

海外にて大土被り、高水圧、河川横断、 長距離推進を泥水式推進にて施工

おかじま あきよし
岡嶋 章好
機動建設工業(株)
国際事業部工事課



すどう ひろし
須藤 洋
機動建設工業(株)
土木本部技術課



1 はじめに

本工事は、東南アジアのインドシナ半島西部に位置するミャンマー連邦共和国（以下、ミャンマー）の最大都市ヤンゴン市内において、ヤンゴン都市圏の上水道施設の拡充を目的とした導水管（呼び径700、NS形ダクタイル鋳鉄管）敷設のため、バゴー川横断部のさや管管路を呼び径1100の推進管を使用して泥水式推進工法で築造するものです。

推進管路は発進および到達の土被りが約31.6m、発進してから約100mで河川下となり河川横断距離は約650mで、河川最深部での離隔が約5mとなっています。推進線形は直線で推進延長が約815m、対象土質はシルト質砂およびシルト粘土となっています。

本稿では大土被り、高水圧、河川横断、長距離推進と厳しい条件が重なった本工事について、課題と対策を中心に施工結果を報告します。

2 工事の概要（図-1～3）

工 事 名：GREATER YANGON
WATER SUPPLY

IMPROVEMENT PROJECT (MY-P5)
CONTRACT PACKAGE：ICB-03
CONSTRUCTION OF BAGO
RIVER PIPELINE CROSSING

工事場所：ミャンマー連邦共和国ヤンゴン市

発 注 者：YANGON CITY DEVELOPMENT
COMMITTEE (YCDC)

施 工 者：戸田建設(株)

工 法：アルティミット泥水式推進工法

管呼び径：1100



図-1 ヤンゴン市位置図

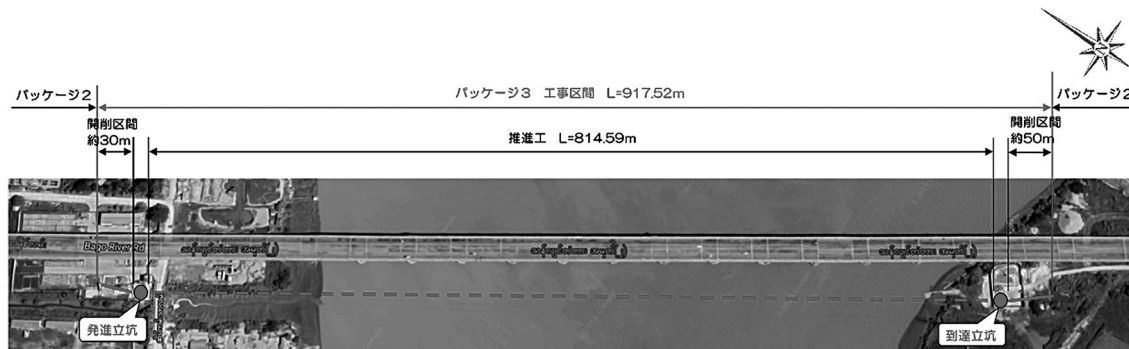


図-2 平面図

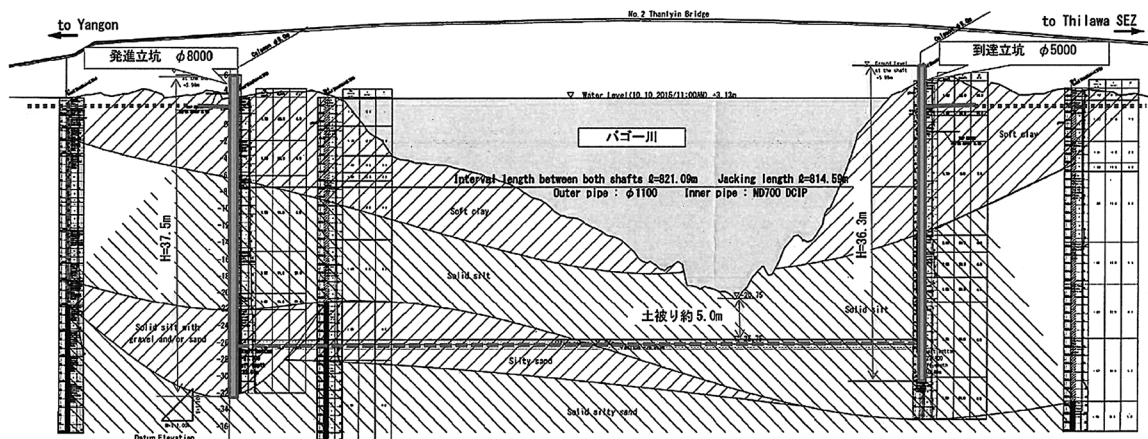


図-3 縦断面図

管 種：高耐水圧対応推進管 J-MAX 推進管
(90N1種) 継手性能0.3MPa

推進延長：L=814.59m

線 形：直線、勾配レベル

土 被 り：H=31.625m (発進)～31.635m (到達)

土 質：シルト質砂 (最大N値34)

シルト粘土 (N値8)

発進立坑：セグメント式円形立坑 内径8,000mm

到達立坑：セグメント式円形立坑 内径5,000mm

推進期間：2019年1月23日～4月27日

(発進鏡切断～掘進機回収)

以下にその内容を記述します。

3.1 資機材の手配

【課題】

推進工法では使用する資材、機材、材料が多岐にわたること、またミャンマーでは推進工法の施工実績がほとんどないことから推進工事に必要な機械設備は現地での調達は難しいと考えました。

鋼材、溶接およびガス関係、基本的な工具および電動工具、玉掛け設備等の一般的な資機材については現地で調達可能との話は聞き及んでいましたが、仕様や規格、品質等についてははっきりしたことがわかりませんでした。

【対策】

推進工事に必要な機械設備は、予備や交換部品を含めてすべて日本から輸送する計画としました。また、現場踏査や施工打ち合わせのため何度か現地に足を

3 本工事での検討事項

本工事では、戸田建設㈱と施工検討会を重ね、事前に考えられる課題を抽出し入念に対策を検討しました。

運ぶ機会があることから、その都度ヤンゴン市内のホームセンターや問屋街をまわり、現地で調達できる資機材の種類や仕様、規格等について確認をすることとしました。

海上輸送についてはミャンマーでの施工実績が豊富な戸田建設(株)の力をお借りすることになりました。すべての資機材は輸出用コンテナへの格納および梱包のうえ2018年8月に横浜港に集積し、数か月をかけて現地まで輸送することとなりました。

3.2 掘進機の選定

【課題1】高水圧への対応

施工条件より想定自然水圧を算出し、掘進機の水密性について検討する必要がありました。

【課題2】発進および到達地盤改良区間

発進および到達鏡部の地盤改良は三重管高圧噴射攪拌工法となっており、改良体切削片による排泥取込口または排泥ラインでの閉塞が発生する懸念がありました。改良区間内で閉塞が発生した場合、送泥水の圧力により発進坑口の止水ゴムが捲れたり発進坑口設備を損傷させる恐れがあります。また、発進側は砂質地盤であり改良体強度が比較的大きくなることも想定されました。

【課題3】土質の選定

土質想定図では発進から約710mがシルト質砂、到達側約100mがシルト粘土となっておりN値はシルト質砂が9～34、シルト粘土が8とされます。土質とN値だけを見れば普通土と考えられましたが到達側のシルト粘土が固結シルトである可能性があり、この場合面板閉塞を引き起こし推進力の上昇、日進量の低下といったことにつながる懸念されました。

【対策】

施工条件から想定最大自然水圧は0.3MPaとし、当社掘進機の駆動部および中折れ部シールの耐水圧が0.3MPaであることから特別な改造は行わないこととしました。

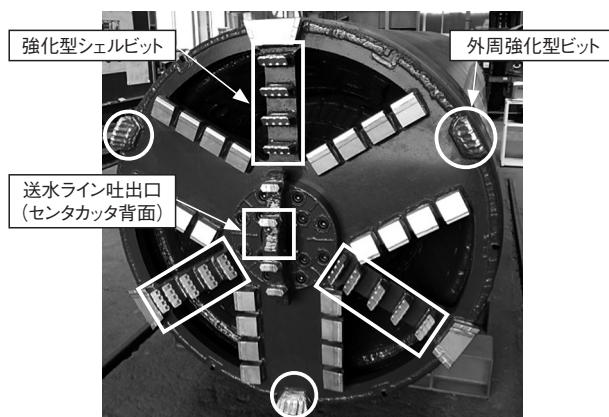
掘進機は礫破碎型とすることで改良体切削片による排泥側取込口や排泥ラインでの閉塞を防止するとともに、高トルクによって改良体強度が比較的大きいと想定される発進側改良区間での安定した掘進が可能になります。また面板開口率を普通土用よりも大きくとることで固結シルトに遭遇した場合でも取り込みやすくなり面板閉塞発生の可能性を低くできると考えました。ただし、到達側の

シルト粘土を切削して取り込む際に礫破碎用コーン部での目詰まりが発生する可能性があることから、面板正面から補助的に送水するための配管ラインを設けました。掘進中は送泥水ラインとは別系統で毎分0.2～0.4m³程度の泥水または清水を面板正面に吐出することでコーン部での目詰まりを防止するとともに、面板洗浄を行えるようにしました。

ビット配置については地盤改良工法および推進延長を考慮して先行ビットには強化型シェルビットを採用し、掘削軌跡を全断面確保する配置としました。また、外周ビットについても強化型ビットを配置しました（写真－1、2）。



写真－1 泥水式掘進機全景



写真－2 掘進機面板

3.3 推進管の選定

推進管については施工条件をもとに検討を行った結果、次に示す性能が必要であることより、J-MAX推進管が選定されました。

- ①外圧強度：1種
- ②継手性能：耐水圧0.3MPa
- ③許容耐荷力：90N/mm² (7,570kN)

なお、推進管の選定経緯については本誌 Vol.32 No.1 (2018年1月号) にて推進管メーカーより解説していただいているため、ここでは割愛させていただきます。

詳細については、Vol.32 No.1の解説記事「東南アジア方面への特殊推進管の採用例」をご参照ください。

3.4 発進坑口設備

【課題1】水密性の検討

想定最大自然水圧が0.3MPaであることから、発進坑口止水ゴムについては高い水密性を有すること、またその性能を推進作業が完了するまで保持できることが必要になります。

【課題2】止水ゴムの捲れ防止

地盤改良区間では自然水圧がそのままかかることはまず考えにくいですが、改良区間を抜けた際にはいきなり高水圧がかかることがあり、その際に懸念されるのが止水ゴムの捲れ（反転）です。止水ゴムが捲れるようなことがあれば大規模な土砂噴出等の変な事態となり、高水圧下でその捲れたゴムを戻すことは容易ではありません。

【課題3】坑口コンクリート壁の剥離防止

止水ゴムにより水密性が保てても、立坑土留め壁と坑口コンクリート壁に隙間がある場合には、そこから泥水や地下水が噴出・漏出することがあります。その原因に考えられるものとして、立坑土留め壁と坑口コンクリート壁の剥離があります。

【対策】

止水ゴムは、厚さ20mmの耐摩耗性ゴムのL型パッキンとしました。L形パッキンはストレート型に比べ推進管外面との接地面が広いことから水密性に優れ、その形

状から捲れにくくなっています。また、止水ゴムの捲れ防止対策としてスライド板は降ろした状態で板同士の隙間を10mm程度とし、スライド板を調整する際に止水ゴムの締付の緩み防止として、二重締付構造としました。ただし、止水ゴムが捲れることはなくても何らかの原因により止水ゴムが浮いた場合はそこから土砂が噴出することもあるため、止水ゴムを抑える補助的な設備として、図-4に示すような特殊シール材を使用した当社独自のシールチューブ式発進坑口を採用しました。この設備は、シールチューブを加圧膨張させ止水ゴムを抑えつけることにより水密性を向上させるものです。

立坑土留め壁と坑口コンクリート壁の剥離防止対策として、立坑セグメントにL型に加工した異形棒鋼を溶接で立ち上げ、坑口コンクリート壁と一体化する計画としました。また万一、坑口コンクリート壁から噴出等が起こった場合の対策として、坑口内部に注入するための注入孔を左右に1箇所ずつ配置しました（写真-3）。

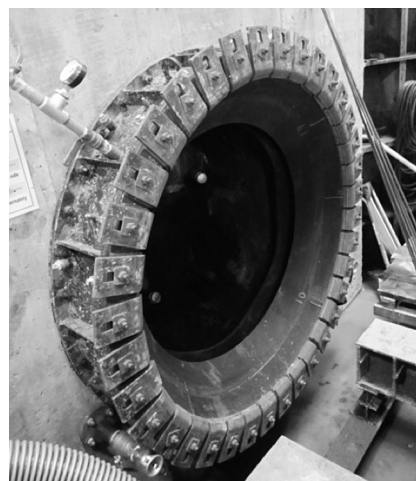


写真-3 シールチューブ式発進坑口

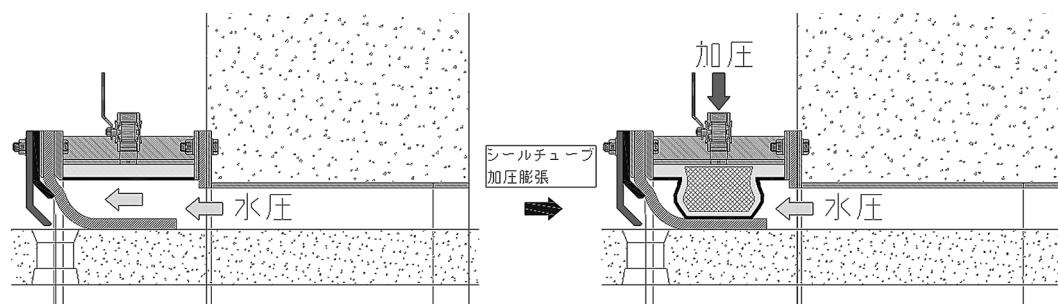


図-4 シールチューブ式発進坑口概要図（断面）

3.5 バッキング対策

【課題】

推進管は呼び径1100と小さい径ですが、大土被りであることから必ずバッキングが発生すると考えました。バッキングが発生した場合、止水ゴムの捲れや切羽の崩壊を引き起こす恐れがあり、いずれの場合においても非常に重大なトラブルにつながる事が考えられます。

【対策】

切羽に作用する水圧等からバッキング力は502kNと想定し、バッキング防止設備について検討した結果、推進管に設置したM24インサートに反力金具を取付けるインサートアンカ方式を採用しました。また、バッキング防止対象の推進管はインサートを設けるために、カラー長を通常より長くしました。

バッキング防止の反力は写真-4に示すように、発進架台に反力金具をボルト固定する計画としました。

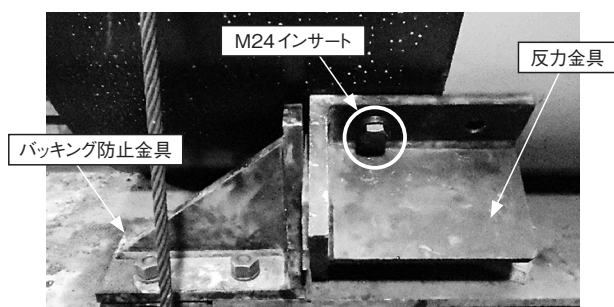


写真-4 バッキング防止設備

3.6 長距離対策

【課題1】推進力の上昇

事前調査で地下水に塩分が含まれていることが判明しており、その影響により滑材が希釈劣化されテールボイドが良質な状態で保持できず、周面抵抗力が上昇することが懸念されました。また、砂質地盤が主体の長距離推進であることから、周面抵抗力が上昇し始めると推進力が一気に上昇する恐れがありました。

【対策1-1】使用滑材の選定と配合量の調整

本工事での周面抵抗力の低減には一次・二次滑材注入方式を選定し、一次と二次滑材ともに高粘性滑材「アルティー K」（1液型）を採用しました。また、地下水の塩分濃度による影響評価から滑材の配合量を標準

配合の1.25倍にする計画としました。

【対策1-2】自動滑材注入システムの採用

滑材注入方法としてアルティミット自動滑材注入システム「ULIS」を採用しました。ULISは推進管内に設置された複数の滑材注入孔にバルブユニットを接続し、集中制御で「注入箇所」「1孔当りの注入時間」「注入量」「掘進速度」「上限圧」を設定することにより掘進速度にあわせ自動で一次および二次滑材注入を行うことができるシステムです。

二次注入孔は一次注入孔より50mごとに設け、一次注入量（テールボイド片側30mm）の20%を標準としてすべての二次注入孔に均等に注入する計画としました（写真-5）。

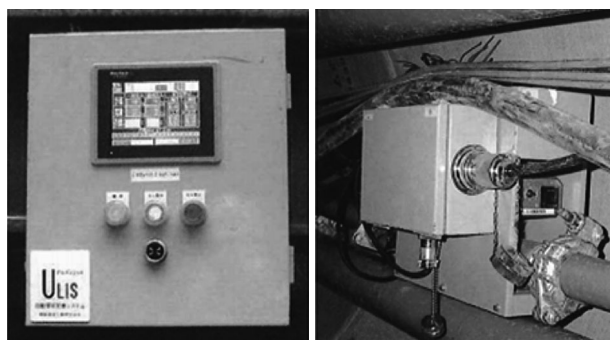


写真-5 ULIS制御盤および管内バルブユニット

【対策1-3】中押設備の配置

推進力の検討の結果、元押設備のみでの施工が可能となりましたが、何らかの原因による推進力の上昇や到達後の縁切りのことも考慮して中押設備は2段配置とし、第1中押を掘進機から100m以内に、第2中押を第1中押から275mの位置に配置する計画としました。

本工事はさや管管路で内面仕上げの必要がないことから特殊中押を採用し、S管とT管接続部からの出水防止対策として、両管が偏芯しないようにT管外周部に平鋼を配置しました。

出水時の対策としては、図-5に示すようにT管外周面の止水ゴムの地山側に特殊シール材を使用したシールチューブを配置しました。これは、出水が起こった際にはシールチューブを加圧膨張させてS管と密着させることで止水する設備となっています。また、中押ゴムの間には止水用の注入孔を設けました。

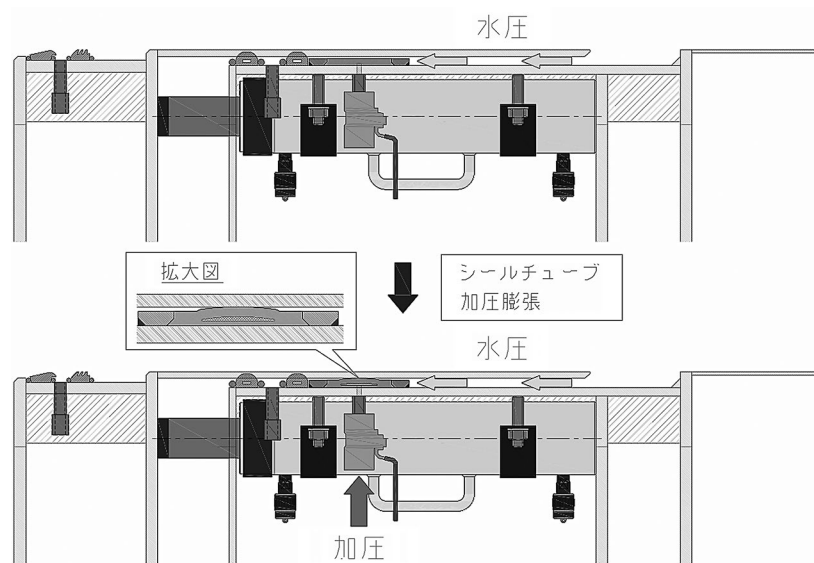


図-5 シールチューブ式特殊中押概要図（断面）

【課題2】推進管内作業の軽減

長距離推進では推進管内における作業を減らすことが施工面と安全面において重要となり、その最たるものは管内測量と考えます。本工事の推進線形は直線のためレーザによる精度管理が可能ですが、その可視距離が限界になると曲線推進と同様に管内測量が必要になります。しかしながら1100という呼び径と800mを超える推進延長から、その作業は大変過酷なものになることが容易に想像できます。そこで日本国内では多く利用されている自動測量システムの採用を検討しましたが、海外での施工ということや諸事情により断念しました。そのため、推進精度を確保しつつ管内測量作業の負担を軽減できるか、また管内での移動に要する労力と時間を軽減させることができるかが重要になります。

【対策2】リアルタイム計測システムの採用

本工事ではジャイロコンパスおよび液圧差レベル計測システムを採用しました。直線施工ではありますが、ジャイロコンパスにより掘進機の方角をリアルタイムに管理することで掘進機の動きを予測し早めの修正をかけることができ、また両システムを併用することで掘進機の位置を想定することが可能となります。

推進管内設備については、移動手段として台車を使用することができるように各種配管、ホース、ケーブルおよび風管といった設備の配置にハンガーを使用すること

で有効スペースを確保する計画としました。

また、前述したULISも推進管内作業の軽減に対して大きな役割を果たしています。

3.7 河川横断

【課題】

河川最深部での離隔は約5mであり、ここで河床を抜いてしまった場合は逸泥を引き起こし切羽圧力の保持が難しくなることが想定されました。

【対策】

対策案は次のとおりとしました。

- ①海の干満により河川の水位差が6m程度あることから、切羽圧力は自然水圧をこまめに確認して決定する
- ②泥水粘性についてはファンネル測定で28秒から30秒を確保する
- ③掘削土量の体積管理は推進管1本の土量はもとより1本ごとの変化を確認する
- ④有事の際は掘進機前面への送水ラインから切羽に固結滑材を注入する

3.8 到達方法および設備の検討

【課題1】テールボイドからの出水

到達時の出水の多くはテールボイドからの地下水です。鏡切断時に出水していなくても、掘進機を押し出す際に縁が切れて出水することが多々あります。本工事の

ように大土被りおよび高水圧下での止水は容易でないため、スキンプレートが止水ゴムにかかるまでの間、出水しない状態を保持することが重要になります。

【課題2】到達坑口の水密性

発進坑口同様に止水ゴムの水密性が重要になります。しかし、到達坑口の場合は発進坑口とは逆に止水ゴムが押し出された状態となるため地山側から水圧が作用した際には容易に止水ゴムが浮いてしまうことがあり、止水ゴムの締付方法について検討する必要があります。

【対策】

高水圧下の到達方法は、鏡切断から掘進機押し出しまでを立坑内に注水して潜水土による水中到達作業とすることが最も安全な作業方法であると考えますが、海外での施工であることや大量の清水の確保が難しいことから、作業方法を次のとおりとしました。

- ①鏡切断は気中にて行う
- ②スキンプレートが止水ゴムにかかるまでは到達坑口を回収筒として、水中押し出しとする
- ③回収筒内押し出し完了後は到達架台を設置し、立坑内に注水して掘進機を押し出し、立坑内排水後に切り離し回収する

また、テールボイドからの出水対策として到達手前20mからは一次滑材を固結滑材に変更する計画としました。

到達坑口は2段構造の止水ゴムとし、その締付方法は水中押し出しを計画していることから一般的に用いられるワイヤ方式やスライド金具方式ではなく、発進坑口と同様に特殊シール材を使用したシールチューブ方式を採用しました（写真-6、図-6）。



写真-6 到達坑口回収筒

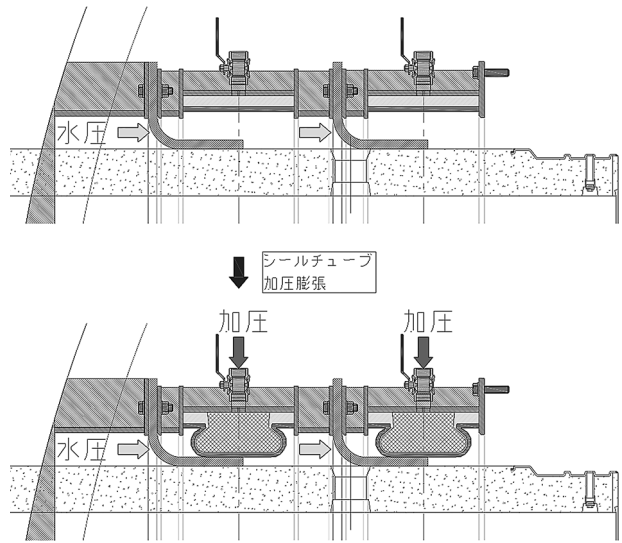


図-6 シールチューブ式到達坑口概要図（断面）

4 施工報告

4.1 資機材の手配および輸送

事前確認の結果、現地にて溶接機、ガス溶断（プロパン）、鋼材、ねじ込み式配管継手、工具類は現地にて調達できることがわかりました。日本よりも安価ですが、いざ使用してみると機械関係は品質が劣り長時間の連続使用ができないこともありました。鋼材については日本と同じ寸法で問題はなかったのですが、配管部材は肉厚が薄かったり微妙に寸法が違い、よく破損したり圧をかけると流体が接続部から噴き出すことがありました。工具類についても基本的なものは揃っていますが、電動工具の比較的径の大きいロングソケット等のアクセサリについては調達できず、日本から航空便で取り寄せたり現場にて加工しました。

海上輸送の資機材については、横浜港から出港し予定どおりミャンマーに到着したのですが、港からなかなか出庫されない事態が発生しました。

4.2 発進鏡切断

大土被りのため地盤改良の精度について心配していました。試験孔からの確認の結果、砂が噴出しましたが、地盤改良業者の懸命の止水作業により無事に鏡切断を終えることができました。

4.3 初期掘進

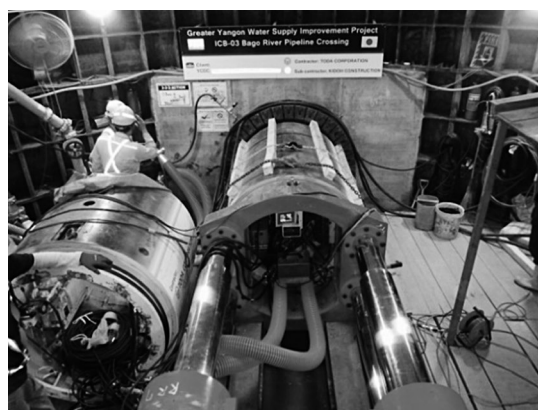
改良体が非常に硬くカットルックの上昇と掘進速度の

著しい低下が発生しましたが、懸念された切削片による閉塞は発生せず連続掘進を行うことができました。また、未改良の箇所があり改良区内で高水圧がかかる事態も発生しましたが、掘進を中断して自然水圧の確認および切羽圧力の調整、シールチューブの加圧膨張および坑口内への固結滑材注入により無事に改良区間を通過し、改良体から地山に変化する際も心配された取込過多は確認されませんでした。

なお、バックギングについても計画どおりの設備により、バックギングの発生やトラブルはありませんでした（写真－7、8）。



写真－7 管路上部



写真－8 初期掘進状況

4.4 本掘進

約150mの位置まで掘進した時点で発進坑口止水ゴムと推進管の間から地下水が噴き出しましたが、シールチューブの加圧膨張により噴出を止めることができました。この現象はその後も続きましたが、その都度シールチューブの加圧膨張で止めることができたことから、L型パッキ

ンは水密性には優れているがその形状からストレート型に比べ張力が弱く 止水ゴムが浮きやすいのではと推察します。

その後、170m程度から縁切り推進力のみが上昇する傾向が続いたことから、テールボイドがよい状態で保持されていないと考えました。原因としては滑材注入量の不足と滑材自体の希釈劣化と推察し、ULISによる二次滑材注入量の変更、滑材の追加注入の実施、また希釈劣化については塩分が影響していると考え配合量を計画の1.25倍から1.5倍に変更しました。対応後は縁切り推進力も上昇前の値まで下がり、昼夜間施工ということもあり最終推進力も計画値以下で推移しました。

本掘進は順調に進み約600mの位置で河川最深部を迎えました。作業自体は泥水管理および掘削土量の体積管理を徹底しながら通常どおりの掘進作業を行い、無事に通過しました。通過後も自然水圧の変化や推進力の急激な上昇といった変化はありませんでした。

土質については想定どおりシルト質砂の状態が続きましたが、シルト粘土への変化は想定よりも早く到達手前約170mの位置ではじまりました。ただし、粘土が排土されはじめてからは計画どおり切羽に清水を送水することで著しいカッタートルクの上昇や掘進速度の低下は発生しませんでした。しかしながら、土質が変化して40m程掘進した辺りから推進力が徐々に上昇しはじめたためテールボイドが確実に造成されていないと考え、掘進速度を抑える等の対策を試みましたがその後も推進力の上昇は続きました。また、発進坑口止水ゴムと推進管の間からの出水も頻繁に発生し、その都度シールチューブの加圧膨張や管内からの固結滑材の注入を行う等の作業を続けながらの到達となりました。最終推進力は5,780kN（計画値の90%程度）でしたが、縁切り推進力は計画値を10%程度上回った7,050kNでした。自然水圧は最大で0.29MPa、通常は0.26～0.28MPaと当初の計画どおりの値で推移していました。

到達精度は縦断方向が上30mm、水平方向が右15mmでした。レーザ光がターゲット板上で揺れはじめてからは管内測量を始めましたが、計画どおりジャイロコンパスと液圧差レベル計測システムを併用していたため測量頻度を抑えることができました。ただ、管内の有効

スペースを確保し台車を使用していたとはいえ、この推進延長での管内測量は想像以上に大変過酷な作業となりました（写真－9、10）。



写真－9 発進基地全景（発進立坑）



写真－10 発進基地全景（プラント設備）

4.5 到達

鏡切断前の試験孔からの探査では湧水はなく、回収筒内で止水ゴムを損傷しないよう外周ビットを全て切断撤去し、回収筒設備を設置したのち掘進機を押し出す作業となりました。しかし、元押のみまたは第1中押でも縁切りができず、第2中押の油圧ジャッキを取り外し第1中押に増設することで縁切りが可能となりました。なお、中押作動時に心配されたS管とT管接続部からの出水はなく、シールチューブを使用することはありませんでした。

掘進機と後方筒の押し出しとともに第1中押を併用しての作業となり想定以上の時間を要しましたが、幸いテールボイドからの出水はなく、立坑に注水しての水中押し出しは行わずに掘進機と後方筒を無事回収することができました（写真－11、12）。



写真－11 掘進機押し出し状況



写真－12 掘進機吊上げ回収状況

5 おわりに

本工事は難しい条件が重なったうえに海外での施工ということもあり、事前に施工および資機材について検討を重ねましたが、それでも改善すべき点や想定しきれなかった部分がありました。また、トラブルが起こった際は日本では必要な資機材を揃えることができますが、海外では本当に難しく対応に困り果てたこともありました。これらの項目については今後の施工に活かしたいと考えております。

余談ではありますが、現地で鋼材を調達するために問屋街に出向いた際、私の子どもと同じ年頃（小学校中学年）の男の子が機械加工場らしきところで裸足のまま作業をしていたり、問屋外で鋼材等を運んでいる姿を実際に目の当たりにして、心に何か重たいものを感じると同時に、自分たちが日本という国でどれだけ恵まれた環境で生活しているんだろうと深々と考えさせられました。

また、今回は日本人技術者を必要最低限の人員とし、現地作業員を交えての施工となりました。当初は推進工法自体を知らないことや言葉の問題等色々と不安がありましたが、ミャンマー人は日本人と気質が似ているのか非常に勤勉で多くのことを習得しようと日々頑張っている姿に感銘を受けました。また、コミュニケーションについても当初は双方ともに不慣れな英語でしたが、次第にお互いの言語を学びコミュニケーションを取るようになりました。ただ、到達前から到達する作業的に一番苦しかったタイミングでミャンマーの水かけ祭り(現地正月)と重なってしまい、気温が42度という体験したことのない暑さのなか日本人のみの少ない人員での作業となり体力的にも精神的にも非常に苦しい状態となりました。

到達作業においても呼び径1100、推進延長L=800mを超える長距離という条件下で中押ジャッキの増設や中押併用での掘進機押し出しと非常に過酷な作業とな

りましたが、決してあきらめることなく無事掘進機を回収することができ、異国の地での努力が報われたと同時に、戸田建設株をはじめとする現場に従事する全員で大きな喜びと達成感を感じることができました。

最後に、戸田建設株をはじめご協力いただいた関係者の皆様にはこの場をお借りして心よりお礼申し上げます。

○問い合わせ先

[国際事業部]

〒101-0035

東京都千代田区神田紺屋町38 エスポワールビル5F

Tel : 03-5289-4773 Fax : 03-3257-8484

[土木本部]

〒553-0003

大阪市福島区福島4丁目6-31 機動ビル

Tel : 06-6458-6183 Fax : 06-6454-0274