

硬質な花崗岩地山における岩盤推進工法の適用

Application of Pipe Jacking method in hard Granite

茅根 幸雄*¹
Yukio Chinone

神田 祝昭*²
Noriaki Kanda

木村 誠*³
Makoto Kimura

岡田 晃典*⁴
Akinori Okada

宮沢 政人*⁵
Masato Miyazawa

大野 元章*⁶
Motoaki Oono

小原 勝巳*⁷
Katsumi Obara

【要旨】

硬質な花崗岩地山に計画された、延長 191m、管径 900mm の農業用水路の管敷設工事において、振動による近接家屋への影響を避ける目的により、山岳トンネル工法に代えて岩盤推進工法を採用した。稲田花崗岩の新鮮部の一軸圧縮強度は 120N/mm² 以上であり、さらに鉱物の結晶中に多数のクラックが存在するため、切削効率の悪化により一部の区間において掘進速度の低下が発生し、各種対策を講じて突破した。掘進時の振動は非常に静穏であり、近接家屋に対する影響は回避することができた。

【キーワード】 岩盤推進工法, CMT 工法, 農業用管路, 近接施工, 低振動掘削, 硬岩, 花崗岩

1. はじめに

地表条件の制約から開削による施工が困難な埋設管工事では、工法選定において山岳トンネル工法、シールド工法と共に、推進工法が選択肢として挙げられることが多い。しかしながら、現状では硬岩地山に対する推進工法適用の可否を判断するための実績データの集積は充分とはいえず、設計時の判定基準が不明なため、掘進不能によって生じるリスクを考慮して採用が見送られるケースも見られる。

本報告は、硬岩 (C_H級花崗岩) における岩盤推進工法の施工実績の一例として、硬質部における掘進時の課題と対処および掘進時の振動値について示すものである。

2. 工事概要

本工事は、茨城県内 30 市町村へ農業用水、水道用水および工業用水を安定的に供給する霞ヶ浦用水事業のうちの笠間市内に敷設される笠間幹線の一部であり、岩盤推進工法は、トンネル方式 (発破工法) で計画された延長 191m の直線区間に、「総合評価落札方式」における VE 提案として適用された。

工事名称：霞ヶ浦用水 (二期) 農業水利事業
笠間幹線その 13 工事

発注者：関東農政局 霞ヶ浦用水農業水利事務所

3. 施工条件

3.1 地形・地質条件

施工箇所は、河川に囲まれた標高約 60m の丘陵であり、

- | | | |
|---------------------------|------------------------|--------------------|
| 1. 関東土木事業部 農政笠間作業所 | 2. 社長室 人事部 | 3. 関東土木事業部 常磐松戸作業所 |
| 4. 関東土木事業部 金沢シールドその 2 作業所 | 5. 経営管理本部 事業統括部 事業管理 G | |
| 6. 関東土木事業部 土木 G | 7. 東日本土木支社 企画 G | |

上部は切土と沢部の盛土によって平坦に造成された工場用地となっている (写真-1)。また、計画基面からの土被りは最大約 20m となっている (図-1)。

本地域は稲田花崗岩の名称で知られる国内有数の石材産地に近く、同じ岩体に属する黒雲母花崗岩が分布しており、掘削対象となる地山は、両坑口を除き亀裂の少ない硬質な花崗岩 (C_H級、一部 B 級) である。

3.2 周辺環境条件

発進側となる終点側坑口から約 50m の距離に民家が近接し、騒音・振動対策が要求される (写真-1)。

当初計画が山岳トンネル発破工法であり、昼夜施工を行うために騒音と振動の制御が重要な課題であった。



写真-1 施工箇所の航空写真

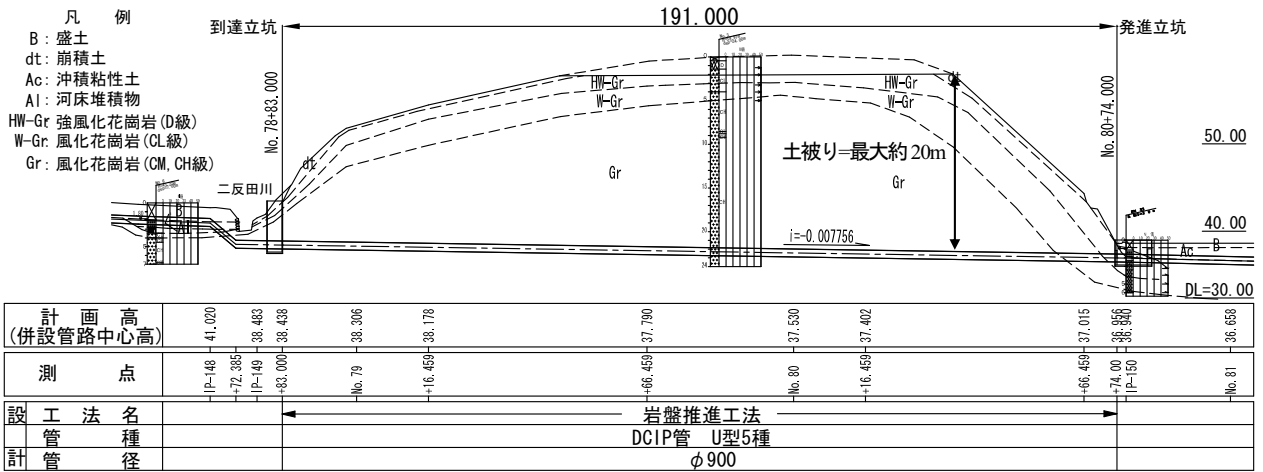


図-1 トンネル部縦断面図

4. 岩盤推進工法の概要

4.1 具体的な推進工法の選定

岩盤の掘進が可能な推進工法には幾つかの工法があるが、施工条件に適合し確実に推進を完了できる推進工法として、「CMT工法 岩盤推進システム」(以下、CMT工法と記す)を選定した。

表-1に、施工条件に伴う要求性能への対応を示す。

表-1 施工条件に伴う要求性能への対応

施工条件による要求性能	工法選定による対応
地表条件より、中間部に立坑を設置せずに全延長(191m)の掘進が可能であること。	機内からビットを交換することが可能であり、ビットの損耗による掘進不能な状態を回避できる。
一軸圧縮強度 120N/mm ² 以上の岩盤における掘進が可能であること。	硬岩用のローラービットを用いることで切削能力を確保できる。
191mの片押し施工でも十分な精度を有すること。	掘進機尾部の「推力点ジャッキ」(図-3)により方向修正が可能である。
これらの条件に合致する十分な実績を有すること。	一軸圧縮強度 120N/mm ² 以上かつ200m以上の推進長を持つ条件での工事実績を多数有する。



写真-2 掘進機前面(貫通時)

4.2 工法の概要

CMT工法のシステム概要図を図-2に示す。発進立坑より元押しジャッキの推力によりダクタイル管(5種管t

=9.5mm)を介して掘進機を推進する。

切削用のビットは硬岩対応のローラービットを使用した(写真-2)。施工順序は図-4の通りである。

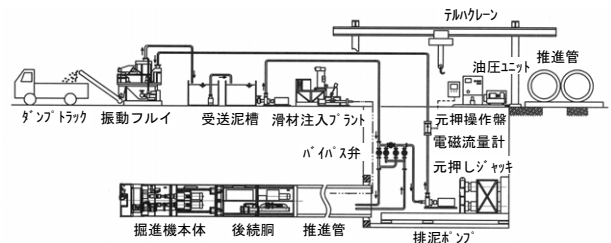


図-2 施工システム概要図

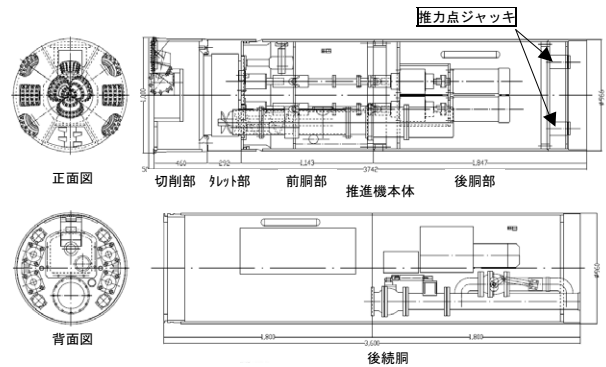


図-3 掘進機概要図

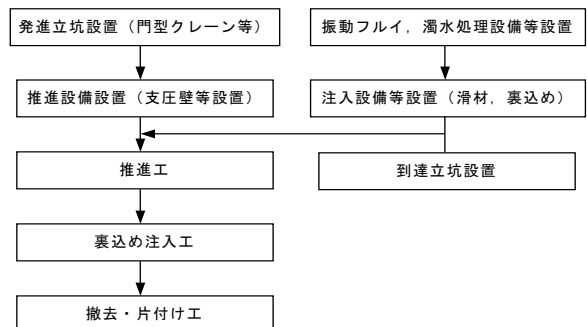


図-4 施工順序

5. 施工

5.1 掘進速度

縦断方向の累計掘進曲線と施工速度の分布を図-5に示す。工事期間の施工体制は、月曜日～土曜日の週6日を作業日とし、昼夜で施工している。

施工速度には施工的な要因が含まれており、ばらつきもあるが、表-2に示すように地山条件との関連性を示唆する4区間に分けられる。表中に付記した地質の状況は、切削ずりの目視観察と一軸圧縮試験（坑口より102mでコア採取、 $q_u=110\text{N/mm}^2$ ）に基づく推定であり、花崗岩中の風化の程度（鉱物の酸化、色彩）および切削ずりの形状から概ね以下の強度の範囲と考えられる。

やや軟質： $q_u = 50 \sim 80 (\text{N/mm}^2)$

硬質： $q_u = 80 \sim 110 (\text{N/mm}^2)$

非常に硬質： $q_u > 110 (\text{N/mm}^2)$

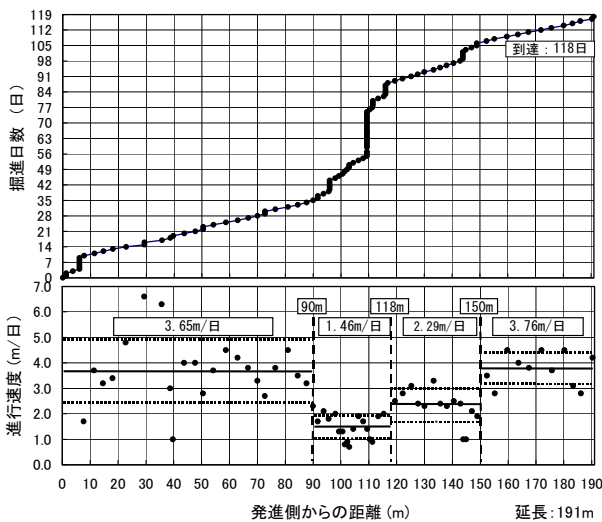


図-5 掘進距離と施工速度

表-2 平均日進と地山条件との関連性

区間(m)	平均日進 (m/日)	標準偏差	地質の状況
0～90	3.65	1.25	やや軟質
90～118	1.46	0.47	非常に硬質
118～150	2.29	0.65	硬質
150～191	3.76	0.65	やや軟質

5.2 掘進速度の低下要因と対策

(1) 掘進不能時の状況と地質条件との関連性

90～118m 区間において、鉱物の変色が認められない新鮮な花崗岩が現れることにより、掘進速度が著しく低下し、坑口から110mの位置において推力の上昇により掘進不能の状況となった（図-5参照）。

全延長で同一の施工方法により掘進を行ったことを考慮すると、掘進速度は施工的要因よりも岩盤の強度の影響が大きいと考えられる。さらに、掘進不能時の切削ずりは細砂状で掘進機の外周に沈積して付着し、除去する

際にピックが必要なほど締め固められた状態となっており、推力上昇の要因となっていた。

地山の変化と推力上昇には図-6に示すような関連性が推察された。

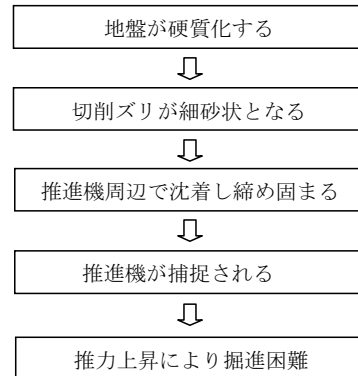


図-6 掘進不能時の経過（地盤の硬質化による影響）

(2) 対策

上記の問題点について以下の対策を実施した。

- 1) 岩盤の硬質化に対する切削能力の向上
切削能力を高めるため、外周および面板のビット交換を実施した。
- 2) 掘進機外周に付着した切削ずりの除去
掘進機内部にジャッキを取付けて推進管を切り離し、掘進機周りの切削ずりを除去した。その後、切削ずりの排出能力を高めるため泥水の粘性を上げ、滑材に添加材を加え希釈を防止して粘性を確保した。
- 3) 拡幅型ビットへの交換による掘削径の拡大
掘進機のローリングにより掘削外周部に切残しの凸部が生じると、推力上昇の原因となるため、外周部のビットを拡幅型に変更した。

5.3 地盤特性に関する考察

(1) ローラービットによる硬質岩盤の破碎について

ローラービットによる岩盤切削では、推力によりビット先端が岩盤に押し付けられ、周囲の岩石をせん断破壊もしくは割裂し、「細片状」に破壊する機構となっているため、ビット先端部で岩石が脆性的に破壊しない場合、切削能力が低下する。

本工事では、硬質な区間の切削ずりが「細砂状」となっていたことから、ビット先端部で岩石を粉砕するだけで効率よく岩石を破壊できない状態にあったと推測される。

(2) 当該区間の花崗岩について

本工事における稲田花崗岩は、結晶化した石英、長石、黒雲母を主な造岩鉱物とし、これらの結晶がモザイク状に組み合わせられた構造である。顕微鏡観察の結果、本花崗岩には新鮮部であっても結晶中に微細なクラックが多



く含まれている状態が確認された (写真-3)。

平均日進が 1.4m/日まで低下したのは、切削ズリの状況とこのような花崗岩中に含まれる鉱物 (主に石英、長石類) の結晶の状態から、ローラービットの先端部で結晶が粉状となるだけで岩盤を脆性的に破碎できなかったことが要因の一つと推測される。

また、切削ズリは細かい碎砂状となるため流動性が阻害され、ズリが一旦停滞すると掘進機周囲の空隙を閉塞するまで停滞し、ローリング等が原因で付着が進むことにより掘進機の捕捉の原因となったものと思われる。

6. 掘進作業時の振動測定結果

6.1 振動測定方法

近接家屋脇に計測点 (写真-1 ; 発進立坑より 52m) を設置し、掘進時の振動測定を掘進作業の全期間で実施した。測定に用いた振動測定機器は次の通りである。

なお、掘削により発生する振動の許容値は、過去の TBM (トンネルボーリングマシン) の測定例から 45dB (鉛直成分) とした。

振動レベル計 : VM-53A
レベル処理器 : SV-76
ピックアップ : PV-83C

6.2 測定結果

掘進箇所までの離隔が約 60m における同日の振動測定結果を図-7に示す。振動値は人体に感じることのない

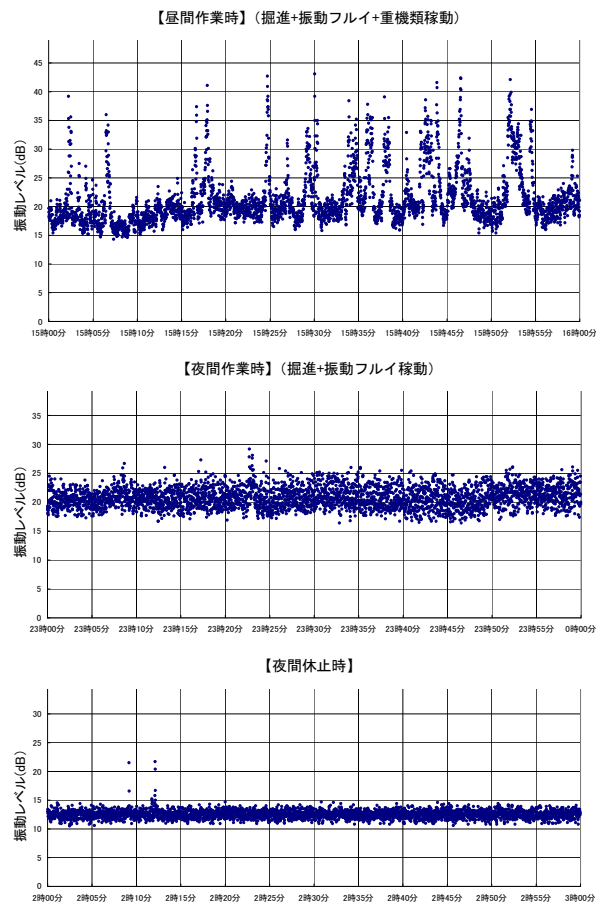


図-7 振動測定結果の一例 (離隔: 約 60m)

いほど小さいが、相対的に以下の状況が読み取れる。

- ・夜間休止時の振動値 (下段グラフ) は暗振動値に相当し、15dB 以下となっている。これに対し、夜間作業時 (中段) は概ね 20~25dB であり、掘進機と振動フルイにより 10dB 程度の振動値の増加が生じている。
- ・夜間作業時 (中段) に対して、昼間の作業時 (上段) では、工事用地内の車両、バックホウなどの移動、他の明かり作業により振動値の増加 (1~2 分間) が生じている。

以上から、家屋等が近接し騒音・振動による制約が厳しい施工条件においては、岩盤推進工法の適用は十分に効果的であると判断できる。

謝辞: 振動の評価についてご指導いただいた技術研究所第2研究室の小林真人様に感謝いたします。

Summary The pipe jacking method was selected instead of the mountain tunneling method for installing a 191-m-long 900-mm-diameter pipeline in an irrigation channel in hard rock granite to prevent vibration from adversely affecting the houses in the vicinity. The unconfined compressive strength was more than 120 N/mm² in the fresh section of Inada granite and numerous cracks existed in the crystals of minerals. As a result, excavation efficiency was deteriorated and the rate of tunnel advance was reduced in some sections. Various measures were taken to solve the problem. Vibration was extremely low during excavation and the adverse effects on the houses in the vicinity could be avoided.

Key Words: Pipe Jacking, CMT, agricultural pipeline, neighboring works, low vibration excavation, hard rock, granite