

報告 大深度立坑底版部における低熱型高流動コンクリートの施工

新谷 壽教^{*1}・高橋 秀樹^{*2}・斉藤 國和^{*3}・望月 宏稀^{*4}

要旨：放水路分流部立坑工事の底版に低発熱型の粉体系高流動コンクリートを適用した。製造には3工場4プラントを同時に使用し、約3000m³を1日で立坑下約70mまでポンプ圧送により連続打設を行った。打設には約20時間を要し、時間当たり150m³の急速施工であった。本報告では、高流動コンクリートの配合選定および施工における品質管理とその結果について述べる。

キーワード：粉体系高流動コンクリート、低発熱、連続打設、急速施工

1. はじめに

五反田川放水路は、下流の二ヶ領本川及び平瀬川の流下能力以上の洪水が発生した時、五反田川の洪水全量(150m³/s)を延長約2000mの地下トンネルに流入させ直接多摩川へ放流させようとするものである。五反田川放水路分流部立坑築造工事では、図-1に示すように地中連続壁内(内径27.0m)の床付面及び側壁を構築していくものである。特に底版は図-1に示すように内径27.0m、厚さ5.0mの極めてマッシブな構造であり、コンクリートの打設量は約

3000m³である。また、図-2から底版の配筋状態をみると、D51を主体とした主鉄筋及び配力筋が過密に配筋されているため、配筋内部のバイブレータによる締め固めを行うことは不可能であった。そのため品質管理や施工管理を考慮して低発熱型の粉体系高流動コンクリートを採用した。本施工では3工場4プラントを使用して約3000m³の高流動コンクリートを底版に1日で打設する急速施工であった。本報告では配合選定から施工結果に至るまでを述べる。

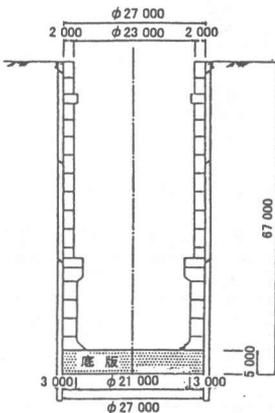


図-1 立坑断面図

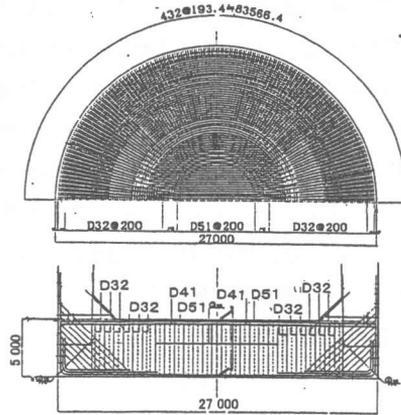


図-2 底版配筋図

*1 西松建設(株)技術研究所技術研究部土木技術研究課 工修 (正会員)
 *2 西松建設(株)技術研究所技術研究部土木技術研究課副課長 (正会員)
 *3 川崎市多摩土木事務所 主幹
 *4 西松建設(株)川崎五反田出張所 所長

2. 高流動コンクリートの仕様及び配合

2.1 基準配合の選定

高流動コンクリートとは、良好な流動性と適度な分離抵抗性を併せ持つ、締固め不要の自己充てん性を有したコンクリートである。今回の実施工では GL-62.0m の底版にポンプ圧送による打設となるため、圧送後の筒先での良好な流動性と適度な分離抵抗性が確保されていることが重要であった。また、高流動コンクリートは粉体系、増粘剤系、併用系の3種類に大別されるが、各工場の粉体サイロを確保できることから経済的な粉体系の高流動コンクリートを採用することとした。配合を検討する上で使用した材料を表-1に示す。

配合検討の中で、単位セメント量及び細骨材率は、既往の実績（併用系）¹⁾と事前に行った温度ひび割れの検討をもとにそれぞれ 300kg/m³、50%とした。また既往の実績（併用系）の増粘剤添加による材料分離抵抗性の確保に見合う粉体量の増加を石粉で補うこと²⁾として 250kg/m³から検討した。図-3に配合検討フローを示す。

高流動コンクリートのスランブフローは練混ぜ直後から 30 分経過した時点でピークとなることが想定されたため、試験は練上がり 5 分後及び 30 分後に実施した。スランブフローの目標値は、30 分後を基準として下限を 65cm、上限を 70cm とし、この範囲を満足する配合の検討を行った。試験項目及び目標値を表-2に示す。試験結果から石粉の単位量は 275kg/m³の配合が良好であり、基準配合（表-3）を設定した。

2.2 基準配合確認試験

実施工では 3 工場を同時に使用することから、工場間での骨材品質の相違によるコンクリート

品質への影響を把握するため、工場毎に基準配合の確認試験を実施した。各工場の使用骨材を表-4に示す。

表-3に示した基準配合のうち、高性能 AE 減水剤添加量のみを各工場で調整することで、工場毎にフレッシュ性状を確認した。結果を表-5に示す。3工場とも 2 回の試験を 2 日に分けて実施したが、環境条件及び骨材はほぼ同じ

表-1 使用材料

材料	種類	密度 (g/cm ³)	摘要
セメント	低熱ポルトランドセメント	3.22	ブレン値: 3390cm ² /g
混和材	石灰石微粉末(B社製)	2.70	ブレン値: 2400cm ² /g
混和剤	高性能AE減水剤	—	ポリカルボン酸系
細骨材	山砂(君津産)	2.60	F.M.: 2.34(代表値)
	砕砂(秩父産)	2.64	F.M.: 3.33(代表値)
粗骨材	砕石2005(西多摩産)	2.63	F.M.: 6.59(代表値)

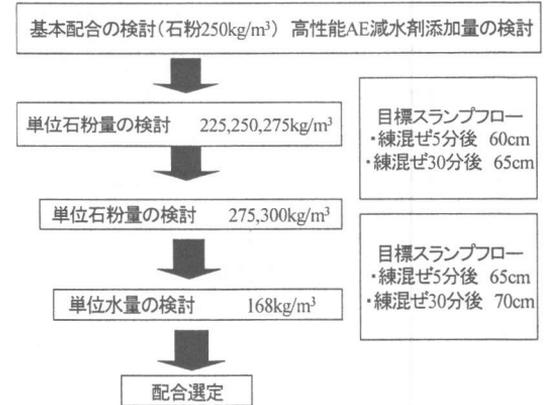


図-3 配合検討フロー図

表-2 試験項目及び目標値

試験項目	目標値	備考
・スランブフロー(cm)	65±5	流動性の指標
・50cmフロー時間(sec)	3~7	分離抵抗性の指標
・空気量 (%)	4.5±1.5	

表-3 基準配合

設計基準強度 (N/mm ²)	水セメント比 (%)	水粉体比 (%)	細骨材率 (%)	空気量 (%)	単位量(kg/m ³)						
					水	セメント	石粉	細骨材		粗骨材	混和剤添加量
								砕砂	山砂		
24	55.0	28.7	50.0	4.5	165	300	275	233	544	782	1.15%

であったにも関わらず2回の試験結果が各工場とも大きく異なり、この原因を究明し製造管理へフィードバックするという課題が残った。

2.3 室内試験

表-5の結果を受けて、その原因の究明さらに要求品質を安定的に製造するための対策を講じることを目的として再度室内試験を実施した。影響因子として石粉の種類(表-6)を考え、この種類を変えたときの混和剤使用量、細骨材率が主としてスランプフローに及ぼす影響を検討した。試験結果を表-7に示す。

一連の試験結果から、石粉の種類の違いが練上がり5分後のフレッシュ性状及び30分後の性状変化に大きく影響を及ぼすものと思われた。さらにB社製の石粉については混和剤使用量や骨材の表面水率の変動にかなり敏感に影響をうけるものであることもわかった。

高流動コンクリートに使用実績のあるA社製の石粉を用いてコンクリートの性状を確認したところ、50cmフロー時間からみると比較的粘性が低い値を示しているが、目視では先端まで粗骨材が行き渡っており良好な材料分離抵抗性を保持していた。さらに充てん性においても良好な結果が得られ、各因子を変動させても練上がり性状の安定性が高いことが確認できた。また、練上がり30分後のスランプフローの増加量はいずれも約10cmと通常の上限程度内であ

り、施工上管理可能な範囲であった。

3. 実機試験

立坑内の均しコンクリート(約60m³)に高流動コンクリートを採用した。3工場とも全パッチについて製造、荷卸し及び筒先の3箇所で

表-4 各工場の使用骨材

工場	骨材	混合比率		混合密度(g/cm ³)
		山砂	砕石	
K	細骨材	山砂	砕石=60:40	2.60
	粗骨材	砕石	石灰砕石=60:40	2.66
M	細骨材	山砂	砕石=75:25	2.61
	粗骨材	砕石	石灰砕石=100:0	2.66
T	細骨材	山砂	砕石=70:30	2.61
	粗骨材	砕石	石灰砕石=100:0	2.63

表-5 基準配合確認試験

No.	試験項目	K工場		M工場		T工場	
		5分	30分	5分	30分	5分	30分
1	スランプフロー(cm)	63.0	69.0	58.5	68.5	58.5	69.5
	50cmフロー時間(秒)	10.2	7.4	11.4	7.4	9.7	7.8
	空気量(%)	4.9	4.9	4.5	4.5	4.3	4.2
	コンクリート温度(°C)	24.0	24.0	22.0	22.0	24.5	24.5
2	スランプフロー(cm)	53.5	66.0	52.0	61.5	43.5	54.5
	50cmフロー時間(秒)	-	9.7	-	9.4	-	12.9
	空気量(%)	4.7	4.6	4.4	4.5	4.3	4.2
	コンクリート温度(°C)	24.0	24.0	22.0	21.5	24.5	24.0

表-6 石粉の種類

種類	密度(g/cm ³)	ブレン値(cm ² /g)
A社製	2.70	3800
B社製	2.70	2400

表-7 室内試験結果

試験名	石粉種類	混和剤使用量(C×%)	細骨材表面水率(%)	練上り温度(°C)	スランプフロー(cm)		50cmフロー時間(秒)		空気量(%)	
					5分	30分	5分	30分	5分	30分
					細骨材の表面水率の変動	B	1.25	0.0	20.0	27.0
+0.5	20.0	40.5	63.0	-	11.3			4.1	4.0	
1.30	0.0	20.0	46.0	66.5	-		11.1	4.4	4.3	
	-0.5	20.0	34.0	60.0	-		20.6	4.0	3.8	
混和剤の使用量の変動	B	1.25	0.0	20.0	27.0	46.0	-	-	5.1	4.3
1.30		0.0	20.0	46.0	66.5	-	11.1	4.4	4.3	
1.35		0.0	20.0	50.0	68.0	30.2	11.1	3.9	3.5	
石粉の種類の違い	A	1.25	0.0	20.0	51.5	61.5	8.2	5.3	5.3	5.1
	B	1.25	0.0	20.0	27.0	46.0	-	-	5.1	4.3
	A	1.30	0.0	20.0	61.5	70.0	4.5	4.0	4.2	4.2
	B	1.30	0.0	20.0	46.0	66.5	-	11.1	4.4	4.3

表-8 試験結果

生コン工場	No.	スランプフロー (cm)			50cm70-時間 (秒)			空気量 (%)			コンクリート温度 (°C)			混和剤添加量 (C×%)
		出荷	荷卸	筒先	出荷	荷卸	筒先	出荷	荷卸	筒先	出荷	荷卸	筒先	
M	1	51.0	64.0	50.0	11.9	5.7	13.5	3.5	3.6	5.3	27.0	27.0	26.0	1.50
	2	48.5	67.0	45.5	-	4.7	-	3.4	3.9	5.8	27.0	27.0	28.0	1.50
	3	55.5	71.5	66.0	6.6	5.1	4.0	4.0	5.2	5.5	26.5	27.0	25.0	1.55
K	1	75.0	81.0	-	2.7	3.2	-	2.5	-	-	25.0	-	-	1.55
	2	66.0	73.0	66.5	5.3	4.5	3.3	3.2	5.4	4.6	27.0	26.0	26.0	1.50
	3	62.5	72.0	52.5	5.3	4.3	5.7	3.7	5.7	5.0	26.5	26.0	27.0	1.40
T	1	62.0	71.5	68.5	3.1	3.0	2.1	3.8	4.8	5.4	26.0	25.0	25.0	1.55
	2	68.5	73.5	78.0	2.8	3.0	2.0	3.5	4.7	2.3	25.5	25.0	25.5	1.60
	3	65.5	72.5	70.5	3.0	3.2	3.2	3.7	4.7	4.4	25.5	25.0	25.0	1.60

品質管理試験を行い、性状の変化を把握した。荷卸し及び筒先における試験結果は測定後すぐに製造工場へ連絡し、筒先で所定の品質が得られるように配合の修正を行った。試験結果を表-8に示す。

試験結果から、3工場ともNo.3は筒先において良好な性状を示していることを目視で確認した。したがって筒先で所要の性状を得るには、荷卸し時において粘性が適度であり、かつ流動性が高い領域の性状が要求されると判断した。このことから、実施工におけるフレッシュ性状の目標値を推測し、表-9のように設定した。

4. 底版コンクリートの施工

4.1 製造方法及び打設方法

本施工では3工場4プラントを使用し、時間当たりの総出荷量は約230m³を想定した。工場の選定は通常運搬時間が20~30分程度の位置にあることと、高流動コンクリートの製造実績を有していることを考慮した。各工場の製造設備及び出荷計画を表-10に示す。

製造直後から打設完了までに要する時間は交通渋滞時の運搬、現場での待機等を考慮して1.0時間以内とした。

現場でのポンプ車は3台を使用し、各ポンプ車に生コン車を2台付けて、工場の違いに関係なく到着順に打設することとした。

表-9 フレッシュ性状の目標値

項目	出荷時	荷卸し時	筒先時
スランプフロー(cm)	53~63	63~73*	55~70
50cm70-時間(秒)	4~8	4~8	4~6
空気量(%)	4.5±1.0	4.5±1.5	4.5±1.5

※ スランプフロー70cm以上は適度な粘性を有し、分離していないこと

表-10 各工場の製造設備と出荷計画

工場	K	M	T-1	T-2
出荷量(m ³)	650	750	660	800
出荷速度(m ³ /h)	60	60	48	60
練混ぜ量(m ³ /バッチ)	2.5	2.5	2.0	2.5
ミキサ形式	強制2軸 ※二段練り	強制2軸	強制2軸	強制2軸
出荷ペース(m ³ /5分)	5.0	5.0	4.0	5.0

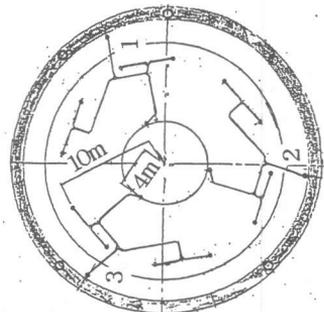


図-4 分岐配管配置図

配管は3系統とし、各系統ともポンプ車より5B管で横引きし(最長21m)、鉛直降下配管(62m, 5B)及び底版上で変則的な5分岐とした。分岐配管配置図を図-4に示す。

打設中は3系統とも閉塞することなく連続して施工することが出来た。実際の打設速度は過去の実績等から当初、3系統全体で180m³/h(配管1系統当たり60m³/h)を計画していたが道路渋滞による生コン車遅延等により出荷量も低減させて150m³/hとした。このため、予定よりは若干遅れたが約20時間を要して約3000m³のコンクリートを急速施工することが出来た。

4.2 コンクリートの品質管理

高流動コンクリートのフレッシュ時の性状は材料の変動に大きく影響を受け、また練上がり直後からの経過時間にしたがって品質は大きく変化する。品質の劣ったコンクリートを打設するとコンクリート構造物自体の品質が劣ることとなるため、高流動コンクリートでは製造、荷卸し及び筒先での品質管理の重要性が考えられた。品質管理試験結果を表-11に示す。

(1) 製造管理

フレッシュ時の性状は、骨材表面水率の変動

に極めて敏感である。骨材管理は、細骨材の表面水率測定を製造開始前、開始後2時間毎、さらに出荷時の品質管理試験結果を基に、コンクリートの性状が変化と思われる場合に実施した。粗骨材については、製造開始前、午後一番及び出荷時の品質管理試験により性状が変化と思われる場合に実施した。

練混ぜ時には、全バッチのミキサ内の練混ぜ状況をモニターで目視確認を行い、同時に製造管理の目安としてミキサの負荷値を利用した。

品質管理試験は基本的に各プラント毎に最初の3台、その後は10台毎に実施した。1台目は練混ぜ直後及び30分後の性状を確認し、そのコンクリートについては廃棄処分とした。配合の修正については基本的に高性能AE減水剤を使用し、調整後速やかに性状確認を行った。各プラント毎に終始管理した結果、出荷時のフレッシュ性状目標値(表-9)内に収めた良好な品質を製造することが出来た。

(2) 荷卸し時の管理

荷卸し時の管理は各工場毎に実施した。試験は出荷時と荷卸し時と同一の生コン車に対して実施することでデータの有効性を高めた。

表-11 試験結果

生コン工場	台数	スランフロー(cm)			50cmフロー(秒)			空気量(%)		コンクリート温度(°C)	
		出荷	荷卸	筒先	出荷	荷卸	筒先	出荷	荷卸	出荷	荷卸
K	1~2	60	70		4~5	4.3~5.3		3.1	3.6	18	17.5
	3~50	58~62	70~64		5.5	4.6~6.1					
	55~90	56~64	67~72	50~55	3.9~5.0	3.6~5.9	6.0				
	100~110	57~65	70		3.5~5.5	4.7					
	120	67	67		5~6	5.0					
M	1	54	67		6.1	5.3		3.8	3.5	17.5	17.5
	2~10	60	70		5.5	4.1~4.8					
	20~24	53~55	66	57	5.8~6.7	4.4	4.5				
	30~150	62~67	65~70	43~54	4.0	3.5~6.6					
	160	60	67~73		5~6	5.1					
T-1	1~20	50~55	65~70		8~11	4.6~6.5		3.3	3.7	16	17
	30~70	55~60	65~72	60	6~4.5	3.4~4.7	4.3				
	80~90	65	70~73	60	3.5~5	4.0	3~4				
	100~160	57~62	68~70		5~10	4.3~6.5					
T-2	1~2	55~60	70		5~6	4.5		3.5	3.5	17	16
	3~20	50	70		11~6.5	4.7~5.7					
	30~70	59~60	70~65	52	5~6.5	3.8~5.2	6.0				
	80~90	65	68~73		4.0	3.6~3.9					
	100~170	55~64	67~73		5~6	4.7~6.9					

フレッシュ時の性状の目標値は、表-9としているが、70cmを超える場合には50cmフロー時間及び目視で性状を判断し、打設の可否を判断した。また、スランプフローが60cm未満や、可使時間以上の場合にはポンプ圧送性を考慮して流動性を回復させるために高性能 AE 減水剤を再添加し、性状を確認してから打設した。

表-11の結果に示されるように、荷卸し時の性状は目標値(表-9)内にほぼ収めることができた。スランプフローが70cm以上のものについては、50cmフロー到達時間が若干目標値を下回っているのがみられたものの、目視では十分な材料分離抵抗性を保持しているものと判断して打設した。スランプフローは65cmを超えているものがほとんどであり良好な流動性を示していた。

(3) 筒先での管理

筒先では、自主的な管理として試験を行い、ポンプ圧送後の流動性及び粘性の状態を把握し、荷卸し時及び製造時のフレッシュ性状との比較を行った。

表-11の試験結果から、スランプフローは50cm以上のものがほとんどであった。当初は施工性を考慮してある程度の流動性を保持した55cm以上を目標値としたが、実際にはフローロスが大きく50~55cmのものも多くみられた。10cm程度のロスも想定していたものの、実際は15cm以上と予想外に大きかった。この原因としては①圧送による圧密脱水現象により若干材料分離が生じた。②配管実長は100mもないが落差が約60mと大きく、またバランスを崩した分岐配管により管内圧力損失が大きく、管内摩擦により配管内のコンクリート温度の上昇がする。③荷卸し時における製造からの経過時間の違いによる影響がある。などが考えられる。

出荷から筒先までの品質管理結果のうち一部を図-5及び図-6に示す。

5. まとめ

配合選定及び本施工で得られた結果を示す。

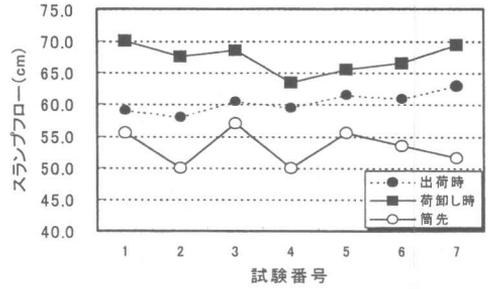


図-5 スランプフロー試験結果 (M工場)

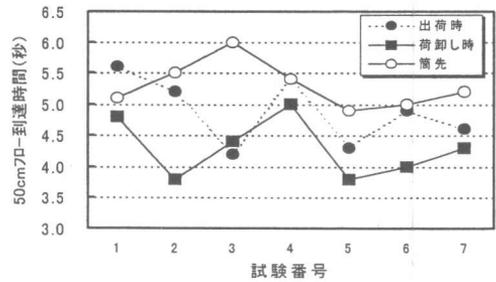


図-6 50cm 70-到達時間試験結果 (M工場)

- ①粉体系の高流動コンクリートを採用したが、適切な粉体量を確保すればポンプ圧送後も材料分離することなく良好な性状のコンクリートを打設することができる。
- ②石粉の種類の違いは練上がり5分後のフレッシュ性状及び30分後の性状変化に大きな影響を及ぼす。
- ③ポンプ圧送後のスランプフローロスは想定していたよりも大きく、15cm以上であった。自己充てん性を有するコンクリートとしては、スランプフロー55cm程度以下では流動性が小さく、スランプフロー55cm以上が必要である。
- ④各工場において使用材料が異なるため、工場毎の配合選定を行い性状を把握する必要がある。

最後に、実験及び施工に御協力頂いた㈱ポゾリス物産の方々をはじめ関係者の皆様方に厚く謝意を表します。

- 【参考文献】1)土木学会：高流動コンクリートシンポジウム論文報告集，pp175~180,1996.3
2)日本コンクリート工学会：石灰石微粉末の特性とコンクリートへの利用に関するシンポジウム,1998.5