

報告

[1032] シールド二次覆工への高流動コンクリートの適用

伊藤 祐二*1・山県 達弥*2・秋場 忠彦*2・横須賀 誠一*1

1. はじめに

シールドトンネルの二次覆工コンクリートの施工では、特に小口径の場合、狭隘な作業空間・高温高湿の作業環境において、コンクリートの打設・締固めを行わねばならない。しかも、打込み箇所は複雑な形状のセグメントが存在する小さな断面で、締固め作業に伴うコンクリートの品質変動を抑制する必要がある。近年、開発が進んだ高流動コンクリート [1] をこの種の工事に用いることで、シールド二次覆工の品質向上、作業の改善および施工の省力化が期待できる。シールド二次覆工に高流動コンクリートを適用する場合の、コンクリートの品質管理、製造、運搬および打込みに関する基礎的資料の収集を目的に施工現場で実験を行ったので報告する。

2. 実験概要

2. 1 実験現場の概要

実験は下水道シールドの二次覆工工事で行った。本工事は延長855.4mのシールドを119ブロックに分けて施工するもので、高流動コンクリートは3ブロックに適用した。1ブロックの打設長は9m、打設量は約15m³である。コンクリートはポンプ（新潟鉄工所社製NCP-910T）で圧送（配管:5in、配管実長40~70m程度）し、吹き上げ方式で打設した。図-1に標準断面を示す。高流動コンクリートは1回の打設量が少ないことから、搬入されたベースコンクリートに混和剤を投入し、現場で高流動化して製造した。使用した後添加用混和剤は増粘剤 (VA)、高性能AE減水剤 (SP)、およびAE剤 (AE) である。その配合は試し練り、および予備実験から決定した。使用材料を表-1に、コンクリートの示方配合を表-2に示す。

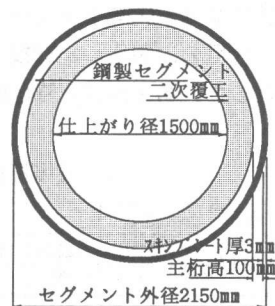


図-1 標準断面

表-1 使用材料

普通ポンドメント (C)	比重:3.15,比表面積:3310cm ² /g
細骨材 (細砂:S ₁)	比重:2.58,吸水量:2.6%,F.M.:1.59
細骨材 (粗砂:S ₂)	比重:2.58,吸水量:2.7%,F.M.:3.11
粗骨材 (2005:G ₁)	比重:2.64,吸水量:0.7%,F.M.:6.59
粗骨材 (2505:G ₂)	比重:2.66,吸水量:0.6%,F.M.:6.87
AE減水剤 (AEWR)	リグニン系
増粘剤 (VA)	アクリル系
高性能AE減水剤 (SP)	ポリアルキルスルホン酸系
AE剤 (AE)	樹脂系

2. 2 実機を用いた予備実験

本実験は、実機ミキサ性能、現場で混和剤を後添加して高流動化する場合の添加方法、製造された高流動コンクリートの品質および均質性を検討する目的で行った。まず、現場に到着したベースコンクリートのワーカビリ

チー試験（スランプ、スランプフロー、空気量および温度の測定）を行い、SP、VA、AE をこの順に後添加して高流動化し（アジテータ高速回転180秒）、続いて高流動コンクリートのワーカビリチー試験を行った。また、高流動コンクリートの試験は排出の開始時、1/3 排出時、2/3 排出時

* 1 (株)フジタ技術研究所生産技術研究部

* 2 (株)フジタ土木本部技術部

表-2 コンクリートの示方配合

種別	呼び強度	粗骨材の最大寸法 (cm)	スランプまたはスランプフローの範囲 (cm)	空気量の範囲 (cm)	水とセメントの比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)									
							ベースコンクリート							後添加材料		
							C	W	S ₁	S ₂	G ₁	G ₂	AEWR	VA	SP	AE
No.1	255	25	8±2.5	4±1	53.5	46.4	326	174	164	654	291	679	0.815	0	0	0
No.2	255	25	60±5.0	4±1	53.5	50.0	326	174	176	705	270	635	0.815	4	9.78	0.147
No.3	255	25	60±5.0	4±1	53.5	50.0	340	182	173	692	264	624	0.850	4	6.8 11.9	0 0.153

No.1:ベースコンクリート No.2:高流動コンクリート (予備実験配合) No.3:高流動コンクリート (現場打設試験配合)

および最後 (おのおの0.0.5.1.0.1.5m³)で行った。さらに、排出された高流動コンクリートから標準養生供試体 (φ10×20cm)とコア供試体採取用ブロックを無振動で作成し、標準およびコア強試体の圧縮強度試験を行った。

2.3 現場打設試験

試し練りおよび予備実験より決定された高流動コンクリートの配合で、3ブロックの打設試験を行った。第1回の試験ではベースコンクリートのスランプは1台目のみ測定し、SP投入量を8.5kg/m³とした。第2回目以降は図-2に示す高

表-3 現場打設試験項目

種別	項目	頻度
1*	スランプ	打設日の1台目または全車
	空気量・温度	打設日の1台目
2**	スランプ・スランプフロー・空気量・温度	全車
	圧縮強度	打設1日につき3材令 (15時間、7日、28日)
	静弾性係数	打設1日につき2材令 (7日、28日)

*1:ベースコンクリート *2:高流動コンクリート

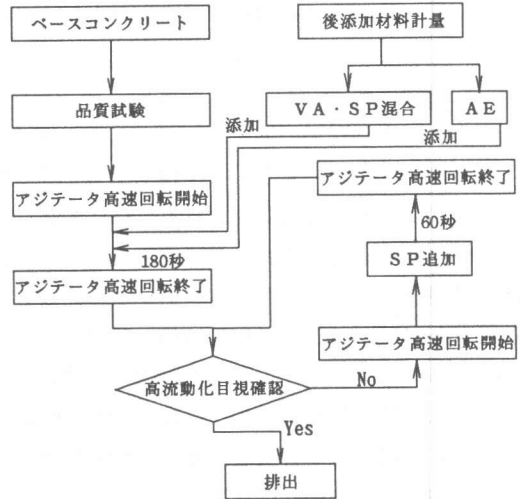


図-2 高流動化のフロー

流動化のフローに従って行なった。これらのブロックではコンクリートの振動締固めは行わず、現設計のコンクリートを用い振動締固めを行って施工したブロックと、仕上がりの状態を比較した。試験項目を表-3に示す。

表-4 予備実験結果

3. 予備実験結果

実機を用いた予備実験の結果を表-4に示す。排出された高流動コンクリートの品質のばらつきは小さく、アジテータ高速回転180秒で混和剤をほぼ均一に分散できると言える。また、最初と最

	スランプ (cm)	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	温度 (°c)	圧縮強度 (kgf/cm ²)		
					15時間	7日	28日
ベースコンクリート	6.5	20.0×20.0	6.3	29.0	--	--	--
高流動コンクリート	排出開始時	21.5	42.5×42.0 (42.5)	5.7	28.9	37	202 271 250
	0.5m ³ 排出時	24.0	47.0×44.5 (45.5)	5.1	28.5	37	214 278 260
	1.0m ³ 排出時	24.0	47.0×46.0 (46.5)	5.1	29.0	39	214 285 269
	1.5m ³ 排出時	24.5	44.0×42.5 (43.0)	4.7	27.9	38	219 288 267
	平均値±範囲	23.5±2.0	44.5±2.0	5.2±0.5	--	--	--

上段圧縮強度: 標準供試体 下段圧縮強度: コア供試体

後に排出された高流動コンクリートの流動性が比較的小さいことが分る。さらに、強度試験結果から高流動コンクリートの標準およびコア供試体圧縮強度のばらつきが小さく、呼び強度を十分満足することが確認できた。しかし、目標のスランプフロー $60\pm 5\text{cm}$ の高流動コンクリートは得られなかったため、配合を表-2のNo.3に変更して現場打設試験を行った。

4. 現場打設試験結果および考察

4.1 フレッシュコンクリートの試験結果

フレッシュコンクリートの試験結果を図-3に示す。これらより、以下のことが言える。

(1) スランプフロー：第1回打設時のスランプフローが大きくばらついたため、第2回、第3回は、全車のベースコンクリートのスランプを測定し、SPの投入量を決定した。さらに、流動状況の目視観察も行った結果、スランプフローは目標値の $60\pm 5\text{cm}$ 内にほぼ分布し、ばらつきも小さくなった。

(2) 空気量：概ね目標値の $4\pm 1\%$ を満足しているが、第1回打設時後半に低い値が測定された。これは、予備実験時の空気量の平均値が 5.2% と高かったため、第1回打設時にAEを使用しなかったことが原因と考えられる。

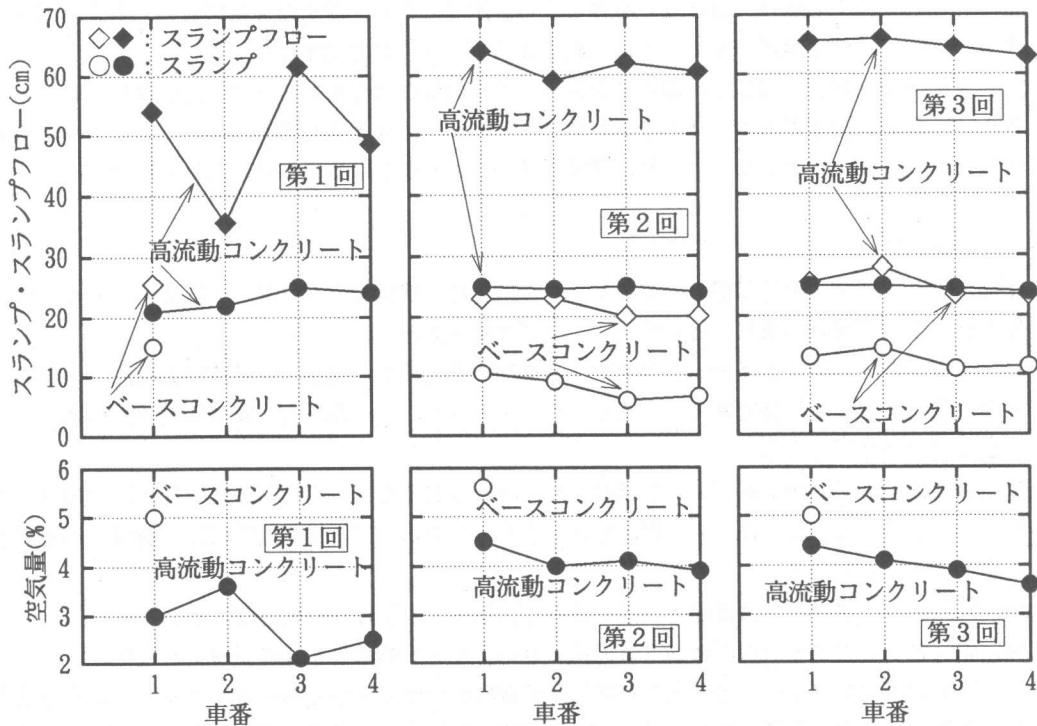


図-3 スランプ・スランプフロー・空気量の変化

4.2 圧縮強度試験結果

高流動コンクリートの圧縮強度試験結果を図-4に示す。この図には、比較のために現設計のコンクリートについても示している。高流動コンクリートの材令15時間強度の3回の平均値は 36kgf/cm^2 で、型わく脱型強度(目標 20kgf/cm^2)として十分であった。材令7日以後の強度も現設

計コンクリートの強度とほぼ同等であった。

4. 3 施工性

(1) ポンプ圧送性：高流動コンクリートの場合、ポンプ圧送開始時に圧送圧力が通常の場合以上に上昇し、配管筒先まで圧送された後には通常の場合とほぼ同様の圧送圧力（ピストン全面圧30～35kgf/cm²）に落ち着いた。また、第1回打設時に、先送りモルタルと高流動コンクリートの境界付近で管内閉塞が発生した。第2回打設時には、コンクリートポンプ車ホッパー内のモルタルをできるだけ送り出し、高流動コンクリートが混合されないようにした。その結果、閉塞現象は大幅に改善された。第3回打設時には、先送りモルタルにもVAおよびSPを添加した。その結果、閉塞現象は見られず、ポンプ圧送状況は良好であった。

(2) 型わく内での流動性・充填性：型わくの天端に吹き上げられた高流動コンクリートは、左右に分かれて落下し両側にほぼ同じ高さで立ち上がってきた。覆工の天端においても高流動コンクリートの充填性が良好であることは、施工後のボーリングで確認した。

(3) 仕上がり状況：覆工上半部のコンクリート表面はなめらかで、色むらも少ない。特に、吹き上げ部周辺の仕上がりは、従来のコンクリートと比べて大きく改善された。一方、下半部は側面ほど良好な仕上がりとなっており、底部（インバート部）には気泡跡が認められた。

5. まとめ

シールドトンネルの二次覆工コンクリートの施工に、高流動コンクリートを適用するための実験を行った。本実験のまとめとして、以下のことが言える。

(1) 現場でベースコンクリートに混和剤を後添加する方法で、安定した品質の高流動コンクリートを製造することが可能である。ただし、ベースコンクリートの品質（特に流動性）に応じた、入念な管理が必要となる。

(2) 高流動コンクリートがポンプ配管筒先から吐出されるまで、ポンプ圧送圧力が通常のコンクリート以上に上昇した。従って、高流動コンクリートのポンプ圧送開始時には、通常の場合以上に注意する必要がある。

(3) 高流動コンクリートは振動締め固めを行なわなくても良好な充填性を示した。

(4) 高流動コンクリートの圧縮強度は通常のコンクリートの場合とほぼ同様であった。

(5) 二次覆工コンクリートの仕上がり状況は天端に近いほど良好であった。インバート部の仕上がり改善するためには、コンクリートの打設口を型枠底部に設け、下方から上方に向かってコンクリートを打ち上げ、空気を妻型わく頂部から逃がす方法が有効であると考えられる。

最後に、高流動コンクリートのような種類のコンクリートにおいては、充填性の評価が重要である。施工現場で簡単に行うことのできる充填性評価手法の確立が望まれる。

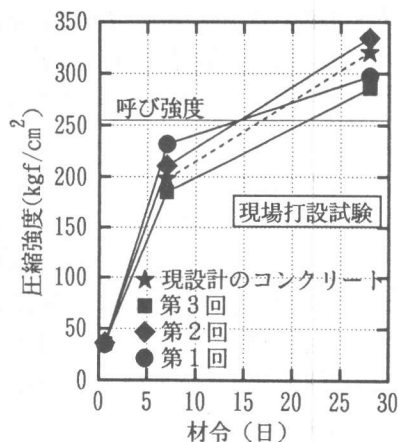


図-4 圧縮強度試験結果

<参考文献> [1] 伊藤祐二ほか：高充填コンクリートの諸特性に関する基礎的研究、フジタ技術研究所報、No.28、pp.115-120、1992.9