

大深度地下トンネルにおける 複雑な地層に対する地盤注工法の検証

田中 俊行¹・山本 拓治²・須田 久美子³・佐藤 研吾⁴

¹正会員 鹿島建設株式会社 技術研究所（〒182-0036 東京都調布市飛田給二丁目19-1）

E-mail:ttoshiyu@kajima.com

²正会員 鹿島建設株式会社 土木管理本部（〒107-8348 東京都港区赤坂六丁目5-11）

E-mail:yamataku@kajima.com

³正会員 鹿島建設株式会社 東京土木支店（〒107-0052 東京都港区赤坂二丁目14-27国際新赤坂ビル東館）

E-mail:suda@kajima.com

⁴正会員 鹿島建設株式会社 東京土木支店（〒107-0052 東京都港区赤坂二丁目14-27国際新赤坂ビル東館）

E-mail:satoke@kajima.com

高い水圧が作用する大深度地下トンネル工事等において，その安全性を確保し，周辺環境への影響を最小限にするためには，粘土層中の介在砂層から発生する湧水を抑制することが重要である．その湧水対策として一般的に地盤注工法が用いられるが，薄い介在砂層が存在している複雑な地層では，十分な止水効果を得ることが難しいのが現状である．そこで，介在砂層に対する止水注入技術として，ポリゴン注入管を用いた新しい地盤注工法の適用性を確認するための試験を実施し，その改良効果について検証した結果を報告する．

Key Words : deep underground,tunnel,interposion sand layer,ground grouting method, polygon pipe

1. はじめに

高い水圧が作用する大深度地下トンネル工事等（図-1参照）において，その安全性を確保し，周辺環境である地下水位の低下や地表面の沈下等の影響を最小限にすることが重要である．とくに，粘土層中に薄い砂層が介在する複雑な地層では，介在砂層から発生する湧水を抑制する必要がある．その湧水対策として，一般的に地盤注工法が用いられるが，その複雑な地層中の全ての砂層を改良するのが困難であり，十分な止水効果を得ることが難しいのが現状である．

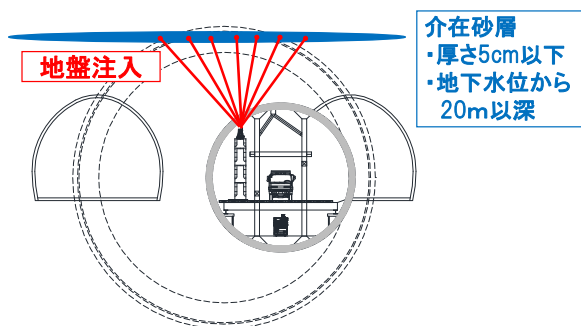


図-1 大深度地下トンネル工事断面図例

そこで，薄い介在砂層が存在する複雑な地層に対する止水注入技術として，新しい地盤注工法の適用性を確認するための試験を実施し，その改良効果について検証した結果を報告する．

2. 現状技術の問題点と解決方法

粘土層中に厚さ5cm以下の薄い介在砂層が存在する複雑な地層に対して，一般的に高い改良効果と確実性を発揮するダブルパッカ工法のシールグラウト方式による地盤注工法が採用される．この工法は，削孔および注入管設置の工程と注入の工程を分離した方法であり，削孔時に生じる注入管と地山との隙間を低強度のセメント系材料であるシールグラウトであらかじめ充填することで，計画範囲外への注入材の逸散を未然に防ぐことが可能になる．また，注入管の内部には，注入材や地下水等が入り込まないように工夫されており，注入孔を使って繰り返し注入できるため，止水性を向上できる利点がある．以上の理由から，この工法は高い注入効果が期待される

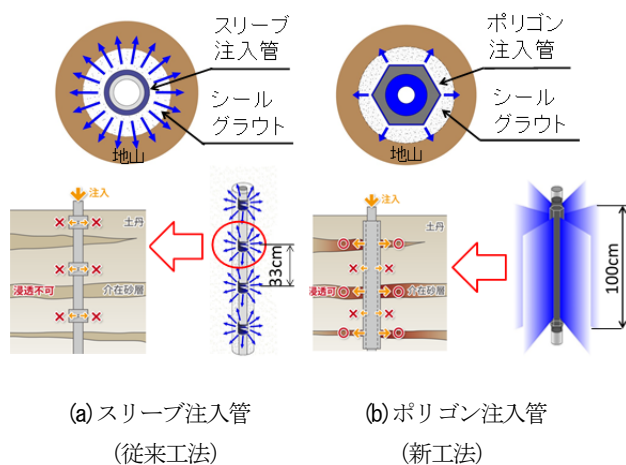


図-2 地盤注入管の比較

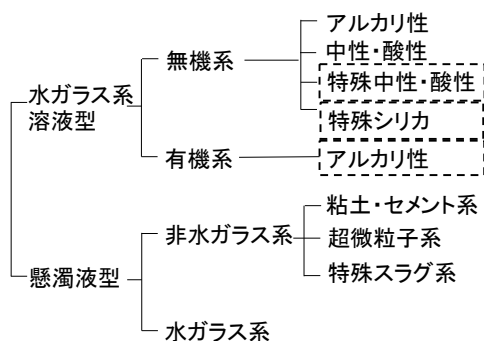


図-3 地盤注入材の分類

工事に用いられている。

一方、この工法で用いられる図-2(a)に示すスリーブ注入管は、横スリットを有する注入孔を約33cm間隔に設置するため、厚さ5cm以下の薄い介在砂層に対して、注入孔と砂層の位置が一致しない場合、注入材の浸透が難しいという課題があった。その解決方法として、図-2(b)に示す新工法であるポリゴン注入管が有効であると考へた。この注入管は、多角形断面（六角形）を有する全長約1mの柱状管とし、各頂辺部に縦方向のスリットを設けることで、薄い介在砂層が多数存在しても注入材が均等に浸透することを期待できるものである¹²⁾。

3. 検討概要

(1) 模擬地盤

既往の地盤調査結果³⁾を参考にして、粘土層中に薄い砂層が介在している地盤を模擬して試験を行った。砂層の厚さは5cmとし、細粒分含有率約20%の三河珪砂特7号を使用した。また、粘土層には一軸圧縮強さ約2000kN/m²の低アルカリ性セメント材料を用いた。地下水環境として、地下水位から約20m以深（水压20m以上）を想定した。

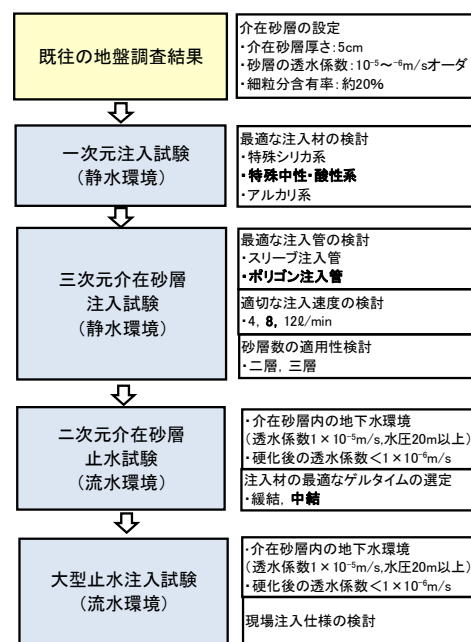


図-4 検討フロー

(2) 注入材料

本試験で用いる地盤注入材は、図-3に示す地盤注入材の分類から、既往の注入材の中で浸透性に優れた材料である水ガラス系溶液型注入材のうち無機系の特殊シリカ系注入材および特殊中性・酸性系注入材の二種類を選定した。これらは、日本グラウト協会から耐久グラウトと定義されており、長期的に安定して注入効果が継続して得られる材料である⁴⁾。また、比較のため、有機系のアルカリ系注入材も選定した。なお、止水後の目標透水係数は、一般的な粘性土相当の 1×10^{-6} m/s以下とした。

(3) 検討手順

図-4に検討フローを示す。検討手順は以下のとおりとした。

a) 一次元注入試験

砂層を対象とした一次元注入試験を実施し、浸透性、止水性、強度特性から、今回設定した注入材の中で適切な注入材について検討した。

b) 三次元介在砂層注入試験

一次元注入試験で設定した注入材を用いて、一層の介在砂層を対象にした三次元介在砂層注入試験を実施し、従来工法のスリーブ注入管と新工法のポリゴン注入管による品質を比較し、新工法の有効性を検討した。また、設定した注入管での適切な注入速度を検討した。さらに、介在砂層を二層および三層と複数にした場合の注入管の適用性についても検討した。

c) 二次元介在砂層止水試験

地下水環境を模擬した流水下で二次元介在砂層止水試験を実施し、目標透水係数 1×10^{-6} m/s以下となる適切な注入材の固化時間（ゲルタイム）について検討した。

d) 大型介在砂層止水試験

以上のa)～c)の介在砂層注入試験結果を基にして、地下水環境を模擬した流水下での大型止水注入試験を実施し、止水性や改良出来形を評価した。

4. 検討方法および検討結果

以下に検討方法の詳細および検討結果を示す。

(1) 一次元注入試験

砂層を対象とした特殊シリカ系注入材、特殊中性・酸性系注入材、アルカリ系注入材による一次元注入試験を実施し、浸透性、止水性、強度特性から適切な注入材について検討した。

a) 試験方法

図-5に一次元注入試験概要を示す。砂層は、内径約5cm、高さ約100cmの亚克力管に使用砂の三河珪砂特7号を間隙率41%（相対密度約80%）になるように2.5cmずつ締め固めて作製した。作製した砂層に注水して飽和させた後、圧力一定で時間当たりの流量を測定し、透水係数を求めた。そして、段階的に圧力を上昇させて、圧力と流量の関係が線形を保持できる限界圧力を求めた。次に、注入材を製造し、限界圧力一定の条件で式(1)で求めた設計注入量を注入した。品質確認のため、硬化後に試験体を解体し、浸透長を測定した。また、長さ10cm毎に切断し一軸圧縮強さと透水係数を測定した。

$$Q = Vn\alpha \quad (1)$$

ここに、 Q ：設計注入量(cm^3)、 V ：試験砂層体積(cm^3)、 n ：間隙率(%）、 α ：充填率(%）(100%とした)

b) 試験結果

図-6に材齢28日の各注入材による一軸圧縮強さと透水係数の試験結果を示す。すべての注入材は、砂層に良好

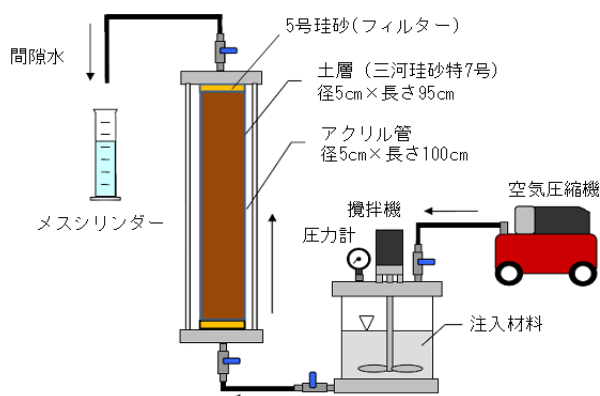


図-5 一次元注入試験概要

に浸透し、全長に渡り改良された。一軸圧縮強さ（平均値）は、特殊中性・酸性系注入材が約340 kN/m^2 で最も大きく、特殊シリカ系注入材とアルカリ系注入材が約170 kN/m^2 であった。また、透水係数は、特殊中性・酸性系注入材が $1.3 \times 10^{-8} \text{m/s}$ と最も小さい値を示し、特殊シリカ系注入材は $4.2 \times 10^{-8} \text{m/s}$ 、アルカリ系注入材は $1.0 \times 10^{-7} \text{m/s}$ であった。

以上の結果から、強度特性や止水性に優れた特殊中性・酸性系注入材が最適な材料であることが分かった。この注入材は、海産生物に対する安全性を確認しているもので、地下水への環境負荷が小さい材料である⁵⁾。さらに、止水性を高めるために、注入材の浸透性が変わらない範囲でシリカ濃度を増やした配合にした。その配合での平均一軸圧縮強さは約680 kN/m^2 となり、従来配合の約2倍の値であった。

(2) 三次元介在砂層注入試験

一次元注入試験で設定した注入材を用いて、一層の介在砂層を対象にした三次元介在砂層注入試験を実施し、従来工法のスリーブ注入管と新工法のポリゴン注入管による品質を比較し、新工法の有効性を検討した。また、設定した注入管での適切な注入速度を検討した。さらに、介在砂層を二層および三層と複数にした場合の注入管の適用性についても検討した。

a) 試験方法

図-7に三次元介在砂層注入試験概要を示す。容器内に、粘土層として低アルカリ性材料を充填した上に、介在砂層として使用砂の三河珪砂特7号を間隙率41%（相対密度約80%）になるように厚さ5cmに水締めして模擬地盤を作製した。先行設置した直径10cmの塩ビ管にシールグラウトを満たしてから注入管を挿入し、塩ビ管を引き抜いた後に、模擬地盤の表面を無収縮モルタルで被覆した。モルタルの硬化後にドラム缶内を水で飽和させて、シールグラウトをクラッキング（割裂）させた後、注入材を最大8 L/min で注入し、置換された間隙水を砂層の周

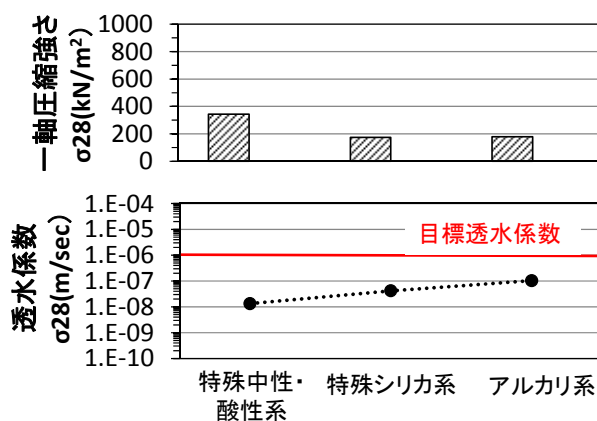
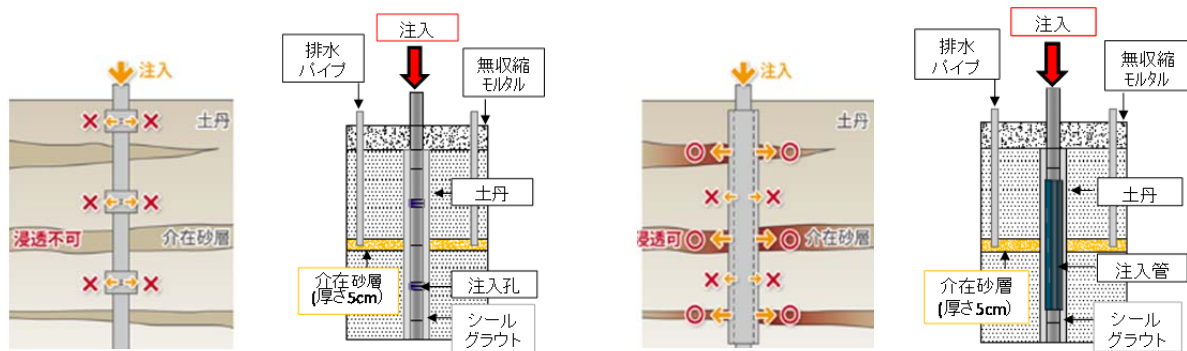


図-6 各注入材による一軸圧縮強さと透水係数の試験結果



(従来工法のスリーブ注入管)

(新工法のポリゴン注入管)

図-7 三次元介在砂層注入試験概要

表-1 三次元介在砂層注入試験による注入管の比較

工法	工法イメージ	試験装置	シールグラウトのクラッキング	注入出来形	強度のばらつき(針貫入)	コア透水係数 m/s
従来工法 スリーブ 注入管					51%	3.0×10^{-7}
新工法 ポリゴン 注入管					31%	1.1×10^{-7}

表-2 三次元介在砂層注入試験による注入速度の検討

工法	試験装置	注入速度		
		4ℓ/min	8ℓ/min	12ℓ/min
新工法 ポリゴン 注入管				
	評価	○	○	△(割裂, 薬液流出)

表-3 三次元介在砂層注入試験による複数層の検討

工法	試験装置	介在砂層(三層)		
		上	中	下
新工法 ポリゴン 注入管				
	100%(平均改良直径)	112%(22.3cm)	105%(21.0cm)	82%(16.3cm)

囲に設置した6箇所の管から排水させた。試験体の解体後、注入材の中心からの浸透範囲を測定し、改良出来形を確認した。また、試験体を分割して透水係数を求めるとともに、針貫入抵抗値で強度のばらつきを調べた。

b) 試験結果

(a) 注入管の比較

表-1に三次元介在砂層注入試験による注入管の比較を示す。設計注入量は、スリーブ注入管1ℓ/孔×2孔、ポリゴン注入管2ℓ/孔×1孔＝計2ℓとした。従来工法のスリーブ注入管は、シールグラウトのクラッキングの方向が不規則であり、注入材の流出や割裂脈が見られ不均一な改良体形状になった。それに対して、新工法のポリゴン注入管では、管の六角形断面どおり規則的にシールグラウトがクラッキングされた。改良体表面の針貫入抵抗値のばらつきを示す変動係数は、スリーブ注入管が51%で従来の注入工法と同様であったが、ポリゴン注入管は31%であった。また、サンプリングした供試体を用いた三軸透水試験によるポリゴン注入管の3箇所の平均透水係数は、 $1.1 \times 10^{-7} \text{m/s}$ でありスリーブ注入管 $3.0 \times 10^{-7} \text{m/s}$ の約1/3の値であった。

以上から、ポリゴン注入管の出来形および品質は、スリーブ注入管に比べて良好であり、ポリゴン注入管の有効性について確認できた。

(b) 注入速度の検討

表-2に三次元介在砂層注入試験による注入速度の検討結果を示す。設計注入量は、4ℓ/孔×1孔＝計4ℓとした。12ℓ/minの注入速度では、割裂脈が見られ注入材の流出が生じたが、4ℓ/minと8ℓ/minでは割裂脈も見られず均質な改良体が得られた。以上から、施工性を考慮して8ℓ/minの注入速度が適切であると考えられる。

(c) 複数の介在砂層の検討

三次元介在砂層注入試験を実施して介在砂層二層の注入出来形を確認した結果、改良半径は上・下層とも管中心から約20cmであり、設計改良半径(20cm)とほぼ等しくなり、いずれも六角形断面を有する均質な改良体が得られた。表-3に三次元介在砂層注入試験による介在砂層三層の出来形を示す。表中に設計改良直径を100%にした場合の各層直径の割合を併記した。なお、設計注入量は、2ℓ×3層＝計6ℓとした。三層の試験結果では、各層の改良半径は異なるものの、いずれも六角形断面を有する均質な改良体が得られることを確認した。三層の介在砂層注入試験による平均改良半径は19.9cmと設計改良半径とほぼ等しくなったが、平均改良半径を100%とすると上層112%(22.3cm)、中層105%(21.0cm)、下層82%(16.3cm)になった。下方ほど土被りの影響を受けて改良半径は小さくなったと考えられる。すなわち、100%に満たない下層については、注入率を増やすことで、全層で平均半径以上の出来形を確保できると推測される。

(3) 二次元介在砂層止水試験

地下水環境を模擬した流水下で二次元介在砂層止水試験を実施し、目標透水係数 $1 \times 10^{-6} \text{m/s}$ 以下となる注入材の固化時間(ゲルタイム)について検討した。

a) 試験方法

図-8に二次元介在砂層止水試験概要を示す。幅15cm×高さ60cm×奥行60cmの容器に粘土層として低アルカリ性材料を充填した上に、介在砂層として使用砂の三河珪砂特7号を間隙率41%(相対密度約80%)になるように厚さ5cmに水締めして模擬地盤を作製した。中央に塩ビ管を建て込み、その中に注入管を挿入してシールグラウトを充填した後、塩ビ管を撤去し、上部を無収縮モルタルで被覆した。ポンプで流入側から砂層に所定の流量を送水し、流出側の漏水量から、砂層の透水係数を確認した。流量は、式(2)を用いて算定した結果0.15ℓ/min以上と設定した。

$$Q = kiA = k \frac{H}{L} A \quad (2)$$

ここに、 Q : 漏水量(m^3/sec)、 k : 透水係数($1 \times 10^{-5} \text{m/s}$)、 H : 水頭差(2 000cm)、 L : 砂層長(60cm)、 A : 砂層断面積(幅15cm×厚さ5cm= 75cm^2)

注入材は、固化時間を緩結型注入材と中結型注入材の2種類選定し、所定の固化時間になるように調整してから注入した。注入速度は2ℓ/minとし、注入量は1.5ℓとした。注入開始から漏水量を測定し、漏水量と流水圧力から式(2)によって透水係数を算定した。試験解体後、注入材の浸透範囲から改良出来形を確認した。

b) 試験結果

表-4に二次元介在砂層止水試験結果を示す。地下水流を模擬した流水環境として、送水量を0.15ℓ/min以上(0.38ℓ/min)とした。緩結型注入材の場合、約1日後の透水係数は $2.5 \times 10^{-5} \text{m/s}$ であり、注入前の約1/2の値となったが、目標透水係数 $1 \times 10^{-6} \text{m/s}$ 以下を満足できなかった。改良出来形から注入材が残存していた痕跡が見られたが、砂層は固化していなかった。その理由は固化時間が約8時間と長いため、砂が固化する前に流水の影響で注入材が流出したことによると考えられる。一方、中結型注入

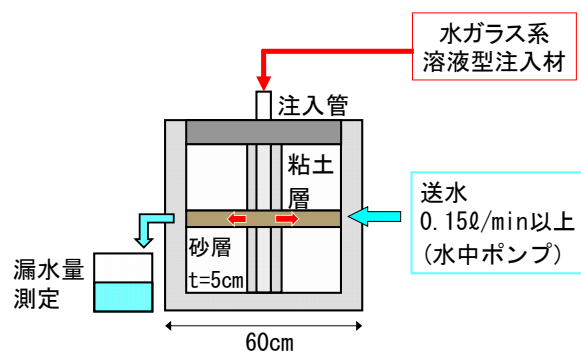


図-8 二次元介在砂層止水試験概要

材の場合、注入開始から透水係数は徐々に減少し、注入材の固化時間とほぼ同じ約30分で目標透水係数 $1 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ 以下となり、約1日後の漏水量はほぼゼロであった。改良出来形は、砂層全域に渡って注入改良されており、流水の影響を受けず厚さ5cmの介在砂層を改良することができた。

以上から、流水環境下で目標透水係数 $1 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ 以下を満足するためには、約30分の固化時間を有する中結型注入材が有効であると考えられる。

(4) 大型止水注入試験

(1)～(3)の試験結果を基にして、大型止水注入試験を実施し、地下水環境を模擬した流水下での止水性や改良出来形を評価した。

a) 試験方法

図-9に示す一層の介在砂層を対象にした大型止水注入試験を実施した。図-10に大型止水注入試験フローを示す。注入仕様は以下のとおりとした。

- ・注入材：特殊中性・酸性系注入材
(一次元注入試験から)
- ・注入管：ポリゴン注入管
(三次元介在砂層注入試験から)
- ・注入速度：8ℓ/min (三次元介在砂層注入試験から)
- ・固化時間：約30分 (二次元介在砂層止水試験から)
- ・設計注入量：改良半径1.2m、厚さ5cm相当の注入量
- ・注入率：41% (砂層の間隙率41%、充填率100%)
- ・対象土量： $120\text{cm} \times 120\text{cm} \times \pi/4 \times 5\text{cm} \div 56.5\ell$
- ・注入量： $56.5\ell \times 41\% \times 100\% = 23.2\ell \div 24\ell$

式(1)から流水量は、地盤透水係数を約 $1 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ 、地下水压20m相当と想定したときの湧水量を式(2)を用いて、式(3)から以下のとおり算定し約0.3ℓ/minと設定した。

$$Q = kiA = k \frac{H}{L} A$$

$$= 1 \times 10^{-5} \times 2000 / 190 \times 5 \times 100$$

$$= 5.3 \text{ cm}^3/\text{s} \div 0.3 \ell/\text{min} \quad (3)$$

ここに、 k ：透水係数($1 \times 10^{-5} \text{ m/s}$)、 H ：水頭差(2000cm)、

表-4 二次元介在砂層止水試験結果

注入材	緩結型	中結型
透水係数	1日後：$2.5 \times 10^{-7} \text{ (m/s)}$	1日後：$3.9 \times 10^{-7} \text{ (m/s)}$
出来形		

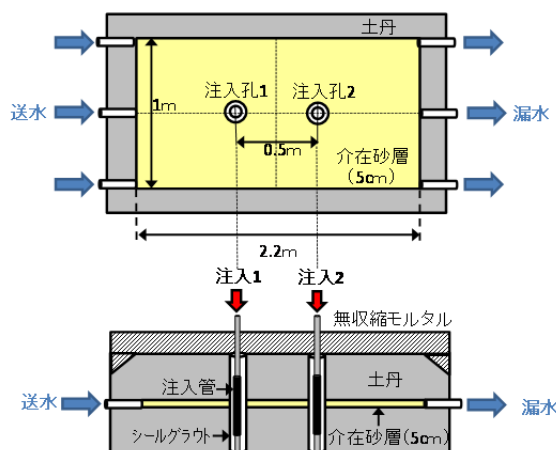


図-9 大型止水注入試験概要

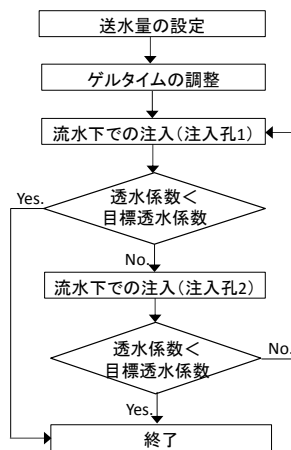


図-10 大型止水注入試験フロー

L：砂層長(190cm)，A：砂層断面積(幅100cm×厚さ5cm＝500cm²)

試験手順は以下のとおりとした。容器内には、粘土層として低アルカリ性材料で充填した上に、介在砂層として使用砂の三河珪砂特7号を間隙率41%（相対密度約80%）を幅約1m×奥行約2.2m×厚さ5cm＝0.11m³に水締めして模擬地盤を作製した。注入孔は上流側と下流側の2孔（注入孔1，2）設置し、先行設置した直径10cmの塩ビ管にシールグラウトを満たしてからポリゴン注入管を挿入した。容器上流側に設置した流入口から注水し、容器下流側の流出口から排水させて、地下水流を模擬した流水環境とした。事前試験で設定した固化時間で注入材を調整した後、注入孔1から8ℓ/minで注入した。1孔あたりの設計注入量は、対象砂量0.11m³×間隙率0.41÷孔隙数2≒24ℓとし、注入開始から漏水量を測定し、漏水量と流水圧から透水係数を算定した。注入後に目標透水係数1×10⁻⁶m/s以下に改良できなかった場合に注入孔2から同様に注入することとした。さらに目標透水係数以下に改良できなかった場合、注入孔1→2の順で再注入する計画とした。試験解体後、注入材の浸透範囲から改良出来形を確認し、試験体を分割し圧縮強さと透水係数を求めた。

b) 試験結果

表-5に大型止水注入試験結果を、図-11に注入時における透水係数の経時変化を示す。図中の青色の網掛け部は注入時間の範囲を記す。注入前に約2.0×10⁻⁵m/sであった透水係数は、注入直後に3.8×10⁻⁵m/sから1.5×10⁻⁴m/sまで増大し、注入終了後次第に減少し60分後に4.0×10⁻⁶m/sとなりほぼ一定となった。透水係数は注入前に比べて1オ

ーダ減少したものの、目標透水係数1×10⁻⁶m/sec以下を満足できなかったため、注入孔2から同じ仕様で注入した。注入後の透水係数は、注入直後に4.0×10⁻⁶m/sから2.5×10⁻⁴m/sまで増大し、注入終了後次第に減少し約10分後に目標透水係数以下を満足し、その後60分間で1×10⁻⁶～1×10⁻⁸m/sの間を変動した。注入開始約1日後の透水係数は約3×10⁻⁷m/sとなり、目標透水係数以下を満足できた。なお、固化時間は18～29分であった。

図-12に注入改良出来形とサンプリングした圧縮強さの分布図を示す。注入孔1近傍の出来形を見ると、流水方向に対して直交方向の端部に未充填部が存在したが、注入孔1の上流側と注入孔2近傍の端部は良好に改良されていた。改良体を20～35cm間隔に24分割し、サンプリングして一辺4cmの立方体による圧縮強さを測定した結果、平均584kN/m²（461～701 kN/m²），変動係数は平均17%（12～21%）であった。静水環境の一次元注入試験結果（約680kN/m²）と比較して、供試体寸法が異なるものの値が小さくなったのは、流水の影響によることが一因と考えられる。中央部の12，13，15ブロックからサンプリングした材齢28日での透水係数は、平均5.9×10⁻⁷m/s（4.6～7.4×10⁻⁷m/s）であり、いずれの場合も目標透水係数1×10⁻⁶m/s以下を満足し、大型止水注入試験での漏水量から算出した透水係数（3.0×10⁻⁷m/s）と概ね同等の値が得られた。

以上の結果から、介在砂層の大型止水注入試験を実施した結果、今回設定した注入仕様で目標透水係数1×10⁻⁶m/s以下を満足することができた。なお、目標透水係数を満足することができない場合でも、ポリゴン注

表-5 大型止水注入試験結果

	注入速度 (ℓ/min)	注入量 (ℓ)	ゲルタイム (min)	透水係数 (m/s)	備考
注入前	-	-	-	2.0×10 ⁻⁵	-
注入(孔1)	8	24	18～29	3.5×10 ⁻⁶	・改良体積V=改良直径120cm× 120cm×π÷4×厚さ5cm=56.52ℓ ・注入量Q=V×間隙率41%×充填 率100%≒24ℓ
注入(孔2)	8	24		1.0×10 ⁻⁶ 以下	
1日後	-	-	-	3.0×10 ⁻⁷	-

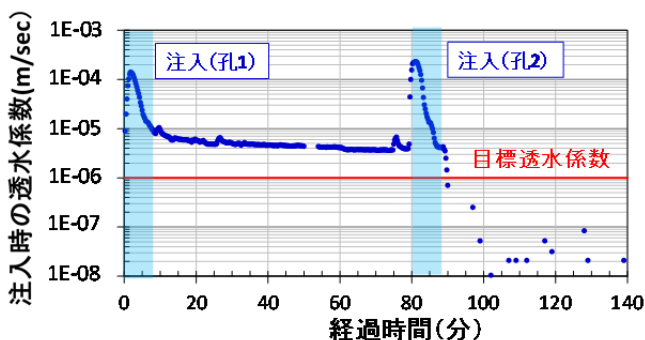


図-11 注入時における透水係数の経時変化

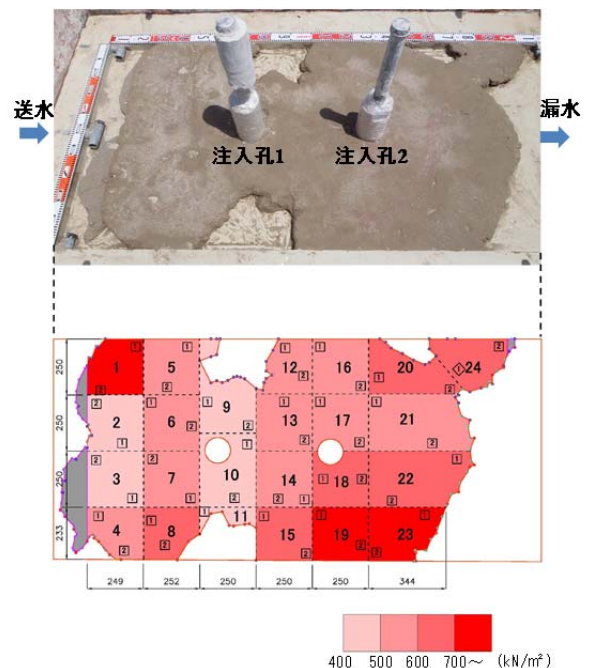


図-12 注入出来形とブロックサンプリングによる圧縮強さ分布

入管から再注入することで目標透水係数以下の止水性を確保できると考えられる。

5. まとめ

大深度地下トンネルにおける薄い介在砂層が存在する複雑な地層に対する止水注入技術として、ポリゴン注入管を用いた新しい地盤注入工法について試験を実施し、その注入効果を検証した結果を以下にまとめる。

- (1) 砂層を対象とした一次元注入試験から、強度特性や止水性に優れ、地下水環境への影響の小さい特殊中性・酸性系注入材が、今回選定した注入材の中で最も適切であることが分かった。
- (2) 三次元介在砂層注入試験から、従来工法のスリーブ注入管は、シーलगラウトのクラッキングが不規則であり、薬液の流出や割裂脈が見られ不均一な改良体の形状であった。それに対して、新工法のポリゴン注入管では、シーलगラウトに注入管の六角形断面どおり規則的にクラッキングされており、強度のばらつきや透水性も小さく均質な改良体が得られた。
- (3) 三次元介在砂層注入試験から、薬液の流出や割裂脈も見られず均質な改良体が得られた注入速度のうち、施工性を考慮した 8ℓ/min が適切であることが分かった。
- (4) 三次元介在砂層注入試験から、二層、三層の介在砂層への適用性について検討し、各層の改良径は異なるものの、いずれも六角形断面の均質な改良体が得られることを確認した。
- (5) 地下水環境を模擬した流水下で二次元介在砂層止水試験を実施した結果、固化時間の長い緩結型注入材では、注入材が流され固化できなかったが、固化時間が約 30 分程度の中結型注入材では、注入材が流されず目標透水係数 $1 \times 10^{-6} \text{m/s}$ 以下を満足した。
- (6) これまで実施した試験結果から設定した注入仕様を基にして、地下水環境を模擬した流水下での大型止

水注入試験を実施した結果、目標透水係数 $1 \times 10^{-6} \text{m/s}$ 以下を満足した。注入後の改良出来形からサンプリングして求めた圧縮強さは、ばらつきはあるものの流水環境下で良好に固化していた。また、改良体の透水係数は、漏水量から算定した透水係数と同等の値をとった。

以上、薄い砂層が存在している複雑な地層における止水注入技術として本地盤注入工法の有効性について試験的に検証することができた。今後、高水圧下での止水性について検討して、実際の大深度地下トンネル等の止水注入工事に展開する予定である。

謝辞：試験を実施するにあたり、ご協力を頂いたケミカルグラウト(株)および日特建設(株)に謝意を表します。

参考文献

- 1) 竹内仁哉, 竹谷裕, 田中俊行：多角形縦スリットを用いた地盤注入工法の開発その 1, 土木学会第 68 回年次学術講演会概要集, 2013.
- 2) 田中俊行, 山本拓治, 須田久美子, 佐藤研吾：三次元注入試験による薄い介在砂層に対する地盤注入管の技術検証, 土木学会第 71 回年次学術講演会概要集, 2016.
- 3) 角田浩, 森健太郎, 川口博行, 長澤達朗：東京都目黒区大橋地区付近の上総層群 (Kc 層) の性状, 第 39 回地盤工学研究発表会講演集, 2004.
- 4) 社団法人日本グラウト協会：耐久グラウト注入工法施工指針, pp.1~5, 2012.
- 5) 林文慶, 中村華子, 鈴木伸康, 横尾充, 赤木寛一, 小河久朗：地盤改良薬液注入材料(Ecoryon)の海産生物に対する影響評価試験, 鹿島技術研究所年報第 55 号, pp.113~118, 2007.

(2016.8.5 受付)

APPLICABILITY VERIFICATION OF NEW GROUND GROUTING METHOD FOR COMPLEX STRATUM IN DEEP UNDERGROUND TUNNEL

Toshiyuki TANAKA, Takuji YAMAMOTO, Kumiko SUDA and Kengo SATO

It is important to cut off seepage flow from the layer of interpositional sand of clay layers to keep the safety of the construction work such as deep underground tunnels where high water pressure acts on, and to minimize influence on ground water environment. Ground grouting method is generally used as measures against water inflow, but it is difficult to improve the layers of all sand in the complicated stratum where a lot of thin sand layer exist, and to cut off. Therefore authors report on the result of applicability verification about new ground grouting method using polygon pipe for the thin interposition sand layer.