

ポリマーシールド工法の開発と添加材の特性に関する研究

Development of Polymer Shield Tunneling Method and Study on the Property of Injection Materials

上野敏光* 山下幸夫** 斉藤潔***

Toshimitsu UENO* Yukio YAMASHITA** Kiyoshi SAITO***

Polymer Shield Tunneling Method is developed for the purpose of excavating the ground where chemical form injection shield method is not able to carry out and for transporting the muck with pumping. This method is improving the fluidity and resistance for permeability of the mixed soil by means of the super absorbent polymer injection materials.

The outline of this technique and the fundamental properties of injection materials are explained in this paper, and then reported on the results of laboratory test in order to make a comparison between these materials and slurry.

Keyword ; shield tunneling , injection material , polymer

1. はじめに

最近のシールド工事では密閉型の土圧式シールドが採用されることが多いが、なかでも気泡シールド工法は、掘削土砂の流動性と止水性の改善に優れ、残土処分が容易なため多くの現場で使用されている。添加する気泡材によって掘削土砂の付着防止も図ることができるため、一般の粘性土地盤から砂礫地盤に至るまでの広範囲の土質に対して適用することが可能である。

ただ、この工法は、地下水位の高い大径礫地盤に対しては適用上に問題が残されていた。高水圧によって比重の軽い気泡が分離しやすく、流動性あるいは止水性などの効果が減少されることが原因である。また近年需要が多くなりつつある掘削土砂の坑内ポンプ圧送に対しても、気泡が有する圧縮性のため十分な成果を収めることができないでいた。

そこで著者らは、高吸水性ポリマーの優れた性質に着目して、上記工法が不得意とする分野を改善することを目的として新たにポリマーシールド工法を開発した。既存のセルローズ系高分子剤と比較して、この度開発した添加剤は、添加材混合土を分解処理により元の地山に近い状態に戻すことができ、添加材の使用量も少ないという点で大きく異なっている。

本論文では、ポリマーシールド工法の概要と添加材料の基本特性について述べる。また、この添加材料を一般的な砂や現場採取土に添加した場合と作泥土材を加えた場合の室内実験結果について報告する。

2. ポリマーシールド工法の概要

* (株)大林組 技術研究所 土木第四研究室

*** (株)大林組 土木技術本部 技術第一部

** (株)大林組 技術研究所 土木第四研究室

本工法は、高吸水性ポリマーを添加剤に使用することで流動性や止水性を改善し、気泡シールド工法の不得意とする掘削分野を補うこと、および砂混じり地盤における掘削土の坑内ポンプ圧送を可能にすることを目的に開発したものである。適用する地盤は、図－１に示す切羽土質と適用区分において第Ⅳゾーンに相当する砂礫地盤や大径礫地盤などである。図－１は気泡シールド協会の土質と特殊起泡材の選定基準¹⁾を引用したものである。

使用する添加材料には、その適用に応じてS-100A、S-100P、S-100Cの３種類（いずれも商品名）があり、以下のような特長がある。S-100Aは潤滑性や保水性に優れており、砂礫地盤で良好な流動性と止水性を与える。S-100Pはブリージングのない流動性に優れた材料で、長距離ポンプ圧送が可能である。S-100Cは耐塩性に優れ、海水を含んだ地盤や薬液注入地盤でも安定した流動性がある。また、これらすべての添加材が専用の分解処理材で容易に分解処理できる。

３．実験概要

３．１ 各添加材の特性把握のための試験

この工法で用いる専用材料は、高吸水性樹脂、CMC、HEC等を主原料として構成されたものである。高分子子材料に共通する性質として、溶液作成に使用する水の温度や組成成分に影響されやすいことが知られている。そのため、特に水温と水質について添加材の粘性特性を確認した。

水温による粘度および粘度発現時間への影響に関する試験として、0℃から30℃まで5℃毎と40℃に水温を調整した水で0.6%濃度の添加材を作成し、発現する粘度が安定するまで粘度と時間を定期的に測定した。S-100Pはスターラで1分間攪拌後、S-100Cは5分から40分間攪拌後に測定を開始した。

水質による粘度および粘度発現時間への影響に関する試験として、異なる地点から採取した水で0.6%の濃度の添加材を作成し、粘度が安定するまで粘度と時間を定期的に測定した。S-100Pはスターラで1分間攪拌後、S-100Cは5分間攪拌後に測定を開始した。

また、建設残土の処理が問題になることから添加材の分解性についても確認する必要がある。分解処理に関する試験として、0.6%濃度の添加材に対して適量の分解処理材を添加後、完全に分解が終了するまでの粘度と時間を定期的に測定した。また、分解処理後の排水のPHを測定した。

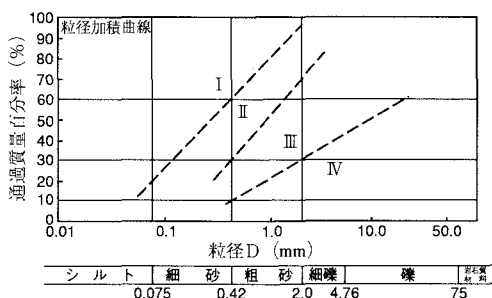
３．２ 添加材の混合効果に関する試験

添加材の混合による土の性質の改善具合を調べるため、混合土についてスランプ試験と加圧透水試験を行った。対象地盤を想定して、鬼怒川砂と現場採取土とを適当な含水比に調整して使用した。それぞれの土の粒径加積曲線を図－２に示す。現場採取土は53mm以上の礫分が28%程度含まれており、これらを取り除いてふるい分け試験を実施した。

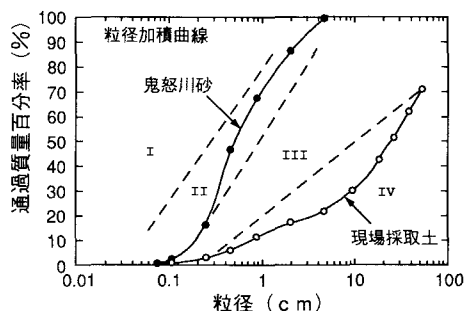
実験は、添加材の混合率および土の含水比を変えて行った。他の工法と比較するため作泥土材についても実施した。

実験手順としては、まず、加圧前の流動性を調べるため添加材混合土のスランプ試験を実施し、次に止水性、圧縮性を検討するため加圧透水試験を行った。その後、加圧による変状を調べるため再度スランプ試験を行い、最後に分解処理後の排水のPHを測定した。

加圧透水試験の装置概要を図－３に示す。実験装置は、試料を詰めたモールド部の上部から加圧し、試料中



図－１ 切羽土質と適用区分¹⁾



図－２ 試料土の粒径加積曲線

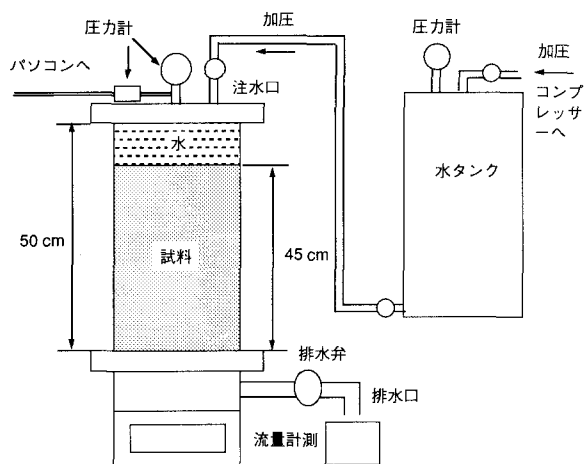


図-3 加圧透水試験装置概略図

を浸透して排水口から出てくる水量を測定するものである。試験は、排水弁を開放して2.0kgf/cm²で2時間加圧し、排水口から出る流量を5分ごとに測定した。

4. 結果と考察

4.1 各添加材の特性について²⁾

各添加材の持つ一般的な粘度と濃度の関係を図-4に示す。それぞれの粘性特性から、S-100Aは0.5%～0.6%濃度で2200cps～3500cps、S-100Pは0.5%～0.8%濃度で1000cps～4000cps、S-100Cは0.6%～1%濃度で1000cps～4000cpsの適用粘度となる。S-100Aは不溶性ポリマー、S-100P・S-100Cは水溶性ポリマーであるため、適用範囲の下限値に差異が生じている。

まず、S-100Aの諸特性について述べる。温度条件を変えた場合の粘度発現特性に関するグラフを図-5に示す。水温が変化することで粘度および粘度発現時間に影響を及ぼすことが確認できた。水温が低い場合には粘度の発現が起こるまでに時間がかかるが、その後急激に粘度が上がり、最終的には高い粘度となる。ところが水温が高くなると粘度の発現開始は早まるが、粘度上昇がゆっくりとなり到達する粘度が低くなる傾向があることが分かった。違う地点で採取した水を使用した場合の粘度発現特性に関するグラフを図-6に示す。また、表-1にこれらの水の水質試験結果を示す。水の組成成分が、特に粘性特性に悪影響を与える程ではなかったが、サンプルBでは粘度が他より少し低く、何らかの影響を受けているとも考えられる。サンプルBはサンプルAを貯留したもので、微生物等が若干影響しているのかもしれない。

次にS-100Pの諸特性について述べる。温度条件に関する粘度発現特性のグラフを図-7に示す。各温度での到達する粘度は、S-100Aの場合と同様に低温の水で溶解するほど高い粘度になることが確認された。水質条件に関する粘度発現特性のグラフを図-8に示す。サンプルA、Bはほぼ同じ特性となっているが、サンプルCは溶解直後に極端に低い粘度となっている。しかし、粘度および粘度発現時間はほぼ同じであり、水質の影響は受け難い材料であることが分かる。

最後にS-100Cの諸特性について述べる。温度と粘度発現の関係を図-9に示す。水温と粘度発現時間につい

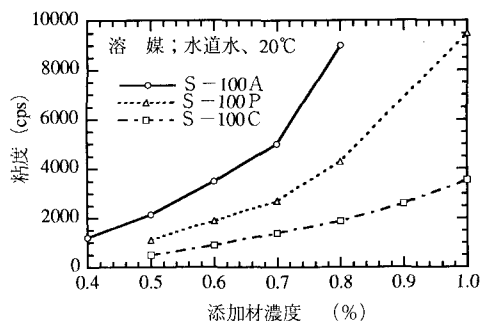


図-4 添加材の濃度と粘度の関係

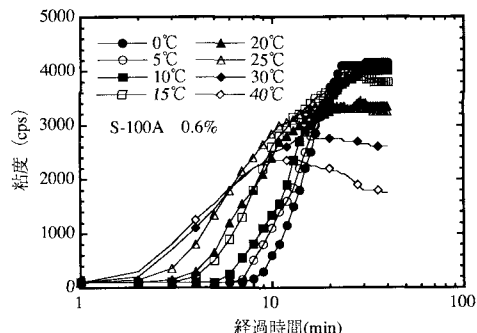


図-5 S-100Aの水温と粘度発現時間

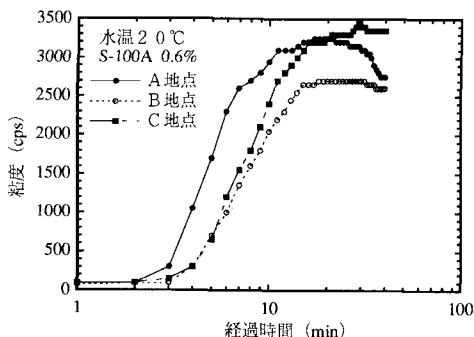


図-6 S-100Aの水質と粘度発現時間

表－1 水質試験結果

	全窒素 (mg/L)	全リン (mg/L)	Na (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Fe (mg/L)	Cl (mg/L)
サンプル A	1.3	0.4	12.8	30.0	8.5	0.07	36.1
サンプル B	1.0	0.02	9.8	11.7	7.3	0.7	32.5
サンプル C	7.6	0.04	10.1	36.2	13.3	0.2	38.4

表－2 攪拌時間と溶液化

水温 (℃)	攪拌時間 (min)	溶液高さ (cm)	水温 (℃)	攪拌時間 (min)	溶液高さ (cm)
0	5	2.0	5	5	2.2
	10	2.8		10	3.0
	15	3.0		15	3.5
	20	3.1		20	3.7
	30	3.4		30	9.0
	60	3.5		—	—
	90	6.0		—	—
	120	8.5		—	—

短

攪拌時間

長

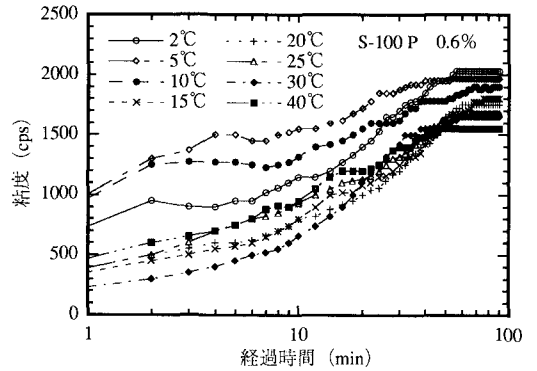
完全にゲル化

では、S-100Aの場合と同様の傾向となっている。発現粘度についても若干の違いはあるものの、低温ほど粘度が高くなることが確認できた。また、この材料は前2者の材料に比べて溶解性が悪いいため、低温になると完全に溶液化しない場合がでてくる。そこで、攪拌時間と溶液化との関係を調べた結果を表－2に示す。粘度が一定になるまでに水温5℃の場合で40分、0℃では2時間半程度の攪拌時間が必要である。水質と粘度発現の関係を図－10に示す。サンプルA、Bではほとんど同じ粘度発現特性になっているが、サンプルCについてはその傾向が全く異なっている。しかし、いずれの場合も粘度は適用範囲内であり、この材料も水質の影響を受け難いことが分かる。

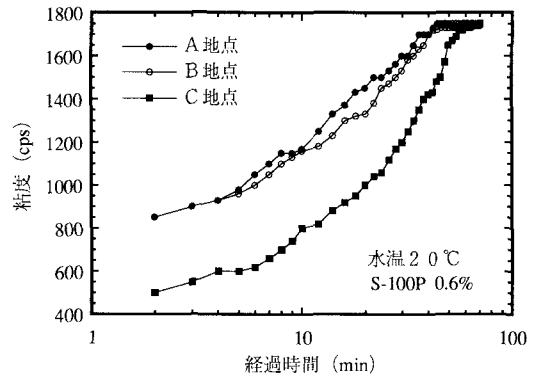
添加材混合土の処分や再利用のため分解処理が必要となる。それぞれの材料の分解処理特性に関するグラフを図－11に示す。S-100Aは添加後約2分で完全に分解されている。S-100PおよびS-100Cについても、添加後7、8分程度で完全に分解することができた。ただ、分解処理後に出てくる遊離水のPHは、いずれも3.8から4.1とやや強めの酸性になるが、これは炭酸ソーダや消石灰を微量添加することで容易に調整できることも確認済みである。

4. 2 添加材混合土の特性について

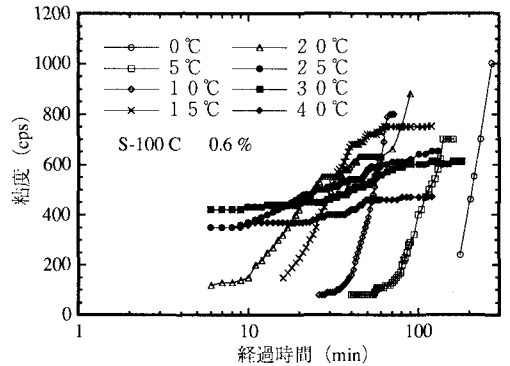
まず、鬼怒川砂にS-100Pを添加した場合の試験結果について述べる。鬼怒川砂は、図－2の粒径加積曲線からも分かるように粒径のそろった土でその間隙が大きい。これを含水比14%に調整し、混合率が30%と40%の2ケースについて添加材濃度を0.6%と0.8%の場合で実施した。加圧透水試験の結果を図－12、および



図－7 S-100Pの水温と粘度発現時間



図－8 S-100Pの水質と粘度発現時間



図－9 S-100Cの水温と粘度発現時間

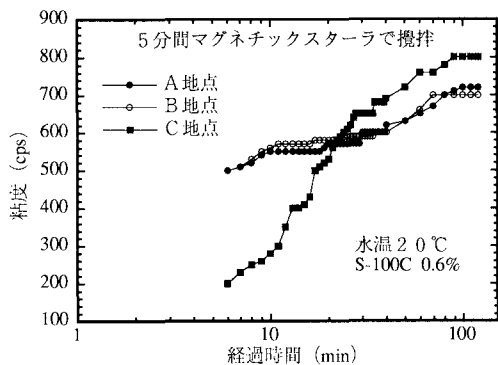


図-10 S-100Cの水質と粘度発現時間

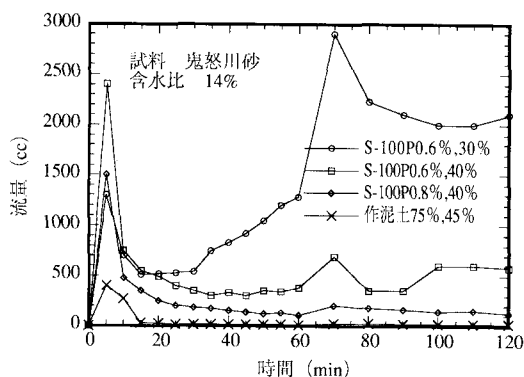


図-12 流量と経過時間（鬼怒川砂）

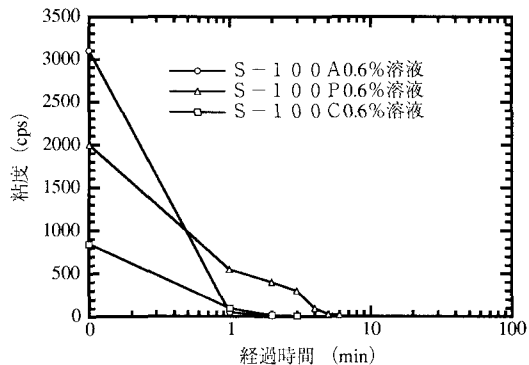


図-11 各添加剤の分解処理特性

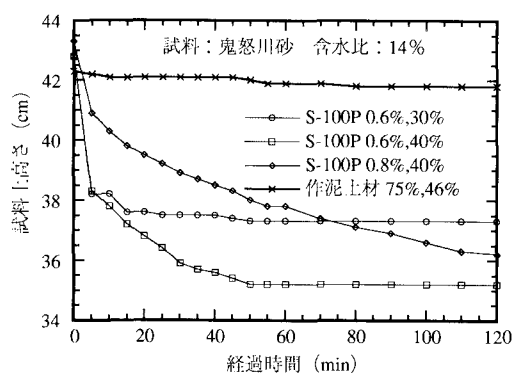


図-13 試料土高さと経過時間（鬼怒川砂）

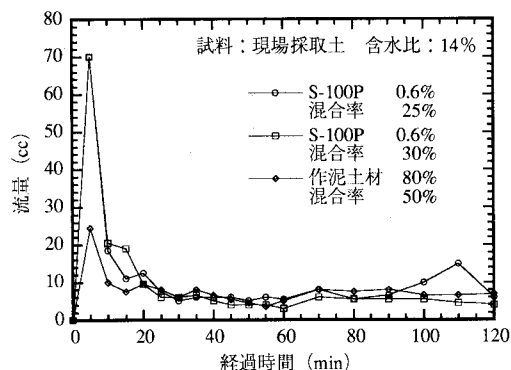
表-3 スランプ試験結果（鬼怒川砂）

実験ケース			a	b	c	d
試料含水比(%)			14.0	14.0	14.0	14.0
添加材料			S-100P	S-100P	S-100P	作泥土材
添加材料濃度(%)			0.6	0.6	0.8	75
混合割合(%)			30	40	40	45
スランプ値 (cm)	加圧透水 試験前	分解処理前	25.0以上	25.0以上	25.0以上	25.0以上
		分解処理後	0	0	0	—
	加圧透水 試験後	分解処理前	3.9	5.5	7.1	25.0
		分解処理後	0	0	0	—

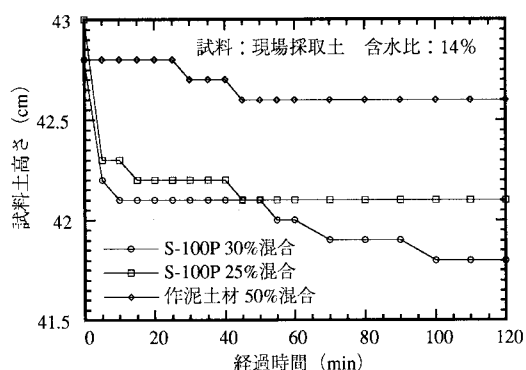
図-13に示す。添加材を混合しない状態で 2.0kgf/cm^2 で加圧すると、1分間に25リットル近くの水が流出した。添加材を標準の0.6%濃度で使用した場合、混合率が30%では1リットル程の水が流出し、時間の経過と共に流量が増加した。混合率を40%にすると5分間で500cc程度の流出にまで減らすことができた。しかし、間隙を充填している添加材が水と共に流出し、止水効果が損なわれている。このことは、図-13の圧縮量と時間との関係において、試料土高さが時間経過と共に変化していることから推測できる。そこで、添加材濃度を0.8%にして添加材強度を上げると、0.6%の2分の1以下に流量を押さえることができた。これより、この添加材の混合による止水性の改善効果が大きいことが確認できた。また、高水圧が作用する間隙の大きな地盤も、添加材を高濃度にすることで対応できることが確認できた。次にスランプ試験の結果を表-3に示す。実験ケースa～cでは当初の25cm以上のスランプが、分解処理により0cmになっており、添加材混合土の分解処理がうまくできることが分かる。ただし、加圧による添加材の流出量が多いため、加圧後に流動性が低下している。

この添加材と泥土加圧式シールド用の作泥土材との使用効果を比較した結果も図-12、表-3に併記した。作泥土材の場合、ほとんど水は流出しないが、残土の処理が非常に難しいという欠点がある。これに対して、ポリマーシールド専用材料は容易に残土を分解処理でき、しかも添加材濃度を高くすれば止水性も向上できる。したがって、残土処理まで考えると本添加材のほうが優れていると言える。

次に、現場採取土にS-100Pを添加した場合の試験結果について述べる。この土は、長径で20cmを超えるよ



図－１４ 流量と経過時間（現場採取土）



図－１５ 試料土高さと経過時間（現場採取土）

うな巨礫を含む礫地盤に相当する。図－２に示した粒径加積曲線より粒度分類すると粒度のよい礫になる。この土を含水比 14% に調整して 0.6% 濃度の S-100P を 25% と 30% 混合した場合について実験した。流量と経過時間の関係を図－14 に示す。2.0kgf/cm² で加圧したときの 5 分間当たりの流量は、混合率が 25% と 30% の両方とも 10cc 程度と非常に少なかった。計測開始直後の 5 分間だけは流量が多いが、供試体のセット中に排出された水を含んでいるためである。この土のみで同様の加圧透水試験を行うと、5 分間で約 3 リットル程度の水が流出した。また、図－15 より試

表－４ スランプ試験結果（現場採取土）

実験ケース		a	b	c
試料含水比(%)		14.0	14.0	14.0
添加材料		S-100P	S-100P	作泥土材
添加材料濃度(%)		0.6	0.6	80
混合割合(%)		25	30	50
スランプ値 (cm)	加圧透水試験前	分解処理前	25.0 以上	25.0 以上
		分解処理後	0	0
	加圧透水試験後	分解処理前	25.0 以上	25.0
		分解処理後	0	0

料土高さの変化はほとんどなく、間隙を充填している添加材は流出していないと考えられる。スランプ試験の結果を表－４に示す。加圧前の添加材混合土のスランプは 25cm 以上と優れた流動性持っている。この土は粒度が良いため十分に目詰まりして添加材が流出しないので、加圧後についてもほとんど流動性は変わらなかった。以上のことより、添加材の混合による止水性・流動性の改善効果が非常に大きいことが確認できた。

この土でも他の添加材との比較実験を行っており、作泥土材を添加したときの結果を図－14 および表－４に併記している。S-100P と作泥土材とでは、加圧時の流量にはほとんど差がなく、同等の止水効果がある。流動性は、むしろ S-100P のほうが優れている。さらに、S-100P の混合土は、分解処理が容易なためほとんど元の地山に近い状態の土に戻ることができるが、作泥土材の混合土では、処理が困難なため元の状態近くまで戻すことは不可能である。したがって、本添加材は止水性・流動性は従来の添加材と同等であるが、掘削残土をリサイクルしやすい状態まで処理できるため産業廃棄物になり難いことを考慮すると環境対策面で優れており、このことも含めて総合的に判断すれば従来の添加材より優れた性質であると言える。

５．おわりに

ここでは、ポリマーシールド工法の概要と添加材の基本性能について、基礎実験を通してその特性を述べてきた。その結果、流動性、止水性ともに優れた改善効果があること、および優れた分解処理性能を持っていることが確認できた。高水圧が作用する大径礫地盤に対しても十分安全に適用できると思われる。

また、本添加材の優れた流動性を利用して、掘削土を長距離ポンプ圧送することも可能であるが、これらの特性については、別の機会に発表することにした。

参考文献

- 1) 気泡シールド工法協会，気泡シールド工法 技術・積算資料，P.3
- 2) 羽生田吉也・藤原紀夫，高吸水シールド工法の添加材と特長，土木学会第48回年次学術講演会概要集，P.112,113, 1993.9