

耐久性能が高い等付着型アンカーの実用化

PRACTICAL APPLICATION OF GROUND ANCHORS WITH HIGH DURABILITY THAT DO NOT DAMAGE THE FIXING PARTS

三田 和朗¹ 奥園誠之²

Kazuro MITA and Seisi OKUZONO

¹長寿補強土株式会社 (〒891-0103 鹿児島市皇徳寺台 4 丁目 51 番 7 号)

E-mail: er-info@bronze.ocn.ne.jp

²西日本高速道路エンジニアリング中国株式会社 (〒105-0004 東京都港区新橋 3-5-10 新三ビル 3 階)

Key Words: ground Anchor, high durability, fixing parts, do not damage

1. はじめに

グラウンドアンカーは、1957 年に国内で初めて採用され、1999~2009 年の 10 年間に、635,000 本が施工された。現在は当時より施工量が減少しているが毎年多数のアンカーが国内外で施工されている。

ところが、これらのアンカーで最も重要な部分である定着部 (図-1) では、逐次破壊が進行するとされている¹⁾。逐次破壊が進行すると最終的には定着部が地盤から抜けてしまう可能性があるため、アンカー工の長期的な供用可能期間は、現時点では不明である。

この問題を解決できる理論を本論で紹介し、実用化手法と課題について述べる。

なお、タイトルに示した等付着型アンカーとは、従来型アンカーの引張型アンカーや圧縮型アンカーに対応して筆者が創作したアンカー機構名である。等付着型アンカーは、アンカー工の耐久性を格段に向上させ、地盤特性にもよるがアンカー工事費を縮減することが可能である。さらに、現在問題となって

いる長期使用によるアンカー緊張力の低下、頭部付近の腐食や劣化、それによる維持管理費の増大を大幅に縮減できる特徴がある。

2. 応力伝達方式の違い

グラウンドアンカーの主要な応力伝達方式を図-2 に示す。

従来型のアンカー (引張型・圧縮型) は、定着部と受圧板が互いに引張り合い、受圧板が地表面を抑える力で斜面崩壊を防止する構造である (図-1)。従来型アンカーは、鋼材の断面と応力が同じであれば、引張側にも圧縮側にも同量の弾性変形をするので、引張型であれば定着部の地表側に、圧縮型であれば深部側の端部に応力が集中する。

引張型アンカーの定着部における応力測定結果を図-3 に引用する²⁾。大規模な亀之瀬地すべり現場での測定例であるが、設計基準で荷重が作用するとして算定される 10m の定着部のうち、深度 5~10m には応力は作用していない。応力のほとんどは 0~2.5



図-1 従来型アンカー工の基本構造

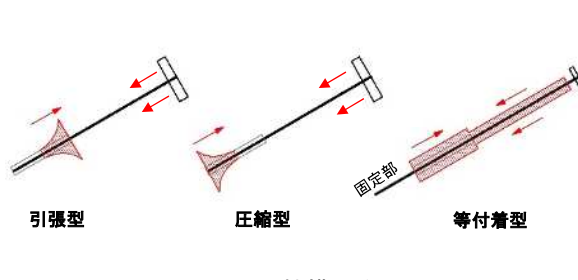


図-2 アンカー機構の違い

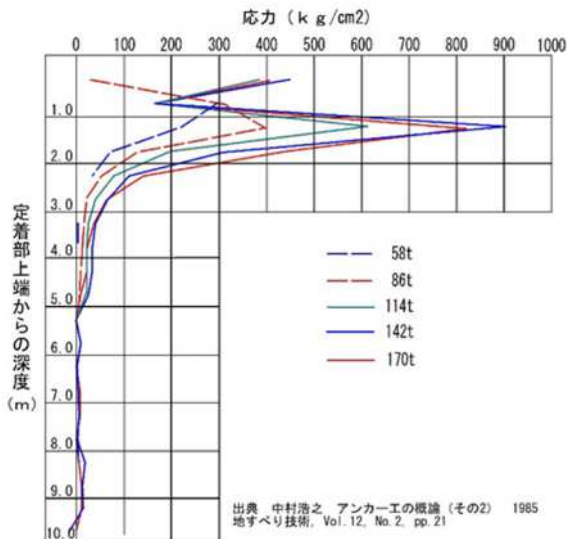


図-3 アンカー定着部における引張力分布²⁾

m区間に作用し、特に定着部上端側の深度 1~2mに 600~900 (kgf/cm²) を超える強大な応力が集中している。その結果、グラウト材と地盤との付着が破断し、このアンカーでは、1mよりも浅い部分で急激な応力低下が認められる。

定着部を構成するコンクリートは緊張しても伸びないが、鋼材は緊張により伸び、圧縮により縮むので、鋼材の伸びや圧縮で応力が集中した箇所で極限周面摩擦抵抗を超え破断が起きる。この破断は、順次応力が低い他の部分に移行し逐次破壊が起きる。

一方、等付着型アンカーでは、応力の集中は起きない。このため、図-2 に示したように定着部分の応力分布は、(地盤の影響をうけるものの) 基本的には等分布に近い。さらに、従来型アンカーでは、移動土塊部分に自由長部を設け PC 鋼線などが自由に伸長できる構造にしていたが、等付着型アンカーでは、全区間でグラウト材が付着する tendon を用いるので、従来型アンカーの自由長部に相当する区間で、周囲の地盤と tendon が一定の緊張状態で一体化する。

このため、不動地盤内の定着部と移動土塊内に造成した定着部が互いに引っ張り合う構造となる。不動岩盤区間と移動岩体区間が互いに引っ張り合うため、双方が岩盤である理想的な地質条件の場合には、従来型アンカーで使用していた受圧板は不要である。ただし、それ以外の地質条件の場合には、地質状況に応じて小型~従来サイズの受圧板を使用する必要がある。

3. アンカー設置法

等付着型アンカーの設置法を図-4 に示す。

(1) テンション固定 (一次グラウト)

本アンカーでは、まず削孔(径 90~145 mm) 部の先端に tendon を固定する必要がある。この固定区間を図-2 と図-4 では固定部と記載した。次の段階で固定部に固定した tendon を設計荷重より大きな荷重で緊張するので、この時点でグラウト材は仮設時以上の強度が必要である。

ここで使用するグラウト材は、早期に強度を発現する必要があるため、超早硬モルタルや特殊配合早強セメントを使用する。その仕様については後項で示すが、前者の場合 2 時間で 20 (N/mm²) [21 日強度 50 (N/mm²)] の強度が得られ、後者の場合 10 時間で 30 (N/mm²) の強度が得られる。

(2) 緊張状態でグラウト (二次グラウト)

前工程で tendon が固定部に固定されたら、 tendon を緊張し、適性試験や確認試験を実施する。試験後、 tendon を設計荷重で緊張し、その状態を維持したまま孔内の残りの区間をグラウトする。

(3) 完成

二次グラウトで使用するグラウト材を (1) で示した短時間で強度を発現するグラウト材とすることにより、二次グラウトの注入開始後 2~10 時間でアンカーの基本構造は完成する。緊張されて伸びた tendon は、 tendon 自身が不動岩盤の定着部と移動岩体

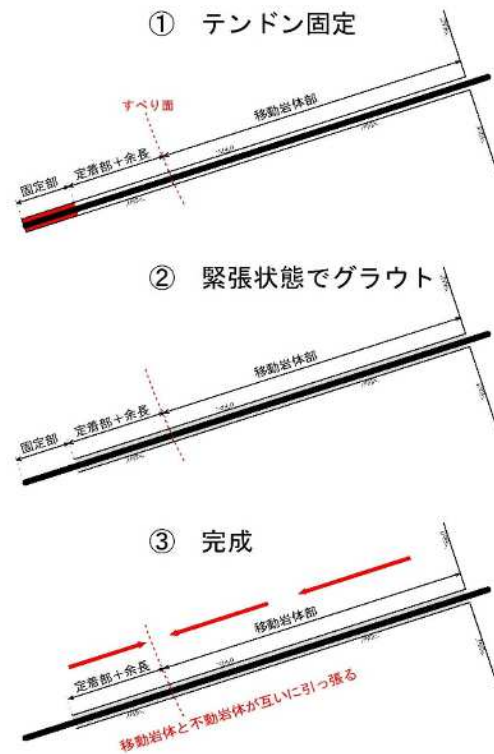


図-4 アンカー設置法

の定着部を互いに緊張する。

特筆する点は、テンドンに作用する応力が二次注入した全区間で概ね均等であり、どの区間にも集中応力が発生しないことである。このため、従来型アンカーの逐次破壊の問題を解決できる。

4. アンカーの特性

この機構を有するアンカー(NIPPON アンカー PAT 7197098) は、下記の3タイプを開発ないし開発予定である。

- ・ **CF 型** 炭素繊維ケーブルを利用するアンカーで頭部をテンドングリップとナットで固定。
- ・ **WE 型** 高耐久性の被覆 PC 鋼線を利用し、テンドンと受圧板をくさび固定。
- ・ **PC 型** 高耐久性の被覆 PC 鋼線を利用し、頭部をテンドングリップとナットで固定（研究中）。

等付着型アンカーの最大の特徴は、定着部に集中荷重が発生することが無く逐次破壊が起きない点である。さらに、等付着型アンカーの資材を劣化し難い材料とすることにより、長期にわたって供用が可能になる。地中部分には、高耐久性の部材（内部充填型被覆 PC 鋼線や炭素繊維ケーブル）が既に開発されているので、耐久性上の課題は受圧板や頭部の地上部分のみとなる。すべてのアンカーで、地下部分の補修や維持管理は困難であるが、地上部分で腐食した受圧板を取り換えることは、実施可能である。このような観点も含め、等付着型アンカーの長所と短所について示す。

【長所】

- ・ 2 箇所の定着部が引張り合うため移動岩盤を内部から緊張出来る。
- ・ アンカー材のリラクゼーションによる緊張力低下は理論上起きない。
- ・ 受圧板を小型化することが可能である。
- ・ 炭素繊維ケーブルを使用した場合、非常に長い耐久性があると考えられる。
- ・ 世紀を超える供用では、地上部の受圧板を交換するだけで補修が完了する。
- ・ 岩盤地すべりやトップリング対策および崩壊対策に特に有効と考えられる。
- ・ 設計引張り力が数 10kN の小型から 1000kN を超える大型まで幅広く対応可能である。

【短所】

短所については、その解決策を () 内に記載する。

- ・ 固定部の掘削や注入作業に、従来工法に加算する

工事費が必要である。

(人件費や特殊注入材料費を加算する。)

- ・ 使用するグラウト材が特殊で流動性が悪い。(スクイズポンプを使用する。)
- ・ 2 時間で硬化する超早硬モルタルを使用する場合には、可使時間が短いので熟練工を必要とする。(10 時間で硬化する特殊配合早強セメントを使用すると十分な作業時間を確保できる。)

5. グラウト材

本アンカーで使用するグラウト材の性質は、重要なので説明を加える。2 種類のグラウト材を、個別ないし併用して使用するケースが考えられる。

(1) 超早硬モルタル

市販のセメント材料から、2 時間で 22~28 (N/mm²) 以上の強度が得られ³⁾、なおかつグラウト注入時間を確保できるセメントとしてフィルコン S スーパーを選定した。このグラウト材は、13~25 分程度で硬化し始めるので、必要に応じて硬化遅延剤を使用して、適切に施工する必要がある。

使用材料 フィルコン S スーパー
w/c 19%

(2) 特殊配合早強セメント

アンカー作業の効率化と孔壁劣化の悪影響を避けるため、注入材は早期に硬化するグラウト材を使用する。特殊配合早強セメントは、従来の早強ポルトランドセメントの硬化時間 (2~3 日間) より短時間で硬化する性質がある。下記の配合により、15°C の環境において 10 時間で 30 (N/mm²) の強度が確認されており (表-1)、実際の作業現場では、夕方までに一次注入作業を終われば、翌朝から二次注入が可能である。

表-1 特殊配合早強セメントの試験結果

供試体番号	練り始めからの経過時間 (時間)	圧縮強度 (N/mm ²)	平均圧縮強度 (N/mm ²)
1	7	3.6	3.6
2	9	23.4	23.9
3	9	22.4	
4	9	26.0	
5	10	32.6	31.9
6	10	30.6	
7	10	32.6	

使用材料 早強ポルトランドセメント
w/c 35%
混和剤 FLC400 1%

6. 設計法概要

等付着型アンカーの適用例を示し、その特徴と課題について述べる。

(1) 受圧板が不要なケース

本アンカーは、地盤が風化岩以上の岩盤であると、移動土塊の内部にも十分な強度を持つ定着部を設けることが出来る。そのため、アンカーに必須とされた受圧板が不要となる。このようなモデルを図-5に示す。

算定モデルは、最大設計アンカー力170.4kNでアンカーピッチは2.5mである。移動土塊である風化岩の極限周面摩擦抵抗は $\tau=0.6$ (N/mm²)である。不動岩盤に設ける固定部は、テンドンとグラウト材の許容付着応力が0.8(N/mm²)なので計算上3.07mが必要である。一方グラウト材と地盤との極限周面摩擦抵抗は、それより約7倍大きいので固定長を決定する要因とはならない。計算上の3.07mを0.5mラウンドで3.5mとし、固定部長とした。

本ケースでは、本設の受圧板が不要となるため、主測線と法面が斜交している場合や、斜面に樹木を残してアンカーを施工する場合にも適用できる。ただし、図-5のアンカー番号1,2を付したアンカー頭部に記載したように、アンカーを緊張する際に仮受圧板を設置できる法面が無い場合は、緊張のための受圧板を設置できる仮法面を造成する必要がある。

図-5に示したアンカーは、従来型アンカーの耐久性上の課題であった頭部構造物付近の老朽化や緊張力低下が無い。もちろん定着部の逐次破壊も起きない。さらに、PC鋼線を利用した場合は建設コ

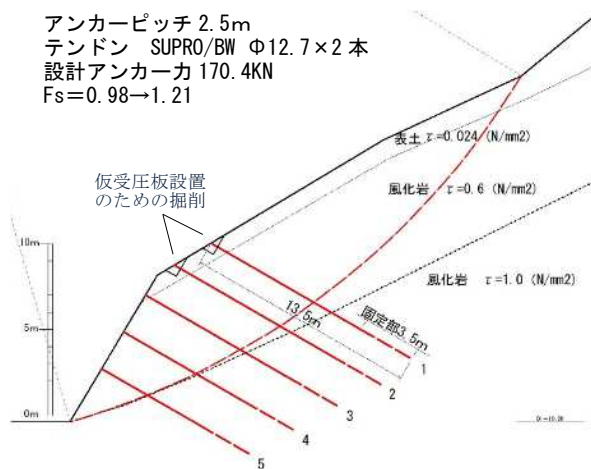


図-5 受圧板が不要なケース

ストも従来型アンカーより低コストとなる。

アンカー工に求められる耐久性は、本来数世紀以上の長期間と考えられるが、本アンカーは、その耐久性を達成できる可能性がある。現在のアンカー工の耐久性上の弱点である受圧板やクサビなどの頭部構造物が無いためである。

(2) 受圧板が必要なケース

移動土塊が軟質である場合、移動土塊部分の定着力だけでは耐力が不足する。図-6に示した地盤の場合、移動層がN値20程度の地層なので、受圧板が無ければ、 $F_s=1.13$ までしか安全率は向上しない。そこで、地表部に1.0m×1.0mの小型の受圧板を設け、50~200kNの耐力を付加した。N値5の地層箇所では1枚当たり50kN、N値20の箇所では200kNの許容支持力である。

その結果、安全率は $F_s=1.25$ に向上し、十分な抑止効果がある。なお、受圧板の支持力と地中部分の鋼材の定着力を合算する手法は、地盤工学会の補強土工法に関する設計法で採用されている⁴⁾。

図-6に示したアンカーの場合、従来型アンカーより受圧板を小型化することが出来るので、受圧板を耐食性に優れた製品(一般的に高価格)としやすいメリットがある。また、従来型アンカーで課題となっている緊張力の低下はほぼ発生しない。長期使用によるPC材のリラクセーションは、本アンカーの場合には全区間のPC材が孔壁に付着しているのでアンカーの劣化要素とはならない。本工法の建設コストは、従来工法と同等程度と考えられる。

なお、移動層の極限周面摩擦抵抗が小さい場合、本工法の採用メリットは現時点では不明である。移動層が軟質であると、受圧板が沈下し、アンカー力の低下が起きやすいが、本工法の場合は、移動層

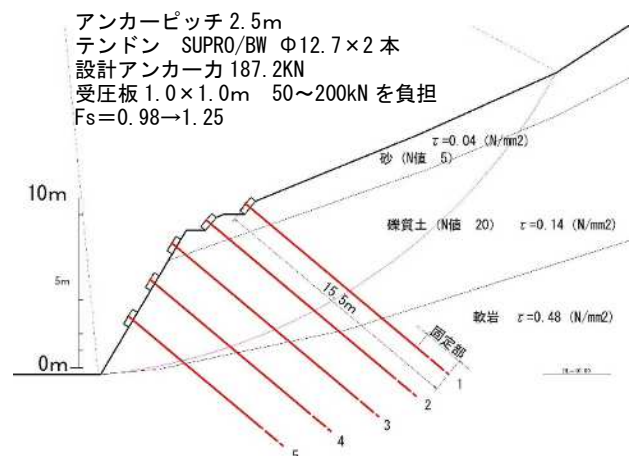


図-6 受圧板が必要なケース

とテンドンが $F_s=2.5$ の周面摩擦抵抗で一体化して

いるので、アンカー力の低下が起きにくい可能性がある。ただし、この点に関しては今後の研究が必要である。

7. 設計法

本アンカーの設計は、補強土工とアンカー工の2つの設計手法を組み合わせで行う。基本的には、アンカーの設計手法を優先採用するが、アンカー1本ずつの耐力は下記①から④の最小値とする。①テンドン耐力、②テンドンとグラウト材の付着力、③移動土塊部分の地盤との付着力、④不動土塊部分の地盤との付着力である。このため、各アンカーの設計引張り力は、それぞれ異なることになる。また、設計に当たっては、次の点を検討する必要がある。

(1) 主測線と側部の地質が著しく異なる場合

従来型のアンカーの場合は、主測線で算定した結果を側部についても同じ規格で適用することが一般的である。ところが、本アンカーでは、例えば地すべりの場合、側部に近づくほど移動土塊の厚さが薄くなり、地層も軟質になるので、そのような部分には、主測線の算定結果で受圧板が不要であっても、受圧板を設置する必要がある。

(2) 地盤が堅固な場合

対策を実施する地盤が堅固であれば、移動土塊が薄い両側部を除いて、主測線付近の設計仕様を適用可能である。ただし、この場合、例えば本アンカーの打設範囲が移動土塊幅の8割とすれば、アンカーの抑止力を1.25倍($1 \div 0.8 = 1.25$)にするなどの処置が必要である。

地盤が硬質であっても、地すべりの末端付近では移動土塊が薄く十分な長さの定着区間が取れない場合があるので、この様な箇所では受圧板を設けるか、設置位置を定着区間が取れる上部に変更する必要がある。図-5で従来のアンカー工では施工しない上部の自然斜面に位置を変更した(アンカー番号1・2)はその事例である。

8. 施工の留意点

本アンカーの施工に関する留意点について述べる。使用機材は2点を除いて従来型アンカーと同じものを使用出来る。機材が異なる点は、スクイズポンプが必要な点と、一定荷重を維持できる装置が必要な点である。

①グラウト注入ポンプ

グラウト材が、従来のグラウト材より粘性が高く流れにくいので、グラウト材を押し出すことが可能なスクイズポンプを使用する必要がある。

②二次グラウト

テンドンをグラウト材が固結するまで、一定荷重の状態に保ったまま緊張する必要がある。このため、仮受圧板を設置する箇所の地耐力が十分有れば、グラウト材が固結する短い時間では、アンカー緊張力の低下は無視できる程度なので、荷重を掛けた状態のまま二次グラウトを実施することが出来る。

仮受圧板背面の地耐力が小さければ、緊張中に荷重が低下するので、ジャッキ荷重を一定にする装置(一定荷重装置)を組み合わせる必要がある。超早硬セメントを使用した場合は、2時間ほどで固結するので人力での制御も可能である。一方、特殊配合早強セメントを使用した場合は、作業が10時間にも及ぶので既に開発されている自動一定荷重装置を使用する必要がある。

③適性試験や確認試験は、二次注入前に実施する必要がある。二次注入後にはこれらの試験は実施できない。

9. 設計に関する考察

本アンカー独特の固定部の取り扱いと、受圧板を使用した場合の設計アンカー力について考察する。

(1) 固定部

固定部は、二次グラウト時点では仮設構造物として算定するが、完成後は従来型アンカーよりも逐次破壊が起きない定着部としても機能する。図-7は、従来型アンカーの定着部で逐次破壊が進行し、アンカーが抜ける直前の状態と、同程度の年月が経過した等付着型アンカーの固定部における周面摩擦の分布状態を考察したものである。

従来型アンカーでは逐次破壊が地表側から深部にまで進行し¹⁾定着部が地盤から抜ける恐れがある状態を記載した。同じ時期に等付着型アンカーの固定部では逐次破壊が起きない。それは、等付着型アンカーでは、固定部より地表側のテンドンが地盤に固定されているためである。施工直後に固定部の地表側部分で短い区間に集中応力が発生するが、時間経過に伴って破壊が起きた区間がしだいに長くなり、固定部の集中応力はこの長さに応じて分散するためである。

従来型アンカーでは、逐次破壊が進行しても自由

長部に引張力があるため、新たに定着部に大きな緊張力が作用するが、等付着型アンカーでは、固定部に新たな緊張力が作用しない点が異なる。

この様に、従来型アンカーの定着部と等付着型アンカーの固定部では周面摩擦抵抗の分布が異なり、固定部の方が従来型アンカーの定着部より長期的に安定である。この様な点を考慮し、等付着型アンカーでは、固定部を有効活用できる方法もあると考えられる。

すなわち、従来型アンカーの設計では、すべり面の凹凸を考慮してすべり面から 1.0~1.5m以上奥に定着部を配置するが、本アンカーでは、固定部区間が従来型アンカーの定着部以上の効果を発揮するので、実質的に余長は考慮しなくとも良い場合があると考えられる。一方、アンカー余長を採用すれば、固定部は定着部の一部として算定可能な場合も考えられる。ただし、地盤状況によっては、安全性に配慮し従来型アンカーの余長+定着部のさらに深部に固定部を設ける手法も考えられる。

固定部の取り扱いをどうするかは、今後の課題である。

(2) 受圧板

受圧板を使用した場合の本アンカーの設計力は、受圧板を使用しないケースに単純に受圧板の支持力

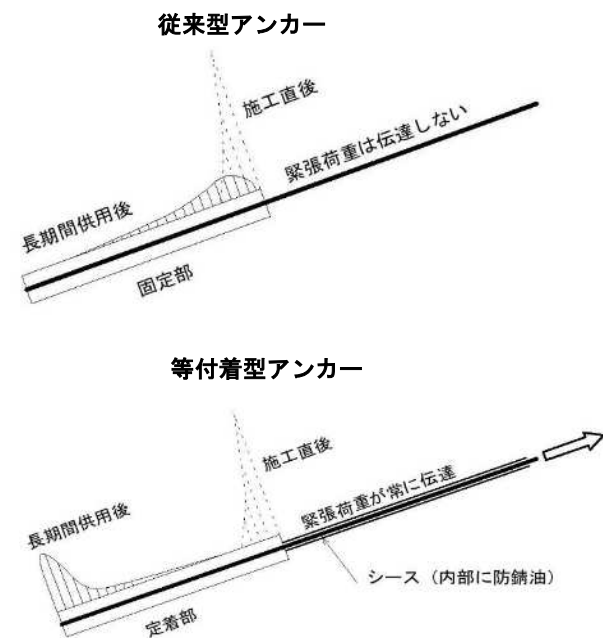


図-7 従来型アンカー定着部と固定部の応力変化

を付加して良いと考えられる。受圧板に荷重が作用する事態は、等付着型アンカーでは移動土塊の大変形が起きた事態であり、テンドンの周面摩擦と受圧

板の双方に荷重が作用するためである。斜面構造物の場合にはこの変形段階でも効果を発揮することが期待されている。

本アンカーの周面摩擦抵抗の安全率は、開発当初の段階で従来型アンカーの定着部と同じ $F_s=2.5$ を採用する。一方、本アンカーでは逐次破壊が進行しないので、周面摩擦抵抗の安全率をもっと小さな値でも良いと考えられる。ただし、この点に関しては、今後の研究成果を待つこととする。

9. まとめ

従来型アンカーは、アンカー工で最も重要な定着部に、逐次破壊が起きる¹⁾。この問題の解決手法として、図-2 に示した等付着型アンカーを開発し、現在実用化できる段階に至っている。

このアンカーは、逐次破壊が起きない他に、劣化しやすいために補修が必要なアンカー頭部の構造を簡略化でき、従来型より長期的な安定を確保できる利点もある。地盤条件が良ければ、アンカー工で必須である受圧板も省略出来るため、維持管理費と建設コストの縮減も可能である。

アンカー工の維持管理段階で認められる緊張力の低下原因として受圧板背面の地盤が軟質なために起きる沈下が指摘されているが、等付着型アンカーでは、沈下の影響を受けない移動層にも定着するため、緊張力の低下は少ないかほぼ発生しない。

設計においては、本工法に従来型アンカーの概念をそのまま適用できないので、今後の研究成果を踏まえながら設計法を取りまとめる必要がある。

維持補修費を縮減でき、かつ長期的な供用が可能なアンカーとして社会に役立つことを期待したい。

参考文献

- 1) グラウンドアンカー設計・施工基準, 同解説 公益社団法人地盤工学会 pp. 158-159, 2001.
- 2) 中村浩之: アンカー工の概論 (その 2), 地すべり技術 12 巻, 2 号, pp. 21, 1985.
- 3) フィルコン S スーパー技術資料 住友大阪セメント株式会社 p. 4, 2009.
- 4) 地山補強土工法 設計・施工マニュアル 公益社団法人地盤工学会 pp. 88-89, 2011.