

海底推進施工における課題と対策



いしだ たつや
石田 達也

若築建設(株)
九州支店豊前作業所所長



たかはし まさし
高橋 雅史

(株)東京久栄
エンジニアリング部プラント技術室



ふじた けいじ
藤田 啓司

機動建設工業(株)
九州支店係長

1 はじめに

本工事は、福岡県豊前市大字八屋地内において、豊前バイオマス発電設備敷地内取水ピットに隣接する発進立坑から沖合500m付近の新規取水口までの取水管路を、呼び径2000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。

推進管路は発進してから約8mは陸上ですが、それ以降は海底で掘進機は海底に築造した立坑から回収する計画です。

推進線形は平面的には直線ですが、縦断的には5.73%の下り勾配で発進し、R=1,000mの縦断曲線を経て0.51%の下り勾配で到達するもので、巨石を含む凝灰岩礫(Dg)層、N値50以上を含む凝灰質砂(Dvs)層を掘進し発進と到達の高低差は10.2mとなっています。

本稿では海底推進における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

工事名：豊前バイオマス発電所に係る
取放水設備建設工事

工事場所：福岡県豊前市大字八屋地内

発注者：豊前ニューエナジー合同会社

施工者：若築建設(株)

工法：アルティミット泥水式推進工法

管呼び径：2000

管種：外殻鋼管付きコンクリート管（合成鋼管）

継手性能0.4MPa L=2.43m

高耐圧対応コンクリート推進管（JIP管）

継手性能0.4MPa L=2.43m

中押S管およびT管（JIP管仕様）

継手性能0.4MPa

下水道推進工法用鉄筋コンクリート管

（NS推進管）

継手性能0.2MPa L=2.43m

推進延長：L=468.629m（縦断延長）

曲線：縦断曲線R=1,000m

曲線区間長CL=52.138m 1箇所

土被り：H=10.5m（陸上）～6.9m（海底）

土質：凝灰岩礫（N=50以上）

凝灰質砂（N=7～50以上）

発進立坑：鋼矢板 L12.8×W41.6×H12.7m

到達立坑：鋼矢板 L6.2×W5.2×H9.6m

施工期間：平成29年5月8日～平成30年1月17日

3 本工事での検討事項

本工事では、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。

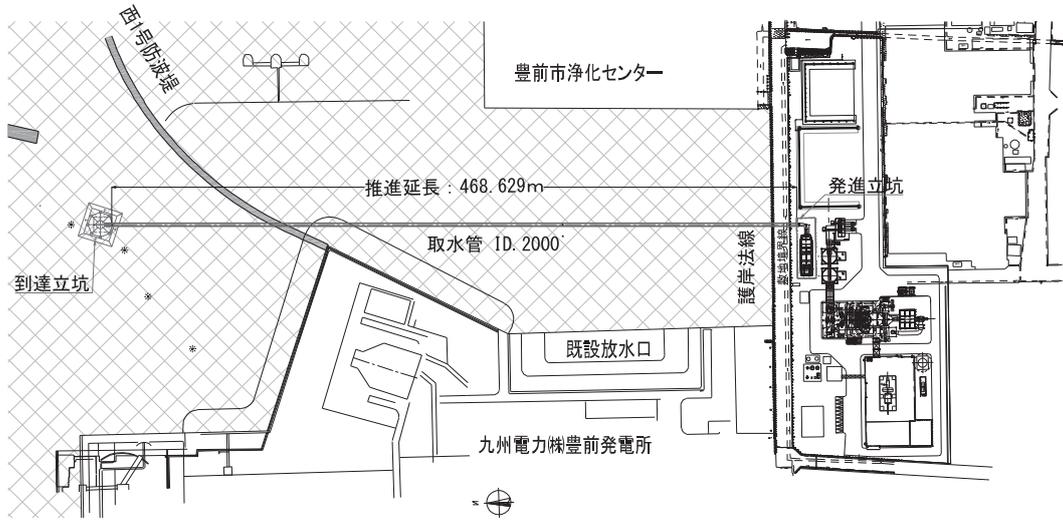


図-1 施工平面図

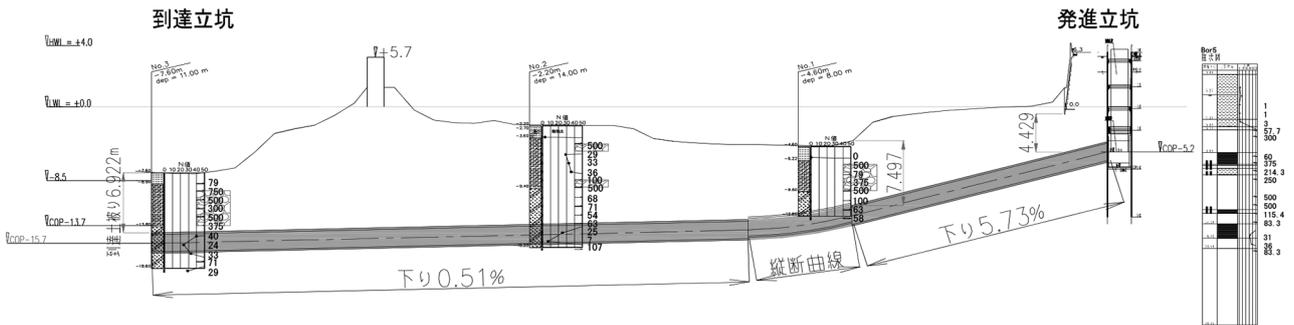


図-2 推進管路縦断面図

以下にその内容を記述します。

3.1 縦断線形の検討

【課題1】掘進機ビットの摩耗

当初の計画線形では1.69%の下り勾配の直線推進でほぼ全区間において凝灰岩礫 (Dg) 層を掘進する計画となっていました。

そこで、より詳細な資料を得るために追加ボーリング調査を実施しました。凝灰岩礫 (Dg) 層で最大190mmのコア状の礫が採取されたため、3倍想定として考えると最大径190×3=570mm程度の巨石の存在が考えられました。

コーン破碎型の掘進機を使用することによりチャンパ内での二次破碎は可能ですが、最大礫径570mmの凝灰岩礫を想定するとローラビットによる一次破碎が必要と判断しました。

一般に推進延長が468mということ考虑するとローラビットの摩耗が懸念され、ビット交換の可否について検討しますが、推進区間のほとんどが海底であることから掘進機内および外からのビット交換は難しいと考え、ビット交換は行えないということを前提に計画する必要性がありました。

【課題2】海底での泥水の噴発

当初の計画線形では海底からの土被りが小さい(2.4m以下)箇所があり、また海底のシルト (Ac) 層は層厚が薄く浮泥状を呈し高含水比で非常に軟らかい性状であるため、泥水の噴発および泥水圧による盤膨れ等海中への影響が懸念されました。

【対策1】推進線形の変更

課題1のローラビットの摩耗を低減するためには凝灰岩礫 (Dg) 層の掘進距離を軽減すること、課題2の泥

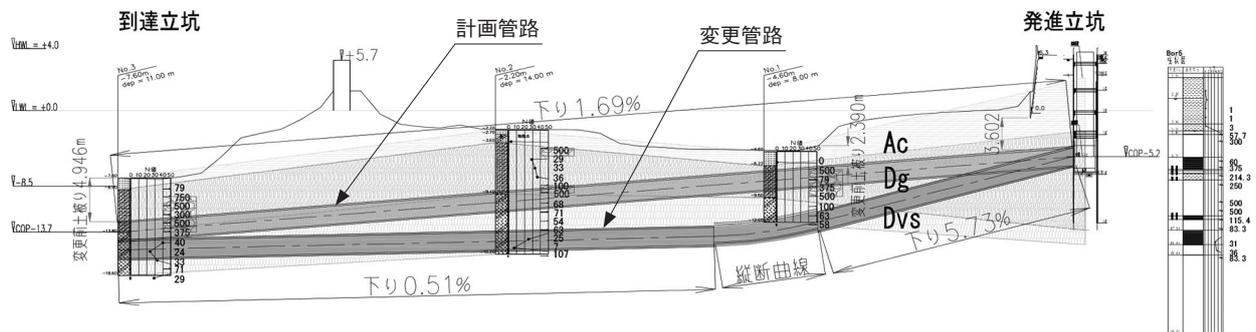


図-3 推進管路変更比較図(縦断)

水の噴発および泥水圧による盤膨れ等海中への影響を極力回避するためには海底土被りを確保する必要があり、発注者に対して推進線形の変更を提案しました。

提案内容は次の通りです。

- ①凝灰岩礫 (Dg) 層の掘進距離を軽減する、また海底土被りを確保するために下り勾配で発進する。
- ②下り勾配発進により凝灰岩礫 (Dg) 層を抜けた後は凝灰質砂 (Dvs) 層を掘進するため、また海底最深部の通過にあわせて縦断曲線を設けて下り勾配を緩やかに戻す。この際の縦断曲線は極力大きな曲線半径を設定する。
- ③想定地層では到達部において凝灰岩礫 (Dg) 層が下がってきているため、到達管路高さを下げて凝灰質砂 (Dvs) 層を掘進することとする。

以上の検討の結果、下り5.73%の勾配で発進し海底最深部の通過にあわせ縦断曲線 (VR=1000m) を設け、凝灰岩礫 (Dg) 層を避けるために到達管路高さを当初計画から2.0m下げた位置に設定し、縦断曲線後の勾配を下り0.51%と設定することで、到達時の土被りは4.950mから6.920mに、海底からの最小土被りは2.390mから7.500mとなりました。

【対策2】緊急圧抜き装置の使用

海底への泥水の噴発を防止するには切羽圧力を一定に保持する必要がありますが、礫地盤では礫破碎のために瞬間的な閉塞が発生することがあります。

そのため、設定した切羽圧力を超えた場合に機内バイパスが作動して切羽還流から機内還流に自動的に切り替わる緊急圧抜き装置を使用することとしました。

3.2 面板構造の検討

【課題】凝灰岩礫層および

凝灰質砂層掘進時の面板閉塞

前述のように、最大礫径570mmを想定してローラビットによる一次破碎が必要な地盤と判断しましたが、ローラビットで全軌跡を確保した場合面板開口が制限されます。

また、凝灰質砂 (Dvs) 層は土質分類上は砂地盤ですが細粒分が30%程度含まれておりN値も高い地盤となっています。

そのため、カッタヘッドにより切削した土砂が泥土化し付着することにより面板が閉塞を引き起こす可能性があり日進量の低下が懸念されました。

【対策1】面板形状およびビット配置

凝灰質砂 (Dvs) 層掘進における切削土砂の泥土化を防止するためには、面板開口を比較的大きくとることが有効となります。

その場合、ローラビットによる全軌跡の確保は難しくなりますが、できる限り軌跡を確保するように配置し、また面板開口を比較的大きくとる (面板開口率30%) ことで礫破碎についてはコーンによる二次破碎を主としました。

固定ビットの配置については、凝灰質砂 (Dvs) 層はN値が高く推進線形変更により対象土質の掘進距離が長くなったことから、強化型シェルビットを全軌跡を確保するように配置することとしました。

なお、強化型シェルビットが凝灰岩礫 (Dg) 層掘進時に損傷することが懸念されたため、ビット高さは外周ビットを除いてローラビット高さとあわせることとしました。

【対策2】センタ送水機構

切削土砂の泥土化による面板閉塞を防止するため

に、面板洗浄を目的に面板正面から補助的に循環泥水を送るための配管ラインを設けました。

掘進中は通常の送泥水ラインとは別系統で毎分0.2～0.4m³程度の泥水を吐出することで面板洗浄を行えるようにしました（写真-1、2）。



写真-1 掘進機面板

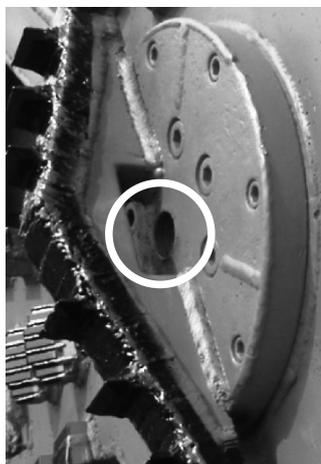


写真-2 センタ送水吐出口

【対策3】 破碎用コーンの強化

推進線形の変更により凝灰岩礫（Dg）層の掘進距離が比較的短くなったため、掘進機コーン破碎部の摩擦および損傷の懸念は低くなりましたが、海底推進工事ではトラブル時の対応が非常に難しくなります。

そこで、海底推進におけるリスクの軽減として超硬チップによる掘進機インナーコーンのチップインサート化の改造を行いました。

3.3 確実な推進力低減方法の検討

【課題】 滑材希釈による周面抵抗力の上昇

推進工事は推進管列全体が動くため掘進機カッタが造成した地山と推進管の隙間、すなわちテールボイドを劣化させることなく良質な状態で保持することで周面抵抗力の上昇を防止し、これが推進力の上昇防止につながります。

テールボイドを劣化させることなく良質な状態で保持するためには、テールボイドに滑材を注入し常に滑材で満たしておく必要があります。

本工事は計画管路が海底であるため地下水が多いことと地下水に塩分が含まれている可能性があり、その影響により滑材が希釈劣化されテールボイドの維持が困難となることが懸念されました。

【対策1】 使用滑材の選定

本工事では一次滑材として流動性滑材「アルティークレイ」（2液型）を、二次滑材として高粘性滑材「アルティーK」（1液型）を採用しました。

アルティークレイは超高粘性を長時間維持でき、地盤からかかる圧力に対しても高い強度で対抗するため、地下水の多い礫地盤でも確実にテールボイドを維持することができます。また、アルティークレイは海水など地下水に塩分がふくまれている場合も影響を受けないという特長があります。

アルティーKは高吸水性樹脂を含有しており、透水係数の高い地盤でも逸散することなく滑材効果を維持することができます（写真-3、4）。



写真-3 アルティークレイ



写真-4 アルティーK

【対策2】 止水性能の確認

各種資料より掘進機到達位置での満潮時における掘進機にかかる最大水压を0.21MPaと想定し、隔壁および継手部の止水ゴムについて検討を行いました。

止水性能を確認するために、隔壁筒工場検査時に第1隔壁筒と第2隔壁筒を接続した状態でコンプレッサ

により内圧をかけて耐圧試験を行いました。

また、実施工において第1隔壁筒と第2隔壁筒を切り離す前に隔壁筒内に海水を注し掘進機内への海水の浸入がないことをTVカメラで確認できる構造としました（図-4、5、写真-7～9）。

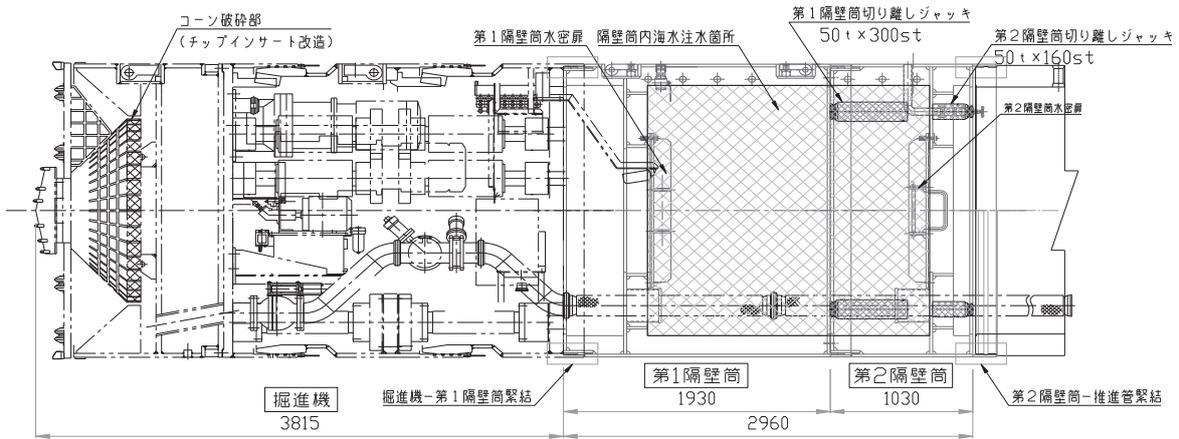


図-4 掘進機本体+切り離し設備（第1隔壁筒+第2隔壁筒）

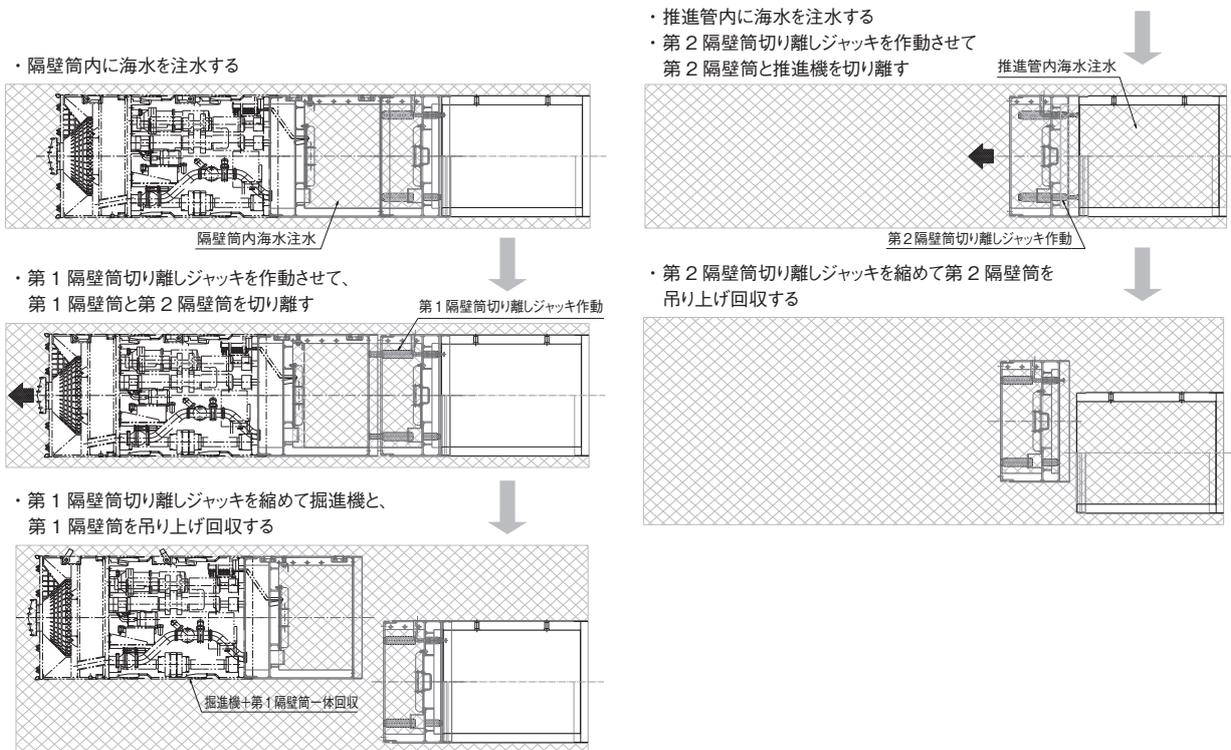


図-5 掘進機海中切り離し回収フロー図

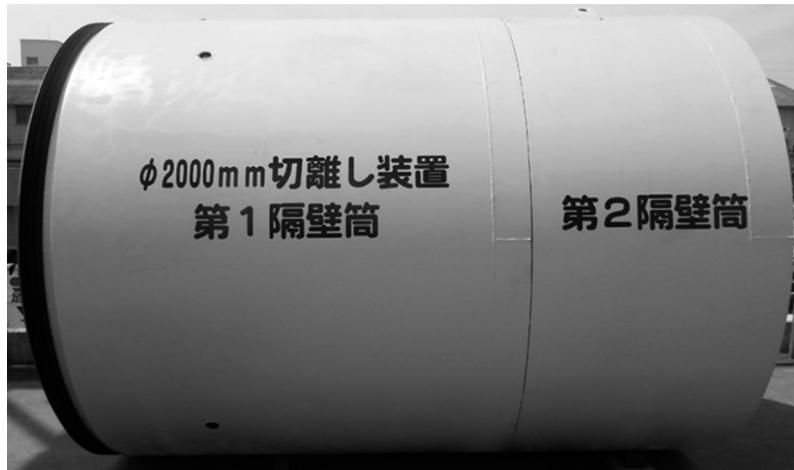


写真-7 切り離し設備（第1隔壁筒+第2隔壁筒）

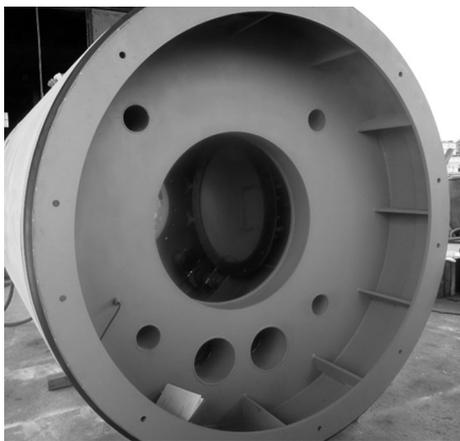


写真-8 第1隔壁筒（前部）



写真-9 第2隔壁筒（後部）

4 施工結果の報告

今回の施工は海底推進ということもあり、潮の干満により自然水圧が変動するため作業開始前の切羽圧力計による自然水圧の確認だけでなく、潮見表を参考に潮位を予測し切羽圧の調整を行いました。

このように、海底推進工事には自然水圧の変動に対して切羽圧力の調整が可能な泥水式が最適であると確信しました。

掘進作業では凝灰岩礫（Dg）層掘進中はカットトルクが大きく振れることもありましたが、凝灰質砂（Dvs）層掘進中は面板開口およびビット配置の検討、センタ送水機能により懸念された面板閉塞が発生することはなく、当初計画以上の日進量を確保することができました。

懸念された推進力の上昇に対しては、事前に検討した通りULISにより確実な滑材注入を行えたことで推進力の異常な上昇もなく、計画推進力の約72%（8,100kN）で到達することができました。

そして、一番の検討課題であった海中からの掘進機回収については、海中作業の視界が想像以上に悪く（視界はよくて20cm）作業が思うように進まないことはありましたが、トラブルもなく無事掘進機を海中から回収することができました。

掘進機が海中から上がってきた際は姿を見た一瞬は喜びましたが、すぐに掘進機内に海水が浸入していないかどうか心配で機内を確認するまでの間、気が気でなかったことと機内を確認したときの喜びは今でもよく覚えています。



写真-10 管路海上（発進側から到達側）



写真-11 クレーン台船

第2隔壁筒についても掘進機回収から約2箇月後に、無事に海中から回収することができました（写真-10～12）。

5 おわりに

本稿では、海底推進工事の施工事例を紹介しました。海中からの掘進機回収等難しい施工条件でしたが、計画段階から細部にわたって検討を繰り返して対策を試みたこと、施工において現場担当者が細心の注意を払い推進工事全体の施工管理をおこなえたことが大きなトラブルもなく無事に工事を完了させることができた大きな要因であったと考えます。

工事完了にあたり、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お礼申し上げます。



写真-12 掘進機+第1隔壁筒回収

本工事の結果は日本の推進技術の高さを証明し、また今後多方面において海底推進工事が活用されることを期待しています。