

第9章 接着工法

9.1 工法概要

接着工法は、覆工を取り壊すことなく、内面に繊維グリッドや繊維シート、鉄筋等の補強材を接着することにより、覆工の耐力の回復又は向上を図る工法であり、補強材の種類から分類できる。

【解説】

既設コンクリートの表面にモルタル、コンクリート又は鉄筋コンクリート等を接着一体化することにより部材の断面や鉄筋量等を増加させ、耐力の回復や向上を図る工法は、「内巻工法」と称される。また、「内巻工法」は内巻厚さや施工方法により「接着工法」と「増厚工法」に分類される。

表-9.1.1 に本書における内巻工法の分類を示す。本書では、スライディングフォームなどの型枠を使うものを「増厚工法」、コテ塗りや吹付けで施工するものを「接着工法」に分類する。内巻工法は、必要な構造性能（剛性・耐力）に応じて部材厚を増やすことができる。一般に内巻厚さが 125mm 以下は吹付けやコテ塗り施工が適用される。

本書では「内巻工法」の中で、施工実績を有する「接着工法」を対象とする。

接着工法は、覆工を取り壊さずに覆工コンクリートの表面に格子状の繊維や連続繊維、鉄筋などの補強材を取り付け、その上に増厚材としてポリマーセメントモルタル（PCM）や複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材（HPFRCC）、樹脂モルタルなどを吹付け又はコテ塗りし、覆工コンクリートと一体化することで、主に引張応力を分担させ、耐荷性や耐久性の向上を図る工法である。

表-9.1.1 内巻工法の分類

工 法	内巻厚さ	施工方法
接着工法	薄い	コテ塗り・吹付け
増厚工法	厚い	型枠施工

（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 覆工コンクリートの強度が期待できる場合

（2）工法の特徴

接着工法は、補強材と増厚材を覆工コンクリートと一体化させることで、曲げ引張耐力の増加を期待する工法である。圧縮耐力については覆工コンクリートの強度を期待するため、覆工コンクリートが十分な強度を有する場合に適用できる。

図-9.1.1 に水路トンネルにおける適用例を示す。

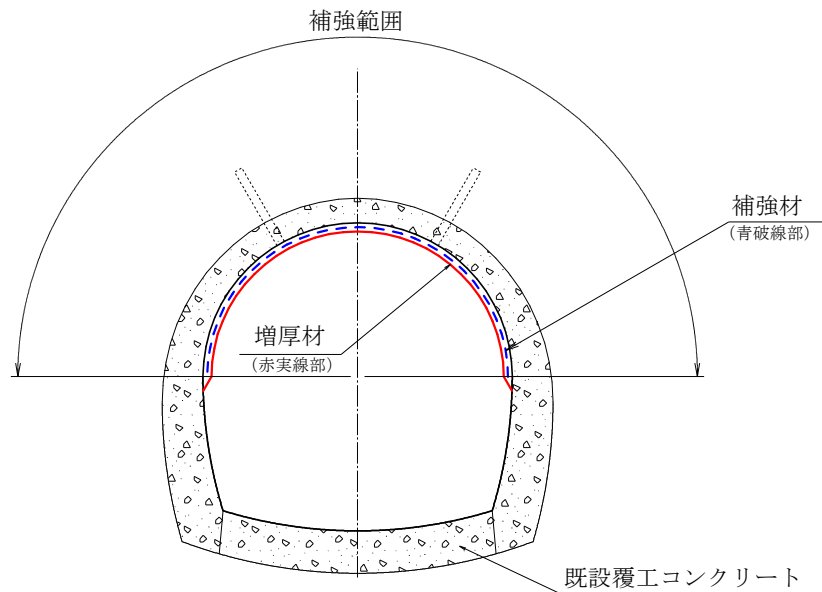
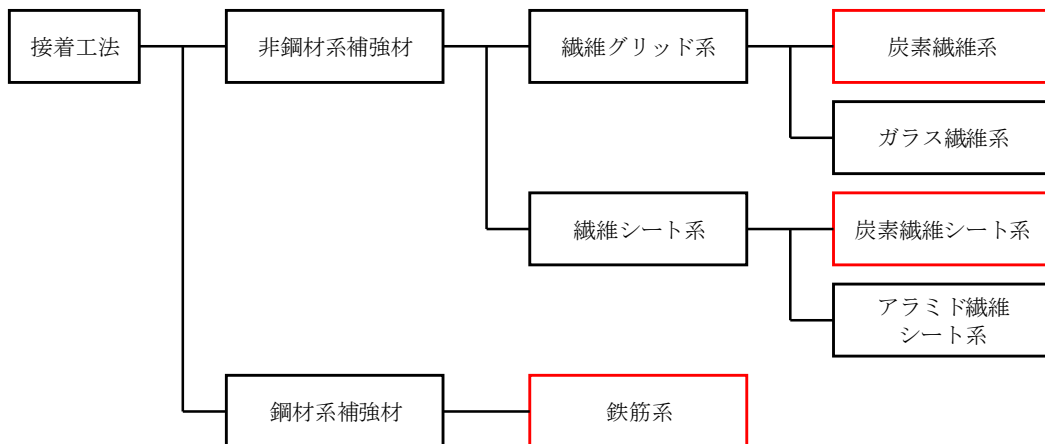


図-9.1.1 水路トンネルにおける接着工法適用例



※ 赤枠囲いが施工実績のある工法である。

図-9.1.2 補強材の種類による接着工法の分類

水路トンネルで施工実績のある接着工法は、補強材の種類により図-9.1.2 のように分類される。本マニュアルでは、これらの工法を、以下の一般名称で呼称する。

「繊維グリッド系接着工法」

（炭素繊維グリッド系接着工法・ガラス繊維グリッド系接着工法）

「繊維シート系接着工法」

（炭素繊維シート系接着工法・アラミド繊維シート系接着工法）

「鉄筋系接着工法」

なお、本書で取り扱う接着工法は、水路トンネルにおける施工実績が確認されている炭素繊維グリッド系接着工法、ストランド型炭素繊維シート系接着工法、及び鉄筋系接着工法である。

表-9.1.2 に接着工法の概要を示す。なお、接着工法に適用するポリマーセメントモルタルや樹脂モルタルについては、増厚材、結合材、接合材、接着材等、種々の呼び方が存在するが、本書では、これらの総称を「増厚材」という。(既設覆工の部材厚を増厚する材料であるので増厚材とする。)

表-9.1.2 水路トンネルで施工実績のある接着工法の概要

工法	工法の概要	補強材	増厚材
繊維グリッド系接着工法	格子状の炭素繊維やガラス繊維を補強材とし、付着力の高いポリマーセメントモルタルや HPFRCC を吹付け又はコテ塗りにより覆工コンクリートと一体化させる。	格子状の炭素繊維又はガラス繊維	ポリマーセメントモルタル又は HPFRCC
繊維シート系接着工法	炭素繊維シートやアラミドシートを樹脂モルタルや含浸・接着樹脂等により既設水路トンネルのアーチ部に定着固定し、覆工コンクリートと一体化させる工法である。補強層の摩耗対策として樹脂モルタルやポリマーセメントモルタル等で増厚し、表面保護を行う場合もある。(図-9.1.3 参照)	炭素繊維シート又はアラミド繊維シート	樹脂モルタル等
鉄筋系接着工法	覆工コンクリートの表面に鉄筋を配筋し、ポリマーセメントモルタルや HPFRCC を吹付け又はコテ塗りにより覆工コンクリートと一体化させる。	鉄筋	ポリマーセメントモルタル又は HPFRCC

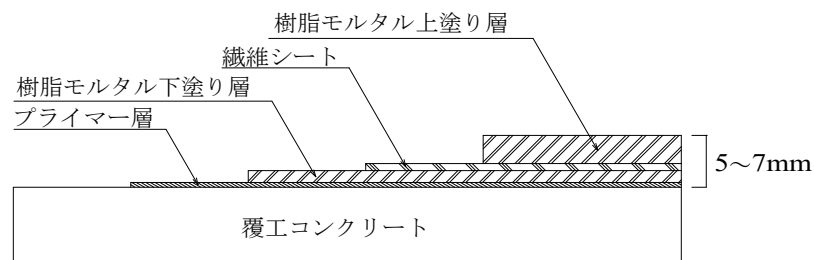


図-9.1.3 繊維シート系接着工法の断面図

繊維グリッドに使用するガラス繊維は、組成により E ガラス（一般用）、C ガラス（耐酸用）、AR ガラス（耐アルカリ用）等があるが、通常、繊維強化プラスチック（FRP）には E ガラスが用いられる。

E ガラスを用いた FRP は、乾燥状態においては各性能に問題はないが、湿潤＋アルカリ環境では引張強度が低下することが報告されている。

コンクリート素材は、水セメント比、最大骨材寸法にもよるが、数%の吸水があることが確認されており、セメント成分によりコンクリートは、アルカリ環境にある。その湿潤アルカリ環境に、E ガラスを用いたガラス繊維プラスチック（GFRP）を用いると、素材の引張強度が低下するおそ

れがあるため、採用においては留意が必要である。

また、耐アルカリ性が考慮されたガラス繊維素材、耐アルカリガラス（ARG）が考案されているが、FRP とすることは化学的組成から困難であるため、セメントモルタルなどに、そのまま混合されることが一般的な利用法である。

そのため、水路トンネルの補強材として適用する場合、目的とする供用期間や環境条件を考慮することが必要である。

（参考：杉山基美他、耐久性に優れた GFRP ロッドの開発、生産研究、56 巻 3 号（2004））

繊維シート系に分類されるアラミド繊維シートは電気を通さないので、電力系の施設（発電所の施設）や電気通信施設、鉄道関係（電車）のように導電性を嫌うところで使用される。アラミド繊維シートのヤング係数は炭素繊維シートの半分程度なので、導電性が問題とならない水路トンネルにおいては、構造計算が必要となる補強対策ではなく剥落防止対策のような補修対策として使用される。

水路トンネルで実績のある繊維シート系接着工法は、炭素繊維をすだれ状に編み込んだストランド型の繊維シートを用いた工法である。

（3）施工の概要

接着工法の施工においては、覆工コンクリートの下地処理工の後、接着材やアンカー等を用いて補強材を覆工コンクリートに接着若しくは固定し、増厚材を吹付け又はコテ塗りして覆工コンクリートと一体化させる。

写真-9.1.1～写真-9.1.3 に接着工法の施工例を示す。



繊維グリッド取付（アンカー打設）



ポリマーセメントモルタル吹付け

写真-9.1.1 繊維グリッド系接着工法施工例



繊維シート設置



樹脂モルタルコテ塗り（上塗り）

写真-9.1.2 繊維シート系接着工法施工例



補強鉄筋組立（アンカー打設）



ポリマーセメントモルタルコテ塗り

写真-9.1.3 鉄筋系接着工法施工例

(4) 留意事項

接着工法は、覆工コンクリートと補強材及び増厚材が一体となることで、覆工コンクリート内面側の曲げ引張耐力の増加を期待する工法であり、覆工コンクリートの内面側に引張応力が作用する箇所に対しては補強効果を発揮するが、覆工コンクリートの背面側に引張応力が作用する箇所に対しては接着工法の曲げ剛性を考慮しない。接着工法は、自立管設計とは補強に対する考え方が異なることに留意する。

接着工法の対策範囲は、変状原因、変状現象、トンネル構造を考慮して設定する。①塑性圧又は偏圧の場合は、側壁脚部からアーチ部にかけて対策し（図-9.1.4）、②鉛直圧の場合はアーチ部のみに補強材を配置する事例（図-9.1.5）もある。

①において、側圧による変状の場合は内面に圧縮応力が生じるアーチ部の補強効果を期待することはできないが、補強材端部の応力集中を避け、更にアーチ部からのはく離防止のためにも、アーチ部も対策範囲とすることが望ましい。

接着工法は覆工コンクリートの残存強度を期待する工法であり、コンクリート自体が健全な場合に適用できる。接着工法においては、補強材が引張力を負担し、既設コンクリートが圧縮力を負担するため、コンクリートのひび割れ部は別途充填や注入を行う必要がある。

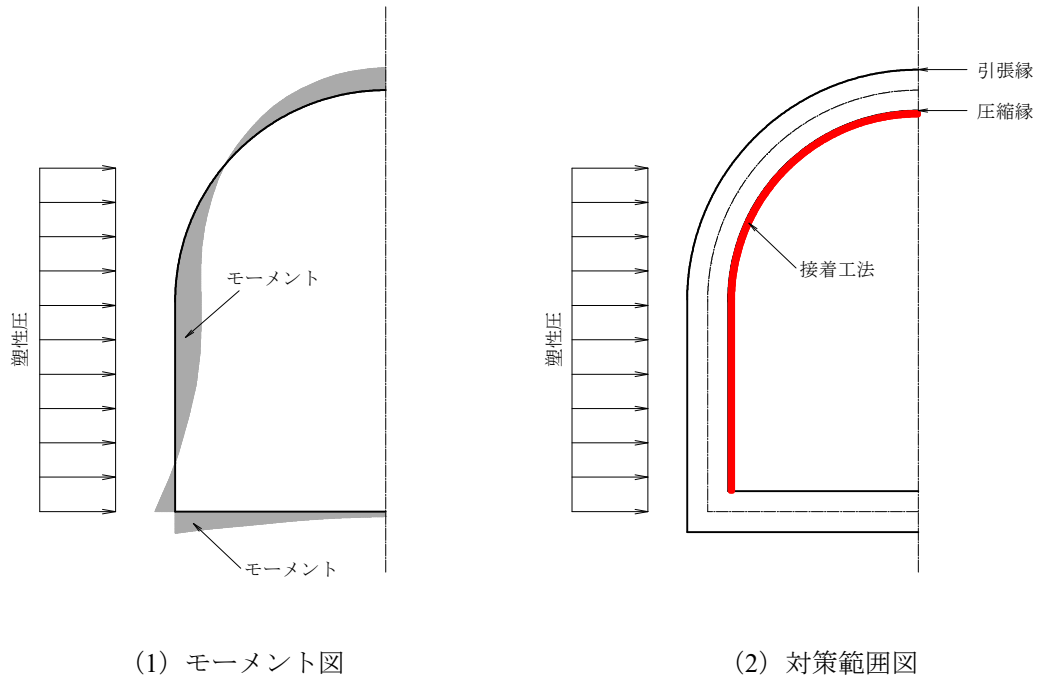


図-9.1.4 塑性圧が作用する場合の対策範囲の例

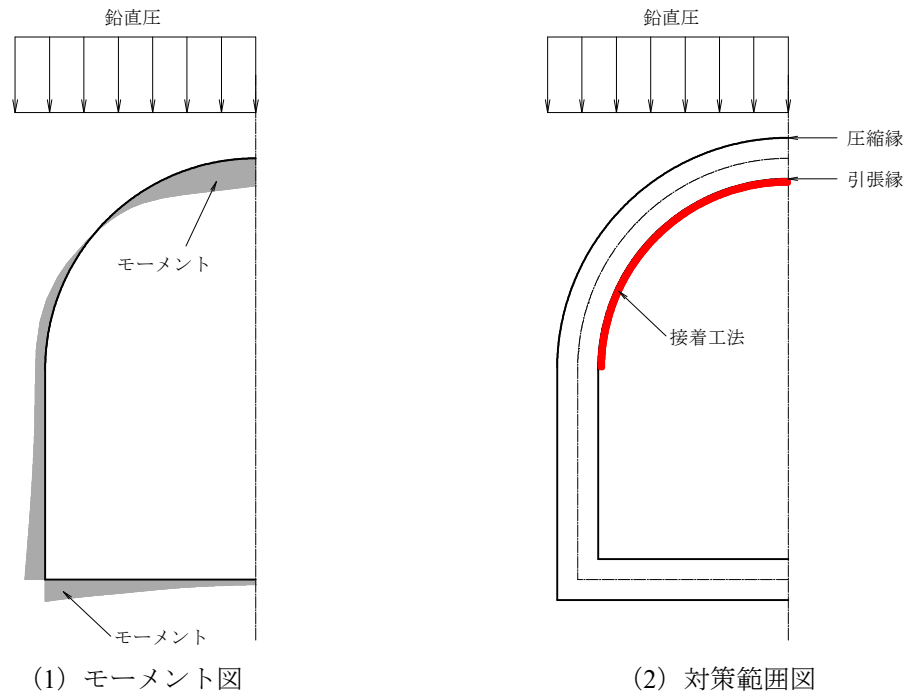


図-9.1.5 鉛直圧が作用する場合の対策範囲の例

9.2 要求性能、性能照査

9.2.1 接着工法の要求性能と性能照査

接着工法の要求性能は、工法毎の補強材や増厚材の種類に応じて適切に設定する。

接着工法の性能照査においては、JIS 等の標準的な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

接着工法の性能照査に際しては、接着工法に期待される効果の持続期間中に、接着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接着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、接着工法の性能照査に当たっては、接着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とした。ただし、接着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

接着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、接着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。

無機系の増厚材（ポリマーセメントモルタル）の要求性能と性能照査方法を表-9.2.1-1 に示し、有機系の増厚材である樹脂モルタルやシート接着時に使用する含浸・接着樹脂等の樹脂系の材料の要求性能と性能照査方法を表-9.2.1-2 に示す。また、補強材の要求性能と性能照査方法を表-9.2.1-4 に示す。増厚材については、開水路補修編に示された表面被覆工法の要求性能及び性能照査方法に準拠した。ただし、試験条件については参考であり、使用材料に応じて指定するものとする。JIS 等に規定されている試験方法を用いて性能照査を行うことが困難な照査項目については本書に示す試験により照査を行う。

また、以下に性能照査に関する特記事項を記す。

通水性：接着工法施工後に期待される通水能力が低下せず、計画最大流量を安全に流下できる性能を有すること。

耐荷性：地圧、水圧、載荷重に対する安定した耐荷性能を有していること。また、接着樹脂は、補

強材を確実に接着させ、補強材のヤング係数、引張強度、付着強度、継手強度を確保できるので、作業に適した粘度を有していること。

耐摩耗性：増厚材には、流水中の土砂による研磨等に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。設計かぶり厚さは適用する材料や現場条件にあわせて設定することになるが、かぶり厚さの設計においては水流摩耗度を考慮しなければならない。

付着性：水路トンネルは様々な自然環境やかんがい期間中水中状態に置かれるため、材料・工法は、乾湿繰返し状態や水中状態、低温状態での付着性を照査する必要がある。

一体化性：増厚材は補強後に単独で破壊してはならない。そのため、既設コンクリートと同程度あるいはそれ以上の強度が求められる。

寸法安定性：寸法安定性は、自己収縮、乾燥収縮及び温度変化に伴う寸法変化のしにくさを表すが、ここでは、無機系材料における乾燥による収縮を照査する。

中性化抑止性：無筋コンクリート覆工の場合は、中性化により鋼材が腐食し、構造物の性能を損なうおそれがないので、この照査は不要である。ただし、鉄筋系接着工法においては、開水路に適用する表面被覆工法に準拠して中性化抑止性を照査しなければならない。

表-9.2.1-1 増厚材（無機系）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 無機系：1.5以下
	付着性	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
						多湿条件
						低温条件
						水中条件 (注4)
						乾湿繰返し条件 温冷繰返し条件

(注1) ゲージブ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%の状態を 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) 鉄筋系接着工法に適用する。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%の状態を 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。

表-9.2.1-2 増厚材（有機系）に求められる要求性能と性能照査方法（注1）

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 (基本性能)	圧縮強度	圧縮試験	JIS K 7181	樹脂モルタル 35N/mm ² 以上
			引張強度	引張試験	JIS K 7161	含浸・接着樹脂 30N/mm ² 以上 樹脂モルタル 30N/mm ² 以上
			曲げ強度	曲げ試験	JIS K 7171	含浸・接着樹脂 40N/mm ² 以上 樹脂モルタル 40N/mm ² 以上
			引張せん断強度	引張せん断試験	JIS K 6850	含浸・接着樹脂 10N/mm ² 以上 樹脂モルタル 10N/mm ² 以上
	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2）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 に対する平均摩耗深さの比 樹脂モルタル： 0.2 以下
	付着性	付着性	付着強度試験 (注4)	JSCE K 561 (乾湿・温冷 繰り返し回数は 15 サイクル (注2))	標準条件	1.5 N/mm ² 以上
					多湿条件	
					低温条件	
					水中条件（注3）	1.0 N/mm ² 以上
					乾湿繰返し条件	
					温冷繰返し条件	

（注1）表-9.2.1-2 に加え、各材料の性状を明らかにするために、各材料について以下に示す物性について確認することが望ましい。

「プライマー」「含浸・接着樹脂」「樹脂モルタル」

〔主剤・硬化剤の主成分〕、〔混合比（重量比で示す）〕、〔比重（JIS K 7112（硬化物））〕、〔粘度（JIS K 6833-1（混合物））〕、〔可使時間（温度上昇法）〕

「不陸調整材」

〔主成分〕、〔可使時間（温度上昇法）〕、〔圧縮強度（JIS K 7181）〕、〔圧縮弾性率（JIS K 7181）〕、〔引張せん断強さ（JIS K 6850）〕

（注2）表-9.2.1-1（注3）参照

（注3）表-9.2.1-1（注4）参照

（注4）併せて不陸調整を行う場合、本表の付着強度試験は不陸調整材を用いた仕様で供試体を作成し実施する。

○耐摩耗性の試験方法と要求値

増厚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。

接着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 （=3.5mm）^{（注1）}と各増厚材の平均摩耗深さ B の比（ B/A ）で規定する。要求値 B/A は、表-9.2.1-3 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増厚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-9.2.1-3 増厚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）} と各増厚材の平均摩耗深さ B の比（ B/A ）	参考 ^{（注2）} 増厚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）} ($1.5 \times 3.5 \times (15/10) = 7.88$)
有機系材料 ^{（注3）}	0.2 以下 ^{（注3）}	1.0 以下 ^{（注2）（注3）} ($0.2 \times 3.5 \times (15/10) = 1.05$)

（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、増厚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 と増厚材の平均摩耗深さ 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。

（注3）有機系材料は、増厚材の部材厚の 1/3 と増厚材の平均摩耗深さ B のうち小さい方を許容値とすることを基本とするが、部材厚が 2.1mm（0.7mm の 3 倍）を上回る場合は、部材厚の 1/3 を許容値とする。ここに、0.7mm は $0.2 \times 3.5\text{mm}$ （増厚材 10 時間の平均摩耗深さ）である。なお、有機系の増厚材では全ての部材厚で部材厚の 1/3 が許容値となるが、耐摩耗性の品質規格値を B/A と規定したことから、表-9.2.1-3 では B/A 値 0.2 以下を記載した。

表-9.2.1-4 補強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	引張強度	引張試験	JSCE E 531 【繊維グリッド系】	1,400N/mm ² 以上 (高強度炭素繊維) 1,200N/mm ² 以上 (高弾性炭素繊維)
					JIS A 1191 【繊維シート系】	3,400N/mm ² 以上 (高強度炭素繊維) 2,900N/mm ² 以上 (中弾性炭素繊維)
					JIS G 3112 (SD295A、SD345) 【鉄筋系】	295N/mm ² 以上 (SD295A 降伏強度) 345N/mm ² 以上 (SD345 降伏強度)
			引張弾性係数	引張試験	JSCE E 531 【繊維グリッド系】	100kN/mm ² 以上 (高強度炭素繊維) 165kN/mm ² 以上 (高弾性炭素繊維)
					JIS A 1191 【繊維シート系】	245kN/mm ² ±10% (高強度炭素繊維) 390kN/mm ² ±10% (中弾性炭素繊維)
					JIS G 3112 (SD295A、SD345) 【鉄筋系】	200kN/mm ² 以上

(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

9.2.2 接着工法の適用性

接着工法は、水利用機能、水理機能、構造機能、社会的機能を満足し、経済性、施工性、維持管理性等を比較検討して工法（補強材・補強範囲）を選定しなければならない。

【解説】

(1) 接着工法適用上の留意事項

接着工法は、覆工コンクリートの表面に補強材を取り付けて、その上に増厚材を吹付け又はコテ塗りして、覆工コンクリートと一体化する工法である。接着工法は、曲げ引張耐力の増加を期待する工法である。圧縮耐力については覆工コンクリートの強度を期待するため、コンクリート自体が健全な場合に適用できる。

また、覆工コンクリートの巻厚が薄い箇所や強度が不足している箇所において裏込注入を適用する際の補強対策として用いられる場合もある。

接着工法の適用に当たっては、適用目的や施工条件等を勘案の上、材料（工法）や補強範囲を選定することが重要である。

地圧に対する補強目的で適用する場合、覆工内面の引張強度を補うことができる接着工法が有効であるが、ひび割れの程度（段差ひび割れ等）によっては十分な補強効果が得られない場合や、補強後に増厚材にひび割れが生じる場合がある。また、覆工外面に引張応力が生じる箇所や圧ざ（圧縮損傷）に対する補強効果はあまり期待できない。すなわち、接着工法は引張側の補強を対象としており、圧縮力に対しては覆工コンクリートの耐力を期待する構造である。

接着工法は自立管設計とは補強に対する考え方が異なるため、初期段階の変状に適用すべき補強工法である。ここでいう初期段階とは、圧縮損傷（圧ざ）や、顕著な食い違い等、せん断によるひび割れが生じていない段階である。これらの変状が生じた状態は、更に曲げ変形が進行すると最終的に部材の耐力が失われる破壊に至る直前の状態であり、覆工コンクリートの圧縮強度を期待する接着工法の適用性は低いと考えられる。

接着工法の適用に際しては解析手法の適用により、現況地圧を適正に評価するとともに、必要な補強強度に見合った補強材（工法）を選定しなければならない。

接着工法における補強範囲（補強材配置範囲）については、①緩み圧等の鉛直圧に対してはアーチ部のみに補強材を配置する事例もあるが、②塑性圧又は偏圧に対しては、側壁脚部からアーチ部にかけて補強材を配置するのが望ましい。②において、側圧による変状の場合は、圧縮応力を受けるアーチ部の補強効果は期待することができないが、補強材端部の応力集中を避け、更にアーチ部からの離防止のためにアーチ部も対策範囲とすることが望ましい。

(2) 増厚材の適用性

国営造成水利施設ストックマネジメント推進事業（技術高度化事業）で実施されたモニタリングにおいて、塑性圧に対する補強対策として施工された接着工法の増厚材にひび割れが確認された（写真-9.2.2-1）。

増厚材のひび割れ強度は、無筋コンクリートと同等であるが、ひび割れ発生後に補強材（繊維グリッド等）が引張強度を発現し、補強効果を発揮する。

繊維グリッド系接着工法は非腐食性の補強材を使用しており、増厚材と躯体コンクリートの付着性も優れているため、応力作用時に生じる増厚材の軽微なひび割れは許容できる。

一方、鉄筋系接着工法は繊維系接着工法と比べて補強厚が厚く、全体剛性が大きいため、変位抑制効果が高い。また、鉄筋系は繊維系と比べて引張強度が小さいため、許容応力度以内に収まるような応力状態であれば、鉄筋系のひずみは繊維グリッド系に比べて小さい。したがって増厚材に発生するひずみも小さく、曲げひび割れが生じにくい。

なお、許容ひび割れについては、**9.4.3 接着工法の構造設計**で詳述する。

接着工法は、覆工コンクリートのひび割れ箇所と同一箇所に初期ひび割れが生じやすいので、覆工コンクリートのひび割れ箇所を適切に補修することが重要である。



写真-9.2.2-1 繊維系接着工法のひび割れ（析出物有り）

析出物で塞がれたひび割れは機能上の問題とならないので経過観察とする

9.3 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

9.4 構造設計

9.4.1 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

9.4.2 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

9.4.3 接着工法の構造設計

接着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) 接着工法の骨組解析検討モデル

接着工法の骨組解析検討モデル（例）を図-9.4.3-1に示す。

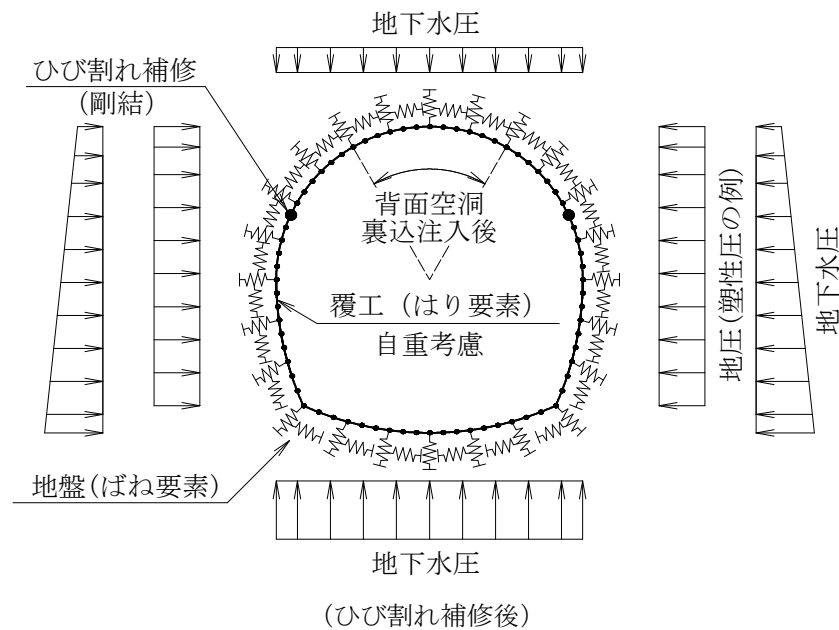


図-9.4.3-1 接着工法の骨組解析検討モデル（塑性圧の例）

- ① 接着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
- ② 接着工法は施工前にひび割れ部の補修を行い、圧縮変位させないようにした上で補強材と増厚材を覆工コンクリートに接着して一体化を図る工法である。覆工コンクリート内側に生じた引張

ひび割れを補修した後に接着工法を施工することになるので、骨組解析における検討ケースは、ひび割れを補修した後（塑性ヒンジ→剛結に戻す）のケースとする。

- ③ 解析に際し接着工法の曲げ剛性は考慮しない。
- ④ 接着工法による補強後の断面力は、図-4.5.2-13 に従い、ステップ3（裏込注入工法施工後）の覆工コンクリートの断面力を用いて検討する。
- ⑤ 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を適用する。
- ⑥ 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。
- ⑦ 補強効果の照査は、工法毎に定めた照査手法により照査してよい。ただし、覆工コンクリート内縁の圧縮応力の照査は、式 4.5.2-10 により、覆工コンクリート内縁の圧縮応力度のコンクリートの設計圧縮強度に低減係数を乗じた値に対する比に、構造物係数 γ_i 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。

(2) 繊維グリッド系接着工法の構造設計

ここでは、接着工法の1例として繊維グリッド系接着工法の構造設計条件を示す。

曲げを受ける部材の部材断面応力度の算定及び照査は、以下により行う。

- ① 設計荷重作用時に部材断面に生じるコンクリートの応力度は、式 4.5.2-10 を満足しなければならない。また、繊維グリッドの応力度は、許容応力度以下としなければならない。なお、繊維グリッドの許容引張応力度は、引張強度の 1/3 とする。
- ② 補強前に既に作用している荷重は、補強後の既設断面が負担するものとして、これらの荷重による応力度の合成応力度を算定するものとする。
- ③ 部材断面に生じるコンクリート及び繊維グリッドの応力度は次の仮定により算定するものとする。
 - ・ 維ひずみは中立軸からの距離に比例する。
 - ・ コンクリート及び増厚材の引張強度は無視する。
 - ・ 繊維グリッドとコンクリートのヤング係数比は式 9.4.3-1 で算定してよい。

$$n_g = \frac{E_g}{E_s} \cdot n = \frac{E_g}{E_s} \cdot 15 \quad \dots\dots\dots \text{式 9.4.3-1}$$

ここに

- n_g : 繊維グリッドとコンクリートのヤング係数比
 E_g : 繊維グリッドのヤング係数 (N/mm²)
 E_s : 鉄筋のヤング係数 (N/mm²)
 n : 鉄筋とコンクリートのヤング係数比

以下に曲げ・軸力を受ける無筋コンクリートの補強後断面応力度の算定方法を示す。

a. 計算断面

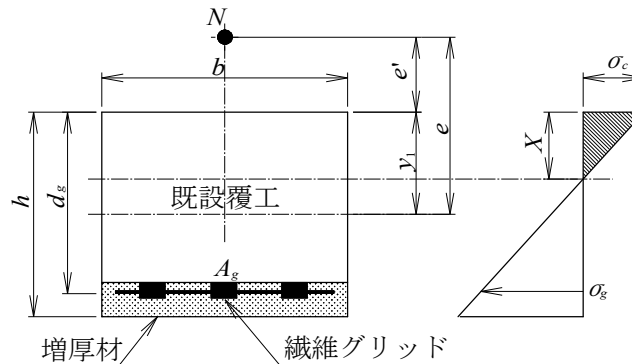


図-9.4.3-2 設計断面諸元

ここに

- X : 圧縮縁から中立軸までの距離 (mm)
 b : 検討断面幅 (mm)
 h : 補強後断面厚 (mm)
 d_g : 繊維グリッドの有効高さ (mm)
 A_g : 繊維グリッドの断面積 (mm²)

b. 中立軸位置の計算

長方形断面の中立軸の位置は、図-9.4.3-2を参照して、以下のように計算する。

圧縮縁から図心までの距離 y_1

$$y_1 = h/2$$

偏心距離 e' は

$$e' = e - y_1 = M/N - y_1 \dots\dots\dots \text{式 9.4.3-2}$$

ここに

- M : 設計曲げモーメント (N・mm)
 N : 設計軸力 (N)

圧縮縁から中立軸までの距離 X は、式 9.4.3-3 の 3 次方程式を解くことで得られる。

$$X^3 + 3 \cdot e' \cdot X^2 + \left[6 \cdot n_g / b \cdot A_g \cdot (d_g + e') \right] \cdot X - 6 \cdot n_g \cdot d_g \cdot A_g \cdot (d_g + e') / b = 0 \dots\dots\dots \text{式 9.4.3-3}$$

c. 応力度の計算

各応力度は、以下の方法で計算する。

<コンクリートの応力度>

$$\sigma_c = N / \{ b \cdot X / 2 - n_g \cdot A_g \cdot (d_g - X) / X \} \quad (\text{N/mm}^2) \quad \dots\dots\dots \text{式 9.4.3-4}$$

<繊維グリッドの応力度>

$$\sigma_g = n_g \cdot \sigma_c \cdot (d_g - X) / X \quad (\text{N/mm}^2) \quad \dots\dots\dots \text{式 9.4.3-5}$$

(3) 繊維シート系接着工法の構造設計

ここでは、繊維シート系接着工法の1例としてストランド型炭素繊維シート系接着工法の構造設計条件を示す。

曲げを受ける部材の部材断面応力度の算定及び照査は、以下により行う。

- ① 設計荷重作用時に部材断面に生じるコンクリートの応力度は、**式 4.5.2-10** を満足しなければならない。また、ストランド型炭素繊維シートの応力度は、許容応力度以下としなければならない。
なお、ストランド型炭素繊維シートの許容引張応力度は、 $1,000 \times 10^{-6}$ ひずみ時の応力度とする。
- ② 補強前に既に作用している荷重は、補強後の既設断面が負担するものとして、これらの荷重による応力度の合成応力度を算定するものとする。
- ③ 部材断面に生じるコンクリート及びストランド型炭素繊維シートの応力度は次の仮定により算定するものとする。
 - ・ 維ひずみは中立軸からの距離に比例する。
 - ・ コンクリート及び増厚材の引張強度は無視する。
 - ・ ストランド型炭素繊維シートとコンクリートのヤング係数比は**式 9.4.3-6** で算定してよい。

$$n_{cf} = \frac{E_{cf}}{E_s} \cdot n = \frac{E_{cf}}{E_s} \cdot 15 \quad \dots\dots\dots \text{式 9.4.3-6}$$

ここに

n_{cf} : ストランド型炭素繊維シートとコンクリートのヤング係数比

E_{cf} : ストランド型炭素繊維シートのヤング係数 (N/mm²)

E_s : 鉄筋のヤング係数 (N/mm²)

n : 鉄筋とコンクリートのヤング係数比

以下に曲げ・軸力を受ける無筋コンクリートの補強後断面応力度の算定方法を示す。

a. 計算断面

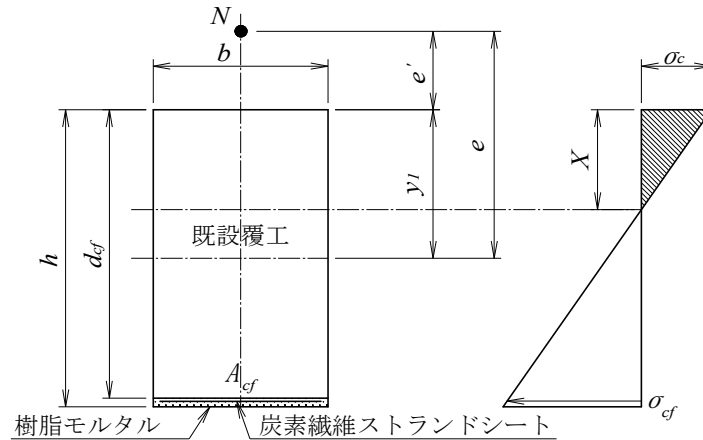


図-9.4.3-3 設計断面諸元

ここに

- X : 圧縮縁から中立軸までの距離 (mm)
- b : 検討断面幅 (mm)
- h : 補強後断面厚 (mm)
- d_{cf} : ストランド型炭素繊維シートの有効高さ (mm)
- A_{cf} : ストランド型炭素繊維シートの断面積 (mm²)

b. 中立軸位置の計算

長方形断面の中立軸の位置は、図-9.4.3-3を参照して、以下のように計算する。

圧縮縁から図心までの距離 y_1

$$y_1 = h/2$$

偏心距離 e' は

$$e' = e - y_1 = M/N - y_1 \dots\dots\dots \text{式 9.4.3-7}$$

ここに

M : 設計曲げモーメント (N・mm)

N : 設計軸力 (N)

圧縮縁から中立軸までの距離 X は、式 9.4.3-8 の 3 次方程式を解くことで得られる。

$$X^3 + 3 \cdot e' \cdot X^2 + \left[6 \cdot n_{cf} / b \cdot A_{cf} \cdot (d_{cf} + e') \right] \cdot X - 6 \cdot n_{cf} \cdot d_{cf} \cdot A_{cf} \cdot (d_{cf} + e') / b = 0 \dots\dots \text{式 9.4.3-8}$$

c. 応力度の計算

各応力度は、以下の方法で計算する。

<コンクリートの応力度>

$$\sigma_c = N / \left\{ b \cdot X/2 - n_{cf} \cdot A_{cf} \cdot (d_{cf} - X) \right\} \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{式 9.4.3-9}$$

＜ストランド型炭素繊維シートの応力度＞

$$\sigma_{cf} = n_{cf} \cdot \sigma_c \cdot (d_{cf} - X) / X \quad (\text{N/mm}^2) \quad \dots\dots\dots \text{式 9.4.3-10}$$

(4) 構造解析モデル化の課題

接着工法の構造設計は、解析手法を適用して覆工コンクリートの応力度を算定し、引張強度の不足分を補強材で補う計画が行われる。それに際し、覆工内面側の引張応力に対しては補強材による補強効果が期待できるが、覆工背面側に作用する引張応力に対しては大きな補強効果を発揮しないので留意する必要がある。

補強前のトンネルに顕著なひび割れが生じている場合、ひび割れ箇所が塑性ヒンジとなり建設当初と応力状態（パターン）が異なることが想定される。そのため、「9.2.2 接着工法の適用性」に示したとおり、接着工法は、圧縮や顕著な食い違い等のひび割れが生じていない段階で適用することを想定している。

(5) 対策範囲の設定

接着工法の対策範囲は、変状原因、変状現象、トンネル構造を考慮して設定する。

①塑性圧又は偏圧の場合は、側壁脚部からアーチ部にかけて補強材を配置する（図-9.4.3-4）。

②緩み圧の場合はアーチ部のみに補強材を配置する（図-9.4.3-5）。

①において、側圧が卓越する場合は、圧縮応力を受けるアーチ部内面の補強効果を期待することはできないが、補強材端部の応力集中を避け、更にアーチ部からのはく離防止のために、アーチ部も対策範囲とすることが望ましい。

②において、鉛直圧が卓越する場合は、アーチ部のみに補強材と増厚材を配置する（図-9.4.3-5）。側壁部材の補修（摩耗対策等）を兼ねる場合は、アーチ部のみに補強材を配置し、増厚材は側壁脚部からアーチ部を施工範囲とする（図-9.4.3-6）。

繊維シート系接着工法でストランド型の炭素繊維シートを使用する場合は、荷重状態にかかわらず側壁脚部からアーチ部にかけて補強材を配置する（図-9.4.3-4）。

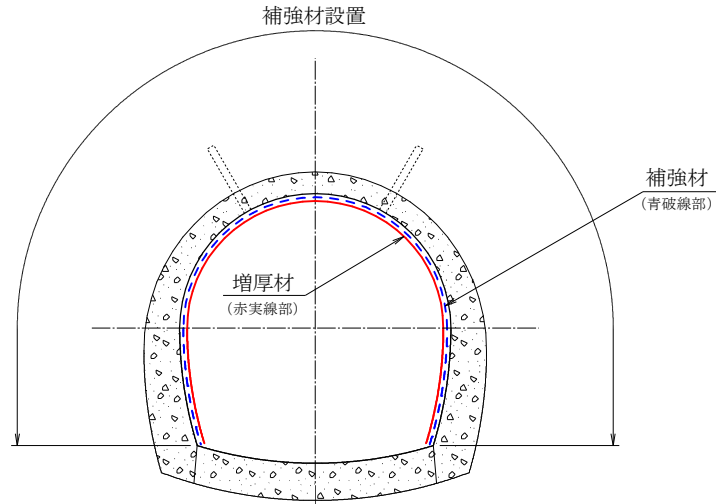


図-9.4.3-4 塑性圧・偏圧に対する対策範囲

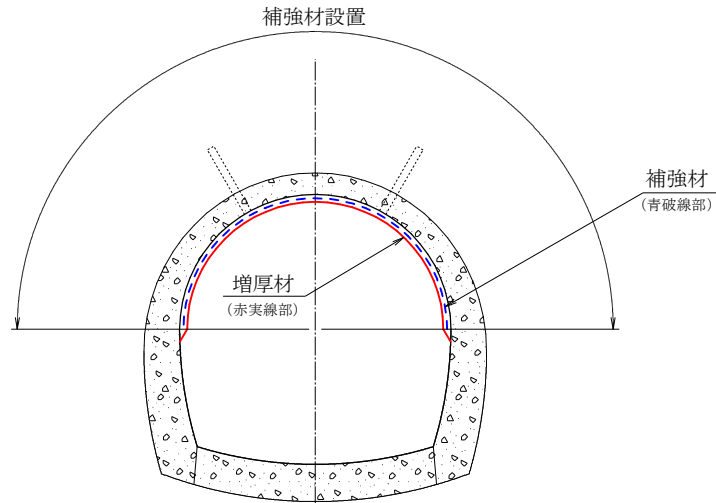


図-9.4.3-5 緩み圧等の鉛直圧に対する補強対策範囲

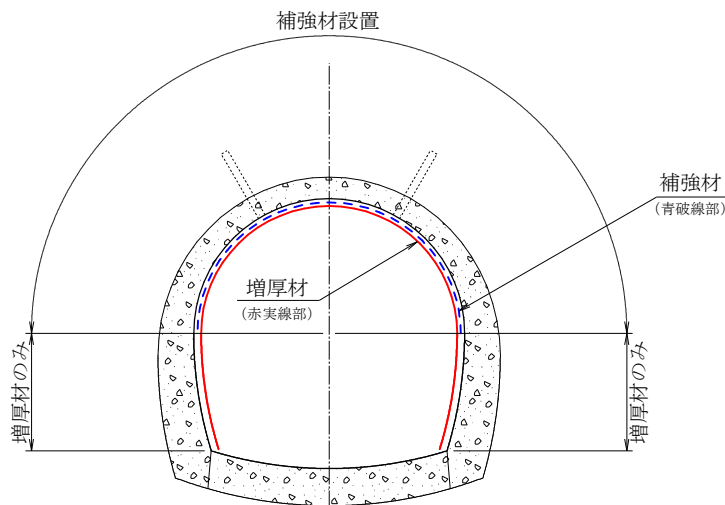


図-9.4.3-6 緩み圧等の鉛直圧に対する補強対策範囲（補修を兼ねる場合）

(6) ひび割れに対する照査

増厚材に発生するひび割れについて、設計段階の照査で用いるひび割れ幅は、1) に示す基準値以下であることを確認するものとする。また、現場で確認したひび割れ幅が、2) ～3) に示す管理基準値を上回った場合は、ひび割れの補修を行わなければならない。

以下の照査手法は、モニタリングにより適宜見直す方針とする。

1) 鋼材腐食に対するひび割れ幅の設計基準値

鉄筋系接着工法に対し、設計段階の照査で用いるひび割れ幅の基準値は 0.4mm とする。この値は鉄筋コンクリート開水路を対象にひび割れ幅と鉄筋腐食の状況を調査した結果に基づくものである。この調査では、ひび割れによって生じる鉄筋腐食はかぶりの影響をあまり受けないことが示されている。鉄筋系接着工法は、かぶりが 20mm 程度と極めて小さいが、同工法におけるひび割れ幅と鋼材腐食に関する知見は得られていないため、本マニュアルでは鉄筋コンクリート開水路の基準値を適用する方針とした。なお、本基準値はモニタリングにより適宜見直す方針とする。

(参考：石井将幸他、現場打ち RC 開水路におけるひび割れ幅と鉄筋腐食の関係、農土論集 247 (75-1)、pp.73～82)

2) ひび割れ幅の管理基準値

ひび割れ幅の管理基準値は、「農業水利施設の長寿命化のための手引き」の検討経緯を踏まえ、1.0mm とする。ただし、接着工法における増厚材のひび割れ幅や浮き、剥がれ、及び鋼材腐食に関する知見は得られていないため、本管理基準値はモニタリングにより適宜見直す方針とする。

〔参考〕開水路におけるひび割れ幅の評価について

- ・ 気中の最大ひび割れ幅が 1.0mm を超えると断面欠損を伴う鉄筋腐食が半数を超えていた。気中の最大ひび割れ幅が 1.0mm 未満では、点錆等の表面的な腐食にとどまっていた。
- ・ 水密性（漏水等の水理機能）に配慮したひび割れ幅（0.2mm）の評価指標について、用水管理上 10%のロスを見込んでおり、またロスの大きな要因は継目からの漏水であることを踏まえ、水密性のひび割れ幅（0.2mm）の基準は適用しないこととした。

（出典：農業水利施設の長寿命化のための手引き、平成 27 年 11 月、p.5-21）

3) 補修が必要なひび割れの状態

接着工法の増厚材において、ひび割れ周縁の増厚材の浮きが確認された場合やひび割れ幅が 1.0mm 以上のものは補修対象とし、ひび割れ周縁の浮きが確認されない場合や析出物で塞がれたひび割れについては経過観察とする。ただし、鉄筋腐食の兆候が確認された場合は補修対象とする。析出物を伴うひび割れは、水が貫通していることにより生じる。析出物で塞がれていてもさび汁や漏水が確認されたり、析出物の成長が確認されたりした場合は、背面から継続的に湧水が供給されており腐食の兆候があるので補修対象とする。

4) 曲げひび割れ幅の算定

無筋コンクリートの覆工に鉄筋系接着工法を適用した場合の曲げひび割れ幅予測式は確立されていないため、鉄筋系接着工法で補強された断面を鉄筋コンクリート断面と見なし、鉄筋コンクリ

ートにおける曲げひび割れ幅の設計応答値を準用してよい。

鉄筋コンクリートにおける曲げひび割れ幅の設計応答値は、式 9.4.3-11 によって算出してよい。
なお、曲げひび割れ幅の設計応答値は、1) に示す設計基準値を超えてはならない。

$$w = 1.1k_1k_2k_3 \{4c + 0.7(c_s - \phi)\} \left[\frac{\sigma_{se}}{E_s} + \varepsilon'_{csd} \right] \cdots \cdots \text{式 9.4.3-11}$$

ここに、

k_1 : 鋼材の表面形状がひび割れ幅に及ぼす影響を表す係数で、一般に、異形鉄筋の場合に 1.0、普通丸鋼の場合に 1.3 としよ。

k_2 : コンクリートの品質がひび割れ幅に及ぼす係数で、式 9.4.3-12 による。

$$k_2 = \frac{15}{f'_c + 20} + 0.7 \cdots \cdots \text{式 9.4.3-12}$$

f'_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)

一般に設計圧縮強度 f'_{cd} を用いてよい。なお、コンクリートの圧縮強度は覆工コンクリートの設計基準強度を適用してよい。

k_3 : 引張鋼材の段数の影響を表す係数で、式 9.4.3-13 による。

$$k_3 = \frac{5(n+2)}{7n+8} \cdots \cdots \text{式 9.4.3-13}$$

n : 引張鋼材の段数

c : かぶり (mm)

c_s : 鋼材の中心間隔 (mm)

ϕ : 鋼材径 (mm)

ε'_{csd} : コンクリートの収縮及びクリープ等によるひび割れ幅を考慮するための数値

乾湿繰返し環境においては 250×10^{-6} を適用してよい (表-9.4.3-1)。

σ_{se} : 鋼材位置のコンクリートの応力度が 0 の状態からの鉄筋応力度の増加量 (N/mm²)

E_s : 鉄筋のヤング係数 2.0×10^5 (N/mm²)

表-9.4.3-1 収縮及びクリープ等の影響によるひび割れ幅の増加を考慮する数値

環境条件	常時乾燥環境 (雨水の影響を受けない 桁下面等)	乾湿繰返し環境 (桁上面、海岸や川の水面に 近く湿度が高い環境等)	常時湿潤環境 (土中部材等)
自重でひび割れが発生 (材齢 30 日を想定) する部材	450×10^{-6}	250×10^{-6}	100×10^{-6}
永続作用時にひび割れが発生 (材齢 100 日を想定) する部材	350×10^{-6}	200×10^{-6}	100×10^{-6}
変動作用時にひび割れが発生 (材齢 200 日を想定) する部材	300×10^{-6}	150×10^{-6}	100×10^{-6}

(出典：コンクリート標準示方書 [設計編]、土木学会、2022 年、p.242)

9.4.4 水抜き

第4章 対策工法の共通事項 4.5.3 水抜き を参照

9.5 施工方法

9.5.1 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

9.5.2 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

9.5.3 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

9.5.4 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

9.5.5 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

9.5.6 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

9.5.7 接着工法の施工

接着工法は、補強材の種類で分類され、補強材の種類により補強材の接着方法（増厚材）が異なる。接着工法施工は、各工法に共通する部分と異なる部分があり、現場条件によっても施工方法が異なる。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】

施工実績のある接着工法は図-9.5.7-1 のとおり分類され、それぞれ施工方法が異なる。以下では工法毎の施工手順、施工内容、施工時の留意事項を示す。

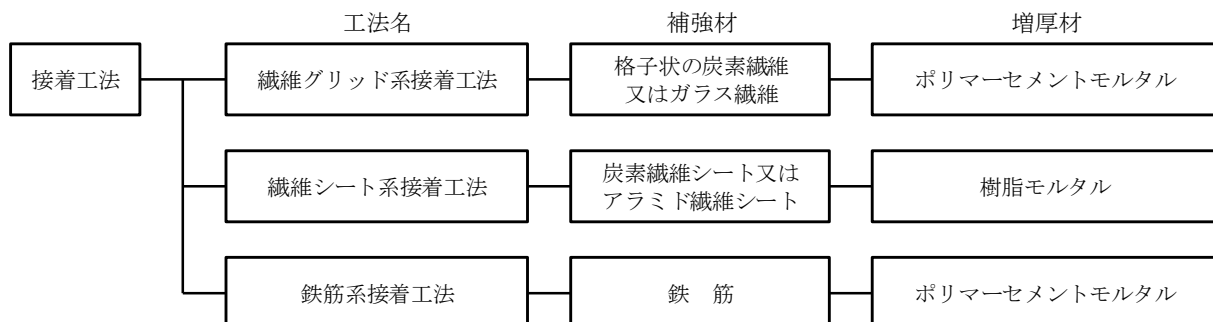


図-9.5.7-1 接着工法の分類

(1) 繊維グリッド系接着工法の施工

繊維グリッド接着工法は、繊維グリッドを補強材とし、増厚材を吹付け又はコテ塗りして覆工コンクリートと一体化させ、耐荷力や耐久性の向上を図る工法である。

繊維グリッドは、炭素繊維やアラミド繊維、ガラス繊維等の高性能連続繊維に、耐薬品性に優れた樹脂を含浸させながら格子状に一体成形したものである。

増厚材は、補強材としての繊維グリッドを覆工コンクリート構造物と一体化するために用いられるものであり、付着性能や耐久性に優れ、実験等で効果が確認された繊維グリッド増厚・巻立て工法専用のポリマーセメントモルタルとそのプライマーが用いられる。

繊維グリッド系接着工法の施工は、図-9.5.7-2 の手順で行う。

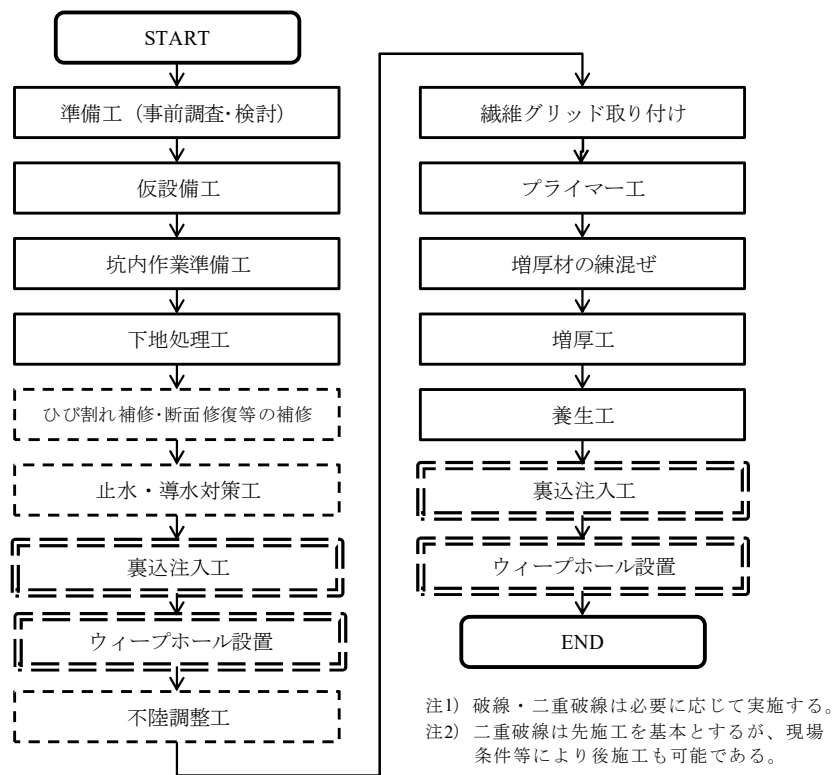


図-9.5.7-2 繊維グリッド系接着工法の施工フロー（例）

1) 下地処理工、ひび割れ補修・断面修復等の補修、導水対策工

増厚材が所定の付着強度を得られるよう、試験施工により最適な下地処理方法（高圧洗浄の仕様等）を選定し、覆工コンクリート面の汚れや脆弱層を高圧洗浄等により十分に取り除く。下地処理後に覆工コンクリートの不陸修整厚さの測定を行い、被覆厚さに反映させる。覆工コンクリート面の著しい劣化やひび割れ、部分的な断面欠損等は、適切に補修し、湧水箇所の止水・導水対策を施す。

2) 繊維グリッドの取り付け

繊維グリッドの取り付けについては、覆工コンクリートと繊維グリッドの間にできる限り隙間が生じないように所定の位置にコンクリートアンカー等を用いて堅固に固定する。コンクリートアンカー等で固定する際、ドリルによる削孔時やアンカー締め付け時に繊維グリッドに損傷を与えないよう注意して施工する。

アンカーの配置については、以下の2通りの考え方がある。

- ① アンカーの定着効果を設計上考慮しない場合には、施工時の繊維グリッドの固定に必要な数量のアンカーを設置する。このような場合には、繊維グリッドの筋番に応じて M8 程度の金属拡張アンカーを 5 本/m²、又はリベットアンカーを 10 本/m² 程度配置するのが一般的である。ただし、既設コンクリートの表面状態や形状に応じて、アンカーの形状や打込み本数を調整してもよい。
- ② アンカーの定着効果を設計上考慮する場合には、アンカーが所要のせん断耐力及び引張耐力を確保できるよう、アンカーの材質、寸法、固定方法、及び配置を選定する。

写真-9.5.7-1 に繊維グリッド取り付け状況を示す。



写真-9.5.7-1 繊維グリッド取付



写真-9.5.7-2 プライマーエ

3) プライマーエ

プライマーエは、覆工コンクリートとモルタルとの境界面のドライアウトによる付着力低下を防ぐために実施する。

覆工コンクリートが一様な湿潤状態にある場合には、プレウェットティング（水湿し）は不要であるが、湿潤状態と乾燥状態とがまだらにあるような場合にはプレウェットティング（水湿し）を実施し、下地コンクリートが一様な湿潤表乾状態になるように調整する。覆工コンクリートが一様な湿潤状態又は湿潤表乾状態に調整されている場合は、プライマーエを省略することができる。ただし、乾燥状態にある場合は、各種増厚材ごとに所定のプライマー材を選定し、塗布するものとする。

写真-9.5.7-2 にプライマー施工状況を示す。

4) 増厚材練混ぜ

増厚材の配合については、使用する材料毎に決められた配合を用いるものとし、決められた練混ぜ方法（材料の投入順序、ミキサ能力、練混ぜ時間等）により増厚材を作製する。

5) 増厚工

- ① 吹付けの施工については、増厚材を吹付け位置まで圧送し、覆工コンクリートに所定量厚付けを行う。事前に試験吹付けなどを実施して、吐出量や吹付け厚さが適正であるか、適切に施工が行えるかなどを確認する。
- ② 1 回に吹付け可能な厚さは、アーチ面で 20mm～30mm、側壁面で 30mm～50mm 程度である。2 層以上で吹付ける場合はコールドジョイントとならないよう留意し、施工方法については材料メーカーの規定による。また、繊維グリッドの格子部は空隙が出来やすいので、コテ押さえなどを併用して空隙を充填する。

写真-9.5.7-3 に増厚材吹付け状況を、写真-9.5.7-4 にコテ仕上げ状況を示す。

6) 養生工

寒中施工では、養生時の温度管理を行うとともに、初期凍害を防止するための加温養生を必要に応じて行う。施工箇所に設置した温度計で温度管理を行い、日平均気温が 5℃以上であることを確認し施工する。これらの温度を外れる場合には、モルタルの圧縮強度が 5N/mm² 以上に達するまで適切な養生を行う。



写真-9.5.7-3 増厚材吹付け



写真-9.5.7-4 コテ仕上げ

(2) 繊維シート系接着工法の施工

繊維シート系接着工法は、以下に示す繊維シートを樹脂モルタルや含浸・接着樹脂等により覆工コンクリートに定着固定し、覆工コンクリートと一体化させる工法である。覆工コンクリートの表面に結露があるような湿潤状態では適用できないので留意する必要がある。

繊維シート系接着工法の施工は、図-9.5.7-3 の手順で行う。

繊維シート系接着工法は、繊維シートを削孔などで切断しないことが望ましい。そのため、裏込注入工法を先に施工した後、繊維シートの設置を行うことが多い。ただし、覆工コンクリートが裏込注入圧に耐えられない場合には繊維シート設置後に裏込注入工を施工することも可能である。

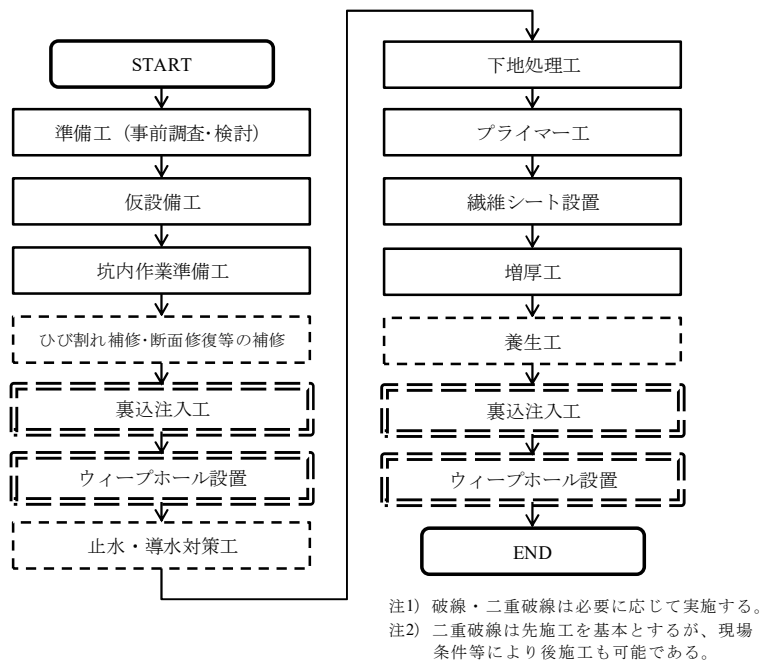


図-9.5.7-3 繊維シート系接着工法の施工フロー（例）

1) 下地処理工

下地処理においては、覆工コンクリート表面の劣化層（風化・レイタンス・離型剤・はく離モルタル・塗装・汚れなど）をディスクサンダーや水圧洗浄機などで十分除去・研磨する。水で洗浄する場合は、その後十分に乾燥させる。覆工コンクリート面の著しい劣化やひび割れ、部分的な断面欠損等は、適切に補修し、湧水箇所の止水・導水対策を施す。

2) プライマー工

プライマーをローラー刷毛等を用いて均一に補強面全面に塗布する。覆工コンクリートのうねりの大きい箇所、型枠段差等は無機系または有機系の不陸調整材を用い、平滑に修整しておく。プライマー塗布前に覆工コンクリートの水分量を測定し、使用するプライマーの適用範囲である 10%以下であることを確認する。覆工コンクリートの表面の水分量を小さくするためには、送風機などを用いると良い。

写真-9.5.7-5 にプライマー施工状況を示す。

3) 繊維シート設置

樹脂モルタル又は含浸・接着材を用いて繊維シートを貼り付ける。シート全面にわたって、繊維シートの繊維束の隙間から下塗り樹脂モルタルがはみ出してくる程度にプラスチックローラーやコテで押しつけ、覆工コンクリートと一体化させる。繊維シートの繊維束の隙間からはみ出した樹脂モルタルをゴムベラ等で平にならす。**写真-9.5.7-6**に繊維シート設置状況を示す。繊維シート系接着工法は樹脂材の接着効果のみで繊維シートを固定する工法であるため、期待されている持続期間中は十分に接着性が保たれている必要がある。しかし、覆工面から湧水があるとシート材に背面水圧が作用し、常時水に押されることで接着性が低下してシート材に浮きや剥離などが生じる場合がある。このため、施工時に湧水や湧水跡がある部位には、事前に通水機能を有したアンカー材（**写真-9.5.7-7**）などを設置して、水を逃がす処置対策が必要である。

4) 増厚工

繊維シートの素線間からはみ出し具合を見ながら、樹脂モルタルの少ないところを中心に樹脂モルタルをゴムベラ等で補充して平滑に仕上げる。増厚材の厚さは、水砂噴流摩耗試験による耐摩耗性を考慮して設定する。繊維シートの端部など浮きやハネの起きやすい箇所は注意して仕上げる。

写真-9.5.7-8に増厚工の施工状況を示す。

5) 養生工

施工時は、施工箇所に設置した温度計および湿度計で温度・湿度管理を行い、日平均気温が 5℃以上、湿度 85%以下であることを確認し施工する。これらの環境条件を外れる場合には、送風機等を用い適切な条件で施工を行う。プライマー及び樹脂モルタルの硬化養生中に結露等が生じた場合、表面が硬化不良（白化：低温高湿時にエポキシ樹脂中の硬化剤と二酸化炭素が化合して樹脂表面が白く濁る現象）を起こす可能性がある。白化部分を除去せずに施工を継続すると樹脂同士の剥離が懸念されるため、溶剤処理（アセトン）やサンドペーパーにより白化部分を除去したうえで次工程の施工を行わなければならない。

仕上がり状態の検査方法や判定基準及び補修方法の詳細については、「炭素繊維シート貼付け工事における品質管理マニュアル（案）、炭素繊維補修・補強技術研究会材料部会、平成 16 年 1 月」を参照されたい。



写真-9.5.7-5 プライマー工



写真-9.5.7-6 繊維シート設置



写真-9.5.7-7 通水型アンカー設置



写真-9.5.7-8 増厚工(樹脂モルタル)



写真-9.5.7-9 完了状況

(3) 鉄筋系接着工法の施工

鉄筋系接着工法は、鉄筋を補強材とし、増厚材を吹付け又はコテ塗りして覆工コンクリートと一体化させて耐荷力や耐久性の向上を図る工法である。

鉄筋系接着工法の施工は、図-9.5.7-4 の手順で行う。

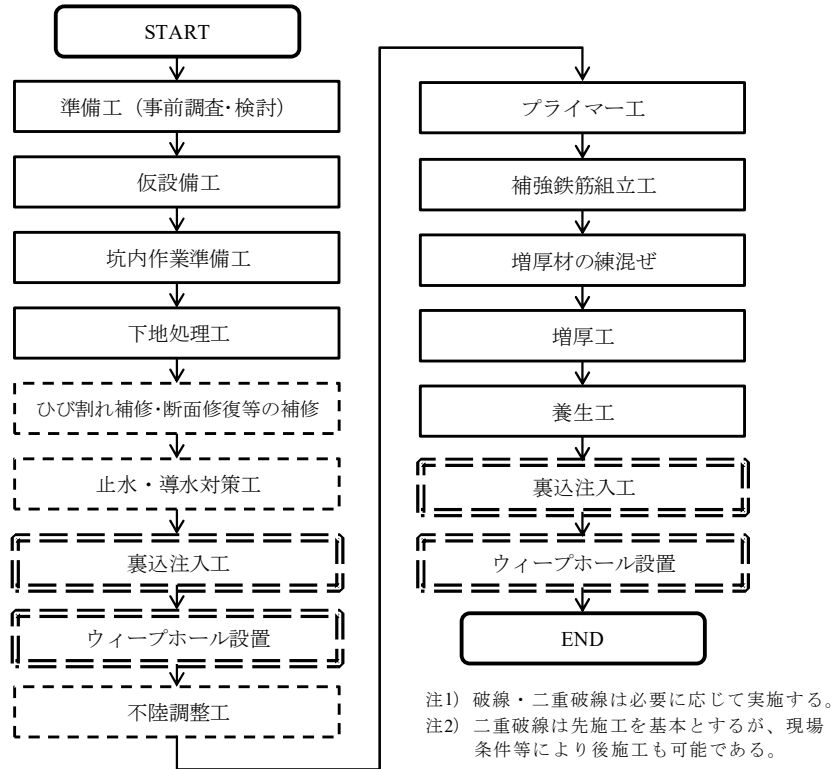


図-9.5.7-4 鉄筋系接着工法の施工フロー（例）

1) 下地処理工、ひび割れ補修・断面修復等の補修、導水対策工

増厚材が所定の付着強度を得られるよう、試験施工により最適な下地処理方法（高圧洗浄の仕様等）を選定し、覆工コンクリート面の汚れや脆弱層を高圧洗浄等により十分に取り除く。下地処理後に覆工コンクリートの不陸修整厚さの測定を行い、被覆厚さに反映させる。覆工コンクリート面の著しい劣化やひび割れ、部分的な断面欠損等は、適切に補修し、湧水箇所の止水・導水対策を施す。

2) プライマー工

下地処理面に、コンクリートと増厚材との付着性能を向上させる目的でプライマーを均一に吹付ける。写真-9.5.7-9 にプライマー施工状況を示す。

3) 補強鉄筋組立工

鉄筋は、覆工コンクリート面に密着するように固定しなければならない。一般に、現場での施工性に優れた溶接鉄筋網が用いられることが多い。溶接鉄筋網を用いる場合は、設計に対応する配筋

のパネル割りを行い、溶接鉄筋網を工場にて製作する。なお、鉄筋の重ね継手長は、 $L \geq 35 \cdot D$ とする（ D ：鉄筋径）。

溶接鉄筋網は、鉄筋取付けアンカーと取付け金具で固定する（図-9.5.7-5 参照）。鉄筋取付け金具の配置は、9本/m²以上を千鳥配置することを標準とする。溶接鉄筋網に浮いた部分があればアンカーと取付け金具を追加し、覆工コンクリートに接した状態にする。鉄筋の重ね継手部分は結束線で緊結し、コテ塗りのときに障害とならないよう結束線を鉄筋の側面に収める。写真-9.5.7-10 に補強鉄筋組立状況を示す。

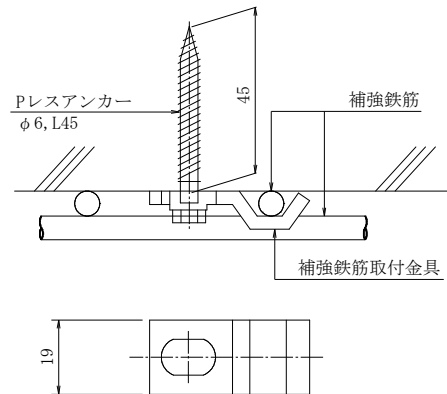


図-9.5.7-5 補強鉄筋の固定方法例



写真-9.5.7-9 プライマーエ



写真-9.5.7-10 補強鉄筋組立工



写真-9.5.7-11 コテ仕上げ



写真-9.5.7-12 完了状況

4) 増厚材の練混ぜ

増厚材の練混ぜ場所から打込場所への運搬の際には、練混ぜた材料の所要の品質と必要運搬量を確保できる方法を選択しなければならない。また、練混ぜから打設が完了するまでの時間は、表-9.5.7-1 を標準とする。

表-9.5.7-1 練混ぜから打込み終了までの時間

気温	練混ぜから打込み終了までの時間
25℃未満	1 時間以内
25℃以上	0.5 時間以内

5) 増厚工

- ① 既設コンクリートと増厚材の界面で生じるドライアウト現象による付着強度の低下を防止するため、事前にプライマー処理又は下塗りを行う。
- ② 増厚材を吹付け又はコテ塗りする場合は、空隙などができやすいので注意して施工する。
- ③ 一度に施工可能な厚みは材料等により異なるので、最大施工厚みについて事前に検討し、2 層となる場合、層間剥離がないよう留意して施工する。

写真-9.5.7-11 にコテ仕上げ状況を示す。

6) 養生工

「(1) 繊維グリッド系接着工法の施工」を参照

写真-9.5.7-12 に施工完了状況を示す。

9.6 接着工法の施工管理

9.6.1 接着工法の材料の承諾及び保管管理

接着工法に使用する資材の搬入検査は、適正な管理下で製造されたことを証明する資料に基づいて行う。資材の保管及び搬送・搬入時の環境条件は適正なものとする。また、資材の取り扱いにも十分に留意する必要がある。

【解説】

(1) 接着工法に使用する資材の製造管理と品質管理

接着工法に使用する資材は、表-9.6-1 に示す構成要素からなっており、受入検査項目は、それぞれ次のとおりである。

使用材料の検査は、製造者が発行する品質保証書（又は試験成績書等）により行うことを原則とする。しかし、運搬中の不具合、現場における長期保存、工事中の不具合などによって損傷を受けたと考えられるものについては、外観上問題がなくとも試験によって品質を確認してから使用する。

表-9.6-1 接着工法に使用する資材の構成要素と原材料搬入検査項目

構成要素	材 質	原材料受入検査項目
繊維部材	炭素繊維グリッド 炭素繊維シート アラミド繊維シート	外観・形状・寸法 (注1) (入荷ロットごとの品質チェック)
金属部材	鋼製材等	外観・形状・寸法 (入荷ロットごとの品質チェック)
増厚材	ポリマーセメントモルタル等	圧縮強度等 (注2) (メーカー発行の試験成績書などで確認)
	樹脂モルタル	引張強度等 (注3) (メーカー発行の試験成績書などで確認)
接着剤	含浸・接着樹脂等	接着強度等 (メーカー発行の試験成績書などで確認)

(注 1) オープンモールド工法で製造される繊維材料は軸筋の断面寸法が一定とならず、また樹脂の含有量も若干変動するため、実際の断面積にはバラツキが生じる。そのため繊維材料の品質管理は、形状寸法によらず、工場生産時の品質記録により引張耐力及び引張剛性を確認しなければならない。

(注 2) 増厚材の強度は、材料メーカーの製造時に実施する品質管理試験（圧縮強度試験）により確認する。

(注 3) 樹脂モルタルの強度などは、材料メーカーの製造時に実施する品質管理試験結果により確認する。

(2) 接着工法に要求される保管及び搬送・搬入管理

使用材料はその品質を損なわないように、一般には直射日光、火気、湿気、雨水等を避け、通風のよい室内等で温度条件、湿度条件を確保して保管する必要がある。また、保管に際しては、関連する法令を遵守するものとする。

金属部材には、長期にわたる屋外暴露等による著しい発錆がないように、適切な対策を講じなければならない。なお、取り扱いは慎重に行い、大きな変形や傷を与えてはならない。

増厚材は水和性を有するため、その保管及び搬送・搬入時には、水漏れや結露がないよう十分に留意し、適切な措置をとらなければならない。

9.6.2 接着工法の施工時の管理

接着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) 下地処理工及び補修工の確認
- (2) 施工表面及び作業環境の確認
- (3) 補強材配置状況の確認
- (4) 増厚材施工状況の確認

【解説】

(1) 下地処理工及び補修工の確認

下地処理の状態及び断面修復工、ひび割れ補修工の施工状態を確認する。付着強度試験は、覆工コンクリートを対象に、施工計画書に定められた面積毎に付着強度の規格値を満足していることを確認する。その結果、下地処理工及び補修工の状態が適切でないと判定された場合には、それらの状態の改善を行わなければならない。

(2) 施工表面及び作業環境の確認

覆工コンクリート表面の水分量、施工時の温度、湿度が、使用する材料の適用範囲であることを確認しなければならない。適用範囲外の条件で施工すると、硬化不良や材料強度が不足して一体化性を損なうおそれがあるため、注意する必要がある。

(3) 補強材配置状況の確認

繊維グリッドや補強鉄筋等の補強材の配置状況を確認する。補強材の配置誤差は、かぶり不足につながりやすいので、配置誤差がある場合は施工層厚を増やす必要がある。

(4) 増厚材施工状況の確認

増厚材の層厚、かぶり厚を確認する。増厚材は施工中及び施工後に付着強度試験や圧縮強度試験を行って性能を確認する。増厚材の付着強度試験は、現場での作業と同一の材料を使用して現場の覆工コンクリート躯体で行うことを原則とするが、現場の覆工コンクリート躯体での試験が困難な場合には、コンクリートの物性が明らかな平板を用いて付着強度試験を行ってもよい。ここで、現場の覆工コンクリート部材躯体での試験が困難な場合とは、増厚材の層厚が厚く、付着強度試験の際に覆工コンクリートまで達する切込みが困難な場合などである。

9.6.3 接着工法の出来形管理及び品質管理

接着工法の品質は材料の配合及び強度試験等により管理する。

出来形管理に際しては、出来形を測定・観察し、その都度、結果を調査記録表に記録する。
完成後は、関連仕様書に準じて出来形を写真等で記録し、これを管理する。

【解説】

(1) 品質管理

増厚材については、練混ぜ開始時及び配合変更時に材料の配合等を確認する。強度管理については付着強度試験及び圧縮強度により確認する。

(2) 出来形管理

接着工法の出来形管理は面積と厚さの計測を基本とする。厚さは、各ブロックに設置した検測ピンや樹脂板等のガイドを目安として施工を行い、概ね 100m² 毎に設置した検測孔（発泡スチロールなどを施工面に設置し、増厚材を施工後に発泡スチロールなどを撤去して定規で計測するための孔）により確認する。

各工法の出来形管理指標は本書の巻末資料に示す。

(3) 工事記録写真等の撮影及び提出

工事記録写真等の内容及び撮影頻度については、本書の巻末資料に示す検査結果等の記録が報告書に添付されていることを確認する。