

29. 小断面トンネル用新湿式吹付

コンクリートシステム“K-Shot System”の開発

(株)熊谷組 *岡田 喬・垣内 幸雄

1. 開発背景

近年、省資源、省エネの立場より、特に電力、水力発電において、既設のダムに上流の中小河川より水を流入させ、発電能力の向上を目的とした、小断面導水路トンネルが多く計画されている。トンネル施工法も従来の支保工、天板、覆工コンクリートに代って、ロックボルトと吹付コンクリートと保ちによるNATMが基本施工法として確立されつつあります。特に吹付コンクリートは従来の一次覆工(仮巻)の考え方から一歩進んで二次(永久、本巻)覆工としての材質(品質)が要求されてきております。小断面NATM施工に於る吹付コンクリートはこのような品質の条件に加え、施工性、作業環境等の問題を従来以上に厳しく迫られてくる。以上の背景のもとで、小断面トンネルの施工法の確立の一環として吹付コンクリート分野において、工事に諸問題を対処すべく、小断面トンネル新湿式吹付コンクリートシステム“K-Shot System”を開発した。

2. 開発目標と計画

吹付コンクリートの施工の対象が小断面トンネルであることから、開発の重点項目としては

- ①粉じん発生が少く吹付方式であること
- ②一度に吹付ける面積が少なく、1回の厚吹が可能であること
- ③吹付けの取り、後始末が容易なこと
- ④持ち時間等による時間的制約に対処できること
- ⑤長距離圧送が可能なこと
- ⑥吹付時にノズル付近と吹付機との相互操作、連絡が可能なこと。



写真-1. K-Shot System 2号機(徳沢工)

- ⑦吹付装置がコンパクトであること
 - ⑧永久覆工材として吹付けたコンクリートの品質が良く、安定していること
- 等があるため、その具体的な開発項目を大別するとつぎのようになる。

- ①吹付方式
- ②材料供給、運搬方式
- ③吹付機械

2.1 吹付方式

吹付方式としては粉じん発生を抑止するための条件とし、湿式を採用し、しかし、従来の湿式吹付には、特に小断面の条件を考慮するとつぎのような欠点がある。

- ①長距離圧送が不向きである。
- ②コンクリートの $\frac{w}{c}$ が大きくなり早期強度の発現が遅い。

- ③急結剤の効きが悪い。
- ④②③により厚吹きが難しい。
- ⑤時間的制約が厳しい。

このため、本開発においては、吹付方式を湿式とし、吹付材の配合を W/C の小さい(50%以下)の低スランパコンクリートとして、従来の湿式の欠点を補い、吹付システムとしている。

2.2 材料運搬システム

湿式吹付コンクリートの材料輸送は、従来のより低スランパコンクリートの状態で行うことができた。しかし、本吹付方式の主体である低スランパコンクリートに対しては、時間的制約がさらに厳しくなる。この点の考えられる運搬方式について比較する(表-1)のようである。この結果から、小断面トンネル吹付コンクリートの材料輸送方式は、骨材運搬車による「ドウイミキストコンクリート-現地加水再練り」方式が最も良い結果となり、本システムに採用した。この方式によると、練り終了直後のコンクリートで吹付を行うため、急結剤の効きも良く、 W/C の小さいことと合わせて、付着の良し、強度の発現の高し、厚吹きが良し結果をもたす。

2.3 吹付機械

上述した条件のコンクリートによる吹付ができる機械が必要で、具体的には

- ①低スランパ、硬練コンクリートの圧送
- ②—————の急結剤の完全混入

③指定した急結剤の供給の条件を満足させる必要がある。特に急結剤の混入に対しては硬練コンクリートであるため従来のように難しく、その基本的対策としては、コンクリートを完全なほぐし状態に混入性の良い球形の急結剤を混入する方式とし、吹付機としては、チャンバー(コンクリートをほぐ

要件 選別方式	練り後の 時間的 制約	運搬中の 振動	コンクリート 品質の 劣化	吹付時の 設備 トラブル	低スランパ コンクリートの 圧送	急結剤の 管理(混入 率の調整)	急結剤の 不均一な 分布	急結剤の 付着 の確保	総合 合
シーブリア (生コンクリート)	×	×	×	×	×	○	○	○	
シーブリア (生コンクリート)	×	×	△	△	△	○	○	○	
シーブリア (生コンクリート)	×	△	△	△	△	×	×	○	
骨材運搬車 (ドゥイミキストコンクリート)	○	△	○	○	○	○	○	○	○
移動用チャンバー (吹付)	○	△	△	△	△	○	○	×	

表-1. 低スランパコンクリート運搬システムの比較表

小断面トンネル湿式吹付コンクリートシステムフロー

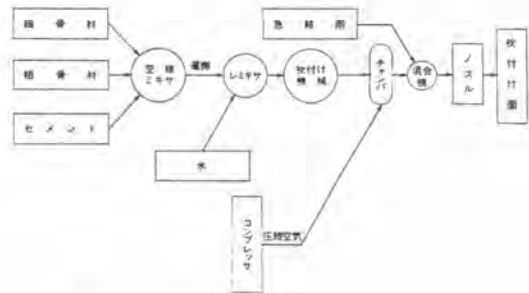


図-1 システムA-1

小断面トンネル湿式吹付コンクリートシステム

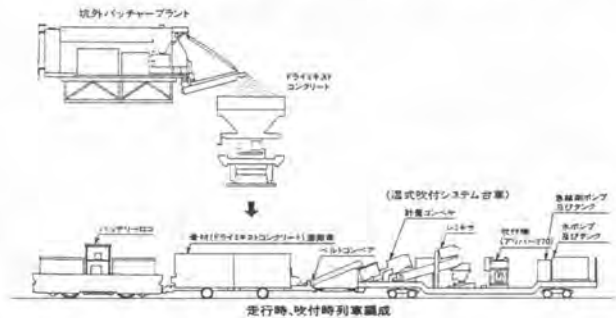


図-2 システムB

す)の装置を持つ、アリバー-270と液体急結剤(掘込用)の組合せをシステム内に改造し、さらに、当システム用に開発したレミキシング装置(自動連続計量、混練水自動計量供給装置、連続ミキシング装置)と組合せ車に搭載したシステムとなす。こゝろ、小断面トンネル用としての諸設備として、

- ・狭い坑内に於ける相互連絡設備、
 - ・ノズルマン(4羽)による吹付けエア-圧強弱調整システム
 - ・急結剤遠隔操作システム
- が装備されている。(図-1,2)



写真-2 K-shot Systemと模擬トンネル

3. 吹付けコンクリート実験

当システムによる吹付け工法の確立と、開発目標の施工に於ける成果の裏付けを図るため、模擬トンネル(写真-2, A=14mm, l=25m)に於て、吹付け実験を行つた。

3.1. 実験結果

(1) 配合

実験に用いた配合は通常用いられている標準的な配合とした(表-2)

基本配合 (kg/m³) 表-2
 $\frac{3}{a}=65\%$ (4+15mm急結剤) A-配合

C	W	S	G	急結剤	急結剤
180	190	1124	604	410	23 (5%)

$\frac{3}{a}=60\%$ (4+10mm急結剤) B-配合

C	W	S	G	急結剤	急結剤
180	190	991	671	410	23

(2) K-shot Systemの機械特性

○ 圧送距離

ポンプ圧送50m, チャンバー-送工ロー圧送30m, 計80mで行つた。この長さの小断面トンネル施工、吹付け時に於ける吹付け機とノズルとの離れ(ロッカーショベル, ジャッキ, トレーシロープ等)50~60mを想定して分定用圧のある距離である。もちろん低スラングコンクリートの圧送である。

○ 吹付け能力

実験では最高8~9m³/hで吹付けを行つた。小断面の場合、ノズルマンによる吹付けの基本となるので、4~6m³/hの量もよい結果を示した。

○ スラング値と圧送状況

$\psi_c=48\sim50\%$ でスラングが $\pm 2cm$ 程度で最も振動が少なく、かつ行着の良いコンクリートである。

(3) 施工性

○ はね返り

低スラングコンクリートの圧付け行着性は良く、実験模擬トンネルの吹付け面が矢張り、キーストングレートでフラットに近い反面、



写真-3 模擬トンネル内吹付け状況

圧送圧力 表-3

圧力	吹付け機	吹付け機	吹付け機	吹付け機	吹付け機	吹付け機	吹付け機	吹付け機	吹付け機
24	B	1.2	2.7	0.25	1.6				
25	B	1.2	2.7	0.30	1.8				
26	B	2.4	5.4	0.55	1.7	有る部分			
27	B	2.4	5.4	0.50	1.6	全周			
28	B	2.0	4.5	0.30	1.4	吹付け機			
27	B	1.2	2.7	0.2	1.5	---	---		
27	A	2.4	5.4	0.25	2.2	全周、吹付け機			
8	A	2.4	5.4	0.55	2.0	---	---		
10	A	2.4	5.4	0.4	1.5	吹付け機			
14	A	1.4	3.2	0.4	2.1	全周、吹付け機			
16	A	2.4	5.4	0.75	2.2	---	---		



写真-4 硬練コンクリートのポンプへの投入

及格も大きいにもかかわらず、表-3に示すように
 はね返り率は15~25%の値と低く、 σ_c の値は従
 来のはね返り率の範囲30~40%の70%以下と低
 くなる。

○コンクリートの品質

★早期強度：湿式は0.01m³初期の強度の立上
 りが良く、 σ_c は80kg/cm²、 σ_{28} は150kg/cm²で乾式の
 抗力と近く、これは、 $\frac{w}{c}$ が極力小さくし、かつ
 急結割の混りと乾式を良くし、結果の裏付けと
 なる。 (図-3) の事実は、完成の吹
 付施工で厚吹に非常に効果的で、実験と石
 工とも50cm厚が可能である。(写真-5, 6)

★長期強度： $\frac{w}{c}$ が小さく、かつその管理が十分に行
 われれば、強度のバラツキも少なく σ_{28} は300kg/cm²
 を越えている。本実験結果と従来の乾式(乾式)と
 とを比べると(図-3)の如く、強度は均して下
 非常と乾式に近しい特性を示している。

○粉じん

粉じんは、トンネル断面、掘削等による。その

空気中の含有量は異なるが、 $A=14m^2$ 、 $l=25m$ のトンネルで掘削量 $2\sim30m^3/分$ の状態で $10mg/m^3$ 前後の結果
 を得ている。この結果は、掘削のトンネルに当てはめると十分小さい値で、従来の灌式吹
 付時のレベルに比して十分低い。

○その他

吹付の待ち時間は、ドライミキストコンクリートの砂
 の含水比に左右されるが、一般に乾式と同程度の許
 容性はある。このように乾式、湿式の吹付コンク
 リートの特徴を比較し、K-shot systemと合わせて行
 うと、乾、湿両方式の特徴とをいれたシステムとすることができる。

4. 施工実績

○1号機：日本道路公団
 四国横断自動車道明神ト
 ンネル掘削工事、その1
 工事 ($A=10m^2$
 $l=1081m$)と完工後
 いてその2工事施工



写真-7. 明神トンネル1号機(竣工)

○2号機：1号機を改良し

て、中部電力鳥川第三水力発電所用トンネル ($A=6m^2$ 、 $l=1400m$) 工事にて施工されている。



写真-5. スリット型機打況



写真-6. 厚吹打況

図-3 圧縮強度-割合

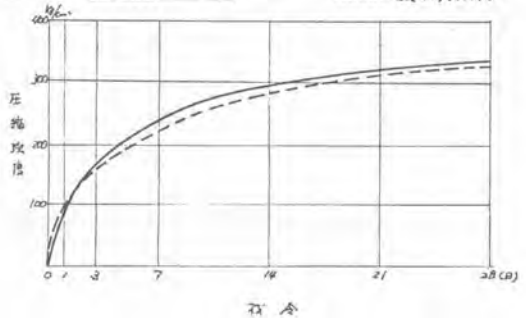


表-4 乾式と湿式の比較

	乾式	湿式
コンクリートの品質	ノズルにおいて、水と骨練り材料とを混合するので、品質は作業性の熟練度、能力によって左右される。	水を予め骨練り材料をあらかじめ正確に計量し、かつ十分に混合できるので品質の管理が容易である。
作業の質	空練り材料を供給すればよいので、供給作業の邪魔は少ない(凍結が少す)	材料の供給に制限を受ける。
比 込 量	比較的供給量の低下が可能である。	供給量に余裕がない。
粉 塵	少	少ない
は ね 返 り	比較的多い	少ない

■: K-Shot System



写真-8. 2号機トンネル掘削中の様子