

# 高吸水シールド工法の開発（その1）

——室内実験——

羽生田 吉也 藤原 紀夫

## Development of High-Absorbent-Polymer Shield Tunnelling Method (Part 1)

——Experimental Study——

Yoshinari Hanyuda Toshio Fujiwara

### Abstract

Injecting a high-absorbent polymer into an earth-pressure shield tunnelling machine is effective for increasing fluidity and watertightness of excavated soil and preventing severe outflow of underground water and soil from the chamber. Consequently, in any case, even in sand-gravel soil, excavation can be expected to succeed without hindrance except in case of the following trouble. Generally, a powder of the polymer absorbs water several hundred times its own weight and becomes a gel. When using in powder form filling the earthpressure chamber is difficult while mixing efficiency with soil is poor. Actually, in an enclosure filled with soil, the preceding material makes a watertight zone partially around the injection pipe to interfere with the material following. The mixing efficiency is not good as a gel. This paper is a report on experiments concerning how to use gel for sand-gravel soil, and how to dissolve gel mixed into excavated soil. The results show that foamed gel is effective in sustaining pressure in the chamber compared with pure gel in gravel.

### 概 要

高吸水シールド工法とは、土圧系シールドの掘進時に、土圧室内の掘削土砂に高吸水性樹脂を混ぜて、土砂の流動性と止水性を高め、切羽の安定を図りながら行なう方法で、特に滞水砂レキ地盤の施工に効果的である。高吸水性樹脂とは、乾燥粉体で自重の数百倍の水を吸収してゲル化するポリマーで、金属塩などで容易に分解でき、紙おむつなどにも使われる安全性の高いものである。この樹脂をシールドの施工に適用する形態として、粉体、ゲルがある。既に行なった模型実験から、前者では土圧室への注入が難しく、土砂との混合効率にも悪い事が分かった。また、ゲルを単体で用いた場合、地下水及び土内の金属イオンで吸水状態が下がるので、高濃度のゲルを扱う事になり、問題があった。そこで、ゲルに起泡剤を加えて発泡する別の形態を考えた。この報告は、室内実験などから当工法におけるゲルの性能、作成・分解方法などについて述べる。

## 1. まえがき

高吸水シールド工法は、土圧系シールド掘進時に、高吸水性樹脂を主体とする材料を圧力室内の掘削土に注入して、切羽の安定を図りながら施工を行なうもので、特に、滞水砂レキ地盤の施工を目標に開発を進めてきた。

この工法に用いる高吸水性樹脂は、数百倍の水を吸収してゲル状を呈す。土砂に粉体状で混入しても、土砂の流動性、止水性を改善できる事が模型シールド実験などから確認されているが<sup>1)</sup>、粉体で混入する場合に次の問題のあることが、その後の実験で分かった。

(1) 土砂との混合効率が悪いので、大量の樹脂を要する。また、粉体混入時の攪拌回数を多くすると、ゲルが破壊して水を吐き出すため十分な混合が期待できない。

(2) 粉体の注入位置で局所的に固結が発生し、注入管の閉塞が起り易い。

この研究では、高吸水性樹脂の吸水したゲル状のものを使用する方法、起泡剤を加えて発泡して使う方法について比較、検討する。また、ゲル及び発泡したゲルの分解、ゲルの混合した土砂の処理方法についても検討し、合わせて高吸水シールド工法の施工用のシステムも提案している。

## 2. 高吸水シールドにおける用語と樹脂の性状

最初に、高吸水シールド工法の開発・研究で使用する用語、既に行なった実験などから分かった高吸水性樹脂の性状について述べる。

### 2.1. 用語

(1) 高吸水性樹脂 乾燥した粉体状で自重の数百倍の蒸留水を吸収し、高分子による架橋構造を形成してゲル状化するもので植物ないし石油を原料とした粉体状の樹脂。このゲルは、金属塩を加える事により、速やかに水を放出する。上記のゲル状化したものを含めて、高吸水性樹脂と呼ぶ事があり、識別を要する場合に、高吸水性樹脂に粉体、ゲルをつけて表わす。

(2) ゲル 高吸水性樹脂あるいはこの性状を改善するために加える他の物質との混合体が吸水して成すノリ状ないし粒状の集合体。

(3) 発泡ゲル 上記(2)のゲルにおいて起泡剤を添加して発泡した泡状のゲルで単に気泡とも言う。

(4) ゲル濃度  $C_G$ ；高吸水性樹脂の粉体と溶媒である水との重量比をパーセント表示する。起泡剤を添加した場合には、水に対するに体積比をパーセント表示した値を添える。

(5) 発泡倍率  $\alpha$ ；発泡ゲル作成前後のゲルと気泡との体積比で表わす。

(6) ゲル混合比  $\lambda_G$ ；混合時の対象土に対するゲルの体積比をパーセント表示する。

(7) 気泡混合率  $\lambda_F$ ；発泡ゲルの混合比で(6)に準じた値。

### 2.2. 高吸水性樹脂の性状

この研究で用いる樹脂の種類は表-1に示した数種類である。これらの粉体は、膨潤後に不定形な糊状のゲルに成るもの、球状あるいは角状のゲルに成るものがある。後者のものは、吸水能が低く、粒の間隙が大でゲル強度が高く、圧壊しにくい。

図-1に BL 型粘度計で測定したゲルの粘性 $\eta$ とゲル濃度  $C_G$  との関係を示す。一般の水道水を吸水させた場合は、蒸留水の場合に比べて粘性が約 5 割に落ち、吸水能も下がる。高吸水性樹脂は、総じて、地下水に含まれる金属塩などにより吸水能が押えられる。

### 3. 切羽圧力の保持性についての模型実験

滞水レキ地盤をシールド掘進時の切羽圧力の保持のために、注入するゲルは気泡状の発泡ゲルが有効か、模型実験により検討した。

#### 3.1. 実験条件

(1) 試料土 土砂材料として、図-2に示す均一粒度の豆砂利 (5 mm) を用いる。これにゲルないし発泡ゲルを混合して試料土を作成する。

ゲルは樹脂 S-100 を水道水に溶いた濃度 0.4% のもので、発泡ゲルは、さらに起泡剤を水道水に 0.2% の割合で加えたゲルを作り、混合器で空気を混入して発泡倍率 1.5倍にしたものを用いる。

樹脂	形式	粉体の外観とかさ比重	吸水後のゲル形状	概略の特長
1	S-100	白色粉末状 0.7~0.9	やや不連続で固いノリ状	水への溶解直後のゲルは強度も大でやや独立きみ、経日的に、連続した柔らかいゲルになる。
2	800C	白色粗粒状 0.5~0.7	やや不連続なノリ状	
3	KR762	白色粉末状 0.7~0.8	角ばった粒状	粒状のゲル強度は大で互いに独立している。
4	A-III	半透明の顆粒 0.7~0.8	透明の球状体	球状体は互いに独立し、ゲル強度は大である。
5	S-II	半透明の微粒 0.7~0.9	微粒子の集合体	水への溶解は最も速い。
6	I-400	白色微粉体 0.7~0.8	CMC様の連続したノリ状	水への溶解時にグマを生じ易い。
7	S-100A	白色粉末状 0.7~0.9	粘り気のあるノリ状	粘り気がある。金属塩だけでは分解しにくい。
8	S-100I	白色粉末状 0.7~0.9	卵白状の不均一なノリ状	粘り気が強く糸を引く。解ゲルにやや時間を要する

表-1 実験適用の高吸水性樹脂種類と概略性状

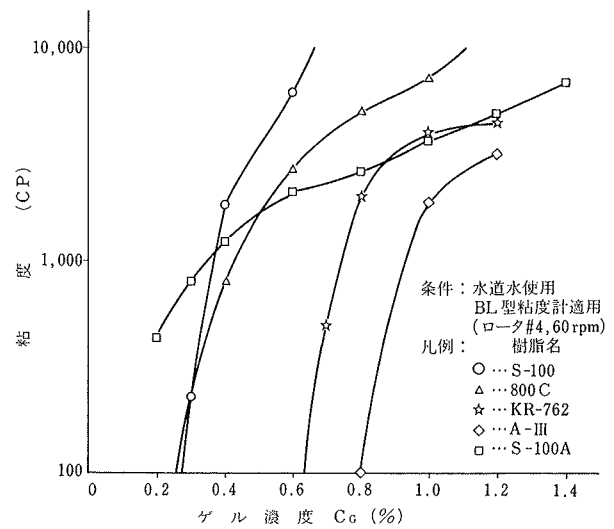


図-1 ゲル濃度と粘度

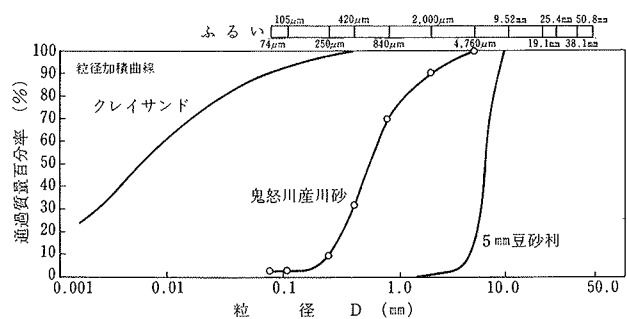


図-2 土砂材料の粒度分布

(2) 実験方法 図-3に示すアクリル製の模型土槽(300φ×500<sup>H</sup>mm)に試料土を詰めて、上方からの給水により、土槽内部に次の圧力条件を設定する。

0.5, 1.0, 1.5, 2.0 kgf/cm<sup>2</sup>

土槽内下方への十分な水の浸透と所定圧力の設定を確認後に、給水加圧用のコック C を締める。次に、下方の電磁弁を10秒間、開放する。

この間、低下する土槽内圧力を経時的に測定する。

### 3.2. 実験結果

土砂材料だけの場合には、土槽内部の圧力は激変し、0.7秒間に大気圧まで降下した。

ゲルないし発泡ゲルを混合した条件で、混合割合が土砂の間隙比以上の場合には、いずれの圧力設定下でも、少なくとも10秒間以上は大気圧まで降下していない。

図-4に、混合割合  $\lambda_G$  及び  $\lambda_F=40\%$  のケースについて示す。この結果から 5 mm レキの場合、切羽の圧力保持には、発泡ゲルが優れる。

## 4. ゲル及び混合土の分解・処理

ゲル及び混合土の分解・処理実験において、高吸水性樹脂の分解に要する解ゲル剤の量を調べ、発生する上澄み液の PH を測定し中和処理に要する中和剤を調べた。また、細粒分の割合が異なる砂を作成し、このゲル混合土の分解・処理に与える影響を検討した。

### 4.1. ゲルの分解と中和処理

蒸留水に樹脂 800 C を溶解して作成したゲルを塩化カルシウムを用いて分解した実験例について、分解状態を粘度計指示値でまとめ図-5に示した。

同図より、塩化カルシウム濃度との関係から、使用した樹脂粉体とほぼ等重量を分解に要することが分かる。

分解後のゲルは、綿毛状となり微少化して下方に沈澱する。この際の上澄み液は、元のゲル濃度に応じて酸性度が高くなり、消石灰による中和処理が必要となる。

図-6に処理例を示す。この結果、消石灰は、塩化カルシウムの1/200~1/250を必要とした。

### 4.2. ゲル混合土の分解における細粒分の影響

#### 4.2.1. 試料の作成方法

(1) 天日乾燥した図-2の川砂(含水比1%)に、クレイサンドを所定の割合で加え細粒分を補給する。つぎに、水分調整のため水道水を加えて試料土を作成する。

(2) 高吸水性樹脂 S-100 の粉末を 0.5<sub>wl</sub>% 比の割合で水道水に溶いてゲルを作成する。

(3) 試料土 1 L を採り、上記のゲルを表-2の割合で加えてゲル混合土を作る。

(4) CaCl<sub>2</sub> を水道水に溶いて 10, 30% 濃度 (w<sub>l</sub>比%) の処理材を作成する。

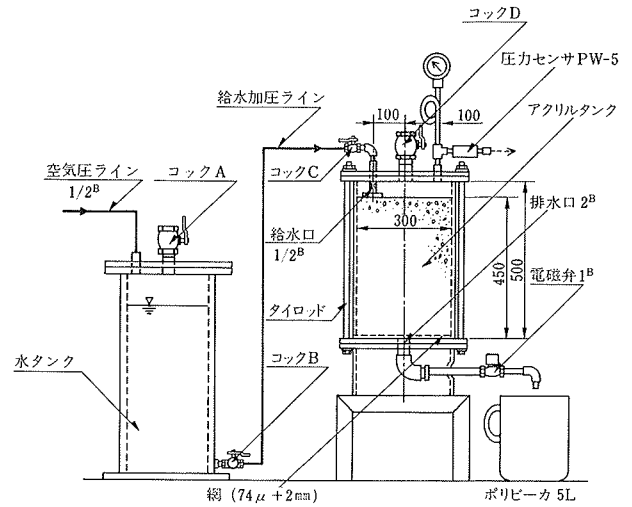


図-3 模型実験装置

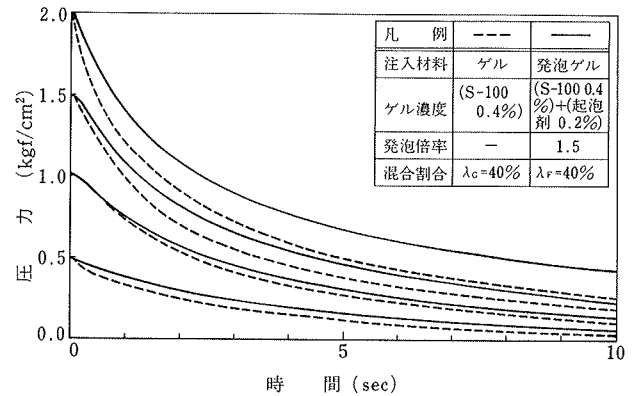


図-4 ゲル混合土の圧力保持性能

処理材の濃度	ゲル混合土条件	ゲル混合比(%)	15	20	25	30
		ゲルの混合量(cc)	150	200	250	300
		樹脂含有量(gf)	0.75	1.00	1.25	1.50
10%	細粒分 2%		33	28	19	15
	細粒分 9.2%		35	30	25	20
	細粒分 12.7%		50~70	50~70	50~70	50~70
30%	細粒分 2%		35	30	20	17
	細粒分 9.2%		40	30	26	22
	細粒分 12.7%		50~70	50~70	50~70	50~70

表-2 ゲル混合土と分解処理実験結果

### 4.2.2. ゲル混合土の分解・処理結果

(1) 処理材の混入攪拌による分解

ゲル混合土をビーカー(5L容器:165φmm)に入れ、ゲルが理論上完全に分解する量の処理材を投入して攪拌速度 60 r.p.m.程度で掻き混ぜる。その後、水の浮上状態、攪拌抵抗から分解状態を判断し、分解に要する攪拌回数を調べた。

この結果、細粒分は少なく、ゲル混合比が大きいもの程、攪拌回数が少なくても早く分解が完了した。処理材の濃度で見ると、30%の方が散布する液量が1/3と少ないためやや分解が遅れる。

(2) 分解後の自然放置の観察

細粒分が10%を越えると攪拌を十分しないと分解しにくく、分解後も外部に放つ水が土中から抜け切れず、土砂はヘドロ状を呈した。この試料500 ccをメスシリンダに採って分離、沈澱状態を観察した。

土砂内から過剰となった水分が細粒分と共に浮上し、上部に薄層を形成した。放置して5日後のゲル混合土は手で握り切れる程、流動性を失っていた。

5. 材料及びシステムについての考察

既に得られた材料の物性などから、高吸水シールド工法における材料の使用方法及びシステムの概略を考察する。

この工法における工程と材料との関係を図-7に、システムの概略を図-8に示す。

5.1. 材料と使用方法

5.1.1. 高吸水性樹脂 樹脂の粉体は、水を吸収後不定形な糊状のゲルに成るもの、球状あるいは角状のゲルに成るものがあった。

後者のものは、吸水能が低く、隙間の多い粒状であり単独では扱いにくい。しかし、ゲル強度は高く、圧壊しにくいので、滞水レキ地盤の掘進におけるレキの目詰め材や掘削土のポンプ圧送時にノリ状のゲルと混合して利用する方法が考えられる。

また、高吸水性樹脂の粉体に、乾燥した粉粒体をあらかじめ混入・配合して使う事がある。樹脂の吸湿性を押えたり吸水後のゲルの性状を安定させる目的で用いる。例えば、ゲル化した高吸水性樹脂は、地山の土砂や地下水に含まれる金属塩による塩析反応やミキシング、管路輸送時などに剪断作用を受けて、分解し水を吐き出し易い。粘着性などの付与によりこの性質を改良しているのが、表-1の樹脂-7、-8である。

なお、実用のゲル濃度は、概ね、0.4~0.6%の範囲にあると思われる。

5.1.2. 起泡剤と発泡ゲル シールドの土圧室内におけるゲルの圧縮性、流動性を高めるために、0.1~0.2%の起泡剤をゲルに混ぜて発泡し、空気粒の混入した発泡ゲルを形成する。

発泡倍率は、1.5~4倍程度にし、掘削土のポンプ圧送を伴う場合には、特に押えて低めにする。

ゲルの粘度は起泡剤を加えると2、3割低下し、発泡後に再度、発泡倍率に応じて増大する。

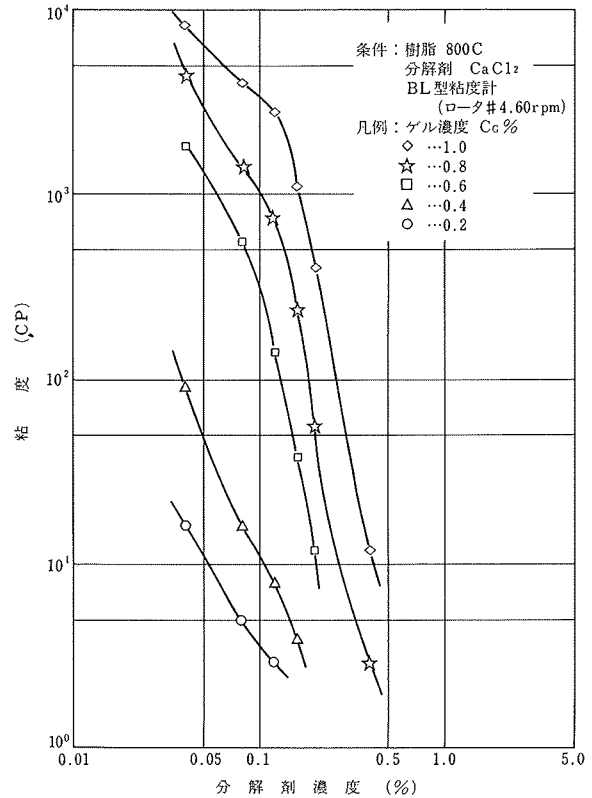


図-5 解ゲル時における分解剤濃度と粘度

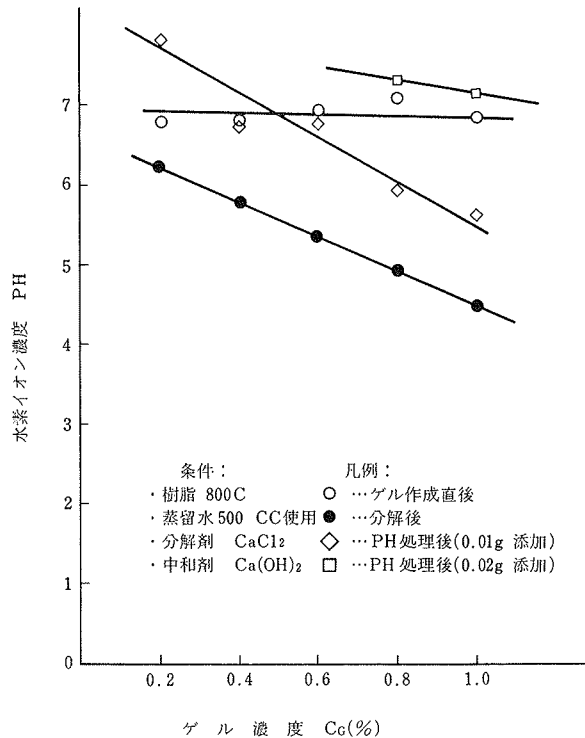


図-6 ゲル作成・分解時におけるPHと中和処理

5.1.3. 特殊分解材及び中和剤 ゲルを掘削土に混入させたゲル混合土は、水分が多く流動性も高いので、

直ちに土捨て場に運搬するのは困難である。このため、特殊分解材を散布、混合する。解ゲル剤の金属塩によりゲルを分解し土砂の水分を除き、消泡剤によって気泡を消す。この特殊分解材の物性を表一3に示す。

解ゲルした液のPHは、図一6の実験例に見られた様に酸性を示すため、状況に応じ中和剤により調整する。

### 5.2. システム概略

この工法を既存の気泡シールド工法<sup>2)3)</sup>と比べると、使用する高吸水性樹脂のゲル粘度が比較的高く、発泡倍率は低いのでゲル状の液体の使用量は多くなり、装置がやや大きくなる。また、発泡には、ゲルをこわさず、空気を連続して混入できる内部抵抗の少ない混合器が望ましい。排出土砂の処理装置は、細粒分によっては本格的な攪拌装置を要するものと思われる。

### 6. おわりに

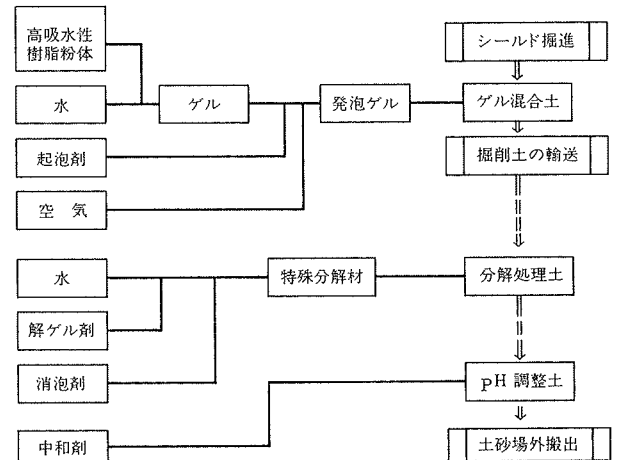
以上、室内実験から高吸水シールド工法における効果的な高吸水性樹脂と使用形態方法、使用材料の分解方法及び装置などについて、問題点を含め、一部、明らかにすることができた。また、既に、この工法は現場に採用され、実績も挙げつつある。さいごに、紙おむつなどに使われる安全性の高い高吸水性樹脂の吸水性能をいかに長時間、維持させるかが今後の重点課題である。

### 参考文献

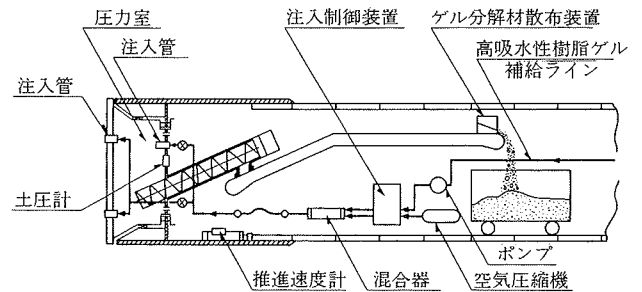
- 1) 羽生田, 山下, 田中, 藤原, 太田: トルネル工事における高吸水性樹脂利用に関する実験的研究, 大林組技術研究所報, No. 31, (1985), pp. 141~145
- 2) 斎藤, 藤原, 羽生田, 山下: 土圧系シールドにおける気泡混入により掘削土の流動性を高める推進実験, 大林組技術研究所報, No. 21, (1980), pp. 105~109
- 3) 羽生田, 藤原, 山下: 下水道工事への気泡シールド工法の適用, 大林組技術研究所報, No. 32, (1986), pp. 62~66

特殊分解材の配合			比重量	粘度	PH
解ゲル剤	消泡剤	水	g/cm <sup>3</sup>	CP	
150 kg	100 L	1 M <sup>3</sup>	1.0~1.1	300~400	7.0~7.5

表一3 特殊分解材の物性



図一7 高吸水シールド工法と適用材料



図一8 工法用システム