

長距離流動と狭隘部充填を可能にした中詰材の開発

ーガスパイプライン敷設工事におけるガス管周辺の

隙間部充填に適した中詰材の基本性能ー

Infilling Air Mortar Enabling Long Distance Grouting and Narrow Space Filling

- Basic Performance of Infilling Mortar Suitable for Filling Annular Space around Steel Pipe in Gas Pipeline Construction -

廣中哲也* 星 智久** 三澤孝史*

要 旨

トンネル内にガスパイプラインを敷設する工事において、内径 1100mm の推進管内に外径 900mm のガス管を設置する場合に、延長 500m を一度に充填することを目標に材料開発を進め、その性能確認のため、配合試験および充填・流動実験を実施した。その結果、開発した中詰材は、上記条件下で想定される中詰めの作業時間である製造から 7 時間経過後に、材料分離を生じることなく、優れた流動性を維持し、硬化後には高い透気性を有することが確認できた。

キーワード：ガスパイプライン、中詰材、エアモルタル、高流動性、非分離性

1. まえがき

ガスパイプライン敷設工事では、推進工法やシールド工法で構築されたトンネル空間の充填とガス管の防食を目的として、トンネルとガス管の間の空間をエアモルタルで充填することが行われている。この中詰材には、万が一、ガスが漏洩した場合に検知できるように、高い透気性が要求されており、エアモルタルの空気量を増やす対策がとられてきた。しかし、空気量を増やすと、材料分離が生じやすく、また、圧送・充填のために必要な流動性を長時間維持できないため、圧送距離および 1 回に充填できる区間の長さが限られていた。

今回、推進工法やシールド工法により構築されたトンネル内にガスパイプラインを配管する工事において、ガス管周辺の充填に使用する材料として、長時間の流動性を保持し、優れた充填性・透気性を有する中詰材を日鉄住金パイプライン&エンジニアリング(株)および(株)タックと共同開発した。

本報では、開発した中詰材の概要および各種の性能確認実験結果について報告する。

2. 開発した中詰材の概要

2.1 開発目標の設定

図-1 に開発目標のイメージを示す。河川下等でのガスパイプライン敷設工事を想定して、内径 1100mm の推進管内に外径 900mm のガス管を延長 500m 施工する条件を設定し、推進管端部から中詰材を圧送して推進管とガス管との隙間部に充填することを目標とした。

そのため、開発する中詰材は、一般の要求性能に加えて、上記の施工条件と通常の圧送設備の仕様によって定まる製造から充填完了までの 6~7 時間の間、優れた流動性を保持する必要がある。

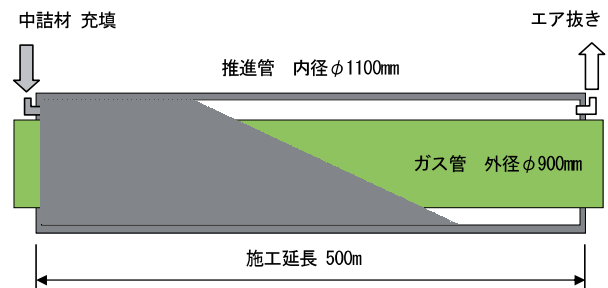


図-1 開発目標のイメージ

2.2 中詰材の要求性能

ガスパイプライン敷設工事に適用できる中詰材の性能としては、高流動性、非分離性が求められ、さらに、前

*技術研究所 **東日本支社機械部

述の施工時間に応じた流動性の保持機能も要求される。また、ガス管特有の中詰材の性能として高い透気性も必要とされることから、これら全ての性能を満足する中詰材を開発することが本研究の目的である。

ガス事業者の定める品質基準を参考にして、今回の開発目標を満足するための中詰材の性能を表-1に示す。

表-1 ガスパイプライン工事における中詰材の性能

項目		性能
フレッシュ性状	流動性 充填性	フロー150~200mm (シリンダー法) ・流動性が高く、トンネル内の空間を充填できること
	流動性の保持性能	製造からの流動性の保持時間 6~7時間 ・推進管とガス管との隙間部を充填完了するまで流動性を保持すること (空気量 30~50%の中詰材と通常の圧送設備を用いて、内径 1100mm の推進管に外径 900mm のガス管を延長 500m に施工した場合を想定)
	材料分離抵抗性	ブリーディング率 0% ・ブリーディング水の発生による体積変化を生じないこと
	軽量性	密度 0.8g/cm ³ 以下 ・充填時に外径 900mm のガス管が浮き上がらない密度とする
硬化性状	強度特性	圧縮強度 0.2~0.5N/mm ² 程度 (材齢 28 日) ・ガス漏洩時に人力掘削できる程度の低強度
	発熱特性	硬化温度 60°C未滿 ・ガス管塗膜の耐熱温度以下
	透気性	透気係数 0.1cm/秒以上 ・漏洩時に、中詰材を透過して感知センサーまで到達すること
	通電性	ガス管の電気防食のために設置する電極の通電性を妨げないこと

2.3 中詰材の配合

開発した中詰材の使用材料および配合例を表-2に示す。一般に、ガスパイプライン敷設工事に求められる高い透気性を得るために中詰材の空気量を増やすと、時間経過に伴い、気泡の消失による材料分離が生じやすくなるので、長時間にわたる施工が困難となり、一度に充填できる流動距離が制限される。

このような課題に対し、所定の透気性を満足する空気量と材料分離抵抗性、流動性とのバランスを取り、従来よりも長時間の流動性を保持できる材料を開発した。

開発した中詰材は、エアモルタル系の材料で、新しく開発したベースモルタルに起泡剤を添加したものである。ベースモルタルは、セメント、ベントナイト、水を基本構成とし、これに微量のセルロースファイバーと流動化剤を添加したものである。

また、中詰材の流動性を高めるために、通常の2倍程度添加した流動化剤と膨潤性を有するベントナイトを併

用することで、長時間の材料分離抵抗性と流動性を保持している。さらに、透気性を向上するために、安定した独立気泡の生成に効果のあるノニオン系セルロースファイバーとノニオン系界面活性剤(起泡剤)を使用した。

表-2 中詰材の使用材料および配合例 (1m³当たり)

ベースモルタル (モルタル量 588L/m ³)					気泡 (気泡量 412L/m ³)		
単位量 (kg/m ³)					単位量 (kg/m ³)		空気量 (L)
水 W1	セメント C	ベントナイト B	混和剤 1	混和剤 2	水 W2	混和剤 3	
512	200	24	4.5	0.01	19.8	0.8	391
【使用材料】							
水 W1 : ベースモルタルの練混ぜ水							
水 W2 : 起泡剤の希釈に使用する水							
セメント C : 高炉セメント B 種、密度 3.04g/cm ³							
ベントナイト B : 特殊ベントナイト、密度 2.60g/cm ³							
混和剤 1 : 流動化剤、リグニンスルホン酸塩系粉末							
混和剤 2 : 助剤、ノニオン系セルロースファイバー							
混和剤 3 : 起泡剤、ノニオン系界面活性剤							

3. 中詰材の基本物性

3.1 試験項目および管理目標値

表-3に中詰材の試験項目と管理目標値を示す。

表-3 中詰材の試験項目および管理目標値

試験項目	試験方法	管理目標値
フロー	JHS A 313 シリンダー法 ・直径 8cm × 高さ 8cm の円筒コーンに試料を投入し、コーンを引き上げた時に広がる直径を測定する	150mm 以上
湿潤密度	重量法 ・所定容器の重量を計測して、フレッシュ時の密度を算出する	0.8g/cm ³ 以下
ブリーディング率	メスシリンダー法 ・メスシリンダーに中詰材を入れ、経過時間と水量を測定する	0%
圧縮強度	JIS A 1108 コンクリートの圧縮試験方法 ・試験体 φ50 × 100mm の円柱試験体を使用、材齢 28 日で実施 (各材齢 3 体)	0.2~0.5N/mm ²
透気係数	専用透気試験機 (図-6、写真-1 参照) により、側面をエポキシ樹脂でコーティングした円柱供試体 φ50 × 100mm の下面から透気する空気量と圧力を測定する	0.1cm/秒以上
硬化温度	簡易断熱温度上昇試験 ・断熱材で囲った型枠内に中詰材を打設し、熱電対により硬化時の温度を測定する (図-4 参照)	60°C 以下

3.2 フレッシュ性状

図-2に開発した中詰材のフローおよび湿潤密度の経時変化を示す。フローは、製造からの経過時間が長くな

るにしたがって小さくなっている。中詰材として、十分な流動性を示すフロー150mm以上を製造から7時間後まで確保しており、推進管とガス管との隙間部を充填完了するまで流動性を保持できた。

湿潤密度は、0.74~0.76g/cm³と製造から7時間後までほぼ一定の値を示しており、ガス管が浮き上がらない目標値0.8g/cm³以下を満足し、気泡の消失や材料分離のない安定した性状を確認できた。なお、製造から24時間後のブリーディング率は0%で材料分離を生じていない。

3.3 圧縮強度

図-3に空気量と圧縮強度の関係を示す。圧縮強度は、空気量の増加に伴って小さくなっており、空気量29.5~47.5%の範囲で人力掘削できる程度の低強度0.2~0.5N/mm²を満足した。

3.4 硬化温度特性

図-4に断熱温度上昇量測定用の断熱型枠、図-5に中詰材の温度測定結果を示す。混練直後の中詰材を発泡スチロール製の断熱型枠内に充填し、10日後(240時間)まで温度測定を実施した。最高温度(中央部)は、29.6℃と、目標値であるガス管塗膜の耐熱温度60℃未満を十分満足する硬化温度であった。

3.5 透気性

図-6に透気試験の概要、写真-1に透気試験状況を示す。本試験は、ダルシー則が成立するとして、下式により透気係数を算出する方法である¹⁾。

$$k = L \cdot Q / (h \cdot A \cdot t)$$

ここで、

k: 透気係数 (cm/秒)、L: 供試体高さ (cm)

Q: 流量 (cm³/秒)、h: 圧力 (高さ換算 cm)

A: 供試体断面積 (cm²)、t: 計測時間 (秒)

材齢28日まで気中養生した直径50mm×高さ100mmの円柱供試体の側面をエポキシ樹脂でコーティングすることで側面の通気を遮断して上下方向のみ透気するようにし、下面より圧力を段階的に変化させた時の透気量を流量センサーで測定した。透気試験は、室内配合試験および充填性確認実験時に実施し、透気係数は0.40~0.48cm/秒の値を示し、目標値の0.1cm/秒以上となった。

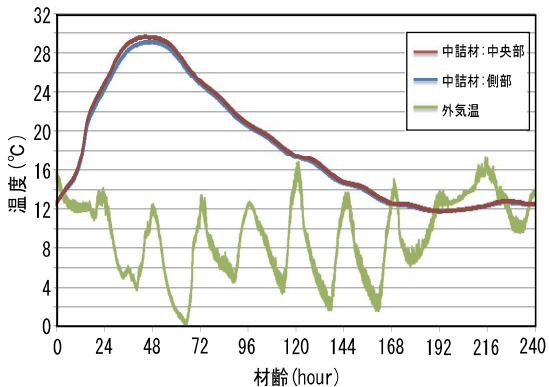


図-5 中詰材の温度の経時変化

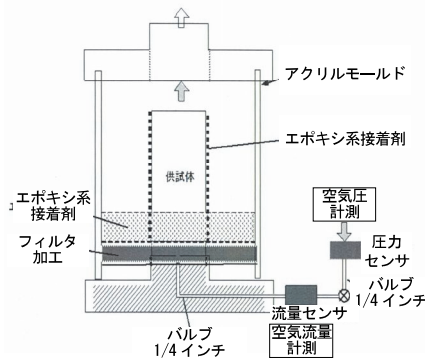


図-6 透気試験の概要



写真-1 透気試験状況

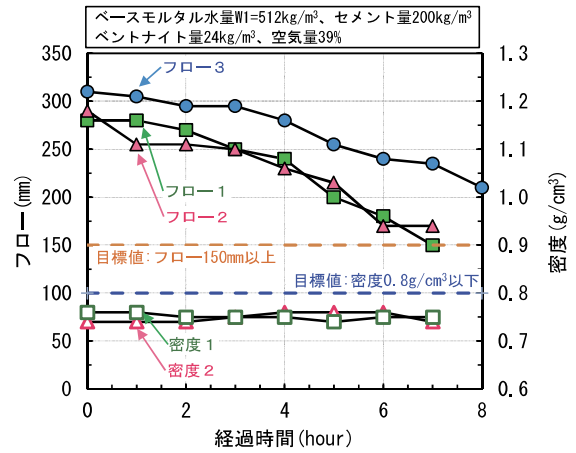


図-2 中詰材のフローおよび湿潤密度の経時変化

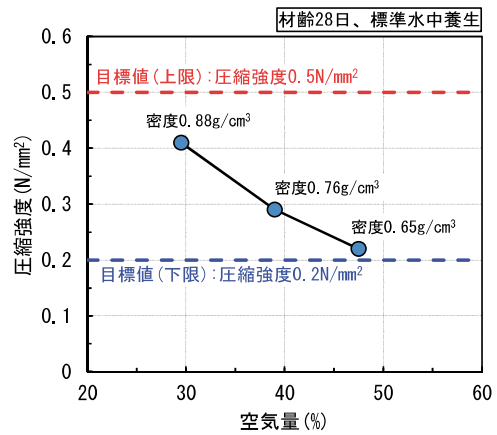


図-3 空気量と圧縮強度の関係

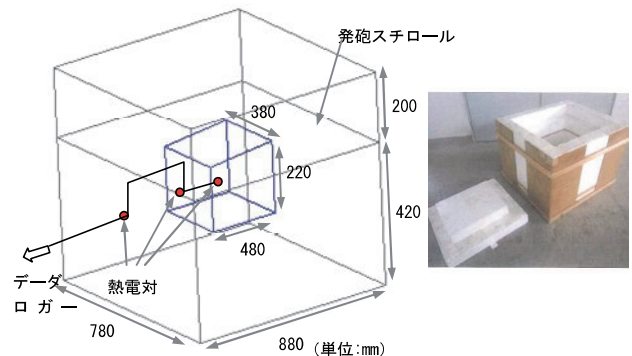


図-4 断熱温度上昇量測定用の断熱型枠

4. 性能確認実験

4.1 実験概要

a. 充填性確認実験

想定した条件での中詰材の充填性を確認するために、実大規模の円筒状鋼製型枠に、製造から所定の時間を経過した中詰材を充填する施工実験を実施した。

図-7に充填実験装置の側面図、図-8に中詰材の充填断面および写真-2に充填実験装置を示す。実験装置は、内径1100mmの鋼管の内側に、ガス管900Aに相当する外径900mmの鋼管を配置した。外側の鋼管は、中詰材の充填後に解体しやすいように3分割できる構造とし、充填状況を観察するためのアクリル製観察窓を設け、内側と外側の鋼管の隙間に中詰材を充填した。内側の鋼管には、実工事においてガス管の送り込み作業時に、ガス管を傷めないために装着するパイピングスムーサを設置しており、外側の鋼管との最小間隔は37.8mmである。

表-4に充填性の実験ケース、図-9に充填実験に用いた製造・圧送プラントの配置を示す。図-1に示したように、中詰材の充填に要する時間が中詰材の充填性に及ぼす影響を把握するために、実験装置への中詰材の充填開始時期をパラメータとした。ケース1は、製造直後の中詰材の充填性、ケース2は、施工延長500mの充填に必要な時間に相当する製造から7時間後の中詰材の充填性の把握を目的とした。なお、製造からの経過時間の7時間は、施工延長500m（空洞部の充填量約140m³）をモルタルポンプ（空気量40%の中詰材使用時の圧送量20m³/hour）1台により、完全に充填するのに必要な時間から算出した。また、製造から7時間後までの中詰材の練置き方法は、直径1.8mの攪拌機能付きタンクを使用し、攪拌速度を流動時間7時間として流動距離500mに対応するように4.75分/回転とした。

充填性実験は、実験装置の充填口から中詰材をモルタルポンプにより圧送、充填し、反対側のエア抜き口から中詰材が排出された時点で充填を終了とした（図-7参照）。

表-5に充填性実験の測定項目を示す。フローと密度は製造直後から7時間後までの経時変化、ブリーディング率は製造直後と7時間後の比較、充填状況は充填中の赤外線カメラの温度分布と硬化後の目視観察とした。

表-4 充填性の実験ケース

No.	中詰材の充填開始時期	練置き方法
ケース1	製造直後 ・製造直後の充填性	—
ケース2	製造から7時間後 ・施工延長500mの充填に相当する時間での充填性	攪拌

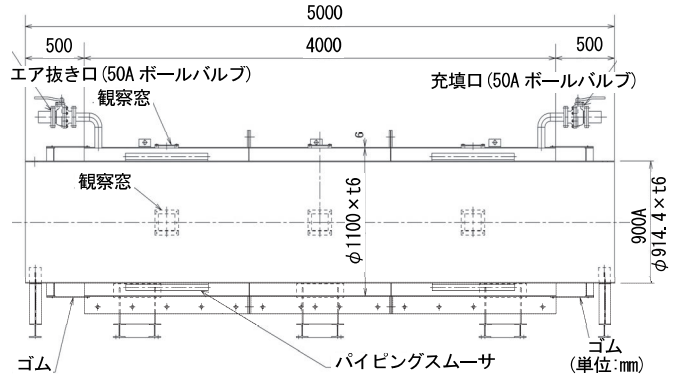


図-7 充填実験装置（側面図）

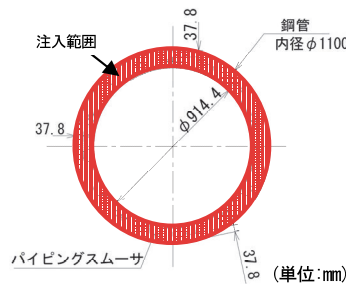


図-8 中詰材の充填断面



写真-2 充填実験装置

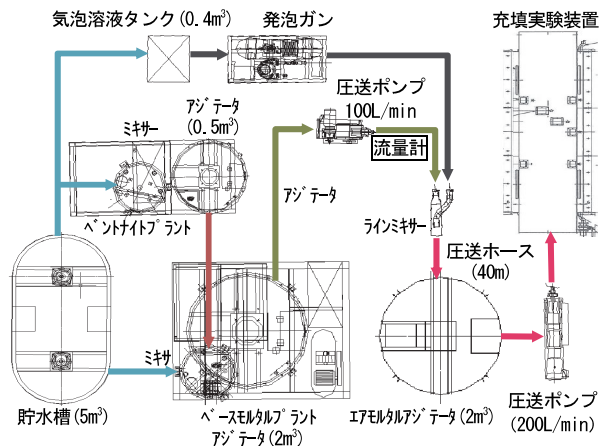


図-9 製造・圧送プラントの配置

表-5 充填性実験の測定項目

試験項目	試験方法及び試料採取時期	管理目標値	
フロー	JHS A 313 シリンダー法 ・製造直後から1時間ごとに7時間後までの8回	150mm以上	
湿潤密度	重量法 ・製造直後から1時間ごとに7時間後までの8回	0.8g/cm ³ 以下	
ブリーディング率	メスシリンダー法 ・製造直後と7時間後の2回	0%	
充填性	充填中	赤外線カメラの温度分布	—
	硬化後	脱型後の目視観察	—

b. 流動後の性能確認実験

延長 500m を中詰材が流動することによる物性への影響を確認するために、製造直後の中詰材を用いて流動後の性能確認実験を行った。

写真-3 に簡易流動実験器を示す。実験方法は、幅 300mm、高さ 150mm、長さ 2000mm の塩化ビニル製実験器を傾斜させ、製造直後の中詰材を流動距離に相当するまで繰り返し自然流下させた。なお、流動実験器の傾斜角度は、予備試験結果から中詰材が自然流下できる 34° とした。

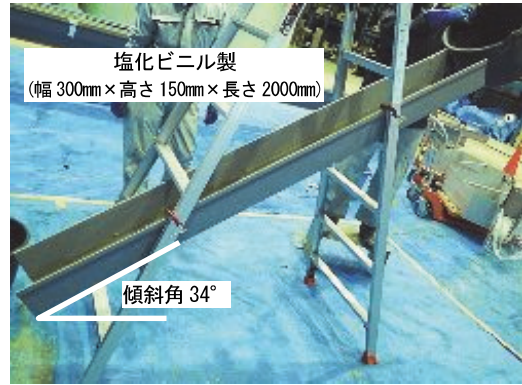


写真-3 簡易流動実験器

表-6 に流動後の試験項目を示す。流動前、流動距離 250m、500m の試料を用いて、中詰材の物性（フロー、密度、ブリーディング率、圧縮強度、透気係数）を測定した。

4.2 実験結果

a. 充填性確認実験

実機による製造から 7 時間後までの中詰材の経時変化について、フローは、十分な流動性を示す目標値 150mm 以上を確保し、湿潤密度は、ガス管が浮き上がらない目標値 0.8g/cm³ 以下を満足した。また、製造から 7 時間経過した中詰材の 24 時間後のブリーディング率は 0% であった。これにより、開発した中詰材は、実施工に必要な充填時間中に所要の性能を確保できた。

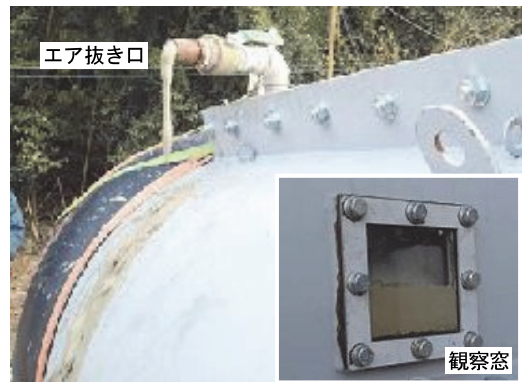


写真-4 充填確認状況（エア抜き口と観察窓）

写真-4 に充填確認状況（エア抜き口からの中詰材の吐出と観察窓）、図-10 に中詰材充填中の赤外線カメラによる温度分布と可視画像を示す。今回の実験では、鋼製型枠の温度に比べて、中詰材の練上がり温度の方が低かったことから、充填中に鋼製型枠の表面温度が低下した境界線までを中詰材の充填範囲と判断した。また、ケース 2 の中詰材の充填側の流動勾配は約 11~16% で推移した。さらに、中詰材が充填口と反対側の端部まで到達すると、流動勾配はゆるやかになり、中詰材の液面が上昇する性状を示した。材齢 28 日後に外側の鋼管を解体し、中詰材の充填状況を確認した。写真-5 に中詰材の硬化後の充填状況を示す。突起があるパイピングスムーサの周辺も含め、中詰材が空隙なく充填されていることを確認した。これにより、製造から 7 時間経過した中詰材を用いた場合に、最小間隔 37.8mm の推進管とガス管との隙間部が充填可能であることを確認した。

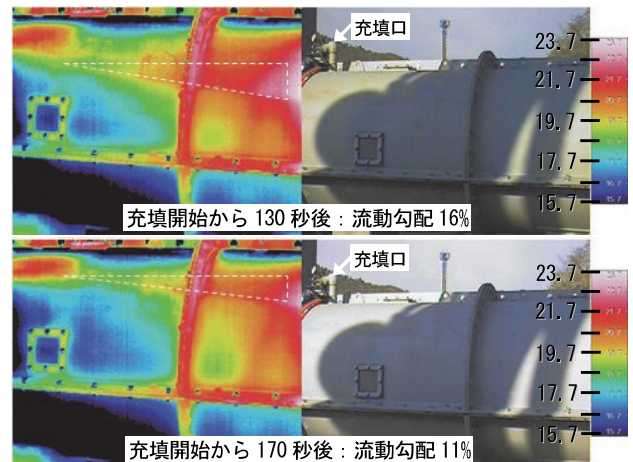


図-10 赤外線カメラによる温度分布と可視画像（ケース 2）

表-6 流動後の試験項目

試験項目	試験方法と測定時期	管理目標値
フロー	JIS A 313 シリンダー法 ・流動距離 0, 250, 500m	150mm 以上
湿潤密度	重量法 ・流動距離 0, 250, 500m	0.8g/cm ³ 以下
ブリーディング率	メスシリンダー法 ・流動距離 0, 250, 500m	0%
圧縮強度	JIS A 1108 圧縮試験方法 ・流動距離 0, 250, 500m	0.2~0.5N/mm ²
透気係数	専用透気試験機（図-6 参照） ・流動距離 0, 500m	0.1cm/秒 以上



写真-5 硬化後の充填状況（ケース 2）

表一 7 製造直後の中詰材を用いた流動後の性能確認試験結果

項目 (目標値)	バッチ No.	流動距離 (m) ()内は製造からの経過時間		
		0	250	500
フロー (150mm 以上)	1	240	195 (2時間)	190 (4.5時間)
	2	280	215 (1.5時間)	200 (3時間)
湿潤密度 (0.8g/cm ³ 以下)	1	0.69	0.70	0.68
	2	0.72	0.70	0.69
ブリーディング率 (24時間後 0%)	1	0	0	0
	2	0	0	0
圧縮強度 (0.2~0.5N/mm ²)	1	0.261	-	0.282
	2	0.255	0.279	0.276
透気係数 (0.1cm/秒以上)	1	0.48	-	0.41

b. 流動後の性能確認実験

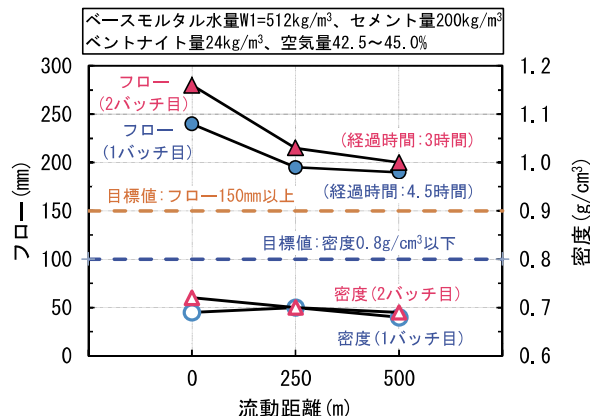
表一 7 に製造直後の中詰材を用いた流動後の性能確認試験結果、図一 11 に製造直後の中詰材による流動距離とフロー、湿潤密度の関係を示す。今回の実験では、中詰材の 500m の流動時間は 3.0~4.5 時間となり、フローは、経過時間および流動距離の増加に伴って小さくなるが、流動距離 500m 時のフローは 190mm と目標値の 150mm 以上を示した。また、湿潤密度は、流動中の空気の巻き込みにより流動距離の増加に伴ってやや軽くなっており、流動距離 500m 時の密度は 0.69g/cm³ と目標値の 0.8g/cm³ 以下を示した。

図一 12 に製造直後の中詰材による流動距離と圧縮強度の関係を示す。500m 流動後の圧縮強度は、流動前と同等の値を示しており、流動による影響が小さいことがわかる。また、流動後のブリーディング率および透気係数は目標値を満足し、流動後でも高い材料分離抵抗性と透気性を確保できた。

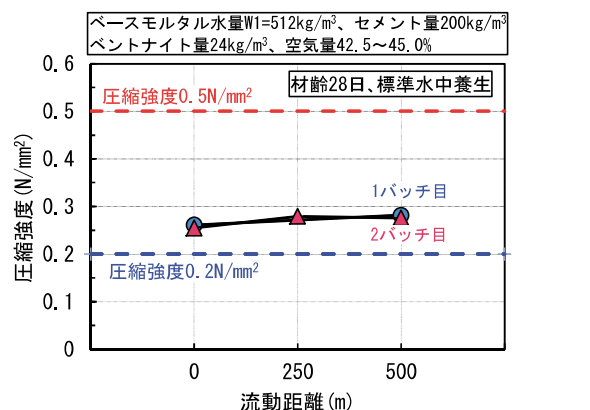
5. まとめ

ガスパイプライン敷設工事における延長 500m の推進官とガス管との隙間部を一度に施工できる中詰材の開発を目標に、配合試験、充填性確認実験および流動後の性能確認実験を実施し、以下の結果を得た。

- i. 開発したエアモルタル系中詰材は、通常の 2 倍程度添加した流動化剤と膨潤性を有するベントナイトを併用することで、長時間の材料分離抵抗性と流動性の保持を実現した
- ii. ノニオン系セルロースファイバーとノニオン系界面活性剤 (起泡剤) を使用することで、消失のない安定した気泡の生成により、中詰材の所要の透気性が得られた
- iii. 充填作業に必要な製造から 7 時間経過した中詰材の物性は目標値を満足し、最小間隔 37.8mm の隙間部の充填が可能であった



図一 11 製造直後の中詰材による流動距離とフロー、湿潤密度の関係



図一 12 製造直後の中詰材による流動距離と圧縮強度の関係

- iv. 製造直後の中詰材による 500m 流動後の物性は目標値を満足し、フロー 190mm 以上の優れた流動性、ブリーディングのない材料分離抵抗性、圧縮強度 0.2~0.5N/mm² の目標の強度発現と透気係数 0.4cm/秒の高い透気性を示した

6. あとがき

ガスパイプライン敷設工事におけるガス管周辺の充填に使用するために、長時間の流動性を保持し、優れた充填性・透気性を有する中詰材を開発した。今後は、本中詰材をガスパイプライン敷設工事において、工期短縮やコスト低減に寄与する材料として、積極的に提案したい。また、空気量やセメント量を調整することで、流動性のさらなる向上や強度設定の自由度が増すため、透気性を必要としない中詰材としても広く展開したい。

【参考文献】

- 1) 木原晃司、吉田宣弘、山之内宏安、平原 龍、「ガス導管用長距離トンネル内充てん材に対する迅速かつ標準化した透気性確認試験方法及び装置」、地下空間シンポジウム論文・報告集、第 15 巻、pp.95-102、2010.1