

山岳部トンネル坑口における斜坑門工の適用

山口大学大学院 学生会員 ○辻田 彩乃
 山口大学工学部 正会員 進士 正人
 山口大学工学部 F10-会員 中川 浩二

1. はじめに

坑口部において、坑門はトンネル軸線と直角をなす事例（以下、「通常坑門」と呼ぶ）が一般的である。しかし、橋台等の近接構造物がある場合や坑口背後斜面の勾配が急峻な場合には、トンネル軸線直角方向に対しある程度傾斜角度を持った坑門（以下、「斜坑門」と呼ぶ）の適用が有利となることも考えられる。

本研究では、これまで収集した斜坑門の事例を整理することにより、斜坑門の構造的特徴や問題点の把握を行った。そして、数値解析を用いることにより、斜坑門の構造安定性の検討を行った。

2. 斜坑門施工事例調査

公表文献あるいは施工報告等として入手できた斜坑門施工事例（施工予定も含む）16件に関して整理し、斜坑門の構造的特徴ならびに問題点の把握を行った。通常坑門と斜坑門との一般的な位置関係を図-1に示す。ここで、トンネル軸線の直角方向と坑門のなす角を「斜角」、斜面の平均的な等高線のなす角を「等高線交差角」と定義する。

(1) 地山との傾斜状態

施工事例における斜角と等高線交差角との関係を図-2に示す。この図より両者には以下の3点が考察される。

等高線交差角と同等、もしくは、それよりも小さい角度で斜角が設定されている。

等高線交差角が 20° 未満では斜坑門の採用がない。これは、等高線交差角が 20° 未満の場合は斜面に対してトンネルがほぼ直交しており通常坑門を採用しても特に大きな切土、基礎工等が発生しない可能性が高いためと考えられる。

等高線交差角が 40° 以上の場合では、これと同等あるいは 40° 以上の坑門の斜角を採用した事例がみられない。これは、斜角を 30° 程度とすることにより、切土、基礎工を小さくしつつ斜角を 40° 以上とすることによって生じる坑門が巨大化する等の問題点を回避したものと考えられる。

これらより、一般的な斜坑門の斜角の採用限度は 30° 程度と考えられる。

(2) 支保工の建て込み

支保の建て込みには、図-3(a)、(b)に示すように2通りに大別される。図-3(a)は、通常通りにトンネル掘削を行い、その後坑門工施工の際に坑口の斜角に合わせて支保工を切断する工法（以下、「通常支保形式」と呼ぶ）である。これに対し図-3(b)は、左右の支保間隔を調整することで斜角に合うように徐々に支保工施工角度を調整する工法（以下、「斜め支保形式」と呼ぶ）である。

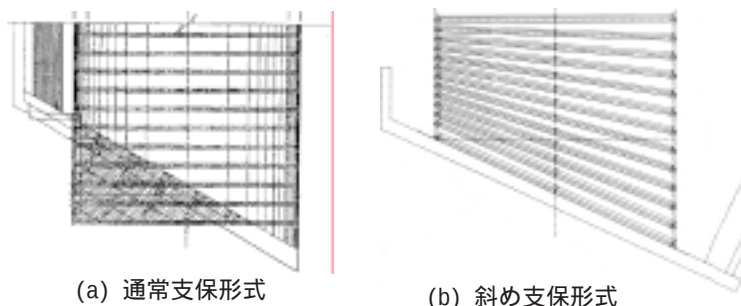


図-3 支保工形式

トンネル掘削方向（掘進が地山方向であるか坑口方向であるか）によっても、両工法による施工性の違いが考えられるため、それぞれの施工方法の特徴を表-1にまとめた。

キーワード 斜坑門, 斜角, 構造安定性

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台2丁目16-1 山口大学大学院 理工学研究科 TEL 0836-85-9332

3. 斜坑門採用の問題点

(1) 構造安定性

斜坑門を採用することにより、トンネル断面の形状がより楕円に近く偏平率が小さくなるため地山が不安定化しやすくなる。そのため坑門工や支保工の応力が増大し、それぞれの耐力の問題が発生することや、天端沈下などの変位が大きくなることが推測される。

従って、斜坑門採用にあたって、支保工応力や変位がどの程度生じるかを事前に検討するため3次元解析などを行い、それらが許容範囲以内であることを確認し、この構造安定性に関する問題を事前に検討することが考えられる。また、坑門工の大きさや支保構造の違いなどによる力学的安定性の検討を行うことも有意義である。しかし現実には、斜坑門は一般に急峻な斜面に用いられている事例がほとんどである。この場合、地山は堅硬な岩盤であることが多いため構造安定的問題は少なく、人工地山の安定性や置換コンクリートの支持地盤の安定問題が坑門全体に与える影響が大きいと考えられる。さらに、坑門そのものが大型化・偏平化するため、地震時の安定性についての照査も必要になると考えられる。詳細の数値解析結果については紙面の都合上当日発表する。

(2) 施工性

図-3に示す通常支保形式では、斜角に合わせ支保工をそれぞれ施工後に切断する必要がある。また斜め支保形式では、トンネル断面形状が楕円となり偏平率が小さくなるため地山が不安定化する他、支保工の建て込みが一基ずつ異なるため施工が煩雑となる問題点を有する。

その一方、坑口切土法面では、切土範囲や切土高さを小さくすることができるため、その施工範囲を縮小できる利点がある。これにより、長大斜面の維持管理や永久法面の規模を縮小することができるため、周辺環境との調和が図りやすく、景観を損なうことが少ない。

これらの損失を評価して総合的な施工性を検討する必要があるが、施工上においての大きな問題はない。

(3) 走行性

斜坑門とすることにより生じる坑門工左右の遠近差には、坑門工に明暗をつけたりすることで、走行性の違和感を緩和させる工夫などがなされている。また、高速道路のような一方通行のトンネルでは、出口側に限定して斜坑門を採用することにより、走行性の違和感を軽減する考え方もある。走行性を検討する方法としてCGなどによる走行シミュレーションがあげられ、それぞれの斜角における走行性の定量的評価を行っていくことも有意である。

実際に斜坑門を施工した4トンネルを走行した。筆者らの印象では、図面上の20°や30°の斜角を有する斜坑門の走行性は通常坑門と変わらず、問題点と取り上げられているような違和感はなかった。また、それらのトンネルのメンテナンス技術者に対するヒアリングにおいても、ほぼ全員がそれらのトンネルが斜坑門であることを認識していなかった。したがって、斜坑門における走行性は、現実にはあまり問題にはならないと考えられる。

4. 結論

構造物は走行者の安全を確保することが第一である。このため、斜坑門採用時の問題点として挙げた構造安定性、施工性、走行性の中で構造安定性が最も重要な問題となる。従って、坑門工の力学的安定性を今後明らかにする必要がある。斜坑門は偏平率が小さくなるため、外部荷重に対する耐久性が懸念される。しかし、斜坑門の支保工に作用する応力や切土に伴う周辺地山の挙動が明らかになれば、斜坑門の構造安定性に対する不安要素が軽減される。これらを把握するためには、数値解析を行う必要がある。これらの問題点を解決することにより、斜坑門は特殊な工法ではなく一般的な工法になる可能性があると思われる。

参考文献

- 1) 田名瀬寛之・法邑信夫・西尾進・宮本靖：急崖地に斜交して坑口部を施工，トンネルと地下，Vol.30，No.9，pp.19-25，1999.9
- 2) 辻田彩乃・進士正人・中川浩二：山岳部トンネルにおける斜坑門の適用性，土木学会中国支部研究発表会発表概要集，pp.605

表-1 掘削方向と支保形式の違いによる

斜坑門施工方法の特徴

掘削方向		通常支保形式	斜め支保形式
		通常トンネルの掘削サイクルで施工可能。	低土被り箇所の鋼アーチ支保工の集中配置による地山の安定化。
坑口方向 (内から外へ)	長所		
	短所	鋼アーチ支保工の切断による支保工全体の剛性低下の懸念。支保工脚部の確保困難。	切羽が坑口に近いほど、支保工断面が大きくなり、不安定となる可能性。設置位置に合わせて支保部材をそれぞれ断面形状を変えて製作する必要あり。迎え掘り、導坑による事前貫通の検討。
地山方向 (外から内へ)	長所	通常トンネルの掘削サイクルで施工可能。	坑口部の明かり掘削の最小化。地山をできる限り傷めずに坑口付けが可能。
	短所	地表部側に通常坑門と同様な捨て枠をとるための足場確保。鋼アーチ支保工の切断による支保工全体の剛性低下の懸念。	坑口に近い断面ほど偏平な断面となり不安定になる懸念。支保部材のそれぞれの断面形状を変えて製作。