

## 6. グラウンドアンカー破断・変状要因のパターン化にむけて

Towards the patterning of ground anchor breakage and deformation factors

○岡村 洋 ((株)地研), 原田敏雄 ((株)エスイー)

### 1. はじめに

グラウンドアンカー工(以下アンカー工)は、古くから切土のり面等の安定化を図る工法として広く採用され、地域問わず全国に存在する。平成2年以前のアンカーは、防錆性能が低く腐食による鋼材の破断や変状の損傷が表面化している。一方、平成2年以降のアンカーは防錆性能が向上しているものの、残存引張力の減少や増加などのり面締め付け効果の低下が多いことも判明してきた。今後益々アンカーの老朽化が進行し、アンカー機能障害が多くなることが想定され、アンカーの適切な維持管理を行うことが課題となってきたことから、アンカー点検の重要度が増してきている。

アンカー工の点検手法としては、目視、打音等の簡易点検調査に加え、アンカー残存引張力の計測等の健全性調査が実施されている。引き抜き試験では、アンカー残存引張力が大きくなる過緊張状態のものやアンカー材が破断しているもの、逆に残存引張力が大幅に小さい緊張力低下など、アンカーの様々な障害が確認されている(写真-1)。また平成29年には、アンカー材の破断によりアンカー頭部を保護していたコンクリートが落下し、通行していた車両に損傷を与える事案も発生している<sup>1)2)</sup>。



写真-1 アンカー変状例(引き抜き)

現在、アンカーの破断・変状の要因については、斜面変状等自然条件の要因に対して、詳細に体系化されたものはなく、今後の適切な維持管理や地質調査、変状アンカーの対策工設計・施工を視野に入れた場合、アンカー破断・変状要因をパターン化することは、効率的な変状原因の箔や対処方法の検討など斜面保全の一助となると考えらえる。

本稿では、アンカー工の変状調査、地表踏査、地質調査、動態観測結果からグラウンドアンカーの破断・変状要因を考察した事例を紹介し、要因のパターン化を進める上での留意点について整理したものである。

### 2. 部材別のアンカーの破断状況

海外の「グラウンドアンカー破断事故調査委員会報告」によれば、アンカーの破損箇所は、頭部で10.5%、頭部背面で52.6%、自由長部で31.6%と頭部付近及び自由長部で破損の約95%を占め、定着部での破断は5%と報告されている<sup>3)</sup>。日本国内でも「グラウンドアンカー維持管理マニュアル」編集委員会の調査で、同様の傾向であったことが報告されており、定着部以外のアンカー維持管理が重要であることを示している<sup>4)</sup>。

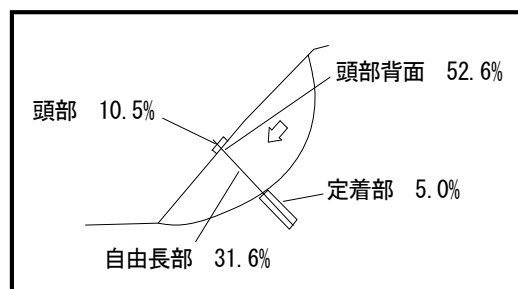


図-1 破断箇所別の割合

### 3. アンカー変状事例

以下にアンカーに変状が現れたのり面の事例を挙げ、破断・変状要因を考察する。

#### 3-1. 調査地概要

調査地は高知県中央部に位置する国道のり面である(図-2, 写真-2)。こののり面は平成4年に道路拡幅に伴い斜面末端を切土した法面で、高さは26m程度、脚部には高さ5mの山留擁壁が施工されている。アンカー工はのり面切土施工中に変状が現れたことから実施された対策工で、現場打ち吹付法枠の交点部とコンクリート擁壁に施工されている。施工数は全13段で、法枠交点に

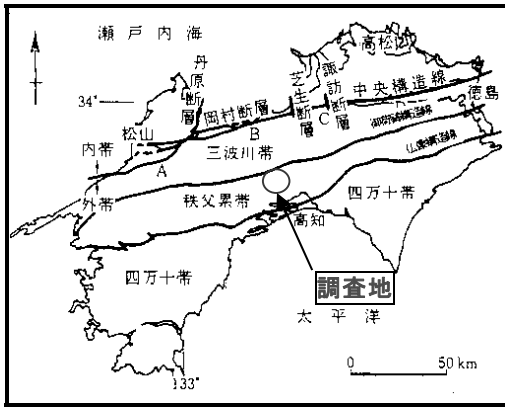


図-2 調査位置<sup>5)</sup>



写真-2 調査地全景

10段(97本), 山留擁壁に3段(36本)の合計133本である。アンカーは平成4年に設計されており, 平成4~5年頃の施工である。なお, アンカー材は, 法枠部は「SEEE F50TA」, 擁壁部は「SEEE F130TA」であった。なお調査地の地質は, 秩父累帯秩父垂带上八川層に区分され, 泥岩とチャートよりなる。

### 3-2. 調査方法

調査地の調査は, 現状調査と詳細調査を実施している。

#### (1) 現状調査

現状調査では, アンカー全数133本の外観目視点検を実施し, 法面全体の残存引張力の状況を把握することを目的に, のり面全体を網羅する22本選定して頭部露出点検と小型軽量のSAAMジャッキを用いたリフトオフ試験を実施した。引抜けが確認されたアンカー1本については引抜き, 破断状況の確認を行った。また, 周辺の地表踏査も実施した。

頭部露出点検でアンカー材が設計資料と相違のないことを確認し, リフトオフ試験時の計画荷重は設計資料を基に決定している。リフトオフ試験で確認された残存引張力は「グラウンドアンカー維持管理マニュアル<sup>6)</sup>」に基づきアンカー健全度を評価している(表-1)。

#### (2) 詳細調査

詳細調査では, 現状調査でアンカー変状の要因が地すべりによる斜面変状であると推定されたことから, 地すべり調査(調査ボーリング, 孔内傾斜計と地表伸縮計による動態観測, 地下水位観測)を実施している。

### 3-3. 外観目視点検とリフトオフ試験結果(現状調査)

調査地では, アンカー全数の頭部及び外観目視点検を実施し, 法面全体の残存引張力の状況を把握することを目的に, 22本のリフトオフ試験を実施した(図-3参照)。

外観目視点検の結果, 133本中33本で異常が確認された。主な異常としては, アンカーの抜け1本, プレートの浮き22本, プレートの傾き5本などである。

一方, リフトオフ試験では, 起点側法面下段において多くのアンカーで過緊張状態であることが確認された。また, 終点側の法面下段においても過緊張となっているアンカーが確認されたが, 斜面上部では残存引張力は減少している傾向がみられた。アンカー健全度評価(表-1)では, 破断アンカーは対策が必要とされる「E+」評価, 12本で経過観察が必要とされる「B+, B」評価と判定される。残り10本は健全とされる「A」判定となった。

引抜けが確認されたアンカーは引抜き, 破断面を確認した。破断箇所は下部マンション付近で, 破断面は錆があるものの腐食の程度は低く, 延性破断の特徴であるカップアンドコーン型の形状が確認された(写真-3)。また, 調査地周辺の法枠工や擁壁工の亀裂分範囲や上方斜面の段差地形から, 斜面上方と横方向にすべりの拡大が推定された(図-4)。

表-1 アンカー健全度評価<sup>6)</sup>

残存引張力の範囲	健全度	状態	対処例
0.9 Tys	E+	破断の恐れあり	緊急対策を実施
1.1 Ta	D+	危険な状態になる恐れあり	対策を実施
許容アンカー力 (Ia)	C+	許容値を超えている	
設計アンカー力 (Id)	B+		経過観察により対策の必要性を検討
定着時緊張力 (Pt)	A+	健全	
0.8 Pt	A-	健全	
0.5 Pt	B-		経過観察により対策の必要性を検討
0.1 Pt	C-	機能が大きく低下している	対策を実施
	D-	機能していない	

### 3-4. 地すべり調査結果(詳細調査)

現状調査で複数のアンカーに変状が確認され、すべりの拡大が推定されたことから、詳細な地すべり調査を実施した(図-4)。ボーリングはアンカー施工範囲内で1箇所、拡大すべり内のアンカー未施工範囲で2箇所実施し、孔内傾斜計による動態観測と地下水水位観測を実施している。

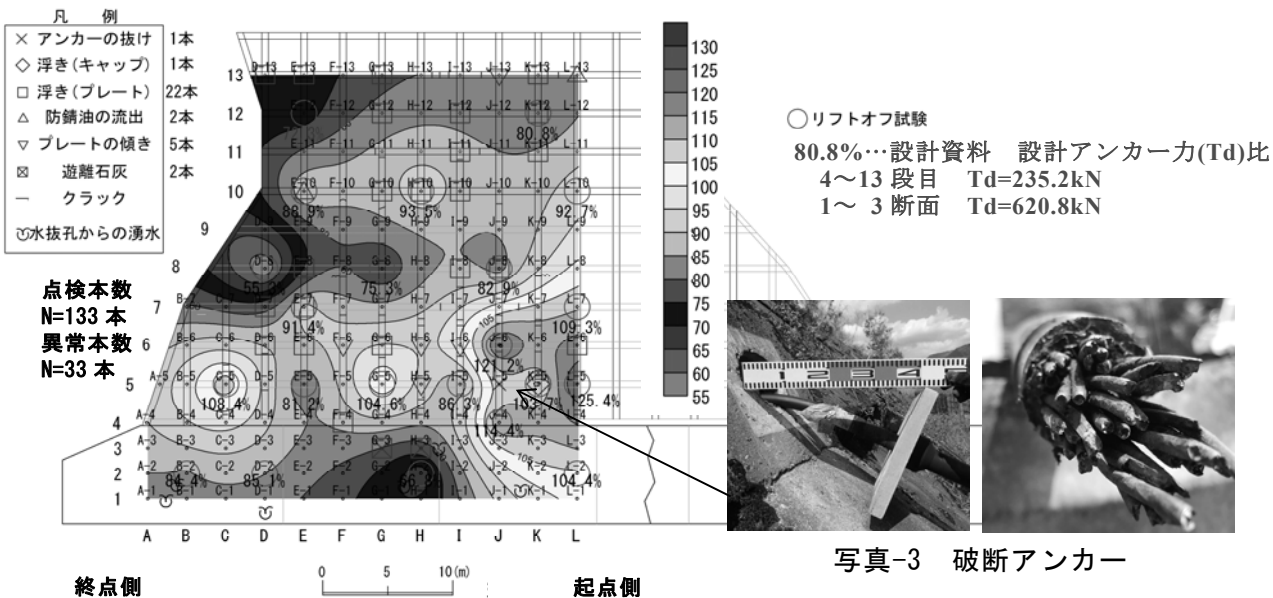


図-3 リフトオフ試験位置と結果

ボーリングでは、のり面上部では転石を含む崖錐堆積物が、のり面中～下部では比較的硬質な泥岩が確認された。全体的には硬質な泥岩であるものの、部分的に粘土状コアを挟み、動態観測においても、年0.1mm程度の変位(粘土状コア部付近)が確認された。

また、地下水水位観測においては、連続雨量200mm程度で地表面近くまで上昇する被圧水頭が確認された。

### 3-5. アンカーの破断・変状に関する考察

以下にアンカー破断・変状要因を整理する。

- ①すべりは上方ならびに横方向だけでなく、深度方向への拡大も判明した(図-5)。
- ②設計時の地下水は、小雨期に実施されたボーリング掘削中に確認された地下水水位を用いており、すべり面にほとんど影響しない水位であった。しかし観測では、地表面近くまで上昇する被圧地下水が確認されている。このため、アンカーに設計時の想定よりも過剰な応力が作用し、変位が現れたと考えられる。
- ③法枠部10段と擁壁部3段のアンカー抑止力を比較するとほぼ等しく、擁壁天端付近から上方10段ですべり力の50%程度受け持っている状態である。これは、擁壁天端付近ののり面下段に作用する荷重が多く残っていることを示唆しており、これにすべりの拡大に伴う応力が追加されると、より強い応力が作用して跳ね上がりすべりを発生させる可能性がある(図-5)。これは下段付近のアンカーに過緊張が確認されたことと符合する。
- ④プレートの浮きや傾きが見られるアンカーは200kN程度の残存引張力が確認された。この要因としてはプレートが全面の浮きでないこと、人力でのプレート回転は不可能であったこと等を考慮すると、法枠の不陸や施工時の傾きと判断される。

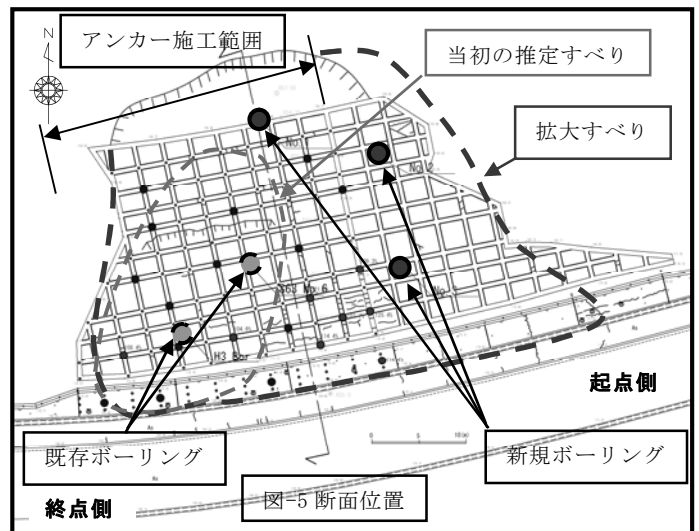


図-4 推定すべり形状平面

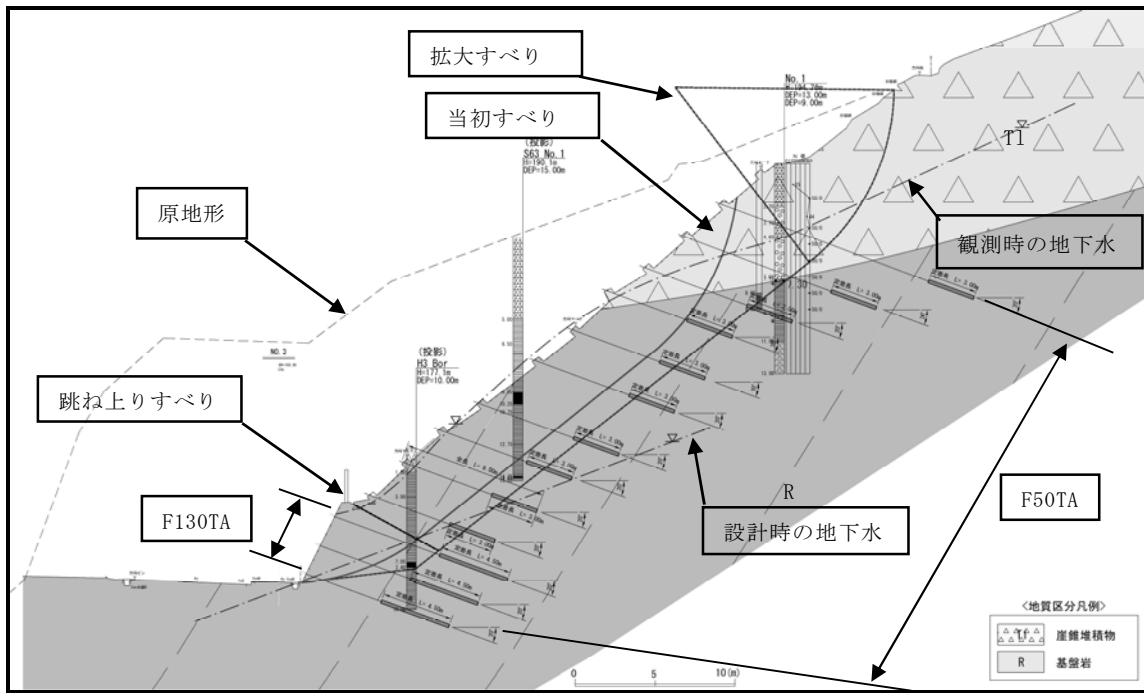


図-5 推定地質断面とアンカー工配置

#### 4. アンカー破断・変状要因のパターン化に向けて

アンカーの変状要因は大きく分けて2つに大別される<sup>7)</sup>。

##### ①斜面安定に起因する変状

(抑止力不足・アンカー機能低下による斜面不安定化)

##### ②アンカー工本体の劣化・老朽化および施工不良による変状

(頭部の損傷腐食・テンドンの腐食破断等)

アンカーの破断・変状要因のパターン化においては、比較的軽微な変状のものから、破断や引き抜け等の完全に機能を失う重大な変状を受けているアンカーまで、様々な状態のアンカーにおいて実施した点検・健全性調査(現状調査・詳細調査)結果より、21の要因を推定した。

パターン化に際しては、今回のような健全性調査(現状調査・詳細調査)を実施していない場合、斜面やアンカーの状態が精度よく推定できないことも考えられ、十分なパターン化が行えないことも考えられる。また、21のケースに分類しているが、破断等の変状は複数ケースによる複合的な要因である場合もある。表-1に作成したアンカー破断・変状要因の模式を示す。

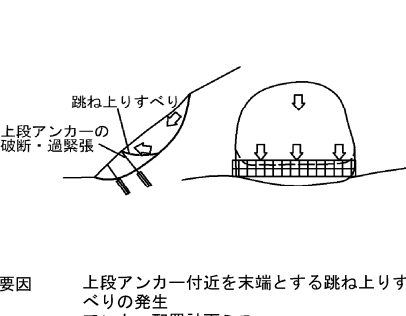
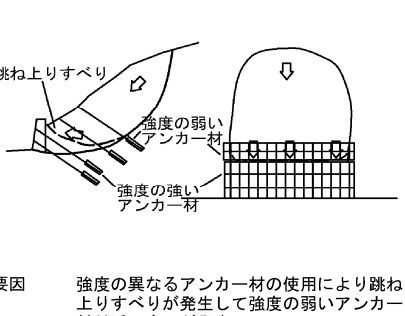
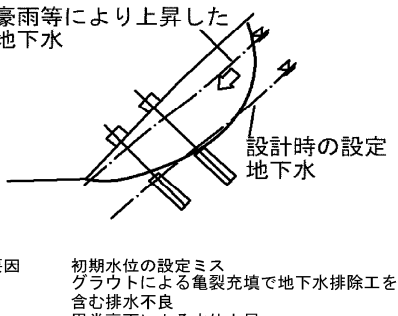
表-1 アンカー破断・変状の要因のパターン化(1)

ケース1 定着初期の変状(1次低下)	ケース2 定着初期以降の変状(2次低下)	ケース3 アンカー防錆機能の低下
<p>要因</p> <p>①定着地盤、②受圧板背後地盤のクリープ、③鋼材のリラクゼーション、④定着部のセットロス、⑤地盤のゆるみ 施工不良では程度が大きくなる</p>	<p>要因</p> <p>①受圧板背後地盤のクリープ、②定着地盤の劣化、③受圧板の沈下及び背後地盤の空洞化</p>	<p>要因</p> <p>アンカー防錆機能低下による破断 旧タイプアンカー、腐食環境下のアンカーに多く発生</p>

表-1 アンカー破断・変状の要因のパターン化(2)

<p>ケース4 定着部の劣化に伴うアンカー変形</p> <p>①自由長短 引き抜け</p> <p>②自由長長 (定着部機能) 破断</p> <p>①定着部の劣化に伴う引き抜け ②自由長部の破断</p> <p>要因 自由長の短いアンカーの引き抜けが著しい。長い場合には効力を維持する必要がある。岩種によっては1本当りの緊張力を小さくする対応が必要</p>	<p>ケース5 自由長の長短による伸び量の相違</p> <p>要因 アンカー自由長の相違による伸び量の相違 自由長の短いアンカーから破断</p>	<p>ケース6 定着層の摩擦抵抗不足 (<math>\tau</math> 値)</p> <p>定着部の抜け</p> <p>要因 定着地盤の違いによる摩擦抵抗不足により定着体が引き抜ける状態となり、緊張力が減少して頭部に変形が発生する 定着地盤設定ミス</p>
<p>ケース7 緊張力不足が起こすセン断破断</p> <p>軟(移動層)</p> <p>硬岩(不動層)</p> <p>セン断発生</p> <p>要因 自由長の長いアンカーにおいて緊張力の低下、変形が進行することによってすべり面付近でセン断破断が発生する</p>	<p>ケース8 斜面変状に伴う荷重変化による変状</p> <p>施工後地形</p> <p>変形後地形</p> <p>セン断発生</p> <p>要因 各アンカー材に材料の屈折に伴う伸び等により特性の変化が発生。斜面変状に伴いアンカー材の変形やセン断作用が生じ、破断や変形が発生(緊張力不足)</p>	<p>ケース9 切土斜面の応力開放に伴う定着部劣化</p> <p>原地形</p> <p>ゆるみ域小の定着</p> <p>ゆるみ域大の定着</p> <p>要因 切土斜面の応力開放によるゆるみの相違により定着部の劣化に相違が発生</p>
<p>ケース10 地すべり範囲の拡大(上部斜面)</p> <p>実際</p> <p>想定</p> <p>増破</p> <p>踏査不足による設定ミス</p>	<p>ケース11 地すべり範囲の拡大(横方向斜面)</p> <p>実際</p> <p>想定</p> <p>増破</p> <p>踏査不足による設定ミス</p>	<p>ケース12 すべり面の変化</p> <p>実際</p> <p>想定</p> <p>脆弱な地盤</p> <p>要因 脆弱な地盤に伴うすべり面変化 すべり面の遷移   定着長不足と すべり面設定ミス   アンカー力不足</p>
<p>ケース13 アンカー施工範囲不足</p> <p>未施工</p> <p>施工</p> <p>未施工</p> <p>地すべりブロック全体に施工が原則</p>	<p>ケース14 アンカー打設方向とすべり方向の相違</p> <p>想定のすべり方向</p> <p>実際のすべり方向</p> <p>地すべり方向設定ミス(測線設定ミス) 角度補正不足</p>	<p>ケース15 ケース14で側部に泥がある場合等</p> <p>脆弱な地質</p> <p>拡大</p> <p>泥地形</p> <p>地すべり方向設定ミス(測線設定ミス) 角度補正不足 施工後における移動方向の変化</p>
<p>ケース16 引張ゾーンでの施工</p> <p>全面のバランスが崩れる</p> <p>沈下方向へ作用</p> <p>アンカーの緊張成分が下方へ作用して地すべり推力となる 地すべり圧縮部での施工が原則</p>	<p>ケース17 アンカー施工段数不足</p> <p>無いに等しい</p> <p>すべり面形状(特に椅子型すべり)によっては、末端アンカーが無いに等しい状況となり、抑止力不足となる アンカー配置ミスやすべり面形状推定ミス</p>	<p>ケース18 1段施工による面的抑止効果不足</p> <p>アンカー1段施工による面的抑止効果の不足によってバランスが崩れやすい 1段施工を可能な限り避け面的に抑止 (千鳥配置や連続受圧板施工)</p>

表-1 アンカー破断・変状の要因のパターン化(3)

ケース19 跳ね上りによるアンカー変形	ケース20 異なるアンカー材強度による変形	ケース21 水位上昇による変状
 <p>要因 上段アンカー付近を末端とする跳ね上りすべりの発生 アンカー配置計画ミス</p>	 <p>要因 強度の異なるアンカー材の使用により跳ね上りすべりが発生して強度の弱いアンカー材付近に変形が発生</p>	 <p>要因 初期水位の設定ミス グラウトによる亀裂充填で地下水排除工を含む排水不良 異常豪雨による水位上昇</p>

## 5. まとめ

アンカー変状事例より、以下のことが改めて確認できた。

- ①地すべりが拡大することにより、アンカーは過緊張となり、破断や引き抜けが生じる。
- ②地下水位設定の重要性(難しさ)。
- ③アンカー緊張力はバランス良く作用させる必要がある。

本稿では、アンカーの破断・変状要因を21に分類した。アンカーはこれまで多くの施工実績があり、斜面安定に大きく寄与している。今後はますます維持管理が重要となる一方で、施工年数の経過により多くの変状アンカーの顕在化が想定される。また、点検から健全性調査(現状調査)まで行われても、健全性調査(詳細調査)まで実施されたケースはまだまだ少なく、今回パターン化した要因に該当しないケースも今後確認される可能性がある。

維持管理段階で確認された破断・変状要因を分析・評価することで、対策に向けた調査・設計にフィードバックされ、効果的な変状のり面対策につながるものと確信している。また、調査・設計・施工の各段階の資料は適切な点検の実施を計画する上で重要であり、保管やデータベース化が必要である。今後、破断・変状要因のパターン化を更に進め、各パターンの問題点の更なる整理、記載、対策などを整理していく予定である。

## 文献

- 1) 国土交通省近畿地方整備局福知山河川国道事務所(2017): 国道9号福知山市岩井における法面からのコンクリート片落下について, 平成29年度 記者発表一覧
- 2) 井尻 和秀・安藤 一行(2018): 旧タイプアンカー部材(PC鋼棒)の破断について, 平成30年度近畿地方整備局研究発表会, 一般部門(安全・安心) I :No. 06
- 3) FIP(国際プレストレストコンクリート連盟)(1986): グラウンドアンカー破断事故調査委員会報告
- 4) 独立行政法人土木研究所, 一般社団法人日本アンカー協会共編(2008): グラウンドアンカー維持管理マニュアル, 鹿島出版会, p. 121
- 5) 須鎗和巳・岩崎正夫・鈴木堯士共著(1991): 「日本の地質8-四国地方」, 共立出版, p. 26
- 6) 独立行政法人土木研究所, 一般社団法人日本アンカー協会共編(2008): グラウンドアンカー維持管理マニュアル, 鹿島出版会, p. 74
- 7) アンカーアセットマネジメント研究会(2018): SAAM システムを用いた既設アンカーのり面の面的評価マニュアル(案)-地質から見た「アンカーのり面評価」に向けて-, p. 2-8