

より良い社会資本整備を目指して

現在全国で幅広く使用されている「法枠+メッキ補強材の補強土」の耐久性上の課題を記載します。本来、この工法の耐久性は国や研究機関によって研究調査されるべきですが、現時点でその動きは有りません。

1、孔曲がり対策が必要

下記の補強材は、地すべり発生により建設後17年してから地中から引き抜かれました。驚いたことに、地上で確認できる4本の補強材の合計長さ653cmのうち258cm（40%区間）が著しく腐食していました。

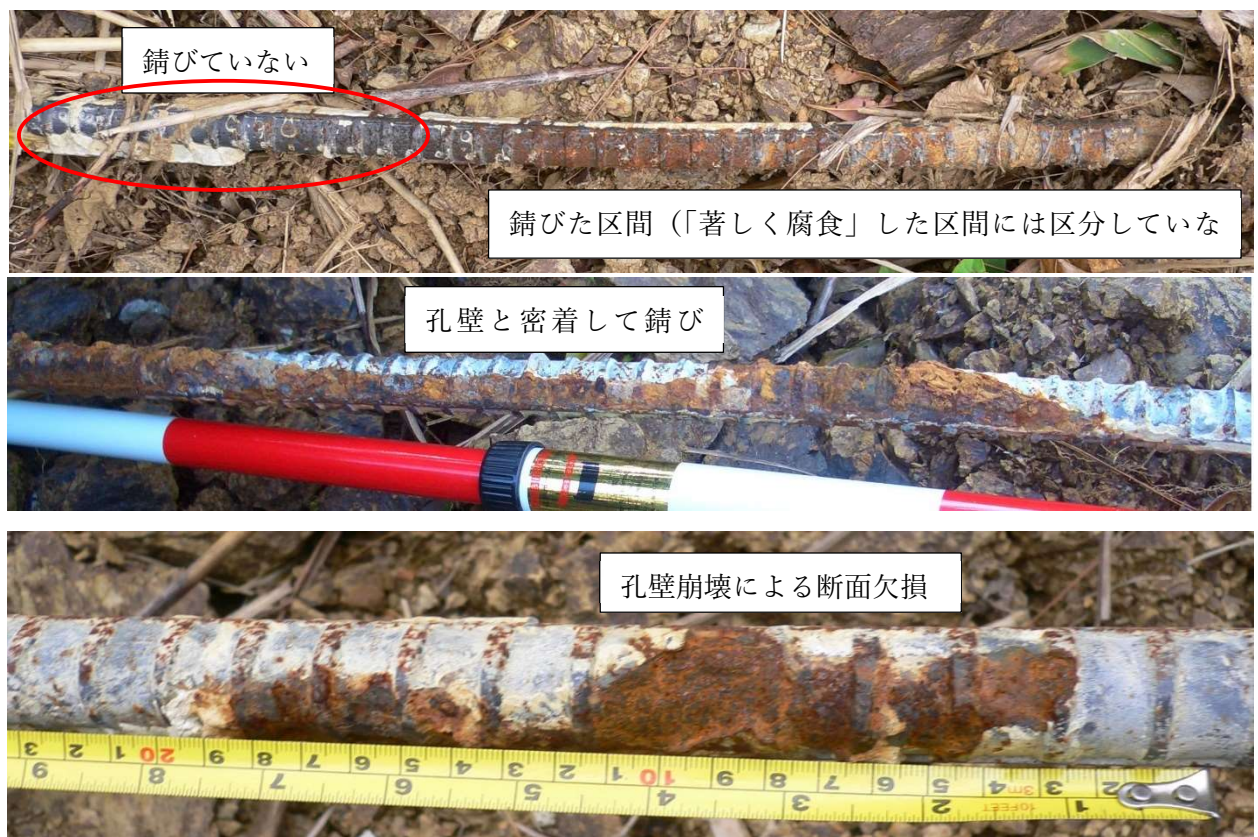


図-1 腐食した補強材 普通鉄筋 建設後17年経過

連続する著しい腐食区間は、孔曲がりが発生し、補強材が孔壁に密着して、孔壁の崩壊でグラウト材注入前に補強材と地盤が接触していたと考えられます。その孔曲がりが発生する原因も2023年に解りました。削孔機のツール自体が曲がっていたのが原因です。



図-2 曲がっている掘削ツール 現場条件Iに使用する



図-3 曲がっている掘削ツール 現場条件Ⅰに使用する

ツールの曲がりは僅かな量ですが、削孔径 65 mm の場合、補強材の径が 19 mm とすると 23 mm の孔曲がりで補強材は孔壁と接します。穴の奥 1m 地点で削孔角度が 1 度ずれると補強材は孔壁とぶつかります。以上は掘削ツールと孔曲がりの関係ですが、さらに孔曲がりが発生させる要因として地盤中の硬軟の地層があります。特に玉石や岩塊状の硬質部があると大きな孔曲がりが発生します。

補強土工の現場では、孔壁崩壊や孔曲がりで施工能率が落ちることが重要な話題になります。孔曲がりの発生頻度は具体的な数値として研究はされてはいませんが現場の地質条件でも異なりますが、現場からの聞き取り調査では、補強材を挿入しづらい感触から補強土工全体の工事現場で 1/3 程度の割合で孔曲がりが発生しているのではと回答を頂きます。孔曲がりの発生頻度の感触は施工者により異なりますが、

相当高い頻度で発生していると考えられます。

補強材は現在メッキ製品を使用する規定に変わりました。それでも多くの問題を抱えています。下記写真は建設後 20 年経過したメッキ補強材の写真です。イノシシが掘った穴に錆び汁が見られたので観察したところ補強材のメッキはすでに消失していました。

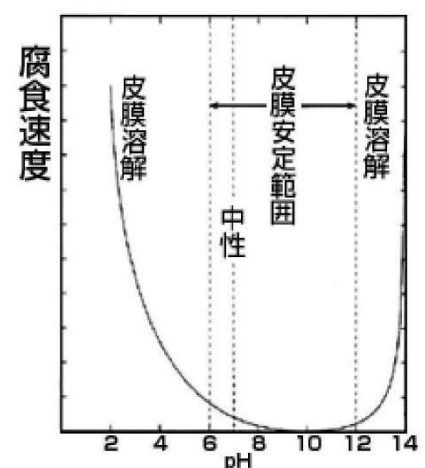


図-4 20 年経過したメッキ補強材の錆び汁とメッキ消失

メッキの消失はごく自然なことと見られます。日本溶融亜鉛鍍金協会は、pH12 以上の高アルカリ性環境ではメッキ皮膜は溶解するとしています。コンクリートの内部は pH が 12~13 の強アルカリ性です。このため、メッキ皮膜は溶解することになります。

メッキが溶解するまではメッキが機能しても、その後はメッキ無しの普通鉄筋と同じ状態になり急速に腐食が進行すると考えられます。さらにメッキ補強材と地盤が接触していた場合メッキの土壌中の耐用年数は 24~25 年（日本溶融亜鉛鍍金協会）とされているので、メッキ補強材もそれ以降は普通鉄筋と同じく錆びることとなります。

現時点では、補強材は最も腐食しにくいエポキシ樹脂塗装鉄筋が優れていると考えられます。海岸での研究結果では、普通鉄筋もメッキ鉄筋も錆びて梁が破壊されていますが、エポキシ樹脂塗装鉄筋を使用したものは健全です。



PH と溶融亜鉛めっき

図-5 メッキと pH の関係
(日本溶融亜鉛鍍金協会)

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 ² /年)		
	水 平 埋 没	垂 直 埋 没	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	25.3	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/m²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-6 メッキの土壌中の
耐用年数
(日本溶融亜鉛鍍金協会)

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



海水飛沫帯での15年暴露試験

星野富夫、魚本健人、小林一輔：

海洋環境下に15年間暴露したエポキシ樹脂塗装鉄筋ならびに亜鉛メッキ鉄筋を用いた鉄筋コンクリート梁の耐久性と防食効果
(コンクリート工学年次論文報告集 Vol.19, No.1, pp.883~888, 1997.6)



無処理鉄筋 (内部鉄筋に沿ったひびわれあり)

亜鉛めっき鉄筋 (同上)

エポキシ樹脂塗装鉄筋 (ひびわれなし)

図-7 海水飛沫帯での暴露試験結果
(星野・魚本・小林 1997)

2、 現場打ち吹付法枠は老朽化しやすい

写真（図-8）の法枠では縦枠に多数のクラックが入っています。法枠の交点にクラックはありません。しかし錆が進行し折れた法枠（図-9）や 4 年経過した法枠の内部には、既に錆び始めた鉄筋が見られます（図-11）。



図-8 クラックが入った法枠
沖縄県 高速道路



図-9 交点で折れた法枠
交点の鉄筋は赤錆だらけである。
建設後 17 年経過

鹿児島県 奄美大島



図-10 交点にあったはずの法枠が無くなり補強材のみが残る。
建設後 17 年経過

鹿児島県 奄美大島



図-11 破壊された法枠の内部に見られる健全部（コンクリートがついた白色部）と錆が進行する箇所（黒褐色部）の分布状況。
建設後4年経過 鹿児島県 南大隅市内之浦町



図-12 6年で中性化した法枠（梁断面で灰色の箇所）フェノールフタレイン溶液の噴霧で健全な個所は赤い色である。建設後6年経過 鹿児島県 南さつま市



図-13 吹付モルタルの場合は、透気性が高い部分層状に形成され中性化が進行すると考えられます。この断面は調査した4断面では最も健全ですが主筋位置までは完全に中性化しています。建設後6年経過 鹿児島県 南さつま市

3、 結論

現場打吹付法枠は、吹付モルタルの品質が不安定で、頻繁に透気性が高い層を形成しその部分から侵入する二酸化炭素のために急速に中性化が進行する。鉄筋コンクリート構造物では、内部の鉄筋が錆びるとコンクリートとの付着力が低下し、鉄筋コンクリート構造物は弱体化する。社会資本としては少なくとも 1 世紀は健全であって欲しいが、現在までに観察されている法枠内部の鉄筋腐食を考慮するとしても 1 世紀の使用には耐えられない。

この問題を解決するには、主筋として利用している普通鉄筋をエポキシ樹脂塗装鉄筋に換えれば良いが、エポキシ樹脂塗装鉄筋はまだ一般的に流通していないので、物価版の積算価格より随分高価であるため、容易には変更しにくい側面がある。同等の効果を持つ法枠以外の法面工を選択するのも一つの方法であろう。

一方、メッキ補強材はエポキシ樹脂補強材に変更することで、土壌と接触した場合のメッキ消耗や高アルカリ性環境でのメッキ消耗の課題を克服できる。NEXCO 要領は、腐食性がある環境でエポキシ樹脂塗装鉄筋の使用を推奨しているが、一般環境でも幅広く使用した方が社会資本は老朽化が進まない所以社会にとって有益であろう。