

覆工コンクリートの品質確保への取り組み

神崎恵三* 越智啓介** 志水政弘*** 佐藤孝一**** 野中 英****

大谷トンネルⅡ期線工事の施工を行うにあたり、隣接し、供用開始している大谷トンネルⅠ期線のトンネル覆工に多数のひび割れが発生しているのが発見された。ひび割れの原因は、調査の結果、コンクリートの中性化、地山中の粘土鉱物による膨張圧、芸予地震の影響によるものとされているが、実際の主要因は明確にできていなかった。本報文は、同様の環境下での施工であるⅡ期線トンネルにおける覆工コンクリートの品質確保の取り組みについて、材料選定、配合変更、施工設備、打込み方法および養生の面から検討した事項について述べるものである。

キーワード：覆工ひび割れ、中性化対策、高性能AE減水剤、型枠設備

1. はじめに

大谷トンネルは、愛媛県松山市と北条市を結ぶ約14kmのバイパス道路の一部で、延長443mのトンネルである。このバイパス道路は、一般国道196号線の渋滞解消を目的として建設されており、一部は、供用開始している。大谷トンネルもトンネル中心距離で約30m離れた位置にⅠ期線が完成している。立地条件の特殊性としては、海沿いに面している（離隔約250m）ことから、コンクリートは塩害の被害を受けやすい。また、地質の特徴としては、熱水変質粘土（スメクタイト）を含んだ地山で、偏荷重を受けやすい環境にあり、坑口部は土砂化している。

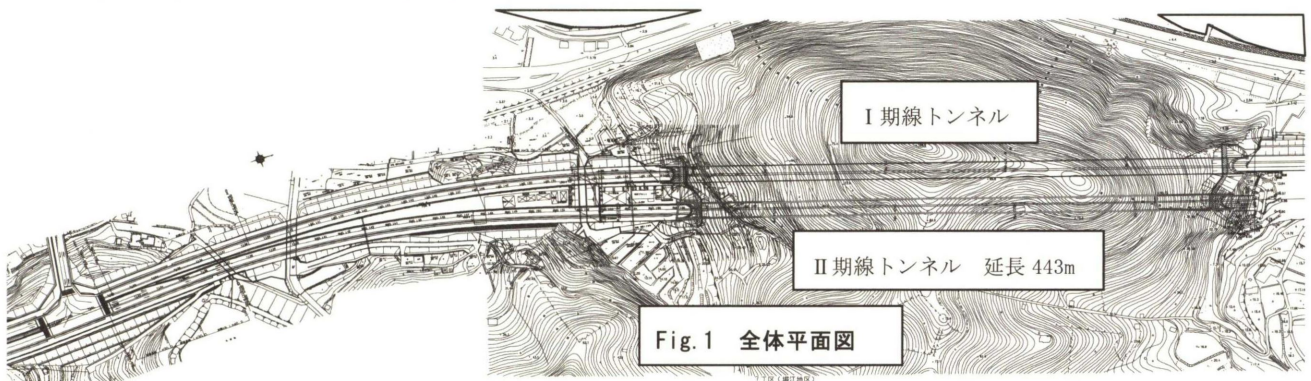
併設するⅠ期線トンネルは供用開始しているが、覆工コンクリートに多数のひび割れが発生しており、今回施工するⅡ期線トンネルにおいては、Ⅰ期線の覆工コンクリートの補強対策工事から施工を開始した。具体的には、覆工に炭素繊維シートで補強し、かつ、掘削においては、Ⅰ期線に影響を与えないように、機械による掘削や制御発破を行った。また、掘削中は、計測管理もⅡ期線だけでなく、Ⅰ期線の覆工に対してもひび割れ幅、および発破振動の影響などを自動計測し、慎重な施工を心掛けた。

覆工コンクリート施工に対しては、Ⅰ期線と同様なひび割れを発生させないように、Ⅰ期線のひび割れ原因を分

析したのち、発注者、調査委員会などの助言を参考にし、本社技術研究所とトンネル技術部と共同で、材料、配合、施工方法について、検討、試験を行い、高品質の覆工コンクリートを作るための取り組みを行った。その結果、満足できるコンクリートを施工することができた。以下に、実施した内容について報告する。

2. 工事概要

工事名称：H15-17年度大谷トンネル工事
 工事場所：愛媛県松山市堀江大谷
 発注者：国土交通省四国地方整備局
 設計者：構造技術センター
 工期：平成16年3月6日～平成17年12月20日
 工事数量：トンネル工：443m
 インバート工：283m
 坑内附帯工：1式
 坑門工：1式
 掘削補助工：1式
 道路改良工：1式
 道路修繕工：1式



- * 関西支店 第二京阪倉治作業所（当時 大谷トンネル作業所）
 ** 広島支店 所原トンネル作業所（当時 関西支店 大谷トンネル作業所）
 *** 関西支店 国分茨木作業所（当時 大谷トンネル作業所）
 **** 技術研究所 建設材料研究グループ

3. 大谷トンネルⅠ期線の変状現象と変状原因

Ⅰ期線トンネルは、Ⅱ期線トンネル施工前に覆工ひび割れを主体とする変状が確認され、調査が実施された。変状の特徴と推定された変状原因を示す。

3.1 変状現象

- ①坑門を含めた覆工コンクリートのひび割れが主体で路盤等には発生していない。
- ②ひび割れはほとんど全区間に発生し、その特徴は以下に示すとおりである。
 - ・天端付近に連続する軸方向ひび割れ、側壁部に連続する軸方向ひび割れ（無筋区間）
 - ・天端から側壁部に連続する横断方向のひび割れ、全区間に共通する網目状ひび割れ（全区間）
 - ・打継目部の浮き剥落（全区間）
 - ・覆工コンクリートの僅かな湿り（全区間）

3.2 調査結果（Ⅱ期線施工前）

- ①計測結果では、特異な変位や累積傾向は見受けられない。
- ②覆工コンクリートの状況
 - ・圧縮強度：全て設計基準強度を満足
 - ・骨材のアルカリシリカ反応試験：無害
 - ・巻厚：設計値を満足
 - ・中性化試験：中性化進行速度が速い
- ③地山ボーリング調査結果
 - 吸水膨張性のある熱水変質粘土（スメクタイト鉱物）を含む
- ④施工状況調査
 - ・養生時間は確保
 - ・配合推定試験からも加水など認められず、特に問題は無い
 - ・変位の収束を確認後、打設されている

3.3 推定された変状原因

- ①中性化（炭酸化）の進行による収縮
- ②熱水変質粘土の吸水膨張
- ③芸予地震をきっかけとして発生または潜在的なひび割れの顕在化の可能性

4. 大谷トンネルⅡ期線における覆工コンクリートの品質確保の取り組み

大谷トンネルⅡ期線において、ひび割れの発生を極力少なくすることを目的に、材料、配合、施工設備、打込み、養生方法において、検討、実施した。

4.1 材料の選定

覆工コンクリートのひび割れを低減するための使用材料の対策としては、以下のような提言がなされている。

- ①水和熱の少ないセメントおよび混和材料の採用
- ②高性能 AE 減水剤の使用による単位水量の低減
- ③ひび割れ抑制のための繊維の使用
- ④コンクリート収縮抑制のための、膨張材、収縮低減剤の使用

具体的には、本工事で使用予定のコンクリートについて、ひび割れ発生原因となるコンクリートの乾燥収縮率、中性化率を把握することを目的として、セメント種類、膨張剤の有無をパラメーターとして性能試験を実施した。以下にその結果をまとめた。

4.1.1 試験概要

(1) 試験体の種類と試験項目

試験体の種類と試験項目を以下に示す。

Table1 試験体の種類と試験項目

試験体名	セメント種類	膨張材	試験項目
①NP	普通ポルトランドセメント	無し	膨張コンクリートの長さ変化試験 (JIS A 6202 B法)
②NE		有り	
③BP	高炉セメント B種	無し	コンクリートの長さ変化試験 (JIS A 1129) 中性化促進試験 (JIS A 1153)
④BE		有り	

* N：普通ポルトランドセメント， B：高炉セメント B種
P：プレーン（膨張材無し）， E：膨張材有り

(2) 使用材料

使用材料は、本工事で使用予定の生コンプラント工場の各材料を用いた。

- ・セメント：普通ポルトランドセメント
高炉セメント B種
- ・粗骨材：津久見産砕石（石灰岩），
Gmax 20mm、密度 2.71mm
- ・細骨材：蒲江産海砂、密度 2.66
津久見産砕砂、密度 2.66
海砂：砕砂=60:40
- ・混和剤：AE減水剤 ポゾリス No. 81MP
- ・膨張材：デンカ パワーCSAタイプR

(3) コンクリート配合

長さ変化試験に用いる試験体の寸法は、10cm×10cm×40cm、中性化促進試験に用いる試験体はφ10cm×20cmであり、コンクリートの粗骨材最大寸法は試験体断面寸法の1/4以下の25mm以下としなければならない。そのため本試験に用いるコンクリートは粗骨材最大寸法20mmの配合とした。なお、水セメント比(W/B)は59%、スランブは15cmと共通にした。

試験体の配合を Table. 2 に示す。

Table2 コンクリートの配合

試験体名	単位量 (kg/m ³)					
	水	セメント	膨張材	細骨材1	細骨材2	粗骨材
①NP	178	302		530	353	946
②NE	178	282	20	530	353	946
③BP	176	298		525	350	951
④BE	176	278	20	525	350	951

4.1.2 試験方法

膨張コンクリートの長さ変化試験, コンクリートの長さ変化試験, コンクリートの促進中性化試験をそれぞれ J I S に基づいた試験方法で行った。

4.1.3 試験結果

(1) 膨張コンクリートの長さ変化試験 (鉄筋区間を模擬した乾燥収縮率試験)

拘束膨張試験体の長さ変化試験結果を Fig. 2 に示す。乾燥収縮率は NE (普通ポルト+膨張材) < BE (高炉B+膨張材) < NP (普通ポルト) < BP (高炉B) の順になっており, 膨張材を混和することにより乾燥収縮率は 32~34% 低減している。また高炉セメントB種は普通ポルトランドセメントに比べて乾燥収縮率が 6~10% 増加している。

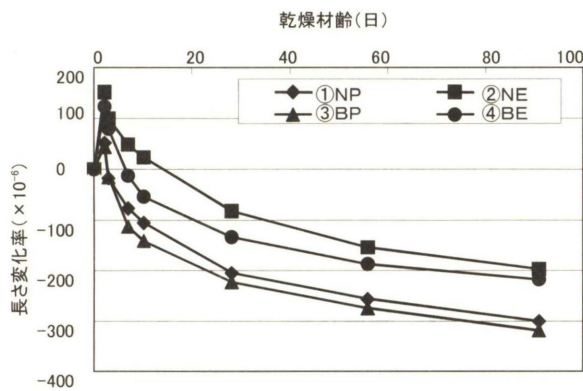


Fig. 2 拘束膨張試験体の長さ変化率

(2) コンクリートの長さ変化試験 (無筋区間を模擬した乾燥収縮率試験)

試験体の長さ変化試験結果を Fig. 3 に示す。乾燥収縮率は NE (普通ポルト+膨張材) < NP (普通ポルト) < BE (高炉B+膨張材) < BP (高炉B) の順になっており, 膨張材を混和することにより乾燥収縮率は, 普通ポルトで 16%, 高炉Bで 9% 低減している。また高炉セメントB種は普通ポルトランドセメントに比べて乾燥収縮率が膨張材無しで 12%、

膨張材有りで 21% 増加している。拘束膨張試験の方が膨張材の乾燥収縮率低減効果が大きくなっているのは, 拘束棒により圧縮応力が効果的に導入されていることによるものと考えられる。また無拘束試験体では高炉Bと普通ポルトの乾燥収縮率の差(普通ポルト<高炉B)が大きくなっている。

Fig. 4 には材齢 6 ヶ月の乾燥収縮率を回帰式により予測した値を過去の試験結果に当てはめたものを示す。この結果によれば本工事で使用を予定しているコンクリートの乾燥収縮率は比較的小さい範囲に位置している。

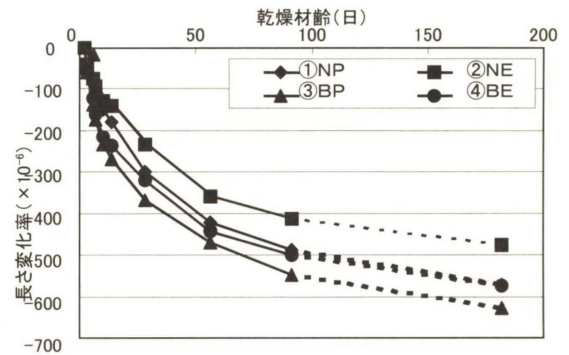


Fig. 3 膨張試験体の長さ変化率 (点線は回帰式による予測値)

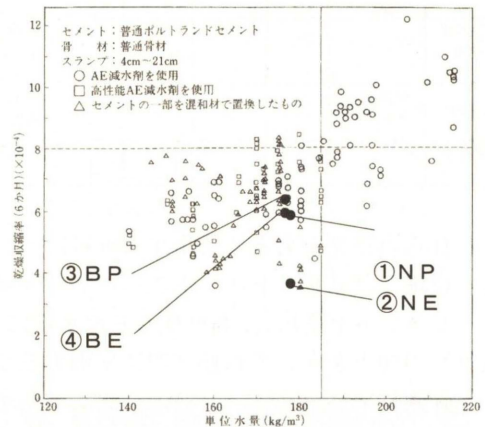


Fig. 4 膨張試験体の長さ変化率 1)

(3) コンクリートの促進中性化試験

コンクリートの促進中性化試験結果を Fig. 5 に示す。中性化深さは NE (普通ポルト+膨張材) < NP (普通ポルト) < BE (高炉B+膨張材) < BP (高炉B) の順になっており, 高炉セメントB種は普通ポルトランドセメントに比べて促進中性化深さが膨張材無しで 84%, 膨張材有りで 135% 増加している。また膨張材を混和することにより促進中性化深さは, 普通ポルトで 35%, 高炉Bで 17% 低減している。膨張材の混和により促進中性化深さが減少しているのは, 膨張効果によりコンクリートの組織が緻密化したことによるものと考えられる。

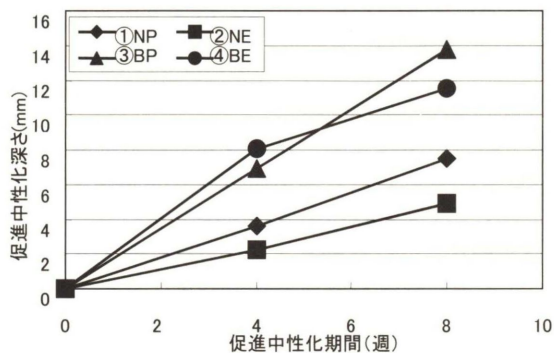


Fig. 5 促進中性化深さ

4.1.4 試験結果の総合評価

以上の試験結果をまとめたものを Table. 3 に示す。また、高炉セメントを使用した場合を基準にして、各対策におけるコストの増分を併記した。

Table3 検討結果

対策	項目	効果					コスト増分 (円/㎡)
		乾燥収縮	中性化	温度応力	初期強度	その他	
水和熱の少ないセメントの採用	普通ポルト	○	○	○	○		130
	高炉B種	×	×	△	△		0
	中庸熱	◎	○	◎	×		600
	早強ポルト	○	○	×	◎		1,200
高性能AE減水剤の使用		○	-	-	-	C=300 kg/m ³ 以上必要	2,900
繊維の使用	鋼繊維、ビニロン	○	-	-	-	鋼は発錆あり	8,900
膨張材の使用		○	○	○	○		5,500

これらの結果をもとに使用する材料について、発注者と協議した結果、セメントについては普通ポルトランドセメントを使用し、高性能AE減水剤については、流動性の向上を考えて鉄筋区間に使用することとなった。膨張材については、コストの面から使用しないこととした。

4.2 配合の選定

大谷トンネルⅡ期線において、中性化、塩害および偏荷重による劣化が発生しやすい環境にあるので、覆工にひび割れが発生した場合、そこから鉄筋腐食が発生し、さらに、ひび割れが拡大することとなり、コンクリートの劣化に至る。そのため、密実性があり、かつ、ひび割れ発生を抑制させることのできるコンクリート配合が必要である。

以上の目的をふまえて、鉄筋区間と無筋区間に分けて配合の検討を行った。

4.2.1 鉄筋区間

鉄筋区間における配合は以下のフローに基づき決定した。

(設計配合)

粗骨材 40mm 以下 スランプ 15cm
 W/C 60%以下 呼び強度 18N/mm² 以上
 単位水量管理基準値 165kg/m³ (粗骨材 40mm)
 単位水量管理基準値 175kg/m³ (粗骨材 20mm)

(1) 設計 24-15-40N

(W/C 60%以下より呼び強度は 24N/mm² となる)

C=276kg W=163kg W/C=59% s/a=43.2%

①流動性向上のため、粗骨材 40mm
→ 20mm とする

(2) 変更Ⅰ 24-15-20N

C=302kg W=178kg W/C=59% s/a=48.8%

②単位水量管理基準値確保のため、
高性能 A E 減水剤を添加する

(3) 変更Ⅱ 24-15-20N

(高性能 A E 減水剤)

C=295kg W=174kg W/C=59% s/a=49.8%

③流動性向上のため、スランプ 18cm,
細骨材率を上げる

④単位水量 170kg/m³ 以下とする
(熊谷組提案値)

(4) 変更Ⅲ (決定) 24-18-20N

(高性能 AE 減水剤)

C=288kg W=174kg W/C=59% s/a=51.7%

4.2.2 無筋区間

無筋区間における配合は以下のフローに基づき決定した。

(設計配合)

粗骨材 40mm 以下 スランプ 15cm
 W/C 60%以下 呼び強度 18N/mm² 以上
 単位水量管理基準値 165kg/m³ (粗骨材 40mm)

(1) 設計 24-15-40N

(W/C 60%以下より呼び強度は 24N/mm² となる)

C=276kg W=163kg W/C=59% s/a=43.2%

流動性向上のため、スランプ 18cm,
細骨材率を上げる

(2) 変更Ⅱ (決定) 24-18-40N
C=280kg W=165kg W/C=59% s/a=45.3%

4.3 施工設備・方法の検討

一般に山岳トンネルの施工は、以下のような流れで施工される。

1. トンネル掘削
 - ・設計巻厚の確認
 - ・地山変位の収束確認
2. 防水工・排水工
 - ・下地処理
 - ・張付け, 接合
 - ・排水工
3. 型枠設備計画
 - ・型枠設備の仕様
4. 型枠移動・据付
 - ・地山の支持力確保
 - ・型枠移動
 - ・型枠面清掃
 - ・剥離剤塗布
 - ・型枠据付
 - ・巻厚検査
5. コンクリート運搬・打込み・締固め
 - ・材料受入れ検査
 - ・運搬
 - ・打込み
 - ・締固め
 - ・暑中コンクリート対策
 - ・打込み中断時対策
6. 型枠取り外し
 - ・脱型時期の確認
7. コンクリート養生
 - ・養生方法

この中で、大谷トンネルⅡ期線工事において行った対策について以下に述べる。

4.3.1 型枠設備の改良

今回採用した主要な型枠設備とその目的について、Table. 4 に示す。

Table4 型枠設備一覧表

No	設備名	不具合防止目的	効果	備考
1	エア-抜き孔	背面空洞 空隙	ラップ側のエア-、余剰水、モルタル分等の漏出で、その部分の充填を確認し、背面空洞、空隙の発生を防止する。	photo.1 参照
2	ブリーディング水 除去設備	背面空洞 空隙 ブリーディング水処理 不良	妻部に網目状の型枠をセットし、することによりコンクリートのろやブリーディング水を取除き、空隙防止、品質確保を行う 妻部の大きな凹凸をなくす構造としている。	photo.2 参照
3	型枠パイプ プレーター (壁付)	背面空洞 空隙 締固め不良	吹上げ口付近に設置し締固めを行い、スムーズなコンクリート打設を行うとともに、エア-溜りを極小化させ、背面空洞、空隙の発生を防止する。	photo.3 参照
4	棒状パイプ プレーター 伸縮装置 (6台)	締固め不良	棒状パイププレーターを伸縮させ、天端部の締固めを行い、品質を確保する。	photo.4 参照
5	配管切替 え装置 (4P)	コールドジョイント	コンクリート配管の切替えが迅速に行うことができ、コンクリート打継部のコールドジョイントの発生を防止する。	photo.5 参照
6	樹脂コー ティング	コンクリート表面の品質確保	樹脂製加工により、平滑面に優れた錆・シミ・ムラのない光沢のある仕上がり面を得られる。	photo.6 参照

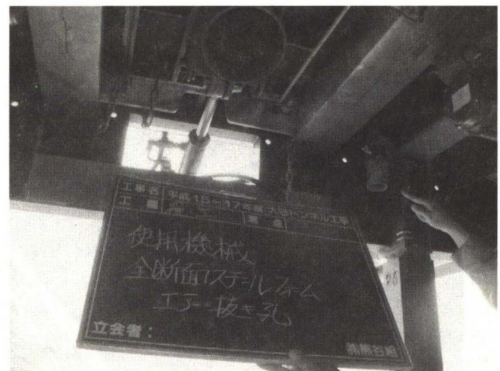


photo.1 エア-抜き孔

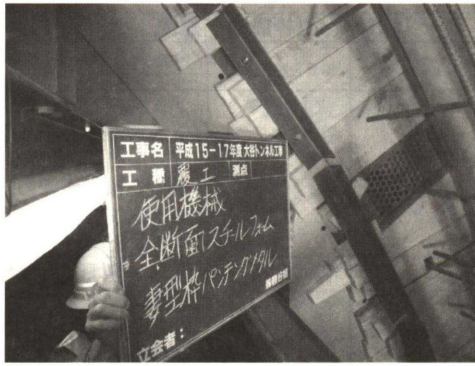


photo. 2 プリーディング水除去設備

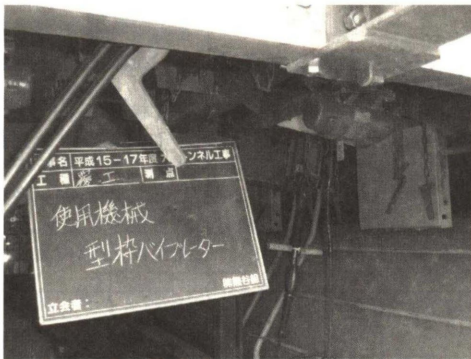


photo. 3 型枠ハイフレーター（壁付）



photo. 4 棒状ハイフレーター伸縮装置

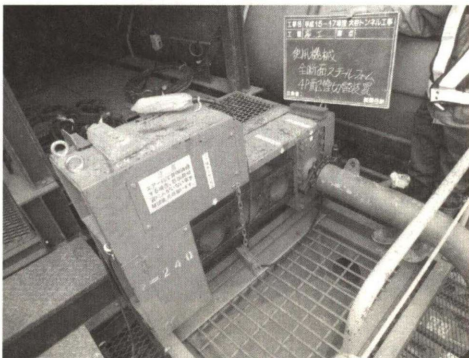


photo. 5 配管切換え装置（4P）

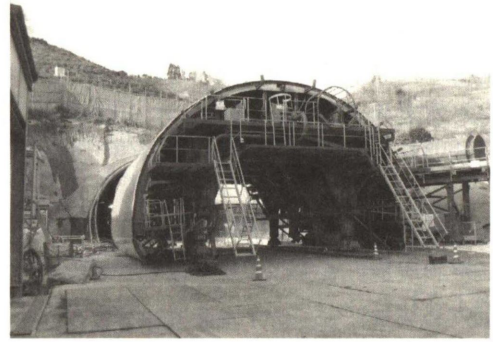


photo. 6 樹脂コーティング（セントル全景）

4.3.2 防水工～型枠据付～コンクリート工

防水工、型枠据付、コンクリート打込みに関しては、QC工程表を作成し、各施工工程において確認すべきところを明記し、チェックを行ったのち次工程へ進むよう徹底した。

4.3.3 暑中コンクリート対策

覆工コンクリート打設時期が、6月から9月までであったため、暑中コンクリートの対応が必要であった。暑中コンクリート対策として行った事項を列挙する。

- ・コンクリートの打ち込み時間はできるだけ早く連続して行い、練り混ぜから打ち終わるまでの時間は1.5時間を越えないようにする。
- ・生コン車を長時間待機させないように事前に配車計画を立案する。また、待機場所はトンネル内とし、3台以上並ばないように配車計画を行う。
- ・無筋区間の配合においては、スランプロスの保持性能、プリーディング水の低減効果のある高機能型AE減水剤を使用する。

4.3.4 脱型時期の検討

型枠の脱型時期については、事前に解析を行った結果、15hの養生期間で、脱型可能であることが判明した。ただ、両坑口付近（鉄筋区間）は、温度差も大きく、外気の影響も受けやすいことから、翌日に脱型は行わないこととした。また、トンネル貫通後は、トンネル坑口に養生パネルを設置し、夜間は完全に坑口を塞ぐことにより、風の流れをなくし、脱型後の急激な温度変化を少なくした。

4.3.5 養生方法

セントル脱型後の養生がコンクリートの品質に大きな影響を及ぼすと考え、脱型後、直ちにコンクリート表面に養生剤（商品名：マスターキュアー106）を散布し、初期材齢における保水効果を高めた。

5. まとめ

覆工コンクリート打設前の計画段階で、今まで述べてきたような材料選定試験、配合決定、型枠設備の改良を検討した。そして、施工開始前に、作業所、支店、本社トンネル技術部、協力業者、生コンプラントが集まり、施工検討会を行った。この検討会は、発注者に満足してもらえらるる構造物を造るという目的を達成するための意思統一を行うことができたという点で、非常に有意義であったように思う。

覆工の仕上がりであるが、現在のところひび割れも発生しておらず、満足のいく構造物が造れたと思う。発注者にも良い評価をしていただいた。ただ、施工中、無筋区間において、覆工天端部の打設口付近(4m程度の区間)に、所々黒っぽい縞模様が発生した。

この対策として、施工面からは、型枠剥離剤を打設直前に散布する、天端付近打設時のパイプレーターを入念にかける、ブリーディング水の目視確認を行う、などを徹底した。また、配合面からは、混和剤として、高機能 AE 減水剤(高性能 AE 減水剤と AE 減水剤の中間の性状)を使用した。これらを行うことで、打設縞は解消した。

大谷トンネルの特殊性として、前述したように、海沿いに面していることから塩害によるコンクリート劣化および熱水変質粘土(スメクタイト)を含んだ地山であるため、吸水膨張による偏荷重を受ける可能性があった。これらは、ある程度、時間が経ってから、コンクリートに影響を及ぼすことが予想されるので、引き続き定期的に覆工の観察を行う必要があると考える。

今後、発注者からの覆工コンクリートに対する品質上の要求は、益々厳しいものになっていくと考えられる。

今回、大谷トンネルⅡ期線工事における覆工コンクリートの品質確保の取り組みとして、採用した例は、材料も設備もコストを十分考慮しながら決定したものである。コストをかければもっと良い品質の構造物ができた可能性もあるし、実際行っている現場もある。ただ、それほど特殊な材料、設備を採用しなくても、ひび割れの原因とそれに対する対策を理解していれば、品質の良い構造物を造ることができるという点で、今後、参考にさせていただければ幸いである。

謝辞

今回の検討にあたり、配合の変更などを積極的に協議したり、助言を頂いた国土交通省四国地方整備局および技術事務所の方々、愛媛大学、施工技術総合研究の方々には大変お世話になった。深く感謝するとともに、工事に携わった協力業者の方々の努力に深く敬意を表す。

参考文献

- 1) 日本建築学会：コンクリートの調査設計指針・同解説，1999
- 2) 土木学会：山岳トンネル覆工の現状と対策，平成14年9月
- 3) 土木学会：トンネルの変状メカニズム，平成15年9月
- 4) 国際航業㈱：平成15年度大谷トンネル外一件調査設計業務報告書，平成16年3月
- 5) ジェオフロンテ研究会：二次覆工コンクリートの適切な配合および施工方法について，平成16年11月

Efforts to ensure the high quality of tunnel concrete lining

Keizo KANZAKI, Keisuke OCHI, Masahiro SHIMIZU, Koichi SATO and Akira NONAKA

Abstract

It is recognized that a lot of cracks has emerged on the concrete lining of Otani tunnel (Phase I) in service before starting new construction of Otani tunnel (Phase II) planned neighboring and parallel to Phase I tunnel. According to results of investigation, some causes for the occurrence of lining cracks include the neutralization of concrete, the squeezing pressure caused by clay mineral in the ground, the influence of the Geiyo Earthquake. However, it is impossible to identify the main factor.

This paper deals with efforts to ensure the high quality of concrete lining of Phase II Tunnel, studying about the selection of materials, various concrete mix, working facilities.

Keywords: The cracks of tunnel concrete lining, The neuter-ization measure, The high efficiency AE fall pill, The mold facilities