

7. 既設アンカー長の探査事例と対策工設計について

7. About the exploration example of the existing anchor length and the design of countermeasures

○岡村 洋, 山本亮輔 ((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変状や破断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、アンカーの老朽化が更に進行し、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、適切な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。リフトオフ試験では、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、一方で残存引張力が小さくなる緊張力低下など、アンカーの様々な障害が確認され、異常が確認されたのり面の一部では対策工の計画・施工が行われてきている。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、通行車両に損傷を与える事案も発生している¹⁾²⁾。

本稿で紹介するのり面は、アンカー工に異常が確認され、破断アンカーを引き抜いたところ、設計アンカー長と施工アンカー長が異なることが判明し、既存対策工の再評価が必要となった。このため既設アンカー長を衝撃弾性波探傷試験により探査し、確認した長さより既存アンカー工の再評価を行い、対策工見直し設計に反映した事例である。

2. 調査地概要

調査地は高知県中央部に位置する国道山側のり面で、のり面は道路拡幅に伴い斜面末端を切土した箇所であり、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(図-1, 写真-1)。アンカー工はのり面切土施工中に発生した変状に対する対策工で、現場打ち吹付法枠工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、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」と異なる部材であった。

調査地の地質は、秩父累帯秩父垂帯上八川層に該当し、周辺では比較的硬質な状態である千枚岩化した泥岩とチャートである。

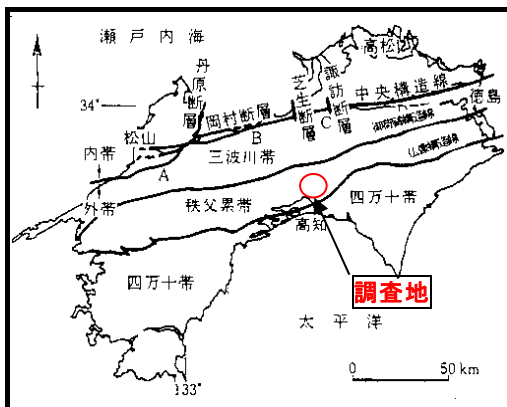


図-1 調査位置³⁾



写真-1 調査地全景

3. アンカー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、のり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-2参照)。

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-」評価となる。残り10本は健全とされる「A-」判定となった。

表-1 アンカー健全度評価⁴⁾

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	経過観察により対策の必要性を検討
設計アンカー力 (Id)	B+		
定着時緊張力 (Pt)	A-	健全	
	A-	健全	
0.8 Pt	B-		経過観察により対策の必要性を検討
0.5 Pt	C-	機能が大きく低下している	対策を実施
0.1 Pt	D-	機能していない	

引拔けが確認されたアンカーを引抜き、破断面を確認した。破断面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-2)。破断したアンカーの長さは設計資料では9.0mであったが、引抜いて確認した長さは12.6mと3.6m長いことが判明した。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ブロックの拡大が推定された(図-3)。なお、プレートの浮き、傾きは調査の結果、法枠の不陸や施工時の傾きと判断された。

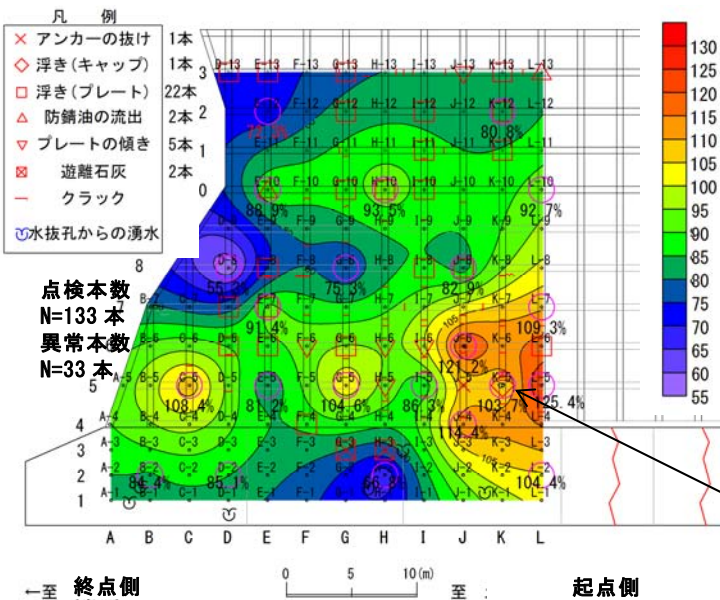


図-2 リフトオフ試験位置と結果



写真-2 破断アンカー

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位観測を実施している。

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C_L~C_M級の泥岩が確認された。硬質な泥岩であるが、部分的に粘土状コアを挟み、動態観測で0.1mm/年程度の変位が確認された。

また、地下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。

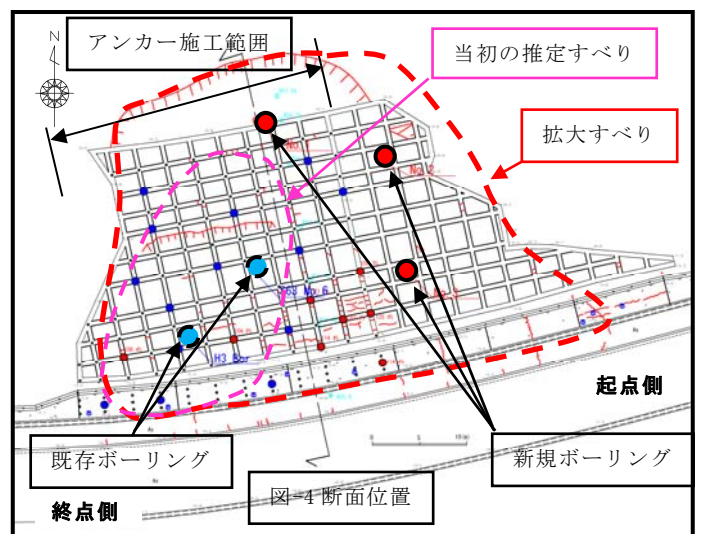


図-3 推定すべり形状平面

5. アンカーの破断・変状と既存アンカーに関する考察

以下にアンカー破断・変状要因を整理し、既存アンカーの問題点を整理する。

- 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推定された(図-4)。
- ②設計時の地下水は、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、アンカー設計時の想定よりも過剰な間隙水圧が作用していると考えられる。
- ③下段の擁壁部3段のアンカー抑止力は全体すべりの50%程度受け持っている状態である。このため跳ね上がりすべりを発生させる可能性がある(図-4)。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し、アンカーの破断も跳ね上がりすべりによると推定される。
- ④破断したアンカーの長さが設計延長と異なることから、他段のアンカーの施工延長も設計延長と異なる可能性があるが、設計アンカー長では、長さが不足すると考えられるアンカーは7段となり、拡大すべりに対して既存アンカーの抑止効果を見込めない可能性があった(図-4)。

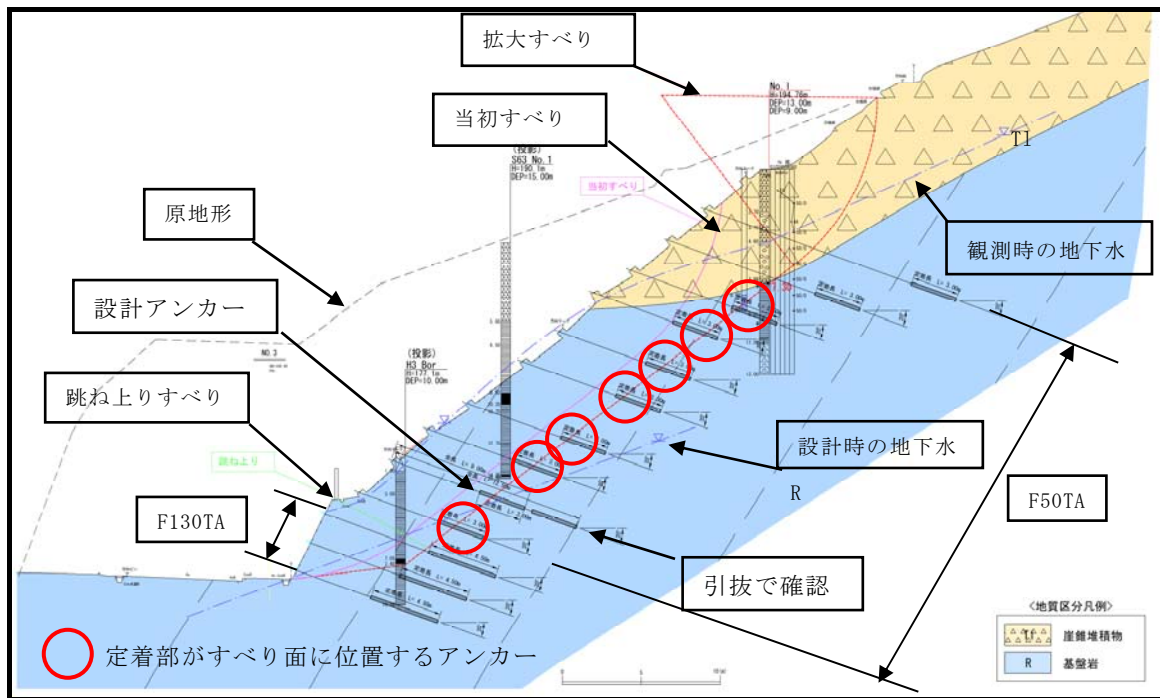


図-4 推定地質断面とアンカー工配置

6. 衝撃弾性波探傷試験

6-1. 探査原理

衝撃弾性波探傷試験は、縦波弾性波(以下弾性波という)の反射原理に基づくものであり、衝撃弾性波法の反射法と言われている。

探査は、探査対象の天端面に受信センサーを鉛直に取り付け、そのすぐ際の表面を鋼製のハンドハンマーで直接打撃して行う。打撃によって発生した弾性波は縦波波動として対象物質の先端へ瞬時に伝搬する(図-5)。もし、伝搬途中に亀裂(ひび割れ等)による損傷がある場合、その箇所では反射が生じる。損傷がない場合は、探査対象物の先端部まで伝搬して反射が生じ、上部へ帰った反射波を受信センサーで検知し、打撃した瞬間から反射波が帰ってくるまでの往復の伝搬時間を計測する。

解析では、計測した反射波の伝搬時間 T と探査対象物の所定の伝搬速度 V_p によって対象物の先端部、あるいはひび割れ等の損傷位置を推定する。

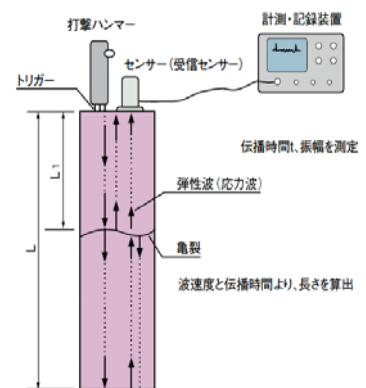


図-5 探査原理

6-2. 探査結果

衝撃弾性波探傷試験は、アンカー長の不足が懸念されるのり面部の10段で、アンカー長を把握して既存アンカーの抑止効果を評価することを目的に実施した。探査では、アンカー先端の地山からの反射波を計測することによりアンカー長を推定した(表-2, 図-6)。

表-2 衝撃弾性波探傷試験結果一覧

No.	設計アンカー長	探査アンカー長	誤差を考慮した アンカー長 (±10%)(m)	備考
	L ₀ (m)	L(m)		
I-13	17.0	21.0	18.9 ~ 23.1	
I-12	13.0	17.3	15.6 ~ 19.0	
I-11	9.8	13.7	12.3 ~ 15.1	
I-10	8.5	13.8	12.4 ~ 15.1	
I-9	8.8	12.5	11.2 ~ 13.7	
I-8	9.3	12.5	11.3 ~ 13.8	
I-7	9.3	13.9	12.5 ~ 15.2	
I-6	9.0	13.8	12.4 ~ 15.1	
I-5	9.0	13.8	12.4 ~ 15.2	横の引き抜いたアンカーはアンカー頭部より12.4mで破断。全長は12.8m程度と推定
I-4	8.5	13.8	12.4 ~ 15.1	

- ① 試験を実施した法枠部のアンカーは全てアンカー長が設計アンカー長よりも長いと推定され、設計長より 3.2~5.3m 程度長い。
- ② 破断が確認されたアンカーと同段である I-5 地点の推定アンカー長は 13.8m である。これは破断アンカーを引き抜いて確認した長さ(L=12.6m 程度)比較すると 1.2m 程度、9%程度長い。(破断アンカー…余長(0.15m 程度)を含めて 12.4m で破断。下部マンション直上の破断で、下部マンション長さはカタログ値 0.385m

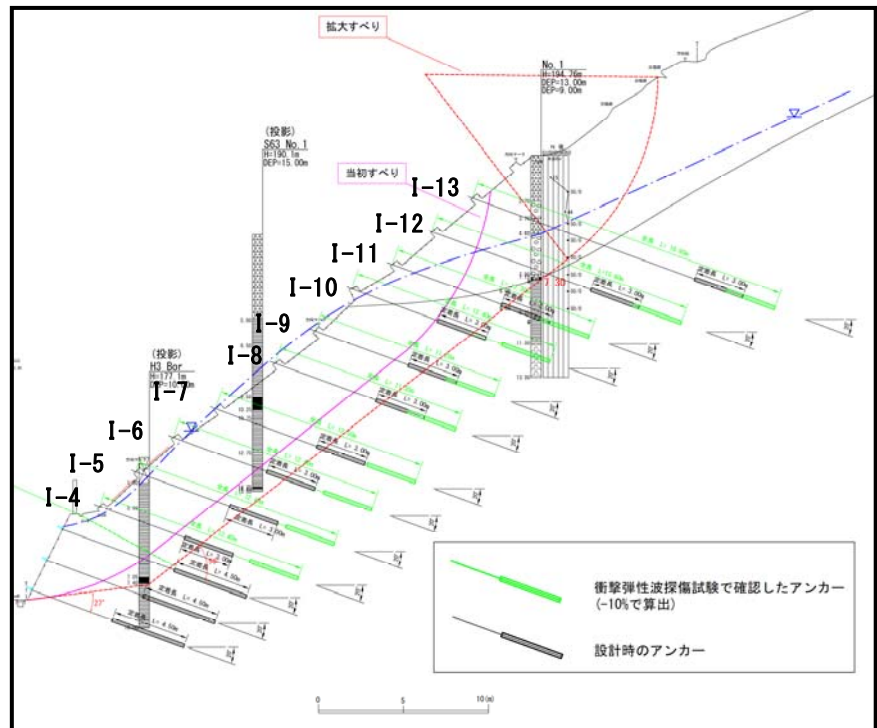


図-6 衝撃弾性波探傷試験結果断面

より、破断したアンカーの長さはL=12.64m程度(図-7))

- ③ 既設アンカーは、試験誤差を10%として考慮した最小長さでも定着部が拡大すべりよりも奥にあり、拡大すべりに対して機能していると判断され、抑止機能を発揮していると評価できる。
- ④ 試験精度は実績や実験より±5%の範囲内とされている⁵⁾が、範囲内に収まらなかった要因としては、アンカー材の伝播速度設定値は経験値より決定しているが、現場条件やアンカー材料、拘束条件などの違いにより、伝播速度が異なる可能性がある。また、列によって異なる延長での施工の可能性も考えられる。



図-7 破断アンカーモード

7. 拡大すべりに対する既設アンカーの抑止効果

現在施工されているアンカー工は、幅約 16m のすべりに対して設計されているが、施工延長は 32m 区間に渡っている。これは設計後のり面施工時に変状が拡大した可能性が示唆される。その後更に拡大したと推定される地すべりは、斜面上方に約 10m、側方約 25m 拡大した幅 52m で、アンカー施工区間からは約 16m 程度の拡大となる(図-8)。幅 52m に対して既設アンカーは 32m 区間での施工であることから、既設アンカーは拡大すべりに対しては 61.5%(32m/52m×100)の抑止効果しか発揮できないと評価した。なお、アンカーの抑止効果については、アンカー工の設計が、解析断面で計算された 1m 当たりの必要抑止力を横方向の間隔と縦方向の段数で配分することや、以降の対策工設計を考慮して、地すべり幅と施工延長で評価した。

対策工設計に当たり、安定解析はスライス分割法を用いて粘着力(c)を層厚より求めて逆算法により実施した。計算の際、現状の安全率に既設アンカー工の抑止効果を考慮するが、せん断抵抗角(ϕ)の値によりアンカーの抑止効果が変わることから、トライアル計算により ϕ を算出し、アンカーの抑止効果を算出した。

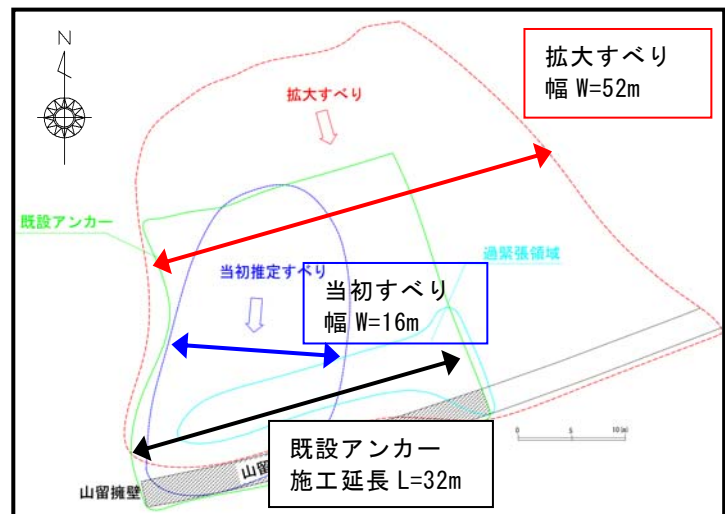


図-8 アンカー施工範囲モード

逆計算時に用いる初期安全率は、頭部に連続して滑落跡が確認されることや、既設アンカーの破断や過緊張状態となっているアンカーがあることから、地すべり活動が示唆されると判断して、現状安全率を $F_s=0.98$ と仮定した。拡大すべりと拡大すべりの跳ね上がりすべりの安全率を比較すると、跳ね上がりすべりの安全率が低いことから、跳ね上がりすべりを $F_s=0.98$ と設定している。これは、アンカーの破断が跳ね上がりすべりによると推定されることと整合している。

8. 対策工設計について

対策工設計に当たり、①地下水位が高い、②既設対策工が存在する、③アンカー工の配置バランス、④アンカー工設計区間毎の抑止力を考慮する必要があった

①地下水位が高い

降雨時に高い水位の被圧地下水が確認され、水位低下時には上昇前の水位まで低下するのに時間を要する。原因としては、①降雨時に地下水が集まりやすい地形であること、②アンカー施工時のグラウト注入により亀裂が充填され地下水の流動が阻害された可能性、③山留擁壁の水抜き孔が土砂により閉塞され、排水機能が低下していることなどが推定されたことから、地下水排除工を採用した。

②既設対策工が存在する

のり面には既設対策工である吹付法砕工とアンカー工が施工されているが、①既設アンカーは機能している、②受圧構造物でもある法砕工がのり面全体に施工されていること、③既設対策工の撤去が困難であることから、のり面内からの施工可能工法で、配置条件や機能面から、

既設の対策工と同じ機能を持つアンカー工を採用した。

③アンカー工の配置バランス

アンカー工の設計は、解析断面で計算された 1m 幅当たりの必要抑止力を横方向の間隔と縦方向の段数で配分して行われる。そのため、アンカー工は、対象地すべり幅の全区間においてバランスよく配置する必要がある。アンカー未施工区間では、アンカー施工済み区間と同程度のアンカーを計画する必要がある。

また、アンカー施工済み区間では、跳ね上りに対して抑止力が不足していることから、追加のアンカーを計画した。

④アンカー工設計区間毎の抑止力

アンカーの抑止力算定は、①拡大すべり(アンカー施工区間、未施工区間)、②拡大すべり跳ね上り(アンカー施工区間、未施工区間)に分け、それぞれの区間に対して、目標安全率を確保できるように配置計画を検討した。検討結果の一覧を表-3 に示すが、追加アンカーが必要な区間は、拡大すべりに対してはアンカー未施工区間のみ、跳ね上りに対しては全区間に対して対策が必要となり、アンカー施工区間、未施工区間で抑止力が異なったため、配置をそれぞれで検討してアンカー工を設計した。

表-3 区間毎の必要抑止力算定結果

すべりブロック	区間	目標安全率 F_sP	現状安全率 F_s	地下水排除後安全率 F_s	必要抑止力 (kN/m)
拡大すべり	全体	1.20	1.08	-	-
	アンカー未施工区間		0.72	0.77	1198.28
	既設アンカー区間		1.30	-	-
跳上りすべり	全体		0.98	1.03	-
	アンカー未施工区間		0.75	0.80	963.45
	既設アンカー区間		1.12	1.17	65.83

9. まとめ

本稿では、アンカーに変状が確認されたのり面で地すべり調査、観測から対策工設計に当たり、衝撃弾性波探傷試験を実施して既設アンカー長を調査し、アンカー変状の原因となっている拡大すべりに対して課題となった既設アンカー工の評価を行い、その評価結果を設計に反映した。

アンカー変状の原因は様々であり、原因究明の調査、のり面对策の設計は様々な手法を用いていくことも必要となる。一方人口減少などにより、維持管理の予算の確保も課題になり、既設対策工を活用していくことも今後重要となると思われる。今後も新規技術や既往技術の応用などの情報を収集し、様々な調査手法をアンカーのり面の維持管理、調査、設計に取り入れていく予定である。

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) 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
- 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. 74
- 5) 青木あすなろ建設(株): 非破壊探査システム(オーリス) <https://www.aaconst.co.jp/technology/renewal/auris/> (2020 年 10 月 12 日閲覧)