

急傾斜面におけるトンネル坑口部の施工について

Construction of a Tunnel Entrance at a Steep Slope

鈴木 哲則 Tetsunori Suzuki (鳥取県)
 加川 博康 Hiroyasu Kagawa (㈱鴻池組)
 吉田 克弥 Katsuya Yoshida (佐藤工業㈱)

榎峠トンネルは、急峻な峠の県道の交通困難を緩和するために計画されたバイパスのうちのトンネル工事である。このトンネルの東側の坑口部は、土被りが10mと浅く、急峻な地形の沢部にあり、地質も吸水膨張性を有する新生代第三紀の泥岩であった。このため、坑口付けに際しては、原設計の①親杭横矢板、②アースアンカー、③パイプルーフに加え、上部県道の地表面沈下、クラック、地滑りに対して、④押え盛土（ソイルセメント）、⑤押え盛土（発砲モルタル）、⑥抑止杭を施工し、無事トンネルを掘削した内容について報告している。

キーワード：トンネル、施工、急傾斜面、坑口（IGC：B5/H9）

1. はじめに

主要地方道鳥取福部線は、鳥取市と隣の福部村を結ぶ幹線道路である。このうち、鳥取市と福部村境にある榎峠は、急勾配で急カーブが連続し、冬期にはスリップ事故が多発し、夏期には県外からの海水浴の車で、交通渋滞が多発している。このため、峠部分の交通困難を緩和するために、バイパスが計画され、この峠部分のトンネルを榎トンネル工事として、平成5年より工事が着手された。

このトンネルの福部側の坑口は、沢を埋めて造られた県道の直下にして、地形的に不利な条件にあり、地質が新生代第三紀の泥岩で、吸水膨張が考えられるので、地滑りが懸念された。そこでこのような条件下でのトンネルを施工するために、①親杭横矢板、②アースアンカー、③パイプルーフ工、④押え盛土（ソイルセメント）、⑤押え盛土（発砲モルタル）、⑥抑止杭などの、坑口部の対策を行ない無事トンネルを掘削した。本報告は、これらの坑口部の施工について述べる。

2. 榎トンネルの地形、地質概要¹⁾

榎トンネルは、鳥取市の東約4Kmの山間部に位置している。現在の県道は、鳥取平野の東端を山裾沿いに走り、J R山陰線とほぼ並走しているが、本トンネルはこの現道と法線はほぼ同じで、約20m下で水平方向にも約20m離れている。鳥取市百谷付近の地形は、山間盆地に面する山体斜面や急峻な斜面を

形成している（図-1）。地質は、新生代第三紀新世前-後期の鳥取層群相当の堆積岩類・鮮新世相当の火山岩類に二分される。今回報告する福部側は、表土には埋土が堆積しており、その下部は、崖錐成堆積物と強風化凝灰岩が薄い層をなし、さらにその下部には強風化泥岩が存在する。このうち泥岩は事前調査によると、強風化帯が厚く吸水膨張性軟岩で、吸水膨張により強度低下や地山強度比が小さいため、ゆるみ領域の拡大とトンネル掘削時には補強工法が必要であるとされていた。

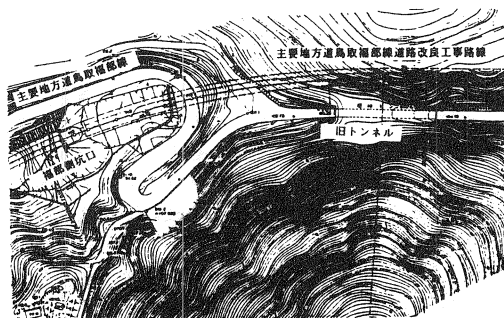


図-1 福部側坑口部の平面図 s=1/1000

3. トンネル坑口部の施工

近年、山岳トンネル工法は技術の進歩により都市部への施工にも応用されるようになってきた。榎トンネルは山岳と都市との中間的な位置にあるといえる。都市部の地層は、沖積世の砂層、洪積世の砂礫層といった含水未固結地山や、崖錐層などトンネル施工が非常に困難な地山条件であることが多い。坑口部は、坑口付け時に地山を切り込むことで、均衡を保っていた地山がバランスを失い、地滑りを誘発する恐れがある。さらに土被りが1D(10m)で県道直下に坑口部が位置するため、グラントアーチが形成されず、トンネルの支保は剛性を高め地表面沈下を防止して、直上の県道の安全を確保する必要があった。このため、坑口付けの際、地表面沈下防止、地滑り防止等の対策工が必要となる。

本トンネルの原設計の考え方から、実施工における変状と対策について図-2に示す。

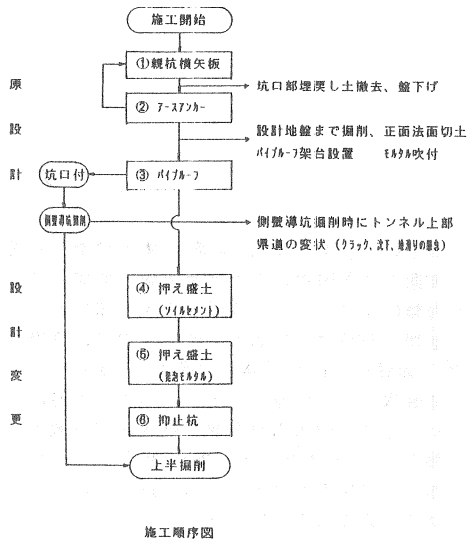


図-2 施工のフロー

当初の設計では、まず埋戻区間60mを①親杭横矢板と②アースアンカー工からなる土留めにより開削し、埋土を撤去し、坑口正面を整形しモルタルを吹き付ける。次に、③パイプラーフ(1=40)を施工することで、上半掘削時の地山の緩みを抑え、地表面沈下を抑止するという計画であった。実施工では、③パイプラーフ工まで終了した時点で坑口部正面より集中湧水 $Q_{max}=200\text{ml}/\text{min}$ があり、地山中に水みちの存在が確認された。その後、側壁導坑(片側40m)の施工にとりかかったが、右導坑掘削時に右側部より押し出しを受けたので、ストラットを設け底版コンクリートを打設しながら施工を続けた。

このとき、図-3,4のように上部県道にクラックが発生し、同時に沈下が著しく進行したため、右導坑の掘削を終了した。

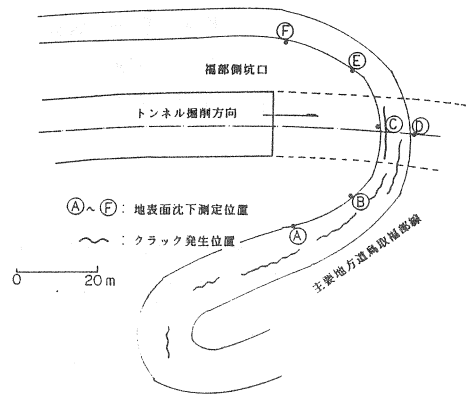


図-3 計測の位置図

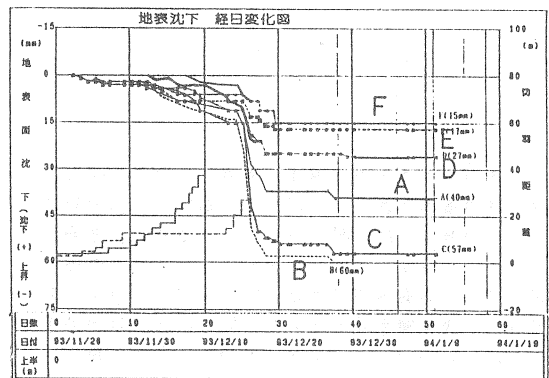


図-4 地表面沈下図

これらの原因については、(I)トンネル進行方向に対して、パイプラーフを越えた奥からの大規模な滑り。(II)トンネル右斜め方向は、急峻な地形で、工事の切盛境界にあたり、これまで釣合状態にあった地山が、右導坑の掘削によって応力が解放され、滑動し、変状した。という2点が考えられた。

このため、現設計のままでの施工は不可能と判断し、正面からの滑りは押え盛土で抑止し、抑止杭によって横からの滑りを抑止することにした。

以下に、坑口付けの施工について述べる(図-5)。

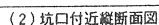
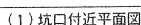


图-5 对策工位置图

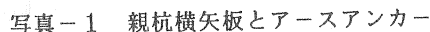
3-1. 親杭横矢板工 (写真-1)

親杭横矢板による土留めは、開削工法では一般に用いられる工法で、都市部では地下鉄工事などでよく見られる工法である。本トンネルで使用した親杭は、H-350×350で平均 1 ピッチ1.5mで、親杭間にも70mmの木板を使用した。打設はパイロハンマーにて行なった。

通常、設計の深さによって腹起し、切梁を入れるが本トンネル工事の場合、掘削のための機械の出入りなどに支障をきたすため、切梁の代わりにアースアンカーで腹起しを抑えている。

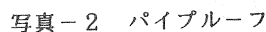
3-2. アースアンカー (写真-1)

アースアンカーは、VSL工法でP C鋼線を束ねて緊張するものである。アンカーによる土留めは所要の耐力を有する必要がある、試験施工により $l=20\text{m}$ 、 $P=100\text{t}$ の緊張力とした。定着はセメントミルクによって行なったが、緊張時には耐力を有しているものの、地山のクリープにより時間の経過とともに、耐力が減少した箇所もあり、再緊張が必要な部分もあった。また、アースアンカーの施工のため、掘削矢板掛けとアンカー工を交互に行ないながら掘下がつた。



3-3 パイプルーフエ (写真-2)

パイプルーフ工は $\phi 508$ 、 $l = 40\text{m}$ 、 $n = 21$ 本と非常に大規模な工事である。トンネルの線形は、この部分は $R = 550$ の単曲線区間であるため 40m で最大 36cm 偏心する。また、勾配はバーチカル部分にあり、水平、鉛直、両方向に精度が要求された。このため、掘削は下水道工事の小口径ヒューム管（ $\phi 250 \sim 600\text{mm}$ ）布設を目的で施工されている「オーガー掘削推進工法」（オーケーモール方法）を採用し、ヒューム管の代わりにパイプルーフ管（鋼管）を置換推進した。推進方向のチェックはオーガービットに装置されたターゲットをトランシットで観察し、形状が斜めになった先端シューを回転させ、先端にかかる抵抗の差を利用して管全体の方向を変えた。また、鋼管推進後は鋼管内にモルタルを充填して剛性を高めた。



3-4 押え盛土（ソイルセメント）（写真-3）

押え盛土工は盛土材の重量により滑りに抵抗するものであるが、今回の施工ではパイプーフ上部の滑りに抵抗する重量が必要となったため $V=3850m^3$ の施工を行なった。また元設計では明り巻きとしてアーチカルバートが計画されていたが、押え盛土により、盛土部にトンネルを掘削するという変更が生じた。よって、この盛土に地山アーチ形成のための強度を持たせるためソイルセメントとして $90kg/m^3$ のセメントを添加し、一軸圧縮強度 $q_u=10kgf/cm^2$ を目標とした。実施工ではソイルセメントのポリウムが大きく、セメントの硬化熱が上昇して内部ではかなり良好なソイルセメントとなった。施工は袋詰めセメント（1t/袋）を、土砂 $a\ m^3$ に対して b 袋分（ $90kg/m^3$ となる様に）練り混ぜヤードに投入し、バックホーにてかき混ぜ、バックホーによってかき上げ敷均す（ $t=30cm$ ）。敷き均されたソイルセメントはブルドーザーにより転圧され所定の高さまで盛り上げた。

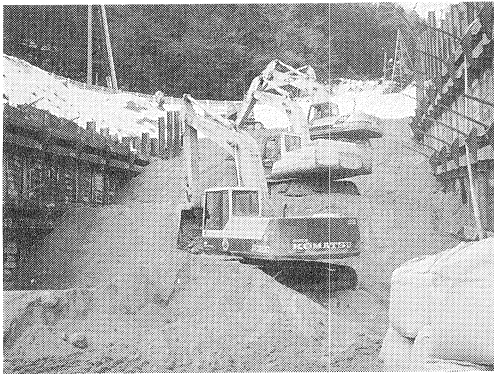


写真-3 押え盛土施工状況
（ソイルセメント）

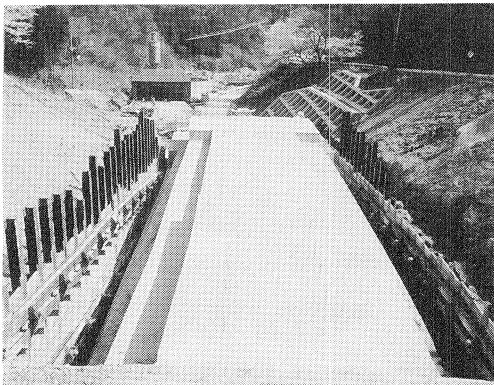


写真-4 押え盛土施工状況
（発泡モルタル）

3-5 押え盛土（発泡モルタル）³⁾（写真-4、図-6）

押え盛土としての発泡モルタルは、自重は軽いので重量による抵抗性は小さいが、構造物に対する死荷重は小さい。また、配合により強度が調整でき発泡剤の量によって発泡率をかえることが可能である。施工はセメントサイロ、モルタル製造のプラント、発泡剤添加装置、注入ポンプと比較的大がかりとなるが、本トンネルにおいては、吹付コンクリートの製造設備をそのまま使用した。また本工法を採用した理由として、①側方のすべりに対してもう一方の土留めへ応力を伝達することで、土留め壁の安定を確保できる。②軽量で剛性が高いため、アーチカルバートの巻厚を薄くできる。③そのため、支保構造がトンネル部と同程度の支保で済み、発泡モルタルと一体となって地山アーチを形成することができる。④工期及び経済性で有利であるという4点であった。

施工順序は、明り巻のトンネルを施工した後外周に型枠を組み立て、発泡モルタルを打設した。打設は、左右均等に打上げることとし、一回の打上がり高さ1m以下とした。さらに、計測管理により常時管理した。なお、この発泡モルタル打設における計測管理として明り巻の支保工にひずみゲージ貼付し、軸応力と曲げ応力を算出し、予め解析した計算値と比較することで安全性を管理した²⁾。この結果、発泡モルタル打設時に異常なく無事埋め戻しが終了した。

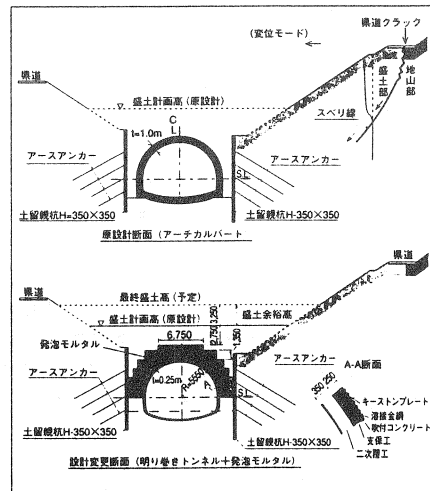


図-6 原設計および明り巻きトンネルの比較

3-6 抑止杭 (写真-5)

抑止杭は、地滑り対策として用いられる工法である。本トンネルにおいては、福部側坑内で右斜め前方からの地滑りが、傾斜計、地中変位計などによる計測や道路面のクラック、地表面沈下などの観察により懸念された。坑口正面に対しては押え盛土（ソイルセメント）横方向に対しては押え盛土（発泡モルタル）で対応したが、斜め前方からの滑りに対しては、今後のトンネル掘削において地山の安定性が失われる可能性があるため、トンネルの掘削時の安定を目的として、効果、施工性、経済性、工期を総合評価して法枠とアンカー、垂直縫地、薬液注入といった工法より適していると判断した。

施工は、 $H=300 \times 300$ 、 $L=19.21m \times 42$ 本、2mピッチ千鳥で掘削は泥岩のN値（50）よりオーガーでの掘削は不可能と判断したのでダウンザホールハンマーによる打撃により泥岩を細砕し、エアによりスライムを除去した。H鋼はクレーンにて吊り下ろし、杭周囲をセメントミルクで充填した。頭部は、鋼材にて連結し巻きコンクリートによって一体化させた。



写真-5 抑止杭施工状況

4. まとめ

トンネル工事に於いて難しいもののひとつが事前調査である。事前調査には、トンネルの路線を決めるためのものと、路線が決定した後、設計、施工計画のための調査がある。トンネルは線構造で地中に築造する特徴を有しているため、全線にわたる調査は、工期、経済的にも困難である。また、トンネル工事は「一寸先は闇」とよく言われるように事前調査を行なっても実際の切羽を見ると異なった結果であることもしばしばある。

本トンネルの坑口部のように事前調査を行なっても予想された変状とはかなり異なる挙動が発生することがある。このため、実施工においては計画

段階で考えられる現象に対して代替案を用意しておく必要がある。

本トンネルの施工においては、原設計の土留め工としての親杭横矢板とアースアンカー工及び地表面沈下防止策としてのパイプ工の施工を行なったにもかかわらず、なお地表面沈下と地滑りが問題となった。この問題に発注者、設計コンサルタント、施工者が即座に検討会を開催し、緊急対策として押え盛土（ソイルセメント）及び地滑り防止対策として押え盛土（発泡モルタル）と抑止杭の対策工を行なって上部県道の安全確保とトンネルの安全確保がなされた。このように、発注、設計、施工の三者が一体となって早急に問題に対処し、工事の安全と品質、経済性を確保することが非常に重要になる。

最後に対策工に対して適切な助言を頂いた、(株) 鴻池組技術部の方々に謝辞を述べるとともに今後このような坑口部のトンネル施工に対して参考になれば幸いである。

- 1) 一般県道福部鳥取線地質調査報告書, 1990
- 2) 嶋村・山田・日高・加川: 発泡モルタル埋め戻し時の挙動に関する考察, 土木学会 年次講演会, 1994
- 3) 急傾斜面におけるトンネル坑口部の施工, (株) 鴻池組 エンジニアトピックス-2-15-178, 1995