

二次覆工コンクリート巻厚の低減に伴う品質管理 Saving and Quality Control for the Secondary Lining Concrete

小山 光和* 今井 啓太**
Mitsukazu Koyama Keita Imai

要 約

二次覆工コンクリート巻厚の低減に伴う品質管理について報告する。コンクリート打設管理にあたっては、圧送距離、打設箇所、打設時期を考慮してコンクリート配合を選定するとともに、エア抜きパイプによって頂部充填性の向上を図った。また、コンクリート打設設備については、コンクリート巻厚の低減に伴う打設孔周囲の閉塞防止を目的に、打設孔角度の改良を行った。打設後の養生では、隔壁により空気の流れを抑制し、乾燥収縮クラックの発生防止を図った。以上の対策により、乾燥収縮クラックの発生を抑制することができた。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 施工数量
- § 3. コンクリートの配合
- § 4. 打設設備
- § 5. 二次覆工の施工
- § 6. コンクリートの養生
- § 7. ひび割れの発生
- § 8. まとめ

§ 1 はじめに

本工事は、堺市から市民の生活環境の改善を目的とした雨水管整備の一環として発注された「鳳東町雨水準幹線下水管布設工事」である。

また、本工事は堺市建設局下水道部の公共工事費縮減のモデル現場となっている。縮減の内容は以下の通りである。

- ①二次復工厚を従来の250mm厚から172mm厚に低減することで、二次覆工費の縮減を図る。
- ②二次覆工厚の低減に伴う、セグメント外径、シールド機の外径の縮小により、セグメント材料費、シールド

機械費、掘削・残土処分費の縮減を図る。

しかし、二次覆工コンクリートの巻厚を低減することにより、温度ひび割れは減少するものの乾燥収縮によるひび割れが相対的に増大する。本工事では、3種類の異なった配合のコンクリートを使用し、コンクリートの打設・養生方法の工夫により、ひび割れ発生の抑制において良好な結果を得ることができたので、その品質管理について報告する。

§ 2 施工数量

本工事は二次覆工施工数量は、次の通りである。

二次覆工コンクリート	: 2,596.557m ³
二次覆工延長	: 1,263.76m
直線部	: 1,129.21m
曲線部 R=12m	: 19.24m
R=20m	: 32.44m
R=50m	: 51.41m
R=200m	: 31.46m
打設スパン 直線部	: L=12.0m
曲線部	: L=6.0m

* 関西（支）土木部機械課

** 関西（支）福泉（作）

§ 3 コンクリートの配合

本工事の二次覆工コンクリート標準断面を、図-1に示す。

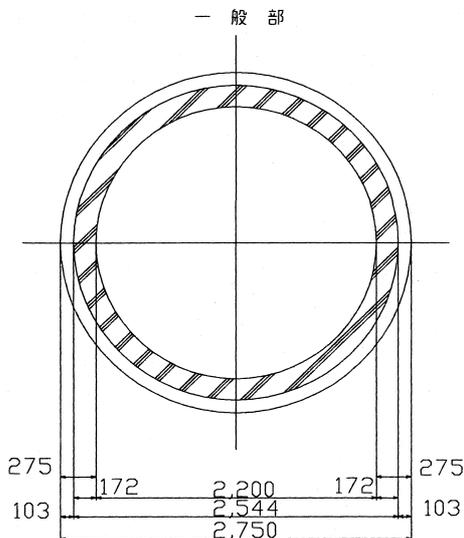


図-1 二次覆工標準断面図

巻厚は前述したように従来のそれよりも薄く、圧送距離も長距離となる。そこで、覆工に使用するコンクリートには、下記の特性が必要である。

- ・充填性能が高いこと。
- ・乾燥収縮、温度収縮が少ないこと。
- ・早期に脱型強度に達すること。
- ・圧送による材料分離を生じないこと。

上記の特性を満足する配合を決定するため、本工事に先立って、試験施工を行った。この試験施工は、設計配合を含む6種類の配合について実物大のセグメントを用い、実際に地上で二次覆工を施工するものである。(写真-1)



写真-1 試験施工状況

本書は実際の二次覆工についての施工報告を目的としているので、試験施工は結果のみを報告し、詳細は省略する。

試験施工により、二次覆工に使用するコンクリートの基本配合を、表-1に示す①、③、⑤の3種類に決定した。表中の混和剤は高性能AE減水剤(ポゾリスレビルドSP8S, 液体)、膨張材はデンカCSA100R(粉体)を使用した。ただし、この膨張材については外気温が高温となる場合(およそ25℃以上)凝結遅延現象が現れるため、暑中に打設するコンクリートについては、膨張材を同量のデンカCSA#20に変更した。実際、二次覆工施工時に外気温が25~30℃付近になった場合で、デンカCSA100Rを已むを得ず使用した時、凝結遅延が生じた。また、圧送距離、打設箇所および、打設の季節に応じて3種類の異なる配合のコンクリートを使い分けて施工を行った。その適用条件を表-2に示す。

表-1 コンクリート配合表

No.	配 合	Gmax (mm)	W/P (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						備 考
					C	W	S	G	混和剤	膨張材	
①	24-15-20BB	20	54.0	44.4	331	179	761	968	3.51	-	設計配合
②	24-15-20BB	20	54.0	46.0	294	175	794	947	3.20	30.0	
③	24-15-20N	20	55.0	46.6	288	175	812	945	3.20	30.0	
④	24-18-20BB	20	54.0	47.1	303	180	804	916	3.50	30.0	
⑤	24-18-20N	20	55.0	47.6	297	180	820	916	3.50	30.0	
⑥	24-18-15BB	15	54.0	49.8	303	180	851	869	3.50	30.0	

※P=C+膨張材；①の配合においては混和剤は AE 減水剤

表-2 コンクリート配合別適用条件

配 合	適 用 条 件		
	圧送距離	打設箇所	打設時期
24-15-20BB	100m 未満	直線部	
24-15-20N	100m 以上 200m 未満	直線部	
24-18-20N	200m 以上	急曲線部 (R=12, 20m)	暑 中

§ 4 打設設備

二次覆工に用いた円形型枠は曲率半径 R=12, 20, 50, 200m の曲線部における施工性を重視し、テレスコピック型スチールフォーム (φ2200mm, L=12.0m, 以下、テレフォームと呼ぶ) を採用した。テレフォームは打設孔を前後二カ所に配置した吹き上げ方式となっており、打設孔の角度は 45 度となっている。これはテレフォームとセグメントとの離隔が狭いので、打設孔においてコンクリートが閉塞し易くなるため、打設孔の面積を大きく取って閉塞防止を図ったものである。また、スプリングラインには点検窓を有した構造となっている。地上においては、道路占用が必要となるため、定置式コンクリートポンプを 4t トラックに積載し、打設終了後に占用帯を開放できるようにした (図-2)。ポンプの圧送能力は 35m³/h、水平圧送可能距離は 770m である。また、コンクリートの締め固めに使用した機械は、φ40mm 棒状高周波バイブレーター×2台、型枠固定式バイブレーター×2台、エアチップ×2台である。

§ 5 二次覆工の施工

二次覆工コンクリートを頂部にまで十分に充填させることを目的に、コンクリート打設に先立ち、全てのセグメントにエア抜きパイプを設置した。二次覆工の巻厚が 172mm と薄いため、従来にも増してコンクリートの充填性に留意し、図-3 に示すように 11 時から 1 時の範囲にある主桁、継手板にエア抜きパイプを配置した。コンクリートの打設は、スプリングラインまでは 13.5m³/h 程度で比較的ゆっくり行い、残りのスプリングラインから上部に関しては 18.0m³/h 程度で行った。スプリングラインより下については、コンクリート中の空気によるエアバタの発生を抑制するために打設速度を抑えた。1 回のコンクリート打設量は一般部では 24.66m³ であり、打設所要時間は 90 分程度であった。高性能 AE 減水剤のベアリング効果を確保するためには、コンクリート打設に要する時間を十分把握し、管理する必要があった。

コンクリートポンプ能力表	
動 力	ディーゼルエンジン
	57ps / 2400rpm
最大吐出量	35m ³ / h
最大吐出圧力	6.13MPa(62.5kgf/cm ²)
最大圧送距離	水平770m・垂直130m
機体質量	2300kg
機体寸法 (m)	全長3.27×全幅1.5×全高1.3

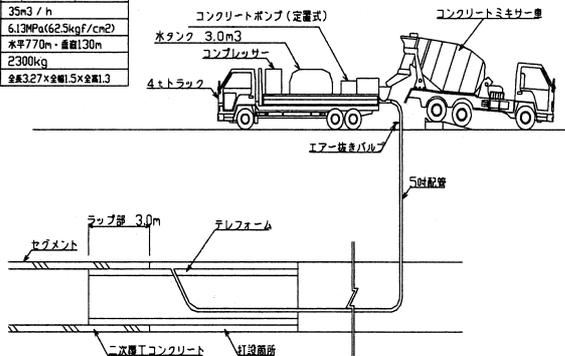
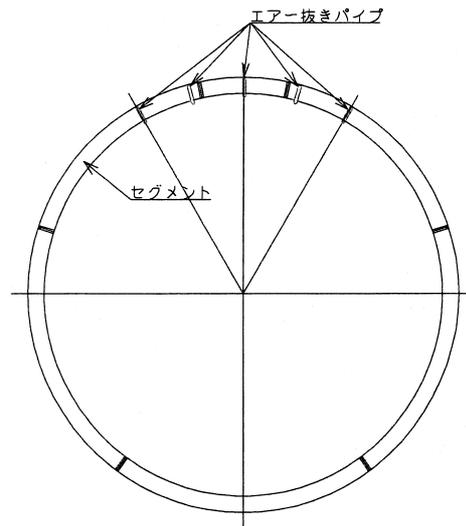


図-2 打設概要図



エア抜きパイプ設置位置

図-3 エア抜きパイプ

ひび割れが発生する要因として、充填不足以外にコンクリートの締め固め不足が挙げられる。特に、テレフォームの天端付近は高周波バイブレーターによる締め固めが不可能であり、ひび割れが発生しやすい場所でもある。そこで、本工事ではエアチップのノミ部をハンマー型に改良し、ゴム製のラバーを貼り付けてエアチップの振動をテレフォーム天端部へ直接与えることにより、天端付近の締め固めを行った。

写真-2~4は、コンクリートの打設状況を撮影したものである。



写真-2 コンクリート打設状況 (地上)



写真-3 コンクリート打設状況 (坑内)

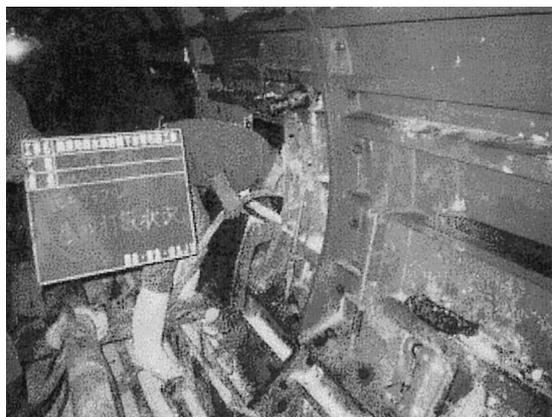


写真-4 コンクリート締め固め状況 (坑内)

§ 6 コンクリートの養生

コンクリートの養生時間は、二次覆工のサイクルタイムに大きく影響する。本施工では打設長がL=12.0mと標準より3.0m程長く、さらにテレフォームを使用していることから脱型・移動・組立の一連の作業にはかなりの時間を要することが予測され、早期に脱型を行う必要があった。しかし、早過ぎる脱型はコンクリートにひび割れ等有害な影響を及ぼすことが考えられ、巻厚が薄いことも考慮して十分慎重に検討する必要があった。本工事の仕様書(堺市シールド工事標準仕様書)で示されている脱型強度3.0N/m²を目標にコンクリートの養生時間を決定するための若材齢圧縮強度試験を行った。材齢は15, 17, 19および、21時間の4通りについて、圧縮強度試験を行った結果を図-4に示す。

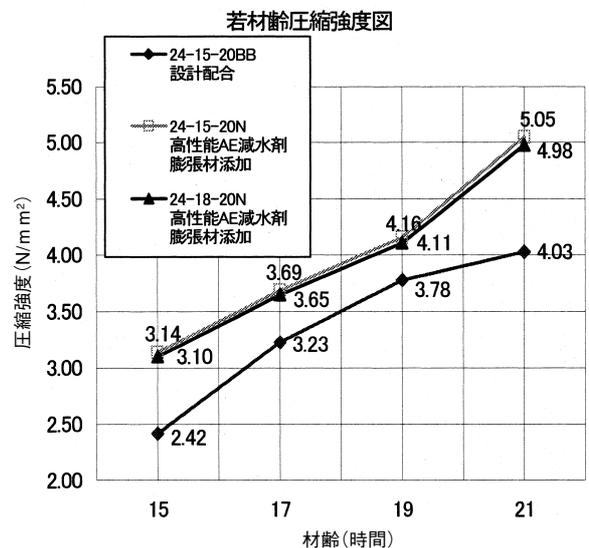


図-4 若材齢圧縮試験強度結果

同図より、2種類の配合については、材齢15時間で所要の圧縮強度3.0N/m²に達していることが分かる。また、設計配合である24-15-20BBについても、材齢17時間で所要の圧縮強度に達していることが分かる。

これらの試験結果より、脱型強度を満足するための養生時間を17時間と決定した。また、この養生時間であれば、二次覆工打設サイクルを確保可能と考えた。

脱型時の圧縮強度と同様に、脱型後のコンクリートの養生も重要である。特に、ひび割れの発生に影響を与えるセメントの水和熱に起因する温度応力等の内的因子と気温、湿度変化等の外的因子(乾燥収縮応力)に対し、十分対策を取ることが重要である。しかし、試験施工による知見から当該二次覆工ではひび割れ発生に対し、前者よりも後者の影響の方が大きいことが確認されていた。本書では、後者に対し実施した対策方法について述べる。

一般的に脱型後の二次覆工コンクリートの養生方法には、脱型完了箇所の断面にシート等を張り、未打設箇所と隔離することで打設完了箇所への空気の流れを防ぐ方法がある。これは、空気の流れにより温度、湿度が急激に変化しないようにするものである。本工事においても同様の方法を採用したが、特に巻厚が薄くひび割れが発生し易いため、この作業は非常に重要なものであった。二次覆工の進捗に合わせてシートを移動し、確実に脱型完了箇所の気密性を持続するために図-5に示す隔壁を製作し、作業の簡素化および気密性の向上を図った。なお、脱型完了後の養生に関しては気温25℃以上湿度80%以上期間1週間を管理値とした。

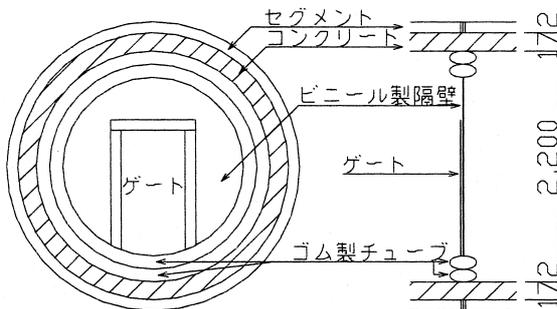


図-5 コンクリート養生隔壁

§ 7 ひび割れの発生

二次覆工コンクリート打設完了後のひび割れは、発生長の総和313.84m、発生箇所66カ所、1カ所平均4.76mであった。ひび割れは全てが円周方向のひび割れであり、スプリングラインから上、もしくは8時から4時の範囲に発生しているひび割れがほとんどであった。しかし、試験施工では、トンネル軸方向応力よりも円周方向応力が大きく働き、ひび割れは円周方向よりもむしろトンネル軸方向に発生していた。これは、実施工では打設長12mに対し、試験施工では打設長3mと短かったことによるものと考えられる。

配合別におけるひび割れ発生長を表-3に示す。配合別におけるひび割れの発生は、24-15-20BBで245.84m、24-15-20Nで27.10m、24-18-20Nでは40.91mであっ

た。3者を比較すると圧倒的に高炉セメントを使用した設計配合より普通ポルトランドセメントを使用し、膨脹材を配合したコンクリートの方がひび割れの発生が少なかった。この傾向は、試験施工においても同様の結果が得られていた。また、表-4は各配合で発生したひび割れをそれぞれの施工延長(m)、覆工表面積(m²)で除した値である。これによると、設計配合である24-15-20BBでは、3.0mの施工延長で円周を1周するひび割れ(L=2.200×π)が発生することになり、24-15-20N、24-18-20Nではそれぞれ182m、74mの施工延長で円周を1周するひび割れが発生することになる。覆工表面積については24-15-20N、24-18-20Nでは単位面積当りに発生するひび割れは長さ5~13mmとごく僅かなものであるのに対し、24-15-20BBでは単位面積当りに長さ329mmのひび割れが生じている。これらの値は、単純に施工延長、覆工表面積で除した値に過ぎないが、このようなデータを蓄積することにより何らかの指標となるのではないだろうか。

つぎに打設スパンにおけるひび割れの発生位置である。なお、打設スパン長は一樣に同じではないので、それぞれの打設スパン長で除した相対打設長により発生位置の評価を行う。図-6はひび割れ発生位置とその度数をグラフにしたものである。同図より相対位置が1.0の範囲に発生したひび割れが最も多いことが分かる。この位置は全ての打設スパンにおいて旧コンクリートと新たに打設するコンクリートとの打ち継ぎ目の箇所であり、テレフォームをラップさせる箇所でもある(図-2参照)。この位置に発生したひび割れは、テレフォームを新たに設置した時、あるいは、打設の際に何らかの外力により発生したものであると考えられる。その他のひび割れについては、相対位置が0.3、0.5、0.8の位置に多く発生していることが分かる。相対位置が0.5はつまり打設長の真中であり、この位置にひび割れが発生することはコンクリートの収縮から容易に予測できる。また、相対位置が0.3、0.8というのは打設スパン長をセグメント内径で除した値に近く、この付近にひび割れが発生することも従来の経験から予測できるものである。それ以外のひび割れについては全てとは言えないが、巻厚が薄いためコンクリートの断面欠損(セグメントの主桁等による)が原因の1つであると考えられるのではないだろうか。

表-3 ひび割れ発生長と施工数量

配 合	ひび割れ発生長 (m)	打 設 長 (m)	覆工表面積 (m ²)
24-15-20BB	245.84	108	746.44
24-15-20N	27.1	714.76	4940.066
24-18-20N	40.91	441	3047.973

表-4 単位施工当りのひび割れ発生長

配 合	ひび割れ発生長/施工延長 (m/m)	ひび割れ発生長/覆工表面積 (m/m ²)
24-15-20BB	2.276	0.329
24-15-20N	0.038	0.005
24-18-20N	0.093	0.013

上記の結果と試験施工の結果を比較する。試験施工においては、最初に試験体の天端部分に軸方向のひび割れが発生し、その後、周方向のひび割れが発生した。軸方向のひび割れは先にも述べたように実施工においては発生していない。これは、打設長による拘束条件の相違が大きいと考えられる。周方向のひび割れに関しては試験施工においてもセグメントのリング同士の継手位置にひび割れが多く発生していた。これは実施工と同様に、コンクリートの断面欠損（セグメントの主桁等による）によるものと考えられる。

1打設スパンにおけるクラック発生位置

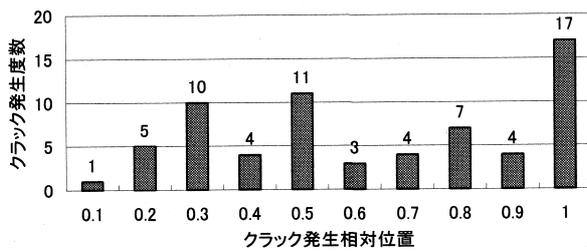


図-6 クラック発生位置とその度数

§ 8 まとめ

コンクリート巻厚が低減された二次覆工の品質管理において、「普通ポルトランドセメント+膨張材」を使用したコンクリートの有効性、施工および養生に関する報告を行った。以下にそれらをまとめる。

- ①通ポルトランドセメントを用いることにより、コンクリートの早期の強度発現を可能にし、二次覆工のサイクルタイムの確保を可能にした。特に覆工厚が通常より薄い場合においては、脱型時に生じる外力により、ひび割れが生じる可能性もあるので早期の強度発現は重要である。
- ②乾燥縮応力によるひび割れを抑制するには、コンクリートに膨張材を添加することが有効であった。ただし、二次覆工を施工する時期（気温の影響）により、使用する膨張材を十分に検討する必要がある。
- ③コンクリート打設後の養生において隔壁を使用することにより、作業の簡素化、打設完了スパンの気密性の向上を図ることができた。