

国道盛土直下における国内最大級の 泥土圧式ボックス推進工法の施工

稲垣 好泰¹・田口 清久²・畠中 優次³

¹大豊建設株式会社 東京支店土木部 (〒104-8289 東京都中央区新川一丁目24-4)
E-mail:inagaki@daiho.jp

²大豊建設株式会社 東京支店土木部 (〒104-8289 東京都中央区新川一丁目24-4)
E-mail:k-taguchi@daiho.jp

³大豊建設株式会社 東京支店土木部 (〒104-8289 東京都中央区新川一丁目24-4)
E-mail:y-hatanaka@daiho.jp

本工事は盛土区間の国道直下を非開削工法で大型ボックスカルバートを構築するものである。小土被りでパイプルーフ等の補助工法が併用できない施工条件で、泥土圧式ボックス推進工法が採用された。施工にあたり解決すべき課題や問題点、その対策および結果について報告する。

Key Words :non-open cut methods, rectangular tunnel, small soil cover, mud compression system

1. はじめに

茨城県においてふるさと農道整備事業の一環として、盛土区間の国道6号直下に、現在供用している片側1車線の既設ボックスカルバート横に同様のボックスカルバート（以下「C-Box」という）を新設する工事を行った。新旧のC-Boxで2車線化し、利用者の利便性と安全性を確保するためのものである。

本工事では、泥土圧式密閉型ボックス推進工法が採用された。道路仕様となるC-Boxは外寸□5000×6300mmと国内最大級の形状である。さらに、土被りが約1.6m (1.6m/6.3m=0.25D) で、ほぼ無水の盛土地山を推進することに加え、パイプルーフ等による国道の防護工を施工することができない非常に厳しい条件下での施工であった。本稿は工事の施工計画時の課題とその対策、施工結果と考察について報告する。

2. 工事概要

本工事（非開削部）の直上は1日に約3万台が通行する幹線道路の国道6号である。この区間は盛土区間で、盛土層はC-Box下端までの層厚があり、部分的に礫が介在している。また、盛土層下位には沖積層で代表N値3.7の軟弱な粘性土地盤Ac層と、代表N値4.2の有機腐植土層が

分布している。Ac層は推進工事完了後に地盤改良対象層となっている。表-1に工事概要、図-1に非開削部の工事概要図として平面図、縦断図を示す。

表-1 工事概要

工事名	ふるさと農道整備事業 市毛津田地区 国道6号隧道工事
工事場所	茨城県 ひたちなか市 市毛地内
工期	平成27年12月16日 ～平成29年11月30日
発注者	茨城県
施工会社	大豊・横田・鯉淵特定建設工事共同企業体
主要工事内容	
●非開削部 ボックスカルバート推進 (内空 幅4000×高5300)	推進掘進延長 L=32m 推進函渠 L=35m (外寸 幅5000×高6300×長1400 -25函体)
発進立坑 (幅897×長1096×高935)	鋼矢板VL型 L=17.5m 80枚
到達立坑 (幅797×長1096×高957)	鋼矢板VL型 L=17.5m 76枚
●開削部 U型擁壁工 幅4000×高2300～4500	L=53m (発進側31m, 到達側22m)
●地盤改良 函渠内施工	φ2900×改良長1.5m×20本 スポンジエント35

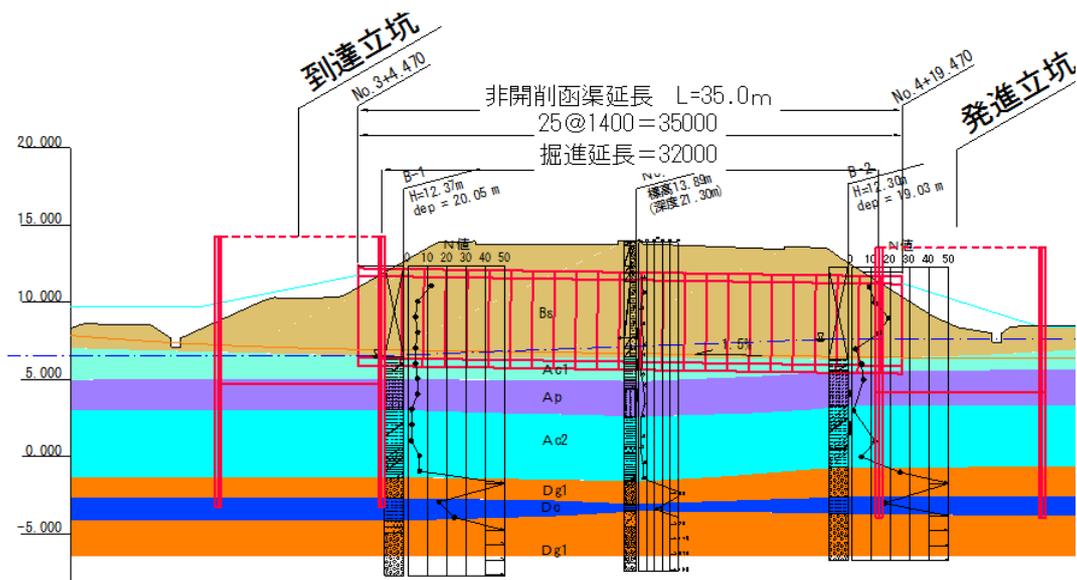
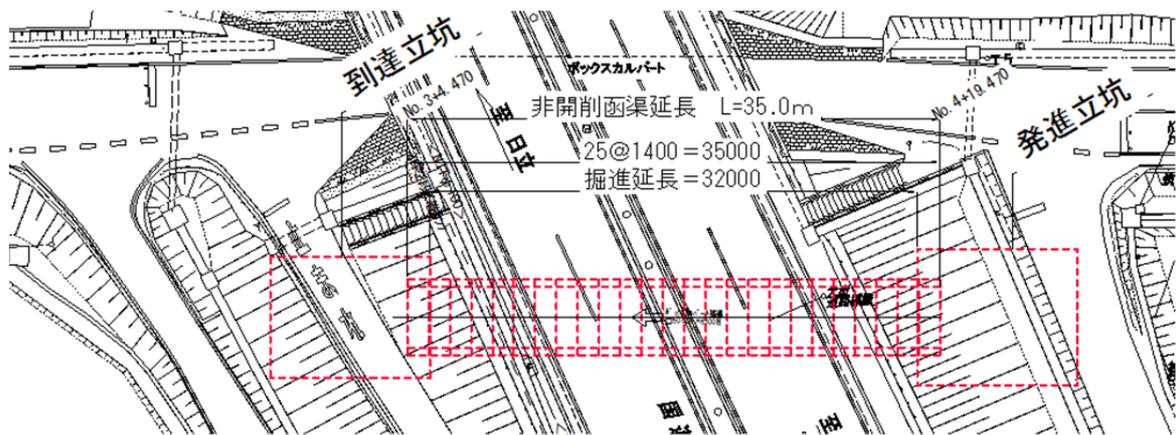


図-1 工事概要図（上段 平面図，下段 縦断面図）

3. 技術的課題について

本工事施工時は、直上の国道6号の通行車両に支障を来たすような路面変状を絶対に発生させてはならないが、土被りが約1.6mで新設ボックス天端と路面の間には移設できない地下埋設物があるため、パイプーフ等の防護工は施工できない。さらに、盛土の下部地盤は推進工完了後に函体内から改良を行う軟弱なシルトと腐植土層となっており、推進掘削断面の下部に位置することから、掘進機の自沈による路面変状も懸念された。加えて、鋼矢板で締切る発進および到達立坑は盛土法面に構築するため、発進および到達防護のための地盤改良時に改良材が法面から流出して改良体が造成できず、鏡切り時に国道が崩壊することも想定された。

このような状況下で、路面変状は国道管理者との協議で決定した最大30mmに押さえる必要があった。

そこで、これらの問題点を解決するため、以下の項目について検討を行った。

(1) 路面変状の抑制

a) ハード対策

ハード面の対策として、掘進機の構造、掘進機自沈対策について検討を行った。

b) ソフト対策

ソフト面の対策として、滑材の材料及び配合、推力低減対策および路面変状計測について検討を行った。

(2) 発進、到達防護（地盤改良）方法

推進工の発進および到達部の地盤改良は周辺地盤の変状を最小限に抑えるためにも重要なファクターである。盛土法面に構築する発進及び到達立坑坑口背面の地盤改良は、当初設計の薬液注入による地盤改良では鏡切時の安全性に懸念があったため、これに替わる地盤改良について検討を行った。

4. 技術的課題に対する対策について

(1) 路面変状の抑制

a) ハード対策

①掘進機

泥土圧推進の切羽安定理論では、掘削と同時に地山を泥土で支保するため地盤変状を最小に抑制できるが、土被りが1.6mと余りにも小さいため、掘進機の構造は上段と下段に前後500mmの段差を付ける構造で掘削ベンチを設けることにより、切羽受け持ち範囲を狭くして沈下の低減を図った。また、掘進機天端部の緩み抑制として、オーバーカットを通常の25mm程度から15mmにした。そ

の他、掘削カッターは多軸自転・公転掘削機構を有した偏芯カッター、下段にはサイドカッターを配置してコーナー部も掘削可能とし、未掘削部分を少なくすることで推力低減効果を図り、路面変状を抑制できるカッター構造とした。下段両サイドのサイドカッター回り、上段と下段の間の部分を合わせて、未掘削部分を全断面の13%に抑えた。図-2に掘進機正面図・側面図、図-3に偏心カッターの軌跡図、写真-1に掘進機組立全景を示す。

②掘進機自沈対策

掘進機の自沈対策として、掘進機に姿勢修正機能となる中折れ機構を設け、掘進機とその後続C-Boxの4函体を緊結固定することで掘進機の自沈に対する対応策とした。

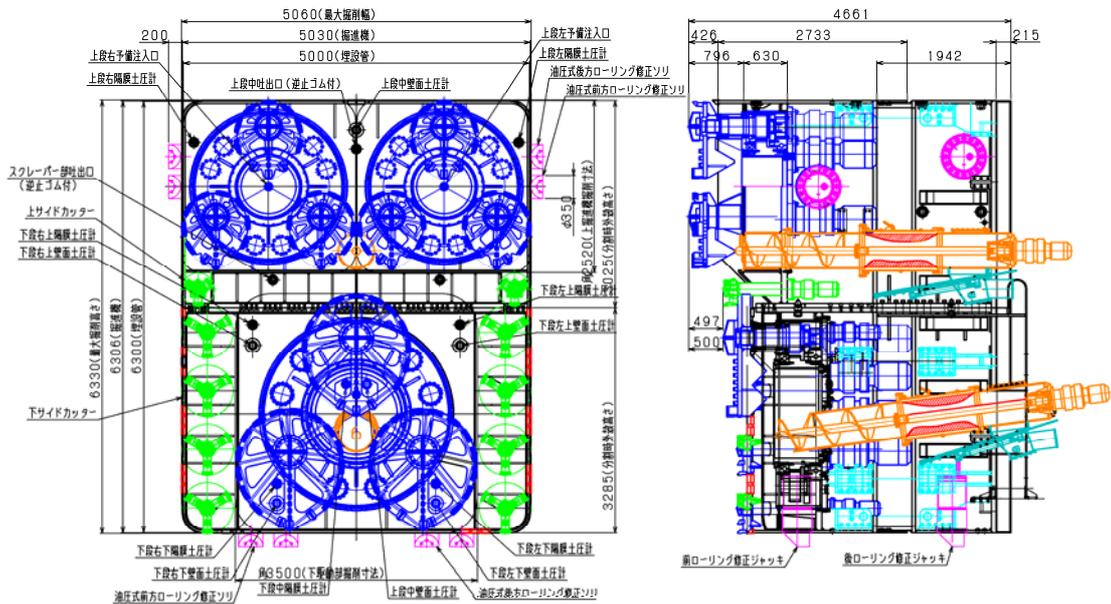


図-2 掘進機 正面図・側面図

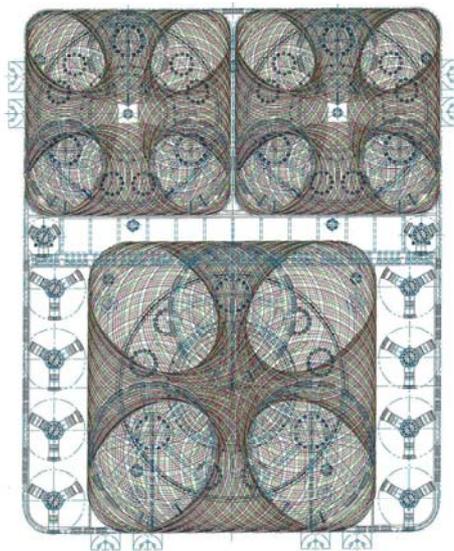


図-3 偏芯カッター軌跡図
(サイドカッター左右10個は回転切削)



写真-1 掘進機組立全景

b) ソフト対策

①滑材

函外周辺摩擦抵抗増大に伴う地山の引きずりによる沈下を防止するには、高強度で充填性に優れ体積変化の小さい滑材（材料、配合）を選定する必要がある。そのため、滑材は地山内への充填性に優れ早期にゲル化できる二液性固結型とし、現場配合試験によりゲルタイム、体積変化を確認した。その結果を図-4に示す。

施工で採用した配合は、粘土も調合し、標準配合材料に対して収縮しにくく、一軸圧縮強度が 18kN/m^2 程度の標準配合に対し、 50kN/m^2 程度期待できる高強度の配合を選定した。また、掘進機と推進函体 3 函体毎（ $14\text{m}/1$ 函体）に滑材を注入できる設備を設置してテールボイドの管理を行い、推力低減策とともに路面変状抑制に対

応した。

②推力低減剤

推力低減は、上記で述べた滑材の使用、また、1)で述べたように未掘削部分を少なくする掘進機のカッター構造に加えて、コンクリート函体外周に有機ポリマー系のマニキュア剤を塗布して、仮に地山土砂が直接函体に接する箇所が介在しても推力低減を図れるようにした。

③路面変状計測

路面変状計測として国道路面の監視は、主に 2 機のトータルステーションによるノンプリズム式自動路面変状計測で図-5に示すように国道路面上に測点を 72 点設置して行った。全測点は 1 時間程度で計測できるが、掘進時は、変状が現れそうな掘進箇所付近の測点を絞って数分で計測できるシステムとした。

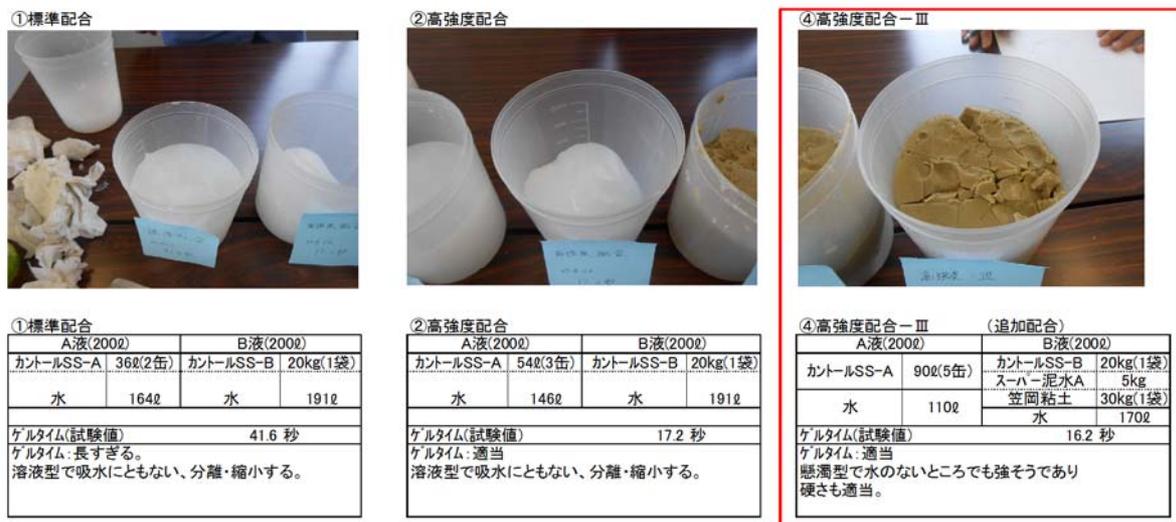


図-4 滑材配合試験結果 (右赤囲いが採用配合)

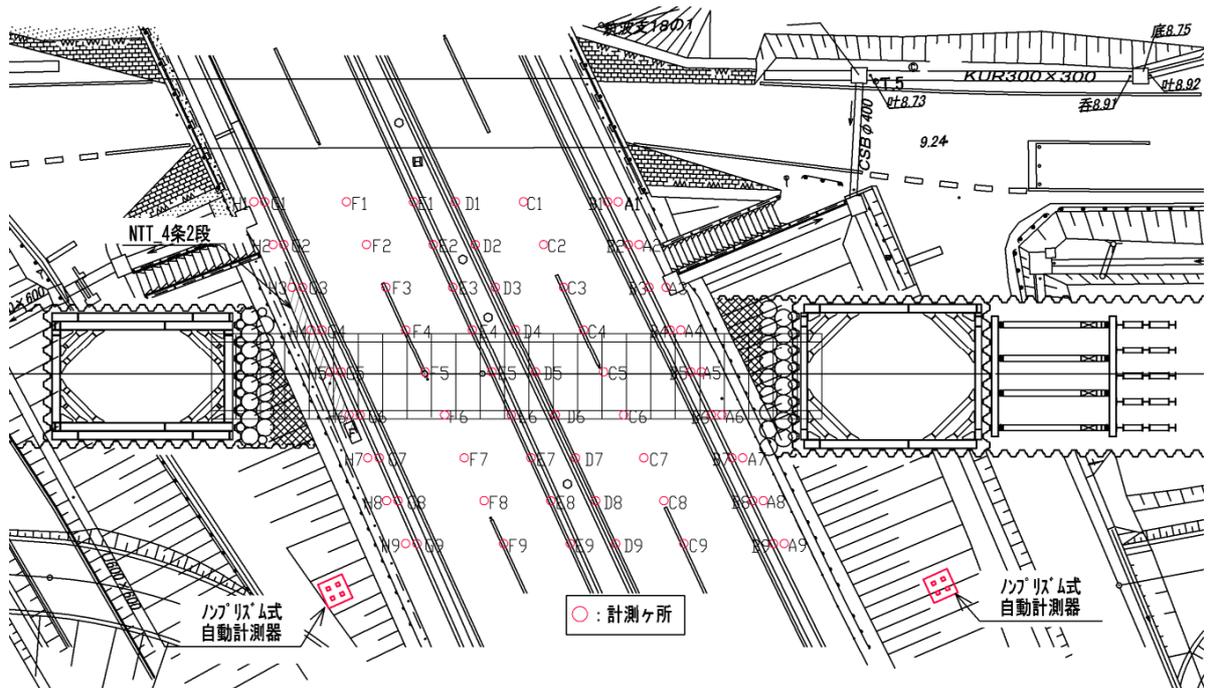


図-5 計測測点位置図

(2) 発進、到達防護（地盤改良）方法について

盛土法面に構築する立坑の坑口防護は、法面からの改良材流出を防止するため、コンパクトな設備でセメントスラリーを原位置で添加・混合攪拌し、高強度の改良体を確実に造成できるJST工法を採用した。

5. 得られた結果と得られた技術的知見

(1) 路面変状結果

推進工事は掘進機の自沈，その他大きなトラブルもなく進めることができた。

掘進前後の路面変状結果として、掘進機先端が国道の中央分離帯を通過した時点（2017/1/11）と裏込め完了後（2017/3/6）の沈下・隆起量とその分布図をそれぞれ表-2、図-7に示す。

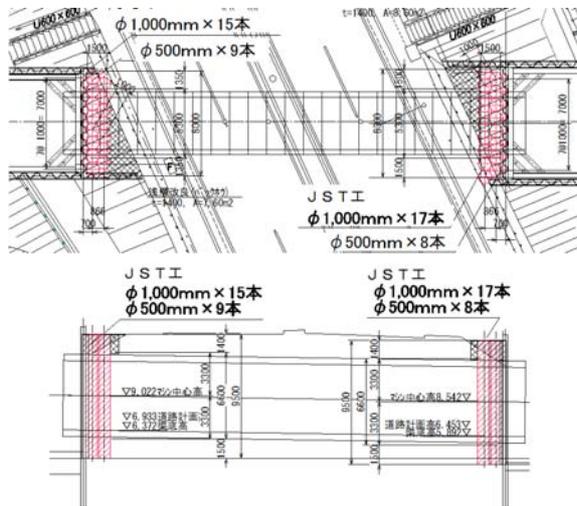


図-6 JST地盤改良工図
(上段：平面図，下段：縦断面図)

表-2 沈下・隆起一覧表(単位：mm)

上段:2017/01/11_18:00 下段:2017/03/06_18:00 隆起 (+) 沈下 (-)

測点位置	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	-09	-25	-46	-100	-83	-103	-43	-47	-18
	07	07	-51	-122	-94	-121	-81	-33	-54
B	07	-15	-43	-101	-81	-102	-49	-46	-15
	-28	10	-83	-124	-53	-123	-84	-33	-21
C	08	03	-14	-82	-83	04	05	16	09
	07	07	-30	-112	-104	-27	-27	-12	02
D	08	1.1	-01	-47	-101	-60	12	16	13
	01	07	00	-112	-35	-51	-50	-31	01
E	06	07	-04	-31	43	-25	13	18	16
	80	17	08	-101	61	-41	-44	-24	-23
F	03	06	08	06	31	20	07	09	02
	01	16	-105	18	15	20	35	01	05
G	09	03	-07	-09	00	00	00	-02	05
	12	-55	-73	-131	-72	-53	-86	-51	-30
H	08	-11	-30	-15	-10	-18	-11	-07	-06
	-14	-93	-112	-114	-102	-54	-74	-11	-28

表および図より、掘進時の路面変状は、掘進機が通過する前のセンター上部の地表面が3mm隆起 (F5)，通過後に、最大12~13mm程度沈下 (A4, G4) する結果となっている。また、掘進完了、裏込め注入後の最終路面状況は、歩道部の沈下が他に比べて大きく、特に発進側より到達側の歩道部が広範囲に沈下している。これは、歩道、車道の舗装構成の違いと、到達立坑の補強を含めた山留支保工の盛替え等の時間も含め、地盤改良体を通過させるのに2週間程度の時間を要したのが沈下要因としてあげられる。

沈下抑制は、オーバーカットを少なくすれば地山の緩みも抑えられるが、このオーバーカットを小さくすることで推力が大きくなるため、滑材の注入管理が路面変状抑制のうえでも重要となった。路面が沈下傾向となる位置には、函体から滑材を追加注入して沈下の復旧を図りながら掘進をすすめた。

路面の変状は、管理値 30mm (一次管理値 15mm)，設計段階での2次元 FEM 解析による、15.4mmの地表面最大沈下予測量に対し、最大沈下量は 13.1mm に抑えることが出来た。

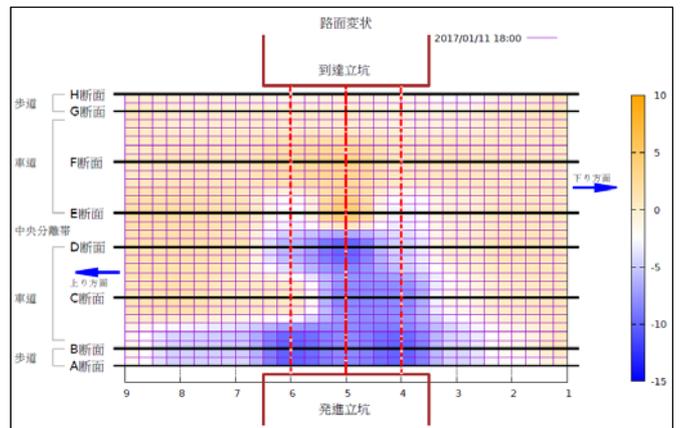
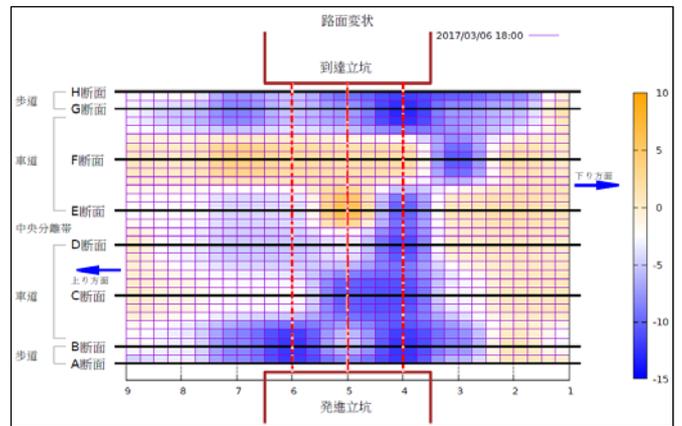


図-7 路面変状分布図

(上段:2017/1/11_18:00 下段 : 2017/3/6_18:00)

また、カッター構造を含めた掘進機の検証としては、上下段の排泥状態が安定して良好なことから（写真-2）、切羽面に注入する添加材の注入管理等も含め、攪拌・混合効率がよく、十分な機能を果たしたと思われる。

(2) 計画推進力と実推進力の比較

推進力は、実績に基づいた周辺摩擦力から算出した計画推力 2,088 kN～5,719 kN に対しほぼ 5,000 kN 前後で掘進することができた。発進時および到達時の地盤改良体の掘進時は、推力が高くなった。改良体が高強度で（次節(3)参照）、掘進機の構造上カッターの未掘削部分（全断面の13%）があるため、改良体に押しつけながら崩していく掘進が必要であったためと思われる。

推力の低減は、滑材がその役割を十分に果たしており、今回採用したカッター構造による掘削から排泥管理まで有効に機能したと言える。また、コンクリート函体外周面に塗布したマニキュア剤も周辺摩擦力低減には有効



写真-2 排泥状況

であったと思われる。マニキュア剤が塗布された表面を小石等でこすり付けると、塗布されていない所に比べこすり付ける抵抗の違いも確認できた。図-8に推力管理図を示す。

(3) 発進、到達防護の効果

JST 工法を採用した発進および到達立坑鏡切部の地盤改良は、設計強度 1,000kN/m² に対し、現場採取の一軸圧縮強度は、4,500kN/m² の改良体を造成することができ、鏡切による地表面への沈下等の影響はなかった。

(4) 平均掘進量について

掘進は、平成 28 年 12 月 6 日から掘進を開始し、年末年始および日曜日の休工期を除き、平成 29 年 1 月 26 日までの昼間だけの施工で、到達側の地盤改良体を 340mm 残して終了した。掘進稼働日として 36 日要し、平均掘進量は、879mm/日となる。発進および到達側の地盤改良体部の掘進量は改良体の強度もあり小さいが、後続設備等の投入後の本掘進からは、毎分で 10mm 程度進み、掘進から函体投入・セットを含む 1 サイクル分の 1400mm/日の進捗が確保できた。

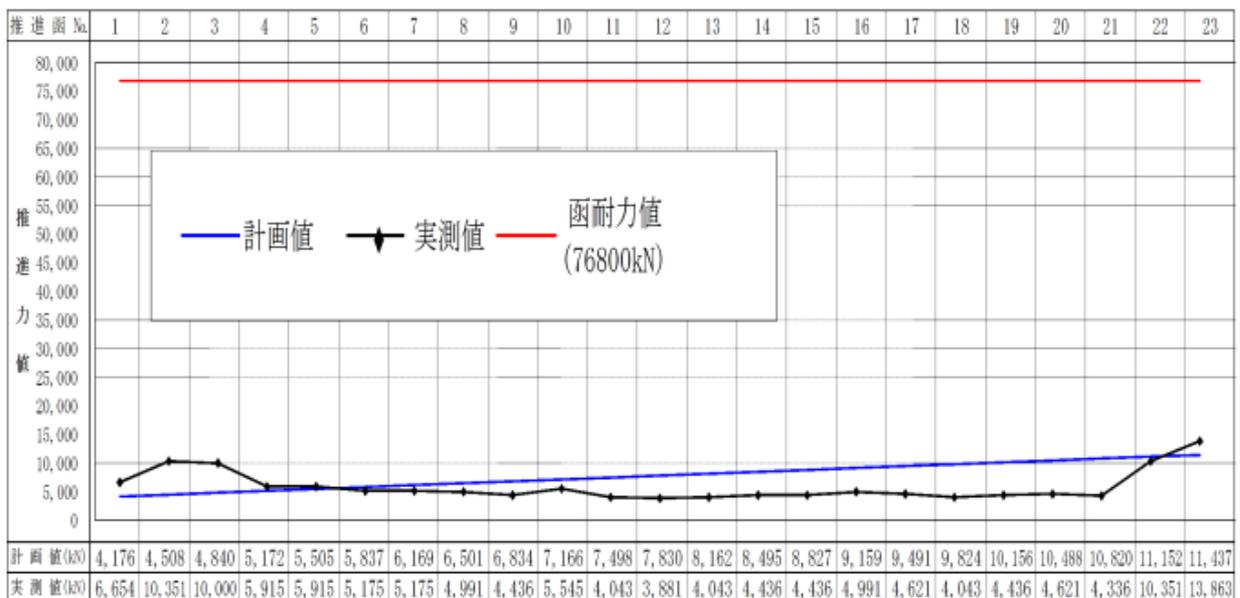


図-8 推力管理図

その後、到達立坑の山留支保工の盛替え、鏡切、改良体の迎え掘りを行い、2月22日に25函体の最終押出しを終えた(写真-3)。

C-Boxに接続するU型擁壁工までが当工事範囲である(写真-4)。



写真-3 掘進機押出し完了



写真-4 ボックス推進完了

U型擁壁施工中(上は国道6号線)

(5) 掘進精度について

掘進精度は規格値 $\pm 50\text{mm}$ に対し、水平方向最大変位量：右方 30mm、鉛直方向最大変位量：上方 36mm で施工を終えた。

発進時は、掘進機のノーズダウンを懸念し、勾配を設計勾配の上向き 1.5%に対し、1.8%で設定した。掘進はそのまま上がり傾向をとり、最終的に徐々に勾配を戻す形をとり到達となった。水平方向は、発進当初から右向き傾向があり、発進立坑内で水平変位を抑制する左右のガイドローラーを設置し、右側のガイドローラーを十分効かせながら、元押しジャッキのコントロールでセンター付近に戻した。到達側のボックスの精度は、水平方向の変位量：右方 12mm、鉛直方向の変位量：下方 11mm で施工完了した。

4. おわりに

本工事は、ボックス推進工法の中でも例のない大断面で、約1.6mの小土被りで幹線道路である国道6号直下を掘進するという大変厳しい施工条件に対し、対策案を含む入念な施工計画を検討、立案し、工事を無事終えることができた。本報告は工事の課題や対策、施工結果について簡単ではあるが述べたものである。

今後の同工種の工事に需要が予測される中、本稿が工事の施工計画等の一助となれば幸いである。

謝辞：本工事の着工および進捗に際し、発注者である茨城県 県央農林事務所 工務課の方々、道路管理者である、水戸国道出張所の方々には、ご指導およびご協力をいただいた。また、推進工事の協力業者として携わっていただいた株式会社アルファシビルエンジニアリングの方々には、全面的なバックアップをしていただき、感謝する次第である。

(2017.8.11 受付)

THE CONSTRUCTION REPORT OF THE DOMESTIC LARGEST SIZE OF MUD PRESSER BALANCE BOX CULVERT PIPE JACKING METHOD JUST UNDER THE NATIONAL ROAD EMBANKMENT SECTION

Yoshiyasu INAGAKI, Kiyohisa TAGUCHI and Yuuji HATANAKA

This work is to construct a large box culvert with the non open excavation method just under the national road embankment section. The mud presser balance box culvert jacking method was adopted because the supplemental construction methods such as pipe roof method and etc. were couldn't used under the thin soil overburden condition.

This report is describing the points at issue and problems to be solved in construction, and countermeasures and results thereof.