

トンネル覆工背面空洞用裏込め材の開発

吉川 和行 秩父 顕美^{*1}

概 要

矢板工法で建設されたトンネル覆工背面には、トンネル天端を中心として空隙が存在することが多い。この空隙により地盤反力が均等にならず覆工に局所的な不均等な荷重や曲げが作用し、変状につながる場合もある。このような背景から、最近では空隙に対して可塑性の裏込め材を充填することが多くなってきている。筆者らは、既存トンネルの覆工にあまり負担が掛からないような新しい可塑性のある裏込め材の開発を行った。

本報は、この新しく開発した裏込め材の基本物性の他、裏込め材の流動性、逸走性、充填性についても報告する。

Development of a New Backfilling Grouting Material Using Expanded Perlite and Fly Ash Mixed in a Plastic Mortar for Tunnel Maintenance.

Abstract

In older mountain tunnels, voids can develop between the ground and the tunnel concrete linings. The voids can sometimes cause significant problems with the stability of tunnel lining. Therefore, it is necessary to fill these voids with backfilling grouting materials to improve the stability of the tunnels. However, existing grouting materials have problems including high cost and leakage of grouting materials through cracks in the tunnel lining.

We have developed a new grouting material to solve these problems. This grouting material consists of cement, expanded perlite, fly ash, a viscosity agent and water.

This paper describes the outline of this new grouting material and the results of several experiments to verify the fundamental properties of this material.

キーワード: トンネル, 背面空洞, 裏込め材

*1 (株)高環境エンジニアリング

§1. はじめに

矢板工法で構築されたトンネルには鋼アーチ支保工や矢板が支障になって覆工と背面地山との間に空洞が残ることが多く、特にアーチ天端部周辺ではかなりの背面空洞が生じている場合がある。この空洞により地盤反力が均等にならず覆工に局部的な不均等な荷重や曲げが作用し、変状につながる場合もある。このような背景から、最近ではこの空洞に対して可塑性の裏込め材の適用が多くなってきた。そこで、筆者らは、覆工にあまり負担が掛からないような可塑性の裏込め材を開発した。

本報告では、裏込め材の基本物性の他、流動性・逸走性・充填性についても報告する。

§2. 裏込め材の概要

2.1 トンネル覆工背面空洞

吹付けコンクリートによる支保工 (NATM 工法) が使われる以前の矢板工法で建設されたトンネルの覆工背面には、空洞が存在していると言われている。これは、建設当時の発破技術の未熟さによる掘削断面の粗雑さや旧来のトンネル覆工の施工法である引き抜き管方式では、支保構造である鋼アーチ支保工や矢板が支障となって覆工コンクリートが充填しづらく、そのため覆工背面に多くの空洞が残っていると考えられている。また、供用後の時間とともに矢板の腐食により覆工背面に空洞が生じること²⁾も考えられている。そのため、アーチ天端部では相当の空洞が生じていると考えられる。

一方、アーチ構造物であるトンネル覆工は、覆工と背面の地山を密着させて地盤反力が均等に作用するようにし覆工全体に軸力が掛かるようにすることが重要である。

よって、図 1 に示すようなトンネル覆工背面と地山の間には空洞が存在する場合、空洞により地盤反力が均等にならないことから、地山から塑性圧などの外力が作用すると覆工に局部的な荷重や曲げが生じ、トンネル構造安定上問題となることがある。

このため、トンネル補強工の基本としては、裏込め注入を実施することが一般的となっている。例えば、鉄道トンネル³⁾や高速道路トンネル⁴⁾では、原則として背面空洞が明らかな場合は、すべての補強ランクの場合に適用することになっている。

2.2 裏込め材の要求性能

従来品の裏込め材であるエアミルクやエアモルタルなどの材料では、材料自身の流動性が大きいと、地山の亀裂や覆工背面の予想外の空隙へ流出し、背面空洞の充

填に困難な点が多々あった。一方、主にベントナイトを用いた可塑性裏込め材では、限定注入はできるが単位体積重量が $1.3\sim 1.5\text{kN/m}^3$ 程度³⁾あり、エアミルクやエアモルタルに比べ覆工に負担が掛かる。

そこで、裏込め材の開発にあたり必要な条件として以下の 4 点を考えておこなった。①限定注入ができるように可塑性を有すること。②覆工に負担がかからないように単位体積重量の軽い材料 (単位体積重量: $1.1\sim 1.3\text{kN/m}^3$) であること。③湧水などの水に対する水中不分離性を有すること。④材料コストが安価であることなどである。

これらの点に着目して開発を進めてきた結果、裏込め材として自立性を有し、さらに適度な流動性を兼ね備え、経済的な可塑性の裏込め注入材料を見出すことができた。開発した注入材の主成分は、セメント、フライアッシュとパーライトである。配合例を表 1 に示す。

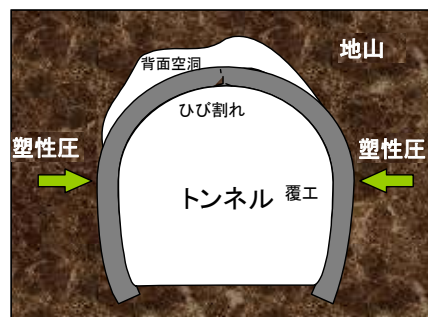


図 1 背面空洞の状況

表 1 裏込め材の配合

W/P (%)	単位量 (kg/m ³)				
	水 (W)	粉体部 (P)			
		普通セメント	フライアッシュ (II 種)	パーライト	増粘剤
43	390	225	675	10	8

§3. 実験概要

今回開発した可塑性注入材の性能 (流動性、強度、比重、充填性、非漏出性、水中分離抵抗性、非収縮性) を確認するために、『矢板工法トンネルの背面空洞注入工設計・施工指針、平成 14 年 10 月、日本道路公団、以下旧 JH 基準』の覆工背面空洞注入材の適用性確認試験方法 (案)⁵⁾ に準拠して以下の試験を行なった。

3.1 フロー試験

フロー試験の目的は、裏込め材の流動性および可塑性について確認するためである。試験方法は、試料作製直後と 60 分後において静置時と 15 回打撃時でフロー値を計測して行なった。フローコーンは JIS 規格 (φ 80mm × h80mm)、フローテーブルは、JIS R5201 規格を用いた。なお、試料作製時の温度を 20℃ である。試験結果を表 2、

図2に示す。これより、旧JH基準に満足することを確認するとともに可塑性も有することを確認した。

表2 裏込め材のフロー試験結果

経過時間	条件	本裏込め材	旧JH基準値
直後	静置	108	80~155
	打撃	179	130~205
60分	静置	93	100 以下
	打撃	165	170 以下



(a)直後 静置



(b)直後 15回打撃後



(c)60分後 静置



(d)60分後 15回打撃後

図2 裏込め材のフロー値

3.2 比重試験

比重試験の目的は、裏込め材の比重について、所定の比重を有するか否かについて確認するためである。試験方法は、試料作製直後に本裏込め材を計量カップに入れ、重量を測定し容器の容積で除した値を比重として測定した。本裏込め材の単位体積重量は、 1.2kN/m^3 と従来の主にベントナイト用いたもの(単位体積重量: $1.3\sim 1.5\text{kN/m}^3$)より1割程度ではあるが軽量化することができた。

3.3 強度試験

強度試験の目的は、裏込め材の強度について、所定の強度に達しているか否かを確認するためである。供試体の形状は、 $\phi 50 \times 100$ の円柱とし、試験方法としては、JIS A1132 に準拠して行なった。なお、供試体の製造および養生温度は 20°C である。強度試験結果を図3に示す。これより、養生7日で 2.16N/mm^2 となり十分な強度【旧JH基準:28日養生 1.5N/mm^2 】を得る結果となった。

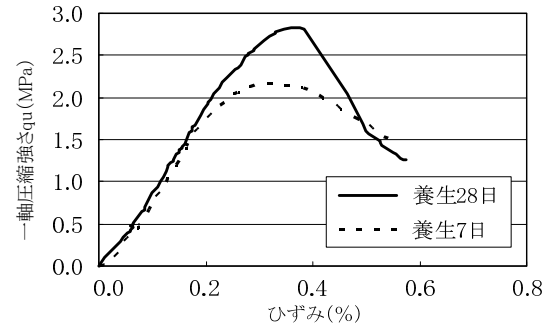


図3 裏込め材の強度試験結果

3.4 水中不分離試験

水中不分離試験の目的は、水中での材料分離特性を確認するためである。試験方法は、シリンダーの下にガラス板を設置しその上から本裏込め材を投入したものを水槽に入れ、素早くシリンダーを取りのぞき、投入直後より、5, 10, 30, 60 分後のpH および濁度を測定することでおこなった。測定深さは、水面から10cmである。水中不分離試験結果を表3に示す。また、試験状況を図4に示す。これより、pH 値、濁度の上昇はなく、また目視ではあるが材料分離がないことを確認した。

表3 水中不分離試験結果

試験項目	投入前(原水)	経過時間(分)					旧JH基準
		0	5	10	30	60	
pH値	7.75	7.82	7.82	7.83	7.82	7.83	増減 $\pm 10\%$
濁度	0.5	0.6	1.6	1.1	0.3	0.5	増減 $\pm 2\%$

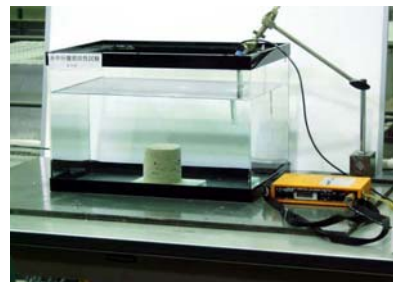


図4 水中不分離試験状況

3.5 模擬亀裂流出試験

模擬亀裂流出試験の目的は、覆工面のひび割れからの裏込め材が漏れ出さないことを確認するためである。試験方法は、図5に示すような試験装置の下部に5種類の模擬亀裂(左側より幅1, 3, 5, 7, 10mmで長さは350mm)を設置し、裏込め材を流入させ模擬亀裂上端からの逸流長さを測定して行なった。試験結果を表4に示す。これより、間隙幅の拡大に比例して逸流長さは長くなったが、間隙幅10mmにおいても下端まで逸流することはないことを確認した。

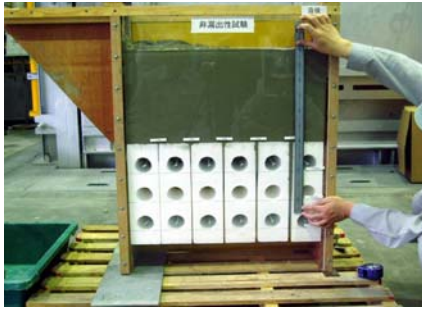


図5 模擬亀裂流出試験状況

表4 模擬亀裂流出試験結果

亀裂幅(mm)	1	3	5	7	10
漏出長(mm)	83	65	187	189	282

3.6 非収縮性試験

非収縮性試験の目的は、裏込材硬化後の収縮性の有無について確認するためである。試験方法は、 $\phi 30\text{cm} \times \text{H}100\text{cm}$ の塩ビ管に注入材を充填し、28日後に収縮量を測定した。基準値としては、旧JH基準で28日硬化後の収縮量が2cm以下である。試験結果を図6に示す。これより収縮量は、塩ビ管中心において0cmで収縮率としては0% (=0/100)となりほとんど硬化後収縮しないことを確認した。



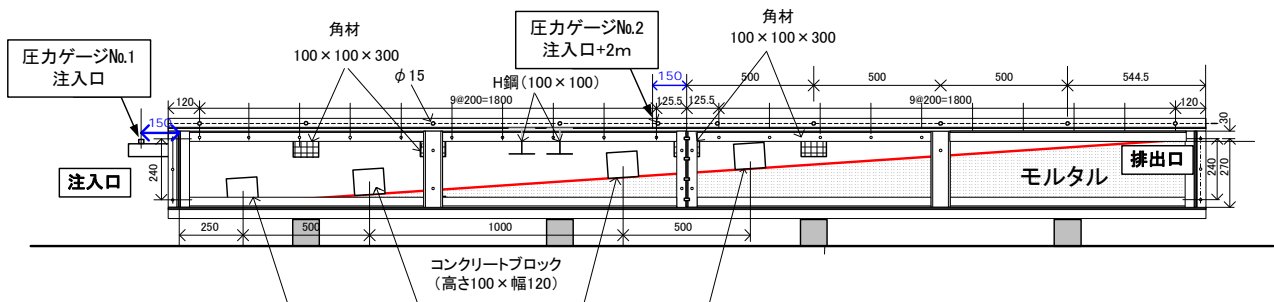
図6 非収縮性試験状況

3.7 充填性試験

充填性試験の目的は、裏込材の充填性能を確認するためである。試験は、図7に示すような試験装置にて行った。試験装置の形状は、高さ300mm、幅300mm、長さ4000mmで、裏込材の注入口から排出口に向かって所定の勾配になるようにモルタルで斜路を製作した。また、背面空洞中の鋼アーチ支保工や矢板などの障害物を再現するため、斜路の途中にコンクリートブロック高さ(100mm \times 幅120mm)を4箇所、試験装置の天端には木製の角材(高さ100mm \times 幅120mm)を4箇所およびH型鋼を2箇所設置固定した。



(a) 全景



(b) 側面図

図7 試験装置(充填性試験)

さらに、上面、側面は裏込め材の充填状況等が目視で確認できるように、透明のアクリル板(t=10mm)を設置した。なお、装置には注入圧力を計測するため注入口と注入口より2mの位置に計2箇所圧力ゲージを設置した。

充填性試験では、裏込め材をモルタルミキサーで練混ぜて作製し、モルタルポンプにて圧送し、注入開始時点から約2時間経過後に、試験装置を解体して試験装置の上端、下端に設置した角材やH型鋼等の周辺部を目視観察した。なお、このときのモルタルポンプの吐出量は、平均22.7リットル/分であった。

図8に試験装置内での裏込め材の注入状況を示す。これから、本裏込め材は、注入口付近から空洞を残さず徐々に奥に充填される傾向にあることが分かった。

図9(a)、図9(b)に注入実験終了後の上端障害物の角材周辺の充填状況を示す。これより、角材周辺に密着して充填していることを確認した。また、図9(c)、図9(d)に上端障害物のH型鋼周辺の充填状況を示す。これより、H型鋼同士の隙間にも密実に詰まっていることを確認した。

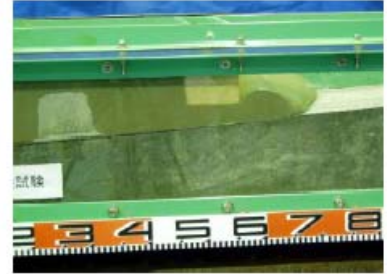
図9(e)、図9(f)に斜路に固定したコンクリートブロック周辺の充填状況を示す。これより、コンクリートブロック周辺には隙間なく完全に裏込め材が詰まっていることを確認した。



(a)注入口付近の注入状況



(b)H型鋼周辺の注入状況



(c)角材周辺の注入状況

図8 裏込め材の注入状況



(a)角材周辺の充填状況



(b)角材周辺の充填状況



(c)H型鋼周辺の充填状況



(d)H型鋼周辺の充填状況



(e)コンクリートブロックの充填状況



(f)コンクリートブロックの充填状況c)

図9 裏込め材の充填状況

図10に各ゲージの裏込材の注入開始からの注入圧を示す。これより、注入口の注入圧力は、注入開始から排出口より裏込め材が排出されるまでのあいだ単調に増加し、特に排出口に近づくほど圧力が増加する傾向にあり、これは注入口+2mの箇所でも同様な傾向であった。この理由は、裏込め材の到達距離が長くなるにつれ注入空間が狭くなるためと考えられる。また、各ゲージの最大圧力は、注入口、注入口+2mで、それぞれ 0.043MPa、0.034MPa となり実施工で注入管理の目安とされる 0.2MPa には達せず、本裏込め材は安定した注入ができると考えられる。

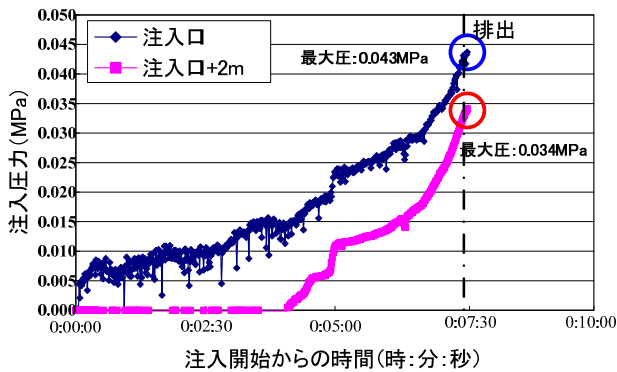


図10 各ゲージの注入開始からの注入圧

§4. まとめ

今回開発した可塑性裏込材について、裏込材が具備すべき要求性能(充填性、非漏出性、水中分離抵抗性、非収縮性など)を確認するため各種試験を行った。その結果、背面空洞の裏込材として要求される性能については概ね満足していることを確認した。

よって、従来品の可塑性裏込材より単位体積重量が1割程度軽量化した可塑性裏込材が製造可能となった。

しかしながら、今回の試験では、実際の注入工事と異なる点(背面空洞の規模、形状、注入速度、湧水など)があるため、今後は、試験施工や実施工を通して、背面空洞の規模に応じた注入速度などの要求される性能の明確化やその管理手法について検討する予定である。

参考文献

- 1) 小森大育, 魚本健人:トンネル背面空洞に対する裏込め注入グラウトの充填方法に関する研究, コンクリート工学年次論文集, pp.463~468, Vol.23, No.1, 2001
- 2) 土木学会:トンネル・ライブラリー12 山岳トンネル覆工の現状と対策, pp.21~24, 2002
- 3) 鉄道総合技術研究所:変状トンネル対策工設計マニュアル,

アル, pp.55~67, 1998.10

- 4) 東・中・西日本高速道路株式会社:設計要領第三集(トンネル編), pp.84~88, 2006.5
- 5) 日本道路公団:矢板工法トンネルの背面空洞注入工設計・施工指針, 2002.10
- 6) 大島健二, 伊藤哲男, 城間博通, 西山達也:トンネル覆工背面空洞に用いる注入材の材料特性について, 第56回土木学会年次学術講演会, V-115, 2001.10
- 7) 佐久間孝夫, 栖原健太郎, 小西真治, 佐藤豊:新しい可塑性裏込め材料の性能確認試験結果と考察, トンネル工学研究発表会, pp.239~244, 2001.11
- 8) 小西真治, 佐藤豊, 吉川和行:鉄道トンネルの新しい補修技術, RRR, pp.22~25, 2002.7
- 9) 吉川和行, 秩父顕美, 佐伯俊之:トンネル覆工背面への新しい可塑性充填材の開発, 第59回土木学会年次学術講演会, 6-339, 2004.9
- 10) 吉川和行, 秩父顕美:トンネル覆工背面空洞用裏込材の充填性能, 第60回土木学会年次学術講演会, 6-173, 2005.9

ひとこと

本年度は、裏込材の基本性状を確認しました。今後は注入システムを構築し、現場への普及に努めていきたいと思っています。



吉川 和行