

切土・地山補強土

工法のご案内 2023



長寿補強土（株）



弊社の取り組み

インフラ長寿命化基本計画推進

平成 25 年 11 月に「インフラ長寿命化基本計画」が政府によりとりまとめられました。基本計画では、インフラの長寿命化を計り、大規模な修繕や更新をできるだけ回避することも重要であるとし、さらに、民間で開発された新技術や新材料等について、その普及が促進される体制強化が必要であると述べています。

弊社は、上記の政府方針に合致し、大規模な修繕や更新回避に寄与できる技術と製品をご提供致します。

弊社製品の基本方針

◆長寿命素材を使用

・エポキシ樹脂塗装鉄筋



土木学会基準 JSCE E102 適合品
SD345 ネジフシ棒鋼

・メッキの上に PVB 樹脂



亜鉛メッキ HDZ35+PVB 塗装
鋼材 ss400

・IR 被覆鉄線



IR 鉄線金網
アイオノマー樹脂

・GRC コンクリート



ガラス繊維を混入したコンクリート

・炭素繊維ケーブル



炭素繊維ケーブルの長尺補強材

・IR 被覆鉄線の構造



IR被覆鉄線の構造

強靭なアイオノマー樹脂を接着

◆安全な構造

- ・設計は、NEXCO の設計要領や地盤工学会のマニュアルを使用します。構造は、NEXCO の設計要領に合致ないし準拠し、特殊な LL 補強土の頭部構造は、実験結果から信頼性があることが確認されています。
- ・炭素繊維ケーブルの設計は、地盤工学会のアンカー設計基準の規格を使用します。
- ・厳しい現場の施工箇所でも、斜面崩壊を安定的に抑止しています。



LL 補強土試験状況

◆従来工法と同等以下の建設コスト

- ・平均的な設計で建設コストを比較した場合、従来工法より低コスト～同等以下になります。
- ・ライフサイクルコスト (LCC) で比較すると遥かに低コストです。

LCC の比較には、100 年と 200 年を推奨しています。

一般環境での耐久性 100 年 長寿命補強土植生型 長寿命補強土モルタル吹付型 長寿ハイブリッド補強土
一般環境での耐久性 200 年以上 LL 補強土工 長寿トップリング補強土 Jプレストレスアンカー

◆コンクリート自体は高い耐久性

コンクリートの耐久性は一般的な認識より高く、中性化してもコンクリートそのものは健全です（一軸圧縮強度は若干上昇する）。古代ローマ時代に建設された約 2,000 年前の神殿や競技場、水道橋といった大規模な建造物に用いられたコンクリート（古代コンクリート）は今でも健全です。



2000 年前の古代コンクリート

コンクリートの劣化と呼ばれる現象は、ほとんど鉄筋コンクリート内部の鉄筋の錆発生が原因です。鉄筋を、ステンレスや炭素繊維ケーブル、あるいはエポキシ樹脂塗装鉄筋にするだけで、著しい長寿命化を実現できます。日本でも、第二名神高速道路の栗東橋の下部工事では、エポキシ樹脂塗装鉄筋を使用し 300~500 年の供用が可能としています（日経コンストラクション 2001 年 10 月 26 日）。

◆新時代の金網（IR 被覆鉄線金網）の実力

海岸地域（沖縄県下地島）の過酷な環境で施工した IR 被覆鉄線金網の状況です。従来のメッキ金網の場合は、施工後 7 年で線材が錆びて細っていますが、IR 被覆鉄線の場合は、施工後 6 年経過した時点で劣化は見られません。長寿金網（IR 被覆鉄線）の日光（紫外線）に対する抵抗力は、実験結果から 184 年以上と算定されます。酸・アルカリ・衝撃・低温にも強い優れた特性が確認されています。



施工後 7 年 メッキ金網 Z-GS-7
Z-GS-7 は、メッキ量 380 (g/m²) で Z 規格最大のメッキ量

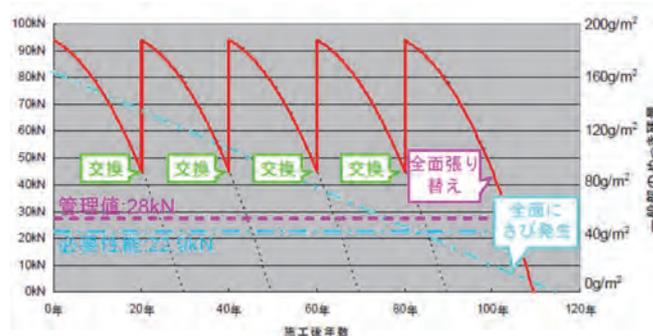


施工後 6 年 IR 被覆鉄線金網（長寿金網と同じ素材）

◆LCC（ライフサイクルコスト）による工法比較

下記の図は、メッキ金網を 20 年ごとに交換し、100 年後に全面張替えを行って社会資本整備を維持する提案例です（地盤工学ジャーナル Vol.5）。現在は、昔は無かった高耐久性素材の利用により、頻繁に張り替えることなく、人件費や維持管理費を低減し、100 年間のコストを大幅に縮減できます。

長寿金網（IR 被覆鉄線金網）の利用で、一般環境においては、100 年間はメンテナンス不要と考えられます。LCC 評価に必要な概略資料を、パンフレットの p16 に記載しました。素材の性質や使用される環境は、各現場で著しく異なるので、大胆な LCC 評価が不可欠です。



長寿命補強土植生型

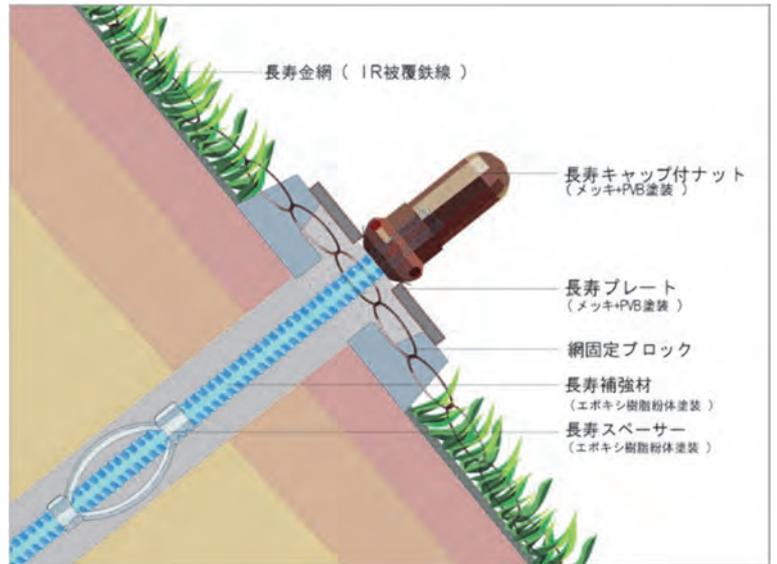
NETIS QS-150043-A(旧) PAT 6291697

◆概要

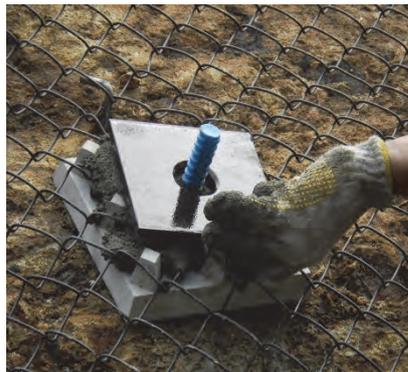
長寿命補強土植生型は、高耐久性の IR 被覆鉄線金網とエポキシ樹脂塗装鉄筋補強材を用いて、斜面崩壊を防止する補強土です。頭部固定金具もメッキ (HDZ35) の上に PVB 樹脂を熱処理塗装した高耐久性部材です。現場施工の重労働を軽減できます。

◆特徴

法面工が金網のため、施工日数を短縮できます。建設コストは、一般的な補強土工と同等以下です。ライフサイクルコストで比較すると非常に低コストになります。



◆金網が傷つかない構造



金網が引っ張られても金網はコンクリートで包まれ傷がつきにくい構造です。すべてが高耐久性部材です。

◆施工例

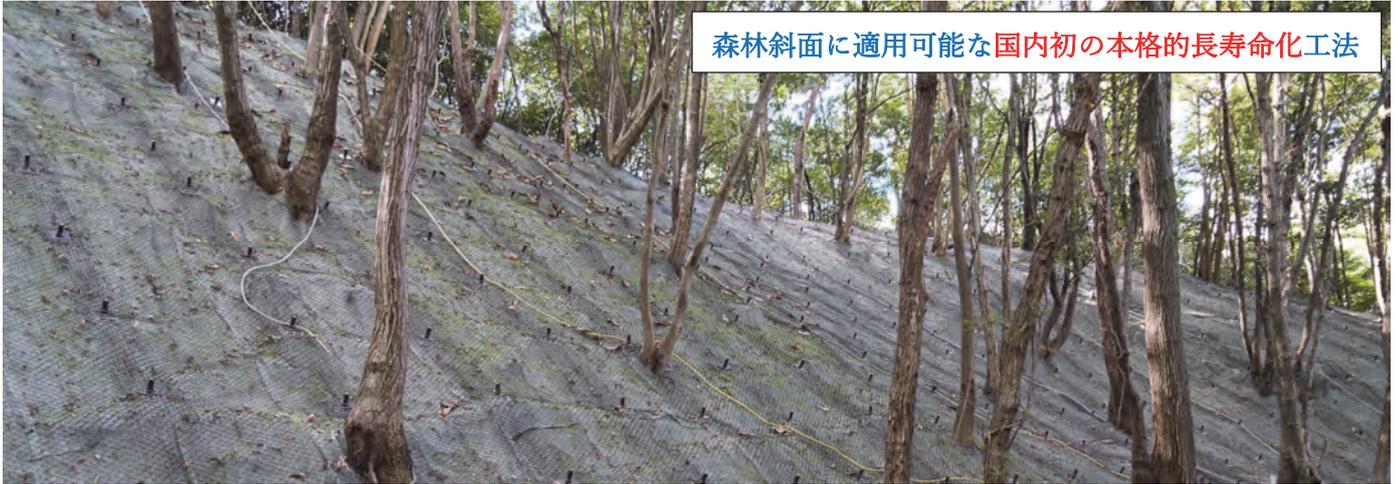


植生誘導マットを金網の下に敷設した事例



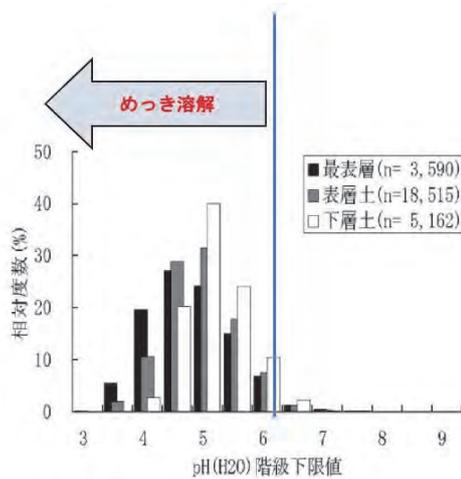
左写真現場の1年後の状態 (鹿児島県)

森林斜面に適用可能な国内初の本格的長寿命化工法



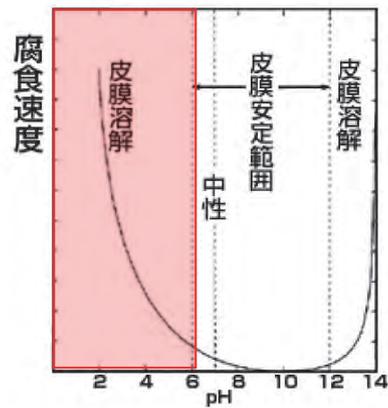
森林斜面で工事中（マサの浸食防止マットを金網の下に敷設しています。非常に施工し易い特徴があります。）

日本のほとんどの森林にはメッキが溶解する酸性土壌（pH 6 以下）が分布しています。pH 6 以下ではメッキは溶解します。また、メッキが土壌と接触すると耐用年数は 25 年程度です（日本溶融亜鉛鍍金協会）。本工法は、森林環境でも 100 年以上の長期耐久性があります。



日本全国の森林土壌 pH の出現頻度

出所：森林総合研究所



PH と溶融亜鉛めっき

出所：日本溶融亜鉛鍍金協会

金網の耐久性 [IR 被覆鉄線(芯線 SWMGGH-3) 鉄線 JIS G 3505]

亜鉛メッキ鉄線に、耐久性を高めた高強度の低密度ポリエチレン被覆材を 0.4mm の厚さで完全接着した製品です。一般的に使用されている「亜鉛めっき鉄線(SWGS-3)」の耐用年数は 10~15 年程度(環境条件により変動あり)ですが、高強度低密度ポリエチレン被覆鉄線の耐用年数は、促進耐候性試験結果から 100 年以上(耐候性試験結果 184 年)と考えられます。下図は、塩水噴霧試験の結果で、IR 被覆線のみが 2000 時間の試験後も変化はありません(試験 10000 時間でも端部以外の変化は認められません)。

JIS Z 2371 塩水噴霧試験による。 35℃ 5% NaCl 水溶液

経過時間	IR被覆線(茶色)	IR被覆線(透明)	着色塗装亜鉛めっき鉄線	亜鉛めっき鉄線(3種)	亜鉛アルミ合金めっき鉄線(10%アルミ)
0時間					
400時間					
800時間					
1200時間					
1600時間					
2000時間					

長寿命補強土モルタル吹付型

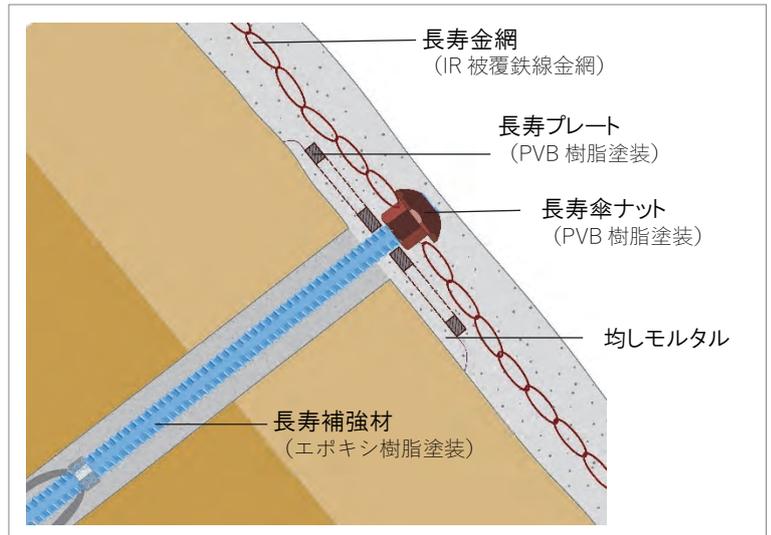
NETIS QS-210047-A

◆概要

長寿命補強土モルタル吹付型は、高耐久性の金網と高耐久性のエポキシ樹脂塗装鉄筋を用いて、斜面崩壊を防止する補強土です。頭部固定金具も PVB 樹脂を熱処理塗装した高耐久性部材です。高耐久性の部材がすべてコンクリートの内部にあるので、非常に長期の耐久性があります。

◆特徴

モルタル吹付のラス金網の代わりに、長寿命金網（IR 被覆線金網）を使用します。IR 被覆線は、雨水や日光や塩水がある環境でも高い耐久性があるので、モルタルにクラックが入り亜鉛メッキラス金網が錆びて断線する環境でも、長寿命金網は錆びません。長寿命プレートと金網と吹付モルタルが一体化し、本工法では、モルタルのクラックは拡大しません。建設コストは、一般的な補強土工と同等です。ライフサイクルコストで比較すると非常に低コストになります。

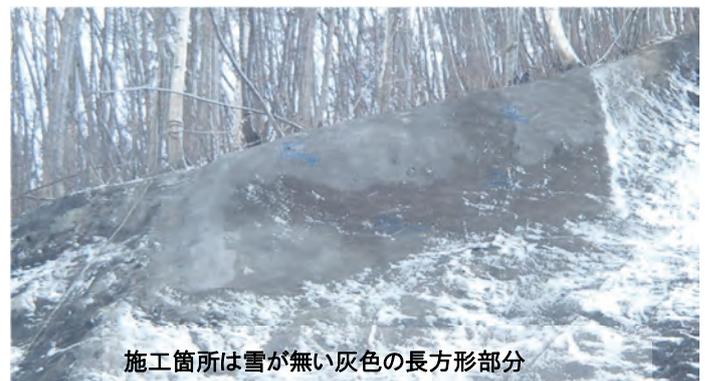


実験 セットハンマー15回の打撃でモルタルは割れ27回打撃でも離れない。地質ハンマー打撃では分離しない。

◆適用例

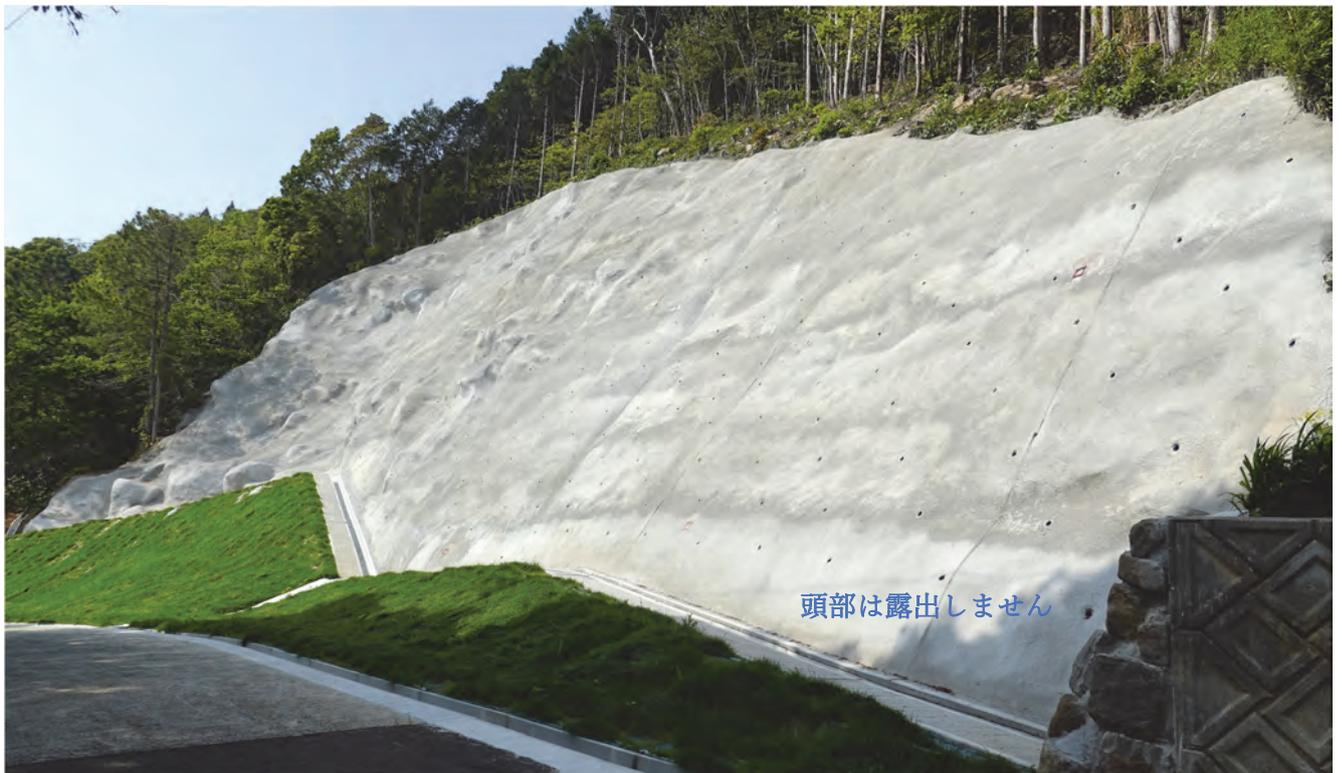
下記の目的で使用されています。

- ・崩壊の危険があるモルタル吹付法面の補強
- ・擁壁の変形抑止





施工中 モルタルを吹き付ける前の状態です。



施工後 補強土の頭部は露出しないので、モルタル吹付工と同じ状態になります。



長寿プレート キャップ (特注)



長寿スペーサー
(エポキシ樹脂塗装)



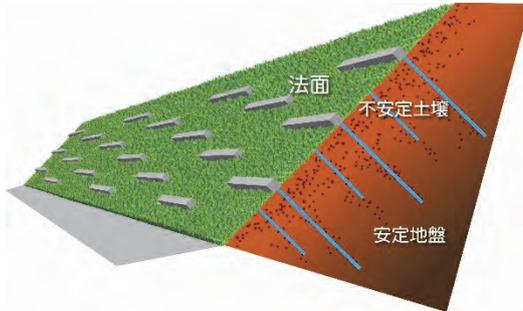
長寿傘ナット
(PVB樹脂塗装)

LL 補強土

世界初の本格的な長寿命補強土 NETIS QS-020015(旧)

◆概要

LL 補強土は、本格的な長寿命化を実現した世界初の補強土工法です。法面工は簡易ですが、十分な安定を保てます。補強土工が崩壊を抑止する本来の効果は、地盤に擬似的な擁壁を造り、地盤の変形を抑制することです。この効果が発揮される砂質土や風化岩の場合は、良好な崩壊抑止効果が発揮されます。



LL 補強土工の配置模式図



LL 補強土工の工事例

◆適用例

・国指定重要文化財への適用

笠森観音（千葉県）の観音堂は、1000 年以上も後世に残していきたい国指定の重要文化財です。LL 補強土工は、工法が持つ超高耐久性の機能により、このような文化材の保存現場でも適用されています。

千葉県の笠森寺は、三仏寺 投入堂（鳥取県）、出雲大社とともに、「御来光の道」に位置し、3つとも国指定の重要文化財です。



国指定重要文化財



国指定重要文化財の建築物基礎にLL補強土工が使用されていますが、外観から見分けることは出来ません。

・崩壊性の切土斜面

切土斜面の長期的な安定化対策として効果を発揮します。下記の現場は、崩壊周期 100 年程度で崩壊を繰り返すと考えられる土質ですが、LL 補強土工は、100～200 年以上経過しても、斜面の安定に効果を発揮します。



◆特徴

●構造物の劣化要因を排除

補強土工の耐久性の課題は、①頭部固定金具の錆びによる劣化 ②吹付法枠などの法面工の劣化 ③補強材の建設後25年以上経過後の劣化など様々ですが、LL補強土工は、これらの耐久性の欠点を排除しています。

- ・塩害などで劣化しやすい頭部が、コンクリートに内蔵され、樹脂塗装されているためほとんど劣化しません。
- ・補強材やのり面工内部の鉄筋は、すべてエポキシ樹脂塗装鉄筋なので、吹付コンクリートが中性化しても錆びません。
- ・吹付金網もエポキシ樹脂の塗装品（エポキシ樹脂の粉体を高温で焼き付けた製品）です。

●施工性

- ・難しい施工技術を必要としません。
- ・法面工の鉄筋を、地上で組み立てることが出来るようになり、施工性が向上しました。



●実施例

- ・N値=0~1の斜面に亀裂が出来て不安定な状況でした。経験的設計法で1:0.7の斜面にLL補強土工を施工し、斜面は17年以上経過しても安定です。



- ・施工前に3回も崩壊が起きた斜面にLL補強土工を適用しました。16年経過しましたが法面浸食も認められず、斜面を安定に保っています。



工事前に3回も崩壊

完成直後（この後は構造物は見えない）

16年経過しても法面侵食など老朽化の兆候なし

長寿ハイブリッド補強土®

PAT 5648226

世界初技術

◆概要

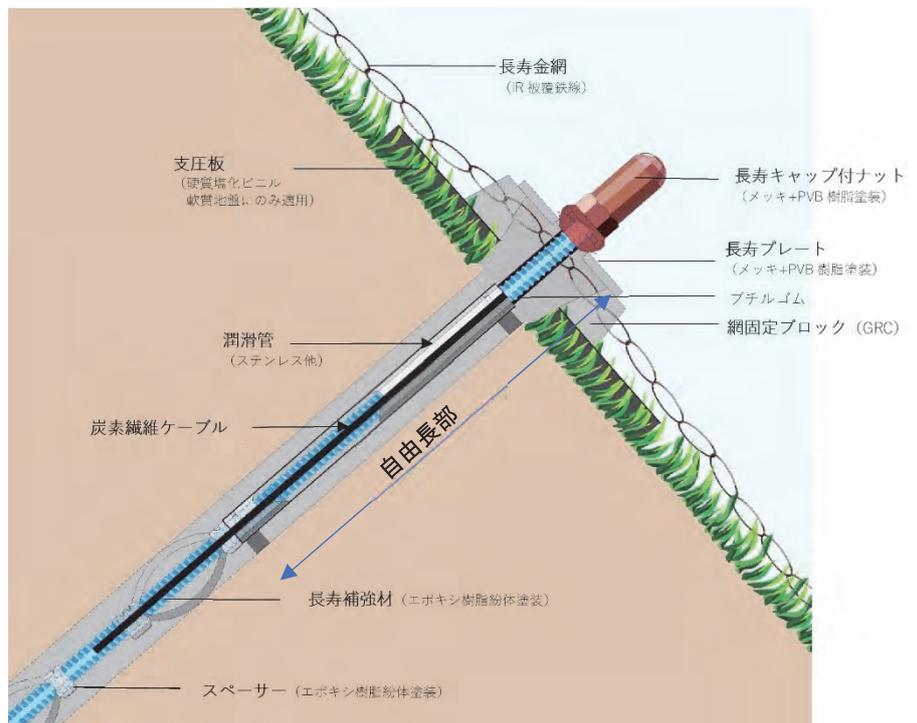
長寿ハイブリッド補強土は、**緊張できる補強土**です。アンカーとの違いは、自由長部のグラウト区間に炭素繊維ケーブルが配置され、自由長部でも地盤との付着力が得られる点です。補強材の全区間で、地盤と一体化して補強土工本来の性能を発揮すると同時に、緊張力を導入しアンカーの機能も果たすことも出来ます。

高耐久性の金網と高耐久性のエポキシ樹脂塗装鉄筋補強材を用いて、斜面崩壊を防止する補強土です。頭部固定金具も PVB 樹脂を熱塗装しており、補強土工全体が高耐久性です。

◆特徴

本工法は、補強材頭部を設計荷重で緊張するので、**のり面工低減係数 $\mu = 1.0$** です。下記の使用方法があります。

- ・ 削孔径 65 mm の場合
崩壊性が無い地盤のみ D19 を適用可能
- ・ 削孔径 90 mm の場合
二重管掘削を適用
 - i : アンカーの様に**最大 72KN で受圧板を緊張可能**する (アンカーよりコスト縮減可能)。
 - ii : 波型ポリエチレン管を被せて、強酸性地盤 などで使用する。



◆適用例

小規模のアンカーとして、あるいは法面工低減係数 $\mu = 1.0$ が設計条件となる現場で使用されています。



住宅密集地の斜面崩壊箇所での適用例
世紀を超えて、斜面の安定が必要な現場の実施例



緊張力導入中
緊張後キャップ内に防錆のため
エポキシ樹脂を注入



挿入前の補強材



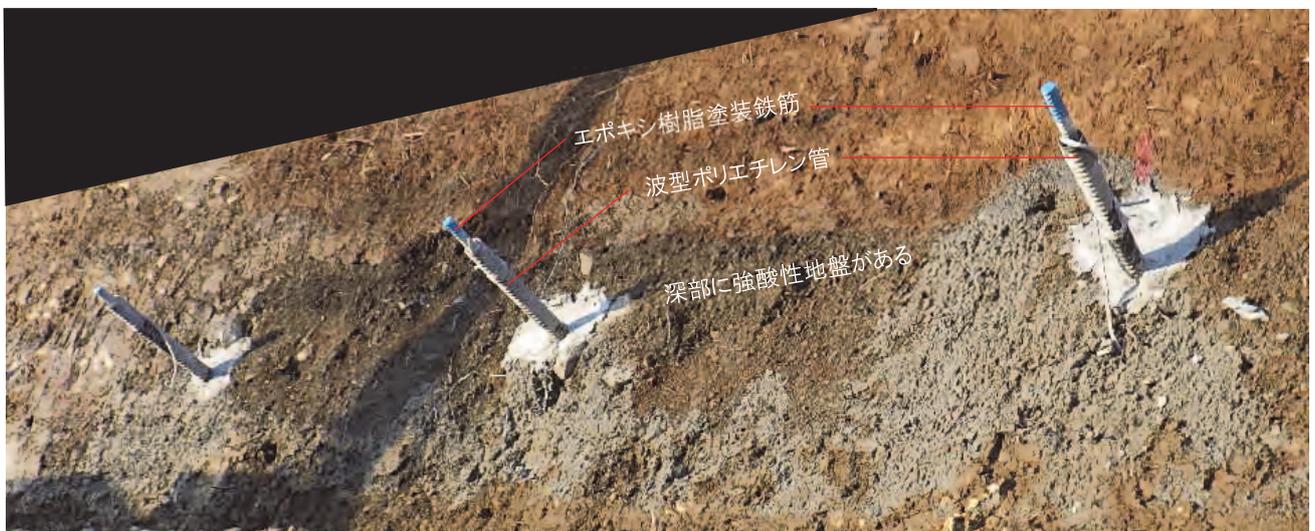
L=7.0mの補強材（青）と波型ポリエチレン管（黒）



D25 補強材の場合 72KN で緊張



アンカー的な施工例



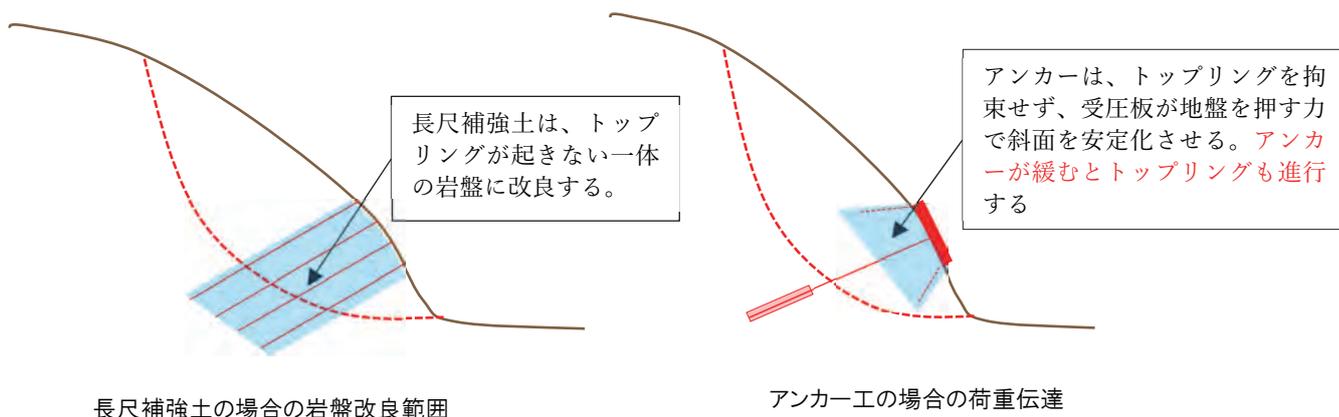
高耐久性の補強材に受圧板をセット 地中部分の耐久性は最高水準

長寿トッピング補強土

世界初の適用

◆概要

長尺補強土は、トッピング崩壊や岩盤地すべりなどに使用します。岩盤トッピングの対策としては、アンカー工が用いられることが多いですが、老朽化によりアンカーが緩むとトッピングは進行します。一方、長尺補強土の場合は、トッピング岩体を炭素繊維ケーブルなどで縛って一体の岩盤にするので、トッピング崩壊の素因そのものを無くすることが出来ます。



長尺補強土の場合の岩盤改良範囲

アンカー工の場合の荷重伝達

◆特徴

高耐久性の部材（炭素繊維ケーブルや長寿ストランド）を地中に使用することにより、一般的な環境では数世紀の耐久性があると考えられます。炭素繊維ケーブルの場合、ケーブルそのものに錆びる要因所がありません。

炭素繊維ケーブルは非常に軽い素材で、同径の PC より線鋼材と同等程度の大きな引張強度があります。このため、径 19.3 mm の炭素ケーブルを 4 本使用すると、許容引張荷重は 1,068KN ですが、重さは 1 m 当たり 1.5 kg 程度に過ぎません。このため、写真の様に簡単に手で持つことが出来ます。

この特性のため、アンカー材料をクレーンで吊るすことが困難な現場や、地形が急峻で作業性が不良な現場にも適します。炭素繊維ケーブルを使用した作業は、重い素材の重労働と危険から現場を解放できます。



径 15.2 mm の炭素繊維ケーブル 3 本束

炭素繊維ケーブルの許容引張荷重と重さ

断面形状	呼称	直径 (mm)	保障破断荷重 (KN)	許容引張荷重 (KN)	重さ (g/m)
	1×7 15.2 φ	15.2	270	162	221
	1×7 17.2 φ	17.2	350	210	289
	1×7 19.3 φ	19.3	445	267	355

◆施工例

長尺補強土を、砂防ダム袖部のトップリング対策に適用した事例では、炭素繊維ケーブル3本をパッカーで覆っています。トップリング岩盤は、開口亀裂が多いため、グラウト注入したセメントミルクの漏逸を防止するためパッカーを使用しています。炭素繊維ケーブルは非常に軽いため、挿入工事中の写真では、竹竿でも持っているような姿勢です。この現場では、補強材間隔 1.5m で、長さ 20m 程度の長尺補強土を 6 段施工しています。



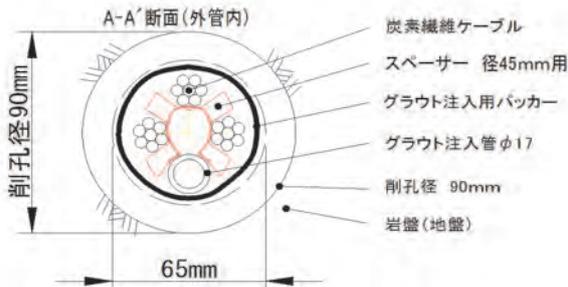
炭素繊維ケーブル挿入工事中



長尺補強土工事中



炭素繊維ケーブル



パッカー
使用状況

Jプレストレスアンカー

特許 1 件 特許審査請求中 1 件

定着部に応力集中が発生しない世界初のアンカー

◆概要

グラウンドアンカー工の耐久性は向上していますが、将来3つの理由で多額の維持管理費や更新費が必要になります。一方、Jプレストレスアンカーでは、数世紀以上に亘って維持管理や更新が不要となります。

現在のアンカー工の耐久性上の欠点

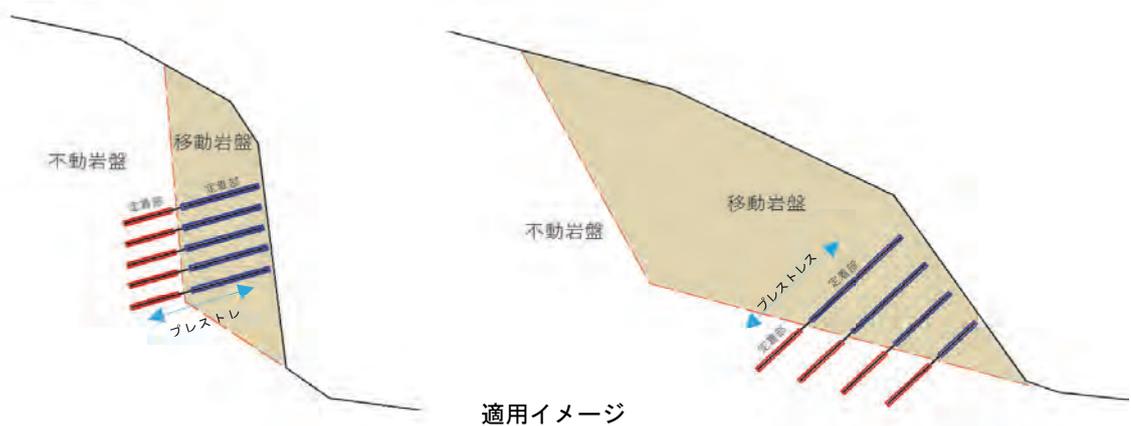
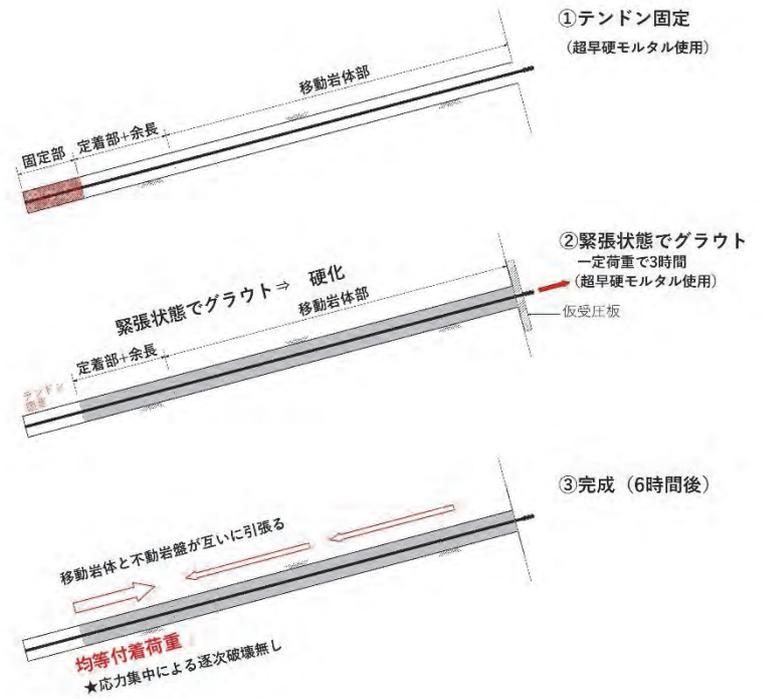
- ・アンカー工頭部が劣化する。 → アンカー頭部構造物を省略できる。
- ・定着部に応力集中が発生し逐次破壊が起きる。 → 定着部でも集中応力は発生しない。
- ・自由長部のリラクゼーションによる緊張力低下が起きる。 → リラクゼーションは起きない。

本工法の対応

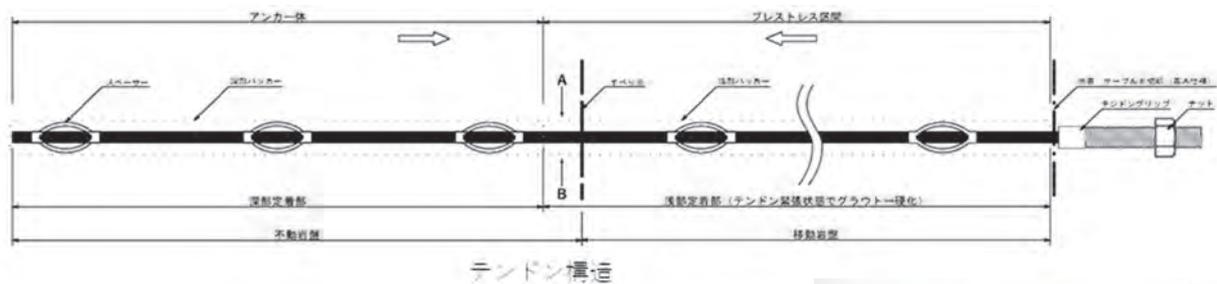
本アンカーでは、これまでのアンカー定着部より深部まで削孔し、 tendon 固定部を設けます。 tendon を先に固定部に定着し、その後 tendon を緊張した状態でグラウトします。その結果、定着部も従来の自由長部も tendon にプレストレスが掛かった状態で地盤と tendon が一付着します。その結果、定着部と移動土塊部分が地中で互いに引

っ張り合う構造になります。特に、これまでのアンカー定着部の課題であった応力集中がこのアンカーでは有りません。したがって、アンカー定着部で逐次破壊が発生せず非常に長期の耐久性があります。このグラウトには、3時間で硬化する「超速硬性高強度無収縮モルタル（商品名フィルコンスーパーS〔製造：住友大阪セメント株式会社〕）」を使用します。練り上がり後3時間で、圧縮強度は24N/mm²の強度があり、28日強度は（45(N/mm²）以上です。本モルタルは、硬化を遅延させることで、グラウト注入作業時間の確保を可能にしています。

最も適用性が高い地質は、適用イメージに示した移動岩盤も十分な付着力が取れるケースです。



アンカーテンドン構造を図示します。テンドングリップとナットは、浅部定着部のテンドンを緊張する際に使用するものです。基本的には、工事後にテンドンを地表で切断しますが、この部分を利用して頭部に表層崩壊防止用の金網や小さな受圧板を固定することも可能です。その場合は、頭部固定金具はステンレス製品を使用します。



アンカー頭部のテンドングリップとナット

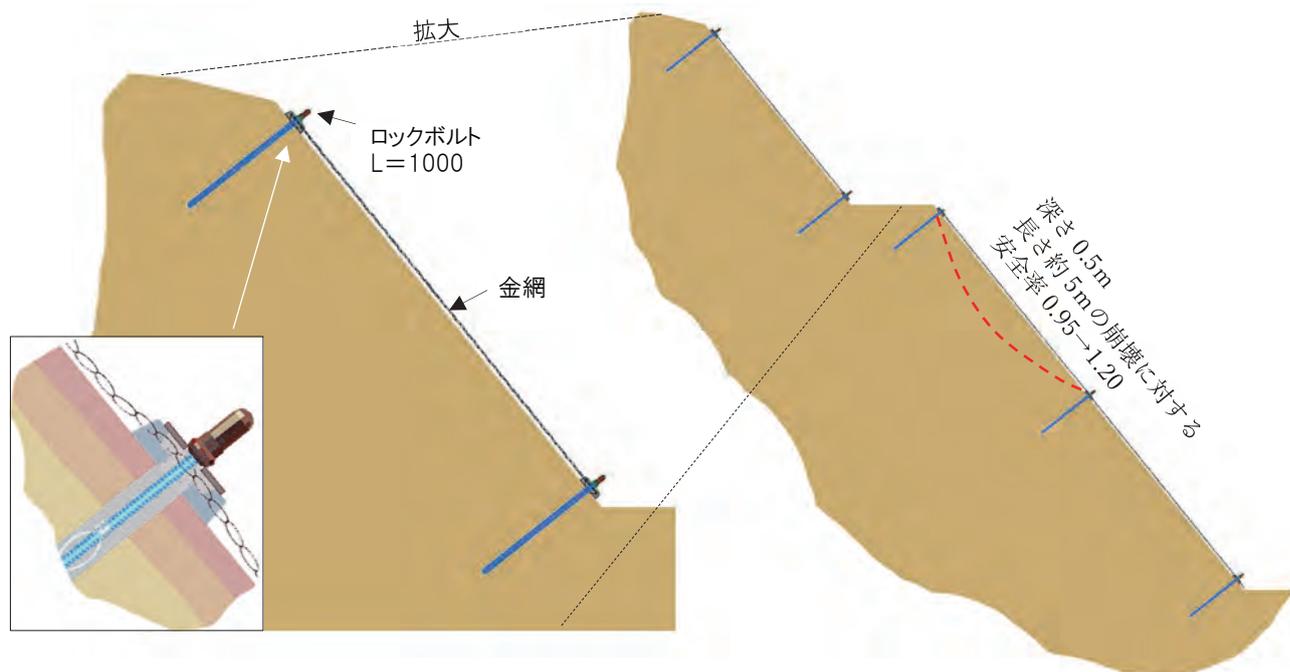
炭素繊維ケーブルを使用した場合は、数世紀以内に劣化する箇所はほとんどありません。非常に耐久性が高い社会インフラとして後世に社会資産を残すことが可能です。建設費を抑えながらJプレストレスアンカーを適用する場合は、内部充填型樹脂被覆PCより線を適用可能です。詳細は、弊社までお問い合わせください。

長命金網防護工

PAT 6291697

◆概要

本工法は、長寿命補強土植生型の資材を利用して、深さ 50cm 程度の表層崩壊を長期間保全することが出来る工法です。高耐久性の金網をロックボルトで固定するので、不安定な落石やモルタルの落下も防げます。ロックボルトの水平ピッチは 1.5m 程度で、縦ピッチは 5.0m 程度が標準です。岩石の付着力が大きければ、0.5~1.0m のロックボルトを採用するので、削孔は人力施工でも可能です。



工法の特徴

本工法は、長期の耐久性（100 年以上）がある工法です。

① 低コスト

法面工が長寿金網（IR 被覆鉄線）なので、法枠などに比較し低コストである。

② 施工性

金網の施工は、準備や養生期間が短いため施工が早い。

③ 適用外

地山が軟質でロックボルトが抵抗できない場合には適用できない（算定結果による）。

適用範囲

崩壊厚さ：0.5m より薄い崩壊や岩石崩壊に対応

斜面勾配：構造計算でロックボルトと金網が崩壊を支えられる範囲

地質：ロックボルトの引抜力に抵抗する十分な付着力を有している地質（ロックボルトの引抜力が不足する場合はロックボルト長を 0.5m 単位で延長する。）

使用部材

植生：長寿命補強土植生型 モルタル：長寿命補強土モルタル吹付型 ハイブリッド：長寿ハイブリッド補強土 金網：長寿金網防護工

補強土	植生	モルタル	ハイブリッド	金網	品名	写真他	塗装種別等	規格・性能評価・他
○	○	○	○	○	長寿補強材		エポキシ樹脂粉体塗装品 D19～D22 (コンクリート内部では圧倒的に高い防食性能を有す)	ネジ節棒鋼 SD345 土木学会のエポキシ樹脂塗装鉄筋の指針 JSCE-E 102-2003 適合品
	○		○	○	長寿プレート		メッキ+PVB 塗装品 (溶融亜鉛メッキ HDZ35 の表面にポリビニルブチラールを塗装)	150mm×150mm×9mm PVB 樹脂は、塗膜耐薬品性試験でエポキシ樹脂塗装鉄筋と同等以上の性能
	○		○	○	長寿キャップ付ナット		メッキ+PVB 塗装品 (ステンレス製ワッシャー付属)	FCD900-8 D19 D22 D25
	○	○	○	○	長寿金網		低密度ポリエチレン被覆鉄線金網 一般環境では、100年以上の耐久性(試験結果は184年)塩害・酸にも極めて防食性能が高い。	芯線径 2.0mm 線径 2.8mm 50×50mmの菱形金網 カゴ工の長寿命化技術「建設技術審査証明 1001号」同等の1R被覆鉄線
	○		○	○	網固定ブロック		ガラス繊維補強コンクリートに長寿金網を固定するブロック(無筋)	200mm×200mm×50mm 穴径 100mm 圧縮強度 45N 曲げ強度 8N
○	○	○	○	○	長寿スペーサー		エポキシ樹脂粉体塗装品	JIS G 4401 削孔径 65mm用
			○		炭素繊維ケーブル		炭素繊維を合成樹脂で棒状に硬化させた棒材	CFCC φ5～7.5mm 保証耐力 φ5mm 28KN 保証耐力 φ7.5mm 57KN
			○		スライドパイプ		ステンレス管 固形潤滑剤表面処理	ステンレス管 SUS304 固形潤滑剤 α-C148W
			○		支圧板		補強材に荷重を架けた場合に沈下する補強材にのみ適用	硬質塩化ビニル再生品 400×400×32
○	○	○	○	○	エポキシ樹脂硬化剤セット		2液混合型のエポキシ樹脂硬化剤の攪拌注入器 ・ダブルカートリッジ ・注入ガン ・注入ノズル	圧縮降伏強さ 700Kgf/cm ² 以上 引張強さ 125Kgf/cm ² 以上
		○			長寿プレート		メッキ+PVB 塗装品 SS400 200×200×12 D19～D25用	200×200×12 メッキ HDZ35+PVB 塗装 PVB：ポリビニルブチラール
○		○			長寿プレートナット		エポキシ樹脂粉体塗装品 D19～D25用	ナットと補強材の隙間には側面の注入孔からエポキシ樹脂硬化剤を注入し固定と防錆を行う。 EP塗装は土木学会基準適用

◆経年劣化しにくい法面工の必要性

吹付けコンクリートの中酸化は、一般のコンクリートよりも非常に速く内部の鉄筋が僅か数年で錆びています。これは、モルタル吹付の際に、透気性が高い層が形成されるためと考えられます。また、薄いラス金網のメッキは、強アルカリ性の吹付モルタルの内部で溶解します。このため、雨水がクラックから浸み込んだ際に、ラス金網は錆びて直ぐに断線します。これが、吹付モルタルのクラック拡大の原因の主因のひとつと考えられます。



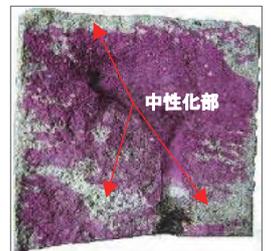
F 200 吹付法枠 4年経過



F 300 吹付法枠 17年経過



吹付モルタル2年経過



モルタル内部の中性化

◆経年劣化しにくい補強材の必要性 (土壌中のメッキの耐用年数は 25 年程度 資料：日本溶融亜鉛鍍金協会)



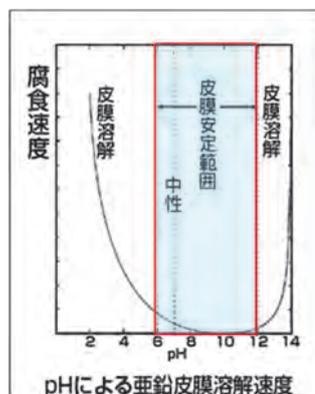
メッキ (HDZ55) 補強材が土と触れメッキが消耗し錆が進行中 (21年経過)



土と接触した補強材 (無防食)

メッキは、土壌中では急速に溶解します。このため、最も厚いメッキ (HDZ55) でも 25 年前後で溶解します。補強材はメッキされていても、曲がった削孔や充填不足 (充填後のグラウト漏逸も含む) のため、メッキが土壌と触れると 25 年程度でメッキは消失します (日本溶融亜鉛鍍金協会資料)。

また、森林土壌の 8 割以上は PH 3~6 のメッキ皮膜溶解領域に該当します。このため、森林土壌と接触したメッキは溶解します。



●土壌中のメッキの消耗量

土性の区分	腐食速度(g/m ² /年)		
	水平埋設	垂直埋設	平均
HC(重塩土)	28	25.4	27
LiC(軽塩土)	16.1	16.5	16
SCL(砂質礫塩土)	28.9	37	33
CL(礫塩土)	17.3	16.1	17
SiCL(シルト質礫塩土)	21.7	22.2	22
LS(塩質砂土)	24.5	25.3	25
L(塩土)	17.7	26.6	22
SL(砂塩土)	24.4	25	25

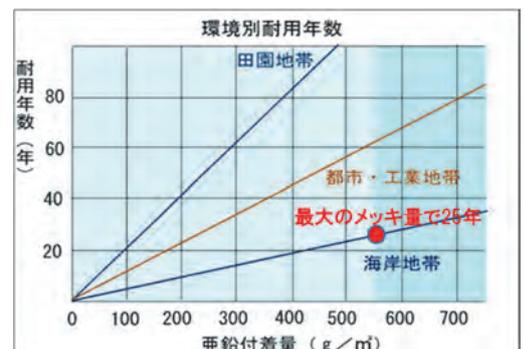
日本溶融亜鉛鍍金協会資料

◆限度があるメッキの耐用年数 (メッキ製品の耐久性は海岸部では 25 年程度 資料：日本溶融亜鉛鍍金協会)

JIS 規格で最も厚いメッキ (HDZ55) は、田園地帯では 100 年以上の耐久性がありますが、都市工業地帯では 60 年程度、海岸部では 25 年程度の耐久性しか有りません。補強土工の初期に建設された海岸地域のメッキ品には、20 年経過時点で錆が出始めています。



20年経過した海岸部のメッキ



日本溶融亜鉛鍍金協会資料

LCC 算定に利用可能な資料

LCC 算定の参考資料を掲載する。

◆LCC 全体 地盤工学会論文

補強土工の部品の耐用年数という限られた検討事項でも、置かれている環境（空气中・土中・塩害地域・気温・湿度・紫外線）など多くの要素で耐用年数は異なる。防食処理についても、例えばステンレス鋼のプレートや補強材を検討した場合、JIS 規格に 60 種類が登録され価格も変動する。他にも、コンクリートの素材、塗料、合成樹脂など様々な素材や仕様のもがあり、それらの耐用年数を各使用環境別に正確に予測することは困難である。基準化する場合も大変な困難が伴う。

したがって、補強土工を適用する個別の現場で、コンサルタントの設計技術者と発注者が LCC について評価した結果は、尊重されなければ、LCC 評価は進まない。

(三田 2014 地盤工学会 斜面・法面の劣化モデルと LCC 評価による斜面防災対策に関するシンポジウム)

◆構造的特徴

補強土工やアンカー工は、地中の他に空气中で風雨や潮風に曝されても老朽化する。下記①～④の工法は、風雨に曝されないように構造体をすべてコンクリートの内部に格納し、かつエポキシ樹脂塗料鉄筋・炭素繊維ケーブル・樹脂充填被覆ストランドなどの錆びない部材を使用するため、100～200 年程度では、劣化はほとんど無いと考えられる。

劣化しにくい構造の工法（高耐久性素材がすべてコンクリートに包含される）

①LL 補強土 ②長寿命補強土モルタル吹付型 ③長寿トップリング補強土 ④J プレストレスアンカー

上記のうち、①②③④の工法は、数世紀以上の斜面安定が必要な箇所で、特に性能を維持すると考えられる。③④の工法は、構造体が地中のコンクリート内部にあり、温度変化・紫外線・塩害の影響を受けないため、コンクリートが中性化し、その後酸性化するまで、何世紀にも亘って安全であると考えられる。①と②の工法も、長期の耐久性があるので、①が 200 年以上、②では 100 年以上の耐久性があるとした。

◆メッキ補強材の耐用年数

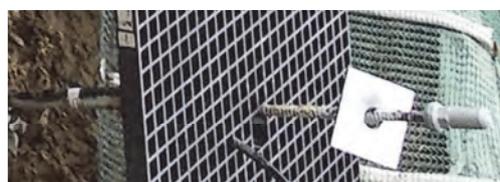
施工現場では、補強材が地盤に接触するケースが多く、いずれの場合も、施工後の修正は難しい。



穴曲がりて補強材が孔壁と密着し錆びる



補強材挿入後の孔壁崩壊による錆びと断面欠損



注入したセメントミルクの漏逸により補強材の周りのコンクリート無し

旧型アンカーの調査結果を参考に、メッキ補強材の耐用年数を 55 年とする。メッキ補強材は土壌と接触し 25 年^{※1}前後でメッキの効果は消失するため、25 年経過後は、p 18 の図-5 の供用年数 0 年からスタートする曲線と同じ劣化が進行する。図-5 では、30 年経過後は、鋼材の断面欠損比が 10%を超える。この 10%は、腐食しるの面積と概ね同等である。このため、メッキ補強材の耐用年数を 25 年+30 年=55 年として LCC を算定することも可能と考えられる。メッキの消耗年数にバラツキがあるため、50～70 年の範囲で設定も可能である。

(※1：15～30 年 HDZ55 の場合 日本溶融亜鉛鍍金協会資料)

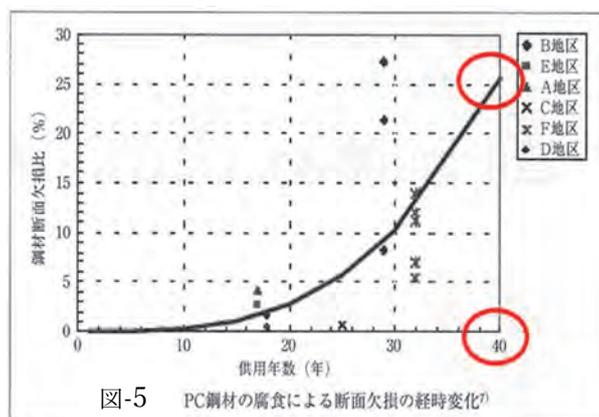


図-5 PC鋼材の腐食による断面欠損の経時変化⁷⁾

出典：佐藤亜樹男ほか、グラウンドアンカーの腐食による機能低下の実態 第25回日本道路会議 2003

◆エポキシ樹脂塗料鉄筋の耐用年数

エポキシ樹脂塗装鉄筋を使用した第二名神高速道路の栗東橋の下部工事では、300～500年の供用が可能としている日経コンストラクション 2001年10月26日)。鹿児島大学の海洋土木工学科では100年間に相当する劣化促進実験を行い、エポキシ樹脂塗装鉄筋の高い耐久性を確認した（吉田他3名 2008 エポキシ樹脂塗装鉄筋と含浸材を併用した吹付けコンクリート部材 コンクリート工学会年次論文集 Vol.30）。コンクリートが中性化しても、コンクリートの一軸圧縮強度が若干上昇するのみで、エポキシ樹脂塗料鉄筋に錆は発生しないので鉄筋コンクリート構造物として機能は低下しない。

◆長寿金網（IR被覆鉄線金網）の耐用年数

下記の理由で、一般環境では100年以上の耐久性があると考えられる。

IR被覆鉄線の耐候性を試験したSUV625時間のカルボニル基面積比の最低値の比較では、65 μ mまで劣化しており、SUV試験625時間が現地の30年以上の耐用年数に相当するとされている。このことから、長寿金網の平均的な膜厚400 μ m（鉄線径2.0mm 樹脂を含めた線径2.8mm）で算定すると下記のように184年となる。低減しても100年以上の耐久性がある。

$$\text{最小値比較 } 400 (\mu\text{m}) \div 65 (\mu\text{m}) \times 30 (\text{年以上}) = 184 \text{ 年以上}$$

SUV625時間試験と野外現地サンプルの比較表

		現地サンプル	SUV625時間後
初期値*1)	劣化深度	4 μ m	30 μ m (7.5倍の劣化)
	劣化年数	6.8年	51年*3)
最小値*2)	劣化深度	約15 μ m	約65 μ m (4.3倍程度の劣化)
	劣化年数	6.8年	約30年*4)

*1) 表II-13の試験結果より、初期値(0.4)を基準とした

*2) 表II-13の試験結果より、深度100 μ m以内の最小値を基準とした

*3) 30 μ m (SUV625時間の劣化) \div 4 μ m (現地サンプルの劣化) \times 6.8年 (現地サンプルの供用年数)

*4) 65 μ m (SUV625時間の劣化) \div 15 μ m (現地サンプルの劣化) \times 6.8年 (現地サンプルの供用年数)

その他の耐久性調査試験結果

耐衝撃性・隊摩耗性・弾力性・低温にも強く非常に耐久性が高い。

◆メッキ+PVB 樹脂塗装の耐用年数

頭部固定金具に使用する金属製品をメッキし、さらに PVB 樹脂を焼き付けている。PVB 樹脂は、紫外線に対する抵抗性が高いため、車のフロントガラスに使用されている。メッキと PVB 樹脂の二重防食で、メッキが消耗するのは、PVB 樹脂の劣化後であるが、長期間使用しているフロントガラスの PVB 樹脂に目立った劣化は見られない。酸やアルカリに対しても、優れた抵抗性がある。野外での耐久性は、メッキの耐用年数+PVB 樹脂の耐用年数となり、一般環境では、100 年以上の耐久性があると考えられる。(海岸地域では、100 年以内に、頭部固定金具を交換する場合も考えられるが、交換部品は頭部固定金具に限定される。)

◆網固定ブロックの耐用年数

網固定ブロックは、網の固定部に引っ張り力が掛かっても、金網の樹脂を損傷させないため網の線材を、突起の上に充填したコンクリートで包み込んで保持する。網固定ブロックそのものは、ガラス繊維を混入したコンクリート製で、曲げ強度の設計値 $\sigma_b=8(N/mm^2)$ の高強度の製品である。内部に鉄筋を使用していないので、コンクリートが中性化しても網固定ブロックの性能に影響は無い。

◆支圧板（長寿ハイブリッド補強土用）の耐用年数

支圧板は VP 管と同じ硬質塩化ビニル製である。厚さが 32 mm あるので、表層の 1~2 mm が劣化した場合でも、全体的な性能に影響は無い。100 年以上の耐久性があると考えられる。

◆炭素繊維ケーブル

地中に使用した場合、温度変化・紫外線の影響などが少ないので、半永久的な耐久性がある。最も早く劣化するのは、注入材したセメントミルクが硬化したコンクリートである。炭素繊維ケーブルは錆びないため、コンクリートが中性化しても安全である。コンクリートが溶解するか酸性化するまでは、安全で、数世紀以上の耐久性があると考えられる。

◆長寿ストランド

地中に使用した場合、温度変化・紫外線の影響などが少ないので、数世紀以上の耐久性があると考えられる。素材は、鋼線 1 本ずつが被覆され、ピンホールが無い高耐久性のストランドである。

●LCC比較の提案年数

各工法を LCC（ライフサイクルコスト）で比較する場合は、下表を参考に出来る（一般環境の場合）。

工 法 名	LCC 比較のための耐用年数（一般環境）		
	数 10 年	100 年	200 年
長寿モルタル補修工	○		
長寿金網防護工		○	
長寿命補強土 モルタル吹付型		○	
長寿命補強土 植生型		○	
LL 補強土			○
長寿ハイブリッド補強土		○	
長寿トップリング補強土			○
J プレストレスアンカー			(数世紀)

●設計ソフトの案内

弊社工法は、対策工設計ソフト（五大開発（株））でも算定できます。

工法名	ソフト「補強土」	ソフト ANCHOR
LL 補強土	○メイン画面で本工法を選択	
長寿命補強土 植生工	○NEXCO 要領の適用工法の中から本工法を選択	
長寿命補強土 モルタル吹付型	○NEXCO 要領の適用工法の中から本工法を選択	
長寿ハイブリッド補強土	○NEXCO 要領を適用し、 $\mu = 1.0$ で算定	
長寿金網防護工	○NEXCO 要領の計算法を適用	
長寿トップリング補強土	○NEXCO 要領を適用（お問い合わせください。）	
Jプレストレスアンカー	（お問い合わせください。）	（お問い合わせください。）

※1 追加ファイルは、弊社にお問い合わせください。他の工法と同様に算定できます。

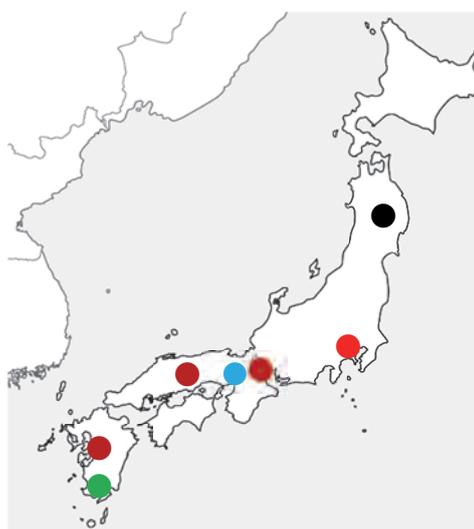
●ホームページの利用案内

弊社ホームページでは、設計に役立つ下記の資料を掲載しています。「長寿命補強土」や弊社名で検索してご利用ください。必要な情報は、メールや電話でお気軽にお問い合わせ下さい。

工法名	設計資料	標準積算資料	価格表	積算プログラム	CAD 図面
LL 補強土	○	○	○	○	○
長寿命補強土 植生工	○	○	○	○	○
長寿命補強土 モルタル吹付型	○	○	○	○	○
長寿ハイブリッド補強土	○	○	○	○	○
長寿金網防護工	○	○	○	○	○
長寿トップリング補強土	（お問い合わせください。）				
Jプレストレスアンカー	（お問い合わせください。）				

●製造場所（主要部材の製造地点）

国内の製造実績トップクラスの工場で作成し、現場に直送します。



- エポキシ樹脂塗装
大阪
- 長寿金網
大阪 熊本 岡山 岩手 愛知 広島
- 網固定ブロック（GRC コンクリート）
鹿児島
- 炭素繊維ケーブル
岩手
- PVB 樹脂塗装
神奈川



長寿補強土(株)

〒891-0103 鹿児島市皇徳寺台 4-51-7
TEL:099-275-9234 FAX:099-275-9235
HP: <http://www2.synapse.ne.jp/~llh/>

本パンフレットの内容は、改良のために予告なく変更することがあります。最新情報は、HPなどでご確認出来ます。