

第5章 支 保 工

第5章 支保工

5.1 支保パターン	4-5-1
5.2 施工時の支保パターンの変更	4-5-1
5.3 吹付コンクリート	4-5-3
5.3.1 吹付けコンクリート一般	4-5-3
5.3.2 吹付け方式	4-5-5
5.3.3 吹付けコンクリートの設計厚	4-5-5
5.3.4 吹付けコンクリートの配合	4-5-6
5.3.5 コンクリート吹付け機械の組み合わせと吹付け労務編成	4-5-8
5.3.6 集塵機	4-5-9
5.4 金網工	4-5-10
5.5 ロックボルト工	4-5-12
5.5.1 ロックボルト工一般	4-5-12
5.5.2 ロックボルトの材質及び強度	4-5-14
5.5.3 ロックボルトの配置及び寸法	4-5-15
5.5.4 ロックボルトの定着とベアリングプレート	4-5-16
5.6 鋼製支保工	4-5-17
5.6.1 鋼製支保工一般	4-5-17
5.6.2 鋼製支保工の種別と建込間隔	4-5-18
5.6.3 鋼製支保工の継手	4-5-19
5.6.4 鋼製支保工のつなぎ	4-5-21

第5章 支保工

5.1 支保パターン

支保工の設計に当たっては、地山条件、施工法等を考慮し地山等級ごとに支保部材を適宜選定し、標準となる支保パターンを設計しなければならない。

標準支保パターンは、第2章. 設計の基本 表2.6.1による。

【解 説】

表2.6.1において、変形余裕量が0とは、内空変位が余掘の中において収まるものとして、設計積算上考慮しない。

5.2 施工時の支保パターンの変更

支保パターンは標準的なものを示したもので、観察計測結果、支保が現場の状況に適合しないと認められる場合はすみやかに、地山の状況に即したものにへ変更しなければならない。

【解 説】

「トンネル標準示方書(山岳工法編・同解説)」P57～P59、P80参照

着工前の計画・設計段階では、地山条件をトンネル全長にわたって詳細に把握することは困難が多く、トンネルの施工に伴う地山および支保の挙動などを事前に的確に予測することは難しい。したがって施工時においては、計測結果、施工中調査をもとに、安全かつ経済的なトンネル構造物を構築するよう支保パターンを変更する必要性が生じてくる。事前調査をもとに設定された支保パターンの変更には、

- ・掘削した区画での計測と施工中調査に基づいて未掘削部分の設計を変更する場合。
- ・掘削した区画の変位が想定と異なり、地山の安定に問題があるために設計を変更する場合。の2通りがある。図5.2.1に支保パターンを変更する場合のフロー図を示す。

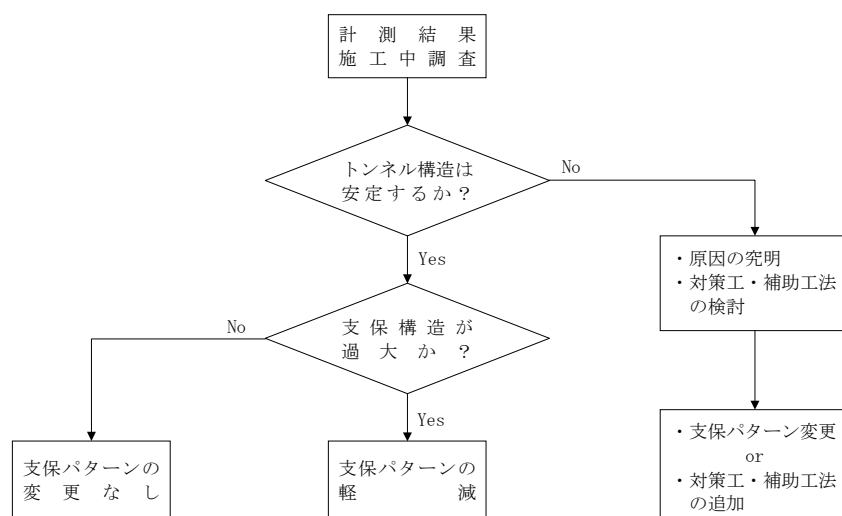


図5.2.1 支保パターン変更フロー

フロー中、一般に問題となるのがトンネル構造が安定しない場合であるが、その現象は主として以下のような地山に多い。

- ・膨張性地山
- ・破砕帯等の脆弱な地山
- ・湧水の多い地山
- ・土被りの大きい地山

特に、土被りの大きい脆弱な地山(地山強度比の小さい地山)では、初期地圧の影響を大きく受けるため、計測項目・管理体制およびその結果の評価については慎重な対応が必要である。ただし、このような場合であっても、現在の支保パターンに対策工を実施した場合の検討を行い、安全性、経済性等の点で支保パターン変更の必要性を確認しなければならない。なお支保パターンの変更については、表5.2.1を参考に比較検討することとする。

変更項目の設定や時期を誤ると、変位を収束できず、縫い返しの発生や、工事の停止を招くことから、工事着手以前に類似トンネル(又は解析)から、管理レベルを設定し、計測との動向を把握し遅滞ない変更を行う必要がある。

表5.2.1 設計変更の項目

変更項目	主な対策
適用支保パターン	変形余裕量の見直し 吹付けコンクリート厚の変更、金網、鋼繊維・非鋼繊維(樹脂系)の使用 ロックボルトの長さ、本数の変更 ロックボルトや鋼製支保工間隔の変更
補助工法の追加	斜め打ちボルト、先打ちボルト 鋼矢板工 鏡吹付けコンクリート 鏡ロックボルト
地山等級の見直し	適用支保パターンの変更
断面の閉合	インバート吹付けコンクリート インバートコンクリート
掘削工法の変更	ベンチカット工法 リングカット工法
断面の変更	円形断面

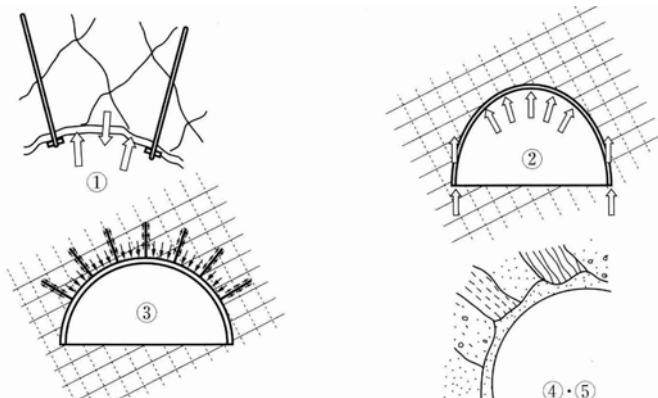
5.3 吹付けコンクリート

5.3.1 吹付けコンクリート一般

- (1) 吹付けコンクリートの設計は、地山条件および使用目的に適合したものとしなければならない。
- (2) 吹付けコンクリートの配合は、付着性が良く、必要な強度特性が得られるようにしなければならない。

【解 説】

吹付けコンクリートは、掘削後ただちに地山に密着するように施工でき、掘削断面の大きさ、形状に左右されず、容易に施工できることから、最も一般的に用いられる支保部材のひとつである。吹付けコンクリートの作用効果については、岩塊の局所的な脱落を防止し、緩みが進行するのを防ぎ、地山自身で安定が得られるようにする作用が主たるものであると考えられているが、その作用機構は地山条件により異なり、複雑で種々考えられる効果を分離することは難しい。一般に考えられている吹付けコンクリートの作用効果を図5.3.1に示す



- ① 岩盤との付着力、せん断抵抗による支保効果
吹付けコンクリートと岩盤との付着力により、吹付けコンクリートに作用する外力を地山に分散させ、また、トンネル周辺の割れ目や亀裂にせん断抵抗を与え、キープロックを保持して抜け落ちを防止し、グラウンドアーチをトンネル壁面近くに形成させる。
- ② 内圧効果、リング閉合効果
比較的厚い吹付けコンクリートが連続した1個の部材として地山を支持することにより、地山の变形を拘束して地山に支保力（内圧）を与え、地山を三軸応力状態に近い状態に保持して、地山の応力開放を抑制する。また、早期にインバートを敷設して断面を仮閉合することにより、支保効果がさらに発揮される。
- ③ 外力の配分効果
鋼アーチ支保工、あるいはロックボルトに土圧を伝達する部材として挙動する。
- ④ 弱層の補強効果
地山の凹みを埋め、弱層をまたいで接着することにより、応力集中を防ぎ弱層を補強する。
- ⑤ 被覆効果
掘削後、早期に壁面を被覆するため、周辺地山の風化防止、止水、微粒子の流出防止等の効果がある。

図5.3.1 吹付けコンクリートの作用効果
「道路トンネル技術基準（構造編）・同解説」P109より引用

地山中の層理・節理等の不連続面がトンネルの挙動を支配する場合で、中硬岩・硬岩地山のように節理等の不連続面の間隔が比較的大きなときには、吹付けコンクリートは局部的な岩塊の崩落防止や弱層の補強を目的としており、図5.3.1中の①、④が主な作用効果である。

また、節理等の不連続面の間隔が小さく、粒状体のような挙動をする場合は、内圧を与える拘束効果、リング効果等が期待でき、②、③が主な作用効果となる。

地山の強度がトンネルの挙動を支配するような場合には、ロックボルトや鋼アーチ支保工等他の支保部材と併用することにより、主に②、③の効果が期待できる。この場合には、それぞれの支保部材の特性を考慮して相互作用が図れるように設計する必要がある。

吹付けコンクリートの設計厚は、岩塊の大きさを想定してこれを保持するのに必要な厚さを求めてみると、その厚さはあまり大きいものを必要としない。しかし、吹付けコンクリートとしての部材を形成するためにはある程度以上の厚さを必要とするが、これまでの施工実績をみると、最低でも平均的な厚さで5cm以上は必要であると考えられている。一方、吹付けコンクリートの働きを左右するのは、岩塊との間の付着強度とせん断強度であるので、吹付けコンクリートをいたずらに厚くしても意味がない。したがって、最大でも設計厚25cm程度とする場合が多い。

以上のように吹付けコンクリートは地山との付着力を使って、あるいはリングとしてトンネルを安定化し、支保構造の主要部分あるいはその一部を形成することになるが、その施工は必ずしも一度に行うのではなく、施工の段階に応じて段階的に行う場合がある。すなわち、掘削直後に肌落ちを防ぐため、素早く薄い吹付けコンクリートを施工し、その保護のもとで鋼アーチ支保工の建込みや金網張りをを行い、続いて本体となる吹付けコンクリートを施工することなどである。他の支保構造部材と併用する場合は、これらとの関連を考慮することが必要である。緩みや掘削面の変形は、切羽の進行と時間の進行とともに進むので、それぞれの段階に応じて適切な施工をすることが大切である。

吹付けコンクリートは、一般に薄く、また、地山と密着していることから偏荷重を受ける場合のような変形に対しては追従性が良好であるが、一様な圧縮を受けるような変形に対しては、普通のコンクリートと同様の変形能力しか持っていない。したがって、地山が1%以上の変形をする場合には、吹付けコンクリートが破壊される可能性があるため注意が必要である。

吹付けコンクリートは支保構造の本体としてだけでなく、切羽の自立性を補うために、あるいは上部半断面や側壁導坑など断面を分けて施工する場合に、各掘削断面が閉合して安定が得られるようにするため、仮設の部材として施工されることも少なくない。吹付けコンクリートは断面の形状に関係なく掘削後直ちに施工できるので、緩みを抑えるのに有効であり、積極的にこのような使い方を検討すると有利な結果となることが多い。

吹付けコンクリートは、コンクリート単体で使用する場合の他、金網を設置したり繊維補強コンクリートとすることもある。吹付けコンクリートは薄い構造部材であるので、なんらかの原因で地山から剥離したり、あるいは破壊されたりすると吹付けコンクリートがばらばらになり、支保としての能力を失うとともに、作業上の危険を与える原因となることがある。このため、吹付けコンクリートには粘りが要求される場合がある。金網や繊維による補強はコンクリートの靱性を増すことになるので、地山との付着が十分でなく剥離の恐れがある場合、大きな変形が見込まれ破壊の恐れがある場合には、これらの使用を検討する必要がある。

吹付けコンクリートの配合では施工性、すなわち付着を良くし、はね返りを少なくするという条件が配合を決定する際のより重要な条件となる。この条件を満足すれば、必要な強度は得られる場合が多い。必要な強度についての明確な根拠はないが、一般的に4週の設計基準強度を18 N/mm²、1日の目標とする強度を5~10N/mm²とすることが多い。しかし、吹付けコンクリートの場合は長期強度とともに初期強度が極めて重要で、できるだけ初期強度が確保されるように配慮する必要があるため、一般に急結剤を用いるが、多量の急結剤の使用は長期強度の低下を招くこともあるので注意が必要である。

なお、粉じん低減のために粉じん抑制剤を用いることもあるが、この場合は強度に与える影響についての検討が必要である。

5.3.2 吹付け方式

吹付け方式は、湿式工法を標準とする。

5.3.3 吹付けコンクリートの設計厚

吹付けコンクリートの設計吹付け厚は地山分類によって表5.3.1を標準とする。

表5.3.1 標準吹付け厚

地山等級区分	設計吹付け厚	施工区分	
		上・下半部	1層吹き
B	5cm	上・下半部	1層吹き
C I	10cm	上・下半部	2層吹き
C II	10cm	上・下半部	2層吹き
D I	15cm	全 周	2層吹き
D II	20cm	全 周	2層吹き
坑 口 部	25cm	全 周	2層吹き

【解 説】

設計吹付け厚とは、仕上り最小厚さをいい(余吹を含)、出来高管理上の最小設計吹付け厚と異なる。
 最小設計吹付け厚は、掘削の凹凸によって発生する吹付け仕上り厚さの最小値をいう。

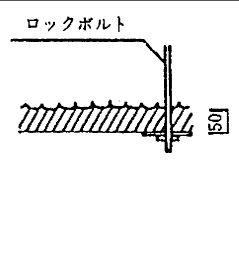
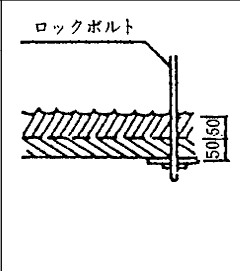
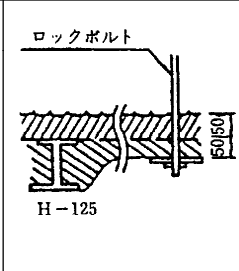
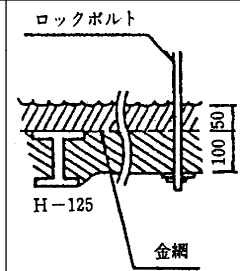
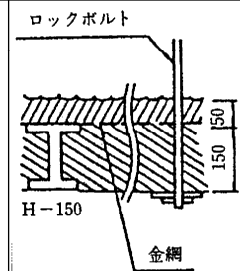
パターン B	パターン C I, C II-a	パターン C II-b	パターン D I-a, D I-b	パターン D II
吹付け厚 5cm	吹付け厚 10cm	吹付け厚 10cm	吹付け厚 15cm	吹付け厚 20cm
				

図5.3.2 吹付けコンクリートとロックボルトの位置

5.3.4 吹付けコンクリートの配合

- (1) 湿式方式による吹付けコンクリートは、現場練りを標準とする。
- (2) 湿式方式の標準配合を表5.3.2に示す。

表5.3.2 標準配合

強度	スランプ	W/C	単位セメント量	粗骨材最大寸法	急結材	単位 S 細骨材量	単位 G 粗骨材量	粉じん抑制剤
$\sigma_{28}=18\text{N/mm}^2$ (180kg/cm ²)	cm 10±2	(56%)	「普通ポルトランドセメント」 360kg/m ³	(15mm)	セメント量の (5.5%程度)	1,086 kg/m ³	675 kg/m ³	セメント量の0.1%

注) ()書きは参考値であり、現場条件により考慮する。

表5.3.3 コンクリート吹付け工材料費1m³当たり単価表

名称	規格	単位	数量	単価	金額	摘要
セメント	普通ポルト	kg				
砂		m ³				
砕石及び砂利	15～5mm	m ³				
急結材		kg				
諸雑費		式	1			
計						

【解説】

吹付けコンクリートの配合は、必要な強度耐久性が得られ、水密性・付着性・施工性のよいコンクリートが得られるよう定めなければならない。

吹付けコンクリートの強度は、吹付け方式、施工方法、吹付け位置、吹付け厚、地山状態、気温、水温等により異なる。吹付けコンクリートは、通常のコンクリートと異なり、配合設計法が確立されていないのが現状であるが、トンネルの支保部材として必要な強度を得よう現場で試験施工を行って、配合を決定する必要がある。

配合の設計に当っては、水セメント比(W/C)、粗骨材率(S/A)、粗骨材の最大寸法(Gmax)、単位セメント量、混和材料の種類及び単位水量等について選定しなければならない。

一般にセメント量、W/C、S/Aが大きくなるに従ってはね返り率は減少する傾向をもっている。ただ、W/Cが大き過ぎると逆に、剥離現象を生じることがあるので注意が必要である。

(1) 水セメント比について

水セメント比W/Cは、吹付け方式によって値が異なるが、一般的には、湿式では50～65%、乾式では45～55%の範囲で、単位セメント量については、360 kg/m³程度である。

この数値は、一般に設計基準強度18 N/mm²に対するセメント量としては多少多いが、現在までの施工実績から初期強度の発現性、付着力、はね返り率、粉じん発生量、ホース内の圧送性等の施工性の確保に起因するところが大きい。

一方、耐久性、特に耐凍結融解性に重点をおけば、結合材量としての単位セメント量の増加、水セメント比の低減が必要となる。

(2) 細骨材について

強度の大きい、また、密実な吹付けコンクリートを得るためには適切な粒度の骨材を用いることが大切である。

細骨材は、吹付けコンクリートの構成材料のうち最大の容積を占めるものであり、圧送性等の施工性、品質及びはね返りなどの施工性に大きな影響を与える。細骨材としては川砂が最適であるが、採取規制等による入手難により、海砂、山砂、砕砂が使用されている。

海砂は、粒度調整が十分できなければ強度の発現が難しい場合があり、高性能減水剤を使用して単位数量を低減し、強度発現に対応しているケースがある。また、海砂に含まれる塩化物により鋼材等の腐食、急結剤の作用効果の低下等が生ずる可能性があるため、十分な配慮が必要である。

山砂で、シルト、粘土および腐植土等の不純物を混入しているものは、吹付けコンクリートの品質に悪影響を与えるので、洗浄等により適切に対処する必要がある。

(3) 粗骨材について

コンクリートの強度は、ほぼ粗骨材率に比例して大きくなるが、吹付けコンクリートの場合、骨材径が大きくなるとはね返り率が高くなったり、圧送性に悪影響を与えるので、粗骨材の径をあまり大きくするのは得策ではない。

通常、粗骨材の最大寸法Gmaxは10mmまたは15mmを使用しており、一部6号砕石を使用することもある。また、粗骨材率S/Aは55～65%の範囲で用いられる例が多い。

(4) 混和剤等について

吹付けで用いられる混和剤は、急結剤が主体である。吹付けコンクリート用急結剤は、大部分が旧来のアルミン酸塩を主体としたものから、セメント鉱物系を主体としたものに替わっている。このタイプは、おおむね添加量の増加により急結時間が短縮するように作られており、また、旧来のタイプに比べ、添加量の増加が長期強度に与える影響を小さくするよう成分面で配慮している。しかし、添加量が限度を超えると長期強度、耐久性にも悪影響を及ぼす場合があるので注意を要する。

通常、添加物は、湿式でセメント量の5～8%程度であるが、吹付け位置、湧水状況により、さらに大きくする場合がある。

急結剤の効果は、使用セメントの種類、新鮮度、水セメント比、気温、湧水温度、水質等の施工条件により微妙に変化する所以他現場の実績、実験結果のみによらず施工前に現場試験により、最適材料、添加量等を決めるのがよい。

急結剤として必要な条件は、以下のとおりである。

- 1) コンクリートの凝結作用を促進すること。
- 2) 長期強度、耐久性に対して悪影響が少ないこと。
- 3) 付着性を高めること。
- 4) 吸湿性が小さく、現場における保存性が良いこと。
- 5) 吹付け面に湧水がある場合にも効果があること。
- 6) 作業員の健康に害を与えないこと
- 7) 鋼製支保工、鋼繊維、金網を用いる場合、その腐食を促進しないこと。

吹付けコンクリートの問題点として、粉じん発生量が多く、坑内の作業環境を悪化させることが挙げられる。粉じん対策としては、発生源における低減化が最も効果的であり、粉じん抑制剤、増粘剤の使用、坑内通気量の増大による許容値以下までの希釈等が有効である。日常の管理は、発生量に管理値を設ける等、積極的に対応する必要がある。

5.3.5 コンクリート吹付け機械の組み合わせと吹付け労務編成

- (1) コンクリート吹付け機械の組み合わせは、表5.3.4を標準とする。

表5.3.4 コンクリート吹付け機械の組み合わせ

機 種	規 格	単 位	台	摘 要
コンクリート吹付け機	トンネル工事用排出ガス対策型 「湿式ホイール、エアコンプレッサー搭載型」 吹付け範囲 半径7m級 吐出量 6～20m ³ 級	台	1	
トラックミキサ	黒煙浄化装置付 4.4m ³ 級	〃	n	

- (2) 吹付け労務は、掘削作業編成の人員で行う。

【解 説】

吹付け用コンクリートプラント設備は、表5.3.5および表5.3.6を標準とする。

表5.3.5 吹付け用コンクリートプラント設備

項 目	機 械 名	規 格	台 数	摘 要
セメントサイロ		30 t	1基	3.7 kW
骨 材 ビ ン	細 骨 材 用	6 m ³	2基	
	粗 骨 材 用	4 m ³	1基	
混 合	強 制 ミ キ サ ー	20m ³ /hr級	1基	35.0 kW
運 搬	ト ラ ッ ク ミ キ サ	4.4 m ³ 級	n. 台	

表5.3.6 吹付け用コンクリートプラント機械組合せ

符号	名 称	規 格
①	クレーンヤード	鉄骨装・外装・屋根・軽量シャッター5面
②	2.8tサスペンションクレーン	2.8t
③	クラブバケット	容量0.6m ³ 油圧式バケット
④	骨材ヤード	砂2槽(30m ³ ×2) 砂利1槽(30m ³)
⑤	砂利ホッパー	鋼板製・容量4m ³
⑥	砂ホッパー	鋼板製・容量6m ³
⑦	骨材(砂利)コンベヤ	400W×10.0m
⑧	骨材(砂)コンベヤ	400W×15.0m
⑨	バッチャープラント	20m ³ /h

5.3.6 集 塵 機

発破工法は「国土交通省土木工事積算基準」による。

- (1) 吹付け時の粉塵対策として集塵機を使用することを標準とする。
- (2) 集塵機は、貫通するまでの期間、設置するものとする。
- (3) 集塵機の運転は掘削作業編成で行うものとする。
- (4) 集塵機の規格選定にあたっては、フィルター式と電気式を比較し決定すること。

5.4 金網工

- (1) 金網の地山分類による設置範囲は下表を標準とする。

表5.4.1 金網の設置範囲

地山分類	設置範囲
B	設置しない
C I	設置しない
C II	設置しない
D I	上半
D II	上・下半

特に必要と思われる箇所については上表によらず設置することができる。(第三紀の岩盤や風化の早い地質など)

- (2) 金網の端部は相互に1目(150mm)以上ラップさせ、取付方法はアンカー及びH型支保工で止めること。

【解説】

吹付けコンクリートに引張強度や、じん性が求められる場合には、高強度のコンクリートが得られる配合としたり、鋼製支保工との併用により構造的な補強を期待することもあるが、一般には金網や鋼繊維・非鋼繊維(樹脂系)による部材補強を検討することが多い。金網工は、

- ① 軟岩・土砂地山では施工時(硬化以前)での剥落防止
- ② 硬岩や節理の多い地山では施工時(硬化以前・以後)での岩塊落石防止
- ③ 膨圧性地山など大きな変位を伴う地山では施工後の亀裂・剥落防止

を目的とする。

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、金網を省略できる。この場合、繊維の混入量は0.5~1.0%(容積百分率)程度である。

鋼繊維吹付けコンクリートは、ひび割れの発生に対する抵抗力(ぜい性)が改善され、じん性が向上する特徴がある。トンネル坑口部や断層破碎帯や強大な膨圧が作用する箇所での補強として有利である。鋼繊維補強コンクリートの強度特性を図5.4.1に示すが、吹付け時には鋼繊維がはね返る傾向があるので、安易に混入量を上げるのは得策ではない。また、高価であることから、他補強工との比較の上採用することが望ましい。

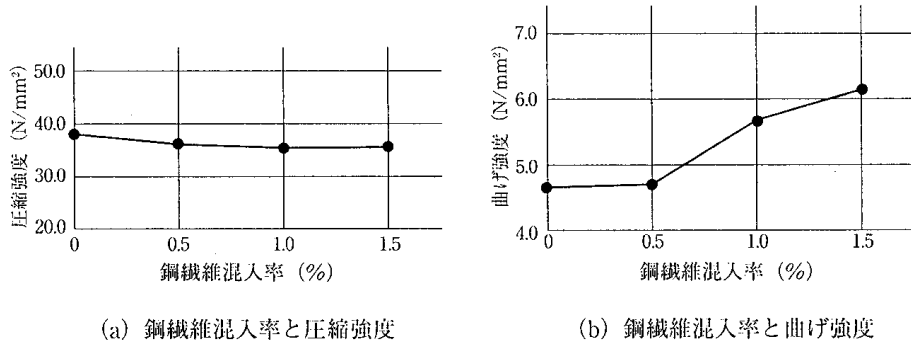


図5.4.1 鋼繊維補強コンクリートの強度特性例

- 1) 地山分類C I、C IIにおいて、必要に応じて金網を設置する場合は、左右45° (上半90°) の範囲とする。
- 2) 金網の端部は相互に1目(150mm)以上ラップさせる。

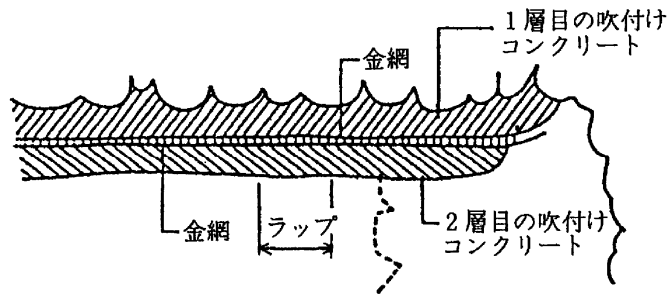
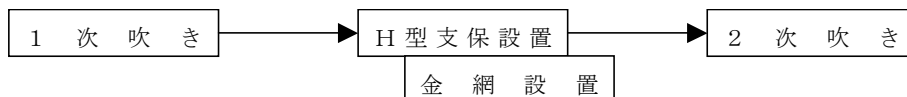


図5.4.2

注) C II -b、D I -a、D I -bでは、支保工内フランジと吹付内面を合わせ、H支保工の上越しを行う。

- 3) 金網工の設置は1次吹き後支保工設置とほぼ同時に設置し、切羽側にラップ分を延伸して設置する。ドリルジャンボは、掘削工、支保工、ロックボルト工、金網工の各工種での併用使用するため、運転時間は掘削工の中で合算した運転時間で計上する。
設置は、掘削用のドリルジャンボ作業台を使用する。



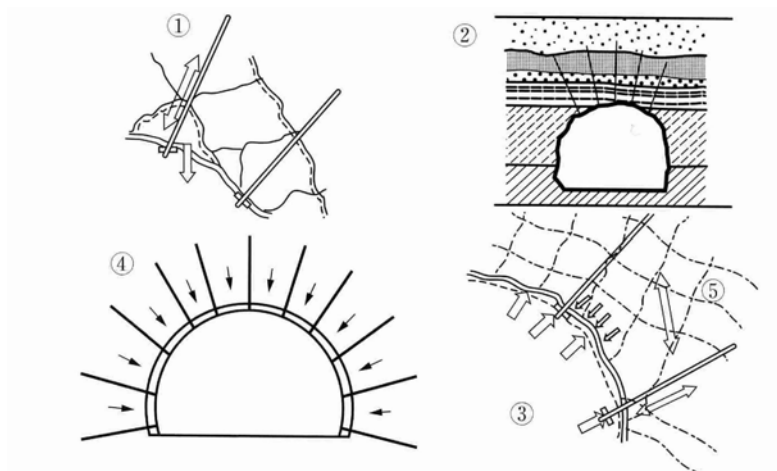
5.5 ロックボルト工

5.5.1 ロックボルト工一般

ロックボルトの設計に当たっては、その使用目的、地山条件、作用効果、施工性等を考慮しなければならない。

【解説】

ロックボルトは、周辺地山の支保機能を有効に活用するための重要な支保部材であり、地山と一体となってその効果を発揮するために特に地山の挙動に対する作用効果を考慮して設計する必要がある。ロックボルトの作用効果としては、概念的に図5.5.1に示すものが挙げられる。



- ① 縫付け効果（吊下げ効果）
発破などで緩んでいない地山に固定し、落下を防止しようとするもので、最も単純な効果である。割れ目の発達した地山において、吹付コンクリートと併用すると効果がある。
- ② はり形成効果
トンネル周辺の層を成している地山は、層理面で分離して重ねばりとして挙動するが、ロックボルトによって層間を締め付けると、層理面でのせん断応力の伝達が可能となり、合成ばりとして挙動させる効果が生じる。
- ③ 内圧効果
ロックボルトの引張力に相当する力が内圧としてトンネル壁面に作用する。これにより、トンネル近傍の地山を三軸応力状態に保つことが可能となる。これは、圧縮試験時における拘束力の増大と同じような意味を持ち、地山の強度あるいは耐荷能力の低下を防ぐ作用をする。
- ④ アーチ形成効果
ロックボルトによる内圧効果のため、耐荷能力の高まったトンネル周辺の地山は、一様に変形することによって地山アーチを形成する。
- ⑤ 地山改良効果
地山内にロックボルトが挿入されていると、地山自身の有するせん断抵抗力が増大し、地山が降伏した場合でも残留強度が増す。このような現象は、ロックボルトにより地山強度特性が改善されたということになる。

図5.5.1 ロックボルトの作用効果

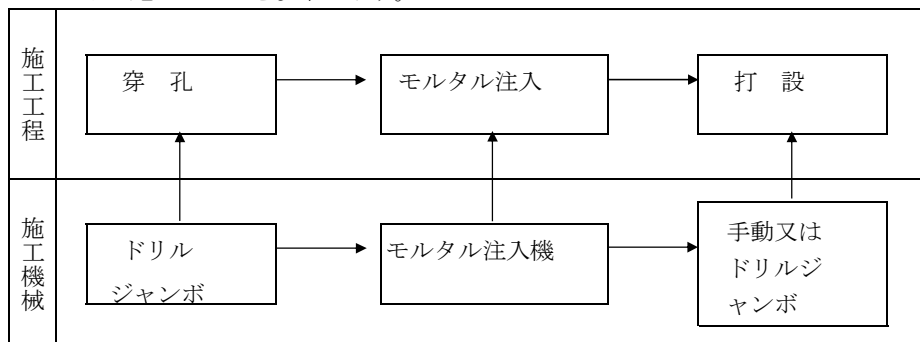
ロックボルトには多くの種類があり、これを定着方式で分類すると、表5.5.1に示すような全面定着方式、摩擦定着方式に大別される。

全面定着方式のロックボルトが一般的であるが、近年、地山条件により摩擦定着方式のロックボルトを採用する事例も増えている。各定着方式の定着方法、特徴、適用範囲を表5.5.1に示す。

表5.5.1 ロックボルトの定着方式

定着方式	定着方法	適用範囲	ボルト概略図
定着材式	<p>①定着材を孔に充填し、ボルトを挿入して定着させる方法。定着材にはセメントモルタルが用いられる(先充填方式)。</p> <p>モルタルを充填する代わりに、モルタルあるいは樹脂と硬化剤を封入したカプセルを定着材として先に挿入する方法で、孔壁は自立するが湧水処理を行っても先充填したモルタルが流出するおそれがある場合に使用を検討する必要がある(カプセル型)。</p> <p>②ボルトを挿入したのち定着材を注入して定着させる方法。定着材には、セメントミルクや樹脂が用いられる(後注入方式)。</p>	<p>硬岩、中硬岩、軟岩、土砂地山から膨張性地山に至る種々の地山に適用可能である。</p>	<p>先充填型</p>
摩擦式	<p>ロックボルトを孔壁面に密着させることにより得られる摩擦力によって定着する方法で、穿孔した孔より大きめのボルトを強制的に挿入するスリットばね型と、穿孔した孔の中で高圧水を注入して鋼管を膨張させる鋼管膨張型の2種類の定着方法がある。</p>	<p>スリットばね型の場合は、湧水の多い硬岩地山に適用可能である。一方、鋼管膨張型の場合は孔壁の形状にあわせて変形するなど、独自の柔軟性を持っているため、適用範囲が広い。</p>	<p>鋼管膨張型</p>

ロックボルトの施工フローを以下に示す。



5.5.2 ロックボルトの材質及び強度

- (1) ロックボルトは特別な場合を除き異形棒鋼、ねじり棒鋼、全ねじ棒鋼を標準とする。

表5.5.2 ロックボルトの機械的性質

ロックボルトの種類	種類の記号	ボルトの呼び径	ねじ部の機械的性質		素材部の機械的性質	
			降伏荷重 (kN)	破断荷重 (kN)	降伏荷重 (kN)	破断荷重 (kN)
ねじり棒鋼	STD510 ^{注1}	TD24	179.3	242.1	226.4	305.8
異形棒鋼	SD345 ^{注2}	D25	120.5	172.5	173.5	247.9
	SD390 ^{注2}	D22	118	170	151	217
全ねじ棒鋼	SD295A ^{注2}	D22	113.7	185.2	114	170
	SD345	D25	175	248	175	248
鋼管膨張型	S355MC ^{注3}	37T2	-	-	123	136
		37T3	-	-	180	200

注1) JIS M 2506-1992による。

注2) JIS M 2506-1992でねじふし棒鋼として異形棒鋼に含む。

注3) スウェーデン工業規格による。

- (2) ロックボルトの引抜き耐荷力は地山分類より表5.5.3による。

表5.5.3 ロックボルトの引抜き耐荷力

地山分類	ロックボルト引抜き耐荷力	摘要
B、C I	96 kN 以上	異形棒鋼と同等以上
C II、D I、D II	143 kN 以上	ねじり棒鋼と同等以上

注) 引抜き耐荷力はネジ部の降伏耐力である。

- (3) ロックボルトの径は25mmを標準とする。

【解 説】

全面定着方式は、セメントモルタルなどの定着材を用いてロックボルト全長を地山に定着させるため、適用される地山は多岐にわたっている。なお、従来吊り下げ効果を目的にロックボルトの先端部のみを定着させる先端定着方式があるが、現在は用いられていない。

摩擦定着方式は、最近開発された技術で、スリットばね型や鋼管膨張型などのロックボルトがある。このボルトシステムでは、すべりに対する摩擦抵抗がボルト全長の孔壁に作用する。スリットばね型の場合は、穿孔された孔より大きめのボルトを強制的に挿入することによって定着が得られる。鋼管膨張型の場合は、高水圧ポンプを用いて孔の中でボルトを膨張させることにより定着が得られる。

なお、地山の強度が著しく低い未固結層や崖錐などでは、ロックボルトを挿入するための孔壁の維持が難しいことがある。このような場合には、自穿孔型ロックボルト等の使用を検討する必要がある。また、地山の強度が小さい場合、ロックボルトを緊張して地山にプレストレスを与え、地山の安定性を向上させることがあるが、このような場合には、ロックボルトの先端を確実に地山に定着させる必要がある。

ロックボルトは、地山に定着されたのち、主に引張部材として機能する。したがって、ロックボルトの設計にあたっては、ロックボルトそのものの降伏荷重と定着部の定着力について十分検討する必要がある。ロックボルトの定着力が十分であるかどうかは、引抜き試験を行い、試験結果に基づいて引抜き耐荷力を判断しなければならない。引抜き耐荷力は、通常、地山と定着材との間に生ずる摩擦力で得られるが、地山条件、定着方式、定着材、ボルト長、孔径等によって異なるので注意が必要である。

次の場合にはロックボルトの材質を検討する必要がある。

- 1) 強酸性の地山（強酸性湧水など）、強アルカリ性の地山の場合
- 2) 仮設支保として使用するもの（縫地ボルトなど）
- 3) 後の掘削作業で切断するもの

表5.5.4 セメントミルクの配合例

A液	B液	A (%)	B (%)	遅延剤 (%)	注入液 (%)
硬化剤（ポルトランド急硬性鉱物が主成分）	普通ポルトランドセメント	W/A=55	W/C=48	0.75	$\frac{W}{(A+C)}=50$ 、 $\frac{A}{(A+C)}=30$

5.5.3 ロックボルトの配置及び寸法

ロックボルトの配置および長さは地山分類より表5.5.5を標準とする。
なお、設計図には、周長、打込み角度の明示は行わないものとする。

表5.5.5 ロックボルトの配置表

地山等級	支保パターン	長さ(m)	施工間隔(m)		施工範囲
			周方向	延長方向	
B	B	3.0	1.5	2.0	上半120°
C I	C I	3.0	1.5	1.5	上半
C II	C II - a	3.0	1.5	1.2	上下半
	C II - b				
D I	D I - a	3.0	1.2	1.0	上下半
	D I - b	4.0			
D II	D II	4.0	1.2	1.0以下	上下半

5.5.4 ロックボルトの定着とベアリングプレート

- (1) ロックボルトの定着は全面接着式とし、ロックボルト全体をモルタルで地山に固定しなければならない。
- 1) ロックボルト工のモルタル材料はドライモルタルを標準とし、使用量は表5.5.6のとおりとする。

表5.5.6 ロックボルト材料100m当り使用量

名称	規格	単位	使用量
モルタル	ドライモルタル	m ³	0.22

注) ロスを含む。

また、湧水等がある場合は、注入急結剤を使用することができる。

- 2) ロックボルトのモルタルによる定着を施工する場合、モルタルが硬化するまで、作業の安全対策上、上半45度より上部について、落下防止金具を施工する。図5.5.2（モルタル流出、ロックボルトの拔出し防止）
- (2) ロックボルト用のベアリングプレートは、一般的には角型平板150×150×9を使用する。材質はSS400とする。プレストレスを導入する場合は凸型200×200×9を使用する。材質はSS400とする。ランダムボルディングにおいては半円球プレートとする。

【解 説】

ドライモルタルの配合は、監督員の承諾を得るものとする。

注入急結剤(無収縮混和剤)の使用は、湧水等がある場合1本/孔を標準とする。ただし、現場条件によっては、別途考慮することができる。ロックボルトの締め付けは次の要領を標準とし、それぞれに適合するロックボルトを選定するものとする。

- (1) 土被りが浅く、壁面変位を小さく抑える必要があるもの…プレストレスを加える
- (2) 膨張性の地山…プレストレスを加えない、ヘッドアンカーも可
- (3) 通常の地山…通常のナットでベアリングプレートが吹き付け面に密着するように締め付ける。

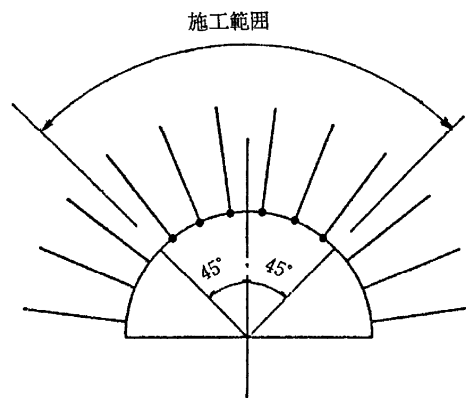


図5.5.2 落下防止金具施工範囲

5.6 鋼製支保工

5.6.1 鋼製支保工一般

鋼製支保工は、その使用目的（効果）に応じて、必要な強度を有し、使用条件に適合するものでなければならない。

【解 説】

鋼製支保工は、吹付コンクリート、ロックボルトおよび他の支保工と一体となり地山の支保機能を活かすよう配置する。

鋼製支保工の使用目的は、

- ① 吹付コンクリートが固まるまでの支保 …… 吹付コンクリート強度発現までの先行支保として、変形を押さえる効果がある。
- ② 他の支保材との協調支保 …… ロックボルトや吹付コンクリート、金網工と協調し、支保材全体の強度、じん性を高め、トンネルの安定を図る。
- ③ 切羽の早期安定 …… 鋼製支保工は建込みと同時に早期に有効な支保材となり、切羽の早期安定に対しても有効な効果がある。
- ④ 先受工などの補助工法の反力受け …… 切羽の自立性の悪い地山ではフォアポーリングなどの先受け補助工法を行うが、これらの反力受け効果がある。
- ⑤ 地山（脚部）への荷重伝達 …… 支保工に作用する荷重を、底板やウイングリップを介して地山（脚部）に伝達させる効果がある。

鋼製支保工建込は、掘削用のドリルジャンボ取付作業台（油圧可動）を使用し建込む。ただし、下半については、建込機械を使用しない。また、支保工運搬はクレーン装置付4t積2.9t吊トラックを標準とする。

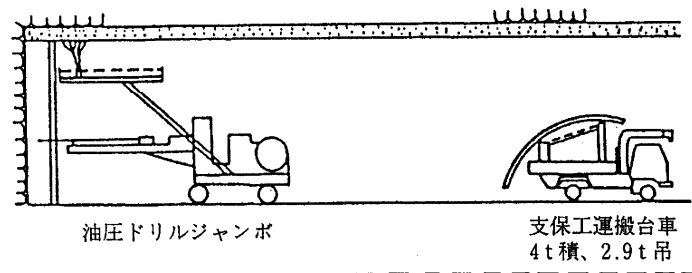


図5.6.2 鋼製支保工建込

5.6.2 鋼製支保工の種別と建込間隔

鋼製支保工の材質及び形状については、原則としてH形鋼とするが、支保目的、断面特性及び施工性等を十分に検討し、同等品以上と認められた場合には、U形鋼等を使用することができる。

支保工の材料規格寸法諸元は表5.6.1のとおりとする。

表5.6.1 鋼製支保工の諸元（最小曲率半径は、冷間加工による標準を示す）

種別	呼称法 (mm)	断面積 A (cm ²)	単位重量 W kN/m (kgf/m)	断面二次 モーメント I _x (cm ³)	断面係数 Z _x (cm ³)	断面係数 Z _y (cm ³)	最小 曲率半径 R (cm)	材 料 規 格
H 形 鋼	H-100×100× 6 × 8	21.59	0.16(16.9)	378	75.6	26.7	120	SS400
	H-125×125×6.5× 9	30.00	0.23(23.6)	839	134	46.9	150	
	H-150×150× 7 ×10	39.65	0.31(31.1)	1,620	216	75.1	200	
	H-200×200× 8 ×12	63.53	0.49(49.9)	4,720	472	160	420	
	H-250×250× 9 ×14	91.43	0.71(71.8)	10,700	860	292	550	
U 形 鋼	MU-29	37.00	0.28(29.0)	581	97.4	95.5	150	SM490

地山分類と支保工の断面及び建込間隔は表5.6.2を標準とする。

表5.6.2 支保工建込間隔

地山等級	呼 び 寸 法	間 隔
C II	H-125×125	1.2m
D I	H-125×125	1.0m
D II	H-150×150	1.0m以下

注) 坑口付近や断層帯等、特殊な地山ではH-200×200及びMU-29を使用することができる。

注1) 経済性から断面性能の大きいH形鋼を原則として使用する。可縮機構は、原則として用いない。

注2) D IIの建込間隔を0.9m以下とする場合は、別途考慮すること。

5.6.3 鋼製支保工の継手

鋼製支保工の継手の位置及び構造は、掘削断面形状、施工法及び断面力の大きさと分布等を考慮して決定しなければならない。

【解説】

鋼製支保工は、その形状と寸法及び施工法によって複数の部材に分割される。部材の継手部分は、構造上の弱点となりやすいので、その位置及び連結機構は、掘削断面形状、断面力の大きさと分布等を考慮して設計しなければならない。特に大きな土圧が作用する場合には、継手の部分で座屈や曲げ破壊を生じやすいので、強固に連結可能なものとするのが望ましい。また、沈下を極力少なくする必要がある場合には、継手板、底板等を大きくするとともに吹付コンクリートと一体化して十分な支持力が得られるようにする必要がある。

また、防水工施工時において、防水シートへの損傷を与えないよう継手板（頂板を含む）は、内空側において支保工前面より6mmとする。

なお、継手板（頂板を含む）、底板の詳細については以下に示す図、及び表による。

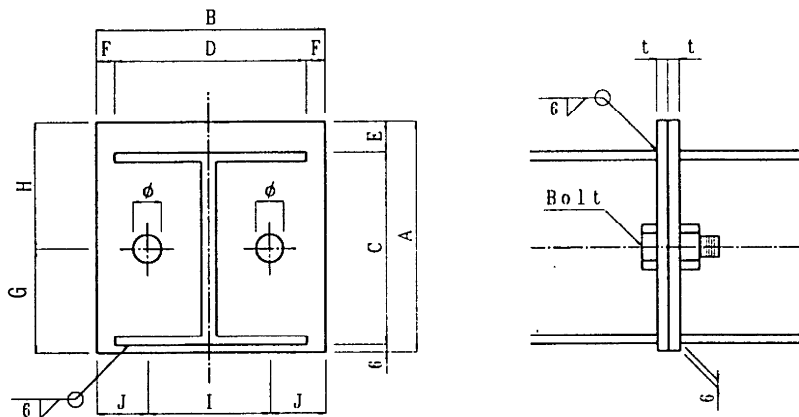


図5.6.3 継手板

表5.6.3 継手板寸法表

支保別	H形鋼	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	φ	t	Bolt	1枚当り重量(kg)
CⅡ-b DⅠ-a DⅠ-b	125×125	155	180	125	125	24	27.5	68.5	86.5	100	40	22	9	M20×70	1.97
DⅡ	150×150	180	180	150	150	24	15	81	99	100	40	22	9	M20×70	2.29
坑口	200×200	230	230	200	200	24	15	106	124	130	50	27	16	M24×75	6.64

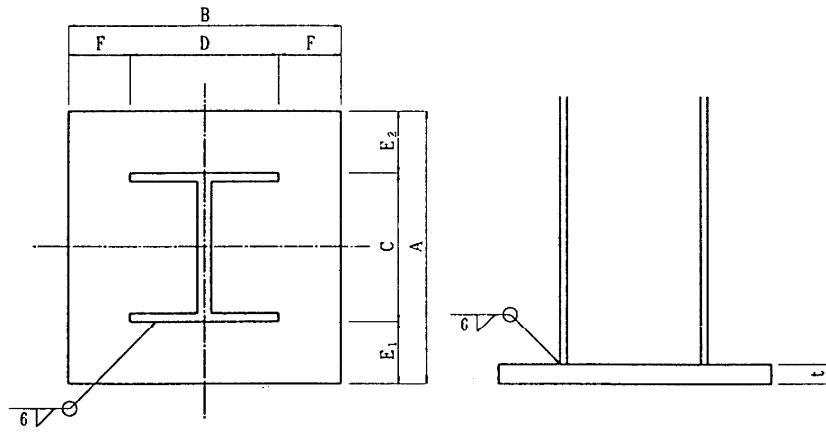


图5.6.4 底 板

表5.6.4 底板寸法表

支保別	H形鋼	A	B	C	D	E ₁	E ₂	F	t	1枚当り重量(kg)
CⅡ-b	125×125	180	230	125	125	6	49	52.5	16	5.20
DⅠ-a DⅠ-b	125×125	230	230	125	125	52.5	52.5	52.5	16	6.64
DⅡ	150×150	250	250	150	150	50	50	50	16	7.85
坑口	200×200	300	300	200	200	50	50	50	19	13.42

5.6.4 鋼製支保工のつなぎ

鋼製支保工には転倒を防止するために適当なつなぎ材を設けなければならない。

【解 説】

鋼製支保工には、建込み後、吹付コンクリートによって固定されるまでの間、転倒を防止するために適切なつなぎ材を設けなければならない。なお、吹付コンクリートの施工に当たっては、つなぎ材背面に空隙が生じないように配慮しなければならない。

なお、坑口部に施工する鋼アーチ支保工はトンネル軸方向の荷重を受けることがあるので、つなぎ材として鋼アーチ支保工が互いに強固に連結できるようなものを使用することが望ましい。参考として図5.6.5につなぎ材の例を示す。

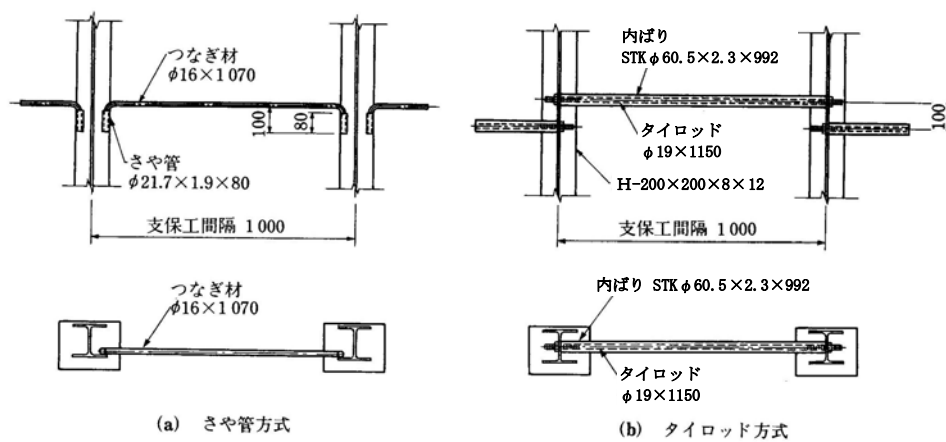


図5.6.5 鋼アーチ支保工のつなぎ材の例
 (2016年制定トンネル標準示方書[共通編]・同解説/[山岳工法編]・同解説 P102より引用)