

セメント系急硬材を用いた注入材の強度・剛性発現特性

大成建設 土木技術研究所 正会員 ○城 まゆみ, 谷 卓也
電気化学工業 田中 秀弘, 松本 雅夫

1. はじめに

土かぶりの浅いトンネルの地表面沈下対策や脆弱地山における切羽安定対策として、鋼管を用いた長尺先受工が行われている。さらに、地山状況によっては、鋼管に地山改良を目的としたセメント系急硬材を用いた充填が行われる。

この鋼管による先受工の効果を数値解析により評価する場合、鋼管と充填材の合成部材の軸剛性は内部の充填材の影響を受けて鋼管自体の軸剛性よりも大きくなると考えられ、その確認・検討が必要となった。特に先受工の効果を評価する場合、施工サイクルとの関係から打設直後の初期材齢における軸剛性の把握が重要である。そのため、セメント系急硬材を用いた充填材について、材齢 1 日までの供試体について一軸圧縮試験を実施して強度・剛性の発現特性を確認した。

2. 試験材料と試験方法

試験に用いた材料を表-1 に示す。使用材料の一つである急硬材（デンカ ES、電気化学工業製）は、ポルトランドセメントと混合し水和反応すると急速に硬化して、長期にわたって安定した強度特性を有するセメント系の急硬材である。また、セッターを用いることにより、強度特性を変えないで任意にゲルタイムの調整を行うことができるという特徴を有している。

配合については、低土かぶりのトンネル現場で施工した際に用いた 2 種類の配合で試験を行った。表-2 に示すように「配合 A」, 「配合 B」と称する。セッター量については、事前に行った予備試験の結果を参考にし、ゲルタイムが 5 分程度となるよう急硬材に対し 1 %とした。また、試験体の数量等を考慮し、1 バッチ当たり 5 リットル練りとした。

試験は、8 材齢で 2 種の配合のため、全 16 ケースを実施した。試験ケースを表-3 に示す。

供試体は直径が 5cm, 高さが 10cm の円柱形とした。1.5～5 時間までの供試体については、脱型時の強度が特に低いと予想されたため、紙製モールドを使用した場合には破損する可能性があるため、鋳鉄製のモールドを使用した。供試体は各ケースにつき 3 個、合計 24 個作成した。弱材齢の供試体の端面は、モールド上部の縁を利用して中心が若干凸となるように整形した後、

表-1 使用材料

材 料 名		密度 (g/cm ³)	粉末度 (cm ² /g)
急硬性混和材	ES	2.9	5500
ゲルタイム調整剤	セッター-D-100	2.1	—
セメント	普通	3.16	2500
分散剤	FT-500	1.23	—

表-2 基本配合

種別	1000g当たりの配合 (下段は1バッチ: 5リットル当たりの配合) 単位: kg					
	A液 (kg/500g)			B液 (kg/500g)		
	ES	D-100	水	セメント	FT-500	水
配合A	100	1	465	400	4	373
	5	0.005	2.33	2	0.02	1.86
配合B	150	1.5	448	500	5	343
	0.75	0.008	2.24	2.5	0.025	1.72

表-3 試験ケース

材齢	1.5時間	3時間	5時間	10時間	1日	3日	7日	28日
配合A	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8
配合B	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6	B-7	B-8

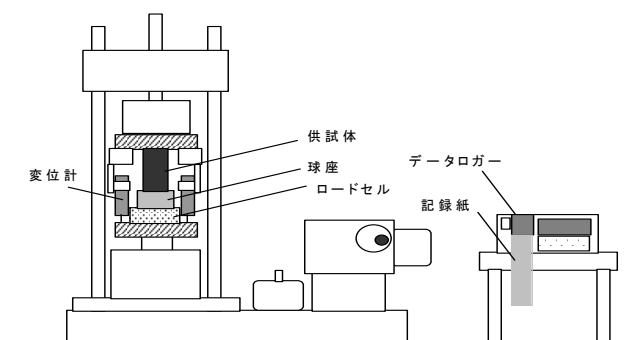


図-1 試験の概要

キーワード トンネル, 先受工, 急硬剤, 注入材, 一軸圧縮強度, ヤング率

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設（株）技術センター TEL 045-814-7237

ガラス板を用いて平滑に仕上げた。3 日以降の供試体については、脱型後研磨して整形した。なお、供試体作成後は温度を 20℃、湿度を 60%に保った恒温室にて風間養生し、試験に供した。

図-1 に示すように、試験は容量 1tonf の圧縮試験機を用い、供試体の破壊が 5 分前後となるよう約 0.5mm/min で载荷した。荷重と変位はそれぞれロードセルと変位計を用いて計測した。

3. 試験結果

練り上がり温度とゲル化時間を表-4 に示す。混合時の室温は 25℃であった。

各配合における初期材齢の試験結果の一例として材齢 3 時間（A-2、B-2）の応力～ひずみ線関係を図-2 に示す。図-2 から、単位セメント量の多い配合 B の方が強度が大きく、配合 A はピーク荷重後も延性的な挙動を示している。また、破壊時の状況としては、材齢 1 日までの弱材齢の供試体では縦割れしたものを除いて、すべて供試体打設時の上方側から破壊している。図-2 の配合 A の結果のばらつきは、この破壊形態の差異から生じたものであり、材齢 5 時間までの試験結果は全体としてばらつきが大きかった。

材齢 1 日までの供試体の強度とヤング率の発現特性を図-3 と図-4 にそれぞれ示す。なお、ヤング率については、载荷初期の供試体と载荷盤のなじみ、端面の影響を除去するために応力ひずみ線図の圧縮強度の 50%における接線の傾きとして評価した。また、材齢 1 日までの試験結果より、表-5 に示す以下の関係式を得た。材齢 3 時間までの関係式は原点を通る直線として近似した。表より、試験結果からはヤング率と一軸強度の関係には配合の違いによる顕著な差異はなかった。資料¹⁾によると、材齢 28 日の試験結果で一軸圧縮強度 5.8MPa、弾性係数 1,141MPa である。配合 B による近似式（5 時間～1 日）では、一軸圧縮強度 5.8MPa に相当する弾性係数は 1,088MPa となり、今回の試験で得られた近似式から算出した値とほぼ同等となった。

4. まとめ

セメント系急硬材を用いた注入材の時間と強度・剛性の関係は、表-5 に示したの近似式からも分かるように、主として 2 つの直線的な関係を持った発現特性を有しているものと考えられる。また、強度の差は生じるものの、配合による強度と剛性の関係には大差なく、また、強度と剛性の近似式により一軸圧縮強度からヤング率がある程度推定できることが確認できた。

参考文献

1) 電気化学工業（株）特混事業部編：デンカ E S 技術資料

表-4 練り上がり性状

配合	ゲルタイム	練り上がり温度
A	4分15秒	22.0℃
B	4分00秒	23.0℃

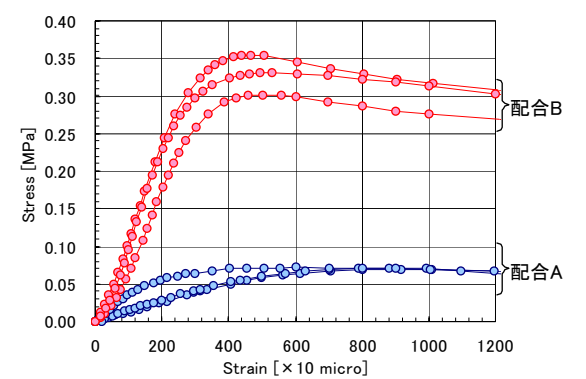


図-2 材齢 3 時間の応力～ひずみ線図

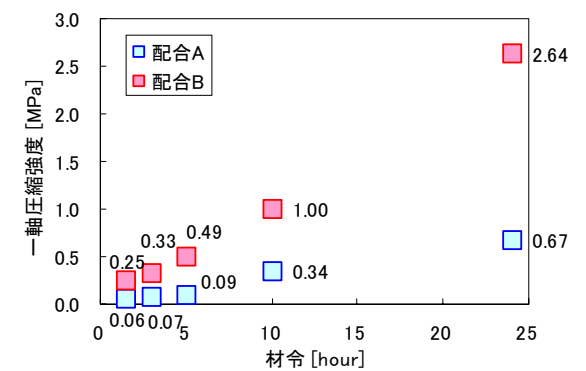


図-3 時間～一軸圧縮強度

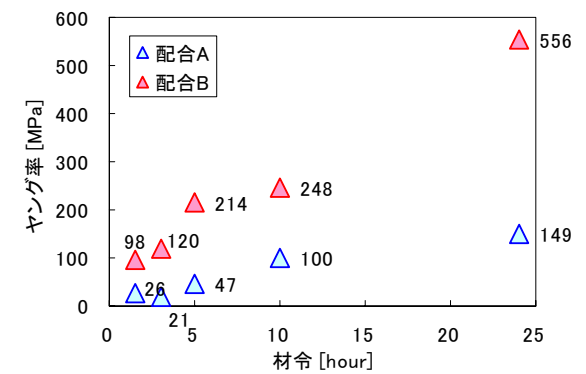


図-4 時間～ヤング率

表-5 一軸圧縮強度とヤング率の関係

配合	打設直後～5時間	5時間～ 1日
A	$E = 486 \sigma_c$	$E = 165 \sigma_c + 42$
B	$E = 447 \sigma_c$	$E = 166 \sigma_c + 125$