

# [85] 湿式吹付けコンクリートの特性に関する研究

正会員 ○竹 内 恒 夫(間組技術研究所)

正会員 喜 多 達 夫(間組技術研究所)

## 1. はじめに

トンネルや地下空洞における吹付けコンクリートは、型わくなしで急結性のコンクリートを岩盤に直接吹付け、岩盤と密着したコンクリート層を形成するもので、N A T Mの普及に伴って吹付けコンクリートの物性や施工性が重要な課題となってきた。一般に湿式工法は、乾式工法に比べ大容量施工が可能で、粉じんやはね返りが少く、付着コンクリートの品質のバラツキが少ないなどの利点を有しており、この特徴を生かして種々の吹付け機械や新しい工法が開発されている<sup>1)</sup>。しかし、湿式吹付けコンクリートに関し体系的な研究も少く、経験的要素で処理されているのが現状である。本研究はスクイーズ式モルタルポンプ(以下、ポンプという)をコンクリートの圧送に用い、ポンプの基本的特性を明らかにしたうえで、吹付けノズルが急結剤とコンクリートの混合に影響することを把握した後、湿式吹付けコンクリートの基本的性質について検討を加えたものである。

## 2. 実験内容

### 2.1 実験概要

実験は2つのシリーズに分けて実施した。各実験の配合を表-1に示す。

#### (1) シリーズ I

コンクリートを圧送した場合の、ポンプの性能や管内圧の把握および吹付けノズルにおけるコンクリートと急結剤の混合性状の検討を行うために下記に示す項目の実験を行った。

#### (a) 管内圧の測定

管内圧の測定は、ポンプのポンピングチューブデリバリー部にダミーパイプを取り付け、これにフラッシュダイアフラム式圧力変換器を埋め込み、動ひずみ計を通して電磁オシロにて圧力波形を記録した。

#### (b) 吐出量の測定

計量マス(50×50×40 cm)にコンクリートが満されるまでの時間を測定し、時間当りの吐出量に換算した。

#### (c) ノズルでのコンクリートと急結剤の混合性状

表-1, NO.6の配合において、急結剤中にベンガラを混合し、急結剤がコンクリートに対し1方向から混合するノズルと3方向から混合するノズルを製作し、吹付けコンクリート中のベンガラの混合状態を観察した。

#### (2) シリーズ II

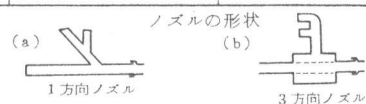
湿式吹付けコンクリートの基本的性質を検討するために、表-2に示すような実験因子と水準を定め、実験計画法の手法により直交表L<sub>8</sub>を用いた実験を行った。また、急結剤には吹付け時のコンクリートの自重による

表-1 コンクリート配合と吐出量

No.	単位 ペースト量 ( $l/m^3$ )	W/C (%)	S/a (%)	単位量 ( $kg/m^3$ )			スランブ (cm)	空気量 (%)	吐出量( $m^3/h$ )		
				水	セメント	細骨材			粗骨材	低速	高速
1	359	55	70	227	413	1,057	467	22	3.6	2.7	6.2
2	359	55	75	227	413	1,133	389	20	5.4	2.4	5.1
3	359	50	70	220	440	1,055	466	19	3.7	2.4	5.5
4	359	50	75	220	440	1,130	388	17	4.7	2.4	4.4
5	337	55	70	214	389	1,094	484	12	4.1	2.3	4.3
6	337	55	75	214	389	1,172	403	11	5.7	2.1	3.9
7	337	50	70	206	412	1,095	484	10	6.0	2.1	3.4
8	337	50	75	206	412	1,168	402	6	5.7	1.8	—

表-2 実験因子と水準

因子	水準
A	単位ペースト量 ( $l/m^3$ ) A <sub>1</sub> =359, A <sub>2</sub> =337
B	水セメント比 (%) B <sub>1</sub> =55, B <sub>2</sub> =50
C	急結剤添加量 (C×%) C <sub>1</sub> =7, C <sub>2</sub> =5
D	細骨材率 (%) D <sub>1</sub> =70, D <sub>2</sub> =75
E	ノズルの形状 E <sub>1</sub> =b, E <sub>2</sub> =a
F	流動化剤の有無 F <sub>1</sub> =有, F <sub>2</sub> =無



だれやはく離を防止するために、粉体の補助剤の添加を行った。<sup>2)</sup>

(a) はね返り率の測定

模擬トンネル内にシートを掛け、吹付け施工時のはね返り量と圧送したコンクリート量から測定した。

(b) 空気消費量の測定

吹付け時の空気消費量を測定するため、コンプレッサーと急結剤供給装置の間に、面積式流量計(フローメータ)を取り付けて測定した。

(c) 粉じん濃度の測定

粉じん濃度はデジタル粉じん計(P-5L型)を用いて、吹付け時の最大粉じん濃度を測定した。

(d) 圧縮強度

圧縮強度はコア箱( $30 \times 30 \times 20 \text{ cm}$ )に吹付けたコンクリートから、コア( $\phi 5 \times 10 \text{ cm}$ )を抜き取って、JIS A 1107に準じて行った。試験材令は7日と28日とした。

2.2 使用材料および機械

(1) 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。骨材は細骨材に鬼怒川産川砂(比重2.55, 粗粒率2.62), 粗骨材に大井川産川砂利(比重2.63, 最大骨材寸法15mm)を使用した。減水剤は非空気連行性のものと流動化剤を使用し、急結剤はセメント鉱物系の粉体急結剤を用いた。なお、補助剤は粉体の水溶性高分子材料を用いた。

(2) 吹付け機械

コンクリートの圧送は写真-1のポンプを用い、管径は2インチとした。

急結剤供給装置は図-1の機器配置に示す吹付け機に付随しているパウダーフィーダを用いた。

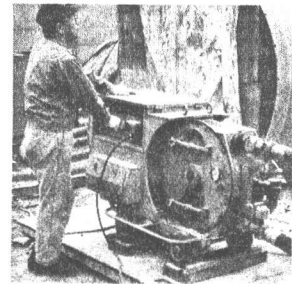


写真-1 ポンプ

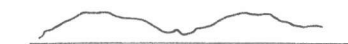
3. 実験結果および考察

3.1 シリーズ1の結果と考察

(1) 管内圧

管内圧の測定結果を表-3に示す。低速時の管内圧はスランブが11~20cm間で3.1~3.6 kgf/cm<sup>2</sup>とはば一定の値を示したが、高速時ではスランブが増加するにしたがって、管内圧は逆に低下する傾向を示した。管内圧の波形の一例を図-2に示す。低速時の管内圧力波形はなだらかな波形を示しているのに対し、高速時には波形の凹凸が明瞭に識別できる。

低速時



高速時



図-2 管内圧力波形の一例

(2) 吐出量

スランブと吐出量の関係を図-3に示す。低速時の吐出量はスランブの影響もみられず、2~2.5 m<sup>3</sup>/hの範囲であったが、高速時の

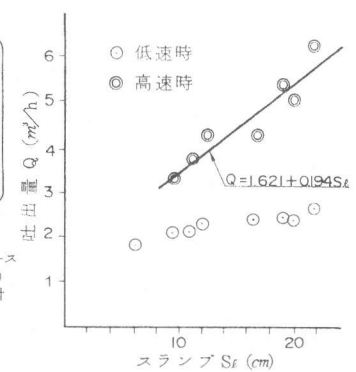


図-3 スランブと吐出量

表-3 管内圧

No	低速時 (kgf/cm <sup>2</sup> )	高速時 (kgf/cm <sup>2</sup> )	スランブ (cm)
1	1.9	4.3	22
2	3.1	4.8	20
3	3.1	5.3	19
4	3.4	5.6	17
5	3.1	5.1	12
6	3.6	6.3	11
7	4.1	6.8	10
8	5.8	閉塞	6

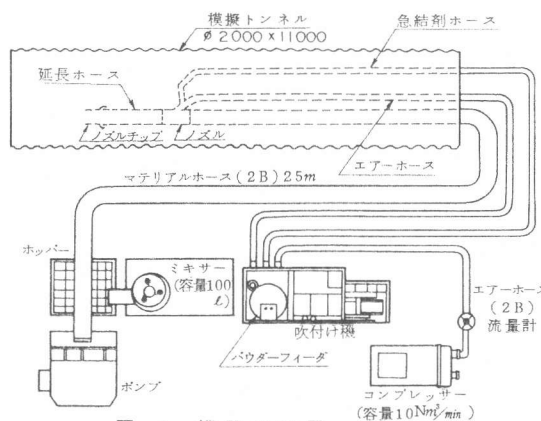


図-1 機器の配置

吐出量はスランブが増加するにしたがってほぼ直線的に増加した。これはモルタル専用機のポンプをコンクリート用にホッパーを改造した際、ホッパーとポンピングチューブとの間に1mの吸い込みホースを接続したので、ポンピングチューブへのコンクリートの吸い込み効率が影響したと思われる。

### (3) ノズルでのコンクリートと急結剤の混合性状

写真-2にコンクリートと急結剤の混合状態を調べるために行った吹付け状況を示す。

低速時に吹付けた供試体中のベンガラは、コンクリートに対し1方向から急結剤を混合するノズルでも、3方向から急結剤を混合するノズルでも、色むらの差はあまり見られず、ほぼ均等に混合していた。

一方、高速時に吹付けた供試体中のベンガラは、図-4に示すように、1方向から急結剤を混合するノズルではしま模様分布しているのに対し、3方向から急結剤を混合するノズルでは、ほぼ均等に分布し、低速時に吹付けた供試体とはほぼ同様なベンガラの混合状態であった。

このようなベンガラの色むらは、管内圧力波形でもみられるように、低速時よりも高速時にコンクリートの脈動が大きく、これに一定供給された急結剤がノズルで集中して混合するか、分散して混合するかによってだもと思われる。

## 3.2 シリーズIIの結果と考察

### (1) はね返り率

写真-3に模擬トンネル内での吹付け状況を示す。

はね返り率に影響する因子は、単位ペースト量が有意であり、図-5に示すように単位ペースト量 $337\text{ l/m}^3$ のはね返り率が平均26%であるのに対し、 $359\text{ l/m}^3$ では平均18%に減少した。一般にスランブが大きいと、吹付け時にだれやはく離が生じるのが、本実験では水溶性高分子材料を急結剤中に混入した結果、スランブが20cm近くでも良好な吹付けが可能であった。

### (2) 空気消費量

空気消費量に影響する因子は、図-6に示すようにノズルの形状が有意となった。ノズルの形状(a)の平均空気消費量は、 $6\text{ Nm}^3/\text{min}$ に対し、(b)では $4\text{ Nm}^3/\text{min}$ と約30%の空気消費量の減少を示した。これはノズル形状(a)の急結剤管が $\phi 25.4\text{ mm}$ に対し、ノズル形状(b)では1孔当りの管径が $\phi 8.5\text{ mm}$ のものが合わせて3孔あり、この管径の面積差が空気消費量に影響したと思われる。

### (3) 粉じん

吹付け時の最大粉じん濃度に影響する因子は、単位ペースト量、急結剤の添加量、ノズルの形状および流動化剤の有無が有意であった(図-7参照)。

単位ペースト量 $337\text{ l/m}^3$ の最大粉じん濃度は、平均 $370\text{ epm}$ に対し、 $359\text{ l/m}^3$ の場合 $600\text{ epm}$ と約60%増加した。これは単位ペースト量の増加によるセメント量の増加とコンクリートの軟らかさに起因しているものと考えられる。このような状況は流動化剤を添加したものとないものとの関係でも明らかである。

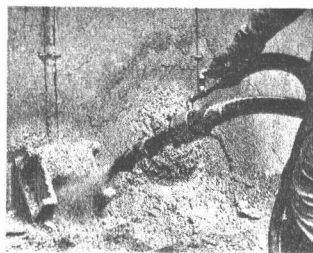


写真-2 ノズルの実験状況

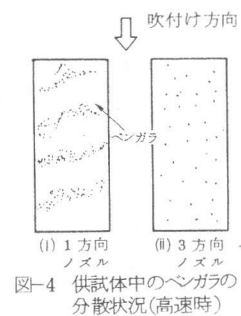


図-4 供試体中のベンガラの分散状況(高速時)



写真-3 模擬トンネル内の吹付け状況

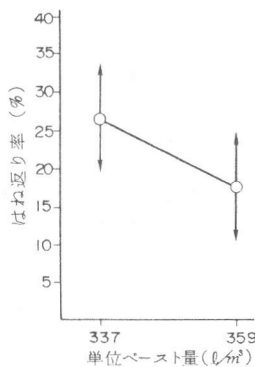


図-5 単位ペースト量とはね返り率

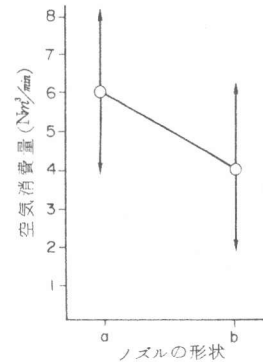


図-6 ノズルの形状と空気消費量

急結剤添加量5%の最大粉じん濃度は、7%に比べ約70%増加した。これは急結剤添加量が5%の時、急結剤とセメントの反応が7%に比べ遅くなるため、粉じん濃度の増加の原因となったものと思われる。

ノズル形状(a)の最大粉じん濃度は、ノズル(b)に比べ約50%増加した。これは空気消費量と関係があり、粉じんを少なくするにはノズルの形状と吹付けに必要な最小の空気消費量を考えることも重要である。

#### (4) 圧縮強度

圧縮強度に影響する因子は、図-8に示すように、材令7日で単位ベース量、水セメント比、急結剤添加量およびノズルの形状が有意となったが、材令28日ではいづれの因子も有意とならなかった。材令7日の圧縮強度を高めるには、単位ベース量を多くし、水セメント比や急結剤添加量を小さくし、急結剤とコンクリートの混合がよいノズル(b)を使用することが望ましい。

#### 4. まとめ

本実験の結果をまとめると次のようになる。

- (1) コンクリートの圧送にスライズポンプを用いると脈動を生じ、これに急結剤を添加すると混合むらが生じるが、ノズルの形状を工夫することによって均一な混合を期待することができる。
- (2) はね返り率を少なくするには単位ベース量を増し、粉じんを少なくするには単位ベース量を逆に小さくして、コンクリートの流動性の小さいものが望ましく、両者を満足するような最適配合を決めることが今後必要と思われる。
- (3) 吹付け時の粉じんはじん肺の原因となったり、作業環境を悪化し施工能力の低下に結びつくため、コンクリートの配合のみならず、吹付け材料やノズルあるいは吹付け機の改善が必要と思われる。

最後に本実験に際し、協力いただいた極東開発工業㈱、ポゾリス物産㈱、電気化学工業㈱および竹本油脂㈱の各社に誌上を借りて感謝する次第です。

#### 参考文献

- 1) 田沢雄二郎, 中村孝次郎: 新しい湿式吹付けコンクリート工法(NWSシステム), 建設機械, '84.4
- 2) 竹内恒夫, 中内博司: 新しい湿式吹付けコンクリートの物性と施工性に関する基礎実験, 土木学会第39回年次学術講演会概要集 第5部, 昭和59年10月

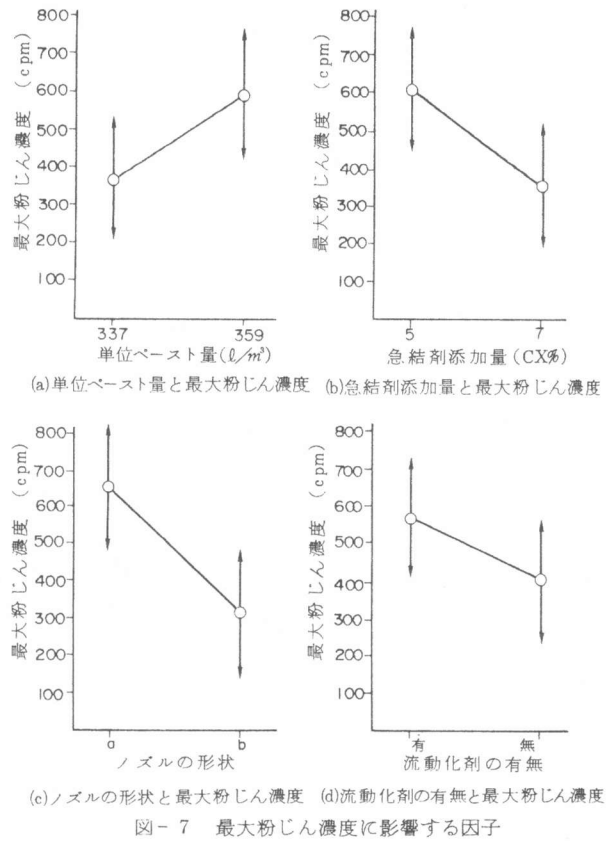


図-7 最大粉じん濃度に影響する因子

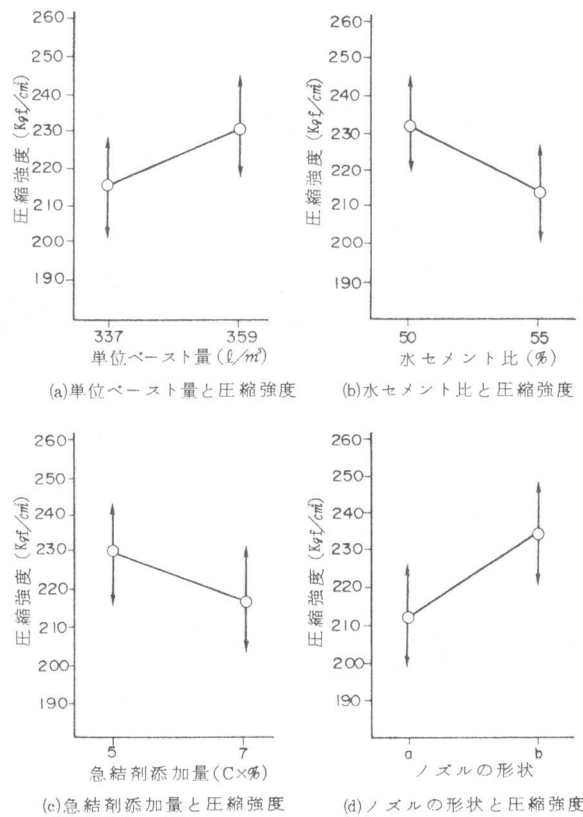


図-8 圧縮強度( $\sigma_7$ )に影響する因子