

第10章 ロックボルト補強工法

10.1 工法概要

ロックボルト補強工法は、ロックボルトと地山が一体となって地山強度の低下を防ぐことにより、変状の進行を抑制する工法である。

【解説】

ロックボルト補強工法は、既設トンネルの覆工コンクリートが塑性圧又は偏圧により変状を生じた場合に、覆工コンクリート表面から地山にロックボルトを設置し、覆工と周辺地山を一体化させることにより変状の進行を抑制する工法である。図-10.1.1にロックボルト工法例を示す。

しかし、ロックボルトによる補強効果を定量的に設定する設計手法は確立されておらず、鉄道や道路トンネルでは、類似設計や標準設計に基づく経験的な設計手法が主に適用されている。

ロックボルト工に使用される機械・材料は多種多様であることから、現場条件や地質条件に対応して選定する必要がある。

(1) 適用条件

- ① 覆工背面空洞への裏込注入工単独では機能の維持ができない場合
- ② 塑性圧や偏圧等の地圧による変状の進行の抑制
- ③ 覆工コンクリート片の剥落の防止（地山への縫い付け）
- ④ 覆工コンクリートの強度を期待できる場合

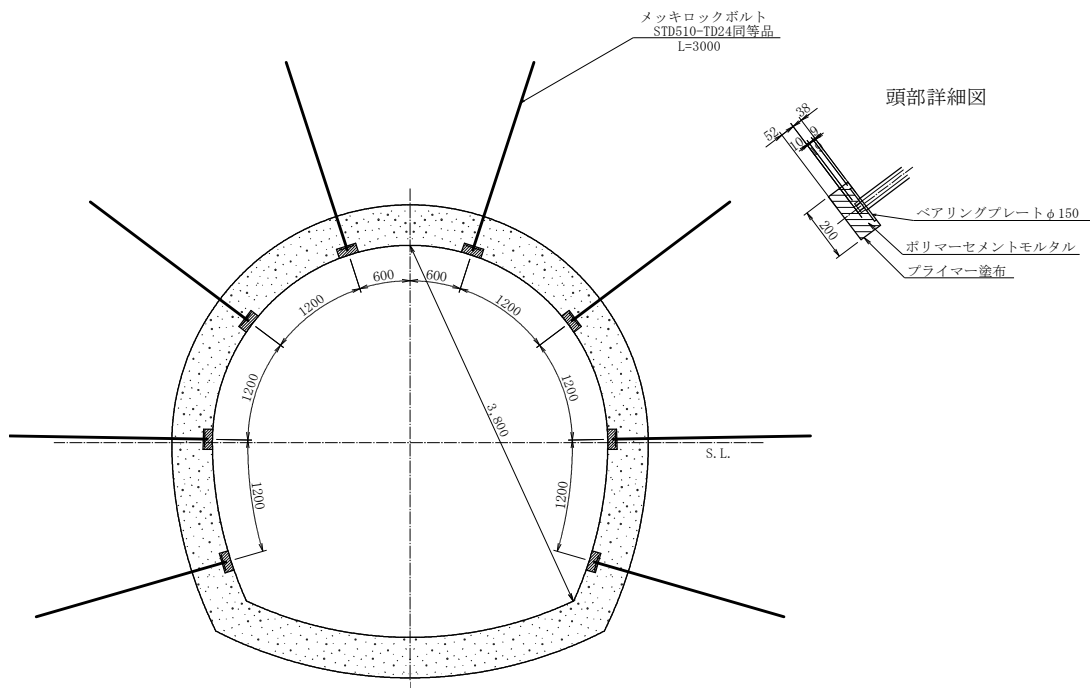


図-10.1.1 ロックボルト補強工法の例

(2) 工法の特徴

ロックボルト補強工法は、周辺地山にロックボルトを確実に定着させることで、覆工の補強効果が得られるため、確実な定着が得られる地山条件であることを十分に調査した上で計画することが

重要である。

ロックボルト補強工法は、覆工コンクリートと地山をロックボルトにより一体化することで、覆工コンクリートに新たな支承を形成し、作用モーメントのアームを短くすることで部材応力の軽減を図る補強工法である（図-10.1.2）。したがって、吹付け・ロックボルト工法（NATM）のようにトンネル掘削時の地山の安定化を目的として打設するロックボルトとは、構造設計の考え方が異なることに注意が必要である。

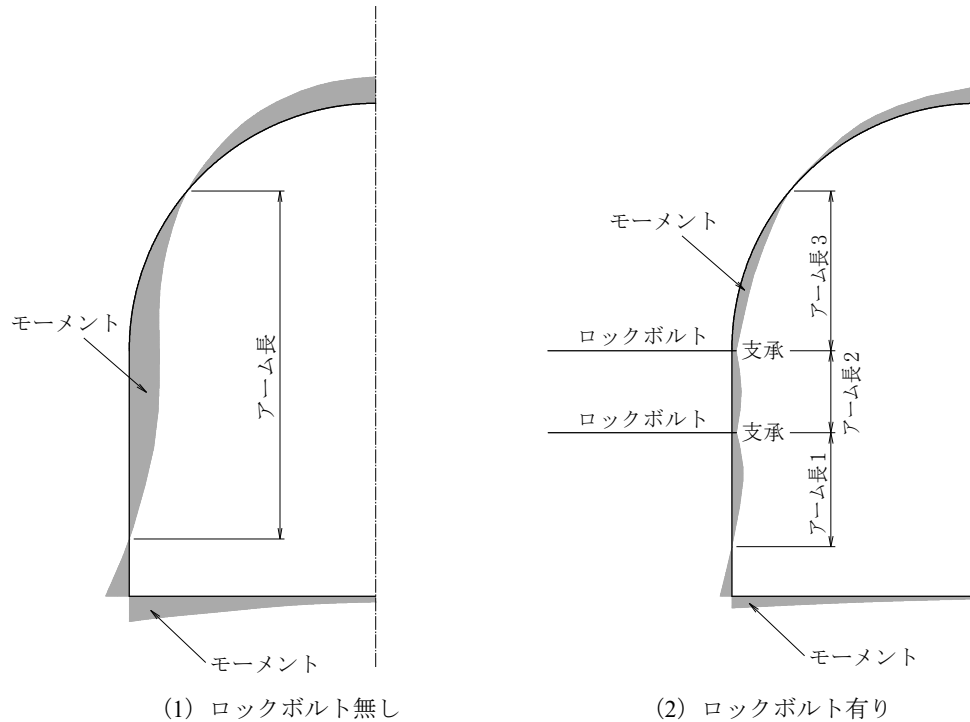


図-10.1.2 覆工コンクリートに作用するモーメント図

塑性化が進行した場合や、膨張性地山のように特に大きな地圧が作用する場合は、ロックボルトに替えてグラウンドアンカーを採用することも考えられる。

従来、ロックボルトの最小施工断面は掘削仕上がり直径で 2.5m であったが、近年、極小断面用のロックボルト補強工法が開発されている。写真-10.1.1～10.1.2 に極小断面におけるロックボルト打設状況と施工後の状況を、図-10.1.3 に施工断面図（例）を示す。



写真-10.1.1 ロックボルト打設



写真-10.1.2 ロックボルト施工後

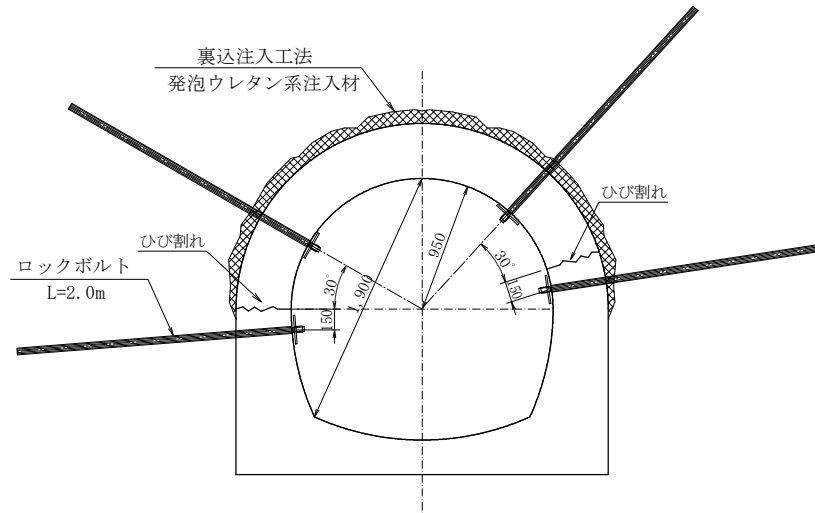


図-10.1.3 極小断面におけるロックボルト補強工法例

(3) ロックボルトの種類

ロックボルトは、変状の状況に応じて必要な強度と伸び特性を有するものでなければならない。ロックボルトに使用される材料には、一般に、異形棒鋼、全ねじ棒鋼、ねじり棒鋼などがある(図-10.1.4)。ロックボルトに使用される材料の種類別の材質と耐力を表-10.1.1に示す。



図-10.1.4 ロックボルトの例

(出典：変状トンネル対策工設計マニュアル、鉄道総合技術研究所、平成10年2月、p.92)

表-10.1.1 ロックボルトの種類別の材質と耐力

ボルトの種類		異形棒鋼				全ねじ棒鋼	ねじり棒鋼	
材質		SD295	SD295	SD345	SD345	SD295	STD510	STD510
呼径		D22	D25	D22	D25	D22	TD21	TD24
ねじ部	径 (mm)	M22	M24	M22	M24	—	M22	M24
	断面積 (cm ²)	3.03	3.53	3.03	3.53	3.87	3.03	3.53
	降伏耐力 (kN)	89	105	105	122	114	155	180
	破断耐力 (kN)	133	155	148	172	170	207	244
素材部	断面積 (cm ²)	3.87	5.07	3.87	5.07	—	3.69	4.46
	降伏耐力 (kN)	114	150	133	175	—	188	227
	破断耐力 (kN)	170	223	190	248	—	253	306

(注) 全ねじ棒鋼以外は、転造ねじ

(出典：変状トンネル対策工設計マニュアル、鉄道総合技術研究所、平成10年2月、p.91)

ロックボルトは定着方式によって表-10.1.2のように分類される。定着方式には、全面定着方式、摩擦定着方式などがあり、一般には全面定着方式が用いられる。

孔壁が自立できない地山において通常の施工方法のように穿孔後モルタル充填、ロックボルトの挿入ができない場合には、定着効果を事前に十分確認の上、自穿孔ボルトの採用についても考慮する必要がある。

湧水が多い場合には、ロックボルトの定着材が洗い流されたり、十分な定着が得られなかったりする場合があるため、摩擦定着方式（鋼管膨張型）が採用された例もある。

表-10.1.2 ロックボルトの分類

設置方法による分類		定着方式による分類	
孔壁が自立する	挿入方式	全面定着方式	定着材式 - 先充填型 モルタル系 - カプセル型 モルタル系、樹脂系 - 後注入型 モルタル系、樹脂系
			摩擦式 ———— 鋼管膨張型
自立孔不能	打込型方式 自穿孔方式 ケーシング方式	併用方式	先端定着型と全面定着型との併用
		全面定着方式	注入式 - セメントミルク系 - 樹脂系

（変状トンネル対策工設計マニュアル、鉄道総合技術研究所、平成10年2月、p.92を改変して転載）

ロックボルトの定着材は、硬化後に全長にわたり十分な定着力が得られるものでなければならない。定着材の種類を表-10.1.3に示す。

ロックボルトの定着材にはセメント系と樹脂系があり、一般にはセメント系が用いられる。また、湧水の多い場合や先端定着を定着材により行う場合及びロックボルト周辺を注入改良する等の場合には、樹脂系定着材が用いられることもある。

表-10.1.3 ロックボルト定着材の種類

定着材の種類		材 質
セメント系	充填式	モルタル
		セメントミルク
	注入式	モルタル
		セメントミルク
	カプセル式	モルタル
樹脂系	注入式	シリカレジン
		ポリエステル
		ウレタン
	カプセル式	ウレタン

（出典：変状トンネル対策工設計マニュアル、鉄道総合技術研究所、平成10年2月、p.93）

(4) 施工の概要

一般的なロックボルト補強工法の施工手順を以下に示す。

- ① 資・機材搬入後に施工位置をマーキングし、削孔機で所定の深さまで削孔する。
- ② 定着材充填前にベアリングプレートを設置するための拡径（ $\phi 200\text{mm}$ 、深さ 90mm 程度）を行う。
- ③ 削孔完了後に定着材を充填し、充填完了後にロックボルトを所定の深さまで挿入する。
- ④ 定着材の養生後、所定の本数を対象に引抜き試験を実施する。
- ⑤ 引抜き試験の後、ロックボルトにベアリングプレートとナットを設置し、頭部締め付け（プレストレス）を行う。
- ⑥ 最後に頭部処理（拡径部にポリマーセメントモルタルを充填）を行う。

(5) 留意事項

- ① ロックボルトの定着工法としては、全面定着方式を原則とする。
- ② 水理断面内に突起物が露出しないよう、ロックボルトの頭部は覆工コンクリート内に埋め込むことが望ましい。
- ③ 極小断面トンネルは、覆工コンクリート厚が薄く、ロックボルトの頭部を覆工コンクリート内に埋め込むことができないため、防錆塗料の塗布や、ステンレス製のキャップを被せるなどの防錆対策を施す必要がある。
- ④ ロックボルトの寸法及び配置は、必要な耐荷性能を定めた上で、地山条件、トンネル断面形状・寸法、覆工の状態、施工性及び経済性を考慮して決定する必要がある。
- ⑤ ロックボルト補強工法の施工範囲は、トンネルの周辺の地形・地質条件、変状原因（地圧の種類と方向）、変状現象（変状の程度）、トンネル断面形状、覆工の構造を考慮して設定する必要がある。
- ⑥ ロックボルト補強工が効果を発揮するためには、十分な定着力を得ることのできる地山でなければならない。したがって、未固結な土砂地山（洪積層、強風化層等）や、粘土化した軟弱な破碎帯等の極端に軟質な地山には適用できない。
- ⑦ 変状が著しい場合には、トンネル周辺地山の劣化範囲（緩み領域）がかなり広範囲に及ぶこともあるので、坑内からの弾性波探査や地質調査ボーリングなどにより劣化範囲を確認する必要がある。
- ⑧ 湧水が多い場合は、定着材が流出する等の問題が生じるので、事前に湧水状況を把握しておく必要がある。
- ⑨ 極小断面トンネルにロックボルトを打設可能な新技術が開発されているが、打設可能なロックボルト長や地山の種類、地山の強度について留意する必要がある。

10.2 要求性能、性能照査

10.2.1 ロックボルト補強工法の要求性能と性能照査

ロックボルト補強工法の要求性能は、地山条件、トンネル断面・形状、施工性等を考慮し、補強部材として十分な機能と効果を発揮するように設定する。

ロックボルト補強工法の性能照査においては、試験によって得られる材料及び施工の性能が、定められた基準値を満足することを適切な方法によって確認し、更に施工が適切に実施されることを施工計画の照査に基づいて確認する。

【解説】

(1) 性能照査の基本的な考え方

ロックボルト補強工法の性能照査においては、同工法に期待される効果の持続期間中に、同工法を施工した水路トンネル施設が所要の要求性能を満足することを確認しなければならない。しかし、施工対象の水路トンネル施設に対して試験施工を行うことやロックボルト補強工法に要求される性能を一つの試験で直接的に正しく評価することは、一般に困難である。

このため、本書では、ロックボルト補強工法の性能照査に当たっては、同工法に係る材料及び施工に要求される照査項目について、その照査項目の試験値が要求値を満足することを試験によって確認することで性能照査をすることを基本とした。ただし、ロックボルト補強工法が所要の性能を有することを確認するためには、試験による確認に加えて、仕様どおりに確実に施工されるよう、施工計画が適切であることをあらかじめ確認しておかなければならない。

(2) 照査方法と品質規格値の考え方

ロックボルト補強工法を施工した水路トンネル施設が、所要の性能を確保するためには、同工法に適用する材料の特性及びその施工方法等を考慮して要求する性能を決定し、それらを明確にしておく必要がある。

材料及び施工の照査項目の試験方法については、例えば JIS 等に規定されている試験方法を用いてその品質を確保することとし、基準値の適用に当たっては、変状や劣化要因に応じて要求される性能を考慮して設定する。ロックボルト補強工法の要求性能と性能照査方法を表-10.2.1-1 及び表-10.2.1-2 に示す。

また、以下に性能照査に関する特記事項を記す。

通水性：ロックボルトの頭部が覆工コンクリートの表面に露出する場合は、設計段階では水理計算によって通水性能を照査する。施工後の照査では、期待する通水能力が発揮されていることを測定によって確認する。

耐荷性：地圧、水圧、载荷重に対する安定した耐荷性能を有していることを構造計算により照査する。施工後のモニタリング調査においては、補強後に従前の変状が進行していないことを測定等により確認する。

引張抵抗性：ロックボルトが地山との定着力を発揮することを、設計段階、施工段階及び供用期間中のモニタリング調査段階に確認する。設計段階における照査は設計引抜き耐力により算定す

る。施工段階及びモニタリング調査段階の照査においては、ロックボルトの引抜き試験により測定する。

表-10.2.1-1 ロックボルト及び定着材に求められる要求性能と性能照査方法

要求性能			要求項目	照査方法		要求値 (性能照査判定基準)
				試験方法	試験条件	
基本的性能	構造機能	耐荷性	定着材の一体化性	圧縮強度試験	JIS R 5201「セメントの物理試験方法」(注1)	1日圧縮強度値が 10 N/mm ² 以上
			定着材の流動性	フロー試験	JIS R 5201「セメントの物理試験方法」(注1)	150±20 mm
		引張抵抗性	引張抵抗性	引抜試験 NEXCO 試験方法	JGS 3731-2005—NEXCO 試験法条件「ロックボルトの引抜き試験方法」	引抜き耐力 100 kN 以上

(注1) モルタル系定着材の事例を示す。

表-10.2.1-2 頭部処理材に求められる要求性能と性能照査方法

要求性能			要求項目	照査方法		要求値 (性能照査判定基準)	
				試験方法	試験条件		
基本的性能	構造機能	耐荷性 耐久性	一体化性	圧縮試験	JSCE K 561 (28 日間養生)		28 日圧縮強度値が 21.0 N/mm ² 以上
			寸法安定性	長さ変化率試験	JIS A 1129 (注 1)		0.05%以下
			中性化抑止性	中性化深さ試験	JIS A 1171 (4 週間) (注 2)		中性化深さ 4mm 以下 中性化速度係数 14mm/√年 以下
		耐摩耗性	耐摩耗性	摩耗深さ試験	表面被覆材の水砂噴流摩耗試験（案） 〔15 時間経過後 (注 3) の平均摩耗深さと 標準モルタル供試体の平均摩耗深さとの比較（材齢 28 日）〕		標準モルタル供試体 (注 5) に対する平均摩耗深さ の比が 1.5 以下
		付着性	付着性	付着強度試験	JSCE K 531 又は JSCE K 561 （乾湿・温冷 繰返し回数は 15 サイクル (注 3)）	標準条件	1.5 N/mm ² 以上
						多湿条件	
						低温条件	
						水中条件 (注 4)	1.0 N/mm ² 以上
						乾湿繰返し条件	
						温冷繰返し条件	

(注1) ゲージプラグ付き金型に所定の材料をコテで充填し、温度 23±2℃、湿度 50±5%の状態 で 28 日後の長さ変化率を測定する。照査方法については、農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル 開水路編(令和5年3月)を参照されたい。

(注2) 試験方法及び品質規格値については本書の巻末資料に示す。

(注3) 対策工法の効果が期待される期間を 30 年とした場合の例を示す。右欄に示す要求値も同じ。照査方法については、農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル 開水路編(令和5年3月)を参照されたい。

(注4) JSCE-K 561(水中条件)における、供試体作製後、水中養生を開始するまでの気中養生は、温度 20±2℃、相対湿度 60±10%の状態 で 7 日間行うものとする。

(注5) 標準モルタル供試体(水セメント比 W/C=50%、砂セメント比 S/C=3.0、材齢 28 日)の作製には、社団法人セメント協会が販売しているセメント標準試料(強さ試験用ロット No.401H)及びセメント強さ試験用標準砂を用いる。

○耐摩耗性の試験方法と要求値

ロックボルト補強工法の頭部処理材には流水中の土砂による研磨等によって過度の摩耗が発生

しないことが求められる。耐摩耗性は、砂を含む水の噴流によるすり磨き及び衝撃による摩耗作用を疑似している水砂噴流摩耗試験により照査する。

(参考：長束勇、上野和広、渡嘉敷勝、石井将幸、水砂噴流摩耗試験機の試作とその性能評価、農業農村工学会論文集、78 (2)、pp.89-95、2010)

〔試験方法〕

上野らの試験によれば、摩耗を受けた水路構造物から採取した供試体と水砂噴流摩耗試験機による摩耗試験結果を比べた結果、実水路における概ね 20 年間の摩耗深さは、水砂噴流摩耗試験機の試験 10 時間に相当する。

ロックボルト補強工法の効果が期待される期間を 30 年と想定した場合、水砂噴流摩耗試験（水砂噴流、水圧 2MPa）の 15 時間後の平均摩耗深さを測定し照査する。耐摩耗性の照査に用いる試験供試体は 3 個とし、試験材齢は 28 日とする。

(参考：上野和広、長束勇、石井将幸、開発した水砂噴流摩耗試験機の促進倍率、農業農村工学会論文集、78 (2)、pp.105-111、2010)

〔要求値〕

要求値は、水砂噴流摩耗試験装置における、標準モルタル 10 時間平均摩耗深さの基準値 A ($=3.5\text{mm}$) (注 1) と頭部処理材（ポリマーセメントモルタル）の平均摩耗深さ B の比 (B/A) で規定する。要求値 B/A は、表-10.2.1-3 に示すとおりである。

長束らによる表面被覆工法の材料を対象とした水砂噴流摩耗試験結果では、摩耗時間と平均摩耗深さは線形的な比例関係が示されている。よって、標準モルタル供試体と単一材料からなる頭部処理材の平均摩耗深さの比である要求値 (B/A) において、効果が期待される期間を 30 年の要求値 (B/A) は、効果が期待される期間 20 年（水砂噴流摩耗試験で 10 時間相当）の要求値 (B/A) と同一値とする。

表-10.2.1-3 頭部処理材の耐摩耗性の要求値 (B/A)

材料の種類	標準モルタル供試体の 10 時間平均摩耗深さの基準値 A (3.5mm) (注 1) と頭部処理材の平均摩耗深さ B の比 (B/A)	参考 (注 2) 頭部処理材の許容平均摩耗深さ (15 時間) (mm)
無機系材料	1.5 以下	7.8 以下 (注 2) ($1.5 \times 3.5 \times (15/10) = 7.88$)

(注 1) 標準モルタル供試体の平均摩耗深さの基準値 A (3.5mm) は、これまでに水砂噴流摩耗試験で得られた標準モルタル供試体 10 時間平均摩耗深さの母平均及び標準誤差より算出し、安全側を考慮し実測データの母平均 3.62mm より 0.5mm 刻みで切り捨てた。

(注 2) 摩耗時間と平均摩耗深さが線形的な比例関係を示すことから、頭部処理材の許容平均摩耗深さ (15 時間) は、標準モルタル供試体の平均摩耗深さの基準値 A (3.5mm) に摩耗時間の比 (15 時間/10 時間) を乗じ、その値に、基準値 A と頭部処理材の平均摩耗深さ B の比 B/A を乗じた値とする。小数点 2 桁とした場合では計測が困難となるため、安全側に値の端数を切り捨てた小数点 1 位の値とした。ここでいう平均摩耗深さは、水砂噴流摩耗試験 (15 時間) の平均摩耗深さが 7.8mm 以下であること、又は水砂噴流摩耗試験 (10 時間) の平均摩耗深さを 1.5 倍した値が 7.8mm 以下であることを意味する。

(3) 耐久性

第 4 章 対策工法の共通事項 4.3 要求性能、性能照査を参照

10.2.2 ロックボルト補強工法の適用性

- (1) ロックボルトの定着方式は、使用目的、地山条件、施工性等を考慮して選定しなければならない。
- (2) ロックボルトの定着材は、十分な定着力が得られるものでなければならない。
- (3) ロックボルト補強工法を適用する場合は、覆工コンクリートに発生したひび割れ等の変状を補修しなければならない。

【解説】

(1) ロックボルトの定着方式

ロックボルトの定着方式は、ロックボルト全長を地山に定着させる全面定着方式が基本である。全面定着方式には定着材式と摩擦式の2種類があり、それらの構造や定着材の種類等によって図-10.2.2-1のように分類される。2種類の定着方法の概要を表-10.2.2-1に示す。

定着材式は、ロックボルトをモルタル等の定着材を用いて地山に固定する方法である。定着材式には、先充填型、カプセル型及び後注入型がある。

先充填型は、モルタル等の定着材をあらかじめ孔内に充填した後、ロックボルトを挿入し定置する方法であり、孔壁の自立性が良好な場合に用いられ、使用実績が多い。

カプセル型は、モルタルを充填する代わりに、モルタル又は樹脂及び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あり、孔壁が自立するものの、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ものとする。

後注入型は、ロックボルトを孔内に挿入し定置した後、モルタル又は樹脂系定着材を注入する方法であり、未固結地山、崖錐又は亀裂の多い地山などにおいて、より確実に定着力を発揮させる場合又は注入による地山改良効果を期待する場合に用いるものとする。

摩擦式は、ロックボルトを孔壁に密着させて得られる摩擦力により定着させる方法である。摩擦式の代表例としては鋼管膨張型があり、この方法は、高水圧ポンプを用いて孔内で鋼管製ロックボルトを膨張させることにより定着を得るものである。高圧によりロックボルト表面が孔壁に直接押し付けられ、摩擦抵抗がボルト全長の孔壁に作用する。摩擦式は、湧水処理を行っても定着材が流出して必要な性能を満足できない場合、又は打設後早期にロックボルトの性能発揮を期待する場合に採用されることが多い。なお、軟岩地山又は未固結地山等においては、十分な定着力が得られないおそれがあるため、その採用に当たっては注意を要する。また、摩擦式ロックボルトは孔壁内で芯材が地山と直接接触することから、防食性を考慮して高耐食性めっきを施した材料を使用するものとする。

ロックボルトは、地山に定着された後、軸方向の引張りと軸直角方向のせん断に対抗する機能から補強効果を発揮する。したがって、ロックボルトの設計に当たっては、引張り及びせん断に対するロックボルト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力を判断しなければならない。引抜き耐力は、通常、地山と定着材との間に生ずる定着力で得られるが、地山条件、定着方式、定着材、配置と寸法、材質と形状等によって異なるので注意が必要である。なお、ロックボルト補強工法の構造設計においては、軸方向引張力を照査対象とする。

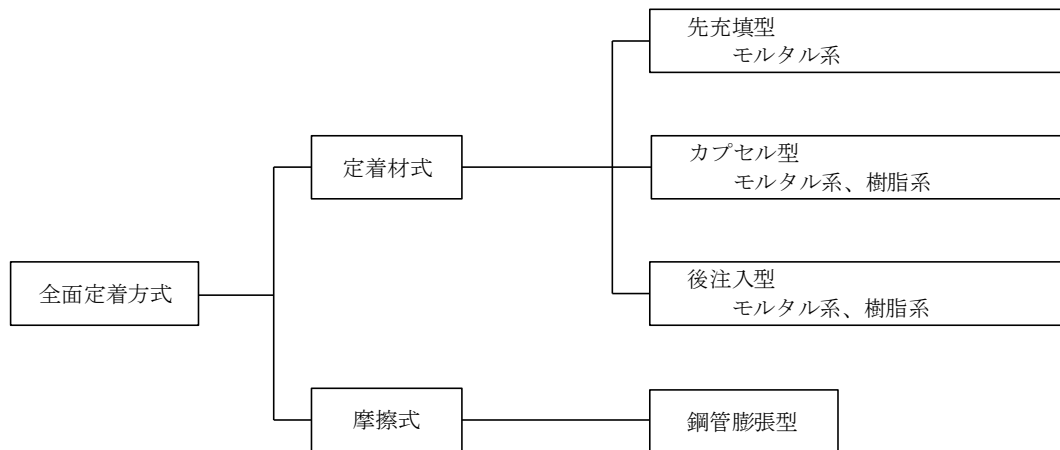
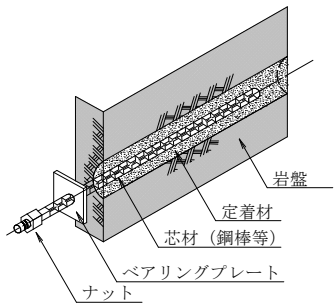
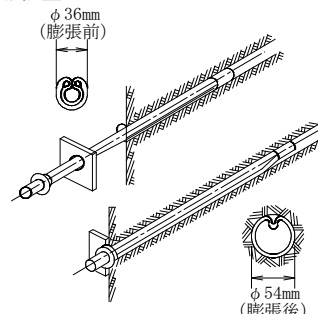


図-10.2.2-1 全面定着方式ロックボルトの分類

(出典：トンネル標準示方書 [山岳工法編]・同解説、土木学会、2016 年制定、p.94)

表-10.2.2-1 全面定着方式の概要

	定着方法	特 徴	適用範囲	概略図
定着材式	定着材を孔に充填し、芯材を挿入して定着させる先充填型と、定着材を封入したカプセルを先に充填するカプセル型、芯材を挿入した後に定着材を注入して定着させる後注入型がある。定着材は、先充填型にはモルタル、カプセル型にはモルタル及び樹脂、後注入型にはモルタル及び樹脂が主に用いられている。	定着材を用いて芯材全長を地山に定着させる。地山条件（亀裂、湧水の状態）や孔壁の自立性等に応じ、各種のものがある。	硬岩、中硬岩、軟岩、未固結地山をはじめ、膨張性地山も含めて種々の地山に適用可能である。	先充填型 
摩擦式	芯材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される。代表的なものとして、鋼管膨張型がある。	鋼管膨張型では、穿孔した孔の中に先端を閉塞した鋼管を挿入した後、高水圧を注入して鋼管を膨張させることにより、瞬時に定着力が得られる。鋼管表面の腐食や孔壁面に加えられた押付け力低下等の耐久性の低減について十分な検討が必要である。	摩擦式は、湧水の多い地山に適用可能である。鋼管膨張型は穿孔した孔の半径方向に大きな塑性変形が可能なので、孔壁が自立すれば、広い範囲の地山に適用できる。	鋼管膨張型 

(出典：トンネル標準示方書 [山岳工法編]・同解説、土木学会、2016 年制定、p.94)

(2) ロックボルトの定着材

ロックボルトの支保効果が発揮されるためには、ロックボルト、定着材及び地山との間に十分な

定着力が確保される必要がある。表-10.2.2-2 は、地山条件別に定着方式と定着材の適用範囲の考え方を示した例である。

表-10.2.2-2 定着方式と定着材の適用範囲の考え方（例）

定着方式		定着材	地山条件					孔壁の状態等			適用条件、注意事項
			硬岩、 中硬岩	軟岩	未固結	膨張性	崖錐	多亀裂	孔荒れ	湧水	
定着材式	先充填型	モルタル系	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	△	硬岩から未固結地山まで適用可能、標準的な長さや普通の施工条件では、最も広く適用される。孔壁の荒れや湧水等特殊な条件下では別の方式について検討する必要がある。 充填ホースの挿入性、湧水によるモルタルの流出に注意。
		カプセル型	モルタル系	○	○	○	○	○	△	△	
	樹脂系	○	○	×	○	×	△	△	○		
	後注入型	モルタル系	○	○	○	○	○	○*	○*	△	孔壁が荒れて充填ホースの挿入が困難な場合、所定の引抜き耐力が得られない軟弱な地山等で加圧注入により付着力の向上を図る場合等に適用される。 ロックボルトの挿入性、定着材の漏出、湧水下での硬化性能に注意。
		樹脂系	○	○	○	○	○	○*	○*	△	
	摩擦式	鋼管膨張型	○	○	△	○	△	○	△	○	湧水により先充填型あるいはカプセル型等の定着材が流出する場合に適用される。 ロックボルトの挿入性、不良地山等で穿孔した孔径が必要以上に拡大する場合の摩擦力に注意。

注) ◎：適用できる（最も一般的）

○：適用できる

△：条件によっては適用できない場合もある（十分な定着効果が発揮されない場合がある）

×：ほとんど適用できない。

* 孔壁の条件が更に劣悪で、ボルト挿入あるいは穿孔自体に支障をきたす場合は、自穿孔式ボルトで施工する必要がある。

※同じ地山、孔壁条件でもその性質や程度によって適用性が異なる場合がある。

※同じ定着材、定着方式であっても個々の特性の違いによって適用性が異なる場合がある。

（出典：トンネル標準示方書〔山岳工法編〕・同解説、土木学会、2016年制定、p.95）

定着材の選定に当たっては、地山条件、施工性等を考慮し、定着部の全長にわたって十分な定着力が得られるものを選定しなければならない。定着材の必要条件は、早期と長期の定着力が大きく、充填性がよいことである。

定着材式ロックボルトの定着力については、ロックボルトと定着材の付着性、及び定着材と地山との付着性の両面で検討する必要がある。一般に使用されている定着材では、通常の施工により十分な充填が行われれば問題が生じないが、定着材と地山との付着性は、地山条件によっては十分得られないこともあるので注意が必要である。特に、地山の強度が小さく、地山と定着材との定着力が期待できない場合には、地山の改良効果を伴う定着材を使用するか、あるいは、得られる定着力から逆算してロックボルトに期待する引抜き耐力を決めることもある。ロックボルトに期待する引抜き耐力や効果を見直す場合には、ロックボルトの配置や本数、長さ等の変更を含めた検討が必要となる。

定着材の種類には、モルタル、樹脂等がある。一般には、品質のバラツキが少ないプレミックスタイプのモルタルが多く使用されている。一般に用いられるモルタル系定着材の早期の強度としては、材齢1~3日で、 10N/mm^2 以上の圧縮強度が設定されている。

定着材の施工方法には、先充填型と後注入型があるが、施工方法の選定に当たっては、地山条件、湧水の状況等を考慮しなければならない。なお、長いロックボルトを天端付近に打設する場合には、定着材の充填が不十分になること、あるいは崖錐のような未固結地山ではロックボルトを挿入するための孔壁が崩壊することもあるため、定着材の施工方法についても検討する必要がある。

このように、所要の定着力を得るためには、ロックボルトの定着方式や定着材の選定に際して、穿孔性、定着材の充填性等の施工性及び孔壁の自立性、湧水による定着材の流出や開口亀裂からの漏洩等の地山条件を十分に考慮する必要がある。

(3) 補修工法の併用

ロックボルト補強工法においては、補強工事の後も覆工コンクリート表面が通水面となるため、ひび割れや断面欠損等に対する補修工法を併用して覆工コンクリートの劣化や変状の進行を抑制しなければならない。

写真-10.2.2-1、写真-10.2.2-2は、ロックボルト補強工法施工後にスプリングライン（S.L.）付近のひび割れが流水摩耗により拡大した事例である。ひび割れが拡大すると覆工背面の地山土が吸出される危険性があるので留意する。特に水面下の変状は流水摩耗等により拡大することが想定されるため、変状の程度に応じた補修工事の併用を検討することが重要である。

また、ひび割れ等の補修工法を併用することで、補強工事後の覆工コンクリートの挙動を把握しやすくなるというメリットもある。（補修跡の再劣化状況を確認することにより補強効果を確認することができる。）



写真-10.2.2-1 S.L.付近の縦断方向ひび割れ



写真-10.2.2-2 同左の接写

(4) 防錆工

ロックボルトは定着方式や地山の腐食環境に応じて、適切な防錆方法を選定しなければならない。一般にロックボルト、ナット、ベアリングプレートなどの材料は、熔融亜鉛メッキによる防錆処理を行ったものを用いる。摩擦式ロックボルトは孔壁内で芯材が地山と直接接触するため、防食性を考慮して高耐食性めっき（Zn-6Al-3Mgめっき品）を施した材料のものが多く使用されている。

10.3 水理設計

第4章 対策工法の共通事項 4.4 水理設計 を参照

4.4.2 平均流速の計算 追加事項を以下に示す。

ロックボルト補強工法については、覆工コンクリートの粗度係数を適用する。ただし、ロックボルトの頭部が通水断面に突出する場合（写真-10.1.2）は、各種試験値を照査した上で用いることとする。一例として、イボ型粗度の実験式を式 10.3.1 に示す。

$$\frac{H^{1/6}}{n\sqrt{g}} = 10.6 \log_{10} \frac{H}{k} + 5.4 \log_{10} \frac{S}{F} - 5.47 \dots\dots\dots \text{式 10.3.1 足立の式}$$

ここに、

- H : 底面からの水深 (m)
- n : 粗度係数
- k : イボ粗度の高さ (m) (図-10.3.1 を参照)
- g : 重力加速度 9.8 (m/s²)
- S : 1つのイボ粗度要素が受け持つ面積 (千鳥配置の場合は $S = S_1 \times S_2 / 2$)
- F : 1つのイボ粗度要素の流れ方向への投影面積 ($F = k \times w$)

計算方法 式 10.3.1 に H を代入し n を求める。この n と、水路勾配、径深をマンニングの平均流速公式に代入し流速を求め、通水断面積を乗じて流量を求める。ただし、水深が浅いときに、径深や通水断面積をイボ粗度との関係でどのように取り扱えばよいかが問題である。

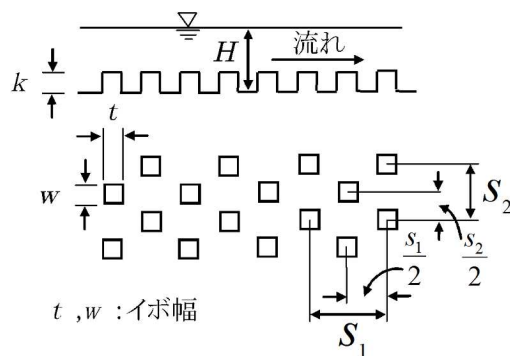


図-10.3.1 足立の式におけるイボ粗度（千鳥配置）の諸元

(参考：人工粗度の実験的研究、足立昭平、土木学会論文集 vol.104、昭和 39 年 4 月)

10.4 構造設計

10.4.1 構造設計の基本的な考え方

第4章 対策工法の共通事項 4.5.1 構造設計の基本的な考え方 を参照

10.4.2 解析の方法

第4章 対策工法の共通事項 4.5.2 解析の方法 を参照

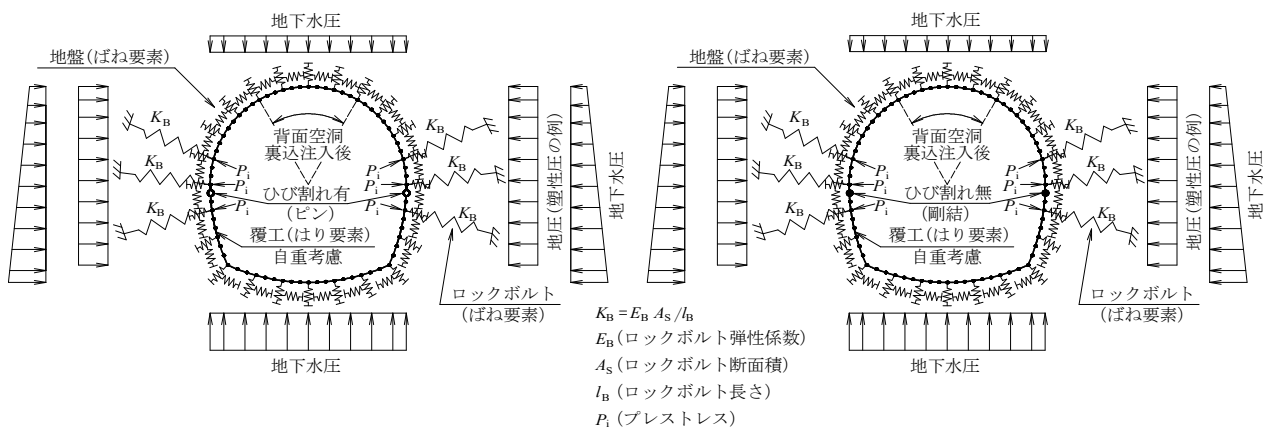
10.4.3 ロックボルト補強工法の構造設計

ロックボルト補強工法の適用に際しては、水路トンネルの特性を踏まえ、現場条件に応じた構造設計手法を選定し、適切な構造計算を実施して耐荷性能を照査する。

【解説】

(1) ロックボルト補強工法の骨組解析検討モデル

ロックボルト補強工法の骨組解析検討モデル（例）を図-10.4.3-1 に示す。



ケース1 ひび割れ有

ケース2 ひび割れ無

図-10.4.3-1 ロックボルト補強工法の骨組解析検討モデル（塑性圧の例）

① ロックボルト補強工法の構造検討で考慮する荷重は次のとおりとする。

- ・ 自重（覆工コンクリート）
- ・ 地圧
- ・ 地下水圧
- ・ 内水圧
- ・ ロックボルトのプレストレス

② ロックボルト補強工法の骨組解析における検討ケースは、ひび割れ有（塑性ヒンジ）と、ひび割れ無（剛結）の2ケースとする。ひび割れ無のケースは、ひび割れが発生する直前の状態又はひび割れ発生後にひび割れを補修した状態を想定している。

- ③ 地圧モードは覆工コンクリートの変状（ひび割れ位置等）や地山条件等から選択する。地圧強度は、第4章で示した曲げ引張ひび割れから推定した設計地圧強度と矢板工法の支保工に作用する荷重の大なる方、又は圧ざが発生している場合の地圧強度などから適切に設定する。
- ④ 水圧条件については、湧水状況や地圧モードに応じて、表-4.5.2-8 に示す組合せの中から適切な組合せを検討する。設計地下水位は、第4章で示したとおりウィープホールの有無等に応じて適切に設定する。
- ⑤ ロックボルトは先端固定としたばね K_B をロックボルト打設位置の節点に追加することによりモデル化する。
- ⑥ ロックボルトに導入するプレストレス P_i は、ロックボルト打設位置の節点に内空側から荷重 P_i を載荷させることにより表現する。（図-10.4.3-1 参照）
- ⑦ 補強効果の照査は、裏込注入工法と同様に、第4章で示したとおり、式 4.5.2-9 及び式 4.5.2-10 により、覆工コンクリート内縁の応力度の設計強度に対する比に構造物係数 γ_t と構造解析係数 γ_a を乗じた値が、1.0 以下であることを確かめることにより行う。照査の結果、これらの条件を満足していれば、裏込注入工法、ひび割れ等補修工法、及びロックボルト補強工法を対策工法に適用する。

(2) ロックボルトの寸法と配置

1) ロックボルトの長さ

ロックボルトの長さと内空直径の関係については、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説設計「水路トンネル」（平成 26 年 7 月）p.311 の表-6.2.8 を参考にする。ロックボルトの長さは、後述する引抜き耐力を得られる長さを確保することが前提であり、地山と定着材との間の定着力が期待できない場合には、得られる定着力から逆算してロックボルトに期待する引抜き耐力を決めることもある。

2) ロックボルトの配置・本数

1 断面当たりのロックボルトの配置・本数は、鉄道トンネルの標準設計（変状トンネル対策工設計マニュアル、鉄道総合技術研究所、平成 10 年 2 月）等を参考に、ひび割れ位置を考慮した解析モデルにより効果的な配置・本数を決定する。

3) ロックボルトの打設間隔

ロックボルトのトンネル軸方向の打設間隔は、1～1.5m 間隔で行われるのが一般的である。実施設計に当たっては、建設時の鋼製支保工間隔に併せて設定するのがよい。支保工がない場合や支保工間隔が特殊な場合等においては、1.2m 間隔を基本とする。

(3) ロックボルトの設計引抜き耐力

設計引抜き耐力は、グラウンドアンカーの設計に準拠し、式 10.4.3-1 で算定してよい。

$$T_{pa} = L \cdot t_a \quad \dots\dots\dots \text{式 10.4.3-1}$$

ここに、 T_{pa} : ロックボルトの設計引抜き耐力 (N)

L : ロックボルトの定着長 (mm) 図-10.4.3-2 参照

t_a : 許容付着強度 (= $\min [t_{pa}, t_{ca}]$) (N/mm)

t_{pa} : 地山と定着材の許容付着力 (= $[\tau_p \cdot \pi \cdot D] / F_s$) (N/mm)

t_{ca} : ロックボルトと定着材の付着力 (= $\tau_c \cdot \pi \cdot d$) (N/mm)

τ_p : 地山と定着材の周面摩擦抵抗 (表-10.4.3-1 参照) (N/mm²)

D : 削孔径 (mm)

F_s : 周面摩擦抵抗の安全率 (本設=2)

τ_c : ロックボルトと定着材の許容付着応力 (表-10.4.3-2 参照) (N/mm²)

d : ロックボルト径 (mm)

表-10.4.3-1 極限周面摩擦抵抗の推定値 (τ_p)

岩盤の種類	極限摩擦抵抗 (N/mm ²)
硬 岩	1.20
軟 岩	0.80
風化岩	0.48
土 丹	0.48

表-10.4.3-2 定着材と異形鉄筋の許容付着応力度 (N/mm²)

定着材の設計 基準強度	18	24	30	40 以上
鉄筋の種類				
異形鉄筋	1.4	1.6	1.8	2.0

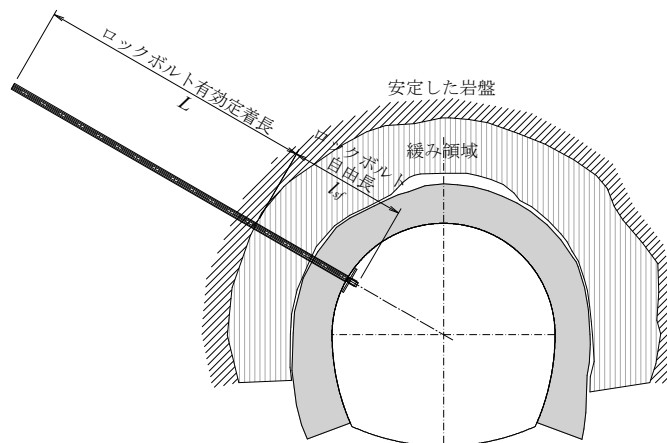


図-10.4.3-2 ロックボルトの定着長

ロックボルトの引抜き耐力の要求値は、100 kN/本以上とする。一般に、ロックボルトの引抜き耐力が 100kN/本以上得られる地山であれば、ロックボルトによる補強効果が得られる地山であると判断できる。ロックボルトの引抜き耐力は、ロックボルト引抜き試験により確認しなければならない。（「10.5.7 ロックボルト補強工法の施工」を参照）

(4) ロックボルトのプレストレス

変状対策では、個々のボルトの効果が確実に得られることが前提となるので、ロックボルトにプレストレスを導入することを原則とする。なお、プレストレスは、一般に引抜き耐力の 1/2 程度を目安として設定してよい。

締付トルクは式 10.4.3-2 により算定する。

$$T = k \times B \times P \times 1000 \dots\dots\dots \text{式 10.4.3-2}$$

ここに、 T : 締付 (N・m)
 k : トルク係数 (ボルト特有値)
 B : ボルト径 (m)
 P : ボルト軸力 (kN)

(5) 覆工コンクリートの構造照査

ロックボルトの構造設計に当たっては、引張り及びせん断に対するロックボルトの降伏荷重と定着力について十分検討する必要がある。また、覆工コンクリートに対してはベアリングプレートの押し抜きせん断応力度の照査を行わなければならない。

10.4.4 水抜工

第4章 対策工法の共通事項 4.5.3 水抜工 を参照

10.5 施工方法

10.5.1 長寿命化対策の施工

第4章 対策工法の共通事項 4.6.1 長寿命化対策の施工 を参照

10.5.2 仮設備工

第4章 対策工法の共通事項 4.6.2 仮設備工 を参照

10.5.3 坑内作業準備工

第4章 対策工法の共通事項 4.6.3 坑内作業準備工 を参照

10.5.4 下地処理工

第4章 対策工法の共通事項 4.6.4 下地処理工 を参照

10.5.5 導水・止水対策工

第4章 対策工法の共通事項 4.6.5 導水・止水対策工 を参照

10.5.6 補修工法の施工

第4章 対策工法の共通事項 4.6.6 補修工法の施工 を参照

10.5.7 ロックボルト補強工法の施工

ロックボルト補強工法は、水路トンネルの断面規模、ロックボルトの定着方式、定着材の種類等により施工方法が異なる。そのため、各工法の施工方法や特徴、現場条件を十分に踏まえた計画の下で施工を行うことが求められる。

【解説】

ロックボルト補強工法は、中断面より大きな道路や鉄道トンネルにおいて施工実績が多いが、小断面トンネルや極小断面トンネルが主体となる水路トンネルでは他の補強・改修工法に比べて施工実績が少ない。その背景には、施工機械の規格により吹付け・ロックボルト工法の最小施工断面が直径2.5m以上であることが挙げられる。

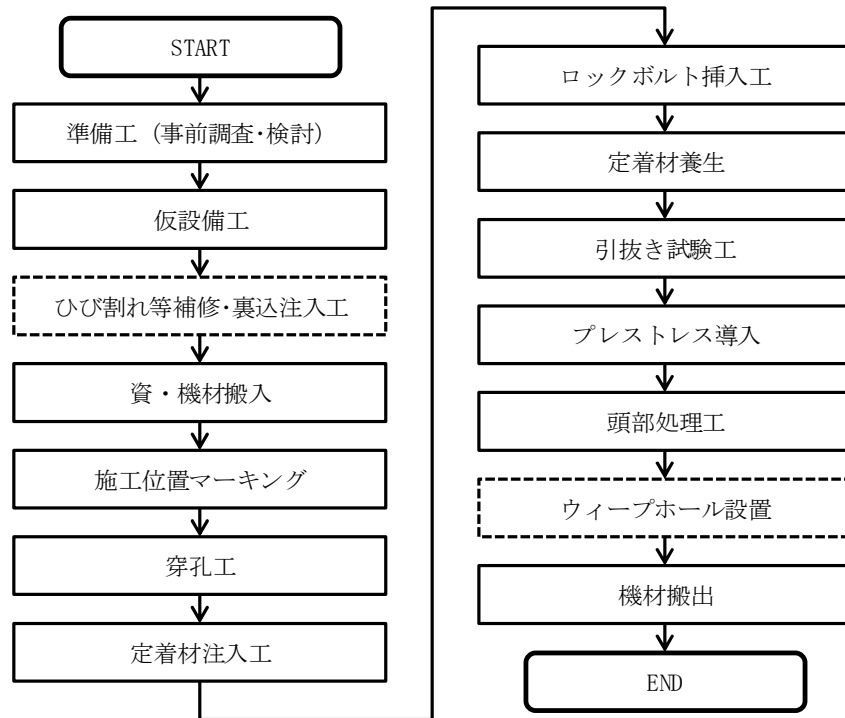
すなわち、ロックボルトの施工方法については、直径2.5m以上のトンネルであれば、吹付け・ロックボルト工法（NATM）と同様のロックボルト施工技術が適用できる。一方、極小断面トンネルについては、近年開発された極小断面用のロックボルト施工機械による施工実績がある。

以下では、従来の施工方法によるロックボルト補強工法の施工手順、施工内容、施工時の留意事項を示すとともに、極小断面用のロックボルト施工法について概要を紹介する。

(1) ロックボルト補強工法

1) 施工手順

図-10.5.7-1 にロックボルト補強工法の施工手順を示す。



注) 破線は必要に応じて実施する

図-10.5.7-1 ロックボルト補強工法の施工フロー（例）

① 資・機材搬入

ロックボルト補強工法の資・機材を坑内に搬入する。

② 施工位置マーキング

ロックボルトの打設位置をマーキングする。

③ 穿孔工

穿孔機械を覆工コンクリート面に対して直角方向に据え付ける。据付角度の誤差は、±2 度以内とする。据付完了後、所定の径のロッドを使用して、所定の深度まで穿孔する。穿孔完了後に孔内のスライムを洗浄し、検尺ロッドを挿入して穿孔長を確認する。

穿孔時に支保工に当たった場合は、できる限り 0.2m 以内の位置に変更し、再穿孔を行う。また、支保工に当たった穴は、無収縮モルタル等で充填・処理する。

上記の穿孔作業と同様に、ロックボルト頭部とベアリングプレートを覆工コンクリート内に埋め込むための拡径を行う。拡径作業ではロッドの先端に拡径用のビット（φ200mm 程度）を装着し、L=90mm 程度穿孔する。

穿孔作業中は、覆工コンクリートの状況や岩盤の状況を監視しながら施工する。また、覆工コンクリートと岩盤の間の空洞の有無についても確認する。

穿孔作業中の湧水が著しい場合は、湧水対策の適用及び定着材の変更について検討・協議を行う。

写真-10.5.7-1 に穿孔状況を、写真-10.5.7-2 に拡径状況を示す。



写真-10.5.7-1 穿孔状況



写真-10.5.7-2 拡径状況

④ 定着材注入工

穿孔完了後、塩ビパイプを挿入し、先端部分より定着材をモルタルポンプにて確実に充填する。

⑤ ロックボルト挿入工

定着材充填完了後、所定の長さのロックボルトをエアーピックの打撃等により所定の深さまで挿入する。写真-10.5.7-3 及び写真-10.5.7-4 にロックボルト挿入状況を示す。



写真-10.5.7-3 ロックボルト挿入状況



写真-10.5.7-4 ロックボルト挿入完了

⑥ 定着材養生

ロックボルト挿入完了後、注入材が所定の強度を発現するまで養生する。引抜き試験を行うために必要な圧縮強度発現まで3日程度必要である。

⑦ 引抜き試験工

一般にロックボルトの引抜き耐力が100kN/本以上得られる地山であれば、ロックボルトに対する対策効果が得られる地山であると判断できる。よって、ロックボルトの引抜き耐力は、100kN/本

以上となることを原則とする。ロックボルトが地山に十分定着していることを確認するため、施工後に引抜き試験を行う（図-10.5.7-2 及び図-10.5.7-3）。引抜き試験の頻度は、対策区間のトンネル延長 10m 当たり 3 本を目安とする。なお、プレストレスを導入する場合は、施工に先立って引抜き試験を行い、引抜き耐力が 100kN/本以上得られる地山であることを確認する。なお、図-10.5.7-2 は早強性の定着材により先端定着した事例である。

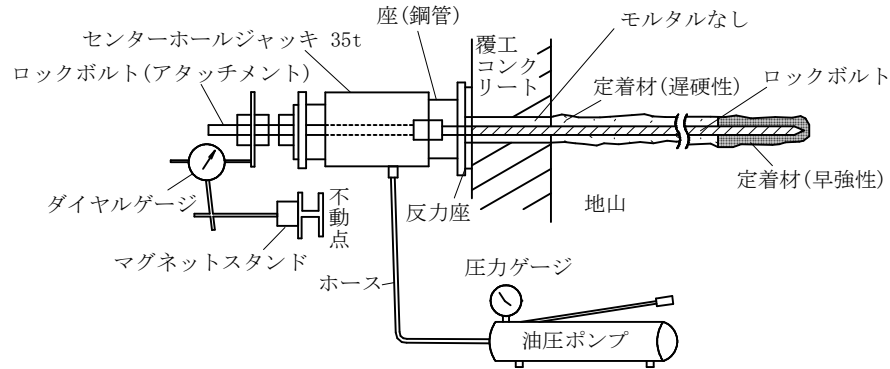


図-10.5.7-2 ロックボルト引抜き試験装置の例

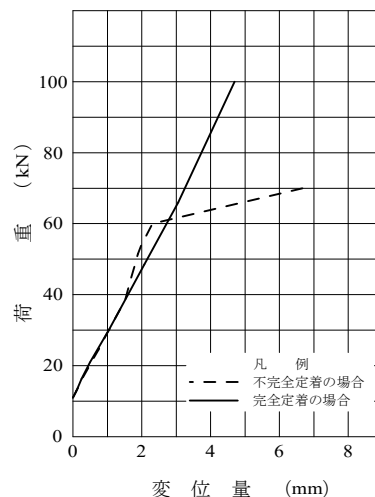


図-10.5.7-3 ロックボルト引抜き試験結果の例（荷重－変位曲線）

⑧ プレストレス導入（頭部締付工）

ロックボルトの作用効果を十分発揮させるよう、ベアリングプレートを設置し、ナット等で固定する。プレストレスを導入する場合は、プレストレスは引抜き耐力（100kN/本）の 1/2 程度を目安としてよい。プレストレスは、トルクレンチ等を用いて締め付け力で確認する。写真-10.5.7-5 にベアリングプレート及びナット設置状況を示す。

⑨ 頭部処理工

ロックボルトのプレストレス導入が全て完了後、拡径した箇所の処理を行う。拡径した箇所にプライマー材を塗布し、ポリマーセメントモルタル等を充填して表面の仕上げを行う。なお、ボルト頭部が水路内に露出する場合は、防錆処理を行う。写真-10.5.7-6 に頭部処理状況を示す。



写真-10.5.7-5 ベアリングプレート・ナット



写真-10.5.7-6 頭部処理状況

2) 穿孔における留意事項

① 穿孔機械

ロックボルトの穿孔機械には、ロックボルト孔専用機と発破孔との兼用機とがある。専用機には、ロックボルトの挿入、締付けまで一台の機械で一貫して行うことができるものもある。

ロックボルト孔の穿孔作業は、1 サイクルに占める割合が大きいため、効率のよい穿孔機械を選定する。一般に使用される穿孔機械には、ドリフター、レッグドリル、エアオーガ等がある。

表-10.5.7-1 に穿孔機械の特徴を示す。

表-10.5.7-1 穿孔機械の特徴

ドリフター (ジャンボ)	レッグドリル、シンカー、 ストーパー	ハンドオーガ レッグオーガ
大型で穿孔能力が大きく、大孔径や長孔の穿孔に適する。ロットの回転をライフルバーで行うものと、独立の回転モーターをもつものがある。後者の方が、回転力が強く、また、回転数の変更もできるので適用範囲が広い。	レッグドリルは、上向き孔や下向き孔の穿孔が困難である。上向き孔にはストーパー、下向き孔にはシンカーを用いる。 一般に、人力作業なので、ロットの引き抜きが困難なことがある。	軟岩、土砂等に対して用いられる。玉石層や礫層では、穿孔が困難である。 粘土層では、スパイラルロッドにくり粉が付着して、穿孔不能となることもある。

(出典：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「水路トンネル」、平成26年7月、p.407)

ドリフターの動力には空圧式と油圧式があり、現在のトンネル工事では油圧式（油圧ジャンボ等）が多く使用され、ロックボルト用穿孔にも兼用されている。水路トンネルのように断面規模が小さい場合、両穿孔機種との兼用は使用機種の減数、稼働率の向上等の有利性もあるが、小断面では以下の理由により、ロックボルトの穿孔はレッグドリルを使用する事例も多く、機種選定に当たっては総合的な検討が望ましい。

- ・断面が小さくブームを上向きにすることができない。

- ・ロックボルトの本数が少ない。
- ・機械の入替えを少なくすることが望ましい。
- ・穿孔径が小さい。

② 穿孔作業

ロックボルト孔の穿孔は、浮石を取除き、安全を確認してから、適切な寸法のビットを用い、所定の位置に、正確な方向と深さで施工する。穿孔径はビット径により定まるので、硬岩の場合はビットの消耗状況の点検を行い、許容値を超えないようにする。

軟岩や土砂地山にロックボルト孔を穿孔する場合は、くり粉の排出や孔荒れ防止を主眼において、エアオーガなどを用いることがある。特に、断層破碎帯等、固結度の低い地山への穿孔では、孔径の拡大や孔壁の荒れ及び崩壊等の障害が生じやすい。

③ 穿孔径

穿孔径は、使用するボルトの型式によりおのおの異なるが、孔が小さすぎれば挿入が困難となったり、ボルトの型式によってはネジ部の破壊が生じたりするおそれもある。また、孔径が大きすぎると定着材が多く必要となり、填充されない部分が残りがやすく、不完全な施工となる場合がある。小断面トンネルで一般に用いられる全面定着方式ロックボルトの形式と穿孔径の考え方は表-10.5.7-2 に示すとおりである。

表-10.5.7-2 ロックボルト形式と穿孔径

ロ ッ ク ボ ル ト 型 式		穿 孔 径 (φ)
定 着 材 式	セ メ ン ト モ ル タ ル 型	ボルト径 + (10～15mm)
	普 通 レ ジ ン 型	〃 + (6～ 8mm)
	発 泡 レ ジ ン 型	〃 + (10～15mm)
	セ メ ン ト カ プ セ ル 型	〃 + (10～15mm)
摩 擦 式	打 込 み 型	〃 - (3～ 5mm)
	鋼 管 膨 張 型	〃 + (6～10mm)

(土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「水路トンネル」、平成26年7月、p.408 を改変して転載)

④ 孔長

ロックボルト孔は、使用するロックボルトに対して短すぎても長すぎても好ましくない。穿孔時に、孔の長さのチェックが簡単にできる方法を講じておくことが望ましく、孔が短すぎるとベアリングプレートが吹付けコンクリート面に密着せず、長すぎるとセメントモルタル型以外では定着材が不足する。孔長の長短の許容限界は、概ね-50mm～+100mm 程度と考えられている。

3) ロックボルトの挿入及び定着における留意事項

ロックボルトの挿入定着作業に当たっては、次の事項に留意する。

① 挿入

使用する機械はボルトの種類に応じた適切な機種によりロックボルトを所定の深さまで挿入する。挿入前には孔の清掃を十分に行う必要がある。挿入が困難な場合には、ロックボルトの形式の変更等の対策をとる必要もある。なお、高さ 2m 以上での作業には、法規に定める構造と必要な作業スペースを有する作業床が必要である。穿孔機械の作業床と兼用できない場合は、別にロックボルトの挿入や定着のための作業床を準備する（労働安全衛生規則第 563 条）。

② 定着

定着材を用いて定着する場合は、定着材の硬化時間や硬さ等を湧水量や孔の方向等に応じて調整し、十分な量を使用して所定の定着力が得られるようにすることが必要となる。地山条件や穿孔の状態、湧水状況により十分な定着力が得られない場合は、定着材料や定着方式の変更を検討する必要がある。また、先端定着方式の場合はロックボルト挿入後にトルクレンチ等でナットを締付けて、定着が十分に行われたかどうかを確認する必要がある。

③ ベアリングプレート

ロックボルトの作用効果を十分に発揮させるよう、ベアリングプレート（図-10.5.7-4）を掘削面や吹付けコンクリート面にナット等で固定する必要がある。ベアリングプレートは、平角プレート 9×150×150 が一般に用いられている。

ベアリングプレートが吹付け面又は掘削面に十分密着したかどうかの確認は、一般的には目視又はハンマーで軽く叩くなどの方法が多く、特に重要な場合はトルクレンチを使用して締め付け力で確認する方法が有効である。

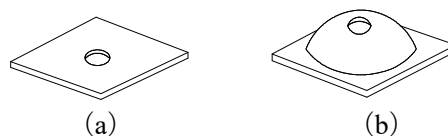


図-10.5.7-4 ベアリングプレートの形状の例

4) 湧水対策における留意事項

湧水箇所においては定着材が流出して、地山との接着が不十分となるため、不完全な施工になりやすい。この対策としては、ロックボルト孔周辺地山から排水して完全な定着を得る方法と湧水があっても施工可能な定着材又は定着方法を採用する方法がある。

① ロックボルト孔周辺に排水孔を設ける方法

図-10.5.7-5 に例を示すように、ロックボルト施工位置にロックボルト孔と同程度の孔を数孔設け、そのうちから湧水の少ない孔を選定してロックボルトを施工する方法である。

② 急硬性の定着材又は定着方式を使用する方法

比較的湧水量が少なく、水圧も低い場合はレジンや急結セメントミルク等、急硬性の定着材を

用いる。また、摩擦式のボルトは定着材が不要で透水性があり、施工時間も短時間となる利点がある。

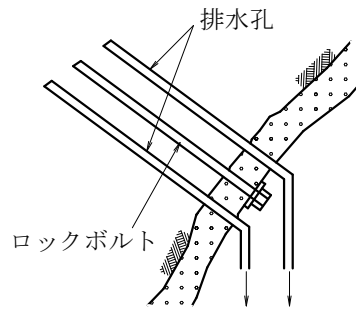


図-10.5.7-5 排水孔による湧水処理

(出典：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「水路トンネル」、平成26年7月、
p.409)

(2) 極小断面用ロックボルト施工法

写真-10.5.7-7 に極小断面用に開発された穿孔システムの構成を示す。また、図-10.5.7-6 に極小断面用ロックボルト施工機械配置図を示す。このシステムの特徴は、以下のとおりである。

- ① 穿孔及びロックボルトの打設に継ぎのみ方式を採用し、トンネル幅より長いロックボルトが打設可能であり、水路幅 1.5m 程度以上の水路トンネルに適用可能である。
- ② 強度 150kN/mm^2 程度の硬岩まで穿孔可能である。
- ③ 発生粉塵は全てサイクロンとバキュームにより吸引するため、狭小な作業空間の環境を良好に維持できる。
- ④ 小型・軽量で分割が可能のため、狭い坑内での運搬・組み立てが容易である。
- ⑤ 自穿孔ボルトの採用により、孔荒れの激しい地山でも施工可能である。

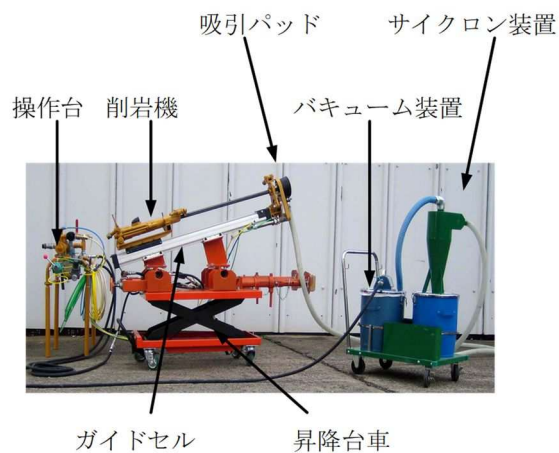


写真-10.5.7-7 削孔システムの構成

(出典：戸村豪治、山地宏志、黒川幸彦（三井住友建設株式会社）

「小断面トンネルリニューアルシステム工法の開発」、ARIC 情報（96）2010、p.44）

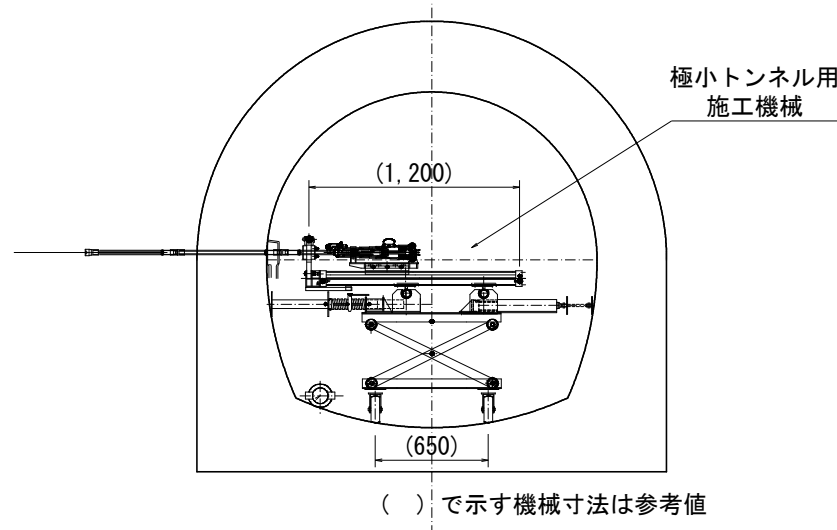


図-10.5.7-6 極小断面用ロックボルト施工機械配置図（例）

（若林孝他、ロックボルトを用いた水路トンネルの補強、農業農村工学会材料施工研究部会、材料と施工、2014年2月、p.40を改変して転載）

10.6 ロックボルト補強工法の施工管理

10.6.1 ロックボルト補強工法の材料の承諾及び保管管理

ロックボルト補強工法に使用する資材の品質管理に際しては、製造時の品質記録により確認する。定着材については、材料、配合、物性値、管理値等について監督職員の承諾を得る。また、使用材料は適正に保管管理を行う。

【解説】

(1) ロックボルトの管理

ロックボルトは、JIS 等の公的規格や団体規格に準拠した二次製品であり、品質管理は、工場生産時の品質記録により降伏耐力等を確認する。

ロックボルトには、定着材との定着効果を妨げる有害な錆、ごみ、油等が付着しないよう、有害な曲り、ねじの損傷等がないように管理する。

(2) 定着材の管理

定着材の品質管理に際しては、モルタル等の配合、流動性状、及び強度等を確認する。これらについては、管理基準値を満足する材料、配合、物性管理の試験項目と管理値を示し、監督職員の承諾を得る。

定着材にはセメント、樹脂など多くの製品が市販されているが、それぞれの製品に応じた保管方法などの注意を守り適切な貯蔵の方法、設備等について事前に検討して不良品の発生を防止する。

粉末のもの、特に急結性のセメントなどについては、湿気、温度等による変質、異物の混入等のほか、製品の特性に応じた注意を払って劣化の防止に努め、劣化等の疑いがある時には検査して確認する。

樹脂は気温により硬化時間が異なるので、配合を変えることも検討する。

10.6.2 ロックボルト補強工法の施工時の管理

ロックボルト補強工法の施工管理においては、次の項目について確認を行う。

- (1) 打設孔の管理 (2) ロックボルトの引抜き耐力の管理等

【解説】

(1) 打設孔の管理

孔壁の荒れや崩壊等によりロックボルトの挿入や定着材の充填が難しくなることがあるので、事前に所要の孔が確保されていることを確認する。

また、施工時に設計どおりの位置、方向に打設できない場合がある。このような変更を行った場合は、設計上の作用効果と同等の効果が発揮されていることを確認する。

さらに孔壁の荒れやくり粉の残り等がある場合には、定着力が低下するおそれがあるため、くり粉等が残らないように十分清掃がなされていることを確認する。

湧水のある場合には、定着材が湧水により流出したり、分離又は水セメント比の増大により、著しく強度が低下したりするため、水抜孔の併設や定着材及び注入方式の変更等が検討されていることを確認する。

(2) ロックボルトの引抜き耐力の管理等

ロックボルトの定着効果は、地山の強度のほか孔壁の状態、定着方法等の条件に支配されるので、ロックボルトの施工に当たっては事前に引抜き試験を行ってどの位の引抜き耐力があるのかを確認する。引抜き試験は、ロックボルトの引抜き耐力から適正な定着方法、適正ロックボルト長、種別等を判断するために行う。また、施工中にも必要に応じて引抜き試験等を行って十分な定着力が得られているかを確認する。

引抜き耐力については、定着材の各材齢で試験を行い、材料と定着力の関係を求め、施工中に実施する品質確認試験の判定基準を決めるのがよい。一般に引抜き耐力はロックボルトの降伏点耐力（通常、ねじ部の降伏点耐力）と同程度となるよう定め、製品の製造工場又は品質の変更の有無についても確認する。

施工中の引抜き試験では、引抜き耐力の80%程度に達すれば合格とみなしてよいが、引抜き試験と実際の現象ではロックボルトに作用する荷重状態が異なる。また、地質によっては引抜き耐力が低くてもロックボルトとしての効果がある場合もあるので、得られた結果を総合的に判断する必要がある。

10.6.3 ロックボルト補強工法の出来形管理及び品質管理

出来形管理及び品質管理は、土木工事施工管理基準による。

ロックボルトの品質は、製造時の品質記録により確認する。定着材は、練混ぜ開始時及び配合変更時に材料の配合及び流動性等を確認する。強度管理は圧縮強度試験等により確認する。

【解説】

出来形管理は、土木工事施工管理基準（農道工事）に準じ、位置間隔、角度、穿孔深さ、孔径の計測を基本とする。出来形管理指標は本書の巻末資料に示す。

品質管理は、土木工事施工管理基準による。記載されていない項目の管理は、監督職員の承諾を得て各団体等が発行する資料に則って行う。