

## 締固めを必要としないトンネル二次覆工コンクリートに関する基礎的検討

鹿島建設株式会社 正会員 坂井 吾郎 正会員 林 大介  
正会員○松本 修治 フェロー 坂田 昇

### 1. はじめに

従来、トンネル二次覆工の施工においては、スランプ 15 cm程度のコンクリートが打ち込まれ、内部振動機による締固めが行われている。この施工方法では、狭小かつ閉空間となる移動式型枠（セントル）内でコンクリートの打込み・締固めが行われており、その品質は、締固めを行う作業員の技量の影響を受けるのが実状である。特に、天端部については逆打ちになることから締固めが不十分になりやすく、背面空洞やひび割れなどの初期欠陥を発生させやすい。このため、最近では、型枠面板に取り付けた型枠バイブレータで締固めを行うトンネル二次覆工用の中流動コンクリートが開発されている<sup>1) 2)</sup>。中流動コンクリートの適用により、狭隘なセントル内での締固め作業が大幅に減少し、コンクリートの品質向上が図られているものと考えられる。

この技術をさらに発展させ、型枠バイブレータも含めて締固め作業を完全に不要とし、さらに充填性を向上させる方法として、高流動コンクリートの適用が考えられる。そこで、簡易に高流動コンクリートを得る方法として、現場に運搬された普通コンクリートに、スランプ保持機能を持たない安価なナフタリン系の高性能減水剤を添加して流動化し、高流動コンクリートを製造する方法を考案した。本稿は、その検討の一環として室内でフレッシュ性状を確認したものである。

### 2. 使用材料および配合

使用材料およびコンクリート配合を、表-1 および表-2 にそれぞれ示す。後添加する前のコンクリート（ベースコンクリート）の配合については、単位水量を 175 kg/m<sup>3</sup>とし、単位セメント量を 350 kg/m<sup>3</sup>に設定した。また、高流動コンクリートの目標値については、表-3 に示すとおりであり、まずはトンネル二次覆工の無筋区間を対象として自己充填性ランク 3 の仕様とした。本検討では、2 種類のベースコンクリートを適用しているが、これは、最初に配合 No. 1 で試験を行い、その結果を踏まえて配合 No. 2 を設定してフレッシュ性状の改善を試みたことによるものである。

また、後添加では、ナフタリン系の高性能減水剤によって流動性を高める一方で、材料分離抵抗性を付与する必要があると考えられたため、同時に

増粘剤を使用することとした。

### 3. 試験概要

容量 50L の強制二軸型コンクリートミキサにより、練混ぜ時間を 90 秒間としてベースコンクリートを製造し、スランプおよび空気量を確認した。その後、ベースコンクリートをミキサに戻し、ナフタリン系の高性能減水剤および増粘剤を添加して 60 秒間の練混ぜを行った。製造されたコンクリートについて、表-4 に示す

表-1 使用材料

種類	記号	産地, 種別, 物性
水	W	上水道水
セメント	C	普通ポルトランドセメント(密度: 3.16g/cm <sup>3</sup> )
細骨材	S粗	砕砂(八王子産, 表乾密度: 2.64g/cm <sup>3</sup> )
	S細	山砂(君津産, 表乾密度: 2.61g/cm <sup>3</sup> )
粗骨材	G大	砕石2010(青梅産, 表乾密度: 2.65g/cm <sup>3</sup> )
	G小	砕石1005(青梅産, 表乾密度: 2.65g/cm <sup>3</sup> )
AE減水剤	AD1	リグニルスルホン酸化合物とポリオール複合体
AE剤	AD2	変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤
高性能減水剤	SP	ナフタリンスルホン酸・ホルマリン高縮合物塩
増粘剤	VIS	バイオポリマー

表-2 ベースコンクリート配合

配合 No.	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						混和剤	
						水 W	セメント C	細骨材		粗骨材		AD1	AD2
								S1	S2	G1	G2		
1	20	8±2.5cm	4.5±1.5%	50.0	50.0	175	350	654	227	488	399	0.30%	2A
2	20	8±2.5cm	6.5±1.5%	50.0	50.0	175	350	442	437	488	399	0.30%	10A

表-3 高流動コンクリート目標値

自己充填性のランク	3
U形充填性高さ	300以上 (障害なし)
スランプフロー(mm)	600±50
V <sub>75</sub> 漏斗の流下時間の範囲	7~20秒

キーワード トンネル, 高流動コンクリート, 高性能減水剤, ナフタリン, 後添加, 増粘剤, 流動化剤  
連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設株式会社 技術研究所 TEL042-489-8014

フレッシュ性状確認試験を行った。

4. 試験結果および考察

表-5 に、後添加した混和剤の添加量およびフレッシュ性状試験の結果を示す。

本試験では、最初に、スランブ 8.5cm および空気量 3.9%の配合 No.1 のベースコンクリートに、高性能減水剤および増粘剤をそれぞれ単位セメント量の 1.20wt% (以下、C×と表示) および単位水量の 0.05wt% (以下 W×と表示) 添加した。その結果、スランブフローが 600mm になったが、写真-1 に示すよ

うに、目視によって材料分離する傾向が確認された。そこで、後添加する増粘剤を W×0.10wt% まで増やしたところ、材料分離の傾向は見られなくなったが、スランブフローが 460mm となり、目標の範囲を外れた。

この結果を基に、後添加する高性能減水剤および増粘剤を、それぞれ C×1.60wt% および W×0.10wt% にしたところ、スランブフローが 605mm で、かつ材料分離抵抗性を有する高流動コンクリートを製造することができた。また、U形充填高

さおよび V<sub>75</sub> 漏斗流下時間を試験した結果、それぞれ 345mm および 84 秒であった。V<sub>75</sub> 漏斗流下時間が長くなったため、ベースコンクリートに使用している 2 種類の細骨材の割合を変化させ、粗粒率を 2.70 から 2.36 に変更することにより、間隙通過性の向上を試みた。また、空気量についても、後添加後の高流動コンクリートの値が 4.5 ± 1.5% となるように、AE 剤の添加量を調整してベースコンクリートの空気量を増やすこととした。

以上の検討を踏まえ、最終的に、スランブ 9.0 cm および空気量 7.8%の配合 No.2 のベースコンクリートに、高性能減水剤および増粘剤をそれぞれ C×2.20wt% および W×0.10wt% 添加した結果、スランブフローが 625mm で、かつ材料分離抵抗性を有し、空気量が 3.5%の高流動コンクリートを製造することができた。このベースコンクリートおよび高流動コンクリートの性状を、写真-2 に示す。また、U形充填高さおよび V<sub>75</sub> 漏斗流下時間を試験した結果、それぞれ 350mm および 22 秒であり、V<sub>75</sub> 漏斗流下時間が若干長いものの、おおむね自己充填性のランク 3 に適合する高流動コンクリートを製造することができた。

5. おわりに

本検討により、現場に運搬された普通コンクリートに高性能減水剤と増粘剤を添加して製造する高流動コンクリートのフレッシュ性状を確認することができた。今後は、凝結時間や初期強度発現性について検討を進め、現場で簡易かつ経済的に製造することができる締固め不要のトンネル二次覆工コンクリートの実用化を図っていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 株式会社高速道路総合技術研究所：NEXCO 中流動覆工コンクリート技術のまとめ，2011.12
- 2) 坂井吾郎ほか：特殊な混和剤を用いたトンネル覆工用中流動コンクリートの開発，セメント・コンクリート，No. 787，2012.9

表-4 試験項目, 試験方法

試験項目	試験方法
スランブ試験	JIS A 1101に準拠
スランブフロー試験	JIS A 1150に準拠
空気量	JIS A 1156に準拠
U形充填性高さ	JSCE-F 511に準拠
V <sub>75</sub> 漏斗試験	JSCE-F 512に準拠

表-5 高流動コンクリートフレッシュ性状試験結果

配合 No.	後添加混和剤		スランブフロー (mm)		空気量 (%)	U形充填性高さ (mm)	V <sub>75</sub> 漏斗 (秒)	コンクリート温度 (°C)	水温 (°C)
	高性能減水剤 SP (%)	増粘剤 VIS (%)	平均						
1	1.20	0.05	605×590	600	1.7	-	-	20	24
	-	0.10*	475×440	475	1.4	-	-	-	-
	1.60	0.10	605×600	605	2.2	345	84	21	24
2	2.20	0.10	620×580	600	3.5	350	22	20	-

※追加添加によるトータル添加量 (%)



写真-1 材料分離状況



写真-2 高流動コンクリート性状