

切土のり面形状に合わせたアンダーパスの計画と施工

浜小倉・黒崎間汐井町牧山海岸線 Bv を JES 工法で施工

山田 宣彦・余 傳 直 之・今 吉 敏

汐井町海岸線 Bv 新設他工事は、福岡県北九州市が整備する都市計画道路、汐井町海岸線において、鹿児島貨物線との交差部を JR 九州が受託施工するものであり、線路下を横断するボックスカルバートを非開削の元素推進工法のひとつである、JES 工法により新設するものである。本工事の施工箇所には函体の直下に下水道管渠が敷設されている。そのため、施工基面外の線路両側に仮土留め壁を設置すると下水道管渠に仮土留め下部が支障することから、切土のり面形状（のり面勾配 1:1.5）に合わせた構造物を計画した。本稿では、本工事の計画および機械掘削による元素の施工実績について報告する。

キーワード：立体交差、アンダーパス、非開削、鋼製元素、低土被り

1. はじめに

新たな道路や水路を建設するプロジェクトにおいて、鉄道との交差部を施工する場合、列車運行の安全性を確保することが第一であることから、列車運行に支障しないよう施工を進めることが基本である。浜小倉・黒崎間汐井町海岸線 Bv 新設他（以下、本工事という）は、線路下に横断する道路構造物を構築するものである。線路下横断工事の施工方法には、非開削工法の中から、軌道への影響を抑えた線路下横断工法として実績のある JES 工法を採用した。

本稿では、施工方法の概要および施工計画と掘削装置による掘進実績について報告する。

2. JES 工法の概要

線路下や道路下を横断する構造物の構築工法である JES 工法¹⁾ (Jointed Element Structure method) は、構造物本体を一度に押し込むのではなく、噛み合わせ継手（以下、JES 継手という）を有する 1 m 程度に分割された角型の鋼製元素（以下、元素という）を、JES 継手を嵌合しながら順次地盤中に挿入する。その後、継手部にグラウトを充填することで元素を連続化し、元素内部に高流動コンクリートを充填して、それを部材とする構造物本体を構築する工法である。図-1 に JES 工法の概要図を示す。JES 工法は、これまでの実験などにより、曲げ耐力については下フランジを引張り材とする RC 梁部

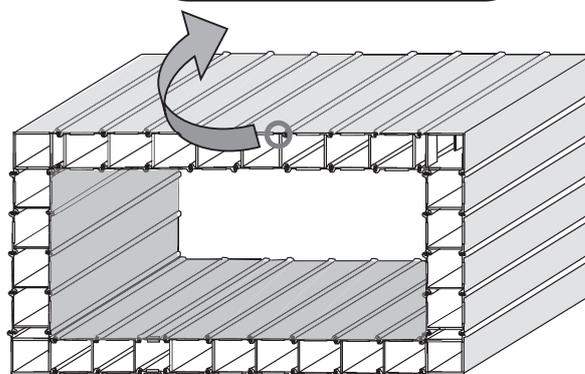
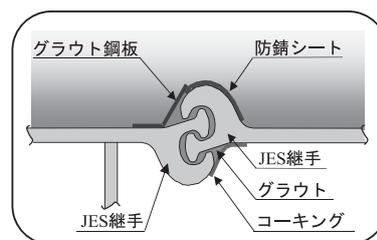


図-1 JES 工法で構築されたボックスカルバート

材として設計が可能であり、せん断耐力は鋼殻および内部コンクリートによるトラス部材として設計できることが確認されている。

3. 工事概要

本工事は、福岡県北九州市が整備する都市計画道路、汐井町海岸線において、JR 鹿児島貨物線との交差部を JR 九州が設計施工を受託するものであり、図-2 に示すように、線路下に道路構造物を構築する計画である。

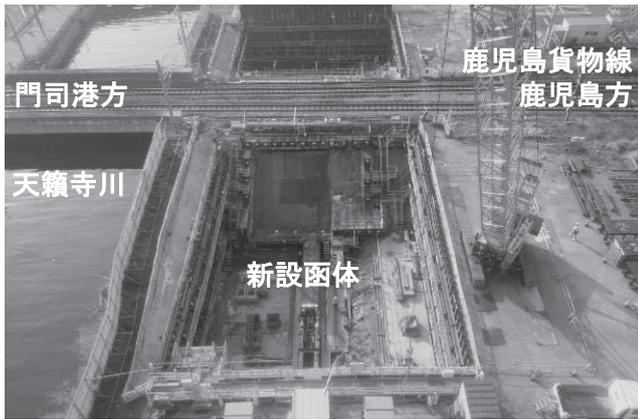


図-2 施工箇所全景

(1) 構造計画

非開削工法にて線路下横断構造物を構築する場合、施工基面外の線路両側（以下、鏡部という）に仮土留め壁を設置し、線路下横断部の施工延長を短くすることが一般的である。しかし、施工箇所には図-3に示すように函体の直下に下水道管渠が敷設されていることから、鏡部に仮土留め壁を設置すると下水道管渠に仮土留め下部が支障する。そのため、鏡部は切土のり面形状（のり面勾配1:1.5）とし、それに合わせた構造物を計画した。

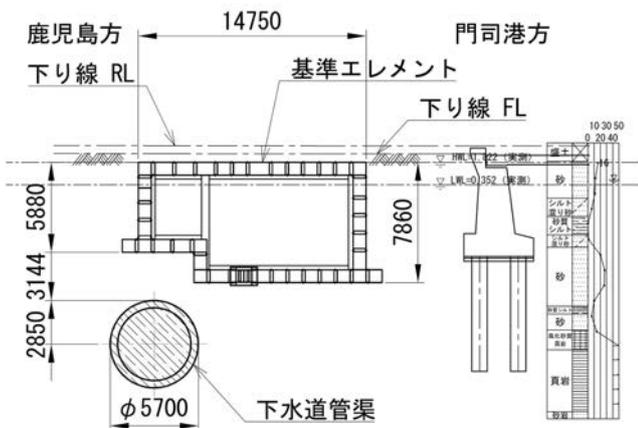


図-3 横断面

(2) 工法選定

工法の選定に際しては、①鏡部に仮土留め壁を設置せずに施工が可能であること、②鍵型の函体形状に対して施工実績があること、③上床版設置区間が伸びるほど道路縦断への支障が大きくなるため、上床版の延長を抑えることが可能であること、これら3点の制約条件から、施工性に優れたJES工法を選定した。

JES工法は、到達側に設置したけん引装置により、エレメントとその先端に直結した掘削装置をPC鋼より線にて到達側に引き込む施工方法であるHEP

(Highspeed Element Pull method) 工法を組み合わせたHEP&JES工法での施工が一般的である。本工事は、鏡部に仮土留め壁を設置せずに施工するため、けん引装置の反力設備に課題があった。そこで、本工事においてはHEP工法を用いずに、発進立坑背面側の仮土留め壁を反力とした、推進方式で計画した。

(3) 地質概要

施工箇所は、海岸平野上に位置している。砂層を主体として構成されており、非常に軟質な粘性土層が介在していた。上床版エレメント施工位置の砂層は、N値が16と中位の砂であった。地下水位はボーリング調査結果から、GL-2.4mに位置しており上床版エレメント下面付近であった。また、海に近く天籟寺川に隣接していることから、地下水位は潮位や河川の水位に大きく影響を受ける環境にあった。

液状化判定を実施すると、L2地震動でPL値が5以上となり、液状化を考慮した設計が必要となった。

(4) 補助工法

鏡部に仮土留め壁を設置せずに施工することから、鋼矢板による遮水壁に欠損部が生じる。その欠損部については、薬液注入工（ダブルパッカー工法）により、止水を行うこととした。

エレメントを閉合するまでの間、通常上床版エレメントは、地山および鏡部の仮土留め壁に支持される。本工事においては、エレメント推進施工時における上床版エレメントの沈下対策として、柱状の地盤改良杭を発進および到達の両立坑の坑口付近に施工した。また、エレメント到達時における、のり面表層部の崩壊防止として、到達立坑側にのり面防護を、深層混合処理工法による地盤改良工を施工した。図-4および図-5に薬

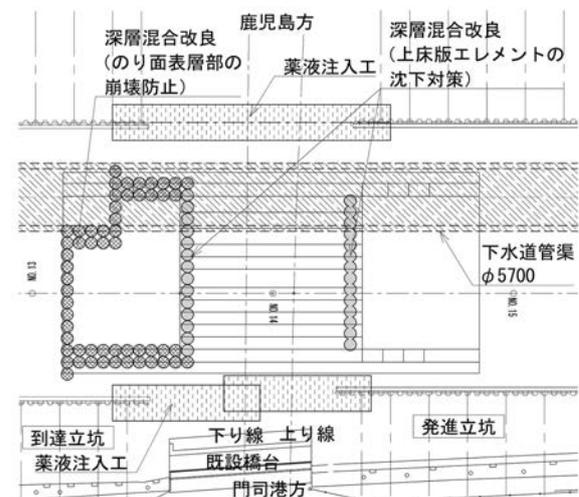
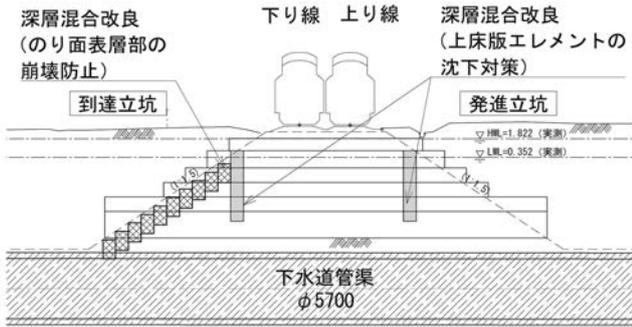
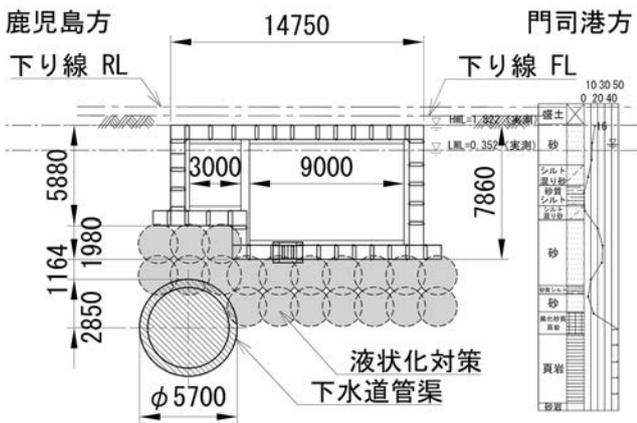


図-4 補助工法施工範囲平面図



図一五 補助工法施工範囲縦断面図



図一六 液状化対策横断面図

液注入工および地盤改良工の施工範囲図を示す。

液状化の影響を考慮する設計項目の一つに、過剰間隙水圧による浮き上がりの検討がある。液状化時に周

辺地盤の間隙水圧が上昇し、構造物に作用する揚圧力が増加するため、中が空洞で周辺地盤より重量の小さいボックスカルバートは浮き上がる可能性がある。本工事においては、浮き上がり安全度（揚圧力／抵抗力）が1を上回ることから、浮き上がりへの対策工として、函体底面以深の液状化層に対して地盤改良を行うことで、函体下に発生する揚圧力を抑制した。液状化対策の地盤改良範囲図を図一六に示す。函体下の地盤改良の施工には、曲がりボーリング式薬液注入工法を採用し、地表面から軌道直下を含めた注入範囲を削孔した後、耐久グラウトを対象地盤に注入した。

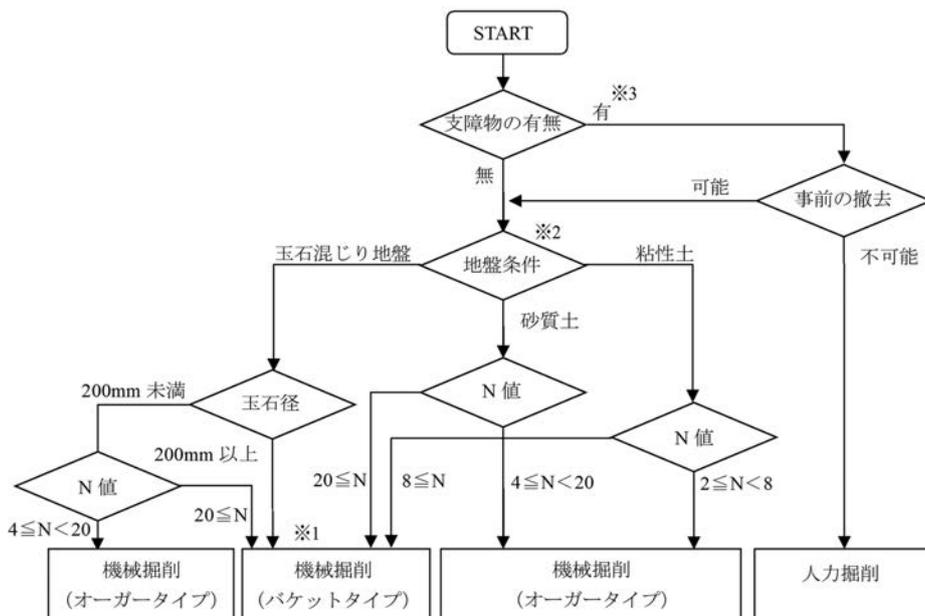
4. エレメント掘進方法の選定

(1) 掘削工法（人力と機械）の選定フロー

JES工法の掘削方法は、オーガータイプおよびバケットタイプ掘削装置による機械掘削と、人力掘削に分類される。掘削工法（人力と機械）の選定フロー²⁾を図一七に示す。この選定フローは、地盤条件や切羽の状態が一般的な場合を想定したフローである。両タイプの掘削装置の特徴を次に示す。

(2) オーガータイプ掘削装置

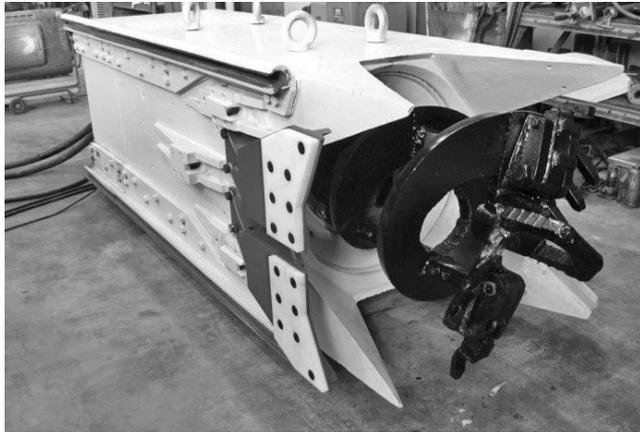
オーガータイプ掘削装置は、外部ケーシング（□850 mm×850 mm）および掘削装置本体によって構成される。適用する土質条件は、中位～軟らかい粘性土



※1 バケットタイプの施工が困難な場合には、人力掘削を選定する。
 ※2 粘性土 N<2、砂質土 N<4、固結地盤・岩盤、均等砂層、地下水水位以下（水位低下工法困難）の場合、一般に切羽の自立性等に問題があるので検討を要す。
 ※3 支障物が上床版エレメント位置に存在する場合。

図一七 掘進工法（人力と機械）の選定フロー

およびゆるい砂質土である。掘削装置本体は、カッターと掘削土砂を後方に排土するリボンスクリュー、これらを回転させる駆動部および駆動用油圧モーター等によって構成され、一体化構造となっている。写真—1にオーガタイプ掘削装置の外観を示す。



写真—1 オーガタイプ掘削装置

(3) バケットタイプ掘削装置

バケットタイプ掘削装置は、砂礫層や玉石混じりの地層など従来のオーガタイプでは掘進が困難な条件に適用できるよう、中央部に油圧バケットを装備している。バケットタイプ掘削装置には、側壁エレメント(□850 mm×1550 mm)の施工に用いる縦型タイプ(写真—2)と床版用ダブルエレメント(□850 mm×2070 mm)に対応した広幅タイプ(写真—3)の2種類がある。

バケットタイプ掘削装置も、オーガタイプと同様、外部ケーシングおよび掘削装置本体によって構成される。掘削装置本体は、バケットアームによる掘削と排土装置(掘削土砂集積のためのギャザリングとベルトコンベア)に分かれている。油圧バケットの操作は、モニタ画面を見ながら遠隔操作盤により行う。



写真—2 バケットタイプ掘削装置(縦型タイプ)

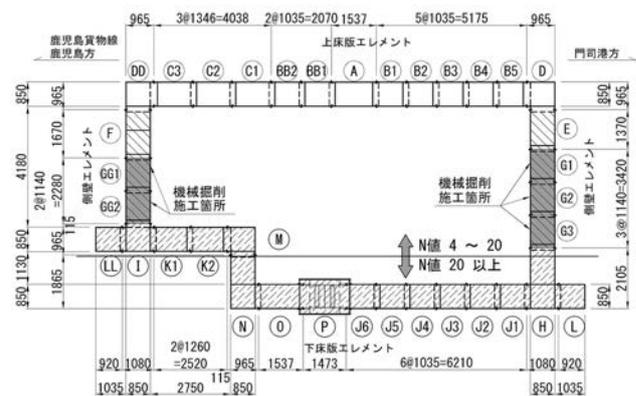


写真—3 バケットタイプ掘削装置(広幅タイプ)

5. 機械掘削施工実績

機械掘削と人力掘削の計画区分を表したエレメントの割り付け図を、図—8に示す。エレメント施工範囲の地層は、上部を砂質土N値(4~20)、下部が砂質土N値(20以上)に大別できる。掘削方法は前章で示した掘削方法選定フローにより、上部はオーガタイプ掘削装置、下部ではバケットタイプ掘削装置が選定される。

オーガタイプ掘削装置を用いる場合、エレメント幅は機械寸法に応じた寸法(w=1150 mm以下)になる。A, C1~C3, E, Fエレメントは、この寸法



図—8 掘削工法区分図

から外れることから、人力掘削で計画した。

下床版エレメントについては、柱状の地盤改良杭が支障すること、液状化対策の地盤改良が掘削範囲に出現することによるエレメントけん引力上昇により、掘進不能になることが懸念されたことから、機械掘削ではなく人力掘削で計画した。

(1) 上床版エレメント

土被りが550mmと小さいことから、軌道の変状リスクを考慮して、上床版エレメントおよび側壁1段目エレメントは夜間線路閉鎖間合いで施工する計画とした。また、施工に際し95km/hから50km/hへの徐行規制を行った。

上床版エレメント推進作業中の軌道の管理として、軌道の変位計測に画像処理計測システムを採用し、10分間隔で計測を行った。軌道の自動計測に加えて、夜間の作業中は軌道工を配置し、目視および必要により軽微な軌道整備を行った。

最初の1本目(A:基準エレメント)を人力掘削にて施工を完了し、エレメント断面における支障物の有無を確認した後、機械掘削によるエレメント掘進を開始した。ところが発進直後に、その施工時振動により路肩に陥没が発生した。切羽面の土質試験を実施した結果、細粒分をほとんど含まない(0.6%)、均等係数が1.8と非常に小さい自立性が低い層であることがわかった。そこで、以後の上床版エレメントの掘削工法を人力掘削に変更した。

(2) 側壁エレメント

側壁エレメントでは、機械掘削で5本のエレメントを施工した。推進速度の実績は、45~55mm/minであった。HEP&JES工法における既往のけん引速度実績は、平均で40~65mm/min、最高で80~90mm/minである。このけん引速度は、掘削装置本体やベルトコンベアでの掘削土砂の閉塞が発生しない程度に速度を抑え、経験的に設定されている。本工事においても、この経験値を参考に推進速度を定め施工を行った。また、オーガタイプ掘削装置のカッタートルクの仕様は、20.3kN・mである。今回推進時のカッタートルクは、平均で3.9kN・mであり、最大値は6.9kN・mであった。G1エレメント施工時の推進力を、図-9に示す。設

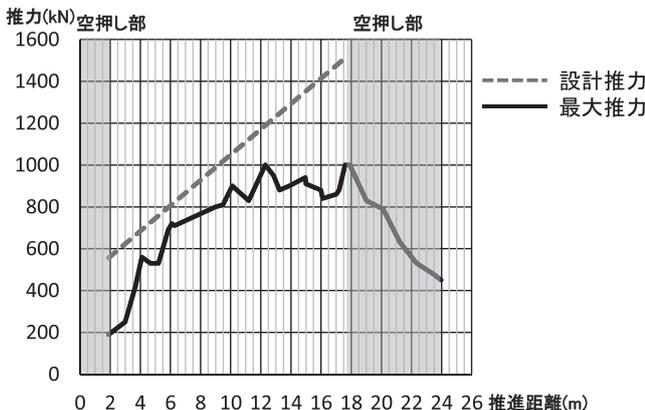


図-9 G1エレメント推力図

計推進力に対して十分余裕があった。一方、G3エレメントでは、カッタートルクに大きな変化はなかったが、急激に推進力が上昇した。何らかの支障物を検知したと判断し、掘削装置を引抜き、人力掘削に変更した。

6. おわりに

切土のり面形状に合わせた構造物の施工あたり、エレメントを推進方式で施工し、上床版エレメントの沈下対策として柱状改良杭により支持させ、到達側のり面表層部の崩壊防止として地盤改良を行った。施工結果としては、大きな沈下や表層の崩壊もなく施工が完了した。機械掘削によるエレメントの施工は、支障物が出現しない地盤においては、施工速度および省人化の観点から非常に有効である。土被りが小さい場合や自立性の低い地山の場合、上床版エレメントの施工は線路閉鎖作業に制限されることが、線路下横断工事の工期が長くなる要因の一つである。今回の施工では、路肩の陥没により、機械掘削による上床版エレメントの施工を断念したが、土被りの確保や路肩の補強対策等、事前に検討を行っていれば適用が可能であったと考えている。

JICMA

《参考文献》

- 1) 清水満, 森山智明, 木戸素子, 桑原清, 森山泰明: 鋼製エレメントを用いた線路下横断トンネルの設計法, トンネル工学研究論文・報告集, vol.8, pp.407-412, 1998
- 2) HEP&JES工法技術資料: 鉄道ACT研究会, 2020.3

【筆者紹介】



山田 宣彦 (やまだ のぶひこ)
鉄建建設㈱
土木本部 地下・基礎技術部
課長



余傳 直之 (よでん なおゆき)
九州旅客鉄道㈱
建設工事事務部 施設課 土木
主査



今吉 敏 (いまよし さとし)
鉄建建設㈱ 九州支店
鉄建・三軌建設共同企業体
現場代理人