

ライフサイクルコストに非常に優れたのり面・地山補強土工

(株)日本地下技術 三田和朗

1 はじめに

斜面の崩壊周期は、最も周期が短いシラスで 100 年前後、マサで 200～250 年以上、一般的には、崩壊斜面が崩壊の免疫期間を過ぎて再崩壊するまでは数世紀を要する。この非常に長い崩壊周期に対して、メッキした鋼材を使用する斜面对策工は、十分な耐用年数を有してはいない。特に、切土補強土工（地山補強土工とも呼ばれ、本文のタイトルでは「のり面・地山補強土工」と記載した）分野では、耐用年数の長期化が必要である。

全国の急傾斜事業の整備進捗率は概ね 1%程度なので、100 年未満の耐久性しかない対策工では、急傾斜事業を行なっても、老朽化と整備がいたちごっこになり、決して完成に近づくことは無い。数十年を経過すると老朽化により、過去に向上した整備率も老朽化のために低下する事さえ懸念される。したがって、耐久性を向上させる目的で、「LL 補強土工法」を開発したが、その耐久性と、効果が認められ、2010 年 9 月に（財）土木研究センターから建設技術審査証明を与えられた。この工法について紹介する。

2 耐久性上の課題

2.1 メッキ製品の耐久性

（社）日本溶融亜鉛鍍金協会は、図-1 に示したように、JIS 規格で最もメッキ量が多い 550g/m²の場合でも、海岸地域で 25 年程度、都市・工業地帯で 60 年程度としている。この他、土壌中のメッキの耐用年数も 25 年程度としている。後者は、補強土工の孔口付近のグラウトの不充填などが原因で土壌とメッキが接触した場合に発生すると考えられる現象であるが、土壌中では無くとも、メッキ製品が土壌と触れると、耐久性の低下が懸念される。

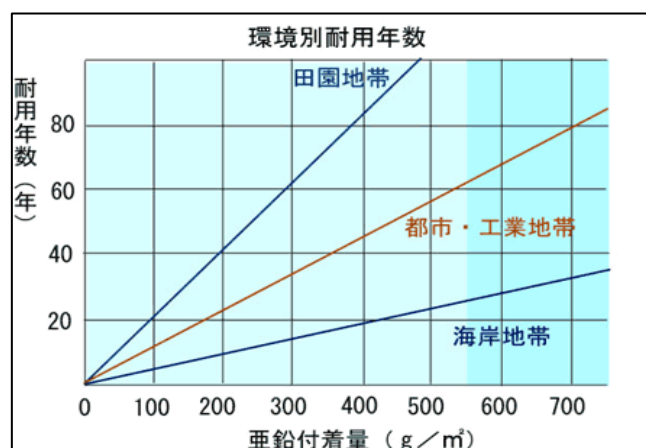


図-1 溶融亜鉛メッキの環境別耐用年数

〔出典：（社）日本溶融亜鉛鍍金協会ホームページ 2009 年〕

2.2 モルタルの中性化

切土補強土工は、モルタルのり砕工と組み合わせて、使用されるケースが多い。吹付けモルタルには、数年で中性化がのり砕内部まで進行している事例も認められる。図-2 は、酸性雨環境下で吹付けモルタルの中性化を促進させた実験結果¹⁾である。破線で示した様に、モルタルの表面に塗布した改質材（ケイ酸ナトリウム系の含浸材 A と B およびシラン系の撥水材）の種類と材質に関わらず、50 年の期間に相当する 50 サイクル目以後は、モルタルの内部に縞状に中性化した部分が認められる。このような中性化が発生する原因は、図-3 に示したように、モルタルを吹き

付ける過程で、不均一な層が形成され、この不均一層に沿って、中性化が進行するものと考えられる。実際に施工されたのり枠工では、僅か6年で中心部まで中性化したものも確認される。中性化現象だけでは、コンクリート強度が若干向上するが、無塗装鉄筋鉄の場合は、鉄筋の腐食が進行し膨張することにより、やがてのり枠の破壊が起きることになる。

3 エポキシ樹脂塗装鉄筋の耐久性

LL補強土工法では、すべての鋼材にエポキシ樹脂粉体を融着し、頭部処理に必要なメッキ製品を使用しなくても良い構造とすることで、耐久性の向上を図った。このため、図-4に示したように、海岸から0.1kmの塩害地帯では無塗装鉄筋の場合、水セメント比55%の吹付けモルタルでは、必要なかぶりが厚くなりすぎ、耐久性を期待できない。一方、エポキシ樹脂塗装鉄筋を使用した場合は、

100年程度以上の耐久性を期待できると考えられる。土木学会の指針「エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針[改訂版] 2003」では、図-4の他に、図-5に示した拡散係数 $1.5 \times 10^{-6} (\text{cm}^2/\text{年})$ を使用したケースも記載している。このケースでは、海岸から0.1km

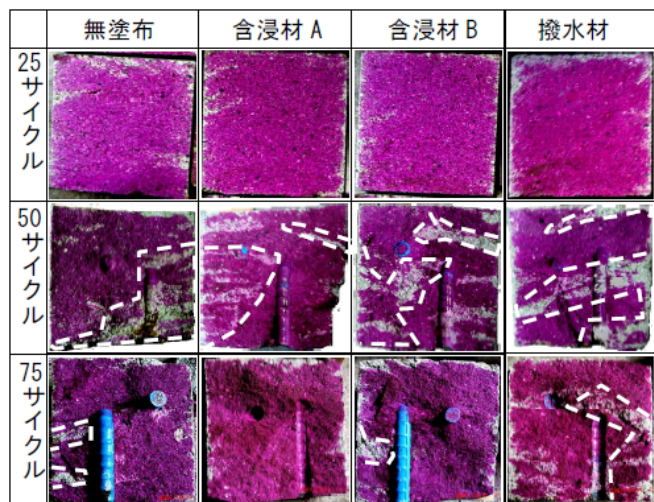


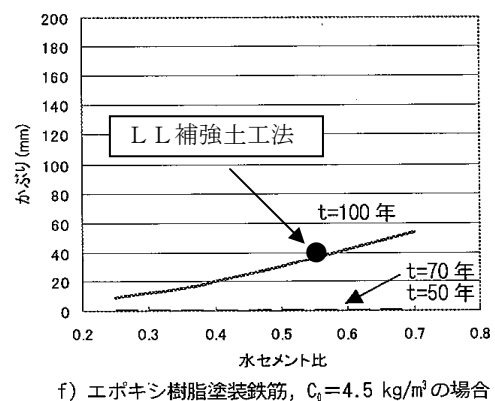
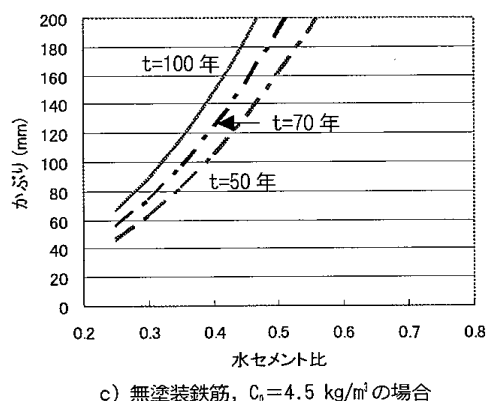
図-2 吹付モルタルの中性化促進結果

色が薄くなった部分が中性化した部分である。



図-3 吹付モルタルの粒子構造

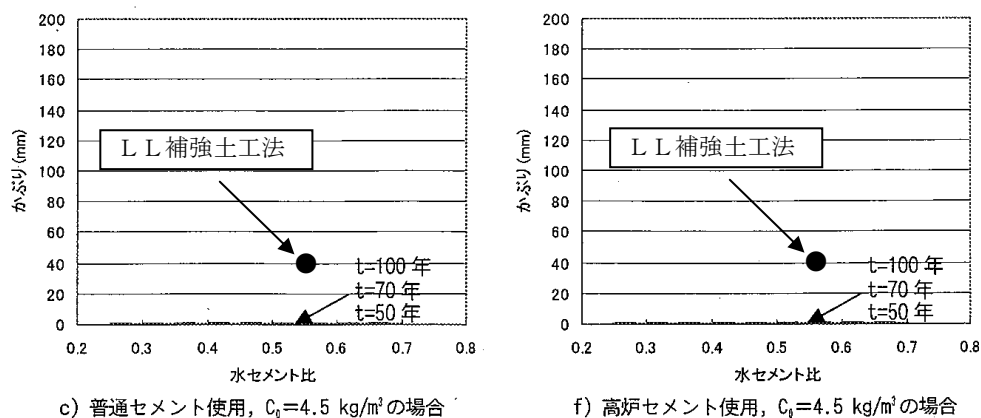
縞状に残る表面浸食跡



(必要算定かぶりの関係は(エポキシ樹脂塗装鉄筋では、拡散係数設計用値 $2.0 \times 10^{-6} (\text{cm}^2/\text{年})$ [数設計用値]を使用した場合の図である。)

図-4 普通ポルトランドセメントを使用する場合の各耐用年数における水セメント比

の塩害地帯でも、非常に長期間の耐久性が期待できることになる。

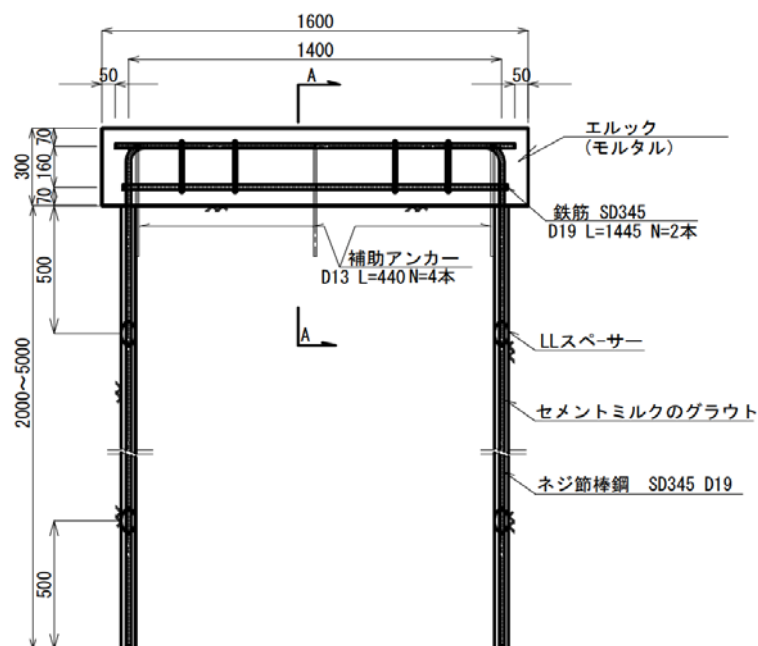


エポキシ樹脂塗装鉄筋を使用して塗膜内の拡散係数を $D_{ep}=1.5 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{年}$ とした場合の
各耐用年数における水セメント比と必要算定かぶりの関係

図-5 普通セメントと高炉セメントを使用する場合の各耐用年数における水セメント比

4 LL補強土工法の構造

LL補強土工法の構造的な特徴は、図-6に示すように、補強材が直角に曲がって、主筋と一体となった構造である点にある。補強材と主筋には、JIS G 3112 に適合したネジ節棒鋼 (SD345) を使用し、土木学会の指針「エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針[改訂版] 土木学会 2003」に従って 200°C 程度に加熱した鉄筋に、粉体エポキシ樹脂塗料を熱融着した製品を使用する。この塗装の厚は、土木学会基準 (JSCE-E 102-2003) に従った $220 \pm 40 \mu\text{m}$ の塗膜厚である。



5 構造強度

LL補強土工法の補強材の引抜き強度を確認するため、実物の載荷試験を実施した。そのうち、補強材が D19 [設計荷重 40.1 (kN)] で間隔が 1.5m の L15C 型と、補強材が D22 で間隔が 1.2m の L12D 型の試験結果を図-7 に示す。両試験結果とも、設計荷重を超えてもすべり量は 0.01mm 以下であり、引抜き荷重に対し十分安全である。

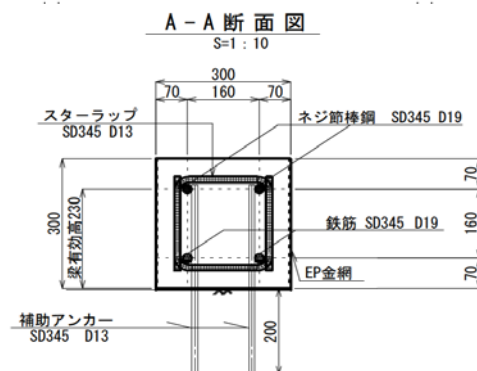


図-6 LL補強土工法の構造図

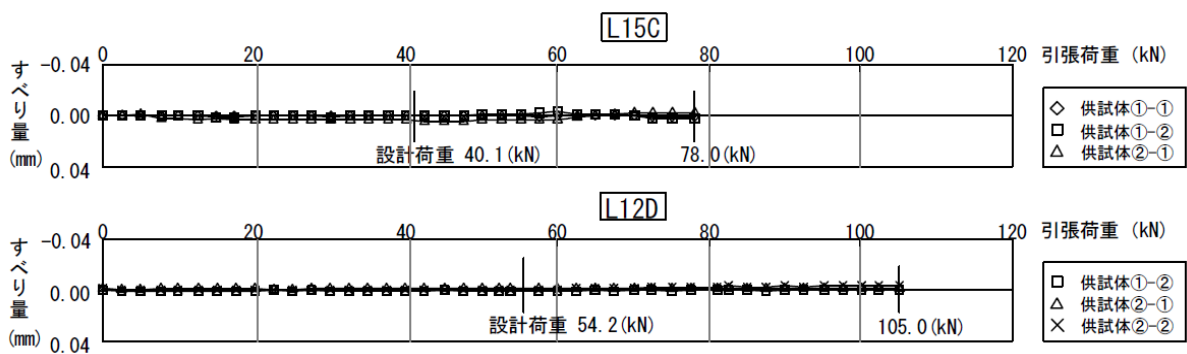
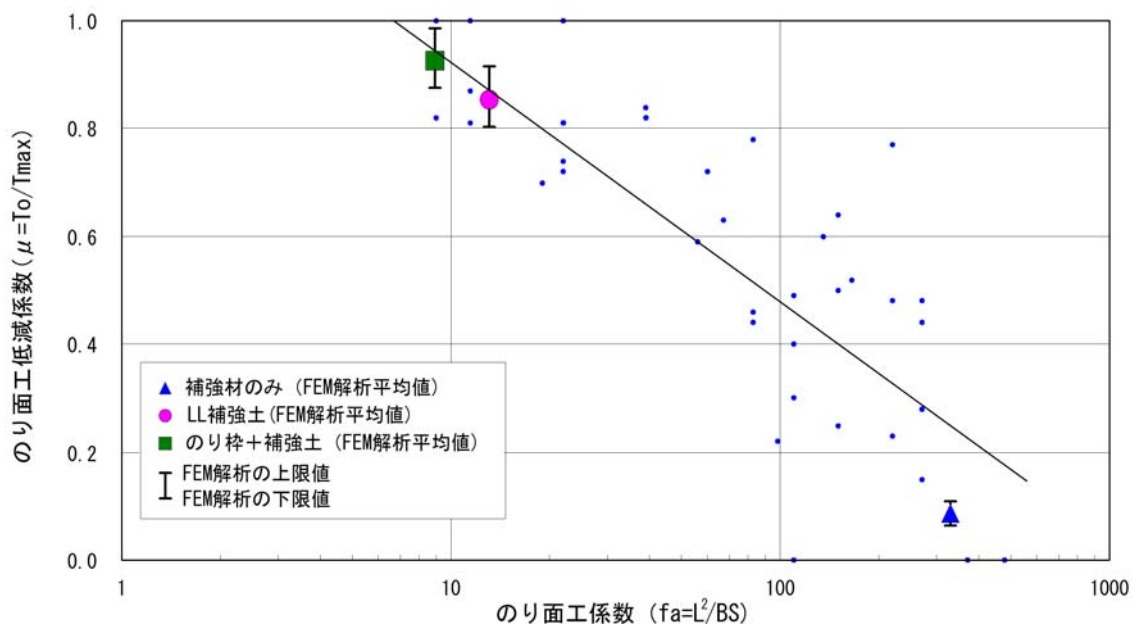


図-7 引張荷重—すべり量グラフ

図-8 は、L L 補強土工法ののり面工低減係数について、3 次元 FEM 解析を実施した結果を示したものである。NEXCO 指針では、補強材の長さ L 、補強材の間隔 S 、補強材 1 本当たりの受圧面積で決まる有効幅 B が決まれば、図-8 の直線状で示されたのり面工低減係数 (μ) を、設計抑止力が高い場合や、重要度が高い場合などに使用することになっている。FEM 解析結果では、「格子状ののり枠+補強土」と「L L 補強土工法」は、ともに NEXCO 指針で規定した範囲に位置するので、NEXCO の指針を「L L 補強土工法」にも適用することとした。



FEM 解析値をプロットした原図の出典は、「切土補強土工法設計・施工要領 NEXCO 2007」

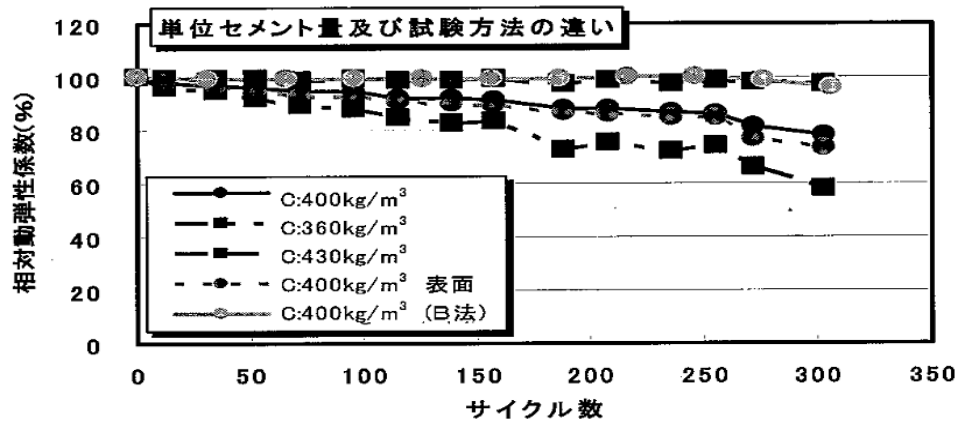
図-8 解析結果の $fa-\mu$ 図

6 耐久性

耐久性を確認するために、①エルック部分について、酸性雨による劣化促進試験 9600 時間(100 年相当) ②エポキシ樹脂塗装鉄筋の塩水噴霧試験 (1000 時間)、③エポキシ樹脂塗装鉄筋の耐薬品性試験 (1000 時間)、を実施した結果、長期の耐久性が確認されている。

凍結融解については、300 サイクル時点で、相対同弾性係数が 60%以上で、凍結融解に対して抵抗性があるとされている。本工法の標準的なセメント使用量が $420 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ であるため、図-9

に示したように 300 サイクル時点でも相対動弾性係数の低下はほとんどない。また、吹付けモルタルの場合は、凍害抵抗性に対して適度な空気量〔3.4～6.8%（8割の試料は 4.0～5.0%の範囲）〕を含んでいるので、凍害に対する抵抗性は高い。



（出典：吹付けコンクリート指針（案）法面編 土木学会 2007 P147）

図-9 凍結融解サイクル数と相対動弾性係数の関係

7 施工事例

軟質地山，老朽化したモルタル斜面，変状が発生した斜面での施工事例について紹介する。

①軟質地山の急勾配化

図-10 は，工事前の1ヶ月間に3回も円弧型崩壊が発生させた斜面への適用事例である。通常シラス斜面は，垂直に近い勾配でも崩壊しないことが一般的であるが，本現場のシラスは極度に風化しており，表層5m程度は，ほとんどN値=1～3である。斜面には，10 オングストロームハロイサイトが濃集したと考えられる横縞の構造も認められ，シラスの標準勾配を適用することは不適当な現場である。シラス斜面では，通常シラスを掘り込んでのり枠を施工するので，本現場でも，15cmの深さまでシラスののり面を掘り込んで，LL補強土工法ののり面工を施工している。豪雨が多い鹿児島県での事例であるが，施工後も安定した状態である。一般的に考えられるシラス斜面の次の崩壊周期（100年前後）を経ても，本斜面は安定であると考えられる。

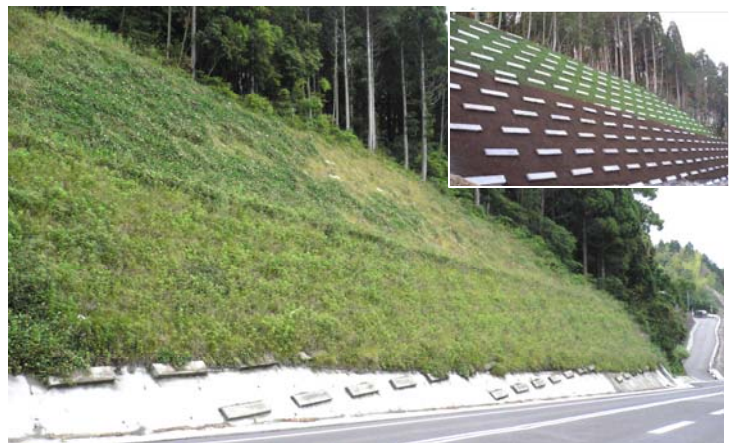


図-10 軟質地山の急勾配化事例

②老朽化モルタルの補修

図-11 は，吹付けモルタルのり面が老朽化し，多くのクラックが入った現場にLL補強土工法を適用した事例である。老朽化したモルタルを剥ぎ取るよりも，LL補強土工法で，吹付けモルタルを固定したほうが，経済性とライフサイクルコスト，工事中的交通遮断を短くできる点で，優れていたものである。

老朽化した吹付けモルタルの背後には、地山との間に隙間が出来ていた箇所が面積で3割程度認められた。そのため、LL補強土工で吹付けモルタルを固定した後、背後にセメントミルクを注入し、地山から浮いた吹付けモルタルを地山と一体化させたものである。通常吹付けモルタルの耐久性は、数10年であるが、LL補強土工法を適用した斜面では、非常に長期間の耐久性が期待できると考えられる。

③変状が発生した法枠の補修

図-12は、のり枠工にクラックが入り、斜面の安定が懸念された現場にLL補強土工法を適用した事例である。LL補強土工は、梁状ののり面と2本の補強材の組み合わせであるため、配置を自由に設定できる特徴がある。本事例では、簡易のり枠の縦梁の上に、LL補強土工を適用している。のり枠の形状によっては、格子状ののり枠の内部に斜めに施工した事例もある。樹木が生えた斜面などでも、コの字型の構造物なので、樹木を避けて施工することが可能である。

8 おわりに

本工法は、のり面・地山補強土工分野で始めて実用化された超耐久性工法である。建設時点のコストでも、従来工法と比較し低コストであることが多く、ライフサイクルコストでは、非常に低コストとなる。しかし、今後、さらなる施工性の向上と、資材製造期間の短縮、などの課題がある。また、従来の概念を超えた新工法が普及するためには、本工法への理解と周知を進める必要がある。この点からも、本発表の機会を与えて下さった方々のご尽力に感謝を申し上げます。

1): 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の長期耐久性に関する研究

吉田 誠*1・武若 耕司*2・山口 明伸*3・三田 和朗*4 コンクリート工学年次論文集, Vol. 30, No. 1, 2008



図-11 老朽化モルタルの補修事例



図-12 変状が発生したのり枠の補修事例