

# 補強土工の長寿命化が必要な理由 詳細版

## 1. 補強材

補強土工の施工現場では、削孔した穴に補強材がスムーズに入らず、力を入れて補強材を押し込むケースがあります。特に硬軟の地層や転石が混在する地層ではこのような事態が多発しています。

設計図では、削孔した穴の中央に補強材を描きますが実際はどうでしょう。図-1 は、削孔径 65 mm で長さ 3m の穴の削孔角度が途中で 1 度ずれた場合をスケールを縮小して描いたものです。僅か 1 度ずれただけで補強材が孔壁に密着します。その結果、図-2 に示したように補強材の側面が帯状に錆びることになります。この錆びた区間は、補強材と孔壁が密着していた区間と考えられます。

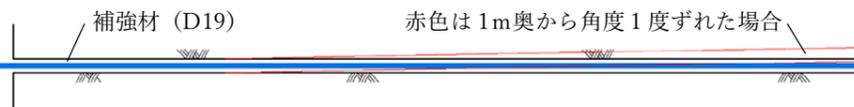


図-1 穴曲がりて孔壁に接触する補強材

この他に、補強材挿入前後の孔壁崩壊なども発生します。補強材を挿入しグラウト注入するまでの間に孔壁が崩壊したり、グラウト注入時の水の影響で崩壊していると考えられます。図-4 と図-6 に示した事例は、崩壊したために崩壊箇所で補強材の断面欠損が僅か 17 年で発生していると考えられます。



図-2 建設後 17 年で腐食した補強材（無メッキ）



図-4 建設後 17 年で発生していた断面欠損



図-5 補強材のメッキ溶解 20 年経過後



図-6 孔壁崩壊が起きたと考えられる箇所

現場観察では、建設後 17 年経過した 6 本の補強材合計 653 cm のうち、4 割の区間で著しい腐食が認められています（写真情報などが必要な方は、長寿補強土（株）までご要請下さい）。

現在の補強材は、メッキ品を使用することになっていますが、メッキ品の土壌中での耐久性は図-3 に示したように約 25 年とされています。したがって、穴曲がりや孔壁崩壊で補強材と地盤が接した箇所では、25 年経過後は急速に補強材の腐食が進行することになります。

## 2. メッキ品の耐久性

### ・海岸地域での耐久性

補強土工の防食手法として広く用いられている亜鉛メッキは、田園地帯では耐久性を期待できますが、海岸地域では JIS 規格で最も厚いメッキ量 550 (g/m<sup>2</sup>) でも 25 年程度しか有りません。そのため、僅か 25 年程度で

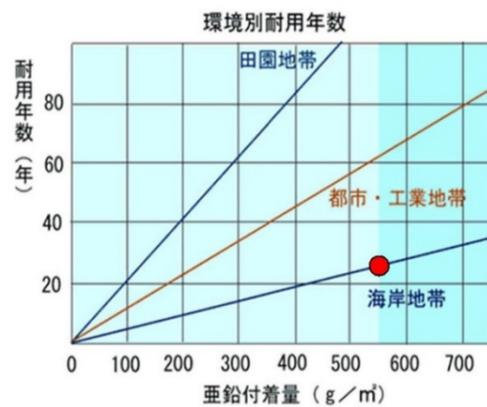


図-7 環境別のメッキの耐用年



図-8 約 25 年経過したメッキ材 海岸から 50m 地点

補強土工の頭部金具には既に錆びています（図-8）。今後、年月が進むにつれて、錆の進行は各現場で進むでしょう。

図-9 は、海岸地帯で使用されたメッキ品の新工法の事例です。新工法ですので建設後それ程長い時間が経過している訳では有りません。海岸地域でのメッキの耐久性は、強風時になどに波頭から吹き飛ばされた塩水飛沫も飛んでくるので 25 年よりもっと短いと推定されます。



図-9 海岸近くの落石防護工は直ぐに

### ・酸と高アルカリに溶解するメッキ

さらに、亜鉛鍍金にはもう一つの重大な欠点があります。それは、酸性環境と高アルカリ性環境ではメッキが溶解する点です。右図に示したように、酸性環境では pH6 以下の酸性側ではメッキは溶解します。アルカリ性側の pH12 以上の環境は、コンクリート内部の環境です。コンクリート内部でもメッキは溶けるので普通使用しません。ところが、補強土工ではメッキを使用する規格です。

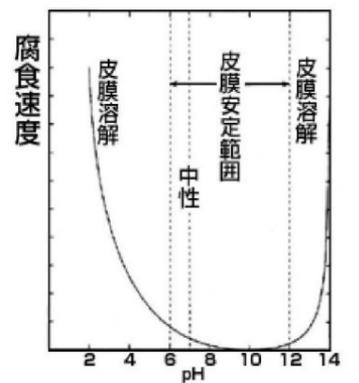


図-9 亜鉛鍍金と pH  
出典 日本溶融亜鉛メッキ協会

メッキはコンクリート中では溶解するためなのか、補強土工の設計要領では腐食しろを半径で 0.5 mm 取ると規定されています。しかし、図-4 と図-6 に示した断面欠損は、17 年間で既に 0.5 mm を超えているように見えます。

コンクリート中のメッキの効果を実験した図-10 では、亜鉛メッキした鉄筋の断面はコンクリートが割れており、無処理鉄筋の実験結果と大差ありません。一方、エポキシ樹脂塗装鉄筋の場合は、同じ環境でも健全です。エポキシ樹脂塗装鉄筋と亜鉛メッキ鉄筋の差は顕著です。



図-10 海水飛沫帯での 15 年間暴露試験  
出所 東京大学生産技術研究所魚本研究室

表13. 日本における土壌中の腐食速度

土地の区分	腐食速度 (g/m <sup>2</sup> /年)		
	水平埋設	垂直埋設	平均
HC	28.0	25.4	26.7
LiC	16.1	16.5	16.3
SCL	28.9	37.0	33.0
CL	17.3	16.1	16.7
SiCL	21.7	22.2	22.0
LS	24.5	25.8	24.9
L	17.7	26.6	22.2
SL	24.4	25.0	24.7

5年間の調査結果より、今後も等速で腐食していくとし、亜鉛付着量600g/m<sup>2</sup>でその90%が消耗するまでの期間をめっき皮膜の寿命として耐用年数を計算すれば、最も短い場合で16.4年、長い場合で33年となり、通常24~25年耐用が期待できます。また外国の例として、米国における土質による高純度亜鉛の腐食量を表14に、また土壌の電気抵抗と腐食の関係を表15に示します。

図-3 土壌中の耐用年数は 25 年前後  
出所：日本溶融亜鉛鍍金協会

### 3. のり面工の老朽化課題

#### ・モルタル吹付法枠

切土補強土工で最も使用頻度が高い法枠工の老朽化を見てみましょう。



図-11 建設後4年で鉄筋が錆びていた吹付法枠



図-12 建設後6年で鉄筋が錆びていた吹付法枠  
(ピンク色部分のみがアルカリ性を維持)

図-11は、建設後僅か4年で200×200断面の現場打吹付法枠が破壊された事例です。破壊直後に撮影しています。注目点は、鉄筋に褐色に錆びた箇所が多い点です。写っている7本の鉄筋すべてに錆びた箇所が認められます。特に主筋の3本は錆びた区間が多く見られます。この法枠の設計では、中性化を考慮した30mm以上のモルタルの被りが考慮されていますが、被りは役に立っていません。

図-12は、建設後6年経過した現場打吹付法枠の断面に、コンクリートの中性化を検査するために使用されるフェノールフタレイン溶液を梁断面に噴霧したものです。健全であれば、赤色に染まり、中性化していれば灰色になります。建設後僅か6年しか経過していませんので、中性化していないはずでしたが、実際は梁の中心まで中性化していました。もちろん中性化すると鉄筋は錆びるので、既に褐色の錆が鉄筋を覆っています。

もっと期間が長くなると法枠内部の鉄筋はどうなるのでしょうか？図-13は、海岸から800m離れた地点で法枠が破壊された現場の写真です。建設後僅か17年しか経過していないのに大きな力が加わった箇所の鉄筋は完全に錆びており法枠は折れていました。これほどまで錆びてしまうと、鉄筋とコンクリートの付着力が大幅に低下するでしょう。

それでは、図-11～13の現場が特別な現場だったのでしょうか？いいえ、そんなことはありません。

図-14は、鹿児島大学で研究された際の吹付モルタルで作成した供試体の内部の様子です。入念に作成されたものですが、それでも灰色部分(中性化)が見られます。この部分に鉄筋があると錆びる事になります。

ここまで示した現場打吹付法枠内部の早期の中性化は、早期に学会や関係団体および国で研究される必要が有りますが、残念なことにその研究はなされていません。

#### ・モルタル吹付内部の金網

吹付モルタルが中性化しやすい性質は、法枠だけではなく吹付モルタル工でも共通するはずですが、図-15は、15年以上経過した吹付モルタル内部の金網の状況です。クラックが無いにも関わらず随分錆びています。図-16



図-13 建設後17年で折れた吹付法枠箇所

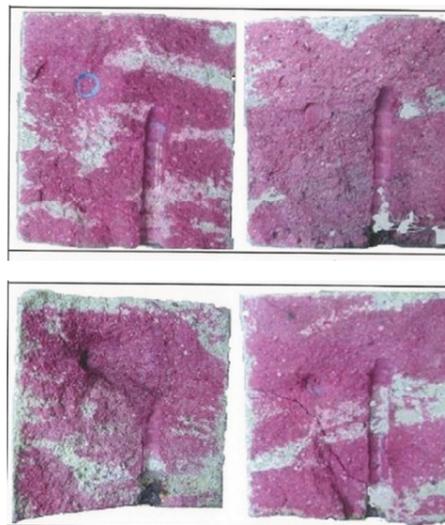


図-14 吹付法枠で発生する中性化



図-15 吹付モルタル内部のメッキ金網の腐食

は、建設後僅か2年しか経過していないモルタルのクラックが無い部分を観察したものです。ラス金網のメッキは消失し、既に一部では錆び始めています。

前述の図-9で示したとおり、コンクリート内部のpH12以上の高アルカリ性環境では、メッキは溶解します。そのために、メッキが消失し、合わせて吹付モルタルは空気を通しやすい性質があるので中性化が進みます。その結果、メッキしてあったラス金網は早期に錆び始める事になります。

図-15・16は、モルタルにクラックが無い部分を観察したのですが、モルタルにはクラックが入りやすいので、クラックが入った箇所では、鉄線は早期に錆びるでしょう。ここに力が加わると錆びた鉄線は容易に破断する事になります。これが、モルタル吹付工のクラックが大きく開口し早期の老朽化が指摘される重要な一因と考えられます。



図-16 2年で錆び始めた吹付モルタル内部のラス金網 既にメッキは消失している