

強風化花崗岩の地山に対するトンネル補助工法の施工

(株) 鴻池組 土木技術部 正会員 ○北野 敬太

(株) 鴻池組 大阪本店土木部 古瀬 裕司 小松 孝志

国土交通省 中国地方整備局 広島国道事務所 工務課 専門官

北脇 大

1. はじめに

東広島バイパス神原トンネル工事は、一般国道 2 号の東広島市八本松町から安芸郡海田町に至る延長 17.3km の安芸・東広島バイパスに含まれる、延長 183m の山岳トンネルを施工するものである。本工事の両坑口部の地質状況は、著しく風化した花崗岩が広く分布しており、天端の抜落ちや崩落、地表部の斜面崩壊が懸念された。本稿では、これら両坑口部において実施したトンネルの施工事例について報告する。

2. 起点側坑口部の施工

2. 1 地形・地質概要

起点側坑口部では、坑口部直前に本線を横切る谷地形が存在し、明瞭な崩壊地形を呈していた。また、坑口部は斜面勾配 30～40° 程度の急峻な地形で、斜面斜交型の偏圧地形を呈していた。

坑口部の地質は、マサ状に風化した強風化花崗岩、岩塊交じり土砂状の混成岩や崖錐堆積物（N 値 18～27）などの脆弱地山が分布していた。また、既存の水平ボーリング調査結果では、坑口から TD=15m までは D 級地山が、TD=30m 付近までは亀裂の発達した軟岩地山が分布していることが確認されていた。図 1 に起点側の地質状況と水平ボーリング調査結果、補助工法の施工位置を示す。

2. 2 起点側坑口部のトンネル施工

未固結の地山や亀裂の発達した地山では天端崩壊や切羽が自立しないケースがあることから、当初設計では天端安定対策として充填式フォアポーリング（L=3.0m, N=18.5 本）が計画されていた。しかし、坑口付け切土時の地質状況では、軟岩への土質変化位置において風化により土砂状となった混成岩が見られ、一部で切土斜面の崩壊も発生したため、トンネル施工時に切羽崩壊や先行緩みによる斜面崩壊、偏土圧によるトンネル変状が懸念された。そのため、既存の水平ボーリング調査結果に基づき、坑口から TD=15m 間の D 級地山に対して、前方地山への先受け効果が高く、偏土圧に対して剛性の高い注入式長尺鋼管フォアパイリング工法（AGF 工法、φ 114.3@450mm, L=12.5m, N=25 本）を 1 シフト施工した。AGF 工法実施区間の地山状況は、風化により土砂状となった混成岩が切羽上部に分布していたため、AGF 鋼管下部からの地山の抜落ちが頻繁に発生した。また、掘削時の先行緩みの影響により、TD=10m 付近の地表面沈下は変位速度が速く、直上における沈下量は-30mm（管理レベルⅢの 60%）を超えていた。これらのことから、天端の安定化、地山の先行緩み及び地表面沈下の抑制を図るため、2 シフト目の AGF 工法（φ 114.3@450mm, L=12.5m, N=24 本）を施工するとともに、切羽観察と地表面沈下の計測頻度を増加しながら掘削を進めた結果、地表面沈下量が-48mm（管理レベルⅢ：50mm 以内）で収束した。

既存の水平ボーリング調査結果より、TD=20～25m で CM 級の比較的硬質な風化花崗岩が、TD=25～30m で亀裂の発達した破砕帯为天端部に出現することが予想された。そのため、地質変化が激しい TD=20～30m の脆弱地山の出現状況を 3 次元で把握するため、削孔検層による切羽前方探査（L=8m、天端、両側壁部）を実施した（図 2）。

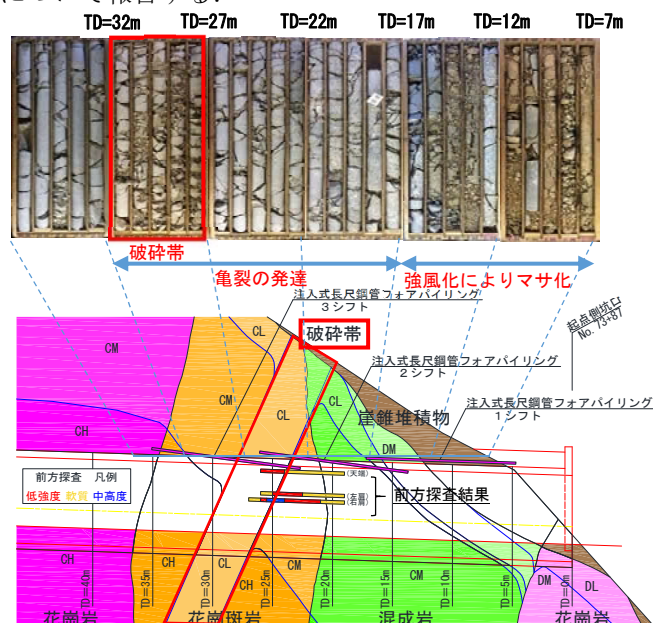


図 1 起点側 地質状況と補助工法概要図

キーワード 山岳トンネル, 強風化花崗岩, 補助工法

連絡先 〒541-0057 大阪府大阪市中央区北久宝寺町 3-6-1 本町南ガーデンシティ TEL 06-6245-6568

また、補助工法の判断基準にあたっては、NPO 法人臨床トンネル工学研究所「トンネル補助工法委員会 平成 24～25 年度活動報告書」に記載されている削孔速度 ($V=1.0\text{m/min}$ 以上) 及び削孔エネルギー ($E=150\text{ J/cm}^3$ 以下) の数値に基づいて判定を行った。その結果、 $TD=20\sim 25\text{m}$ で右側に分布していた風化花崗岩 ($V=0.5\sim 1.0\text{m/min}$, $E=100\sim 150\text{ J/cm}^3$) が徐々に右側へ移動し、切羽全面に亀裂の発達した破碎帯 ($V=1.0\sim 3.0\text{m/min}$, $E=40\sim 100\text{ J/cm}^3$) が分布することが確認された。そのため、天端崩落や鋼管間からの抜落ちを防止する目的で、3 シフト目の AGF 工法 ($\phi 114.3@450\text{mm}$, $L=12.5\text{m}$, $N=25$ 本) を実施した結果、一部で抜落ちが生じたものの無事に起点側坑口部の掘削を完了した。

3. トンネル貫通時における地表部への影響防止

3. 1 地形・地質概要

終点側坑口部は崩積土が堆積した谷地形に位置し、坑口周辺には多数の滑落崖が分布していた。また、坑口部は斜面勾配 $35\sim 45^\circ$ 程度の急峻な地形の中腹に位置し、坑口と斜面の位置関係は斜面直行型であった。

坑口部の地質は、トンネル上半から地表部にかけて、マサ状に風化した強風化花崗岩が広く分布し、地表には $\phi 1\text{m}$ 以上の転石も多数点在していた。また、既存の水平ボーリング調査結果によると、 $TD=160\sim 170\text{m}$ では RQD10%以下の亀裂の発達した風化花崗岩が分布していることが確認されていた。

3. 2 終点側坑口部のトンネル施工

終点側坑口部は急峻な地形を呈し、工事用道路の取付けが困難なことから、トンネル貫通後に坑口付け切土を行う必要があった。また、終点側坑口部では割れ目沿いに風化が進行した不均質な岩塊が転石として露頭し、トンネル掘削時に坑内への岩塊崩落や坑外への落石の発生が懸念された。特に坑口下流側には墓地があり、落石には十分注意して施工する必要があった。図 3 に終点側の地質状況と補助工法の施工位置を示す。

終点側坑口部の施工にあたっては、地山性状を正確に把握するために、 $TD=150\text{m}$ 地点で削孔検層による前方探査 ($L=28\text{m}$) を実施した (図 4)。その結果、 $TD=167\text{m}$ 以降において削孔速度が平均 1.1m/min 、削孔エネルギーが平均 70 J/cm^3 であったこと、 $TD=165\text{m}$ 以降は DIIIa パターン (土被り $1.5D$ 以下) であり、一部で地山の緩みによる小崩落が見られたことから、岩塊崩落や落石の発生が懸念された。そのため、崩落に対する地山の先受け効果や、亀裂間への注入による緩み防止を目的として、AGF 工法 ($\phi 114.3@450\text{mm}$, $L=12.5\text{m}$, $N=25$ 本) を 1 シフト施工した。また、 $TD=175\text{m}$ 以降では、放射状に広がる AGF 鋼管の先端付近において、地山の抜落ちが懸念されたため、鋼管間に注入式フォアポーリング工法 ($\phi 27.2\text{mm}$, $L=3\text{m}$, $N=18.5$ 本) を 3 シフト施工した。さらに、地表部においては落石の恐れがある転石について落石防護ネットを、本工事と墓地との敷地境界付近について落石防止柵を設置した。その結果、 $TD=178\text{m}$ 付近より土砂状の強風化花崗岩が切羽全面に出現したが、AGF 工法による先受け効果や注入効果により、岩塊崩落や落石の発生もなく無事に終点側坑口部の掘削を完了した。

4. おわりに

今回、脆弱な強風化花崗岩が主体となる両坑口部において、先受け効果や注入効果の高い補助工法を実施することで、天端の抜落ちや岩塊崩落、落石の発生を防止することができ、無事に本トンネルの施工を完了した。

最後に、本トンネルの施工にあたり、ご協力いただいた中国地方整備局 広島国道事務所深謝の意を表するとともに、今後、同種工事を進めるにあたり、一助となれば幸いである。

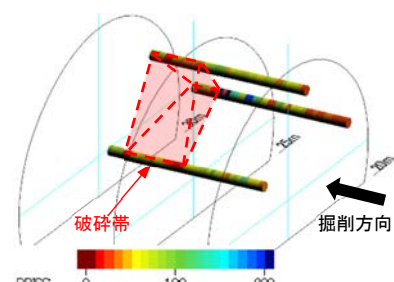


図 2 削孔検層 3次元モデル

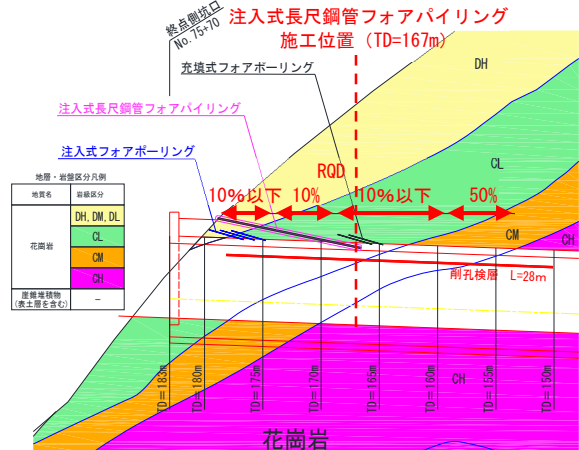


図 3 終点側 地質状況と補助工法概要図

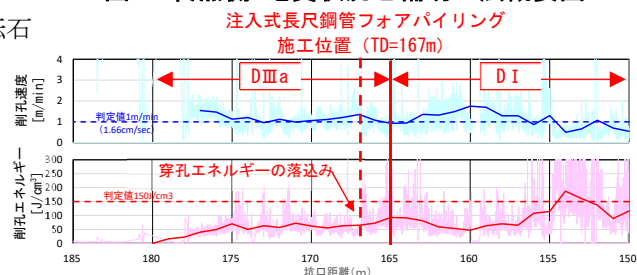


図 4 $TD=150\text{m}$ 地点における前方探査結果