

成田空港木の根トンネル補強工事における下床桁の施工方法

(株)大林組 生産技術本部	正会員	○森上 慎也
成田国際空港(株) 整備部門		舟木 智
(株)大林組 木の根トンネル補強工事事務所	正会員	工藤 嘉久
(株)大林組 生産技術本部	正会員	富井 孝喜
(株)大林組 生産技術本部	正会員	宮田 健治朗

1. はじめに

成田国際空港内に位置している木の根トンネルは、鉄道営業線、歩道、一般道路、空港構内道路、航空機支援車両通路から構成される 5 連のボックスカルバート構造（延長 160m、幅 37.1m、高さ 6.9m）であり、空港運用を支えている。

本工事は、木の根トンネル上部に航空機用の通路（以下、誘導路）を新設するため、図-1 に示すようにトンネルの一部（延長 100m）を航空機荷重対応とする補強工事であり、トンネル内の交通を阻害しないように施工しなければならない。本稿では、既設トンネルの下部に新設する下床桁の施工方法について述べる。

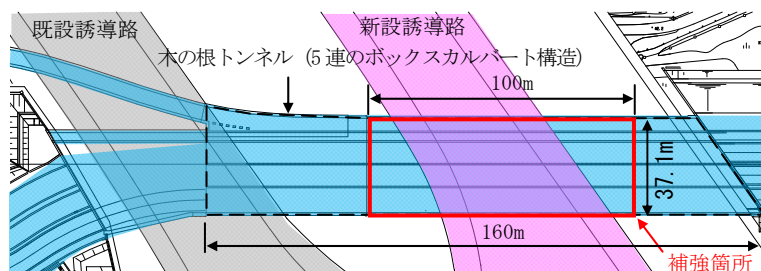


図-1 トンネル補強箇所

表-1 工事概要

工事名称	木の根トンネル補強工事
発注者	成田国際空港株式会社（NAA）
施工場所	千葉県成田市成田国際空港内
工期	2011 年 6 月 24 日 ～ 2013 年 1 月 31 日
工事内容	トンネル補強工 一式 下床桁 5,600 m ³ (3.0m×2.5m×37m、20 本) 頂版、側壁 8,100 m ³ 隔壁補強 200 m ³ 土工事 30,000 m ³

2. 工事概要

工事概要を表-1 に、構造概要図を図-2 に、断面図を図-3 示す。本工事は、既設トンネルをその直下に新設した 20 本の下床桁で支持し、外周を側壁・頂版で覆うことで補強する構造となっている。トンネルを支持する下床桁は、躯体および航空機荷重を確実に支持するために既設トンネルと一体化し、十分な強度と剛性を確保する必要がある。

新設する側壁・頂版と既設トンネルとの間は空間（側壁 0.2m、頂版 0.15～0.25m）が設けられており、既設トンネルの中壁直上にある沓以外からは上載荷重を既設トンネルに作用させない構造となっている。

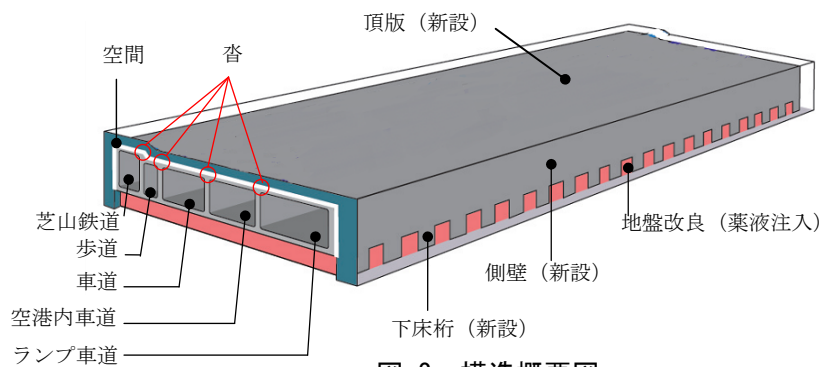


図-2 構造概要図

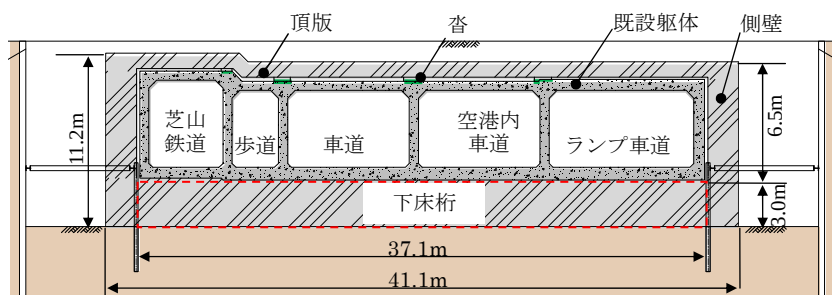


図-3 横断面図

キーワード 下床桁、高流動コンクリート、膨張性

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インクシティ B 棟 (株)大林組 生産技術本部 技術第一部 TEL 03-5769-1322

3. 下床桁

補強は、既設躯体直下に 2.5m 間隔に設けた下床桁(延長 37.1m、幅 2.5m、高 3.0m) により、躯体を支持する構造である。下床桁の断面を図-4 に示す。掘削は、薬液注入により既設トンネル直下の砂質土を地盤改良し、地山の自立性を確保した状態で実施した。下床桁内は、側部を親杭 (H100@1200) と木製横矢板で土止めし、底部に均しコンクリートを打設した。施工は既設躯体への影響を極力低減させなければならず、特に、周辺地盤掘削時の荷重除荷等による躯体の浮き上がり及び躯体構築により自重増加による沈下を考慮した。

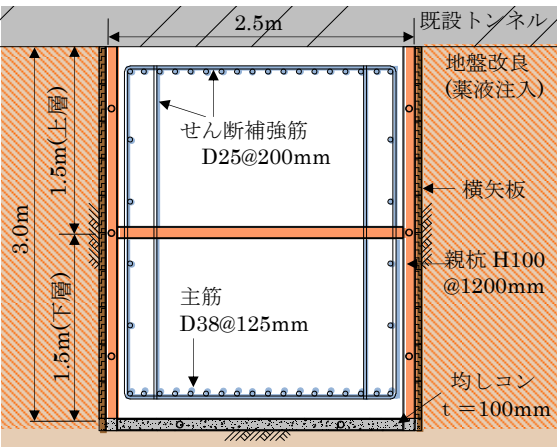


図-4 下床桁断面図

4. コンクリートの選定と配合検討

下床桁の施工においては、閉塞空間にコンクリートを充填しなければならないため、コンクリートの充填と上部既設躯体との密着が課題であった。そのため、選定するコンクリートには、高い自己充填性を持つ高流動コンクリートの適用が必要であったが、一般的な高流動コンクリートはセメントなどの粉体量が多く、温度ひび割れの発生が懸念された。

そこで、下床桁のコンクリートには、単位粉体量減のため普通配合であるコンクリート (40-21-20N) をベースに、特殊増粘剤一体型高性能 AE 減水剤を添加した高流動コンクリートを選定した (写真-1)。コンクリートの配合を表-2 に示す。

粉体系高流動コンクリートと特殊増粘剤系高流動コンクリートの配合比較を表-3 に示す。特殊増粘剤一体型高性能 AE 減水剤を使用することにより、粉体系に比べ約 80kg/m³セメントの少ない高流動コンクリートとすることができた。図-5 に土木学会の断熱温度上昇特性式¹⁾から導いたセメント量の違いによるコンクリート温度上昇の比較を示す。コンクリート最高温度が最大で 9.7℃低減し、温度ひび割れを抑制できる。



写真-1 特殊増粘剤系高流動コンクリート

表-2 コンクリートの配合

W/C	s/a	V _p	V _G	単位量 (kg/m ³)					
				W	C	S1 (山砂)	S2 (陸砂)	S3 (砕砂)	G 2005
43.4	51.0	303	320	175	403	299	301	269	864

表-3 高流動コンクリートの配合比較

配合	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)		混和剤種類
		W	C	
粉体系高流動 40-60-20N	36.5	175	480	ポリカルボン酸系 高性能 AE 減水剤
普通配合 40-21-20N	43.4	175	403	特殊増粘剤一体型 高性能 AE 減水剤
特殊増粘剤系 高流動 40-60-20N	43.4	175	403	特殊増粘剤一体型 高性能 AE 減水剤

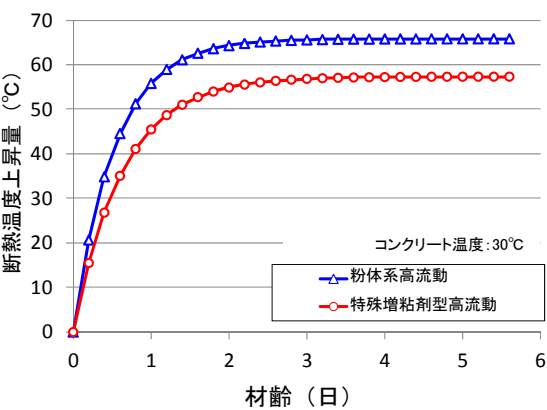


図-5 断熱温度上昇量比較

通常のコンクリートをただ打ち込んだだけでは、ブリーディングの発生や自己収縮などにより、コンクリートが沈下し、既設躯体との間にすき間が発生することが懸念される。そこで、既設躯体と接触する上層のコンクリートには高流動コンクリートに特殊アルミニウム粉末を添加した膨張性高流動コンクリートを使用した（図-6）。コンクリートの違いによる自由膨張率とブリーディング率の比較試験結果を図-7 に示す。高流動コンクリートでは、特殊増粘剤の効果によりブリーディングは生じないが、自由膨張率が-0.38%となり、体積の減少による沈下が確認できた。膨張性高流動の使用により、高流動コンクリートの沈下をそれ以上の膨張率で補償することで既設躯体と確実に密着させた。特殊アルミニウム粉末の添加量は、目標自由膨張率を $1.25 \pm 0.75\%$ に設定し、試験練りにて $30\text{g}/\text{m}^3$ とした。混合方法は、予め計量したアルミ粉末を、アルカリ水溶性の紙に包み、現地においてアジテータ車に直接投入して、120 秒間高速攪拌させた。

コンクリートの圧縮強度試験結果を図-8 に示す。特殊増粘剤系高流動コンクリートは、基本配合と同等以上の強度を有することが確認できた。また、膨張性高流動コンクリートでは、アルミ粉末の発泡膨張による密度減少のため、圧縮強度は若干低下するものの、設計基準強度を十分満足する値を確認した。

高流動コンクリートの品質管理基準を表-4 に示す。スランプフローの管理では、フロー値 53cm において間隙通過性試験（JIS A 1108）の障害ランク（R2）を満足することが確認できたことから、これを管理の下限値とした。

また、既設と接触する上層コンクリートにおいては、圧送配管内の圧力上昇が懸念されるため、スランプフローを 60cm 以上で管理し、流動性、充填性を確保した。

表-4 管理基準

項目	準拠規準	規格値
設計基準強度	JIS A 1108	$40\text{N}/\text{mm}^2$ 以上 (材齢 28 日)
スランプフロー	JIS A 1150	53~70cm (荷降ろし時)
空気量	JIS A 1128	$4.5 \pm 1.5\%$
塩化物含有量	カンタブ	$0.3\text{Kg}/\text{m}^3$ 以下
間隙通過性	JIS A 1108	障害 R2 において 300mm 以上
ブリーディング率	JIS A 1123	認められないこと
自由膨張率	—	$1.25 \pm 0.75\%$

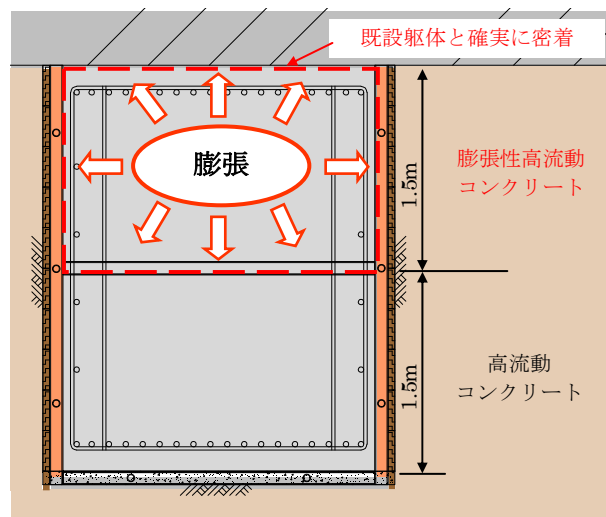


図-6 膨張性高流動の施工概念図

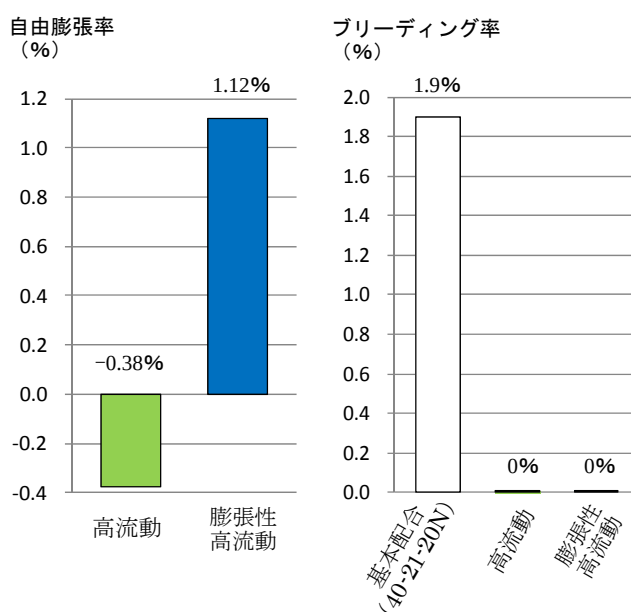


図-7 フレッシュコンクリート性状試験

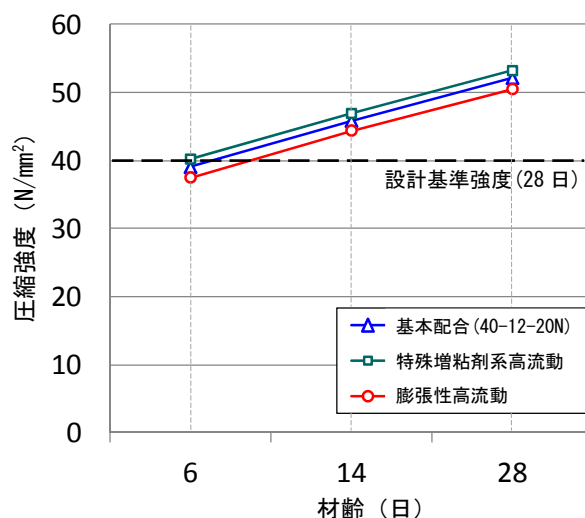


図-8 圧縮強度試験結果

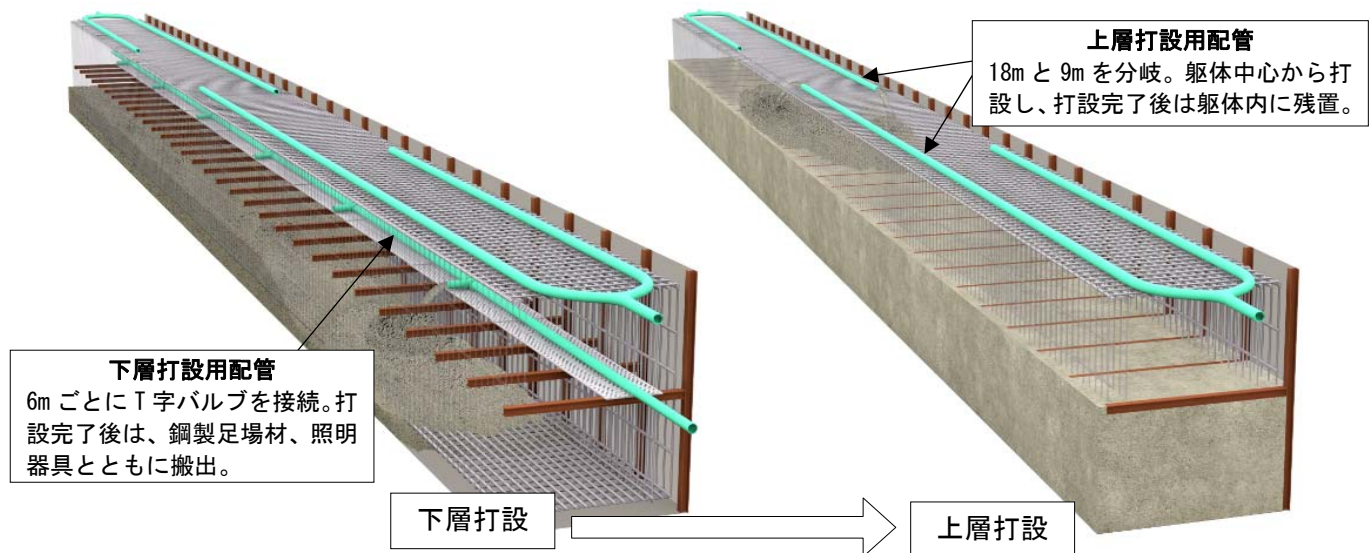


図-9 コンクリート打設イメージ

5. コンクリート打設

下床桁のコンクリートは、上部は既設トンネル、側部は地山に囲まれた閉塞空間内への打ち込みとなる。そこで、打設は下層と上層の2層に分けて実施し、異なる充填確認方法を実施することで、コンクリートを閉塞空間内の隅々まで確実に充填させる計画とした。

5. 1. 下層コンクリート打設

打設イメージを図-9 に、打設フローを図-10 に示す。

下層の打設は片側からの配管打設とし、棲型枠には下床桁内部に人が入るように開口を設けた。写真-2 に開口を、写真-3 に下床桁内部の打設前状況を示す。下床桁内部にて職員が、コンクリートの性状と充填性を目視により確認した。また、コンクリートの打ち上がり状況を確認し、T 字バルブを開閉させることで、コンクリートの横流しを低減し、均一にコンクリートを打ち込んだ(図-11)。

下層コンクリート打ち上がり完了後は、下層用打設配管、鋼製足場板および照明器具を開口部から抗外へ搬出し、棲型枠の開口を閉鎖した。

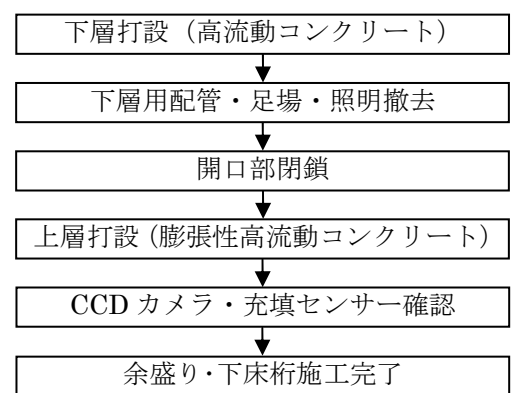


図-10 下床桁打設フロー

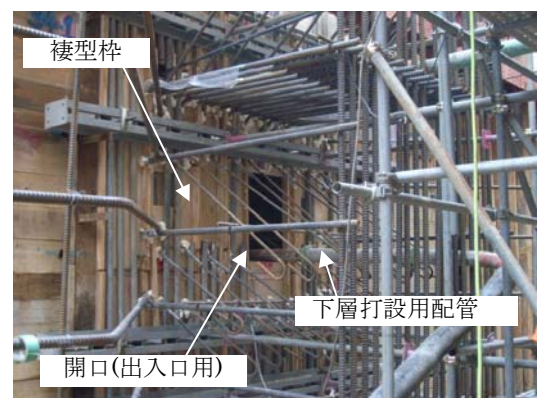


写真-2 棲型枠開口

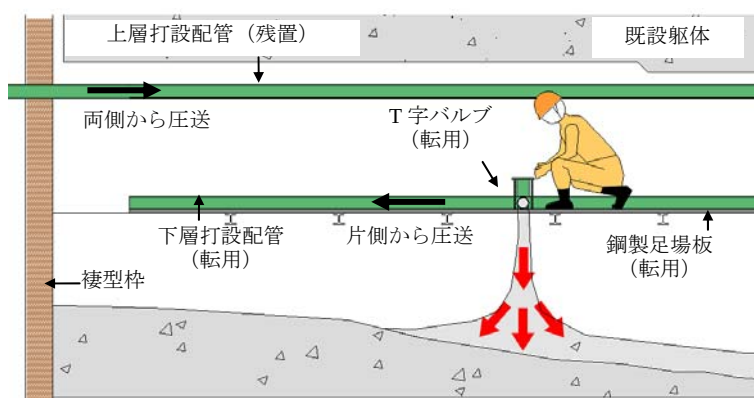


図-11 下層打設イメージ

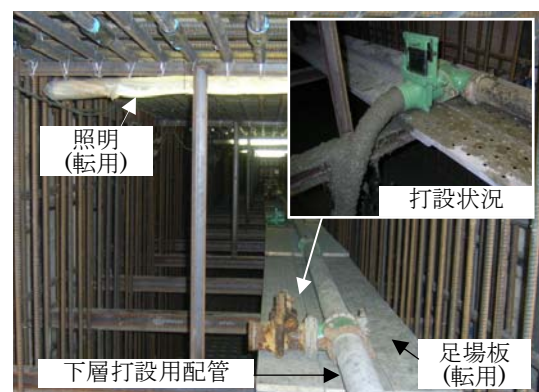


写真-3 下床桁内打設前状況

5. 2. 上層打設

上層の打設イメージを図-12 に示す。上層の配管はコンクリート内部に残置することとし、18m と 9m の延長の異なる 2 系統に配管を分岐させた（シャッターバルブにより切り替え）。下床桁の両側から 2 機のポンプ車を使用して、トンネル中心からコンクリートを打設する計画とした。これらにより、圧送距離を低減させることで配管閉塞を生じることなくコンクリートを打設することができた。

なお、上層用配管には先送りモルタルとして、高流動コンクリートから粗骨材を除いた高流動モルタルを使用し、下床桁内に打ち込んだ。高流動モルタルは、コンクリートと変わらぬ強度発現を有することを供試体により確認している。

打設終了は、下床桁の両端部に設けた棲型枠と既設躯体との幅 200mm の隙間（以下、予盛り部）に、コンクリートが盛り上がることを確認した後に、型枠際に設置したシャッターバルブを閉じて完了とした。これは、水頭差を利用して下床桁内の膨張性高流動コンクリートを拘束することにより、所定の強度発現を促すためである。予盛り高さは 800mm と設定した。これは、打設高さ 800mm 以上においては、自重によりコンクリートが拘束され膨張量が変化しないためである。予盛り部の概要を図-13 に、予盛り状況を写真-4 示す。

コンクリートの充填状況の確認は、上層においては下層の打設時のように下床桁内に職員が入って目視で確認することができない。そこで、充填状況の確認には充填センサーおよび CCD カメラを用いて実施した。それぞれの設置概要を図-14 に示す。

充填センサーは、既設トンネル下面の左右両端付近に設置した。これは、コンクリートが隅角部までしっかり充填されていることを確認するためである。また、CCD カメラは、下床桁を縦断する方向に取り付けたケーブルに接続し、コンクリートの充填に合わせて移動させ、下床桁外に設置したモニターによりコンクリートの充填状況を確認した。CCD カメラは打設完了際に棲型枠に設けた開口から回収した。

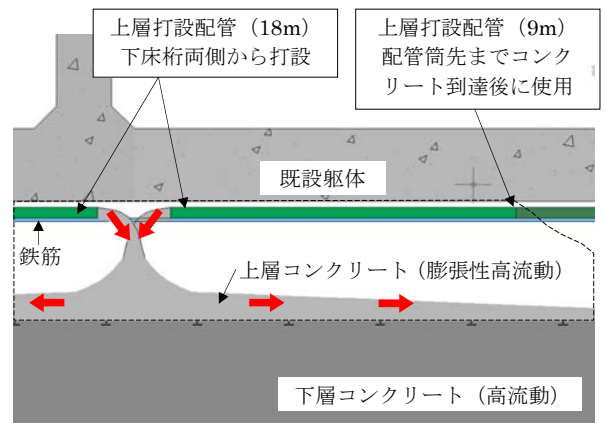


図-12 上層打設イメージ

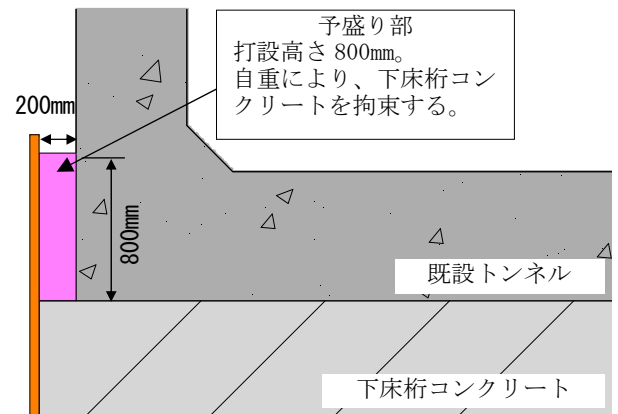


図-13 予盛りコンクリート断面図



写真-4 予盛り状況

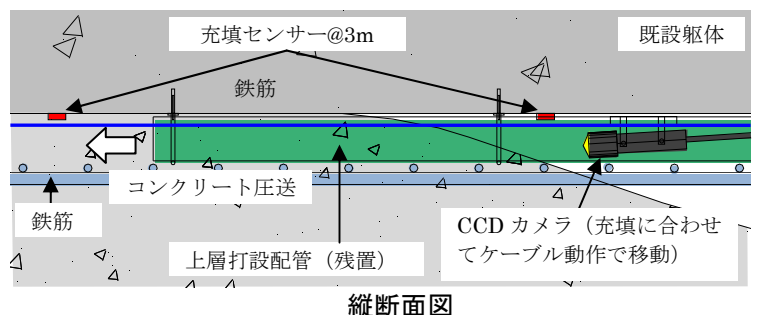
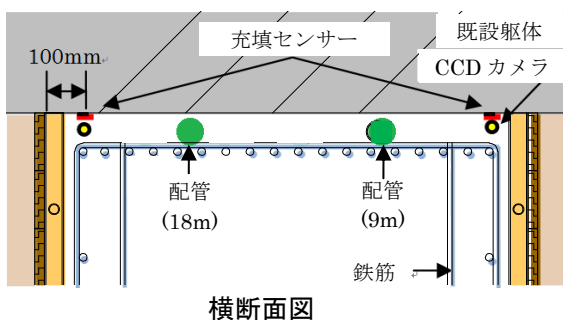


図-14 充填センサーおよび CCD カメラ位置図

CCD カメラおよび充填センサーの設置状況を写真-5 に示す。また、CCD カメラおよび充填センサーのモニター画像をそれぞれ写真-6、写真-7 に示す。

CCD カメラのモニター画像では、打設コンクリートが既設躯体と密着していること、充填センサーの反応と連動していること、配管の切替え時に次の配管筒先がコンクリートで満たされ空気だまりを生じていないこと等を確認した。

充填センサーのモニター画像では、充填の有無が色彩の違いにより確認できる。コンクリートが既設躯体と接触する上層コンクリートにおいて、躯体中心の充填センサーから桁端部へ順次点灯することをモニター画面上にて確認し、最後に予盛り部にコンクリートが上昇することを確認した。

これらにより、コンクリートと既設躯体との間に空隙を残さず、確実に既設躯体と密着していることを確認した。

6. まとめ

木の根トンネル補強工事における下床桁の施工方法について報告した。特殊増粘剤一体型高性能 A E 減水剤を用いた高流動コンクリートは、高い流動性を保持しつつ、セメント量の増加を防ぎ、ひび割れを低減する効果を付与できる。表層を目荒らしした後の躯体表面は、材料の分離や温度ひび割れも認められず良好な打継ぎ面を形成していた(写真-8)。また、打設方法の工夫により圧送距離を低減することで配管の閉塞を防止し、充填確認方法の工夫により既設トンネルとの境界面において隙間なくコンクリートを充填し、既設トンネルと一体化させることができた(写真-9)。

本報告が、今後の高流動コンクリートを用いた施工の一助となれば幸いである。



写真-5 充填センサーおよび CCD カメラ設置写真

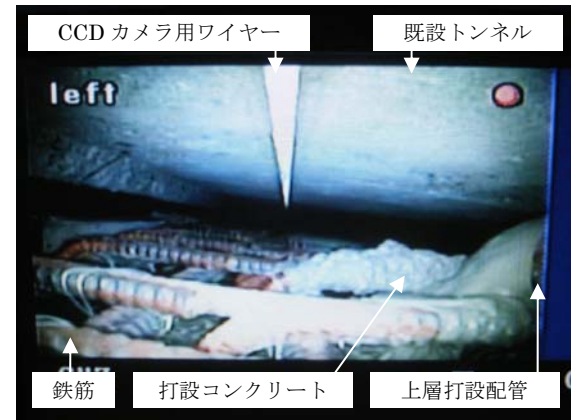


写真-6 CCDカメラモニター画像

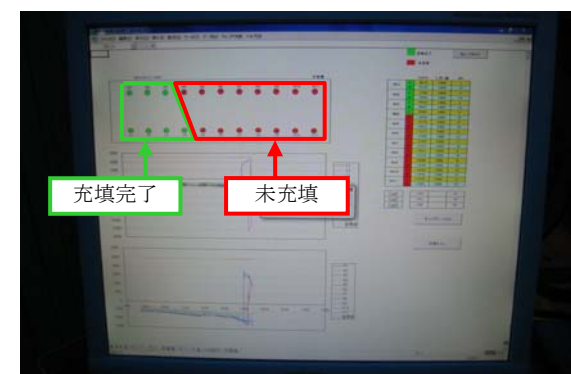


写真-7 充填センサーモニター画像



写真-8 下床桁（打設完了後）

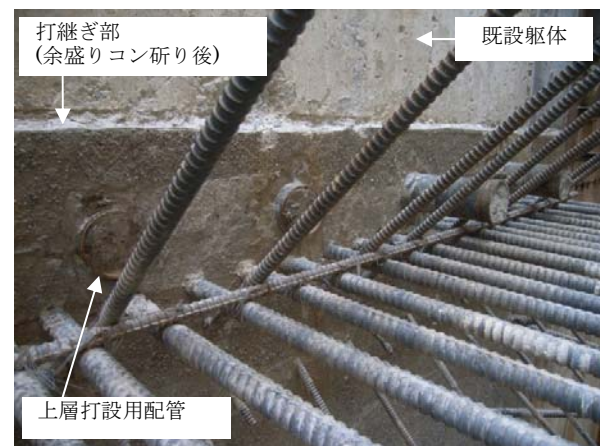


写真-9 既設躯体との密着状況

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書〔設計編〕，pp342-34，2008