

サ　ー　ム
S A A M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「アンカーのり面の評価」に向けて—

平成 30 年 1 月

アンカーアセットマネジメント研究会

協力：一般社団法人 全国地質調査業協会連合会

【 目 次 】

発刊にあたって(酒井編集委員長)

まえがき(編集委員会一同)

第1章 概説

1.1	マニュアルの目的	1- 1
1.2	適用範囲	1- 2
1.3	SAAM システムの概要	1- 2
1.3.1	システムの概要	1- 2
1.3.2	面的調査の特徴	1- 3
1.4	用語の定義	1- 4
1.4.1	調査および面的評価に関する用語	1- 4
1.4.2	使用機器に関する用語	1- 5
1.4.3	残存引張り力確認試験に関する用語	1- 6
1.4.4	アンカー規格に関する用語	1- 7
1.4.5	面的分布図作成に関する用語	1- 8
1.4.6	アンカーの状態に関する用語	1- 8
1.4.7	アンカー材料に関する用語	1- 9
1.5	関連する基準類	1-11

第2章 アンカーのり面の維持管理の基本的な考え方

2.1	アンカーのり面の現状と課題	2- 1
2.2	アンカーのり面の変状と要因	2- 4
2.2.1	アンカーのり面の変状	2- 4
2.2.2	アンカーのり面変状の要因	2- 8
2.3	アンカーのり面の維持管理	2-10
2.4	アンカーのり面の健全性	2-12
2.5	アンカーのり面の健全性調査の基本的な考え方	2-13

第3章 アンカーのり面の健全性調査(現状調査)

3.1	現状調査の基本的な考え方	3- 1
3.2	現状調査の種類	3- 1
3.2.1	現地踏査	3- 1
3.2.2	頭部詳細調査	3- 2
3.2.3	残存引張り力確認試験	3- 2
3.3	調査計画	3- 2
3.3.1	事前調査	3- 5
3.3.2	記録の保存	3- 8
3.4	現地踏査	3- 9
3.5	頭部詳細調査	3-12

3.5.1	調査項目と評価項目	3-14
3.5.2	調査方法	3-16
3.6	残存引張り力確認試験	3-19
3.6.1	使用機器	3-19
3.6.2	試験本数の目安と試験位置	3-22
3.6.3	試験方法	3-23
3.7	アンカーのり面の健全性調査(現状調査)の判定	3-35
3.7.1	残存引張り力によるアンカー健全度の分類	3-35
3.7.2	アンカーのり面の健全性調査(現状調査)結果の判定	3-39
第4章 アンカーのり面の健全性調査(詳細調査)		
4.1	残存引張り力の分布調査	4- 1
4.1.1	分布調査が望ましいのり面	4- 1
4.1.2	調査アンカー位置の選定	4- 1
4.1.3	各種分布図の作成	4- 2
4.2	アンカーのり面の健全性調査(詳細調査)の判定	4- 8
4.2.1	アンカーのり面の緊張力分布タイプの分類	4- 8
4.2.2	アンカーのり面の緊張力分布による健全性評価	4-12
4.3	アンカーのり面の健全性調査(詳細調査)の基本的な考え方	4-14
4.3.1	緊張力増加・混合タイプ	4-14
4.3.2	緊張力低下タイプ	4-15
4.3.3	緊張力安定タイプ	4-16
4.4	その他の詳細調査	4-18
4.4.1	モニタリング	4-19
4.4.2	地質調査	4-36
4.4.3	アンカー材料調査	4-42
第5章 アンカーのり面の健全性評価手法		
5.1	背面地山とアンカー緊張力低下	5- 1
5.2	アンカー荷重と温度との関係	5- 3
5.3	アンカー荷重と温度との相関における評価期間と温度差	5- 5
5.4	アンカー荷重と温度との R^2 の求め方	5- 6
5.5	実測されたアンカー荷重の温度補正	5- 8
5.5.1	計測期間全体での温度補正荷重の求め方	5- 8
5.5.2	1時間ごとの温度補正荷重の求め方	5- 9
5.6	分布調査結果に基づくアンカーのり面の健全性評価	5-11
第6章 むすび		
		6- 1

【 コラムの目次 】

◇外力破断と劣化破断◇	2- 9
◇アンカーのセンサー的機能◇	2-15
◇維持管理におけるアンカー番号◇	3- 4
◇頭部コンクリートの露出処理◇	3- 7
◇アンカーの抑止効果と現地踏査における留意点◇	3-11
◇頭部詳細調査における変状事例◇	3-13
◇目的別リフトオフ試験◇	3-20
◇余長なしアンカーの対応について(SAAM-A)◇	3-24
◇載荷速度による残存引張り力評価の影響◇	3-25
◇残存引張り力確認試験の荷重-変位曲線と残存引張り力◇	3-27
◇予備載荷の必要性和除荷時の変曲点◇	3-28
◇逆算テンドン自由長の評価(その1)◇	3-30
◇逆算テンドン自由長の評価(その2)◇	3-31
◇追加対策時におけるアンカー緊張力の変化について◇	3-38
◇分布調査の調査箇所割合と分布図◇	4- 2
◇設計諸元が不明な場合の残存引張り力の健全度判定区分◇	4- 7
◇アンカーのり面の緊張力分布とのり面の健全性の関係◇	4-10
◇アンカー材料の破断面観察について◇	4-59

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)
編集委員会名簿

	所 属	氏 名
編集委員長	三重大学大学院 生物資源学研究科 教授	酒井 俊典
編集委員	東邦地水(株) 技術本部	石川 昌幹
編集委員	(株)ナイバ愛媛支店 技術課	木村 一成
編集委員	アジア航測(株) コンサルタント事業部	阪口 和之
編集委員	(株)中日本コンサルタント 技術部	櫻井 幸晴
編集委員	(株)エス・ビー・シー 技術一部	高田 章徳
編集委員	川崎地質(株) 首都圏事業本部保全部メンテナンスグループ	高梨 俊行
編集委員	日本地研(株) 技術部	田口 浩史
編集委員	(株)相愛 建設事業部アセットマネジメント課	常川 善弘
編集委員	(株)愛媛建設コンサルタント 地質部門	増田 信
編集委員	北海道土質コンサルタント(株) 技術部設計課	山下 英二
編集委員	(株)地研	山本 亮輔
オブザーバー	一般社団法人 全国地質調査業協会連合会	土屋 彰義

敬称略 アイウエオ順

発刊にあたって

我が国では、国民の安心・安全・快適な日常生活および経済活動を維持するため、数多くの社会資本の整備が行われ、特に戦後の急速な高度経済成長の中で数多くの施設が建設されてきた。現在我が国は人口減少の時代に入り投資余力が減少する中、既存施設を延命化させる長寿命化のための取組が各方面で進められるようになってきている。そのような中、従来維持管理に対する認識が不明確であった土工構造物であるアンカーに対しても、一般構造物と同様に長寿命化に向けた維持管理の取組みが求められるようになってきている。

アンカーの維持管理を行う場合、アンカーが施工されたのり面には多数のアンカーが施工されており、のり面はこれら各アンカーの緊張力が面的に作用することで抑止力を発揮し、安定性を保持していると考えられることができるため、のり面に施工された各アンカーの残存引張り力を数多く調査し面的に評価する必要がある。このため、アンカーの維持管理において材料面だけを評価するのではなく、アンカーが施工されたのり面に対する評価も必要である。

アンカーの残存引張り力を求めるリフトオフ試験において、従来から利用されてきた施工時に使用されるセンターホール型ジャッキを用いた場合、大型で重いため、足場の仮設、クレーン等を用いた作業、通行規制等が必要となり、数多くのアンカーに対する調査の実施が難しかった。これに対し、迅速に数多くのアンカーの調査を行うことを目的に、平成 18 年から(株)相愛とともに小型・軽量の SAAM ジャッキの開発を行った。平成 19 年度には全国地質調査業協会連合会の新マーケット創出・提案型事業により、現在の(LLC)アンカーアセットマネジメント研究会のコア企業である(株)相愛、川崎地質(株)、日本地研(株)、北海道士質コンサルタント(株)とともに「グラウンドアンカー工保全のための SAAM ジャッキを用いたリフトオフ試験マニュアル(案)」の発刊を行った。その中、国道 1 号線ののり面におけるアンカー残存引張り力の分布調査において、アンカーのり面の緊張力が施工時から変化し、のり面で一様な分布を示さないことをはじめて把握した。この結果を受け、平成 20、21 年度には国土交通省建設技術研究開発助成制度により、アンカーのり面における残存引張り力の分布状況を求める面的調査手法を開発するため、全国各地のアンカーのり面を対象に SAAM ジャッキを用いた調査を多数実施した。この調査結果を基に、高知工科大学、土木研究所、産業技術総合研究所、農村工学研究所、(株)高速道路総合技術研究所、アンカー施工企業、アンカー材料企業など各方面の方々に委員として参画していただき、平成 22 年に「SAAM ジャッキを用いた既設アンカーのり面の面的調査マニュアル(案)」の発刊を行った。これと平行して平成 20～22 年度には、(株)高速道路総合技術研究所との共同研究により、SAAM システムを用いた面的調査手法のさらなる検討とあわせ、既設アンカーに対する荷重計等のモニタリング機器の設置手法の開発(SAAM-L)を行った。また、平成 25 年度からは、(株)中部電力とアンカー荷重のモニタリングを行う場合の荷

重計の温度影響についての評価を行い、アンカー荷重と温度とに高い相関が見られることを明らかにした。さらに、平成 28 年度からは土木研究所施工技術チームの招へい研究員として、土木研究所施工技術チームと実物大アンカー実験、地震や豪雨による被災アンカーの調査、および全国のアンカー施工現場での計測を含めた数多くの調査・研究を、(LLC)アンカーアセットマネジメント研究会の協力を得て実施し、より高度なアンカー維持管理を行うための研究開発を進めている。

本書『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)ー地質から見た「アンカーのり面の評価」に向けてー』は、平成 19 年の SAAM ジャッキの開発から 10 年間に渡る数多くの方々のご協力により得られた成果をとりまとめたものとなっている。アンカーの維持管理においては、アンカー材料に加え地質、地形、地下水などの種々の条件が大きく影響されると考えられるものの、本書ではまだまだ的確にこれらの関連性を明らかに出来るまでには至っていない。数多くの要因が関与すると考えられるアンカーの維持管理はまだまだ発展途上ではあるが、本書の成果が今後のより良いアンカー維持管理に繋がるとともに、アンカー維持管理がさらに進展し、国民の安心・安全・快適な社会・経済活動の維持に寄与できることを願っている。

最後に、本マニュアルの作成にあたり、ご支援、ご協力を頂いた一般社団法人 全国地質調査業協会連合会 技術委員会、関係機関、関係各位に心から感謝の意を表します。

編集委員長
三重大学大学院生物資源学研究科
教授 酒井俊典

まえがき

第二次世界大戦後の本土復興が急務の中、昭和 30 年代を中心とした高度経済成長に伴って多くの社会インフラが形成されてきた。それら社会インフラの斜面滑動や構造物の変位を抑えるための安心・安全を担うツールとして、現在までグラウンドアンカー工(以下、アンカー工と呼ぶ)が多用されてきた。

昭和 30 年代前半にダム施工の場で導入され始めたアンカー工は、経済成長に伴って急激に実績が増加し、最も実績が多かった平成 11 年にはランク A(2 年以上の供用期間を有するもの)アンカー工の年間施工件数が約 2 千 7 百件、施工延長も約 1 千 7 百 km に達した。その後は緩やかな経済成長の減速に伴った施工数量の減少傾向が見られ、ここ数年は年間施工件数が約 9 百件、施工延長は 6 百 km で安定している(日本アンカー協会資料)。また、正確な統計資料を取り始めた平成 8 年度～26 年度の 19 年間の累積数量で見ても、ランク A アンカー工は約 3 万 4 千件、施工延長約 2 万 1 千 km にも及ぶ(日本アンカー協会資料)。これら既設アンカー工は、初期に施工されたものでは約 60 年が、急激な施工数増加が見られた昭和 50 年代のものでも 40 年以上の年数が経過している。

これまで、アンカー工は一度設置すればメンテナンスが不要の「永久構造物」と認識されてきた。そのために、施工後は顧みられることはなく、場所や数量・規格を示した施工台帳や維持管理カルテ等も作られることもほとんどなかった。そして、現在も誰にも存在を知られず、厳しい使用環境から来る老朽化の進展から、変状の増加や新たな変状の発生が顕在化して損傷が深刻化しているアンカー工も少なくはない。

近年、少子化による総人口の減少や高齢化に伴う限界集落の発生等、社会環境や交通環境の変化に伴って、ライフラインの再構築が求められている。また、税収の減少に伴い新たな建設費の捻出が困難になりつつあり、これまで蓄えてきた社会インフラの効率的な長寿命化対策手法の構築が急務である。

平成 25 年の総点検実施要領(案)道路法面・土構造物編では道路施設の長寿命化に向けた取り組みが謳われている。ここでは、アンカー工は道路施設の土構造物に区分され、平成 27 年の道路法改正に伴う道路土工構造物基準で維持管理が必要な施設として明確になった。これにより、法的に維持管理を行う義務が生じ、寿命がある一般構造物として長寿命化に向けたアンカー工の維持管理手法の確立が急務となった。

先に述べたように、設置箇所や数量、規格等設置当初の状態すらわからないアンカー工が国内に多く存在し、それらは現況調査によって設置当初のアンカー規格を推定するしかない。このような状況を打破し、未来に渡って維持管理を継続するためにも、我々には新設アンカー工では当初の条件を残すための電子化による統一した施工台帳を作成することや、既設アンカー工でも同様に施工台帳や維持管理カルテを作成し、調査・点検結果を随時更新できる体制を整える債務がある。

アンカー工の長寿命化を図る維持管理手法の図書には、グラウンドアンカー維持管理マニュアル(土木研究所・日本アンカー協会;平成 20 年)とグラウンドアンカー設計・施工基準, 同解説(地盤工学会;平成 24 年)があり, そこには, アンカー工の機能評価は目視, 頭部の打音等による現状点検, および頭部健全度調査に加え, リフトオフ試験やロードセル等による緊張力調査によって行う旨が示されている。しかしながら, 現状点検や頭部健全度調査から得られる情報のみではアンカー工の健全度評価を判断することは困難である。それ故に健全か非健全かの判断しかできず, どのような健全度段階にあるのかがわからないことがほとんどである。

我が国は災害多発国であるために安全に対する要求が他国に比べて厳しく, それ故に大きな負担をアンカー工に求めてきた。数百 kN の荷重がかかったアンカー工は, 急速破断時の場合に飛び出し距離が極めて大きい。過去には数十 m ~ 百数十 m 先まで破断アンカー材が到達した例も見られ, 物損事故の報告もされている。それだけ破断が第三者に与えるリスクは大きなものである。破断予防という観点から, 現状の緊張力とその値の推移を把握できる緊張力調査がその役目を果たすものと言える。

アンカー工の現状を直接把握する手法としてリフトオフ試験があげられる。従来のリフトオフ試験は, 足場やレッカーの使用が必須である等, 作業が大掛かりになることから手間と時間を有し, かつ高価であるために試験実施数や実施場所に制限があった。また, グラウンドアンカー工設計・施工基準・同解説((公社)地盤工学会;平成 24 年)ではリフトオフ試験は 5% かつ 3 本以上とされているが, この数量では現実的な斜面の全容を把握できるものではない。

この問題を解決すべく, 簡便かつ安価な点検手法開発の要求が高まり, 平成 18 年に SAAM ジャッキシステムが開発された。SAAM ジャッキは小型・軽量, そして全てのアンカータイプに対応できる, という長所から, 近年ではリフトオフ試験実施の場で活用され, 試験を行ったアンカー工数は現在まで 5,000 本を超える。また, これまで実施が困難であった高所のリフトオフ試験にも対応が容易になり, アンカー施工範囲の残存引張り力の面的分布図を作成することによって, 多くの有益な情報を維持管理に反映させることが可能となった。加えて, 様々なタイプの既設アンカーにも対応できる後付け荷重計を開発し, リアルタイムにアンカー荷重データを取得することが容易になった。

SAAM ジャッキを用いた既設アンカーのり面の面的調査マニュアル(案)が平成 22 年 3 月に出されているが, その後の多くの実績から得られた知見をもとにのり面の全体状況を把握するために, 本書では面的調査手法の提言やその詳細な方法についてとりまとめた。また, その後に得られた, 面的調査から得られたアンカー荷重分布を基にした健全性評価の考え方, 残存引張り力と背面地山との関係, 温度とアンカー荷重の相関関係から得られるのり面の健全性評価, アンカー計測荷重と温度相関から求めるアンカー温度補正荷重によるアンカーのり面維持管理の有用性等の維持管理に有用な項目を新たに加えた。

また、現在は新たな試みとして、アンカー工の破断過程を明らかにする目的で実物大のアンカー破断実験をあらゆる角度から数多く実施してこれまで幾つかの知見を得ている。このような新たな取り組みをこれからも実施してゆき、得られた成果をアンカー工の「維持管理に対する新たな所見」として今後の維持管理に活用して行くつもりである。

今後アンカー維持管理に資するデータベースの構築と共に既設アンカー工に対する安全、かつ効率的な維持管理を求めて行く必要があり、本書がアンカー工のより効率的な維持管理の一助となれば幸いである。

S A A M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)
編集委員会一同

第 1 章 概説

1.1 マニュアルの目的

本マニュアルは、グラウンドアンカーの残存引張り力の面的調査を基に、アンカーのり面に対する健全性の調査および評価を行い、今後のアンカーのり面における適切な維持管理の考え方を示すことを目的とする。

本マニュアルは、グラウンドアンカーが施工されたのり面(以下、アンカーのり面)の健全性調査および評価を効率的かつ効果的に行うために、SAAM システムを用いてアンカーのり面に施工された既設アンカーの残存引張り力を面的に調査し評価するものである。

アンカーは斜面安定対策等に数多く使用され、アンカー導入後約 60 年が経過している。既存土構造物ストックを適切に利用するためには、アンカー個々の機能の維持、部材の劣化対応として維持管理は必要不可欠である。

また近年、想定外の集中豪雨による気象状況の変化、想定される(巨大)地震等を考慮すると、設計時の条件を上回る外力がアンカーに及ぶことも懸念される。これらに適切に対応するためには、アンカーのり面の現況把握としてアンカーの緊張力を利用した斜面安定性評価も重要となる。

しかしながら、全国で施工されているアンカーは膨大な施工量となっており、それらを効率的に点検(維持管理)するには、安価で機動性のある点検方法の確立が課題として挙げられる。

これらの課題に対応するには、アンカーのり面全体を効果的に把握する目的で、まずアンカーの機能確認・斜面の安定性評価として、頭部点検、リフトオフ試験を安価で効率的に実施できることが重要である。

上記、課題を解決する一つの手法として現在、SAAM システムを用いた点検手法を数多く実施してきている。

「SAAM ジャッキを用いた既設アンカーのり面の面的調査(案)」は平成 22 年 3 月に発行されているが、7 年以上が経過し新たな知見が得られた。

以上から、新たな知見も踏まえ、本マニュアルの執筆を行った。

1.2 適用範囲

本マニュアルは、^{サーム} SAAM システムを用いたアンカーのり面の面的評価に適用し、アンカーのり面の維持管理を効率的かつ効果的に行うための健全性調査および評価を適用範囲とする。

本マニュアルは、構造物や斜面の安定化のために用いられているアンカーの点検、調査、アンカーのり面の健全性評価に適用し、今後の対策および維持管理の基本的な考え方を取りまとめたものである。

1.3 SAAM システムの概要

1.3.1 システムの概要

SAAM システムは、アンカーのり面における健全性評価を小型・軽量ジャッキを用いて、効率的かつ効果的に調査し、アンカーのセンサー的機能を有効活用しながら維持管理を行うシステムである。

アンカーのり面(土工構造物)の予防保全に向けた取り組みで、小型・軽量の SAAM ジャッキを用いて、迅速に多数のアンカーを調査し、アンカーのり面の緊張力を面的にとらえる事が可能である。

面的調査の結果から、蓄積されたデータを基に統計的解析手法や、健全性評価方法の新たな提案と考える。

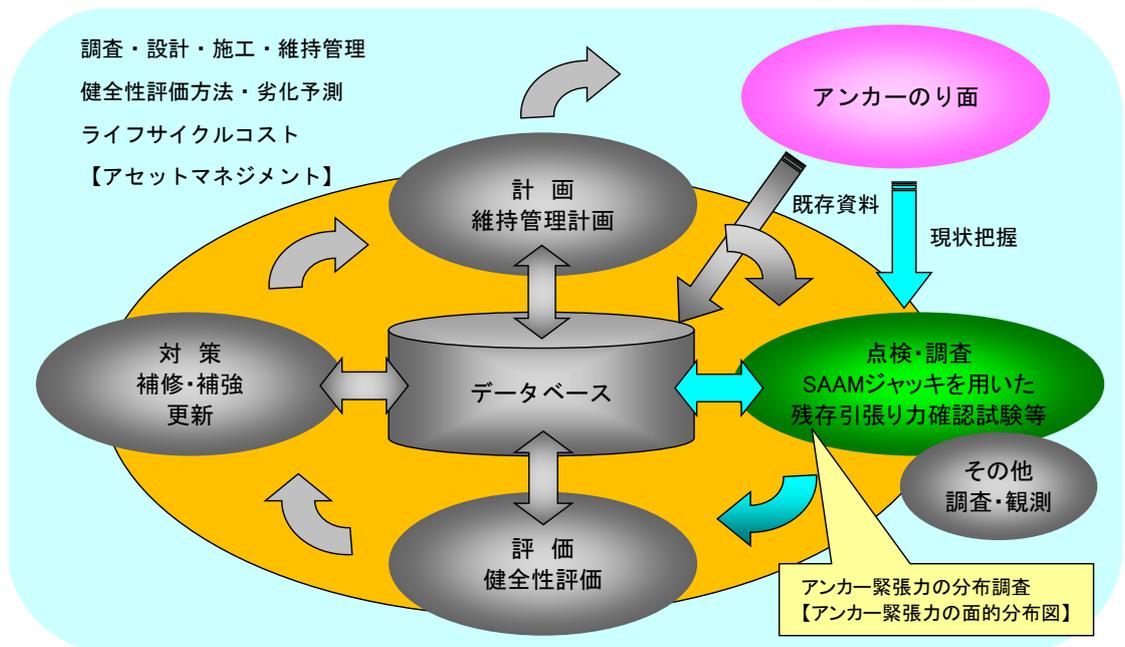


図 1.3.1 SAAM システムのイメージ図

1.3.2 面的調査の特徴

SAAM ジャッキは、小型・軽量であるため、残存引張り力確認試験を実施するに当たり従来のセンターホール型ジャッキのようにクレーンでの搬入・撤去、足場の仮設、通行規制の必要がなく、迅速に数多くのアンカーに対して残存引張り力確認試験が実施できる。このためアンカーのり面におけるアンカー緊張力の面的調査を効率的かつ効果的に行うことが可能である。

アンカーの緊張力の確認等に利用されているセンターホール型ジャッキは、新規施工時の定着・緊張、維持管理時のリフトオフ試験、あるいは再緊張・除荷といった多くの機能を有していることから、ストローク量が長く、機器も大きく重いため、リフトオフ試験を実施する場合、足場の仮設、クレーン等による搬入・撤去、場合によっては道路の通行規制も必要となる。これに対し、SAAM ジャッキは、アンカーのり面の健全性評価にとって必要な残存引張り力を迅速に求めることに特化し、残存引張り力確認試験に必要な範囲を低ストロークにすることで大幅な小型・軽量化を図り、基本的に人力での搬入・撤去が可能であるため、迅速に数多くの残存引張り力確認試験を実施することができ、これによりアンカーのり面の緊張力を面的にとらえることが可能である。

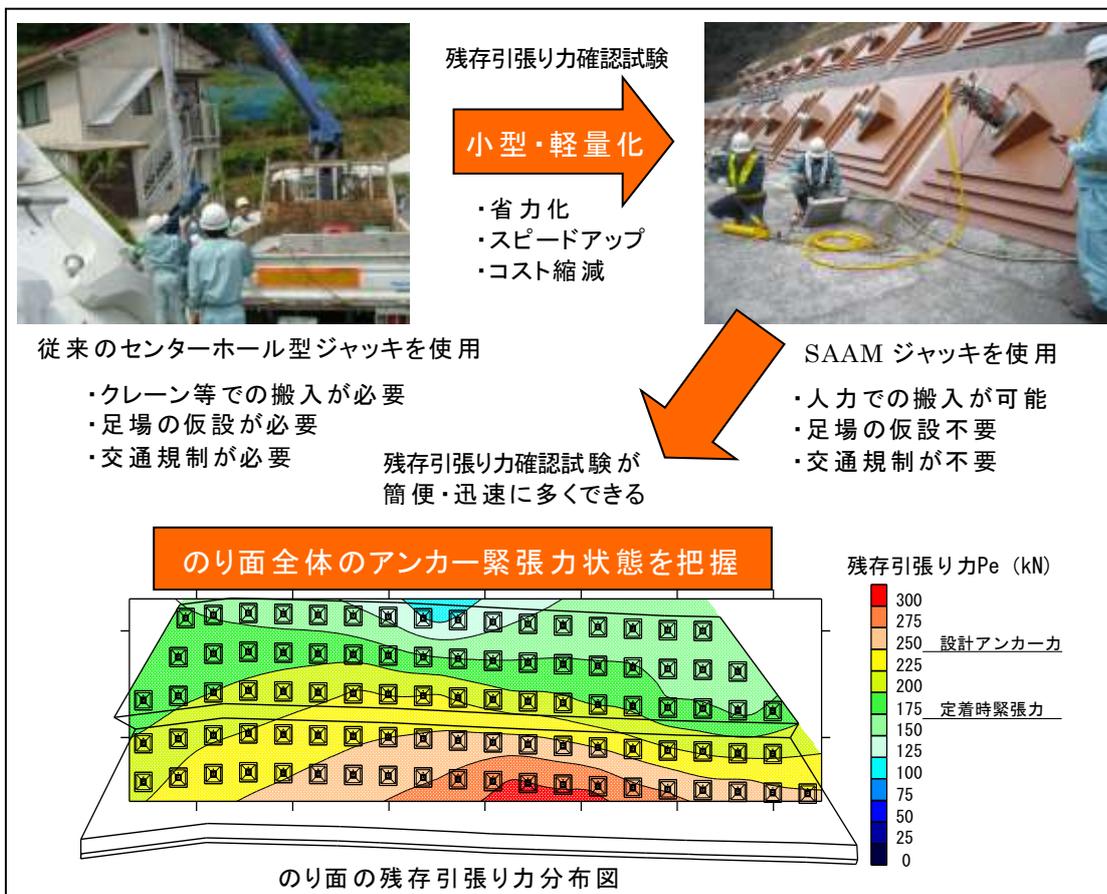


図 1.3.2 SAAM ジャッキを用いた残存引張り力確認試験の特徴

1.4 用語の定義

1.4.1 調査および面的評価に関する用語

表 1.4.1 に調査および面的評価に関する用語を示す。

表 1.4.1 調査および面的評価に関する用語

用語	解説
SAAM システム	アンカーのり面における健全性評価を小型・軽量ジャッキを用いて、効率的かつ効果的に調査し、アンカーのセンサー的機能を有効活用しながら維持管理を行うシステムをいう
アンカーのり面の面的評価	アンカーのり面の緊張力分布を把握・評価することによりアンカーのり面の健全性を評価することをいう
緊張力の面的分布図	アンカーのり面の健全性評価における面的な残存引張り力に関する分布図をいう
R^2	荷重と温度の直近 96 時間データからピアソンの積率相関係数の 2 乗を示す
変動係数	標準偏差 / 平均値
温度補正荷重	アンカー荷重と温度の相関性を利用し、回帰分析により温度補正した荷重
$\tan \theta$	リフトオフ後の载荷によって得られる荷重 - 変位関係における直線勾配
設計 $\tan \theta$ 比	試験 $\tan \theta$ / 設計 $\tan \theta$
アンカーのり面の健全性	アンカーのり面としての安定度評価
リフトオフ試験 (アンカー耐力確認試験)	既設アンカーが計画最大試験荷重を保持できることを確認する試験をいう
増加型	のり面のアンカー健全度区分から求まる「荷重増加」+「荷重安定」の割合が 90%を超える場合をいう
安定型	のり面のアンカー健全度区分から求まる「荷重安定」の割合が 90%を超える場合をいう
低下型	のり面のアンカー健全度区分から求まる「荷重安定」+「荷重低下」の割合が 90%を超える場合をいう
混合型	緊張力分布タイプの「増加型」、「安定型」、「低下型」以外の場合をいう

1.4.2 使用機器に関する用語

表 1.4.2 に使用機器に関する用語を示す。

表 1.4.2 使用機器に関する用語

用語	解説
SAAM ジャッキ	リフトオフ試験専用油圧ジャッキの一つで、既設グラウンドアンカーの残存引張り力確認試験を目的とし、残存引張り力の確認を行うための小型・軽量のジャッキをいう
アタッチメント	油圧ジャッキからの力をアンカー定着具に伝える部材をいう
ラムチェアー	油圧ジャッキの台座で反力器具をいう
キャリブレーション	機器の較正をいう
SAAM-L システム	SAAMジャッキを用いて、既設アンカーに対して荷重管理を行いながら、モニタリング機器を簡便に着脱できるシステムをいう
SAAM-A システム	より線余長が短いアンカーに対して、特殊アタッチメントを用いて、残存引張り力確認試験や荷重計の設置を行うシステムをいう
油圧センサー	油圧ジャッキにかかる圧力を測定する機器をいう
後付け荷重計	初期緊張定着後のアンカーに除荷工を必要とせず取付けられる荷重計をいう

写真 1.4.1 に、使用機器および設置状況を示す。

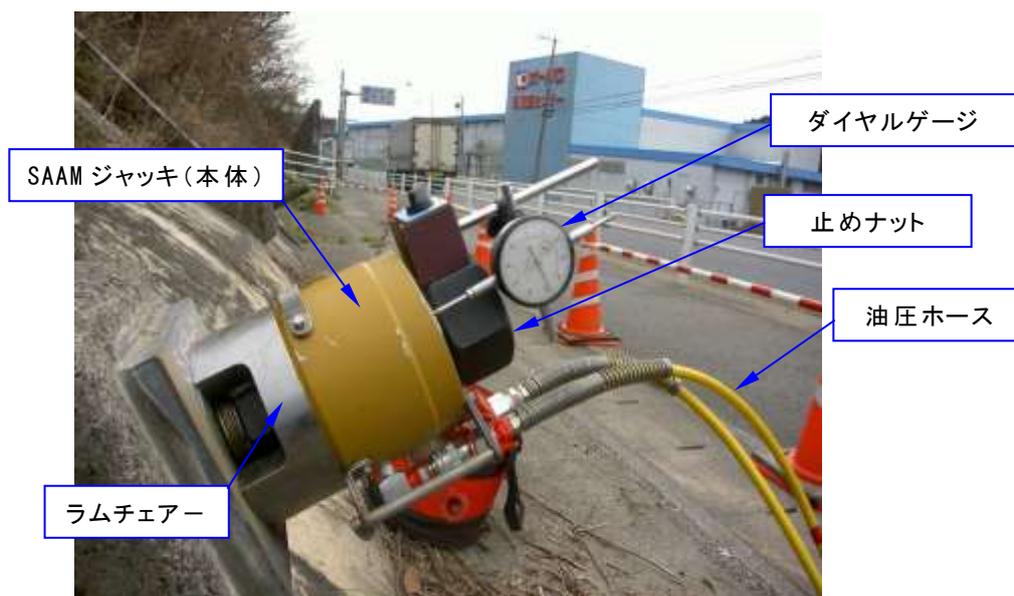


写真 1.4.1 SAAM ジャッキ設置状況

1.4.3 残存引張り力確認試験に関する用語

表 1.4.3, 表 1.4.4 に残存引張り力確認試験に関する用語を示す。

表 1.4.3 残存引張り力確認試験に関する用語(1)

用語	記号	解説	単位
残存引張り力確認試験	—	アンカーの残存引張り力を測定する試験をいう	—
リフトオフ	—	アンカー定着具が支圧板から離れ始めたことをいう	—
リフトオフ荷重	P_L	残存引張り力確認試験において定着具が支圧板から離れ始めたときの荷重をいう	kN
残存引張り力	P_e	アンカーの供用時にテンドンに作用している引張り力をいう	kN
交点法	—	残存引張り力 P_e を荷重—変位曲線から求まる近似直線の交点から求める方法をいう	—
目視法	—	リフトオフ荷重を, 定着具が支圧板から離れ始めを直接目視により確認し求める方法で, 残存引張り力が極端に低く, 交点法が使用できない場合に用いる	—

残存引張り力は, 図 1.4.1 に示すように残存引張り力確認試験時の荷重—変位曲線から, リフトオフ前後の直線の交点より求まる値を採用する。

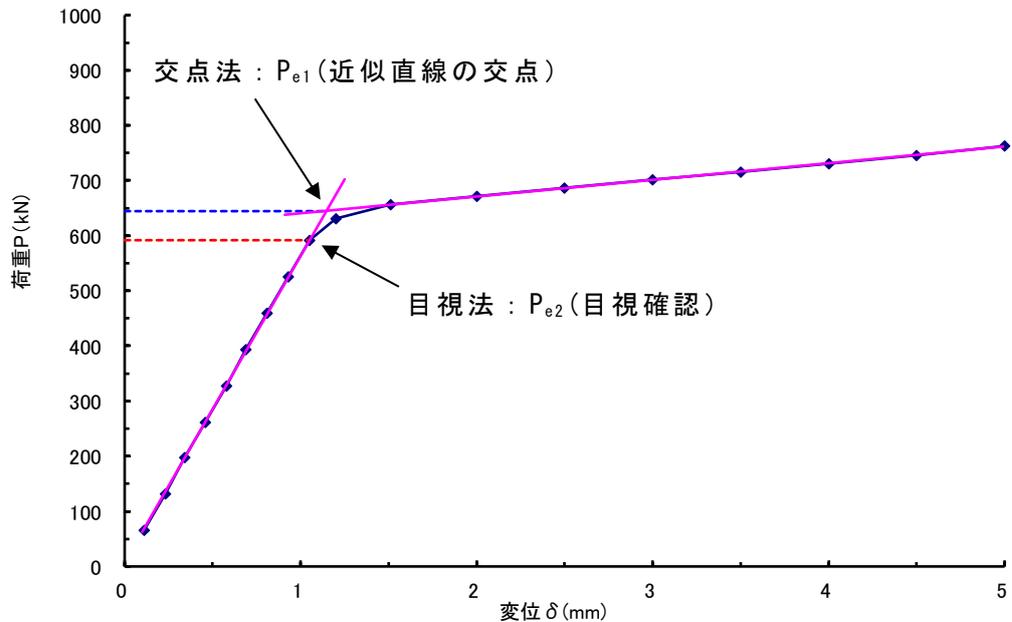


図 1.4.1 荷重—変位曲線から求まる残存引張り力とリフトオフ荷重

表 1.4.4 残存引張り力確認試験に関する用語(2)

用語	記号	解説	単位
計画最大荷重	T_p	試験計画で定めた最大荷重をいう	kN
上限載荷荷重	—	載荷可能な上限荷重をいう 許容載荷荷重以上の場合, 上限載荷荷重以内で, 変曲点を確認でき次第載荷を中止する	kN
最大試験荷重	T_t	試験で載荷した最大荷重をいう	kN
初期荷重	T_0	荷重-変位曲線における試験機器等のセットロス(ゆるみ)の影響をなくすための荷重をいう	kN
予備載荷	—	載荷計画に基づき, 残存引張り力を求めるための1回目の載荷で, アタッチメントのセットロス等, 残存引張り力を求める際に, 荷重-変位曲線への影響をなくすために行う載荷をいう	—
本載荷	—	予備載荷後に実施する残存引張り力を求める載荷をいう	—

1.4.4 アンカー規格に関する用語

表 1.4.5 にアンカー規格に関する用語を示す。

表 1.4.5 アンカー規格に関する用語

用語	記号	解説	単位
降伏点荷重	T_{ys}	テンドンに用いる鋼材の JIS に定める降伏点から求められる荷重をいう(正式にはテンドンの降伏引張り力という)	kN
引張り荷重	T_{us}	テンドンに用いる鋼材の JIS に定める引張り荷重をいう(正式にはテンドンの極限引張り力という)	kN
設計アンカー力	T_d	許容アンカー力を超えない設計に用いるアンカー力をいう	kN
定着時緊張力	P_t	アンカー頭部の緊張・定着作業が終了した時にテンドンに作用している引張り力をいう	kN
許容アンカー力	T_a	テンドンの許容引張り力, テンドンの許容拘束力およびアンカーの許容引抜き力のうち最も小さい値をいう	kN
テンドンの許容引張り力	T_{as}	テンドンの極限引張り力またはテンドンの降伏引張り力をそれぞれの安全率で除した内の小さい値をいう	kN

1.4.5 面的分布図作成に関する用語

表 1.4.6 に面的分布図作成に関する用語を示す。

表 1.4.6 面的分布図作成に関する用語

用語	記号	解説	単位
設計アンカー力比	R_{td}	設計アンカー力 T_d に対する残存引張り力 P_e の百分率で、次式で求めた値をいう $R_{td} = (\text{残存引張り力 } P_e / \text{設計アンカー力 } T_d) \times 100$	%
定着時緊張力比	R_{pt}	定着時緊張力 P_t に対する残存引張り力 P_e の百分率で、次式で求めた値をいう $R_{pt} = (\text{残存引張り力 } P_e / \text{定着時緊張力 } P_t) \times 100$	%
降伏点荷重比	R_{tys}	降伏点荷重 T_{ys} に対する残存引張り力 P_e の百分率で、次式で求めた値をいう $R_{tys} = (\text{残存引張り力 } P_e / \text{降伏点荷重 } T_{ys}) \times 100$	%
許容アンカー力比	R_{ta}	許容アンカー力 T_a に対する残存引張り力 P_e の百分率で、次式で求めた値をいう $R_{ta} = (\text{残存引張り力 } P_e / \text{許容アンカー力 } T_a) \times 100$	%
緊張力分布図	—	残存引張り力によるアンカーの健全性分布図をいう	—

1.4.6 アンカーの状態に関する用語

表 1.4.7 にアンカーの状態に関する用語を示す。

表 1.4.7 アンカーの状態に関する用語

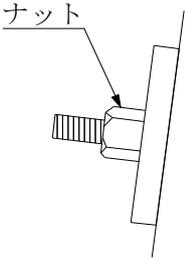
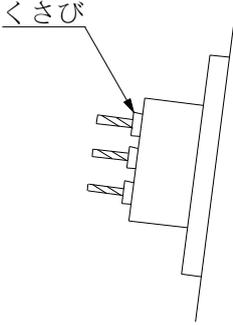
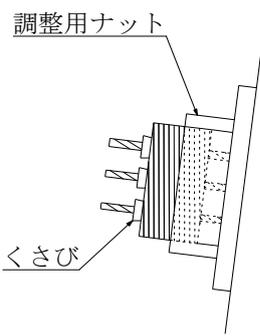
用語	解説
過緊張	設計アンカー力に対し、残存引張り力が上回ることをいう
劣化	アンカー材料が錆び、腐食等により材料の機能が低下することをいう
損傷	アンカー材料の破損等によりアンカー機能が低下または機能が失われることをいう
破断	アンカー材料の切断によりアンカー機能が低下または機能が失われることをいう
引抜け	アンカー体定着部と地山もしくはグラウトとテンドンの付着切れによりアンカー機能が低下または機能が失われることをいう
新タイプアンカー	1990年±2年以降に施工され、二重防錆されているアンカー
旧タイプアンカー	1990年±2年以前に施工され、二重防錆されていないアンカー

1.4.7 アンカー材料に関する用語

(1) アンカー頭部定着方式

表 1.4.8 にアンカー頭部定着方式に関する用語を示す。

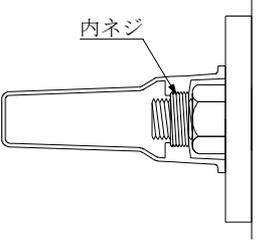
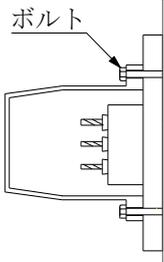
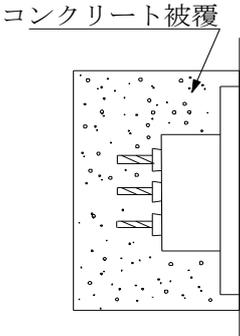
表 1.4.8 アンカー頭部定着方式に関する用語

頭部定着方式	解説	構造例	写真
ナット定着	引張り部をナット(ネジ)で定着させる方式		
くさび定着	引張り部(PC 鋼より線)をくさびで定着させる方式		
くさび + ナット定着	くさび定着にナットを併用した方式		

(2) アンカー頭部保護方式

表 1.4.9 にアンカー頭部保護方式に関する用語を示す。

表 1.4.9 アンカー頭部保護方式に関する用語

頭部保護方式	解 説	構造例	写 真
内ネジ方式	直接アンカーの頭部 に取付ける方式		
ボルト固定方式	アンカー受圧板にボルト で固定する方式		
防護 コンクリート 方式	アンカーの頭部を現場 打ちコンクリートで被覆 する方式		

1.5 関連する基準類

本マニュアルに記載の無い事項については、関連する基準類を参考・準拠する事が望ましい。

アンカーのり面の SAAM システムを用いた維持管理の考え方に関する事項を規定しているが、一般的な維持管理に関する事項、または本マニュアルに記載の無い事項については、関連する下表の基準類を参考・準拠する事が望ましい。

表 1.5.1 関連する基準類一覧表

基準類	発行年月	発行者
地盤工学会 グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説 (JGS4101-2012)	平成24年5月	(公) 地盤工学会
グラウンドアンカー維持管理マニュアル	平成20年3月	(独) 土木研究所、(社) 日本アンカー協会
SAAMジャッキを用いた既設アンカーのり面の面的調査マニュアル (案)	平成22年3月	国土交通省建設技術研究開発助成制度「SAAMジャッキを用いた効果的なアンカーのり面の保全手法の開発」委員会
地すべり防止施設の機能保全の手引き ～アンカー工編～	平成27年7月	農林水産省農村振興局 農村政策部農村環境課
地すべり防止施設の機能保全の手引き ～統合版～	平成29年3月	農林水産省
国土交通省 河川砂防技術基準 維持管理編 (砂防編)	平成28年3月	国土交通省
グラウンドアンカー設計施工マニュアル	平成25年6月	(社) 日本アンカー協会
平成27・28年度版 グラウンドアンカー技術ガイドブック	平成27年4月	(社) 日本アンカー協会
斜面对策工維持管理実施要領 -点検・詳細調査編-	平成28年12月	(社) 斜面防災対策技術協会
斜面对策工維持管理実施要領 -長寿命化及び機能回復手法(計画・設計・施工計画)・歩掛編-	平成28年12月	(社) 斜面防災対策技術協会
道路土工 切土工・斜面安定工指針(平成21年度版)	平成21年6月	(社) 日本道路協会
新・斜面崩壊防止工事の設計と実例 急傾斜地崩壊防止工事技術指針	平成19年9月	(社) 全国地水砂防協会
調査要領	平成29年7月	NEXCO
道路土工構造物技術基準・同解説	平成29年3月	(公社) 日本道路協会
道路土工構造物点検要領	平成29年8月	国土交通省道路局

第2章 アンカーのり面の維持管理の基本的な考え方

2.1 アンカーのり面の現状と課題

アンカーのり面は維持管理が必要な土構造物の一つであり、点検→調査→対策→記録からなるPDCAサイクルを構築することが重要である。また、アンカー維持管理調査は近年になって普及してきた分野であり、未解決の課題も多く十分に体系化されてはいないのが現状である。従ってアンカーのり面の維持管理では、現状の課題を十分に認識し、最新の知見を取り込みながら進める必要がある。

平成24年の笹子トンネル天井板落下事故を契機に、国土交通省により第三者被害防止の観点から平成25年に道路ストックの総点検の実施や道路の老朽化対策が提言され、従来の「事後対応」型から「予防保全」型へ転換が図られた。また、平成27年度には道路土工構造物技術基準が制定され、道路土工構造物の新設または改築に当たっては、維持管理の確実性及び容易さが要求事項となり、設計・施工時等において維持管理に必要な記録を適切に保存することが明確化された。

土工構造物の一つであるグラウンドアンカーについては、上記以前の取り組みとして、平成20年に「グラウンドアンカー維持管理マニュアル(土木研究所・日本アンカー協会共編)」が発刊されている。さらに平成24年の「グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説(地盤工学会)」維持管理編では、同書より多くが引用されアンカーの維持管理の重要性が明記された。

一方で、グラウンドアンカーは昭和50年代より日本国内で急激に利用されるようになり、現時点に至るまで、その施工性・経済性から非常に多くの施工実績を積んできたが、「永久アンカー」という名称が一人歩きし、維持管理が軽んじられる傾向にあった。

平成20年の「グラウンドアンカー維持管理マニュアル」発刊を契機に、各グラウンドアンカー管理者から、破損・損傷が認められるアンカーについて調査を依頼されるケースが増えはじめ、その中で下記のような様々な維持管理上の課題に直面している。

【施工・点検記録の保管に関する課題】

- ①台帳管理されていないアンカーのり面が多いこと。また、供用後一度も点検されていないアンカーのり面も存在する。
- ②建設経緯、調査設計報告書、工事記録が散逸し、アンカー諸元(採用工法・アンカー長・定着長・設計アンカー力・定着時緊張力)が把握できないアンカーのり面がある。
- ③施工中に工法変更等が生じた場合、変更工事記録の修正がされていないアンカーのり面がある。

【維持管理の確実性・容易さに関する課題】

- ①維持管理を考慮していない完成形状のため、点検通路・梯子が併設されていない、アンカー頭部に近接して点検できない場合がある(例えば落石対策としてオーバーハング形状に設置されたアンカーや、直壁に近いコンクリート擁壁のアンカー等)。
- ②維持管理費の縮減により、アンカーのり面の植生繁茂が放置されている場合が多く、遠望目視によるアンカーの点検や踏査によるアンカー頭部への近接が困難な場合がある。
- ③アンカー維持管理の主要調査となるリフトオフ試験は、重量の大きい施工用緊張ジャッキを使用する場合が多く、調査数量が限定的になりやすい。
- ④アンカー工法が様々存在し、リフトオフ試験を実施する際に接続部となるアンカー頭部の形状・ネジ規格が異なるため、緊張力計測が普及しづらい。
- ⑤リフトオフ試験の接続部となるアンカー余長が、建設時に短く切り揃えられてしまい、緊張力計測や荷重緩和ができないアンカーが存在する。
- ⑥コンクリートにて頭部保護が行われていた場合、頭部拘束具(くさび)内にセメントミルクが侵入し、定着時以上の荷重を与えた場合にテンドンがスリップし引き込まれる場合がある。

【維持管理調査での課題】

- ①アンカー頭部外観と緊張力に明確な相関が無い場合が多い(アンカーの機能を外観で判断するには、テンドンが飛び出す・引き込まれる・支圧板や頭部拘束具が浮き上がる等、終局的損傷まで達しない限り判らない)。
- ②地山内部で破断損傷が生じている場合、抜き取り調査を実施し、破断面を観察することで原因究明に資することができるが、破断状況によっては抜き取り抵抗値が非常に大きく、抜き取りきれない場合がある。

◇既設アンカーの残存緊張力状況の実態

アンカーのり面の維持管理において、平成20年に「グラウンドアンカー維持管理マニュアル」が発刊された意義は大きい。その中でも、残存引張り力に着目した健全度評価(表2.1.1)は、アンカーのり面状態を判断する場合において、多くの技術者が支持できる指標となっており、今後も活用される判定基準と言える。

合同会社アンカーアセットマネジメント研究会では、数多くのアンカーのり面について残存引張り力調査を実施している。このうち調査を実施した代表的なアンカーのり面69箇所・合計2092本のアンカーについて、表2.1.1に示す判定基準に基づき健全度評価を行った結果を図2.1.1に示す。

表 2.1.1 残存引張り力に基づく健全度の目安

残存引張り力の範囲	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
	D+	危険な状態になる恐れあり	
1.1 Ta	C+	許容値を超えている	対策を実施
	B+		
許容アンカー力 (Ta)	B+		経過観察により対策の必要性を検討
設計アンカー力 (Td)	A+	健全	
定着時緊張力 (Pt)	A-	健全	
	B-		経過観察により対策の必要性を検討
0.8 Pt	B-		
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	

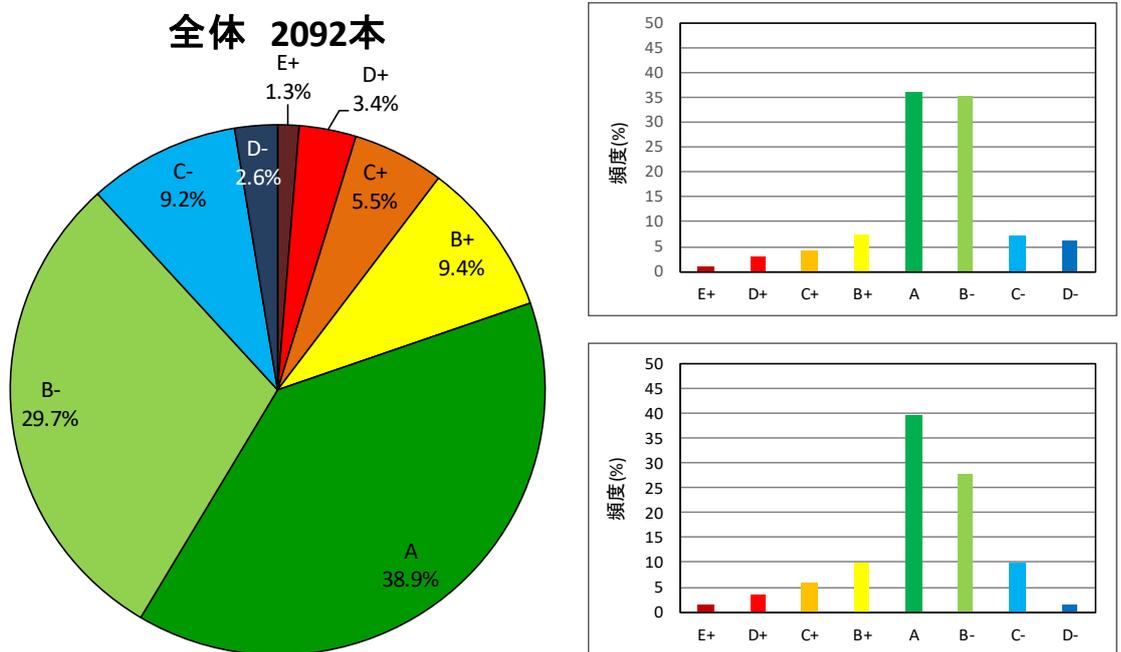


図 2.1.1 残存引張り力に基づく健全度の割合

(左：全体 右上：旧タイプアンカー 右下：新タイプアンカー)

これまで調査した代表的なアンカーのり面の残存引張り力に基づく健全度評価の割合は、概ね健全と判定される A±~B- が全体の 68.6% と約 7 割近くを占めている。設計アンカー力を超過した、いわゆる過緊張アンカーである B+ 以上に判定されたアンカーは全体の 19.6% であるのに対し、残存引張り力が緩和側になっている健全度 C-~D- は 11.8% であった。なお、対象アンカーのり面のうち新タイプアンカーのり面は 49 箇所、旧タイプは 20 箇所であったが、図 2.1.1 右側のグラフから判るように、新旧による健全度割合の違いは認められなかった。

このことは、現況で殆どのアンカーは概ね健全な残存引張り力状態にあることが判る反面、調査したアンカーの 20% 近くが過緊張に陥っており、アンカーの維持管理を進める上で残存引張り力を把握することが重要であることが判る事例と言えよう。

2.2 アンカーのり面の変状と要因

アンカーのり面の維持管理調査時における調査・点検で発見される様々な変状は、既設のり面の安定性を評価する上で重要な情報となる。アンカーのり面の変状は、アンカー自体の変状と付帯構造物の変状に分けられる。変状の要因は、斜面安定性に起因するものとアンカーの劣化・老朽化、もしくは施工不良によるものに大別される。変状要因は対策方針を検討する上で重要であるが、アンカーのり面では個別変状のみで変状要因を特定することは非常に困難である。

アンカーのり面の健全性を評価するためには、アンカーならびに周辺構造物の変状、さらに緊張力の状況を組合せた総合的な評価が必要となる。

2.2.1 アンカーのり面の変状

アンカーのり面の変状は、既設のり面の安定性ならびにアンカーの健全性を診断する上で、非常に重要な情報となる。

アンカーのり面の変状は、大きく分けて2つに区分できる。

アンカーの変状

テンダンの飛出し・引き込まれ・頭部拘束具の異常・緊張力増減等

付帯構造物および周辺地形の変状

受圧構造物の変形、のり面のせり出し、水路・小段の変形・湧水等

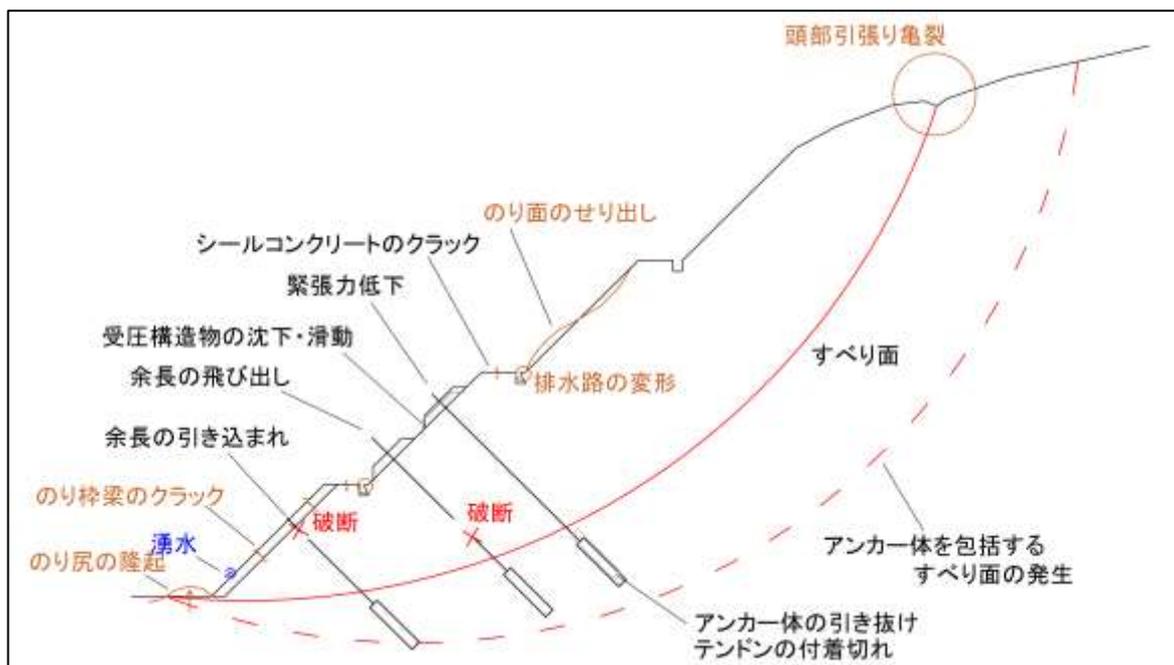


図 2.2.1 アンカーのり面変状の概念図

以下に、アンカーのり面の代表的な変状と、維持管理調査時の着目点を示す。

【アンカーの変状】



a) テンドンの飛び出し

テンドンが地山内部で破断した場合に生じる現象である。アンカー体の引き抜け・付着切れでも同様の現象が生じ、近接アンカーが過緊張を示す場合もある。

最終的な判断は抜き取り調査や維持性能確認試験で確認することが望ましい。



b) テンドンの引き込まれ

テンドンが地山内部で破断した場合やくさびの腐食劣化等によって生じる現象で、素線の一部が引き込まれる場合と、より線全てが引き込まれる場合がある。

抜き取り調査事例によれば、テンドンの部分破断が生じている現象もあった。



c) 頭部拘束具の異常

定着くさびの飛び出しや定着具(アンカーヘッド)および支圧板の浮き上がり。

くさびの浮き上がりは、テンドンが地山内部で破断している場合に生じる。

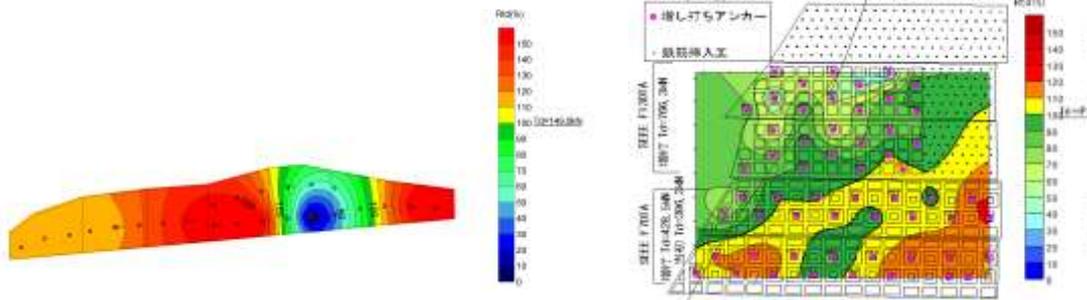
アンカーヘッドや支圧板の浮き上がりは、破断以外に、アンカー体の引き抜け、テンドンの付着切れ、受圧構造物の沈下が原因となっている場合もある。

d) 緊張力の増減

設計アンカー力(T_d)以内の増減であれば、当初設計の想定範囲内であるが、設計アンカー力を超過した場合、抑止力の見込み不足の可能性もある。特に許容アンカー力(T_a)以上の荷重増加の場合は、斜面安定に問題があると判断される。

一方、緊張力が $0.5Pt$ 以下に低下している場合には、アンカー体の引き抜け、テンドンの付着切れ、受圧構造物背面の洗掘等が生じている可能性も考えられ、地山が再滑動した際に抑止できる性能を有するかが課題となる。そのような場合には維持性能確認試験による評価が重要となる。また、図 2.2.1 中に示したアンカー体を包括するすべり面が生じた場合には、緊張力に変化が無いまま斜面が不安定化している可能性もあり注意が必要である。

【過緊張が生じている面的荷重分布図の例】



【引き抜けが生じている面的荷重分布図の例】

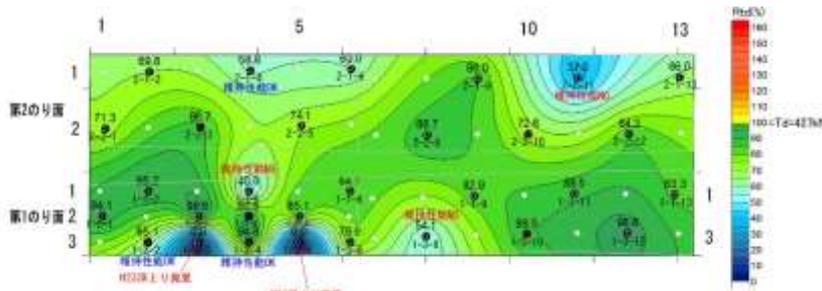


図 2.2.2 緊張力の増減が生じたアンカーのり面の荷重分布図の例

【付帯構造物の変状】

アンカーのり面の変状のうち、アンカー工本体は終局状態に至らない限り明瞭に外観に変化を示さない。これに対し付帯構造物は、斜面変形に追従して変状(アンカーのり面の悲鳴)を示す場合が多い。従来の切土のり面点検と同様に付帯構造物や周辺微地形に注視する必要がある。



写真 2.2.1 近接アンカーが過緊張に至っていた箇所の付帯構造物の変状
(左:のり枠縦梁の破断 右:小段水路の閉塞)



写真 2.2.2 付帯構造物(受圧構造物)の変状
(左:受圧構造物の浮き上がり 右:のり枠背面の空洞化)



写真 2.2.3 付帯構造物(法尻)の変状
(斜面の変形によりのにり尻保護コンクリートが圧縮変形する)

2.2.2 アンカーのり面変状の要因

アンカーのり面変状の要因は、大きく分けて2つに大別される。

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

(頭部の破損腐食・テンドンの腐食破断等)

アンカーの変状は、アンカー本体の緊張力変化・アンカー頭部および付帯構造物の変形として現れるが、その要因には斜面の安定性の他に地質特性(背面地山の風化・劣化・洗掘)や材料特性等(図 2.2.3)もあるため、個別変状だけで要因を判定することは難しい。緊張力ならびに変状状況を総合的に判断して変状要因を判定する必要がある。

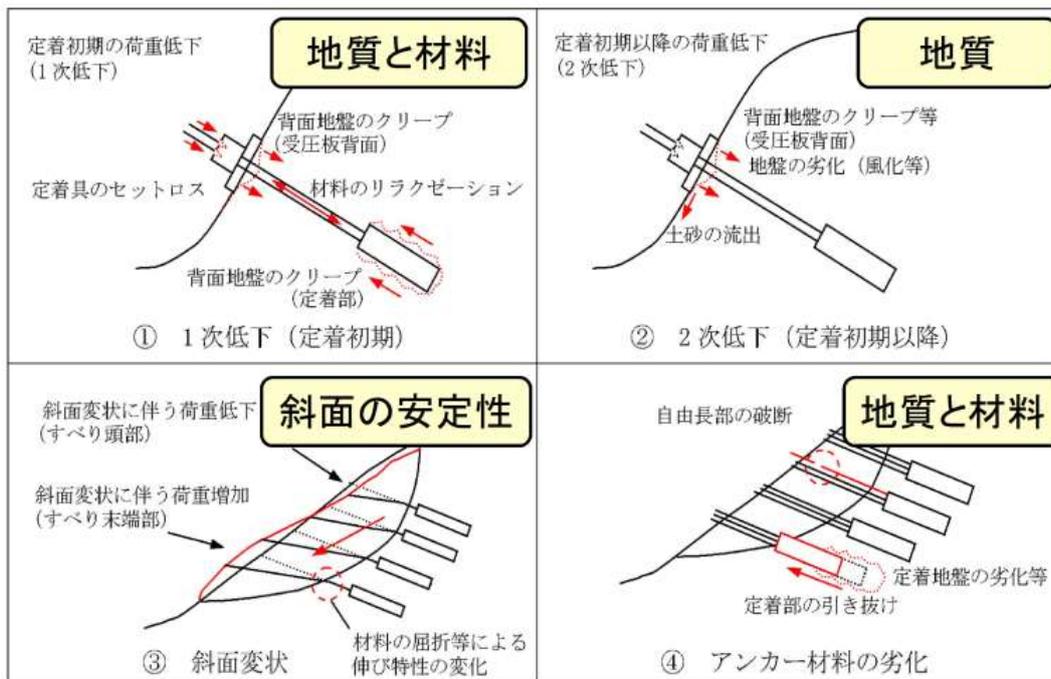


図 2.2.3 アンカーの変状と要因

なお、斜面安定に起因する変状において進行性が高い場合には、想定外外力(豪雨・地震)が作用すると、重篤な災害に結びつく恐れがあることから最も重視すべき変状要因であると考えられる。

また、アンカー工の老朽化・劣化では、一見すると斜面安定にまで影響が及んでいないものと軽視しがちであるが、アンカーの機能低下が抑止力不足につながる場合もある。変状に着目した健全性調査に加え、アンカー荷重を中心としたモニタリングもアンカーのり面の維持管理では重要となる。

◇コラム：外力破断と劣化破断◇

アンカーの損傷として、最も劣悪な事態はテンドンが破断していることが挙げられる。それは、地山深部に設置されるアンカーは、一定の精度をもって施工されているものの設置位置を厳格にトレースできないため、現時点の技術では回収・置き換えが困難なことにある。

破断損傷が発生したアンカーのり面において補修・補強を検討する場合に、「同じ轍」を踏まないためには、その原因を把握することが重要になる。

現時点でアンカー破断現象を体系化したものは無いが、これまでの研究会の実績と経験を踏まえ、アンカーの破断損傷を大きく2つに区分することが考えられる。

外力破断

テンドンに設計以上の外力が作用し、材料の持つ許容性能以上の荷重で破断する現象

例：想定以上の地すべり力が作用した
(不安定範囲拡大・豪雨等による水位上昇)

地山の風化劣化によってすべり面強度や定着地盤の強度が低下した
想定していた地すべり方向と異なっていた

劣化破断

テンドンが腐食し断面欠損することにより、材料の持つ許容性能以下の荷重で破断する現象

例：防錆を考慮していない旧タイプアンカー
施工時(運搬・挿入)に不慮の損傷で防食機能が低下した場合
構造的欠陥



写真 2.2.4 テンドン破断の例(左：外力破断・右：劣化(腐食)破断)

2.3 アンカーのり面の維持管理

アンカーのり面の維持管理では、記録→点検→調査→対策の PDCA サイクルが重要である。現時点での基準書における PDCA の「C」にあたる調査は「健全度調査」として一括されているが、現状評価のための「健全性調査」と性能評価のための「詳細調査」からなる二段階方式により効率的かつ効果的なアンカーのり面の維持管理を行うことができる。

日本国内におけるアンカー維持管理のフローを示したものとして「グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説((公)地盤工学会,平成 24 年 5 月)」がある(図 2.3.1)。同フローによれば、点検後の対応として「健全性調査」を提案している。ここで示される健全性調査は、頭部露出調査・リフトオフ試験・頭部背面調査・維持性能確認試験等多岐にわたるアンカーに関する調査・試験項目を包括している。

実際の維持管理段階におけるアンカー調査では、頭部露出調査・リフトオフ試験に連続して除荷工を要する頭部背面調査と維持性能確認試験を実施することは困難である。それはリフトオフ試験による緊張力確認を行わない限り、除荷工および維持性能確認試験が実施可能なアンカーであるか判らないためである。

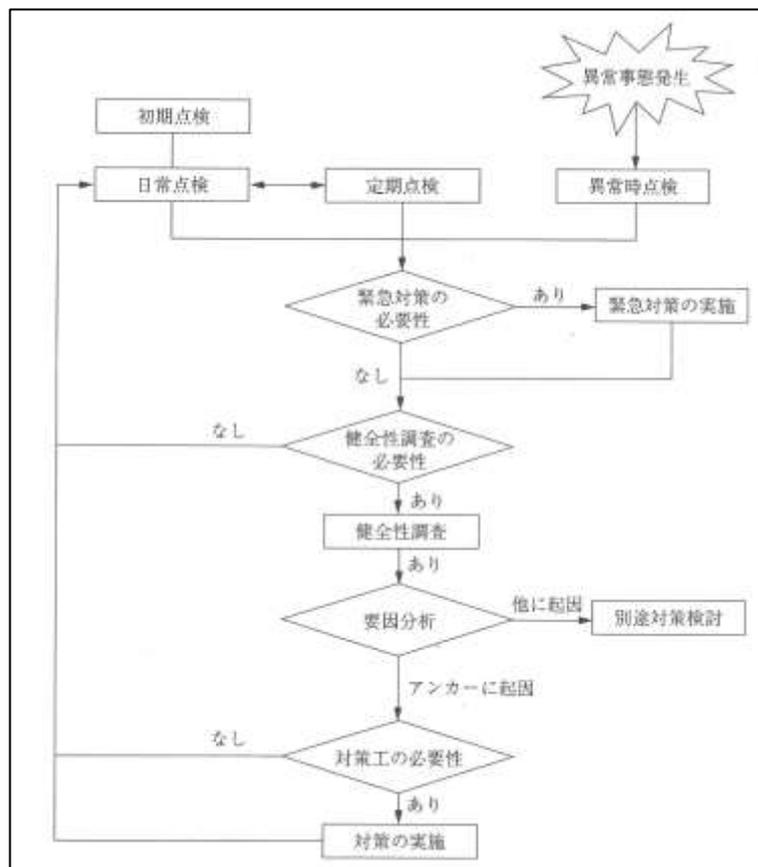


図 2.3.1 これまでのアンカー維持管理フローの例

(出典「グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説((公)地盤工学会,平成 24 年 5 月)」)

また、既設アンカーの性能を評価する「維持性能確認試験」の調査位置選定では、事前に残存引張り力の分布調査を行えば効率的に性能評価地点の選定が可能となる。さらに、点検後の現況評価として行われる「健全性調査」では「残存引張り力に基づく健全度評価」を行うことで、より詳細な調査・対策が検討可能なアンカーのり面であるかをスクリーニングすることができる。

以上の考え方に基づき、本書が提案するアンカーのり面の維持管理フローを図 2.3.2 に示す。

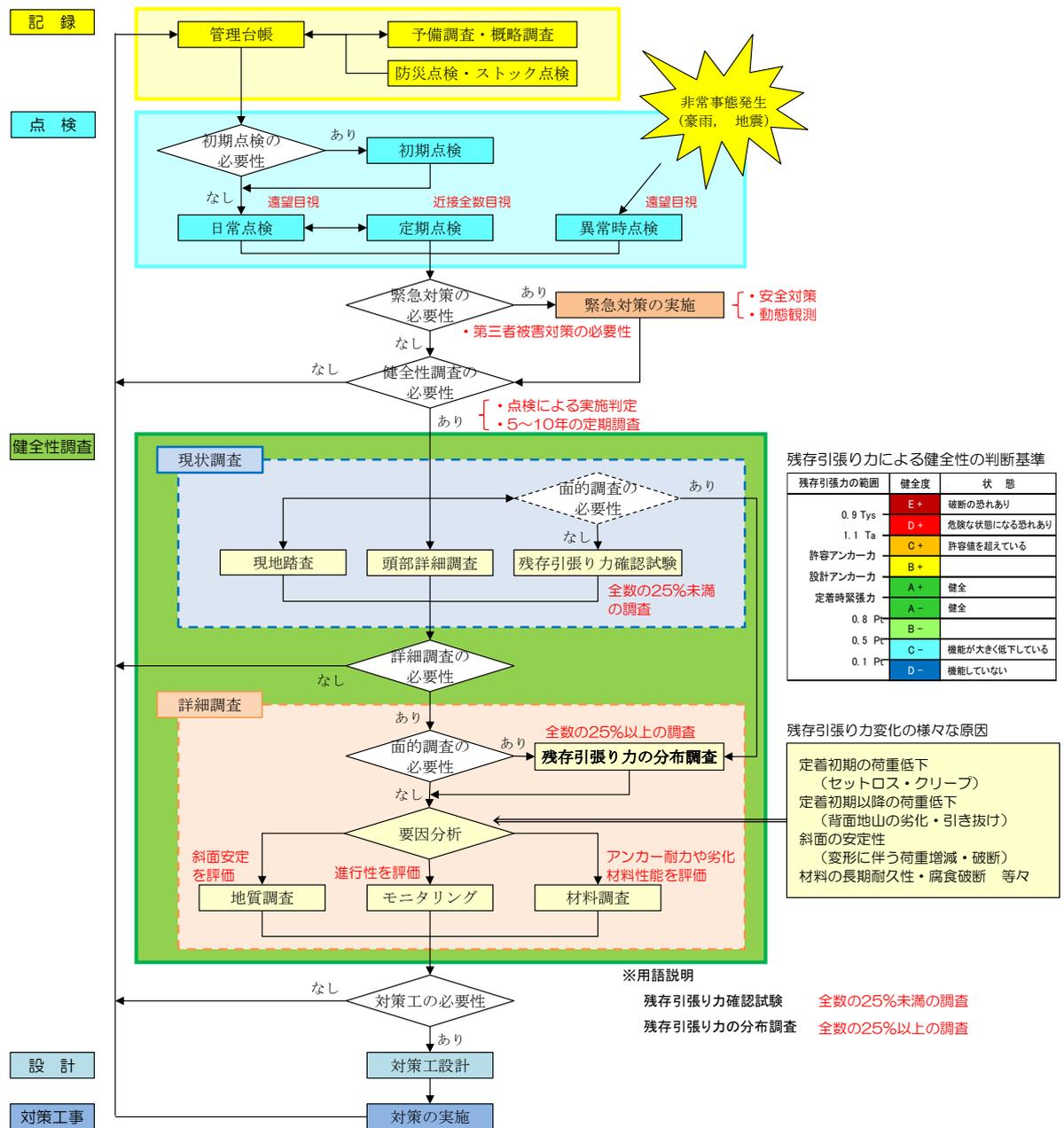


図 2.3.2 アンカーのり面維持管理フロー

2.4 アンカーのり面の健全性

維持管理におけるアンカーのり面の健全性とは、供用中のアンカーのり面の安定性および安全性をいう。

アンカーのり面の健全性において、のり面の安定性、アンカー材料の健全性、安全性(管理基準)について総合的に評価することが重要である。

アンカーのり面の安定性とは、のり面が安定している状態をいうが、アンカーのり面はアンカーの抑止効果により地表面に変状が現れにくく、アンカーの残存引張り力の状況を確認しながら安定性の評価を行うことが重要である。

アンカーのり面の安全性とは、保全対象や第三者に対する安全性をいうが、のり面の崩壊だけでなく、アンカーの飛び出しや頭部コンクリートの落下等付帯構造物に対する評価も重要である。

なお、アンカーのり面の変状後の変状範囲や保全対象の機能への影響等、土工構造物の要求性能に関する評価については、別途検討が必要である。

アンカーのり面の健全性の管理について、想定以上の地震や豪雨等の異常時に加え、気候条件や地質特性および旧タイプアンカーを含めたアンカー材料の経年的な変化によりアンカーのり面の健全性は様々に変化するため、定期的な点検や健全性調査を実施することが重要である。

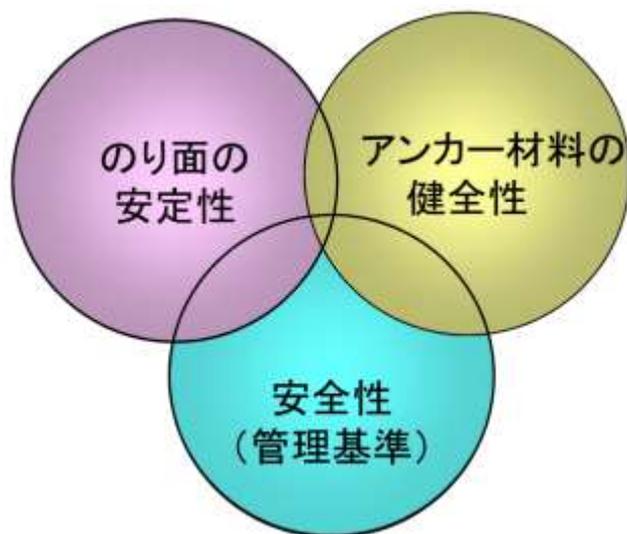


図 2.4.1 アンカーのり面の健全性

2.5 アンカーのり面の健全性調査の基本的な考え方

アンカーのり面の健全性調査は、供用中のアンカーのり面の安定性および安全性を評価するために実施する。

アンカーのり面の健全性調査の実施において、現状調査と詳細調査に分け、現状調査の結果を基に、必要に応じて詳細調査を行う段階的な調査を基本とする。

現状調査は現地踏査、アンカー頭部調査、残存引張り力の確認等を行う。

詳細調査は、現状調査結果により、のり面の安定性およびアンカー材料の健全性に問題または問題の可能性がある場合に、残存引張り力の分布調査、モニタリング、地質調査、アンカー材料調査を実施し、変状要因の解明や、今後の対策検討に必要な評価を行う。

アンカーのり面の維持管理において、重大な事象に結びつく斜面の不安定化やアンカーの劣化等の要因の多くは不可視な地中部で進行し、特にアンカーのり面では自然斜面と比べ地表面にその異常や変状が現れにくい。また、アンカーのり面ごとに地質条件やアンカー構造等様々な要因にて健全性が変化しており、その対策範囲や対応方法も異なる。

このため、現状調査は、目視点検結果と合わせて定量的かつ定性的にアンカーのり面の健全性の現状を把握するための調査を行い、異常や変状が確認された場合は必要に応じて、詳細調査にて変状要因や進行性の有無および対策検討に必要な個々の事象に合わせた調査を行うことが、効果的かつ効率的な健全性調査を実施する上で重要である。

現状調査では、アンカーのり面の現況把握に主眼を置き、斜面全体ならびにアンカー頭部・受圧構造物における変状踏査、残存引張り力確認試験による緊張力の確認を行う。現状調査は、アンカーの荷重状態が未知な状態で行うことが多いことから、アンカーの損傷等の可能性のある調査は、現状調査後の詳細調査にて実施することが望ましい。なお、既にアンカー頭部の浮きや飛び出しが確認されている緊張力を有していないアンカーについては、残存引張り力の分布に影響しないため現状調査時に原因確認の抜き取り調査等を実施する場合もある。

アンカーのり面の安全性の評価について、現状調査の結果、過緊張によるアンカーの破断飛び出しや劣化によるアンカーや頭部コンクリート等の付帯構造物の落下等第三者へ被害が及ぶ可能性が確認された場合は、緊急対策の実施が必要となる。詳細調査や対策の検討および実施は、緊急対策が完了した段階で行うものとする。

アンカーのり面の健全性調査における，現状調査と詳細調査の項目，目的，試験項目，実施する数量等の目安を表 2.5.1 に示す。

表 2.5.1 アンカーのり面の健全性調査における項目と目安

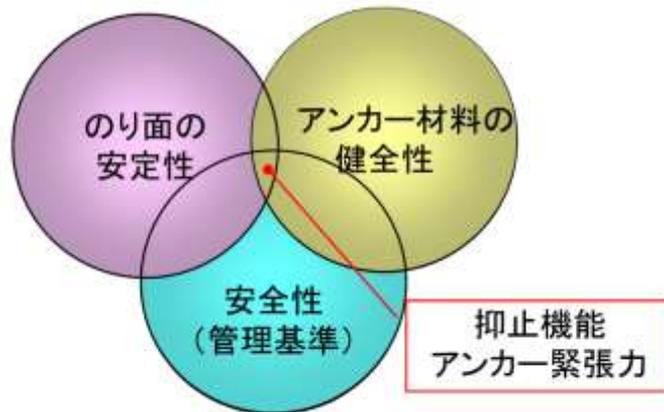
区分	項目	目的	試験項目	備考（調査数量等）
現状調査	現地踏査	のり面と付帯構造物の変状確認	・徒歩による踏査	アンカーのり面全体のり面上方斜面
	アンカー頭部詳細調査（外観・露出）	アンカー工本体の損傷・変状確認	・近接目視調査	残存引張り力確認試験箇所（点検結果を踏まえ設定）
	残存引張り力確認試験（リフトオフ試験）	残存引張り力の確認	・残存引張り力確認試験	アンカー設置全数の25%未満
詳細調査	残存引張り力分布調査（リフトオフ試験）	残存引張り力の面的分布確認	・残存引張り力確認試験	アンカー設置全数の25%以上
	地質調査	アンカーのり面の地質特性の評価	・地表地質踏査 ・調査ボーリング ・標準貫入試験 等	現状調査の結果に基づき検討
		アンカーのり面の安定性の評価	・孔内傾斜計 ・パイプ歪計 ・自記水位計 ・地盤伸縮計 等	
	モニタリング		・アンカー荷重計観測 等	
	アンカー材料調査	アンカー耐力の確認・性能評価	・リフトオフ試験（アンカー耐力確認） ・維持性能確認試験	
アンカー機能の確認		・アンカー抜き取り調査 ・頭部背面調査		

◇コラム：アンカーのセンサー的機能◇

アンカーの緊張力は、斜面の安定性やアンカー材料の健全性および管理基準(安全性)のいずれも関連する重要な管理項目である。

アンカー工は、縦型伸縮計と同様の構造をしており、アンカーのり面変状やアンカー工の機能の低下を、アンカーの残存引張り力の増減によって評価することが可能である。このため、アンカー工は抑止機能だけでなく、アンカーのり面の健全性の変化を感知するセンサーとして活用できる。

アンカーのり面の残存引張り力の面的評価や残存引張り力の経年変化に関するモニタリングは、アンカーのセンサー的機能を活用したアンカーのり面の安定性やアンカー材料の健全性の効果的な評価手法と言える。



参考図 2.5.1 健全性評価項目とアンカー緊張力の関係

第3章 アンカーのり面の健全性調査(現状調査)

3.1 現状調査の基本的な考え方

各種点検によって健全性調査が必要と判断されたアンカーのり面を対象に、アンカーのり面の健全性調査の1次調査として現状調査を実施し、アンカーのり面の健全性の評価を行う。

現状調査の結果で、のり面の安定性及びアンカー材料の健全性に問題または問題の可能性があると判断されたのり面は、2次調査として詳細調査を実施し、対策工の必要性の判断を含めたアンカーのり面の健全性評価を行うものとする。

なお、変状状況・調査目的・保全対象の重要度等に応じて、現状調査を省略して詳細調査から実施してもよい。

アンカーのり面の健全性調査において、アンカー全数の調査を実施することが望ましいが、管理対象となるすべてのアンカーのり面に対して全数調査を実施することは施工面・経済面において現実的ではない。

このため、アンカーのり面の健全性調査において、1次調査として現状調査を行い、アンカーのり面の健全性に問題の可能性があると判断されたのり面について、2次調査として詳細調査を実施する段階的な流れを標準とする。

なお、顕著な変状が見られ迅速な対応が必要と判断されるのり面、旧タイプアンカーの更新設計の為の調査、詳細な管理が求められる保全対象等、現場状況・調査目的・保全対象の重要度等に応じて、現状調査を省略して詳細調査から実施してもよい。

3.2 現状調査の種類

現状調査は、現地踏査・頭部詳細調査・残存引張り力確認試験があり、アンカーのり面の健全性における安定性及び安全性の確認を目的に実施する。

3.2.1 現地踏査

のり面と付帯構造物の状況確認を目的とし、アンカー施工範囲及び周辺を対象に踏査を実施する。

3.2.2 頭部詳細調査

アンカーの変状の有無の確認を目的とし、点検にて健全性調査が必要と判定された箇所及び残存引張り力確認試験を実施する箇所を対象に、打音点検を含む近接目視での外観及び頭部露出点検を実施する。

3.2.3 残存引張り力確認試験

残存引張り力の確認を目的とし、アンカーのり面の安定性及び安全性の確認の為に選定したアンカーを対象に、残存引張り力確認試験を実施する。

表 3.2.1 現状調査における項目と目安

項目	方法	目的	数量
現地踏査	現地踏査	のり面と付帯構造物の状況確認	アンカーのり面全体 上方斜面
頭部詳細調査	頭部詳細調査 (外観及び頭部露出)	アンカー頭部 状況の確認	アンカーやのり面の変状 箇所、健全性調査が必要と 判定された箇所、残存引張 り力確認試験箇所等
残存引張り力 確認試験	残存引張り力確認試験	アンカーのり面 の安定性及び安 全性の確認	アンカー全体の 25%以下 の調査及び点検にて健全 性調査が必要と判定され た箇所

3.3 調査計画

調査計画は、必ず事前調査を実施し、現場条件や周辺環境に応じた適切かつ安全な実施計画を策定する。また、調査計画の策定において、調査記録の保存方法についても施設管理者と協議し決定する。

アンカーのり面の健全性調査のうち現状調査の調査計画内容を表 3.3.1 に示す。事前調査は、設計変更や材料変更等により既存資料と実際の現場状況が異なることがあるため、調査計画の策定に先立ち必ず現地確認を実施する。現地確認ではアンカー本数や配列等の確認を行い、少なくとも 1 箇所はアンカーの頭部露出を行いアンカー規格の確認を行うことが重要である。

アンカーのり面の現場条件及び周辺環境に応じて、適切な調査方法や調査位置を選定し、計画的かつ効率的に調査が実施できるよう計画を策定する。

また、調査記録の保存方法について、調査結果が既存の管理台帳やカルテ等に反映され継続的に記録できるように、調査時のアンカーNo や調査記録(電子成果等)の整理の方法を含め計画段階から施設管理者と協議し確認しておくことが重要である。

表 3.3.1 アンカーのり面の健全性調査(現状調査)計画書の内容(例)

	項目	主な記載項目
1	健全性調査概要	<ul style="list-style-type: none"> ・ 調査名 ・ 調査場所(所在地, 案内図, 位置図) ・ 管理者と実施者
2	健全性調査の目的	<ul style="list-style-type: none"> ・ アンカー健全性調査を実施する目的
3	アンカーのり面概要	<ul style="list-style-type: none"> ・ 保全対象と対策目的(斜面安定, 地すべり対策, 土留め工等) ・ 対策の経緯と対策時期(変状履歴の有無) ・ 対策規模(対策ブロックとアンカー本数) ・ 対策概要(アンカー配置図とアンカー対策断面図)
4	地形・地質条件	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地形地質概要 ・ のり面スケッチや地表踏査図等 ・ 地質断面図(すべり面及び地下水位) ・ 地質柱状図や動態観測結果等
5	調査アンカー諸元	<ul style="list-style-type: none"> ・ 工法及びタイプ(アンカー材料図面) ・ アンカー体長・アンカー自由長 ・ 設計アンカー力, 定着時緊張力 ・ その他
6	健全性調査の実施体制	<ul style="list-style-type: none"> ・ 主任技術者(責任技術者) ・ 連絡体制及び安全管理体制
7	調査の実施位置	<ul style="list-style-type: none"> ・ アンカー健全性調査を実施する位置 ・ 調査位置の選定理由
8	健全性調査項目	<ul style="list-style-type: none"> ・ アンカー健全性調査の種類 ・ アンカー健全性調査項目及び選定理由
9	調査方法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 一般事項 ・ 実施手順(フロー) ・ 調査方法・調査手順 ・ 使用機器・使用材料 ・ 工程計画 ・ その他
10	調査後の復旧	<ul style="list-style-type: none"> ・ 復旧計画と使用材料
11	調査結果の取りまとめ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 取りまとめ項目・様式・評価基準 ・ 成果品
12	記録の保管	<ul style="list-style-type: none"> ・ 保管方法・様式

◇コラム：維持管理におけるアンカー番号◇

維持管理におけるアンカー番号の決定について、グラウンドアンカー維持管理マニュアルに示された維持管理のためのアンカー番号付けを参考に、事前に協議を行い決定する。

当初施工時のアンカー番号のつけ方は、各現場で異なったり、既存資料がなく不明の場合がある。維持管理において、管轄内の複数のり面について、異なる点検者や管理担当者等で引継ぎが行われるため、中長期的な維持管理においては維持管理用に統一した共通のアンカー番号に修正して管理台帳を作成することが望ましい。

増し打ちアンカーや更新アンカーの混在や、損傷等で除去されている場合は、できるだけ施工の時系列が判るような管理番号を付ける。

(例)増し打ちアンカーの場合(追加：addの頭文字)

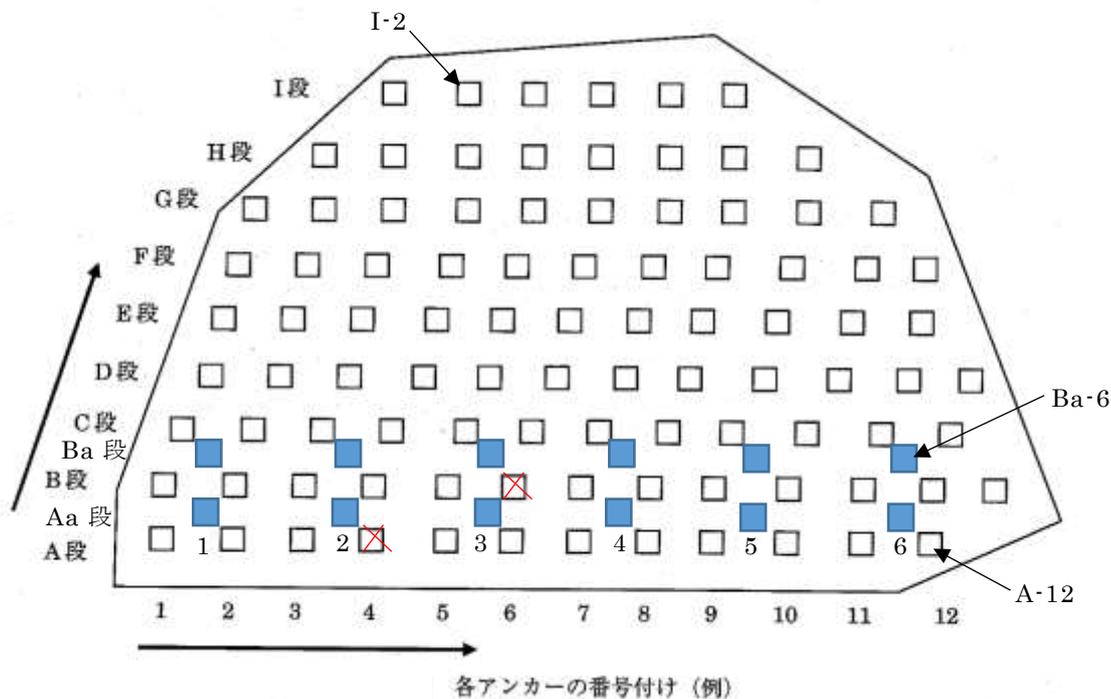
増し打ちアンカーを Aa 段とし凡例の塗潰し等の標記をするとよい。

(例)更新アンカーの場合(更新：renewの頭文字)

更新アンカーを Ar 段とし凡例の塗潰し等の標記をするとよい。

(例)除去アンカーがある場合

既に除去されたアンカーも管理番号をつけ、当初アンカーの配列・本数が判るようにしておく方が望ましい。凡例に×印等の標記をつけ除去アンカー又は機能損失アンカーと判別できるようにするとよい。



参考図 3.3.1 アンカーの番号付け例 ※一部加筆

出典(「グラウンドアンカー維持管理マニュアル」土木研究所・日本アンカー協会)H20.7)

3.3.1 事前調査

事前調査は、既存資料調査及び現地確認を行い、アンカーのり面の安定性やアンカー材料の健全性に関する現状調査のための調査項目、調査位置、試験方法、評価基準、調査時の安全対策等について、情報収集を行う。

(1) 既存資料調査

既存資料調査は、調査対象のアンカー対策の経緯や施工されているアンカー諸元及び管理・設計基準等の情報収集を目的とし、調査・設計・施工・維持管理等の机上調査を主体とした情報収集を行う。

既存資料調査において、表 3.3.2 に関する資料を可能な範囲で収集する。既存資料調査で使用した報告書は、実施年度、報告書名、管理者、作成者等の諸元を整理し、管理台帳や成果報告書に記録しておくことよい。

なお、既存資料収集において既存資料がない場合は、現地確認にてアンカー規格等を基に試験計画に必要な最低限の情報を収集する。

表 3.3.2 既存資料調査項目

項目	内容
調査記録	調査目的、地形地質概要(走向・傾斜、のり面スケッチ)、ボーリングデータ、すべりブロックの形状、地下水位、現場記録写真等
設計記録	初期安全率、計画安全率、必要抑止力、計画水位、定着地盤、周面摩擦抵抗 τ 、アンカー工法、材料規格、設計アンカー力等
施工記録	施工年月日、品質保証試験、初期定着時緊張力、施工状況写真等
維持管理記録	動態観測データ(荷重計・動態観測等)、施設台帳・道路防災総点検結果等、補修履歴情報、追加対策工記録、現場記録写真等

(2) 現地確認

現地確認は、既存資料調査結果と現地状況が整合しているかを確認するとともに、現地調査の試験計画、試験機器の選定、調査工程、安全対策等の計画立案に必要な情報収集を行う。

現地確認において、表 3.3.3 に関する確認項目を可能な範囲で収集する。

現地確認は、設計変更や追加対策等によって既存資料と現地状況が一致しない場合や、植生繁茂による現地踏査の可否を確認するために必ず実施する。

特に、アンカー種類・規格の確認は、少なくとも 1 箇所以上についてアンカー頭部の露出を行い、アタッチメント・ジャッキ設置の可否を確認する。

また、アンカータイプが複数ある場合は、それぞれ 1 箇所以上のアンカー頭部確認を同様に行う。

なお、現地確認において、コンクリートキャップのはつり作業や伐採作業等が必要な場合は、これらの工程を含めた段階的な事前調査計画を立て、手戻りがないよう施設管理者と対応や工程について協議する。

表 3.3.3 現地確認の項目

項目	内容
のり面に関する情報	斜面の勾配・高さ、のり面の段数とアンカー施工位置、走向、傾斜・付帯構造物(擁壁等)の形式・寸法、その他観測機器の有無、変状の有無
アンカーに関する情報	アンカー工法・規格・受け台・寸法・アンカー本数・配列、追加対策の有無、荷重計の有無、変状の有無 ※アンカー工法・規格の確認は少なくとも 1 箇所の頭部露出確認
保全対象に関する情報	農地・道路・家屋等
作業に関する情報	試験機材・使用機器、作業用の駐車場、搬入路等作業経路、伐採、調査時の安全対策、通行規制、作業時間等

◇コラム：頭部コンクリートの露出処理◇

頭部コンクリート(凸型)の頭部露出作業は、ハンマードリル、セリ矢、ハンマーを用いることで簡易に頭部露出作業が実施できる。アンカーの頭部コンクリート(凸型)の多くは、無筋コンクリートであるため、セリ矢(写真)を用いて簡単に頭部露出ができ、ピックハンマーを用いたはつり作業と比べ、粉塵やコンクリート片の飛散が少なく作業ができる。

なお、ハンマードリルでの削孔作業において、PC 鋼より線やアンカーヘッドのネジ部を傷めないよう留意する必要がある。また、はつり作業によるコンクリート片の落下については、適切な防護を施す。



① 露出作業に使用する道具



② ハンマードリルで削孔



③ セリ矢を挿入してハンマーで叩く



④ コンクリートを小割にしながら作業を繰り返す



⑤ 頭部露出状況

参考図 3.3.2 セリ矢による頭部コンクリートの露出作業(例)

3.3.2 記録の保存

維持管理に関する調査記録について，継続的に維持管理の記録を利用できるようにデータを整理し，供用期間中において記録の保存を行う。

調査計画段階にて，維持管理記録の保存方法について確認し，継続的に維持管理記録を利用できるようにしておくことが重要である。また，今後，維持管理に関するデータベースの構築や CIM(Construction Information Modeling)の利活用など，効率的かつ効果的な維持管理に向けた積極的な取り組みが望まれる。

事前調査における既存資料調査では，定期点検等を含めた施設台帳や維持管理カルテ等の確認も重要である。

施設台帳や維持管理用カルテ等については，施設管理者ごとの維持管理に関するデータ整理の様式や管理項目及び電子データ等の保存形式がある場合は，その内容を確認しておくといよい。

また，アンカーのり面の管理台帳やカルテが整理されていない場合は，別途，管理台帳等の作成の提案をすることが望ましい。

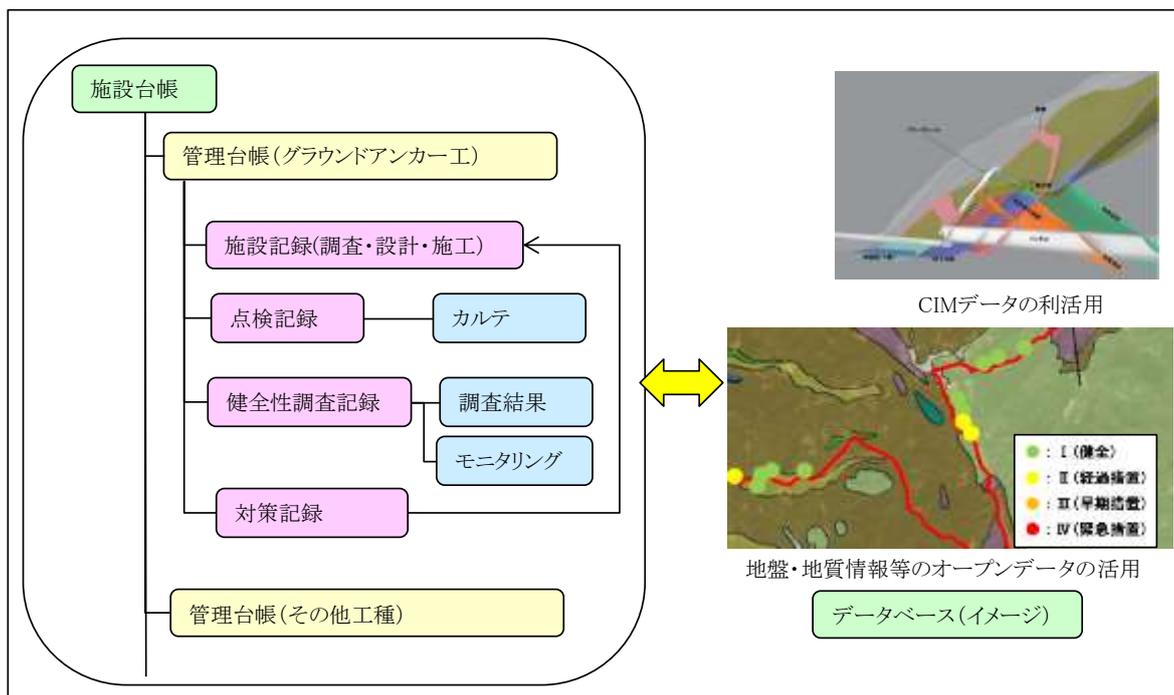


図 3.3.1 記録の保存(イメージ)

3.4 現地踏査

現地踏査は、のり面と付帯構造物の状況確認を目的とし、のり面全体を対象に踏査を行う。

踏査結果は、のり面や付帯構造物のクラックやアンカー損傷等の変状箇所、湧水や背面地盤等の状況を、スケッチや写真等にて整理を行う。

アンカーのり面は、無対策のり面と比べアンカーの抑止効果により変位量が制限され、アンカーが破断や引抜け等による損傷が発生するまでは、のり面変位に伴う変状が地表に現れにくい特徴があり、外観目視を中心とした点検や踏査のみでは、のり面変状の早期発見が困難な場合も多い。

また、現地踏査時のアンカーの変状やのり面のクラック及び湧水等の影響について、のり面変動に伴う変状か構造物自体の収縮クラックや劣化等による変状かの評価も難しい。

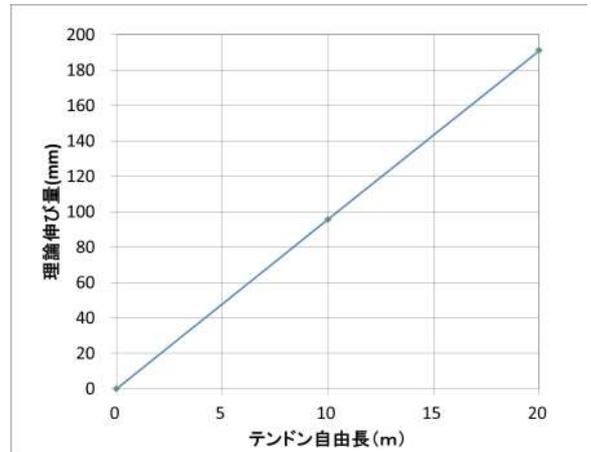
このため、アンカーのセンサー的機能を活用し、残存引張り力確認試験の結果を基に現地踏査を行うと効率的かつ効果的である。特に残存引張り力が増加したアンカーが確認された場合は、その周辺に関連するクラックやアンカーに変状がないか重点的に確認を行い、必要に応じて頭部詳細調査や残存引張り力確認試験の追加調査の検討を行うことがよい。

表 3.4.1 アンカーのり面及び付帯構造物の段階的な変状状況(例)

項目	安定期	進行期	変状期
のり面状況	小段, アンカーには, 異常なし. (のり面変状に起因しない収縮クラック等も混在する場合がある)	軽微な変状の発生 ・ 支圧板のズレ ・ 付帯構造物のヘアークラックや水路の変位	顕著な変状の発生 ・ アンカーの破断損傷 ・ 支圧板の回転等. ・ 付帯構造物の顕著な亀裂, のり面変形
アンカー緊張力	緊張力は安定又は, 背面地盤地質の影響による低下	のり面変状に伴う緊張力の増加が進行するが, アンカーの抑止機能より変位が制限される.	許容アンカー力を大きく超え(過緊張), オーバーロードによるアンカーの破断や引抜け等の損傷による緊張力の低下が混在する.
写真	 <p>異常無し</p>	 <p>ヘアークラックの発生</p>  <p>支圧板のズレ</p>	 <p>アンカー破断による損傷</p>  <p>支圧板の回転等</p>  <p>のり面のクラック等</p>

◇コラム：アンカーの抑止効果と現地踏査における留意点◇

一般にテンドン自由長が $l_{sf}=20\text{m}$ 以下のアンカーは、ゼロ荷重から降伏点荷重 T_{ys} までの理論伸び量は数 cm ～ 20 cm 程度の変位量である(参考図 3.4.1).

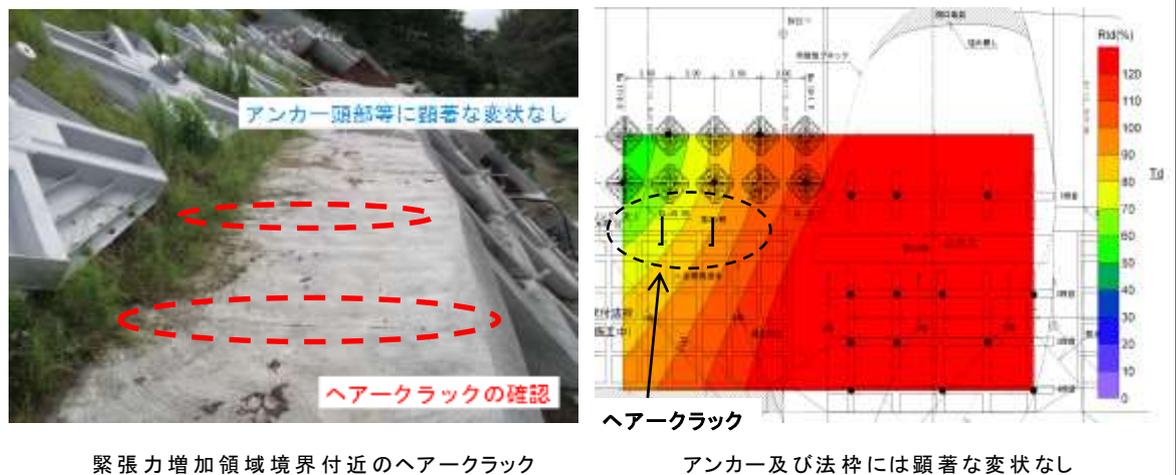


参考図 3.4.1 テンドン自由長のゼロ荷重から降伏点荷重 T_{ys} までの理論伸び量

参考図 3.4.2 は、荷重計観測にて残存引張力が降伏点荷重 T_{ys} の 90% を超える(健全度判定: E+(緊急対策を実施))破断の危険性が高いアンカーのり面を現地踏査した結果、緊張力増加領域境界付近の小段での変状がヘアークラックのみに留まり、頭部詳細点検では異常が見られなかった事例である。

アンカーのり面の変状特性として、既設アンカーに破断の恐れがある場合においても、アンカー変位は数 cm ～ 20cm 程度に留まることから、アンカーが損傷するまではアンカーの抑止効果によってのり面に顕著なクラックや損傷は現れにくい。また、目視点検及び現地踏査で確認したヘアークラックについて、残存引張力等を確認するまでは、コンクリートの収縮等によるものか、のり面変状によるものかの判定は困難である。

したがって、アンカーのり面の点検や現地踏査において小段や付帯構造物のヘアークラック等にも留意し、健全性調査(現状調査)においては、アンカーのり面の評価は、残存引張力確認と現地踏査及び頭部詳細調査結果を総合的に行うことが重要である。



緊張力増加領域境界付近のヘアークラック

アンカー及び法枠には顕著な変状なし

参考図 3.4.2 健全度区分 E+判定の残存引張力分布のり面の現地状況

3.5 頭部詳細調査

頭部詳細調査は、アンカー外観調査とアンカー頭部露出調査に分かれ、近接目視点検及び打音点検にてアンカー頭部状況の確認を行う。

頭部詳細調査箇所は、アンカーに変状または事前の点検にて健全性調査が必要と判定された箇所及び残存引張り力確認試験を実施する箇所を対象に行う。

調査結果と状況写真は、維持管理記録に保存する。

アンカー工のほとんどは不可視な地中部に埋設されており、アンカー頭部は調査ができる限られた箇所で、アンカーの抑止力の保持や健全性調査時の試験及び残存引張り力の調整を含め補修対策時において重要な部位である。

その一方で、供用後 50 年近く経過するアンカーもあり、様々な要因によりアンカー頭部の変状や損傷事例が確認されている(コラム 参考写真 3.5.1 頭部詳細調査における変状事例を参照)。

近年、頭部詳細調査について、保全対象によって様々な点検項目やその評価及び判定手法が提案されている。

このため、本マニュアルでは、一般的な頭部詳細調査に共通する項目や調査方法の紹介に留め、詳細な調査方法や判定基準等については、管理者が指定する頭部詳細調査方法に準じて実施するものとする。

なお、点検や調査計画段階等で、既にアンカー頭部の浮きやアンカーが飛び出している機能損失したアンカーを確認している場合については、可能であれば、第 4 章詳細調査のアンカー材料調査に示すアンカー頭部背面調査やアンカーの抜き取り調査(破断面観察)、及び状況に応じてリフトオフ試験(アンカー耐力確認)等の損傷原因の把握に関する調査を合わせて実施しておくといよい。

◇コラム：頭部詳細調査における変状事例◇

対象	状況写真			
頭部保護				
防錆油				
定着具				
(テンドン) 引張材				
受圧構造物				
周辺構造物				

コラム 参考写真 3.5.1 頭部詳細調査における変状事例

3.5.1 調査項目と評価項目

図 3.5.1, 図 3.5.2 にアンカー頭部の構造例と部材名を, 表 3.5.1 に頭部詳細調査における代表的な調査項目と評価及び計測項目を示す.

頭部詳細調査において, 保全対象や管理対象によって頭部詳細調査の判定及び評価方法が異なるが, 現場での調査対象アンカー頭部の調査項目と点検記録写真はほぼ共通している.

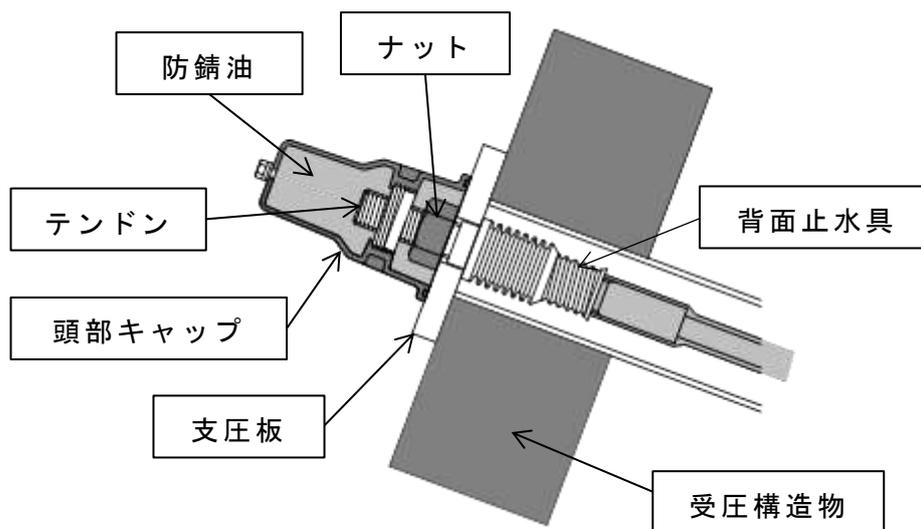


図 3.5.1 アンカー頭部の構造例と部材名称
(頭部キャップ(ナット方式)の場合)

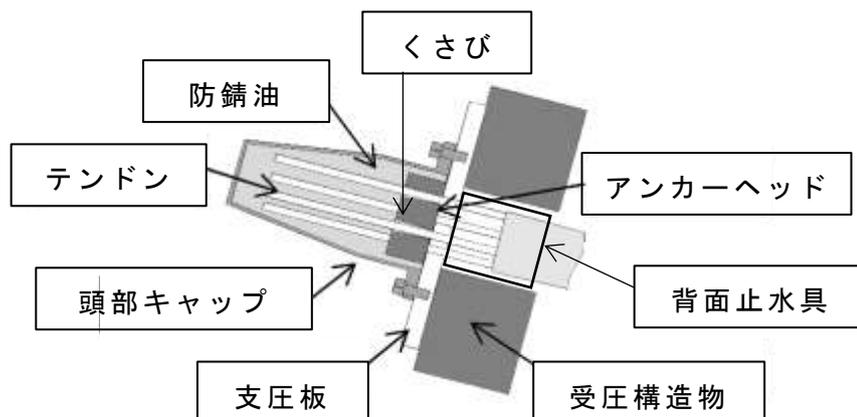


図 3.5.2 アンカー頭部の構造例と部材名称
(頭部キャップ(くさび方式)の場合)

表 3.5.1 頭部詳細調査の調査項目と評価及び計測項目

対象部材	調査項目	評価及び計測項目
頭部保護	アンカー飛び出し	・テンドンの飛び出しの有無
	頭部コンクリート	・浮き上がり，剥離，クラック，遊離石灰，湧水
	頭部キャップ	・浮き上がり，変形・損傷，遊離石灰，防錆油の漏れ，湧水 ・シール材の有無(Oリング等)，ボルト等の状況
	保護板の有無	・帯工板や落石防護ネット等の飛び出し防護対策の有無
防錆油	量・色	・量・変色の有無
定着具	くさび	・くさびのセットのばらつきや引き込まれ度合い ・くさびの外れ，錆・腐食がある
	アンカーヘッド・止めナットのセット状況	・適切な角度で設置されていない，浮きがある ・ズレがみられる．錆・腐食がある
	支圧板	・錆，腐食の有無 ・回転・ズレ
	規格・寸法	・規格・寸法の計測
引張材(テンドン)	錆，腐食	・錆，腐食がある
	破断，破損	・破断・破損が認められる ・引き込まれ等，余長にばらつきがみられる
	切断方法	・ガス，カッター，工場加工などを明記
	余長	・引張材の余長を計測(最短～最長) ・5mm単位でよい(例)4.5～6.0cm
受圧構造物	沈下・浮き	・受圧板の沈下や洗掘等による浮き ・受圧構造物のズレや目地の開き等
	劣化・損傷	・亀裂や変形等
	遊離石灰	・遊離石灰や湧水
その他	湧水	・湧水範囲，湧水量，スケッチ等
	地山全体の変状	・スケッチ，計測等
	周辺構造物の変状	・スケッチ，計測等

3.5.2 調査方法

頭部詳細調査は、近接目視点検と打音点検にて調査を行う。

(1) 近接目視点検

近接目視点検は、目視点検にてアンカー頭部状況を評価し、状況写真を記録に残す。また、必要に応じて任意の代表箇所にて施工アンカーの種類、アンカーヘッド・支圧板・受圧板等の規格・寸法・角度等を計測し記録する。

近接目視点検において、点検カルテ(結果票)と合わせて写真記録は重要である。写真記録は、アンカー頭部のみでなく周辺状況がわかる全景写真や変状箇所及び湧水等の変状原因となるものがあれば詳細状況と代表箇所にてアンカー規格や寸法等が判る写真も撮影する。また、作業前・作業完了の全景写真以外は、黒板を使用せず近接撮影を基本とし、近接撮影の場合は、チョークなどで支圧板や受圧板にアンカーNoがわかるようにしておく。

写真の撮影方向は、定期点検時等、同一方向から撮影すると写真記録での経年比較がしやすいため可能であれば撮影方向を統一しておくといよい。また、データの容量や整理の課題もあるが、左右正面などの多方向からの撮影とデータ整理時に拡大確認できる高画質設定にしておくこと、異常や変状が確認された際など様々な状況に対応できてよい。



写真 3.5.1 近接写真のアンカー番号の記載(例)

表 3.5.2 頭部詳細調査の調査項目と記録写真(例)

 <p>① 全景(作業前)</p>	 <p>⑥ 側面頭部状況(計測)</p>
 <p>② 頭部近景</p>	 <p>⑦ 正面頭部状況(計測)</p>
 <p>③ 頭部状況(シース材と防錆キャップ)</p>	 <p>⑧ 余長状況(計測)</p>
 <p>④ 防錆油状況</p>	 <p>⑨ 頭部復旧(防錆油塗布)</p>
 <p>⑤ 頭部状況</p>	 <p>⑩ 頭部復旧(作業完了)</p>

(2) 打音点検

打音点検は、ハンマーを用いて支圧板や頭部コンクリートを打撃し、浮きや回転がないかの確認を行う。

打音点検は、残存引張り力の変化度合い等の機能低下の評価を目的とするのではなく、近接目視点検の補足調査として、近接目視では見分けがつきにくい機能損失した僅かなアンカー頭部の浮き等を見落としがないよう確認することを主目的とする。

打音点検の打音箇所について、一般に頭部キャップの場合は、支圧板の4隅を打撃し、全箇所浮きがある機能損失したアンカーがないか確認する。のり枠等で支圧板が片浮きしている場合がみられるが、4隅のうち一箇所でも浮きがない場合は残存引張り力がある程度残っている場合がある。

頭部コンクリートキャップの場合は、支圧板がコンクリートキャップに覆われていることが多いため、支圧板近くの側部を打撃する。頭部キャップの場合と比べ、コンクリートの重量が重く打音での判断がわかりにくい。頭部コンクリートの浮きや回転がないか確認し、支圧板周辺のコンクリートの剥離や剥落がないかも確認する。

使用する打音ハンマーは、支圧板の浮きや回転、頭部コンクリートの浮き等の確認には軽量ハンマーだと判断しにくい場合もあり、片手でしっかりと打撃確認ができる0.5kg～1kg前後の中型ハンマーを使用すると評価しやすい。なお、打音点検の使用ハンマーの重量が指定されている場合は指定された打音ハンマーを使用する。また、のり面作業等で点検する場合も多いことから、点検工具には落下防止対策を行うことが重要である。



写真 3.5.2 点検用具の落下防止対策(例)

3.6 残存引張り力確認試験

残存引張り力確認試験は、アンカーの残存引張り力の確認を目的に実施する。

3.6.1 使用機器

センターホール型油圧ジャッキと各アンカー用のアタッチメントを使用して実施する。油圧ジャッキ及び油圧ポンプは、計画最大荷重を確認でき、ストローク長は2cm以上の荷重が可能な装置を用いる。

計測は、ひずみ式の油圧センサー及び変位計にて自動計測を行う。

小型軽量のSAAMジャッキを用いると、人力搬入にて仮設足場やクレーン等の大型機器の使用に伴う通行規制が緩和でき、効率的に実施することができる。



図 3.6.1 残存引張り力確認試験状況(例)

表 3.6.1 残存引張り力確認試験の使用機器

項目	名称・仕様	数量
油圧ジャッキ	複動式センターホール型 最大載荷荷重：調査アンカー対応 ストローク：(2cm 以上)	1 台
ラムチェアー	使用油圧ジャッキ用	1 式
アタッチメント	調査試験アンカー用	1 式
油圧ポンプ	型式：複動型油圧ポンプ，最大圧力：70MPa	1 台
変位計	ひずみゲージ式ダイヤルゲージ(容量：20 mm 以上)	1 個
圧力計	ひずみゲージ式油圧センサー(容量：70MPa 以上)	1 個
計測装置	データロガー・スイッチボックス・パソコン	1 式

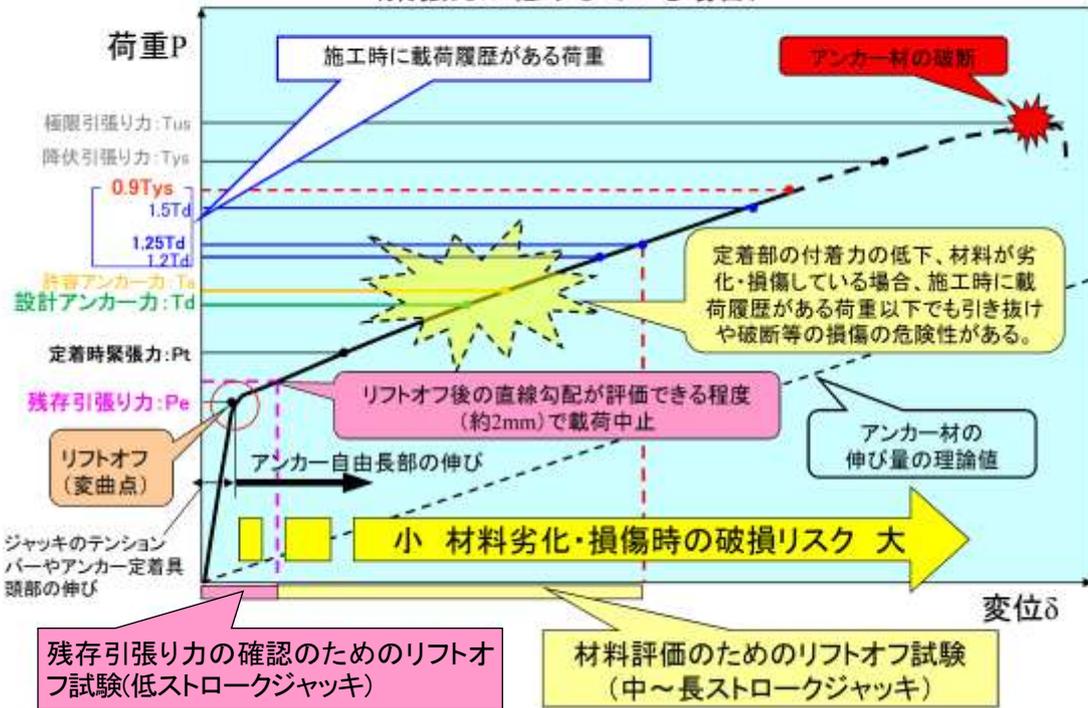
◇コラム：目的別リフトオフ試験(残存引張り力確認とアンカー耐力確認)◇

アンカーのり面の維持管理において、単調载荷によるリフトオフ試験は効果的な健全性調査手法である。しかし、リフトオフ試験はアンカーの劣化や荷重状態で損傷する可能性があり、载荷変位量が大きいほどアンカーの損傷リスクが大きくなる。

このため、リフトオフ試験では、調査目的に応じて、「残存引張り力確認のためのリフトオフ試験」と、「アンカー耐力確認のためのリフトオフ試験」に分類することで効果的かつ効率的な健全性調査が実施できる。

残存引張り力確認のためのリフトオフ試験は、小型軽量の低ストロークジャッキ(SAAM ジャッキ)を用いて、残存引張り力の分布確認などアンカーのり面の安定性評価を目的に実施し、アンカー耐力確認のリフトオフ試験は、施工用の中～長ストロークジャッキを用いて、アンカー材料の健全性評価を目的に実施する。

目的別リフトオフ試験における最大試験荷重 T_t の関係
(緊張力が低下している場合)



参考図 3.6.1 目的別リフトオフ試験と損傷リスク

参考表 3.6.1 目的別リフトオフ試験方法

試験の種類		リフトオフ試験		維持性能確認試験
		残存引張り力確認試験	アンカー耐力確認試験	
目的		残存引張り力の確認	アンカー耐力の確認	アンカー性能の確認
主な計測項目		変位ー荷重管理および荷重時間		
計画最大荷重Tp ※1		1.15Ta	Td ※4	1.25Td
最大試験荷重Tt ※2		Peから2mm程度の荷重※3		
荷重方法		単調荷重		段階荷重(多サイクル)
荷重速度	荷重時	リフトオフ前	計画最大荷重(kN)/1~2(min)	
		リフトオフ後	計画最大荷重(kN)/10~20(min)	
	除荷時	計画最大荷重(kN)/5~10(min)		
荷重保持時間		なし	計画最大荷重のみ5分 (確認試験に準ずる)	1~60分 (適正試験に準ずる)
変位の安定 (最大荷重時)		なし	0.2mm/3min以下 (確認試験に準ずる)	クリープ係数 $\Delta c \leq 0.5\text{mm}$ (適正試験に準ずる)
主な判定項目		残存引張り力	設計荷重に対する 安全確認(簡易判定)	設計荷重に対する安全確認 弾性変位量
油圧ジャッキ	必要ストローク量	2cm以上~	5cm以上~	
	ストロークタイプ	低ストローク	中ストローク(5cm程度)~長ストローク(10cm程度以上)	
	盛り替え ※5	なし	必要に応じて盛り替え対応	
地盤変位		計測しない		計測する

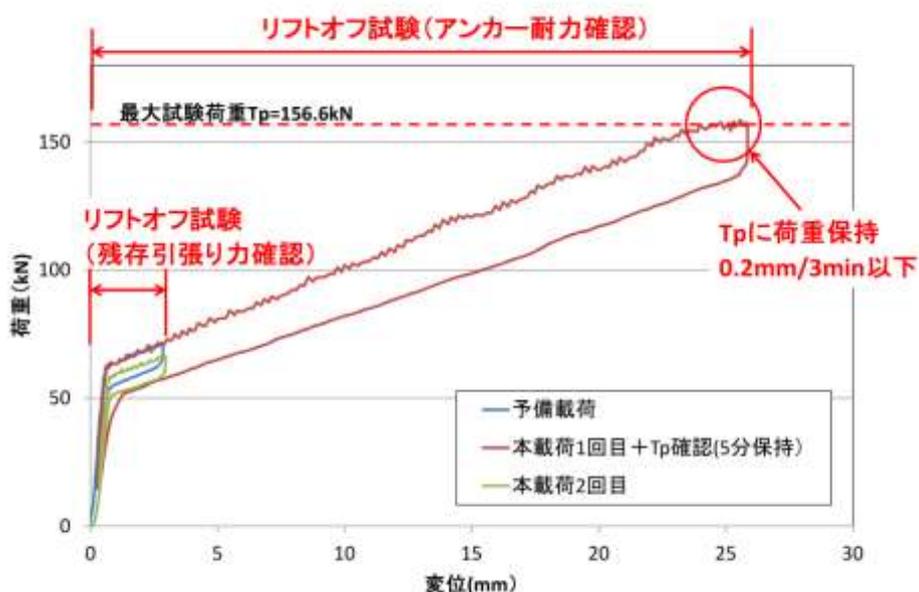
※1. 計画最大試験荷重Tpの目安以上の荷重計画については、調査目的により協議により決定。

※2. 最大試験荷重Ttについて、試験中に劣化破断等が確認された場合は、試験で確認した最大荷重。

※3. 残存引張り力確認試験の最大試験荷重Ttは、リフトオフ後の変位管理となり、残存引張り力の算出に必要なリフトオフ後の直線勾配区間(約2mm)確認ができた荷重となる。(アンカー耐力確認試験や維持性能確認試験の荷重管理と異なる)

※4. アンカー耐力確認試験の計画最大荷重Tpは、調査目的に応じて1.2PeやTa等、協議により決定。

※5. ジャッキストロークが不足する場合は、シムや定着ナットの仮締め等の仮定着により、ジャッキストロークの盛り替え対応を行う。



参考図 3.6.2 目的別リフトオフ試験方法

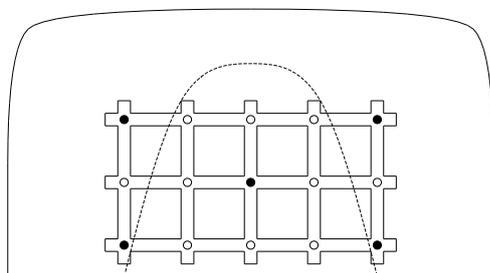
3.6.2 試験本数の目安と試験位置

残存引張り力確認試験は、表 3.6.2 を目安に試験位置と数量を計画する。

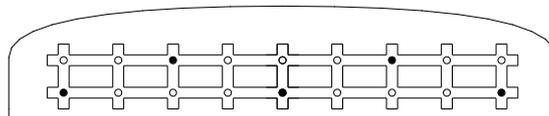
試験位置は、点検にて健全性調査が必要と判定されたアンカー箇所と、それ以外は、のり面の全体の残存引張り力の分布傾向が確認できるよう計画するとよい。

表 3.6.2 残存引張り力確認試験の試験数量の目安

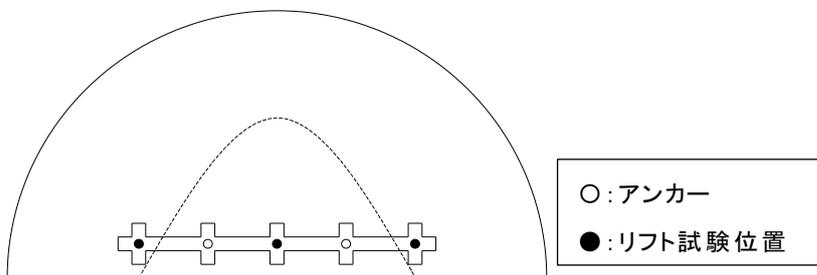
試験数量の目安	備考
施工アンカーの 5%～10%かつ 5 本以上及び点検にて健全性調査が必要と判定されたアンカー	施工本数が 10 本以下の少数の場合は 3 本以上



a. 一般的な試験位置例(N=5 本)



b. 2 段の横長配列の試験位置例(N=5 本)



c. 少数アンカーの試験位置例(N=3 本)

図 3.6.2 残存引張り力確認試験の試験位置(例)
(※点検で健全性調査が必要と判定された箇所を除く)

点検にてアンカーの健全性調査が必要と判定されたアンカーは、のり面変状に伴わない材料劣化に起因する場合もあるため、のり面の安定性評価を目的とした試験数量及び試験位置とは別に、アンカーの機能状況の評価として残存引張り力の確認を行うことが重要である。

健全性調査が必要と判定されたアンカーが多くある場合は、代表的な箇所を選定し、必要に応じて追加調査をする場合もある。また、頭部詳細調査で、アンカー tendon の引き込まれや損傷・変状が確認された箇所については、試験によってさらに損傷が進行する可能性があるため損傷アンカー箇所では試験を実施せず、その損

傷原因の確認を目的にその直近のアンカーにて試験を実施して、必要な追加の調査計画を策定することが重要である。

健全性調査が必要と判定されたアンカー箇所以外の試験位置の配置は、アンカーのり面変状や背面地質等の影響によりアンカー緊張力の分布は様々に変化する。このため、アンカーのり面の安定性や安全性の評価を目的とした場合、変状箇所周辺のみでなく安定した箇所と相対的に比較しながら、のり面全体の残存引張り力の評価ができるよう試験位置の配置を計画することが重要である。

3.6.3 試験方法

(1) 設置手順

油圧ジャッキ及び油圧ポンプ等の载荷装置と、油圧ジャッキの载荷変位計測用の変位計と载荷荷重計測用の油圧センサーの計測装置を設置し、測定装置に接続する。残存引張り力確認試験の载荷装置の設置手順の作業フローを図 3.6.3 に示す。

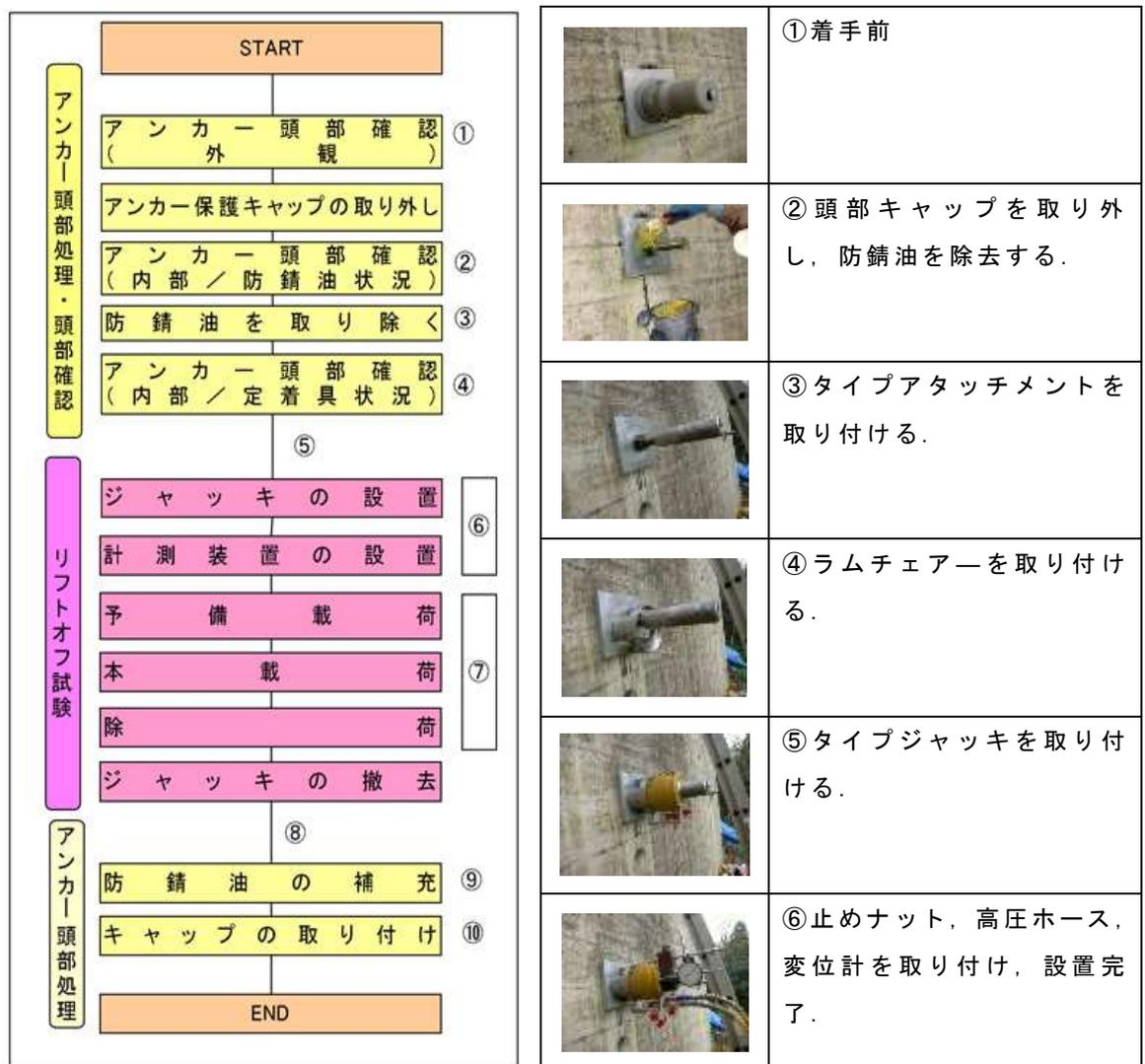


図 3.6.3 残存引張り力確認試験の設置作業の流れ
(ナットタイプにおける設置手順(例))

◇コラム：余長なしアンカーの対応について (SAAM-A)◇

旧タイプアンカーに多く見られるアタッチメントが接続できない余長の短いアンカーは，余長なし対応アタッチメントを使用することで小型軽量ジャッキを用いた残存引張り力確認試験の計測が可能である．また，後付け荷重計の設置も余長が短くても設置可能である．



参考写真 3.6.1 余長が短いアンカー(例)



SAAM-A を用いた余長無しタイプの残存引張り力確認試験(例)



SAAM-A を用いた余長無しタイプの
後付荷重計設置(例)

参考図 3.6.3 SAAM-A を用いた余長無しタイプの調査事例

(2) 載荷方法

載荷は単調載荷にて予備載荷を実施後に本載荷を行う。

荷重－変位曲線において、載荷時のリフトオフ時の変曲点及びリフトオフ前後の直線勾配、除荷時の残留変位量等の経路が計測できる速度にて載荷を行う。

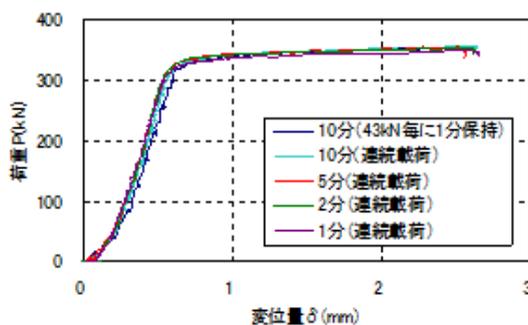
表 3.6.3 載荷・除荷速度の目安

載荷種別		載荷速度
載荷時	リフトオフ前	$\frac{\text{計画最大荷重 } T_p}{1 \sim 2}$ (kN/min)
	リフトオフ後	$\frac{\text{計画最大荷重 } T_p}{10 \sim 20}$ (kN/min)
除荷時		$\frac{\text{計画最大荷重 } T_p}{5 \sim 10}$ (kN/min)

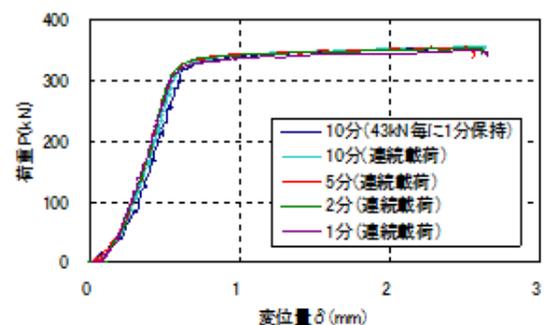
◇コラム：載荷速度による残存引張り力評価の影響◇

残存引張り力確認試験における載荷速度の影響について検討を行うため、計画最大荷重まで1分、2分、5分、10分間で連続的に載荷を行う方法と、計画最大荷重を10段階に分け、1段階毎に1分間の保持を行うアンカー引張試験に準じた段階的な載荷を、室内及び現場で行い、その結果を参考図 3.6.4 に示す。連続載荷、段階載荷とも、室内試験及び現場試験のどちらも変位と残存引張り力との関係に顕著な差は見られず、載荷方法及び載荷速度が残存引張り力に及ぼす影響は顕著でないと考えられる。このため、計画最大荷重まで5分程度の比較的早い速度で試験を行っても残存引張り力に及ぼす影響は小さい。

なお、過緊張状態のアンカー、アンカーが劣化等している場合、載荷速度に関係なくアンカーの損傷等が発生する可能性があるため、現場状況に十分注意し安全を考慮して載荷する必要がある。



a. 室内試験結果



b. 現場試験結果

参考図 3.6.4 載荷速度と残存引張り力の比較

① 予備載荷

予備載荷は、ジャッキやアタッチメント等の載荷装置設置時の緩み(セットロス)や、供用期間中に発生したアンカー頭部やテンドン自由長部の摩擦・拘束や固着等を除去するために実施する。

試験機器設置後、載荷計画に基づきゼロ荷重^{※1}から載荷を開始しリフトオフ確認後、計画最大荷重 T_p 以内^{※2}でリフトオフ後の直線勾配が評価できる 2 mm 程度まで載荷確認を行う。載荷確認後は速やかに除荷を行い、設計アンカー力の 1 割程度の初期荷重を残し、予備載荷を終了する。

※1. 試験前アンカーが既に極度に機能低下または損失している場合もあるため、予備載荷はゼロ荷重から載荷し計測する。

※2. 計画最大荷重 T_p 付近でリフトオフが確認された場合は、残存引張り力の評価に十分な直線勾配が確認できない場合でも、計画最大荷重を目安に載荷を中止する。

② 本載荷

本載荷は、予備載荷終了後、速やかに本載荷を開始し、予備載荷と同様にリフトオフ確認後、計画最大荷重 T_p 以内^{※2}でリフトオフ後の直線勾配が評価できる 2 mm 程度まで載荷確認を行う。本載荷の載荷確認後は、速やかに除荷を行い、荷重が 0kN になったことを確認し試験を終了する。

なお、予備載荷と本載荷の 1 回目の荷重差が 10% 程度以上ある場合や、本載荷時に初期荷重時の残留変位が 1 mm 程度確認される場合は初期荷重を残して、2 回目の本載荷^{※1}を行う。

※1. 本載荷 2 回目で荷重や残留変位が安定しない場合は、その内容を特記事項で報告し試験を終了する。

③ 試験の記録

試験時の試験時間、アンカー番号、載荷時の測定時間、載荷荷重、変位を記録する。

計測ピッチは、1 回/1~3sec で行い、リフトオフ時は、可能であればアンカー頭部の浮きを目視にて確認^{※1}する。また、荷重計の簡易検定や後付荷重計の設置の際は、荷重計は温度の影響を受けるため参考値として、試験時の現地の気温を計測しておくといよい。

※1. リフトオフの目視確認は、アンカーが劣化・損傷している場合に破断等の危険性があるため安全に留意して行う。

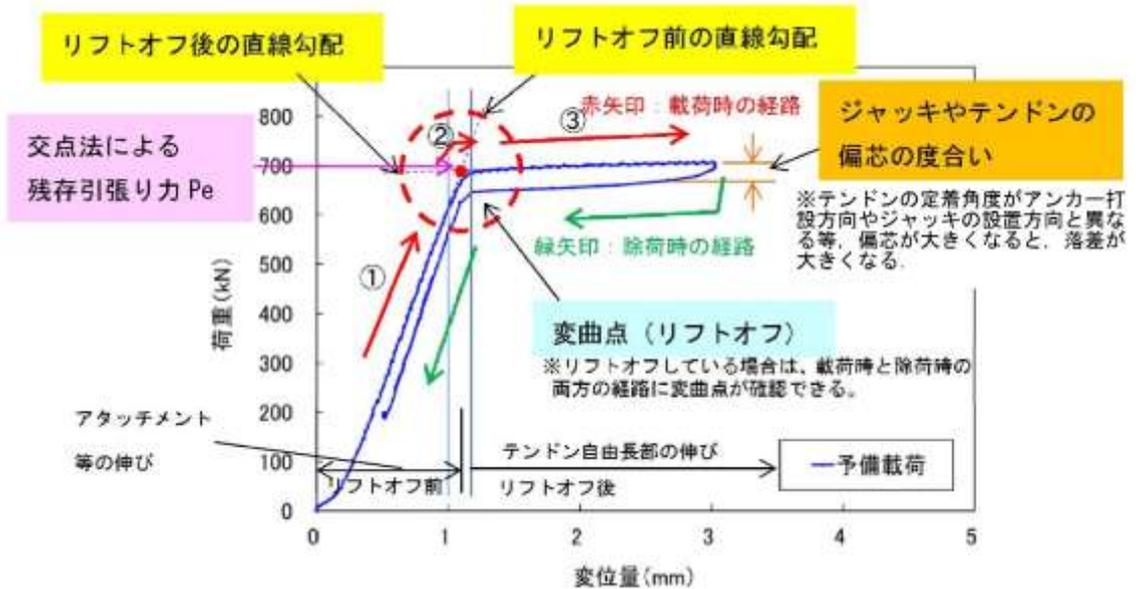
※2. リフトオフ確認は、載荷完了後、可能であればアンカーヘッドが浮いていることが確認できる写真を撮影しておくといよい。



写真 3.6.1 リフトオフの目視での確認(例)

◇コラム：残存引張り力確認試験の荷重－変位曲線と残存引張り力◇

残存引張り力確認試験の荷重－変位曲線の基本形状と、交点法による残存引張り力の評価方法を参考図 3.6.5 に示す。



参考図 3.6.5 残存引張り力確認試験の荷重－変位曲線と交点法による残存引張り力の関係(例)

残存引張り力確認試験は、「力のつり合い」の原理を用いた試験である。アンカー頭部の定着具には残存引張り力が作用しており、油圧ジャッキにてアンカー頭部を引っ張ると、残存引張り力と同じ荷重でアンカー定着具が浮き始め(リフトオフ)、この時の荷重が残存引張り力となる。

荷重－変位曲線において、リフトオフ前の変位は剛性が大きいアンカー頭部とアタッチメントの伸びで、アンカーの浮き始め(リフトオフ)まではアンカー規格の大小やアンカータイプに関わらず約 1 mm～1 cm 前後の変位で確認することができる。また、リフトオフ後の変位は、伸びやすいアンカー自由長部が伸び、荷重が増加しにくくなるため、リフトオフ前後で荷重－変位曲線の勾配が変化(変曲点)する。交点法は、この変曲点前後の直線勾配の交点を残存引張り力とする評価方法である。なお、リフトオフ後もアンカー規格の大小やアンカータイプに関わらず 2 mm 程度の直線勾配を確認すれば残存引張り力を評価することができるため、アンカー規格に応じた载荷能力があれば、アンカータイプに関わらず合計 2 cm 以上のジャッキストロークにて残存引張り力の確認をすることができる。

SAAM ジャッキは、この特性を生かし、残存引張り力の確認に特化して開発した低ストロークの小型軽量ジャッキである。

◇コラム：予備載荷の必要性と除荷時の変曲点◇

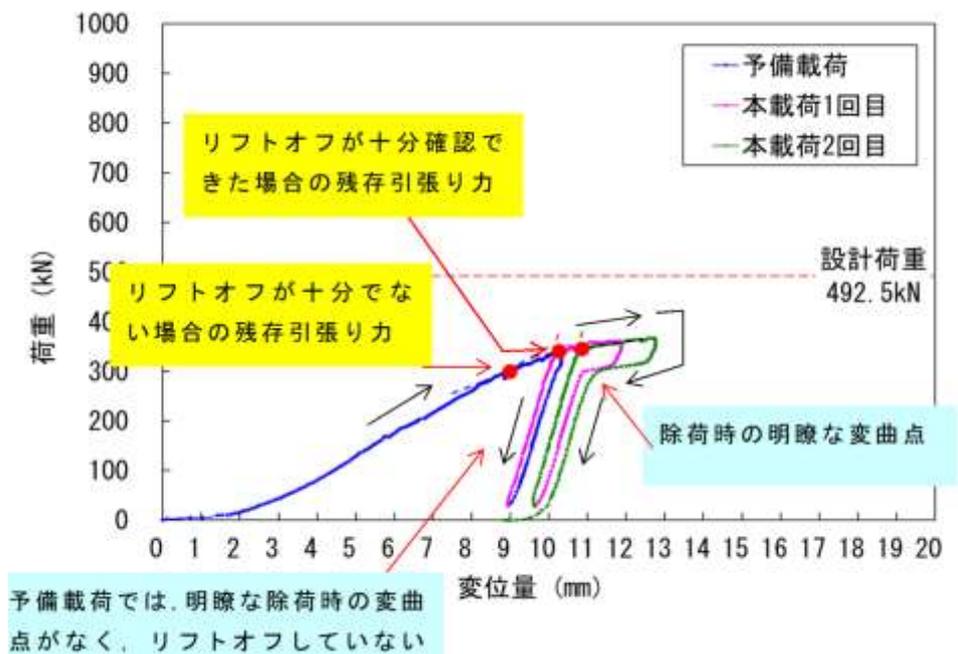
◆予備載荷の必要性

予備載荷は本載荷と同じ方法で同一荷重を載荷するが、残存引張り力と $\tan \theta$ の評価に影響するジャッキやアタッチメント等の載荷装置設置時の緩み(セットロス)、供用期間中に発生したアンカー頭部やテンドン自由長部の摩擦・拘束による固着等を除去するために実施する。特に、アンカー頭部やテンドン自由長部への拘束は、旧タイプアンカーの頭部コンクリートのモルタルが頭部背面に流入しテンドン頭部の伸びを拘束している場合や、地震や受圧板背面のクリープ変形等による沈下やズレの頭部拘束等が予備載荷で除去され、本載荷にて安定した荷重-変位曲線が確認されるケース等がある。

このため、予備載荷は参考値とし、荷重-変位曲線の載荷経路の再現性等を確認しながら、2回目以降の本載荷での残存引張り力の値を採用する。

◆除荷時の変曲点によるリフトオフの確認方法

残存引張り力の確認において、リフトオフ前後の直線勾配の評価が重要になる。自由長の短いPC鋼棒や偏荷重が大きくアンカーヘッドの片浮き区間が長いアンカーでは、変曲点カーブが大きくなり、リフトオフ及びリフトオフ後の直線勾配の判断が難しい場合がある。このような場合は、可能な限り目視によって、アンカーヘッド全体が完全に浮いていることを確認することが重要である。荷重-変位曲線の除荷時経路の変曲点の有無から、リフトオフの有無の判断の目安とすることが可能である。



参考図 3.6.6 残存引張り力確認試験の荷重-変位曲線の変曲点とリフトオフの関係

(3) データ整理

試験結果に基づき，表 3.6.4 の項目についてデータ整理を行う。

表 3.6.4 データ整理項目(例)

項目	内容
現場概要	現場名，日時，気温，試験者名等
アンカー諸元	アンカー種類，アンカー長，設計アンカー力 T_d ，設計 $\tan \theta$ 等
使用試験機器	試験機器，計測機器，校正係数等
試験方法	載荷方法，計測方法等
試験結果・記録	残存引張り力 P_e ，設計アンカー力比 R_{td} ，定着時緊張力比 R_{pt} ，許容アンカー力比 R_{ta} ，残留変位，試験最大荷重等， $\tan \theta$ ，逆算テンドン自由長，変位－荷重曲線，測定野帳等

参考までに，試験時のデータ記載例を図 3.6.4～図 3.6.6 に示す。

① 設計 $\tan \theta$

設計 $\tan \theta$ は，荷重に対するテンドンの理論的な弾性変位量を示し，以下により求める。

$$\text{設計 } \tan \theta = \frac{E_s \cdot A_s}{l_{sf}}$$

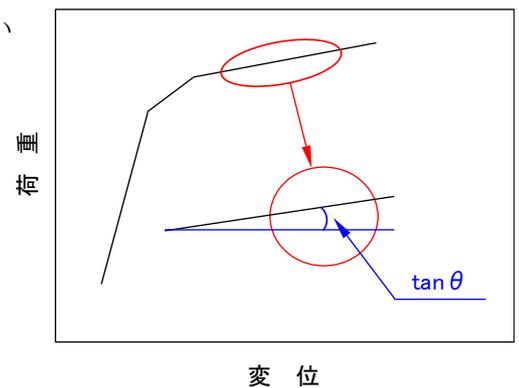
l_{sf} : テンドン自由長(m)

E_s : テンドンの弾性係数(N/mm²)

A_s : テンドンの断面積(mm²)

② $\tan \theta$

$\tan \theta$ は，変位増加に対する荷重増加の比をいい，リフトオフ試験結果(荷重－変位曲線)のリフトオフ後の傾き(勾配)から求める。



③ 逆算テンドン自由長 l_{sf}'

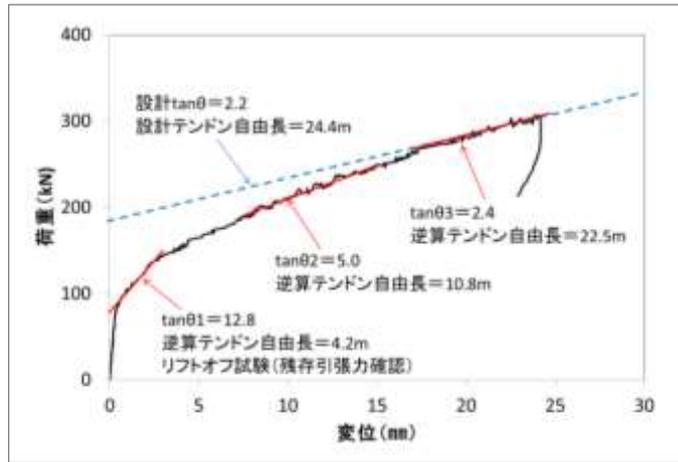
逆算テンドン自由長は，リフトオフ試験から求めた $\tan \theta$ を基に見かけのテンドンの引張り長を計算する。

$$\text{逆算テンドン自由長 } l_{sf}' = \frac{E_s \cdot A_s}{\tan \theta}$$

◇コラム：逆算テンドン自由長の評価(その1)◇

残存引張り力確認試験の荷重-変位曲線について、リフトオフ後の2mmの直線勾配(tanθ評価)には、地中内部のアンカーの材料の直接的な情報を有している。tanθ評価について、tanθと逆算テンドン自由長の比較内容は同じであるが、アンカー長に換算することで、わかりやすく評価することができる。

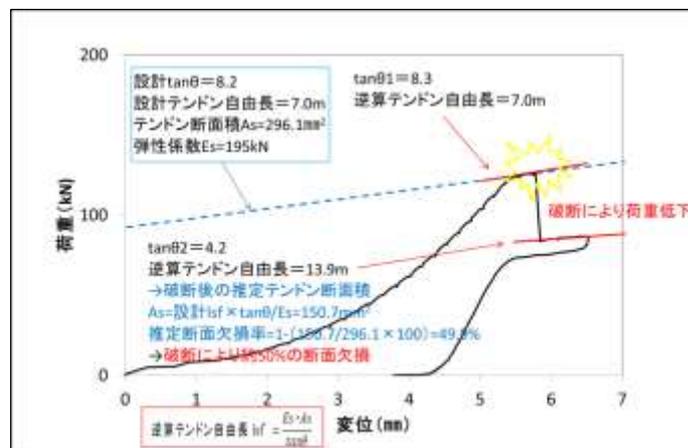
参考図 3.6.7 は、のり面変状によりアンカーが負荷(拘束)を受けている可能性のある箇所で、アンカー耐力確認のため 25 mm 程度の荷重を実施した荷重-変位曲線である。設計テンドン自由長 $l_f=24.4\text{m}$ のアンカーに対し、残存引張り力確認のリフトオフ後約 2 mm の tanθ 評価では、逆算テンドン自由長は 4.2m と短く、



参考図 3.6.7 荷重変位と tanθ の違い

され、テンドン全体に伝わっていない(伸びていない)結果となっている。一方、長めに荷重を継続すると、徐々にその拘束が緩和され、25 mm では逆算テンドン自由長がほぼ設計テンドン自由長と同じ長さになっていることが分かる。以上より、残存引張り力確認試験の 2 mm での tanθ 評価(逆算テンドン自由長評価)は、テンドンの拘束度合い(内部摩擦等含む)を示す見かけのテンドン自由長であり、のり面変状の度合いや変状履歴の評価に関する指標(参考値)として活用できる。また、設計諸元が不明な場合、長めの荷重により設計テンドン自由長を推定できる場合もあるが、アンカーの拘束度合いが大きい場合は、荷重を継続して評価できない場合があり、破断損傷に繋がるリスクもあるため留意が必要である。

また、腐食等の劣化や、のり面変状等の外力でアンカーが部分破断により断面欠損している場合、逆算テンドン自由長は設計テンドン自由長を大きく上回る値を示す。設計規格のテンドン断面積と比較することで、断面欠損割合の推定等にも活用できる。



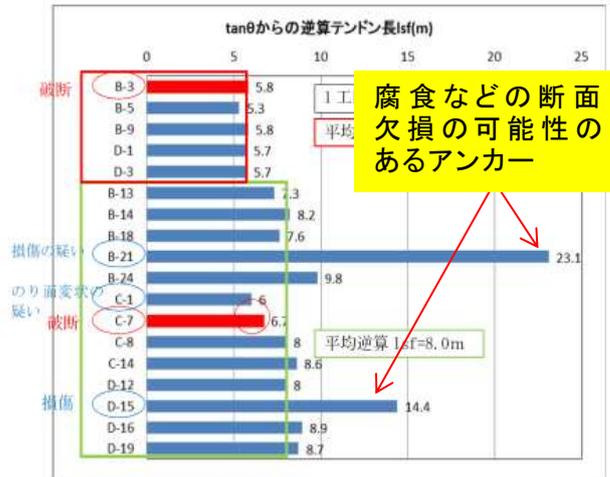
参考図 3.6.8 断面欠損時の tanθ

◇コラム：逆算テンドン自由長の評価(その2)◇

逆算テンドン自由長を用いた評価事例を以下に示す。

① 逆算テンドン自由長による材料損傷評価

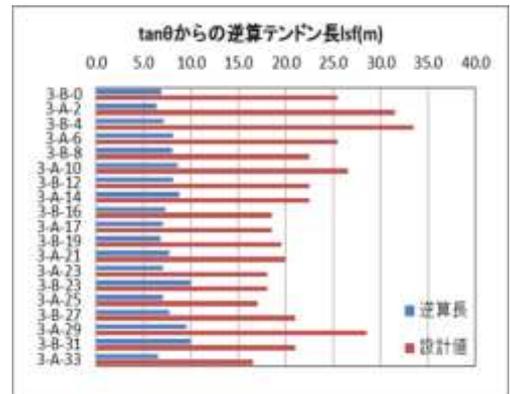
アンカーの引き抜け等の場合は、リフトオフ試験時に荷重低下と残留変位が確認されるが、劣化による断面欠損の場合、载荷のみの確認では試験時の破断等がなければ発見は難しい。このため、逆算テンドン自由長による評価により、設計テンドン自由長や周辺アンカーの逆算テンドン自由長と相对比较することで、極端に長く評価される場合は、腐食破断等による断面欠損の可能性について評価することができる。



参考図 3.6.9 断面欠損時の評価例

② 逆算テンドン自由長によるのり面変状の評価

アンカーのり面に変状が発生した場合、アンカーはせん断方向等の拘束を受け、逆算テンドン自由長が設計自由長より短くなる傾向にある。施工時と供用後の $\tan \theta$ の比較により、のり面の変状履歴の可能性について評価することができる。

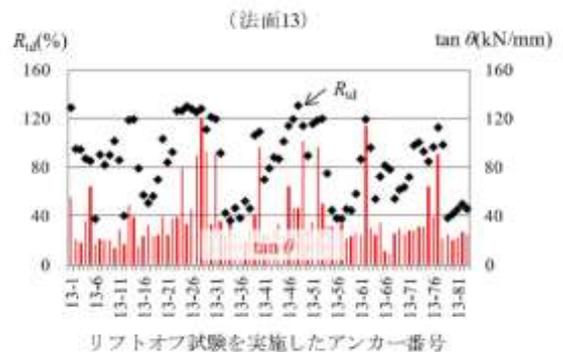


参考図 3.6.10 のり面変状時の評価例

③ $\tan \theta$ を用いたアンカーのり面の健全性評価の取り組み

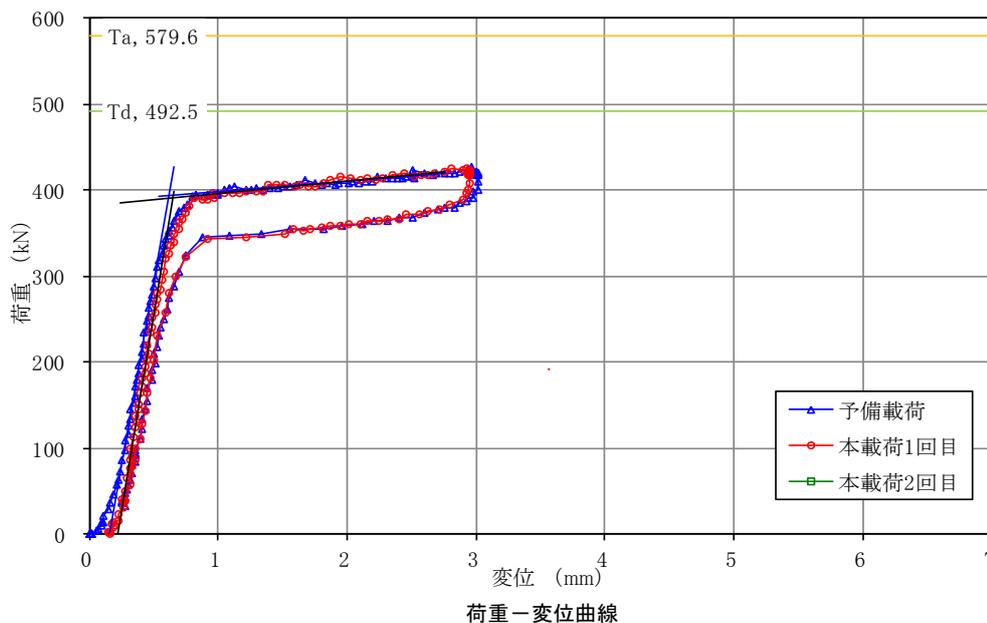
設計アンカー力比 R_{td} と $\tan \theta$ のばらつきをアンカーのり面の健全性の評価指標として、アンカーのり面の不具合の発生確率等の評価の取り組みが行われている。

出典：藤原優・酒井俊典「グラウンドアンカーの残存引張り力分布特性に注目したアンカー法面の維持管理」土木学会論文集 C(地圏工学), Vol. 68, No. 2, 260-273, 2012.



参考図 3.6.11 設計アンカー力比 R_{td} と $\tan \theta$ の比較

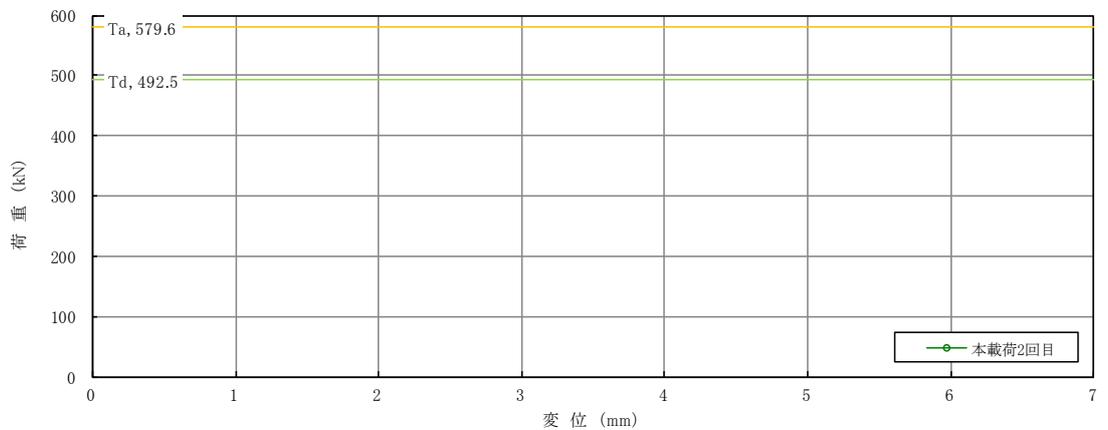
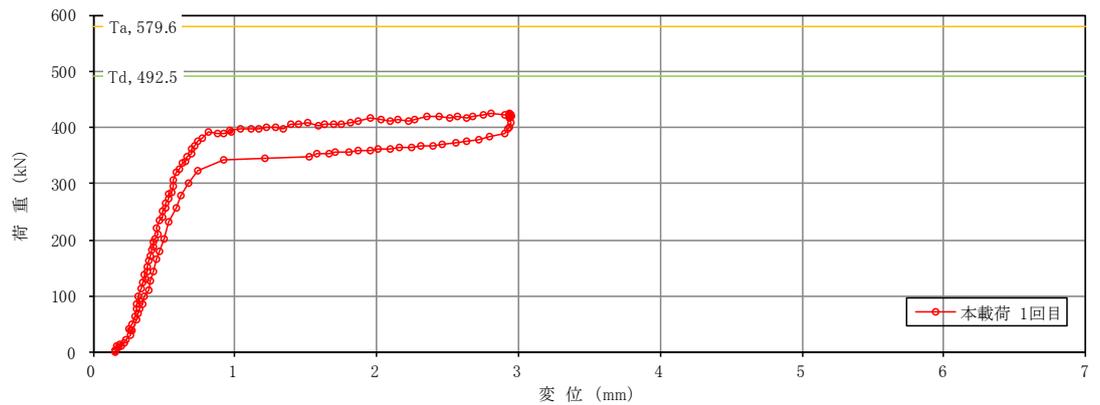
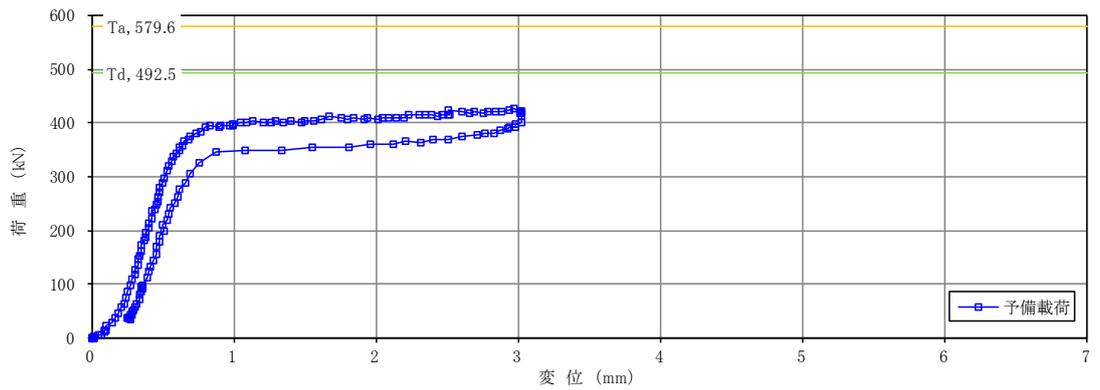
		リフトオフ試験 (変位量-荷重曲線)		残存引張り力確認 アンカー耐力確認	
業務名	既設グラウンドアンカーのり面の健全性調査				
	国道*号 **地区				
業務場所	**県 **市 **地区				
管理者	***事務所				
請負者	株式会社 **				
記録者	SAAM 太郎	試験年月日時	20**/11/2		
天候	晴れ	気温	9.5℃		
アンカーNo	C-4	アンカーのり面位置	○○地すべり地区 ○ブロック		
アンカー工法・タイプ	SEEE工法 F100TA	施工年度	平成○年度		
アンカーキャップタイプ	アルミキャップ	新・旧タイプ	新タイプ		
アンカー定着具タイプ	ナット型	受圧板タイプ	現場打ち法枠工 500*500		
荷重計			設置年月日		
設計アンカー力: Td(kN)	492.5	極限引張り力: Tus(kN)	966		
定着時緊張力: Pt(kN)	492.5	降伏引張り力: Tys(kN)	826		
アンカー長: l(m)	8.00	許容アンカー力: Ta(kN)	579.6		
アンカー自由長: lf(m)	5.00	弾性係数: Es(kN/mm ²)	186		
テンドン自由長: lsf(m)(伸び量計算)	7.52	断面積: As(mm ²)	519.3		
定着長: la(m)	3.00	理論伸び率: tan θ	12.9		
油圧ジャッキ	SAAMJ2-1000-20-82				
計画最大荷重Tp(kN)	695.5	荷重保持(mm/min)	なし		
載荷方法	連続	計測方法	自動		
データ測定頻度(sec/回)(kN/回)	1	アタッチメント設置位置	アンカーヘッド		
試験結果	予備載荷	本載荷 1回目	本載荷 2回目		
残存引張り力 Pe (kN)	391	389			
設計アンカー力比 Rtd (%)	79.4	79.0			
定着時緊張力比 Rpt (%)	79.4	79.0			
許容アンカー力比 Rta (%)	67.5	67.1			
最大試験荷重 Tt (kN)	427	426			
残留変位量 δp (mm)	0.09	0.02			
リフトオフ後伸び率(tan θ)	14.3	14.5			
逆算テンドン自由長 lsf' (m)	6.7	6.7			
荷重計計測値: Peload (kN)					



特記事項

図 3.6.4 残存引張り力確認試験結果例(グラフ)

		リフトオフ試験 (変位置-荷重曲線)		残存引張り力確認 アンカー耐力確認	
調査件名	既設グラウンドアンカーのり面の健全性調査				
請負者	国道*号 **地区 株式会社 **				
記録者	SAAM 太郎	試験年月日時		20**/11/2	
天候	晴れ	気温		9.5℃	
アンカーNo	C-4				
試験結果	予備荷重	試験回数(1回目)		試験回数(2回目)	
残存引張り力 P_e	(kN)	391	389		
最大試験荷重 T_t	(kN)	427	426		
残留変位置 δ_p	(mm)	0.09	0.02		
荷重計測値: Pload (kN)					



特記事項)

図 3.6.5 残存引張り力確認試験結果例(個別グラフ)

		リフトオフ試験 (測定)				残存引張り力確認 アンカー耐力確認			
調査件名		既設グラウンドアンカーのり面の健全性調査							
請負者		株式会社 **							
記録者		SAAM 太郎		試験年月日時		20**/11/2			
天気		晴れ		気温					
アンカーNo		C-4		試験回数(回目)		-			
試験段階		予備載荷		試験回教(回目)		-			
アンカー工法・タイプ		SEEE工法 F100TA		降伏点荷重: Tys(kN)		468			
設計アンカー力Td (kN)		492.5		定着緊張力Pt (kN)		492.5			
載荷方法		連続		計測方法		自動			
データ測定頻度(sec/回) (kN/回)		1		計画最大荷重 Tp (kN)		695.5			
残存引張り力Pe(kN)		391		最大試験荷重:Tt (kN)		427			
変位計		DDP-50A		校正係数①		0.01		mm/μST	
圧力計		PG-1TH		校正係数②		0.03332		Mpa/μST	
油圧ジャッキ		SAAMJ2-1000-20-82		校正係数③		15.052		kN/Mpa	
荷重計				校正係数④				kN/μST	
				零バランス⑤				μST	
近似直線区間(リフトオフ前)		変位量 δ (mm)		荷重P (kN)		近似直線区間(リフトオフ後)		変位量 δ (mm) 荷重P (kN)	
開始点		0.28		109		開始点		1.04 400	
終了点		0.46		263		終了点		2.75 423	
No	時間	変位量 δ (mm)	荷重P (kN)	荷重計Pload (kN)	No	時間	変位量 δ (mm)	荷重P (kN)	荷重計Pload (kN)
1	13:43:46	0.01	0.0		51	13:44:36	0.53	311.3	
2	13:43:47	0.00	0.0		52	13:44:37	0.54	318.5	
3	13:43:48	0.01	0.0		53	13:44:38	0.56	327.2	
4	13:43:49	0.00	0.0		54	13:44:39	0.57	336.2	
5	13:43:50	0.01	0.0		55	13:44:40	0.59	342.8	
6	13:43:51	0.00	0.0		56	13:44:41	0.61	347.4	
7	13:43:52	0.00	0.0		57	13:44:42	0.61	353.3	
8	13:43:53	0.00	0.0		58	13:44:43	0.64	357.3	
9	13:43:54	0.00	0.0		59	13:44:44	0.65	364.8	
10	13:43:55	0.01	0.0		60	13:44:45	0.68	369.8	
11	13:43:56	0.00	0.0		61	13:44:46	0.69	376.0	
12	13:43:57	0.01	0.0		62	13:44:47	0.73	379.5	
13	13:43:58	0.01	1.6		63	13:44:48	0.76	383.8	
14	13:43:59	0.05	4.7		64	13:44:49	0.80	393.2	
15	13:44:00	0.07	6.3		65	13:44:50	0.83	395.3	
16	13:44:01	0.09	9.6		66	13:44:51	0.89	393.5	
17	13:44:02	0.09	14.0		67	13:44:52	0.91	394.4	
18	13:44:03	0.10	13.7		68	13:44:53	0.97	394.8	
19	13:44:04	0.10	22.4		69	13:44:54	0.99	395.0	
20	13:44:05	0.14	28.9		70	13:44:55	0.99	397.6	
21	13:44:06	0.16	37.3		71	13:44:56	1.04	400.0	
22	13:44:07	0.19	45.8		72	13:44:57	1.09	402.2	
23	13:44:08	0.21	57.0		73	13:44:58	1.13	404.1	
24	13:44:09	0.23	64.4		74	13:44:59	1.21	401.6	
25	13:44:10	0.24	73.8		75	13:45:00	1.26	400.0	
26	13:44:11	0.25	87.2		76	13:45:01	1.29	402.5	
27	13:44:12	0.27	98.7		77	13:45:02	1.35	400.7	
28	13:44:13	0.28	109.0		78	13:45:03	1.40	403.5	
29	13:44:14	0.30	116.7		79	13:45:04	1.47	401.9	
30	13:44:15	0.30	127.0		80	13:45:05	1.50	404.4	
31	13:44:16	0.32	134.5		81	13:45:06	1.56	405.0	
32	13:44:17	0.32	146.0		82	13:45:07	1.61	407.2	
33	13:44:18	0.34	153.5		83	13:45:08	1.67	411.6	
34	13:44:19	0.35	161.2		84	13:45:09	1.75	408.4	
35	13:44:20	0.35	171.5		85	13:45:10	1.80	407.2	
36	13:44:21	0.37	180.2		86	13:45:11	1.84	409.1	
37	13:44:22	0.38	187.4		87	13:45:12	1.91	406.9	
38	13:44:23	0.38	196.7		88	13:45:13	1.94	409.1	
39	13:44:24	0.40	203.9		89	13:45:14	2.01	407.5	
40	13:44:25	0.40	212.9		90	13:45:15	2.04	410.0	
41	13:44:26	0.42	222.2		91	13:45:16	2.09	408.1	
42	13:44:27	0.42	235.0		92	13:45:17	2.14	410.0	
43	13:44:28	0.44	239.4		93	13:45:18	2.19	410.0	
44	13:44:29	0.45	247.8		94	13:45:19	2.23	416.2	
45	13:44:30	0.46	253.1		95	13:45:20	2.30	414.9	
46	13:44:31	0.46	262.7		96	13:45:21	2.35	414.0	
47	13:44:32	0.47	272.1		97	13:45:22	2.39	414.9	
48	13:44:33	0.48	279.5		98	13:45:23	2.43	413.7	
49	13:44:34	0.50	288.0		99	13:45:24	2.46	415.9	
50	13:44:35	0.51	297.6		100	13:45:25	2.51	415.9	
特記事項		変位 δ (mm) = ひずみ (μST) × 校正係数① 荷重P (kN) = ひずみ (μST) × 校正係数② × 校正係数③ 荷重計Pload (kN) = (ひずみ (μST) - 零バランス⑤ (μST)) × 校正係数④							

図 3.6.6 残存引張り力確認試験結果例(計測)

3.7 アンカーのり面の健全性調査(現状調査)の判定

現地踏査，頭部詳細調査，残存引張り力確認試験の現状調査結果に基づいて，アンカー健全性の判定を行う。

現状調査の結果，アンカーのり面の健全性に問題または問題の可能性があると判断される場合は，詳細調査を実施する。

アンカー健全性調査(現状調査)は，1次調査としてアンカー健全性の判定を行う。現状調査結果にて，アンカーが健全と判断されるのり面は，定期的な継続点検を行うものとし，アンカー健全性に問題または問題の可能性があると判断される場合は，2次調査として詳細調査を実施する。

なお，緊急対策を必要とする第三者被害の可能性が確認された場合は，早急に緊急対策を実施し，詳細調査へ移行するものとする。

3.7.1 残存引張り力によるアンカー健全度の分類

残存引張り力確認試験，現地踏査，頭部詳細調査，既存資料調査の結果を踏まえ，アンカーの健全度の分類を行う。(4章 4.2.1 参照)

アンカーの健全度分類は，表 3.7.1 の残存引張り力とアンカー健全度の目安の健全度区分評価を基に，表 3.7.2 の「安定型」・「低下型」・「増加型」・「混合型」に分類し，「安定型」及び「低下型」については，のり面またはアンカーの変状の有無で，「安定型(I)」と「安定型(II)」，「低下型(I)」と「低下型(II)」に分類する。なお，待ち受け型のアンカーでは健全度 A~D・判定(「安定型」~「低下型」)であっても，残存引張り力の増加がある場合は，「増加型」・「混合型」に分類する。

また，のり面崩壊の危険性やアンカーの落下・飛び出し等によって第三者被害が生じる場合は，緊急対策の必要性の判定を別途検討する。

表 3.7.1 残存引張り力とアンカー健全度の目安(一部加筆)

残存引張り力の範囲	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 (Ta)	C+	許容値を超えている	
設計アンカー力 (Td)	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	
	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	

表 3.7.2 アンカー緊張力の分布タイプ

項目 \ タイプ	安定型		低下型		増加型	混合型
	安定型 (I)	安定型 (II)	低下型 (I)	低下型 (II)		
残存引張り力による健全度区分	A+~B- (安定)		C~D- (安定~低下)		B+以上(増加) A以下でも緊張力の増加あり*	
					安定型以上	低下型含む
のり面またはアンカー	変状なし	変状あり	変状なし	変状あり	異常あり/なし	
第三者被害	緊急対策の必要性は別途検討					

※「安定型」～「低下型」(健全度 A+~D-判定)であっても、残存引張り力の増加が確認された場合は、増加型・混合型に分類する。

- ① **安定型 (I)** : アンカーの緊張力は設計アンカー力以下で、かつ定着時緊張力から 50%未満の緊張力低下範囲(健全度区分 : B-判定)で安定しており、また、のり面及びアンカーに異常はない。
- ② **安定型 (II)** : アンカーの緊張力は設計アンカー力以下で、かつ定着時緊張力から 50%未満の緊張力低下範囲(健全度区分 : B-判定)で安定しているが、のり面にクラック等の変状やアンカーの損傷等がある。アンカーの異常は、外観だけでなく短期間の荷重計測による顕著な荷重低下や残存引張り力確認試験の $\tan \theta$ 評価で、地質の劣化によるアンカーの断面欠損やアンカー定着体の引き抜け等損傷の恐れがあると判断される場合も含む。
- ③ **低下型 (I)** : アンカーの緊張力は設計アンカー力以下でかつ定着時緊張力からの 50%以上の緊張力低下(健全度区分 : C~D-判定)があり、のり面及びアンカーに異常はない。
- ④ **低下型 (II)** : アンカーの緊張力は設計アンカー力以下で、かつ定着時緊張力からの 50%以上の緊張力低下(健全度区分 : C~D-判定)があり、のり面にクラック等の変状やアンカー損傷等がある。アンカーの異常について、外観だけでなく短期間の荷重計測による顕著な荷重低下や残存引張り力確認試験の $\tan \theta$ 評価等で、地質の劣化によるアンカーの断面欠損やアンカー定着体の引き抜け等損傷の恐れがあると判断される場合も含む。

⑤増 加 型：設計アンカー力以上(健全度区分：B+判定以上)または，設計アンカー力以下であっても緊張力の増加がある。

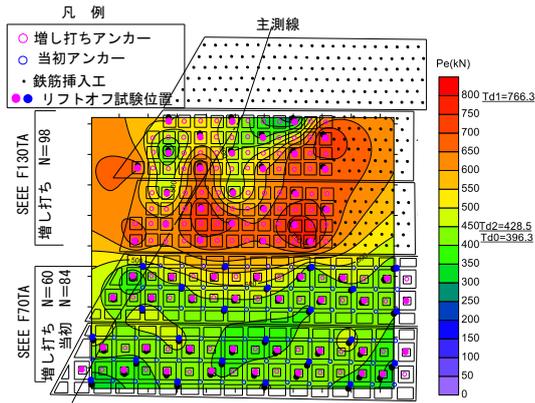
⑥混 合 型：設計アンカー力以上(健全度区分：B+判定以上)または，設計アンカー力以下であっても緊張力の増加があり，かつ，設計アンカー力以下の定着時緊張力からの 50%以上の緊張力低下(健全度区分：C-～D-判定)を含む。

設計アンカー力以下での緊張力の増加が確認されたのり面では，荷重計のモニタリング等によって，追加対策の有無にかかわらず緊張力の増加が収束し，設計上において全体的なのり面の安定性及び安全性が確保できると判断された場合は「安定型」に分類または再分類してよい。なお，「安定型」に分類または再分類した場合で，「B+以上」のアンカーが残る場合は，別途，アンカーの破断飛び出し等の第三者に対する対策の必要性について検討することが重要である。

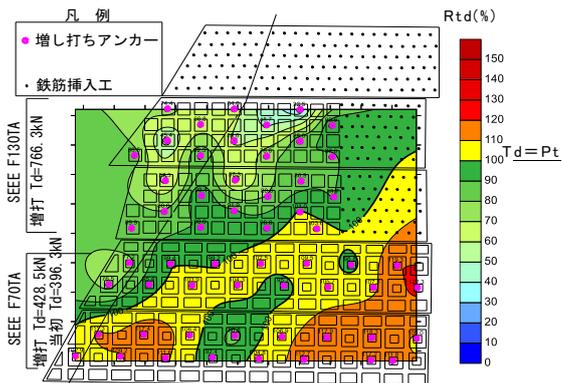
また，アンカーの増し打ちや更新のアンカーの追加対策を実施したのり面においては，効果判定を含め追加対策アンカーも健全性評価対象に含めて緊張力の分布タイプの分類を行うことが重要である。なお，更新対策アンカーのり面において，対策後も当初アンカーが残る場合は，抑止機能を期待しない当初アンカーも引き続き供用後の劣化等を含めた第三者への被害対策の検討対象になるため，更新対策直後の当初アンカーの残存引張り力の確認等の評価もしておくことが望ましい。

◇コラム：追加対策時におけるアンカー緊張力の変化について◇

アンカー工は、斜面安定のための大きな緊張力をのり面に導入するため、アンカーの増し打ちや更新対策時ののり面全体の応力バランスや、緊張力導入時の既設アンカーや新設アンカーの緊張力の変化の有無について確認することが重要である。参考図に増し打ち対策前後の当初アンカーの緊張力の分布変化事例を示す。



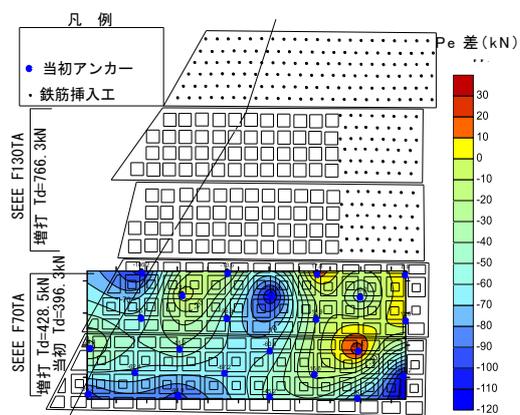
参考図 3.7.1 残存引張り力分布図



参考図 3.7.2 増打ちアンカーの設計アンカー力比 Rtd 分布図

増し打ちアンカーは、一般的に既設アンカーよりアンカー長が長くなりテンドンの伸び特性やアンカー緊張力の増加特性も異なる。変状のり面の追加調査で、既設アンカーと異なるアンカー角度の対策となる場合もあり、不安定ブロックの地質特性を含め複雑な応力バランスの中で対策を行うことになる。また、旧タイプアンカーの更新対策では、緊張力を除荷せず更新対策を実施した場合、旧タイプアンカーの抑止機能は期待しない。

このため、増し打ち対策や更新対策の検討時には、旧タイプアンカーの残存引張り力を把握したうえで、更新アンカーの導入緊張力や旧タイプアンカーの除去や継続供用を含めた更新時の対応、施工時の旧タイプアンカー及び追加対策アンカーの緊張力管理やのり面の管理方法、対策後の維持管理計画等について、安全かつ効果的な施工管理・維持管理に向けた検討が重要である。



参考図 3.7.3 増打ち前後の当初アンカーの残存引張り力の荷重変化

3.7.2 アンカーのり面の健全性調査(現状調査)結果の判定

アンカーのり面の緊張力分布タイプの分類により健全性を評価し、詳細調査の必要性の判断を行う。なお、のり面崩壊やアンカーの破断飛び出し等により、保全対象や第三者被害の危険性が確認された場合は、速やかに緊急対策を実施し、安全が確保された段階で詳細調査に移行する。

- ①安定型(I) : アンカーのり面は健全と判断されることから、定期的な点検の継続を行う。
- ②安定型(II) : アンカーの緊張力の分布傾向は安定しているが、のり面またはアンカーに異常が予想され、深いすべり面の発生やアンカーの劣化等の可能性を含め、詳細調査の必要性がある。
- ③低下型(I) : アンカーのり面は健全と判断されることから、定期的な点検の継続を行う。
- ④低下型(II) : のり面またはアンカーに異常が予想され、アンカーの緊張力の分布傾向(低下範囲)の把握とその要因分析を含めた詳細調査の必要性がある。
- ⑤増加型 : のり面変状の恐れがあり、アンカーの緊張力の分布傾向(増加範囲とそのピーク位置等)の把握とその要因分析を含めた詳細調査の必要性がある。
- ⑥混合型 : のり面変状の恐れがあり、アンカーの緊張力の分布傾向(増減範囲とそれぞれのピーク位置等)の把握とその要因分析を含めた詳細調査の必要性がある。

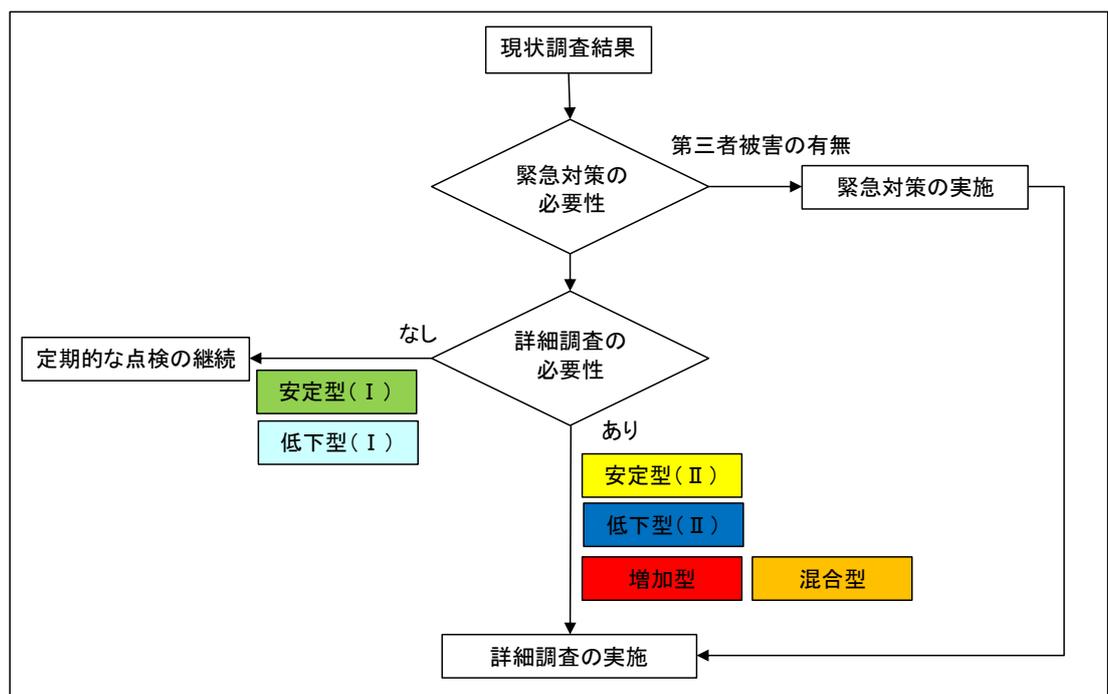


図 3.7.1 アンカーのり面の健全性調査(現状調査)結果の判定

第4章 アンカーのり面の健全性調査(詳細調査)

4.1 残存引張り力の分布調査

残存引張り力の分布調査は、アンカーのり面の緊張力を面的に把握する目的で実施する。調査は全アンカー本数の 1/4～1/2 程度を目安とした分布調査を実施し、必要に応じて追加調査を実施する。

4.1.1 分布調査が望ましいのり面

- ・アンカーおよびのり面に変状が認められるのり面
- ・過去に変状対策を行ったのり面
- ・既存調査で過緊張アンカーが存在するのり面
- ・既存調査でアンカー緊張力の値が一様でないのり面
- ・アンカー荷重計のモニタリング結果で荷重変化が大きいのり面
- ・地質的な問題が考えられるのり面
- ・地震、豪雨等の影響を受けたのり面
- ・対策工の範囲を検討するのり面

4.1.2 調査アンカー位置の選定

分布調査において調査アンカーの選定は、図 4.1.1 に示す段・列に抜けない千鳥あるいは斜め方向の配置を基本とする。

実際の試験位置の決定においては、現地のアンカー施工本数、配列状況およびアンカー頭部確認結果に応じて、試験位置の選定を行う。なお、のり面に施工されたアンカー本数が少ない場合、あるいはアンカーが一行に施工され、面的に配置されていないのり面の調査位置は別途検討を行う。

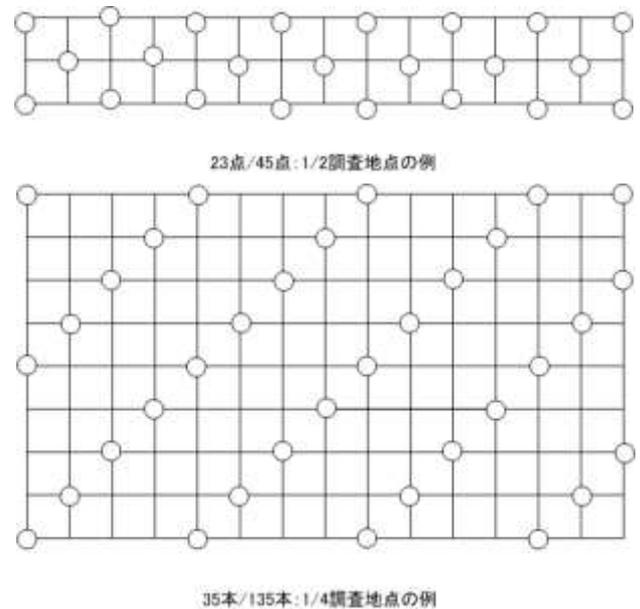


図 4.1.1 分布調査における調査アンカー選定例

さらに、調査結果でのり面変状等の荷重増加領域や顕著な緊張力の低下領域が確認された場合は、目的に応じて分布範囲の特定のための追加調査を行う。

特に、のり面変状時の荷重増加領域が確認された場合は、ピーク荷重値と位置の把握は今後の対策検討において重要である。

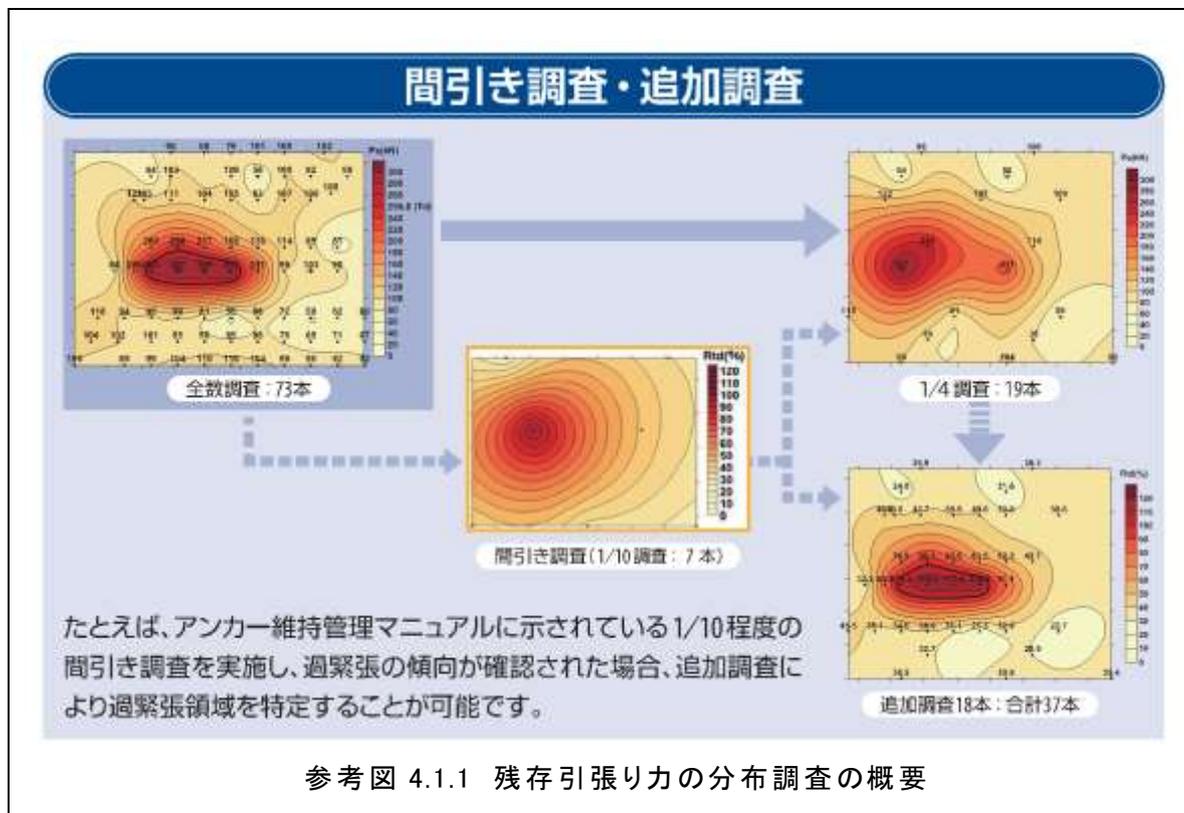
4.1.3 各種分布図の作成

残存引張り力分布調査結果を基に表 4.1.1 に示す分布図の作成を行う。分布図の着色は、評価基準の緑色を境界に荷重増加側を暖色、荷重低下側を寒色でわかりやすく整理する。

表 4.1.1 緊張力の面的分布図一覧

	項 目	記号
①	残存引張り力分布図	P_e
②	設計アンカー力比分布図	R_{td}
③	定着時緊張力比分布図	R_{pt}
④	許容アンカー力比分布図	R_{ta}
⑤	健全度区分図	—
⑥	その他の緊張力分布図	—

◇コラム：分布調査の調査箇所割合と分布図◇



(1) 残存引張り力分布図 (P_e)

調査により求めた残存引張り力 (P_e) の結果を基に分布図を作成する。

分布図のコンターは 0kN から最大値は $0.9T_{ys}$ 等を目安にアンカー材料に関する評価もできるように設定し、荷重幅は 20~50kN 毎程度で区分する。

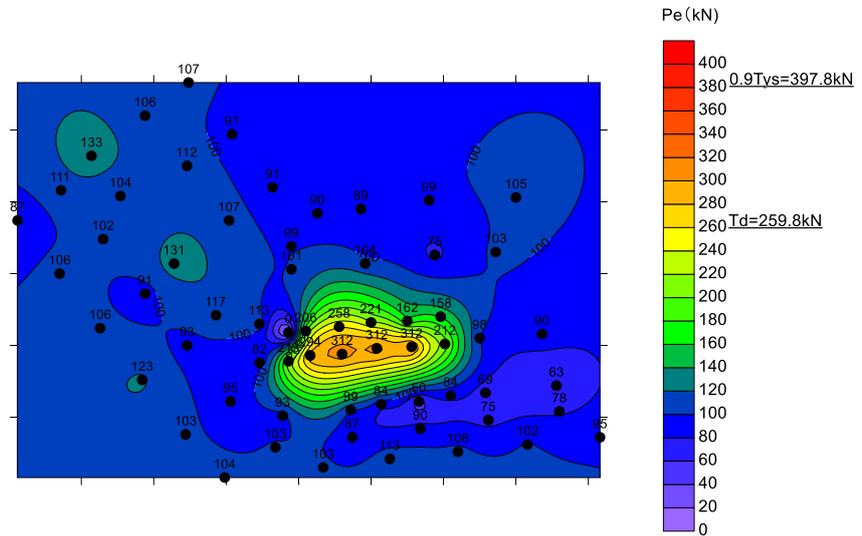


図 4.1.2 残存引張り力分布 (P_e) 図例

(2) 残存引張り力 P_e の設計アンカー力比 R_{td} 分布図

残存引張り力 P_e の設計アンカー力比 R_{td} (%) としては、設計アンカー力 T_d に対する残存引張り力 P_e の割合を示した緊張力分布図を作成する。

設計アンカー力比 R_{td} (%) を基に、当初設計に対するアンカーの抑止効果とのり面の安定性の評価を行う。

$$R_{td} = P_e / T_d \times 100(\%)$$

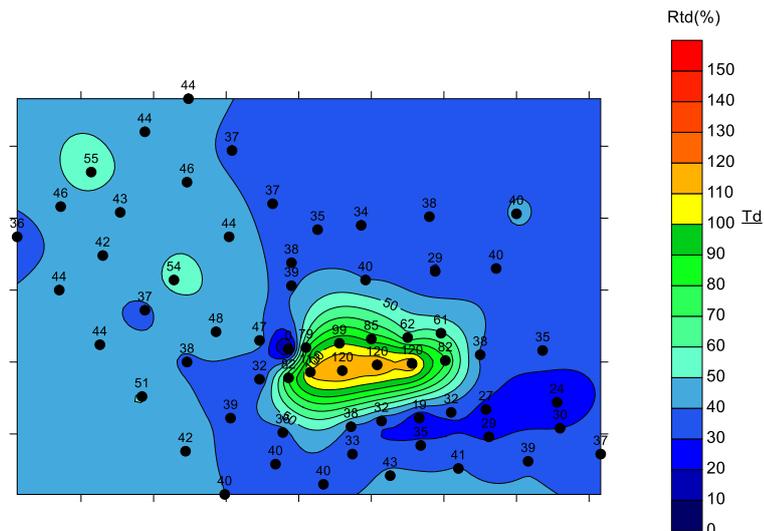


図 4.1.3 残存引張り力 P_e の設計アンカー力比 R_{td} 分布図例

(5) アンカー健全度判定区分図

「グラウンドアンカー維持管理マニュアル」の残存引張り力 P_e とアンカーの健全度の目安に準じ、健全度判定区分図を作成する。

アンカーのり面の健全性や対策検討の必要性評価を行う。

表 4.1.2 残存引張り力とアンカー健全度の目安

残存引張り力の範囲	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 (Ta)	C+	許容値を超えている	
設計アンカー力 (Td)	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	

引用：(独)土木研究所(社) 日本アンカー協会共編 「グラウンドアンカー維持管理マニュアル」 p.74, 2008.7

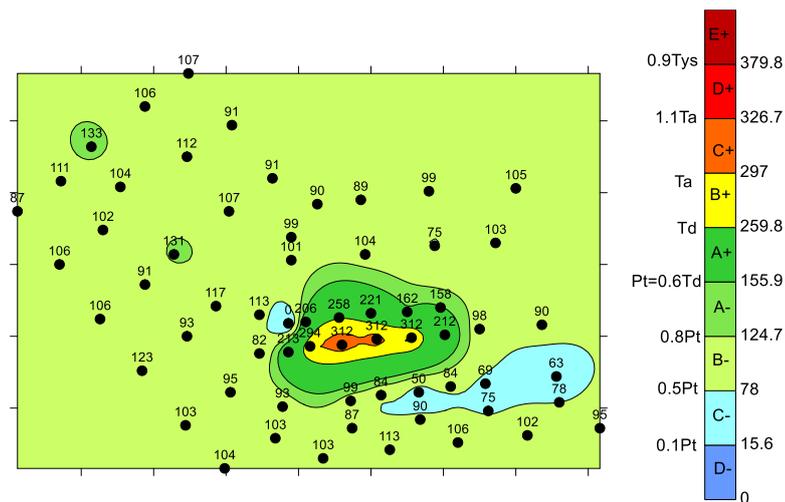


図 4.1.6 残存引張り力によるアンカー健全度判定分布図例

(6) その他の緊張力分布図

全数調査を基本としない残存引張り力の分布調査では、局所的なアンカーの異常によって緊張力分布が影響を受けている場合があるため、分布範囲の追加調査や材料損傷の原因確認のアンカー材料調査を行い、アンカーのり面の健全性評価や今後の維持管理計画の検討のための緊張力分布図を作成する。

1) アンカー材料の損傷箇所を含む場合

アンカーの緊張力分布作成にあたり、アンカー材料の過緊張破断や腐食破断、定着部の引抜け箇所を含むデータは、現状のアンカーのり面への抑止機能やアンカー材料の健全性の低下を示す一方、アンカーのり面の安定性評価においては、

背面地山・地質・地盤以外のアンカー材料の損傷データ(センサー異常値)を含む分布図となることに留意し、材料損傷箇所のデータを除外した分布図を作成する。

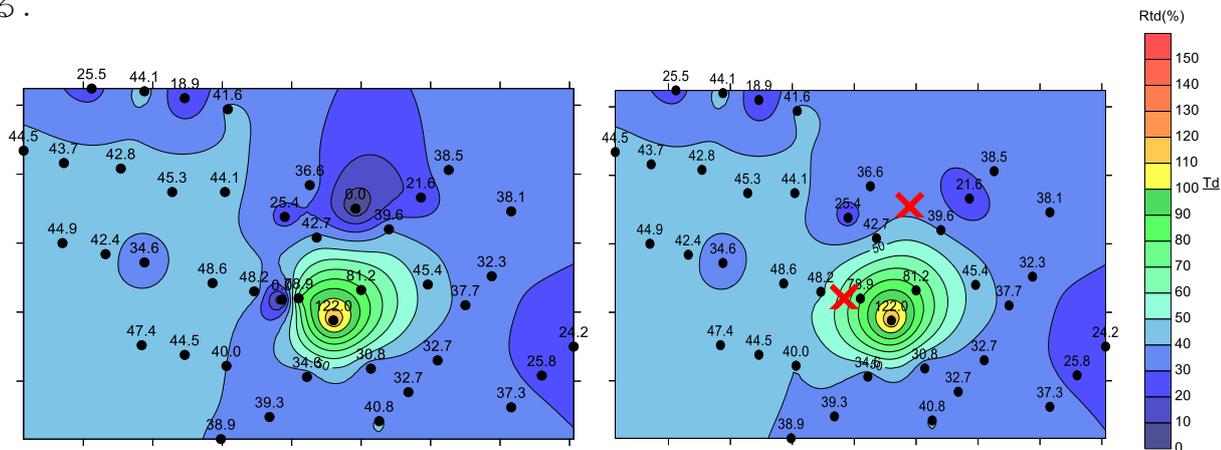


図 4.1.7 現況の抑止力および周辺アンカーの劣化・損傷に関する分布図
※腐食劣化の進行性のハザードマップ

図 4.1.8 のり面の安定性評価(背面地質・地盤評価)に関する分布図
※腐食破断アンカーを考慮しない

2) 経年変化による緊張力の増減評価

経年変化による緊張力の増減評価等、アンカーのり面の健全性評価や維持管理計画の検討に必要な緊張力分布図の作成を行う。

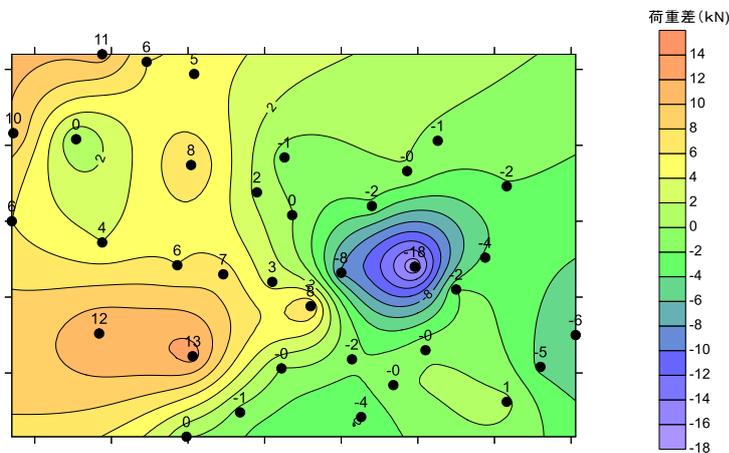


図 4.1.9 残存引張り力 P_e の経年変化図(H20-H25)

◇コラム：設計諸元が不明な場合の残存引張り力の健全度判定区分◇

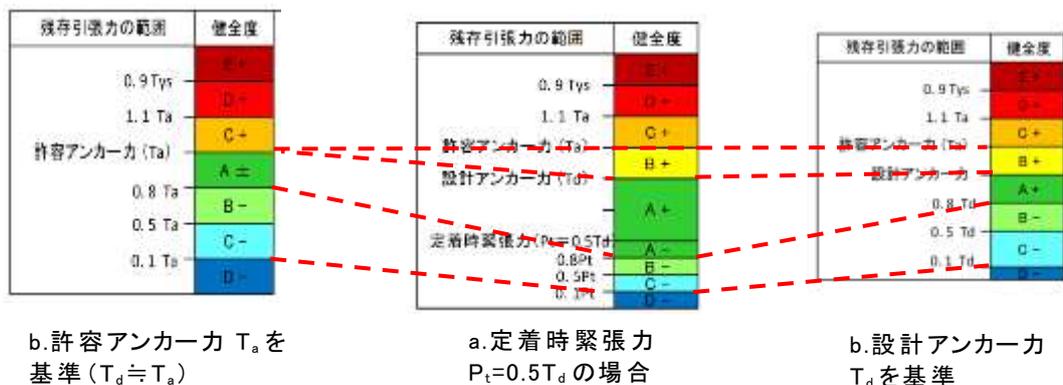
既存資料がなく，設計アンカー力 T_d ，定着時緊張力 P_t が不明の場合，許容アンカー力 T_a を仮の設計アンカー力 $T_d = 定着時緊張力 P_t$ と仮定して判定区分を行う．現地確認にてアンカー材料の規格を確認すれば，許容アンカー力 T_a と降伏点荷重 T_{ys} は確認できる．一般に設計アンカー力は，許容アンカー力以下で設定し，経済性からなるべく許容アンカー力が設計アンカー力に近い材料を選定する．このため，設計アンカー力 \approx 許容アンカー力の場合は，B+判定の区間が極端に狭く，A+判定からすぐにC+判定になる場合が多い．

一方，引き止め効果のみの設計(待ち受け)で，例えば，定着時緊張力 P_t が設計アンカー力 T_d の 50%程度 ($0.5T_d$) の場合，健全度 A(健全)区間が大きく，B-~D-判定の区間が狭くなる．このため，許容アンカー力や設計アンカー力に比べて，低い緊張力状態でも，定着時緊張力 P_t が設計アンカー力の 100%の場合 ($P_t = T_d$) で C-判定になるが，設計アンカー力の 50%定着の場合は，B-判定になる場合がある．逆に，のり面変状が発生した場合は，のり面変状が進行しても設計アンカー力まで幅があるため，のり面変状があっても健全度区分が A 判定(健全)と評価される．

このため，許容アンカー力(長期許容)以下の残存引張り力の判定区分では，緊張力の変化割合を，許容アンカー力 T_a 以上の変化では材料基準を重視した評価となっているため，緊張力変化の度合いや進行性の有無については初期値の管理や2点評価(時間軸)が重要で，状況に応じて経時的な緊張力管理が必要である．

残存引張り力の範囲	健全度	状態	対応例
0.9 T_{ys}	D+	破損の恐れあり	緊急対策を実施
1.1 T_a	D-	危険な状態になる恐れあり	
許容アンカー力 (T_a)	C+	許容値を越えている	対策を実施
設計アンカー力 (T_d)	B+		
定着時緊張力 ($P_t = 0.8 T_d$)	A+	健全	経過観察により対策の必要性を検討
0.8 P_t	B-		
0.5 P_t	C-		対策を実施
0.1 P_t	D-	規格が大きく低下している	

アンカー諸元が明確な健全度区分¹⁾(例)



参考図 4.1.2 アンカー諸元が不明な場合の残存引張り力の健全度判定区分例

4.2 アンカーのり面の健全性調査(詳細調査)の判定

アンカーのり面の健全性調査(現状調査)の結果について総合的な評価を行い、アンカーのり面の健全性について判定を行う。

アンカーのり面の健全性調査(詳細調査)は、アンカーのり面の安定性の評価を主眼としており、アンカーの緊張力の分布確認と既存資料調査、現地踏査およびアンカー材料確認の結果を踏まえ、のり面の健全性について総合的に判定を行う。

判定の結果、アンカーのり面が健全と判断された場合は、維持管理フロー(図2.3.2)に基づき、調査結果を保存し定期点検による経過観察を継続する。

一方、アンカーのり面の健全性に問題または問題の可能性がある場合は、必要に応じた対策や、検討・対応に必要な健全性調査(詳細調査)を行う。

4.2.1 アンカーのり面の緊張力分布タイプの分類

アンカーのり面の緊張力の分布タイプは、「安定型」、「増加型」、「低下型」、「混合型」の4つに分類し、アンカーのり面の健全性について評価を行う。

アンカーのり面の緊張力の分布は、背面地盤やのり面の安定性およびアンカー材料の健全性の変化に合わせて、のり面全体の安定性を保持できるように個々のアンカーがアンカー群として緊張力を変化させながら、アンカーのり面の緊張力の分布形状を形成している。これら個々ののり面特性を反映したアンカーのり面の緊張力分布について、表4.2.1の4つの分類方法に区分できる。

表4.2.1による分類は、残存引張り力の分布調査(施工アンカーの25%調査)を実施したのり面について、表4.2.2の個別アンカーの健全度区分¹⁾に基づいた緊張力の変化区分がのり面における割合を基に分類している。

なお、現状調査の残存引張り力確認試験(施工アンカーの10%調査)による緊張力分布の分類は、試験本数が少ないため健全性評価は留意する必要がある。

表 4.2.1 アンカーのり面の緊張力分布タイプの分類

のり面の緊張力 分布タイプ	個別アンカーの健全度区分 (緊張力の変化区分)	分布割合
増加型	A+～E+(増加+安定)の領域	90%以上
安定型	A+～B-(安定)の領域	90%以上
低下型	B-～D-(安定+低下)の領域	90%以上
混合型	上記以外	上記以外

表 4.2.2 個別アンカーの健全度区分と緊張力の変化区分

残存引張力の範囲	健全度	状態	緊張力の変化区分
0.9 Tys 1.1 Ta 許容アンカー力 (Ta) 設計アンカー力 (Td)	E+	破断の恐れあり	増加
	D+	危険な状態になる恐れあり	
	C+	許容値を超えている	
	B+		
定着時緊張力 (Pt) 0.8 Pt 0.5 Pt	A+	健全	安定
	A-	健全	
	B-		
0.1 Pt	C-	機能が大きく低下している	低下
	D-	機能していない	

表 4.2.1 および表 4.2.2 を基に、詳細調査(分布調査)を実施したときのアンカー緊張力分布図を図 4.2.1 に示す。

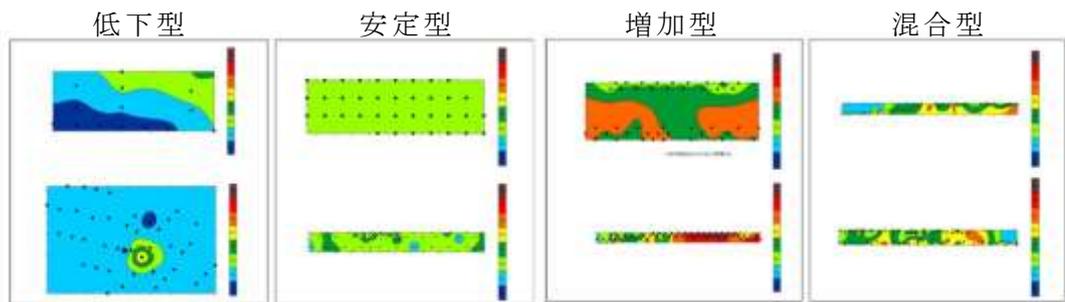


図 4.2.1 分布調査によるアンカー健全度区分の分布状況

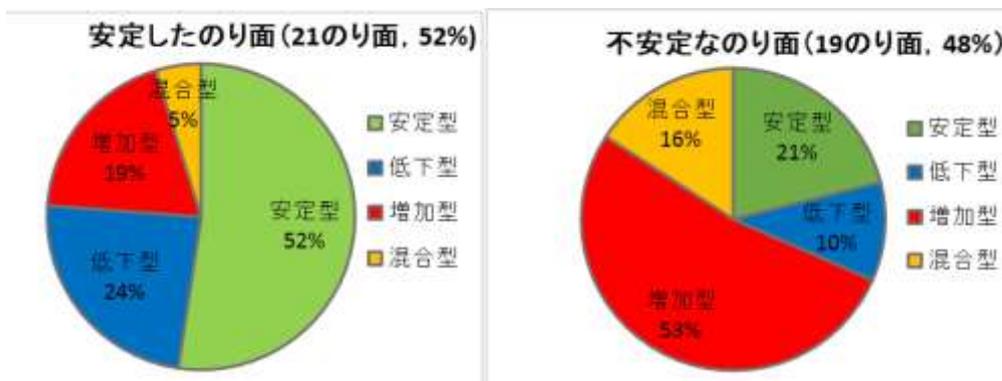
表 4.2.2 のアンカー健全度区分と緊張力の変化区分について、アンカーの緊張力は、初期定着後に地盤のクリープやアンカー自身のリラクゼーションの影響により緊張力が低下する初期低下(1次低下)に加え²⁾、変状が見られないのり面においてもアンカー緊張力がのり面全体の安定性を面的に維持できるように変化し、背面地山の風化程度に対応して緊張力が低下(2次低下)する。これらの点を考慮すると、健全度の判定における「B-」は概ね安定した状態と考えられる。したがって、健全度区分において「B+~E+」を「増加」、「B-~A+」を「安定」、「D-~C-」を「低下」として分類することができる。

◇コラム：アンカーのり面の緊張力分布とのり面の健全性の関係◇

残存引張り力の詳細調査(分布調査)を行った 37 箇所のり面を対象に，アンカー緊張力の面的分布における「増加型」，「安定型」，「低下型」，「混合型」の分類を行い，またアンカーの外観点検や現地踏査によるり面の変状状況により参考表 4.2.1 の「1-④」，「2-④」の「変状なし」を「安定したのり面」，それ以外を「不安定なのり面」とし，それぞれの割合について整理したものを参考図 4.2.1 に示し，詳細表を参考表 4.2.1 に示す．

参考表 4.2.1 アンカーのり面の変状の区分

対象	区分	状 況
アンカー	1-①	斜面安定に起因する変状有り(外力破断・斜面変動による荷重増加)
	1-②	アンカーの劣化による変状有り(腐食破断・定着部の引き抜け)
	1-④	変状無し(安定したのり面)
のり面	2-①	斜面安定に起因する明確な変状あり
	2-②	斜面安定に起因するやや不明瞭な変状あり
	2-④	変状なし(安定したのり面)



参考図 4.2.1 アンカーのり面の安定性とアンカー緊張力分布タイプ

安定したのり面では，「安定」が 50%を超えるのに対し，不安定なのり面では，「増加」が 50%を超え，不安定なのり面ではアンカーに何らかの負担がかかり荷重増加が発生していることが多いことが考えられる．

なお，安定したのり面において「増加型」，「混合型」の荷重増加履歴があるのり面が含まれ，一方，不安定なのり面において「安定型」が含まれている．安定したのり面の荷重増加履歴があるアンカーでは，荷重増加の度合いやアンカー自由長が短い場合，アンカーの抑止効果によって地表面への変状が現れにくいアンカーのり面の影響も考えられる．また，不安定なのり面の「安定型」は，既設アンカーより深いすべり面の発生やのり面変状後のアンカー対策，すべり変状を伴わないアンカー材料の局所的な劣化損傷が見られる場合等がある．

したがって、アンカーのり面の緊張力分布タイプによる分類特性とアンカーのり面の安定性評価は、現状調査時での評価に留まるため、既存資料調査によるアンカー対策の経緯や追加対策の有無、施工管理時や維持管理記録等、詳細な時系列での評価を踏まえた総合的な評価が重要である。

参考表 4.2.2 分布調査の結果一覧表(例)

のり面No.	アンカー健全性評価の割合 (%)								のり面の健全度割合 (%)			アンカー・のり面の状況		のり面状況
	E	D+	C+	B+	A	B-	C-	D-	増加割合	安定割合	低下割合	アンカー-のり面状況確認	法面変状確認	
1	0.0	0.0	4.8	9.5	47.6	14.3	23.8	0.0	14.3	61.9	23.8	2-①	1-①	荷重混合
2	0.0	5.9	17.6	0.0	47.1	29.4	0.0	0.0	23.5	76.5	0.0	2-①	1-②	荷重増加
3	0.0	0.0	23.8	0.0	50.0	26.2	0.0	0.0	23.8	76.2	0.0	2-①	1-①	荷重増加
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	2-④	1-④	荷重安定
5	0.0	0.0	0.0	0.0	54.5	36.4	9.1	0.0	0.0	90.9	9.1	2-②	1-④	荷重安定
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.4	28.6	50.0	0.0	21.4	78.6	2-④	1-④	荷重低下
7	0.0	0.0	6.7	15.6	35.6	26.7	15.6	0.0	22.2	67.7	15.6	2-①	1-①	荷重混合
8	0.0	0.0	0.0	0.0	80.6	19.4	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	2-④	1-④	荷重安定
9	0.0	0.0	0.0	0.0	7.7	76.9	15.4	0.0	0.0	84.6	15.4	2-④	1-④	荷重低下
10	0.0	0.0	0.0	56.3	31.3	0.0	12.5	0.0	56.3	31.3	12.5	2-④	1-③	荷重混合
11	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	4.8	88.1	4.8	2.4	4.8	92.8	2-②	1-②	荷重低下
12	0.0	0.0	0.0	0.0	83.3	16.7	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	2-④	1-④	荷重安定
13	0.0	0.0	0.0	0.0	14.8	70.4	14.8	0.0	0.0	85.2	14.8	2-④	1-④	荷重低下
14	0.0	0.0	0.0	10.0	35.0	50.0	5.0	0.0	10.0	85.0	5.0	2-④	1-④	荷重増加
15(1段目)	0.0	0.0	0.0	0.0	42.9	57.1	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	2-④	1-①	荷重安定
15(2段目)	0.0	0.0	0.0	0.0	33.3	58.3	8.3	0.0	0.0	91.7	8.3	2-④	1-④	荷重安定
16	0.0	0.0	7.7	26.2	35.4	15.4	12.3	3.1	33.8	50.8	15.4	2-①	1-①	荷重混合
17	0.0	0.0	0.0	0.0	33.3	66.7	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	2-④	1-④	荷重安定
18	0.0	0.0	3.3	0.0	80.0	13.3	0.0	3.3	3.3	93.3	3.3	2-④	1-④	荷重安定
19	0.0	7.0	9.9	33.8	35.2	12.7	1.4	0.0	50.7	47.9	1.4	2-④	1-①	荷重増加
20	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4	89.2	5.4	0.0	0.0	94.6	5.4	2-④	1-④	荷重安定
21(掘削)	0.0	5.0	15.0	10.0	50.0	20.0	0.0	0.0	30.0	70.0	0.0	2-④	1-①	荷重増加
21(増打ち)	0.0	17.5	24.6	0.0	36.8	15.8	5.3	0.0	42.1	52.6	5.3	2-②	1-④	荷重増加
22	0.0	4.1	14.3	26.5	32.7	22.4	0.0	0.0	44.9	55.1	0.0	2-②	1-②	荷重増加
23(1段目)	0.0	0.0	0.0	6.7	93.3	0.0	0.0	0.0	6.7	93.3	0.0	2-④	1-④	荷重安定
23(2段目)	0.0	0.0	0.0	23.3	76.7	0.0	0.0	0.0	23.3	76.7	0.0	2-④	1-④	荷重増加
24	0.0	0.0	0.0	4.9	82.9	12.2	0.0	0.0	4.9	95.1	0.0	2-④	1-④	荷重安定
25	24.5	18.9	11.3	7.5	18.9	17.0	1.9	0.0	62.3	35.8	1.9	2-①	1-①	荷重増加
26	0.0	0.0	0.0	0.0	44.4	55.6	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	2-④	1-④	荷重安定
27	0.0	0.0	0.0	40.0	36.0	20.0	4.0	0.0	40.0	56.0	4.0	2-④	1-②	荷重増加
28	72.2	5.6	0.0	11.1	0.0	11.1	0.0	0.0	88.9	11.1	0.0	2-④	1-②	荷重増加
29	0.0	0.0	0.0	11.1	88.9	0.0	0.0	0.0	11.1	88.9	0.0	2-④	1-④	荷重増加
30	0.0	0.0	3.4	24.7	67.4	4.5	0.0	0.0	28.1	71.9	0.0	2-④	1-④	荷重増加
31	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	2-④	1-①	荷重安定
32	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	60.0	20.0	0.0	0.0	80.0	20.0	2-②	1-④	荷重低下
33	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	66.7	33.3	0.0	0.0	66.7	33.3	2-④	1-④	荷重低下
34	0.0	0.0	0.0	0.0	60.0	40.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	2-④	1-④	荷重安定
35	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	80.0	20.0	0.0	0.0	80.0	20.0	2-④	1-④	荷重低下
36	0.0	0.0	3.3	0.0	26.7	65.0	5.0	0.0	3.3	91.7	5.0	2-④	1-②	荷重安定
37	0.0	0.0	2.7	45.9	45.9	5.4	0.0	0.0	48.6	51.4	0.0	2-④	1-②	荷重増加

4.2.2 アンカーのり面の緊張力分布による健全性評価

アンカーのり面の健全性調査(詳細調査)結果について、アンカーのり面の緊張力分布タイプ、アンカーのり面の変状、アンカー変状、既存資料調査について総合的に評価し、今後の対応の検討を行う。

アンカーのり面の緊張力分布タイプは、アンカーのり面の安定性や健全性を評価するものではなく、アンカーのり面の特性、現地踏査、アンカー材料確認および既存資料調査などの結果を踏まえて総合的に判断し健全性評価を行う。

アンカーのり面の緊張力分布タイプによる分類とアンカーのり面の健全性評価については、調査時での評価に留まる。このため、過去の経年変化履歴や今後の変状の進行性の有無については、別途、既存資料調査やモニタリング等による評価が必要であることに留意しなければならない。

詳細調査結果の評価と今後の対応として、表 4.2.3 に対応の参考例を示すが、現場状況に応じて適切な調査・検討の提案を行うことが重要である。

表 4.2.3 健全性調査(現状調査)結果による対応(例)

対 応	調査結果※1			対応の 実施項目	備 考
	のり面 緊張分布	のり面 変状	アンカー 変状※4		
定期点検に よる 経過観察	安定型 ※2	なし	なし	定期点検	健全性に異常は見られず経過観察を継続。
健全性調査 (詳細調査) の実施	増加型 混合型	あり	あり	モニタリング他	のり面とアンカー変状を伴う荷重増加があり，緊急把握のモニタリングの実施．対策の検討に必要な調
		なし	なし	モニタリング他	のり面変状を伴わない荷重増加があり，進行性の把握．荷重増加の進行性がない場合は，経過観察に移
	低下型	なし	あり	材料調査他	のり面は安定しているがアンカーの損傷があり，原 ンカー材料調査を実施し，結果により対策に必要な
		あり※3	なし	モニタリング 地質調査他	のり面変状の進行性の把握のモニタリングの実施． 原因確認のため地質調査の実施(既設アンカーより深
緊急対策の 実施	増加型 混合型	あり	あり	規制 防護対策	のり面崩壊の危険性がある場合は，規制等の対応の アンカーの破断等の危険性がある場合，第三者被害 防護対策の実施．
	—	—	あり	防護対策	旧タイプの鋼棒アンカーの劣化破断等による第三者 は防護対策の実施(※詳細な破断原因は対策後の詳細

1. 調査結果において，既存資料調査や既存のモニタリングにより進行性(経年変化)の評価ができる場合は，対応の検討に考慮．
2. 安定型でも，荷重増加アンカーがある場合は，緊張力分布調査の検討(ピーク荷重の把握)荷重増加の進行性の有無のモニタリングの実施
3. 待ち受けアンカーや緊張力が大きく低下後の設計アンカー力以下の荷重増加は低下型～安定型に分類されるため，アンカー荷重の増加を伴うのり面変状の場合は，必要に応じて再緊張等を含めた対策の検討の調査を実施．
4. リフトオフ試験結果を考慮(残留変位・または残存引張り力の低下を伴う累積変位や逆算テンドン自由長が極端に長い断面欠損の恐れ)．

4.3 アンカーのり面の健全性調査(詳細調査)の基本的な考え方

アンカーのり面の健全性調査(詳細調査)は、アンカー機能の維持が損なわれたアンカー、もしくは旧タイプのアンカー等で近い将来にアンカー機能が損なわれると予測されるアンカーに対して、適切な対策を選定する目安を得ることを目的とする。

詳細調査は、既往資料で十分な地質調査資料やアンカー資料が不足する場合や進行性の斜面で背後斜面の変動とアンカー緊張力の経時変化の関係を把握する必要がある場合等に実施する。

アンカーのり面の健全性調査のみで、健全性の評価が適切でないと考えられる場合には地質調査やモニタリングを行って、背後斜面を考慮したアンカーのり面の健全性を評価する。

アンカー材料の機能が損なわれている場合には材料調査を実施し、アンカーの再利用や更新等の今後の方針を決定する。

アンカーのり面は、背後斜面の状況を考慮して設計・施工されたものであり、背後斜面を含めた評価が必要となる。ただし、アンカーのり面の分布調査で経過観察と評価されたアンカーのり面において、背後斜面の変動等が生じていないと判断された場合は、特に詳細調査の必要性は小さいものとなる。その反面、頭部詳細調査やリフトオフ試験等で何らかの不具合が認められたアンカーと背後斜面に変動が認められる場合や緩軟弱な地層が分布する場合等のアンカー材料やアンカー機能に懸念が認められる場合には詳細調査の実施が望まれる。

詳細調査の進め方の目安として、図 4.3.4 に詳細調査のフロー図を示す。残存引張り力の分布調査によるアンカー緊張力の分布状況(図 4.2.1)に示されているアンカー緊張力の変化区分に合わせて「緊張力が増加傾向あるいは増加と低下が混在を示すタイプ」と「緊張力が低下傾向を示すタイプ」および「緊張力が安定なタイプ」に分けて考える。

4.3.1 緊張力増加・混合タイプ

緊張力が増加する場合は、設計アンカー力を超える外力が作用していることが考えられ、大きな外力が生じる要因を明らかにする必要がある。これには移動土塊が大きくなることで外力が増大する場合や地下水位が想定より高くなることで斜面がより不安定になる場合および環境変化(切土や盛土の影響)による場合等が考えられる。また、冬期に凍結する地域では受圧板背面地盤の凍上により緊張力が増加することもある。緊張力増加要因を模式的に図 4.3.1 に示す。これらの要因は、凍上の場合を除けば斜面が不安定になる場合である。

緊張力が増加と低下の状態が混在するのり面において、緊張力増加が含まれる場合にはのり面の変状等の可能性が考えられ、緊張力増加と同様な対応を考える

必要がある。

これらの原因を明らかにするには詳細な地質調査が必要となる(4.4.2項を参照)。場合によっては、アンカー緊張力をモニタリングし、緊張力の推移を計測することが望ましい(4.4.1項を参照)。

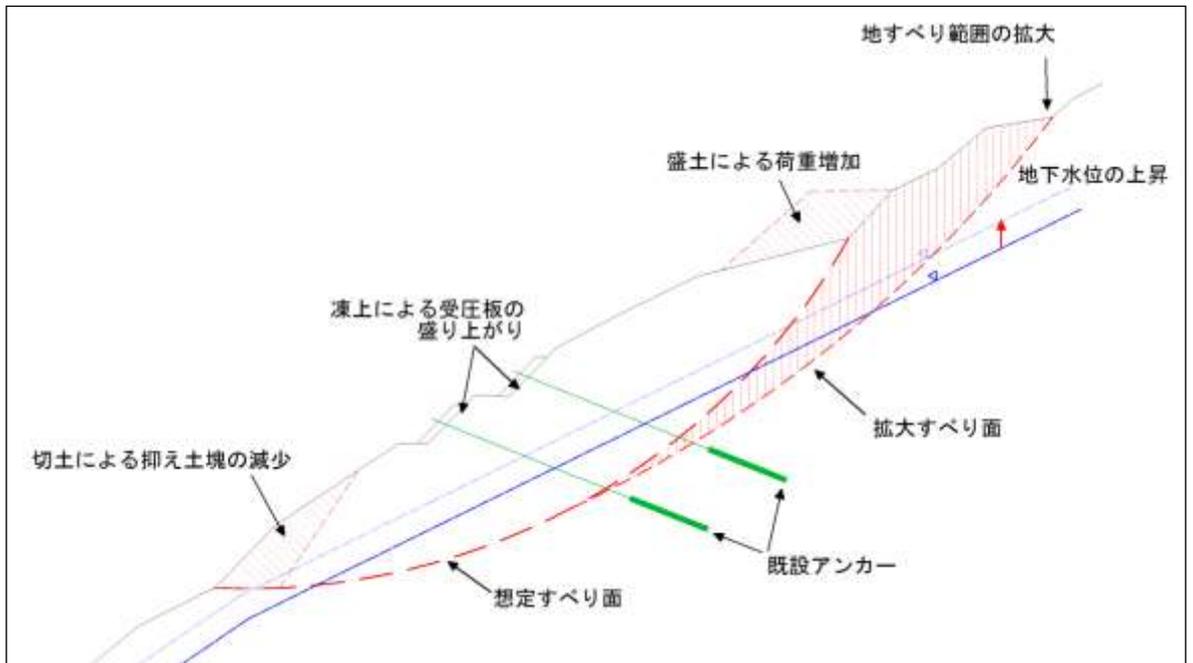


図 4.3.1 緊張力増加要因の模式図

4.3.2 緊張力低下タイプ

緊張力が低下する場合は、①テンドン(引張材)の不具合、②定着部の不具合(グラウトの充填不足、品質の劣化、定着地盤とのクリープ破壊)、③付帯構造物の劣化(受圧板や周辺コンクリートの劣化)、④受圧板背面地質の問題(圧密地盤の存在、支持力不足)等がある。これらを模式的に図 4.3.2 に示す。また、⑤既設アンカーを巻込む新たなすべりが発生している場合等にはアンカー緊張力が低下することもある(図 4.3.3)。

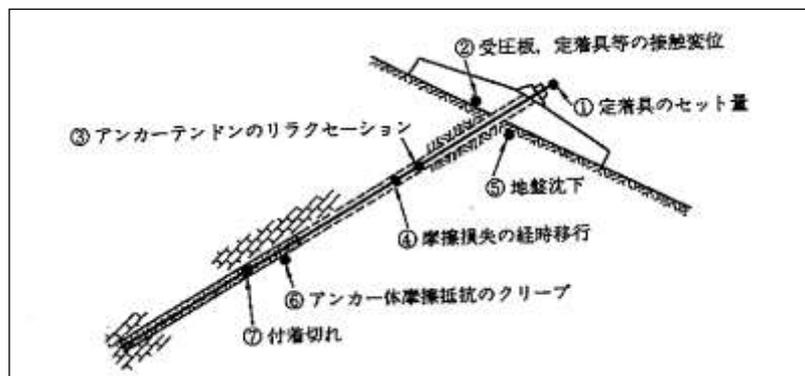


図 4.3.2 緊張力低下要因の模式図³⁾

4.3.3 緊張力安定タイプ

緊張力安定と評価される場合でも当該のアンカーのり面や上方の自然斜面に地すべり変動の兆候を表す変状が発生していることがある。この場合は、「緊張力低下傾向」の要因で示した⑤既設アンカーを巻込む新たなすべりが発生している場合等と同じ原因であり、残存引張り力の大きさを面的調査結果の評価区分が異なるだけである。このことは、地すべり変動に対して抑止効果を期待する既設アンカーが十分に機能していないことが原因となる(アンカー長が不足する)。この場合の要因発生の様式図を図 4.3.3 に示す。

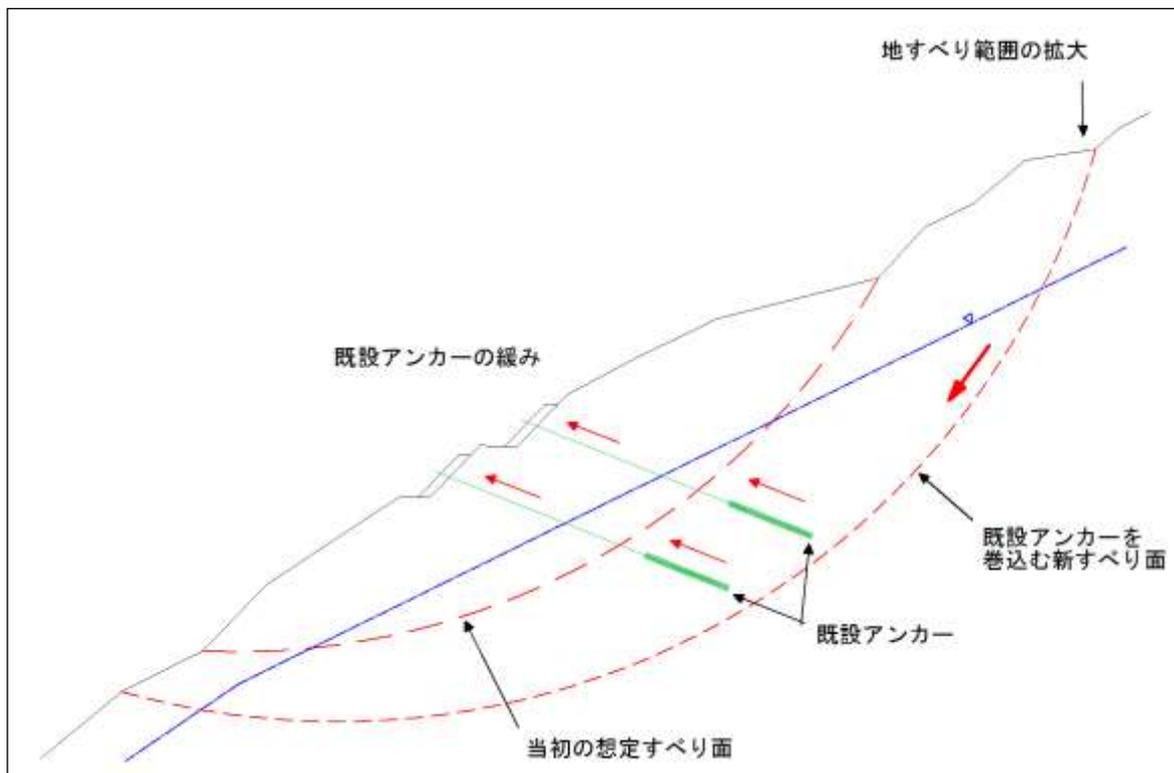


図 4.3.3 緊張力低下・安定時の不安定要因様式図

4.4 その他の詳細調査

その他の詳細調査には(1)モニタリング、(2)アンカー材料調査、(3)地質調査がある。

(1) モニタリング

モニタリングには、アンカー緊張力の経時変化を観測するものと背後斜面(土塊)の経時変動を観測するものとに分けられる。

アンカー緊張力は、荷重計を設置・観測することで緊張力の経時変化を把握する。アンカー施工時に荷重計が設置されていない場合は、後付け荷重計を設置することになる。荷重計の観測は、第5章で詳述するように緊張力と温度との相関関係が高いことから荷重計の荷重と温度計による温度を同時に観測の方が緊張力の変化が読み取りやすくなる。

背後斜面のモニタリングは、一般的な地すべり観測に相当し、斜面の経時変動を把握する目的で、地表や地中の変動や地下水位の動向を連続観測する。また、場合によっては、のり面(アンカー受圧板)の変位を観測することもある。

(2) アンカー材料調査

アンカー材料調査は、アンカーの機能が長期的に維持できるかどうかを判断するための調査やリフトオフ試験時に荷重増加が表れない状態になったアンカーや不具合が認められたアンカーに対して原因を絞り込むための調査がある。

調査によっては、設計アンカー力以上の緊張力を負荷することになり、アンカーの引抜け(破断や付着切れ)を招くことも視野に入れて事前に発注者と協議することが必要である。

(3) 地質調査

地質調査は、一般的な地すべり調査と同様に斜面変動の規模や範囲を明らかにするための調査である。また、調査結果は対策工検討のための基礎資料となる。既往調査資料が存在する場合は、新たな斜面変状の発生の有無や変動範囲が変化しているかを確認するためにも地質調査を計画する必要がある。その場合は、既往調査資料等を勘案して調査手法を決定することが重要である。

4.4.1 モニタリング

モニタリングとは、設置した観測機器を連続的あるいは定期的に観察・記録し、のり面を継続的に監視し続けるということである。

モニタリングの項目は、アンカー緊張力の状態と背後斜面(土塊)の変動程度に分けられ、モニタリング設置事例として図 4.4.1 の模式図に、項目ごとに観測機器を整理したものを表 4.4.1 に示す。

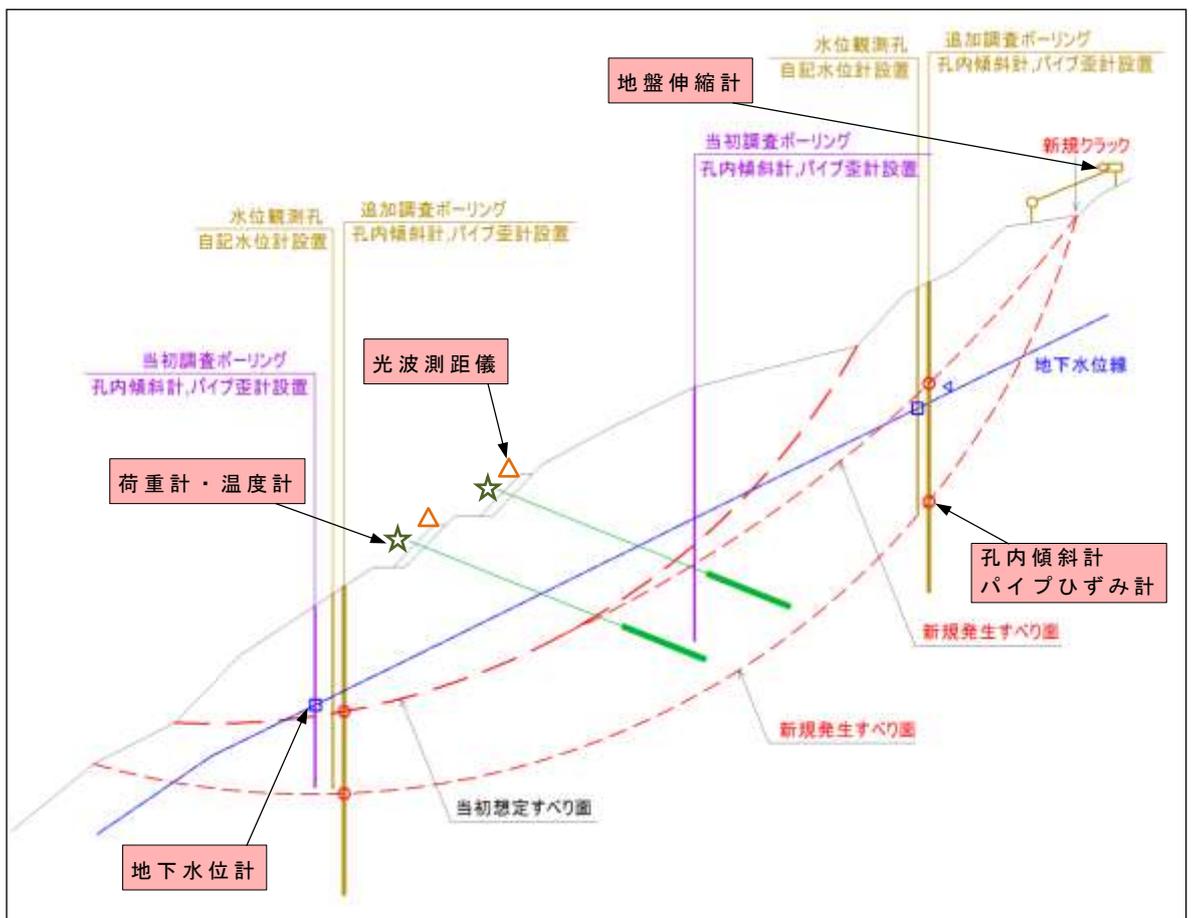


図 4.4.1 モニタリング設置事例模式図

表 4.4.1 モニタリング項目

項目	観測機器	観測内容
アンカー 緊張力	荷重計, 温度計	荷重と温度の相関図を作成し, 緊張力の経時変化を把握
背後斜面 (移動土塊)	地盤伸縮計	地表に現れた亀裂の伸縮程度を把握
	光波測距儀	基準点からのり面の定点間の離隔を座標で管理
	孔内傾斜計	地中に埋設したパイプの穴曲りを傾斜程度で観測
	パイプひずみ計	地中に埋設したパイプの穴曲りをひずみ計の増減で観測
	自記水位計	地中に埋設したパイプ(ストレーナー加工)内の水位を観測

(1) アンカー緊張力

アンカーは緊張力が導入された状態で地盤内に保持される構造であるため, 適切なアンカーの維持管理を行う上で, アンカーに作用している緊張力を的確に把握することが求められる。

アンカー緊張力を確認する方法は, 前章で詳述したリフトオフ試験と荷重計による方法がある。

リフトオフ試験による方法は, 前述したように頭部キャップを取り外し, 防錆油を取除いた後, ジャッキを設置する等多くの作業を伴うことから, 試験を頻繁に実施するのは難しくなる。

荷重計による方法は, 定着具と支圧板の間に荷重計を設置することで常時残存引張り力を測定することができる。荷重計を利用すれば, 常に構造物の安定を管理できると同時に, 地震等の災害直後の異常や地すべりの発生を即時に発見することが可能となる。

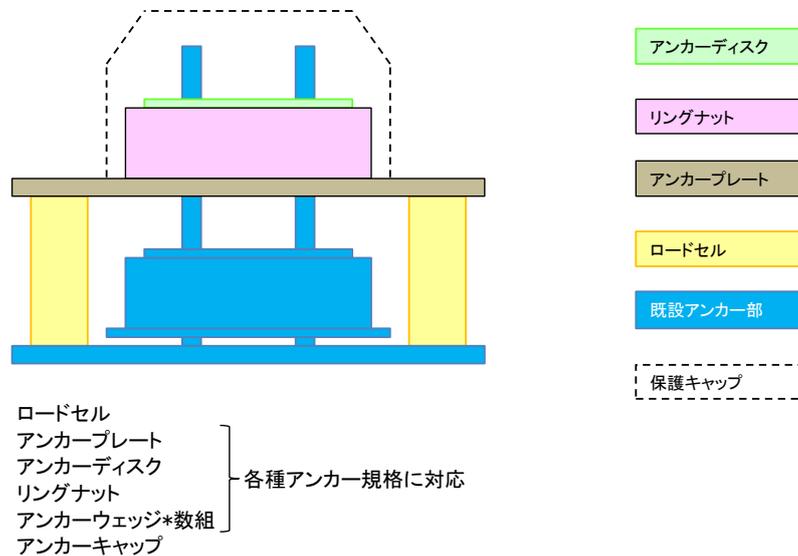
アンカーに作用する緊張力を荷重計等で求める場合, 観測値は周辺の温度によって変化し⁴⁾, アンカーに作用する緊張力を適切に評価することが困難な場合がある。アンカーに作用する緊張力を荷重計でモニタリング計測する場合, アンカーの緊張力は荷重計が設置された地点の温度と高い相関を持つことが確認されている¹⁾。また, アンカー荷重と温度との相関を評価する場合, 温度計の設置位置は受圧板よりも荷重計に設置する(設置例を写真 4.4.1 に示す)方が, より高い相関が得られることがわかっている⁵⁾。

アンカー施工時に荷重計が設置されていれば, 荷重計簡易検定により既設荷重計が正常に作動することを確認してから使用する。荷重計が設置されていないア

ンカーでアンカー緊張力をモニタリングする必要がある場合は、図 4.4.2 に示した後付け荷重計の設置が望ましい。後付け荷重計は、設置実績から 3 種類の荷重計が一般に利用されており、その設置例を表 4.4.2 に示す。



写真 4.4.1 温度計の設置例



既設ロードセルを直置き(アンカーヘッドはロードセルのセンターホール内に収納)し
その上の新設プレート、新設ヘッド(ディスク、リングナット)に荷重を受け持たせる。

図 4.4.2 後付け荷重計の設置例の模式図(表 4.4.2 の SAAM-L 型)

表 4.4.2 後付け荷重計の設置例

名称	SAAM-L 型	A 型	B 型
設置例			
概要	<p>アンカープレートの下側に荷重計を設置するタイプである。 小型・軽量のジャッキと専用治具を用いて荷重計を設置する。</p>	<p>アンカープレートの上側に荷重計を設置するタイプである。 専用治具を用いて荷重計を設置する。</p>	<p>アンカープレートの上側に荷重計を設置するタイプである。 アンカーヘッドのナットの代わりに荷重計を設置する。</p>

1) 後付け荷重計

アンカー施工時に荷重計が設置されていない既設アンカーで、その後の維持管理においてアンカー緊張力をモニタリングする必要がある場合に後付け荷重計を設置する。後付け荷重計は、初期緊張定着後のアンカーに除荷工を必要とせず後付け荷重計の設置を行う。

表 4.4.2 に示す後付け荷重計のうち SAAM-L 型と A 型は、既設アンカーのほとんどのタイプに対応可能で、SAAM-L 型は緊張余長のないタイプでも取り付け可能である。後付け荷重計の取付け作業のフローを図 4.4.3 に示す。撤去は現況復旧を原則とする。以降からは SAAM-L 型について詳述する。

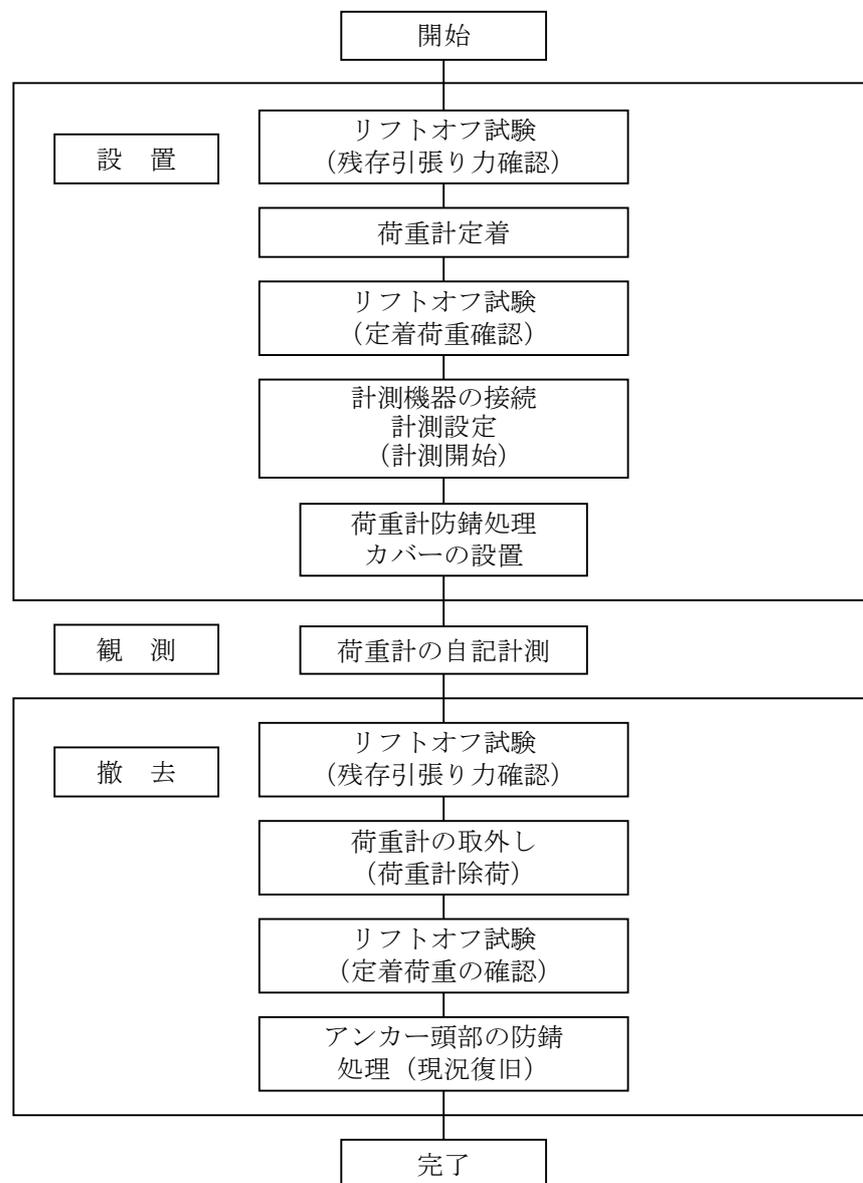


図 4.4.3 後付け荷重計の設置・撤去作業フロー図

a) 後付け荷重計設置位置

アンカーのり面の面的評価結果に基づき、アンカー緊張力をモニタリングすべき適切なアンカー位置を選定する。

b) 後付け荷重計設置方法

荷重計を既設アンカーにセットし、リフトオフ試験にて、アンカーヘッドを支圧板から3~5mm程度浮かせて緊張定着する。荷重計設置後、再度リフトオフ試験にて荷重計の定着荷重を確認し、計測値との比較を行う(図4.4.4参照)。設置の作業手順を図4.4.5に示す。荷重計の設置後は、荷重計に温度計を設置し、同時に計測できるシステムを構築することが望ましい。

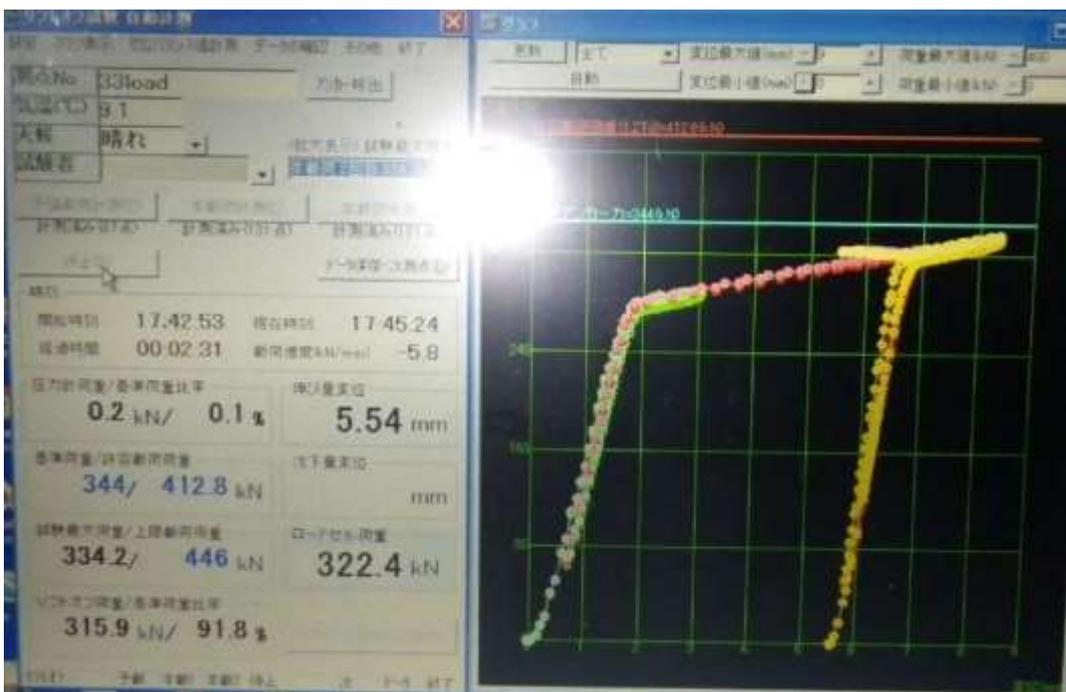
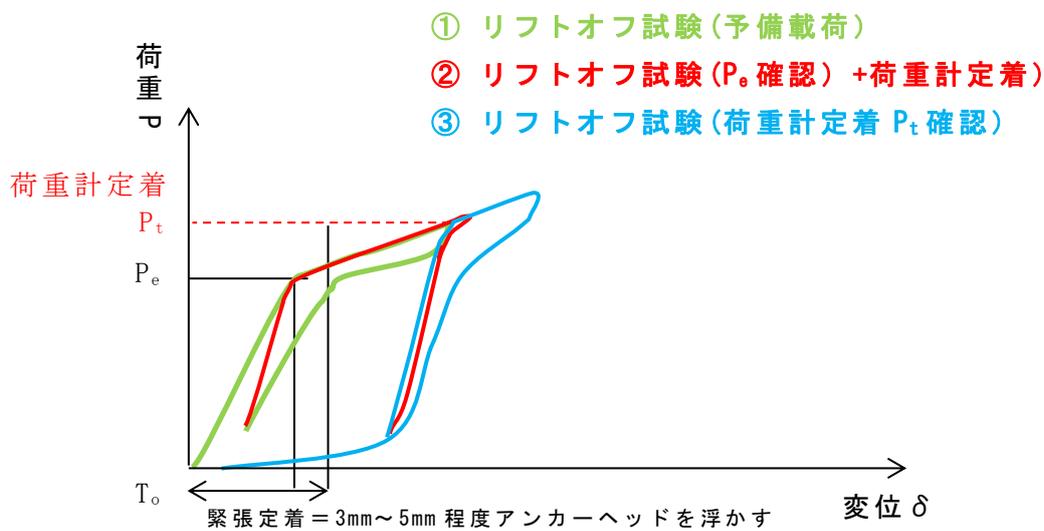


図 4.4.4 後付け荷重計設置後のリフトオフ試験

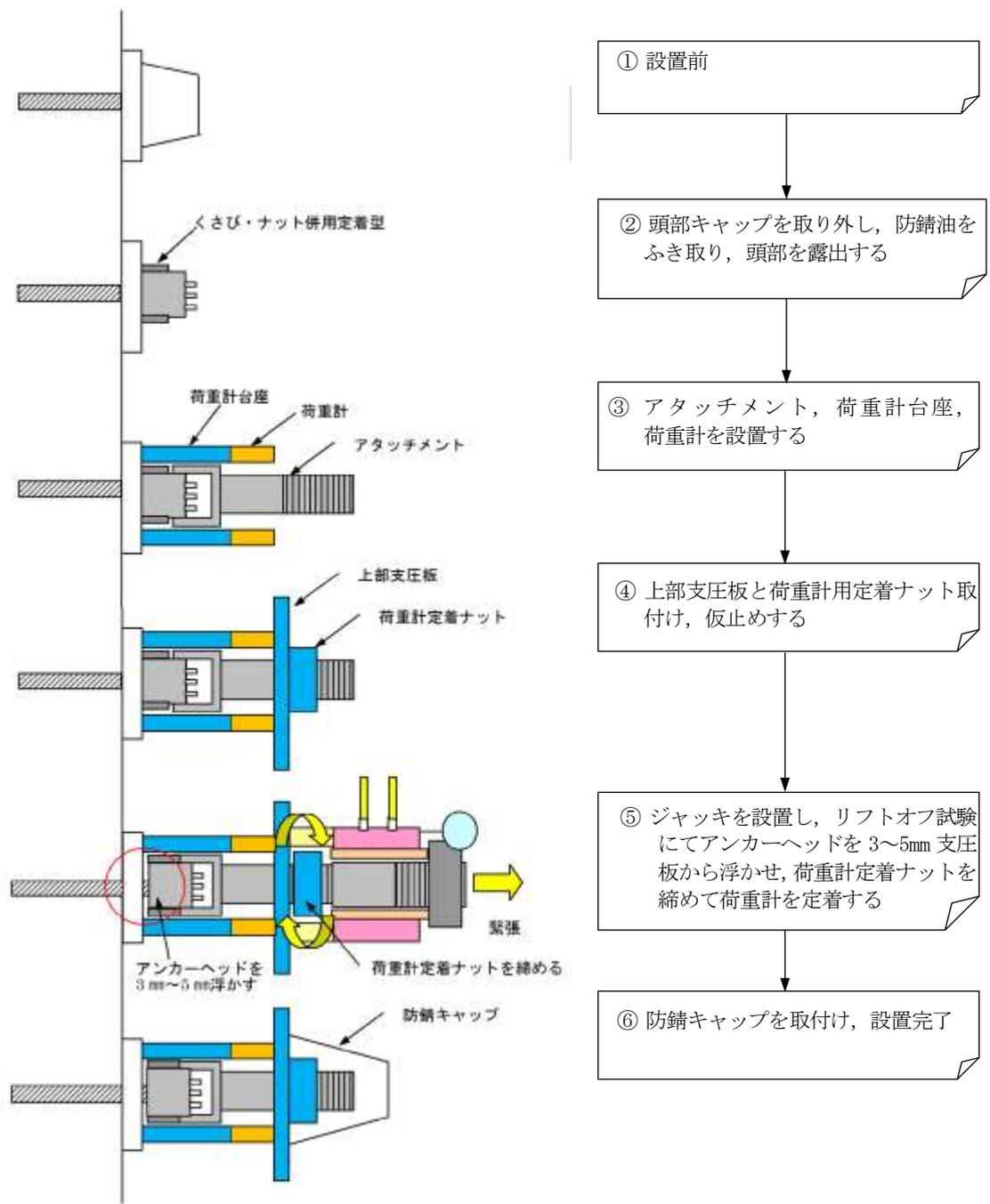


図 4.4.5 後付け荷重計設置手順例(くさび・ナット併用型:取付け治具付)

c) 後付け荷重計の取り外し

計測が終了した荷重計は，図 4.4.3 に従い，荷重計を撤去する．荷重計の撤去後は，設置前と同等の現況復旧とし，撤去後のアンカー緊張力を確認し，撤去直前の荷重で復旧する．

2) 既設荷重計の簡易検定

アンカーのり面に既に荷重計が設置されているが、現在荷重計観測を実施していない荷重計を再度観測する場合は、アンカー荷重計の動作確認と精度確認を目的とした荷重計の簡易検定を行って評価することができる。

荷重計の簡易検定は、既設荷重計設置箇所でリフトオフ試験時に荷重計計測を行い、加圧ジャッキの圧力と荷重計の計測値を比較することで既設荷重計が正常に作動しているかの確認を行う。

なお、荷重計の簡易検定は、既設荷重計の作動確認、荷重値のズレの有無のチェックおよび初期値の補正等を現地で行うもので、工場検定等とは異なる。

表 4.4.2 に示した後付け荷重計のうち、SAAM-L 型は、リフトオフ試験時に荷重計測ができるが、A 型および B 型はアンカープレートの上部に荷重計を設置する構造のため、通常のリフトオフ試験ではリフトオフ後に荷重計が浮いた状態となり、荷重計の荷重増加の作動確認はできない(図 4.4.7 参照)。そのため、A 型および B 型の場合はジャッキによる荷重(リフトオフ試験)と荷重計の荷重計測を個別で試験を行い、それぞれの荷重値の比較を行うことになる。

ここでは、SAAM-L 型を使用した場合の既設荷重計の簡易検定手順について述べる。

a) 荷重計の絶縁抵抗値のチェック

計測用ハンディローガーにて、荷重計のケーブルを接続し、ケーブル等の損傷による漏電等の有無について確認を行う(図 4.4.6)。

正常	漏電の可能性あり
	
「*****」表示(500Ω以上の抵抗値)	「500Ω以下」の数値

図 4.4.6 荷重計の絶縁抵抗値チェック

b) リフトオフ試験による荷重計の簡易作動確認と精度確認

アンカー緊張力の評価については、ジャッキ(現場試験前にキャリブレーション済)の載荷荷重を正値として評価する。

リフトオフ後の荷重-変位曲線の直線勾配範囲で、載荷荷重と荷重計計測値の精度および荷重増加の連動性の有無を確認する(図 4.4.7)。

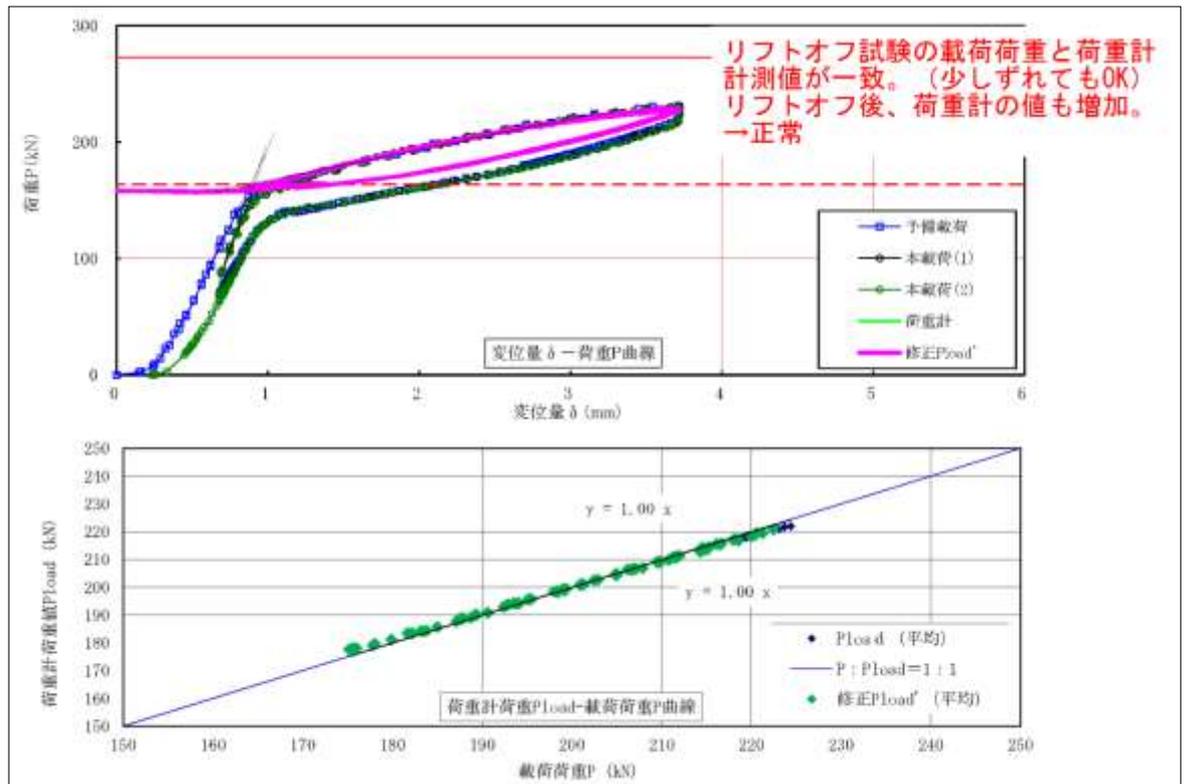


図 4.4.7 荷重計の簡易検定結果(PとPloadが一致の場合)

- ① リフトオフ試験時に、データロガーにて荷重計測を行い、リフトオフ後の荷重計の荷重値 Pload を計測する。
- ② リフトオフ試験の荷重-変位曲線に、ロガーにて同時測定した荷重値 Pload との関係を整理する。(図 4.4.7 の上段図)
- ③ リフトオフ後の油圧ジャッキ載荷荷重 P-荷重計荷重 Pload グラフ(図 4.4.7 の下段図)より荷重値の一次近似直線を求め、油圧ジャッキ載荷荷重 P-荷重計荷重 Pload の相関性(1:1)に対して、荷重計の精度確認および作動確認を行う。

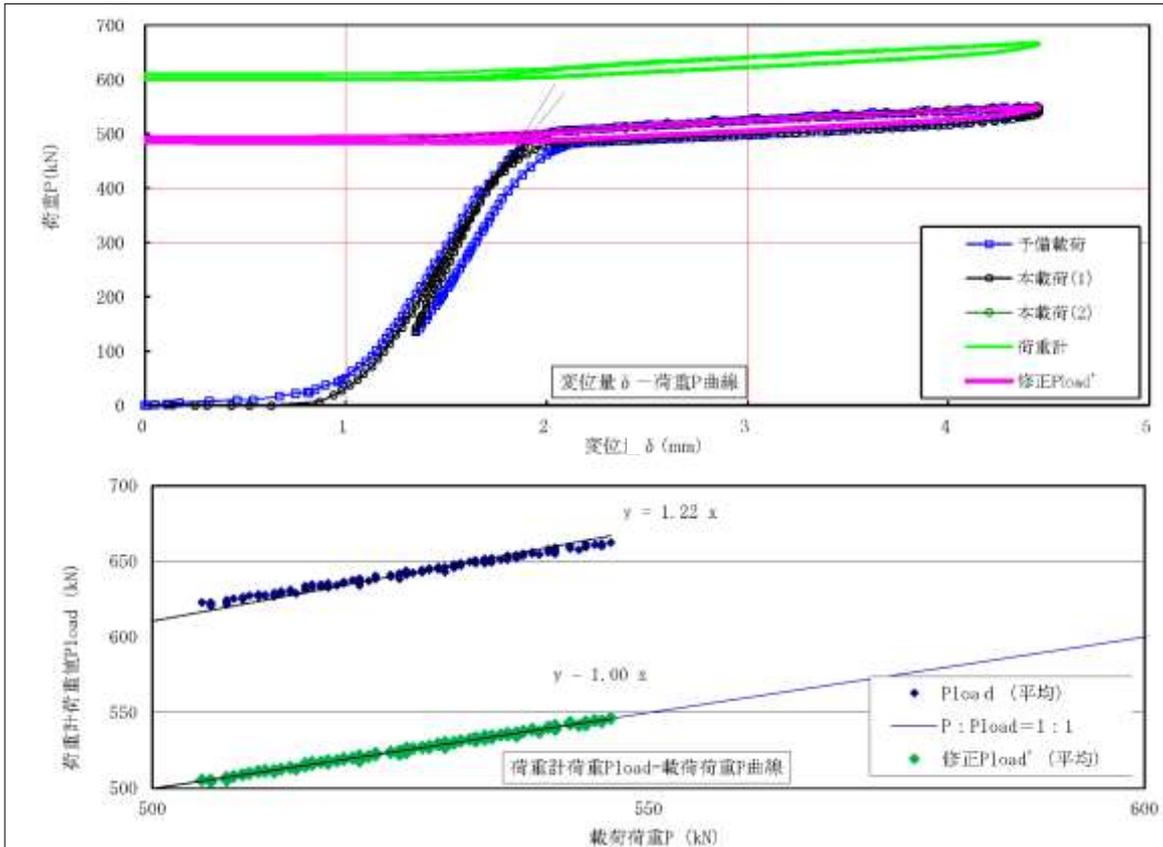


図 4.4.8 荷重計の簡易検定結果(PとPloadにズレがある場合)

図 4.4.8 に示した例では、載荷荷重(P)と荷重計の荷重(Pload)とにズレが認められた場合である(図 4.4.7 の赤字コメント)。このズレ(誤差)は、±5%以内は許容する。ズレがある場合に P と Pload の相関性が 1:1 の関係にある場合は荷重計の作動は正常と評価する。ズレが±5%以上の場合は、修正校正係数で補正する。図 4.4.8 の場合は、約 22%の誤差が生じており、修正校正係数で補正した場合を表 4.4.3 に示す。ただし、図 4.4.8 に示すように荷重計の作動状況は正常と評価されることが必要条件となる。

表 4.4.3 荷重計の荷重値に対する補正例

相対値	相対値	1.223	1.220	1.222	
	Pload:P 誤差(%)	22.3	22.0	22.2	誤差 ±5%以上
修正後(参考)	修正ゼロバランス	241	238	240	修正
	修正校正係数	0.487	0.487	0.487	-117kN
	相対値	1.000	1.000	1.000	
	Pload:P 誤差(%)	0.0	0.0	0.0	誤差 ±5%以内 OK
	修正荷重計値Pload'2 (kN)	485	485	-	
	Pload'2-Pe (kN)	-19	-20	-	

荷重計の作動に異常が認められる場合の例を図 4.4.9 に示す。

表 4.4.2 に示す A 型、B 型の荷重計が設置されている場合のリフトオフ試験時の荷重-変位曲線を図 4.4.10 に示す。

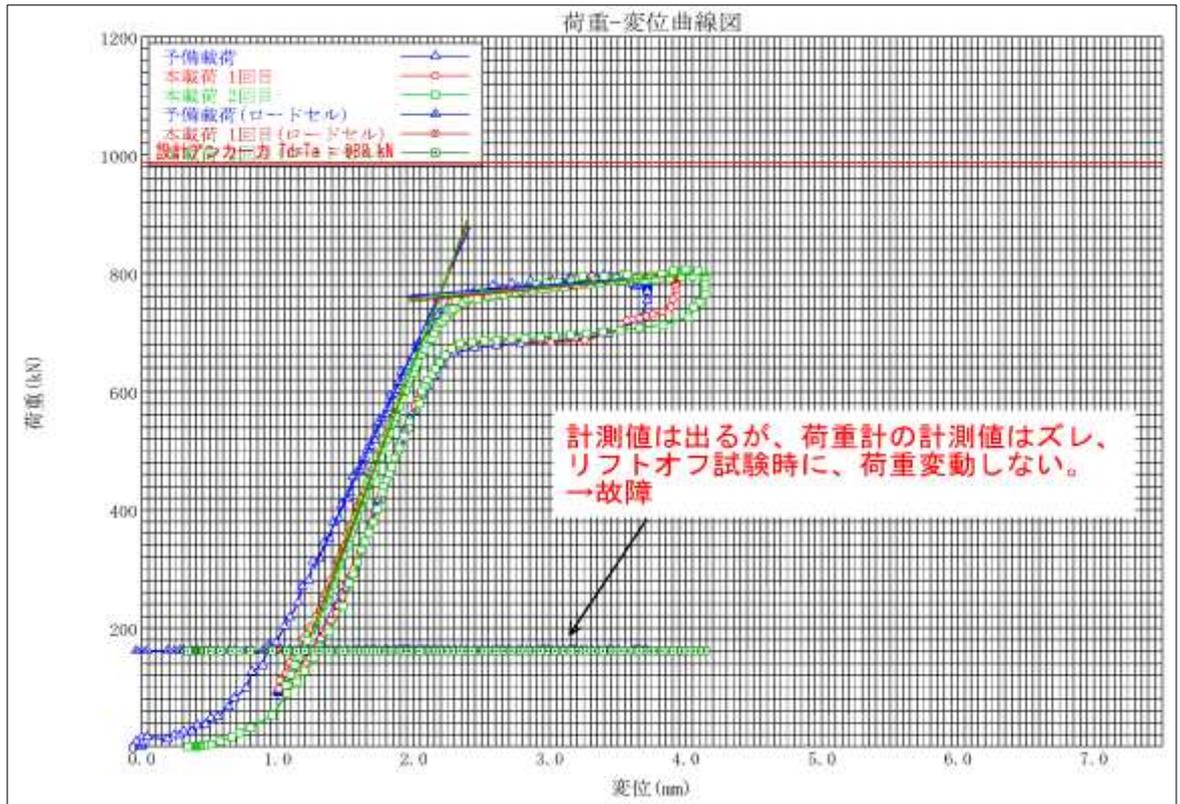


図 4.4.9 荷重計の作動が異常を示す事例

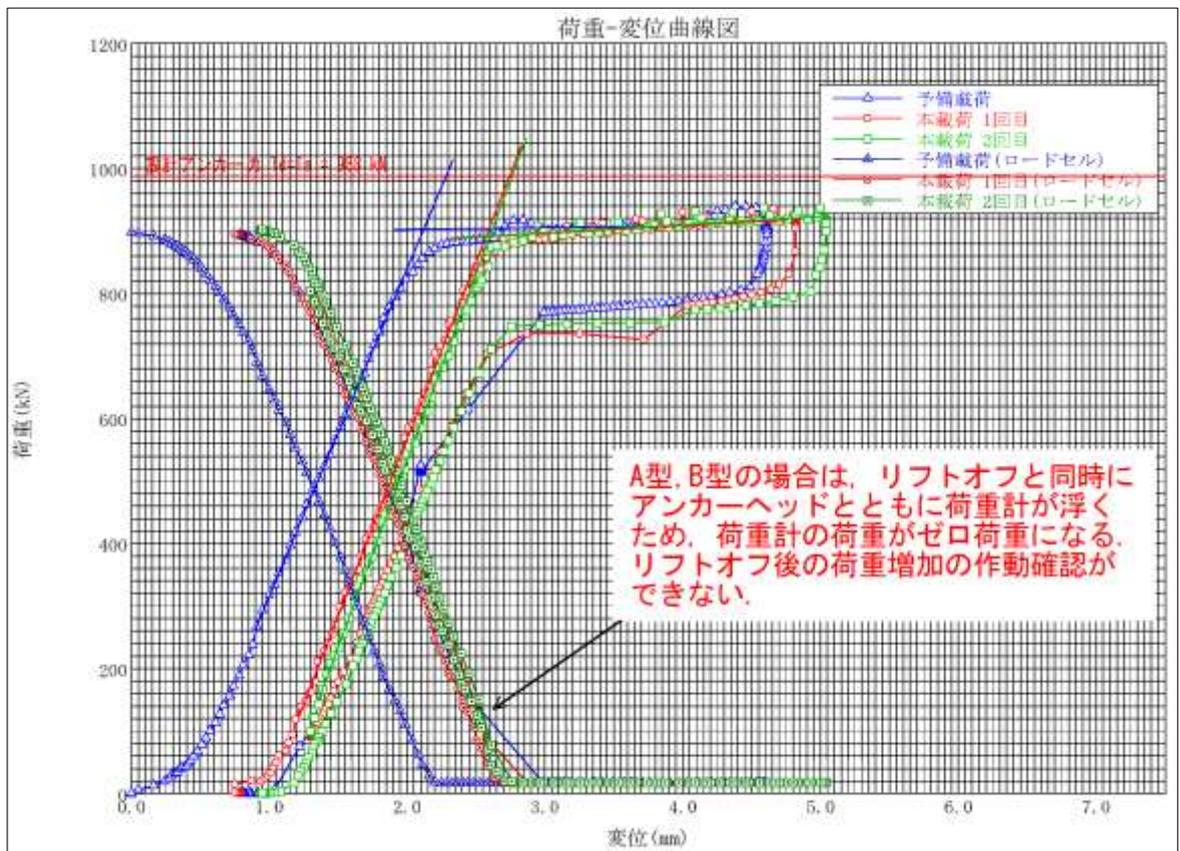


図 4.4.10 A 型、B 型の荷重計の場合の荷重—変位曲線

(2) 背後斜面(土塊)

背後斜面(土塊)の変動程度を観測する項目は、地表変動調査、すべり面調査、地下水調査に分けられる。採用する調査項目や位置等については、「4.4.2 地質調査」と連動するものである。

1) 地表変動調査

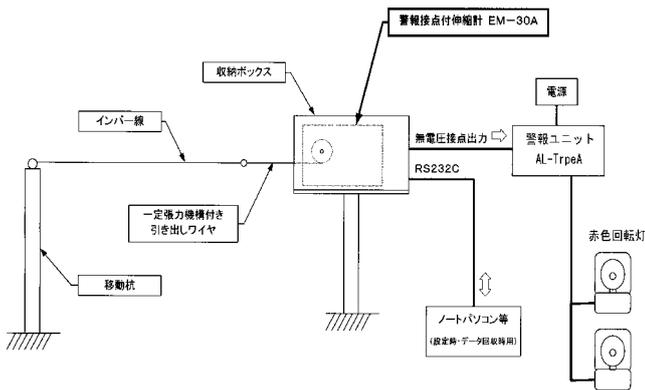
地表変動調査には、地盤伸縮計、光波測距儀による観測がある。

a) 地盤伸縮計

地盤伸縮計は、主として地表に発生した亀裂や段差を挟む区間の伸縮量を測定する計器である。移動側の地盤と不動地の間や地すべりにより発生した亀裂等を挟んで2点間の距離の変化を測定、記録することにより、移動側地盤の移動状況を調べるものである。地盤伸縮計の観測値は、連続的に自動観測される。図4.4.11にシステム構成図の例を示す。

図4.4.12に地盤伸縮計の設置例を示す。インバー線の固定杭は、固定するのに十分な断面を有する材料とし、1m以上打ち込みを行う。なお、杭間の設置スパンは原則として15m程度以下とする。また、草木の接触や温度変化によるインバー線の伸縮を極力防止するため、塩ビ管等で保護する必要がある。この際、保護管がインバー線に接触しないよう注意する必要がある⁶⁾。

調査の結果は、縦軸に累積地盤伸縮量、横軸に日時をとり、降水量または地下水位と対照できる図に整理する(図4.4.13)。



(警報機付き)

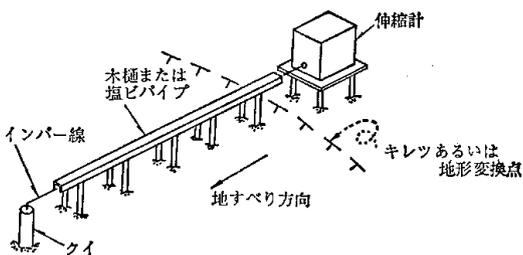


図 4.4.12 地盤伸縮計設置例

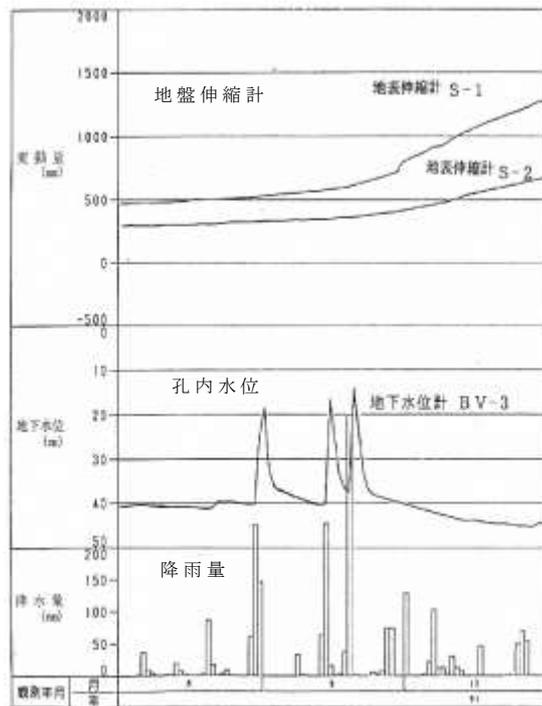


図 4.4.13 地盤伸縮計観測結果の整理例⁷⁾

b) 光波測距儀

測量による地すべり移動量測定は，広範囲にわたる地すべり全体の地表面移動量が測定できる特徴があり，主として地すべりの移動方向が不明瞭な場合や移動量の大きい場合に用いる．トータルステーション等を用いて行う地上測量法と空中写真の撮影と解析で行う写真測量法，GPS 衛星からの情報を用いた測位方法がある．ここでは，地上測量法について概説する．

地上測量は，三角測量や距離測量によって，地すべり地内に設置された移動測定点(杭)の移動量を求めるものである．測量結果から移動の有無，移動の方向を算出し，移動範囲の特定を行う．一般には，地すべり不動地に固定点を設け，この固定点を基準とする見通し測量が多用される．地区外の基準点から座標計算により絶対位置を求め移動量を算出することもある．

いずれの場合も，使用する機器は測定精度に対応した高精度な測量機器が要求される(表 4.4.4)⁷⁾．

表 4.4.4 測量機器の精度⁷⁾

測量機器	要求される精度
測角儀(トランシット)=セオドライト	水平 10 秒読み，鉛直 10 秒読み
測距儀(光波距離計)	±5 mm 以内
測距測角儀(トータルステーション)	水平 10 秒読み，鉛直 10 秒読み，±5 mm 以内
水準儀(レベル)	1 mm 読み

地すべり地区外の不動地に設置した基準点から地すべり地内に一定方向に定めた測線上に測定杭を設置し，一定期間ごとに移動量を求めるものである．図 4.4.14 に見通し測量の概念図を示す．

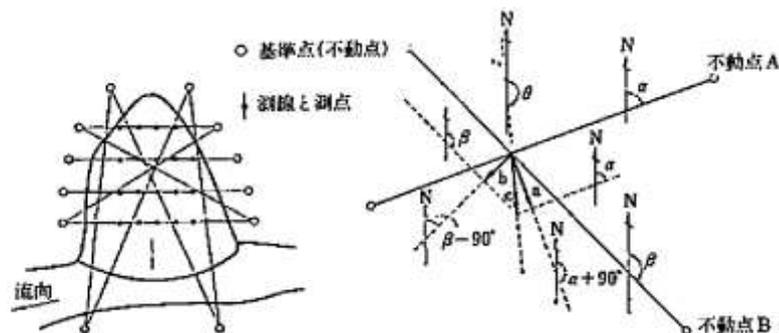


図 4.4.14 見通し測量概念図⁶⁾

基準点から地すべり地内に一定方向に定めた測線上に測定杭を設置できない場合は，地すべり地内の測定点にこの点の座標を地区外の基準点を基に測量し，算出

する方法が基準点測量である。一般には、トータルステーションを用いた基準点測量で行われる。

2) すべり面調査(地中変動)

すべり面調査の方法には、ボーリング調査による方法に加えて、計測機器による方法がある。計測機器による方法には、パイプひずみ計、孔内傾斜計、縦型伸縮計、多層移動量計、クリープウェルによる方法があり、すべり面の判定にあたっては地質調査による方法と計測機器による方法の結果を用いて総合的に行う必要がある。

ボーリング孔内に挿入するパイプ周囲の間詰の不良により計測の精度を損なうことが多いので、計測機器によるすべり面調査に用いるボーリング孔を地下水位観測孔として併用しないことが望ましい⁶⁾。ここでは、比較的利用頻度の高い孔内傾斜計とパイプひずみ計について概説する。

a) 孔内傾斜計

孔内傾斜計は、ボーリング孔内に傾斜計計測用のガイドパイプを挿入・設置し、ガイドに沿って傾斜計を挿入して上下に移動させ、ガイドパイプの傾斜角を測定する方法である。孔曲りが激しくなると計器を挿入できなくなることが欠点であるが、ほぼ連続的にボーリング孔の曲りによる形状の変化を追跡することが可能である。

測定範囲は $\pm 5^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 、感度は4～40秒、非直線性は0.05～1% F.S.でセンサーにより異なる。測定値の表示の最小単位は0.01mm/50cmのものが主流である。

傾斜センサーには、サーボ式加速度計、ひずみゲージ、差動トランス等があり、それぞれ専用の測定器により傾斜を測定する。測定値は測定器の内部で処理され、プローブ長さ50cm当りの水平変位量として表示するものが多い⁷⁾。図4.4.15に挿入型孔内傾斜計の概要を、図4.4.16に観測結果の表示例を示す。

測定結果は、孔底からの傾斜量の積分で表現され、その曲りが著しくかつひずみが累積する位置をすべり面と判定する。計測に当たっては、センサー部が温度による影響を受ける恐れがあるので、温度変化の少ない地中内部にセンサー部を一定時間保持した後に計測を行う必要がある。

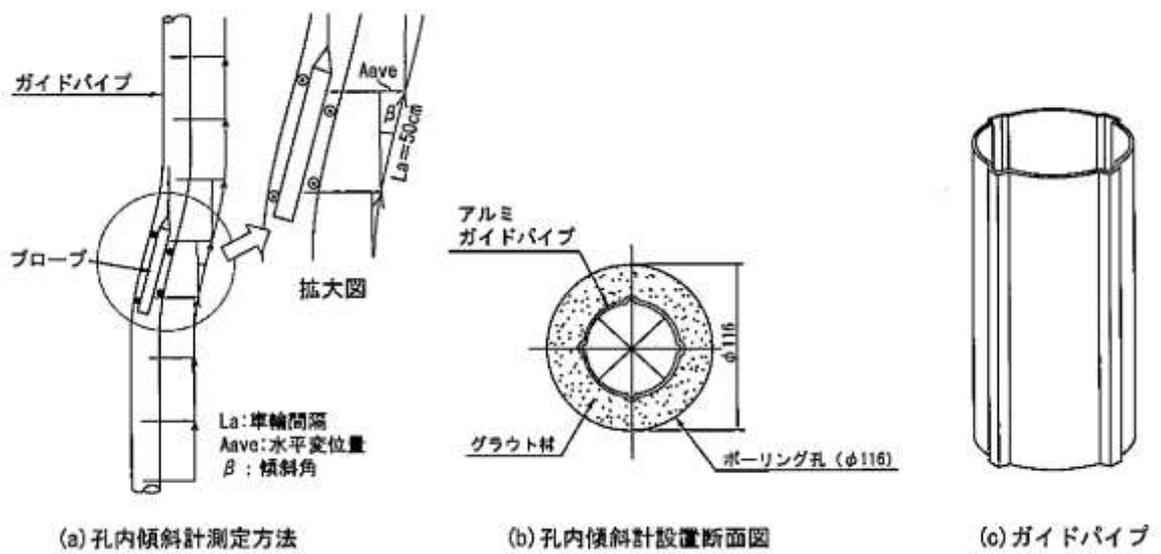


図 4.4.15 挿入型孔内傾斜計の概要図⁶⁾

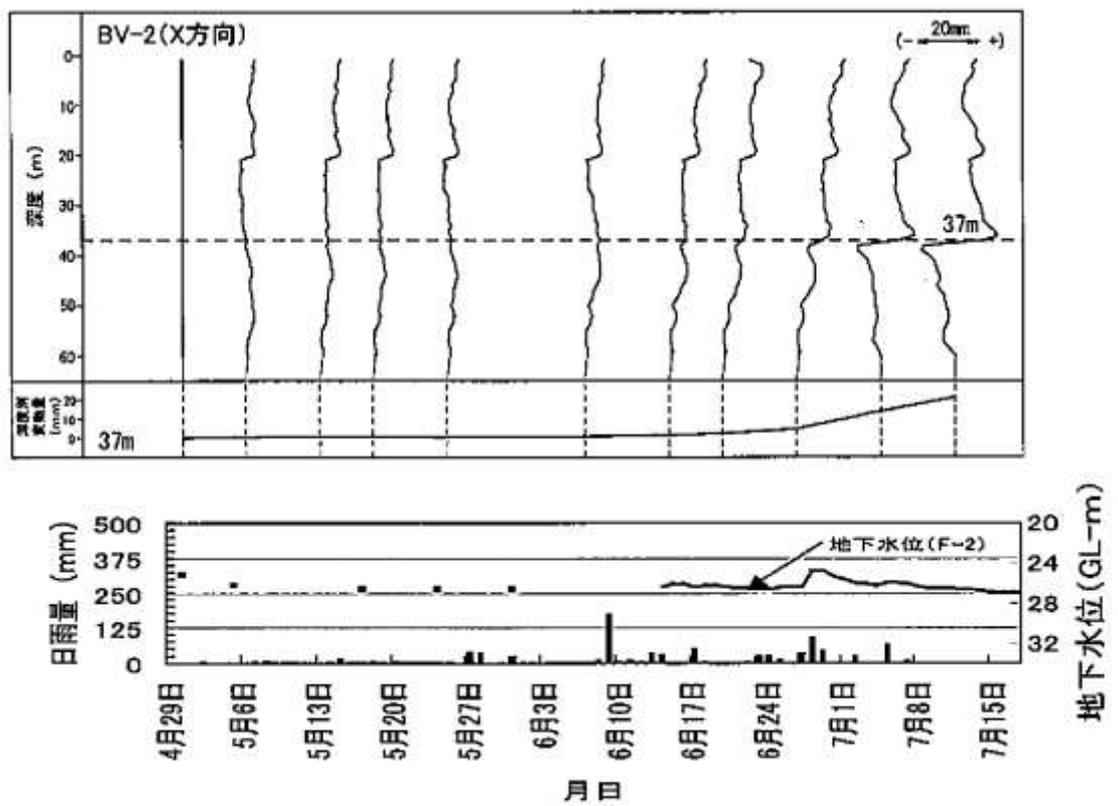


図 4.4.16 孔内傾斜計による変動累積図の表示例⁶⁾

b) パイプひずみ計

パイプひずみ計によるすべり面の計測方法の特徴は、ボーリング全長に渡ってその曲りを測定できることであるが、その寿命は1~2年程度である。パイプひずみ計は、普通1mの塩ビ管等のパイプ毎に1対(2枚のひずみゲージ)ないし2対のゲージをパイプ外周の180度反対方向に貼り、ゲージのひずみを計測するものである(図4.4.17参照)。

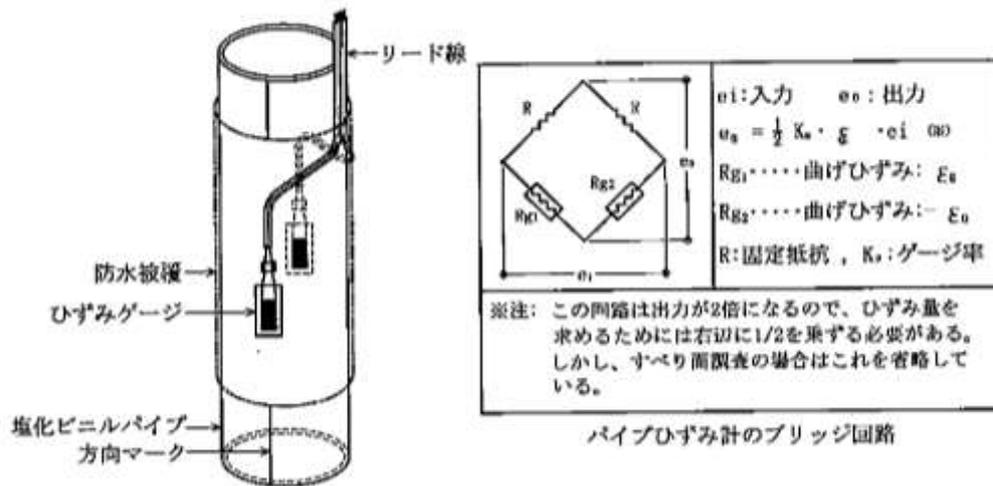


図 4.4.17 パイプひずみ計の構造⁷⁾

地すべりの活動によりパイプがたわむとパイプの一面が縮み、その反対面が伸びのひずみを生ずる。パイプひずみ計はこの曲げひずみによってひずみゲージに生ずる微小な電気抵抗の変化を静ひずみ測定器(ブリッジ回路内蔵)によって測定し、ひずみ量に換算して表示記録する。

パイプひずみ計の感度は、パイプを軽く押し曲げた時に $1,000 \times 10^{-6}$ 程度を示すほどの高感度である。厳密な測定範囲は $5,000 \sim 6,000 \times 10^{-6}$ 程度であるとされているが、測定器によっては $10,000 \times 10^{-6}$ 以上の実用測定範囲がある。

地すべりにより土塊が移動すると、すべり面付近のひずみ計のパイプは図4.4.18のようにたわみ、すべり面を境に上側で谷側に凸、下側で山側に凸のたわみとなる。通常、すべり面を挟んだ位置でパイプのたわむ範囲はすべり面の上下合わせて1m程度の小さい範囲である。ひずみゲージがたわみ区間の中にあれば、ひずみの変化が測定されるが、たわみ区間から外れるとほとんど変化は起こらない⁷⁾。

孔壁とパイプの間の空隙は、砂詰が不十分な場合は図4.4.19に示すようにひずみ図に変調が現れるため、セメントミルク等を用いて完全に充填することが必要である。

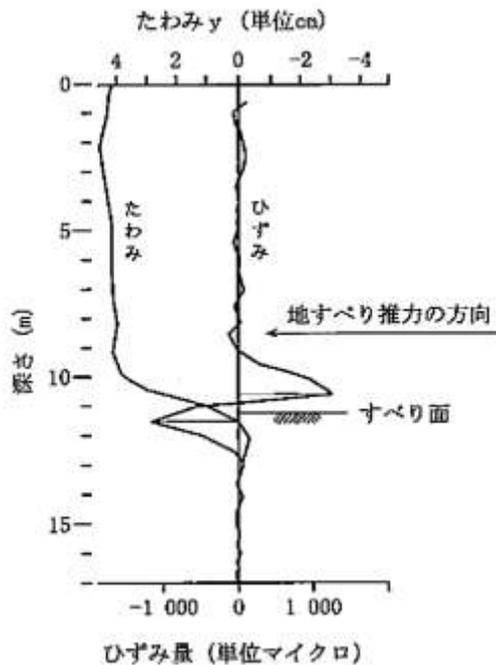


図 4.4.18 地すべりによるパイプのたわみとひずみ⁷⁾

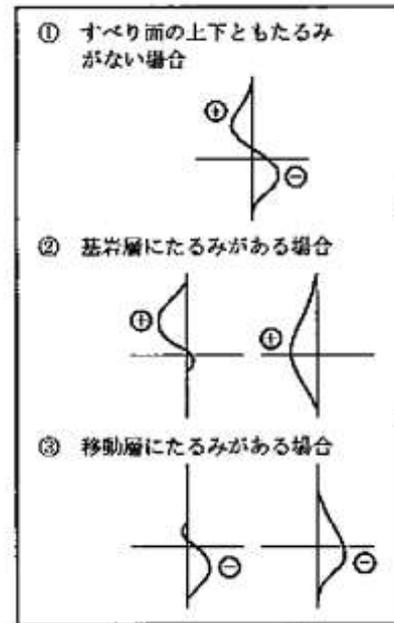


図 4.4.19 砂詰の不完全度によるひずみ図の変調⁷⁾

3) 地下水調査

地下水調査は、斜面の安定解析や対策工の検討の基礎資料を得ることを目的に、地すべり地への地下水の供給経路、地すべり地内における地下水の分布・流動傾向、すべり面に作用する間隙水圧等を調査する。

地下水調査は、目的に応じて、地下水位観測、間隙水圧観測、ボーリング掘進中の水位変動測定、地下水検層、地下水温度検層、孔内流向・流速測定、地下水追跡調査、電気探査、地温探査、水質探査、簡易揚水試験等がある。

ここでは、最も基本的な調査となる地下水位観測について概説する。

a) 地下水位観測

地下水位観測は、調査ボーリング孔の水位を測定し、降雨と水位変動との相関やすべり面に作用する間隙水圧を把握するため実施されるものである。

地下水位計は、測定原理から、触針式水位計、フロート式水位計、および水圧式水位計に大別されるが、いずれも測定値の直読や電気変換して指示計の値を目読する手動測定用と電気信号によって、ペンで記録するもの、あるいは自記記録する自動型がある。

水圧式は、地下水位観測孔の孔底に近い深度に水圧式水位計を設置し、水位計からの電気信号はケーブルを通して地上部に設置された記録計に保存される(図 4.4.20)。

地下水観測を行う観測孔には、全長ストレーナー孔と部分ストレーナー孔があり(図 4.4.21)、複数の地下水帯がある場合には、全長ストレーナー孔による観測水位は正確な水位を示さないことから、部分ストレーナー孔等により計測することが望ましい。

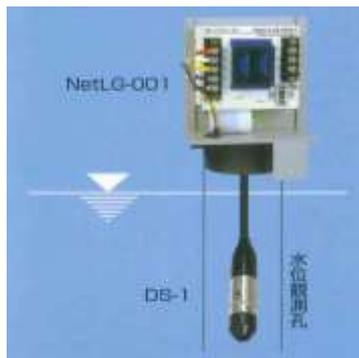


図 4.4.20 自記水位計の例

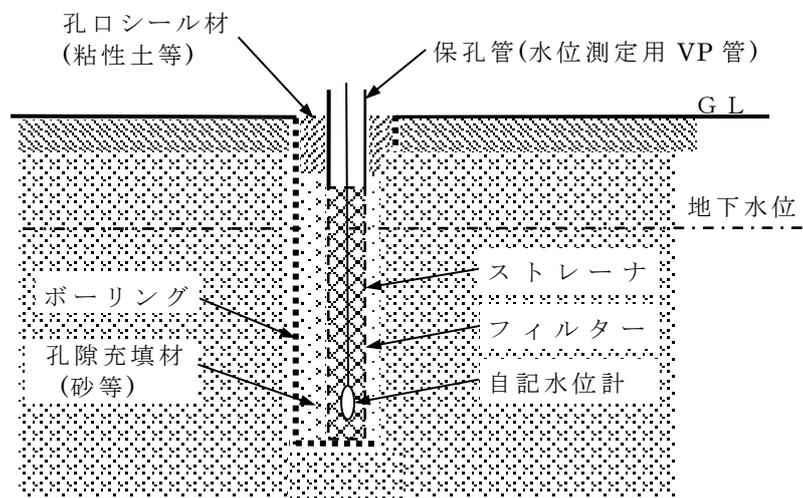


図 4.4.21 地下水位観測孔の例

地下水位観測の結果は、当日の降雨量及び地表変動量との対照図として整理し、地すべり変動との相関性の有無の検討や地すべり対策工を検討する際の基礎資料とする。

4.4.2 地質調査

斜面変動の規模や範囲を明らかにするためにアンカーのり面や背後斜面を含む周辺部において地質調査を行う。

アンカーのり面の維持管理として健全性調査(現状調査)を行い、その結果斜面の安定性に問題があると判断された箇所では地質調査を行う。

既設アンカーのり面は、既存調査において地すべりが存在する等、何らかの原因で斜面が不安定であると判断された箇所では、維持管理段階におけるアンカー機能の低下要因が地質条件に起因することが多い。健全性調査(現状調査)によってアンカーのり面の面的評価を行い、その結果で「問題あり」と判断されたアンカーのり面では緊張力が増加傾向、低下傾向のいずれの場合でも何らかの対策を講じる必要がある。対策を選択する際にはアンカーのり面およびその周辺の地盤情報が明らかとなっていることが必要で、必要な情報が不足している場合には地質調査を行って地盤情報を取得し、アンカーのり面の健全性が変化(悪化)した原因を把握することでより効果的な対策を行うことが可能となる。

地質調査では、斜面変動の規模や範囲の把握、新たな斜面変動の有無の確認、アンカー施工時点との地盤条件の変遷、等に関する情報の取得を目的とする。

詳細調査として実施する地質調査における調査項目としては、以下の項目が挙げられる。

- (1) 既存資料調査
- (2) 地表踏査
- (3) ボーリング調査

以下に各項目について述べる。

(1) 既存資料調査

既設アンカー施工の経緯や目的を確認することで施工当時の問題点を抽出できること、地下の地盤・地質情報を確認できること等の観点から、既存情報の整理はその後の効率的な現地調査を行う上で重要なポイントとなる。

既設アンカーのり面は既存調査において不安定斜面と判断されてアンカーが施工された斜面であることから、通常は何らかの調査が実施されており、その結果からアンカーが設計・施工されている。計画準備の際に既存資料調査を実施するが、詳細調査では時系列変化の把握や対策工の検討に必要な情報を得ることを目的としてさらなる資料収集を行う。

計画準備時点における既存資料調査では、残存引張り力確認のためのアンカーの設計条件、施工記録、維持管理記録の確認に主眼を置いている。一方、詳細調査時点では、アンカーのり面に問題が発生した原因を解明するために地盤・地質情報や地形条件に着目する必要がある。

詳細調査における、アンカーのり面周辺での既存資料調査における主な着目点は、表 4.4.5 のようにまとめられる。

表 4.4.5 既存資料調査における主な着目点の一例

着目点	確認内容
施工対象の確認	地すべり対策、斜面安定、構造物の安定性向上などのアンカーの施工対象を確認し、変状発生要因を推定する。
地質情報の取得	基盤岩や定着地盤の種類、地質構造、地下水状況などの地質情報から変状発生要因を推定する。
設計・工時の地形状況	アンカー施工前の原地形からの地形改変状況や施工後の周辺地形の改変の有無などを確認し、アンカーに対して施工後に緊張力が変化する要因を推定する。
既存調査の確認	調査実施位置、斜面変動の観測結果などを確認し、変状発生要因を推定するとともに追加調査の必要性を検討する。

一方、旧タイプアンカーの施工箇所等施工年が古い箇所では、十分な既存資料が残っていない場合もある。このような場合でも、市販の地形図、地質図、航空写真等の資料を用いることで、ある程度の地形地質情報を入手することが可能である。また、インターネット上でも1940年代から最近までの空中写真を閲覧することができ、地形改変の変遷等に関する情報を大まかに確認することが可能である。

(「地図・空中写真閲覧サービス(国土地理院)」<http://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1> 等)

(2) 地表踏査

詳細調査の段階における地表踏査ではアンカーのり面自体に加えて背後斜面等を含めた広範囲の調査を行い、アンカーのり面に異常が発生した原因の影響範囲についての確認を行う。

地表踏査は健全性調査(現状調査)の時点でも行うが、詳細調査の段階においても実施する。

地表踏査では、アンカーのり面を含めた周辺部(特に背後斜面)の地形・地質状況等を現地で確認する。既存資料調査や健全性調査時点での地表踏査結果があれば既存情報との整合性や施工当時との対比を行うことが可能となる。

地表踏査で取得する基本的なデータとして、表 4.4.6 に示す項目が挙げられる。

表 4.4.6 地表踏査における基本的な確認項目の一例

項目	細目	着目点の一例
地形	地盤傾斜, のり面勾配, 地形区分, 微地形	緊張力増加の場合はのり面のはらみ出しによる勾配変化あり。のり面内の小崩壊等によるのり面勾配変化が生じる場合がある。背後斜面では亀裂や段差地形が発生する場合がある。
岩質	岩種, 硬軟(岩級), 風化・変質状況	岩種による風化の程度の違いが緊張力変化の要因となる可能性あり。(泥岩のスレーキング等)
土質	土の種別, 締まり具合, 分布状況	切土のり面形成による応力開放の影響で地盤の緩みが進行する場合あり。
地質構造	不連続面(層理・片理・節理・不整合面等)の分布, 断層や破碎部の分布	不連続面とのり面方向の関係性による斜面変動規模の推定。(流れ盤, 受け盤など地質構造による斜面変動形態の推定。)
水	地表水流下状況, 湧水の有無	のり面形成を原因とする水ミチの変化はないか。(水ミチの変化に起因する斜面変動の可能性の推定。)
植生	種別, 分布, 根曲り等の有無	植生の根曲り分布範囲による斜面変動範囲の推定。

特に詳細調査時点における地表踏査ではアンカー施工後ののり面周辺における新たな変状を確認し、そこからアンカーのり面に発生した異常の原因を推定することとなる。この時、面的評価結果によるアンカー荷重が増加傾向か低下傾向かによって変状発生傾向を予測することができることから、調査ポイントを絞った効率的な調査が行いやすい。

一般的には構造物に変状があれば施工後のものであることは明らかであるが、既存資料がある場合でも地表部に分布する亀裂や微地形がアンカー施工後のものかどうかについては判断が難しいことが多い。このような亀裂等の変状が進行性のものかどうかを判定するためには、各種観測機器等を用いて変動状況を判断することが望ましい(「4.4.1 モニタリング」参照)。また、地表踏査時にアンカーのり面および周辺斜面に既存調査による地中変位観測孔等が残存していれば、新たに計測を行うことで地盤変位の経年変化が明らかとなることがある。

現地踏査結果については、アンカーのり面を含めた平面図や断面図としてとりまとめ、新規に取得された情報とアンカーのり面の関係性(変状の位置・規模等)を整理する(図 4.4.22)。既存資料がある場合には、斜面変動の変遷を明らかにするために既存データとの比較を行うことが望ましい。また、面的評価結果を地表踏査結果と合わせて表示することでアンカーのり面に生じた異常の原因を推定しやすくなる。

上記のような地表踏査結果の取りまとめデータを用いて追加調査の必要性について検討し、必要と判断されればボーリング調査の追加調査を行う。

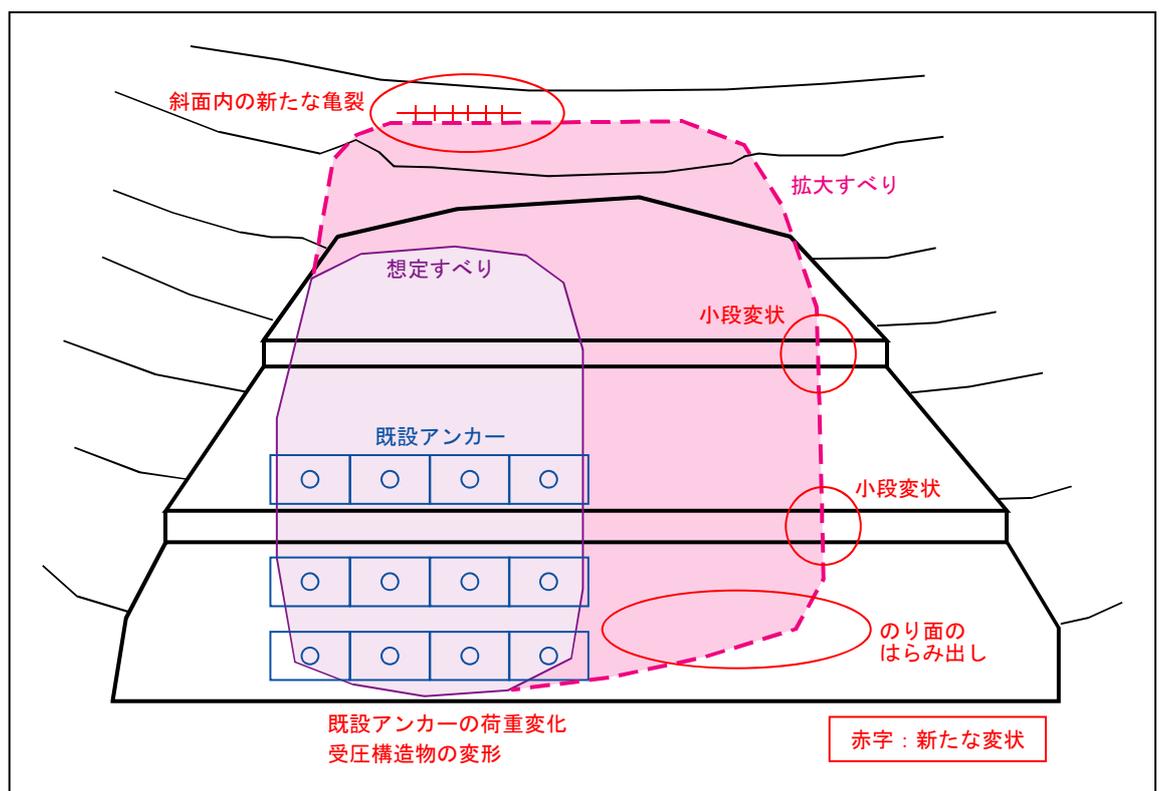


図 4.4.22 変状発生後の地表踏査結果の例

(3) ボーリング調査

現地調査を行い、アンカー施工時点から地盤状況の変化があったと推定され、追加の地盤情報が必要な場合にはボーリング調査を行う。

ボーリング調査を適切に行えば、アンカー工変状時点での地盤状況を把握することができ、対策工を効率的に選定することが可能となる。

一般的にはアンカーのり面における調査・解析は主測線付近(のり面中央付近あるいは土塊の厚さ等が最大となる位置)で行われ、のり面の端部付近等は地質情報が十分でないことも多い。このため斜面変動箇所がのり面端部付近であり既存調査データが少ない場合等にはボーリング調査を実施することで効率的な対策工検討が可能となる。

ボーリング調査は経費がかかるものの、コアとして採取した試料を直接確認できること、採取した試料を利用して各種試験が実施できること、ボーリング孔を利用した各種の計測(標準貫入試験等)を実施できること、斜面変動を把握するための孔内傾斜計やパイプひずみ計、地下水位を観測するための保孔管(塩ビ管)等の各種観測孔を設置できること等各現場において必要な情報をそれぞれ取得できるという点で有効である(図 4.4.23)。

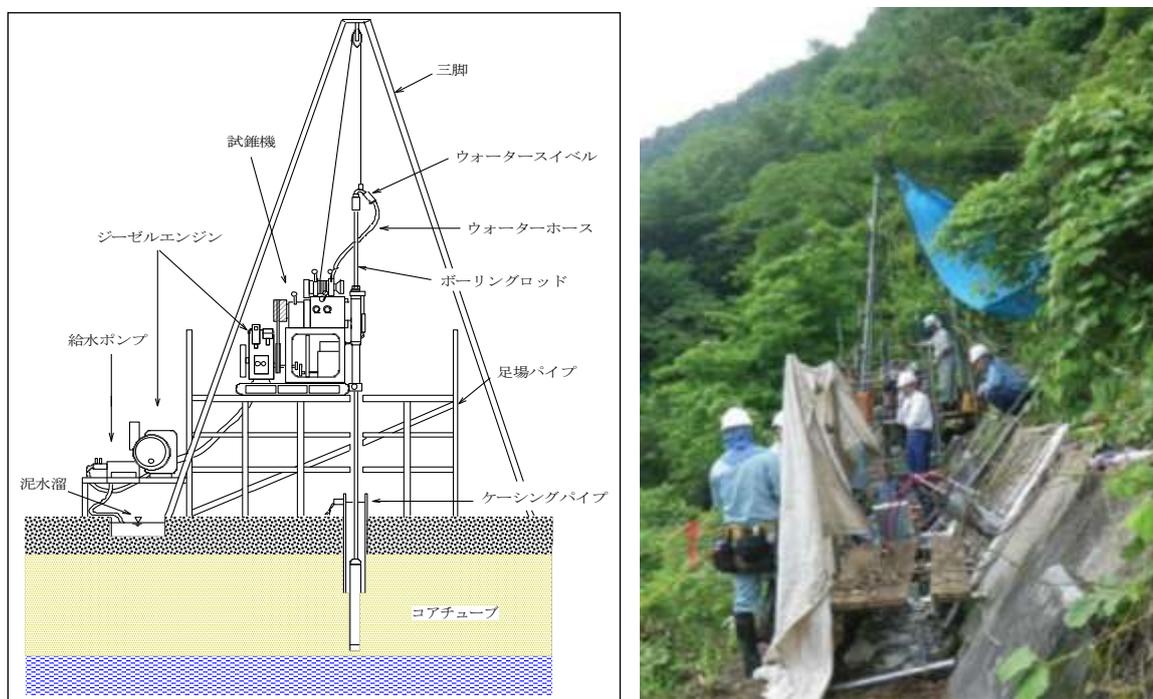


図 4.4.23 ボーリング調査の例⁸⁾

ボーリング調査を実施するに当たっては調査目的を明確にすることに加えて、ボーリング位置選定が重要なポイントとなるため、分布調査結果や地表踏査結果

において斜面変動の影響範囲等を明らかにしてから調査測線や調査位置を決定する必要がある(図 4.4.24、図 4.4.25)。また、ボーリング調査を効率的に行うためには掘削深度等に応じたボーリング機材の選定のほか、搬入計画、仮設計画が重要となるため、現地を確認し無理のない調査計画とする必要がある。なお、詳細調査時点における調査ボーリングは既設対策工施工箇所での調査となるため、既設対策工を破損しないような調査位置を選定する必要がある。

ボーリング結果については、掘削地点のデータはボーリング柱状図として取りまとめるほか、アンカーのり面との関係性を確認するために地盤断面図として整理する。この際、既存データがあれば地盤状況の対比を行い、変化が認められていれば既存データとの相違点について記載しておくことが望ましい。

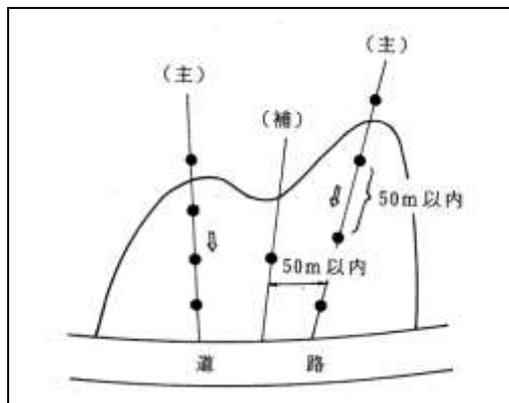


図 4.4.24 地すべり調査の場合の調査ボーリングの配置例⁹⁾

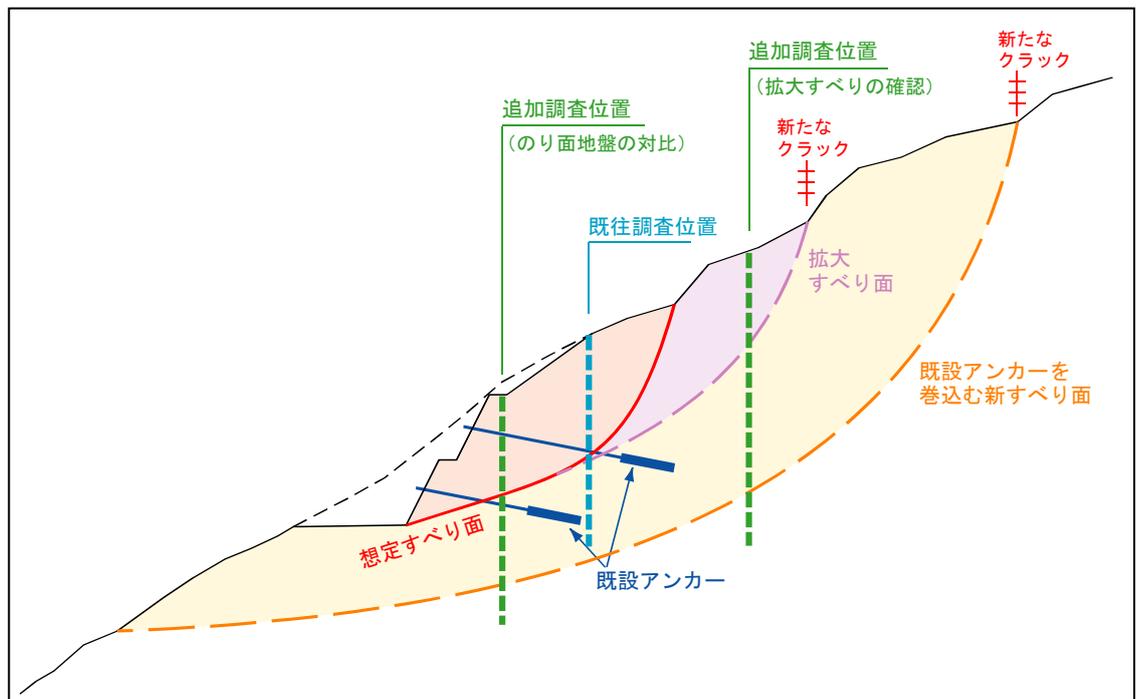


図 4.4.25 ボーリング追加調査の例

4.4.3 アンカー材料調査

アンカー材料調査は、現状調査で不具合が認められたアンカーおよびリフトオフ試験時に荷重増加が表れない状態になったアンカーに対して要因を絞り込むための調査とアンカーの機能が長期的に維持できるかどうかを判断するための調査がある。

アンカーのり面の健全性調査(詳細調査)において、現状調査結果で変状の恐れがあるアンカーについては、全数調査が望ましいが、類似の要因と考えられる変状アンカーが多数ある場合は、代表箇所要因の検討を行い、今後の追加調査を含めた対応を検討してもよい。

現状調査で、アンカー頭部の浮きや破断による飛び出しが確認された残存引張り力を有していないアンカーについて、その損傷原因の確認のためのアンカー材料調査は、今後の対応や詳細調査計画の立案の検討に有用な情報となることから、状況に応じて現状調査段階においても実施することがある。

表 4.4.7 にアンカー材料調査の項目別に数量と摘要を整理して示す。

表 4.4.7 アンカー材料確認の調査項目と目安

材料調査の項目	数量	摘要
リフトオフ試験 (アンカー耐力確認)	機能損失箇所(頭部の浮きが確認された箇所)等	類似の要因と考えられる変状アンカーが多数ある場合は、代表箇所を抽出することも可能である。
維持性能確認試験	全本数の5%かつ3本以上*	長期的なアンカー機能が保持できるかを確認する。
頭部背面調査	維持性能確認試験実施箇所	アンカーの緊張力を解除して、復旧することが可能なアンカーで実施する。
定着緊張力確認試験	アンカー機能が適性でないと判断された箇所	リフトオフ試験(アンカー耐力確認)や維持性能確認試験で必要箇所を判断する。
アンカー抜き取り調査	アンカーの破断が確認された箇所	類似の要因と考えられる変状アンカーが多数ある場合は、代表箇所を抽出することも可能である。

※ 地盤工学会：グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説(2012)の適性試験の数量に準じる

次に、リフトオフ試験(残存引張り力確認)、リフトオフ試験(アンカー耐力確認)、維持性能確認試験について試験方法や条件等の相違点を整理して表 4.4.8 にまとめる。

表 4.4.8 健全性調査における試験の種類と特徴

名称	リフトオフ試験 (残存引張り力確認)	リフトオフ試験 (アンカー耐力確認)	維持性能確認試験	備考
種別	健全性調査			
確認内容	現状確認		性能確認	
フロー段階	現状調査		詳細調査	アンカーのり面維持管理フロー
評価	アンカーのり面の安定性評価	アンカー材料の要求性能評価		
試験条件	現況荷重からの試験(除荷工なし)		除荷工あり	
	地盤沈下量の計測なし		地盤沈下量の計測あり	tanθ 評価
	単サイクル		多サイクル	
	単調荷重		段階荷重	
	荷重保持なし	計画最大荷重のみ荷重保持あり	荷重保持あり	
計画最大荷重 Tp	1.25Td (Pe>1.25Tdの場合は、協議)	(1.0~1.25) × Td		
最大試験荷重 Tt	リフトオフ後、評価に必要な直線 勾配(2~3mm程度)を確認できる 程度の載荷荷重	同上(Tt=Tp)※		※試験によりアンカーの損傷が確認された場合は、Tt<Tp
載荷速度	載荷時(リフトオフ前):計画最大荷重kN/1~2min※			※残存引張り力確認試験のテンドン自由長に関係しないリフトオフ前の載荷速度は別途規定。 ※テンドン自由長載荷時の載荷速度は現JGSの載荷速度に準じる。
	載荷時:計画最大荷重kN/10~20min※			
	除荷時:載荷時の2倍程度※			
用語・定義	アンカーのり面は、グラウンドアンカーが施工されたのり面をいう 健全性調査は、アンカーのり面の面的評価結果から斜面の安定性(現地踏査は必須)および材料の健全性の双方について現状確認を行い、アンカーのり面の健全性について総合的な評価を実施する(案)			

(1) リフトオフ試験(アンカー耐力確認)

リフトオフ試験(アンカー耐力確認)は、必要なアンカー耐力を有しているかを確認する試験である。

アンカーのり面の健全性調査(現状調査)において、点検等にてアンカー頭部の浮きを確認され、現在、残存引張り力を有していないアンカーについて、定着部の引抜けやテンドン自由長部の部分破断等の有無の確認を行う。または、個別アンカーに対してアンカー機能を保持しているかどうかを確認するために実施する。

本来アンカーの機能保全の適否を判断するのであれば、維持性能確認試験を実施して判断することが望まれるが、アンカーの周辺条件やアンカー施工の対象となった保全対象の重要性等から維持性能確認試験を本試験で代替することができる。

本試験は、除荷工が必要となる頭部背面調査は実施せずに、現況の残存引張り力から計画最大荷重までの単調荷重を実施する(リフトオフ試験と同様の試験方法でリフトオフを超えて計画最大荷重まで載荷する)。

アンカー耐力確認試験は、対象アンカーのリフトオフ値を超えて載荷をすることになるため、腐食の進行状態やアンカー定着部の劣化等によりアンカーが引抜

けることにより、現在機能しているアンカーを破壊してしまう可能性もあるので、試験はリフトオフ試験の延長として実施し、アンカーの伸び量等を監視する等の慎重な対応が必要となる。

本試験は、既設アンカーに対して行うものでアンカー設置以降から試験時までの地中の履歴は不明であり、応力を受けたアンカーはテンドンやグラウトおよび地盤等との摩擦力が設置当初とは変化していると想定され、テンドンの厳密な弾性変位を求めることは難しいため、アンカー受圧板の変位(沈下等)は省略できるものとする。本試験は、維持性能確認試験と比べより簡単で安価である。

【試験の本数】

試験の本数は、原則的にはアンカー機能を評価するための試験であり、全数に対して実施することが望まれる。ただし、当該のり面の面的評価結果等を踏まえて面的なアンカー機能が評価できる範囲で抽出箇所数とすることも可能で、当該業務の責任技術者が適宜決めることとする。本数の最低限の目安としては、全本数に対して5%かつ3本以上とする。

【計画最大荷重】

計画最大荷重は、設計アンカー力(T_d)を基準に設定とする。ただし、設定に際しては、テンドンの腐食等によりテンドンの強度特性が低下していることもあり、テンドンの状態を十分に考慮して責任技術者の判断で決定できるものとする。

設計アンカー力(T_d) \times 1.0~1.25

1) 試験方法

試験装置の取付けは、リフトオフ試験の試験装置の取付け例に準じて試験装置を取り付ける(図 4.4.26)。試験装置の取付け手順を表 4.4.9 に示す。

初期荷重は、除荷をしないので、特に設定することはない。

リフトオフ試験と同様に行い、リフトオフ後も計画最大荷重まで載荷を続ける。

荷重は、品質保証試験の確認試験に準じて、荷重制御による単サイクル方式で載荷を行う。荷重の保持時間は、原則的に計画最大荷重で5分間を目安に設定する。

計測項目は荷重、頭部変位、時間等とする。

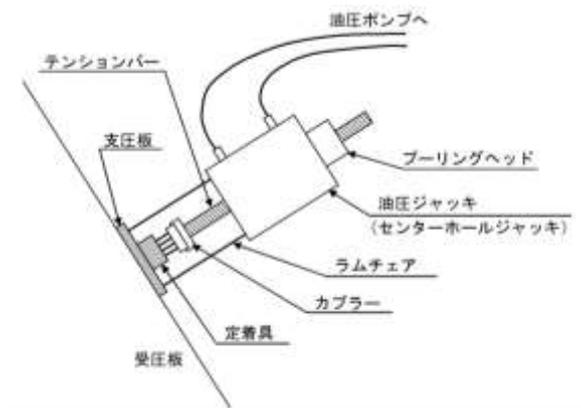


図 4.4.26 リフトオフ試験(アンカー耐力確認)装置の例

表 4.4.9 機材設置手順例

	<p>① 頭部キャップを取り外し，防錆油を除去する．</p>
	<p>② テンドン(再緊張余長)にプーリングヘッドを取り付ける．</p>
	<p>③ プーリングヘッドにカプラーを取り付ける．</p>
	<p>④ ラムチェアーを取り付ける．</p>
	<p>⑤ SAAM ジャッキ，止めナット，高圧ホース，変位計を取り付け，ジャッキをロープ等で固定し，設置完了．</p>
	<p>⑥ 止めナットの変位を計測できるように変位計をセットする．</p>

2) 試験結果の整理と判定

① 試験結果の整理

試験結果は、リフトオフ試験に準じて整理する。

- a. 試験概要
- b. アンカー諸元
- c. 試験結果(図 4.4.27 に示すように荷重－変位曲線に整理する)

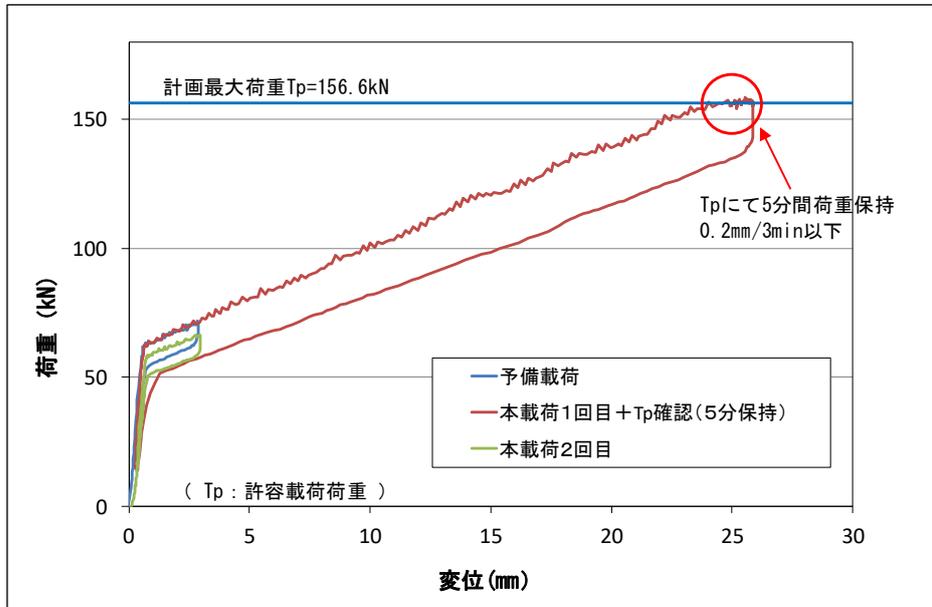


図 4.4.27 アンカー耐力確認試験(荷重－変位曲線)¹⁰⁾

② 判定

アンカー機能が適性であるかどうかの判定は、以下の項目に対し次の判定基準により行う。以下のいずれの項目にも満足するアンカーは健全であると判定する。

- i) 最大荷重に対して安全であるかどうか。
最大荷重は設計アンカー力以上に設定されており、これに耐えられれば既設アンカーは機能を維持できていると判定する。
- ii) 荷重－変位関係が適性かどうか。
図 4.4.27 に示す荷重－変位曲線において、荷重－変位曲線が弾性的な形状を示す場合には適性と判定する。
- iii) アンカーの変位
最大荷重保持時に、定着地盤が砂質土・岩盤の場合は荷重保持時間(5分)内の2～5分の間で変位が0.2 mm以下。変位がこれ以上ある場合は、荷重保持時間を10分以上に延長して、クリープ係数 α が2.0 mm以下を確認する(表 4.4.10)。クリープ係数 α は、図 4.4.28 に拠る。

表 4.4.10 アンカー耐力確認試験の判定²⁾

試験荷重	砂質土、岩盤	粘性土
	最大荷重時	最大荷重時
試験時間 t_a [min]	2	5
t_b [min]	5	15
変位 $\Delta s = s_b - s_a$ (mm)	≤ 0.2	≤ 0.25
最大試験時間 t_b [min]	≥ 10	≥ 30
クリープ係数 α [mm]	2.0	2.0

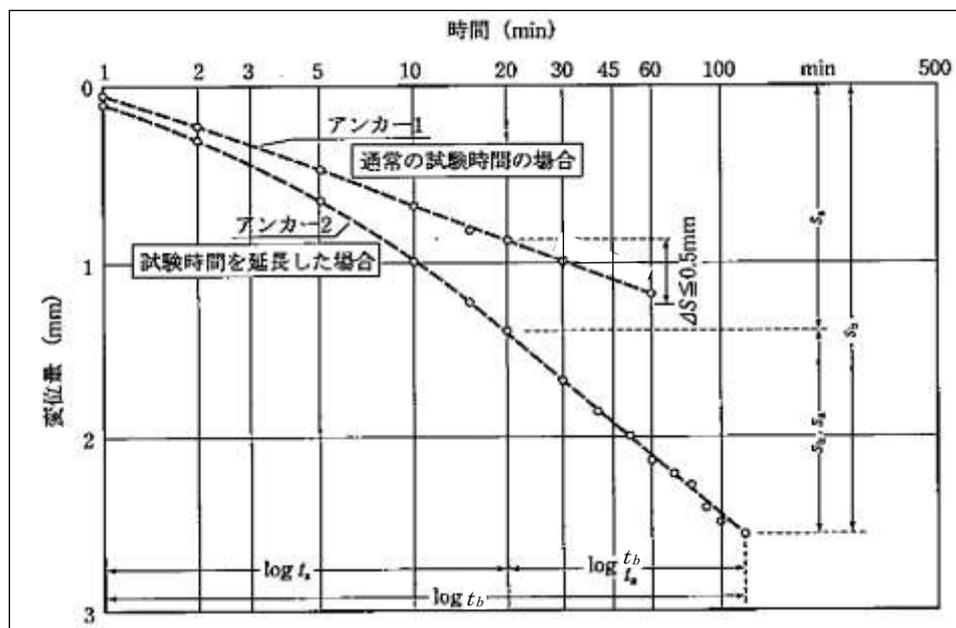


図 4.4.28 クリープ係数²⁾

$$\alpha = (s_b - s_a) / \log(t_b / t_a)$$

s_a : 時間 t_a におけるアンカーの頭部変位量 (mm)

s_b : 時間 t_b におけるアンカーの頭部変位量 (mm)

t_a : 係数計算開始時間 (min)

t_b : 係数計算終了時間 (min)

(2) 頭部背面調査

アンカーの緊張力を解除して定着具を取り外し、かつ復旧することが可能なアンカーについて、頭部背面の状況やテンドンの腐食状況の確認を目的として頭部背面調査を目視で行う。

アンカーの定着方式がナット定着の場合は比較的容易に緊張力の解除を行うこ

とができるが、くさび定着では、再緊張余長の長さおよび解除後の戻り量の大きさにより緊張力解除の可否が決まる。解除後の戻り量は、テンドン自由長および残存引張り力より予測し、復旧が可能かどうかを判断する(図 4.4.29)。

調査箇所数は、維持性能確認試験を実施する全箇所とする。

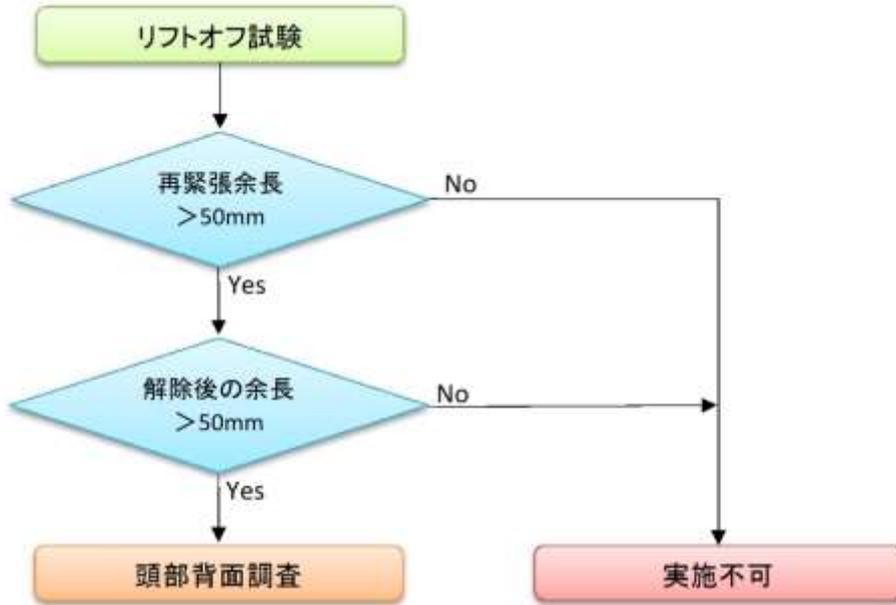


図 4.4.29 頭部背面調査の実施フロー¹⁾

1) 除荷

除荷工は、頭部背面調査に先んじて、アンカーの緊張力を解除して定着具を取り外すために実施する。図 4.4.29 の実施フローに示すように緊張力解除後の余長が十分に残ることが確認できるアンカーについて除荷を行う。

除荷(緊張力の解除)の方法と手順を図 4.4.30 に示す。

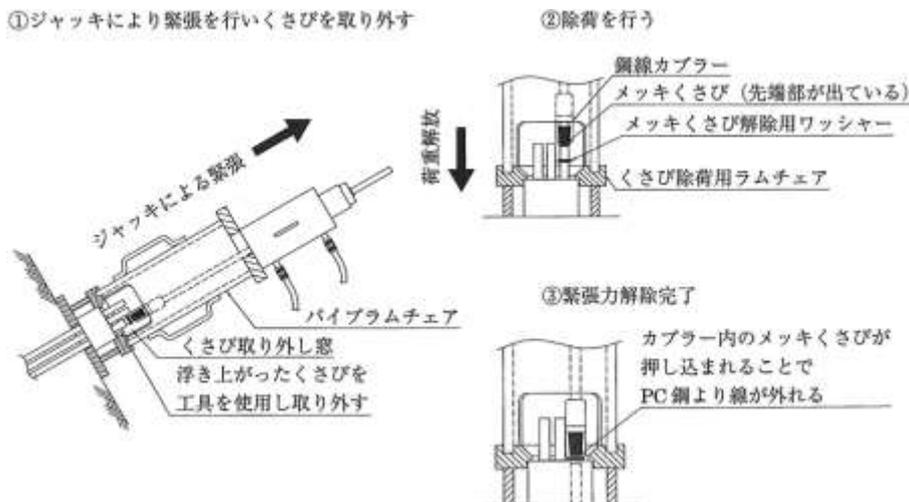


図 4.4.30 緊張力解除手順例¹⁾

2) 調査項目と内容

頭部背面調査における調査項目と主な内容を表 4.4.11 に示す。

表 4.4.11 頭部背面調査項目と内容

調査項目	内容
アンカー頭部背面構造	頭部背面部が連続した防食構造となっているか否かの確認 適切な防食構造を有す場合は，有害な傷等の有無，止水機能の劣化状況等
テンドンの腐食状況	錆の発生位置，進行状態等
背面部の防錆材の充填状況	頭部背面部に防錆油を用いているアンカーは，防錆油の充填量や変質の有無
地下水等の混入状況	テンドンが水浸になっていないか，泥等の異物混入の有無等
支圧板背面部の変状	支圧板背面部の変状，コンクリートの場合はクラックや遊離石灰の有無等
定着具の腐食状況	錆の発生箇所，進行状態等



写真 4.4.2 支圧板背面部の状況



写真 4.4.3 地下水が溜まり、泥付着する

(3) 維持性能確認試験

維持性能確認試験は，アンカーの引張り試験を実施して，テンドンの引張り強さやアンカーの引抜き力，拘束力が設計アンカー力以上に確保されているかを確認する．維持性能確認試験の実施に当たっては，ジャッキの仕様，載荷計画，アンカー設計資料に基づき，安全に留意して行う．

アンカーの健全性は，外観調査や頭部詳細調査，リフトオフ試験による残存引張

り力と設計アンカー力比の分布状況等から変状の有無や腐食の進行状態、および荷重の変化等の現状の確認は可能である。しかし、外的要因等で残存引張り力が減少してしまったアンカー等、それだけで健全性に問題があるアンカーであるとは一概に判断できない場合がある(図 4.3.4 参照)。維持性能確認試験は、現状のアンカーが設計アンカー力に対して今後も適応可能かどうかを品質保証試験⁶⁾に準拠した試験により判定するものである。

維持性能確認試験は、品質保証試験の適性試験(多サイクル方式)に準じた試験を標準とする。ただし、本試験は、設計アンカー力より大きい引張り力を載荷することが多いため、腐食の進行状態やアンカー定着部の劣化等によりアンカーが引き抜けや破断することにより、現在機能しているアンカーを破壊してしまう可能性もあるので、計画最大荷重の設定等試験の計画には慎重な対応が必要となる。

【試験の本数】

試験は、のり面の面的評価結果やアンカーに不具合が認められた箇所および背後斜面の状況等からアンカーのり面の安定性が評価できる位置を選定する必要がある。試験の本数は、頭部背面調査を実施したすべてのアンカーについて試験する。本数の最低限の目安としては、全本数に対して 5%かつ 3 本以上(全本数が 10 本以下の場合は 3 本以上)とする。試験の位置や本数等は、当該業務の責任技術者が変更・決定できるものとする。

【計画最大荷重】

計画最大荷重は、テンドンの降伏引張り力の 0.9 倍を超えない範囲で設計アンカー力の約 1.25 倍を標準とする(ランク A)。ただし、設定に際しては、テンドンの腐食等により引張り力が低下していることもあり、頭部背面調査等によりテンドンの状態を十分に考慮して責任技術者の判断で決定できるものとする。

ランク A 設計アンカー力(T_d) \times 1.25

ランク B 設計アンカー力(T_d) \times 1.10

アンカーのランクは、供用期間と構造物の置かれる条件により分類されたもので、表 4.4.12 に拠る。

表 4.4.12 アンカーの供用期間と構造物の置かれる条件による分類²⁾

構造物の種類	供用期間	
	2 年未満	2 年以上
一般の構造物	ランク B	ランク A
特殊な条件下にある構造物	ランク A	

1) 試験方法

試験装置は、リフトオフ試験の試験装置に受圧板の変位計測用の変位計を取付ける(図 4.4.32 参照)。

初期荷重は、計画最大荷重の約 0.1 倍を標準とする。ただし、初期荷重が小さすぎて緊張ジャッキおよび測定機器が安定しない場合は、安定する荷重以上とする必要がある。

荷重段階は、品質保証試験の適性試験に準じて、初期荷重から計画最大荷重までの間を 5 段階に分け、荷重制御による多サイクル方式で載荷と除荷を繰り返し行う(図 4.4.31)。

荷重の保持時間は、原則的に表 4.4.13 を目安に設定する。

計測項目は荷重、変位(頭部、反力盤)、時間等とする。

試験の実施例を図 4.4.34 に示す。

表 4.4.13 維持性能確認試験の載荷方法²⁾

サイクル	試験荷重		荷重保持時間(min)			
	ランク B	ランク A	ランク B		ランク A	
			砂質土岩盤	粘性土	砂質土岩盤	粘性土
1	0.40 T_d	0.40 T_d	1	1	15	15
2	0.60 T_d	0.60 T_d	1	1	15	15
3	0.80 T_d	0.80 T_d	5	5	30	60
4	1.00 T_d	1.00 T_d	5	5	30	60
5	1.10 T_d	1.25 T_d	30	60	60	180

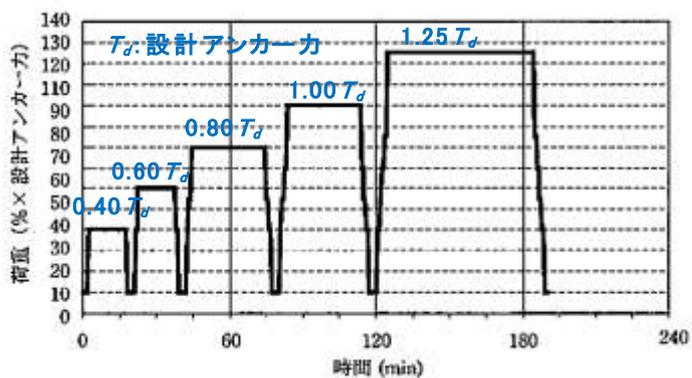


図 4.4.31 維持性能確認試験の載荷計画の一例(ランク A)

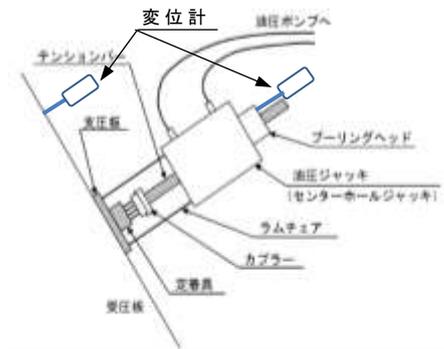


図 4.4.32 維持性能確認試験装置の例

2) 試験結果の整理と判定

① 試験結果の整理

試験結果は、図 4.4.34 に示すような項目を整理する。

- a. 試験概要
- b. アンカー諸元
- c. 試験結果(時間－荷重曲線, 時間－変位量曲線, 荷重－塑性・弾性変位曲線, 荷重－変位曲線に整理)
- d. 時間(logt)～変位量(δ)曲線を作成した後, 設計アンカー力に対して, 次式によって定義するクリープ係数(α)を算出する(図 4.4.33 参照).

$$\alpha = \frac{(s_b - s_a)}{\log(t_b/t_a)}$$

ここで, $s_a, s_b : t_a, t_b$ における頭部変位量(mm)

t_a, t_b : 計画最大荷重時の荷重保持時間(min)

② 判定

アンカー機能が適性であるかどうかの判定は, 以下の項目に対し次の判定基準により行う。以下のいずれの項目にも満足するアンカーは健全であると判定する。

- i) 設計アンカー力に対して安全であるかどうか。

計画最大荷重は設計アンカー力より大きく設定されており, これに耐えられれば既設アンカーは機能を維持できていると判定する。

- ii) 荷重－変位関係が適性かどうか。

図 4.4.34 に示す荷重－塑性・弾性変位曲線において, 原則的に図中に示す許容範囲に入っていれば既設アンカーは健全であると判定する。許容範囲は設計上の理論伸び量に対して, ±10%以内とする。ただし, 既設アンカーはアンカー諸元がわかっていない場合が多く, 理論伸び量が不明ことが多い。そのため, 許容範囲から外れた場合にも荷重－変位曲線が弾性的な形状を示す場合には適性と判定する¹¹⁾。

- iii) アンカーの変位

計画最大荷重保持時, 所定の時間ごとの変位量をプロットし, クリープ係数を表したものが図 4.4.33 である。判定は, 変位やクリープ係数が表 4.4.14, 表 4.4.15 の値を超えないこととする。

計画最大荷重時で, 表 4.4.14 の経過時間で変位量が 0.5 mm を超えた場合は表 4.4.15 に記載している試験時間を延長する。

表 4.4.14 維持性能確認試験の判定²⁾

ランク	地質	経過時間 (min)	変位量 (mm)
A	砂質土・岩盤	20~60	0.5
	粘性土	60~180	0.5
B	砂質土・岩盤	10~30	0.5
	粘性土	20~60	0.5

なお、表 4.4.14 の経過時間を越した場合で、 $t_b/t_a = 3.0$ となるインターバル (例えば、 $t_b = 90\text{min}$, $t_a = 30\text{min}$) で、その間の変位量が 0.5mm 以下であれば、アンカーが適性であると判断する (図 4.4.33)。

それ以上に変位が増加し続ける場合は試験時間を延長する。最大試験時間は、表 4.4.15 の最大試験時間とし、その時のクリープ係数 α が、 $\alpha \leq 2.0\text{mm}$ となれば適性とする (表 4.4.15)。

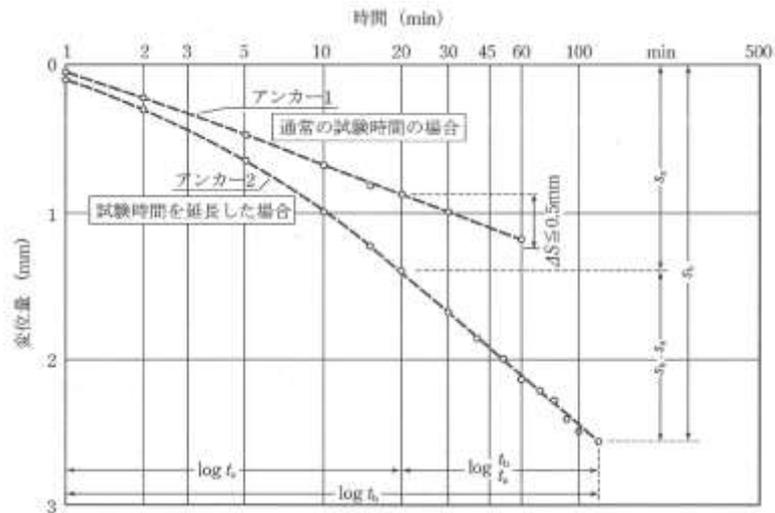


図 4.4.33 クリープ係数²⁾

$$\alpha = (s_b - s_a) / \log(t_b/t_a)$$

s_a : 時間 t_a におけるアンカーの頭部変位量 (mm)

s_b : 時間 t_b におけるアンカーの頭部変位量 (mm)

t_a : 係数計算開始時間 (min)

t_b : 係数計算終了時間 (min)

表 4.4.15 試験時間延長の目安²⁾

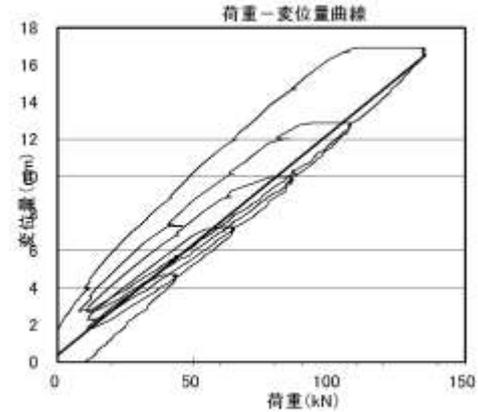
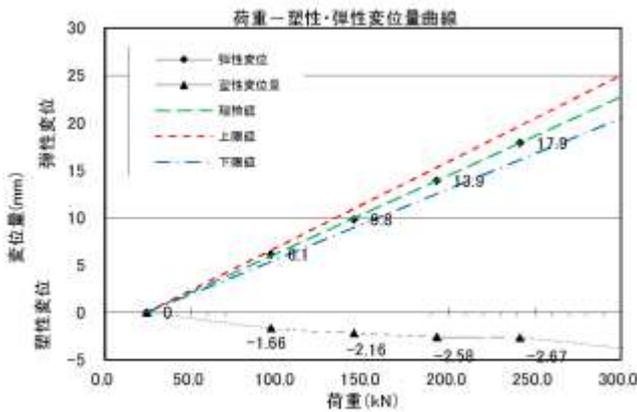
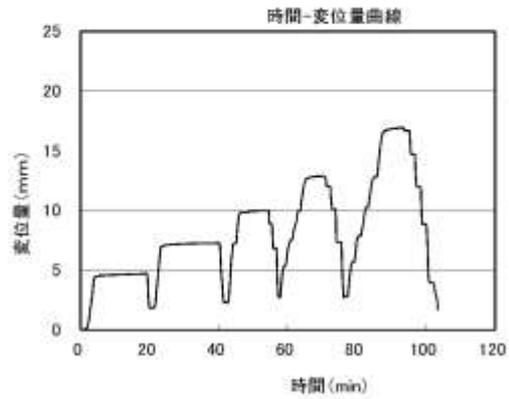
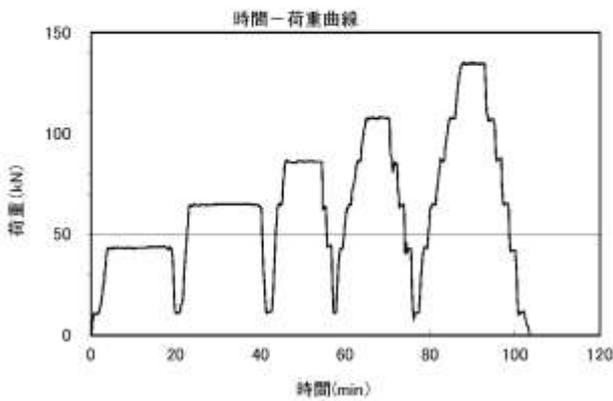
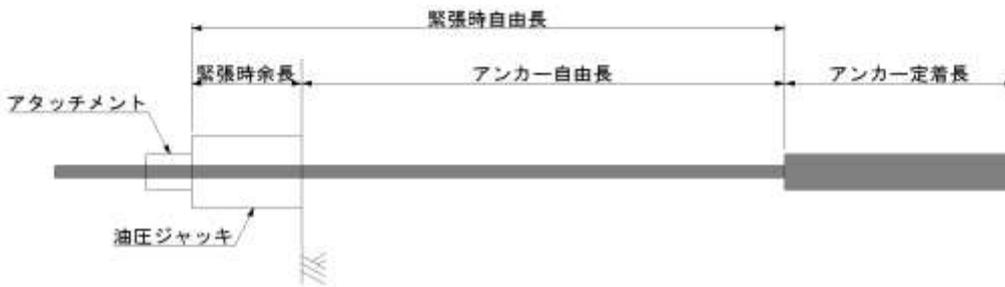
		ランク B		ランク A	
		砂質土, 岩盤	粘性土	砂質土, 岩盤	粘性土
1 P_f	試験荷重	$1.10 T_d$	$1.10 T_d$	$1.25 T_d$	$1.25 T_d$
2 通常の場合	試験時間 t_a [min]	10	20	20	60
	t_b [min]	30	60	60	180
	変位 $\Delta s = s_b - s_a$	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5
3 $\Delta s < 0.5\text{mm}$ で計測時間を延長した場合	最大試験時間 t_b [min]	≥ 60	≥ 120	≥ 120	≥ 360
	クリープ係数 α [mm]	2.0	2.0	2.0	2.0

維持性能確認試験

工事名	
試験日	
試験者	
No.	

【アンカー諸元】

種別		規格	
アンカー自由長	mm	アンカー体長	mm
緊張時余長	mm	緊張時自由長	mm
テンドンの弾性係数	kN/mm ²	テンドンの断面積	mm ²



【管理値】 理論値: 22.86 mm 上限値: 25.15 mm 下限値: 20.58 mm
【実測値】 弾性変位量: mm 塑性変位量: mm

図 4.4.34 荷重-変位観測結果整理

(4) 定着緊張力確認試験²⁾

所定の定着緊張力が保持されるかどうかを確認するための試験である。

維持性能確認試験においてクリープ係数(α)2 mm未満を満足できないアンカーやアンカー耐力確認試験においてクリープ挙動に疑問のあるアンカーを対象とする。本試験は、「グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説」のその他の試験に区分される定着時緊張力確認試験に準じる。

【試験の本数】

維持性能確認試験やアンカー耐力確認試験において、適性と判定されなかったアンカーを対象に、試験アンカー数は判断に必要な本数とする。

1) 試験方法

計画最大荷重もしくは定着緊張力の荷重を載荷して実施する。計測項目は荷重と変位量とし、計測時間は開始後、5分後、15分後、50分後とする。

2) 試験結果の整理と判定

荷重(P)－時間(t)曲線に整理する。荷重減少の主な原因は、地盤のクリープと考えられ、計測時期間隔ごとの荷重の減少量が1%未満であれば、そのアンカーは適性と判定し供用してもよい。もし、減少量が1%以上の場合は、表4.4.16を参考にさらなる計測時間を設定するとともに荷重の減少量の許容値を定めてよい。図4.4.35にこれらの荷重－時間の関係を示す。この判定基準を満足できない場合の対処は、責任技術者の判断による。

表 4.4.16 継続計測時期と許容荷重減少量の目安

継続計測時期	許容荷重減少量
150分	4%
500分	5%
1日	6%
3日	7%

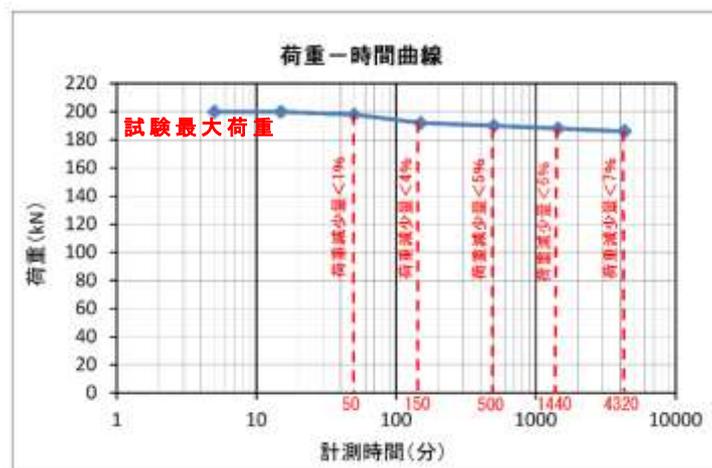


図 4.4.35 継続計測時期と許容荷重減少量の関係図

(5) アンカー抜き取り調査

頭部詳細調査時にアンカー材料の変状や不具合が認められたアンカーおよびリフトオフ試験等の载荷中に、破断や引き抜け等による顕著な荷重の低下が確認された場合等のアンカーについて、必要に応じて、アンカー材料の変状や不具合の要因を把握するためにアンカーの抜き取り調査を実施する。

アンカー抜き取り調査は、ジャッキを取付け、アンカーヘッドおよび計測機器の状態を確認し、計測が可能であれば、荷重-変位の関係を注視しながら荷重の増加傾向を確認し、残留変位が確認されたり、荷重増加がない場合は、アンカーが引き抜けたと判断できる。アンカーの引き抜き抵抗が 20kN 程度まで低下すればチェーンブロック等を用いて、テンドンの引き抜き確認を行う。

アンカー抜き取り調査時にジャッキによる载荷が可能であれば、アンカー材料の破断理論値の伸び量を目安に载荷確認(最大試験荷重以下)を行い、破断か引き抜けかの判定を行う(テンドンの伸び勾配 $\tan \theta$ 等から断面欠損の有無等の材料評価を含む)。

なお、上記の方法によっても引き抜きが困難な場合は電動工具等でテンドンを切断し、水が浸入しないようアンカー孔を埋戻すこととする。

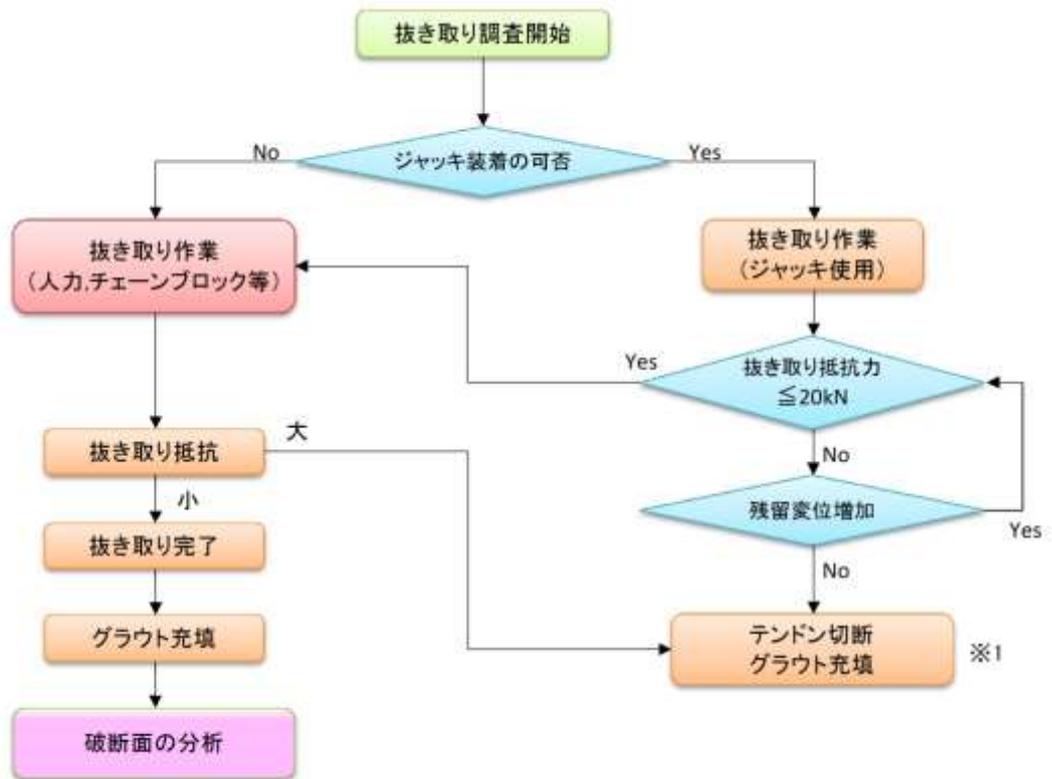
抜き取り調査によりテンドンが破断して引き抜けた場合は、破断状況から破断要因が腐食や傷によるものか引張り力の増大によるものか等の要因を明らかにするために破断箇所の試験分析を行うこともある。その場合、テンドン破断深度を計測しておき、破断位置の推定資料とする。

アンカーが定着部から全体が引き抜けた場合は、テンドンの周囲に付着するグラウトの状況から地盤の周面摩擦抵抗値が設計値を下回っていたためかグラウトの施工不良(強度不足やグラウトの逸脱によるグラウト不足)等を判断する。

抜き取り調査結果は、アンカーのり面の面的評価を行う際や、面的評価後の対応方針を検討する時の重要な資料となる。

アンカー抜き取り調査の作業フローを図 4.4.36 に示す。

アンカー抜き取り調査の事例として、抜き取り調査状況を写真 4.4.4~4.4.7 に、荷重-変位曲線による荷重の低下状況を図 4.4.37 に示す。引き抜いたテンドンの状況を写真 4.4.8 に、テンドン破断箇所を写真 4.4.9 に示す。また、アンカー抜き取り調査により、アンカーが引き抜けた場合やテンドンを切断した場合のアンカー孔の埋戻し状況を写真 4.4.10 に示す。



※1 50cm程度引抜いても抵抗力が20kN以下にならない場合

図 4.4.36 アンカー抜き取り調査作業フロー図



写真 4.4.4 ジャッキによる抜き取り調査

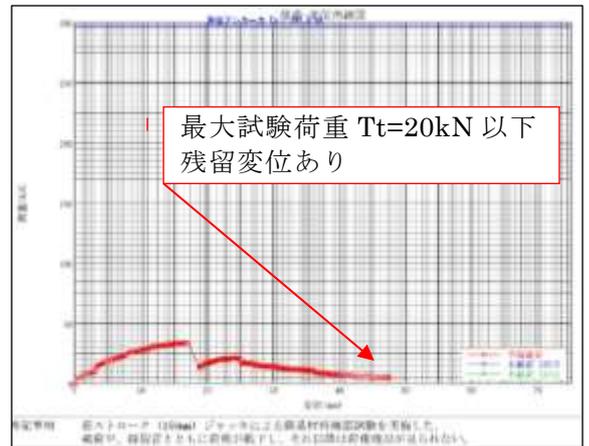


図 4.4.37 引抜き抵抗が 20kN 以下となる



写真 4.4.5 ジャッキによる引抜け後



写真 4.4.6 チェーンブロックによるテン
ドンの引抜き状況



写真 4.4.7 引抜き作業状況



写真 4.4.8 引抜いた tendon



写真 4.4.9 tendon 破断箇所



写真 4.4.10 アンカー孔の埋戻し状況

◇コラム：アンカー材料の破断面観察について◇

①カップアンドコーン形状

斜面変動に伴うアンカー荷重の増加により，軸力方向にアンカーが引張り破断した場合にカップアンドコーン形状となる．破断面観察の結果，一部の PC 鋼線（素線）でカップアンドコーン形状が確認される場合，斜面変動に伴うアンカー損傷の可能性があり留意が必要である．

②せん断形状

テンドンの伸び変位が拘束された状態での破断時にせん断形状となり，地震等の斜面変位等で独立受圧板の顕著なズレが生じた場合に，アンカー頭部背面で破断する事例が確認されている．

③腐食破断

アンカー孔内に雨水や地下水が侵入し腐食による材料の断面欠損や酸化による変色が生じた破断面となる．なお残存引張り力を有する PC 鋼棒タイプのアンカーは，表面の「腐食ピット」から一気に破断して飛び出す「遅れ破壊」と呼ばれる破断特性を有し，破断面には破断波紋が見られる場合がある．



参考図 4.4.1 鋼材の破断面形状



参考写真 4.4.1 腐食破断例 (左側：鋼棒タイプ例，右側：PC 鋼より線タイプ)

参考文献

- 1) (独)土木研究所, (社)日本アンカー協会: グラウンドアンカー維持管理マニュアル, 鹿島出版会 2008年7月
- 2) (公社)地盤工学会: グラウンドアンカー設計・施工基準, 同解説(JIS4101-2012)
- 3) (社)地盤工学会: グラウンドアンカー工法の調査・設計から施工まで, 平成9年3月
- 4) 酒井俊典, 常川義弘, 田口浩史, 阪口和之, 藤原優, 市橋義治: アンカー緊張力および温度を用いたグラウンドアンカーの維持管理, 日本地すべり学会誌, 51(6), 2014
- 5) 酒井俊典, 川嶋直人: 温度計設置位置がアンカー荷重と温度との相関に与える影響, 第51回地盤工学研究発表会, 2016年9月
- 6) 国土交通省砂防部, (独)土木研究所: 地すべり防止技術指針同解説, 平成20年4月
- 7) (社)斜面防災対策技術協会, 地すべり観測便覧編集委員会: いつでも, どこでもすぐに役立つ地すべり観測便覧, 平成24年10月
- 8) 常川善弘: アンカー管理と地質リスクマネジメント, グラウンドアンカー維持管理に関するシンポジウム, 2013
- 9) NEXCO 東日本・中日本・西日本: 土質地質調査要領, 平成24年7月
- 10) 弘田朋志, 市橋義治, 常川善弘, 酒井俊典: グラウンドアンカー工の健全性評価における簡易評価手法について, 全地連「技術フォーラム2015」名古屋, 2015年, 9月
- 11) 山本温, 越智正, 増田信: SAAM ジャッキを用いた維持性能確認試験による維持管理事例, 平成28年度地盤工学会四国支部技術研究発表会, 2016年11月

第 5 章 SAAM システムを用いたアンカーのり面の健全性評価

SAAM システムを用いたアンカーのり面の残存引張り力調査に基づき、のり面の健全性評価を行う上で利用できる現在までの知見について下記に示す。

5.1 背面地山とアンカー緊張力低下

安定したのり面におけるアンカー緊張力の低下は、引張り材のリラクゼーション、地盤のクリープに加え、背面地山の風化程度による影響も見られ、背面地山の風化が進行するほど残存引張り力が低下する傾向が見られる。

アンカーの残存引張り力は、安定したのり面の場合、背面地山の風化程度により異なる。図 5.1.1 は、アンカー施工時の背面地山のスケッチ記録を基に風化程度を大きく表土、強風化、弱風化、基岩の地質区分で分類した結果と、これら各のり面において面的調査を実施し得られた残存引張り力を設計アンカー力で除した設計アンカー力比 (R_{td}) の分布を比較した結果である [1\)](#)。これらの結果より、風化が進行している表土では R_{td} は小さく、基岩では R_{td} が大きくなる傾向が見られる。また、表 5.1.1 はこれら各のり面における地質区分毎の R_{td} の平

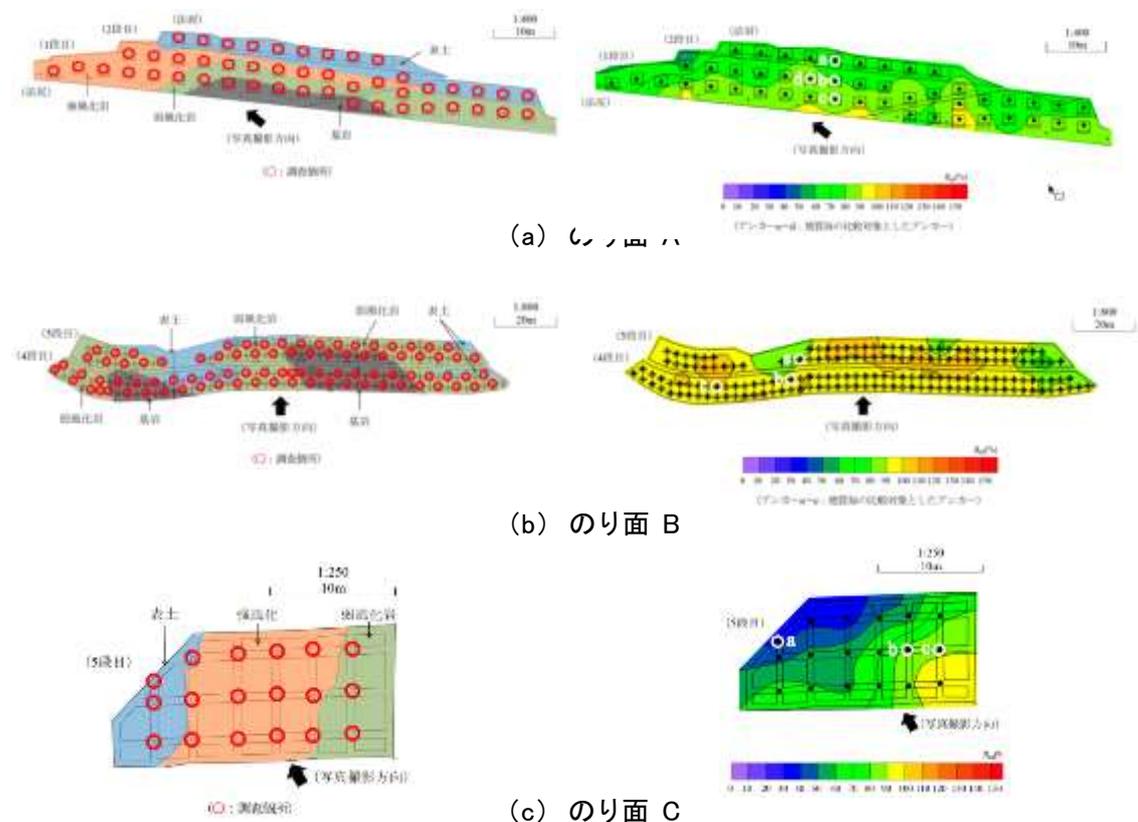


図 5.1.1 背面地質状況と設計アンカー力比 (R_{td}) の分布 [1\)](#)

表 5.1.1 背面地質と地質毎の R_{td} の平均値 ¹⁾

	アンカー本数	調査本数	地質区分毎の R_{td} の平均値 (%)			
			表土	強風化	弱風化	基岩
のり面	47	47	81.7	86.2	88.1	92.6
のり面	169	89	92.0	95.3	-	97.8
のり面	18	18	49.4	55.5	76.7	-

均値を示したものである。地質区分毎に R_{td} の平均値を見ると、のり面 A においては、表土で 81.7%、強風化岩で 86.2%、弱風化岩で 88.1%、基岩で 92.6% となり、風化が進行するほど R_{td} の平均値は低下しアンカー緊張力の低下傾向が見られる。また、のり面 B では、表土で 92.0%、弱風化岩で 95.3%、基岩で 97.8%、のり面 C では表土で 49.4%、強風化岩で 54.5%、弱風化岩で 76.7% と、いずれも風化程度が進むほど R_{td} が低下する同様の傾向が認められる。このように、アンカー緊張力はアンカーが施工されている背面地山において地質の風化が進行していないほど、施工後のアンカー緊張力の低下は小さく R_{td} は大きい値を示す傾向が見られるのに対し、背面地山の風化が進行しているほど、施工後にアンカー緊張力が低下し、 R_{td} は小さい値を示す傾向が見られる ²⁾⁻⁴⁾。

以上の結果、アンカーの緊張力は変状が認められない安定したのり面であっても、アンカー施工時の定着時緊張力は一定で保持されず低下する傾向が見られ、特にその低下の程度は背面地山の風化が進行するほど大きくなる傾向を示す。

5.2 アンカー緊張力と温度との関係

安定したのり面ではアンカー荷重値と温度とに高い相関が見られ、アンカーのり面に変状等が見られる場合には両者の相関は大きく低下する。

アンカー緊張力を荷重計等によってモニタリングを行う場合、計測されるアンカー荷重は温度によって変化する。図 5.2.1 は安定したのり面のアンカーに設置された荷重計と、荷重計に設置された温度計により求めた、アンカー荷重と温度の関係を 1 時間毎に示した結果である ⁵⁾。荷重計により求まるアンカー荷重は温度に対し敏感に反応し、1 日で最大 13kN 程度、夏期と冬期で 25kN 程度の荷重差が見られる。図 5.2.2 は、測定期間全体におけるアンカー荷重と温度との関係を示したものである。

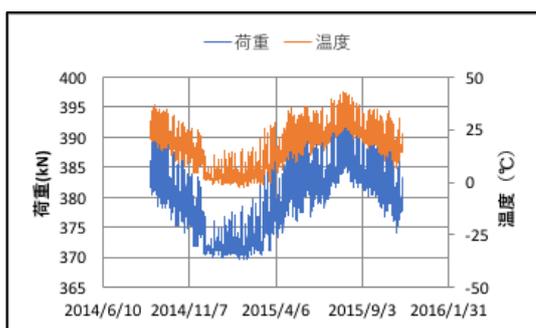


図 5.2.1 アンカー荷重と温度

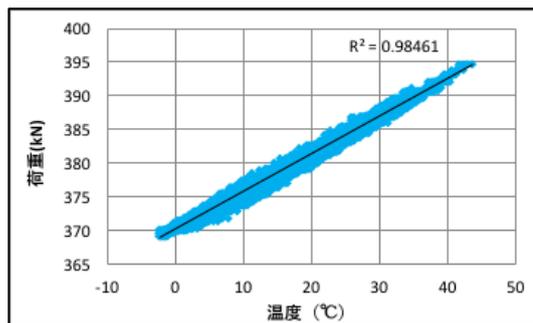
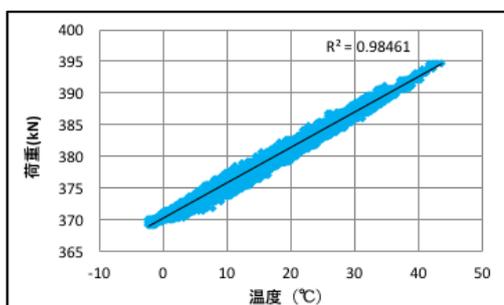


図 5.2.2 アンカー荷重と温度の関係

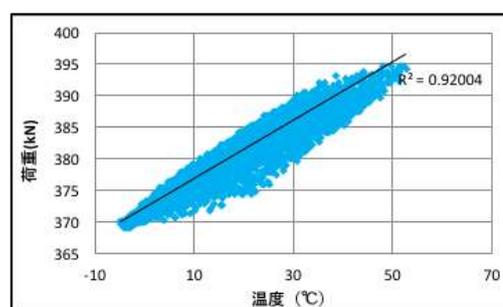
両者の相関を決定係数 (R^2) で評価すると 0.98 と高い値を示す. 以上のように変状の見られないのり面では, アンカー荷重と温度とに高い相関が見られる.

図 5.2.3 は, アンカー荷重と温度との相関を評価する上で温度計の設置位置の影響を評価するため, 写真 5.2.1 に示すように温度計を荷重計下部に設置した場合と, 支圧板に設置した場合のアンカー荷重と温度との関係をしたものである⁵⁾. 温度計を荷重計下部に設置した場合には, 上述のように R^2 は 0.98 と高い値を示すのに対し, 支圧板に設置した場合の R^2 は 0.92 と若干低下し, アンカー荷重と温度との相関を評価する場合, 温度計を荷重計下部に設置することが望ましい.

図 5.2.4 は豪雨時に変状が見られたのり面におけるアンカー荷重と, 地すべりブロック内に設置されたパイプひずみ計に変化が見られた深度におけるひずみ値を示したものである⁶⁾⁻⁹⁾. パイプひずみ計のひずみ値の変化と同時にアンカー荷重は増加しており, アンカーは地盤の変状を捉えるセンサーとしての機能を有していると考えられる. 図 5.2.5 は, この地点の 2014 年 10 月からの 1 ヶ月毎のアンカー荷重と温度との関係を見たものである. 2015 年 7 月にはこののり面変状によりアンカー荷重が増加しているため, この期間においてアンカー荷重と温度との相関が見られなくなっている.



(a)荷重計下部に設置



(b)支圧板に設置

図 5.2.3 温度計設置位置によるアンカー荷重と温度の相関



写真 5.2.1 温度計設置位置アンカー荷重と温度の相関

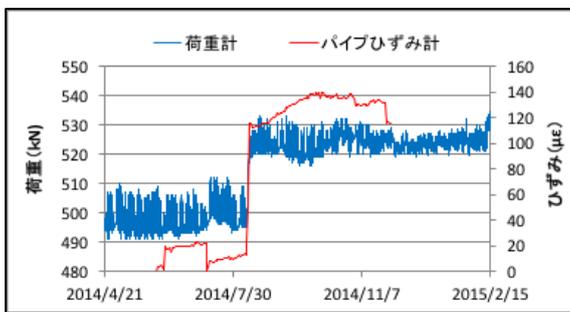


図 5.2.4 アンカー荷重とパイプひずみ計

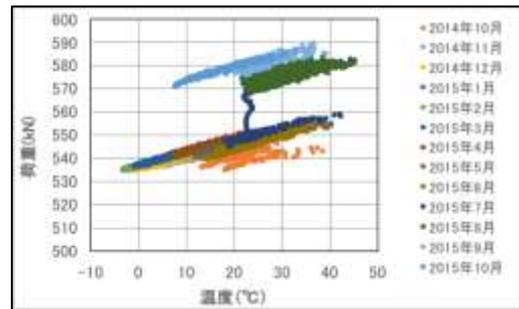


図 5.2.5 アンカー荷重と温度の関係

以上のように、安定したのり面ではアンカー荷重と、荷重計下部に設置した温度計による温度とは高い相関を示す^{10), 11)}。また、アンカー荷重はのり面の変状を捉えるセンサーとしての機能を有しており、のり面に変状が発生した場合にはアンカー荷重が変化することで温度との相関が大きく低下する。これらのことから、アンカーのり面の健全性をアンカー荷重変化、あるいはアンカー荷重と温度との相関変化を基に評価することが可能である。

5.3 アンカー荷重と温度との相関を評価する場合の評価期間と温度差

アンカー荷重と温度との相関の時間変化を評価する場合、計測値の評価期間を96時間以上とすることが必要である。また、評価にあたって評価期間内の温度差は5℃以上が必要である。

アンカー荷重と温度の1時間毎の計測結果を基に、両者の相関の時間変化を評価する場合の評価期間が R^2 に及ぼす影響について見てみる¹²⁾。図5.3.1は安定したのり面における1時間毎のアンカー荷重と温度の測定結果を基に、両者の相関を評価する評価期間を24時間、96時間、168時間とした場合の R^2 と、各評価期間における最高温度と最低温度の温度差の関係を示したものである。いずれの評価期間においても、評価期間内の温度差が10℃を下回ると R^2 が低下する傾向が認められ、特に温度差が5℃を下回ると R^2 は大きく低下する。評価期間を24時間とした場合、積雪期の冬期においては1日の温度変化が小さく、最高気温と最低気温の温度差が5℃を下回るケースが多くなり両者の相関は大きく低下し、アンカー荷重と温度との相関を評価するには適さない。図5.3.2は評価期間を24時間、48時間、72時間、98時間、120時間、168時間とした場合に得られる R^2 の最低値を評価期間毎に示したものである。 R^2 の最低値は評価期間が48時間までは0と無相関が存在するが、評価期間が長くなる

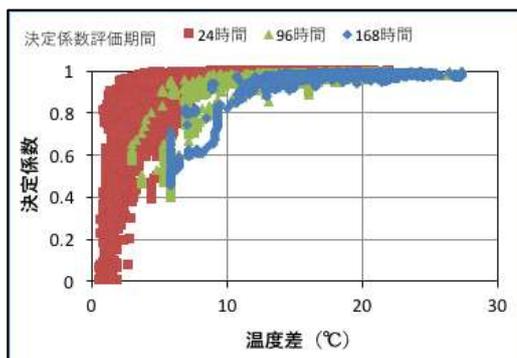


図 5.3.1 温度差と R^2 の関係

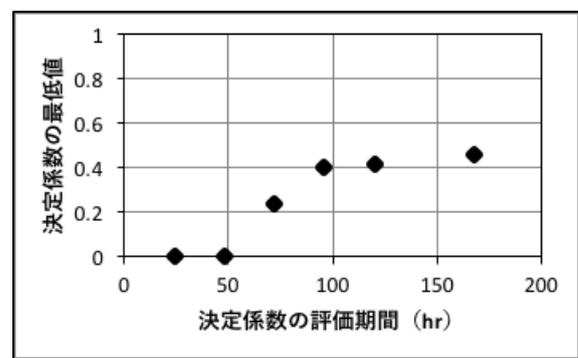


図 5.3.2 R^2 の評価期間と R^2 の最低値の関係

に従い R^2 は大きくなり、96時間以上となると最低の R^2 は0.4程度以上の値を示す。この結果より、アンカー荷重と温度との相関を1時間毎に評価する場合、評価期間は96時間以上とすることが必要である。

安定したのり面ではアンカー荷重と温度との相関が高く、一方、のり面に変状が発生した場合にはアンカー荷重の変化によって相関が大きく低下する。この結果を基に R^2 を1時間毎に評価し、この相関値の変化を基にのり面の健全性を評価する手法について示す。

R^2 の変化を基にのり面の健全性を評価する手順は下記の①，②に基づき行う。

①評価期間 96 時間とし，1 時間毎の 96 個のデータに対してアンカー荷重と温度との R^2 求める。

②96 時間の評価期間のデータを 1 時間ずつ移動させ，各時間の R^2 を求めることで 1 時間毎の R^2 の変化を求める。

ここで，荷重を L ，温度を T とし，初項 i から p の範囲における項数 $i + p$ について求めると，

荷重と温度の共分散

$$V_{LT} = \sum_{N=i}^{i+p} (\bar{L} - L_N)(\bar{T} - T_N)/(p + 1) \quad (5.1)$$

荷重の標準偏差の 2 乗

$$V_L = \sum_{N=i}^{i+p} (\bar{L} - L_N)^2/(p + 1) \quad (5.2)$$

温度の標準偏差の 2 乗

$$V_T = \sum_{N=i}^{i+p} (\bar{T} - T_N)^2/(p + 1) \quad (5.3)$$

より，決定係数 (R^2) は，

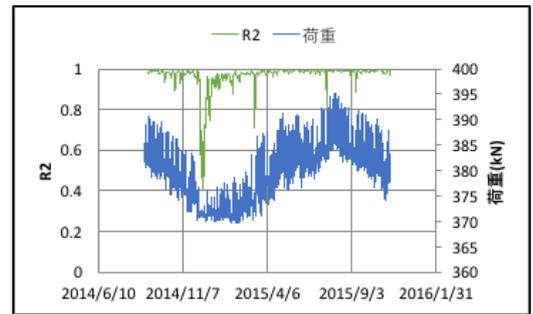
$$R_i^2 = \frac{V_{LT}^2}{V_L V_T} \quad (5.4)$$

となり，これにより評価期間 $i + p$ における 1 時間毎の R^2 の変化を求める。

図 5.3.3(a) は，安定したのり面において R^2 の評価期間を 96 時間とした場合の 1 時間毎のアンカー荷重と温度の R^2 の変化，および 96 時間の評価期間における最高温度と最低温度の温度差の変化を示したものである。また，図 5.3.3(b) はこの期間の R^2 とアンカー荷重の変化を示したものである⁹⁾。本調査地点では 12 月初旬に積雪があり，この期間において温度変化が小さくなり評価期間内の温度差が 5℃ を下回ったため，アンカー荷重と温度との R^2 は大きく低下しているものの，これ以外の期間における R^2 は 0.9 以上の高い値で推移する。これに対し，図 5.3.4(a)，(b) は，変状の見られるのり面において同様の結果を示したものである⁹⁾。本調査地点では地すべり活動によりの変状が見られ，評価期間の温度差が 5℃ を下回っていないものの， R^2 が大きく低下する期間が見られる。この R^2 の低下時期におけるアンカー荷重変化を図 5.3.4(b) で見ると， R^2 の低下はのり面変状によりアンカー荷重に増加が見られる期間に対応しており，のり面変状が見られた場合には R^2 の値は大きく低下することが伺える。



(a) R²と温度差



(b) R²とアンカー荷重

図 5.3.3 変状の見られないのり面における R²と温度差およびアンカー荷重



(a) R²と温度差



(b) R²とアンカー荷重

図 5.3.4 変状が見られるのり面における R²と温度差およびアンカー荷重

以上の結果、アンカー荷重と温度との相関を基に、1時間毎にのり面の安定性の評価を行う場合、評価期間を96時間以上とし、その期間内の温度差が5°Cを上回っていることを確認した上でR²の変化について評価を行い必要がある。この評価によりR²が大きく低下する場合には、のり面に変状等が発生した可能性があることが考えられ、追加の調査等でこれらの検討を行うことが望まれる。

図 5.3.5 は、地すべり挙動が拡大しアンカー定着付近にすべり面があると考えられるのり面について同様の結果を示したものである。このような本地点では、すべり面がアンカー定着位置と近接するためアンカー荷重が安定せず、R²も安定した結果を示さない。このように、アンカー荷重と温度との相関が安定しない場合には、荷重計あるいは温度計等の計測機器の異常やアンカー材料の劣化に加え、地すべり挙動に対してアンカーが適切に効果を発揮できていない可能性が疑われるため、これらの確認を行う必要があると考える。

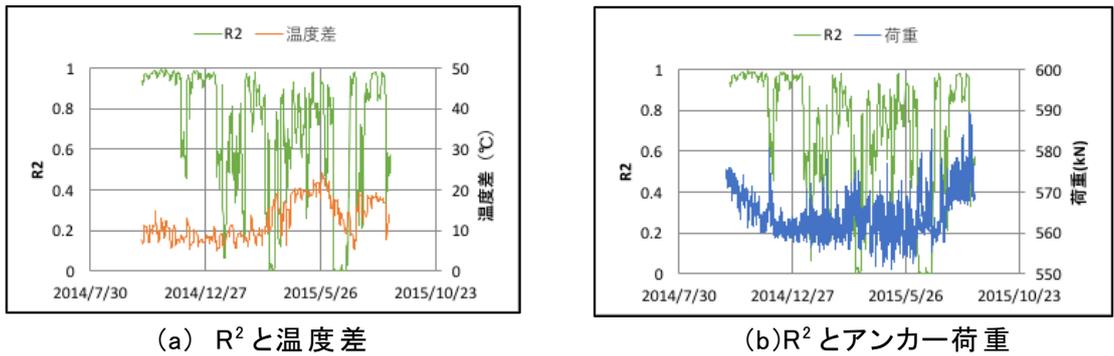


図 5.3.5

アンカー長が不足していると考えられるのり面における R^2 と温度差およびアンカー荷重

5.4 実測されたアンカー荷重の温度補正

アンカー荷重と温度との 1 次回帰式を基に，実測されたアンカー荷重の温度補正を行うことで安定したアンカー荷重の評価を行うことができ

荷重計等によって計測されたアンカー荷重を用いてアンカーのり面の維持管理を行う場合，アンカー荷重は温度の影響を受けて変化するため，測定されたアンカー荷重を適切に評価する上で温度の影響を考慮に入れた評価を行う必要がある．そこで，安定したのり面を対象に得られたアンカー荷重と温度との高い相関を基に，実測されたアンカー荷重の温度補正を行う方法について示す．

(1) 計測期間全体での温度補正荷重の求め方

温度補正にあたっては，図 5.4.1 に示すように 1 時間毎に計測を行った計測期間全体におけるアンカー荷重と温度との関係から求まる 1 次回帰式の直線の傾きを求め，これを基に下記の式を用いて行う¹⁾。

$$L_i = L_0 - \{a(T_i - T_0)\} \quad (5.5)$$

ここで，

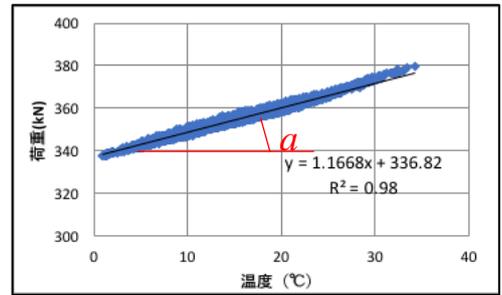
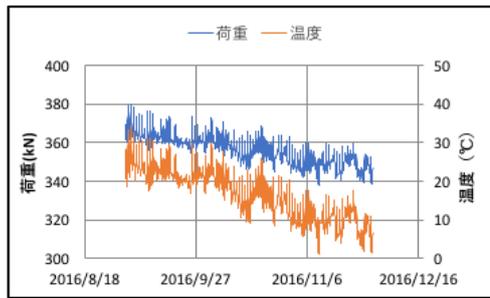
i 時間の温度補正荷重： L_i

測定開始時の荷重（初期荷重）： L_0

i 時間に測定される温度： T_i

測定開始時の温度： T_0

アンカー荷重と温度との 1 次回帰式から求まる直線の傾き； a



(a) 1 時間毎のアンカー荷重と温度変化

(b) アンカー荷重と温度の 1 次回帰式

図 5.4.1 アンカー荷重と温度の関係

図 5.4.2 は、測定開始時のアンカー荷重を初期荷重(L_0)として、上述の方法により求めた 1 時間毎の温度補正を行ったアンカー荷重と、実測されたアンカー荷重を示したものである。実測されたアンカー荷重は温度によって 20kN 程度の変化が見られるものの、温度補正を行った荷重はおおむね一定値を示す。



図 5.4.2 実測荷重と温度補正荷重

(2) 1 時間ごとの温度補正荷重の求め方

アンカー荷重と温度との 1 次回帰式を用いたアンカー荷重の温度補正を、評価期間の温度差の影響が小さくなる 96 時間を対象に、1 時間毎に測定される 96 データを対象に評価し、これを基に時間毎にのり面の安定性の評価を行う方法について示す。

評価方法は式 (5.5) 式を基に、

$$K_i = L_i - \{a_i T_i - a_0 T_0\} \quad (5.6)$$

ここで、

i 時間の温度補正荷重 ; K_i

測定開始後 96 時間のアンカー荷重と温度の一次回帰式の傾き ; a_0

測定開始後 96 時間で測定された温度 ; T_0

i 時間で測定された荷重 ; L_i

i 時間前 96 時間のアンカー荷重と温度の一次回帰式の傾き ; a_i

i 時間で測定された温度 ; T_i

とし、図 5.4.3 に示す下記の手順で行う。

- ① 測定開始から 96 時間における 1 時間毎 96 個のデータに対し、アンカー荷重と温度との R^2 、一次回帰式の傾き (a_0) を求める。
- ② 測定開始から 96 時間における温度 (T_0) に a_0 を乗じ初期温度荷重 (ΔL_0) を求める。
- ③ 96 時間分のデータを 1 時間ずつ移動させ、 i 時間の R^2 、一次回帰式の傾き a_i を求める。
- ④ i 時間の温度 (T_i) に a_i を乗じ i 時間の温度荷重 (ΔL_i) を求める。
- ⑤ i 時間の荷重 (L_i) から $\Delta L_i - \Delta L_0$ を減じて温度補正荷重 (K_i) を求める。

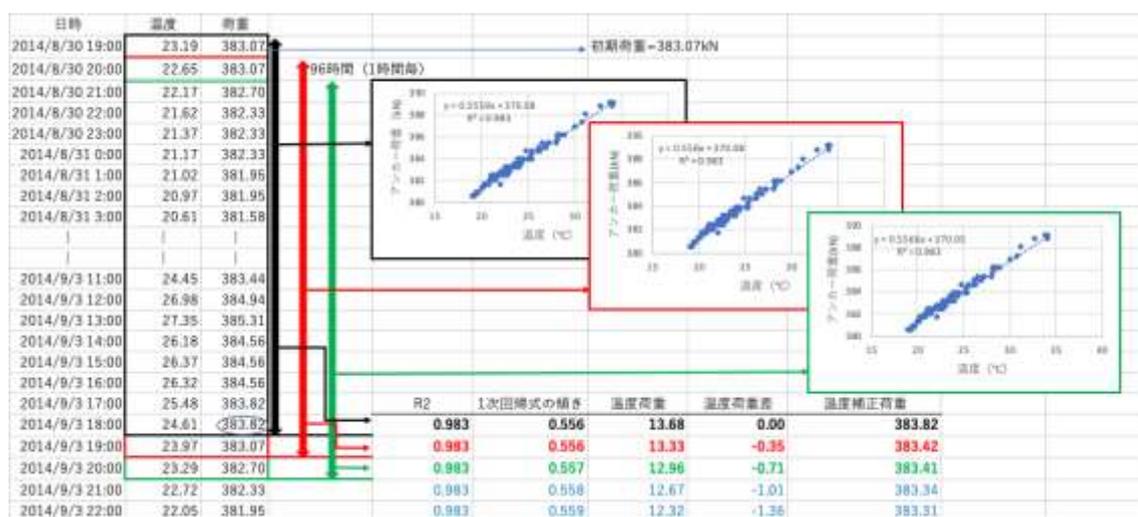


図 5.4.3 1 時間毎の R^2 値, 温度補正荷重の求め方

図 5.4.4 は、実測されたアンカー荷重および温度と、上記の手順により求めた温度補正荷重を示したものである。実測されたアンカー荷重は温度に対応して敏感に変化するものの、温度補正を行ったアンカー荷重はおおむね一定値で推移する。

図 5.4.5 は安定したのり面において、1 時間毎に実測されたアンカー荷重および温度と、温度補正荷重を年間通じて示したものである。実測されたアンカー荷重は、朝・夕、夏期・冬期の温度差により、1 日で最大 13kN 程度、測定期間全体で最大 25kN 程度の変化が見られるのに対し、温度補正を行ったアンカー荷重は、1 日で最大 3kN 程度、測定期間全体で最大 5kN 程度と変化は小さく安定した結果を示す。

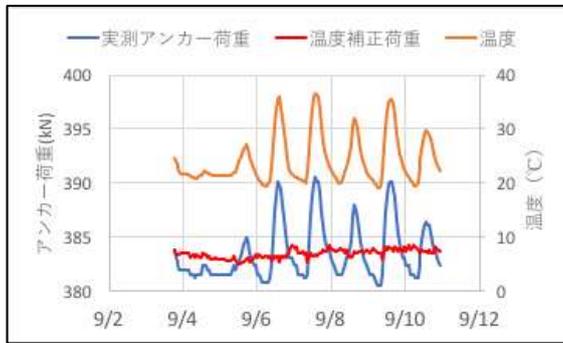


図 5.4.4 実測荷重と温度補正荷重

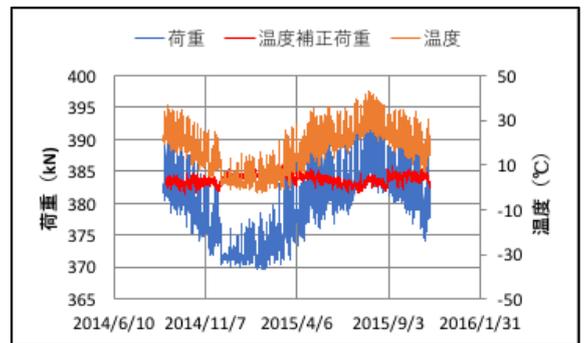


図 5.4.5 実測荷重と温度補正荷重

以上の結果、アンカー荷重と温度との高い相関関係を利用し、1次回帰直線から求まる結果を基に実測されたアンカー荷重に対し、温度による補正を行った温度補正荷重を利用することで、温度の影響を受けない安定したアンカー荷重変化として評価することが可能であると考えられる。

5.5 面的調査結果に基づくアンカーのり面の健全性評価

図 5.5.1 に面的調査を実施した場合のアンカーのり面の健全性を評価する場合の留意点を示す。アンカーの緊張力は、施工時の状況を維持して一定値を示すものではなく、地盤のクリープ、アンカー材料のリラクゼーションに加え、背面の地質状況や背面地山の動き等の種々の条件が影響することで変化する。このため、安定なり面であってもアンカー荷重が低下する傾向があると同時に、背面地山に動きが見られる場合には、アンカー荷重が増加する傾向が見られ、面的調査を実施した場合のり面で一樣な緊張力を示さない場合が多い。

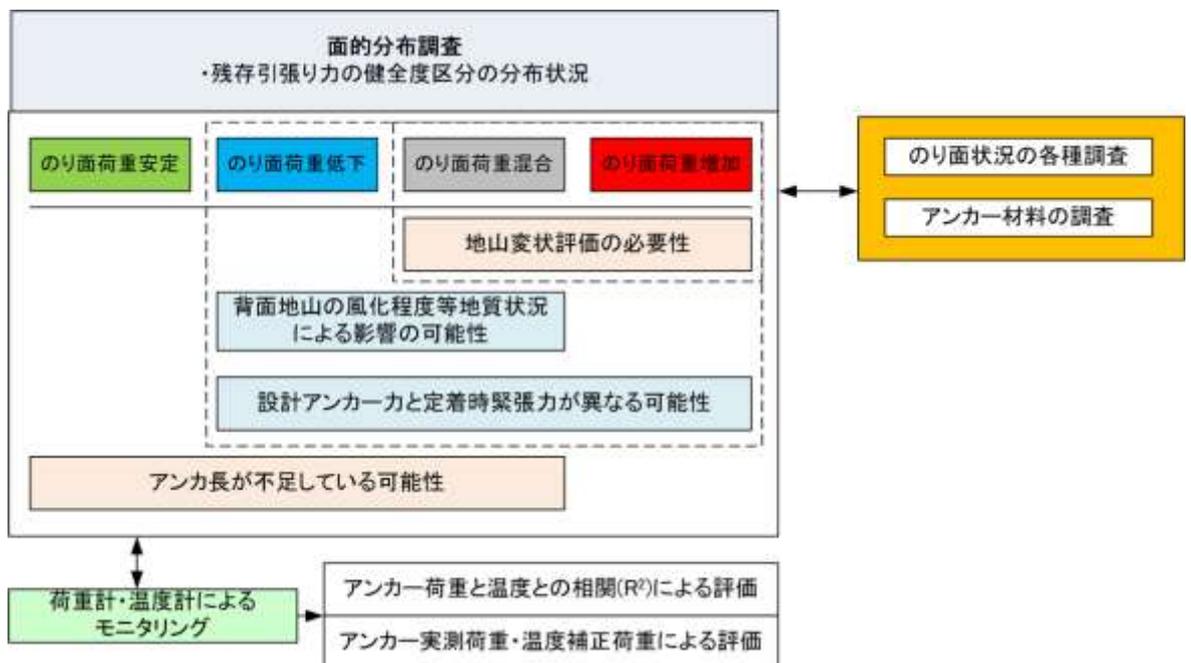


図 5.5.1 面的調査結果に基づくアンカーのり面の健全性評価

これらのことを考慮に入れ、アンカーのり面の緊張力分布状況を健全度区分に応じて、3.4で示した「のり面荷重低下」、「のり面荷重安定」、「のり面荷重増加」、「のり面荷重混合」に分けて、アンカーのり面の健全性を評価する上での留意点について示す。

①アンカー荷重が増加傾向にある「のり面荷重増加」の場合には、背面地山に変状が発生しアンカーの抑止力が不足している可能性が疑われる。このような場合には背面地山の各種動態観測の実施により地山状況を適切に把握することが必要である。ところで、「のり面荷重増加」が見られるのり面において、既設アンカーへの荷重計設置によるモニタリング、あるいは一定期間をおいた面的調査の実施により、荷重値に大きな変化が見られない場合には、荷重増加は施工中あるいはその後の状況を反映したもので、現在はその状態が維持されていると考えられ、のり面はおおむね安定した状態であると判断することができる。

②アンカー荷重が低下傾向にある「のり面荷重低下」の場合には、のり面の健全性に大きな問題が見られない、クリープ、リラクゼーション、および背面地山の風化程度の進行に依存した荷重低下による影響の場合が多いものの、アンカー材料の劣化あるいは定着部の引抜け等による原因も疑われる。特に健全度区分でC-以下まで荷重低下が見られる場合には、アンカー材料の劣化あるいは定着部の引抜け等の有無を明らかにするため、維持性能確認試験等によりアンカー材料の評価を実施することを考慮に入れる必要があると考える。

③アンカー荷重がA,B-にあり「のり面荷重安定」に分類されるものの、のり面に変状等が見られる場合には、アンカー設計・施工時の想定すべり面より深い位置にすべり面が存在し、施工されたアンカー長が不足している可能性も考えられ、このような場合には背面地山の動態観測等により地山状況を適切に把握することが必要である。

④のり面のアンカー荷重分布において荷重低下、荷重増加が混在する「のり面荷重混在」において荷重増加が見られる場合には、のり面の一部において変状が発生している可能性が考えられ、「のり面荷重増加」と同様な動態観測等の対応を考える必要がある。また、C-を下回る荷重低下が見られる場合には、アンカー材料の健全性評価の実施について考慮する必要がある。また、アンカー設計・施工時の想定すべり面より深い位置にすべり面が存在し、施工されたアンカー長が不足している可能性も考えられる。ところで、「のり面荷重混在」が見られるのり面において、荷重のモニタリングあるいは一定期間をおいた面的調査を実施し、荷重変化を求めた結果、荷重値に大きな変化が見られない場合には、施工中あるいはその後の状況が反映された状態であると考えられるため、現在はその状態が維持されのり面はおおむね安定した状態であると判断することができる。

アンカーのり面の健全性の判断を行う場合、設計・施工時の既存資料が存在せず施工時の定着時緊張力が不明な場合には、施工時からのアンカー荷重の増減を適切に評価出来ないため総合的な判断が必要となる。特にアンカー荷重が増加して

いる場合には、過去の変状により荷重増加が発生したものの現在は落ち着いている場合と、現在も変状が進行している場合に分けて考える必要がある。これらの判断にあたって施工時のアンカー緊張力のデータが不明な場合には、荷重計等を用いたアンカー荷重のモニタリングの実施、あるいは一定期間をおいた再度の面的調査の実施により、荷重増加が見られる領域の変化を評価することが必要である。

アンカーのり面における健全性の評価において、アンカーは地山変状を評価するセンサーとしての機能を有しており、これ利用したのり面の健全性評価が可能である。アンカー荷重変化を基に評価を実施する場合、アンカー荷重と温度との相関を基にのり面の状況を判断が行え、両者の R^2 が安定して高い値を示す場合にはアンカーのり面の健全性は高いと考えられる。これに対し、 R^2 を評価する期間内の温度差が 5°C を上回るにもかかわらず R^2 が大きく低下する場合には、アンカー荷重が温度に対応せず変化した可能性が考えられ、のり面の変状によりアンカーに負担がかかりのり面が不安定な状態になっているか、アンカー材料に問題が発生しているか、あるいは計測機器に不具合が発生しているか、などの原因が考えられる。また、アンカー緊張力のモニタリング結果を基に健全性の評価を行う場合、アンカー荷重は温度によって変化し両者に高い相関が見られる。このことを利用し、実測されたアンカー荷重を温度により補正を行う温度補正荷重手法を用いることで、安定したアンカー荷重変化が求まり、これを基に健全性の評価を行うことが可能である。

参考文献

- 1) 藤原優・酒井俊典：グラウンドアンカーの残存引張り力分布特性に着目したアンカー法面の維持管理，土木学会論文集 C (地盤工学)，Vol. 68(2)，260-273，2012
- 2) 酒井俊典・中村和弘・山崎尚明・福田雄治・常川善弘：SAAM ジャッキを用いたアンカー残存引張り力の調査方法，2008e フォーラム，2008
- 3) 常川善弘・酒井俊典・小野誠・山崎尚明：グラウンドアンカーの初期緊張力管理について，2009e フォーラム，2009
- 4) 常川善弘・東豊・山崎尚明・朝河哲也・片岡秀敏・高橋良明・樋口恒雄・酒井俊典：グラウンドアンカー工の試験湛水前後における緊張力変化について，第 46 回地盤工学研究発表会，165-166，2011
- 5) 酒井俊典・川嶋直人：温度計設置位置がアンカー荷重と温度との相関に与える影響，第 51 回地盤工学研究発表会，1387-1388，2016
- 6) 酒井俊典・常川善弘・田口浩史・阪口和之・藤原優・市橋義治：アンカー緊張力および温度を用いたグラウンドアンカーの維持管理，日本地すべり学会誌，51(6)，19-24，2014
- 7) 酒井俊典・常川善弘・阪口和之・磯嶋治康・矢野真妃：変状が見られるのり面におけるアンカー緊張力と温度との関係について，第 25 回中部地盤工学シンポジウム論文集，49-60，2013
- 8) 酒井俊典・阪口和之・磯嶋治康・常川善弘：温度補正を考慮したグラウンドアンカー緊張力の評価について，第 54 回日本地すべり学会研究発表会講演集，165-166，2015
- 9) 酒井俊典・阪口和之・磯嶋治康・常川善弘：アンカー荷重と温度との相関関係を利用したのり面安定性評価，第 53 回日本地すべり学会研究発表会講演集，110-111，2014
- 10) 藤原優・酒井俊典：グラウンドアンカーの残存引張り力のモニタリング手法に関する検討，土木学会論文集 C (地盤工学)，Vol. 68(3)，547-563，2012
- 11) 酒井俊典・川嶋直人：グラウンドアンカー工の緊張力管理における温度の影響，土木学会中部支部大会，2015
- 12) 酒井俊典・川嶋直人：健全アンカー法面におけるアンカー荷重と温度との関係，土木学会第 69 回年次学術講演会，609-610，2014
- 13) 土木研究所・日本アンカー協会：グラウンドアンカー維持管理マニュアル，鹿島出版会，2008
- 14) グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説，地盤工学会，2012
- 15) 藤原優・酒井俊典：グラウンドアンカーが施工された法面の健全性評価に関する検討，第 52 回日本地すべり学会研究発表会講演集，114-115，20
- 16) 酒井俊典・藤原優・阪口和之・磯嶋治康：SAAM ジャッキを用いたアンカー法面の面的調査，第 52 回日本地すべり学会研究発表会講演集，116-117，2013

第 6 章 むすび

急峻な地形を呈する我が国において、自然斜面や切土のり面の安定化を図る目的で、アンカーが数多く施工されてきている。アンカーは、1957年に我が国に導入されてから60年が経過し、二重防食が義務づけられた新タイプアンカーとなつてからでも30年近くが経過している。アンカーは、地震時や豪雨時の斜面変状に対して大きな抑止効果を発揮している事例が多く見られ、急峻な地形を示す我が国にとって有効な抑止構造物の一つと考えられる。その一方で、劣化したアンカーが散見され、発錆、テンドンの引抜け・破断、くさびの損傷、あるいはアンカー頭部の落下やテンドンの飛出しなども確認されている。アンカーは、新タイプアンカーにおいて「二重防食を施した永久的仕様として望ましい構造」と謳われたこともあり、過去には「永久アンカー」としてメンテナンスフリーの永久構造物と考えられていたこともあった。しかしながら、アンカーは、アンカー頭部、引張り部、アンカー体からなり、PC鋼線、鋼材、グラウト等の種々の材料が組み合わされた複雑な構造であるとともに、数百kNの緊張力が常時載荷された状態で保持され、そのほとんどが地盤内に埋設されているため、そのメカニズムを明らかにするには、各材料に対する問題だけを扱うのではなく、地盤と材料との相互作用を含む複雑な問題として取り扱う必要がある構造物と考えられる。

現在、各方面で既存施設の長寿命化に向けた取り組みが行われているものの、アンカーにおいてはほとんどが地盤内に存在するため、施工された地盤内の状況、あるいはアンカー施工付近の地質、地下水等の状況を明確に特定することが難しく、橋梁などのように主に外観からの点検に基づきその健全性を把握することが困難な構造物である。アンカーは大きな緊張力が常時作用しており、外観に問題が見られない場合でも、過緊張等によるテンドンへの負荷の増加や、テンドンの腐食等による断面欠損により、アンカーが損傷し破断することがあり、この破断によってアンカー頭部や受圧板の落下、テンドンの飛出しが発生し、第三者に対して大きな危険を及ぼす可能性が考えられる。これらの点を考慮に入れると、アンカーは適切な維持管理が必要な構造物であるといえる。日本におけるアンカーの維持管理に対し、2008年に土木研究所、日本アンカー協会の共著で「グラウンドアンカー維持管理マニュアル」が発刊された。その中では主にアンカー材料を対象にアンカーの維持管理の必要性が示され、アンカーの耐久性に問題が見られる前に適切な対応を図り、アンカーの長寿命化につなげるための点検、健全性調査、対策について述べられている。アンカーは抑止効果を発揮するためのり面に多数施工され、これら施工された個々のアンカーの緊張力がのり面全体で作用し安定性を保つ機構となっている。このため、維持管理を考える上で、個々のアンカーの材料としての健全性の評価とあわせ、アンカーが施工されたのり面に対する健全性を評価することも必要である。

アンカーが施工されたのり面の健全性の評価においては、のり面の安定性を保

持するために導入されている残存引張り力を指標とした評価が必要である。のり面に施工されたアンカーの緊張力は施工時から一定で一様な値を示すものではなく、施工されている背面等の地山状況を反映して個々のアンカーの緊張力は変化する。例えば、地すべり挙動の顕在化により背面地山に動きが見られた場合には、アンカーへの負担が増えるため緊張力は増加する。また、安定した地山の場合には、地盤のクリープ、引張り材のリラクセーションの影響に加え、アンカーが施工された背面地山の風化程度に依存した緊張力の低下が見られる。このように、のり面に施工された各アンカーが示す緊張力は、背面地山の状況を反映するセンサーとしての機能を有しており、SAAM システムを用いた面的調査によって残存引張り力の分布を求めることは、背面の地山状況を推定する上で有効なデータとなると考えられる。また、SAAM システムは荷重管理を行いながら必要な箇所に荷重計等のモニタリング機器を設置することが可能で、地山の変状状況を判定するためのモニタリング調査に対しても有効に利用できる。小型・軽量の SAAM ジャッキを用いた SAAM システムは、ほとんどのタイプのアンカーに対し調査を行うことが可能で、今後のアンカーの長寿命化に向けた維持管理を進める上で、有効な調査手法の一つであると考えている。

ところで、SAAM システムによる面的調査から求まる残存引張り力の分布調査は、のり面のアンカー緊張力を 2 次元で捉えることが可能であるが、これに加え施工されたアンカー長、定着位置、並びに現地での各種調査・観測等の各種データと組み合わせた総合的な判断を行う事で、背面地山状況を含めた 3 次元として取り扱うことができる可能性を有していると考えられる。今後はアンカーが施工された周辺の地形・地質等を考慮に入れた 3 次元的な健全性評価手法の進展が課題であり、アンカーの長寿命化に向けた維持管理の取り組みが進展する中で、多方面からアンカーに対する調査・研究の取り組みが行われ、維持管理における適切な手法がさらに進展していくことを期待したい。

本マニュアルは、SAAM システムを用いたアンカーのり面に対する数多くの調査・研究結果を取りまとめたものである。現在までの調査・研究を進めてきた中で、アンカーの維持管理において種々の課題が明らかとなっており、今後の適切な維持管理を進展させる上で必要と考えられる課題について下記に示す。

- ①現在まで調査を実施してきている中、多くの現場において設計・施工時の資料が残されておらず、得られた調査データと施工時の状況との比較が行えない場合が数多くある。アンカーの施工においては、待ち受け効果を期待して設計アンカー力より低い緊張力で定着が行われている場合もあり、定着時の緊張力が不明の場合には施工時からどの程度緊張力が変化したか判断が行えず、現在のアンカー状況を適切に評価することが難しい。また、場合によっては設計時と施工時でアンカーの規格やアンカーの配置が異なっている場合もある。このため、アンカーの維持管理を行う上で、設計・施工時の既存資料の存在は極めて重要で、特にアンカー規格、アンカー長、定着長、設計アンカー力、定

着時緊張力等のデータは，長期にわたって確実に保存できる方策を考える必要がある．

- ②アンカーの施工に当たっては足場等により安全に施工が行われているものの，完成後には足場等は撤去され，小段や管理用施設のない長大なり面にアンカーのみが施工された状態となっている現場が存在する．このような維持管理に対する配慮がなされていない現場においては，アンカーに近接して点検・調査を実施することが困難な場合がある．今後適切な維持管理を進めるためには，小段あるいは点検用施設等の設置を含めた安全な点検・調査が行えることに配慮した維持管理手法を，あらかじめ設計・施工時に考慮しておくことが必要である．また，アンカーには多くのタイプが存在し，調査の実施にあたってアンカータイプ毎にアタッチメントを準備する必要があり，点検・調査を実施する上で極めて煩雑となる．このため，今後の適切な維持管理を進める上で，ある程度のアンカー規格の共通化が進むことが望まれる．
- ③点検・調査が不十分で地山変状等によりアンカーに過度の負担がかかり，降伏荷重を超えるような過緊張状態となるまで放置されたアンカーは，リフトオフ試験により残存引張り力を求めることが出来ず，アンカーのり面の状況を的確に評価することが難しい．降伏荷重を超えるような過緊張アンカーにおいては，場合によっては破断が発生し，アンカー頭部あるいは受圧板の落下，テンドンの飛び出しによる第三者への被害に繋がる可能性が考えられる．アンカーの長寿命化に向けては，アンカー緊張力の調査および点検を必要に応じて定期的の実施することでアンカー状況を把握し，過度の過緊張とならないよう維持管理を行っていくことが必要であると考えられる．

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)
ー地質から見た「アンカーのり面の評価」に向けてー

平成 30 年 1 月 31 日 初版第 1 版発行

【編集・発行】 合同会社アンカーアセットマネジメント研究会

〒514-0004

三重県津市栄町 2-418

TEL:050-3634-5481 研究会事務局 saam-info@saam.jp

【印刷】 合資会社 黒川印刷

- 無断で転載，複写することを禁じます。
- 本書中での，仕様・規格等について，予告なく変更する場合があります。