イオン系増粘剤を使用した可塑性注入材の開発　－ポンプ圧送性状－

熊谷組　技術研究所　　正会員　○金森　誠治，佐藤　孝一
熊谷組　土木事業本部　正会員　　森　　康雄，岩井　孝幸

１．はじめに

矢板工法によってつくられたトンネルでは支保工や矢板が支障となって覆工背面に空洞が存在している場合がある。当社では、このようなトンネルの安定性、耐久性を向上させるために可塑性注入材料を開発した。また、対象となるトンネルの背面空洞注入工事の施工条件は様々であり、施工方法は表１に示す３つに大別される。本材料の開発実験として昨年までにパターン 1,2 の施工方法の検証実験を行ったが、生コン車での搬送が困難な小断面トンネルで大量打設を行う場合にはポンプ圧送による長距離搬送が不可欠となる。そこでパターン 1’に示す施工形態をモデルとして、実大規模（配管実長 111m）で可塑材ポンプ圧送実験を行い圧送性状と圧送が注入材に与える影響の確認を行うことにより、本注入材の長距離圧送の評価を行った。

表１　可塑性注入材の施工方法

施工形態	注入材の製造	材料	材料の供給	搬送	打設方法	施工能力
ﾊﾟﾀｰﾝ 1	坑外に設置したプラントで製造	サイロに貯蔵	自動計量	生コン車で運搬	小型ポンプ	大（50m³/日以上）
ﾊﾟﾀｰﾝ 1’				配管による圧送充填		
ﾊﾟﾀｰﾝ 2	坑内に資機材を搬入して製造	袋入り材料(25kg)で搬入	人力でミキサに投入	－	小型ポンプ	小（10m³/日以下）

２．使用材料と練り混ぜ方法

開発した可塑性注入材はバッチ練りミキサで、フライアッシュ（FA)、セメント（C)、水（W)、可塑性混和剤（Ａ剤、Ｂ剤）を混合攪拌して製造する１ショットの可塑性注入材であり、可塑性、軽量性、水中不分離性、高い充填性、非漏出性を有し、従来の注入材と比較してブリーディングおよび沈降量が著しく少ないことが特徴である。本注入材で設計強度が 1.5N/mm² の Type1 配合と 18N/mm² の Type2 配合の基本配合を表２に、使用材料を表３に示す。

表２　注入材の基本配合

	W (kg)	C (kg)	FA (kg)	Air (%)	可塑性混和剤（kg） A剤	可塑性混和剤（kg） B剤
Type1	350	170	883	20	5.25	5.25
Type2	385	549	537	20	5.78	5.78

表３　使用材料

フライアッシュ	碧南火力発電所産 JISⅡ種灰(密度 2.28)
セメント	普通ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞｾﾒﾝﾄ(密度 3.04)
増粘剤	ｱﾙｷﾙｱﾘﾙｽﾙﾎﾝ酸系２液ﾀｲﾌﾟ VT-A,VT-B
練混水	水道水

本実験では上記の注入材を二軸強制練りミキサを使用して製造した。練り混ぜ方法は、セメント、フライアッシュ、水、可塑性混和剤のＢ剤を投入した後に 60 秒の予備練りを行い、その後Ａ剤を投入して 60 秒の本練りを行った。

３．ポンプ圧送実験概要

ポンプ圧送実験は Type1 配合でスクイーズ式ポンプを使用して行った。配管は 100A 管と４インチフレキシブルホースを使用して実長 111m とした。試験項目は圧送前後の注入剤性状変化の有無を確認するためのフレッシュ性状確認試験（モルタルフロー、空気量）と管内圧力とし

表４　配管計画

位置	配管種類	距離 (m)	累積距離 (m)
P1　～　P2	100A水平管	7.000	7.000
P2　～　P3	100A-1000Rベント管	2.070	9.070
P3　～　P4	100A水平管	31.000	40.070
P4　～　P5	100A-1000Rベント管	1.820	41.890
	100A-水平管	12.000	53.890
	100A-1000Rベント管	1.820	55.710
P5　～　P6	100A-水平管	34.000	89.710
P6　～　P7	100A-1000Rベント管	2.070	91.780
P7　～	100A-水平管	12.250	104.030
－　～　－	100Aフレキシブルホース	7.000	111.030
合計		111.030	－

キーワード　トンネル覆工，空洞充填，注入材，可塑性，圧送実験
連絡先　〒162-8557 東京都新宿区津久戸町 2-1　(株)熊谷組技術研究所 TEL:03-3235-8723　FAX:03-3235-9215

た。圧送実験の配管配置と圧力計測位置を表４および図１に示す。管内圧力の測定はフレッシュダイアフラム型の圧力計を用いて配管図に示す７箇所(P1～P7)で行った。圧送スピードは実際の施工の 1.5～2 倍となる約 5m³/時と設定した。

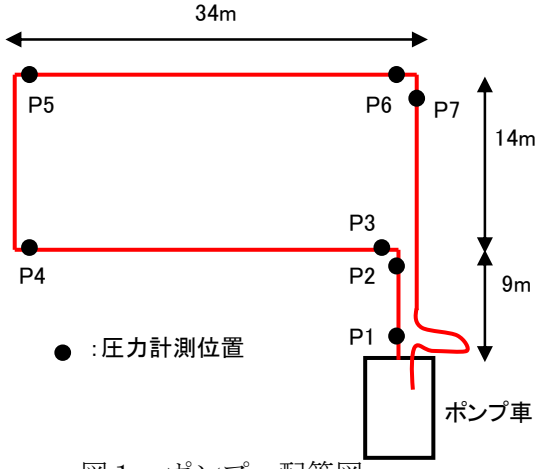

図１　ポンプ・配管図

４．圧送実験結果

測定した圧力計測結果を図２に、圧送前後の注入材のフレッシュ性状試験結果を表５に示す。圧力計測の結果、ポンプ車付近で最大圧力となる約 1.3Mpa の値が計測された。本材料の管内圧力損失は 100A の直管で 0.008～0.015Mpa/m、1000R の 90° ベント管で約 0.05Mpa/m の結果であった。また、ポンプ圧送実験中に圧送停止時間を設け、30 分後の圧送再開時の圧送可否を確認した。その結果、再圧送開始時にも大きな圧力上昇は見られず、問題なく再圧送が可能であった。

圧送前後のフレッシュ性状にも大きな変化が見られず、圧送後も練りあがり直後と同等の品質であることが確認された。

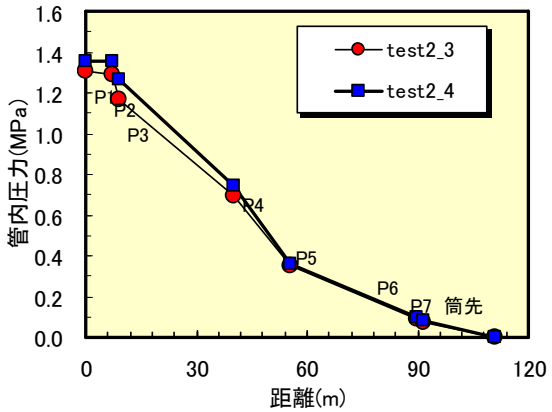

図２　圧力計測結果

５．フレッシュ性状経時変化試験概要

長距離圧送等の時間を要する施工方法では注入材の経過時間におけるフローロスを原因とする閉塞が発生することがある。そこで注入材のモルタルフロー経時変化の確認試験を実施した。経時変化試験は Type1、Type2 の各配合に関して、モルタルフロー（静置、15 打）と空気量を実施した。試験は練りあがり直後の注入材を 20L バケツに静値で保管し、各試験時間に軽く練り返しを行って試験を実施した。試験は練り上がり直後から 180 分まで行った。

表５　圧送前後の性状変化

物性		単位	圧送前	圧送後
フロー値	静置	mm	110×106	108×106
	15 回打撃	mm	185×182	182×178
単位体積重量		kN/mm³	15.03	14.98
空気量		%	15.2	15.5

６．フロー性状経時変化試験結果

注入材 Type1 と Type2 のモルタルフロー径時変化試験結果を表６に示す。いずれのケースも練り上がり直後から 180 分まで大きなフローロスは見られなかった。これは静値フローおよび 15 回打撃フローいずれにもあてはまることから、練り上がり 180 分まで注入材のフレッシュ性状は変化していないと判断でき、長距離圧送等の練り上がりから打ち込みまでに時間を要する場合でも閉塞の可能性が低い材料であると判断できる。

７．まとめ

開発した注入材の長距離ポンプ圧送実験(111m)を行い、その性状が良好なことが確認された。また、注入材の経時変化試験によりフレッシュ性状が練り上がりから 180 分まで変化がないことが確認できた。この結果から本可塑性注入材は 110m 規模の圧送施工に対応できることが確認できた。

表６　注入材の径時変化試験結果

材料の種類	条件	直後	60 分	90 分	120 分	150 分	180 分
Type1	静置	113×108	105×104	106×105	106×106	105×105	106×106
	15 回打撃	164×163	160×160	162×162	162×161	164×163	165×165
Type2	静置	114×112	113×110	114×112	115×114	120×115	114×113
	15 回打撃	176×174	173×171	173×171	173×173	177×174	170×169

参考文献: 1)金森誠治ら:ｲｵﾝ系増粘剤を使用した可塑性注入材の開発-配合選定試験-, 土木学会第 62 回年次学術講演会, pp401-402, 2007.9

2)森康雄ら:ｲｵﾝ系増粘剤を使用した可塑性注入材の開発-性能確認試験結果-, 土木学会第 62 回年次学術講演会, pp403-404, 2007.9