

供用中高速道路における車線規制下でのトンネルインバートの施工実績

鹿島建設(株) 正会員 酒井 高志

1. 要旨

本工事は、西日本高速道路株式会社が取り組んでいる「高速道路リニューアルプロジェクト」の対象工事である。竣工から30余年を経た明神トンネルにおいて、走行路面に大きな変状が生じている箇所に対し、建設当時未計画であったインバートを新たに構築し、走行路面を復旧するものである。

本工事はその全施工工程において、高速道路本線の機能を維持する必要があるため、車線規制を実施しながら半車線ずつ施工を行う。車線規制は、長期休暇及び行楽期の3連休など、高速道路利用者が増加する交通繁忙期は道路を完全開放する必要があるため、実施することができない。これは工事工程上の大きな制約となった。

車線規制を伴う工事の最大の特徴は、規制帯の直近を一般車両が高速で走行しており、利用者の安全対策が最優先事項であること。また、施工はトンネル内での重機作業が主であり、制限された施工空間を有効に活用しながら、走行車両に影響を与えることなくスムーズな通行を確保することが大命題である。加えて、掘削に伴うトンネル及び走行車線の変状にも注意を払う必要があった。

本工事は今後ますます需要が急増する大規模修繕工事の先駆けであり、今回これら種々の問題を解決しインバート設置を無事完工することができたので、その施工実績を報告する。

2. 工事概要

本工事は、高知自動車道下り線、大豊IC～南国IC間の明神トンネルにおいて、北坑口より約1kmの位置で走行路盤に大きな変状が生じている箇所（図-1）に対し、建設当時未計画であったインバートを構築し（図-2, 3）、その変状を修繕する工事である。工事にあたってはその全施工工程において、高速道路本線の機能を維持する必要があるため、車線規制を実施しながら半車線ずつ施工を行う。

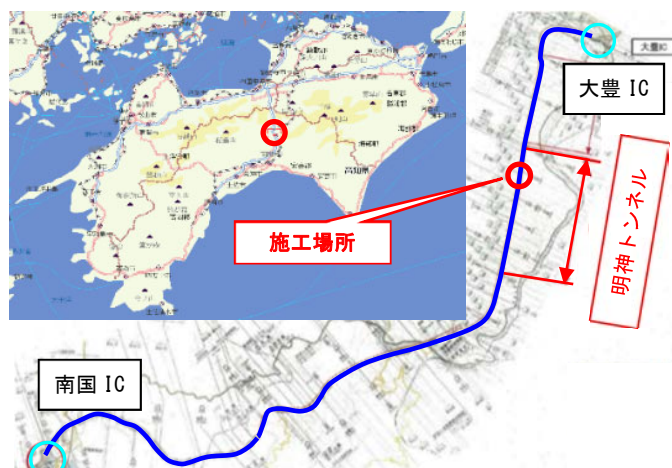


図-1 現場位置図

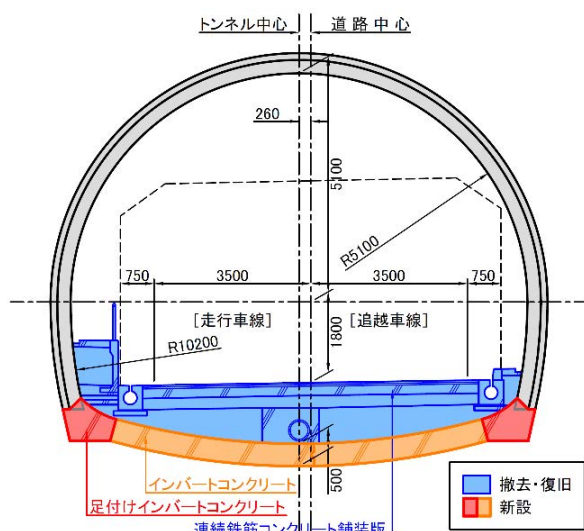


図-2 計画断面図

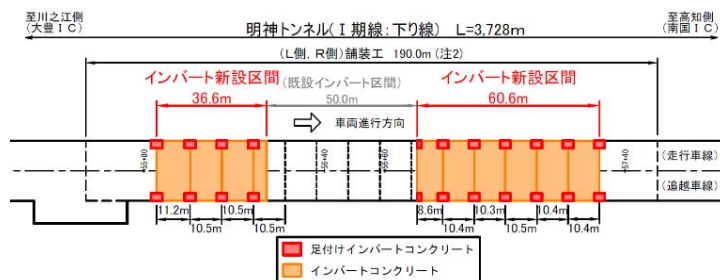


図-3 計画平面図

キーワード トンネル、インバート、大規模修繕工事、車線規制、高速道路リニューアル

連絡先 〒760-005 香川県高松市亀井町1番地3 鹿島建設株式会社四国支店 土木部 TEL 087-839-3055

また、車線規制時の走行幅員を確保するため、既存の監視員通路及び監査廊を一時的に撤去する必要があり、これに伴い、管理用施設及び配線や配管類の撤去・移設並びに復旧工事も施工範囲となる。表-1 に主要工事数量を示す。

表-1 主要工事数量

構造物掘削工	2,078 m ³
インパート工	97 m
連続鉄筋コンクリート舗装版	1,500 m ²
オーバーレイ工	1,500 m ²
監視員通路復旧工	276 m
コンクリート構造物取壊し工	893 m ³
アスファルト舗装版取壊し工	2,717 m ²
昼夜連続車線規制工	359 日
管理用施設撤去復旧工	1 式

3. 工事の課題

本工事は、その工事内容から極めて特殊な条件下での工事であり、工事完工にあたっては次に述べる課題を克服することが必須であった。

(1) 供用車線の安全確保及び高速道路の機能維持

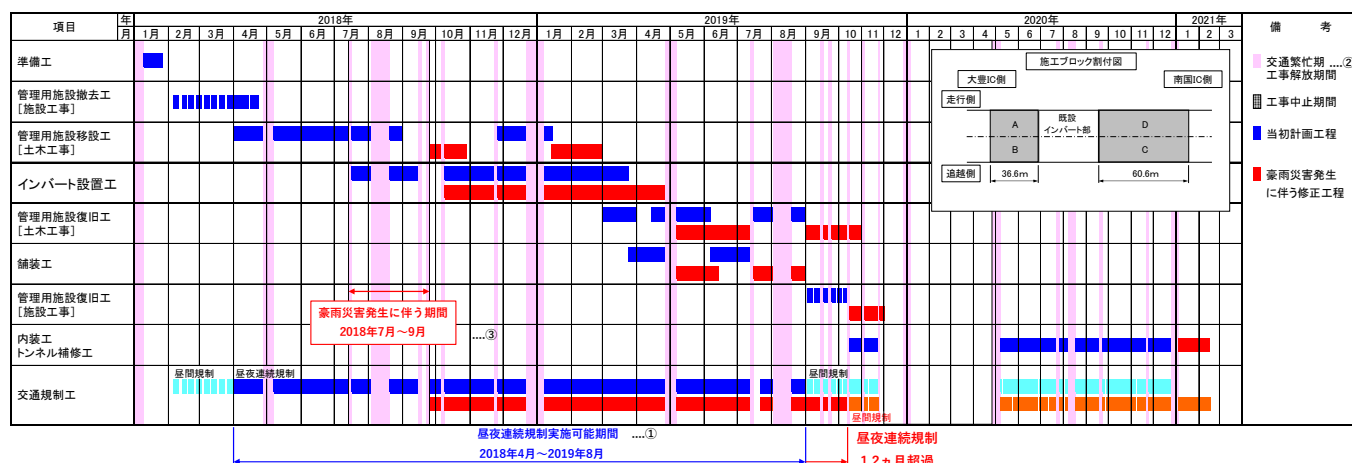
供用車線を走行する一般車の事故・災害の防止、地山掘削や構造物の取壊しによって生じる変位や振動による走行車線や既存設備への影響抑止が重要な課題であった。

(2) 制限された工程

本工事ではインパートを設置するため、舗装路盤を撤去し開削して作業する。このため、工事期間中連続して車線規制をかけなければならず、この規制にあたっては所管の警察との協議の結果、以下の制約条件が与えられた。

- ① 昼夜連続規制実施可能期間 → 2018年4月～2019年8月（表-2 参照。）
- ② 交通繁忙期における規制解放 → 年末年始，GW，夏季休暇及び9～11月の連休（表-2 参照。）
- ③ 大規模災害発生による工事中断 → 2018年7月7日に発生した豪雨災害に対する復旧作業のため、工事を一時中止することとなった。（約2カ月，表-2 赤色修正工程参照。）

表-2 当初計画工程及び豪雨災害発生に伴う修正工程



以上の制約条件から、工期遵守には、約1カ月の工程短縮が工事の課題となった。

(3) 制限される施工方法

供用2車線の高速道路上で1車線を占有して作業を行うため、工事施工に対し以下の制限が生じた。

① 使用機械の制限

供用車線及びトンネル内設備の空間を確保する必要があり、大型重機では旋回作業半径を確保することができない。つまり、バックホウは山積0.25m³以上、クローラークレーンは4.9t吊以上の機体は旋回することができない。

② 機械配置，作業方法の制限

狭隘な作業帯の中では重機，車両の配置，導線に大きな制約を受け規制帯内で機械同士が離合することができない．すなわち，重機を離合させるためには都度非常駐車帯まで移動させる必要があり，重機の作業歩掛りが極端に低下する．

③ 工事車両進行方向の制限

工事場所が高速道路本線上であるため，工事車両は全て工事始点側の大豊 I C から進入し，工事終点側の南国 I C に向けて退出させる必要がある．一般的な規制工事では，車両の並べ替えを行う際，警備員の誘導により，後方の車両が供用車線へ流出して前方の車両を追い抜いて車両の並べ替えを行うが，本工事では，工事場所が供用車線と仮設ガードレールで分断されているため，車両の並べ替えができない．また，全ての車両は転回の可否に関わらず，トンネル進行方向に向けてしか配置できない．このため，資機材搬入出車両の入替，流入出のタイミング，手配等が工程管理に大きく影響する．

4. 施工実績

(1) トンネル本体の変状抑制対策

覆工ブロック端部足元を足付けインバートコンクリートとして先行して施工し，その後本体のインバートを施工することでインバート掘削によって生じる覆工本体の沈下変位を抑制することとした．（図-2，図-3，写真-1 参照）

これにより，後述の変位計測管理結果において，インバート施工時の覆工の沈下量は最大 2mm，内空変位量についても最大 1mm 程度と変位の抑制を達成し，覆工に作用する応力を計測した結果においては，掘削により生じた覆工の残留応力の解放により若干の増加がみられたものの，短期間で収束した．



写真-1 足付けインバートコンクリート

(2) トンネル本体及び供用車線変状計測管理

インバート施工によって生じるトンネル本体及び供用車線の変状について，自動計測管理システムを導入し，事前に設定した管理基準値に基づき計測管理を行うことにより，供用車線に支障をきたす変状の発生を未然に防止する体制を構築し施工を行った．

計測管理項目及び計測管理方法を表-3 及び図-4 に示す．

表-3 計測管理項目一覧

計測項目	管理体制	計測手法
内空変位測定	自動計測	トータルステーションによる3次元座標計測
天端沈下測定		
脚部沈下測定		
地中変位計測		地中変位計による計測 (L=10.0m)
覆工応力測定		応力ひずみ計による計測
インバート応力測定	手動計測	コンクリート応力計による計測
坑内観察調査		目視確認、既往ひび割れの経過観測
供用車線沈下測定		目視確認、水準測量
供用車線走行性確認		実地走行による体感確認

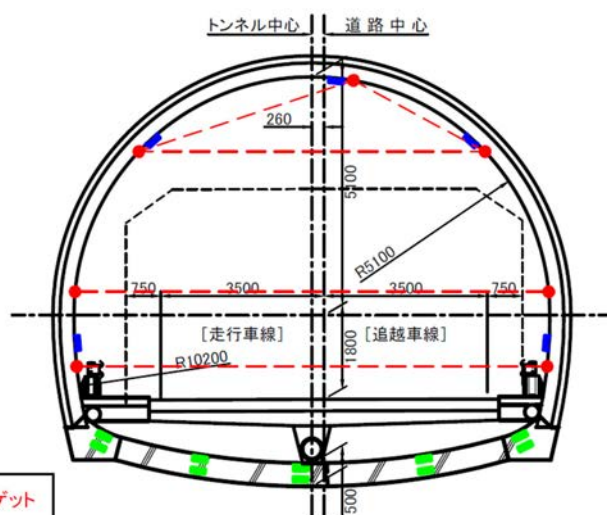


図-4 計測位置断面図

(3) 工程短縮目標を実現するための歩掛確保

a) 計画歩掛の算出

制限された工期内にインバート工事を完工するため、各ステップの計画工程を作成するにあたり、施工モデルを設定することとした。

施工モデルはインバートコンクリートを4回打設するための各工種の数量を設定し、これを4週間で実施する工程を想定した。次に、この工程を確保できるよう各工種における計画歩掛を算定し、クリティカルパスを作成した結果、次の2工程について、計画歩掛を確保する必要があった。

① インバート一般部掘削：30m³/日（昼夜）（最大 50m³/日）

設計資料によると岩質は、緑色凝灰岩と粘板岩が互層で分布しており、土砂状を呈する断層破碎帯や破碎帯沿いに粘土層がみられるとのことではあったが、親杭打設時のコアボーリングの結果、破碎帯はほとんどみられず、岩層部は比較的健全であることが確認され、小型のブレーカーで破碎は困難であることが想定された。

② 発生土処分工：60m³/日（昼夜）（最大 100m³/日）

仮置場は運搬距離が往復 82km あり、運搬時間は往復 2 時間を要する。このため、計画歩掛を確保するには、4 t 積ダンプトラックが昼夜一方 8～13 台ずつ必要となる。しかしその手配は困難であることから、運搬効率の見直しが重要な課題となった。

b) 施工方法の改善

① 改造型ブレーカーの採用

掘削作業の歩掛向上のため、1 t 級のブレーカーを採用した。このクラスのブレーカーを装備できる最小のバックホウは山積 0.45m³ となり、今回のような狭隘な場所では旋回はもちろん満足な動作をすることも困難であり、作業の死角ができることが想定された。

そこで、本工事の作業環境に適応できる改造機を製作した。改造機は、ベースマシンとして山積 0.45m³ のトンネル仕様ショートブームを採用し、ブレーカーユニットとアーム先端との間に断面方向へ可動可能なチルトユニットを製作し装備した。

（写真-2 参照）



写真-2 チルト機能付ブレーカー

② ベルトコンベア設備の採用

発生土処分における運搬効率を向上するため、運搬車両を 4 t 積ダンプトラックから 10 t 積ダンプトラックへ変更した。これにより必要台数は昼夜一方 4～5 台となり、調達可能な数量へ抑えることができた。しかし、前述の通り、山積 0.25m³ 以上のバックホウが旋回できないため、10 t 積ダンプトラックへ残土を積み込むことができない。

そこで、運搬車両への残土積込設備としてベルトコンベア設備を採用した。運搬車両積込場所へ専用の架台を配置し、集積場所から専用架台までベルトコンベアを連結し、残土をベルトコンベアにて荷台



写真-3 ベルトコンベア設備積込状況

まで運搬することとした。(写真-3, 図-5 参照)

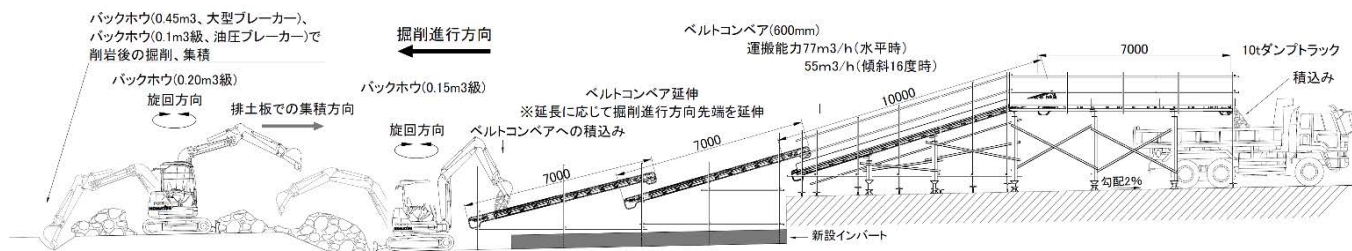


図-5 ベルトコンベア設備計画図

c) 歩掛実績

各施工ステップにおけるインバート一般部掘削及び発生土処分の施工実績を表-4, 表-5 に示す。

表-4 インバート一般部掘削施工実績

施工ステップ	施工車線	打設回数	掘削土量 (m³)	歩掛実績値 [目標値: 30.0m³/日]
STEP 3	走行側	6	467.7	43.7
STEP 4a	追越側	4	280.3	56.7
STEP 4b	追越側	2	131.6	35.5
STEP 5	走行側	4	345.6	46.6
STEP 6	追越側	4	234.0	53.3
				47.2

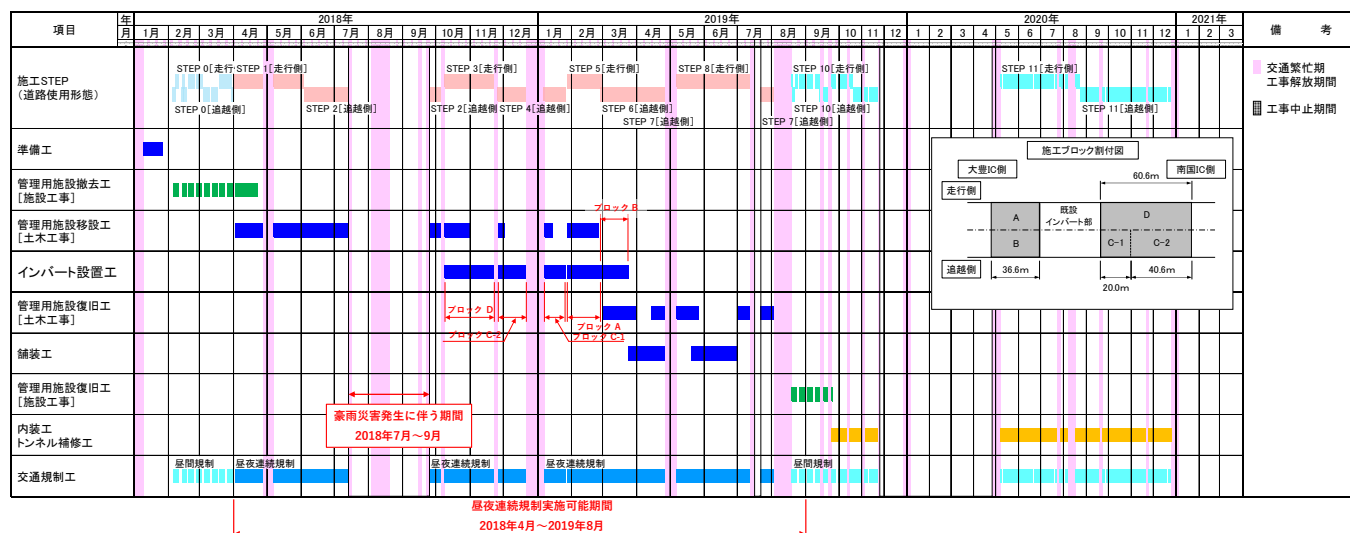
表-5 発生土処分施工実績

施工ステップ	施工車線	打設回数	処分土量 (m³)	歩掛実績値 [目標値: 60.0m³/日]
STEP 3	走行側	6	620.4	82.7
STEP 4a	追越側	4	413.6	91.9
STEP 4b	追越側	2	162.8	65.1
STEP 5	走行側	4	466.4	88.8
STEP 6	追越側	4	294.8	93.7
				84.4

表-4 及び表-5 の結果にみられるように、今回工程確保のカギとなる2つの工程において、改造型ブレーカーとベルトコンベア設備の採用により、いずれも目標値を大きく上回る歩掛りを得ることができた。

この結果、種々の制約を克服し、無事昼夜連続規制期間内にインバート構築を完工することができた。

表-6 実施工程表



(4) 供用車線に対する安全対策

通常、車線規制工事は規制区画をカラーコーンにて実施するが、本工事では長期間にわたり重機作業を行うため、規制区画には仮設ガードレールに目隠しフェンスを追加設置することにより運転手の視界への配慮も講じた(写真-4)。

特に、コンクリートの取壊しや岩掘削の際のブレーカーによる破砕作業で生じる破片が飛散し、供用車線へ悪影響を与えないよう以下の対策を講じた。

- ① インバート掘削時の飛び石を防護するための飛散防止柵を設置し、掘削作業を行った(写真-5)。



写真-4 仮設ガードレール



写真-5 飛散防止柵

② コンクリート舗装版撤去の際、コンクリートカッターで切断、ブロック化してクレーンにて積み込み搬出した（写真-6）。

③ 管理用施設取壊し時の小型重機での破砕作業の際は移動式の飛散防止柵を採用した（写真-7）。



写真-6 コンクリートブロック積込状況



写真-7 移動式飛散防止柵

(5) 設計の見直し

本工事における舗装工の仕様は既設に準じて連続鉄筋コンクリート舗装版であったが、狭隘な作業空間ではコンクリートフィニッシャーが使用できないことから平坦性の品質確保が困難であった。そのため、舗装構成を変更（図-6）し、表層にアスファルト混合物を積層するコンポジット舗装とすることにより、規格の平坦性を確保することができた。（写真-8、写真-9）



写真-8 コンクリート舗装版施工状況

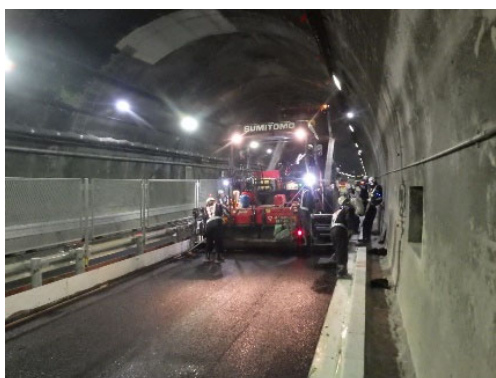


写真-9 オーバーレイ施工状況

【当初設計】



【設計変更】



図-6 舗装構成比較図

(6) 特殊設備・機械の採用

制限された作業空間を有効に活用し、厳しい工程を順守するため、以下の設備・機械を活用した。

- ① コンクリート圧送については、規制工事においてコンクリートポンプ車が使用できないため、定置式ポンプを使用する必要があった。しかしながら、圧送能力から選定できるポンプはその大きさから非常駐車帯に配置するしかなく、この際の圧送距離は300m程度となりコンクリート品質低下、配管の閉塞等のトラブルが懸念された。

そこで今回、自走可能に改造した定置式ポンプを製作し、コンクリート圧送距離を短くすることで安定したコンクリート打設を達成するとともに準備、片付けといった前後工程を並行して実施することが可能となり、工程の短縮にも寄与した（写真-10）。

- ② 連続鉄筋コンクリート舗装版の連続鉄筋にプレハブメッシュを採用し、更にその運搬組立作業に専用運搬台車を製作することにより、作業工程を大幅に短縮（作業歩掛り 400kg/日/人を確保）することができた（写真-11）。

- ③ 供用車線へ近接した作業となる土留杭削孔において、特殊コアボーリングマシンを採用することにより、施工機械を小規模化することで供用車線への安全性が向上し、かつ安定した削孔工程を確保することができた（写真-12）。

- ⑥ 仮設ガードレールの配置や材料の場内運搬に屋内型の小旋回可能なフォークリフトを採用することにより、作業性及び安全性が大きく向上した（写真-13）。



写真-10 自走可能型定置式ポンプ



写真-11 鉄筋運搬台車

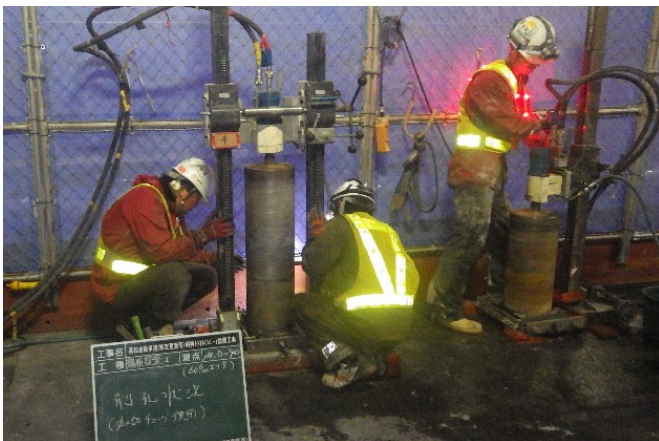


写真-12 コアボーリングによる土留杭穿孔作業

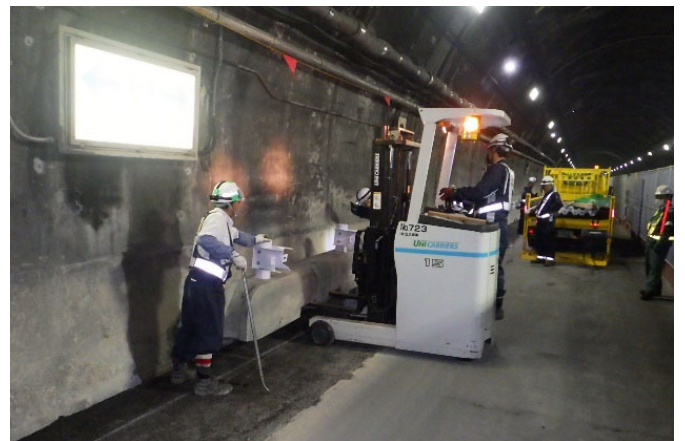


写真-13 フォークリフト

5. 今後の課題

本工事は、前述した様々な現場独自の解決策を駆使し、インバート工事を無事工期限内に完工することができた。しかしながら今後の同種工事について以下のポイントに注意する必要がある。

(1) 道路の規制に関する条件

車線規制の条件が、対象となる高速道路ごとに異なる。高速道路の規模、交通量、重要性等と条件によって規制の期間や形態が定められる。また、所轄する警察により規制のルールが異なるため、これらに応じた施工方法及び工程を検討する必要がある。

(2) 施工場所の地理的条件

工事場所へのアクセス方法及び拠点の選定が工事計画の大きな要素となる。工事起終点の各 I C の立地条件、相互間の距離、高速道路本線以外からのアクセスの有無、拠点の立地条件、通信環境等を事前に確認した上で工事計画を立案する必要がある。

(3) 供用車線、規制帯の相互の安全管理

供用車線を走行する不特定の第3者に対してどんな些細な影響でも事故につながる可能性があるため、工事によって生じるすべての事象について多角的に検証してその対策を講ずる必要がある。一方、この第3者による交通事故発生からの工事従事者の安全確保も最重要課題のひとつである。道路管理者、所轄警察との協議、連携が重要である。

6. むすび

今回のインバート完工に尽力いただいた発注者、道路管理者である西日本高速道路株式会社、協力業者並びに取引業者、更には工事期間中不便をおかけした高速道路利用者の皆様に対し、深い感謝の意を表する。本工事は今後ますます需要が急増する大規模修繕工事の先駆けであり、ここで得た知見が今後の同種工事の参考となれば幸いである。