

施工後約 40 年が経過した切土補強土工法の長期耐久性調査

(株)高速道路総合技術研究所 正会員 ○松尾 祐子
(株)高速道路総合技術研究所 正会員 村上 豊和
三信建設工業(株) 非会員 森脇 光洋
三信建設工業(株) 正会員 本谷 洋二

1. はじめに

切土補強土工法は、切土法面に補強材として鉄筋等を挿入し地山と一体化させ、地山と補強材の相互作用により切土法面全体の安定を図る地山補強土工法である(図-1)。本工法は昭和 50 年代から高速道路で採用され、現在の施工実績は 55 万本を超える。技術基準¹⁾の制定により、平成 7 年以降の施工では、耐久性確保を目的に補強材および頭部は腐食しるを確保し亜鉛メッキ処理を施し、削孔穴はスペーサーで被り確保したうえでセメントミルク等の注入材で頭部まで確実に充填することとしている。

本工法の長期耐久性を把握するために、本工法施工法面で昭和 61 年度、平成 5 年度および平成 22 年度²⁾に継続調査が行われている。前回調査から 10 年が経過したことから、筆者らは今回同一法面で継続調査を行った。本報文では、過年度調査結果も踏まえた切土補強土工の健全性の推移と長期耐久性の評価について報告する。

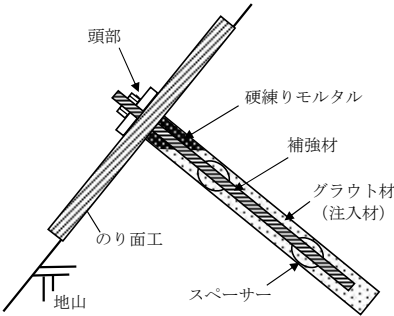


図-1 切土補強土工法の概念図

2. 調査対象法面の概要

表-1 に調査対象法面における切土補強土工の概要および調査項目を示す。調査対象 6 法面のうち、法面 A, B, C は補強材の防食が未実施で施工後約 40 年が経過している。一方、法面 D, E, F は技術基準に則り補強材の防食およびグラウト充填がなされており、施工後約 20 年が経過している。また、各法面の土壌状況を表-2 に示す。土壌分析項目のうち、腐食の目安の範囲を超過したのは pH であり、法面 B, C, D は酸性傾向であった。

表-1 調査対象法面の概要および調査項目

法面	施工 時期	本調査 時点の 経過 年数	施工状況		補強材の仕様				調査内容※											
			主要な法面工	頭部処理	グラウト材	鉄筋径 (mm)	長さL (m)	防食方法	S61年度		H5年度		H22年度				R3年度			
									法面	補強材	法面	補強材	引抜き	土壌	法面	補強材	引抜き	土壌		
A	昭和60年	36	コンクリート吹付工	埋設	ドライモルタル	D19	3.0	無	1	1	3	1	3		1	1	3		1	
B	昭和58年	38	コンクリート吹付工	埋設	無	D25	1.2	無	1	1	3	1	6	3	1	1	4	3	1	
C	昭和60年	36	現場打込法	埋設	無	D32	2.0	無	1	1	3	1	3		1	1	3		1	
D	平成15年	18	FRP受圧板	露出	セメントミルク	D22	2.0	亜鉛メッキ				1	3		1	1	3		1	
E	平成12年	21	吹付法	露出	セメントミルク	D25	2.3	亜鉛メッキ				1	3		1	1	3		1	
F	平成14年	19	吹付法	露出	セメントミルク	D19	3.5	亜鉛メッキ				1	6	3	1	1	6	3	1	

※調査内容の凡例 … 法面 : 法面調査(式), 補強材 : 補強材試験(本), 引抜き : 引抜き試験(本), 土壌 : 土壌分析試験(式)

3. 調査内容および評価方法

今回の調査内容および評価方法を以下に示す。

(1) 補強材腐食度調査は、対象法面にて補強材をコア採取し、グラウト材等の付着物を除去し洗浄した後に、補強材表面の「腐食面積率(α)」と「断面欠損率(δ)」を算出した。なお、α および δ の算出は式(1)、式(2)による。本調査の測定は補強材全長を頭部と一般部で分け、一般部は 100mm ごとに区分した。

$$\alpha = \text{腐食面積}(\text{mm}^2) / \text{補強材表面積}(\text{mm}^2) \times 100 (\%) \dots (1)$$

$$\delta = \text{最大孔食深さ}(\text{mm}) / \text{補強材径}(\text{mm}) \times 100 (\%) \dots (2)$$

(2) 補強材引張試験は、「JIS Z 2241 金属材料引張試験方法」に準じて補強材の降伏点 (kN/mm²)、引張強さ (N/mm²) または引張強度 (kN) および伸び (%) を測定し JIS で定める機械的性質 (基準値) と比較した。試験位置は、補強材の腐食や孔食が著しい箇所を目視で選定し、腐食等が見られない場合はグラウト充填が不十分であった箇所や、気象等の環境の影響を受けやすいと想定される頭部付近で試験した。

(3) 引抜き試験は、法面 B, F を対象に現地にて「JGS3731-2005 ロックボルトの引抜き試験方法」に従い補強材の引抜き力を計測し、設計上の抵抗力を保持しているか確認した。

表-2 法面の土壌分析結果 (腐食環境)

法面	地質	pH	電気伝導率 (ms/m)	塩化物イオン (mg/g)	硫酸イオン (mg/g)
A	砂岩	10.6	10.4	0.001	0.048
B	砂岩	6.2	0.78	0.001	0.002
C	粘性土	5.7	5.9	0.097	0.06
D	風化岩	5.5	2.2	0.039	0.017
E	砂岩	4.7	10.6	0.005	0.221
F	礫混じり砂	6.3	1.9	0.013	0.008
基準値※		6<pH<9	200 以下	1 以下	0.5 以下

※基準値とは補強材に腐食を与えない範囲の目安をいう。

4. 調査結果

(1) 補強材腐食度調査の結果、法面 A, B, C の補強材は腐食・孔食が確認された一方で、法面 D, E, F の補強材は、地盤から露出状態にある頭部を含め腐食は一切確認されなかった（写真-1）。法面 A, B, C の補強材全長に対する腐食面積率 α と断面欠損率 δ を、過年度結果と合わせて図-2 および図-3 に示す。なお、ここに示す値は各法面の補強材の平均値である。グラウト充填されていた法面 A は、地山と直接触れた状態の頭部にのみ腐食が見られた。法面 B は供用年数の経過による傾向は見られなかった。法面 C は補強材全長で供用年数の経過につれて δ が増加しており、いずれも孔底部で特に α および δ が大きい傾向が見られた。

(2) 補強材引張試験の結果、法面 D, E, F は全ての補強材が基準値を満足し、過年度からの強度低下は見られなかった。法面 A も同様に概ね健全であったが、法面 B, C は引張荷重 (kN) で基準値未満があり、ばらつきがあるものの平均値では過年度からの強度低下が確認された（図-4）。

(3) 引抜き試験の結果、法面 B は平均 33kN で引き抜けたが、グラウト材未充填のため設計抵抗値が不明で評価はできない。法面 F は平均 91kN で引き抜け、抵抗値は 0.147N/mm^2 であり、設計抵抗値 (0.14N/mm^2) を保持していた。

5. 考察

補強材は、確実な防食処理とグラウト材充填がなされていれば、腐食は生じず健全であることが確認された。また法面 A の結果から、補強材が防食処理未実施であってもグラウト材で被覆されている範囲は、土壌環境が厳しい条件でも腐食は生じていないことが確認された。

図-5 に示すとおり、補強材の引張強度と δ には相関関係がみられ、防食処理未実施の補強材は、供用年数の経過に伴い腐食が進行し、 δ が大きくなるほど補強材の強度が低下することが確認された。また δ が 15% を超えると引張強度は基準値を下回った。孔底部で腐食が著しいことから、浸透水や地下水が直接補強材と接することで腐食が進行すると推察されるが、 δ の程度に及ぼす明確な要因は本調査では不明である。

引抜き試験は 2 箇所のみの実施だが、確実な施工がなされていれば施工後約 20 年が経過しても切土補強土工の機能は健全であると言える。一方で、平成 7 年以前の施工箇所は施工状況によっては機能低下の懸念が残るため、現場管理は法面変状の有無などに注意が必要である。

6. まとめ

今回の調査でも現行基準に定める「防食処理」と「グラウト材充填」の二重対策の有効性が改めて確認できた。

一方、防食処理とグラウト材充填が未実施の切土補強土工は、腐食の進行が確認され、断面欠損率と補強材の引張強度の関係も確認された。法面調査より法面自体の不安定化は生じていないものの、健全性低下の可能性があり注意して現場管理することが重要である。施工条件や地山条件により補強材の腐食状況・進行具合にはばらつきがあった。今後も調査を継続し、将来的な補修の優先度設定となりうる指標を探っていく。

参考文献

- 1) 東日本高速道路(株)、中日本高速道路(株)、西日本高速道路(株):切土補強土工法設計・施工要領、平成 19 年 1 月 (初版:平成 7 年)
- 2) 藤原優:切土補強法面の長期耐久性に関する検討、土木学会論文集 C(地圏工学)、vol.68, No.4, 707-719, 2012

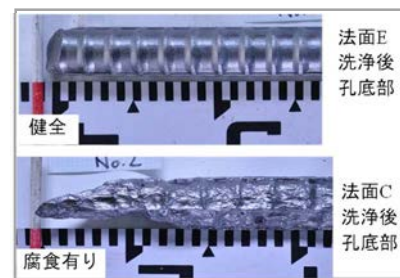


写真-1 補強材の状況

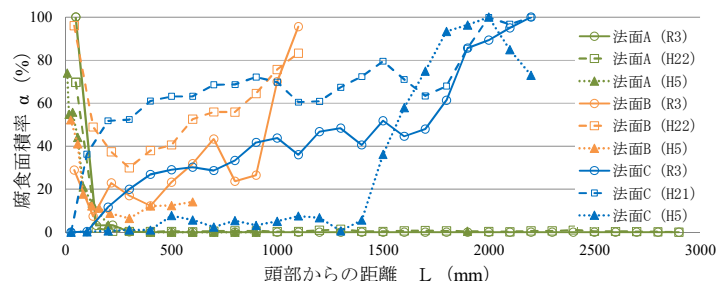


図-2 補強材の全長に対する腐食面積率 α

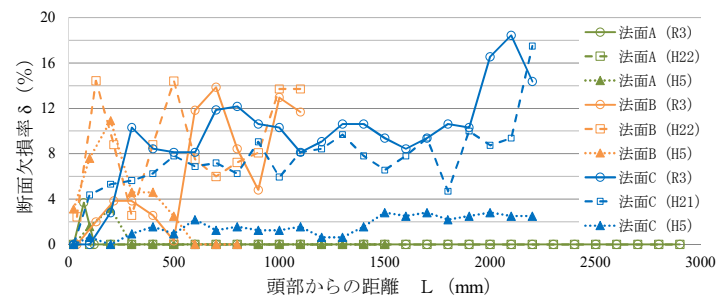


図-3 補強材の 100mm 長さ毎の断面欠損率 δ

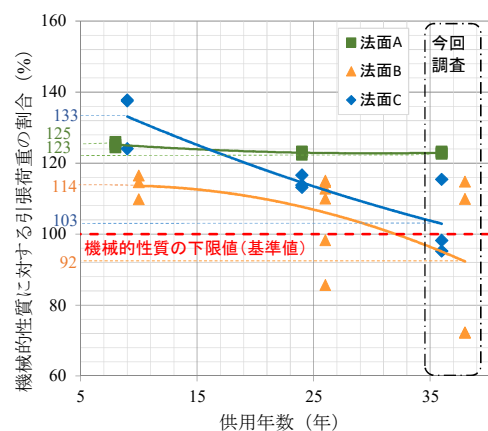


図-4 引張強度と供用年数の関係

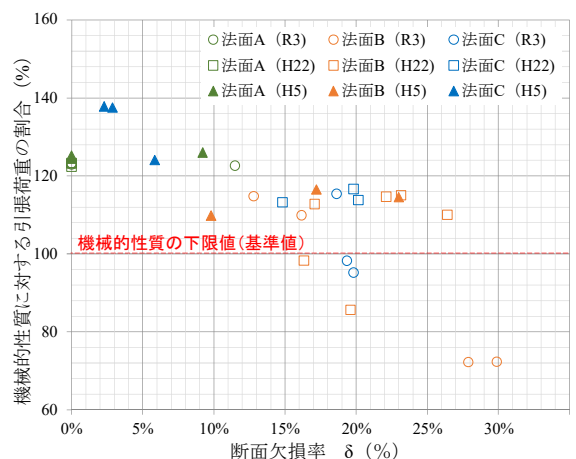


図-5 引張強度と断面欠損率 δ の関係