

P & P C工法急曲線部の中流動コンクリート施工実績

東京土木施工管理技士会

日本国土開発(株)

現場代理人

野村 佳範[○]

Yoshinori Nomura

監理技術者

炭谷 高明

Takaaki Sumitani

機電主任

斉藤 敏

Satoshi Saito

1. はじめに

工事概要

- (1) 工事名：芝川第10-3処理分区下水道工事
(北建-22-1)
- (2) 発注者：さいたま市
- (3) 施工者：日本国土開発(株)・(株)ケイワールド
日清・永島建設工業(株)特定共同企業体
- (4) 工事場所：さいたま市浦和区大原5丁目地内
- (5) 工期：H22年9月3日～H24年10月31日
工法：泥土圧シールド工法(中折れ式)
仕上り内径：2,400mm, 路線延長：652.9m
直線区間(P&PC二次覆工省略型)：568.4m
曲線区間(R40二次覆工施工)：84.5m
土被り：9.2～11.6m, 地下水位：GL-1.5m
土質：互層土質(砂質土, 粘性土)
貯留水：合流式(雨水, 汚水)

近年、都市型洪水への対応策として、地下貯留管・雨水幹線などのトンネル計画が積極的に進められている。本工事は、建設コスト縮減対策として、二次覆工を省略し工費・工期の削減のみならず、掘削外径の縮小によるコスト縮減(シールド機製作費・発生残土処分費・発生土処理設備費)、および環境への負担低減のメリットが期待できるP & P C工法が採用された。但し、本工法の適用最小曲線半径は $R \geq 100$ であり、曲線区間は、内面被覆を伴う従来工法である二次覆工施工の設計

であった。

本稿では、P & P C工法急曲線部二次覆工に関する品質管理留意点と施工方法について紹介する。

2. 現場における問題点

二次覆工箇所は、セグメント厚(175mm)のP & P C工法に挟まれる位置で、最小かぶり厚50mmとなる。そのため、コンクリート充填性やひび割れ、耐久性において以下の問題点が懸念された。

- ・トンネルセンターと型枠センターのずれ寸法(以下ライズ)を考慮した最小かぶり厚43mm。
- ・かぶり厚小に伴い、棒状バイブレータによる締め固め不可に起因する空隙の発生。
- ・設計基準強度 $24\text{N}/\text{mm}^2$ の高炉セメントポンプ圧送時の材料分離、すりへり抵抗の低下。

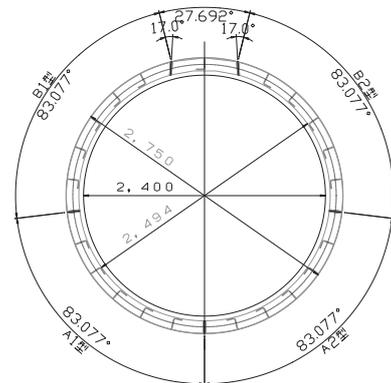


図-1 スチールセグメント標準断面図

【ライズ計算式】: SB型円形スチールフォームのライズについて

$$\text{ライズ } V = R - \sqrt{[R^2 - (L/2)^2]}$$

$$A = C - V$$

V:ライズ, R:カーブ曲率半径, L:打設スパン

センター長3,000mm(L=1,500+1,500 中折れ式)

$$\begin{aligned} \text{ライズ } V &= R - \sqrt{[R^2 - (L/2)^2]} \\ &= 40,000 - \sqrt{[40,000^2 - (1,500/2)^2]} \\ &= 7.03 \text{ mm} \end{aligned}$$

3. 対応策と適用結果

3.1 材料種別における品質管理

狭隘な空間での立坑上からの圧送距離がL=240mとなるため、使用材料は流動性と共に、材料分離抵抗性が求められた。そのため高流動コンクリート等の使用も検討したが、ポンプ圧送性に問題があり、一般的なポンプでの施工は困難である。そこで、流動性や材料分離抵抗性を有すると共に、ポンプ圧送が通常の施工機械で可能な中流動コンクリートを採用した。

中流動コンクリートに要求される性能は以下の通りである。

- ①最小かぶり厚43mmに対しても充填性に優れる。
- ②240m以上の圧送距離に対してポンプ圧送時の材料分離及びすり減り損失が少なく、圧送性に優れる。
- ③打設完了後17時間の脱枠に必要な強度2.0N/mm²を満足する。
- ④σ28が32.5N/mm²で、設計強度24N/mm²を満足する。

表-1 材料比較表（高流動コン-中流動コン）

種別	高流動コンクリート	中流動コンクリート
二次覆工概要図		
材料	呼び強度 24N/mm ² 最大粗骨材寸法 20mm 高性能 AE 減水剤 増粘剤 混練り後性状 スラップフロー 50cm以上	呼び強度 24N/mm ² 最大粗骨材寸法 20mm 特殊増粘成分混入高性能 AE 減水剤 「Glenium® (グレニウム)6000シリーズ」 混練り後性状 スラップフロー 35cm~50cm
配合	× 粉末状の増粘剤をコンクリートに微量量添加する作業員が必要。(増粘剤添加の場合)	○ 普通コンクリートの配合に、特殊増粘剤を加えた高性能 AE減水剤を添加するのみ。
すべり抵抗	○ 普通	○ 普通
充填性	○ 流動性が良く、自己充填性があるため、充填性は良い。	○ 普通コンクリートよりも流動性が高いため、型枠バイブレーションによる外部振動のみで充填することが出来る。(高流動コンクリートに比べて小さい。)
施工、品質等の問題点	△ 粘性が高いためポンプ圧送性が悪い。	○ 粘性が高いため、ポンプ圧送性はやや悪い。(高流動コンクリートに比べて小さい。)
仮設	△ 枠とは別のサイズが必要(粉体系の場合)	○ 通常ファンにて対応可能
経済性(材料)	× ¥18,600-/m ³ (参考)	○ ¥15,000-/m ³ (参考)
総合評価	○ 経済性に劣るが施工性、品質に優れる。	○ 経済性、施工性が中位で、かつ品質が優れるため、総合的に最も優位。

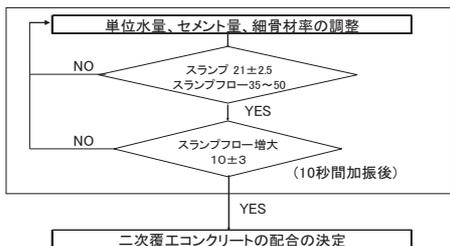


図-2 試験練りフローチャート

表-2 中流動コンクリート示方配合

W/C (%)	s/a (%)	C (kg)	W (kg)	S (kg)	G (kg)	膨張材 (kg)	SL (cm)	TEMP (°C)
56	51	311	175	924	883	20	21	19

配合は、特殊増粘成分混入高性能 AE 減水剤「Glenium ® (グレニウム) 6000」を混和材と使用し、混練り後性状のスラップフロー；起振前35cm~50cm、起振後増大10.0±3.0cmの品質性状を満たす配合とした。

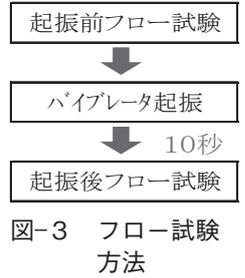


図-3 フロー試験方法

図-2に試験練りフロー、表-2に示方配合を示す。又、図-3に現場品質管理におけるフロー試験方法を示す。図-4, 5は、起振前と起振後のフロー試験状況である。

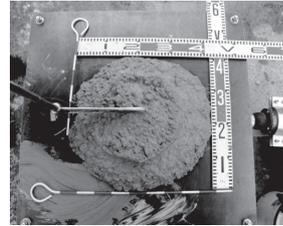


図-4 起振前
F=41.5×40.0cm

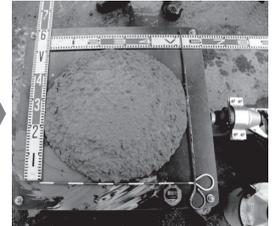


図-5 起振後
F=51.5×50.0cm

3.2 施工種別における品質管理

棒状バイブレータ挿入不可の狭隘な箇所における充填性の向上策として、中流動コンクリートを型枠バイブレータにより締め固めることにより、緻密化し確実に充填することでコンクリートの耐久性を向上させた。また、施工時には作業員の技量に左右されない安定した品質確保するために以下の創意工夫を行った。

- ①スマートセンサを使用した充填性並びに脱枠強度をリアルタイムで管理。
- ②締め固めに固定式の型枠バイブレータを使用し、起振時間を制限管理した品質管理システム。
- ③セントルススキムプレート型枠表面のブラストショット処理（粗面加工）による、内面被覆の接着性を増加。

以下に各管理方法について詳細に述べる。

- ①スマートセンサ型枠システムの導入

【NETIS 登録番号 QS-110040-A】

従来はテストピース圧縮強度試験により推定強度確認を行っていた。本技術は型枠に各機能のセンサを一括搭載したもので、強度発現をタイムリーに推定する事ができる。なお、各機能センサは、コンクリート構造体の強度発現を推定する温度センサ、型枠の部位と存置期間を把握する姿勢センサ、またコンクリートの接触を感知し温度データ等を記録する静電容量センサの3種類である。



図-6 センサ取付状況



図-7 データリーダー

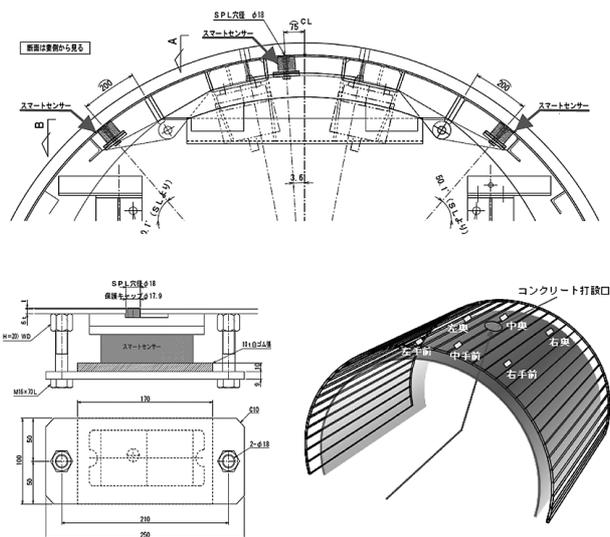


図-8 センサ取付位置図、センサ断面詳細図

○強度推定式

●有効材齢

$$t_e = \sum_{i=1}^n \Delta t_i \exp \left[13.65 - \frac{4000}{273 + T(\Delta t_i) / T_0} \right]$$

t_e :有効材齢(日)
 Δt_i :温度Tが継続する期間(日)
 $T(\Delta t_i)$: Δt_i の期間のコンクリート温度(°C)
 T_0 :1(°C)

●強度推定式

$$f_c(t_e) = \exp \left\{ s \left[1 - \left(\frac{28}{(t_e - s_f) / t_0} \right)^{1/2} \right] \right\} f_{c28}$$

$f_c(t_e)$:コンクリートの圧縮強度(N/mm²)
 t_e :コンクリートの有効材齢(日)
 t_0 :1(日)
 f_{c28} :コンクリートの28日圧縮強度(N/mm²)
 s :セメント種類に関する定数
 s_f :硬化原点のための補正項(日)

セメントの種類	Sの値	Sfの値
普通ポルトランドセメント	0.31	0.5
早強ポルトランドセメント	0.21	0
中熱ポルトランドセメント	0.60	0
低熱ポルトランドセメント	1.06	0
高炉セメントB種	0.54	0

表-3 計測比較一覧

計測方法		AST-セナ			
		時間	平均	最大	最小
圧縮強度(N/mm ²)	σ_{15h} 5時	-	2.30	2.10	2.00
	σ_{16h} 6時	-	2.50	2.30	2.20
	σ_{17h} 7時	-	2.80	2.60	2.50
	σ_{18h} 8時	3.18	3.10	2.80	2.70
	σ_{19h} 9時	3.10	3.30	3.10	2.90
σ_{20h} 10時	3.47	-	-	-	
σ_7	-	23.20	-	-	
σ_{28}	-	35.20	-	-	

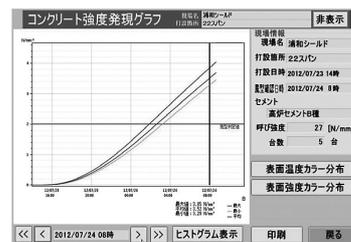


図-9 強度発現グラフ

移動式セトル型枠6箇所にスマートセンサ型枠システムを導入し、コンクリート表面温度から強度推定式により脱枠強度を算出した。図-8にセンサ取付位置を示す。

弱材齢時期であるセトルダウンの脱枠強度を2.0N/mm²以上と定めた。表-3に示す現場供試体との比較より、スマートセンサ計測最小値は安全側に算出される。データリーダー(図-7)に表示される強度発現グラフ(図-9)より、リアルタイムの脱枠時強度管理を確立させた。

又、図-10, 11よりコンクリート圧送充填時の継続的な温度上昇が確認できる。狭隘な箇所の充填性向上策として、スマートセンサにより計測されるコンクリートの雰囲気温度からの上昇を2.0°Cと定め、充填感知を確実なものとした。

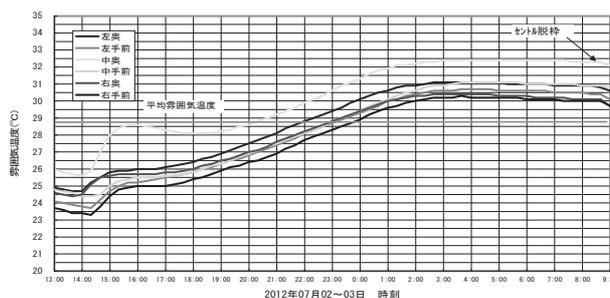


図-10 雰囲気温度管理図：スマートセンサ

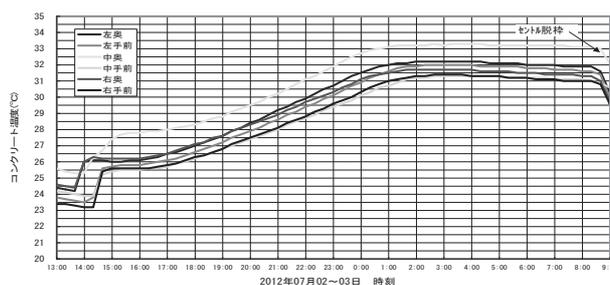


図-11 コンクリート温度管理図：スマートセンサ

②スライドセントルに関する工夫

打設時の品質管理システムは、コンクリート圧送を1スパン当り4回に分け、圧送後に8台連動した型枠バイブレータを15秒間起振させ締め固め充填を行った。妻型枠にはメッシュ型枠（4箇所□94mm×54mm, φ20mm）を使用することで、滞水するブリーディング水やノロが自動的に型枠外に排出し、妻部の弱層部の発生を防止した。打設後はLHTシート【NETIS登録番号QS-090031-A】（18.0m：3.0m×6スパン）による養生システムを採用することで、初期養生期間内のコンクリート表面の湿潤状態を保持（養生1週間）し、ひび割れを抑制させた。



図-12 取付状況

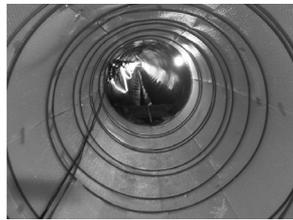


図-13 養生状況
(LHTシート)



図-14 メッシュ妻型枠



表-4 コンクリート種別接着性比較表

表面状況		
生コン種類	中流動コンクリート	高炉BBコンクリート
項目		
表面	粗	平滑
締固め方法	壁打バイブレータ	棒状バイブレータ
接着性 (ライニング)	最適 ◎	普通 △

図-15 セントル表面仕上
(左)無垢(右)ブラストショット



表-5に内面被覆（ジックライトD工法：J Eシート）の引張試験強度一覧を示す。規格値1.5 N/mm²以上に対して3.4N/mm²の値が得られており、被覆接着性の向上していることが確認された。

表-5 内面被覆引張試験結果一覧

No.	測点	引張試験(N/mm ²)			
		No.1	No.2	No.3	平均値
①	測点10+6.0m	3.35	4.18	3.19	3.57
②	測点9+35.0m	4.14	3.02	4.14	3.77
③	測点9+4.0m	1.82	2.6	4.72	3.05
④	測点8+37.0m	3.41	3.15	3.29	3.28
					3.42



図-16 試験状況



図-17 供試体破壊断面

4. おわりに

汚染物質も含む可能性のある下水供用中のコンクリートの剥落は、地下水汚染へつながり社会に与える影響も大きく、コンクリートの耐久性が問題視されてきている。一方で、工事の制約上の環境悪化や交通障害への影響上、やむ終えなく急曲線、長距離圧送、最低被り厚の二次覆工を伴うシールド工事が多くなると思われる。そんな中、耐久性向上は、施工中の品質向上が基本となるが、熟練工の高齢化、減少により技術の伝達も困難となりつつある。対策として品質管理のシステム化を含めた技術開発を進めることが必要と考える。

最後に、本工事の施工にあたり、多大なご協力を頂いた「さいたま市建設局北部建設事務所下水道建設2課」、並びに「児玉(株)、東京大学建築材料研究室」、協力業者の方々に、この場をおかりして感謝とお礼を申し上げます。

③内面被覆の品質管理

二次覆工後の防食条件として、D種の内面被覆を施す設計であり、内面被覆の耐久性向上策として仕上がり面の接着性を良くするために以下の工夫を行った。

- ・表-4より壁打バイブレータにより締め固めた中流動コンクリートの表面は粗面仕上りとなる。
- ・セントルスキンプレート型枠表面にブラストショット処理を施しコンクリート仕上り面を粗にすることで接着性を高めた。

また、スキンプレートの防錆を高める効果もある。表-4に接着性比較検討表、図-15にスキンプレートの表面仕上げサンプル比較写真を示す。