■グラウンドアンカー材の高腐食環境下における強度変化

The material strength change of ground anchor in high corrosion environment

日特建設(株)/菅 浩一

NITTOC CONSTRUCTION CO., LTD./Kouichi SUGA

ライト工業(株)/末吉達郎

RAITO KOGYO CO., LTD./Tatsuro SUEYOSHI

(株)銭高組/山崎裕一

The Zenitaka Corporation CO., LTD./Yuichi YAMASAKI

積水化学工業(株)/杉崎登士生

SEKISUI CHEMICAL CO., LTD./Toshio SUGISAKI

キーワード：グラウンドアンカー，腐食，地すべり，エポキシ樹脂，暴露試験

Key words：Ground anchor, Corrosion, Landslide, Epoxy resin, Exposure examination

1. はじめに

グラウンドアンカー工は，わが国に導入されてから40年以上経ち，斜面安定や地すべり対策としての抑止工として多く採用されている。グラウンドアンカー工が導入された当初は，仮設アンカーが主体で，防食に対する意識の低さや，施工技術の未熟さから，永久アンカーとしての採用は少なかった。しかし，平成2年に旧土質工学会基準（現，地盤工学会）「グラウンドアンカー設計・施工基準」が発刊され，その中で，永久アンカーに対しては，2重の防食機能が義務付けられた。基準が発刊されたことで，防食に対する意識も向上し，グラウンドアンカーの信頼性も高まり，地すべり対策工として，2重防錆を施したグラウンドアンカーが採用されることが増加した。

しかし，温泉地すべりなどの高腐食環境下（高温，強酸性）では，防錆処理を施したテンドン，セメントペースト，コンクリート製の受圧板でも，劣化のおそれがあるために，グラウンドアンカーの採用が見送られていた。その結果，排土工や押さえ盛土工あるいは，地下水排除

工などの抑制工を主体とした対策工が行われてきた。平成5年に（財）土木研究センターが公募した「地すべり防止工事等におけるのり面安定のための，耐久性に優れた新素材を用いたグラウンドアンカー技術」により，審査証明を3工法が取得した。そこで生まれた，耐酸性，耐熱性に優れた炭素繊維を用いたテンドン，ガラス長繊維補強強化プラスチック製の受圧板，さらに，その後開発した樹脂製グラウトを利用することにより，高腐食環境下でもグラウンドアンカー工を実施することが可能となった。

このような材料が高腐食環境下でも長期的に安定した性能を維持できることを確認するために平成13年から5年間の暴露試験を実施した^{1)~4)}。

本稿では，5年間の屋外暴露試験および孔内暴露試験結果について報告する。

2. 試験概要

2.1 地すべり概要

大分県別府市明礬地区では，過去に2度の温泉地すべ

図-1 地すべり対策工

りが発生している。昭和41年9月に発生した地すべりは、台風24号の集中豪雨が誘因となり、幅120m、長さ80mの規模を有していた。このときの対策工は、排土工や盛土工を行った。また、平成9年9月に発生した地すべりも台風による豪雨が誘因で、幅50m、長さ110mと幅60m、長さ130mの規模が2ヶ所で発生した。平成9年に発生した地すべりの対策工のひとつとして、新素材を使用したグラウンドアンカーを抑止工として採用した⁶⁾。(図-1参照)

2.2 試験位置

別府市明礬地区は別府市北西部の鶴見岳山麓に位置する。明礬地区は変質した安山岩類、風化した安山岩類の上位に変質した碎屑岩層と温泉余土化した粘性土が覆い、典型的な温泉地すべり地形を呈している。

別府市明礬地区で発生した温泉地すべり地内で孔内暴露試験および屋外暴露試験を実施した。図-2に試験位置および温度、土壌のpH分布を示す。

試験位置は施工前の調査によりpH3～4、孔内温度60～100℃の高腐食環境下である。

明礬地区での温泉水分析表を表-1に示す。また、明礬地区の土壌の硫化水素(H_2S)濃度は、0.1～0.6ppmである。

2.3 試験方法

孔内暴露の試験体は図-3に示すように、ステンレスかごに入れて設置した。ステンレスかごは、GL-10m、GL-11m、GL-12m、GL-13m、GL-14mの深度に5ヶ所設置した。GL-12mのかごには受圧板材料、それ以外のか

ごには、グラウト(セメントペースト、エポキシ樹脂)とテンドン(PC鋼より線、炭素繊維より線)を入れた。

屋外暴露試験体は、写真-1に示すように、地表面に直接設置した。

各々の暴露試験位置から回収した試験体について、以下の項目を測定した。

- ①グラウト：圧縮強度(JIS A 1108))
- ②テンドン：引張り強度(JIS Z 2241)
- ③受圧板材：曲げ強さ、曲げヤング率、縦圧縮強さ、横圧縮強さ、部分圧縮比例限界強さ、せん断強さ、接着せん断強さ(JIS Z 2101, JIS K 6852)

図-3 孔内暴露試験概要図

図-2 試験位置および温度pHの分布

写真-1 屋外暴露試験状況

表-1 温泉水分析表

泉温	pH	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺	Al ³⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	H ₂ S	泉質
82℃	2.25	11.6	5.4	10.1	4.0	5.8	23.2	1.07	550	0	6.05	酸性硫化水素泉

※溶存イオン濃度の単位は ppm

グラウトの試験体は、 $\phi 50\text{mm} \times 100\text{mm}$ の大きさに試験室で作成して、七日間の標準養生後に設置した。また、テンドンは $\ell = 1,000\text{mm}$ の長さに切断して設置した。

各試験体の採取時期は、1, 2, 3, 4, 5年間経過後とした。

3. 試験結果

3.1 試験環境の変化

図-4に試験体回収時における孔内温度の変化を示す。試験開始当初は、深い位置ほど孔内温度が高くなる傾向が見られたが、年を追うごとに深度による温度差が小さくなってきた。また、全体に時間の経過とともに温度は上昇している。これは試験孔内に土砂が流入したことにより、上部が閉塞されたことや熱源の移動などが原因として考えられる。pHは5年目においてpH4.4 (H_2O 法), pH2.4 (H_2O_2 法)であり、試験開始時と大きな変化はない。pH試験で H_2O_2 法(過酸化水素水によるpH試験)もあわせて行ったのは、現在は酸化していない土でも、今後酸性化する可能性の高い土と判断したためである。 H_2O_2 法は、土に過酸化水素水を加えて強制的に酸性化を促進させ、酸性化を予測するための試験である⁵⁾。

3.2 グラウト圧縮強度試験

図-5に樹脂グラウトの圧縮強度試験結果、図-6に

図-4 孔内温度の変化

図-5 樹脂グラウト圧縮強度試験結果

セメントペーストの圧縮強度試験結果を示す。樹脂グラウトは初期値から1年目にかけて強度の低下がみられるが、1年目から5年目にかけては強度の変化はほとんどみられない。圧縮強度も設計基準強度である 24N/mm^2 を満足しているので問題ない⁴⁾。一方、セメントペーストは1年目でGL-13m以深では設計基準強度を下回り、2年目以降はすべての深度で設計基準強度を下回っている。さらに4年目以降は強度測定が不可能になるまで劣化が進んでいる。

図-7に深度の違いによる圧縮強度の減少率を示す。樹脂グラウトでは3年目以降、セメントペーストでは2年目以降が深度による差が少なくなっている。深度による圧縮強度の違いは、暴露される温度やpHが原因であると考えられる。しかし、pHが調査開始時と変化していないことから図-4に示したように、各深度での温度差が小さくなったことが原因と考えられる。

図-8に設置から3年間の試験体の質量変化を示す。樹脂グラウトはほとんど変化が無いのに対し、セメントペーストはGL-13m, 14mで30%以上の減少が見られる。写真-2に採取した試験体を示す。樹脂グラウトは熱に

図-6 セメントペースト圧縮強度試験結果

図-7 圧縮強度の減少率

よる変色程度であるが、セメントペーストは表面が溶出している。この結果よりセメントペーストではグラウトと地盤の周面摩擦抵抗は全く期待できない状態であることがわかった。

3.3 テンドン引張り試験

図-9に孔内暴露におけるテンダンの引張り試験結果、図-10に屋外暴露におけるテンダンの引張り試験結果を示す。炭素繊維より線では5年間経過しても規格引張荷重を十分に上回る強度が得られている。それに対しPC鋼より線は腐食が著しく、1年目以降すべての暴露深度、

図-8 供試体の質量変化

写真-2 回収した供試体の劣化状況

図-9 テンダンの強度変化 (孔内暴露)

暴露環境において規格引張荷重を下回っている。また、孔内暴露では3年以降、屋外暴露試験では4年目以降において劣化が著しく、試験を行うことも不可能であった。

3.4 受圧板の物性試験結果

図-11, 12に受圧板材の物性試験結果を示す。これらの試験は、木材の試験方法 (JIS Z 2101) および接着剤の圧縮せん断接着強さ試験方法 (JIS K 6852) に従って実施した。試験結果より、5年間の孔内暴露および屋外暴露において、すべての試験でほとんど変化しない事が確認できた。これよりガラス長繊維強化プラスチックを使用した受圧板材は高温・強酸性地盤でも安定した

図-10 テンダンの強度変化 (屋外暴露)

図-11 受圧板の物性試験結果①

図-12 受圧板の物性試験結果②

図-13 受圧板の物性試験③

物性を示すことがわかる。

4. 結 論

5年間の暴露試験結果，次のような知見が得られた。

- ①炭素繊維より線は，高腐食環境下においても強度の低下や表面の劣化は見られず，永久アンカーの tendon として安定した物性を示す。
- ②防錆処置を施していないPC鋼より線は，高腐食環境下においては数ヶ月で劣化が進行し，許容引張力を下回る。
- ③エポキシ樹脂グラウトは初期の強度低下は大きい，2年目以降の強度低下はほとんどなく，長期的に安定した物性を示す。
- ④セメントペーストは高温，強酸性地盤では強度低下や表面の劣化が著しく，アンカーのグラウトとしては適さない。
- ⑤ガラス長繊維を使用した受圧板材は高温，強酸性地盤においても物性の変化がほとんどなく，安定した性状を示す。なお，受圧板に使用しているガラス長

繊維強化プラスチックは，鉄道の枕木として25年の使用実績があり，そのうち，15年間については，安定した性状を保っていることが確認されている⁷⁾。長期耐久性実験は，継続中なので，さらにデータを収集していく予定である。

新素材（炭素繊維，エポキシ樹脂，ガラス長繊維強化プラスチック）を使用したグラウンドアンカーシステムはpH 3～4，地温80℃程度の環境であればアンカー材料としての性能に問題がないことが確認された。今後は異なる環境において実験を行い，さらにデータの蓄積をしていく予定である。

謝 辞

暴露試験にあたり，場所提供などのご協力を頂いた大分県別府土木事務所，供試体の設置や回収に協力いただいた明大工業株式会社に謝意を表します。

参考文献

- 1) 別府正顕他 (2003)：グラウンドアンカー材料の高腐食環境下における強度変化について，第42回地すべり学会研究発表会，pp. 205～208.
- 2) 末吉達郎他 (2004)：グラウンドアンカー材の高腐食環境下における強度変化その2，第43回地すべり学会研究発表会，pp. 261～262.
- 3) 末吉達郎他 (2005)：グラウンドアンカー材の高腐食環境下における強度変化その3，第44回地すべり学会研究発表会，pp. 289～292.
- 4) 地盤工学会基準「グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説」(JSG4101-2000)，地盤工学会，2000.
- 5) 地盤工学会：土質試験の方法と解説，p130.
- 6) 末吉達郎他 (2000)：高腐食環境下における樹脂グラウトを用いたアンカーの施工，基礎工，Vol. 28，No. 10，pp. 37～39.
- 7) 長藤敬晴他 (1997)：合成まくらぎ15年の経験，鉄道総合技術論文誌，Vol. 11，No. 2，pp. 43～48.
(原稿受付2006年7月4日，原稿受理2006年9月19日)