

報告

[1031] 過密配筋されたシールド二次覆工における高流動コンクリートの適用

井手 一雄*1・樋口 正典*2・竹内 光*3

1. はじめに

本高流動コンクリートは、下水道用シールド二次覆工のうち、接続部の補強工事を対象として適用されたものである。一般に下水道用シールド二次覆工は無筋である。ところが、当該構造物は、その構造性能から過密な配筋が要求されていた。その結果、従来の流動化コンクリートにより施工を行なった場合でも、十分な締固めがきわめて困難であると判断され、締固めを必要としない性能を持つ高流動コンクリートを適用することとした。

当該構造物へ適用する高流動コンクリートに要求された条件は、設計基準強度 (f'_{28}) が300 kgf/cm²であること、生コンプラントにおけるセメントサイロ数の制約や製造管理上、使用する結合材料を一種類とすることであった。

本報では、当該施工へ適用した高流動コンクリートの配合、運搬およびポンプ圧送方法に関する事前検討、品質管理の方法ならびに施工結果などについて報告する。

2. 施工対象構造物

施工対象構造物は、図-1に示すとおりである。施工延長は約12m (補強部 9.250m)、仕上り内径は3m、設計コンクリート量は48.4m³である。配筋状況は、写真-1に示すとおりである。トンネル軸方向筋としてD29を86mm間隔、トンネル円周方向筋としてD19を184mm間隔にそれぞれダブルで配筋した。なお、写真-1中の尺目盛はcm単位である。

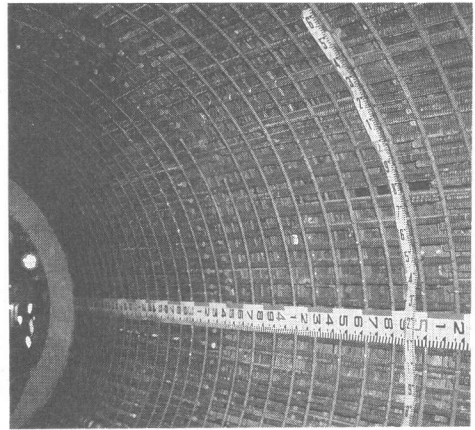


写真-1 配筋状況

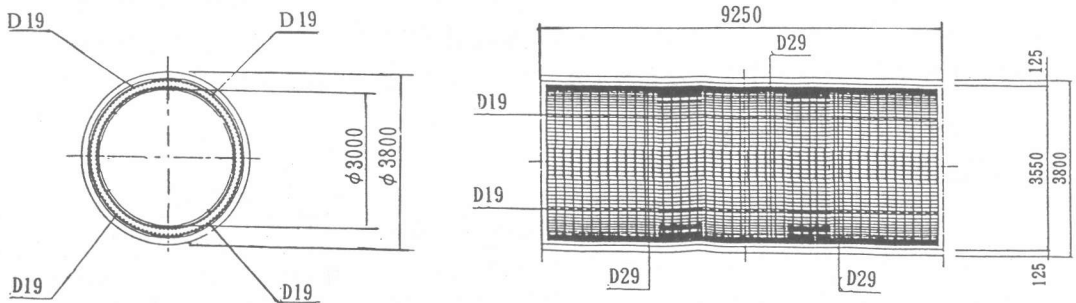


図-1 施工対象構造物

* 1 三井建設(株) 技術開発本部 技術研究所研究員(正会員)
 * 2 三井建設(株) 技術開発本部 技術研究所研究員(正会員)
 * 3 三井建設(株) 技術開発本部 技術研究所主任研究員(正会員)

3. 事前検討

3. 1 高流動コンクリートの配合

(1) セメント

使用するセメントは、以下に示す理由などから中庸熱ポルトランドセメント、高炉スラグ微粉末およびフライアッシュを約25:50:25の比率で混合したA社製の3成分系超低発熱セメントとした。

①生コンプラントにおけるセメントサイロ数の制約や製造管理上、結合材料を一種類とする必要がある。

②一般のコンクリートに比べセメント量を多く必要とするため、発熱量の少ない低発熱性のセメントが望ましい。

③セメント単味に比べフライアッシュ、高炉スラグ微粉末などの混和材料が混入されている方が、比較的高流動コンクリートの製造が容易である。

④セメント量が多く、また水セメント比が低いため、低発熱性セメントを

用いても、設計基準強度300kgf/cm²は可能である。

(2) 配合の選定

使用材料は、表-1に示すとおりである。配合は、コンクリートの充填性を評価する一手段であるメッシュ通過試験[1]の結果から、コンクリートが全量通過することを条件として選定した。試験装置は、図-2に示すとおりである。試験方法は、装置内にコンクリートを30ℓ充填した後、コンクリートを自重により装置下部のメッシュを通過させ、その通過量および通過時間を測定する。ここで、図-2に示した仕様において全量通過するコンクリートは、施工対象に対し十分な充填性を持つコンクリートであると考えた。選定した配合は、表-2に示すとおりである。

3. 2 運搬およびポンプ圧送

(1) 実験概要

実施工では、トラックアジテータを用いた運搬、およびポンプ圧送による打込みが想定される。ところが、高流動コンクリートは一般のコンクリートに比べ、運搬やポンプ圧送により流動性の低下など、品質の変動が大きいと言われている[2][3]。そこで、運搬時や圧送時におけるアジテイティングがフレッシュコンクリートに与える影響を検討するための実験を行なった。検討項目は表-3、実験条件は①~⑤に示すとおりである。なお、アジテイティングの影響は、スランプフローおよび空気量の変動から検討することとした。

表-1 使用材料

セメント	3成分系超低発熱セメント 比重 2.73 比表面積 4670cm ² /g
細骨材	相模産山砂(70%) 比重 2.58 FM 3.1 千葉産山砂(30%) 比重 2.58 FM 2.0
粗骨材	奥多摩産碎石 比重 2.69 FM 6.5
高性能AE減水剤	芳香族アミノカルボン酸系

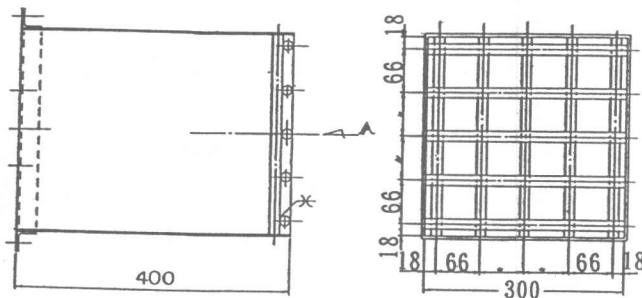


図-2 メッシュ通過試験装置

表-2 配合

粗骨材の最大寸法(mm)	水セメント比(%)	s/a(%)	空気量(%)	単位量(kg/m ³)						
				W	C	S1	S2	G	Ad1	Ad2
20	31.4	51.1	4.0	162	516	561	241	801	8,976	0.129

注) S1:相模産山砂 S2:千葉産山砂
Ad1:高性能AE減水剤 Ad2:AE助剤

表-3 検討項目

出荷	運搬方法	圧送方法	
1車目	アジテイティング有	アジテイティング有	アジテイティング無
2車目	アジテイティング無	-----	

①コンクリートの配合は、施工時と同一とする。

②コンクリートは、アジテータトラックを用いて2回出荷する。両車とも施工時の運搬時間を考慮し、およそ40分間運搬させた後に実験を行う。

③トラックアジテータからの試料採取は、ミキサを高速回転させた後に行う。

④ポンプの圧送速度は、 $30\text{m}^3/\text{h}$ とする。

⑤圧送実験における配管は、ポンプにかかる最大圧送負荷が本施工の場合とほぼ等しくなるように設定する[4]。配管図は、図-3に示すとおりである。

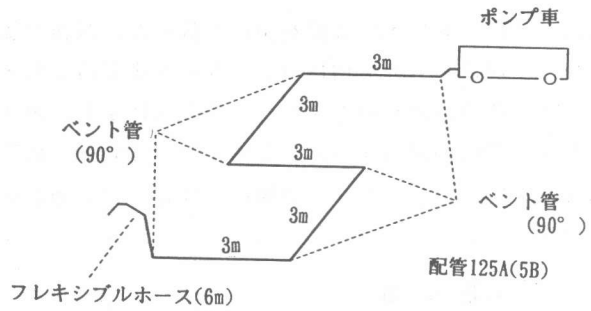


図-3 実験で使用した配管図

表-4 試験結果

出 荷	試験項目	出荷時	荷卸時	圧 送 後	
				アジテイティング有	アジテイティング無
1 車目 (アジテイティング有)	コンクリート温度(℃)	12.2	12.7	12.2	12.8
	スランプフロー (cm)	68×66	71×68	54×51	57×64
	空気量 (%)	3.5	3.4	1.6	3.0
2 車目 (アジテイティング無)	コンクリート温度(℃)	12.1	12.5	-----	-----
	スランプフロー (cm)	58×55	57×57	-----	-----
	空気量 (%)	4.8	4.5	-----	-----

(2) 実験結果および考察

実験結果は、表-4に示すとおりである。

運搬時のアジテイティングはスランプフローを若干増加させ、空気量の減少を少なくする傾向があるように思われる。またポンプ圧送をすると、スランプフロー、空気量ともに減少しており、品質変化に対する影響が大きいように思われる。しかし、ポンプ車ホッパ内においてアジテイティングを行わない場合の方が、スランプフローおよび空気量の減少量が小さいとの結果を得た。

これらの結果から、フレッシュコンクリートの品質変化に対する影響は、運搬よりもポンプ圧送の方が大きく、ポンプ圧送による品質変化は、ホッパ内のアジテイティングにより増大されることがわかった。

表-5 品質管理試験項目

試験項目	試験方法
コンクリート温度	接触型デジタル温度計
スランプフロー試験	水中不分離コンクリート・マンユル
空気量試験	J I S A 1 1 2 8
LSロート試験	本文参照
SSロート試験	本文参照
Vロート試験	本文参照
圧縮強度試験	J I S A 1 1 0 8

表-6 LSおよびSSロート試験装置

ロート種別	ϕD (mm)	ϕd (mm)	H (mm)
LS	240	60	420
SS	200	60	420

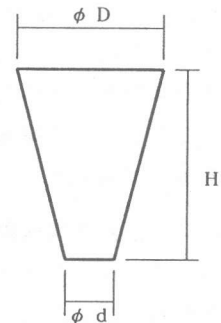


図-4 LSおよびSSロート試験装置

4. 品質管理

4.1 品質管理試験項目

品質管理試験項目は、表-5に示すとおりである。ここで、LSおよびSSロート試験は、メッシュの通過性(充填性)を現場においても簡便に評価する方法として、著者らが考案、検討している試験であり、図-4および表-6に示す装置を用いて行った。またVロート試験[5]は、コンクリートの充填性を評価する一方法として東京大学コンクリート研究室において考案、検討されている試験

であり、図-5に示す装置を用いて行った。試験方法は、各ロート試験とも装置内にコンクリートを充填した後、装置下部の流出口からコンクリートを自重により流出させ、その流出時間を測定する。LSおよびSSロート試験はそれぞれ1回行い、Vロート試験は2回行った2回目を試験結果とした。

4.2 管理目標値

管理目標値は、表-7に示すとおりである。ここで、LSおよびSSロート試験の目標値は、図-6に示すメッシュ通過試験の結果と各ロート試験の結果から設定した。各試験は、スランプフローが58~68cmとなったものについて行っており、図中白抜きはメッシュを全量通過したもの、黒塗りは全量通過しなかったものである。これらの結果から、LSロート試験において12秒以下かつSSロート試験において10秒以下となったものは、メッシュを全量通過することがわかった。また、Vロート試験では、図-7に示すVロート試験結果とLS、SSロート試験結果およびメッシュ通過試験結果との関係から、目標値を7秒以下と設定した。図中白抜きはメッシュを全量通過したもの、黒塗りは全量通過しなかったものである。

5. 施工

5.1 コンクリートの製造

コンクリートの製造は、生コン工場において容量3m³の油圧式可変速2軸強制練りミキサを用いて行なった。1台目のトラックアジテータには、1バッチの練りませ量2.0m³を2バッチ、すなわち4.0m³積載し、2台目以降には1バッチ2.5m³を2バッチ、すなわち5.0m³積載して出荷した。出荷台数は9台であり、事前検討の結果を考慮しアジテティングを行って運搬した。なお、運搬時間は、32分~55分間であった。

5.2 品質管理試験結果

品質管理試験結果は、表-8に示すとおりである。スランプフロー試験および空気量試験は、それぞれトラックアジテータ全車について行い、各種ロート試験は、それぞれ1、4、7、9号車について行った。また、圧縮強度試験用のテストピースは、1号車および9号車の出荷時ならびに4号車の荷卸し時に採取した。スランプフロー試験および空気量試験の結果をそれぞれ図-8および図-9に図示する。なお、図中点線は、管理目標値である。

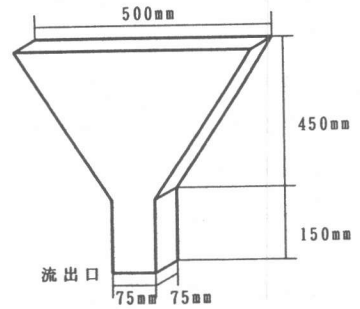


図-5 Vロート試験装置

表-7 管理目標値

試験項目	管理目標値
コンクリート温度	-----
スランプフロー試験	58~68cm
空気量試験	4±1 %
LSロート試験	12秒以下
SSロート試験	10秒以下
Vロート試験	7秒以下
圧縮強度試験	$f'_{28}=300\text{kgf/cm}^2$

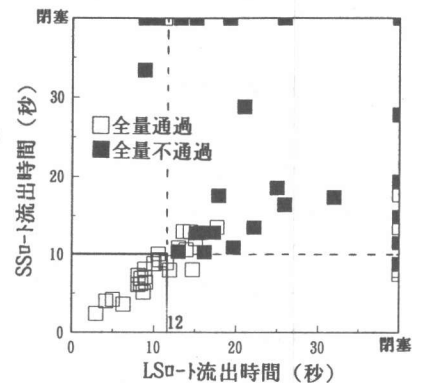


図-6 LS, SSロートとメッシュ通過

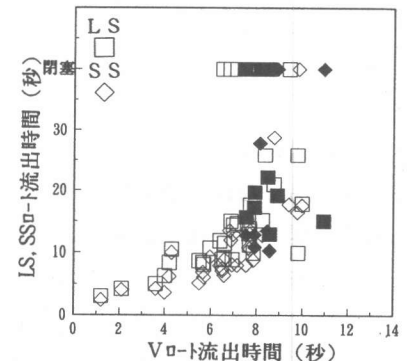


図-7 各ロート試験とメッシュ通過

表-8 品質管理試験結果

出荷 台数	出荷時						荷卸時						運搬 時間 (分)
	コンクリート 温度 (℃)	スランプフロ (cm)	空気量 (%)	ロート流出時間(秒)			コンクリート 温度 (℃)	スランプフロ (cm)	空気量 (%)	ロート流出時間(秒)			
				LS	SS	V				LS	SS	V	
1車目	9.9	62×59	3.8	7.73	5.82	5.56	9.2	63×62	1.9	6.42	6.39	6.03	40
圧縮強度試験結果: 41.1 kgf/cm ² (平均値)													
2車目	9.9	61×60	3.8	--	--	--	9.2	61×60	2.8	--	--	--	47
3車目	9.9	71×70	2.4	--	--	--	11.0	70×69	1.8	--	--	--	40
4車目	10.8	63×63	4.5	5.36	3.75	3.72	12.0	70×68	3.6	5.93	5.47	4.07	40
圧縮強度試験結果: 46.4 kgf/cm ² (平均値)													
5車目	10.9	57×56	5.6	--	--	--	11.4 (11.8)	55×52 (61×58)	5.0 (4.0)	--	--	--	32
6車目	11.7	57×54	6.0	--	--	--	11.9	60×58	4.5	--	--	--	44
7車目	11.3	60×58	5.5	6.57		4.22	11.9	63×60	4.5	7.00	6.65	5.14	43
8車目	11.7	59×58	6.0	--	--	--	12.1	61×60	5.0	--	--	--	47
9車目	11.4	55×54	5.8	8.52	6.45	6.70	11.5 (11.7)	50×49 (67×66)	-- (4.5)	-- (7.57)	-- (7.77)	-- (5.99)	55
圧縮強度試験結果: 45.2 kgf/cm ² (平均値)													

注) () 内は高性能AE減水剤再添加後の試験値

(1) 出荷時のスランプフロー

出荷時におけるスランプフローは、3号車において目標値よりも2cm程度大きく、5、6および9号車において3cm程度小さいものの、ほぼ目標値を満足することができた。

(2) 荷卸時のスランプフロー

荷卸時におけるスランプフローは、3号車および4号車において目標値を1cm程度上回り、5号車および9号車において目標値を下回った。3号車では、目視および触感により粘性や材料不分離性に異常が認められなかったため、また4号車では、各種ロート試験の結果が目標値を満足していたためそのまま打ち込みを行った。5号車および9号車については、流動性が不足していると判断されたため、高性能AE減水剤を再添加して流動性を高めたものを使用した。なお、運搬によるスランプフローの変動は、+6cm~-5cmであった。

(3) 空気量

空気量は、運搬によりトラックアジテータ全車において0.6~1.9%減少した。1~3号車において荷卸時の空気量が目標値を大きく下回ったため、4号車以降ではAE助剤の添加量を増量することにより、目標値を満足することができた。ただし、施工地域が厳しい凍害を受ける地域ではないこと、ならびに施工対象が地中構造物であり凍害の影響を受けにくいことから、空気量が目標値以下の場合でも打ち込みを行った。

(4) 各種ロート

各種ロート試験では、運搬により若干流出時間が延長される傾向が認められるものの、荷卸し時においても目標値を満足した。これらの結果から、トラックアジテータを用いた40分前後の一般的な運搬は、本高流動コンクリートの充填性を著しく損なうものではないといえる。

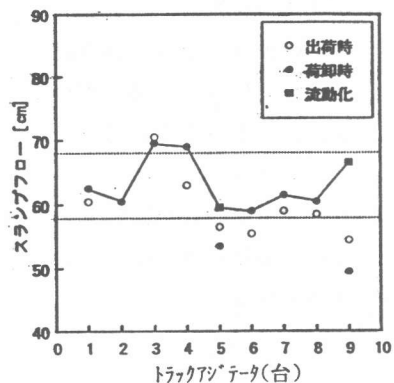


図-8 スランプフロー試験結果

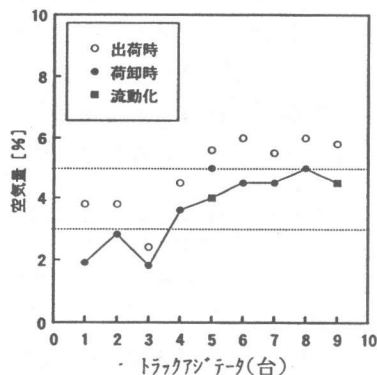


図-9 空気量試験結果

(5) 圧縮強度

コンクリートの圧縮強度は、いずれにおいても設計基準強度以上であった。

5. 3 施工結果

施工状況は、写真-2に示すとおりである。コンクリートの打込みは、コンクリートポンプ車を用いてホップ内のアジテイティングを行わずに、圧送速度 $20 \sim 30 \text{ m}^3/\text{h}$ で行った。また、締固め作業は一切行っていない。出来形は写真-3に示すとおりである。図-10に示す打設口ヶ所のみからの打込みであり、妻側まで10m以上の流動が必要であったにも拘らず、インバートに若干の気泡あばたがみられた他には、妻側も含めジャンカ、空洞などの欠陥はまったくなく、良好な充填が確認できた。

今回の施工から、高流動コンクリートを用いることにより、過密配筋下においても良好な施工結果を得られることが確認できた。また、苦渋作業といわれている締固め作業やそれに伴う騒音が排除できたことから、作業環境の改善にも効果的なコンクリートであることがわかった。

6. おわりに

現在、高流動コンクリートなど、おもに締固めを必要としない性能を持つコンクリートでは、その品質や品質管理手法などが基準化されていない。したがって、現段階における高流動コンクリートの施工では、このようなコンクリートの研究開発に従事している技術者が事前に検討を行うとともに、その品質の管理・判定を行っているのが現状である。

今後は、高流動コンクリートの汎用化をめざして、実施工に対応できる品質管理手法の確立を行っていきたいと考えている。

[謝辞] 本施工にあたり、横浜市下水道局関係者各位には、多大なご協力をいただき、また東京大学土木工学科岡村教授、小澤助教には、高流動コンクリートに関するご指導をしていただいております。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 岡村甫ほか：締固め不要コンクリートの可能性と課題、コンクリート工学、Vol. 30, No. 2, 1992. 2, pp5~14
- [2] 高橋秀樹ほか：ハイパフォーマンスコンクリートの実構造物における施工性、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 14, No. 1, pp45~50, 1992
- [3] 坂本淳ほか：超流動コンクリートのポンプ圧送性、土木学会第46回年次学術講演会、第5部、pp624~625
- [4] コンクリートライブラリ-第57号 コンクリートのポンプ施工指針(案) 昭和60年11月 土木学会
- [5] 坂田昇ほか：フレッシュコンクリートの充填性評価のためのロート試験、土木学会第47回年次学術講演会、第5部、pp566~567

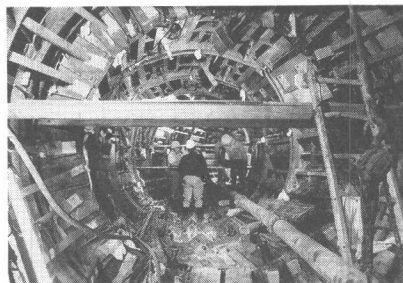


写真-2 施工状況

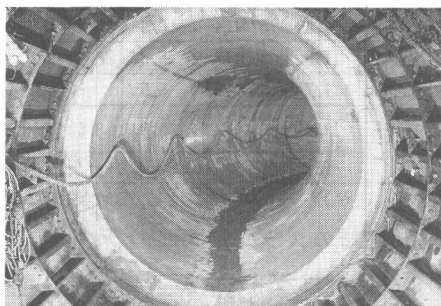


写真-3 出来形

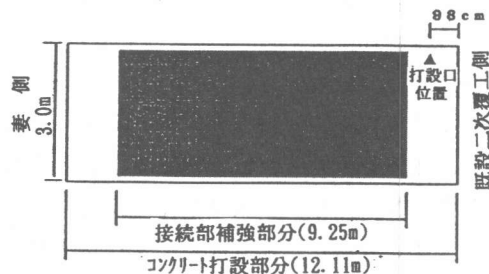


図-10 施工対策対象構造物の概略図