

低土被り未固結地山におけるトンネルの施工

(株) 鴻池組 名古屋支店土木部 酒井康至 寺本雅昭
 (株) 鴻池組 土木技術部 宇田隆彦 ○正会員 若林宏彰

1. はじめに

国道23号蒲郡BP五井トンネル(仮称)は、延長299m、全線で低土被りを呈する山岳トンネルを施工するものである。本トンネルは、未固結な強風化片麻岩や風化片麻岩が分布していたためトンネル掘削と同時に吹付けを行いながら進めていたが、起点側坑口部から120m付近まで掘削した段階で切羽の不安定化が顕著になった。本稿では、この切羽不安定箇所の補強対策とそれ以降のトンネル掘削方法を検討した施工事例について報告する。

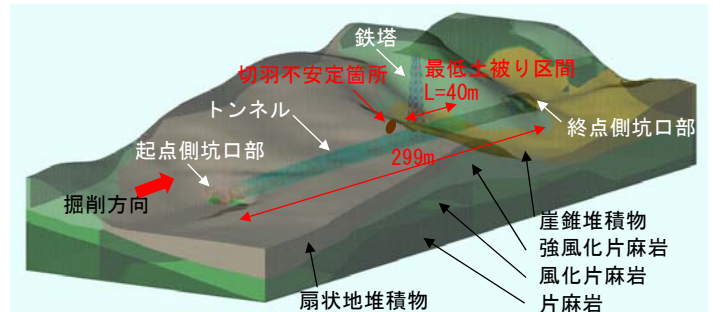


図1 地形・地質概要図

2. 地形・地質概要

図1に本トンネルの地形・地質概要図を示す。本トンネルは、延長299m、最大土被りが24m(2D以下、D:掘削幅)であり、全線でDIIIパターン(坑口パターン)が採用されている。地質は、地表付近に崖錐堆積物や扇状地堆積物、トンネル断面内には領家花崗岩類の土砂化した非常に軟弱な強風化～風化片麻岩が分布していた。また、起点側坑口部から約150m付近に中部電力の鉄塔がトンネルと35mの離隔で近接し、200m付近に土被りが3m以下となる最低土被り区間が約40mにわたって連続していた。

3. 本トンネルの施工状況

本トンネルでは機械掘削が採用され、起点側坑口部の23m間において土砂化した扇状地堆積物の天端安定対策として長尺鋼管先受け工法を実施した。その後、トンネル断面内に茶褐色の土砂化した強風化片麻岩や亀裂の発達した風化片麻岩が出現したため切羽が不安定化し、肌落ちを繰り返しながら掘削を進めていた。しかし、起点側坑口部から約120m付近まで掘削した段階で、切羽の不安定化が顕著になり天端が抜け落ちたため(写真1)、トンネル掘削を中断し、切羽不安定箇所の補強対策とそれ以降のトンネル掘削方法を検討した。

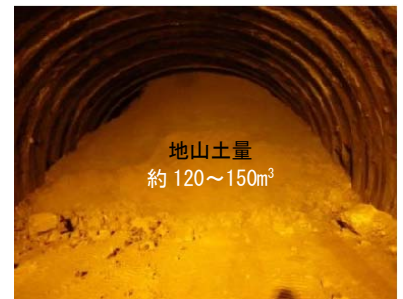


写真1 天端抜け落ち状況

4. 切羽不安定箇所の補強対策

切羽不安定箇所の補強対策を検討するにあたり、削孔中の機械データから地山の硬軟を確認できる削孔検層を実施するとともに、挿入式レーザースキャナーを用いた空洞調査により詳細形状を把握した。その結果、抜け落ち形状は高さ19.7m、幅7.5m、奥行き11.1mとなり、その内部には穿孔エネルギー値($E=20\sim50\text{J}/\text{cm}^3$)の非常に低い崩積土が堆積し、地表付近には約 25m^3 の空洞が確認された(図2)。これらの地質調査結果を踏まえ、切羽不安定箇所の補強対策を以下のとおり実施した(図3、図4)。

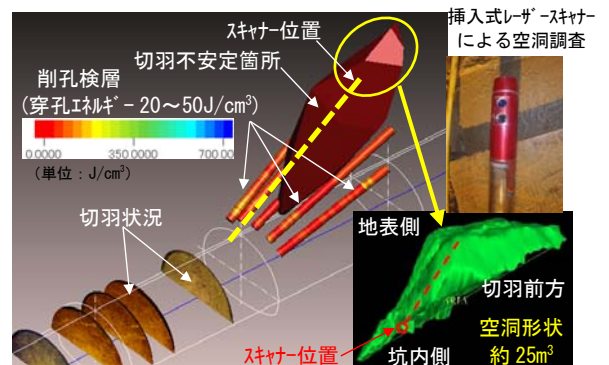


図2 地質調査結果(切羽不安定箇所)

①空洞充填

空洞充填材料は、トンネル支保部材に荷重の影響が少ない軽量な材料であること、長期耐久性に優れること、
 キーワード トンネル、低土被り、未固結地山、削孔検層

連絡先 〒541-0057 大阪市中央区北久宝寺町3-6-1 株式会社鴻池組 土木技術部 TEL 06-6245-6580

流動性及発泡性に優れ複雑な空洞部を確実に充填できることから、シリカレジン（ウレタン系注入材、6倍発泡時の圧縮強度：1N/mm²以上）を採用した。

② 抜け落ち部内に堆積した崩積土の補強

抜け落ち部内の崩積土はトンネル天端から 15m 以上の高さまで堆積していたため、トンネル掘削時に天端崩積土の流出やトンネル掘削後に後荷によるトンネル変状が懸念された。そこで、長尺鋼管先受け工法（φ114.3mm, L=15.5m, n=25.5 本@450mm）を 2 シフト実施し崩積土以深の地山まで鋼管を縫いつけることで、事前に崩積土の土荷重を仮受けした。

③ トンネル坑内に堆積した崩積土の補強

トンネル坑内に堆積した崩積土は押さえ盛土としてトンネル天端や鏡面の安定性を保っていたが、トンネル掘削に伴いこれらを取り除くため、鏡面の抜け落ちやそれに伴うトンネル天端への抜け落ち拡大が懸念された。そこで、長尺鏡ボルト（φ76.3mm, L=15.5m@1500mm, n=14 本）を 1 シフト実施し崩積土以深の地山まで鋼管を縫いつけることで、事前にトンネル掘削における鏡面の安定性を確保した。

④ 抜け落ち部直下の施工

抜け落ち部直下の施工は、崩積土や非常に緩んだ周辺地山を掘削するため、地山のアーチアクションが確保できずに天端の抜け落ちや天端沈下、それに伴うトンネル変状が懸念された。そこで、掘削 1m 毎にトンネル天端部 120° の範囲に注入式フォアポーリング（L=3m と L=6m の千鳥打設@600mm, n=19.5 本）を実施し厚さ 3m の地山改良体を構築することで、天端の安定性を確保した。

以上の対策工を実施した結果、大きな切羽の抜け落ちやトンネル変状もなく抜け落ち部直下のトンネル掘削を無事完了した。

5. 切羽不安定箇所以降のトンネル掘削

切羽不安定箇所以降のトンネル掘削は、今回の地山状況を参考にし、トンネル全線の天端 2 カ所と中央部 1 カ所に削孔検層を実施して補助工法の必要性を判断した（図 5）。その結果、それ以降の地山は、トンネル全体にわたって切羽不安定箇所の地山状況と同様、茶褐色に土砂化した強風化片麻岩が分布し、低い穿孔エネルギー値（E=50J/cm³程度）を示したため、天端安定対策として長尺鋼管先受け工法（φ114.3mm, L=12.5m@450mm, n=25 本）、鏡面安定対策として長尺鏡ボルト（φ76.3mm, L=12.5m@1500mm, n=11 本）を実施した。しかし、起点側坑口部から 200m 付近にある最低土被り区間では、トンネル掘削時に緩み荷重が増大し、天端沈下量及び地表面沈下量が管理レベルⅢを超過したため、追加対策として吹付けインバートによる断面閉合（t=200mm）を実施した（図 6）。以上の補助工法を実施した結果、トンネル掘削を無事完了した。

6. おわりに

今回、低土被り未固結地山を呈する五井トンネル（仮称）において、削孔検層による切羽前方探査を実施することで地山を定量的に評価でき無事施工を完了した。今後は他現場においても削孔データと補助工法との相関性を蓄積し最適なトンネル施工方法を選定していきたい。最後に本トンネルの施工にあたりご協力頂いた中部地方整備局 名四国道事務所に深謝の意を表するとともに今後の同種工事を進めるにあたり一助となれば幸いである。

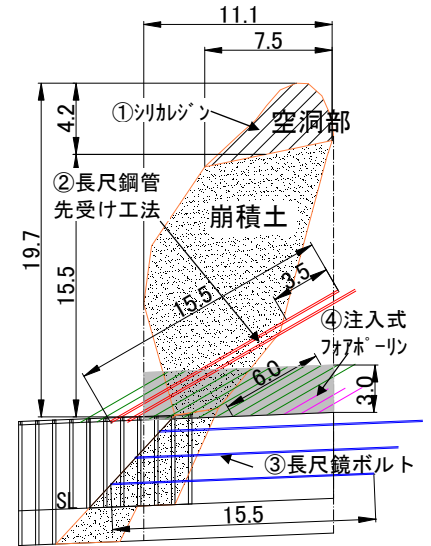


図 3 切羽不安定箇所の対策工縦断面図

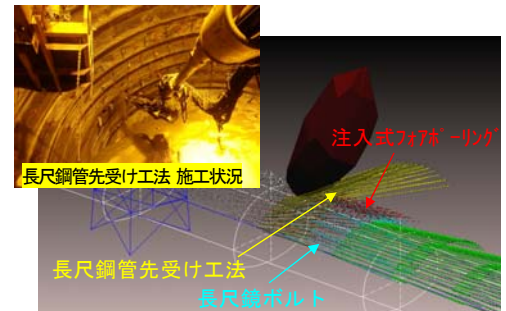


図 4 切羽不安定箇所の対策工立体図

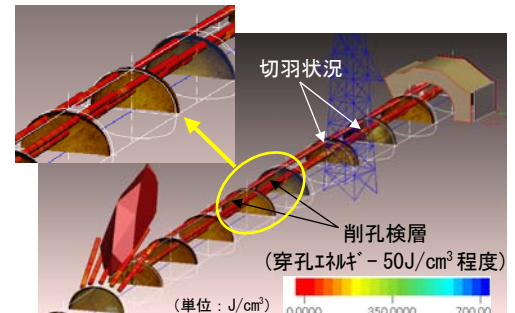


図 5 地質調査結果（切羽不安定箇所以降）

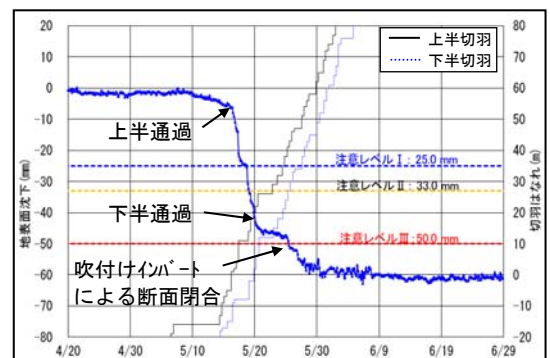


図 6 地表面沈下の経時変化（最低土被り区間）