

補助工法を用いたトンネル坑口部の地山挙動について（長野県姥神トンネル）（その1）

長野県	土木部	小橋茂和
清水建設	土木東京支店	正会員 伊原広明
清水建設	土木東京支店	正会員 森 直樹
清水建設	土木東京支店	正会員 安藤 拓

1. はじめに

姥神トンネルは伊那木曾連絡道路（L=20km）の一部である姥神峠道路のうち長野県木曾郡日義村から榑川村を結ぶ1826mの道路トンネルである。本トンネルの地質は、古生代後期から中生代の砂岩・粘板岩・チャート等の付加帯より構成されている。当JV担当の日義側工区（L=446m）は、坑口から250m間が境峠断層の一部である神谷断層と交差し、岩盤の破碎（粘土状化・角レキ状化）が著しく地すべり・崩壊地形が点在している。特に坑口は道路線形が斜面斜交型となっているため、偏土圧がかかりやすく土被りも小さい。またトンネル坑口から60m間は地すべり地形をなし、かつ地表部には沢が存在している。そこでトンネル掘削に伴う切羽の崩壊防止、地表沈下を抑制するため、補助工法としてパイプルーフ・注入式長尺鋼管フォアパイリング・フットパイル・フェースボルトを状況に応じて段階的に採用した。本報は坑口対策としてこれらの補助工法を採用した時の地表沈下の挙動を報告するものである。図-1に地質縦断を示す。

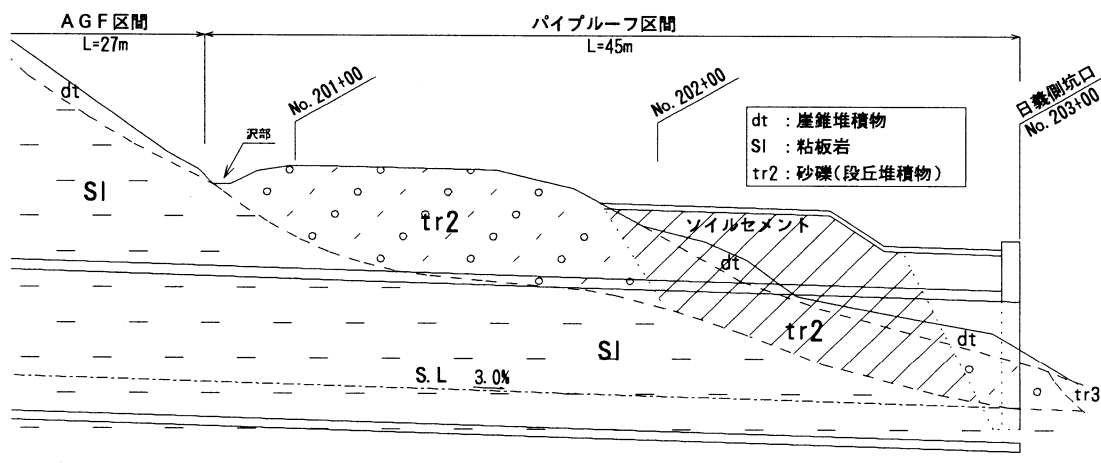


図-1 坑口部地質縦断図

図-2に坑口部の標準支保パターンを示す。支保パターンとして通常のDⅢa（鋼製支保工 H-200、吹付けコンクリート厚 $t=250$ 、ロックボルト長 4m）に加え、天端崩落防止を目的に坑口より45m区間ではパイプルーフを、パイプルーフ終端部より27m間は注入式長尺鋼管フォアパイリングを用いた。また両区間とも脚部補強工としてウィングリブ支保工を、沈下の大きい区間ではさらにフットパイルを用いた。

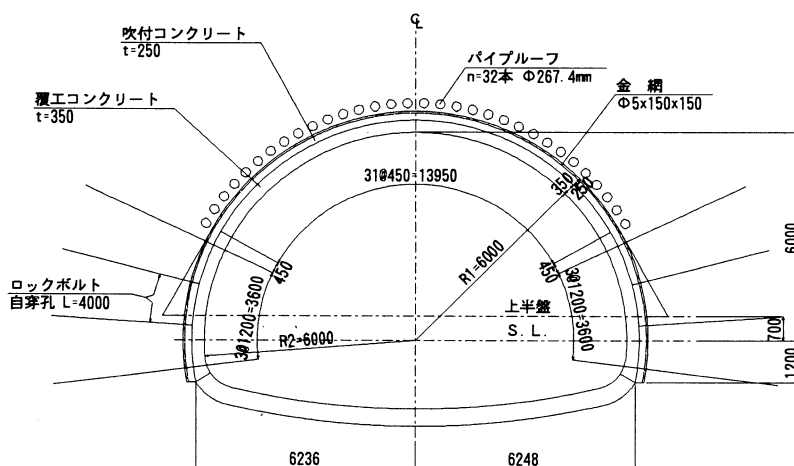


図-2 支保パターン（パイプルーフ区間）

キーワード：地表沈下、長尺先受け、先行変位

連絡 先：清水建設株式会社長野土木営業所 姥神トンネル作業所 TEL 0264-36-1110 FAX 0264-36-3660

2. 地表沈下の特性曲線

本トンネル坑口区間は神谷断層内に位置する。その中でも坑口部45m間は土被りが4～5mとほぼ一定かつ非常に小さく、天端安定の補助工法としてパイプルーフを採用している。しかしパイプルーフを施工したにもかかわらず、坑口から20mまで上半掘削が進行した時点で、掘削断面とパイプルーフの間の地山が崩落するという現象が発生した。パイプルーフによる防護作用のため、崩落はそれ以上の進行は見せなかったが、パイプルーフ鋼管が一部露出するという状態となった。そこで追加の天端対策工として、パイプルーフ下部の地山に対して注入式フォアポーリングを打設した。さらに地山変位も大きな値を示したため、フットパイルを追加した。これらの補助工法により天端崩落を抑制することが可能となったが、21m地点からはさらに切羽面からの崩落が発生し、フェイスボルトの打設が必要となった。フェイスボルトは天端安定対策工がパイプルーフおよび注入式フォアポーリングから注入式長尺鋼管フォアパイリング（AGF）となった以降も継続して施工が必要となり、AGF区間27m中11m分はフェイスボルトを併用した。AGF区間終了後は、注入式フォアポーリングを用いて坑口区間（L=103m）の施工を完了した。

図-3に各補助工法を適用した代表断面における地表沈下の特性曲線を示す。グラフの横軸は切羽と計測断面の距離をトンネル径（ $D=13\text{m}$ ）で、縦軸は地表沈下量をその断面における最終沈下収束量で除して正規化したものである。切羽通過時の変位比率は、トンネル内空計測における先行変位率とほぼ等しいと考えられる。

一般に大径で剛性の高い先受け工を実施するほど、先行変位率は抑制される。通常 NATM で土砂地山を掘削した場合、先行変位率は40～60%程度を示す。また段丘堆積物、砂層中の道路トンネルの掘削においてAGFを施工した事例では、先行変位率は20～30%となった。しかし今回の事例においては、パイプルーフ区間における先行変位率は坑口部では20%程度であるが、20m以奥は50～60%を示している。またAGF区間における先行変位率は10～30%となっており、AGFについては想定される範囲内であるものの、パイプルーフ区間における先行変位量が非常に大きくなっている。これは坑口より20m以奥のパイプルーフ区間においては天端および切羽崩落発生のため注入式フォアポーリング、フェイスボルトを併用しているためと考えられる。

3. まとめ

坑口が未固結地山や断層破碎帯等の場合、切羽が崩落すると先受けの剛性によらず先行変位が増大することが分かった。また剛性の高い先受けは崩落がない場合、先行変位が大きく減少することが分かった。よって地表沈下抑制のためには、先受け工の部材とその周辺の地山を注入により一体化させ、地山アーチの形成を確実に行うことが必要である。

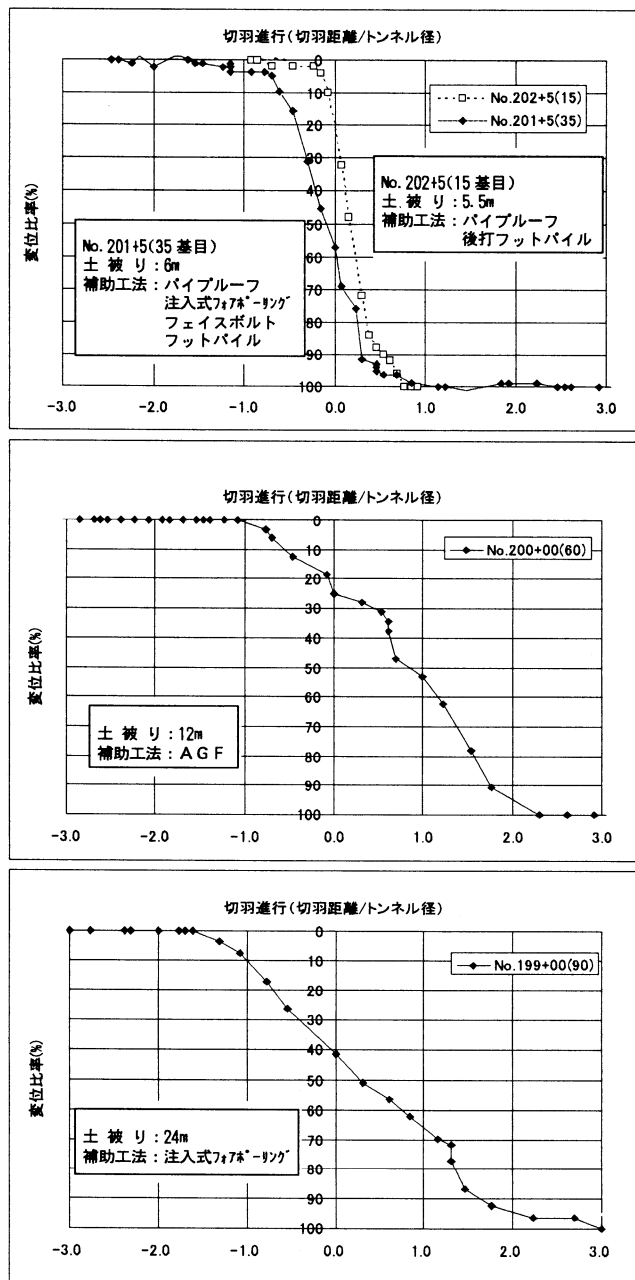


図-3 地表沈下特性曲線