

(別紙2)

建設技術研究開発費補助金総合研究報告書

1. 課題番号 第41号
2. 研究課題名 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
3. 研究期間 平成20年度-平成21年度
4. 代表者及び研究代表者、分担研究者

代表者	酒井俊典	三重大学大学院生物資源学研究科教授
研究代表者	酒井俊典	三重大学大学院生物資源学研究科教授
分担研究者	川畑大作	(独)産業技術総合研究所地質情報研究部門情報地質グループ主任研究員
分担研究者	常川善弘	(株)相愛 主任研究員
分担研究者	山本高司	川崎地質(株) 事業本部技術統括部地盤部長
分担研究者	工藤康雅	北海道土質コンサルタント(株) 技術部取締役統括技師長
分担研究者	後藤祐二	日本地研(株) 技術2部次長

5. 補助金交付総額 30,810千円

6. 研究・技術開発の目的

安全で快適な社会・経済活動を維持するため、既存施設を有効かつ長期的に利用できる事が重要である。この中で、グラウンドアンカーは、のり面や擁壁の安定性の確保、地すべり防止等の有効な工法として広く利用されてきた重要な社会資本である。現在、既存施設の維持管理の必要性が求められる中、アンカーのり面の健全度評価に必要な残存引張り力の調査は、アンカーの5~10%程度しか実施されていない。しかし、このような従来の方法によるアンカーの健全性評価は、調査カ所が限定されるとともに、明確に調査が必要なアンカーの特定が行えず、適切な維持管理を行う上で十分とは言えない。そこで、これらの問題に対し、従来のセンターホール型ジャッキに比べ大幅に小型・軽量化を図り、迅速に数多くのアンカーに対しリフトオフ試験が実施できるSAAMジャッキを開発し、簡便にのり面の面的な緊張力分布を明らかにできるようになった。本研究開発では、SAAMジャッキによりアンカーのり面の残存引張り力を面的に求め、のり面の残存引張り力分布と地質状況などから緊張力変化を検討し、その結果を基にアンカーのり面の効果的な健全性評価手法の提案を行うことを目的とする。

本研究開発により、既設アンカーのり面に対する安全かつ経済的で効率的な維持管理手法を提案し、これにより対策必要個所を特定できるようになることで、アンカーのり面の維持管理を飛躍的に進歩させ、国民の安全で快適な社会・経済活動維持に大きく寄与できると考える。

7. 研究・技術開発の内容と成果

7.1 委員会の開催

研究開発にあたり，フィールド実証実験ワーキング，データベースワーキング，解析ワーキングの3つのワーキングを立ち上げ，これらのワーキングでの研究成果を，アンカーに関する専門的知識を有する，大学，研究機関，道路等管理者，アンカー材料メーカ，アンカー施工業者の各方面の委員によって構成された委員会において幅広く検討を行った．委員会は，平成20年度に2回，平成21年度に3回開催した．委員会の開催日を表7.1.1に、委員会のメンバーを表7.1.2に示す．

表7.1.1 委員会の開催日

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開発のための検討委員会

日付	会議名	概要	開催場所	時間	参加人数
2008年10月2日	平成20年度第1回委員会	平成20年度研究計画	三重・三重大学	14:00~16:00	22
2009年3月17日	平成20年度第2回委員会	平成20年度研究報告・平成21年度計画案	東京・榊エスイー	14:00~17:00	21
2009年7月10日	平成21年度第1回委員会	平成20年度成果報告・平成21年度研究開発計画	東京・榊エスイー	10:00~12:00	19
2010年1月20日	平成21年度第2回委員会	平成21年度中間報告・面的調査マニュアル案	東京・ストーク新宿	13:40~17:00	18
2010年3月2日	平成21年度第3回委員会	平成20.21年度成果報告・面的調査マニュアル	東京・中央区立産業会館	13:30~17:00	19

(別紙2)

表 7.1.2 委員会のメンバー

H20年度 委員会メンバー

委員会委員

氏名	所属	部署名	役職
酒井 俊典*	三重大学大学院	生物資源学研究所	教授
高木 方隆	高知工科大学	工学部社会システム工学科	教授
永野 正展	高知工科大学(株式会社相愛)	社会マネジメント研究所	特任教授
小橋 秀俊	(独)土木研究所	技術推進本部施工技術チーム	上席研究員
佐々木 靖人	(独)土木研究所	材料地盤研究グループ(地質)	上席研究員
川本 治	(独)農村工学研究所	農村総合研究部広域防災研究チーム	チーム長
斎藤 真	(独)産業技術総合研究所	地質情報研究部門統合地質情報研究グループ	主任研究員
川畑 大作*	(独)産業技術総合研究所	地質情報研究部門統合地質情報研究グループ	研究員
竹本 将	株式会社高速道路総合技術研究所	道路研究部土工研究室	主任研究員
榊原 和成	中日本高速道路株式会社名古屋支社	技術検査部技術企画チーム	チーム長
土屋 彰義	(社)全国地質調査業協会連合会		技術部長
小野 誠	株式会社相愛	アンカーメンテナンス事業部	プロジェクト推進責任者
常川 善弘*	株式会社相愛(三重大学大学院生)	アンカーメンテナンス事業部	主任技師
山本 高司*	川崎地質株式会社	事業本部	ジオ技術部長
工藤 康雅*	北海道土質コンサルタント株式会社	技術部	取締役統括技師長
後藤 祐二*	日本地研株式会社	技術2部	次長
三上 登	日特建設株式会社	技術本部技術開発グループ	次長
竹家 宏治	株式会社エスイー	事業統轄本部営業技術部	課長

委員長

委員会オブザーバー

氏名	所属	部署名	役職
鈴木 規生	中日本高速道路株式会社名古屋支社	保全・サービス事業部保全チーム	保全チームサブリーダー
高松 大輔	中日本高速道路株式会社名古屋支社	保全・サービス事業部保全チーム	
青砥 澄夫	川崎地質株式会社	技術本部	副本部長
福田 雄治	株式会社相愛	事業本部	プロジェクトマネージャー
田口 浩史*	日本地研株式会社	技術2部	課長
甲木 善徳*	日本地研株式会社	技術一部	課長

平成21年01月15日現在

*:申請者

H21年度 委員会メンバー

委員会委員

氏名	所属	部署名	役職
酒井 俊典*	三重大学大学院	生物資源学研究所	教授
高木 方隆	高知工科大学	工学部社会システム工学科	教授
永野 正展	高知工科大学(株式会社相愛)	社会マネジメント研究所	特任教授
小橋 秀俊	(独)土木研究所	技術推進本部施工技術チーム	上席研究員
佐々木 靖人	(独)土木研究所	材料地盤研究グループ(地質)	上席研究員
川本 治	(独)農村工学研究所	農村総合研究部広域防災研究チーム	チーム長
斎藤 真	(独)産業技術総合研究所	地質情報研究部門シームレス地質情報研究グループ	グループ長
川畑 大作*	(独)産業技術総合研究所	地質情報研究部門情報地質研究グループ	主任研究員
竹本 将	株式会社高速道路総合技術研究所	道路研究部土工研究室	主任研究員
榊原 和成	中日本高速道路株式会社名古屋支社	技術検査部技術企画チーム	チーム長
土屋 彰義	(社)全国地質調査業協会連合会		技術部長
小野 誠	株式会社相愛	アンカーメンテナンス事業部	プロジェクト推進責任者
常川 善弘*	株式会社相愛(三重大学大学院生)	アンカーメンテナンス事業部	主任研究員
山本 高司*	川崎地質株式会社	事業本部技術統括部	地盤部長
工藤 康雅*	北海道土質コンサルタント株式会社	技術部	取締役統括技師長
後藤 祐二*	日本地研株式会社	技術2部	次長
三上 登	日特建設株式会社	技術本部技術営業グループ	部長
竹家 宏治	株式会社エスイー	営業統括本部環境・防災製品部	課長

委員長

オブザーバー

青砥 澄夫	川崎地質株式会社	技術本部	本部長
高梨 俊行	川崎地質株式会社	技術本部	課長
福田 雄治	株式会社相愛	事業本部	プロジェクトマネージャー
田口 浩史	日本地研株式会社	技術2部	課長
甲木 善徳	日本地研株式会社	技術一部	課長
石崎 清隆	中日本高速道路株式会社名古屋支社	保全サービス事業部保全チーム	サブリーダー
高松 大輔	中日本高速道路株式会社名古屋支社	保全サービス事業部保全チーム	
三谷 浩二	西日本高速道路エンジニアリング四国株式会社	事業推進部	部長

*:申請者

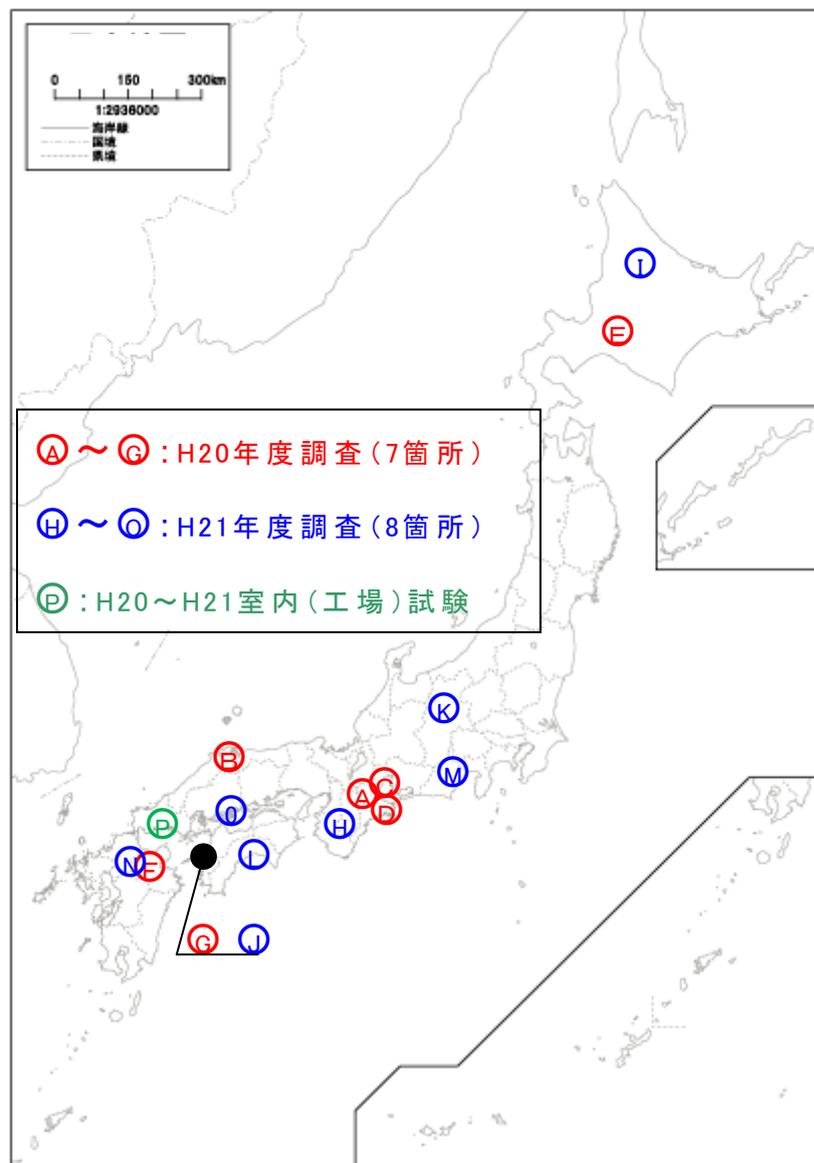
7.2 研究成果

本研究開発による研究成果は大きく下記の11項目に分けられる。

7.2.1 フィールド実証実験（アンカー残存引張り力の面的調査）

アンカー残存緊張力の面的調査は※G地点（H20年度）・J地点（H21年度）は同現場
図7.2.1.1に示す，平成20年度は7カ所，平成21年度には8カ所の合計15箇所を実施した。面的調査の結果，のり面の緊張力は一様な分布を示さないこと，アンカー緊張力の変化は背面の地質状況等に関係することを明らかにした。また，平成20年度，平成21年度に1回ずつ，リフトオフ試験特性等の確認のため，室内（工場）試験を実施した。

調査地区の状況及び調査結果を表7.2.1.1および表7.2.1.2～表7.2.1.5に示す。



※G地点（H20年度）・J地点（H21年度）は同現場

図7.2.1.1 試験実施箇所一覧

表 7.2.1.1.1 H20-H21フイールド実証実験一覧表

調査年度	No	地点	地区	試験本数 /施工本数	地質	試験内容	アンカー種類	使用ジャッキ	施工年度/ リフトオフ試験年月
H20	1	A 地点	中部地区	12本/33本 (36.4%)	花崗岩	くさび型アンカーリフトオフ試験 緊張力分布確認	EHD 5-3	SAAAMJ-F430	施工：平成 17 年度 試験：平成 20 年 7 月
	2	B 地点	中国地区	45本/243本 (18.5%)	泥岩	緊張力分布確認	SEEE F100UA SEEE F50UA SEEE F40UA	SAAAMJ-N1000 SAAAMJ-N 600 SAAAMJ-N 300	施工：平成 13 年度 試験：平成 20 年 9 月・10 月
	3	C 地点	中部地区	73本/75本 (97.3%)	砂岩/シルト岩	緊張力分布確認	SEEE F50TA	SAAAMJ-N 600	施工：平成 1~2 年度 試験：平成 20 年 10 月
	4	D 地点	中部地区	26本/48本 (54.2%)	黒色片岩 砂質片岩	くさび型アンカーリフトオフ試験 緊張力分布確認	VSL E5-2 EHD E5-3	SAAAMJ-F430	施工：平成 14・18 年度 試験：平成 20 年 10 月
	5	E 地点	北海道地区	37本/145本 (25.5%)	泥岩	緊張力分布確認	KTB K6-3H	SAAAMJ-N 600	施工：平成 18 年度 試験：平成 20 年 11 月
	6	F 地点	九州地区	30本/30本 (100%)	凝灰角礫岩	緊張力分布確認	SEEE F40UA	SAAAMJ-N 300	施工：平成 13 年度 試験：平成 20 年 12 月
	7	G 地点	四国地区	29本/47本 (61.7%)	結晶片岩	緊張力分布確認 緊張力の経時観測	KTB K6-3H	SAAAMJ-N 600 SAAAMJ-N 1000	施工：平成 20 年度 (施工中) 試験：H20 年 12 月 - 平成 21 年 5 月
H21	1	H 地点	近畿地区	42本/185本 (22.7%)	結晶片岩	緊張力分布確認	KTB K5-3H	SAAAMJ-N 600	施工：平成 17 年度 試験：平成 21 年 10 月
	2	I 地点	北海道地区	53本/53本 (100%)	泥岩	緊張力分布確認	SEEE F70TA SEEE F40TA	SAAAMJ-N300 SAAAMJ-N600	施工：平成 13 年度 試験：平成 21 年 12 月
	3	J 地点	四国地区	47本/47本 (100%)	結晶片岩	新規施工後の緊張力分布確認	KTB K6-3H	SAAAMJ-N600	施工：平成 20 年度 試験：平成 21 年 10 月
	4	K 地点	中部地区	55本/158本 (34.8%)	砂岩頁岩	くさび型アンカーリフトオフ試験 緊張力分布確認 増し打ちアンカーの効果判定	VSLE5-3, VSL5-5 EHD4-3, EHD4-4	SAAAMJ-N600	施工：平成 15 年度 試験：平成 21 年 9 月
	5	L 地点	四国地区	80本/242本 (33.1%)	砂岩泥岩	緊張力分布確認 増し打ちアンカーの効果判定	SEEE F70TA SEEE F130TA	SAAAMJ-N600 SAAAMJ-N1000	施工：平成 9 年度 試験：平成 21 年 10 月
	6	M 地点	東海地区	49本/408本 (10.0%)	砂岩泥岩	緊張力分布確認 荷重計値との比較	SEEE F160MA SEEE F130MA SFL-2・SFL-3	SAAAMJ-N600 SAAAMJ-N1000	施工：平成 20 年度 試験：平成 21 年 11 月
	7	N 地点	九州地区	23本/61本 (37.7%)	泥質片岩	緊張力分布確認 増し打ちアンカーの効果判定	SEEE F50TA	SAAAMJ-N600	施工：不明 試験：平成 21 年 12 月
	8	O 地点	中国地区	70本/171本 (41.5%)	泥質片岩	緊張力分布確認 増し打ちアンカーの効果判定	SEEE F100TA	SAAAMJ-N1000	施工：平成 6-7 年度 試験：平成 22 年 2 月

※H20-H21 年度 株式会社エスイー山口工場（参照：図 7.1.1.1 の P 地点）にて、室内試験を実施。

表7.2.1.2 H20-H21フィールド実証実験（調査地点別 調査結果概要-①）

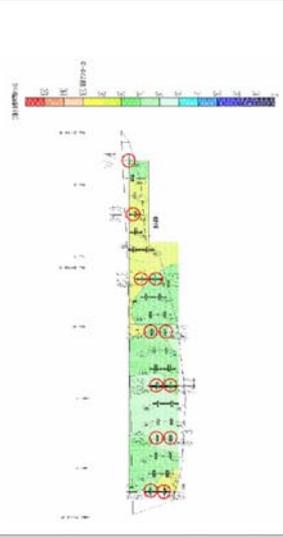
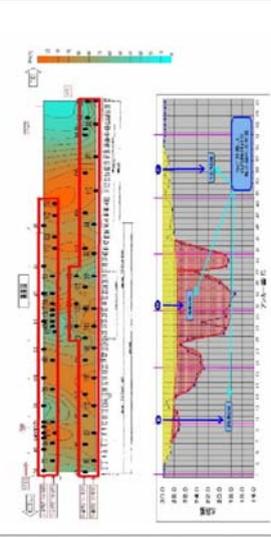
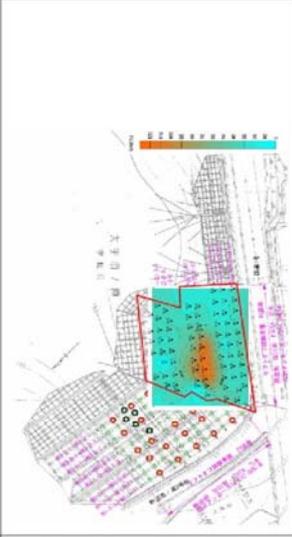
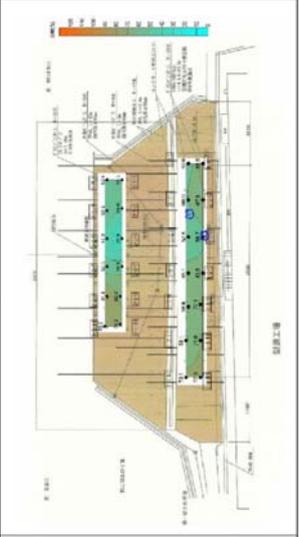
<p>地点：A地点 地区：中部地区 調査時期：H20年7月 地質：花崗岩 試験本数：12本/33本 (36.4%) アンカー種類：EHD 5-3 使用ジャッキ：SAAMJ-F430</p>			
<p>地点：B地点 地区：中国地区 調査時期：H20年9・10月 地質：泥岩 試験本数：45本/243本 (18.5%) アンカー種類：SEEE F100UA, 50UA, 40UA 使用ジャッキ：SAAMJ-N1000, N600</p>			
<p>地点：C地点 地区：中部地区 調査時期：H20年10月 地質：砂岩/シルト岩 試験本数：73本/75本 (97.3%) アンカー種類：SEEE 50TA 使用ジャッキ：SAAMJ-N600</p>			
<p>地点：D地点 地区：中部地区 調査時期：H20年10月 地質：黒色片岩、砂質片岩 試験本数：26本/48本 (54.2%) アンカー種類：EHD 5-3, VSL E5-2 使用ジャッキ：SAAMJ-F430</p>			

表7.2.1.3 H20-H21フィールド実証実験（調査地点別 調査結果概要②）

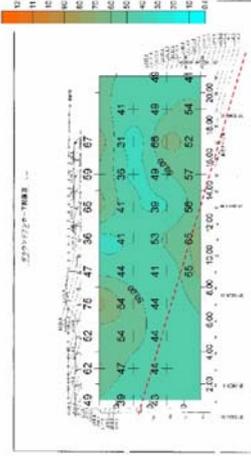
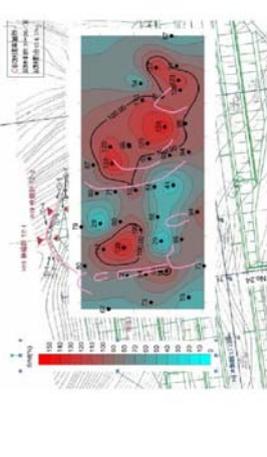
<p>地点：E地点 地区：北海道地区 調査時期：H20年11月 地質：泥岩 試験本数：37本/145本 (25.5%) アンカー種類：KTB K6-3H 使用ジャッキ：SAAMJ-N600</p>			
<p>地点：F地点 地区：九州地区 調査時期：H20年12月 地質：凝灰角礫岩 試験本数：30本/30本 (100%) アンカー種類：SEEE F400A 使用ジャッキ：SAAMJ-N300</p>			 <p>7ヶ所対象のり面の各測点大写真</p>
<p>地点：G地点 地区：四国地区 調査時期：H20年12月-H21年5月 地質：結晶片岩 試験本数：29本/47本 (61.7%) アンカー種類：KTB K6-3H 使用ジャッキ：SAAMJ-N600, N1000</p>			
<p>地点：H地点 地区：近畿地区 調査時期：H21年10月 地質：結晶片岩 試験本数：42本/185本 (22.7%) アンカー種類：KTB K5-3H 使用ジャッキ：SAAMJ-N600</p>			

表7.2.1.4 H20-H21フィールド実証実験（調査地点別 調査結果概要-③）

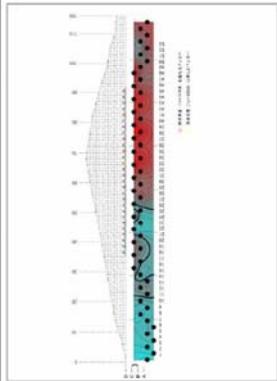
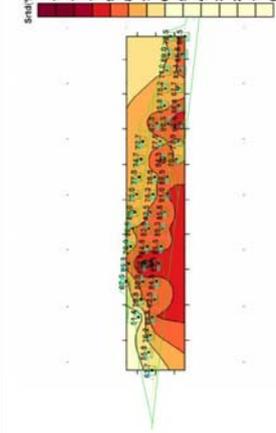
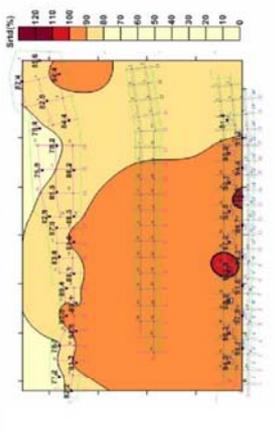
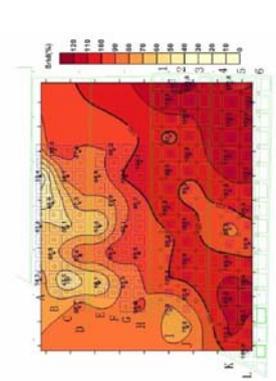
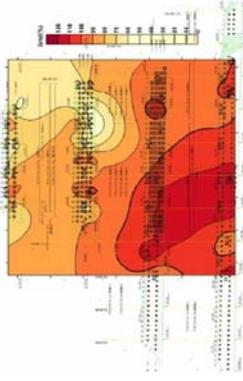
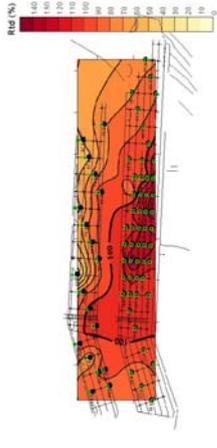
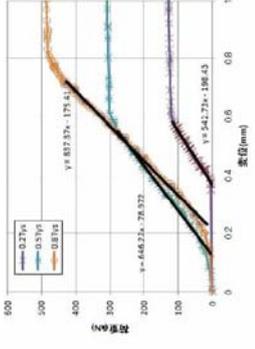
<p>地点：I地点 地区：北海道地区 調査時期：H21年12月 地質：泥岩 試験本数：53本/53本 (100.0%) アンカー種類：SEE F50UA、40UA 使用ジャッキ：SAAMJ-N600</p>			
<p>地点：J地点 地区：四国地区 調査時期：H21年10月 地質：結晶片岩 試験本数：47本/47本 (100%) アンカー種類：KTB K6-3H 使用ジャッキ：SAAMJ-N600</p>			
<p>地点：K地点 地区：中部地区 調査時期：H21年9月 地質：砂岩頁岩 試験本数：55本/158本 (34.8%) アンカー種類：EHD4-3、4-4、 VSLE5-3、5-5 使用ジャッキ：SAAMJ-N600</p>			
<p>地点：L地点 地区：四国地区 調査時期：H21年10月 地質：砂岩泥岩 試験本数：80本/242本 (33.1%) アンカー種類：SEE F70TA、I30TA 使用ジャッキ：SAAMJ-N600、N1000</p>			

表7.2.1.5 H20-H21フィールド実証実験（調査地点別 調査結果概要-④）

<p>地点：M地点 地区：東海地区 調査時期：H21年10月 地質：砂岩泥岩 試験本数：41本/408本 (10.0%) アンカー種類：SEEE 50TA 使用ジャッキ：SAAMJ-N600</p>			
<p>地点：N地点 地区：九州地区 調査時期：H21年12月 地質：泥質片岩 試験本数：23本/61本 (37.7%) アンカー種類：SEEE 50TA 使用ジャッキ：SAAMJ-N600</p>			
<p>地点：O地点 地区：中国地区 調査時期：H22年2月 地質：泥質片岩 試験本数：70本/171本 (41.5%) アンカー種類：SEEE F100TA 使用ジャッキ：SAAMJ-N1000</p>			
<p>地点：P地点 地区：中国地区 試験時期：H21年9月, H21年10月 室内（工場試験） アンカー種類：SEEE F20UA、70UA、100UA、SFL-3 使用ジャッキ：SAAMJ-N1000, N600, N300</p>			 <p>図-4 F70UAのリフトオフ試験結果</p>

(別紙2)

7.2.2 データベース項目の絞り込み

面的調査を行った結果をデータベースとして纏めるため、リフトオフ試験時の現状点検、アンカー頭部点検、リフトオフ試験結果について、データベースとして利用する項目の絞り込みを行った。

(1) 現状点検

現状点検は、現場試験に先立つ事前調査で、①既存資料調査および②現地確認であり、面的調査計画に必要な現状調査項目として表7.2.2.1があげられる。

表7.2.2.1 現状点検調査項目

	項目	内容
現状調査項目	土工・構造物情報	斜面形状・構造物形状・地形地質情報等
	アンカー情報	アンカーの配列、アンカー本数、アンカー工法(規格)、自由長、定着長、設計アンカー力、定着時緊張力、受圧版形状等
	保全対象評価情報	動態観測データ(荷重計・動態観測等)、道路防災総点検結果、補修履歴情報等
	その他	現地作業に関する情報(伐採、作業用の駐車場、搬入路等作業経路、通行規制等)

既存資料調査項目として表7.2.2.2に関する資料を可能な範囲で収集する。

表7.2.2.2 既存資料調査項目

項目	内容
調査記録	変状履歴の有無、地形地質概要(走向・傾斜)・ボーリングデータ、すべり面、地下水位等
設計条件	計画安全率、必要抑止力、計画水位、定着層、周面摩擦抵抗 τ 、工法・材料規格等
施工記録	品質保証試験、定着荷重、状況写真等
維持管理記録	対策工記録、点検記録、変状履歴の有無等

(別紙2)

現地確認においては、既存資料調査と現場状況が一致しない場合があるため、必ず現地確認を行う。現地確認では、少なくとも1箇所はアンカーキャップを取り外し、アンカー頭部確認を行い、アンカー種類・規格、アタッチメント・ジャッキの設置の可否の確認を行う。また、アンカータイプが複数ある場合は、少なくともそれぞれ1箇所のアンカー頭部確認を同様に行う。表7.2.2.3に現地確認項目を示す。

表7.2.2.3 現地確認項目

項目	内容
切土のり面に関する情報	斜面の勾配・高さ・向き・付帯構造物（擁壁等）の形式・寸法，クラック，湧水等
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，荷重計等
保全対象に関する情報	その他観測機器，安全対策を必要とする保全対象等
その他	伐採，作業用の駐車場，搬入路等作業経路，通行規制等

(2)アンカー頭部確認

アンカー頭部確認は、面的調査のリフトオフ試験の前に実施し、アンカーキャップを取り外して目視でアンカー頭部の状況確認を行うもので、点検項目として表7.2.2.4があげられる。

表7.2.2.4 アンカー頭部点検項目

	点検項目	記録
頭部キャップ 取り外し前	<ul style="list-style-type: none"> ・アンカーキャップの浮き出し・損傷の有無 ・受け台（のり枠，独立受圧版等）の損傷・亀裂の有無 ・防錆油の染み出しの有無，湧水の有無 ・支圧板のずれ等の有無 	状況写真 記事
頭部キャップ 取り外し後	<ul style="list-style-type: none"> ・防錆油の充填・変質の有無 ・湧水・錆汁の有無 	状況写真 記事
防錆油 ふき取り後	<ul style="list-style-type: none"> ・アンカーヘッドの浮き出し・損傷・錆の有無 ・ナット/PC鋼より線・くさびの損傷・錆の有無 ・ナット・さびの浮き出し・くさびの沈み込みの有無 ・アタッチメント設置部の確認（ネジ部の損傷の有無，余長の計測） ・ジャッキ・ラムチェアー設置部の確認（支圧板の寸法，角度，その他付帯構造物のジャッキへの接触の有無） 	状況写真 記事
リフトオフ試験 中	その他，リフトオフ試験中の湧水の有無，リフトオフ試験後のアンカーヘッドのずれ等，アンカーの頭部状況に変化がある場合は，別途追記	状況写真 記事
リフトオフ試験 後		

(別紙2)

(3) リフトオフ試験結果

リフトオフ試験結果に基づき，表7.2.2.5の項目についてデータ整理を行う。

表7.2.2.5 リフトオフ試験結果データ整理項目

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 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，残留変位，試験最大荷重等，変位－荷重曲線，測定野帳等

7.2.3 面的調査実施における試験アンカー位置の選定

(1)はじめに

SAAMジャッキによる既設アンカーの残存引張力の面的な分布を求める場合、のり面に施工された既設アンカー全てを調査するには多大な時間と手間がかかる。そこで、全調査を行った法面を対象に、調査アンカーの間引きによる調査の信頼性について検討を行い、どのような調査を行うことで効率よく法面の健全度評価が行えるのかについて考察を行った。

(2)調査方法

法枠工に75本のアンカーが設置されているのり面を対象に調査を実施した。施工されているアンカーは、エスイーアンカーF50TAで、設計アンカー力は260kNで、リフトオフ試験は、全75本のアンカーのうち試験が実施できなかった2本を除く、73本についてSAAMジャッキを用いて行った。なお、ここでの残存緊張力は、一般に用いられているリフトオフ試験で求まる荷重-変位関係において、リフトオフ前後の直線の交点から求まる値とした。

(3)調査結果

図7.2.3.1に全調査の結果を示す。本地点における設計アンカー力260kN対し、法面の緊張力分布を見ると、中央部付近では残存緊張力が300kN以上で、設計アンカー力を120%超えた過緊張の領域が存在する。また、その他の領域は90kN程度以下で、設計アンカー力に対し40%以下の分布となっている。このように、本法面では残存緊張力が一様な分布を示さないことが判る。

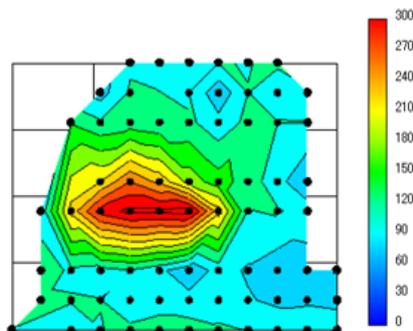


図7.2.3.1 全数調査の結果

次に、全数調査の結果を基に様々な間引き方法における分布図を求め、全数調査との比較から調査の信頼性について検討を行った。調査は、全数に対し1/2程度、1/3程度、1/4程度を対象に、種々の調査位置について検討を行った。なお、図中の黒点は調査対象とするアンカーを示す。

a) 1/2程度の調査

図7.2.3.2に1/2程度の調査の結果を示す。調査は、1列おき、1段おき、交互1、交互2について行った。その結果、1列おき調査と1段おき調査は分布傾向に違いがみられ、列、段を飛ばす調査地点の選定を行った場合、全数調査の分布と異なることが考えられる。これに対し列、段の飛びがない交互調査では、パターン1、パターン2ともに全調査とほぼ等しい分布を示す。

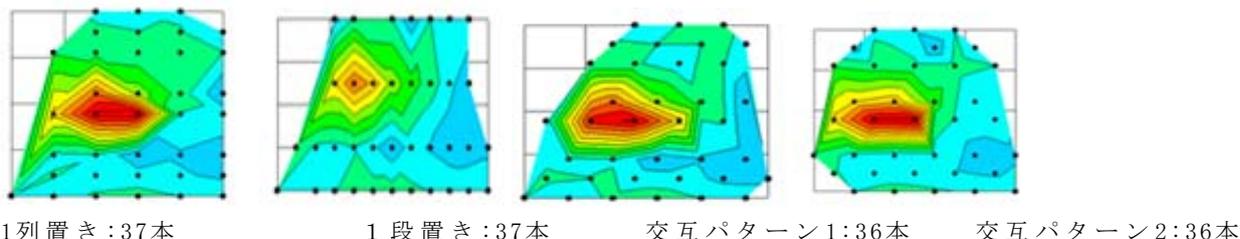


図7.2.3.2 1/2程度の調査

b) 1/3程度の調査

図7.2.3.3に1/3程度の調査結果を示す。調査は、2列おき、2段おき、右斜め2段飛ばし、左斜め2段飛ばしについて行った、その結果、2段おき調査および2列おき調査においては分布傾向に違いが見られ、1/2程度の調査と同様、列、段を飛ばす調査地点の選定には問題があると考えられる。これに対し、列、段に飛びがない斜め調査では、ある程度法面における過緊張の領域ある程度特定することが可能であると考えられる。

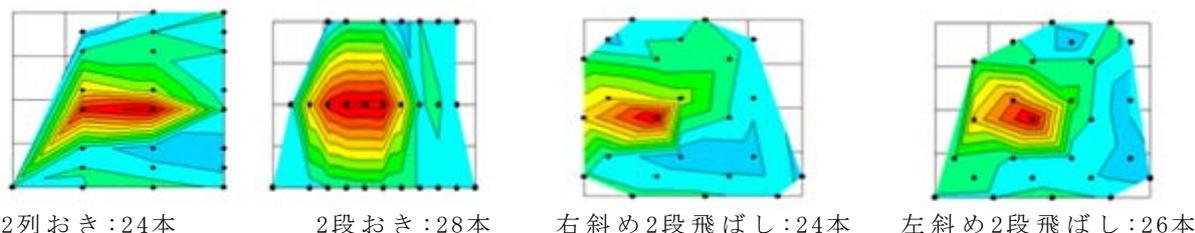


図7.2.3.3 1/3程度の調査

c) 1/4程度以下の調査

図7.2.3.4に1/4程度以下の調査結果を示す。調査は、交互1列飛ばし、交互1段飛ばし、右斜め3段飛ばし、左斜め3段飛ばし、交互2列飛ばし、交互2段飛ばしについて行った。その結果、列、段を飛ばす、交互1列飛ばし、交互1段飛ばし、交互2列飛ばし、交互2段飛ばしの各調査を選定した場合、分布傾向に違いが見られ問題があると考えられる。しかし、列、段の飛びがない右斜め3段飛ばし、左斜め3段飛ばしの調査を選定することで、法面における過緊張領域をある程度特定することが可能であると考えられる。

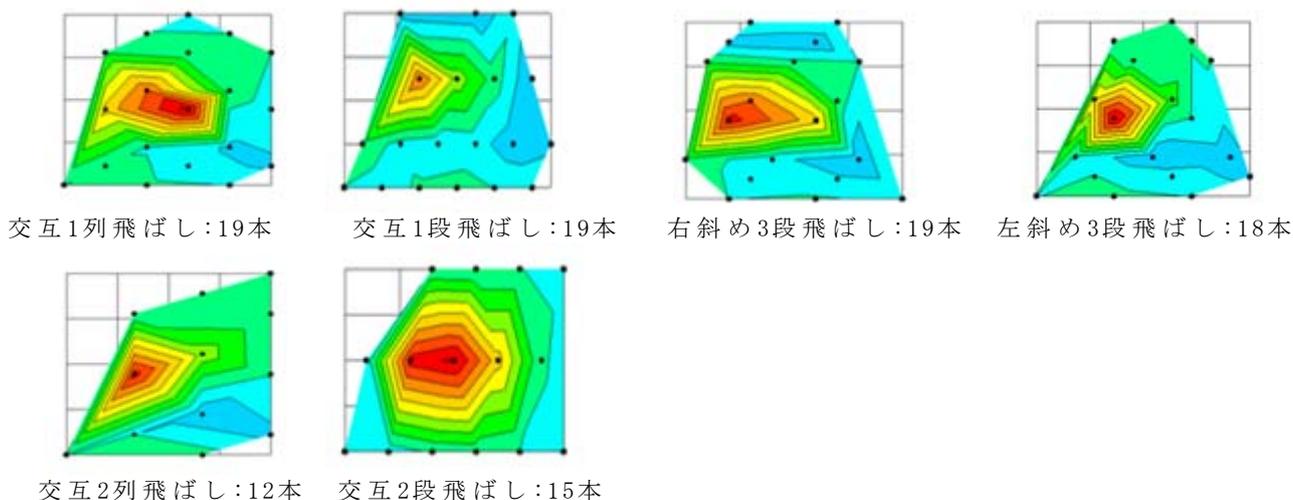


図7.2.3.4 1/4程度の調査

(4) おわりに

全調査を行った法面を取り上げ、その結果を基に、調査地点の間引き方法による調査の信頼性について検討を行った。その結果、半数調査を行った場合でも、列、段を飛ばす調査を行った場合、実際の分布傾向と異なる傾向を示す可能性が明らかとなった。半数調査の場合、列、段に飛びがない交互調査を行うことで、全数調査とほぼ一致する分布傾向が得られることが明らかとなった。また、全数の1/3あるいは1/4程度の調査数であっても、列、段に飛びがない調査位置を選定することで、法面における過緊張領域をある程度特定することが可能であると考えられる。実際の調査では、1/3あるいは1/4程度のアンカーを対象に、列、段に飛びがない調査を実施し、まず問題のある領域の特定を行った上で、問題のある領域を中心に詳細な調査を実施することが効果的であると考えられる。

(別紙2)

7.2.4 既設グラウンドアンカーのリフトオフ荷重と残存引張り力の関係

(1)はじめに

リフトオフ試験は、リフトオフ試験用ジャッキによって求まる荷重とアンカー緊張力が釣合った状態であることを考慮して残存引張り力を求める試験で、試験時の荷重－変位関係から求まるリフトオフ前後の近似直線の交点から求めるとされている。しかし、実際にリフトオフ試験を実施した場合、アンカー頭部が浮きあがるリフトオフ時の荷重と、リフトオフ前後の近似直線の交点から求まる残存引張り力とは一致しない場合が存在する。そこで、実際に試験時に確認したリフトオフ時の荷重と、従来の2直線の交点から求まる残存引張り力との関係について検討を行うとともに、アンカーに設置されたロードセルによって計測された荷重を求め、既設アンカーで発揮される緊張力について検討を行った。

(2)試験方法

リフトオフ試験は、図7.2.4.1に示すスーパーフローテックアンカーおよびエスイーアンカーが施工された2地点のアンカーを対象に行った。A地点のスーパーフローテックアンカーは、設計アンカー力940kNのSFL-6で、B地点のエスイーアンカーは、設計アンカー力498kNのF100UAである。両アンカーの施工時期は、A地点は平成19年、B地点は平成12年で、両地点の背面地質はそれぞれ、A地点は泥岩および砂岩、B地点は泥岩である。また、両アンカーにはロードセル（A地点：共和電業製、B地点：東京測器製）が設置されており、アンカー緊張力の経時観測が行われている。リフトオフ試験は、小型・軽量のSAAMジャッキを使用してリフトオフ試験を行い、リフトオフに伴うアンカー変位、およびジャッキ荷重、並びにアンカーに設置されたロードセル荷重を求めた。



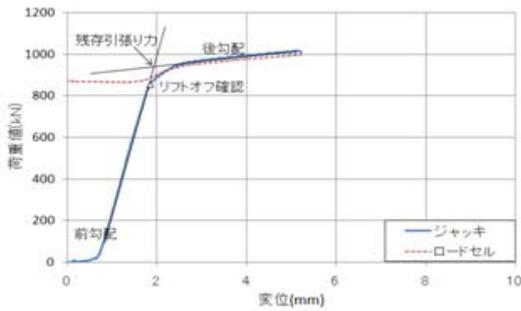
A地点の試験状況（スーパーフローテック） B地点の試験状況（エスイーアンカー）

図7.2.4.1 試験状況

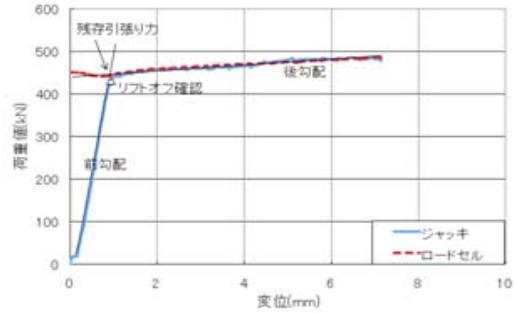
(3)試験結果

図7.2.4.2にA地点およびB地点におけるリフトオフ試験結果を示す。両者とも、リフトオフ試験に伴うリフトオフ後のロードセル荷重と、ジャッキにより求まる荷重はほぼ一致する。ところで、両者の荷重－変位関係を比較すると、リフトオフ前の前勾配部分の直線から、アンカー体の伸びに起因するリフトオフ後の後勾配部分の直線との間の曲線は、A地点のアンカーでは緩やかな曲線を描くのに対し、B地点のアンカーでは折れ曲がった曲線となっている。リフトオフ試験中に目視で確認したリフトオフは、両図に示した△付近であり、A地点のアンカーでは前勾配の直線から外れ始める点、B地点のアンカーでは曲線の折れ曲がり点とほぼ一致した。ところで、前勾配と後勾配で折れ曲がるB地点のアンカーは、残存緊張力とリフトオフ荷重との差は20kN程度であるものの、緩やかな曲線を示すA地点のアンカーでは、両者の差は85kNと大きくなる。この結果、残存引張り力と実際のリフトオフ時の荷重値とは一致しないものの、前勾配と後勾配で折れ曲がった荷重－変位関係を示す場合、残存引張り力とリフトオフ荷重との差は小さくなるものと考えられる。

(別紙2)



A地点のリフトオフ試験結果



B地点のリフトオフ試験結果

図7.2.4.2 リフトオフ試験結果とロードセル荷重値

(4)おわりに

既設グラウンドアンカーの緊張力について、リフトオフ前後の直線の交点から求まる残存引張り力と、リフトオフ前のロードセルによる荷重値、およびリフトオフを確認した時点のジャッキ荷重値との比較を行った結果、2直線の交点から求まる残存引張り力と実際のリフトオフ時の荷重値とは一致しないことが示された。しかし、前勾配と後勾配で折れ曲がる荷重-変位関係を示す場合、両者の差は小さいと考えられた。

7.2.5 グラウンドアンカー施工時の背面地盤への影響について

(1)はじめに

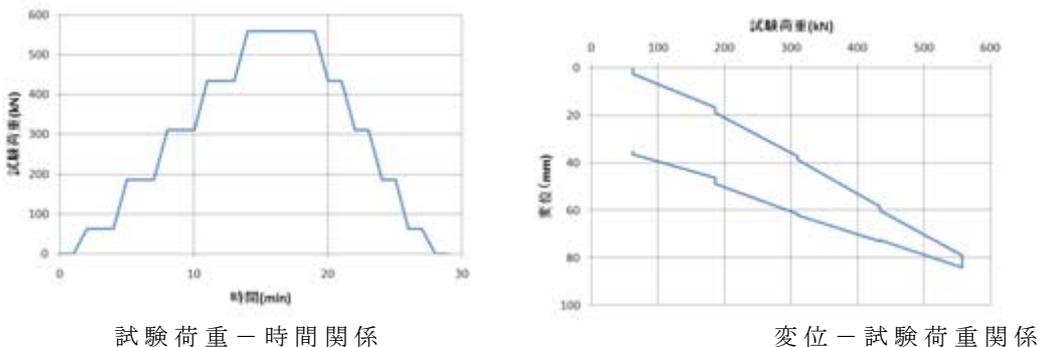
グラウンドアンカーは、アンカー緊張力を地盤に伝えることで、切土のり面の安定性の確保、あるいは地すべりの抑止工等に広く利用されている構造物である。のり面等の安定性を確保するためには、アンカー緊張力が適切に地盤に作用していることが重要である。このため、アンカーの設計および施工が適切であるか否かの確認のため、品質保証試験が行われる。品質保証試験では、所定の荷重まで載荷し、そのときの荷重-変位関係を求め、この結果を基に施工されたアンカーの評価を行っている。ところで、アンカーの施工にあたっては、アンカー緊張力の増大にともないアンカーの地盤への沈み込みが生じるため、アンカーの変位に伴う背面地盤への影響が考えられる。本論では、品質保証試験により得られた荷重-変位関係を基に、アンカーの地盤への沈み込みが背面地盤にどのような影響が生じるかを、ひずみ軟化を考慮した弾塑性有限要素から検討を行った。

(2)試験状況および結果

調査地点の地質は、三波川帯に属する結晶変岩で、本地点は道路建設のため切土を行ったのり面にアンカーが施工されており、アンカー施工のり面は風化が進行している。アンカーの施工状況は図7.2.5.1に示すとおりで、調査対象とするアンカーの設計アンカー力、定着時緊張力は、それぞれ510.2kNで、使用されたアンカーは、KTBアンカーK5-5Hである。施工後の品質保証試験として1サイクル試験を実施され、荷重-変位関係を求められている。図7.2.5.2に両アンカーの1サイクル試験結果を示す。本試験では、受圧版の地盤への沈み込みの測定を行うため、受圧版表面の3カ所において変位測定行っており、その結果を図7.2.5.3に示す。アンカーの緊張力増加に伴う受圧版の地盤への沈み込みは、最大11mm程度である。



図7.2.5.1 アンカーの施工状況



試験荷重-時間関係

変位-試験荷重関係

図7.2.5.2 1サイクル試験結果

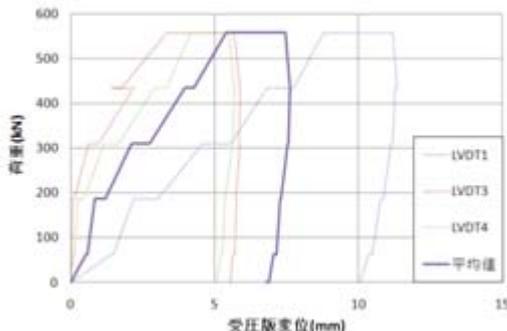


図7.2.5.3 受圧版変位－荷重関係

(3)解析結果

せん断帯ひずみ軟化を考慮に入れた弾塑性有限要素解析により、アンカー受圧版の地盤への沈込みが背面地盤にどのような影響を及ぼすかについて検討を行った。本有限要素解析は、酒井・田中が砂地盤を対象とした基礎アンカーの引抜き問題に対し検討を行い、適用性が認められたものである。本解析で使用する各種パラメータは、現地の地質である三波川帯に属する結晶変岩の地すべり粘土を用いた三軸圧縮試験結果から求めた応力－ひずみ関係と一致するように決定した。表7.2.5.1に解析に使用したパラメータを、図7.2.5.4に三軸圧縮試験における、これらのパラメータを用いた解析結果と実験結果との比較を示す。解析は、図7.2.5.5に示す断面を対象に行い、これに対応する有限要素メッシュは図7.2.5.56を用いた。解析では、地盤を均一と仮定し、アンカー受圧版に相当する節点に変位を与え、変位ごとの地盤内の最大せん断ひずみ分布を求めた。図7.2.5.7は、1サイクル試験により求めた受圧版変位の平均値と解析結果の荷重－変位関係を示したものである。この結果より、施工時に観測された受圧版の変位5-6mm程度までは、荷重－変位関係は線形を示し、地盤は弾性的な挙動を示すものと考えられる。ここで、受圧版の変位がどの程度で背面地盤に影響が及ぶかについて検討を行ってみる。図7.2.5.78は、荷重－変位関係において軟化を示す、受圧版の変位が450mまでの荷重－変位関係を示したものである。また、図7.2.5.9は、受圧版の変位が10mm, 100m, 200mm, 400mmにおける最大せん断ひずみ分布を示したものである。これらの結果から、受圧版の変位が100mmを越えることで背面の地盤にひずみの集中領域が現れる。

表7.2.5.1 解析に用いたパラメータ

項目		
湿润密度 ($\rho_d : \text{g/cm}^3$)	2.5	
間隙比 (e)	0.5	
せん断弾性係数 (G_0)	50	
残留内部摩擦角 ($\phi_r : \text{deg.}$)	15.0	
ピーク内部摩擦角 ($\phi_p : \text{deg.}$)	25.0	
ポアソン比 (ν)	0.3	
粘着力 (kN/m^2)	12.5	
軟化パラメータ	ϵ_f	0.6
	ϵ_r	0.6
	m	0.3
	ϵ_c	0.6
	ϵ_d	0.3
	β	0.2

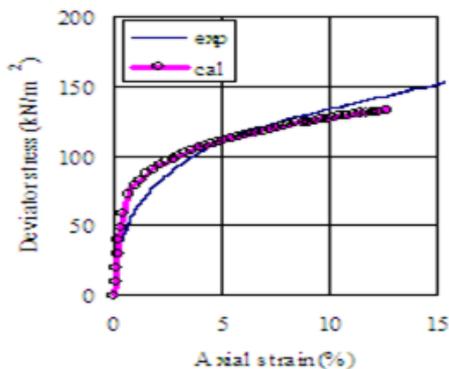


図7.2.5.4 解析，実験による三軸圧縮試験結果

(別紙2)

(4)おわりに

1サイクル試験の品質保証試験により得られた荷重－変位関係を基に、アンカーの地盤への沈み込みが背面地盤にどのような影響が生じるか、ひずみ軟化を考慮した弾塑性有限要素から検討を行った。その結果、施工時の受圧版の背面地盤への沈込みは最大でも11mm程度であり、この程度の受圧版の沈み込みでは背面地盤に影響は生じないと考えられた。また、受圧版の沈み込みが100mmを越えると、背面地盤へ影響が生じるようになることが明らかとなったものの、実際の施工ではこのような大きな変位は生じず、アンカー施工時の緊張力増加に伴う背面地盤の影響は無視できるものと考えられる。

7.2.6 リフトオフ試験におけるリフトオフ前勾配と残存引張り力の関係

(1)はじめに

アンカー緊張力調査においてアンカーの残存引張り力を求めるために実施されるリフトオフ試験は、アンカーの維持管理を行う上で重要な試験となっている。現在、リフトオフ試験は設計アンカー力の1.2倍程度を基準に実施されているものの、実際のアンカーではかなりの過緊張状態となっているアンカーも見受けられ、アンカーの健全性を把握するため、場合によってはアンカー降伏荷重の90%(0.9Tys)まで試験が行われることがあり、この場合にはアンカーの引抜けあるいは破断等の危険が考えられる。ところで、アンカー健全度評価は、アンカーの緊張力評価に加え、リフトオフ試験で求まる荷重-変位関係を基にアンカー状態を予測することが行われている。特に、リフトオフ後の荷重-変位関係は、アンカーテンドンの伸び、あるいは定着部等の状況に起因するものと考えられており、この荷重変化からアンカー健全性の評価が行われている。これに対し、リフトオフ前の荷重-変位関係については、現在まで明確な根拠がないため評価の対象とはなっていない。そこで、SAAMジャッキを用いたリフトオフ試験を実施し、荷重-変位関係から求まるリフトオフ前の勾配と残存引張り力の関係から、アンカーの緊張力の程度が評価できるかについて、室内および現場における試験結果を基に検討を行った。

(2)試験方法

室内におけるリフトオフ試験は、図7.2.6.1に示す平面引張り試験機を用い、ナット定着方式のエスイーアンカー(F20UA, F70UA, F130UA)と、くさび定着方式のスーパーローテックアンカー(SFL-3)を用いた実験を行った。各材料のテンドン長は4.5mで、降伏荷重は、F20UAが222kN, F70UAが608kN, F130UAが1092kN, SFL-3が666kNである。試験はおおむね表7.2.6.1に示す降伏荷重に対する割合を定着時緊張力とした、定着時緊張力を変化させた実験を実施した。各試験では、SAAMジャッキを用いたリフトオフ試験から荷重-変位関係を求め、リフトオフ前後の直線の交点から残存引張り力を求めるとともに、リフトオフ前の直線勾配を求め、リフトオフ前勾配と残存引張り力の関係について検討を行った。また、室内試験結果との比較を行うため、のり面に施工された、ナット定着方式アンカー、およびくさび定着方式アンカーについてリフトオフ試験を実施し、リフトオフ前勾配と残存引張り力との関係について求めた。現場でのリフトオフ試験の状況を図7.2.6.2に示す。

表7.2.6.1 室内試験の定着緊張

	降伏荷重Tys(kN)	定着緊張力(Tysに対する割合)			
F20UA	222	0.2Tys	0.5Tys	0.8Tys	
F70UA	608	0.2Tys	0.5Tys	0.8Tys	
F130UA	1092	0.2Tys	0.4Tys	0.6Tys	
SFL-3	666	0.2Tys	0.5Tys	0.8Tys	1.0Tys



図7.2.6.1 室内試験状況



図7.2.6.2 現場試験状況

(3) 試験結果

図7.2.6.3は、一例として室内試験におけるF70UAの各定着時緊張力でのリフトオフ試験により求めた荷重-変位曲線である。リフトオフ前の直線の勾配を比較すると、緊張力が高くなるにつれ勾配が大きくなる。この結果から、アンカー緊張力の違いにより、リフトオフ前の直線勾配に違いが見られることが考えられる。図7.2.6.34は、各種アンカーにおける、リフトオフ前の直線勾配と残存引張り力との関係を示したものである。この結果より、いずれのアンカーともリフトオフ前の直線勾配が大きいほど残存緊張力が大きくなる傾向が認められる。

図7.2.6.5は、室内試験と現場試験において、リフトオフ前の直線勾配と残存引張り力との関係をナット定着方式およびくさび定着方式に分けて示したものである。ナット定着方式、くさび定着方式とも同一材料のF70UAおよびSFL-3については、現場試験と室内試験ともリフトオフ前の直線勾配と残存緊張力とに同様な関係が認められた。図7.2.6.6は、各現場において試験を行ったSEEEアンカーを対象にリフトオフ前の勾配と残存引張り力との関係について求めたものである。ばらつきは見られるものの、リフトオフ前の勾配が大きくなるほど残存引張り力が大きくなる傾向が認められる。

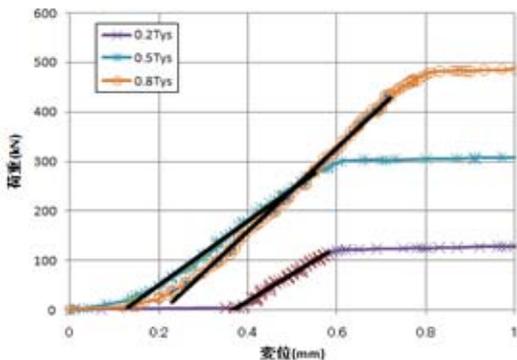


図7.2.6.3 リフトオフ試験結果 (F70UA)

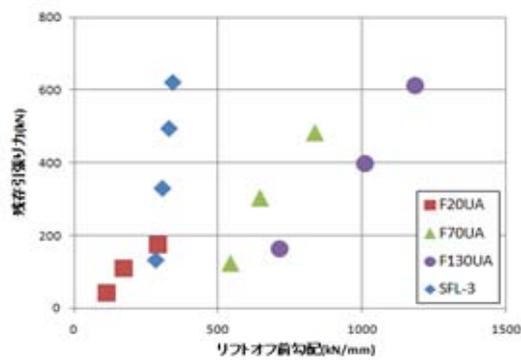


図7.2.6.4 リフトオフ前勾配と残存引張り力の関係

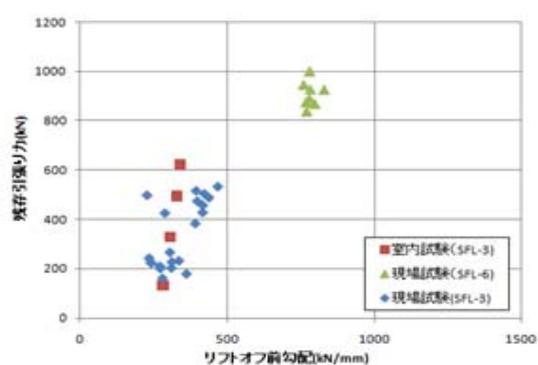
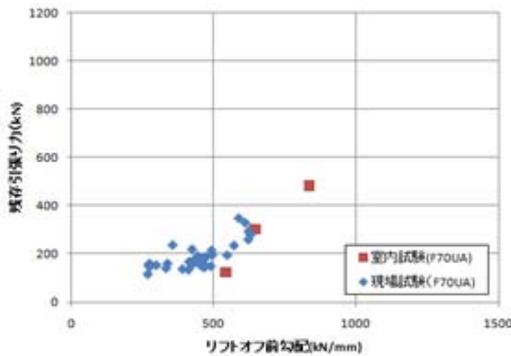


図7.2.6.5 室内試験と現場試験の比較

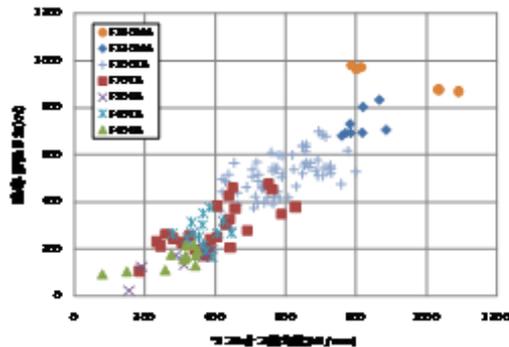


図7.2.6.6 リフトオフ前勾配と残存引張り力の関係 (SEEEアンカー)

(別紙2)

(4)おわりに

リフトオフ試験における前勾配と残存緊張力との関係を調べ、リフトオフ前の直線の勾配が大きいほど残存引張り力が大きくなる傾向があることを明らかにした。本結果より、アンカーに過大な緊張力を加えることなく、リフトオフ前勾配のみからアンカーの過緊張程度の評価が行える可能性があるもとの考えられる。

7.2.7 SAAMジャッキを用いたグラウンドアンカーにおける既設ロードセルの検定

(1)はじめに

ロードセルなどを用いたアンカー緊張力のモニタリングは、緊張力の経時変化を求めることが出来るためアンカー健全度の変化を評価する上で有益なデータを得ることが出来る。しかし、アンカーに設置されたロードセルは屋外に設置されており、設置後時間の経過とともにロードセルの機能低下が考えられる。アンカーのり面等に設置されたロードセルの検定は、対象とするアンカーのリフトオフ試験を実施し、求まる荷重値とロードセルによる荷重値との比較により行うことが可能である。そこで、人力での設置が可能な小型・軽量のSAAMジャッキを用い、効率的にアンカーの既設ロードセルの検定を行うことが可能になるものと考え、アンカーに設置されているロードセルの検定を、SAAMジャッキを用いたリフトオフ試験結果との比較から行った。

(2)試験方法

図7.2.7.1にSAAMジャッキを用いたリフトオフ試験の状況を示す。試験は、平成19年に切土のり面に施工されたスーパーフローテックアンカー（SFL-6：設計アンカー力940kN）の一部に設置されているロードセルを対象に行った。アンカーに設置されているロードセルは、共和電業製ロードセル（BL-200TE）である。試験は、ロードセルが設置されたアンカーを対象に、SAAMジャッキによるリフトオフ試験を実施し、リフトオフ試験による荷重-変位関係とロードセルによる荷重変化を求め、検討を行った。



図7.2.7.1 SAAMジャッキによるリフトオフ試験

(3)試験結果

図7.2.7.2～図7.2.7.4にSAAMジャッキおよびロードセルから求まる荷重-変位関係を示す。図7.2.7.2は、本調査において得られたロードセルとジャッキの荷重-変位関係が一致する例である。リフトオフ試験は載荷・除荷を行いアンカー緊張力の変化について検討を行った。その結果、両アンカーとも除荷後もほぼ同じ変位に戻るとともに、ロードセルの値も載荷前の値を示すことがわかる。このように両者の荷重-変位関係が一致する場合、ロードセルは正常に機能していると考えられる。しかし、本地点ではロードセルとリフトオフの荷重-変位関係が一致しないものが認められた。一致しないもののうち、図7.2.7.23のようにロードセルの荷重値とジャッキによる荷重値に追従性が見られない場合、ロードセルの機能低下の問題が考えられ、測定機器を含めた詳細な機能評価の検討が必要であると考えられる。一方、図7.2.7.4のようにリフトオフ試験時のジャッキとロードセルの荷重値に差が認められるものの、荷重-変位関係に追従性が認められる場合には、校正係数等の変更によりロードセルの測定値の調整を行う必要があると考えられる。以上のように、本装置を使い、迅速にロードセルとジャッキとの荷重-変位関係を比較することで、既設ロードセルの機能評価を行うことが可能である。

(別紙2)

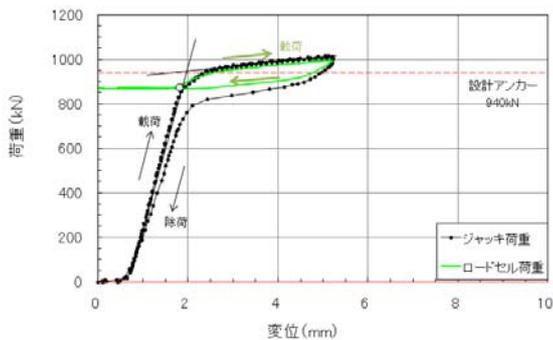


図 7. 2. 7. 2 荷重-変位関係が一致する例

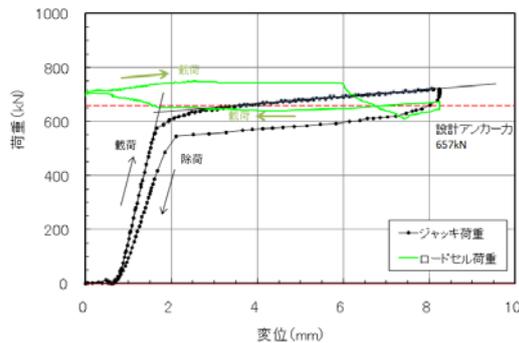


図 7. 2. 7. 3 荷重-変位関係に追随性が認められない例

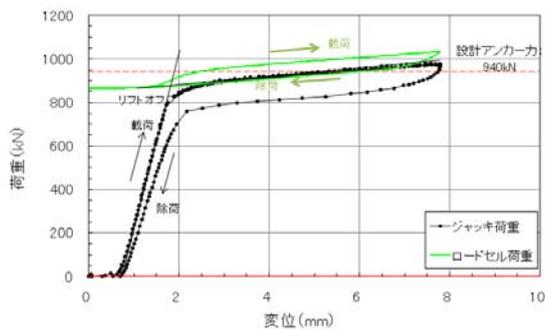


図 7. 2. 7. 4 荷重値に差が認められる例

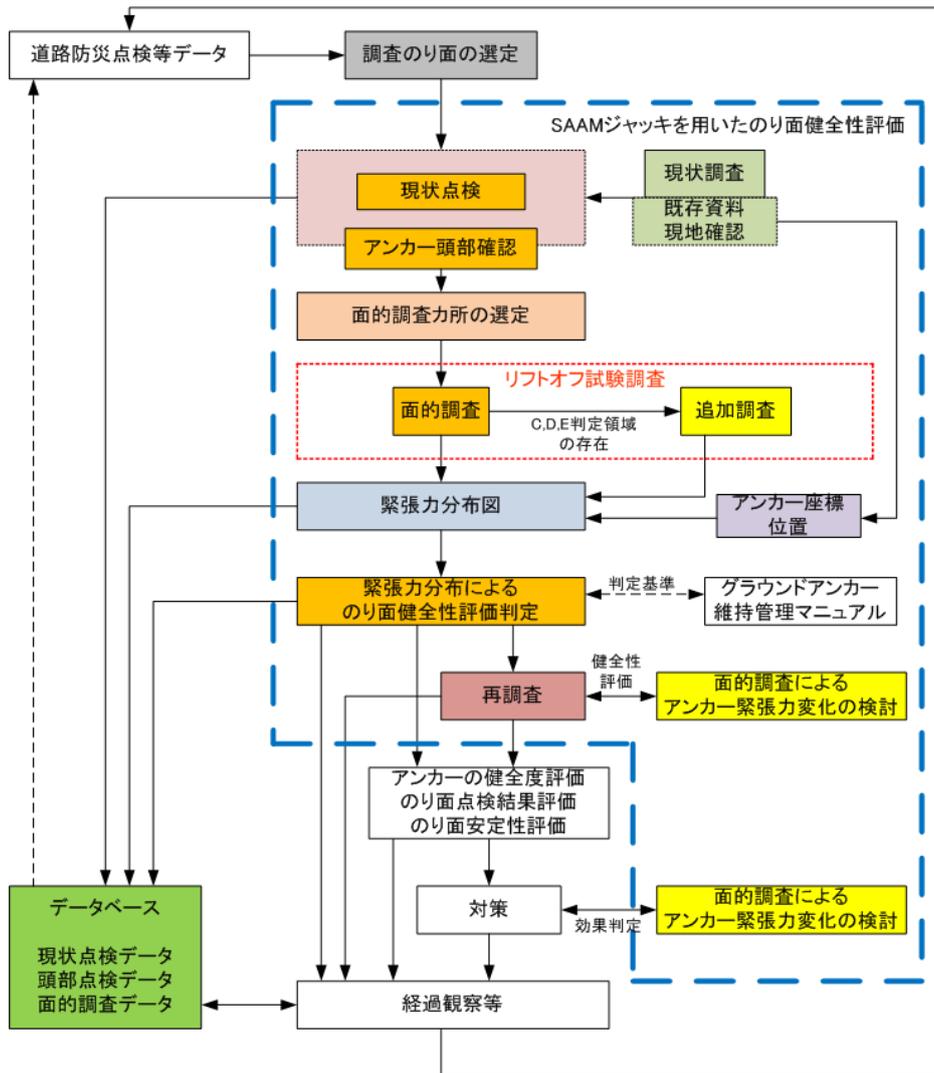
(4)おわりに

グラウンドアンカーにおける既設ロードセルの検定を、SAAMジャッキを用いて行った。その結果、設置が容易で迅速にリフトオフ試験を行える本装置を用いることで、ジャッキとロードセルの荷重-変位関係の比較から、ロードセルの機能評価を迅速に行うことが可能である。

7.2.8 面的調査におけるのり面の健全性評価

(1)はじめに

のり面に施工されたアンカーが示す緊張力は、アンカー背面の地盤状況を反映するセンサーとしての機能を持つことが考えられるため、のり面に施工された数多くのアンカーに対してリフトオフ試験を実施し、のり面に施行されたアンカーの残存引張り力を面的分布としてとらえることで、従来の個別アンカーに対する機能評価だけでなく、のり面全体の健全性を評価する上での貴重な情報として利用できることが考えられる。そこで、面的調査結果を利用したアンカーのり面の健全性評価手法について検討を行った。健全性評価のフローを図7.2.8.1に示す。



SAAMジャッキを用いた面的評価のフロー

図7.2.8.1 SAAMジャッキを用いた面的調査のフロー

(2)面的調査分布図

(別紙2)

面的調査により求めたのり面の残存引張り力分布の結果を基に、のり面の健全性評価を行う場合、のり面の健全性評価を、表7.2.8.1に示す「グラウンドアンカー維持管理マニュアル」に準じて行う。求めた残存引張り力を基に分布図の作成を行うにあたり、必要に応じ「グラウンドアンカー維持管理マニュアル」に対応する7種類の分布図（表7.2.8.2、図7.2.8.2～図7.2.8.3）の作成を考える。

表7.2.8.1 残存引張り力とアンカー健全度の目安

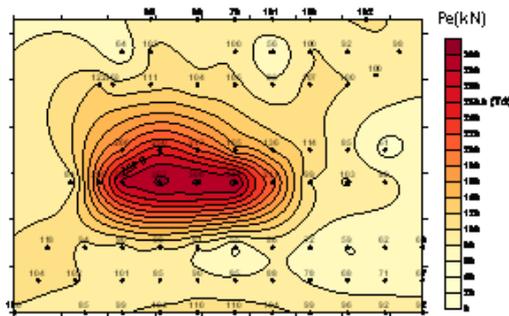
残存引張り力の範囲	健全度	状態	対処例
0.9Tys	E	破断の恐れあり	緊急対策を実施
	D	危険な状態になる恐れあり	対策を実施
1.1Ta	C	許容値を超えている	
許容アンカー力(Ta)	B		経過観察により対策の必要性を検討
設計アンカー力(Td)	A	健全	
定着時緊張力(Pt)	A	健全	
0.8Pt	B		経過観察により対策の必要性を検討
0.5Pt	C	機能が大きく低下している	対策を実施
0.1Pt	D	機能していない	

表7.2.8.2 緊張力の面的分布図一覧

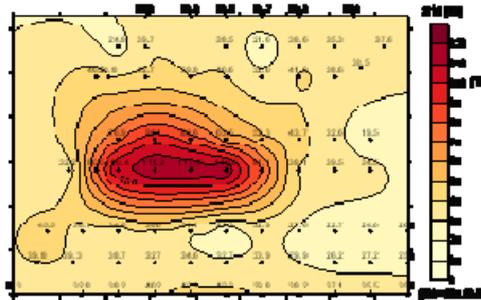
	項目	記号
1	残存引張り力分布図	P_e
2	設計アンカー力比分布図	R_{td}
3	定着時緊張力比分布図	R_{pt}
4	降伏点荷重比分布図	R_{vus}
5	許容アンカー力比分布図	R_{ta}
6	ひずみ量分布図	ϵ_s
7	アンカー理論伸び量分布図	δ_e

(別紙2)

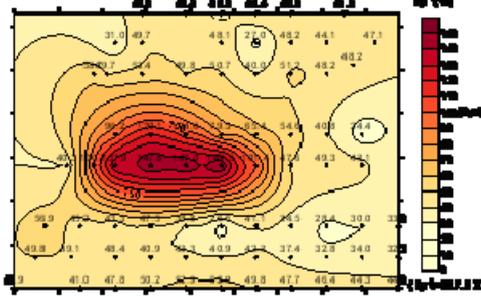
1) 残存引張り力分布図 (P_e) : 調査により求めた残存引張り力 (P_e) の分布図



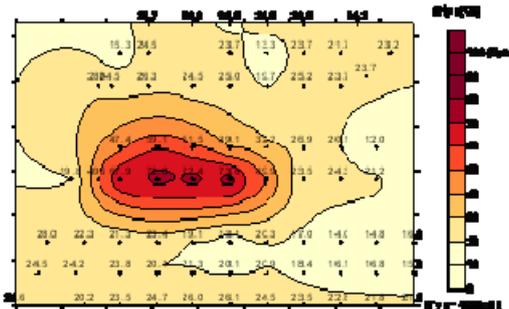
2) 設計アンカー力比分布図 (R_{td}): 設計アンカー力 (T_d) に対する残存引張り力の比率の分布図



3) 定着時緊張力比分布図 (R_{pt}): 定着時緊張力 (P_t) に対する残存引張り力の比率の分布図



4) 降伏点荷重比分布図 (R_{tys}): アンカーの降伏点荷重 (T_{ys}) に対する残存引張り力の比率の分布図



5) 許容アンカー力比分布図 (R_{ta}): アンカーの許容アンカー力 (T_a) に対する残存引張り力の比率の分布図

図7.2.8.2 7種類の緊張力の面的分布図 (その①)

(別紙2)

(3)健全性評価

「グラウンドアンカー維持管理マニュアル」における残存引張り力とアンカー健全度の目安に準じ、リフトオフ試験により求めた残存引張り力の値を基にAからEの判定を行い、図7.2.8.4のようにこの結果から健全性の評価を行う。健全性の評価を行うにあたり、残存引張り力の値だけではなく、のり面の緊張力分布の一樣性にも留意し、一部に緊張力の高い（あるいは低い分布）が認められるような一樣でない分布を示す場合には、再調査の検討を考える。

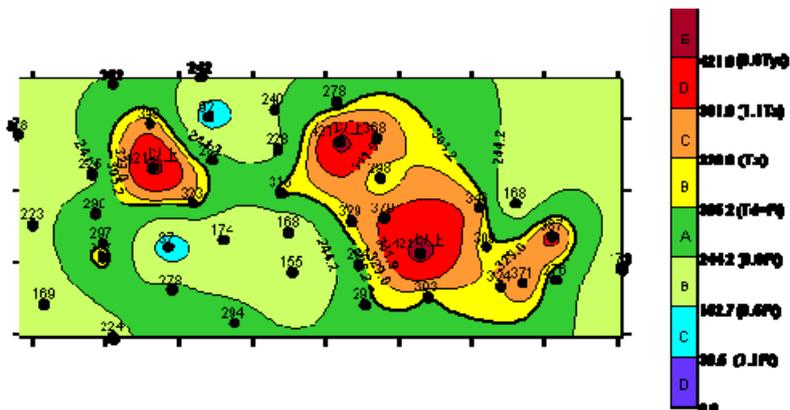


図7.2.8.4 アンカーのり面の健全度区分

面的調査によって求めた緊張力分布図の結果を基に行うのり面の健全性評価は、図7.2.8.5のフローに従って実施し、この結果を基にのり面における対策等の必要性についての判定を行う。

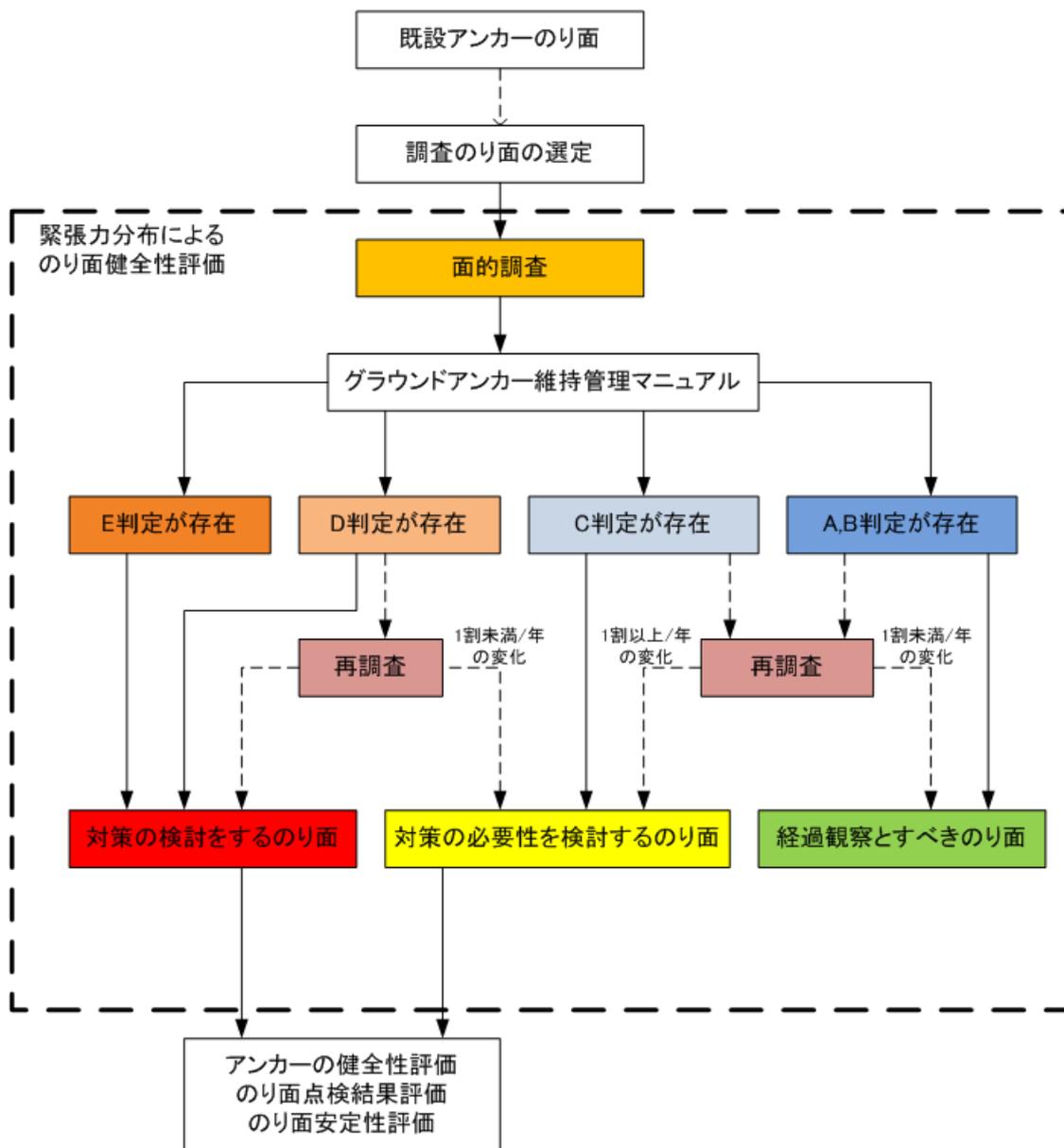


図7.2.8.5 のり面健全性評価フロー

- 1) E判定の過緊張が認められるアンカーが存在するのり面。
E判定のアンカーが存在するのり面では、アンカー破断の危険性が高いため対策を検討するのり面として緊急対策の実施を考える。
- 2) D判定の過緊張あるいは緊張力低下が認められるアンカーが存在するのり面。
D判定の領域が認められるのり面は、対策を検討するのり面として対策の検討を考える。特に過緊張でかつアンカーあるいはのり面に変状等が見られる場合には、のり面が危険な状態となっていることが考えられるため、緊急対策の実施を考える。なお、D判定であっても緊張力が低下している場合には、のり面の緊張力分布の変化を調べるため、必要に応じて再調査の実施を検討する。再調査により、残存引張り力の変化が1割未満/年の場合には、対策の必要性を検討するのり面とする。
- 3) C判定の過緊張あるいは緊張力低下が認められるアンカーが存在するのり面。
C判定の領域が認められるのり面は、対策の必要性を検討するのり面として対策の必要性についての検討を考える。なお、のり面の緊張力分布の変化を調べるため、必要に応じて再調査の実施について検討し、再調査により残存引張り力の変化が1割未満/年の場合に

(別紙2)

は、経過観察すべきのり面とする。

4) A, B判定の範囲にあり、明瞭な過緊張、緊張力低下が存在しないのり面

A, B判定ののり面は健全であると判断し、経過観察すべきのり面とする。ただし、待ち受け効果を期待して低い緊張力で施工されたのり面も考えられるため、必要に応じてのり面の緊張力分布の変化を調べるための再調査の実施を検討し、この調査により、残存引張り力の変化(増加)が1割以上/年の場合には、対策の必要性を検討するのり面として対策の必要性についての検討を考える。

7.2.9 追加対策実施アンカーのり面の緊張力評価

(1)はじめに

追加対策として増し打ちアンカーが施工されたアンカーのり面において、アンカー緊張力の面的調査を行い、施工当初および追加対策後の緊張力の分布状況の比較から、追加対策の効果判定を行うとともに、維持管理におけるのり面の健全性評価手法の検討を行った。

(2)調査方法

調査地点は、のり面勾配1:1.0、斜面長SL≒100mの10段のり面で、アンカー工は、のり面の4段目～7段目に施工されている。現地の基盤岩はシルト岩で受け盤構造であるが、地表部は亀裂の発達した強～中風化岩を呈し、施工期間中に数箇所、のり面掘削による応力開放を起因としたトップリング破壊が発生している。現地では、平成9年に2段目のり面掘削時に降雨を誘因とする斜面変状が確認されたため、緊急対策として4,5段目のり面にアンカー工による対策が実施されたが、施工2ヶ月後の豪雨時に再度斜面変状が確認され、4段～7段目のり面に追加対策として増し打ちアンカー工が平成10年に施工された。当のり面に施工されたアンカーは、当初アンカーがSEEE F70TA（設計アンカー力 $T_d=396.3\text{kN}$ ）の84本、増し打ちアンカーは、SEEE F70TA（ $T_d=428.5\text{kN}$ ）の60本、SEEE F130TA（ $T_d=766.3\text{kN}$ ）の98本の合計242本である。各アンカーの定着時緊張力 P_t は、設計アンカー力 T_d での施工となっており、現在追加対策施工後約11年が経過している。

図7.2.9.1にリフトオフ試験の試験箇所を、図7.2.9.12に現地でのリフトオフ試験状況を、に示す。調査は、当初アンカーF70TAが23箇所、増し打ちアンカーF130TAが26箇所、F70TAが31箇所の合計80箇所、これはアンカー全施工数242箇所の33%となっている。

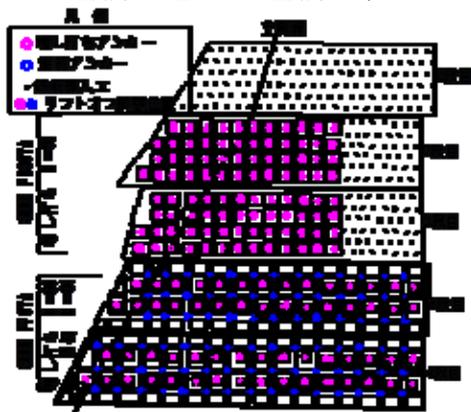


図7.2.9.1 アンカー工配置図と試験位置

図7.2.9.2 リフトオフ試験状況

(3)調査結果

図7.2.9.3は、当初アンカーおよび増し打ちアンカーをあわせた、現在ののり面の残存引張り力の状況を示したものである。この結果を基に、増し打ちアンカーと当初アンカーをそれぞれ抽出し、両者の残存引張り力の比較から追加対策の効果判定を行った。まず、増し打ちアンカーについて、設計アンカー力に対する現在の残存引張り力の比率である設計アンカー力比 R_{td} を図7.2.9.34に示す。本調査より、4,5段のり面の増し打ちアンカーにおいて過緊張となっている領域が確認できる。図7.2.9.35は、表7.2.8.1のアンカー健全度の目安を基に、増し打ちアンカーにおけるのり面の健全性を評価した結果である。過緊張領域が確認できる4,5段のり面は、過緊張側のC,D判定となっている。

次に、当初アンカーと増し打ちアンカーの比較を行う。当初アンカーは、平成9年の施工後の変状直後に全数のアンカーに対しリフトオフ試験が実施されている。図7.2.9.6は、今回調査と平成9年のリフトオフ試験結果の残存引張り力の差を4,5段のり面について示したものである。この結果より、のり面の1カ所で緊張力が増加しているものの、のり面全体では増し打ちアンカー施工後に緊張力が低下している。図7.2.9.67, 図7.2.9.68は、平成9年調査と今回調査のアンカー健全度区分をそれぞれ示したものである。平成9年の当初施工

(別紙2)

アンカーの健全度は、過緊張側のC,D判定がのり面の広い範囲に分布しているのに対し、増し打ちアンカー施工後には、当初施工アンカーにおける健全度はC,D判定の領域が減少し、A,B判定の領域が広くなり、アンカーの緊張力が改善されていることが伺える。

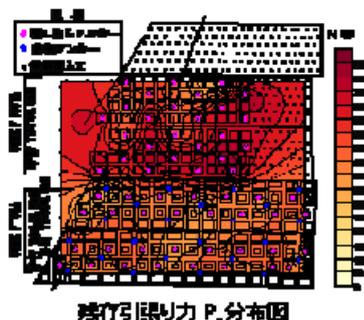


図 7. 2. 9. 3

残存引張り力 P_e 分布図



図 7. 2. 9. 4

設計アンカー力 R_{td} 比分布図



図 7. 2. 9. 5

アンカー健全度区分図

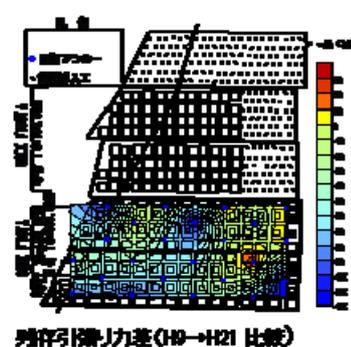


図 7. 2. 9. 6

残存引張り力差
(H9→H21比較)

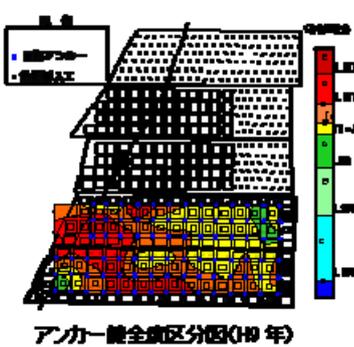


図 7. 2. 9. 7

アンカー健全度区分図
(H9年)

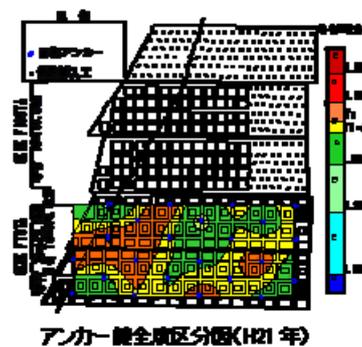


図 7. 2. 9. 8

アンカー健全度区分図
(H21年)

(4)おわりに

増し打ちアンカーによる追加対策を行ったのり面において、追加対策の効果判定およびのり面の健全性評価を、SAAMジャッキを用いたアンカー緊張力の面的調査から行った。その結果、当初変状が見られたため追加対策を実施した4,5段のり面における増し打ちアンカーの健全度は、過緊張側のC,D判定となることが明らかとなった。一方、追加対策実施後、増し打ちアンカーの緊張力は増加するものの、当初アンカーの緊張力は低下する傾向が認められ、アンカー健全度区分においても、当初施工アンカーは、変状当時過緊張側のD判定が存在したものが、過緊張側のC判定に改善されることが明らかとなった。本調査結果より、追加対策のため施行された増し打ちアンカーと当初施行されたアンカーの緊張力変化に差が見られたことより、追加対策後のアンカーは主に増し打ちアンカーに作用し、緊張力は当初アンカーを含めたのり面全体のアンカーで保持されていない可能性があることが考えられる。

(別紙2)

7.2.10 ロードセルの温度による影響の評価

(1)はじめに

ロードセル等のひずみゲージを用いた計測機器は温度によるドリフトが認められるとされている。アンカーの緊張力変化をモニタリングするために設置されるロードセルは、屋外でかつ温度変化が大きいり面に施行される場合多いため、アンカー緊張力の測定において、気温等の影響を考慮する必要があると考えられる。そこで、ロードセルの温度による影響の評価を行った。

(2)試験方法

図7.2.10.1にSAAMジャッキを用いた試験の状況を示す。試験は、平成19年に切土のり面に施工されたスーパーフローテックアンカー（SFL-6：設計アンカー力940kN）の一部に設置されているロードセルを対象に行った。アンカーに設置されているロードセルは、共和電業製ロードセル（BL-200TE）である。ロードセル荷重値の測定はデータロガーによって1時間毎に行った。

(3)試験結果

図7.2.10.12は、リフトオフ試験を実施した付近の10/15から10/31におけるロードセルの荷重変化を示したものである。ロードセルによる荷重値は、気温によって変化し、気温が上昇する日中で高くなり、昼と夜で10kN程度の荷重値に違いが見られる。また、この傾向は夏場においてより顕著であった。この結果、ロードセルによりアンカー緊張力の調査を行う場合、気温等が荷重値に影響すると考えられる。



図7.2.10.1 試験状況

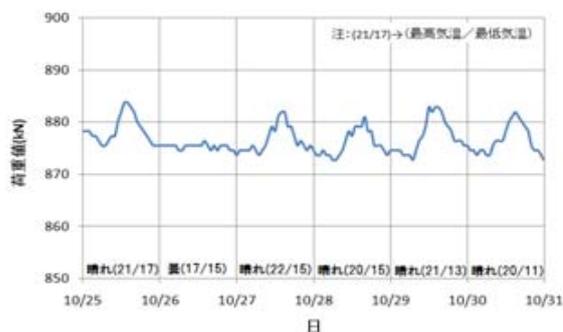


図7.2.10.2ロードセルの荷重変化

(4)おわりに

ロードセルにより求まる荷重値は気温・温度によって変化することが考えられ、屋外に設置されるロードセル等のひずみゲージ式のセンサーを用いる測定では、気温あるいは機器の温度による影響を考慮する必要がある。

7.2.11 アンカー座標位置取得手法

(1)アンカー座標の取得方法

面的調査を実施し、のり面の緊張力分布を作成するにあたりアンカー位置座標が必要となる。アンカーの位置座標は、アンカーの緊張力データだけでなく、地形・地質・土質等のデータも入力可能な絶対位置参照が可能な座標系で入力することが好ましい。しかし、道路台帳や防災点検カルテ等の既存資料は絶対位置座標で提供されておらず、新たに絶対位置座標を求めるにはGPS機器等が必要であるため、面的緊張力分布を描く場合には、既存資料の図面あるいはデジタルデータを利用する方法を考える。アンカーのり面の展開図等の図面が紙でしか提供されない場合には、それをスキャナで読み取り画像情報として用いることや、図面が全く無い場合には現地で写真を撮影しそれをもとにアンカーの座標（写真座標）を決定する方法などを検討する。また、実際のアンカー位置と既存資料とが異なっていることも考えられ、アンカー座標位置の取得にあたっては必要に応じて下記の方法について検討を行う。

(2)絶対座標での座標取得手法

a)高精度GPS観測

高精度（1～2cm精度）で簡単に座標を取得するには、測量用の高精度GPSを用いて、アンカー毎に測定する手法が最も好ましい。高精度を実現させるために、国土地理院の設置している電子基準点の情報を参照データとして用いる。一般にこの観測手法は、干渉測位と呼ばれ、中でもVRS方式やFKP方式は、多数の電子基準点の情報を参照するために安定した観測が可能となっている。

1)RTK 観測

携帯電話回線を通して、電子基準点データを受信しながら観測を行う手法である。数分間の観測で数cmの精度で観測が可能である。ただし、携帯電話回線のサービスエリア内であればならない。また、リアルタイムで電子基準点データを解析するサービスを受ける必要があり、回線使用量も非常にかかるために最も高コストで高精度の手法である。

2) Static 観測

携帯電話回線が利用できない場合、後処理によって高精度の位置情報を解析することが出来る。現地で10分程度静止した状態でGPS観測を行うことで、数cmの精度で観測が可能である。解析のためには、専用のソフトウェアと国土地理院の電子基準点データが必要である。

図7.2.11.1は、GPS Static VRS観測を行った観測風景とその結果である。



図7.2.11.1 GPS観測風景と観測結果

b)ディファレンシャルGPS観測を用いる方法

ディファレンシャルGPS観測によって数mの精度で座標を取得することが可能である。ディファレンシャル測位は、補正情報をFM波や中波の電波を受信して測位する方法で、海上保安庁は、現在船舶のナビゲーション用に中波を利用したサービスを行っている。中波を利用するため、山間部でも受信可能であるものの、このサービスに対応したGPSは少なく数十万円と少々高価ではあるが、1m程度の精度で観測することが出来き、アンカーの位置情報取得には適した機材といえる。

(別紙2)

(2) 相対座標での座標取得手法

1) トータルステーションを用いる方法

トータルステーションは、水平角・鉛直角の測量に加えて、対象物までの距離を光波やレーザーを用いて測る機器である。測量の作業は技術を要するが、これを用いれば、アンカーの3次元での位置を1cm未満の精度で測ることが出来る。絶対座標が分かっている既知の基準点2点から測量することで絶対座標での位置情報に変換することが出来る。また、レーザーが搭載されたトータルステーションであれば、反射板やプリズムを測量の対象物に設置する必要はなく、対象物自身にレーザーを照射することで測定が出来るため、測量の効率は非常によい。

図7.2.11.2は、トータルステーションによる測量を行った測量風景とその結果である。



図7.2.11.2 トータルステーション観測風景と観測結果

2) デジタル写真測量による方法

デジタル写真測量は、対象物を二方向から撮影することで三次元計測を行うものである。近年、デジタルカメラが進歩して来たことから、非常に高精度で測定できるようになって来ている。1000万画素を越えるデジタル一眼レフカメラにおいてレンズ歪みの補正を行えば、トータルステーションなみの測角精度を有している。デジタル写真測量のためのソフトウェアもいくつか販売されており、これらのソフトウェアを用いれば、容易に写真測量を行うことが出来る。デジタル写真測量では図7.2.11.3に示すように、基準点はなくとも、ある2点間の距離が分かれば、相対的な座標を計測することが出来、2点の絶対座標を与えれば、相対座標から絶対座標に変換することも可能である。図7.2.11.4は、デジタル写真を基に座標位置を取得した例である (Kuraves-G2, KURABO)。

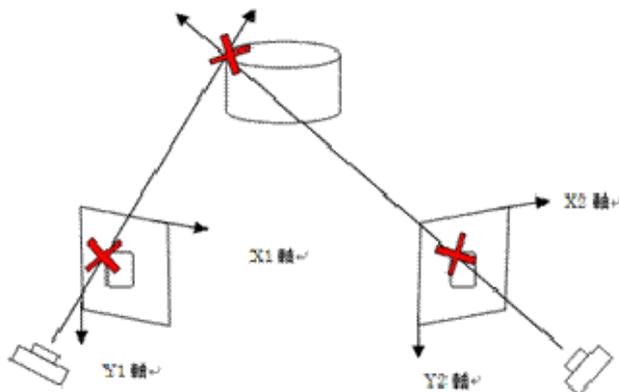


図7.2.11.3 デジタル写真測量方法のイメージ図

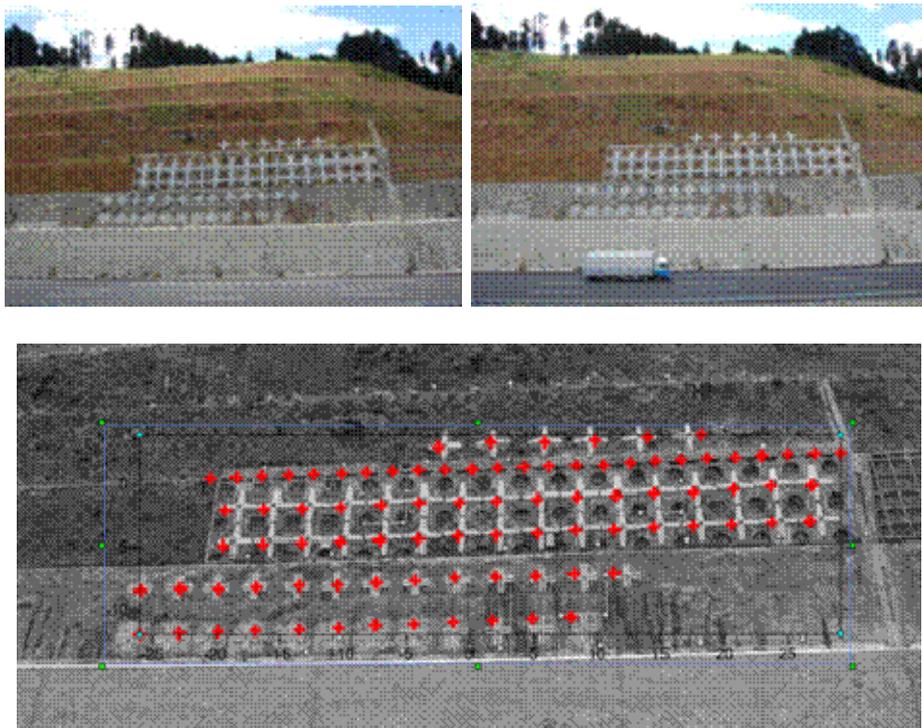


図7.2.11.4 デジタル写真を基に取得した座標

3) デジタルカメラ画像を直接用いる方法

現地の風景をデジタルカメラで撮影し、撮影されたアンカーの画像座標を位置情報として利用する方法である。ただし、地形の状況や植生の状況により、現地の全景を撮影できる場所があるかどうか問題となる。調査地点が広範囲の場合には、複数の写真を繋ぎ合わせる等の工夫が必要である。

4) 道路台帳や防災点検カルテの図面を用いる方法

道路台帳や道路防災点検カルテの図面の地図においてアンカーの位置がデジタル化されている場合、アンカー座標データの取得が可能である。道路台帳や道路防災点検カルテが紙地図等でデジタル化されていない場合、まずスキャナにより画像化させることも考える。図7.2.11.5は、田浪地区における道路台帳データをGIS上に表示したものである。現在、道路台帳データがCAD形式で保存されている場合、他のデータと重ね合わせるためには絶対座標への変換が必要となる。

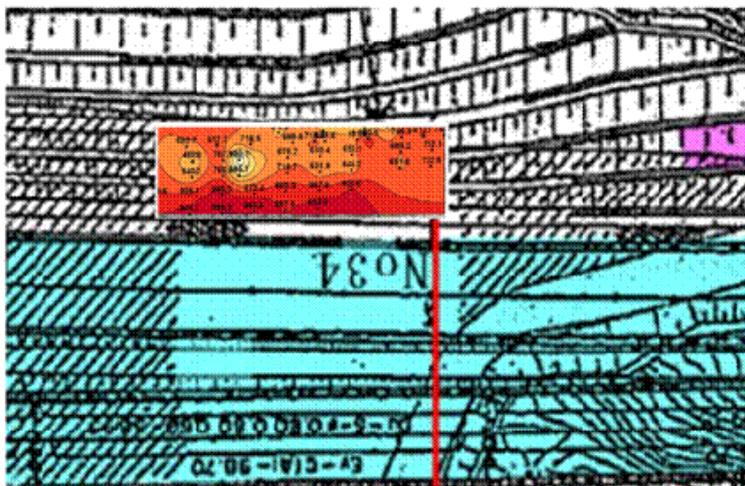


図7.2.11.5 道路台帳等におけるアンカー位置

7.3 マニュアルの作成

2年間の上記の研究成果を基に、委員会においてアンカーのり面の面的調査のための検討を行い、「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)」としてまとめた。本マニュアルの目次は下記のとおりである。

SAAM(サ-ム)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)

～目 次～

1.	概説	1
1.1	適用	1
1.2	SAAMジャッキによる面的調査の特徴	2
1.3	用語の説明	3
1.3.1	面的調査に関する用語	3
1.3.2	使用機器に関する用語	4
1.3.3	リフトオフ試験に関する用語	5
1.3.4	アンカー規格に関する用語	6
1.3.5	面的分布図作成に関する用語	7
1.3.6	アンカーの状態に関する用語	7
1.3.7	アンカー材料に関する用語	8
2.	SAAMジャッキ	10
2.1	SAAMジャッキについて	10
2.1.1	SAAMジャッキの仕様	11
2.1.2	その他使用機器	13
2.2	適用アンカー	14
3.	面的調査について	15
3.1	面的調査の概要と流れ	15
3.2	面的調査のり面の選定	17
3.3	面的調査項目	18
3.4	試験アンカー位置の選定	19
3.4.1	間引き調査における試験アンカー位置の選定	19
3.4.2	追加調査における試験アンカー位置の選定	21
3.5	面的分布図作成とアンカー座標位置	22
3.6	アンカー番号の決定	25
4.	現状点検	26
4.1	現状点検について	26
4.2	調査項目	26
4.2.1	既存資料調査	27
4.2.2	現地確認	27
4.3	データ整理	28
5.	頭部確認	29
5.1	頭部確認について	29
5.2	頭部確認作業順序と確認項目	30
5.3	データ整理	33

6.	リフトオフ試験	37
6.1	リフトオフ試験の作業フロー	38
6.2	リフトオフ試験方法	41
6.2.1	载荷計画	41
6.2.2	载荷速度	43
6.2.3	载荷方法	44
6.3	残存引張り力について	45
6.3.1	残存引張り力とリフトオフ荷重	45
6.3.2	リフトオフ試験回数について	47
6.3.3	温度の影響について	48
6.4	データ整理	49
7.	残存引張り力面的分布図	53
7.1	リフトオフ試験結果の整理	53
7.2	緊張力分布図の作成	55
8.	のり面健全性評価	56
8.1	「グラウンドアンカー維持管理マニュアル」に準じたのり面の健全性評価	57
8.2	増打ちあるいは緊張力調整等の追加対策を実施したのり面	59
8.3	アンカー新規施工を行ったのり面	60
	参考文献	61
	参考資料	63
参考資料-1	アンカー座標位置取得手法	64
参考資料-2	面的分布図の作成例	68
参考資料-3	アンカー緊張力分布調査結果	72
参考資料-4	調査報告書とりまとめ例	75
参考資料-5	リフトオフ試験自動計測事例	103
参考資料-6	面的調査におけるリフトオフ試験時の安全管理事例	107
参考資料-7	ロッククライミング用具を用いた安全対策事例	108

(別紙2)

8. 研究成果の刊行に関する一覧表

刊行書籍又は雑誌名 (雑誌のときは雑誌名、巻号数、論文名)	刊行年月日	刊行書店名	執筆者氏名
① 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)	2010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	酒井俊典 著・編
② 地盤工学会誌、57(19)、SAAM ジャッキを用いたリフトオフ試験の有効性	2009年10月	地盤工学会	酒井俊典・常川善弘・小野誠・山崎尚明
③ 第54回地盤工学シンポジウム平成21年度論文集、SAAM ジャッキを用いた既設グラウンドアンカーの残存引張り力調査について	2009年11月	地盤工学会	酒井俊典・常川善弘・横田聖哉・竹本将・藤原優
④ 第44回地盤工学研究発表会講演集、既設グラウンドアンカーに対する面的調査方法の検討	2009年8月	地盤工学会	酒井俊典・常川善弘・後藤大輔・福田雄治
⑤ 第44回地盤工学研究発表会講演集、リフトオフ試験の荷重一変位曲線の勾配と残存緊張力の関係	2009年8月	地盤工学会	酒井俊典・常川善弘・關泰史・藤原優・竹本将・横田聖哉・竹家宏治・福田雄治
⑥ 第64回土木学会年次学術講演会講演、VI、SAAMジャッキを用いたグラウンドアンカーにおける既設ロードセルの検定	2009年9月	土木学会	酒井俊典・常川善弘・藤原優・竹本将・横田聖哉
⑦ 第64回土木学会年次学術講演会講演概要集、VI、既設グラウンドアンカー緊張力と残存引張り力の関係について	2009年9月	土木学会	酒井俊典・常川善弘・藤原優・竹本将・横田聖哉・福田雄治
⑧ 技術e-フォーラム講演集、B-6、グラウンドアンカーの初期緊張力管理について	2009年9月	(社)全国地質調査業協会連合会	常川善弘・酒井俊典・小野誠・山崎尚明

(別紙2)

⑨ 斜面防災対策技術フォーラム講演集、小型軽量ジャッキを用いたグラウンドアンカー緊張力の調査および管理方法について	2009年11月	(社)斜面防災対策技術協会	小野誠・山崎尚明・常川善弘・酒井俊典
⑩ 第45回地盤工学研究発表会講演集、アンカーのリフトオフ試験におけるリフトオフ前勾配と残存引張り力の関係について	2010年 (投稿中)	地盤工学会	酒井俊典・關泰史・常川善弘・横田聖哉・竹本将・藤原優・竹家宏治・原克仁
⑪ 第45回地盤工学研究発表会講演集、追加対策実施アンカーのり面の緊張力調査について	2010年 (投稿中)	地盤工学会	常川善弘・酒井俊典・田口浩史・高梨俊行・横田聖哉・竹本将・藤原優
⑫ 第65回土木学会年次学術講演会講演概要集、SAAMジャッキによるアンカーのり面の面的調査評価	2010年 (投稿中)	土木学会	酒井俊典・常川善弘・藤原優・竹本将・横田聖哉
⑬ 基礎工、小型・軽量メンテナンスジャッキの開発とアンカー緊張力の面的調査	2010年 (投稿中)	総合土木研究所	酒井俊典・藤原優・竹本将・横田聖哉・常川善弘

9. 研究成果による知的財産権の出願・取得状況

知的財産権の内容	知的財産権の種類、番号	出願年月日	取得年月日	権利者名
なし				

10. 成果の実用化の見通し

本研究開発による成果である，SAAMジャッキを用いた既設アンカーのり面の緊張力面的調査手法は現在すでに実用化され，NEXCOあるいは国土交通省の道路のり面等において，のり面の健全性評価および今後の維持管理，対策手法の調査データとして利用されている．今後既存施設の維持管理が重要な課題となることを考えると，今後さらに利用が増えるものと考えている．また，研究代表者，および研究分担者のうち(株)相愛，川崎地質(株)，北海道士質コンサルタント(株)，日本地研(株)で構成されるアンカーアセットマネジメント研究会（LLP組織）により本成果の社会への普及に勤めている．

(別紙2)

11. その他

本研究開発終了後も、本委員会構成メンバーを中心に、「アンカーのり面の効果的な維持管理に関する勉強会」を開催しており、さらに適切なアンカーのり面の維持管理手法について検討を続けている。