

報告 石灰石粉末を用いた高流動コンクリートによる既設構造物直下での施工

伊藤祐二*1・伊奈昭二*2・野村能成*3・西村孝之*4

要旨：新設の地下鉄構造物を既設地下鉄の直下に構築する工事の新設頂版コンクリートの施工において、その作業空間が非常に狭く、通常の施工方法ではコンクリートの打込み・締固めが困難であることから、高流動コンクリートを適用した。高流動コンクリートには石灰石粉末と高炉セメントB種を用いた配合を選定し、密閉箇所でのコンクリートの充填状況を温度センサによって確認しつつ打込んだ。さらに、コアボーリング等によって良好な品質の躯体が施工できたことを確認した。

キーワード：高流動コンクリート，石灰石粉末，施工，充填管理

1. はじめに

近年、RC構造物の施工の合理化を目指して、自己充填型の高流動コンクリートが適用される事例が増えている。大阪市交通局の地下鉄7号線長堀橋停留場建設工事では、営業中の地下鉄6号線の直下に7号線軌道階を構築することになり、種々の施工方法を検討した。その結果、6号線床版の地中梁が7号線頂版に接しているなど作業空間が非常に狭いこと、仮設鋼材や7号線頂版鉄筋が錯綜しており、通常の施工方法ではコンクリートの打込み・締固めが困難と判断され、高流動コンクリートを適用することを計画した。本報では、高流動コンクリートの配合、施工方法および施工管理結果について報告する。

2. 高流動コンクリートの必要性

7号線構造物（長堀橋停留場部）は6号線の長堀橋駅を取り巻く形で施工される。そのため、6号線構造物をアンダーピニングし、その下を掘削して構造物（7号線軌道階）を構築する（図-1参照）。施工に際して、次の問題点が考えられた。

- (1) 6号線床版と7号線軌道階頂版の隙間が63cmと小さく、6号線の地中梁（図-1の④）や仮設鋼材等が存在しており、さらに頂版コンクリートの打設範囲が広い（約225m²）ために、通常の施工方法ではコンクリートの打込み・締固めが困難である。
- (2) 通常の施工方法では、7号線頂版コンクリート打設後に、6号線床版との間の間詰め部（図-1の③）を充填することになるが、2度手間では効率が悪い。

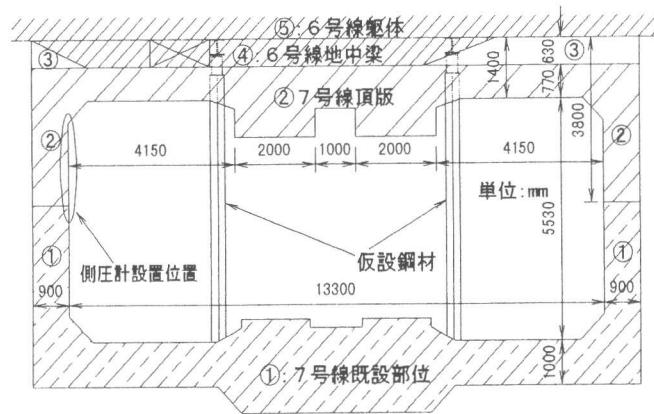


図-1 施工概要（南北断面）

* 1 (株)フジタ技術研究所 生産技術研究部 主任研究員、工修（正会員）

* 2 大阪市交通局 土木課 課長

* 3 大阪市交通局 心斎橋建設事務所 総括担当者

* 4 (株)フジタ技術研究所 生産技術研究部 研究員、（正会員）

そのため、流動性や充填性が良く、締固めが不要で、しかも体積変化の少ない高流動コンクリートを7号線の頂版部に使用して高品質な躯体を構築するとともに、連続して高流動コンクリートを打込み、間詰め部分をも充填した。

3. 高流動コンクリートの配合および品質

6号線直下での7号線頂版の構築に高流動コンクリートを使用した場合、高流動コンクリートは無振動で鉄筋の周囲や型わくの隅々まで流動し、充填しなければならない。そこで、使用する高流動コンクリートのフレッシュ時の仕様を表-1に示すように定め、材料・配合を選定した。練混ぜ試験によって、仕様を満足する高流動コンクリートの配合を求め、通常のコンクリート(24-15-20N)とともに強度特性および耐久性を検討した[2]。コン

表-1 高流動コンクリートの仕様

項目	仕様	備考
水セメント比(W/C)	55%以下	
空気量	4.5±1.5%	
スランプ [°] フロー(Sf)	65±5cm	スランプ [°] フロー試験
50cm [°] フロー時間(t ₅₀)	3~10秒	スランプ [°] フロー試験
流下時間(V ₇₅)	4~10秒	V ₇₅ ポート試験
充填値(Z)	2cm以下	ボックス充填試験[1]
充填値(Uh)	30cm以上	U型充填試験

クリートの基準配合と試験結果の一例を表-2に、耐久性試験の結果および試験方法を表-3に示す。高流動コンクリートが日本建築学会の「高耐久性コンクリート」の品質目標[3]を十分満足していることが分かる。なお、石灰石粉末(石灰粉)および高炉セメントB種を用いたのは、構築物が比較的マッシュであるので水和熱の発生をできるだけ抑制するためである。断熱温度上昇試験によると高流動コンクリートの終局温度上昇量は、通常のコンクリートの場合と比べて7.4℃小さい結果となった。

表-2 コンクリートの基準配合と試験結果の一例

種別	水セメント比(%)	水粉体比(%)	細骨材率(%)	単位量(kg/m ³)							スランプ [°] ・フロー(cm)	空気量(%)	温度(℃)
				セメントC	水W	石灰粉L	細骨材S	粗骨材G	混和剤AD1	AE剤AD2			
高流動	55	30	48.0	300*1	165	250	739	816	9.00*2	0.03*3	67.5	4.1	22.3
通常	55	55	44.7	326*4	179	0	773	975	0.82*5	0.06*6	14.5	4.3	22.3

*1:高炉セメントB種(比重3.02,比表面積3940cm²/g),*2:ポリカルボン酸系高性能AE減水剤,*3:変成ロソ[°]ン系AE剤,*4:普通ポ[°]ルトランド[°]セメント(比重3.16,比表面積3250cm²/g),*5:リグ[°]ニン系AE減水剤,*6:アルキルスルホン酸系AE剤,石灰粉:石灰石粉末(比重2.71,純度95.6%,比表面積3600cm²/g相当),細骨材:海砂砕砂混合(混合比7:3,比重2.57,粗粒率2.77),粗骨材:碎石2005(比重2.62,粗粒率6.51)

表-3 耐久性試験の結果および試験方法

項目	通常	高流動	品質目標[3]	試験方法
乾燥収縮ひずみ(x10 ⁻⁶)	709	535	700	JIS A 1129(乾燥期間26週)
凍結融解(相対動弾性係数)	94%	97%	85%	JIS A 6204(凍結融解300サイクル)
中性化(促進中性化深さ)	13.4mm	16.4mm	25mm	養生条件:標準4週、気乾4週、環境条件:温度20±2℃、湿度60±3%、CO ₂ 濃度5±0.2%、(促進期間26週)
断熱温度上昇式	通常: T=44.4(1-exp(-1.52t ^{1.72})) 高流動:T=37.0(1-exp(-0.82t ^{2.09}))			容量40ℓ、空気循環式試験機使用

4. 高流動コンクリートの施工方法

施工に先立って、室内試験および現場施工実験によって高流動コンクリートの品質と施工性を確認した。施工は7号線壁体、頂版および間詰め部のコンクリートを連続して約550m³打込んだ。高流動コンクリートの打込み手順を以下に記す。

(1) 図-2に示すようにコンクリート圧送管(5B)を東西方向から2系統づつ、計4系統配管(実長:50~60m程度)した。また、圧送管には7号線壁体立上がり部の直前にストップバルブを設置し、ポンプ圧送中断時にはバルブを必ず閉じることにした。このよう定めた理由は、ポンプ圧送中断時に鉛直下り配管内の高流動コンクリートが流出すると、圧送再開時に鉛直下り配管内で高流動コンクリートが自由落下して分離し、閉塞する危険があるので、これを防止するためである。

(2) 中型ピストン式のコンクリートポンプ車(最大打設能力70m³/hr)を4台配置した。

(3) 施工場所の気温が18℃程度とコンクリート温度よりも低いと予想されたので、6号線床版下部へのコンクリートの密着を確認するために、6号線床版下部にモニタリング用の温度センサ(熱電対)を東西3系統づつ、計18点設置した。

(4) 間詰め部への高流動コンクリートの充填を確実にするために、6号線床版下部に空気抜き用の塩化ビニルパイプ(φ13mm)を東西各3本設置(温度センサと同位置)するとともに、6号線床版下面から50cmの高さまで7号線壁体を立上げて、間詰め部のコンクリートが常に圧力を受けるようにした(図-2参照)。

(5) コンクリート輸送を円滑に行うために交通量の少ない祭日を選び、高流動コンクリートの打設量が東西で釣り合うように、コンクリート運搬車の配車を東西で管理した。

(6) レディーミクストコンクリート工場を専有して、細骨材表面水の測定度数を通常より増すことで、高流動コンクリートの品質変動が小さくなるようにした。

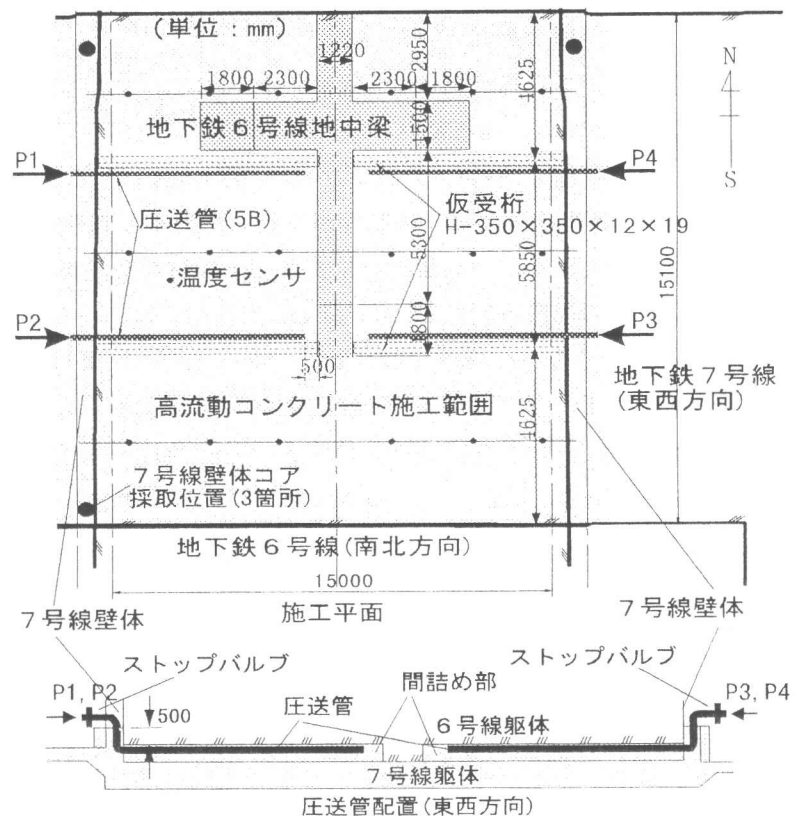


図-2 高流動コンクリートの施工範囲

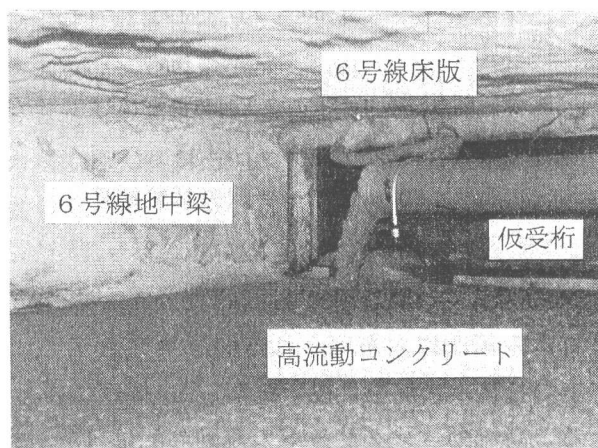


写真-1 高流動コンクリート打設状況

5. 高流動コンクリートの品質管理結果

室内試験および現場施工実験結果から、施工に先立ち高流動コンクリートのフレッシュ時の品質管理試験項目と目標値を見直した。品質管理試験の項目と頻度を表-4に示す。

図-3にスランプフローおよび50cmフロー時間の試験結果を示す。高流動コンクリートの

品質はおおむね管理範囲内(スランプフロー:65±5cm、空気量:4.5±1.5%、50cmフロー時間:3~6秒)にあった。目視検査により流動性が不足していると判断された場合には、高性能AE減水剤の後添加で対応した。また、高流動コンクリートの材料分離抵抗性は全車とも良好と判断された。

コンクリートの運搬時間は25~30分で、出荷時にはスランプフロー:56.5~63.5cm、空気量:3.6~4.2%、コンクリート温度:22~23℃であったが、到着時にはスランプフロー:60.0~69.5cm、空気量:3.1~3.8%、コンクリート温度:22~24℃の範囲となった。コンクリートの出荷から到着までの品質変化は、スランプフローは3.5~6cm増加し、空気量は0.4~0.5%減少する傾向にあった。運搬中に高流動コンクリートのスランプフローが増加したのは、高性能AE減水剤の流動性保持成分の作用と考えられる。また、図-4の強度特性の経時変化で示されるように、コンクリートの圧縮強度も設計基準強度(24N/mm²)を十分満足した。

表-4 品質管理試験の項目と頻度

試験項目	試験頻度
スランプフロー、空気量、コンクリート温度、50cmフロー時間	コンクリート受入れ50m ³ につき1回
塩化物イオン濃度測定、圧縮強度試験用供試体作成	コンクリート受入れ150m ³ につき1回
流動性および材料分離抵抗性の目視検査は全車	

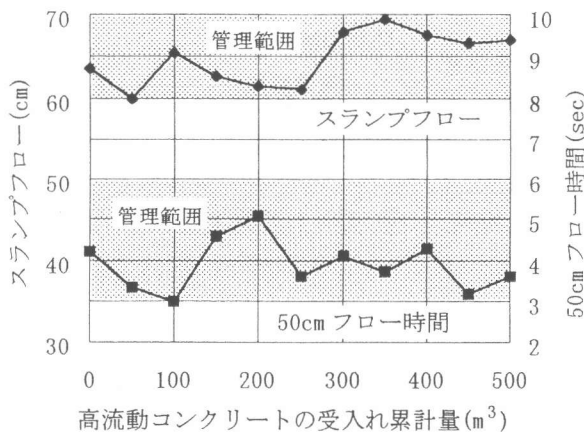


図-3 スランプフローおよび50cmフロー時間の試験結果

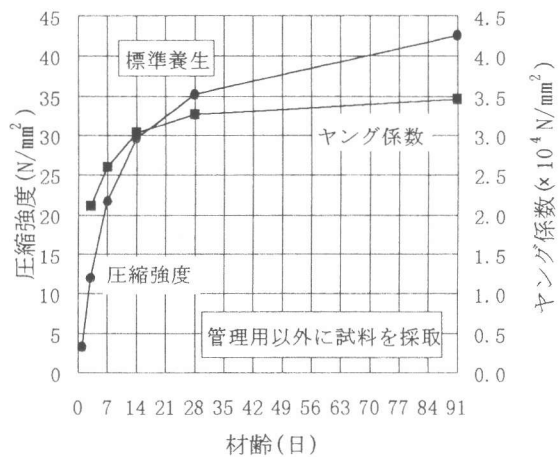


図-4 強度特性の経時変化

6. 高流動コンクリートの打設管理

打込み箇所に入がられる間はコンクリートの打込み状況を目視で観察した。観察によると高流動コンクリートの流動勾配は1%程度であった。6号線床版下の間詰め部への充填管理は、設置した温度センサにて温度を連続的に計測し、コンクリートに接することによる温度上昇を確認することで行った。図-5に充填確認用温度の計測結果の一例を示す。温度計測結果より、14時45分から15

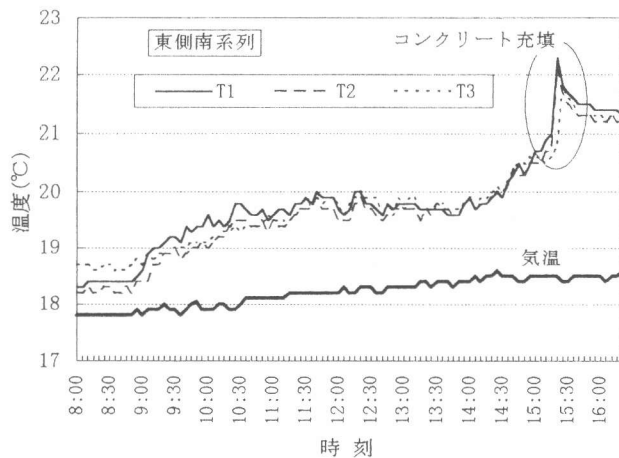


図-5 充填確認用温度の計測結果の一例

時 30 分にかけて 6 号線床版下面に高流動コンクリートが密着したものと考えられる。

また、高流動コンクリート打設後 7 日の時点で、空気抜き用に設置した塩化ビニルパイプからグラウト注入を行ったが、1 本あたり 1ℓ 以下しか入らなかったことから、高流動コンクリートが計画通り充填されたと判断できる。

さらに後日、ボーリングにより 6 号線床版を貫通させて間詰め部の高流動コンクリートを一部採取しコアを観察したところ、高流動コンクリートが 6 号線の防水モルタルに密着していることが確認できた(写真-2 参照)。

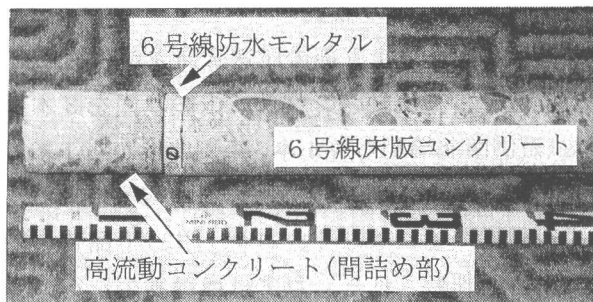


写真-2 間詰め部の高流動コンクリート

表-5 圧力損失の測定結果(kgf/cm²/m)

時刻	9:00	9:20	11:00	12:24	15:30
鉛直下り配管	0.16	0.08	0.04	0.00	0.00
水平配管	0.35	0.27	0.18	0.18	0.13

7. 高流動コンクリートの施工性

7. 1 ポンプ圧送性

高流動コンクリートのポンプ圧送は吐出量 15~30m³/hr で行ない、その時のポンプ主油圧は 50~65kgf/cm² であった。ポンプ圧送管の 1 系列に圧力計を設置して圧送圧力を計測し、圧力損失を求めた。その結果を表-5 に示す。この表より、高流動コンクリートの鉛直下り配管部での圧力損失が小さいこと、土木学会・RC 示方書に示されている普通コンクリート(スランプ 12cm)を 5B 管で水平圧送した場合と比較すると、2.5~3 倍の圧力損失に相当することが分かる。

7. 2 型枠に作用する側圧

高流動コンクリートの側圧測定は、図-6 の側圧計の設置位置に示すように壁体で行った(図-1 参照)。測定結果を表-6 に示す。壁体の型枠に作用する側圧は 12 時 24 分に最大値を示し、その後はほぼ一定に近い値であった。測点間の圧力差の最大値を比重 2.3 として計算した液圧と比較すると、実測値は液圧の 83% で



図-6 側圧計の設置位置

あった。また、間詰めへの高流動コンクリート充填時であってもポンプ圧送圧力による側圧の増大は認められなかった。これは、高流動コンクリートの打込みが長時間にわたっているため、間詰め部へ充填している時点では壁部に打設された高流動コンクリートは練混ぜ後 3~5 時間程度は経過しており、この部分のコンクリートの流動性がかなり低下していたこと、および圧送直後の高流動コンクリートの流動性が良好で充填に大きな圧送圧力を必要としなかったためと考えられる。

表-6 側圧の計測結果(kgf/cm²)

時刻	8:00	9:00	9:55	10:11	11:00	11:46	12:24	15:30
No. 1	0.00	0.00	0.12	0.16	0.28	0.38	0.42	0.41
No. 2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.19	0.25	0.25
圧力差	-	-	-	-	0.18	0.19	0.17	0.16

るため、間詰め部へ充填している時点では壁部に打設された高流動コンクリートは練混ぜ後 3~5 時間程度は経過しており、この部分のコンクリートの流動性がかなり低下していたこと、および圧送直後の高流動コンクリートの流動性が良好で充填に大きな圧送圧力を必要としなかったためと考えられる。

8. 7号線躯体の品質

東西の壁体立上り部の圧送管筒先から約 10m 離れた位置で、高流動コンクリートのコアを 3 本採取した(西側南北端から各 1 本、東側北端から 1 本、 ϕ 10×20cm、 $l=50$ cm)。採取したコアの観察によると空隙や粗骨材の偏在はなく、コンクリート品質の均一性は高いと判断された。コアは標準養生を行い、材齢 28 日で単位容積質量の測定や圧縮強度試験を行った。表-7 にコア供試体の試験結果を示す。高流動コンクリートの高い材料分離抵抗性により高品質の躯体が構築されたと判断できる。

表-7 コア供試体の試験結果

採取位置	w^{*1}	$f'c^{*2}$	E_c^{*3}	ν^{*4}
東-北-上	2.36	46.0	3.69	0.193
東-北-下	2.37	45.8	3.83	0.188
西-北-上	2.32	38.8	3.60	0.181
西-北-下	2.36	38.3	3.73	0.177
西-南-上	2.36	44.0	3.61	0.184
西-南-下	2.37	43.8	3.81	0.190
*1:単位容積質量 (g/cm ³)				
*2:圧縮強度 (N/mm ²)				
*3:ヤング係数 ($\times 10^4$ N/mm ²)				
*4:ポアソン比				

9. まとめ

大阪市交通局の地下鉄 7 号線長堀橋停留場建設工事では、営業中の地下鉄 6 号線をアンダーピニングしつつ、直下に 7 号線軌道階の頂版を構築するにあたり、通常の施工方法ではコンクリートの打込み・締固めが困難と判断されたため、高流動コンクリートを適用した。今回の適用により以下のことが明らかとなった。

- (1) 高流動コンクリートの受入れ時の品質は良好で、出荷から到着までの品質変化はスランプフローでは 3.5~6cm 増加し、空気量は 0.4~0.5%減少した(運搬時間 30 分程度)。運搬中にスランプフローが増加したのは、高性能 AE 減水剤の流動性保持成分の作用と考えられる。
- (2) 高流動コンクリートのポンプ圧送性や充填性は良好であり、流動勾配は 1%程度であった。なお、高流動コンクリートのポンプ圧送性を土木学会・RC 示方書に示されている普通コンクリートの場合と比較すると、2.5~3 倍の圧力損失に相当した。
- (3) 6 号線床版下部の間詰め部への高流動コンクリートの充填を確実にを行うために、空気抜き用パイプを設置し、6 号線床版下面から 50cm の高さまで 7 号線壁体を立上げた。6 号線床版下部へのコンクリートの密着は温度計測、およびコア観察などにより確認した。
- (4) 壁体立上り部の圧送管筒先から約 10m 離れた位置で採取した高流動コンクリートのコアにより、粗骨材の偏在や空隙の無い良好な躯体が構築できたことを確認した。

最後に、高流動コンクリートの施工にご尽力頂いたフジタ・青木・日本国土共同企業体および、製造と品質管理にご協力頂いた八幡高炉コンクリート(株)の関係各位に深謝いたします。

<参考文献>

- [1] 秋場忠彦, 山県達弥, 伊藤祐二: 高流動コンクリートを用いた PC 桁模型試験, 土木学会第 49 回年次学術講演会講演概要集, 第 V 部門, pp. 356-357, 1994. 9
- [2] 伊藤祐二ほか: 石灰粉末と高炉セメント B 種を用いた高流動コンクリートの諸特性, 土木学会第 50 回年次学術講演会講演概要集, 第 V 部門, pp. 1044-1045, 1995. 9
- [3] 日本建築学会: 高耐久性コンクリート造設計施工指針(案)・同解説, 1991. 7
- [4] 伊藤祐二ほか: 石灰石粉末を用いた高流動コンクリートの開発, フジタ技術研究所報, 第 31 号, pp. 79-84, 1995. 9