

第 10 章 地山補強土工の設計・施工

第10章 地山補強土工の設計・施工

10.1 総説

10.1.1 目的および一般的留意事項

(1) 目的

地山補強土工は主に鉄筋などの補強材を地山に挿入することで、地山と補強材の相互作用により斜面の安全性を高める工法であり、比較的小規模な崩壊防止、斜面を急勾配のり面化する場合の補強、構造物掘削時の仮設のり面補強などに用いられる。

一般に、地山補強土工はのり枠工や吹付工、独立受圧板との併用で用いられることが多い。

なお、近年では鉄道分野において、大径化を目的とした特殊な工法(ダウアリング工法など)も開発されているが、急傾斜地においては狭隘な箇所など大型機械での施工が困難な場合が多いことから一般的な小径の補強土工について記載する。大径の地山補強土工を検討する際は、各工法の資料から参照されたい。

(2) 一般的留意事項

(i) 計画

地山補強土工を斜面崩壊防止工事に用いる場合、次のような点を考慮する。

- ① 地山補強土工は、一般に他の工法と比較して工費が高くなる場合が多いが、次のような条件の斜面では有効な工法となる。
 - (a) 斜面上下部に人家が接近していて切土工や待受式コンクリート擁壁工等が施工できない場合、あるいは斜面勾配が急な場合や斜面長が長くて現場打コンクリート枠工やコンクリート擁壁工等の安定が不足する場合。
 - (b) 崩壊規模が比較的小さく、短尺な補強材で対策可能な場合。
 - (c) 斜面崩壊の形状から、特に面的対策が必要とされる場合。
- ② 地山補強土工を永久構造物として用いる場合は、特に芯材や頭部部材の防錆を考慮して計画する。
- ③ 崩壊規模が大きく崩壊深が深い場合は十分な補強効果が期待できないため、崩壊規模に対する調査を慎重に行う必要がある。広範囲の崩壊が想定される場合であっても、崩壊深さが3m程度以下であれば適用できる可能性がある。この場合、崩壊斜面長は30m以下での適用を目安とする。

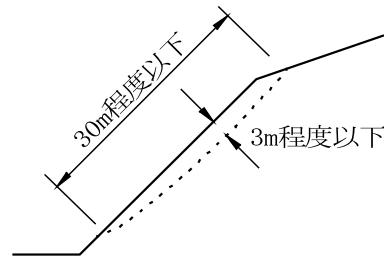


図10-1 地山補強土工法の適用規模の目安

- ④ 地山補強土工は斜面の変形に伴い効果を発揮する工法であるため、構造物の基礎になるなど地山の変形を許容し難い場合は適用の可否を検討する必要がある。

- ⑤ 地山補強土工は地山と主にセメント系の定着材の周面摩擦によって斜面の安定に寄与しているため、粘性土地山、緩い砂質土地山など、軟弱な地盤では適用の可否を検討する必要がある。

(ii) 調査

地山補強土工の設計・施工にあたっては、地質条件や地下水条件などの概況を知るとともに過去の崩壊状況、地すべり履歴等を把握するなどの一般的な斜面調査も加え、次のような調査を重点的に行うことが望ましい。

- ① すべり面推定のための調査：地すべり性の表層崩壊等、すべり面を把握するための代表的な調査としてはボーリング調査によるコア採取が一般的に実施される。さらに、調査孔を利用したパイプ歪計調査や孔内傾斜計調査等のすべり面調査、並びに地下水位調査を行うことが望ましい。また、岩盤斜面崩壊のような特定の崩壊線を設定する場合は、表面の風化厚さや岩盤の走向・傾斜、並びに層理・片理・亀裂状況などを把握する必要がある。
- ② 地山補強土工の規格決定のための調査：規格を決定するための設計には、対象となる斜面地山の単位体積重量、粘着力、内部摩擦角、周面摩擦抵抗値などの地盤定数が必要となる。これらの定数を設定するためには、ボーリング調査に加え試料採取を行うことが望ましい。試料採取による土質試験が困難な場合はN値からの算出や、一般値を用いての地盤定数設定を行うこともある。
- ③ 地山補強土工の極限付着力の調査：補強材の引抜き抵抗力は定着材と地山との摩擦抵抗に大きく左右されるため、設計に先立って引抜試験を実施することが望ましい。しかしながら、本工事前に現地にて機械を搬入し、試験を実施することは困難な場合も多い。そのため、施工着手時に地層・地質ごとの極限周辺摩擦抵抗力度を確認することが望ましい。

10.1.2 地山補強土工の構造

(1) 地山補強土工の概要

地山補強土工法の基本的な構造は図 10-2 のとおりである。

- ① 頭部定着材：補強材から表面材へ力を伝達させる構造部材であり、引張り芯材の頭部、プレート、ナットなどで構成される。
- ② 補強材：土中で発生する主に引張ひずみを拘束して引張り力を発揮することにより斜面全体の安定性を増加させることのできる棒状の補強材で、引張り力に抵抗する芯材とその周りの定着材から構成されるものをいう。
- ③ 芯材：地山補強材中の芯材となる引張り材料で、一般に異形鉄筋が用いられる。
- ④ 定着材：芯材と地山とを一体化させるために削孔した孔に充填する注入材で、一般にはセメントミルクが用いられる。
- ⑤ 表面材：表層の侵食や風化を防止する機能や、補強材との相乗効果によって地山の崩壊を防止する機能を期待し、地山の表面に設置されるものをいう。

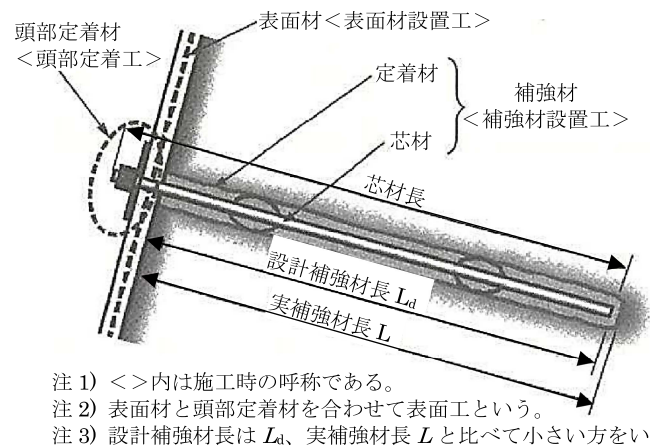


図 10-2 地山補強土工法の基本的な構造

本工法は、所定の径で地山に削孔を行い、孔内に比較的短い棒状の引張り芯材を挿入し、セメントミルクなどの定着材を注入することで補強材を造成するものである。

表面材にはのり枠工や吹付工、独立受圧板工、コンクリート擁壁工などがある。

表面材は斜面表層の侵食防止や風化を抑制する目的で単独で使用されるものもあるが、地山補強土工と併用されることにより、補強材との相互作用によって地山表面を拘束し、移動土塊の抜け出しを防止する効果も期待される。

そのため、表面材と頭部定着材はプレート、ナットの締め付けなどによって結合されていなければならない。

(2) 地山補強土工法の材料

(i) 芯材

地山補強土工の芯材は、棒鋼芯材を使用する 경우가多く、主な棒鋼芯材には、全ねじ棒鋼、異形棒鋼、全ねじ中空棒鋼などがある。異形棒鋼を使用する場合は、頭部にねじ切り加工を施しナット掛けを行うため、断面欠損のため耐力の低減が必要となる。そのため、全長にわたって同一の引張り耐力が得られることから、全ねじタイプが用いられることが多い。一般的によく用いられるねじ節異形棒鋼は全ねじ棒鋼に、自穿孔ボルトは全ねじ中空棒鋼に各々含まれる。

表 11-1 に異形棒鋼と全ねじ異形棒鋼の材質と耐力の一覧表を示す。設計上は SD295 となっても市場性等の理由から、一般には、全ねじ棒鋼 SD345、呼び径 D19～D25 が使用されている。

(ii) 定着材

定着材は芯材と地山の中に充填され、芯材と地山との荷重を相互に伝達する。また、芯材の防錆の役割も担うため、所定の強度と長期の安定性を有している必要がある。

定着材は主としてセメント系のものが多く、一般的にセメントミルクが使用されるが、地山の亀裂が多いなどセメントミルクの逸失が著しい場合などはモルタルが用いられる場合もある。

(iii) 頭部定着材

頭部定着材は補強材と表面材が構造的に一体となるような形状を有しており、一般的にはプレートとナットを用いて締め付けるものが多い。

プレートおよびナットは鋼製のものが使用され、プレート寸法は 150mm×150mm が多い。また、地山補強土工は斜面に対して直角方向に打設される場合が多いが、地表面の凹凸状態や施工誤差から、必ずしも芯材と表面材が直交しない場合がある。そのため、ナットの片方に球面を設けた球面ナットやテーパプレートなどが使用されている（図 10-3）。

表 10-1 芯材の材質と耐力

種別	材質	呼び径	ねじ部				素材部		
			径 (mm)	断面積 (mm ²)	降伏耐力 (kN)	破壊耐力 (kN)	断面積 (mm ²)	降伏耐力 (kN)	破壊耐力 (kN)
全ねじ異形棒鋼	SD295	D19	19.1	287	84.7	126	ねじ部に同じ		
		D22	22.2	387	114	170			
		D25	25.4	507	150	223			
		D29	28.6	642	189	282			
		D32	31.8	794	234	349			
		D35	34.9	957	282	421			
		D38	38.1	1140	336	502			
	SD345	D19	M20	287	99.0	141			
		D22	M22	387	134	190			
		D25	M24	507	175	248			
		D29	M27	642	221	315			
		D32	M30	794	274	389			
	SD395	D35	M22	957	330	469			
		D38	M22	1140	393	559			
異形棒鋼	SD295	D19		238	70.2	105	287	84.7	126
		D22		303	89.4	133	387	114	170
		D25		353	104	155	507	150	223
		D29		459	135	202	642	189	282
		D32		561	165	247	794	234	349

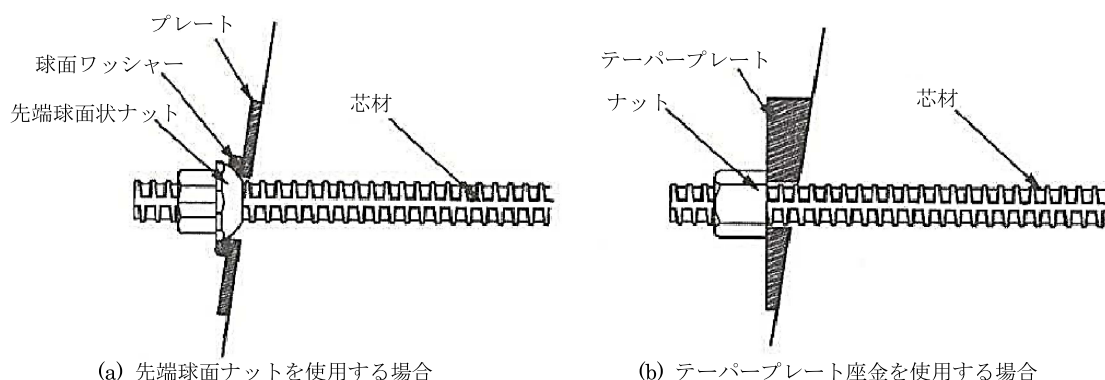


図 10-3 地山補強土の角度調整方法（例）

地山補強土工の頭部は、図 10-4 のような小型の防錆キャップを使用して保護する場合が多い。防錆キャップの内部は防錆油が充填されており、頭部定着材の防食効果の他、落石などの衝撃からの保護、露出した鉄筋との接触被害から第三者を保護するなどの目的を有する。

現場の条件によって、これらの影響が及ばない場合は、芯材および頭部定着部材の防食処理を施すことにより、防錆キャップを省略する場合もある。

また、近年では補強材頭部付近に耐食塗装を施すことで、防錆油を充填しない簡易なキャップも開発されている（写真 10-1）。

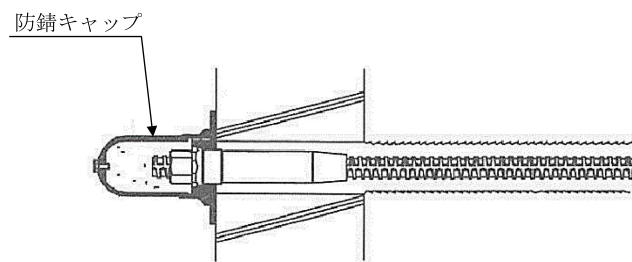


図 10-4 防錆キャップを用いた頭部処理（例）

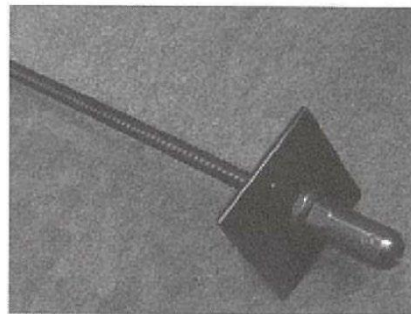


写真 10-1 防錆油不使用型の頭部キャップ

(iv) 表面材

表面材は地山表面と頭部定着材の間に設置されるもので、のり砕工や吹付工がよく用いられる。7章のり砕工の設計・施工や12章4節吹付工にあるように、これらは斜面の風化、侵食防止や表層の小崩落防止の目的で単独でも使用される。つまり、表面材には補強材の支承構造物としての効果の他、地山表層の長期の安定などの目的も有するため、現場条件を考慮して選定しなければならない。

地山補強土工と併用されるのり砕工は、一般的に $200\text{mm} \times 200\text{mm} \sim 300\text{mm} \times 300\text{mm}$ 断面が多い。吹付工にはモルタル吹付工とコンクリート吹付工があるが、吹付工は地山補強土工に対する構造検討は通常行わないため、規格は現場の諸条件により決定する。さらに、最近ではのり砕工や吹付工のほか、独立受圧板やワイヤロープを用いた表面材の使用が増えている。

独立受圧板は各々の地山補強材を単独に地山に設置するもので、頭部定着材によって連結される。独立受圧板には、鋼製、FRP製、コンクリート製、プラスチック製などがあり、その形状もさまざまである。

ワイヤロープを用いた表面材は、地山補強材頭部に鋼製の支圧板を設置し、各補強材をワイヤロープで連結するものであり、ワイヤロープを菱形や正三角形となるよう配置するものや、縦横連続したワイヤロープを四角形に配置するものなどがあり、所定の交点に補強材を配置する。ワイヤロープは柔構造であり、斜面上の立木を残すなどの場合や凹凸差が大きい自然斜面において、柔軟に配置が可能であるため施工性に優れる。

表面材としてコンクリート壁工を使用する場合もあるが、新たにコンクリート壁を設ける場合の他に、既設のコンクリート壁に地山補強材を設置する事例もみられる。その場合も壁工の構造検討が必要であるが、通常は計画時に補強材の増設をすることは想定されていない。そのため、既設のコンクリート壁の表面に他の表面材（のり枠工や独立受圧板）を設置する場合も多い。

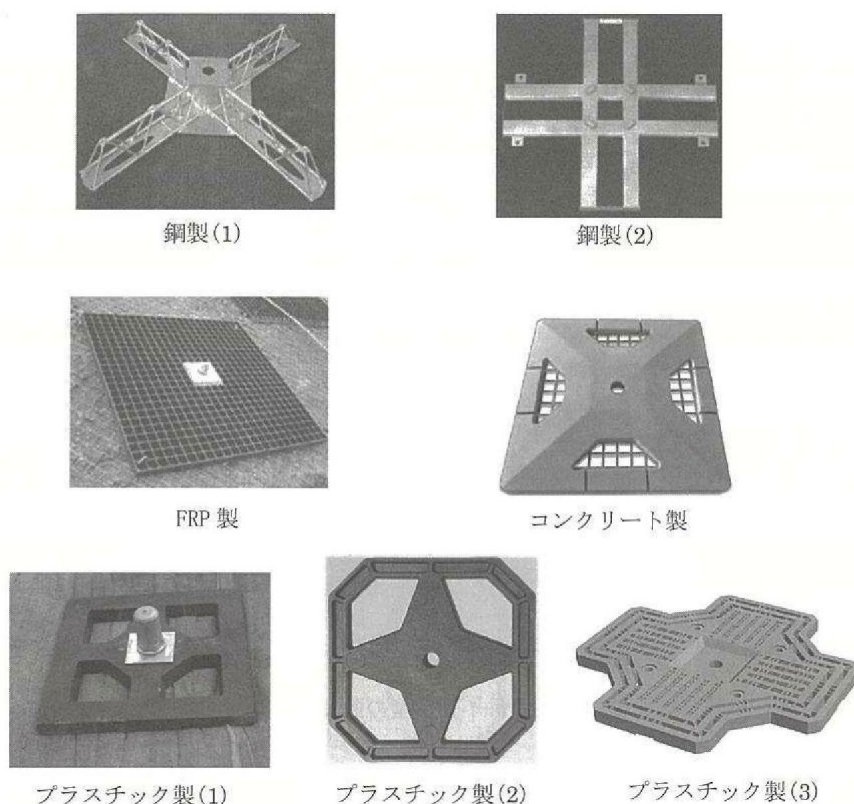


写真 10-2 独立受圧板 (例)

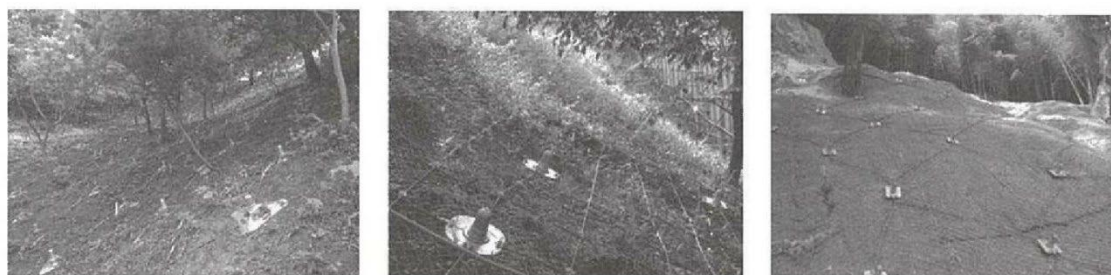


写真 10-3 ワイヤロープ併用型 (例)

(v) その他の材料

地山補強土工法の補強効果を確保するために、原則として芯材にはスペーサーを取り付

ける。スペーサーは芯材が削孔した地山に直接触れないよう、かつ芯材のかぶりを確保する目的で使用される。設置間隔は最大で@2.5m 間隔、1本の芯材あたり 2 個以上取付ける。スペーサーには鋼製や樹脂製のものがある。

また、現場が狭隘な場合や補強材が長尺となる場合は、1本の芯材では現場適用が難しいためカップラーを用いて接続する事例もある。ただし、使用するカップラーは接続部の強度が芯材の強度と同等以上となるものでなければならない。

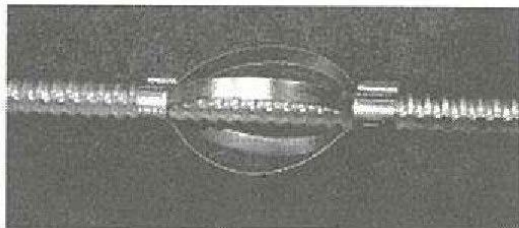


写真 10-4 鋼製スペーサー (例)

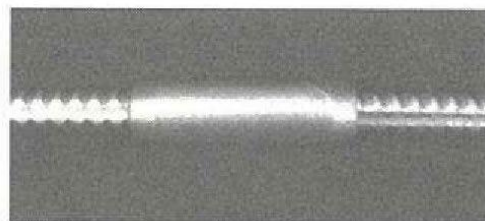


写真 10-5 カップラー (例)

10.2 地山補強土工の設計

10.2.1 一般的留意事項

斜面对策工に用いる地山補強土工の一般的な設計手順を図 10-5 に示す。

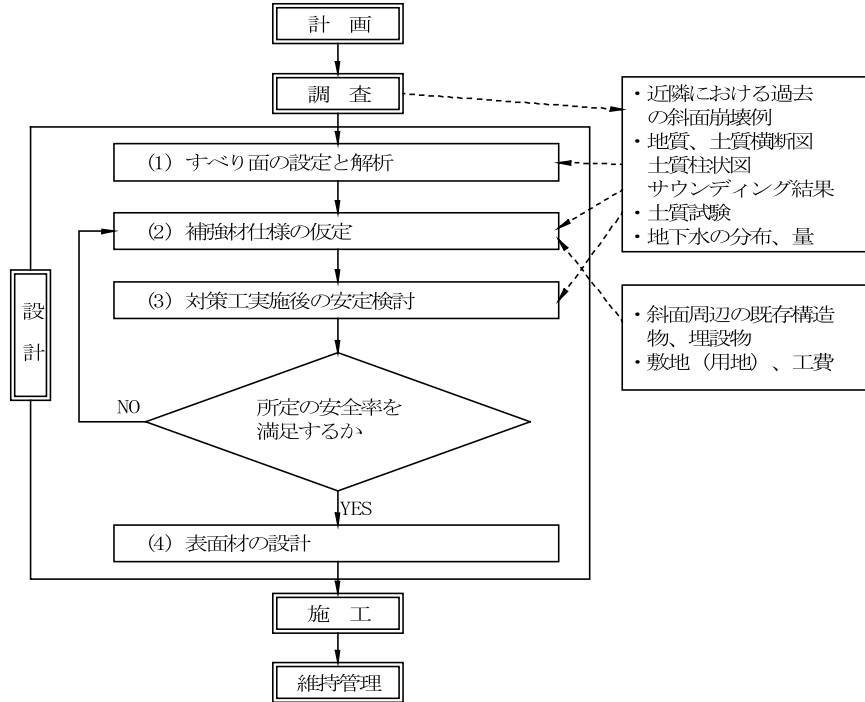


図 10-5 地山補強土工の一般的な設計手順

地山補強土工の設計において特に留意しなければならない事項は次のとおりである。

(1) すべり面の設定と解析

すべり面を的確に把握することが適切な設計荷重を設定するための基本である。そのために必要な調査を行うことが求められるが、調査については 2 章を参照されたい。

解析については、調査に基づいて設定したすべり面もしくは繰り返し円弧等の破壊モードにて行う。一般的には円弧すべり法、直線すべり法による破壊モードに対して検討を行う場合が多い。そのため、本指針ではすべり破壊モード（円弧すべり法）による設計手法について述べる。鉄道分野では、補強領域をいわゆる疑似擁壁のごとくとらえ、2 直線すべり法にて滑動・転倒破壊モードに対して内的安定検討を行う場合もあるが、イメージ図の掲載にとどめる（図 10-6、10-7）。

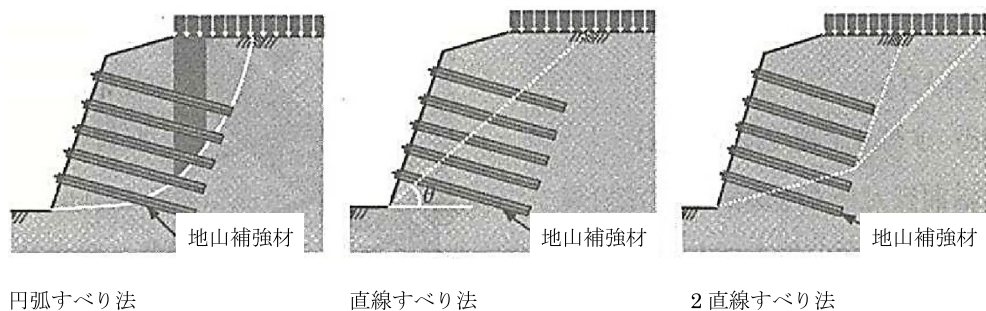


図 10-6 安定計算の方法 (例)

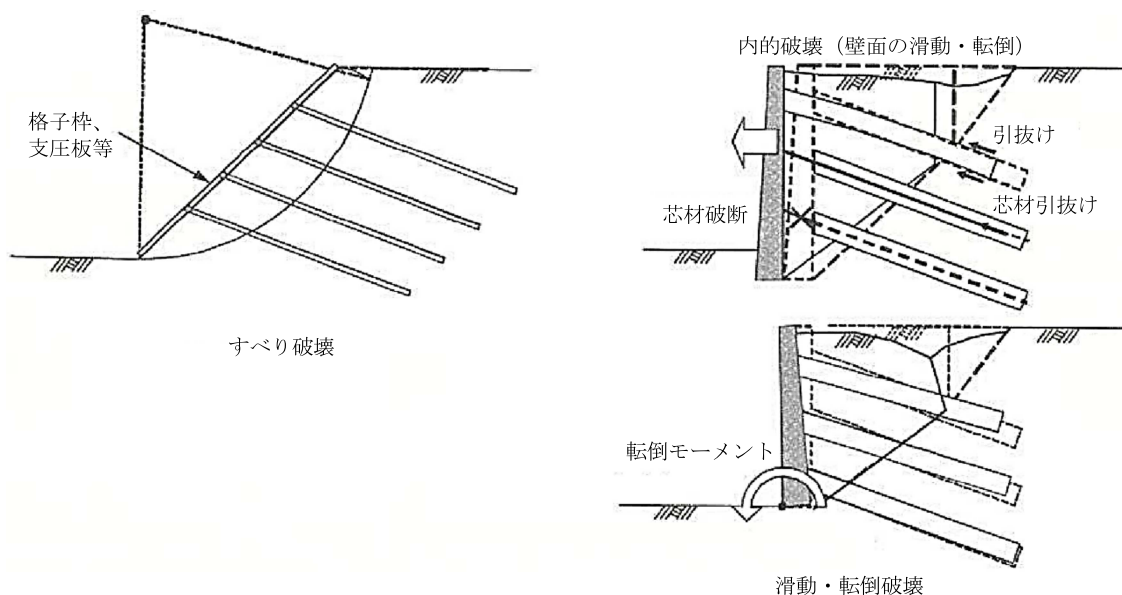


図 10-7 破壊モード (例)

(2) 補強材の仕様の仮定

補強材の補強効果は補強材の位置、間隔、段数や角度、長さなどの仕様により変わる。そのため、地山補強土工の設計では、完成後の構造物全体の安定のみならず、施工時の安全も考慮して合理的に設定することが重要である。

一方、現場条件によっては大きな施工機械の搬入が困難な場合も多く、設計計算上必要な長さを削孔するための能力が不足することも考えられるため、現場固有の条件も考慮して最終的な配置等の規格を決定しなければならない。

(3) 対策工実施後の安定度検討

斜面安定対策における検討は、繰り返し円弧すべり法によるすべり破壊にて実施されることが多い。地山補強土工法によって補強した斜面に対しては、想定した破壊モードに応じて算出された適切な必要最大抑止力に対して仮定した地山補強材の仕様が満足していることを確認する。

(4) 表面材の設計

表面材は補強材に期待される所定の耐力に対して十分な強度を有していなければならない。地山補強土工は、表面材の有無や表面材の種類によって補強効果が大きく異なる。また、表面材は補強材の補強効果の向上のほか、地山表面の侵食・風化防止の効果や景観性にも影響するため、現地の条件に応じて適切に選定しなければならない。

10.2.2 設計全般

(1) 補強材の配置間隔

補強材の配置位置、配置間隔は、施工時および完成後の対象斜面の安定を考慮し適切に設定しなければならない。設計計算のうえでは強度の大きな補強材を少ない本数打設したほうが経済的となる場合が多い。しかし、補強材間隔が大きいと中抜け崩壊が生じる懸念があり、安全な配置とは言い難い。逆に、補強材間隔を小さくし極端に密に打設したとしても、杭の群効果と同様に、1本あたりの期待される効果が発揮されない場合もある。

以上のことから、補強材の配置間隔は1.0m～1.5mを標準とする。ただし、十分な周面摩擦抵抗力が期待でき、かつ、吹付枠などの剛な面工を表面材に適用する場合は2.0mまで間隔を広げてもよい。

また、補強材間隔は補強材1本あたりに期待される補強材反力にも影響するため、表面材の種類や表面材に要求される剛性も考慮しながら配置間隔を設定する必要がある。

(2) 補強材の打設角度

補強材の効果は想定すべり面と補強材の角度によって大きく異なる。補強材の打設角度は安定計算上最も効果が高くなるように設定するのが経済的であるが、対象斜面の勾配や土質、施工性なども考慮して設定する。一般的に斜面勾配が急な場合は、斜面に対して直角に打設すれば、頭部構造において角度調整処理が不要となり、補強効果のうえでも概ね合理的な配置となる。そのため、多少の凹凸や起伏であれば斜面直角方向に打設する場合が多い。

ただし、凹凸が著しい場合は、補強材の交錯や上向きでの打設となり得るなど、著しく施工性が劣ることとなるため、補強材の角度を統一するなど施工性向上も考慮して配置の検討を行う。さらに、斜面勾配が緩い場合や、粘性土地盤の場合は打設角度を緩くすることで補強効果が高くなるが、頭部の角度調整処理が必要となるため、補強効果と施工性を考慮し判断しなければならない。

また、補強材を水平に近い角度で打設した場合、定着材が口元から流出する場合やブリーディングの影響で所定の周面摩擦抵抗力が確保されない危険が生じるため、水平から±5°の範囲は避ける。

(3) 補強材の長さ

補強材の長さは補強材の間隔や段数、角度などの配置計画の他、地盤条件や芯材の太さなどに応じて算出される。例えば吹付枠工などの剛な表面材を採用した場合、補強材長を長くし、芯材を太くすれば1本に期待する補強材の耐力を大きくすることは可能である。しかしながら、施工性を考慮すれば、長い補強材を設置するためには大きく重い施工機械が必要と

なり、現場の条件に適合しないことや、他の工法と比較して経済性に劣ることも考えられる。特にグラウンドアンカー工のような長い地山補強土工を選定する事例が散見されるが、崩壊機構を十分理解して長さを含めた検討が肝要である。

逆に、計算のうえでは必要な補強材の長さが非常に短くなるケースがある。この場合、地山の表層部は降雨などの影響を受けやすく、また、深部と比べると風化の進行による強度低下が生じやすいため、長期的な安定に懸念がある。

以上のことから、補強材の最小長さは2m、最大長さは一般的な施工機械の能力も考慮して5mを標準とする。一方、現場条件に応じて二重管削孔が必要となる場合において、削孔能力が高いグラウンドアンカーの施工と同等の機械を用いることも多い。このように、施工条件と他の工法との経済比較も考慮し、合理的と判断されれば5mを超えた長さを適用する事例もある。

また、補強材長さは、1つの設計断面、あるいはのり面1段程度の中で変化させないのが一般的である。

鳥取県では、補強材長さは最長7m程度とする。またすべり面以深の最低長はすべり面より1.0m以上を標準とする（「新・斜面崩壊防止工事の設計と実例」（H19.9）参考編 P.210を準用）。

(4) 補強材の抵抗力

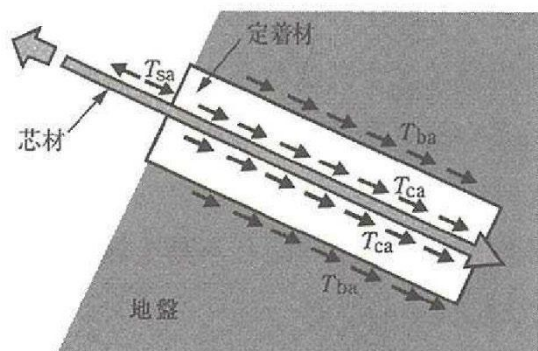
地山補強土における補強材の実際の補強効果は、曲げ補強やせん断補強、圧縮補強および引張り補強効果が複合的に発揮されるが、すべての補強効果を正確に反映して検討を行うことは困難であり、他の基準では引張り補強効果によって抵抗力の算出を行っている。本指針についても引張り補強効果によって補強材の抵抗力を検討する。

補強材の引張り補強効果は主に補強材の引抜き抵抗力により発揮される。許容引抜き抵抗力(T_{pa})は、芯材と定着材の許容付着力(T_{ca})と、定着材と地盤との許容摩擦抵抗力(T_{ba})のうち、小さい方で求められる（図10-8）。

$$T_{pa} = \min (T_{ca} , T_{ba}) \quad \dots \dots \dots \text{(式 10.1)}$$

$$T_{ca} = \tau_c \cdot \pi \cdot d$$

$$T_{ba} = \frac{\tau_p \cdot \pi \cdot D}{F_s}$$



- T_{pa} : 許容引抜き抵抗力 (kN/m)
- T_{ca} : 芯材と定着材の許容付着力 (kN/m)
- T_{ba} : 定着材と地盤の許容摩擦抵抗力 (kN/m)
- τ_c : 芯材と定着材の許容付着応力 (kN/m²)
- d : 芯材の径 (m) ※永久目的の場合は腐食代を考慮
- τ_p : 地山と定着材の極限周辺摩擦抵抗 (kN/m²)
- D : 補強材径 (削孔径) (m)
- F_s : 引き抜けに対する安全率

図 10-8 補強材周囲の許容引張り抵抗力

地山補強材によって補強した斜面の崩壊形態として、補強材が不動土塊から引き抜けて移動土塊と共に崩壊する破壊モードの他、補強材は不動土塊から引き抜けてはいないが移動土塊が補強材間を抜け出すような破壊モードが見受けられる。そのため、補強材の引張り抵抗力の検討を行う際には、移動土塊側の許容引抜き抵抗力(T_{1pa})および不動土塊側の許容引抜き抵抗力(T_{2pa})を考慮しなければならない。

ここで、移動土塊側の抵抗力を式 10.1 で求めた引抜き抵抗力と移動土塊側の挿入長さ L_1 のみから求めると非常に小さな値(T_{1pa}')となり、多密に打設しなければならないなど非経済的な結果となる場合がある。そこで、適切な表面材を用いて表面材の効果を適切に考慮し、合理的な設計を行う必要がある。図 10-9 は表面材の効果を考慮した補強材の引張り耐力の概念図である。表面材の許容支圧抵抗力 T_{0a} とすると、移動土塊側のすべての許容引抜き抵抗力 T_{1pa} は T_{1pa}' および T_{0a} の和であり、不動土塊側のすべての許容引抜き抵抗力は式 10.1 で求めた引抜き抵抗力と不動土塊側の挿入長さ L_2 から求まる値(T_{2pa})に等しい。

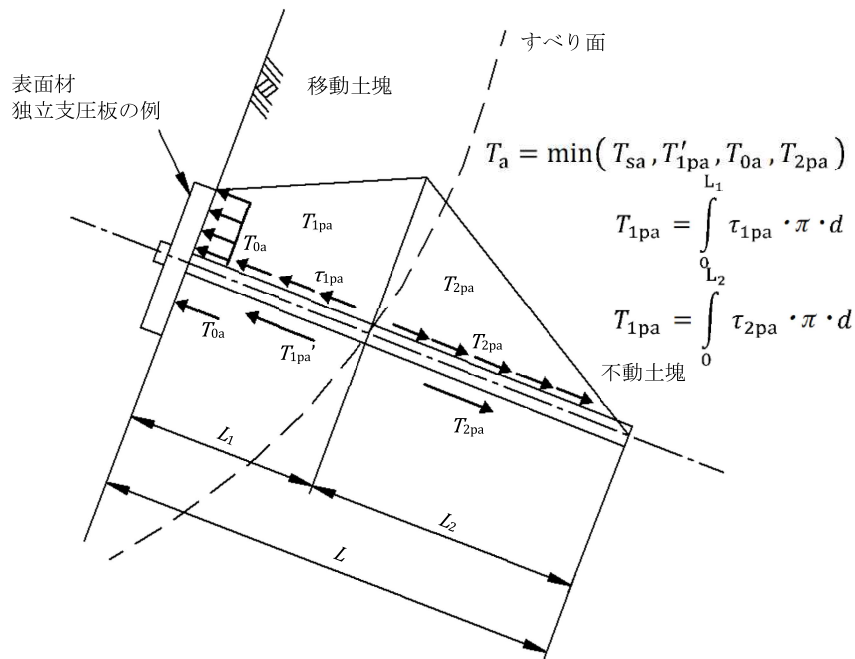


図 10-9 補強材引張り耐力概念図

以上を考慮し、補強材許容引張り力(T_a)は移動土塊側のすべての引抜き抵抗力($T_{1pa} = T_{1pa}' + T_{0a}$)、不動土塊側の引抜き抵抗力(T_{2pa})および、芯材の許容引張り力(T_{sa})のうち、最小となる値で決定される。

$$T_a = \min(T_{1pa}, T_{2pa}, T_{sa}) \dots \dots \dots (式 10.2)$$

$$= \min(T_{1pa}' + T_{0a}, T_{2pa}, T_{sa})$$

ここで、移動土塊側の許容支圧抵抗力を見込んだすべての引抜き抵抗力 ($T_{1pa} = T_{1pa}' + T_{0a}$) の算出については、高速道路の基準ではのり面工低減係数 (μ) を用いた評価手法がとられており、現在ではこの方式が広く用いられている (式 10.3)。

$$T_{1pa} = \frac{1}{1-\mu} \cdot T_{1pa}' = \frac{1}{1-\mu} L_1 \cdot T_{pa} \quad \dots \dots \dots \text{(式 10.3)}$$

T_{1pa} : 移動土塊の許容引抜き抵抗力 (kN) μ : のり面工低減係数
 T_{1pa}' : 補強材周囲と補強材長のみから求まる L_1 : 移動土塊の補強材長 (m)
 移動土塊の許容引抜き抵抗力 (kN)

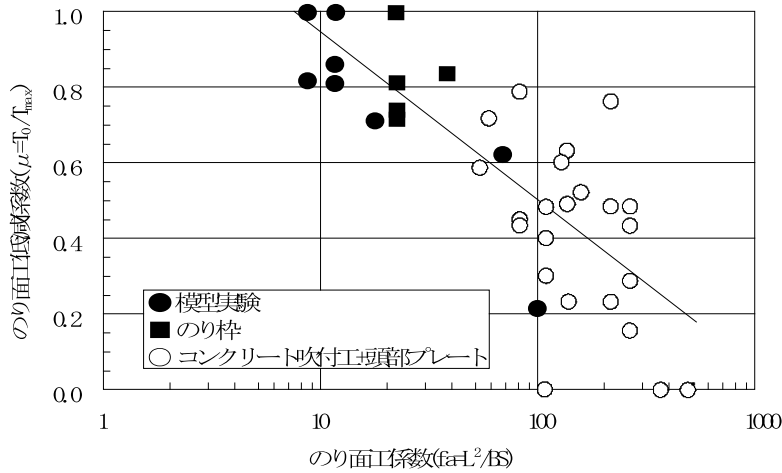
また、 T_{2pa} および T_{sa} は式 10.4、式 10.5 で求められる。

$$T_{2pa} = L_2 \cdot T_{pa} \quad \dots \dots \dots \text{(式 10.4)}$$

$$T_{sa} = \sigma_{sa} \cdot A_s \quad \dots \dots \dots \text{(式 10.5)}$$

T_{2pa} : 移動土塊の許容引抜き抵抗力 (kN) σ_{sa} : 芯材の許容引張り応力度 (kN/m²)
 L_2 : 不動土塊の補強材長 (m) A_s : 芯材の断面積 (m²)
 T_{sa} : 芯材の許容引張り力 (kN)

高速道路の基準によれば、のり面工低減係数は過去の事例や実験結果から、表面材の大きさや補強材間隔、補強材長には、図 10-10 に示す相関関係があることがわかっており、また、一般的な表面材を用いる場合は表 10-2 からのり面工低減係数を設定してもよいとしている。表 10-2 に記載の表面材の他、近年広く使用されている独立受圧板やワイヤロープ併用タイプの表面材についても適切なのり面工低減係数を設定し、設計を行わなければならない。



注) コンクリート吹付工の場合、Bは頭部プレートの幅

T_0	: 表面工と補強材の結合部に作用する補強材引張り力(kN/本)
T_{max}	: 補強材引張り力の最大値(kN/本)
B	: 補強材 1 本当たりの有効表面工幅($B = \sqrt{A}$, : A 受圧面積)(m)
S	: 補強材平均打設間隔($S = \sqrt{S_v \times S_h}$, S_v : 鉛直打設間隔, S_h : 水平打設間隔)(m)
L	: 補強材長さ(m)

図 10-10 のり面工係数とのり面工低減係数の関係

表 10-2 表面材の種類とのり面工低減係数 (μ) の目安

のり面保護工タイプ	μ	備 考
植生工のり面	0	
コンクリート吹付工	0.2~0.6	
のり砕工	0.7~1.0	
擁壁工	1.0	連続した板タイプののり面工

(5) 定着材と地盤の許容摩擦抵抗力

地山補強土における定着材と地盤との許容摩擦抵抗(T_{ba})力は、定着材と地盤との極限周辺摩擦抵抗(τ_p)に、補強材の設計補強材長に相当する周面積を乗じて求めた極限引抜き抵抗力を安全率で除して算出される。極限周辺摩擦抵抗(τ_p)は、事前に調査設計試験を行って決定することが望ましいが、急傾斜地崩壊防止工の対象斜面では人家が斜面に近接し、かつ密集している場合が多く、対象斜面内で基本調査試験を実施することが困難な場合も多い。そのため、設計段階では地盤別の推定値や、近隣の同様な地盤で採用された実績値を設計に採用することとなる。一般的には、土質別推定値の表から極限周辺摩擦抵抗を推定する手法がよく用いられている。(表 10-3)。なお、地山補強土工では無加圧での注入方式が一般的であり、加圧注入を標準とするグラウンドアンカー工とは異なる。したがって、表 10-3 は本指針“9章グラウンドアンカー工の設計・施工”の表 9-1 に記載の数値とは異なることに注意されたい。

引き抜けに対する安全率は、永久目的の場合は 2.00、仮設目的の場合は 1.50 を標準とする。

最近の技術として、繰り返し注入を行うことで引抜き抵抗力の向上を図ることができる工法もあるので参照されたい。

表 10-3 極限周辺摩擦抵抗の推定値

地山の種類		極限周辺摩擦抵抗 (kN/m ²)	
岩盤	硬岩	1200	
	軟岩	800	
	風化岩	480	
	土丹	480	
砂礫	N 値	10	100
		20	130
		30	180
		40	280
		50	450
砂	N 値	10	80
		20	100
		30	150
		40	200
		50	300
粘性土		0.8×c	

c : 粘着力(kN/m²)

(6) 芯材と定着材の許容付着応力

芯材に異形鉄筋を用いた場合の芯材と定着材との許容付着応力(τ_c)は表 10-4 によって決定することができる。なお、仮設目的の場合は永久時の値の 1.5 倍とする。

表 10-4 異形鉄筋と定着材の許容付着応力 (永久時)

定着材の設計基準強度(N/mm ²)	24	27	30
許容付着応力(N/mm ²)	1.6	1.7	1.8

(7) 補強後の安定性の検討

芯材地山補強土工の補強後の安定性は、想定されるすべり形態に応じて所要の計画安全率を満足するかどうかによって判断される。すべり破壊の検討は一般的に円弧すべり法または直線すべり法により行われる。以下に円弧すべり法による安定性検討について述べる。

(i) 安定計算式

図 10-11 に円弧すべり法による力のつり合いを示す。安全率は滑動モーメントと抵抗モーメントのつり合いから式 10.6 より求める。

$$F_s = \frac{Mr + \Delta Mr}{Md} \geq (\text{計画安全率}) \quad \dots \dots \dots \text{(式 10.6)}$$

Mr : 土塊の抵抗モーメント (kN・m/m)

Md : 土塊の滑動モーメント (kN・m/m)

ΔMr : 補強材による抵抗モーメント (kN・m/m)

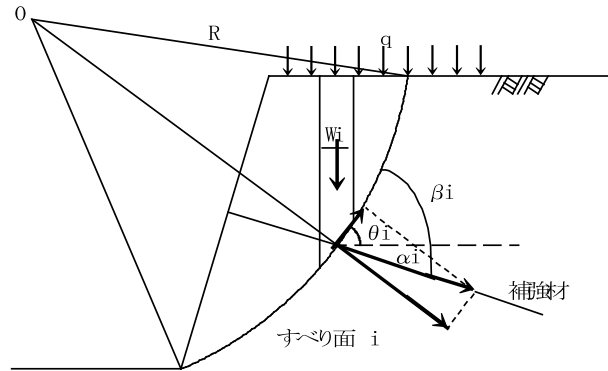


図 10-11 円弧すべり法による安定計算法

(ii) 土塊の滑動モーメント

土塊の滑動モーメントは式 10.7 より求まる。

$Md = R \sum Wi \cdot \sin \theta_i$ (式 10.7)

R : すべり円弧の半径 (m)

Wi : 分割片の重量 (kN/m)

θi : 分割片のすべり角度 (°)

(iii) 土塊の抵抗モーメント

土塊の抵抗モーメントは式 10.8 より求まる。

$Mr = R \sum (c_i \cdot L_i + W_i \cdot \cos \theta_i \cdot \tan \phi_i)$ (式 10.8)

ci : 土の粘着力 (kN/m²)

Li : 分割片のすべり面長さ (m)

φi : 土の内部摩擦角 (°)

(iv) 補強材による抵抗モーメント

補強材による抵抗モーメントは、補強材に発生する引張り力により発揮される。補強材の効果としては、引張り力のすべり面に対して平行な分力（引き止め効果）と、すべり面に対して垂直な分力（締め付け効果）として考えることができ、補強材の抵抗モーメントとして両効果を見込む。

$\Delta Mr = R \sum (T_m \cdot \cos \beta_i + T_m \cdot \sin \beta_i \cdot \tan \phi_i)$ (式 10.9)

Tm : 補強材の設計引張り力 (kN/m)

βi : 補強材と分割片で切られたすべり面とのなす角度 (°)

Tm・cosβi : 補強材による引き止め力 (kN/m)

Tm・sinβi・tanφi : 補強材による締め付け力 (kN/m)

ここで、補強材 1 本当たりの許容引張り力(T_a)は式 10.2 で求められるが、本工法は地山の挙動に応じて効果を発揮するため、地山と補強材の相互作用に依存する。そのため、実際に補強材に発生する引張り力は必ずしも許容引張り力(T_a)とはならない。そこで、設計引張り力(T_d)は許容引張り力に対して低減するものとする。

$$T_d = \lambda \cdot T_a \quad \dots \dots \dots \text{(式 10.10)}$$

$$T_m = T_d / S_H \quad \dots \dots \dots \text{(式 10.11)}$$

T_d : 補強材の設計引張り力 (kN/本)

λ : 補強材の引張り力の低減係数 (0.7 とする)

T_a : 補強材の許容引張り力 (kN/本)

S_h : 補強材の水平方向間隔 (m)

(8) 表面材

表面材は、地山の侵食防止や風化防止などの局所的な安定性や景観性だけでなく、補強材の補強効果を増加させて移動土塊の抜け出し崩壊を防止する効果を発揮することを目的とする部材である。そのため、所要の耐力や機能が得られるように適切に設計する。

10.3 地山補強土工の施工

10.3.1 一般的留意事項

(1) 安全管理

地山補強土工を施工する場合は、一般的に傾斜が急で施工位置も高所になる場合が多い。

また、地山補強土工の施工は足場上での作業のほか、条件によってはロープ足場での作業となる場合も多いため、現場に適した施工方法や仮設計画を検討の上、安全な作業に努める。

(2) 事前調査

施工計画作成のため、対象地区の地形・地質状況並びに家屋・道路等の周辺環境について現地調査を行う。

(3) 準備工

施工の準備として、資機材の使用計画を立て手配する。急傾斜地対策の施工は資機材の搬入に制限がある場合も多く、現地条件に適した機械の選定や搬入方法を計画する。特に、資機材の搬入や施工にクレーン等を使用する場合には、搬入経路やアウトリガー張り出し位置の確認、さらには交通規制が必要な場合は関係機関への申請が必要となるので事前の現地確認は重要である。

また、材料の保管場所を設定し、搬入時や保管の際には損傷の発生や土や油などの汚れが付着しないように細心の注意を図る。

(4) 設計書の検討

地山補強土工の施工にあたっては事前に設計書を十分に確認し、不明な点があれば監督員に申し出る。特に設計に用いた地盤条件を吟味し、乗り込み後に設計と異なっていることが判明した場合には、監督員との協議のうえ、必要に応じて再度検討を行わなければならない。

(5) 削孔工

削孔技術の良否が施工された地山補強土工の品質の良否を大きく左右するため、削孔にあたっては位置や角度、長さを設計条件に基づいて適切に行う必要がある。また、定着材と地山との摩擦に悪影響を及ぼさないように、孔内のスライムはできるだけ除去しなければならない。

削孔にはエア削孔方式と清水削孔方式がある。地山補強土工は比較的小径の削孔であるため、エア削孔を使用するケースが多いが、削孔困難となる場合には清水削孔を検討する。

地山補強土工の削孔は、比較的短尺なこともありφ65mmでの単管削孔が主体であるが、削孔ロッドを引き抜いた後の芯材挿入となるため、土質の状況によっては孔壁が自立せず、施工が困難となる。その場合は監督員と協議のうえ、ケーシング併用の二重管削孔など適切な方法に変更を行う。

(6) 注土工

定着材の注土工は、削孔工と並び施工された地山補強土工の品質の良否を決定する重要な工程である。定着材の配合にあたっては、設計条件を満たすように行う。注入材にセメントミルクまたはモルタルを使用する場合は、JSCE-F521-1999「プレパックドコンクリートの注入モルタルの流動性試験方法（P漏斗による方法）」並びに、JSCE-G505-1999「円柱供試体を用いたモルタルまたはセメントペーストの圧縮強度試験方法」等に準拠した品質確認試験を行うことが望ましい。注入は孔内水や空気を定着材で置換するように孔底から行い、口元からの注入材のリターンを確認する。亀裂性岩盤などで定着材の漏水があれば再注入を行うなど、健全な補強体を形成するよう努める。なお、地山補強土工はグラウンドアンカー工の注入方式と異なり無加圧注入方式を標準としている。

(7) 挿入工

芯材の挿入は所定の位置に正確に行い、定着材が硬化するまで芯材が動かないように保持しなければならない。特に、定着材が硬化を始めた強度の発現前に、振動を与えたり動かすなどして付着強度を低下させることのないようにしなければならない。

(8) 養生工

定着材の圧縮強度が所定の値以上になるまで養生し、補強材に外力や変位を与えないようにする。圧縮強度の確認は、(6)注土工に記載の品質確認試験を第三者機関等で実施することにより行う。

(9) 引抜き試験

引抜き試験には工事着手時に地質ごとの極限引抜き力等を確認するために行う適合性試験と、品質管理の目的で打設完了した補強材に対して実施される受入れ試験に分類できる。

(i) 適合性試験

適合性試験は、施工着手時に地質ごとの極限周辺摩擦抵抗を確認するために行うものであり、現場条件や地質の状況、施工条件に応じた引抜き力を把握するために実施することが望ましい。適合性試験を実施する場合には、本施工とは別に試験用の補強材を打設する。適合性試験によって確認するのは定着材と地盤の極限周辺摩擦抵抗力であり、芯材と定着材との付着切れや芯材の破断が生じないように注意して計画する必要がある。

試験方法については他の基準類に記載のあるものもあるが、一般的には1サイクルにて行っている場合が多いため、本指針では1サイクルでの実施を標準とする。

試験方法を表 10-5 に示す。

表 10-5 適合性試験の試験方法

項目	各項目の内容
試験本数	・設計上の地質ごとに3本を標準とする。
試験用補強材の補強材定着長	・1m程度とする。
自由長部の処理	・自由長部は引抜き抵抗として作用しないように処理する。
最大試験荷重	・使用する芯材の降伏強度の90%以下とする。
	・引抜き力が大きくなることが予想される場合は適宜芯材の規格を変更する。
	・引抜きが困難な場合は設計上の極限周辺摩擦抵抗力の確認をもって試験の終了とすることができる。
载荷サイクル	・1サイクルとする。
载荷方法	・初期荷重 5.0kN
	・増加荷重のきざみ 10.0kN
	・各段階での荷重保持時間 5.0分
	・载荷速度 10.0kN/分
反力装置	・最大試験荷重時においても反力装置および地盤が有害な変形を生じない構造とする。
計測項目	・载荷荷重
	・試験時間
	・芯材の変異量
	・反力装置の変位量
試験結果まとめ	・荷重－変位量曲線としてまとめる。

(ii) 受入れ試験

受入れ試験は、施工された補強材が設計時に要求された性能を満足するか確認するため、品質管理項目として行われる。そのため、受入れ試験を行う補強材は、実際に供用される補強材より選定する。なお、本施工に先立って適合性試験を実施することが困難な場合は、施工の早い段階で受入れ試験を実施するのが望ましい。受入れ試験の方法を表 10-6 に示す。

表 10-6 受入れ試験の試験方法

項目	各項目の内容
試験本数	・任意抽出で全本数の3%かつ3本以上とする。
最大試験荷重	・設計引張り力とする。
載荷サイクル	・1サイクルとする。
載荷方法	・初期荷重 5.0kN
	・増加荷重のきざみ 10.0kN
	・各段階での荷重保持時間 5.0分
	・載荷速度 10.0kN/分
反力装置	・最大試験荷重時でも壊れず、表面材や地盤に有害な影響を与えないものとする。
計測項目	・載荷荷重
	・試験時間
	・芯材の変異量
	・反力装置の変位量
試験結果まとめ	・荷重－変位量曲線としてまとめる。

(10) 頭部処理工

受入れ試験により設計どおりの品質が確保されていることが確認された補強材は、頭部処理工を実施する。頭部処理工は、補強材頭部が補強材と一体化することにより補強効果が十分に高まるように入念に行う

(i) 頭部背面処理工

地山補強土工で用いられる定着材は、一般的にはセメントミルクを用いる。セメントミルクは、流動性が高く孔口に空洞が生じる場合が多い。孔口の空洞処理を怠ると、孔口付近の地山が緩む場合や芯材が露出しているため錆が発生し、補強材に期待される所定の強度が低下する懸念も生じる。したがって、孔口の空洞は、注入完了後硬練りモルタルなどにより充填を行う必要がある（図 10-12）。

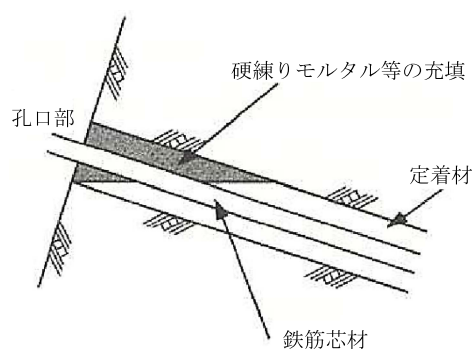


図 10-12 孔口部の処理

(ii) 頭部定着工

頭部定着工は、補強材と表面材の一体化を図るもので、一般的にプレートおよびナットを用いて表面材と結合する手法が用いられる（図 10-13）。地山補強土工は、地山が変形することで補強材に引張り力が発生し、地山の安定に寄与する工法である。そのため、ナットは緩みが生じないように、人力によって十分に締め付けなければならない。

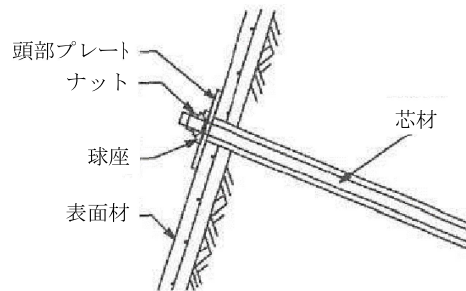


図 10-13 頭部定着の例

地山補強土はグラウンドアンカーと異なり初期緊張力を導入して斜面の安定を図る工法ではないため、ナットの締め付けは緊張力を導入することを目的とするものではない。しかし一般的な締め付け力の管理値の目安として、トルクレンチを用いて設計引張り力の 50%程度としている事例が多い。締め付け力については監督員と協議のうえ、決定する。

(11) 表面材設置工

表面材は補強材と結合することで、効果的に斜面の安定機能を発揮するため、現場の条件に応じて適切な表面材を適切に設置しなければならない。

【第 10 章 参考文献】

- 全国治水砂防協会：新・斜面崩壊防止工事の設計と実例 本編、令和元年 5 月