

環境配慮型中性系可塑性充填材の開発

戸田建設株式会社 正会員 ○中山 卓人 小林 修 田中 徹
太平洋セメント株式会社 松山 祐介 柳谷 昌平
伊藤忠建機株式会社 藤井 二三夫 堀 常男

1. はじめに

現在、新設あるいは既設構造物と地盤との境界面にある空洞や空隙部を充填する材料としては、セメント系やエアモルタル系の充填材が多く使用されている。しかし、これらの材料は高アルカリ性のため、周辺植物の生育や、河川に流れ込んだ場合は魚介類等に悪影響を及ぼす可能性がある。したがって、田畑に近接するトンネルの空洞の補修や河川部の構造物の空隙充填に用いるには不向きである。

そこで、充填材施工に伴う周辺環境への影響低減を目的として、中性域（pH5.8～8.6）での施工可能とする全く新しい可塑性充填材を開発した。本充填材は中性領域にあるにもかかわらず、可塑性充填材に要求される性能である流動性、強度、水中分離抵抗性、非漏出性、非収縮性を有している。また、配合を調整することで流動性、強度を変更することも可能であり、さまざまなニーズに対応することができる。

本報告では、中性系可塑性充填材の配合、性能確認試験結果の報告および打設量の大容量化を可能とする大型管路ミキサーを使用した試験施工の結果について報告する。

2. 中性系可塑性充填材

2-1 使用材料

表 2-1 に使用材料の一覧を示す。本充填材は、硬化材に酸化マグネシウムを使用し、pH 調整材として硫酸アルミニウムを使用する。水酸化マグネシウム飽和水溶液の pH は約 10.5 であり、セメントの飽和水溶液（pH12 以上）と比較して低アルカリであるため、pH の調整が容易となり、調整材の使用量も低減することができる。また、水酸化マグネシウムは水への溶解度が低いため、水中でも長期安定性を確保することができる。増粘材には天然多糖類であるグアガムを使用する。増粘材は水中分離抵抗性を付与すると同時に、充填部位の要求性能に応じて添加量を変えることでフロー値を制御することも可能である。

表 2-1 中性系可塑性充填材の使用材料

材 料 名	仕 様
硬化材	酸化マグネシウム 密度 3.2g/cm ³
p H 調整材	硫酸アルミニウム 密度 1.32g/cm ³ (固形分 Al ₂ O ₃ 換算：17%)
増粘材	天然多糖類(グアガム) 密度 1.5g/cm ³

2-2 配合

表 2-2 に標準配合を示す。本充填材は A 液と B 液を混合して作成する二液性可塑性充填材である。A 液は pH 調整材である硫酸アルミニウム、増粘材であるグアガムおよび水から構成され、B 液は硬化材である酸化マグネシウムおよび水から構成される。

標準配合として強度別に 2 種類の配合を用意した。配合 I は低強度タイプで材齢 28 日の一軸圧縮強度が 0.7N/mm²、配合 II は高強度タイプで 1.5N/mm² である。

なお、強度に関しては 1.5N/mm² 以下で任意に設定可能である。

表 2-2 中性系可塑性充填材の標準配合 (kg/m³)

配 合	A 液			B 液	
	p H 調整材	増粘材	水	硬化材	水
I	325	4.1	345	246	328
II	340	2.6	232	309	412
配合 I：一軸圧縮強度 $\sigma_{28}=0.7\text{N/mm}^2$ 、密度 1.25g/cm ³					
配合 II：一軸圧縮強度 $\sigma_{28}=1.5\text{N/mm}^2$ 、密度 1.30g/cm ³					

キーワード 充填材，中性，可塑性，背面充填工法

連絡先 〒104-0004 東京都中央区京橋 1-7-1 戸田建設株式会社土木工事技術部 TEL03-3535-1614 FAX03-3535-1524

3. 性能確認試験

3-1 試験概要

本試験は中性系可塑性充填材の性能確認を目的に、東・中・西日本高速道路株式会社の「覆工背面空洞注入材の適用性確認試験方法(案)」¹⁾に準拠して実施した。この規格は矢板工法トンネルに用いる覆工背面の空洞注入材に対して、注入材の充填性、非漏出性（隙間への進入深さ）、水中分離抵抗性、非収縮性の各性能評価を行う試験方法について規定されたものである。今回の試験では、本充填材の配合として配合Ⅱ（高強度タイプ）を使用した。表 3-1 に背面空洞注入材の品質規格を示す。

表 3-1 背面空洞注入材の品質規格

項 目	規格項目	規 格 値	試験方法
流 動 性	フロー値 (静置時)	フロー値：80～155mm 60 分後のフロー値：100mm 以下	JHS 313 コンシステンシー試験方法のシリンダー法
	フロー値 (打撃時)	フロー値：130～205mm 60 分後のフロー値：170mm 以下	JIS R 5201 フロー試験 フローコーンに代わって JHS 313 コンシステンシー 試験方法のシリンダー法の 硬化プラスチック製シリン ダーを用いる。 別途試験方法を示す。
強 度	一軸圧縮 強 度	$\sigma_{28}=1.5\text{N/mm}^2$ 以上	JIS A 1108 圧縮強度試験方 法
比 重	比 重	エア系：11～12kN/m ³ エア系以外：11～15kN/m ³	質量法による
充 填 性	充 填 性	容器内全体に注入材が充填され角材やH型鋼との間に隙間なく密実に充填されること。	別途試験方法を示す。
非漏出性	隙間への 非漏出性	60 分経過後においても 5mm 以下の隙間に完全流出があってはならない。	
水中分離 抵抗性	濁 度	分光光度計により測定した光透過率の値により、濁り具合を確認する。水槽内に注入材を投入する前の水の測定値と、投入後 60 分経過後の測定値の増減比率が±2%であること。	
	p H	注入直後からの 60 分経過後の p H測定比率が±10%であること。	
非収縮性	収 縮 量	28 日硬化後の収縮量が 2cm 以下であること。	

本試験の練混ぜフロー図を図 3-1 に、使用機材状況を写真 3-1～4 に示す。

本充填材は、A 液と B 液を混合するとポーラス状に偽凝結が生じ、その後、さらに練混ぜると再流動化する性質のため 2 段階の練混ぜが必要である。そこで、練混ぜ用に 1 インチの管路ミキサーを使用し、消泡用として 2 インチの管路ミキサーを使用した。

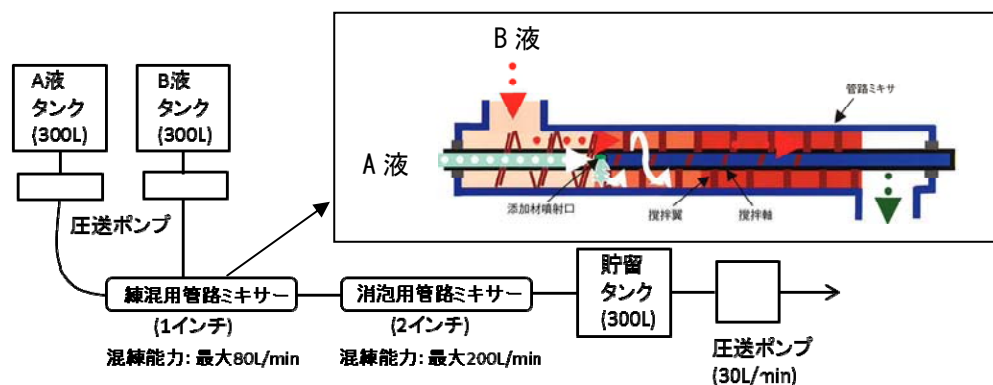


図 3-1 練混ぜフロー図



写真 3-1 実験機材配置状況



写真 3-2 管路ミキサー

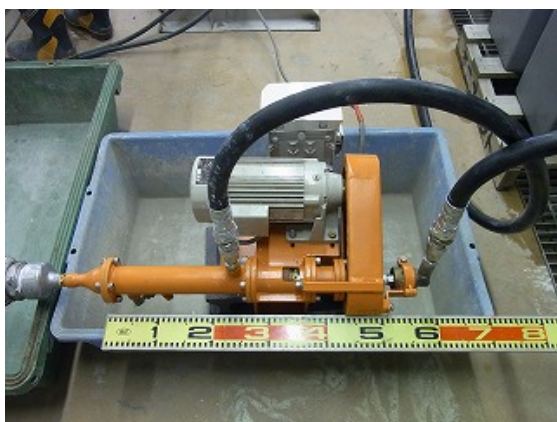


写真 3-3 練混用管路ミキサー



写真 3-4 消泡用管路ミキサー

3-2 流動性、強度および比重試験

表 3-2 に流動性試験結果，写真 3-5，6 に流動性試験状況を示す。

打撃時の流動性試験は， $\phi 300$ のフローテーブルを使用し，カム軸の回転で円盤が上下作動することによりフロー値を求めるものである。フローテーブル円盤上にフローコーンにより試料を設置後，フローコーンを取り去り，15 秒間に 15 回の落下運動を与え，試料が広がった後の径を最大と認める方向と，これに直角な方向とで測定し，その平均値を求める。

流動性試験を実施した結果，規格値に適合することを確認した。

表 3-2 流動性試験結果

試験項目	練混ぜ直後 (mm)	60 分後 (mm)	規格値
フロー値（静置時）	115	95	練混ぜ直後：80～155mm 60 分 後：100mm 以下
フロー値（打撃時）	155	125	練混ぜ直後：130～205mm 60 分 後：170mm 以下

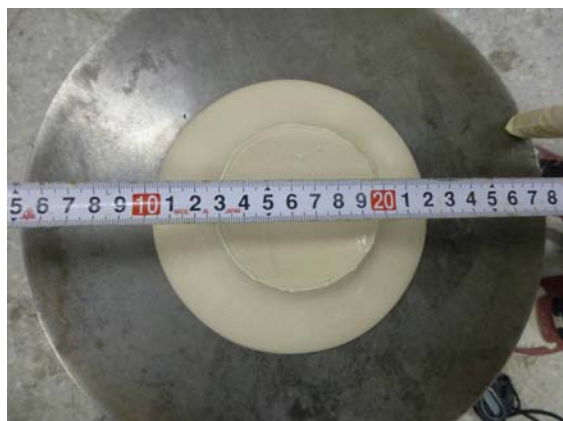


写真 3-5 フロー試験状況 (115mm)
(静止時・練混ぜ直後)



写真 3-6 フロー試験状況 (155mm)
(打撃時・練混ぜ直後)

表 3-3 に一軸圧縮試験と比重試験の結果、写真 3-7, 8 に試験状況を示す。

表 3-1 の試験方法に従って試験を実施し、規格値に適合することを確認した。

表 3-3 一軸圧縮試験結果

試験項目	No.	材齢 7 日	材齢 28 日	規格値
一軸圧縮強度 (N/mm ²)	①	1.53	2.60	$\sigma_{28} = 1.5 \text{ N/mm}^2$ 以上
	②	1.29	2.19	
	③	1.42	2.41	
	平均	1.41	2.40	
比重 (kN/m ³)		13.1		エア系以外：11～15kN/m ³



写真 3-7 圧縮試験機器一式



写真 3-8 圧縮試験状況

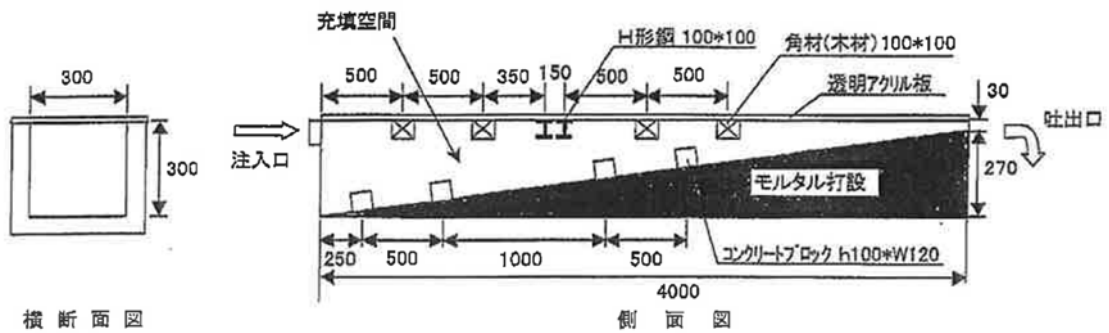
3-3 充填性試験

図 3-2 に本試験で使用した試験装置、写真 3-9, 10 に試験状況を示す。

注入口からの注入材の注入流量(注入ホースからの吐出量)は 30L/min とし、先端部の吐出口から試料が流出した時点で試験終了とした。充填材硬化後に容器を解体して充填状況の確認を行い、装置内の上端・下端に設置した角材やH型鋼等の周辺に、注入材が隙間なく密実に充填がなされているか詳細に観察した。写真 3-11,

12 に充填確認状況を示す。

その結果、障害物の周辺にも注入材が密実に充填されていることを確認した。



出典：「矢板工法トンネルの背面空洞注入工 設計・施工要領」

図 3-2 充填性試験装置模式図



写真 3-9 試験装置



写真 3-10 充填材打設状況



写真 3-11 H型鋼充填確認状況



写真 3-12 コンクリートブロック充填確認状況

3-4 非漏出性試験

図 3-3 に試験装置を示す。

試験装置は、木枠、木板、透明アクリル板を加工し、所定寸法の容器を製作した。隙間への逸走状況（注入材の進入深さ）確認を目的に、容器表面は透明アクリル板を設置した。容器の片側には、長さ 400mm 程度のシュート状の投入口を作製し、容器の下部には、1, 3, 5, 7, 10mm の隙間を発泡スチロールにて作製した。

試験装置内に流し込む注入材は、直接入れず容器片側のシュートにて流し込み、注入材の吐出速度を30L/minとし、発泡スチロール天端から高さ300mmに達した時点で終了とした。

各隙間に入り込んだ（進入した）注入材の深さを 10, 30, 60 分で計測した。

表 3-4 に試験結果一覧，写真 3-13 に試験結果状況を示す。

試験の結果，60 分経過後においても 5mm 以下の隙間には完全流出がないことを確認した。

表 3-4 非漏出試験結果一覧

隙間幅 (mm)	隙間進入深さ (mm)	規格値
1	0	60 分経過後においても 5mm 以下の隙間に完全流出があつてはならないこと。
3	73	
5	180	
7	完全流出	
10	完全流出	

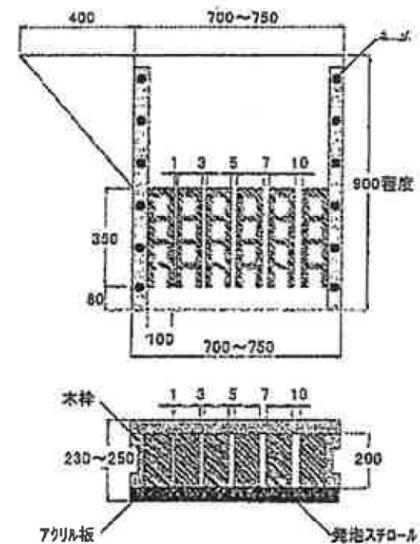


図 3-3 非漏出性試験装置

出典：「矢板工法トンネルの背面空洞注入工

設計・施工要領」

3-5 水中分離抵抗性試験

写真 3-14 に試験状況を示す。試験装置は長さ約 450mm 程度，幅 300mm 程度，高さ 300mm 程度の水槽とし，水槽内に 26L の水を張り，使用水は pH が 7.8 の水道水とした。注入材を水槽に投入する前，投入直後，および 10，30，60 分経過後の pH と濁度を測定した。濁度は水面から 10cm の位置からスポイドで水をサンプリングし，分光光度計により波長 800nm での光透過率を測定した。

表 3-5 に試験結果を示す。試験の結果，濁度と pH はいずれも規格値以下であり，水中分離抵抗性を有することを確認した。

表 3-5 水中分離抵抗性試験結果

試験項目	フロー直後	10 分後	30 分後	60 分後	規格値
濁度 (変化率%)	99.67	99.83	99.77	99.59 (0.08%)	60 分後の増減比率が±2%以下
pH (変化率)	7.8	7.8	7.8	7.8 (0.00%)	60 分後の増減比率が±10%以下



写真 3-13 非漏出性試験結果



写真 3-14 水中分離抵抗性試験状況

3-6 非収縮性試験

写真 3-15，16 に試験状況を示す。

試験装置は内径 300mm，高さ 1,000mm の硬質塩化ビニール管を用い，下端に注入材の漏れが生じないように平板を取り付けた容器を作製した。注入後水分発散防止のためにキャッピングを行い，15～25℃の室内にて養生し，28 日経過後の収縮量を計測した。

表 3-6 に試験結果を示す。28 日硬化後の収縮量は 0.0mm であり，非収縮性試験に関する規格値に適合する

ことを確認した。

表 3-6 非収縮性試験結果

試験項目	28 日後	規格値
収縮量 (mm)	0.0	28 日硬化後の収縮量が 2cm 以下であること。



写真 3-15 収縮量測定状況



写真 3-16 非収縮性試験装置

3-7 性能確認試験結果

試験の結果、本中性系可塑性充填材は「矢板工法トンネルの背面空洞注工 設計・施工要領」の「覆工背面空洞注入材の適用性確認試験方法(案)」において、すべての項目で規格値に適合することを確認した。

4. 大容量打設確認試験

4-1 試験概要

表 4-1 に使用する管路ミキサーの仕様、表 4-2 に各打設量での管路ミキサー吐出量、写真 4-1 に試験施工状況を示す。今回の試験では、1 日の打設量を 40～60m³ (6 時間施工として 6.7～10.0m³/hr (111.7～166.7L/min)) とし、全 3 ケースの試験を行った。

確認試験は、A 液、B 液それぞれ攪拌したものを練混用管路ミキサーで練混ぜ、2 インチの配管で閉回路のまま消泡用管路ミキサーに送り、再度攪拌し消泡を行ったのち、所定位置に打設を行った。各ケースでの試験時間は、調整時間 2 分間、定常吐出時間 5 分間の計 7 分間とした。打設中および打設後に試料を採取し、フロー、密度、pH および温度を測定した。今回の試験における本充填材の配合は、配合 I (低強度タイプ) を使用した。



写真 4-1 大容量試験施工状況

表 4-1 管路ミキサーの仕様

名称	断面積 (m ²)	混合長さ (m)	容量 (L)	混練能力 (L/min)
混練用 (2 インチ)	0.0077	0.5	3.85	200
消泡用 (3 インチ)	0.0417	1.5	62.55	1,300

表 4-2 各打設量での管路ミキサー吐出量

試験ケース	打設量 (m ³ /日)	吐出量 (L/min)
1	40	111.7
2	50	138.3
3	60	166.7

4-2 流動性、密度、pH、温度の試験結果

表 4-3 にケース 1～3 の流動性、密度、pH、温度の試験結果と室内配合試験の結果を示す。

フロー値は室内試験と比較してケース 1, 2 においては高い値を示したが、ケース 3 では室内試験より低くなった。また、打設量の増加に伴い、フローが低下していることも確認できた。密度はケース 1, 2 では理論値に近い値を示したが、ケース 3 では理論値よりも低い値を示したことからケース 1, 2 では A 液、B 液の混合精度が良好であったが、ケース 3 では不良であることが考えられた。

pH は全ケースで 8.2～8.5 の範囲にあり、中性域内の値を示した。

表 4-3 流動性、密度、pH、温度試験結果

ケース	フロー (mm)	密度 (g/cm ³)	pH	温度 (℃)
1	350	1.23	8.5	19
2	260	1.26	8.3	23
3	125	1.20	8.2	28
室内配合 試験	211	1.25	8.2	23



写真 4-2 充填材打設状況(ケース 2)

4-3 硬化性状試験結果

表 4-4 にケース 1～3 の硬化性状試験結果を示す。

一軸圧縮強度は、28 日で 0.70～0.78N/mm² の値を示し目標値を満足する結果となった。しかし、ケース 3 は 0.70N/mm² とケース 1, 2 と比較して低い値を示した。

表 4-4 硬化性状試験結果

ケース	一軸圧縮強度 (N/mm ²)
	28 日
1	0.74
2	0.78
3	0.70

4-4 大容量試験施工のまとめ

今回の試験結果から、1 日の打設量が 50m³ 程度であれば、今回使用した設備で、中性系可塑性充填材としての十分な性能を有することが確認できた。

また、現在 50m³ 以上の場合における打設については、ミキサープラントを使用したバッチ練りによる打設を検討・確認中である。

表 4-5 打設方法における性能比較

打設方法	圧送距離	施工箇所	打設量
連続式 (管路ミキサー使用)	長	トンネル内など 比較的狭い区間	小
バッチ式 (ミキサープラント使用)	短	プラントを設置 できる大空間	大



写真 4-3 ミキサープラントによる練混ぜ状況

5. まとめ

今回は、環境配慮型中性系可塑性充填材の性能確認試験および大容量打設確認試験結果の一例を報告した。本充填材は、関東農政局発注の頭首工エプロン部グラウト注入工での施工実績があるが、さらなる実績の積み重ねや長距離圧送性の確認を行うなど、環境配慮型の充填材としてさらに発展させていく予定である。

【参考文献】 1) 矢板工法トンネルの背面空洞注入工設計・施工要領 東・中・西日本高速道路株式会社 平成 18 年 10 月