

9.2.7 坑口の設計

(1) 坑口部の設計

ア 一般事項

トンネルの坑口部は一般に土かぶりが小さく、地山がアーチ作用によって保持できない部分であり、通常、図-9.2.12に示すように、土かぶりが $1 \sim 2D$ (D は掘削幅)の範囲とされている。ただし、坑口部の範囲は、地形・地質・施工条件等によって異なり、地山条件が良好な堅岩の場合では土かぶりが小さくてもよいが、地山強度の小さい土砂地山等では大きな土かぶりが必要となる。したがって、個々のトンネルの地山条件を考慮してその範囲を決定することが大切である。

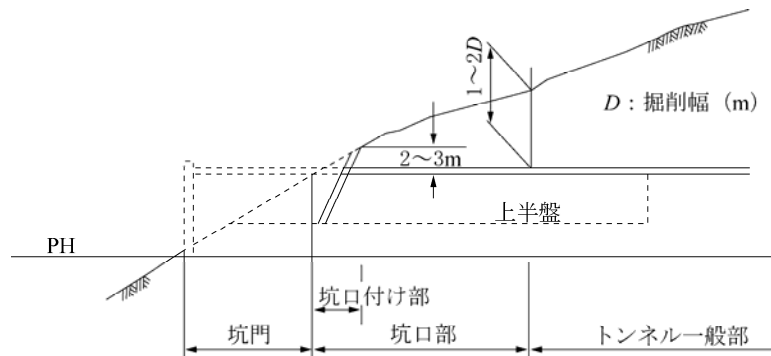


図-9.2.12 標準的な坑口部の範囲¹⁶⁾

イ 坑口部の施工時に予想される問題点

坑口部は地表面に接することから、斜面崩壊・地すべり・岩盤崩壊・偏土圧・地耐力不足・切羽崩壊・地表沈下等のような問題に遭遇することが多い。

このため、坑口部のトンネルの設計に当たっては、地形・地質、気象条件等を詳しく調査して、これらの問題がある場合には、予想される現象に応じて有効な対策工を検討する必要がある。

(ア) 斜面崩壊、地すべり、岩盤崩壊

トンネル坑口部の施工が斜面崩壊・地すべりを誘発する要因としては、トンネル掘削による周辺地山の緩み、地すべり面脚部の切り取り、地すべり面脚部のトンネル掘削等がある。

このようなトンネル坑口部の掘削等によって、斜面の安定が懸念される場合は、斜面安定対策工の設計が必要となる。この場合、対策工の検討では、トンネル掘削による周辺地山の強度の低下防止と、抑止力の向上を図ることが重要となるが、トンネル構造物を抵抗力としては見込まないものとする。

また、坑口部が急崖を形成する岩盤斜面に位置する場合には、坑口部に影響を及ぼすと予想される範囲について岩盤崩壊に関する調査を行い、必要な場合には対策事例を参考に適切な対策を施さなければならない。岩盤崩壊の対策工としては、崩壊が予測される箇所の岩盤を取り除く方法、斜面に固定する方法、崩壊物を安全な方向へ逃がす方法、待ち受け防護工を設置する方法等があり、地形・地質や自然環境等の条件を考慮した慎重な対応が必要である。

(イ) 偏土圧

「9.2.2 基本設計 (3) 坑口位置」に示した斜面とトンネルとの位置関係において、②斜面斜交型、③斜面平行型では、トンネル横断面に偏土圧が作用して、トンネルが安定化しない場合があり、保護切取りや押え盛土によって土圧のバランスをとる必要がある。急斜面部では、抱き擁壁と押え盛土等による対策をとる例が多い。図-9.2.13に抱き擁壁・押え盛土による安定対策工法の例を示す。

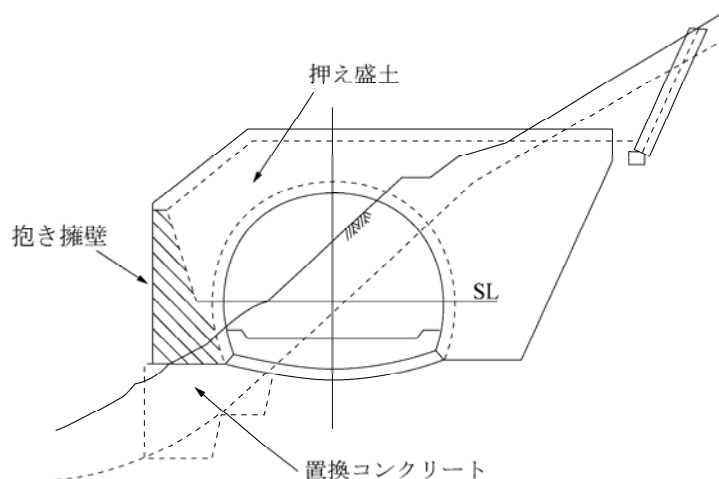


図-9.2.13 抱き擁壁・押え盛土の対策例¹⁶⁾

(ウ) 地耐力不足

斜面安定のためにはトンネル坑口を切り込むことは不利であり、トンネル坑口を手前に出ることが多いが、この場合にはトンネルの基盤が表土や強風化層に入り地耐力不足による沈下や変状を起こすことが考えられるため、必要な地耐力が得られるように施工法も含めた設計を行う必要がある。

(エ) 切羽崩壊

坑口部では、一般に地山の強度と固結度が低く、またグランドアーチによる保持が行われないことが多く、切羽崩壊を起こす例がある。十分な強度を有する支保構造を設計するとともに、安定度が悪い場合には先受け工、鏡ボルト・鏡吹付けコンクリート等の適切な対策工を採用する必要がある。

(オ) 地表面沈下

坑口部の地表面に沈下の制限が必要な物件がある場合には、上記各項目の問題を起こさないように十分な対策を計画するとともに、必要に応じて垂直縫地工、パイプルーフ工、先受け工等の適切な対策工を採用する必要がある。

(カ) 気象災害

坑口部は、土石流、異常出水、雪崩等を受けない位置に設計することが重要である。やむを得ず、このような位置に坑口を設ける場合には、災害時の影響を考慮して十分な対策を実施しておく必要がある。

坑口部施工時に予想される現象とその対策工をまとめると、表-9.2.14 となる。

表-9.2.14 坑口部施工時に予想される現象と対策工法¹⁶⁾

対 策 工	予想される現象	斜面崩壊	地すべり	岩盤崩壊	偏土圧	地耐力不足	切羽崩壊	地表面沈下	湧水	備考
垂 直 縫 地 工	◎	◎		◎		○	◎			掘削前
法 面 吹 付 工	◎									〃
法 面 補 強 ボ ル ト	◎			○						〃
押 え 盛 土	○	◎		◎						〃
抱 き 擁 壁	○	◎		◎						〃
抑 止 杭	○	◎								〃
ア ン カ ー 工	○	◎	○	○						〃
パ イ プ ル ー フ 工	○			○		○	◎			〃
水 抜 き (坑 外 か ら)	○	◎				○			○	〃
薬 液 注 入 工 (地 表 か ら)	○			○	○	○	○	○	○	掘削前、掘削中
〃 (坑 内 か ら)					○	○	○	○	○	掘削中
先 受 工	○					◎	◎			〃
鏡ボルト・鏡吹付けコンクリート						○	○			〃
一時閉合 (仮インバート)				◎	◎		◎			〃
側 壁 導 坑					◎		○			〃

注) ◎：有効な工法 ○：場合により有効な工法

リ 坑口部支保工

トンネル坑口部の支保構造は、一般部と比べて剛な支保構造とするのが一般的であり、表-9.2.15 は内空幅 8.5～12.5m 程度の通常断面トンネルの支保構造の標準的な組合せの目安を示すものである。一般的には上部半断面工法を用いるが、地山が良好な場合には補助ベンチ付全断面工法を用いることもあり、反対に支持地盤の地耐力が小さい場合等には側壁導坑先進工法、切羽の自立性や地表面沈下等が問題となる場合には中壁分割工法等を用いる場合もある。坑口部では、個々のトンネルの地山条件や坑奥の一般部の施工法等を考慮した合理的な施工法を選定する必要がある。

側壁導坑の支保構造については、地山条件を考え個別に設計するものとする。参考として図-9.2.14 に側壁導坑の例を示す。側壁導坑断面は、本坑上半支保工の支持高さとして想定される作用荷重及び支持地盤の地耐力等から側壁コンクリートの所要な形状（側壁厚さ、底盤コンクリート幅・厚さ等）を決定し、これを包含する形状とする。

坑口部にはインバートを設置し、以下の理由により覆工とともに一般的に、単鉄筋で補強した構造とし、主筋として直径 19mm 以上 (@20cm 程度)、配力筋として直径 16mm 以上 (@30cm 程度) を考慮するものとする。なお、鉄筋による補強に代えて、鋼繊維補強コンクリート等を使用することもできる。

- ① 全土かぶり荷重が作用すると考えられ、荷重が大きく、かつ地盤反力も不均衡となるおそれがある。
- ② 温度変化、乾燥収縮等の影響が大きい。
- ③ 地震の影響を受けるおそれがある。

なお、土砂地山の区間が長い場合や長期にわたり偏土圧の影響を受けることが予想される場合、また地表に他の構造物が近接する場合等の特殊な条件で構造計算が必要と判断される

場合には、「9.2.5 (7)覆工」を参照し、構造設計を行う。

表-9.2.15 坑口部の標準的な支保構造の組合せ¹⁶⁾

(通常断面トンネル内空幅 8.5～12.5m 程度)

掘削工法		1 掘進 長 (m)	ロックボルト (フォアポーリング)		鋼アーチ支保工			吹付厚 (cm)	覆 工 厚		
			長さ (m)	施工間隔		上半部 種類	下半部 種類		建込間隔 (m)	アーチ・ 側壁 (cm)	インバート (cm)
				周方向 (m)	延長方向 (m)						
上部半断面工法 補助ベンチ付 全断面工法		1.0	4.0 (3.0)	1.2 (0.6)	1.0 (1.0)	H-200	H-200	1.0	25	35	50
側壁導坑先進 工法	本坑	1.0	4.0 (3.0)	1.2 (0.6)	1.0 (1.0)	H-200	—	1.0 以下	25	35	50 以上
	導坑	1.0	2.0 (2.0)	1.0 (0.6)	1.0 (1.0)	H-125		1.0	10	—	—

() フォアポーリングを示す。

- 注 1) ロックボルトは側壁部付近に設置し、状況に応じてアーチへ打設範囲を拡大する。ただし、ロックボルトの長さは 4m を標準とする。
- 2) フォアポーリングは、天端 120° の範囲に切羽天端の安定化のため必要に応じて設置するものとし、その材質及び工法等の選定に当たっては、現地条件を考慮し決定するものとする。
- 3) 金網は、上部半断面工法、補助ベンチ付全断面工法の場合は上・下半部に、側壁導坑先進工法の場合は上半部に設置するのを標準とする。なお、鋼繊維補強吹付けコンクリート (SFRC) 等を用いる場合はこの限りではない。

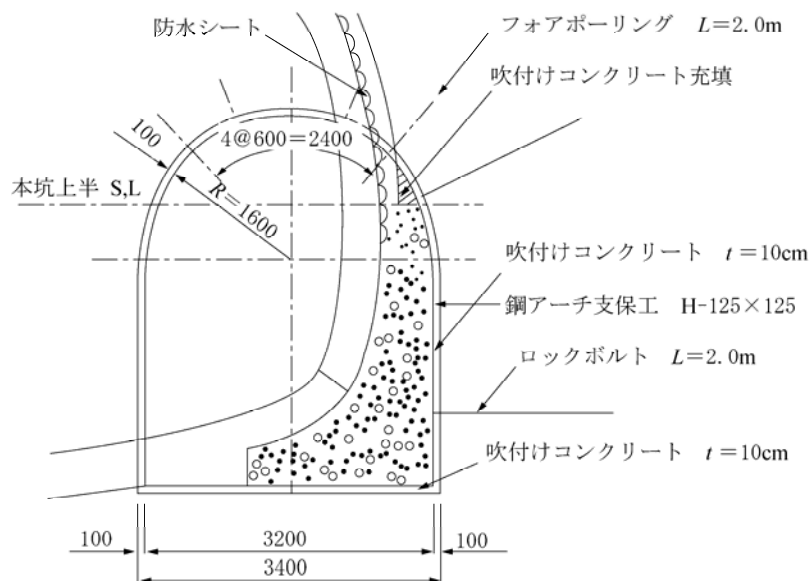


図-9.2.14 側壁導坑の設計例¹⁶⁾

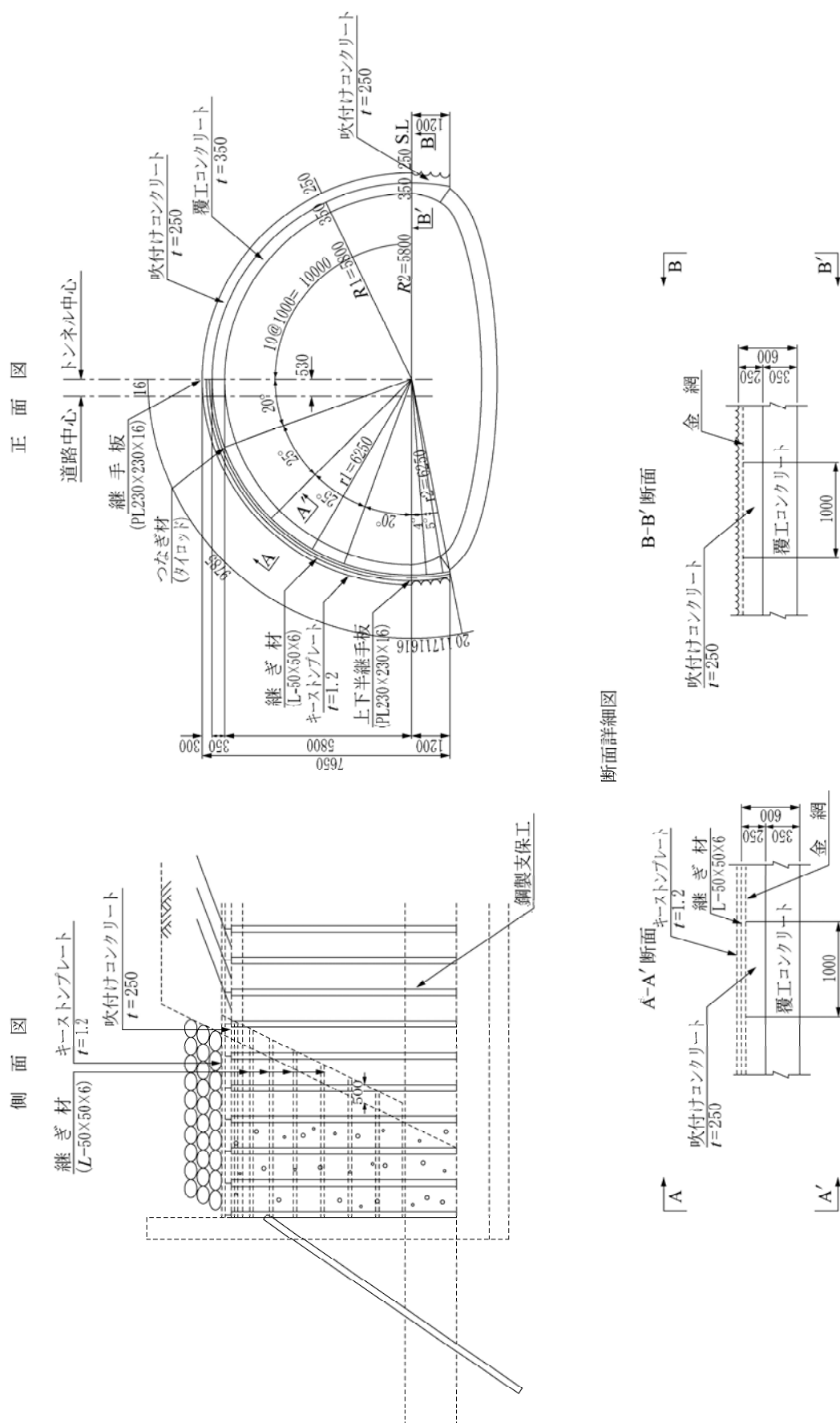
エ 坑口付け部の設計

坑口付けとは、坑口部始点位置においてトンネル掘進を開始するために必要な作業で、通常斜面の切土を伴う。坑口付けの範囲は、この切付けた斜面と上半盤面（スプリングライン）と交差する位置を起点に、その前後の坑口付けに必要な明かり支保工を設置する区間をいう（図-9.2.12 参照）。

坑口付けに当たっては、一般に不安定な地山状態であることが多いため、坑口斜面の安定度、地耐力、トンネル軸線と斜面の関係、施工性等を十分に検討した上で適切な設計を行うものとする。

トンネル掘削が可能な最小必要土かぶりは地山性状によって異なるが、一般に覆工天端上から2～3mが確保できればよい。トンネル延長を短くしようとして、坑口部を山腹深く切り込むと、坑門背面の切取り斜面が大きくなり、斜面の崩壊や地すべり等を引き起こすおそれがある。特に地震時におけるトンネル災害は、坑口部の斜面崩壊によるもらい災害が多いことから必要以上に切取り斜面が大きくならないように留意する。

坑口付けの切取勾配は、坑口付け部の施工性を考慮すると急勾配とすることが望ましく、地山状況にもよるが、通常1:0.3～0.5の勾配が多く、必要に応じて法面コンクリート吹付けやロックボルト等の法面補強を行い切土面の安定を図らなければならない。坑口付けの設計例を、図-9.2.15～図-9.2.17に示す。



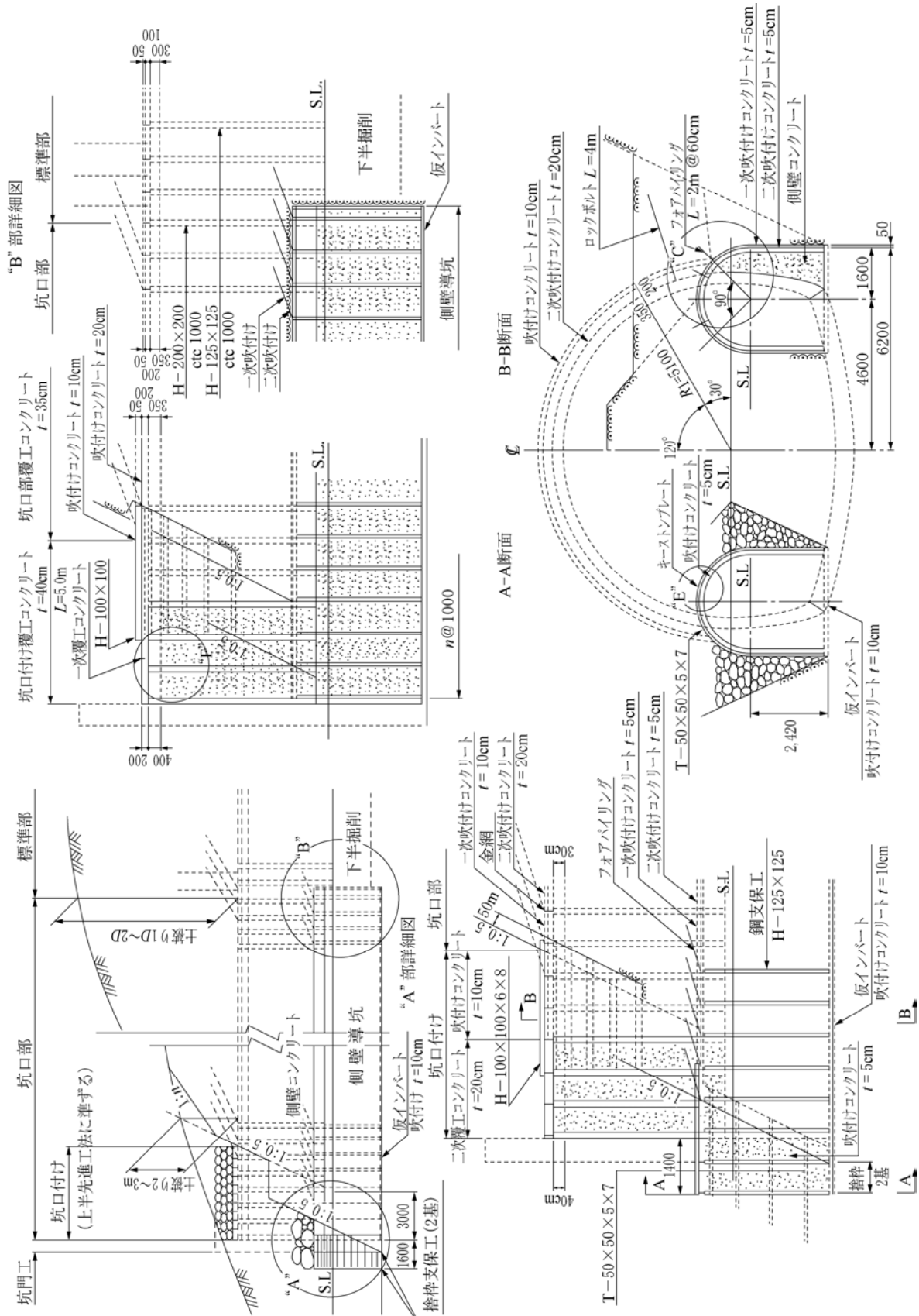


図-9.2.16 壁導坑先進工法坑口部細部設計の一例 (1)²⁸⁾

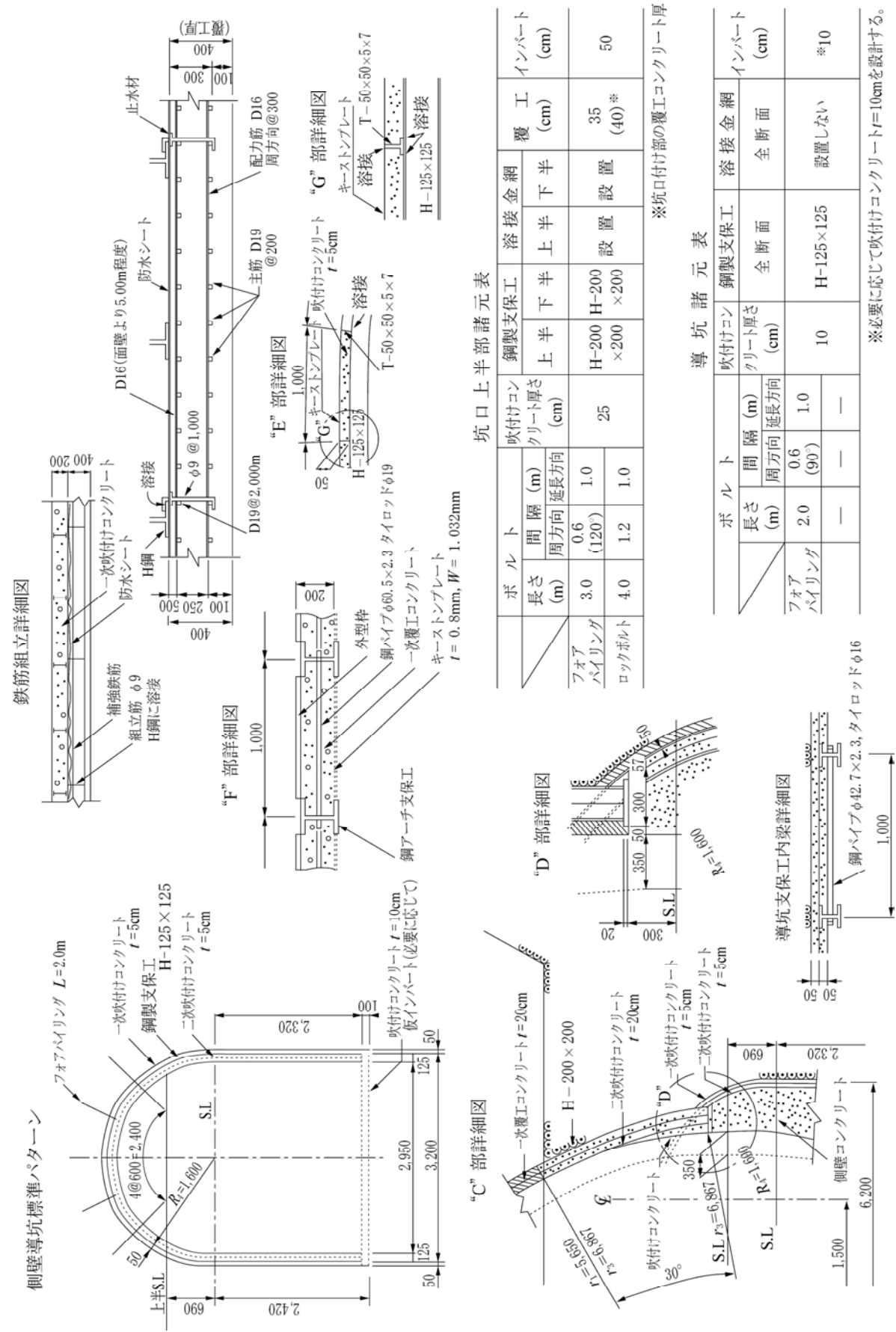


図-9.2.17 側壁導坑先進工法坑口部細部設計の一例 (2)²⁸⁾