

(株)間組 正員○五味道義

同 上 白鳥正裕

同 上 石川 昭

1 まえがき

最近、トンネルの支保工として吹付けコンクリートが設計され始めた。これは、従来の鋼製支保工と比較して多くの利点を持っている反面、地山性状に対する使用範囲および粉塵、はね返りなど施工技術に対する問題点も残している。そこで、本試験は湿式および乾式の両吹付け工法を用いてトンネルでの吹付けコンクリートの基礎的性状を把握すると同時に、その施工性を判断する資料を得ることを目的とした。本報文は、両工法における施工能力、はね返り率、コンクリート中の細骨材率の変化、コンクリート強度の試験結果について述べたものである。

2 試験方法

吹付け試験は模擬トンネルを用いて行い、表-1に示す湿式および乾式吹付け機を使用した。コンクリートの配合は、既往の配合例を参照し、さらに吐出能力、はね返り率などに影響を与える因子として、粗骨材の最大寸法、細骨材率をとりあげ表-2に示す実験要因に応じて6種の配合を選定した。なお、湿式吹付け機を用いる場合のスランブは $8 \pm 2^{\circ}$ とした。使用材料を表-3に示す。

強度試験用の供試体は、 $15 \times 15 \times 53^{\text{cm}}$ の曲げ型わくを用い、高圧空気を逃がし、はね返りコンクリートの落下が自由にできるような側板をとり外したものを約 45° 傾斜させ、これに吹付けを行って作製した。曲げ強度試験はJIS A 1106、圧縮強度試験は、はり折片供試体を用い、JIS A 1114にしたがった。

3 試験結果および考察

(1) 吐出能力

湿式吹付け機を用いた場合のスランブおよび圧送距離と吐出量の関係を図-1に示す。吐出量は、圧送距離、スランブにより影響を受け、圧送距離の増加にともない低下する。またスランブが大きくなると吐出量は増加するが、 20° 以上ではほとんど増加しないと思われる。 5° 以下ではコンクリートがホース内に閉塞する。乾式吹付け機の場合には、試験した圧送距離が公称能力の $1/3$ 以下であったため、これらの関係は確認できなかった。なお、試験中の吐出量は、湿式で $9.3^{\text{m}}/h$ (圧送距離 30^{m})、乾式で $4.0^{\text{m}}/h$ (圧送距離 40^{m})であった。

(2) はね返り率

吹付け面を側壁部と天端部とに分け、それぞれのはね返り率を測定した。コンクリート中の単位モルタル量および粗骨材の最大寸法とはね返り率の関係を図-2に示す。湿式工法では、はね返り率は主として単位モルタル量に依存し、粗骨材の最大寸法の影響はみられず、平均して側壁部で11%、天端部で14%であった。乾式工法では、主として骨材の最大寸法に依存すると思われる、単位モルタル量の影響はほとんどみられず、平均して側壁部で20%、天端部で27%であった。

表-1 試験に使用した吹付け機械

吹付け機	材料輸送方式	吐出量	スランブの範囲	水平輸送可能距離
湿式吹付け機	ポンプ圧送式	$9^{\text{m}}/h$	$6 \sim 12^{\circ}$	100^{m} 以下
乾式吹付け機	排毒空気流式	$4^{\text{m}}/h$		300^{m} 以下

表-2 要因と水準

要 因	水 準					
骨材の最大寸法	15^{mm}			20^{mm}		
細 骨 材 率	55%	60%	65%	60%	65%	70%
単位セメント量	$360^{\text{kg}}/m^3$			$360^{\text{kg}}/m^3$		
水セメント比	51~58%			51~60%		

表-3 使用材料

材料名	仕 様
セメント	普通ポルトランドセメント(小野田社製)
水	水道水
骨 材	細骨材 産地:荒川、佐原混合 比重:2.60 粗粒率:2.65
	粗骨材 砕石6号(最大寸法 15^{mm}) 比重:2.64 粗粒率:5.89 砕石2005(最大寸法 20^{mm}) 比重:2.64 粗粒率:7.50
混和剤	減水剤 ポンゾス5L 遅結剤 シグネツトD1

(3) 細骨材率の変化

吹付け前のコンクリート、側壁部付着コンクリート、天端部付着コンクリート、はね返りコンクリートにおける細骨材率の測定結果を表-4に示す。各採取試料の細骨材率の変化を比較すると、湿式工法では、はね返り率が小さいことから付着コンクリートの細骨材率は配合時のものと比較して数パーセント増加しているにすぎないが、乾式工法では逆に、はね返り率が多いことから側壁部で5%、天端部で10%前後増加している。

(4) コンクリートの強度

プレーンコンクリート、湿式および乾式工法により得られたコンクリートの材令3日、7日、28日における平均強度（プレーン、湿式 $w/c = 55\%$ 、乾式 $w/c = 48\%$ ）の出現状況を図-3に示す。圧縮強度、曲げ強度ともプレーンが最大で以下、湿式、乾式の順であった。試験には急結剤をセメント重量の3%混入しているが、この急結剤が強度に与える影響を湿式工法について検討した結果を表-5に示す。表-5中の各数値は、各材令、各水セメント比における急結剤無添加のコンクリート強度を100%として比較した結果を示している。急結剤を混入した材令28日の圧縮強度は無添加のものと比較して24%低下している。また、材令7日までは、単位水量の多いものほど強度の低下率は減少している。材令28日の曲げ強度は10~15%低下している。

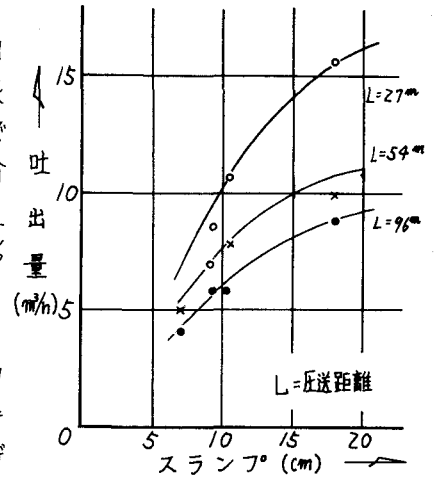


図-1 スランプと吐出量の関係

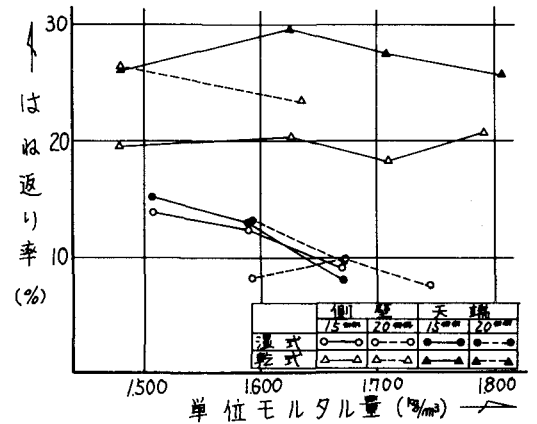


図-2 単位モルタル量とはね返り率の関係

表-4 細骨材率の変化 (%)

	試料の採取位置 (%)					
	吹付け前のコンクリート	側壁	天端	側壁	天端	はね返りコンクリート
湿式	60	61	63	52	40	
工法	65	66	67	57	50	
乾式	50	56	62	43	44	
工法	60	64	67	51	50	
	65	66	72	60	51	

表-5 急結剤が強度に与える影響

水セメント比 (%)	圧縮強度 (%)				曲げ強度 (%)			
	3日	7日	28日	プレーン28日比 (%)	3日	7日	28日	プレーン28日比 (%)
50	84	76	76	43.2	83	83	85	54
55	89	84	77	39.1	95	88	87	49
60	93	92	77	35.7	107	91	90	45

4 あとがき

以上、同一試験条件下で、湿式、乾式両吹付け工法の比較を行い、その基礎的性状を把握することができた。しかし、今回の試験は模擬トンネルについて行ったもので、施工環境の異なるトンネル現場にこの試験結果を適用するには若干の問題がある。今後、現場計測の実績を積み重ねると同時に、付着コンクリート強度の試験方法の統一化、湧水ヶ所での対策、急結剤の効果および人体に与える影響、吹付け作業の機械化などの問題点を研究する必要がある。