH、塩分濃度および膨潤度を測定した。実験のフローを Fig.1 に示し、泥水特性試験で使用した測定器具と測定項目を Table 1 に示す。

2-2 練り混ぜ水

本研究では、最初に基礎的な試験として清水、人工海水および人工処理海水の3種類の練り混ぜ水を用いた。ここで、人工海水とは、実際の海水と同じ塩類組成になるように薬品を調合したものであり、人工処理海水とは、人工海水に薬品を加えることで海水中に含まれる Ca、と Mg イオンを化学的に不活性化したものである。³⁾ Table2 に人工海水と人工処理海水の塩類組成を示す。

つぎに、海水（相模湾にて採取）を用いて、人工海水での試験の妥当性の確認を行った。Table3 に海水と処理海水の塩類組成を示す。

*技術研究部土木技術課
**技術研究部土木技術課副課長
***技術研究部土木技術課係長

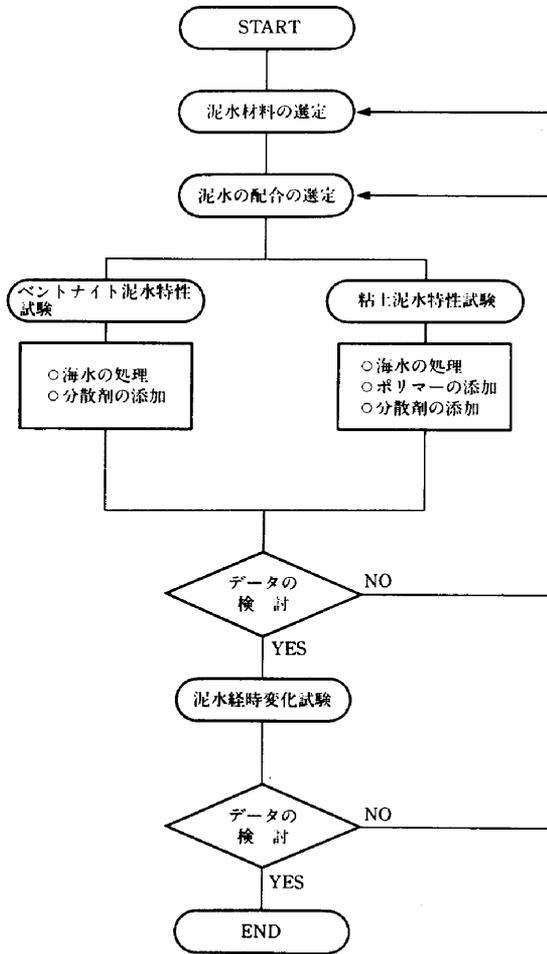


Fig.1 実験のフロー

Table1 泥水特性試験の測定項目および測定器具

測定項目	測定器具	
泥水比重	マッドバランス	
レオロジー特性	ファンネル粘性 (FV)	ファン VG メータ (MODEL135)
	見掛け粘性 (FV)	
	塑性粘性 (PV)	
	イーールドバリュー (VV)	
	ゲルストレングス (GS)	
ろ過特性	ろ過水量	API 規格ろ過試験器 (3kgf/cm ² , 30分)
	泥膜厚	
P H	ガラス電極	
塩分濃度	ガラス電極	

Table2 人工海水と人工処理海水の塩類組成

測定対象イオン	人工海水 [mg/l]	人工処理海水 [mg/l]
Cl ⁻	24,000	21,000
Br ⁻	52	57
SO ₄ ²⁻	2,500	2,400
Mg ²⁺	1,500	0.5
Ca ²⁺	360	0.5
K ⁺	630	550
Na ⁺	12,000	17,000

Table3 海水と処理海水の塩類組成

測定対象イオン	海水 [mg/l]	処理海水 [mg/l]
Cl ⁻	21,000	20,000
Br ⁻	54	54
SO ₄ ²⁻	2,800	2,600
Mg ²⁺	1,200	1.4
Ca ²⁺	600	1.1
K ⁺	430	430
Na ⁺	11,000	18,000

Table4 泥水材料

泥水材料	種別
粘	B-1 山形産 # 250
	B-2 群馬産 # 300
	B-3 群馬産 # 300
	B-4 群馬産 # 200
	B-5 山形産 # 300
土	C-1 岡山産
	C-2 岐阜産
添加剤	主成分
ポリマー	ポリアニオニックセルロース系
分散剤	カルボン酸複合物

Table5 ベントナイト泥水特性試験配合一覧表

(濃度は水重量比)

ベントナイトの種類	ベントナイト濃度 (%)	練り混ぜ水	分散剤濃度 (%)
B-1	4~9	清水	0
B-2		人工海水	
B-3		人工処理海水	
B-4			
B-5			
B-1	4~9	清水	0.1~0.5
B-2		人工海水 人工処理海水	

Table6 粘土泥水特性試験配合一覧表

(濃度は水重量比)

粘土の種類	粘土濃度 (%)	練り混ぜ水	ポリマー濃度 (%)	分散剤濃度 (%)
C-1	20~40	清水	0~0.4	0
C-2		人工海水 人工処理海水		
C-1	20~40	清水	0.1~0.4	0.2~1.0
C-2		人工海水 人工処理海水		

Table7 試料の膨潤度

試料名	膨潤度 [ml/2g]		
	清水	海水	処理海水
B-1	19.0	5.0	5.3
B-2	15.0	7.5	8.7
B-3	13.0	6.5	8.5
B-4	10.5	4.9	5.0
B-5	24.0	6.6	7.9
C-1	4.9	4.7	5.3
C-2	3.8	4.0	3.8

2-3 使用材料

泥水式シールド用泥水に用いられているベントナイト5種類と粘土2種類を用いた。添加剤として、ポリマーはポリアニオンセルローズ系のエーテル化度1.3~1.6のものを、分散剤はカルボン酸塩複合物のものを使用した。Table4には泥水材料を、Table5とTable6には配合の組合せの一覧表を示す。また、3種類の練り混ぜ水に対する試料の膨潤度をTable7に示す。

2-4 作泥方法

泥水は、あらかじめポリマーを溶かした練り混ぜ水にベントナイトおよび粘土を粉体混入し、その後分散剤を添加してハンドミキサーによって5分間攪拌した。また、20℃に保たれた養生室で15~20時間養生し、水温が20±1℃となるように努めた。泥水特性試験を行う際には、ハンドミキサーで2分間再攪拌した。

§3. 海水練りベントナイト泥水の検討

3-1 練り混ぜ水とベントナイトの関係

5種類のベントナイトを3種類の練り混ぜ水で調泥した泥水のろ過特性としてろ過水量をFig.2に、レオロジー特性としてプラスチック粘性をFig.3に示す。

1) ろ過水量

Fig.2から、ろ過水量は各ベントナイトともに清水に比べ、人工海水と人工処理海水の時は著しく増大する。また、人工海水と人工処理海水では、人工処理海水の方が少なくなるが、その差はベントナイトの種類で違いがある。

各ベントナイトの比較において、ベントナイト泥水のろ過特性の優劣は練り混ぜ水により異なるが、耐塩性ベントナイトのB-5が最も優れた結果を示している。

各ベントナイトともに、清水に対しては、ベントナイトの濃度の増加によるろ過水量の減少がみられるが、人工海水、人工処理海水に対しては傾向のばらつきが生じる。

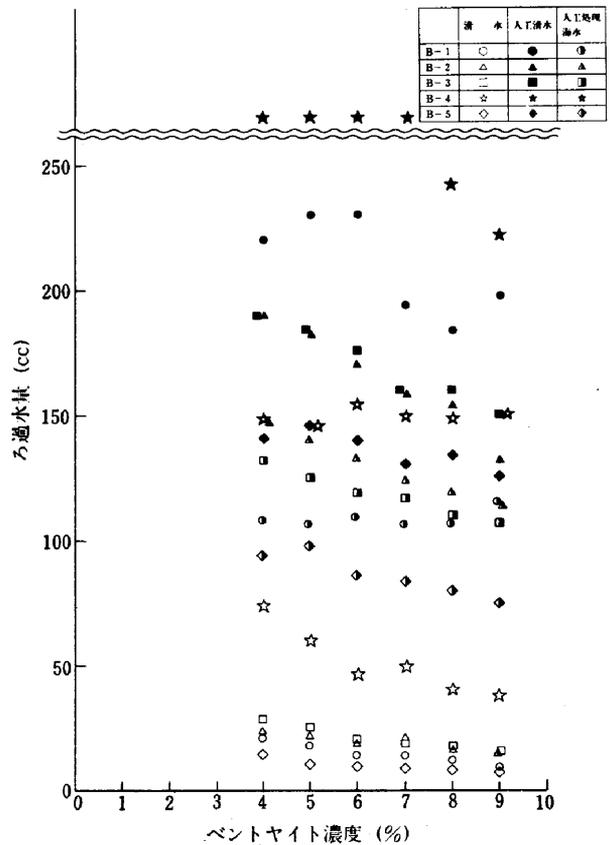


Fig.2 練り混ぜ水の違いによるろ過水量の変化

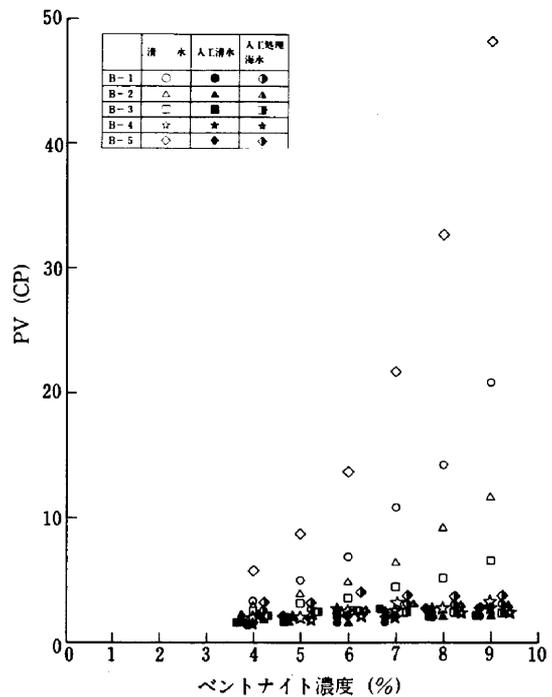


Fig.3 練り混ぜ水の違いによるプラスチック粘性の変化

2) プラスチック粘性

Fig.3から、清水に対してベントナイトの濃度増加に伴う粘性の増大が顕著にみられるのは、B-5、B-3

1, B-2, B-3, B-4の順である。人工海水と人工処理海水に対しては濃度の増加に伴う粘性の増加はみられず、ベントナイトの種類の違いによる粘性の違いもみられない。

3) 考察

ろ過特性に関して、人工海水中でベントナイト粒子は、Na, Ca, Mg イオンなどにより粒子間反発力が失われ、粒子が凝集-集合した状態になっているものと考えられる。この凝集した粒子によって形成された泥膜の透水性は大きく、ろ過水量は増大する。しかし、ベントナイト濃度の増加によって泥膜は厚くなりその効果によりろ過水量は減少する。人工処理海水では、Ca イオンと Mg イオンがほとんど除去されているので、人工海水に比べベントナイト粒子の凝集-集合は抑えられ、これらの粒子によって形成された泥膜の透水性は比較的小さくなりろ過水量も人工海水に比べ減少する。また、人工処理海水によるろ過水量減少効果は、ベントナイトの種類により差が生じ、耐塩性の B-5 と清水練りでのろ過水量のかなり多い B-4 を除けば、清水での膨潤度の大きいものほど効果があると言える。

粘性に関しては、清水に対する粘性の高低の順は、Table7からも分かるようにベントナイトの膨潤度の大小の順になっている。しかし、人工海水と人工処理海水では、有害イオンの影響によってベントナイトの膨潤度は妨げられ、膨潤によって粘性を増すベントナイトの特性は失われている。このためベントナイトの種類の違いによる粘性の違いはみられない。人工海水と人工処理海水では、わずかに人工処理海水の方が膨潤度は大きくなっているが、粘性の差としては現れない程度である。

3-2 分散剤の添加

海水中のイオンの凝集作用の抑制を目的としてベントナイト B-1 と B-2 を 3 種類の練り混ぜ水で調泥した泥水に、分散剤の濃度を 0~0.5% の範囲で変化させて添加し、分散剤の効果を検討する、その時のろ過水量を Fig.4 と Fig.5 に、プラスチック粘性を Fig.6 と Fig.7 に示す。

1) ろ過水量

Fig.4 と Fig.5 より、清水に対してろ過水量は B-1, B-2 とともに分散剤の濃度の増加に伴う増減はほとんどみられない。人工海水では、分散剤の添加による減少がみられるもののベントナイト濃度によっては無添加の時の方が少ない場合もあり、その効果も分散剤の濃度によっては無添加の時の方が少ない場合もあ

り、その効果も分散剤の濃度には比例していない。人工処理海水に対しては、両ベントナイトともに分散剤の添加によって確実にろ過水量を減少させることができるが、やはり分散剤濃度には比例していない。

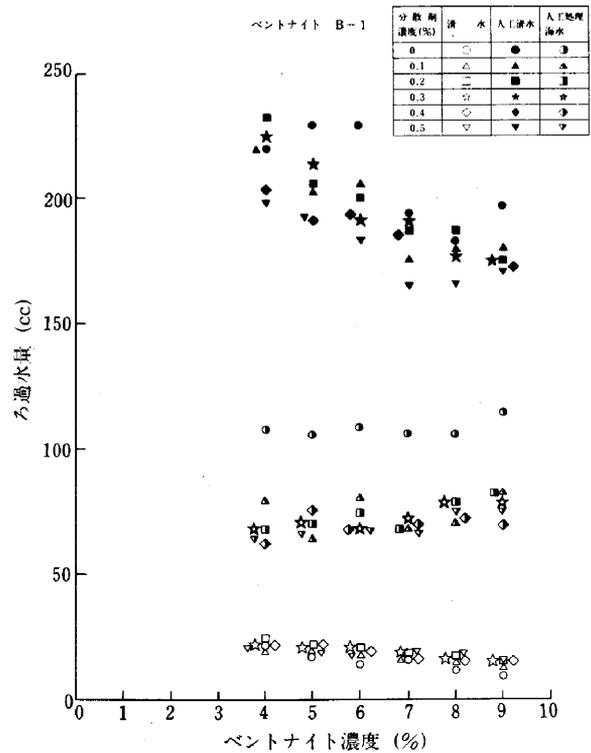


Fig.4 分散剤の添加によるろ過水量の変化

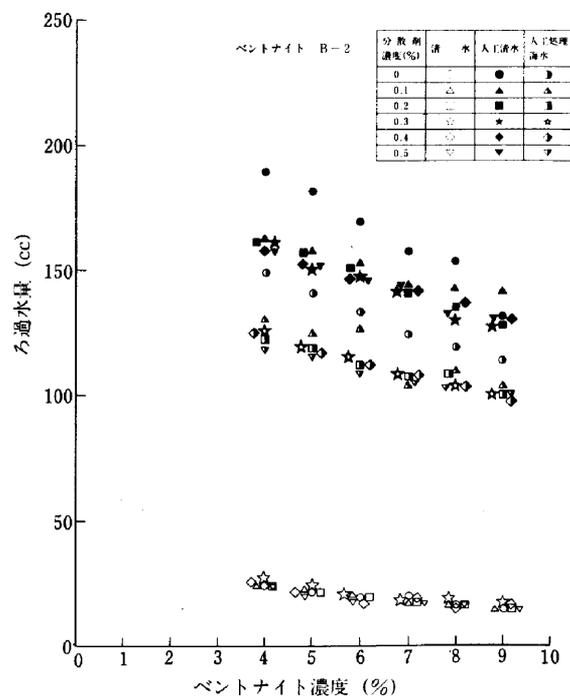


Fig.5 分散剤の添加によるろ過水量の変化

2) プラスチック粘性

Fig.6 と Fig.7 より、清水に対して少しでも分散剤が添加されると粘性が小さくなり、その傾向はベントナイト濃度が増加すると著しくなるが、分散剤濃度の違いによる粘性の差はほとんどない。人工海水および人工処理海水では、分散剤の添加による粘性の変化はなく、分散剤濃度の違いによる差もみられない。

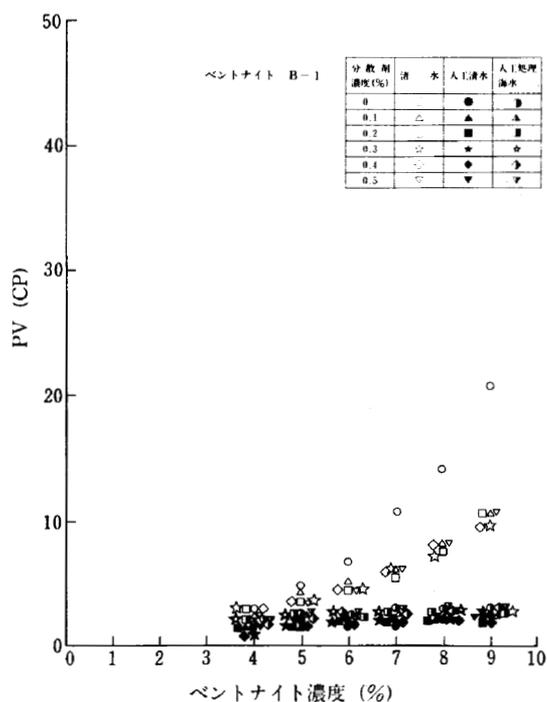


Fig.6 分散剤の添加によるプラスチック粘性の変化

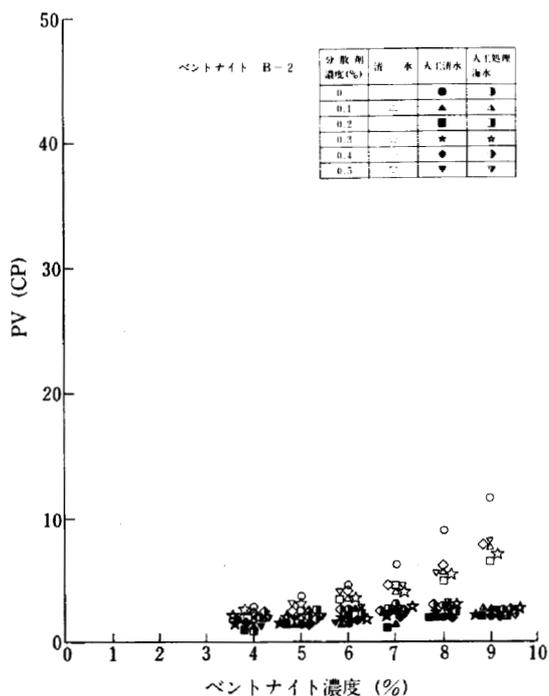


Fig.7 分散剤の添加によるプラスチック粘性の変化

3) 考察

人工海水中でベントナイト粒子は、多量に存在する有害イオンにより凝集-集合した状態になっており、この状態で分散剤を添加しても有害イオンの電荷の影響を除去するには不十分である。このため粒子の凝集を抑える分散剤の効果は薄い。

つぎに、人工処理海水は、Na イオンは残っているものの分散剤により粒子の凝集がかなり抑えられ、比較的透水性の小さな泥膜が形成されると考えられる。

以上のベントナイト泥水の検討より、海水練り泥水では、海水中の Ca, Mg イオンの不活性化や分散剤を添加の効果は少なく、ろ過水量と粘性は、実用的な値にならないので、ベントナイトを使用する利点は少ないと判断される。

§4. 粘土泥水の検討

4-1 練り混ぜ水による違いとポリマーの効果

粘土 C-1 と C-2 を 3 種類の練り混ぜ水で調泥した泥水に、ポリマー濃度を 0 ~ 0.4% の範囲で変化させて添加した時のろ過水量を Fig.8 と Fig.9 に、プラスチック粘性を Fig.10 と Fig.11 に示す。

1) ろ過水量

Fig.8 から、ろ過水量は清水、人工処理海水、人工海水の順で多くなっており、清水では粘土の増加に伴って減少する。しかし、人工海水ではポリマー無添加の場合、0.1%、0.2% 添加より粘土濃度 30%、40% で少なくなっている。また、ポリマー濃度 0.1%、0.2% では粘土濃度の増加に伴いろ過水量が増加しているが、0.3%、0.4% では粘度濃度が増加すると減少する傾向にある。人工処理海水では、ポリマー濃度に比例してろ過水量は減少する。

Fig.9 でも、人工海水に対してポリマー無添加の場合、0.1% や 0.2% 添加よりもろ過水量が少ない時がある。また、粘土濃度が 20% から 30% では減少しているが 40% では増加している。つぎに、人工処理海水では、ポリマー濃度に比例してろ過水量が減少しており、0.2% 以上で顕著な効果がみられる。

Fig.8 と Fig.9 で、ろ過水量は両粘土ともに人工処理海水ではポリマー濃度 0.3% 以上で清水とほぼ同じ値になっている。また、人工海水でも 0.4% 添加では清水や人工処理海水にほぼ近い値になる。

2) プラスチック粘性

Fig.10 と Fig.11 から、粘性は清水、人工処理海水、人工海水の順に低く、ポリマー濃度と粘土濃度に比例して高くなっている。

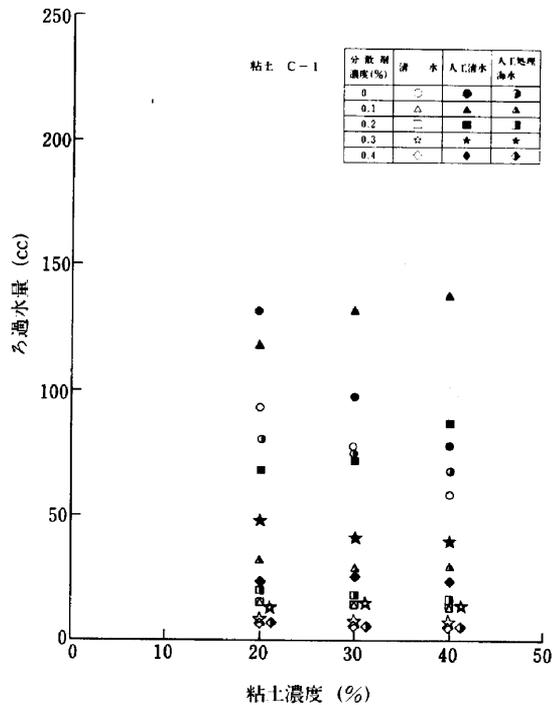


Fig.8 ポリマーの添加によるろ過水量の変化

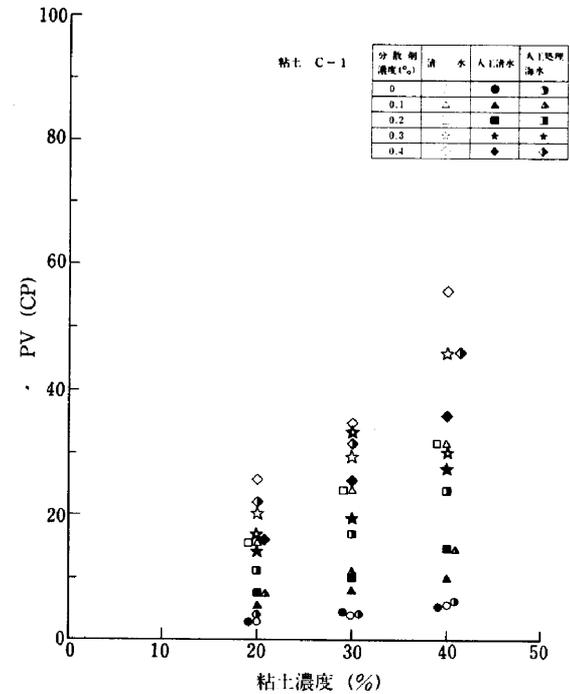


Fig.10 ポリマーの添加によるプラスチック粘性の変化

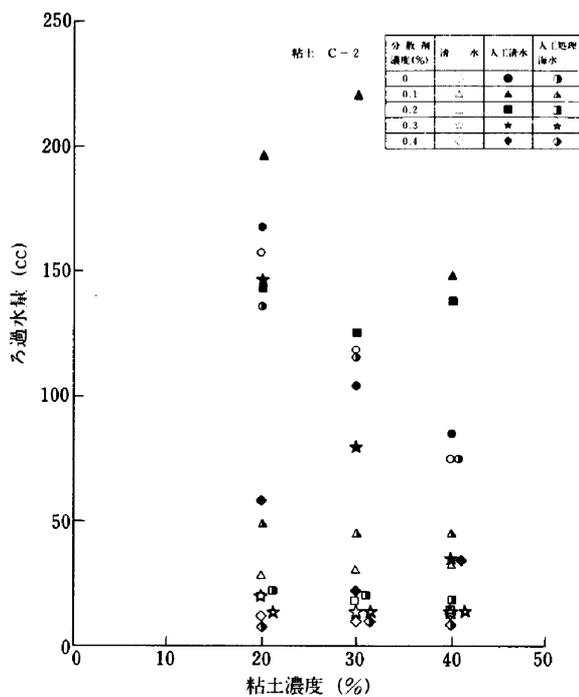


Fig.9 ポリマーの添加によるろ過水量の変化

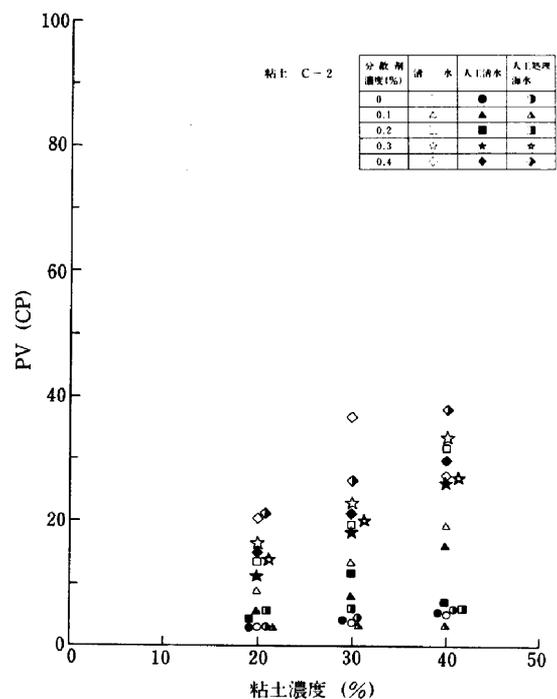


Fig.11 ポリマーの添加によるプラスチック粘性の変化

3) 考察

ポリマーは粘土粒子を被膜して安定なコロイド状態を維持し、泥膜形成性を改良する機能を持つが、人工海水中においては、添加量が不十分であると粘土粒子の被膜が不完全となり粒子は凝集する。この凝集した粒子をポリマーがさらにつなげる働きをして泥膜の透

水性を大きくすると考えられる。したがって、ろ過水量は人工海水中ではポリマー無添加の方が、ポリマー濃度0.1%の時よりも少なく、粘土量が増加すると増加すると思われる。しかし、人工処理海水では、ポリマーの作用で比較的稳定なコロイド状態が維持されるので、ポリマー濃度に比例してろ過水量も減少し、粘

土量の増加による逆効果もみられない。

粘土は Table7 から分かるように練り混ぜ水の違いにより膨潤度が異なることはないので、粘性の高低はポリマー濃度に支配される。また練り混ぜ水の違いによる粘性の違いはポリマーが有害イオンの影響を受ける度合いが異なる結果によると思われる。

4-2 分散剤の効果

粘土 C-1 と C-2 を 3 種類の練り混ぜ水で調泥し、ポリマーを 0.2% 添加した泥水に、分散剤を 0.2~1.0% までの範囲で変化させて分散剤の効果を検討した。Fig. 12, Fig.13 にろ過水量を、Fig.14, Fig.15 にプラスチック粘性を示す。

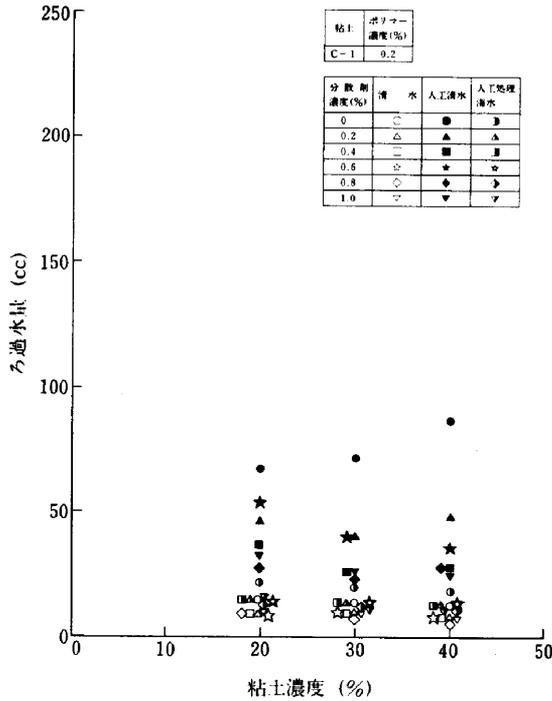


Fig.12 分散剤の添加によるろ過水量の変化

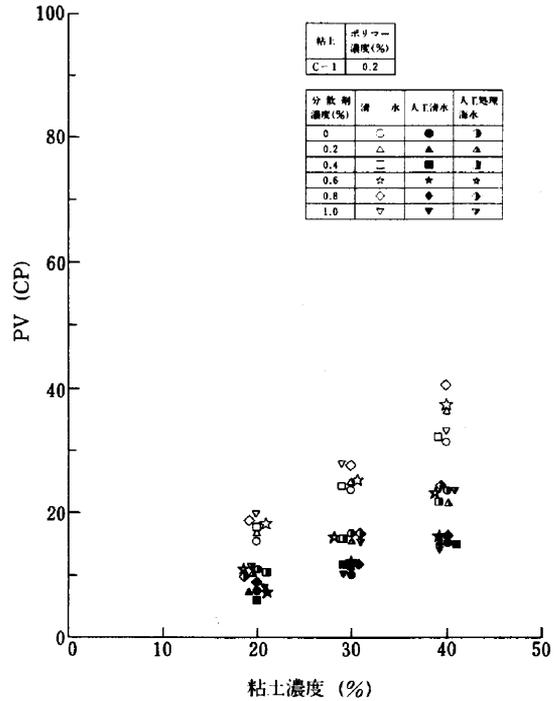


Fig.14 分散剤の添加によるプラスチック粘性の変化

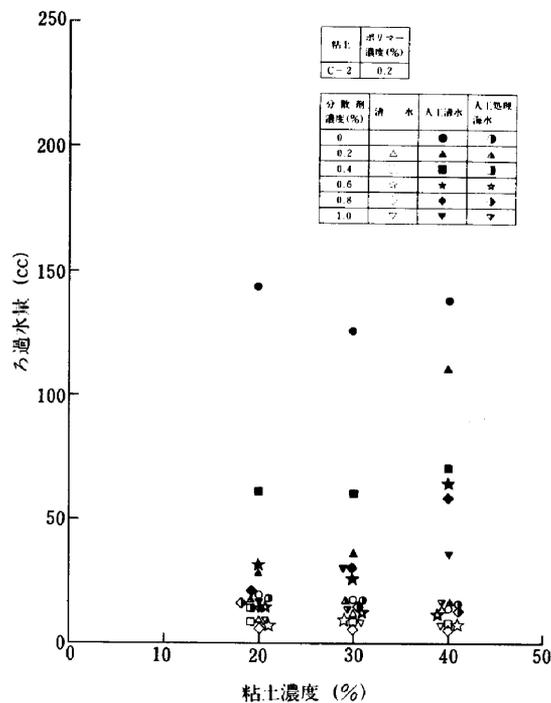


Fig.13 分散剤の添加によるろ過水量の変化

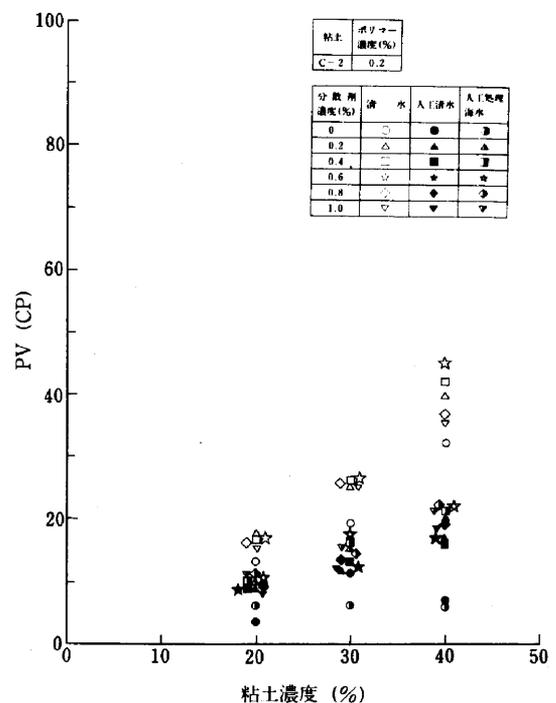


Fig.15 分散剤の添加によるプラスチック粘性の変化

1) ろ過水量

Fig.12 と Fig.13 から、ろ過水量は清水、人工海水、人工処理海水ともに分散剤を少しでも添加すると減少するが、分散剤の添加濃度には比例しない。人工海水では分散剤の効果にばらつきがみられる。

2) プラスチック粘性

Fig.14 と Fig.15 から、分散剤の添加による粘性の増加は、清水、人工海水、人工処理海水ともに増加がみられない。また、分散剤の添加濃度による比例関係がみられない。

3) 考察

ろ過水量が、粒子の凝集作用の大きな人工海水で、分散剤添加時と無添加時で大きな差が生じていることから、ポリマーの添加に加えて分散剤を添加することにより粘土粒子の粒子間反発力が強まり粒子の凝集が抑制されていることが分る。つぎに、分散剤の添加濃度について、ろ過水量の減少は添加濃度に比例していないものの人工海水では0.8%~1.0%が有効であり、人工処理海水では、添加濃度による差がないので0.2~0.4%で十分であると思われる。

§5. 海水と人工海水の比較検討

本研究では、人工海水により特性試験を進めてきた。しかし、実際の海水には主な塩類の他に多くの物質が含まれ、バクテリアなども生息している。このため人工海水で泥水を練る場合よりも泥水特性が悪化することが予想される。そこで、これまでの泥水特性試験結果の中で、ろ過水量が20ml以下で、しかも適度な粘性を有する配合を選び出し、人工海水、人工処理海水、海水および処理海水の4種類の練り混ぜ水を用いて調泥し、人工と天然の両海水の試験結果を比較するとともに、泥水特性の経時変化をも検討することにした。

粘土 C-1 と C-2 のろ過水量の経時変化を Fig. 16, Fig.17 に、プラスチック粘性の経時変化を Fig. 18, Fig.19 に示す。

1) ろ過水量

Fig.16 と Fig.17 から、人工海水と海水、人工処理海水と処理海水を比較すると、ろ過水量は、人工海水と海水でも大きな違いはみられないが、海水の方がわずかに多くなっている。また、人工海水では、わずかに経時変化をするのに対し、海水ではほとんどない、人工処理海水と処理海水でも経時変化はほとんどない。

2) プラスチック特性

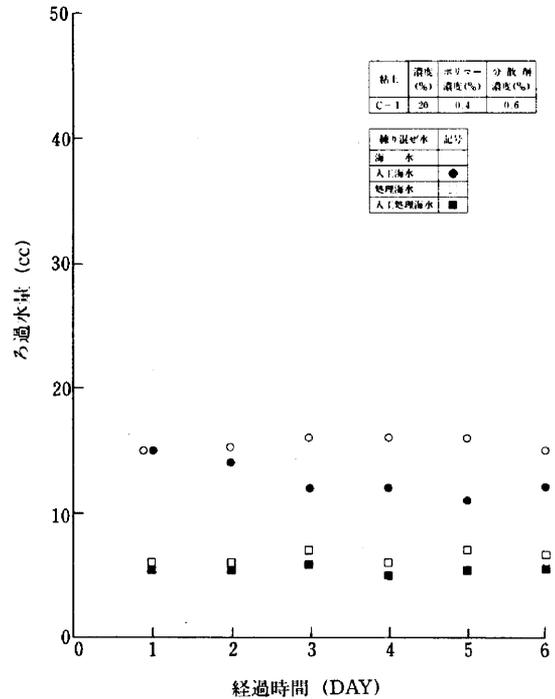


Fig.16 ろ過水量の経時変化

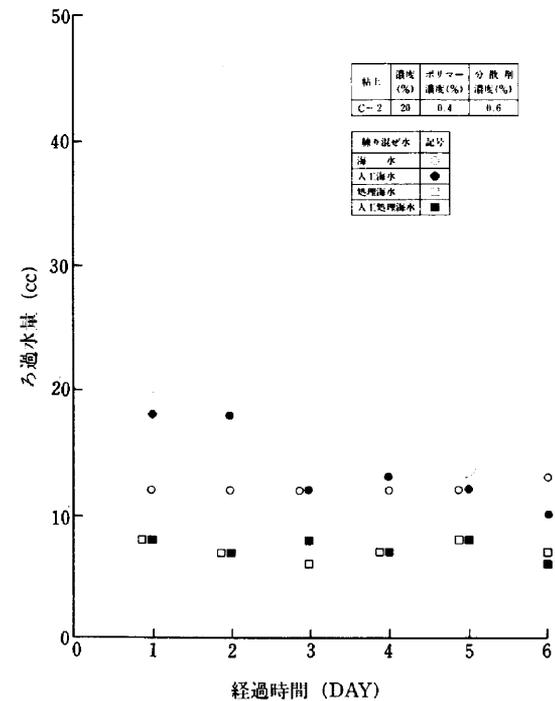


Fig.17 ろ過水量の経時変化

Fig.18 と Fig.19 から、人工海水の方が海水よりも粘性は高いが、人工海水の方が経時変化によって粘性が低下する傾向がある。しかし、海水の方は経時変化はほとんどなく安定している。

3) 考察

人工海水と海水では、海水の方が種類の混入物の影

響のためろ過水量は多くなる傾向にあるがその差はわずかである, したがって, 人工海水で得られた結果より海水で練った泥水の性能を推測することは十分可能だと言える. また, 海水の方が化学的に安定しているためか, 人工海水に比べ経時変化がほとんどみられない.

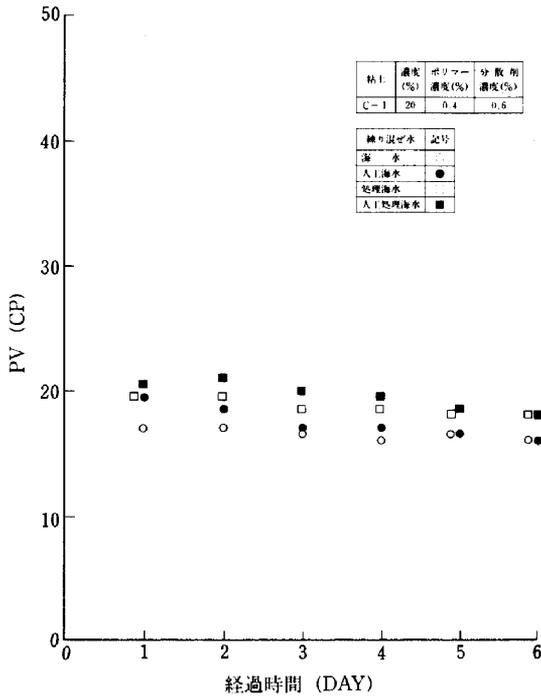


Fig.18 プラスチック粘性の経時変化

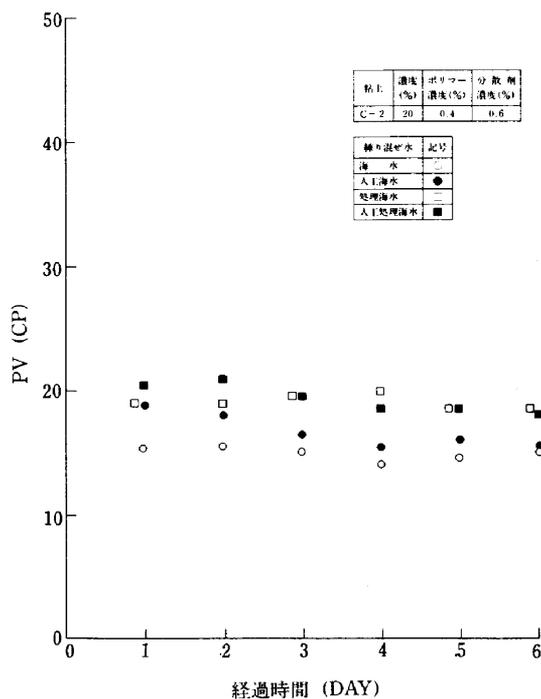


Fig.19 プラスチック粘性の経時変化

§6. まとめ

本研究から明らかになったことは以下のとおりである.

- (1) 海水練りベントナト泥水は, 清水練りに比べ海水中の有害イオンの影響でろ過水量が著しく増大するが, Ca イオンと Mg イオンを除去した処理海水によるろ過水量は減少する. しかし, 処理海水によるろ過水量の減少の効果は, ベントナイトの種類によって大きく異なる.
- (2) ベントナイトは, 海水, 処理海水で調泥されることによって膨潤性を失い粘性は低下し, ベントナイトの種類の違いによる粘性の違いもなくなる.
- (3) 海水練りベントナイト泥水に, 分散剤を添加することによってろ過水量を減少させることができるが, 実用的な値にはならない. また, その減少量は分散剤の添加濃度には比例していない.
- (4) 海水練り粘土泥水に, ポリマーを添加することによってろ過水量は減少するが, 添加量が不十分な場合には逆に無添加時よりも増大する. しかし, 処理海水中ではポリマーの添加濃度に比例して減少する. ゆえに, 海水を処理することは, 添加剤を使用するうえでも有効である.
- (5) 海水練り粘土泥水に, ポリマーに加えて分散剤を添加するとろ過水量はさらに減少し, 清水練り泥水と変わらぬろ過特性を持つようになる. また, その減少の効果は添加濃度には比例していないが, 人工海水に対して0.8%~1.0%程度, 人工処理海水では0.2%~0.4%程度が有効であった.
- (6) 人工海水と海水を用いて調泥しても, 粘土泥水の特性に大きな違いはない. また, 人工海水に比べ海水練り泥水の方が経時変化が少ない.

§7. おわりに

本研究においては, 泥水式シールド用海水練り泥水の特性の把握と有害イオンの除去方法および添加剤の有効な使用方法の検討を目的として実験を進めてきたが, ポリマーと分散剤の添加により清水練り泥水と変わらぬ造壁性と粘性を持つ海水練り粘土泥水の配合を見出すことができた. また, 海水中のイオンの除去によって泥水特性が改善されるだけでなく, 添加剤の効果を期待するうえでも有効であることがわかった.

今後は, この研究の結果をふまえ今回の実験では用いなかった材料や添加剤についても海水練り泥水の配合の検討を進めていく所存である.

参考文献

- 1) 斎藤顕次 他：泥水特性に関する基礎的研究 (その2), 西松建設技報, Vol.9, P 1~9, 1986
- 2) 飯塚芳雄 他：ベントナイト泥水の海水混入による性能の変化について, 第21回土質工学会発表会, P1501~1502, 1986
- 3) 沖野文吉：ボーリング用泥水, 技報堂出版