

新しい可塑性裏込め材料の性能確認試験結果と考察

Tests for the newly developed backfill grouting with plasticity

佐久間孝夫¹⁾、栖原健太郎²⁾、小西真治³⁾、佐藤 豊³⁾

Takao SAKUMA, Kentaro SUHARA, Shinji KONISHI, Yutaka SATOU

In tunnels of mountain area, especially constructed before sprayed concrete application to tunnel lining, it is known that there are voids between tunnel lining and ground. The voids sometimes produce harmful influence to the lining, development of effective back-fill material is needed. To meet the requirements, basic material property tests for the newly developed cement-bentonite backfill grouting with plasticity is reported in this paper.

Tests on consistency, compressive strength, segregation in water, leakage through crack, weight in unit volume and grouting in scale model tunnel were carried out to confirm the applicability to the existing tunnels.

KEYWORDS voids, cement-bentonite, plasticity,

1. はじめに

吹き付けコンクリートによる支保工が導入される昭和50年前半以前に建設されたトンネルには主に当時の施工法の問題から、天端を中心として覆工の背面に空洞が存在する場合がある。この空洞を放置すると、外力に対して地盤反力をとることができず、覆工天端部に圧縮破壊や肩部にせん断破壊などが発生し、トンネルの安定性を著しく低下させる。

対策工としては裏込め注入工が一般的である。従来用いられているエア系注入材やセメント系注入材は流動性に富む反面、天端部の充填が十分完了する前に、クラック等の隙間から逸流する傾向があり、当初の目的が達成出来ないことや注入量が多くなる事が問題となっていた。また、貯留水や地下水に接触することにより材料が分離し品質が低下することもあった。

このような裏込め注入材の問題点を解決するために近年可塑性を有する裏込め注入材が開発されているが、性状・性能において一部認識されていない点もある。本報告では、セメントベントナイト系可塑性裏込め注入材の根本的な性状、性能について試験を行い、試験結果より可塑性を定量的に評価する方法を検討したので報告する。

1) 東興建設株式会社 土木事業本部 技術開発部

2) 電気化学工業株式会社 セメント・特殊混和材研究所

3) 正会員 財団法人 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 トンネル

2. 試験材料

試験材料の配合を表－1に示す。セメントは普通ポルトランドセメント、ベントナイトはメッシュ 250 を使用した。可塑化材 A はポリマー系可塑化材、可塑化材 B はセメント鉱物系可塑化材を使用した。

表－1 試験材料配合表(1 m³ 当り)

主 材 (930 ㍲)			可塑化材 A (35 ㍲)		可塑化材 B (35 ㍲)	
セメント	ベント ナイト	水	CG	水	CG	水
300kg	300kg	720kg	3kg	32kg	15kg	30kg

3. 試験項目

以下の 7 種類の試験を行い、基本的な性能を確認した。

(1) コンシステンシー試験

JHS A-313、JIS A-5201 に準じて行った。

(2) 単位容積質量試験

JIS A-1116 に準じて行った。

(3) 圧縮強度試験

JSCE-F506、JSCE-G505 に準じて行った。

(4) 水中不分離性試験

以下の手順で行った。

① 970×485×1000mm の水槽の上面まで水で満たした。

② 水槽内の底面に注入ホースを設置し、吐出量 Q = 40 ㍲/分にて試験材をホース先端から注入した。注入は水槽の約 2/3 程度まで行い終了した。

注入時の試験材の分離状況(水の濁り)と注入後の試験材の分離状況(水の濁り)、硬化状況を目視にて確認した。

(5) 隙間逸流性試験

以下の手順で行った。

① 230×190×900mm の試験装置(図－1)に、1, 3, 5, 7, 10mm の模擬隙間を高さ 400mm で設けた。試験材が均等な圧力で隙間に進入するように、模擬隙間上面にダンパー板を設置した。

② 試験材を吐出量 30 ㍲/分で注入ホースから試験装置内のダンパー板上面へ流し込み、注入高さ 300mm に達した時点で終了、ダンパー板を瞬時に引き抜いた。

③ その後、各隙間に入り込んだ試験材高さを計測した。

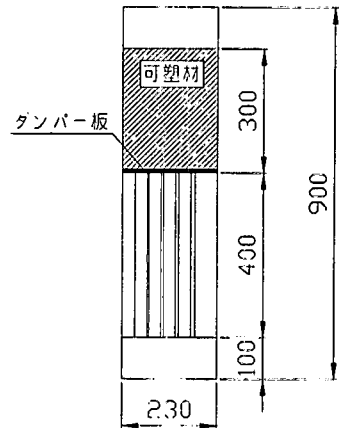
(6) トンネル充填性試験

以下の手順で行った

① 直径 1.3m、長さ 3.0m の鋼製トンネル模型の上面を金網・ビニールシートで覆い、模擬覆工背面空洞として t = 0.25m 程度の空洞を作成した。

② トンネル内側に注入口を 1 箇所設置し、ここから模擬空洞部に試験材を充填した。

③ 試験材硬化後、覆いを取り除き充填状況を確認した。



図－1 隙間逸流試験装置

4. 試験結果

(1) 基本特性試験結果

コンシテンシー試験、単位容量質量試験圧縮強度試験結果は表－2に示すように、目標値を満足するものであった。

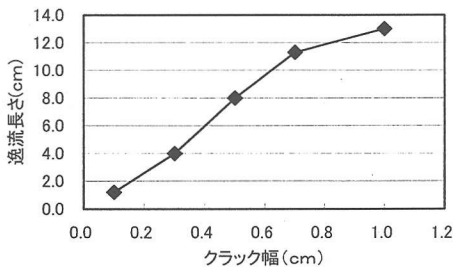
表－2 試験結果

試験項目	試験規格	目標値	試験結果
コンシステンシー 試験	J H S A-313	100±20mm	96 (95×97) mm
	J I S A-5201	180±25mm	199
単位容量質量試験	J I S A-1116	1.4±0.1g/cm ²	1.4g/cm ²
圧縮強度試験	J S C E-G50・5	1.0N/mm ²	

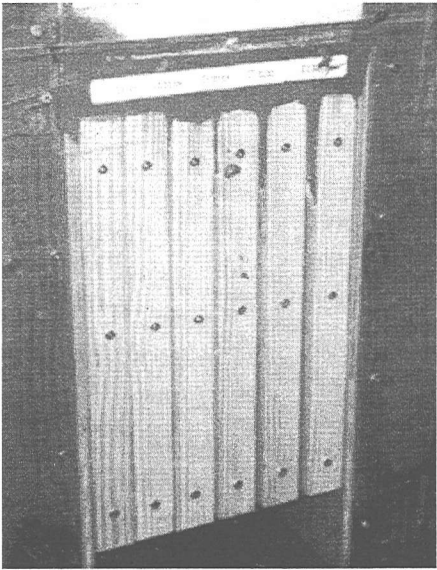
(2) 隙間逸流試験結果

間隙逸流試験結果を図－2に示す。試験状況を写真－1に示す。

隙間幅の拡大に比例して逸流長さは長くなったが、隙間幅10mmにおいても下端まで逸流はなく、覆工隙間における可塑性材料の優位性が確認された。



図－2 間隙逸流試験結果

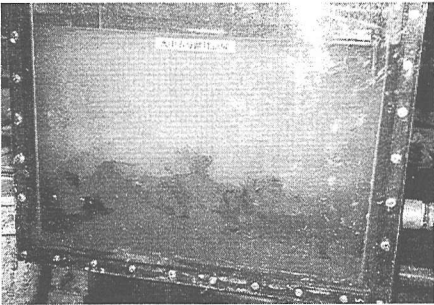


写真－1 逸流状況

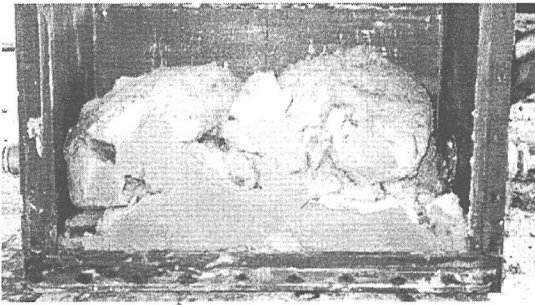
(3) 水中不分離性試験結果

注入作業中濁りは無く、可塑性を保持しながら充填できる事が確認できた。充填状況を写真－2に示す。充填終了後、水を抜き試験材の硬化状況を確認した。硬化体全景を写真－3に、硬化体切断状況を写真－4に示す。

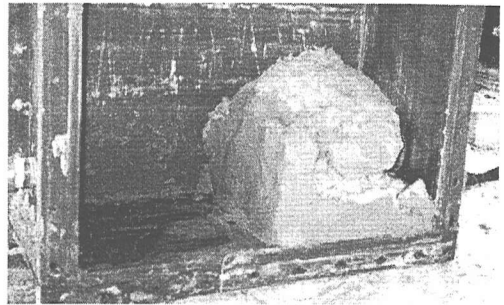
水との接触面においても、特に強度低下や空洞は認められなかった。また、硬化体を鉛直方向に切断し内部状況を調べたが、硬化体内部に空隙も無く完全に充填されていた。



写真－2 充填状況



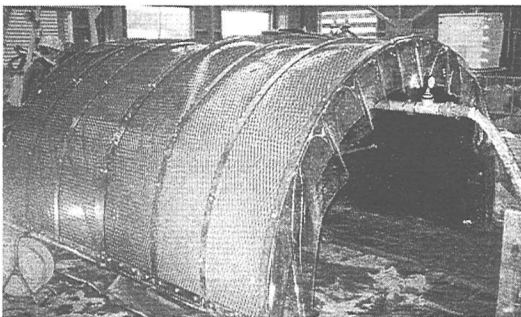
写真一3 硬化体全景



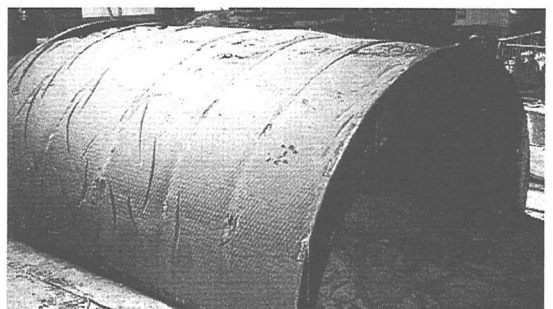
写真一4 硬化体切断状況

(4)トンネル充填性試験

充填状況を写真一5に、硬化状況を写真一6に示す。注入口の圧力計で計測された注入圧は充填当初0.2.Mpa、充填終了時に0.3Mpaであり、低い注入圧での充填が可能であることがわかった。試験材は可塑性を保持しながら側部より上部方向に充填されていた。硬化後に覆いを取り外し、硬化状況を確認したが、空隙もなく充填状況は良好であった。



写真一5 充填状況



写真一6 枠取り外し後の硬化状況

5. 関係式の提案

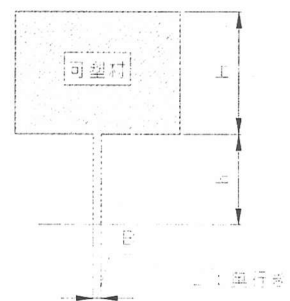
可塑性グラウト注入材の間隙通過性状の定量的評価を行った。間隙通過の模式図を図一3に示す。ここに、可塑材高さ： H (m)、通過長： h (m)、間隙の幅： B (m)、奥行き： Z (m)、可塑材の密度： ρ (kg/m^3)、重力加速度： g (m/s^2)、壁面抵抗によるせん断応力： τ (Pa) とする。

可塑材が、間隙を通過して、その流動が停止したときの力の釣合いを考える。すなわち、可塑材の圧力合力： P 、可塑材自重： F 、壁面抵抗力： R の3力の釣合いを以下のように考える。

$$\text{圧 力} : P = \rho g H B Z \quad \dots\dots (1)$$

$$\text{自 重} : F = \rho g h B Z \quad \dots\dots (2)$$

$$\text{壁面抵抗} : R = 2 \tau h Z \quad \dots\dots (3)$$



図一3 関係式模式図

力の釣り合いより

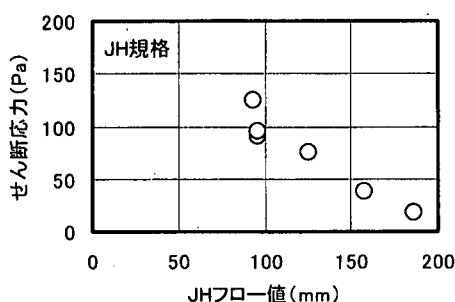
$$P + F = R \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$\rho g H B Z + \rho g h B Z = 2 \tau h Z \quad \dots \dots \dots (5)$$

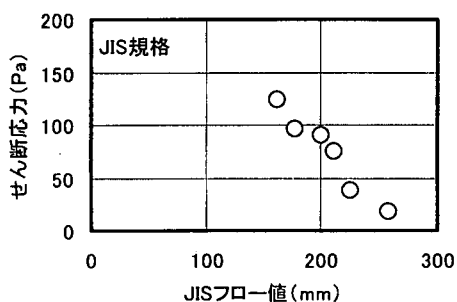
$$\tau = \rho g B / 2 \cdot (H/h + 1) \quad \dots \dots \dots (6)$$

以上より、せん断応力 τ は式(6)で与えられる。せん断応力は間隙の壁面と可塑性材との摩擦であり、レイノルズ数が低い流れや流動を停止した状態では、幅や圧力によらず一定であるものと考えられる。つまり、せん断応力と可塑性材の物性の相関性を見出すことが、間隙通過性状の評価のポイントになる。

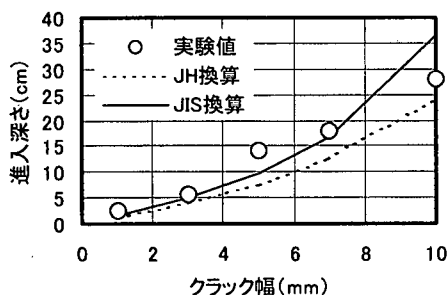
せん断応力 τ は、壁面を統一した場合、可塑性材のレオロジー定数を異なった方向から見ているのにすぎない。従って、せん断応力 τ を一般的なレオロジー定数と関連付けて、有用な値とする必要がある。そこで、せん断応力 τ をスランプフローで表現した。まず、可塑性を変化させた試験材による隙間逸脱試験結果より、各隙間に入り込んだ試験材の進入深さ h と、模擬隙間上部に残った可塑性材の高さ H を計測した。この試験結果を用いて式(6)よりせん断力とフロー値の関係を求めた(図一4、図一5)。せん断応力と各フロー値は、累乗あるいは指数曲線の関係にあると考えられる。この関係を用いると、各フロー値からせん断応力を求め式(6)より、任意の圧力下における任意の模擬クラックの進入深さを導くことが可能となる。この手法を用いて求めた進入深さと可塑性材の高さ $H=22\text{cm}, 15\text{cm}$ にて行った試験の実測値との比較例を図一6、図一7に示す。これらは実現象を比較的良く再現しているものと思われる。



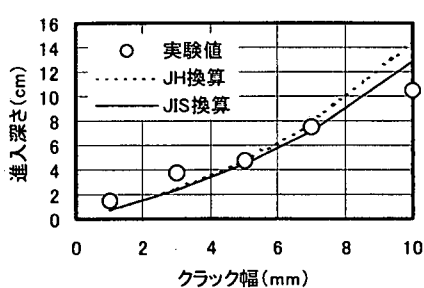
図一4 せん断応力とJHフロー値



図一5 せん断応力とJISフロー値

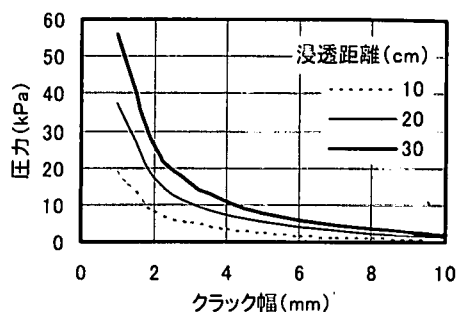


図一6 クラック幅と進入深さ



図一7 クラック幅と進入深さ

図－８は、これら一連の試験結果から求めたセメントーベントナイト系可塑性グラウトの圧力とクラック幅の関係である。30cmの覆工厚を持つ場合、4mmのクラック幅に対しては10KPa以下であれば、逸流防止ができることがわかる。



図－８ 間隙通過性状

6. まとめ

セメントーベントナイト系可塑性裏込め材について各試験および結果の考慮を行い、以下の知見を得た。

- (1) 流動性、単位体積重量、圧縮強度の目標値を満足することが出来る。
- (2) 隙間逸流、水中不分離性、充填性といった、背面空洞充填に必要な特性について、本材料は適切である。
- (3) 間隙通過性について、スランプフロー値から、クラック幅と浸透距離の関係式を導いた。これにより、逸流に関して現状に合ったスランプフロー値の設定が可能になると考えられる。

なお、今後は試験施工や実施工における施工結果より有効で簡便な管理手法を提案したいと考えている。