

鹿島建設技術研究所 正会員 ○須 藤 英 明

同 上 正会員 田 沢 雄二郎

同 上 内 藤 匠

I. ま え が き

トンネルや地下大空洞掘削工事における吹付けコンクリート工法は、NATMの普及に伴い在来にも増して施工性及品質面でより高度な技術が要求されてきている。このため乾式工法での吹付け機の改良、新しい急結剤や特殊混和剤の開発等が各方面で進められている。一方湿式工法についても、コンクリート自体の品質の変動が小さく、はね返りや粉じんも比較的少なくできる可能性があることなどから最近注目を集めており、練りませ及び圧送方法等について種々の検討が行われている。筆者らは今般、空気圧送方式によるコンパクトな吹付け機を用いた湿式吹付けコンクリートの新しい施工法の確立を目指して一連の基礎実験を実施し、その施工性及物性、適切な配合条件等について検討した。

II. 実験内容

実験の概要を図-1、表-1に示す。吹付けには日本プライブリコ(株)製のリードガンを使用した。この吹付け機は定量送りフィーダに受けたコンクリートを圧縮空気により連続的に搬送吹付けするもので、湿式・乾式のいずれにも対応が可能である。実験は、強制練りミキサーで練りませたコンクリートを供給圧送の後、配管先端のノズル部で粉体急結剤を添加し、断面約 10m^2 の模擬トンネル、及び試験用パネル型わくに吹付けを行って吐出性状の調査やコア供試体の圧縮強度試験を実施した。また急結剤の混入効果に関して室内で練りませたモルタルによる凝結試験(プロクター貫入抵抗試験)を行った。

III. 実験結果と検討

1. コンクリートの凝結硬化性状

室内実験において湿式のウェットミックスと乾式のドライミックスに粉体急結剤を各々添加して練りませたモルタルの凝結硬化性状を図-2に示す。この図にみられるように使用する急結剤の銘柄により凝結性状はかなり変化するが、湿式は乾式に比べ全般に凝結速度が遅れる傾向にあった。これは①加水及び急結剤添加に伴うセメント水和物の生成過程が乾式と湿式とで異なってくる、②乾式のドライミックスのほうが粉体急結剤との混合がより行われやすい状態にあること等のためと推定される。このことは同時に、湿式の施工では急結剤混合状態のわずかな変動でも凝結の遅延につながる可能性が大きいことを表わしており、良好なコンクリートの付着を得るには、吹付け時の吐出を安定させ急結剤の均一な添

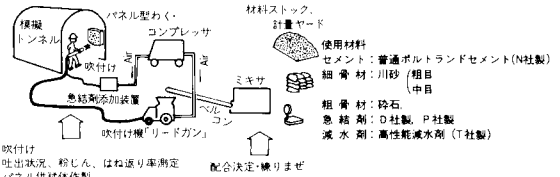


図-1 使用機材及び配置

表-1 実験条件

実験条件	吹付け実験	$G_{\max}(\text{mm}) : 10, 15$ $w/c (\%) : 50, 55$ $s/a (\%) : 70, 75, 80$ 配合条件 単位セメント量 (kg/m^3) : 350, 380, 400 細骨材粒度 (FM) : 粗目 (約3.0), 中目 (約2.7) スラップ (cm) : 14~16 (高性能減水剤使用) 急結剤添加率 (対セメント量%) : 目標 4~6 圧送条件 $2\frac{1}{2}$ インチゴムホース、圧送距離 80m
	室内試験練り	(配合条件) $c : s = 1 : 3$, $w/c = 50\%$, 細骨材表面水 $6 \pm 1\%$
	試験項目	粉体急結剤の混入効果 急結剤の混合状態、添加率 凝結硬化性状 (ASTM プロクター貫入抵抗試験による) 吹付け状況 (吐出性状、吐出能力等) 施工性、物性 はね返り率 圧縮強度 (JISによる、試験材令 7日, 14日, 28日)

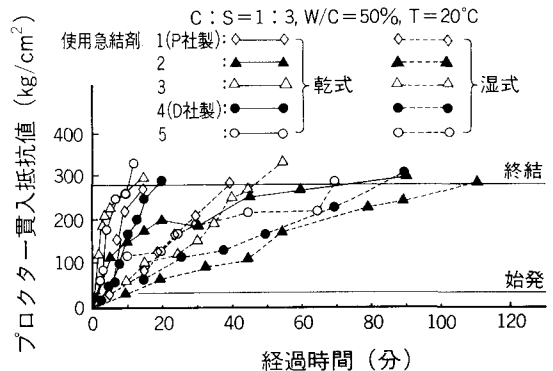


図-2 急結剤添加方式の差によるモルタルの凝結硬化性状

加を図ることが特に重要である。

2. 最適配合条件

コンクリートの配合要因のうち粗骨材最大寸法(G_{max})、水セメント比(W/C)、細骨材の粒度、細骨材率(S/a)、単位セメント量(C)の5因子につき各々2水準を取上げ、実験計画法の手法によりこれらを直交表 L_8 にわりつけて吐出性状や圧縮強度に及ぼす要因効果と最適配合条件を検討した。この結果を次に示す。

(1) 吐出状況と吐出能力

コンクリートの吐出状況に評価点を与えて良否を判定した結果によれば S/a が比較的大きく影響しており、図-3(a)に示すように $S/a=70\%$ に比べ 80% のほうが吐出が安定する傾向

がみられた。これは S/a が大きくなるに伴ってコンクリート搬送時の分離抵抗性が向上し、脈動等を生じにくい有利な条件となったためと思われる。また吐出能力に関しては単位セメント量の影響が大きく、図-3(b)に示すように $C=350\text{kg/m}^3$ の場合に約 $6.5\text{m}^3/\text{h}$ が得られたのに対し 400kg/m^3 では約 $5\text{m}^3/\text{h}$ であった。このことは本吹付け機の場合、セメント量が多くなり過ぎるとコンクリートの粘稠性が増大し、圧送時の配管抵抗も増加して搬送能力が低下することを示している。

(2) はね返り率

はね返り率は全般的には吐出が断続的なものほど増加する傾向にあったが、値としては約 $12\sim 20\%$ の範囲であり、トンネル工事における乾式吹付けで通常得られるはね返り率(約 $30\sim 40\%$ 以上)よりかなり小さくなった。これについては今回の実験が実施工に比べて吹付け面の凹凸や吹付け距離、照明などの点で比較的恵まれた条件にあったこと等を考慮する必要もあるが、吹付け方式が湿式であったことも大きな理由の1つと考えられる。

はね返り率に影響する因子としては G_{max} が有意となり、図-3(c)に示すように $G_{max}=10\text{mm}$ では 15mm に比べ約 $3\sim 4\%$ はね返り率が減少した。さらに定性的には筆者らが以前乾式の吹付け実験で得たのと同様、セメント量はある程度多く、細骨材は粗目よりも中目を用いるほうがはね返り率低減の上で有利となるようであった。

(3) 圧縮強度

コア供試体の圧縮強度は材令7、28日で各々平均 180kg/cm^2 、 290kg/cm^2 程度であった。これらの強度に対しても図-3(d)に示すように G_{max} 、単位セメント量、細骨材粒度の及ぼす影響が大きく、強度の向上を図る上では $G_{max}=15\text{mm}$ よりも 10mm 、 $C=400\text{kg/m}^3$ よりも 350kg/m^3 、細骨材は粗目よりも中目を用いるのが有利となった。この結果は、配合が適切で安定した搬送が行われる吹付けコンクリートははね返りも少なく、仕上りも均一かつ密となり硬化後にも優れた品質が得られることを示している。

(4) 最適配合条件と推定値

以上の実験結果から求めた最適配合条件を表-2に示す。この場合の吐出能力、はね返り率、材令28日圧縮強度の推定値は各々 $6.5\text{m}^3/\text{h}$ 、 15% 、 337kg/cm^2 となった。

IV. ち め

今回の検討を通じ、湿式吹付けコンクリートの新しい施工技術や配合設計手法に関する多くの資料が得られた。現在、これらの成果を現場での実施工に活用しており、次の機会にその詳細を報告する予定である。

(参考文献) 1) 鹿島技研年報, 第18号(1970), 2) 同左, 第30号(1982)

(実験因子と水準)

実験因子	水準
A: $G_{max}(\text{mm})$	$A_1=15, A_2=10$
B: $W/C(\%)$	$B_1=50, B_2=55$
C: $S/a(\%)$	$C_1=70, C_2=80$
D: 単位セメント量(kg/m^3)	$D_1=350, D_2=400$
E: 砂の粒度	E_1 :粗目, E_2 :中目

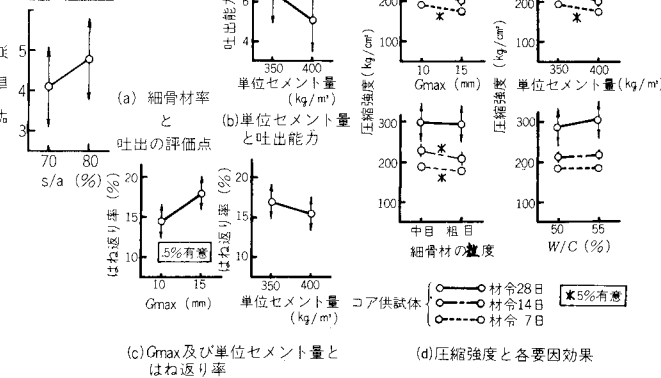


図-3 直交表 L_8 による実験の要因効果

表-2 最適配合条件

G_{max} (mm)	W/C (%)	S/a (%)	単位セメント量 (kg/m^3)	(その他)
10	55	80	350	細骨材の粒度:(中目) スランプ:14~16cm