

エアモルタルによる最長6.3kmの ガス幹線シールド中詰め材料の開発と施工

Air mortar filling shield tunnel for gas trunkline at maximum distance of 6.3km

木原晃司¹・木田博光²・大野俊夫³・坂本真⁴・渡邊有寿⁴

Koji Kihara, Hiromitsu Kida, Toshio Ohno, Shin Sakamoto, Yuji Watanabe

¹正会員 工修 東京ガス（株）東部導管NC（〒116-8522 東京都荒川区南千住3-13-1）

²正会員 鹿島建設（株）東京土木支店（〒107-0051 東京都港区元赤坂1-1-16中井ビル）

³正会員 工博 鹿島建設（株）技術研究所（〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1）

⁴正会員 工修 鹿島建設（株）技術研究所（〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1）

E-mail : sakamosh@kajima.com

The air mortar has been newly developed in order to apply in practice as the filling material for space between gas pipe and segment in the shield tunnels of the gas trunkline. The newly developed air mortar could be stably conveyed in narrow tunnel by means of pumping at the maximum distance of 6.3km. This long pumping distance could be achieved by separately conveying the base mortar and the liquid for air bubbles to the placing location. Finally, the base mortar and air bubbles were mixed near the placing point.

Key Words : Gas trunkline, Air permeability, Air mortar, Pumpability for long distance

1. はじめに

東京ガス（株）は首都圏の増加するガスの需要に対応して、ガスの安定供給を確保するため、既存の環状幹線の中央を貫く新たな高圧幹線「中央幹線（23.1km）」（図-1参照）を2009年の完成を目標に建設している。ガス配管敷設後のトンネル内空隙は透気性を有するエアモルタルで充てんする。本報では、

この空隙を充てんする新たなエアモルタルの開発として、室内配合試験、ポンプ圧送実験、充てん性実験の結果およびこれまで施工が完了した現場での品質管理結果について報告する。

2. 工事概要

本幹線は、首都圏を縦断する23.1kmを、5本（トンネル延長3.8 + 4.4 + 3.8 + 4.8 + 6.3km）の小口径（内径φ2000mm）泥水加圧式シールド機で施工するもので、小口径・大深度・長距離の世界トップ水準の工事である。本工事の路線は東京下町の密集した商工業地域であり、立坑立地の確保が難しいこと、既設の地下構造物への影響を低減すること、地域住民・交通への影響を出来るだけ少なくすることが課題であったが、「大深度」、「親子シールド」、「長距離施工」、「高速施工」、「地中接合」、「立体化立坑」を採用することにより課題を解決した^{1)～5)}。

セグメントは鋼製セグメントを採用し、そのまま本設として利用し、ガス配管とセグメント間の空隙はエアモルタルで充てんする。図-2に完成時のトン

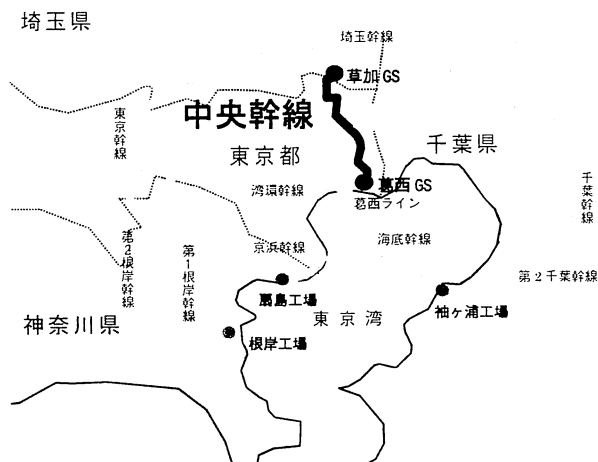


図-1 中央幹線路線図

ネル断面を示す。エアモルタルの計画総打設量は 86,250m³である。

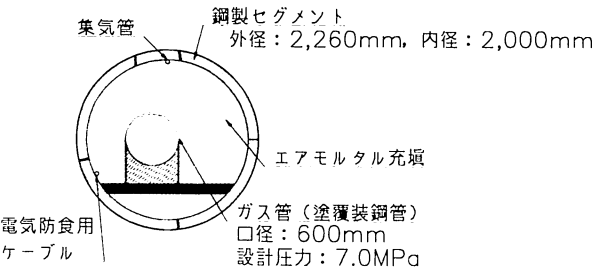


図-2 トンネル断面

3. 開発背景

(1) 要求性能

本工事に求められた中詰め材の要求性能を表-1に示す。従来、ガス導管工事におけるトンネル内の中詰め材としては、エアモルタルやセメントベントナイトモルタルが用いられてきたが、エアモルタル自身を長距離圧送する場合、気泡の消失に伴う材料分離などが生じ品質が安定しないという課題があった（実績1.5km程度）。また、従来の中詰め材では透気性を満足することが困難と想定された。

以上、本工事の中詰め材には多岐にわたる性能が求められ、これら全てを満足する材料の開発が必要であった。

表-1 要求性能と目標値

No.	要求性能	対象	目標値
①	ガス漏れを検知できる透気性を有すること	エアモルタル	透気係数 $Ka=1.0 \times 10^{-1}$ (cm/sec)以上
②	硬化熱によるガス管(銅管)塗覆に悪影響がないこと	エアモルタル	硬化熱60℃以下
③	長距離圧送が可能である	ベースモルタル	(6km程度として) P漏斗流下時間10秒以内 かつ2.5時間程度の経時保持
④	打設時のガス管の浮上り防止の観点から、材料の湿潤密度がガス管の見掛け密度より軽いこと	エアモルタル	湿潤密度 0.63kg/cm ³ 以下
⑤	硬化後も容易に掘削できること	エアモルタル	圧縮強度(材齢28日) 0.5N/mm ² 程度
⑥	充てん性に優れること	エアモルタル	エアモルタルフロー 205±25mm

(2) 工法の選定

エアモルタルの圧送方法には、エアモルタルをあらかじめプラントでのミキシング過程で泡立てて製造し、圧送する「ミキシング方式」と、ベースモルタルと起泡剤を別々に圧送し、事前に起泡剤を単独で泡立てて打設直前で混合させる「プレフォーム方式」がある。本工事では、①長距離トンネル内の中詰めするため、プラントから打設地点までの距離が長く、②小口径シールドトンネルの限られた空間内

でプラント設備を設置することは困難であることから、後者の「プレフォーム方式」を採用することとした。なお、安定したエアモルタルを製造するために、混合する気泡量をベースモルタルの流量の変化に合わせて調整することが必要である。そこで、本工事では、材料開発と平行し、狭小トンネル内でベースモルタルと気泡剤を効率的に混合できる混合装置と、ベースモルタルと気泡剤の混合割合を自動計測して常に一定の割合になるように自動で調節することができる制御装置を開発している。

4. 開発実験

(1) 室内配合試験

本工事で要求された性能を満足するためには、材料の選定、配合比率から検討する必要があった。室内における配合選定試験では、空気量・単位水量および水結合材比等を水準とした種々の試験を実施し、要求性能を満足することを確認した。なお、本開発にあたり、起泡剤は硬化後の気泡が連続気泡となりやすく、透気性確保に有効な特殊起泡剤を使用した。

表-2 に室内配合試験から得られた配合を示す。

表-2 配合

エアモルタル 理論 湿潤密度 (g/cm ³)	空気量 (%)	気泡量 (%/m ³)	ベースモルタル				
			単位量(kg/m ³)			AE減水剤 (C×%)	ベース モルタル量 (%/m ³)
			水	セメント	骨材		
0.522 ~0.547	68	710	173 ~184	173 ~154	173 ~154	1.1~0.3	290

要求性能①④⑤については所定の湿潤密度であること、材齢 28 日の圧縮強度が 0.5N/mm²程度であること、および透気試験により硬化後材齢 28 日での透気係数が要求性能である $Ka=1.0 \times 10^{-1}$ (cm/s)以上を確保できることを確認した。

要求性能③のうち経時保持性については、本検討で決定したベースモルタルの配合は、長時間圧送しても材料の沈降(材料分離)を生じにくいものとし、AE 減水剤の添加率を調整することで、圧送距離・時間に応じた経時保持時間を調整することができた。

(2) ベースモルタル圧送実験

室内配合試験にて選定したベースモルタル配合を用いて、圧送実験を実施した。練り混ぜたベースモルタルを配管(2B 塩ビ管、延長 220m、曲がり 4 箇所)でポンプ循環圧送し、管内の圧力損失を圧力計にて計測した。図-3 にベースモルタルの P 漏斗流下時間と圧送距離 100m あたりの圧力損失の関係を示す。ベースモルタル最大圧送距離約 6km に対応するため、

計画として 1.5km から 2.0km 間隔に中継設備を設置する計画とし、図よりベースモルタルの P 漏斗流下時間と圧力損失の関係を把握することで、ポンプ機種を選定とベースモルタルの圧送距離・中継設備位置に関する施工の目安を得た（要求性能③の確認）。

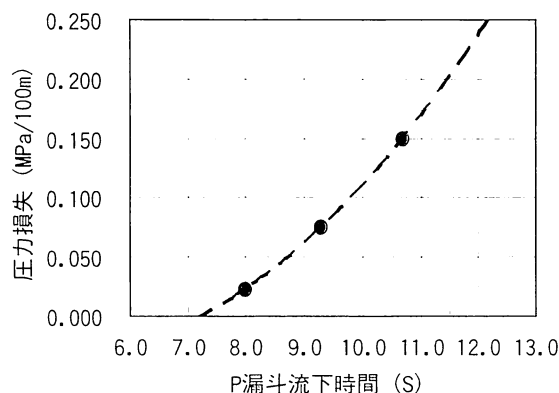


図-3 ベースモルタルの圧力損失

(3) エアモルタル圧送実験、流動性実験

実施工と同様の配管（3B 塩ビ管，曲がりなし）を用いて 100m のエアモルタル圧送実験を行い，圧力損失の計測および圧送前後の性状確認を行った。実験結果より，圧送距離が 100m であれば圧力損失にも影響を及ぼさないこと，および圧送前後にてフレッシュ性状および硬化物性の変化がほとんど見られないことを確認した。

また，セグメント内のリブを模擬した型枠内にエアモルタルを打設し，流動勾配や良好な流動性を有することを確認した（写真-1）。

(4) 実物大充てん実験

実物のセグメント（L=10m）を使用し，エアモルタルの施工性および天端，ガス管下部や据付け架台付近の充てん性の確認実験を行った。充てん状況を写真-2 に示す。硬化後，型枠を撤去し充てん状況を確認した結果，天端まで一様に充てんされていることを確認した（要求性能⑥の確認）。また，写真-3 に示すように，硬化後のエアモルタルは人力（スコップ）によって掘削が可能であることが確認された（要求性能⑤の確認）。

(5) 硬化熱の確認（温度シミュレーション）

別途実施した熱特性試験により，エアモルタルの熱特性を把握し，前述の実物大充てん実験で計測した温度データを用いて，温度解析によるトンネル内の温度予測を行った（図-4）。解析により，エアモルタル打設時にガス配管内部を流れる空気の温度が 50℃ 以下であれば，ガス配管表面の温度は 60℃ に達しないことを確認した。なお，前述の実物大充てん実験においても，ガス配管表面でも 60℃ 以下である



写真-1 流動性実験



写真-2 実物大充てん性実験（流動性）



写真-3 実物大充てん性実験（掘削性）

こと，および配管全長にわたりエアモルタルの硬化熱による配管塗覆の変質は見られず，品質不良を生じさせないことを確認している（要求性能②の確認）。

5. 施工実績

図-5 に機械配置図を示す。ベースモルタルは地上プラントにて練り混ぜ，打設箇所手前に設置した移動式打設設備まで圧送した。なお，ベースモルタル圧送実験での結果より，1.5km から 2.0km の間隔で中継設備を設置した。

起泡剤は地上プラントで希釈し，中継設備を介さずに打設設備まで圧送し，打設設備にて発泡させた。この発泡させた気泡とベースモルタルを打設直前で混合し，エアモルタルを打設した（前述のプレフォーム工法）。

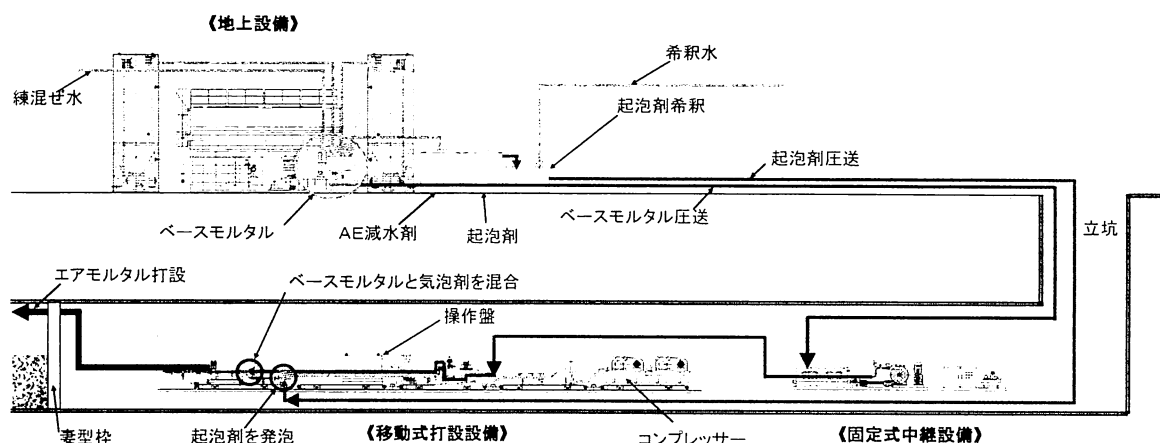


図-5 機械配置図

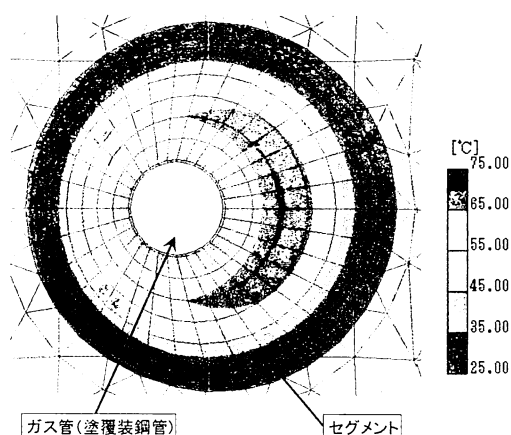


図-4 温度解析（実施工シミュレーション）

実施工におけるエアモルタル打設・流動状況を写真-4 に示す。前述の実物大充てん実験結果と同様、トンネル内を流動してきたエアモルタルのフレッシュ性状は良好であることが確認された。写真-5 はトンネル内打設箇所におけるエアモルタルの品質管理状況である。試験項目は湿潤密度、フロー値である。また、図-6 に品質管理結果（6.3km 区間）の例を示す。横軸の打設回数（1 回目）は、立坑から 6.3km の地点である。エアモルタルの湿潤密度およびフロー値は、実施工の長距離圧送においても規格値範囲内に収まっていることが分かる。また、硬化後の性状として、圧縮強度（材齢 28 日）は、1 回/月の頻度で確認しており、規格値である 0.5N/mm^2 程度を満足した。透気係数は各工区で規格値 $1.0 \times 10^{-1}\text{cm/sec}$ 以上を満足しており、良好な品質管理結果が得られていることが分かった。

写真-6 は硬化後の充てん状況（妻型枠脱型時）である。実物大充てん実験同様、良好な充てんを確認



写真-4 現場打設・流動状況



写真-5 現場品質管理状況



写真-6 充てん状況（妻枠脱型後）

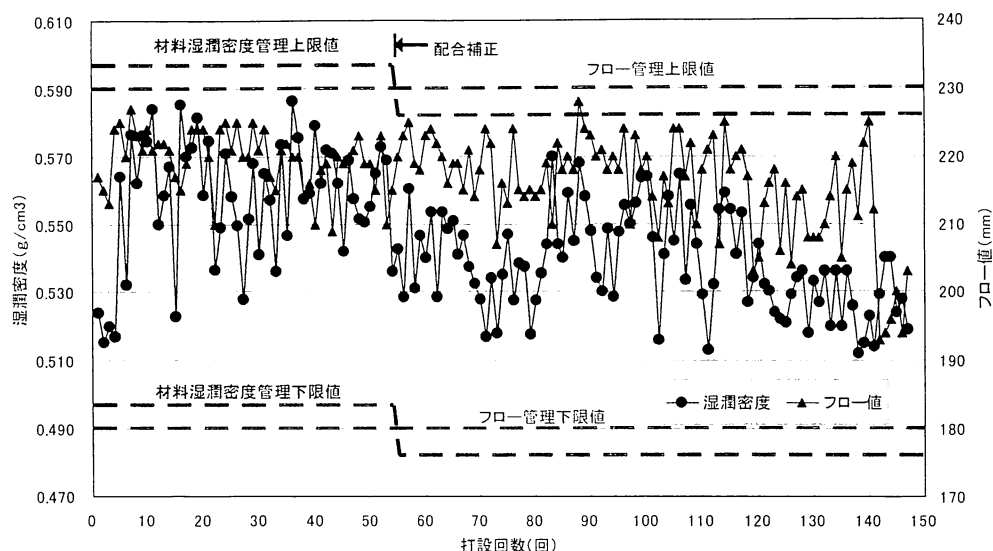


図-6 品質管理結果

した。また、エアモルタル打設時のガス配管塗覆温度を測定したところ、打設から1.5日後にガス配管塗覆では最高温度41.6℃を記録した。この時のガス配管内の温度は28.5℃であった。これは、ガス配管塗覆温度の規格値である60℃以下を満足するとともに、事前の温度シミュレーション結果とほぼ合致するものであった。

6. まとめ

ガス幹線シールドトンネルの中詰め材に、新たに開発した透気性を有するエアモルタルを開発し、適用した「長距離施工」や「高速施工」の採用により、今回の工事においては立坑間の距離が長くなり、これまでにないほどの長距離を材料運搬し、打設することが求められた。本検討で新たに開発された、狭小なトンネル内で安定してベースモルタルと気泡を混合する装置と、打設地点付近で気泡を混合する方式により、透気性を有し、かつ最大6.3kmのベースモルタルの長距離圧送を行っても安定した品質を確保することができた。そして、2008年8月末には総延長23.1kmのシールドトンネル内を、総打設量約86,000m³のエアモルタルで打設を完了させた。

今回の長距離の中詰め施工技術は、近年増加しているシールドの超長距離化の傾向とあわせ、ますますニーズが高くなっていく技術であると考えている。また、本検討で開発した材料は、配合調整を行うことにより、様々な強度・流動性・経時保持性の選択が可能であり、ガス配管の中詰め以外にも、透水性を要求される埋戻し材・盛土材等への適用も可能である。施工も基本的には既存の設備で対応可能であ

り、材料・設備ともに従来のエアモルタルと比較してもコスト的にも有利になると考える。

本材料と、本工事の実績がシールド工法の超長距離化の一端を担う技術になることを期待し、また今後の参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 木原晃司，矢口岳彦，木田博光，上原啓史：小口径親子シールドで大深度・長距離の高圧ガス管路を建設，トンネルと地下，Vol.38，No.2，pp.35-42，2007.2
- 2) 木原晃司，矢口岳彦，木田博光，上原啓史：大深度・高水圧下における機械式地中接合，トンネルと地下，Vol.38，No.11，pp.35-42，2007.11
- 3) 木原晃司，木田博光，上原啓史：2本同時施工の両発進立坑で月進800mを可能にしたシールド工事の計画と実績，トンネル工学報告集第17巻，pp.263-268，2007.11
- 4) 木原晃司，矢口岳彦，木田博光，上原啓史：都市部における長距離大深度高圧ガス輸送幹線の建設，地下空間シンポジウム論文・報告集，第13巻，pp.271-276，土木学会，2008.1
- 5) 木田博光，江森道雄，山田敏博：両発進立坑における長距離・高速掘進シールドの施工実績，平成19年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集，pp.159-164，日本建設機械化協会，2007.10