

# シールドトンネル 二次覆工の新技术

スチールセグメントへの  
コンクリート吹付けの適用

(名古屋支店 工務部 土木課)

## New Secondary Lining Method for Shield Tunnels Application of Shotcrete to Steel Segments

(Civil Engineering Section, Engineering  
Works Department, Nagoya Branch Office)

小断面シールドトンネルの曲線部および発進・到達立坑接続部では、鋼製セグメントによる一次覆工施工後、耐久性確保のための二次覆工を施工することが多い。しかし、型枠を用いてコンクリートを打設する従来の二次覆工方法は、工費・工期の面で負担が大きい。そこで、型枠が不要で連続施工が可能なコンクリート吹付けを二次覆工に適用した。適用に際しては、国内初の試みであったため、基礎配合の研究から施工実験までの各種検討を行い、適用性を確認した。

In many cases, after the primary lining with steel segments, a secondary lining is executed to the curved portions of small-section shield tunnels and their joints with the departure and arrival shafts to secure durability. However, the conventional secondary lining method of using concrete set with forms is so disadvantageous in terms of the cost and period of construction that shotcrete, which requires no frame and allows continuous concreting, was experimentally applied as the secondary lining. Since this was the first trial in Japan, various investigations, from research on basic mix proportion to construction experiments, were conducted. Finally, the applicability of the new secondary lining method was verified.

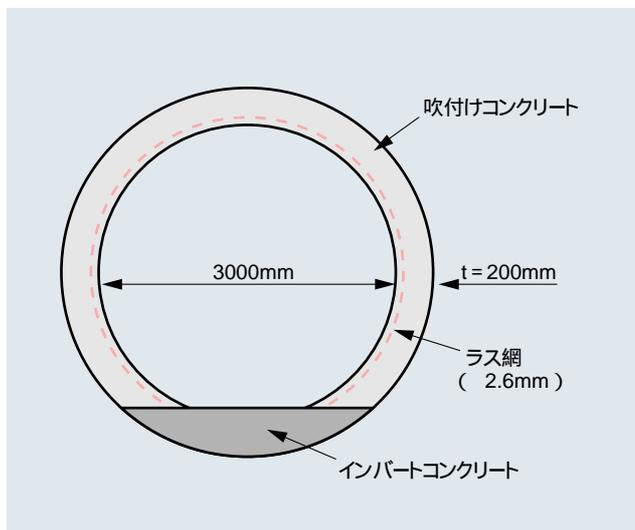
### 1 背景

今回スチールセグメントへのコンクリート吹付けを適用した名北東洞道（名古屋市守山区内）は、急曲線を含む4ヶ所の曲線部(R=20,30,50,100m)を有し、RCセグメントのみでの施工は難しい。そこで、直線部はRCセグメント（一次覆工）にて仕上がりとし、曲線部と立坑接続部はスチールセグメント（一次覆工）とコンクリート（二次覆工）による仕上がりとした。しかし、従来の二次覆工方法では、工費・工期の面で負担が大きいいため、コンクリート吹付けによる二次覆工を検討した。

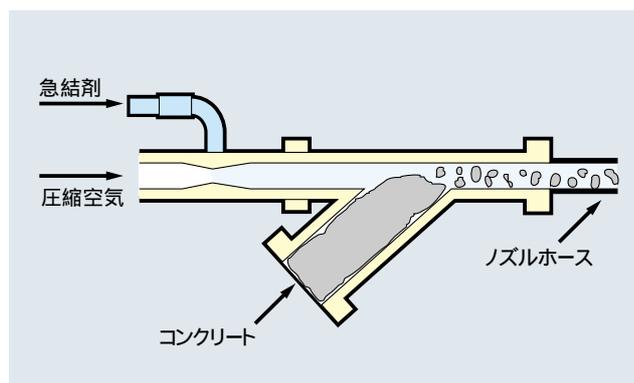
### 2 適用までの経緯

コンクリート吹付けの適用に際し、基礎検討を含む各種試験を実施した。その結果、二次覆工への適用は

可能であることが明らかとなったが、吹付け機械の脈動によるリバウンドの増大や、洞道断面（第1図）が小さいために粉塵発生等による作業環境の悪化が見られた。そこで、海外から新たに導入した吹付け機械とアルカリフリーの液体急結剤を用いた吹付け方式を採用し、施工実験を行った。この方式は、ポンプ圧送されたコンクリートが、霧状となった液体急結剤を含む圧縮空気により分断され、ノズル内で急結剤と均一に混練りされることに特徴を有する（第2図）。施工実験の結果、従来の吹付け方式に比べて、リバウンド率や粉塵濃度が抑えられ、施工能力（吹付け速度）も優れていることが認められた（第1表）。



第1図 施工断面図



第2図 吹付けノズル

第1表 吹付け方式の比較検討

	従来方式	今回導入方式
リバウンド率	13～20%	7～13%
粉塵濃度	5mg/m <sup>3</sup> 以下	3.95mg/m <sup>3</sup> 以下
圧縮強度 <sup>28</sup>	25～33 N/mm <sup>2</sup>	31 N/mm <sup>2</sup> (平均)
吹付け速度	2.5m <sup>3</sup> /hr程度	10.0m <sup>3</sup> /hr程度

### 3 施工実績

スチ - ルセグメントへのコンクリ - ト吹付けの適用性が確認されたため、現地での実施工を開始した。

施工実験時に求められたコンクリ - ト配合をもとに、現場での配合を第2表のように決定した。現場での使用材料を第3表に示す。

コンクリ - トは、立坑上に設置したコンクリ - トポンプヘトラックミキサ - 車から直接投入し、配管圧送によって洞道内吹付け箇所まで運搬する。洞道施工区間（総延長約533m）中央に位置する曲線部は発進・到達両立坑から最も遠く、配管延長は約280mとなる。また、液体急結剤は立坑内に設置されたポンプにより圧送され、圧縮空気も別途配管により圧送される。各配管は吹付け箇所のノズル部で第2図のように接続され、ノズル内でコンクリ - トと急結剤が混合される。

現地施工に伴い実施した各種試験の結果を第4表に示す。各試験は施工区間ごとに計6回実施した。試験の結果、リバウンド率・粉塵濃度ともに、施工実験時の値よりも良好な値が得られた。また、圧縮強度<sup>28</sup>は施工実験時とほぼ同等の値が得られた。

現地での施工状況を第3図に示す。粉塵はほとんど

発生しておらず、ノズルホ - スの跳ね上がりも小さいため、従来のコンクリ - ト吹付け施工現場と比べて、良好な作業環境となっている。

### 4 今後の展望

スチ - ルセグメントへのコンクリ - ト吹付けを適用することにより、名北東洞道（二次覆工施工総延長約182m）では、二次覆工平均施工速度9m/dayを記録し、工期短縮を図ることができた。また、材料費が若干増大したものの、仮設費が大幅に縮小されたため、工費削減を図ることができた。

今回適用した工法は、急曲線を含むためにスチ - ルセグメントの使用が不可欠な小断面シ - ルドトンネル工事において、効率の良い二次覆工を可能とするものである。また、粉塵発生等の作業環境も改善されるため、同様の地点への活用が期待される。

第2表 コンクリ - ト配合

スランブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				高性能減水剤 (C×%)
				W	C	S	G	
15±2	4.5±1.5	49.0	55	196	400	891	727	0.6

第3表 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント、比重3.15
細骨材	笠原産山砂、表乾比重2.56、粗粒率2.80
粗骨材	小野田産砕石、表乾比重2.61、Gmax10mm
高性能減水剤	主成分：ポリグリコールエステル誘導体、比重1.03～1.07
液体急結剤	主成分：水溶性アルミニウム塩、比重1.44、pH2.5～3

第4表 実施工時試験結果

	試験結果	平均値
リバウンド率	3.1～5.6%	4.5%
粉塵濃度	0.33～0.50 mg/m <sup>3</sup>	0.40 mg/m <sup>3</sup>
初期強度(3hr)	1.1～2.2 N/mm <sup>2</sup>	1.6 N/mm <sup>2</sup>
初期強度(6hr)	2.3～3.8 N/mm <sup>2</sup>	3.0N/mm <sup>2</sup>
圧縮強度 <sup>28</sup>	25～35 N/mm <sup>2</sup>	30N/mm <sup>2</sup>



第3図 現地吹付け状況