

アンカーへの取付け・交換が容易な 新型アンカー荷重計の開発

共同研究報告書

平成22年3月

独立行政法人土木研究所
日特建設株式会社
守谷鋼機株式会社
ライト工業株式会社
株式会社共和電業
株式会社工スイー
株式会社東横エルメス
坂田電機株式会社
株式会社東京測器研究所

Copyright © (2010) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、独立行政法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

アンカーへの取付け・交換が容易な新型アンカー荷重計の開発
共同研究報告書 執筆者名簿

藤澤和範	(独)土木研究所	土砂管理研究グループ	地すべりチーム	上席研究員
石田孝司	(独)土木研究所	土砂管理研究グループ	地すべりチーム	主任研究員
窪塚大輔	(独)土木研究所	土砂管理研究グループ	地すべりチーム	交流研究員
山田 浩	日特建設(株)	技術本部	副本部長	
三上 登	日特建設(株)	技術本部	技術営業グループ	部長
菅 浩一	日特建設(株)	技術本部	技術開発グループ	次長
田中 尚	日特建設(株)	技術本部	技術開発グループ	主任
那須 敦	守谷鋼機(株)	鋼線部	営業技術課	課長
清水伸敏	守谷鋼機(株)	鋼線部	営業技術課	主任
小嶋雅史	守谷鋼機(株)	鋼線部	営業技術課	主任
横田弘一	ライト工業(株)	生産事業本部	施工技術部	法面技術担当部長
浜浦尚生	ライト工業(株)	生産事業本部	施工技術部	法面技術グループリーダー
庭田和之	ライト工業(株)	生産事業本部	営業技術部	公募対策室長
坂下 悟	ライト工業(株)	生産事業本部	開発技術部	主任
鈴木芳博	(株)共和電業	技術本部	副本部長	
立野恵一	(株)共和電業	技術本部	特機部	副主幹
砂川倫昭	(株)共和電業	技術本部	特機部	主査
山崎 徹	(株)共和電業	技術本部	特機部	主任
竹家宏治	(株)エスイー	営業統括本部	環境・防災製品部	課長
野澤忠明	(株)エスイー	営業統括本部	環境・防災製品部	主任
矢部興一	(株)東横エルメス	製造部	製造課	技術顧問
峯尾卓光	(株)東横エルメス	製造部	製造課	課長
樋川健次	(株)東横エルメス	製造部	製造課	主任
長友聖二	坂田電機(株)	宮崎研究センター	課長	
末吉良敏	(株)東京測器研究所	開発部	部長	
田代 裕	(株)東京測器研究所	開発部	課長代理	
山賀一徳	(株)東京測器研究所	開発部	課長代理	

【要 旨】

本報告書は、土木研究所地すべりチームと民間企業 8 社が、平成 18 年度から平成 21 年度にかけて実施した共同研究「アンカーへの取付け・交換が容易な新型アンカー荷重計の開発」における成果をとりまとめたものである。

グラウンドアンカー（以下、アンカーという）を維持管理する上では、アンカーに作用している緊張力を連続的に計測することが有効である。しかしながら、従来の計測技術はコスト面や計測機器の耐用年数に課題があり、アンカー供用期間を通じた十分な緊張力計測は困難であった。そこで本共同研究では、従来の計測技術の課題を解決し、さらにアンカー維持管理の高度化を図るため、既設アンカーに対して荷重計の取付け・交換を可能とし、荷重計で計測したデータを専用装置で連続的に蓄積し、そのデータを無線通信により遠隔から取得できる一連のアンカー緊張力計測技術を開発した。

キーワード：アンカー、緊張力、緊張治具、荷重計、データ通信システム

アンカーへの取付け・交換が容易な新型アンカー荷重計の開発

【 目 次 】

1. はじめに	
1.1 研究背景	1
1.2 研究目的	5
1.3 達成目標	5
1.4 開発技術の概要	5
1.5 用語の定義	6
2. 活動履歴	
2.1 実施体制	10
2.2 実施工程	11
3. 開発計画	
3.1 開発ステップ	13
3.2 開発製品に対する要求性能	13
4. 優先開発における緊張治具の評価	
4.1 検討項目	16
4.2 試験計画	18
4.3 試験結果	21
5. 優先開発における荷重計の評価	
5.1 検討項目	47
5.2 試験計画	55
5.3 試験結果	58
6. 優先開発におけるデータ通信システムの評価	
6.1 検討項目	67
6.2 試験計画	69
6.3 試験結果	71

7. 拡張開発における緊張治具の評価	
7.1 検討項目	76
7.2 試験計画	77
7.3 試験結果	81
8. 拡張開発における荷重計の評価	
8.1 検討項目	119
8.2 試験計画	127
8.3 試験結果	130
9. 拡張開発におけるデータ通信システムの評価	
9.1 検討項目	139
9.2 試験計画	141
9.3 試験結果	143
10. 現場実証試験	
10.1 試験概要	148
10.2 試験計画（緊張治具）	152
10.3 試験計画（荷重計）	165
10.4 試験計画（データ通信システム）	167
10.5 試験結果 優先開発（緊張治具）	171
10.6 試験結果 拡張開発（緊張治具）	226
10.7 試験結果 優先開発（荷重計）	283
10.8 試験結果 拡張開発（荷重計）	292
10.9 試験結果 優先開発（データ通信システム）	301
10.10 試験結果 拡張開発（データ通信システム）	316
11. 技術的検討事項	
11.1 既往技術の整理（グラウンドアンカー）	330
11.2 既往技術の整理（荷重計）	379
11.3 既往技術の整理（データ通信システム）	402
11.4 くさびセットロス量及び戻り変位量の把握	414
11.5 ジョイントスリーブの取外し方法の検討	431
11.6 緊張治具の取付け具合の違いによる算出リフトオフ荷重のばらつき	440
11.7 作動ジャッキの摩擦力の把握	448

12 . まとめ	
12.1 開発技術の特徴	452
12.2 開発技術の概要	453
13 . 巻末資料	
13.1 参考文献	456

1. はじめに

1.1 研究背景

1.1.1 維持管理の必要性

グラウンドアンカー（以下、「アンカー」という）技術は、1950年代の後半にヨーロッパより導入され、今日までに50年近く経っている。途中、1990年に土質工学会（現在の地盤工学会）から発行された「グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説」による防食性能の高規格化などが行われながら、技術の進歩とともに多くの工法が生まれ、実施されてきた。そして、現在も盛んに施工されており、地すべり対策としても用いられている。

そのようなアンカーであるが、現在、特に1990年の基準発行以前に施工されたアンカーは、その防食構造が十分でなかったことから腐食が進み、破断してアンカーの機能を確保できなくなる事例がみられるようになってきた。また、1990年以降のアンカーでも、地すべり滑動などによって過剰な緊張力が作用して破断する事例も見られる（写真 1.1）。

アンカーは細く長いPC鋼より線などの構造物を地中に設置し、さらにそれに緊張力がかかっているものであるため、維持管理や補修・補強といった施工後のメンテナンスが非常に難しい。健全性の調査・点検といっても、地表に露出しているアンカー頭部の目視点検や部分的な非破壊検査程度にとどまり、アンカー全体、特に地中内部のアンカーがどのような状態になっているのか把握する手法はない。



写真 1.1 地すべり滑動によるアンカーの破断事例

1.1.2 アンカー緊張力計測の重要性

アンカーは作用している緊張力をアンカーヘッドや支圧板を介して受圧構造物へ抑止力として伝達している。一般的に、アンカーで対策された法面は、アンカーにより地すべりの動きが抑えられているため、地表面にクラックなどの変状が現れにくいといわれている。その一方で、アンカーは構造の特性上、受圧構造物背面の土塊が変位した場合や、グラウトと定着地盤との付着強度が低下

した場合、さらにアンカー部材が腐食した場合、アンカーの緊張力はそれらに追従して変動する特性を有している。すなわち、アンカーを維持管理していく上でアンカーの緊張力を連続的に計測することは、地すべり動態観測センサー、またはアンカー自体の健全度を把握するためのセンサーを設置したことと同様なことと言える。

1.1.3 既往のアンカー緊張力の課題

現在、アンカーの緊張力を把握する方法として2通りある。1つは、リフトオフ試験による方法がある(写真 1.2)。リフトオフ試験は任意のタイミングや場所で実施できるものの、得られるデータは試験時のみにとどまり、経時的な傾向を把握するには不向きである。また、測定するために作業足場を仮設したり、大きな緊張ジャッキを用意する必要があり、全体の試験費用に対して、仮設費用の割合が高くなる傾向にある。

もう1つは、アンカー施工時に荷重計をアンカー頭部に取り付け緊張力の変化を監視する方法である(写真 1.3)。計測データを蓄積する装置を併設することで、連続的な緊張力変化を把握することが可能である。しかしながら、初期設備費や維持管理費の面から、データを蓄積する装置は多くの現場で併設されていないのが現状である。

一方、荷重計の耐用年数は一般的に約10年と言われており、アンカーの供用期間(仮に50年間)よりも短いため、アンカー供用期間中に継続してアンカーの緊張力を計測することができない。この問題を解決しようとした時に、他の施工されているアンカーに荷重計を取り付けたり、または既に設置されている荷重計を交換できれば良いと考える。しかしながら、アンカーの自由長や残存している緊張力の関係から、新たな荷重計の取付けや既に設置されている荷重計の交換は非常に困難である。特に施工されたアンカーの半数以上のくさび定着方式のアンカーは、施工時に再緊張余長を切断してしまうため、荷重計の新規設置や交換は非常に困難である(図 1.1)。



写真 1.2 リフトオフ試験の実施例



写真 1.3 荷重計の設置例

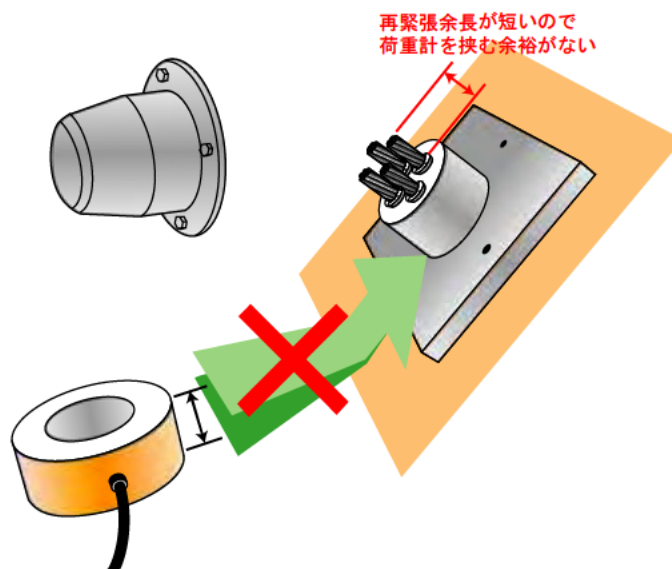


図 1.1 既設アンカーへの荷重計設置・交換の課題

1.2 研究目的

本共同研究では、前節に述べた既往のアンカー緊張力計測技術の課題を解決し、さらに今後のアンカーの維持管理が向上する技術開発を目的とした。

1.3 達成目標

技術開発の具体的な達成目標は以下の通りであり、各目標に向け検討した過程をまとめる。

既設アンカーへの荷重計の取付け・交換が可能な緊張治具および荷重計の開発

既設アンカーに対して荷重計を取り付けることができ、さらにアンカーの供用期間（仮に約 50 年）を通じて連続的な緊張力計測が可能な方法を検討した。その際、荷重計の耐用年数を 50 年間にわたり保証することは現状の技術では難しいと判断した。そのためアンカー供用期間にわたる緊張力計測は、荷重計の耐用年数が到来した場合に荷重計を交換できる技術開発により解決することとした。

無線通信による荷重計計測値の取得システムの開発

維持管理作業の低減を図るために、アンカーヘッドキャップに取り付けが可能な形状のユニットに連続的なデータを蓄積でき、そのデータを無線通信により取得できる通信システムを検討した。無線通信の距離は、アンカーで対策されている斜面直下でデータを取得できることを想定し検討した。さらに維持管理費の低減を図るためにデータを蓄積・送信させるためのユニットの電力は商用電源を必要としないシステムを検討した。

1.4 開発技術の概要

前節の達成目標を要素技術別に分けて整理すると以下の通りであり、それらの要素技術を組み合わせた全体技術を、「既設アンカー緊張力モニタリングシステム」と称することとした。開発した全体技術の運用イメージを図 1.2 に示す。

既設アンカーへの荷重計の取付け・交換が容易な方法の開発

緊張治具の開発

既設アンカーへの荷重計の取付け・交換が容易な荷重計構造の開発

荷重計の開発

荷重計により計測したデータを連続的に蓄積し、そのデータを無線通信により遠隔から簡易に取得できる通信システムの開発

データ通信システムの開発

以降の本報告書内容は、要素技術別を実施した各種試験および全体技術で実施した現場実証試験をとりまとめたものである。

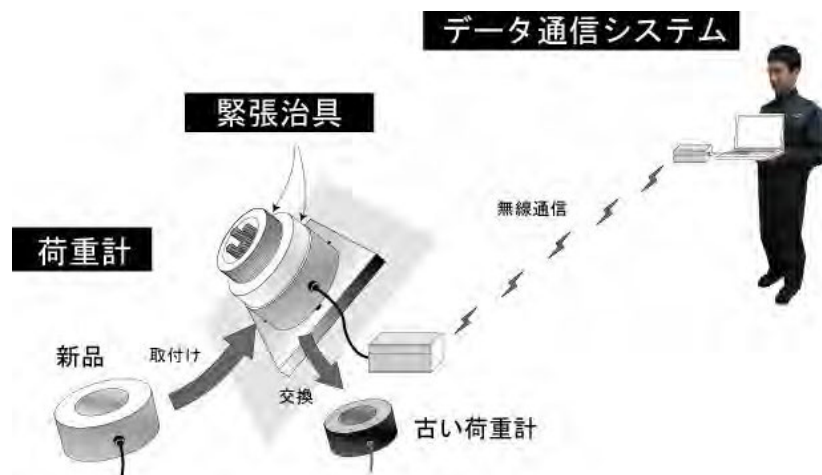


図 1.2 開発技術の運用イメージ

1.5 用語の定義

本報告書において主に用いる用語の定義を下記に示す。なお、用語の示し方は、一般的にグラウンドアンカーの設計および施工に用いられているものと本共同研究特有のものに分け、さらに共同研究特有の用語は、本報告書の構成に準じ緊張治具、荷重計、データ通信システムの3分野に分けた。

1.5.1 グラウンドアンカー

(1) グラウンドアンカー

グラウンドアンカーとは、作用する引張り力を適当な地盤に伝達するためのシステムで、グラウトの注入によって造成されるアンカー体、引張り部、アンカー頭部によって構成されるものである。なお、本報告書では『アンカー』という。

(2) アンカー体

アンカー体とは、グラウトの注入により造成され、引張り部から引張り力を地盤との摩擦抵抗もしくは支圧抵抗によって地盤に伝達するために設置する抵抗部分をいう。

(3) 引張り部

引張り部とは、アンカー頭部からの引張り力をアンカー体に伝達するために設置する部分をいう。

(4) アンカー頭部

アンカー頭部とは、構造物からの力を引張り力として引張り部に伝達させるための部分で定着具と支圧板からなる。

(5) テンドン

テンドンとは、引張り力を伝達する部分をいう。通常、PC鋼線、PC鋼より線、PC鋼棒、あるいは連続繊維補強材などコンクリート補強材の材料として、JISあるいは学会の規格として認められたものが用いられる。

(6) 定着具

定着具とは、テンドンをアンカー頭部で定着させる部材をいう。定着方法は一般的に、クサビ定着方式あるいはナット定着方式が用いられている。

(7) 支圧板

支圧板とは、定着具と台座あるいは構造物との間に設置される部材をいう。

(8) 緊張力

緊張力とは、テンドンに引張り力として与える力をいう。

(9) 残存引張り力

残存引張り力とは、アンカーの供用時に作用しているテンドンの引張り力をいう。本報告書における『緊張力』とは残存引張り力を指す場合が多い。

(10) 荷重

荷重とは構造物の全体あるいは一部が、アンカーの引張り力により受ける力をいう。

(11) 受圧構造物

アンカー頭部から緊張力を有効に斜面・構造物等に伝達するために設ける台座等をいう。

(12) 再緊張余長

再緊張に必要なアンカー頭部におけるテンドンの緊張しるをいう。

(13) 頭部キャップ

頭部キャップとは、アンカー頭部の定着具の保護と防食のために、これを覆うとともに防食材料が充填でき、かつ管理点検時には取外しが可能なものをいう。

(14) リフトオフ試験

既に定着されているアンカーの残存引張り力を測定する方法のうち、定着具やテンドン余長にジャッキをセットして載荷することで、定着部が支圧板から離れ始めたとき(リフトオフ)の荷重を測定して、アンカー引張り力を求める試験。

(15) リフトオフ荷重

リフトオフ試験により算出した、試験時にアンカーへ導入されている緊張力をいう。

(16) モニタリング

通常の点検よりも高い頻度で、継続的に計測を行うことで供用期間中のアンカーの状態を把握すること。一般的には荷重計を用いた残存引張り力のモニタリングを指すことが多い。

1.5.2 緊張治具

(1) 緊張治具

本報告書における緊張治具とは、緊張ジャッキ、ラムチェア、テンションロッド、テンションナット、また、緊張力を荷重計へ移行させた後のモニタリング期間中、アンカー頭部に存置されるジョイントスリーブ、テンションスリーブ、定着ナットがある。

(2) セット量

セット量とはテンドンを定着具に定着するときにテンドンがアンカー体方向に引き込まれる長さをいう。荷重が減失されることからセットロスとも言われる。

(3) セットロス

ジョイントスリーブのくさびとPC鋼より線の食込みにより発生する変位量。

(4) チェックリフトオフ試験

緊張力を荷重計へ移行後、荷重計の指示値と移行した緊張力を確認するために行うリフトオフ試験のことをいう。

(5) 荷重計定着

緊張治具を用いてアンカー引張り力を荷重計に移行させることをいう。

(6) 戻り変位量

リフトオフ試験によりリフトオフ荷重を確認後、緊張力を荷重計へ移行させる前と移行させた後のテンドンの変位量の差を戻り変位量という。

(7) 予備緊張

クサビのセットロスを取り除くため、リフトオフするまで緊張を行うことをいう。

(8) アバットメント試験

鋼製の架台に緊張定着された模擬アンカーを利用した試験をいう。

(9) 模擬緊張力用ジャッキ

アバットメント試験の模擬アンカーの緊張力を変動させるための緊張ジャッキのことをいう。
(以下、アバット試験という時もある。)

(10) 荷重計のセンタリング

アンカーヘッドと荷重計の中心軸を合わせることをいう。

1.5.3 荷重計

(1) 定格出力

荷重計の定格容量時の出力値から零点を差し引いた値。

(2) 非直線性

荷重計の零点と定格容量時の出力値を結ぶ直線と荷重計の測定範囲における負荷増加時（載荷時）の出力値との隔たりの最大値で、定格出力に占める割合で表す。（%R0）

(3) ヒステリシス

荷重計の測定範囲における負荷増加時（載荷時）の出力値と減少時（除荷時）の出力値との差の最大値で、定格出力に占める割合で表す。（%R0）

(4) 繰り返し性

一様な環境で同一な負荷を繰り返した際の定格出力値の差の最大値で、定格出力に占める割合で表す。（%R0）

(5) 精度

測定値の正確さと精密さを含めた、測定量の真の値との一致の度合いである。

(JIS Z8103-2000,2005 確認 計測用語 定義 2623)

1.5.4 データ通信システム

(1) データ通信システム

荷重計計測において、荷重の測定、記録および無線で記録したデータを回収するシステムのこと。データ送信ユニットとデータ回収装置で構成されている。

(2) データ送信ユニット

荷重計の測定荷重をデジタル変換後、内部のメモリに記録し、回収時に無線で記録したデータを送信する装置のこと。ロガー機能部と無線機能部で構成されている。

(3) データ回収装置

データ送信ユニットから送信されたデータを受信する装置のこと。無線機能部とノート PC

で構成されている。

(4) ロガー部

データ送信ユニットにおいて、荷重を測定し、記録するユニットのこと。

(5) 無線通信部

データ送信ユニットおよび、データ回収装置で、無線通信をおこなうユニットのこと。本システムでは 2.4GHz 帯の周波数を使用。

(6) 測定精度

測定結果の正確さと精密さを含めた、測定量の真の値との一致の度合い。非直線性とヒステリシスで評価する。

(7) 非直線性

測定範囲の最小値と最大値を結ぶ直線との最大偏差を測定範囲に対する百分率で表したものの。

(8) ヒステリシス

各測点の行きと帰りの最大値を、測定範囲に対する百分率で表したものの。

(9) IP

IEC 規格 529 に基づいて規定された固形異物、水に対する電気機器、キャビネットの保護等級表示。

(10) 零変動

温度試験時における、低温時と高温時の無負荷時の出力の変化

(11) 出力変動

温度試験時における、低温時と高温時の測定範囲最大値の出力の変化

2. 活動履歴

本共同研究は平成 18 年 11 月から活動が開始された。研究活動の初年度である平成 18 年度は、共同研究で解決しようとする諸問題の整理と、それを取り巻く技術（アンカー、荷重計、データ通信システム）の現状把握を行った。

平成 19 年度は、18 年度に実施した既往技術の整理結果を踏まえ、緊張治具、荷重計、データ通信システムの開発すべきターゲット（アンカー工法及びその規格）を絞り込み開発性能仕様を決定し、それぞれの試作品（優先開発品）を製作し、その性能を確認する各種試験を実施した。

平成 20 年度は、19 年度に製作した優先開発品の現場での適応性等を検証することを目的とし現場実証試験（平成 20 年 4 月から平成 21 年 5 月）を実施した。また開発すべきターゲットを広げ、開発性能仕様を決定し、それぞれの試作品（拡張開発品）を製作し、その性能を確認する各種試験ならびに現場実証試験（平成 21 年 1 月から平成 21 年 9 月）を実施した。

最終年度である平成 21 年度は、実施してきた各種試験結果のとりまとめや補足試験を実施し、開発技術の普及を図るためのマニュアルの作成を行った。

2.1 実施体制

本共同研究では、開発するシステムを構成する要素技術についてワーキンググループ（以下、「WG」という）を作り、検討を進めてきた。図 2.1 に全体イメージを示し、表 2.1 に各 WG の構成メンバーを示す。

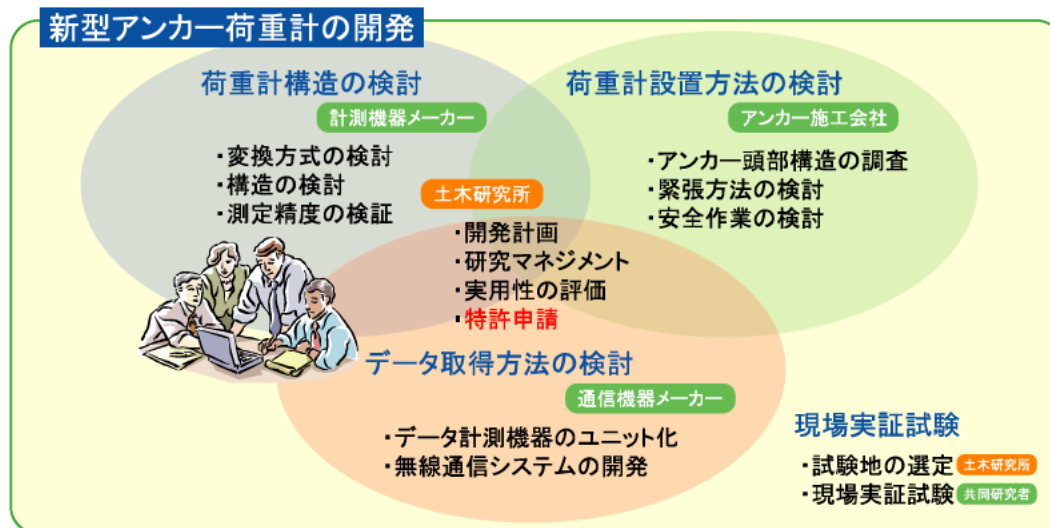


図 2.1 システムを構成する要素技術と研究担当 WG

表 2.1 ワーキンググループ構成とメンバー

ワーキンググループ名	メンバー会社
各 WG マネジメント	土木研究所
緊張治具 WG	日特建設株式会社 守谷鋼機株式会社 ライト工業株式会社
荷重計 WG	守谷鋼機株式会社 株式会社共和電業 株式会社エスイー 株式会社東横エルメス 坂田電機株式会社 株式会社東京測器研究所
データ通信システム WG	株式会社共和電業 坂田電機株式会社 株式会社東京測器研究所

2.2 実施工程

本共同研究の実施工程を表 2.2 に示す。

3. 開発計画

3.1 開発ステップ

緊張治具と荷重計の開発は、平成 18 年度に実施した既往技術の整理結果を参考に、対象アンカーを絞って開発した「優先開発」と、基本製品が出来上がった後にそれらを改良し適用範囲を拡張していく「拡張開発」の 2 ステップで実施した。なお、緊張治具と荷重計は、各開発が個別の達成目標であるため、それぞれの段階で実施した試験に対して、最終的な評価をすることとした。

データ通信システムの開発も同様に平成 18 年度に実施した既往技術の整理結果を参考にしつつ、主に荷重計計測データの蓄積数とデータ通信ユニットのバッテリー容量に着目し開発を行った。開発は、基本性能を構築するための「優先開発」と、基本性能が出来上がった後に改良し性能の拡張を図る「拡張開発」の 2 ステップで実施した。なお、データ通信システムの最終の達成目標は、「拡張開発」であるため、「拡張開発」の時の試験に対して最終的な評価をすることとした。

各開発段階で設定した要求・開発性能、また各種試験ならびに試験結果に対する評価方法等は、現状の各既往技術とアンカー緊張力計測に求められている計測頻度・精度等を考慮し、本共同研究が独自に設定したものである。なお、要求・開発性能は、開発段階における各種試験時点での達成すべき目標であり、どの程度の期間、この性能が確保できるかを確認する試験は実施していない。

3.2 開発製品に対する要求性能

開発する製品に対して、まず、土木研究所から要求性能を各 WG に提示した。要求性能は、第 1 次から第 3 次まであり、徐々に具体的な要求へと変化し、その内容は各要素技術の現状とすり合わせていった。各 WG への最終要求性能である第 3 次要求性能を表 3.1～表 3.3 に示す。

その後、各 WG において第 3 次要求性能をもとに実現可能な開発製品の目標性能を設定し、その性能を満たすように詳細な仕様を検討し開発を進めた。

表 3.1 緊張治具に対する第 3 次要求性能

項目	優先開発	拡張開発	備考
定着荷重	500kN程度	100kN～500kN 500kN～1,000kN	
アンカー tendon のタイプ	PC鋼より線タイプ	多重PC鋼より線タイプ	
アンカーヘッドタイプ	クサビ定着方式	クサビ定着方式	
再緊張余長	あり なし		
耐用年数	30年	50年以上	
その他	均等に緊張できること 安全に作業できること 人力で作業できる程度の軽さ		

表 3.2 荷重計に対する第3次要求性能

項目	優先開発	拡張開発	備考
定着荷重	500kN程度	100kN ~ 500kN 500kN ~ 1,000kN	
形状			緊張治具WGから提示
荷重測定精度	実荷重との誤差10%程度	実荷重との誤差5%	
定格出力 (RO)			
非直線性			
ヒステリシス			
零点の温度特性			
出力の温度特性			
補償温度範囲	- 10 ~ + 60		
許容温度範囲	- 20 ~ + 70		
許容過負荷	120%		
入出力抵抗			
推奨印加電圧			
許容印加電圧			
零バランス			
絶縁抵抗			
耐用年数 (センサー部)	6年	12年以上	電池寿命の2倍以上
耐用年数 (鋼材部)	30年	50年以上	
保護等級	IP 65	IP 67	
その他	偏荷重に強い		

表 3.3 データ通信システムに対する第3次要求性能

項目	優先開発	拡張開発	備考
【アンブ部】			
適用センサ	ひずみ、差動トランス		別々のアンブとする
測定範囲			
測定レンジ			
測定精度			
時計設定	設定（年・月・日・時・分・秒）		
時計精度	±2秒/日		
測定点数	2点（荷重、時間）	3点（荷重、時間、温度）	
データメモリ			
A/D変換器			
記録回数	200以上（=1回/日×3ヶ月×2点）	2200以上（=2回/日×1年×3点）	データ通信をしない期間のデータは通信システム内で蓄積
消費電力			
【アンテナ部】			
電源			
通信手法	無線		
通信周波数			
通信距離	現場内測定、50m程度 （現場に調査員が行ってデータ回収をすることを想定）	現場外へのデータ転送システム （現場にルーターを置き、既設の情報通信システム（無線、電話線、光ファイバケーブル）に載せて遠隔地でデータ回収ができるシステムの構築。既往システムの流用。システム設計まで。この際の電源は、商用100Vをルーターの位置まで引き込めると想定）	
データ通信個数	10台以上/回	50台以上	一度に法面全体に設置してある荷重計からのデータを受信できる。
消費電力			
【共通部】			
外形寸法			
電源方式	電池、荷重測定用電源と共用		
電源寿命	1年以上	3年以上	
電池交換	容易にできること		
電源			
使用温度範囲	-10 ~ +50	-10 ~ +60	
使用湿度範囲	85%RH以下		
保護等級	IP 54	IP 67	
耐用年数	3年	6年以上	
その他	電池交換の必要性から、アンカーヘッドキャップの外側にユニットを設置		

4. 優先開発における緊張治具の評価

4.1 検討項目

土木分野の永久アンカーで技術審査証明を取得しているものだけでも 14 工法がある。そして、それらは過去より様々な改良を行ってきており、アンカーヘッドのサイズなどが時代とともに変化している工法もある。このように多種多様なアンカー工法に対して、初めから全てに対応できるシステムを開発していくことは困難である。

そこで、第 3 次要求性能を踏まえ、「優先開発」では、過去における施工数量（シェア）などから VSL アンカー工法の E5-4（1986 年～1996 年に施工、永久常時：440kN/本、アンカーヘッドサイズ：φ85mm×h60mm）を対象として開発仕様を設定した。

4.1.1 緊張力の計測機構の検討

開発対象アンカーの緊張力はアンカーヘッドから支圧板に作用している（図 4.1）。この作用しているアンカー緊張力を荷重計へ移行する方法を安全面および作業面において検討した。その結果、緊張力を荷重計へ移行させる機構は、既往のリフトオフ試験を応用し、取付け治具の特殊な構造により荷重計にアンカー緊張力を移行させる方法を採用した（図 4.2）。採用した機構に基づき開発治具の仕様を設定した。

アンカー緊張力を荷重計に移行させる機構は、以下の通りである。アンカーヘッドの外側に円筒形の荷重計を被せ、PC 鋼より線の余長を利用してジョイントスリーブをクサビにより固定させ、これをテンションスリーブ、テンションロッドを介して油圧ジャッキにより緊張し、既設アンカーヘッドをリフトアップさせる。その状態で定着ナットをネジ回転により荷重計に密着させ、油圧ジャッキを除荷する。これにより、アンカー緊張力が荷重計に伝わる機構とし、さらに既設アンカーへの荷重計の取付け・交換を可能とした。

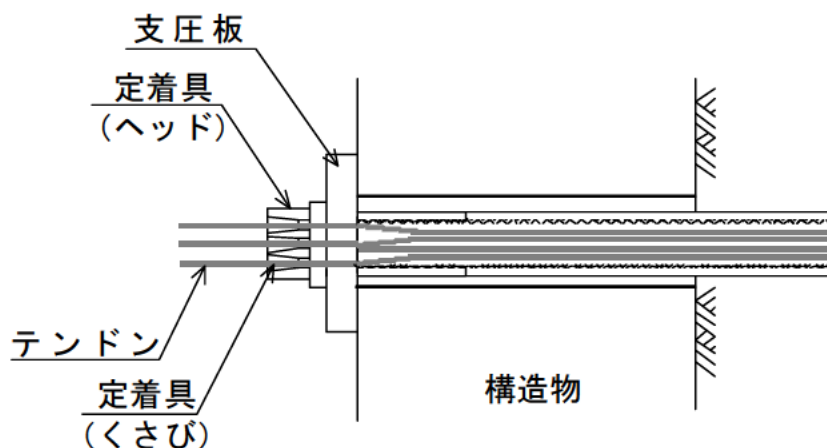


図 4.1 開発対象アンカー構造図

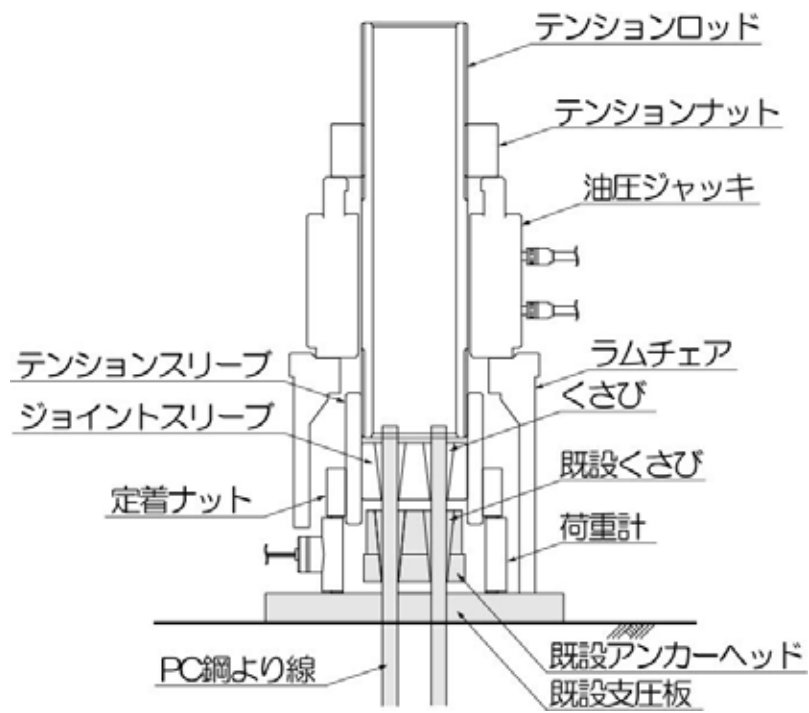


図 4.2 取付け治具および荷重計機構図

4.2 試験計画

開発仕様に基づき試作した緊張治具が要求性能を満たしているか以下の試験により評価を行った。

マッチング試験：緊張治具と荷重計の実測寸法測定及び組合せ状態の評価

ジャッキ校正試験：油圧ジャッキの载荷性能及び校正

アバットメント試験：荷重計取付け・取外しの作業性の評価

4.2.1 マッチング試験

マッチング試験は、緊張治具及び各社の荷重計に対し、表 4.1 に示す項目の確認を行った。

表 4.1 マッチング試験の確認項目

分 類	項目	内 容	
寸法測定	緊張治具	1-1	ラムチェアの外径、内径、高さ (mm)
		1-2	油圧ジャッキの外径、内径、高さ (mm)
		1-3	ジョイントスリーブの外径、高さ (mm)
		1-4	ジョイントロッドの外径、内径、高さ (mm)
		1-5	定着ナットの外径、内径、高さ (mm)
		1-6	テンションロッドの外径、内径、高さ (mm)
		1-7	テンションナットの外径、内径、高さ (mm)
	荷重計	2-1	荷重計の外径、内径、高さ (mm)
		2-2	ケーブル突出部の突出位置、突出量 (mm)
		2-3	アタッチメントの有無、形状
組合せ状態 目視点検	3-1	荷重計がラムチェア内に支障なく収まるか	
	3-2	荷重計の出力ケーブルが支障なく取り出せるか	
	3-3	荷重計の载荷面と定着ナットの接触面にガタツキ等はないか	
	3-4	組み合せた状態で、定着ナットの締付がスムーズに行えるか	
	3-5	その他、組み合せた状態での不具合はないか	

4.2.2 ジャッキ校正試験

製作した油圧ジャッキをジャッキ検査台にセットし、油圧と校正用荷重計の指示値を比較し、校正係数を求めた。その校正係数を用いて油圧ジャッキの性能確認を行った。

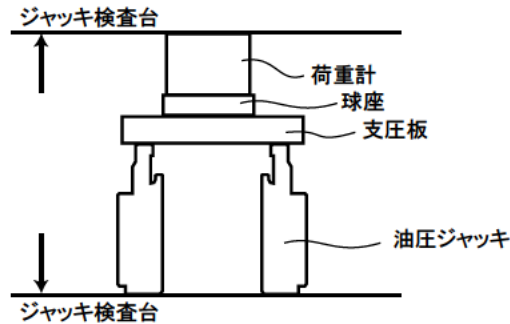


図 4.3 ジャッキ検査台

4.2.3 アバットメント試験

アバットメント試験は、アバットメント（以下、単に「アバット」という場合もある。）に緊張定着された（定着荷重 400kN）模擬アンカーに対し、緊張治具を用いて各社の荷重計の取付け・取外しを行い、その作業性の評価を行った。アバットの概要を図 4.4、試験状況を写真 4.1 に示す。

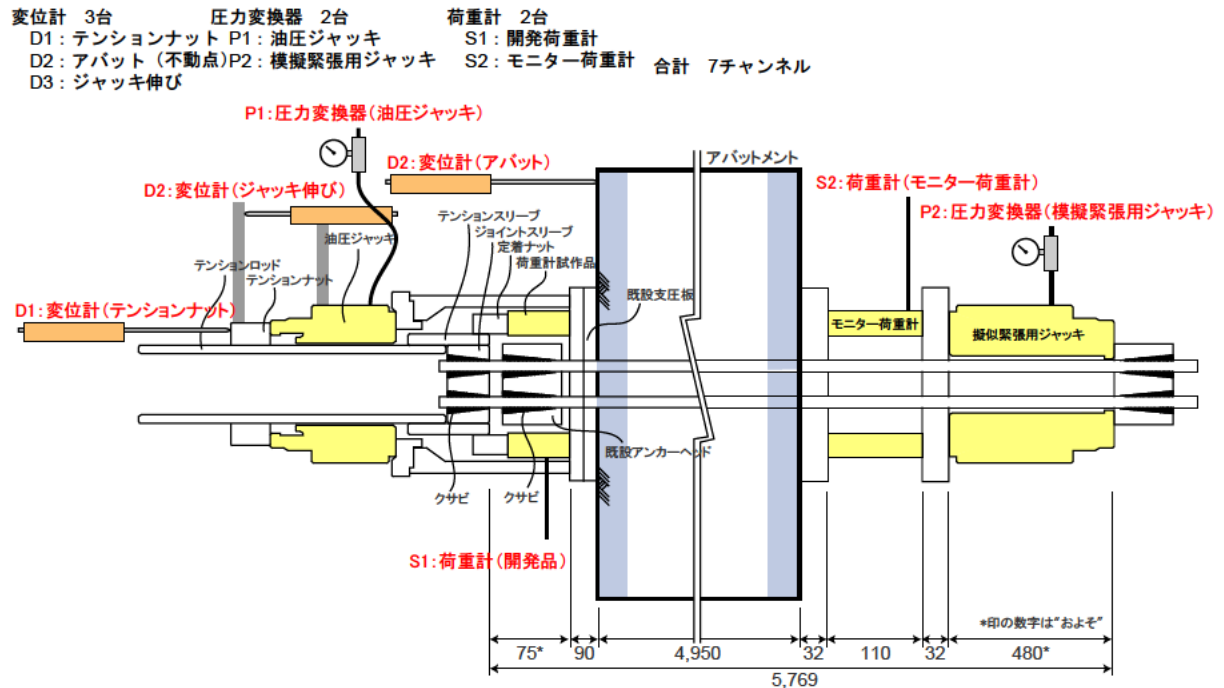


図 4.4 アバット試験の概要



アンカーヘッド（緊張治具取付け）側



模擬緊張用ジャッキ側

写真 4.1 アバット試験の概要

(1) リフトオフ試験の実施

緊張治具を用いてリフトオフ試験を実施し、油圧ジャッキの作動状況を及び一連の操作性の評価を行った。リフトオフ試験の最大荷重は、アバットに設置したアンカーの許容荷重（永久常時：440kN）とした。

(2) 荷重計の取付け・取外し作業性の確認

アバットに設置したアンカーをリフトオフさせてアンカーヘッドを支圧板から浮かせた後、定着ナットを締付け、油圧ジャッキを解放して荷重計の取付けを行う一連の作業性を確認した。また、その後、定着した荷重計を取外す作業を行い、その作業性も確認した。

4.3 試験結果

4.3.1 製作緊張治具

製作した緊張治具の構成を表 4.2 および図 4.5 に示す。また、各治具の外観写真を写真 4.2 と写真 4.3 に外観図を図 4.6～図 4.14 に示す。

表 4.2 500kN 用緊張治具の構成

品名	仕様・規格	重量 (kg)	備考
ジョイントスリーブ	89mm×50mm リテーナー(かんざしス ペーサー付き)	1.7	存置部材
テンションスリーブ	115mm×H100mm	3.2	存置部材
定着ナット	140mm×H43mm	1.7	存置部材(荷重計により選択)
	160mm×H43mm	3.3	存置部材(荷重計により選択)
テンションロッド	89mm×H350mm	6.8	
テンションナット	140mm×45mm	3.3	
専用油圧ジャッキ	180mm×H116mm 単動式、ストローク 20mm	14.7	
	205mm×H190mm 複動式、ストローク	35.3	
ラムチェア	203mm×H232mm 単動式油圧ジャッキ用	12.5	
	205mm×H242mm 複動式油圧ジャッキ用	20.6	

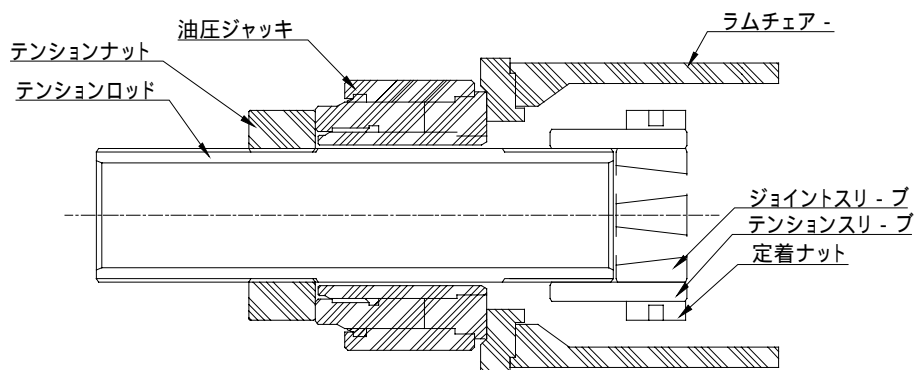


図 4.5 緊張治具の構成



写真 4.2 緊張治具一式（単動式油圧ジャッキ）



写真 4.3 緊張治具一式（複動式油圧ジャッキ）

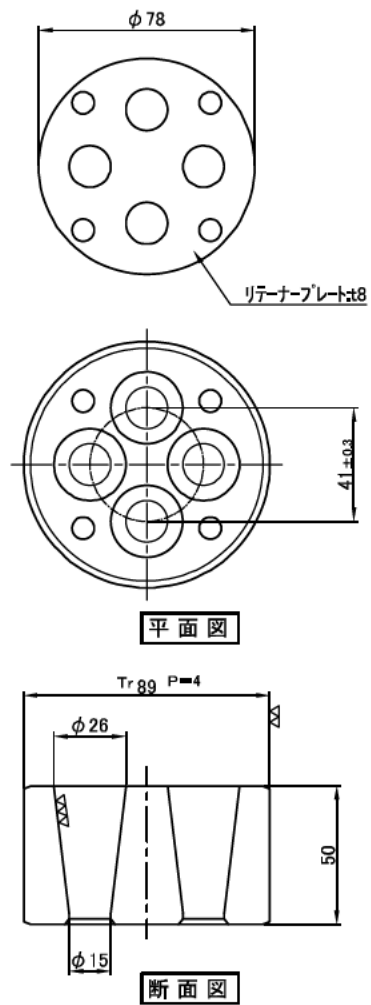


図 4.6 ジョイントスリーブ (500kN 用)

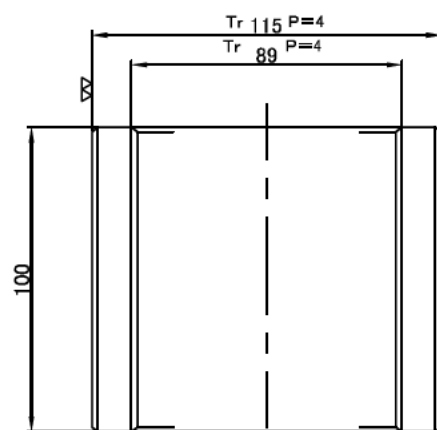


図 4.7 テンションスリーブ (500kN 用)

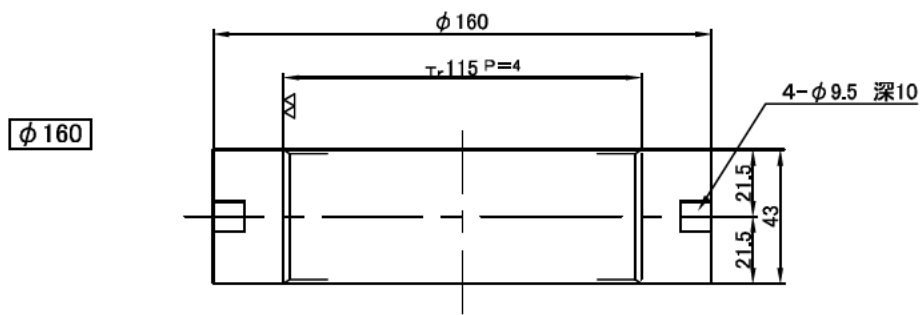
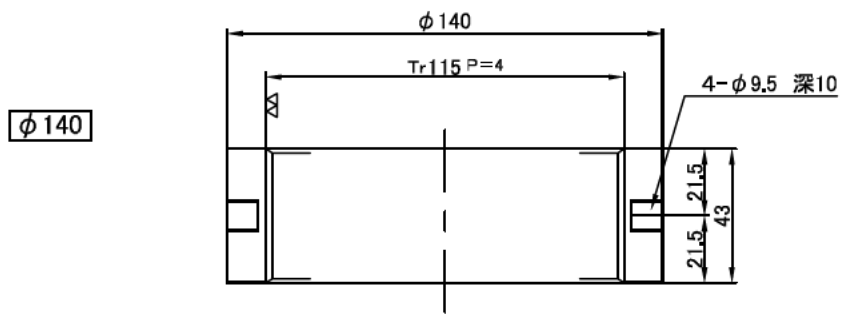


図 4.8 定着ナット (500kN 用)

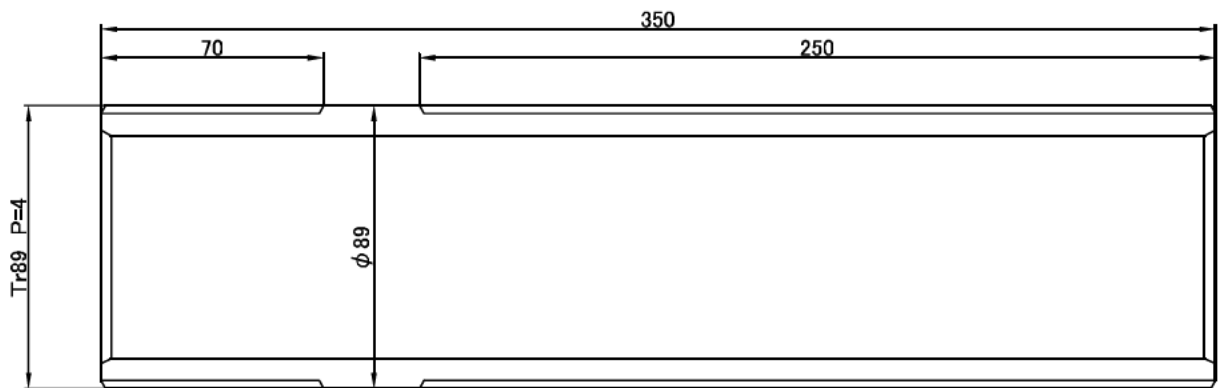


図 4.9 テンションロッド (500kN 用)

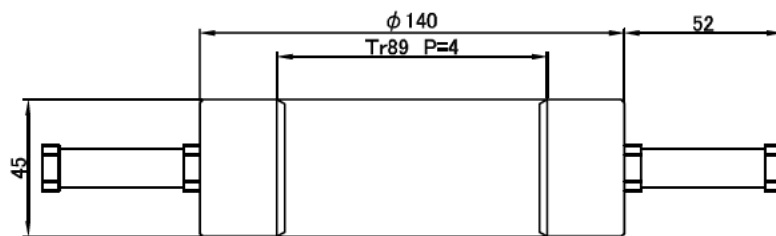


図 4.10 テンションナット (500kN 用)

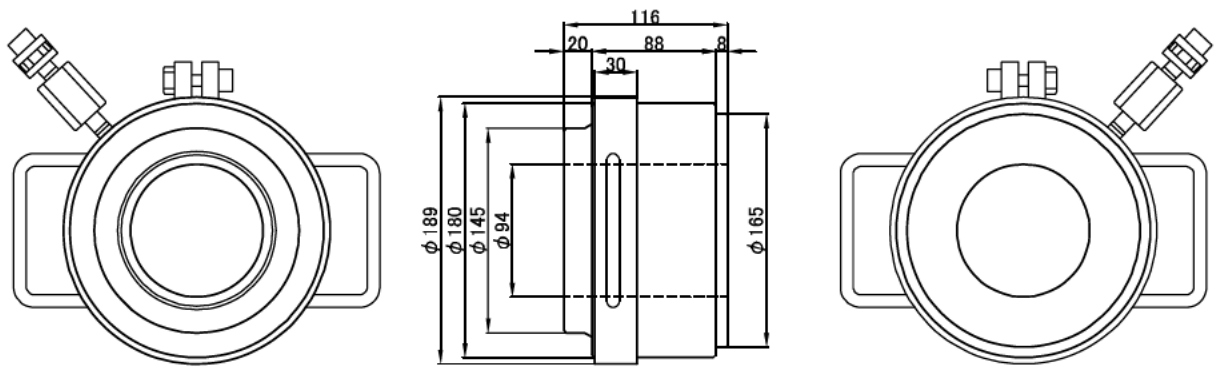
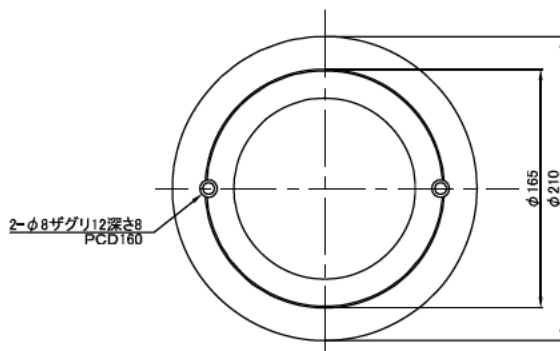
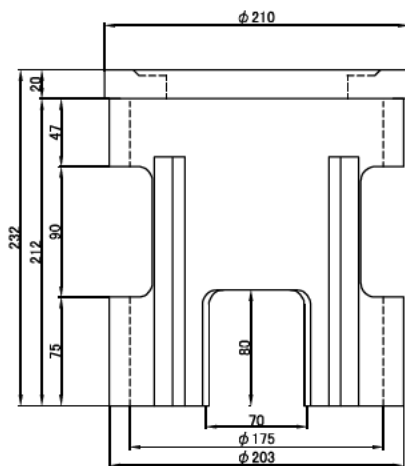


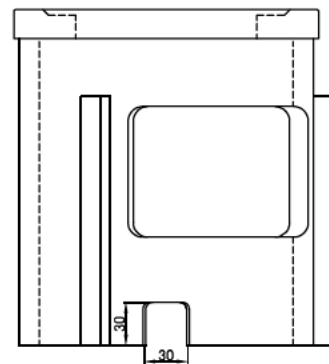
図 4.11 単動式油圧ジャッキ (500kN 用)



平面図



正面図



側面図

図 4.12 単動式油圧ジャッキ用ラムチェア (500kN 用)

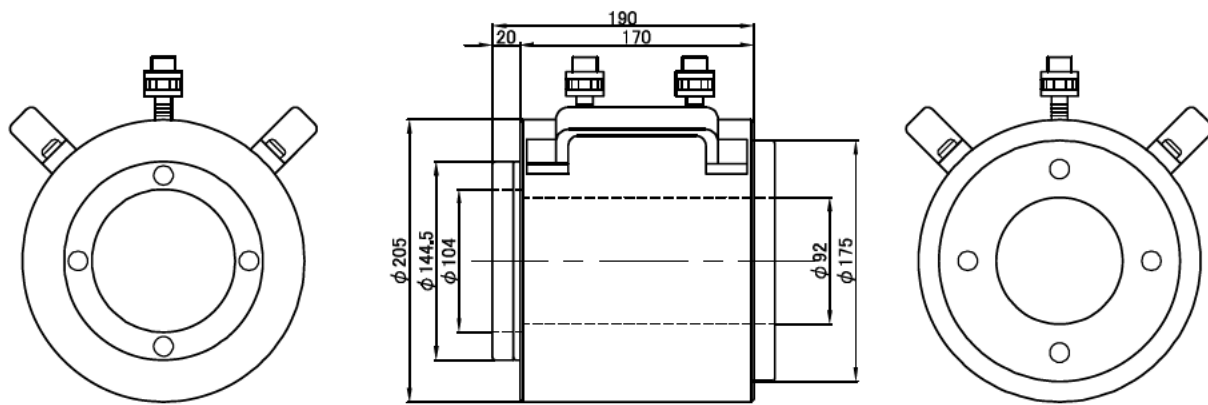
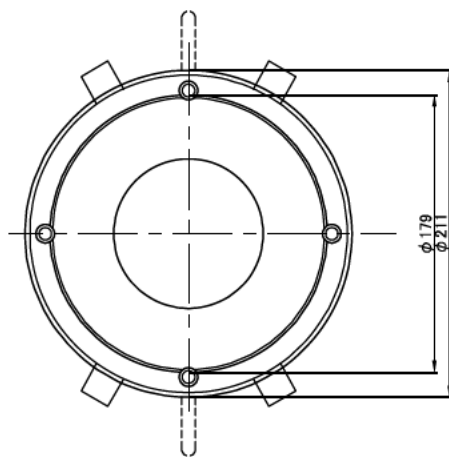
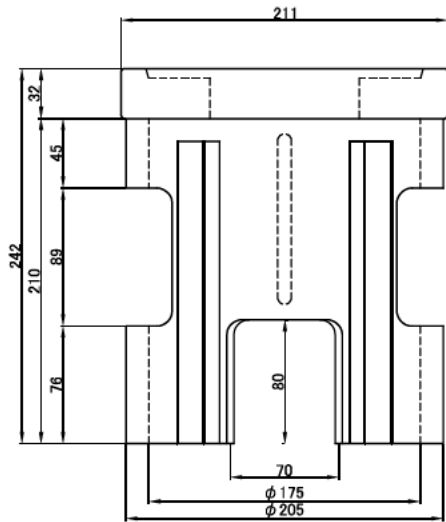


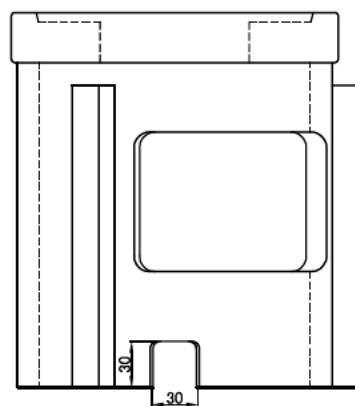
図 4.13 複動式油圧ジャッキ (500kN 用)



平面図



正面図



側面図

図 4.14 複動式油圧ジャッキ用ラムチェア (500kN 用)

4.3.2 マッチング試験

(1) 緊張治具の寸法測定

製作した緊張治具について、出来上がりの寸法を実測し設計通りのものができているか確認した。その結果を表 4.3 に示す。

表 4.3 緊張治具の実測寸法測定結果

項目	測定内容								
	外径 (mm)			内径 (mm)			高さ (mm)		
	設計	実測	差	設計	実測	差	設計	実測	差
ラムチェア (単動式用)	203.0	203.2	+0.2	175.0	175.6	+0.6	232.0	234.0	+2.0
ラムチェア (複動式用)	205.0	205.3	+0.3	175.0	175.5	+0.5	242.0	242.0	±0.0
油圧ジャッキ (単動式)	180.0	181.0	+1.0	94.0	94.0	±0.0	116.0	116.2	+0.2
油圧ジャッキ (複動式)	205.0	205.2	+0.2	92.0	92.2	+0.2	190.0	192.0	+2.0
ジョイントスリーブ	89.0	88.8	-0.2	-	-	-	50.0	50.1	+0.1
リテーナー	78.0	78.1	+0.1	-	-	-	8.0	8.1	+0.1
テンションスリーブ	115.0	115.7	-0.3	89.0	89.0	±0.0	100.0	100.2	+0.2
定着ナット (140mm)	140.0	140.1	+0.1	115.0	114.2	-0.8	40.0	40.1	+0.1
定着ナット (160mm)	160.0	159.4	-0.6	115.0	114.2	-0.8	40.0	40.1	+0.1
テンションロッド	89.0	88.9	+0.9	60.0	60.8	+0.8	350.0	352.0	+2.0
テンションナット	140.0	140.0	±0.0	89.0	88.8	-0.2	45.0	45.0	±0.0

(2) 荷重計との組合せ評価

各社の荷重計に対するマッチング試験の評価と緊張治具・荷重計組み合わせ図を以下に示す。

① 共和電業製荷重計

表 4.4 荷重計の寸法計測結果 (共和電業製荷重計)

分類	項目	内 容	設計値	実測値	差
荷重計 寸法計 測	⑥	荷重計外径 (mm)	168.0	168.2	+0.2
	⑦	荷重計高さ (mm)	70.0	70.0	±0.0

表 4.5 マッチング試験結果 (対 共和電業製荷重計)

株式会社共和電業

分類	項目	内 容	良好	普通	不良
目視 点検 項目	①	荷重計がラムチェア内に支障なく収まるか?	○		
	②	荷重計の出力ケーブルが支障なく取り出せるか?	○		
	③	荷重計の載荷面と定着ナットの接触面にガタツキ等はないか?	○		
	④	組み合わせた状態で、定着ナットの締付がスムーズに行えるか?	○		
	⑤	その他、組み合わせた状態での不具合はないか?	○		

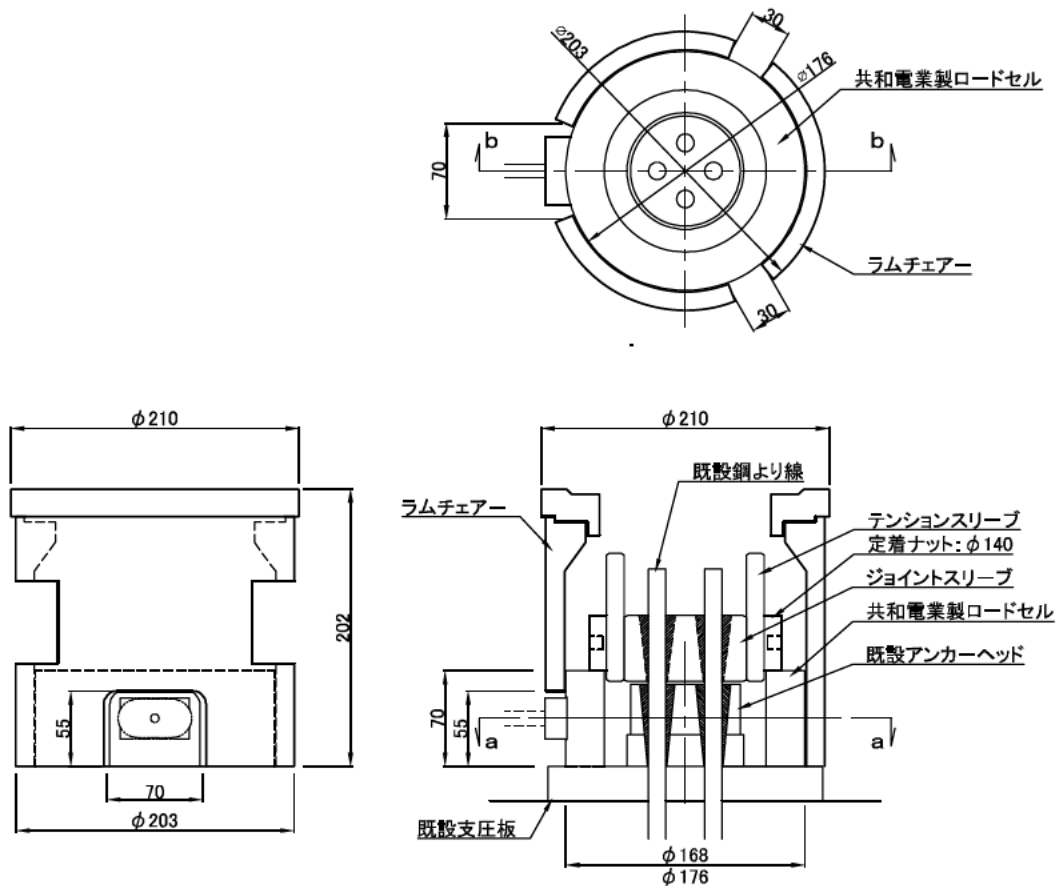


図 4.15 緊張治具・荷重計 (共和電業製) の組合せ

エスイー製荷重計

表 4.6 荷重計の寸法計測結果（エスイー製荷重計）

分類	項目	内 容	設計値	実測値	差
荷重計 寸法計 測		荷重計外径 (mm)	170.0	170.2	+0.2
		荷重計高さ (mm)	50.0	50.0	±0.0

表 4.7 マッチング試験結果（対 エスイー製荷重計）

分類	項目	内 容	良好	普通	不良
目視 点検 項目		荷重計がラムチェア内に支障なく収まるか？			
		荷重計の出力ケーブルが支障なく取り出せるか？			
		荷重計の載荷面と定着ナットの接触面にガタツキ等はないか？			
		組み合せた状態で、定着ナットの締付がスムーズに行えるか？			
		その他、組み合せた状態での不具合はないか？			

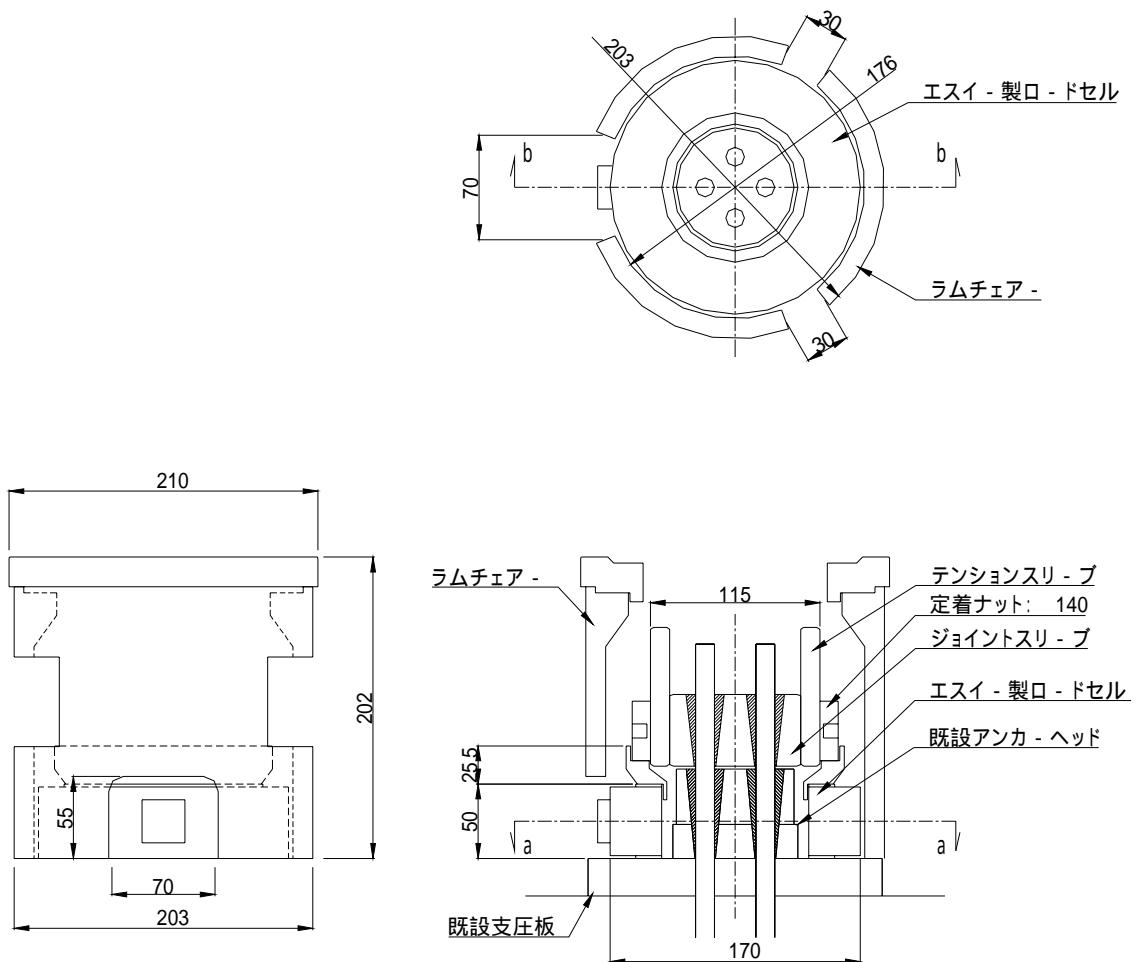


図 4.16 緊張治具・荷重計（エスイー製）の組合せ

東横エルメス製荷重計

表 4.8 荷重計の寸法計測結果（東横エルメス製荷重計）

分類	項目	内 容	設計値	実測値	差
荷重計 寸法計 測		荷重計外径 (mm)	140.0	140.0	±0.0
		荷重計高さ (mm)	63.0	63.3	+0.3

表 4.9 マッチング試験結果（対 東横エルメス製荷重計）

分類	項目	内 容	良好	普通	不良
目視点検項目		荷重計がラムチェア内に支障なく収まるか？			
		荷重計の出力ケーブルが支障なく取り出せるか？			
		荷重計の載荷面と定着ナットの接触面にガタツキ等はないか？			
		組み合せた状態で、定着ナットの締付がスムーズに行えるか？			
		その他、組み合せた状態での不具合はないか？			

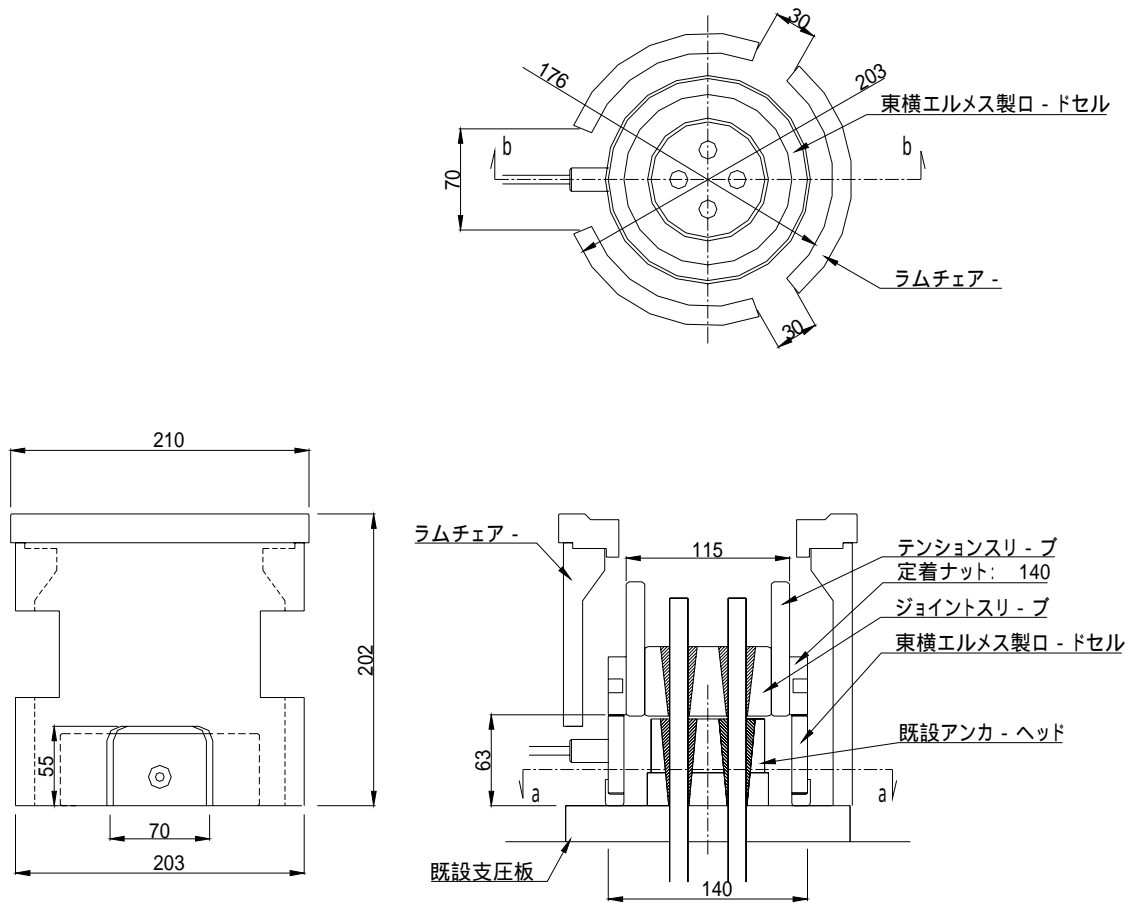


図 4.17 緊張治具・荷重計（東横エルメス製）の組合せ

東京測器研究所製荷重計

表 4.10 荷重計の寸法計測結果（東京測器研究所製荷重計）

分類	項目	内 容	設計値	実測値	差
荷重計 寸法計 測		荷重計外径 (mm)	155.0	155.0	±0.0
		荷重計高さ (mm)	65.0	65.1	+0.1

表 4.11 マッチング試験結果（対 東京測器研究所製荷重計）

分類	項目	内 容	良好	普通	不良
目視 点検 項目		荷重計がラムチェア内に支障なく収まるか？			
		荷重計の出力ケーブルが支障なく取り出せるか？			
		荷重計の載荷面と定着ナットの接触面にガタツキ等はないか？			
		組み合せた状態で、定着ナットの締付がスムーズに行えるか？			
		その他、組み合せた状態での不具合はないか？			

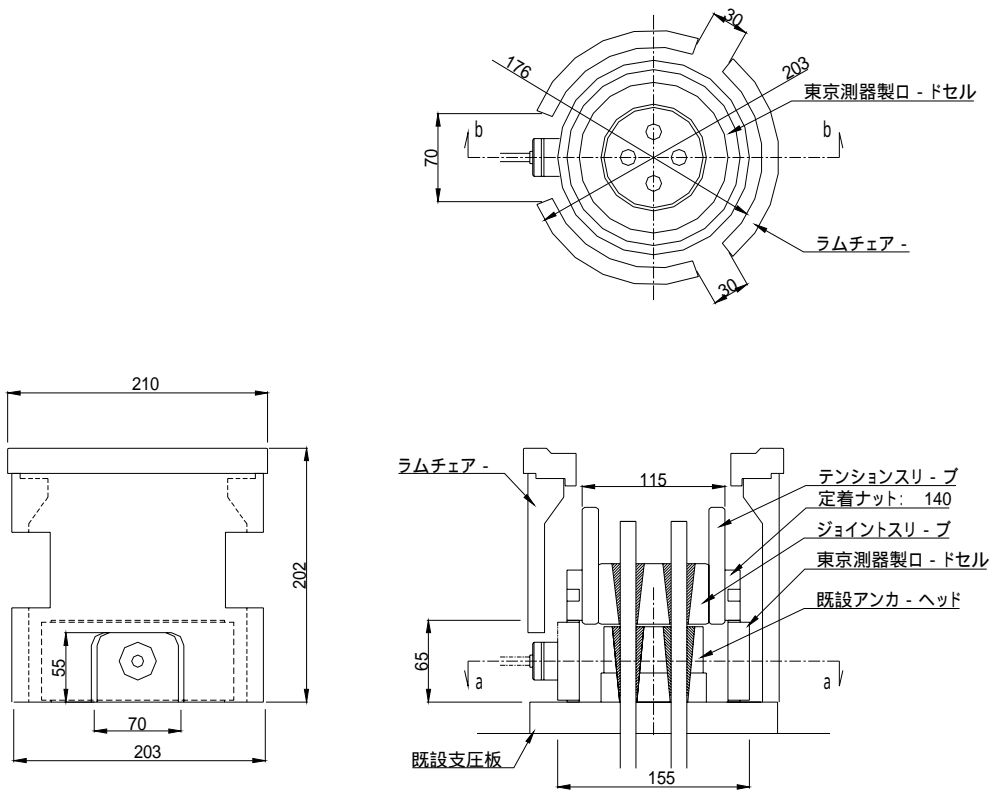


図 4.18 緊張治具・荷重計（東京測器研究所製）の組合せ

坂田電機製荷重計

表 4.12 荷重計の寸法計測結果（坂田電機製荷重計）

分類	項目	内 容	設計値	実測値	差
荷重計 寸法計 測		荷重計外径 (mm)	166.0	166.0	±0.0
		荷重計高さ (mm)	35.0	34.5	-0.5

表 4.13 マッチング試験結果（対 坂田電機製荷重計）

分類	項目	内 容	良好	普通	不良
目視点検項目		荷重計がラムチェア内に支障なく収まるか？			
		荷重計の出力ケーブルが支障なく取り出せるか？			
		荷重計の載荷面と定着ナットの接触面にガタツキ等はないか？			
		組み合せた状態で、定着ナットの締付がスムーズに行えるか？			
		その他、組み合せた状態での不具合はないか？			

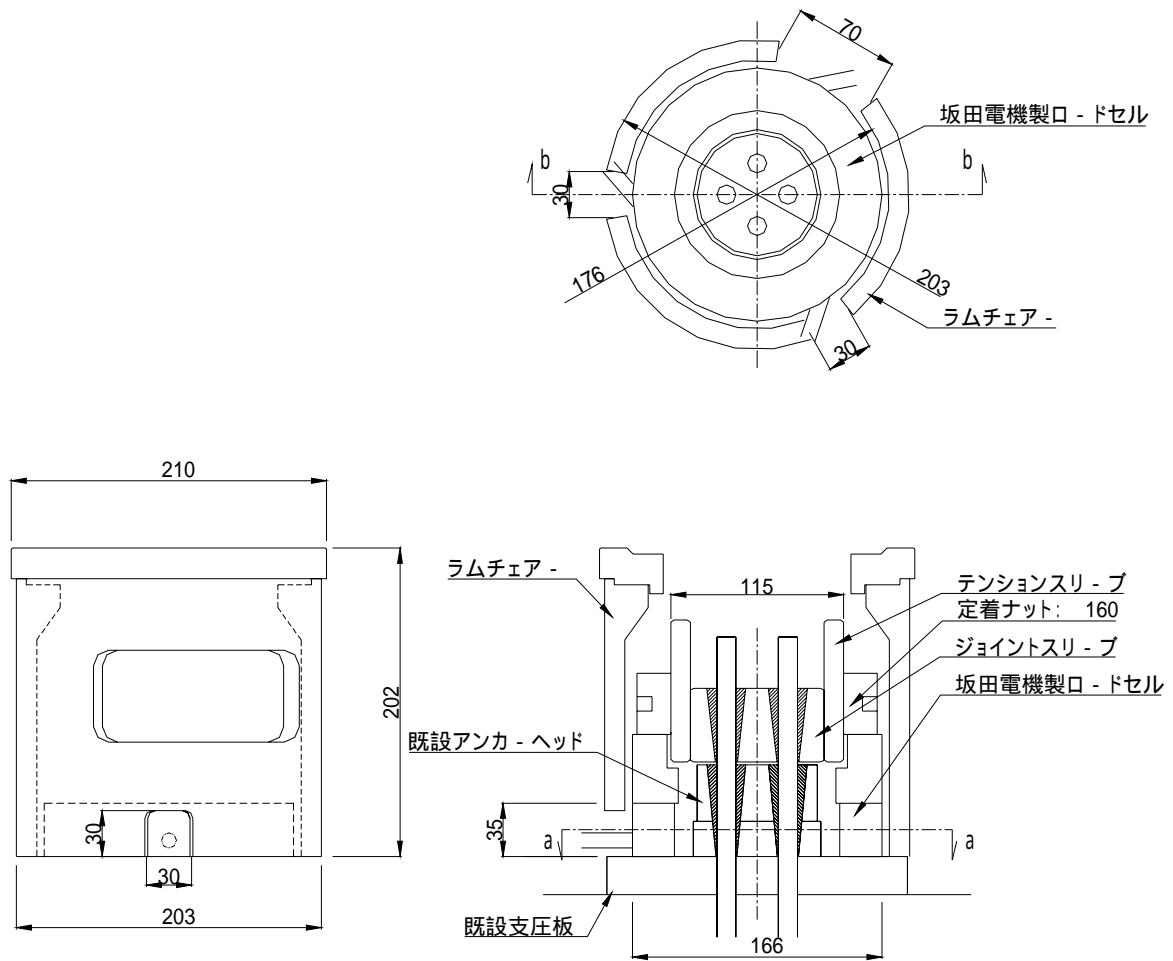


図 4.19 緊張治具・荷重計（坂田電機製）の組合せ

⑥守谷鋼機製荷重計

表 4.14 荷重計の寸法計測結果（守谷鋼機製荷重計）

分類	項目	内 容	設計値	実測値	差
荷重計 寸法計 測	⑥	荷重計外径 (mm)	180.0	177.5	-2.5
	⑦	荷重計高さ (mm)	8.9	8.93	+0.03

表 4.15 マッチング試験結果（対 守谷鋼機製荷重計）

分類	項目	内 容	良好	普通	不良
目 視 点 検 査 項 目	①	荷重計がラムチェア内に支障なく収まるか？	○		
	②	荷重計の出力ケーブルが支障なく取り出せるか？	○		
	③	荷重計の載荷面と定着ナットの接触面にガタツキ等はないか？	○		
	④	組み合せた状態で、定着ナットの締付がスムーズに行えるか？	○		
	⑤	その他、組み合せた状態での不具合はないか？	○		

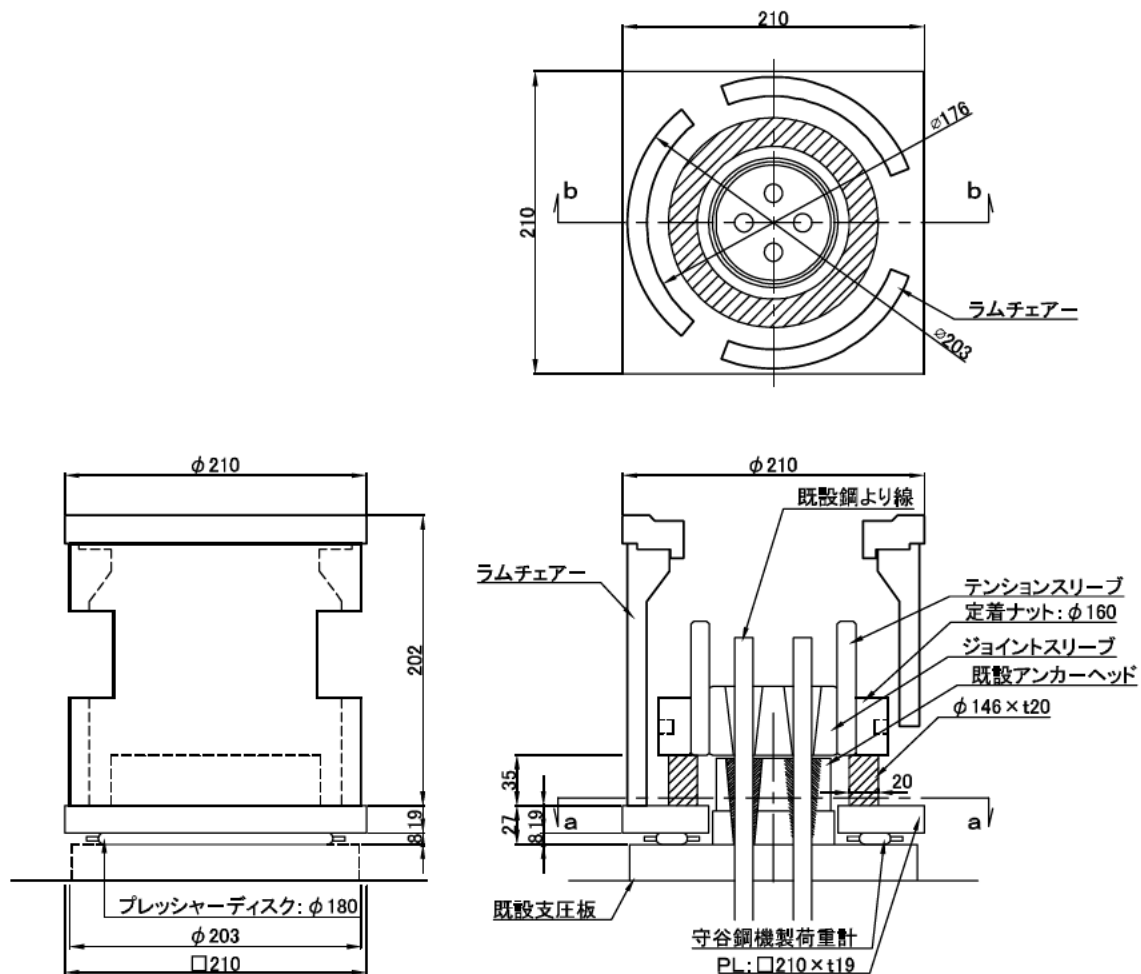


図 4.20 緊張治具・荷重計（守谷鋼機製）の組合せ

4.3.3 ジャッキ校正試験

ジャッキ検査台で開発した油圧ジャッキの校正係数を算出した（表 4.16）。その校正係数を使用し油圧ジャッキのキャリブレーションを実施した。構成試験状況を写真 4.4 に、キャリブレーション検査表（写）を図 4.21～図 4.24 に示す。

その結果、開発した油圧ジャッキは計画した 500kN の載荷性能を十分に発揮することが確認できた。

表 4.16 油圧ジャッキ校正係数

型 式	校正係数（受圧面積）	評 価
500kN 用 単動式油圧ジャッキ	81.7cm ²	合格 不合格
500kN 用 複動式油圧ジャッキ	119.4cm ²	合格 不合格



写真 4.4 ジャッキ校正試験状況（複動式ジャッキ）

検査年月日： 2007年12月1日
 機器名称： 50-20
 能力： 500 kN
 ストローク： 20mm
 受圧面積： 81.7 cm²
 製造番号：
 圧力計管理番号：
 手動ポンプ番号： 理研製ポンプ
 電動ポンプ番号：
 油圧ホース番号：



【検定源器】
 0.5等級：マスターゲージ
 JIS規格認定検定試験合格器
 (圧力計 No. 01-13555)
 (検査成績書 No. K080923)
 荷重計：CLP-1MNB
 (校正証明書 No. CQ08-0410)
 (非直線性・ヒステリシス：0.1% 1R0以下)

下記は弊社で検査を行った結果です。

マスターゲージ

Point	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Mpa	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	61.2			

圧力計：

荷重計：CLP-1MNB

Point	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Mpa	10.1	20.2	30.1	40.2	50.1	60.1	61.3			
kN	80.0	163.0	245.0	328.0	410.0	493.0	502.0			

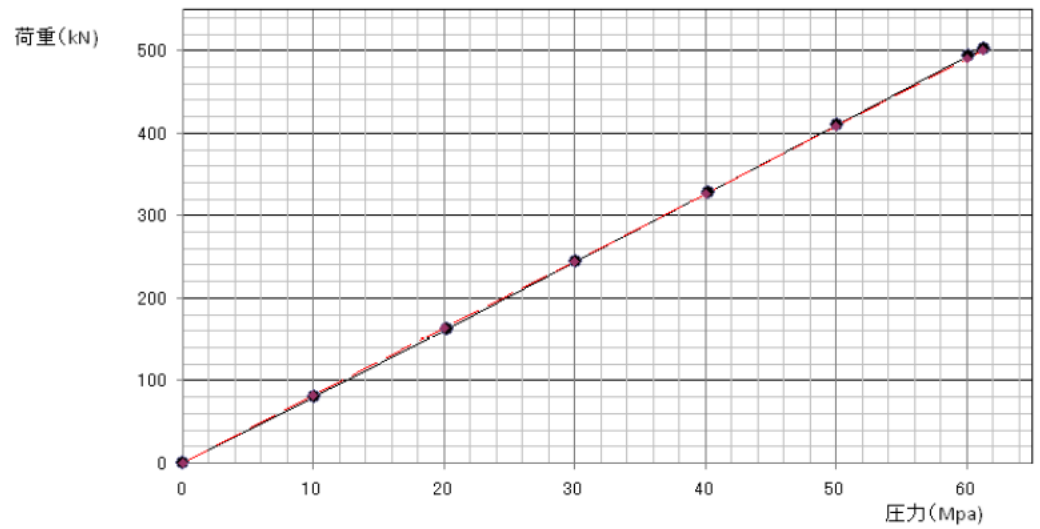
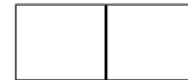


図 4.21 ジャッキキャリブレーション検査表 (500kN 単動式ジャッキ)

検査年月日： 2007年12月1日
 機器名称： 50-20
 能力： 500 kN
 ストローク： 20mm
 受圧面積： 81.7 cm²
 製造番号：
 圧力計管理番号：
 手動ポンプ番号： 理研製ポンプ
 電動ポンプ番号：
 油圧ホース番号：



【検定源器】
 荷重計：CLP-1MNB
 (校正証明書No. CQ08-0410)
 (非直線性・ヒステリシス：0.1%R0以下)
 圧力計：0
 (検査成績書No. 0)

下記は弊社で検査を行った結果です。

荷重計：CLP-1MNB

圧力計：0

Point	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
kN	100.0	200.0	300.0	400.0	500.0					
Mpa	12.6	24.5	36.8	48.9	61.1					
理論値	12.2	24.5	36.7	49.0	61.2					

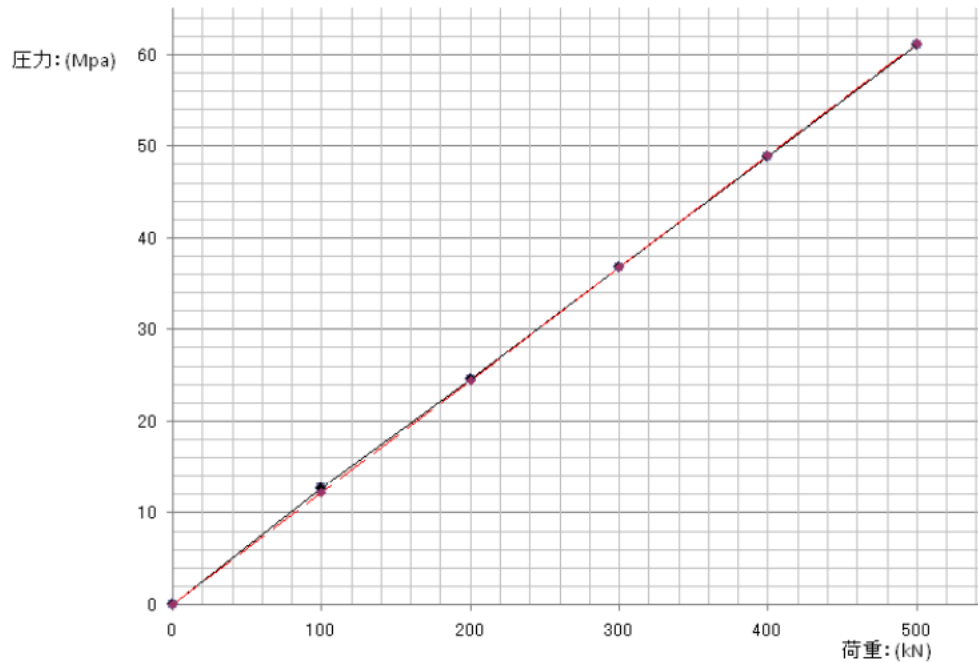
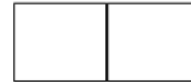


図 4.22 ジャッキキャリブレーション検査表 (500kN 単動式ジャッキ)

検査年月日 : 2010年2月9日
 機器名称 : 50-50
 能力 : 500 kN
 ストローク : 50mm
 受圧面積 : 119.4 cm²
 製造番号 :
 圧力計管理番号 :
 手動ポンプ番号 :
 電動ポンプ番号 :
 油圧ホース番号 :



【検定源器】
 0.5等級:マスターゲージ
 JIS規格認定検定試験合格器
 (圧力計 No. 01-13555)
 (検査成績書 No. K080923)
 荷重計 : CLP-1 MNB
 (校正証明書 No. CQ08-0410)
 (非直線性・ヒステリシス:0.1%RO以下)

下記は弊社で検査を行った結果です。

マスターゲージ

Point	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Mpa	10.0	20.0	30.0	40.0	41.9					

圧力計:

荷重計: CLP-1 MNB

Point	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Mpa	10.0	20.0	30.0	40.0	42.0					
kN	119.0	238.0	357.0	476.0	500.0					

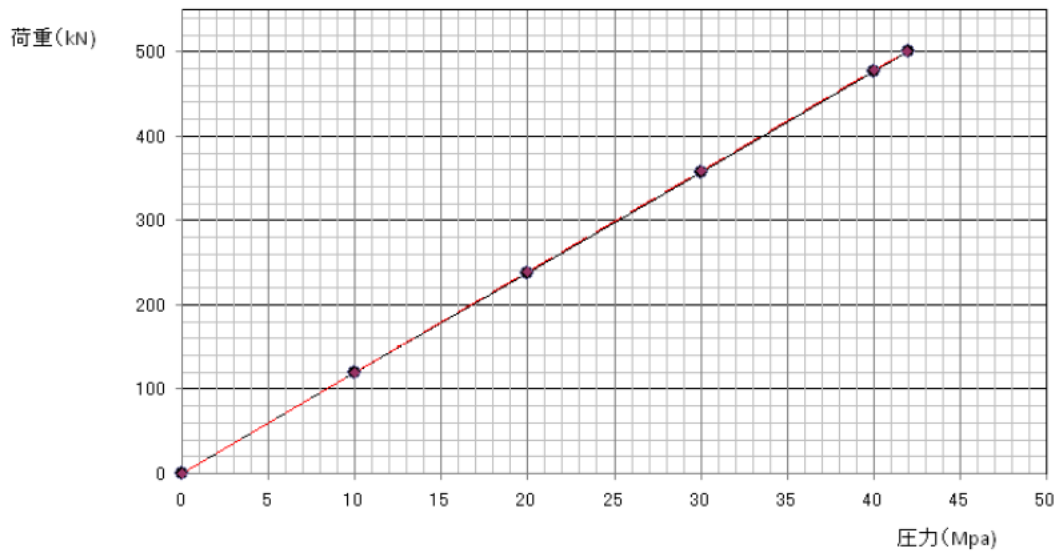
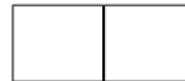


図 4.23 ジャッキキャリブレーション検査表 (500kN 複動式ジャッキ)

検査年月日： 2008年3月14日
 機器名称： 50-50
 能力： 500 kN
 ストローク： 50mm
 受圧面積： 119.4 cm²
 製造番号：
 圧力計管理番号：
 手動ポンプ番号：
 電動ポンプ番号：
 油圧ホース番号：



【検定源器】
 荷重計：CLP-1MNB
 (校正証明書No. CQ08-0410)
 (非直線性・ヒステリシス：0.1%以下)
 圧力計：0
 (検査成績書No. 0)

下記は弊社で検査を行った結果です。

荷重計：CLP-1MNB 圧力計：0

Point	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
kN	100.0	200.0	300.0	400.0	500.0					
Mpa	8.4	16.8	25.1	33.5	42.0					
理論値	8.4	16.8	25.1	33.5	41.9					

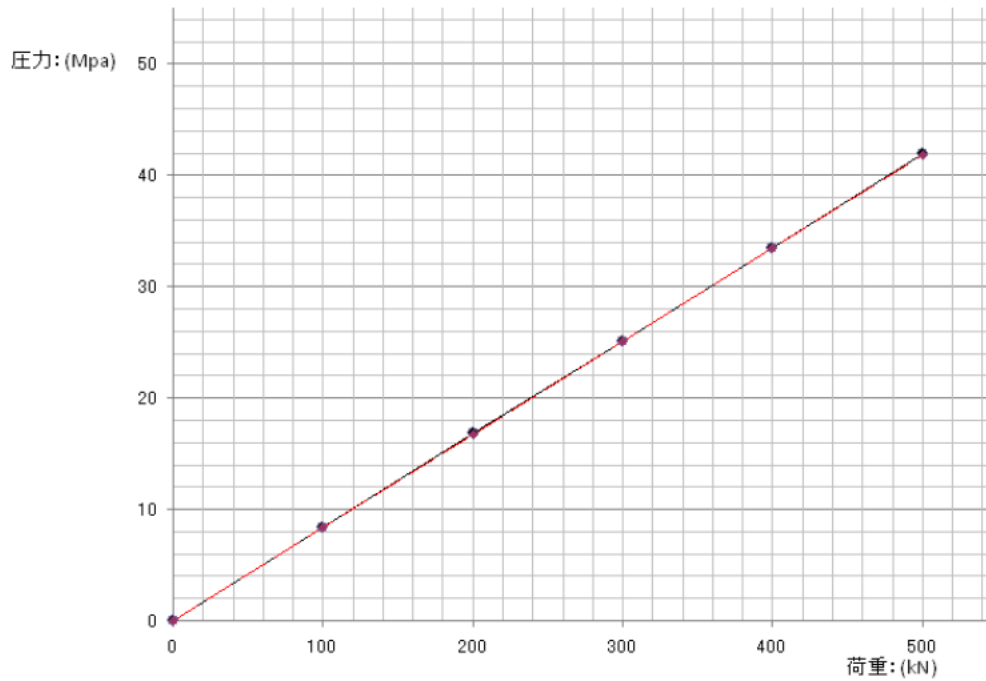


図 4.24 ジャッキキャリブレーション検査表 (500kN 複動式ジャッキ)

4.3.4 アバット試験

(1) ジャッキ載荷性能の確認

アバットに定着されている模擬アンカーのリフトオフ試験を実施することにより、ジャッキの作動確認及び載荷性能を確認した。

その結果、問題なく作動し、ジャッキの載荷性能を評価することができた(表 4.17)。

なお、リフトオフ試験の結果を表 4.18 及び図 4.25 に示す。リフトオフ荷重は、図 4.25 より 400kN と求められる。

表 4.17 ジャッキ載荷性能の評価

項目	判定
スムーズに載荷することができたか	
載荷による有害な変形、破損等は生じないか	

【凡例】良好(合格): ○, 普通(合格): △, 不良(不合格): ×

表 4.18 リフトオフ試験結果

荷重 (kN)	変位量 (mm)	備考
0	0.0	
100	2.1	
200	2.9	
300	3.8	
350	4.3	
380	4.8	
400	5.4	
420	6.9	アンカーヘッドの浮きを確認
440	9.5	

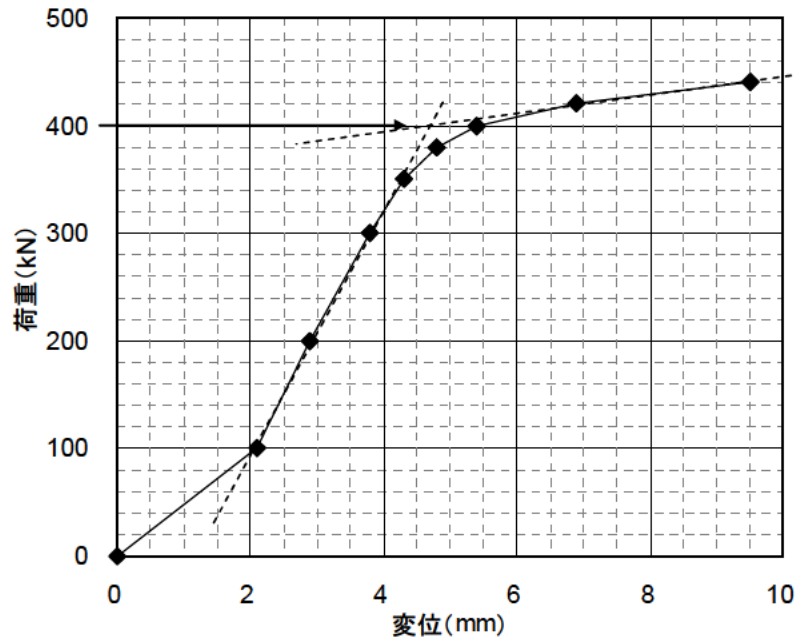


図 4.25 リフトオフ試験 荷重－変位曲線

(2) 荷重計の取付け・取外し作業性の確認

試験結果を表 4.19 に示す。また、各荷重計の取付け図を図 4.26 から図 4.31 に示す。また、写真 4.5 にリフトオフ試験時の荷重計及び緊張治具の取付け手順を示す。

表 4.19 荷重計の取付け・取外し作業性の評価

荷重計	評価	特記
共和電業製	■合格 □不合格	スムーズに取付け・取外しができた
エスイー製	■合格 □不合格	スムーズに取付け・取外しができた
東横エルメス製	■合格 □不合格	スムーズに取付け・取外しができた
東京測器研究所製	■合格 □不合格	スムーズに取付け・取外しができた
守谷鋼機製	■合格 □不合格	スムーズに取付け・取外しができた
坂田電機製	■合格 □不合格	スムーズに取付け・取外しができた

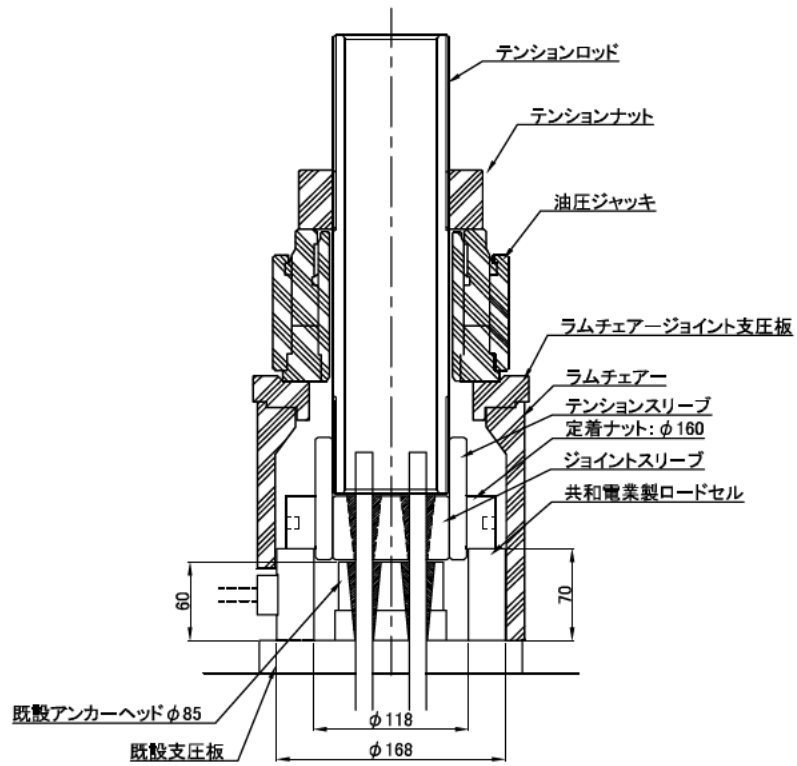


図 4.26 荷重計（共和電業製）の取付け詳細図

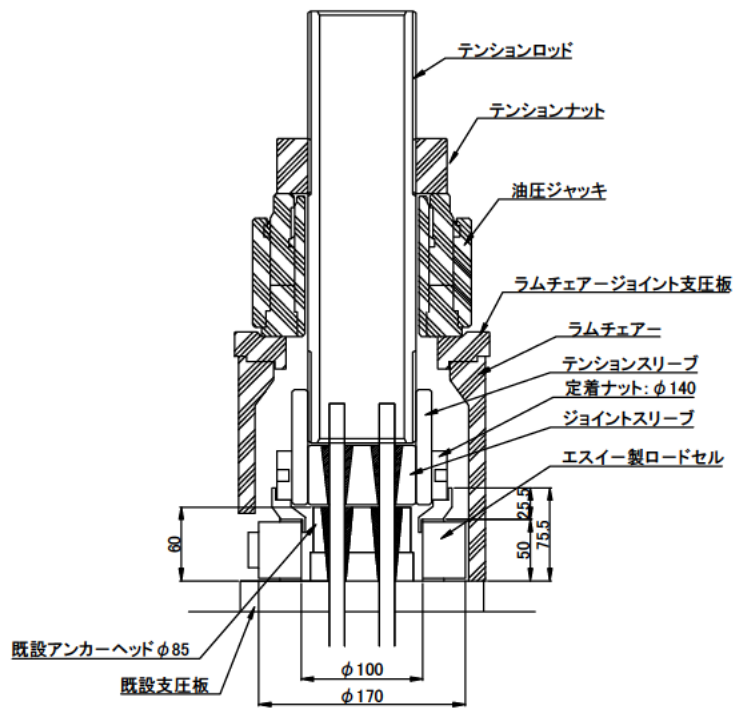


図 4.27 荷重計（エスイー製）の取付け詳細図

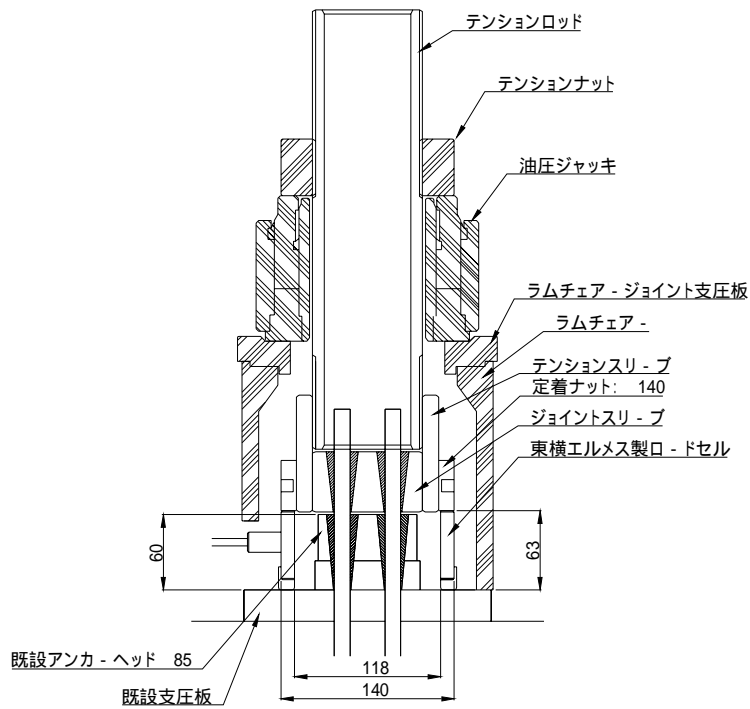


図 4.28 荷重計（東横エルメス製）の取付け詳細図

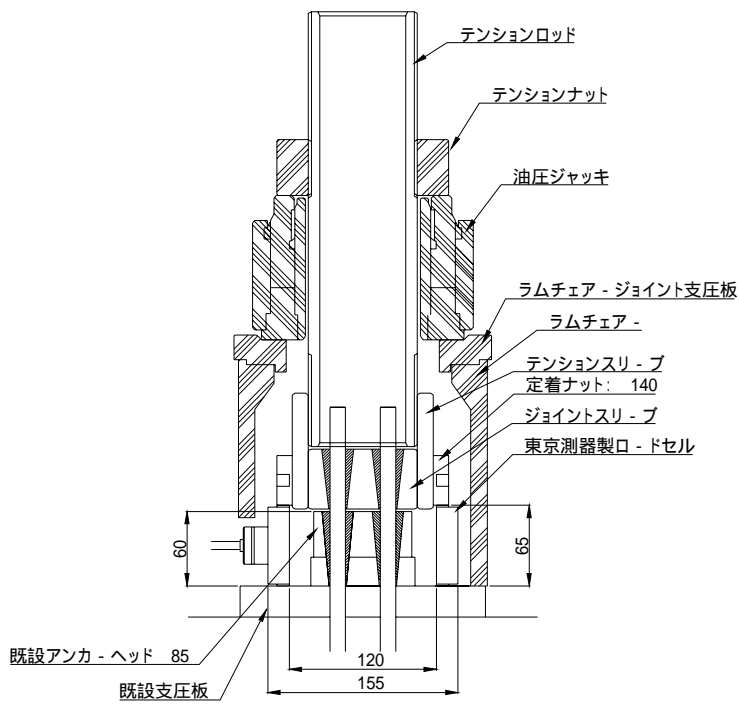


図 4.29 荷重計（東京測器研究所製）の取付け詳細図

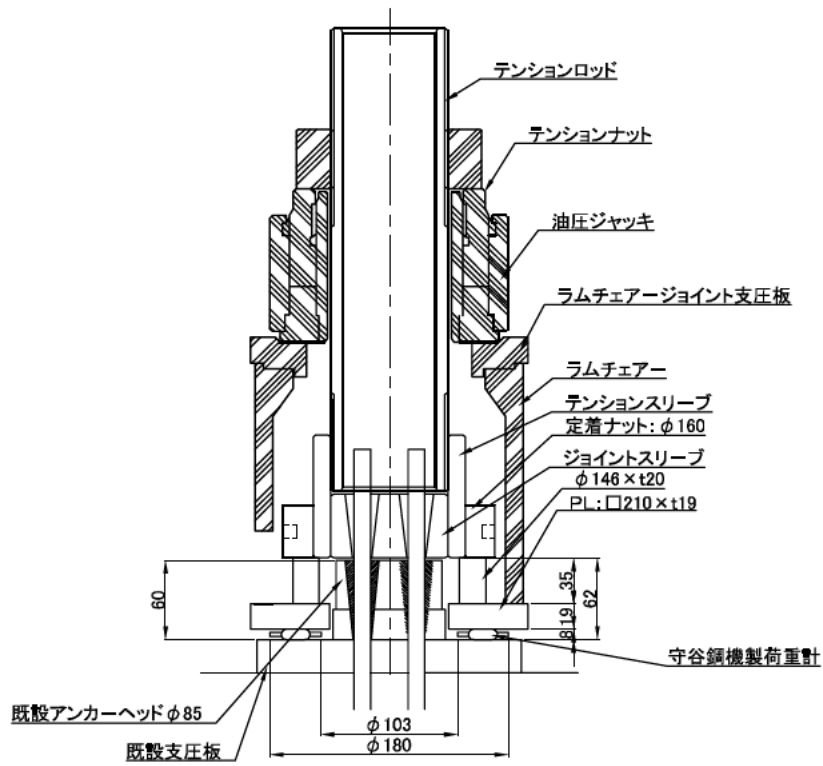


図 4.30 荷重計（守谷鋼機製）の取付け詳細図

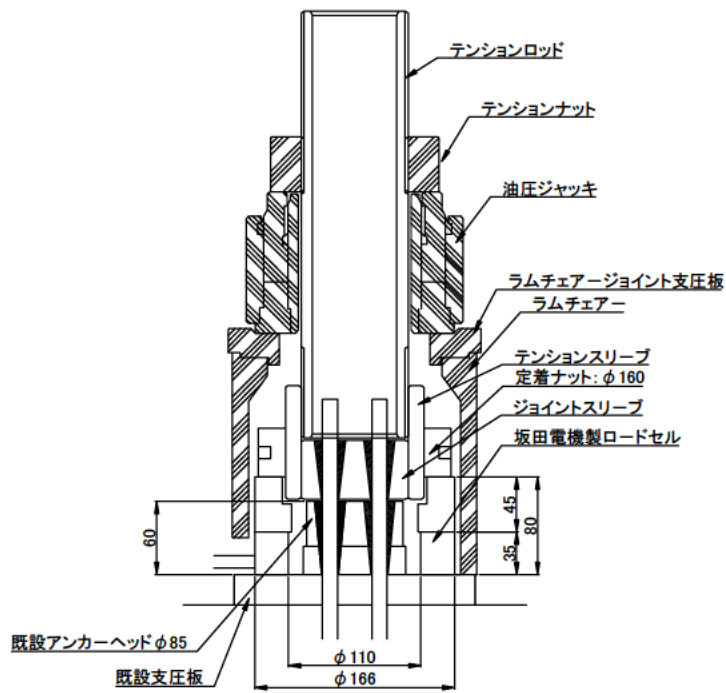


図 4.31 荷重計（坂田電機製）の取付け詳細図



ジョイントスリーブの取付け



荷重計の取付け



テンションスリーブ、定着ナットの取付け



テンションロッドの取付け



ラムチェア、油圧ジャッキの取付け



テンションナット取付け (リフトオフ開始)

写真 4.5 荷重計取付け状況

(3) 荷重計取付け・取外し作業がアンカー緊張力に与える影響

表 4.20 及び図 4.32 に坂田電機 (株) と守谷鋼機 (株) のアバット試験時に測定した、模擬緊張用ジャッキ及び荷重計の結果を示す。表及び図からは、荷重計取付け前と荷重計を取外した後の模擬緊張用ジャッキの指示値の差は最大でも1.6kNであることが分かる。

以上のことから、荷重計の取付け・取外しを行ってもアンカーに導入されている緊張力には影響を与えないということが確認できた。

表 4.20 荷重計取付け・取外し作業前後の緊張力

測定段階 (測定器)	試験ケース	
	①	②
荷重計取付け前 (模擬緊張用ジャッキ)	380.0	380.7
荷重計定着時 (荷重計)	415.9	434.1
荷重計定着後 5 分時 (荷重計)	410.7	431.7
荷重計取外し後 (模擬緊張用ジャッキ)	378.8	379.1

ケース①：坂田電機製荷重計の試験時、ケース②：守谷鋼機製荷重計の試験時

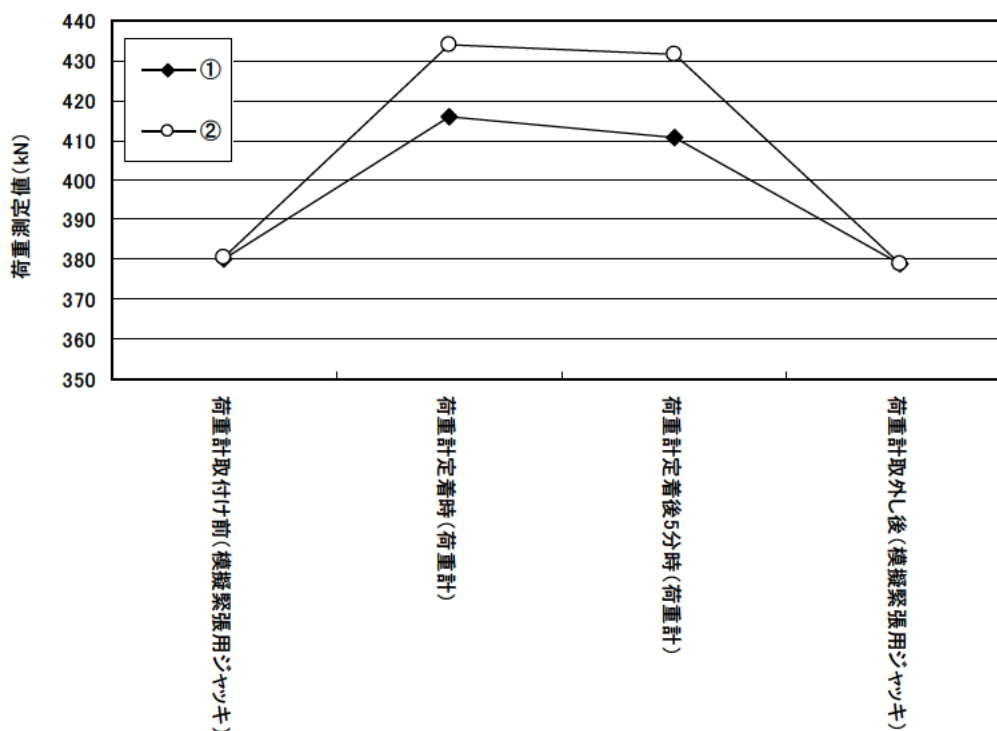


図 4.32 荷重計取付け・取外し作業前後の緊張力

4.3.5 アバット試験により抽出された課題と改良方法

荷重計の取付け・取外しの作業性に関し、荷重計との組合せにおける作業性は良い結果であった。しかしながら、緊張治具の油圧ジャッキに関して表 4.21 に示す 2 点の課題が抽出された。

そのことから、課題の解決について、拡張開発時の緊張治具製作と合わせて実施することとした。

表 4.21 油圧ジャッキの課題と改良方法

課 題		改良方法
1	単動式油圧機構のため、ジャッキシリンダーの収納に時間を要する	複動式油圧機構への変更
2	ジャッキストローク (20mm) が短いことから、荷重計の取外し作業に障害が生じる	ジャッキストローク 50mm 以上の確保

5. 優先開発における荷重計の評価

5.1 検討項目

優先開発における荷重計が対象とするアンカーは、再緊張のための tendon (PC 鋼より線) の余長が 60mm 以上確保されている、VSL アンカーの E5-4 である。E5-4 の許容荷重は $T_d=440\text{kN}$ であるが、汎用性や校正試験の作業性を考慮して、荷重計の定格荷重を 500kN とした。優先開発用の緊張治具の形状を図 5.1 に示し、それに適合する荷重計の形状の制約条件を表 5.1 に示す。

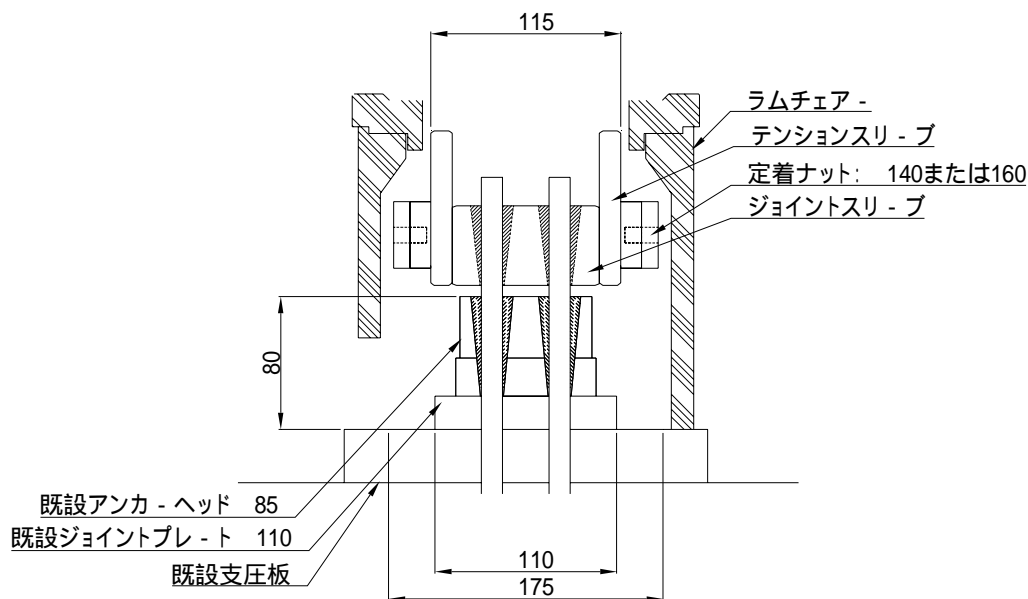


図 5.1 優先開発用緊張治具の形状

表 5.1 緊張治具から受ける荷重計形状の制約条件

項目	条件	制約を与える治具
外径	175mm 未満	ラムチェア内径
内径	115mm 以上 または 110mm 以上 (高さ 80mm 未満に限る)	テンションスリーブ外径 既設ジョイントプレート
高さ	特になし(ただし、80mm 以上の場合は内径を 115mm 以上とする)	

荷重計 WG の各社における荷重計の電気的特性が異なるため、各社ごとに第 3 次要求性能と緊張治具 WG からの提示された形状寸法に適合できるように開発仕様 (表 5.2) を設定し、開発を行った。開発した荷重計の外観図を図 5.2 から図 5.7 に示す。

表 5.2 荷重計の開発仕様

項目	共和電業	エスイー	東横エルメス	東京測器研究所	坂田電機	守谷銅機
定着荷重	440kN	440kN	440kN	440kN	440kN	440kN
形状	175mm以下	175mm以下	175mm以下	175mm以下	175mm以下	-
荷重測定精度	実荷重との誤差10%	実荷重との誤差10%	実荷重との誤差10%	実荷重との誤差10%	実荷重との誤差10%	実荷重との誤差10%
定格容量	500kN	500kN	500kN	500kN	500kN	500kN
定格出力	1mV/V以上	約3000×10 ⁻⁶	約2500×10 ⁻⁶	約2500×10 ⁻⁶	約2.5R	約3500×10 ⁻⁶
非直線性	2%R.0以内	1%R.0	1%R.0	1%R.0	5%R.0	5%R.0
ヒステリシス	1%R.0以内	1%R.0	1%R.0	1%R.0	5%R.0	5%R.0
零点の温度特性	±0.1%R.0/ 以内	0.1%R.0/	0.1%R.0/	0.1%R.0/	0.1%R.0/	0.1%R.0/
出力の温度特性	±0.1%/ 以内	*****	*****	*****	-	-
補償温度範囲	-10 ~ +60	-10 ~ +60	-10 ~ +60	-10 ~ +60	-10 ~ +60	-10 ~ +60
許容温度範囲	-20 ~ +70	-20 ~ +70	-20 ~ +70	-20 ~ +70	-20 ~ +70	-20 ~ +80
許容過負荷	120%	120%	120%	120%	120%	120%
入出力抵抗	350 ±2%	350 ±1%	350 ±1%	350 ±1%	-	350 ±1%
推奨印加電圧	1~10V	10V以下	10V以下	10V以下	1V rms 500Hz	10V以下
許容印加電圧	12V	20V	20V	20V	-	20V
零バランス	0.5mV/V以内	5%R.0	5%R.0	5%R.0	-	5%R.0
絶縁抵抗	1000M 以上	1000M 以上	1000M 以上	1000M 以上	50M 以上	1000M 以上
耐用年数(センサー部)	約6年	6年	6年	6年	6年	6年
耐用年数(鋼材部)	-	50年以上	-	30年	30年以上	30年
保護等級	IP 67	IP 65	IP 65	IP 65	IP 65	IP 65
その他		薄型	15万円程度	偏荷重に強い	偏荷重に強い	偏荷重に強い

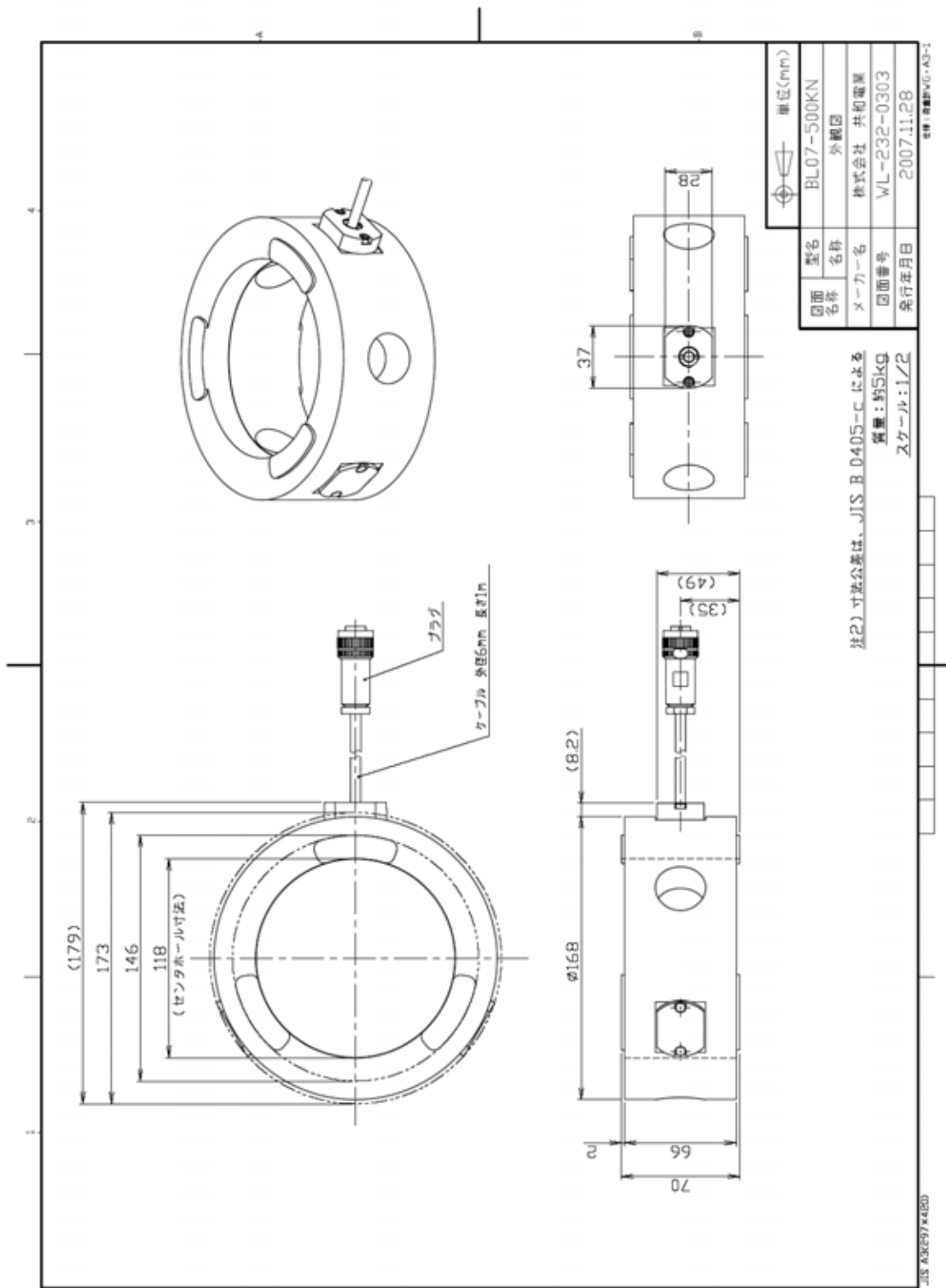


図 5.2 共和電業製荷重計

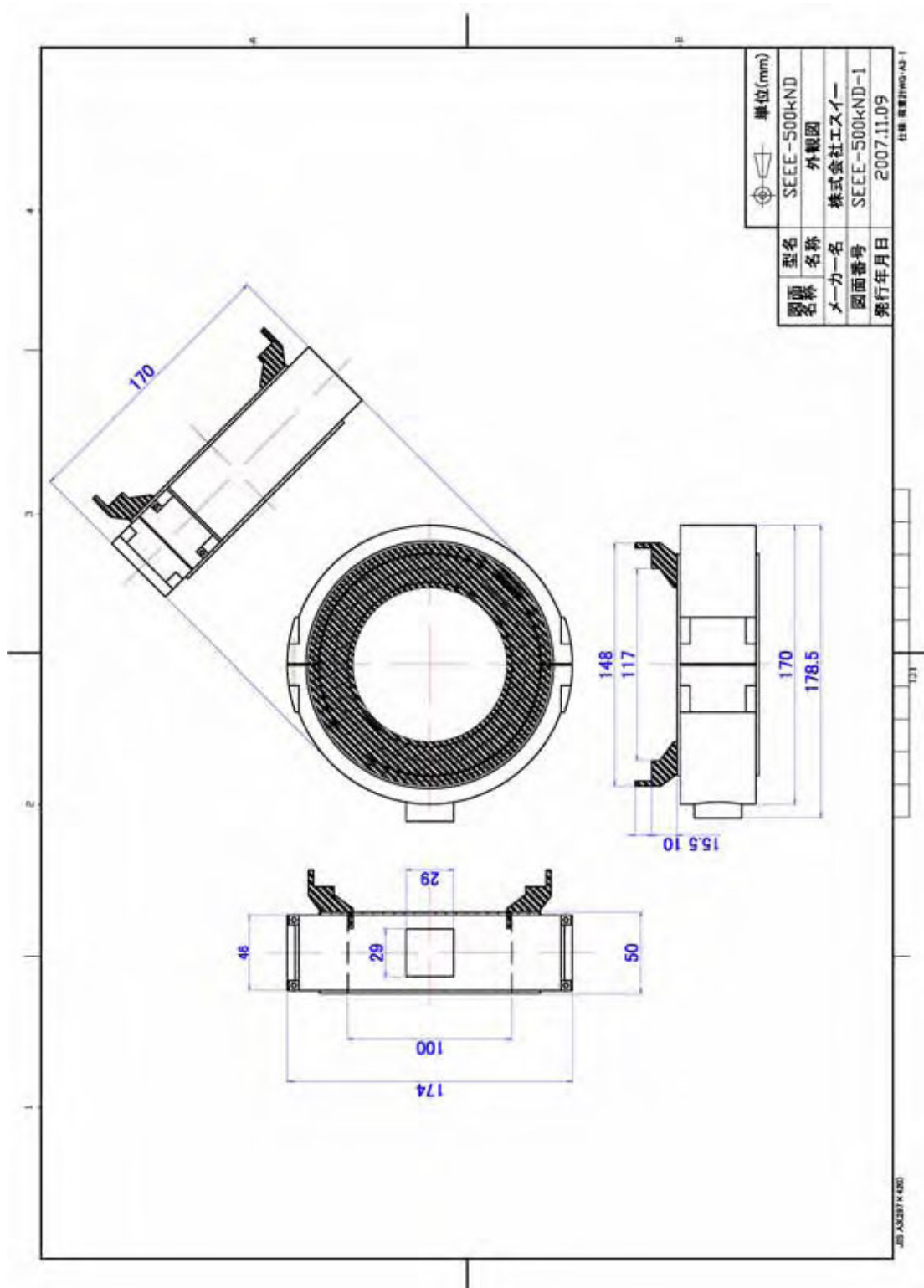


図 5.3 エスイー製荷重計

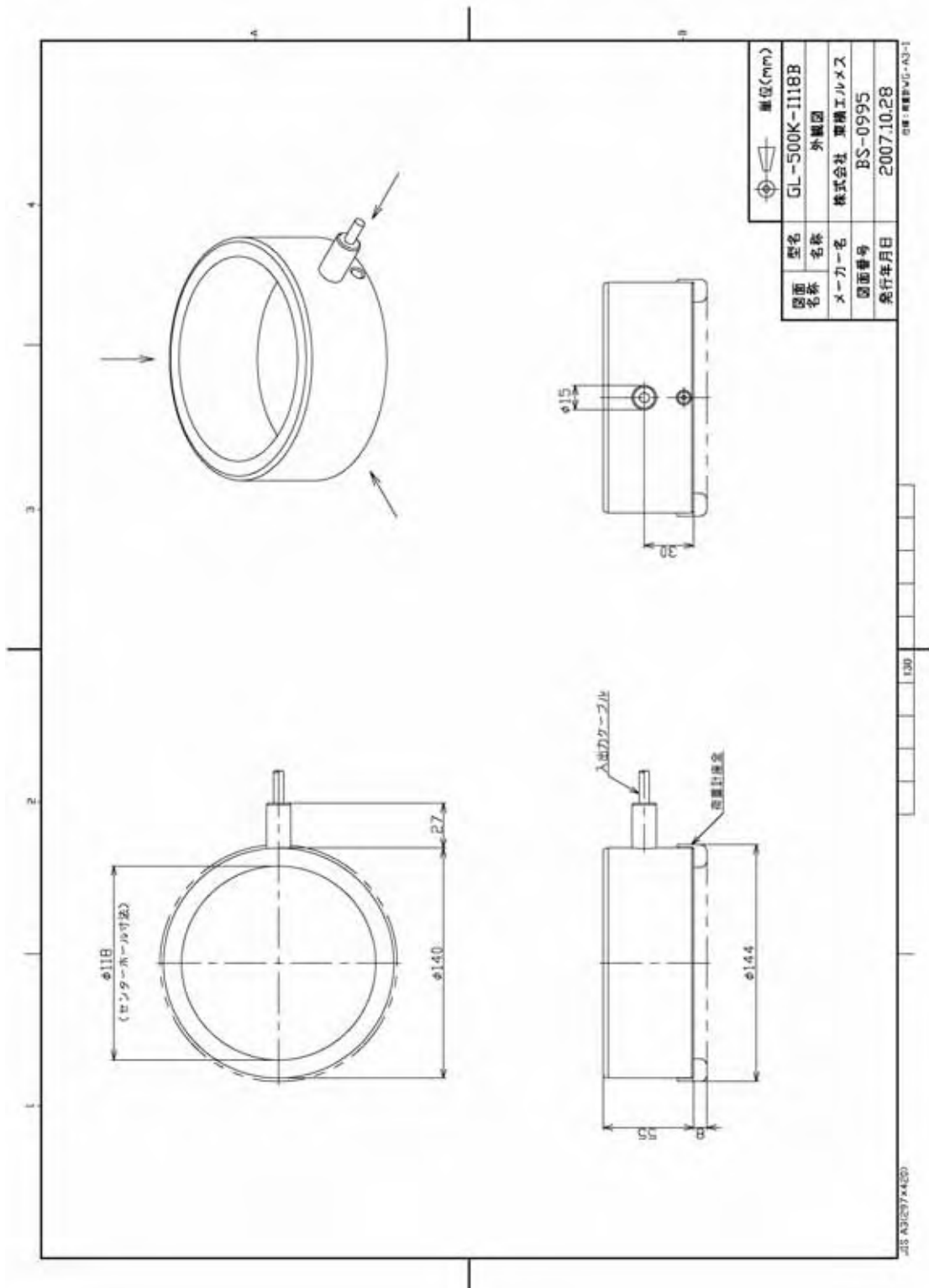


図 5.4 東横エルメス製荷重計

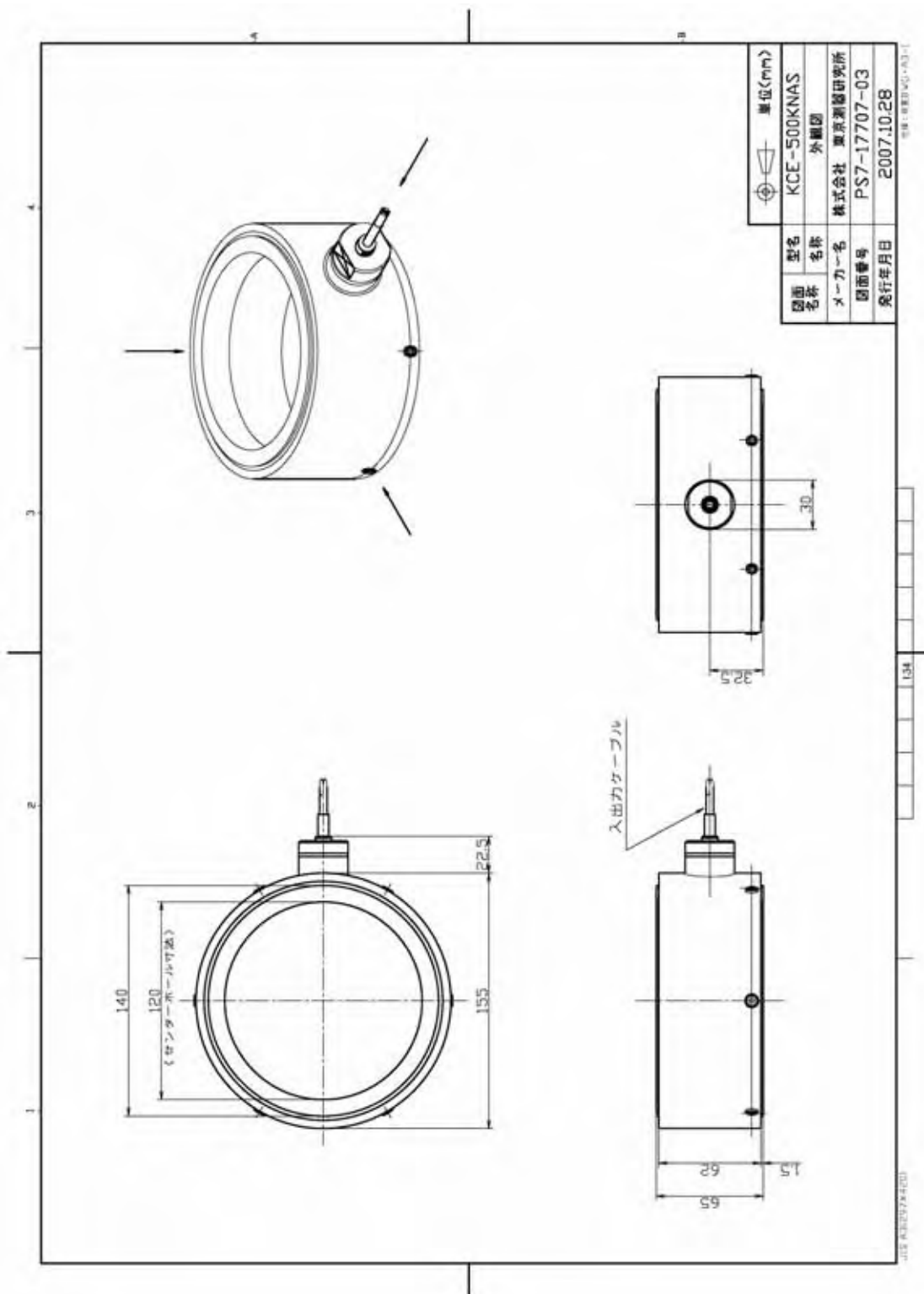


図 5.5 東京測器研究所製荷重計

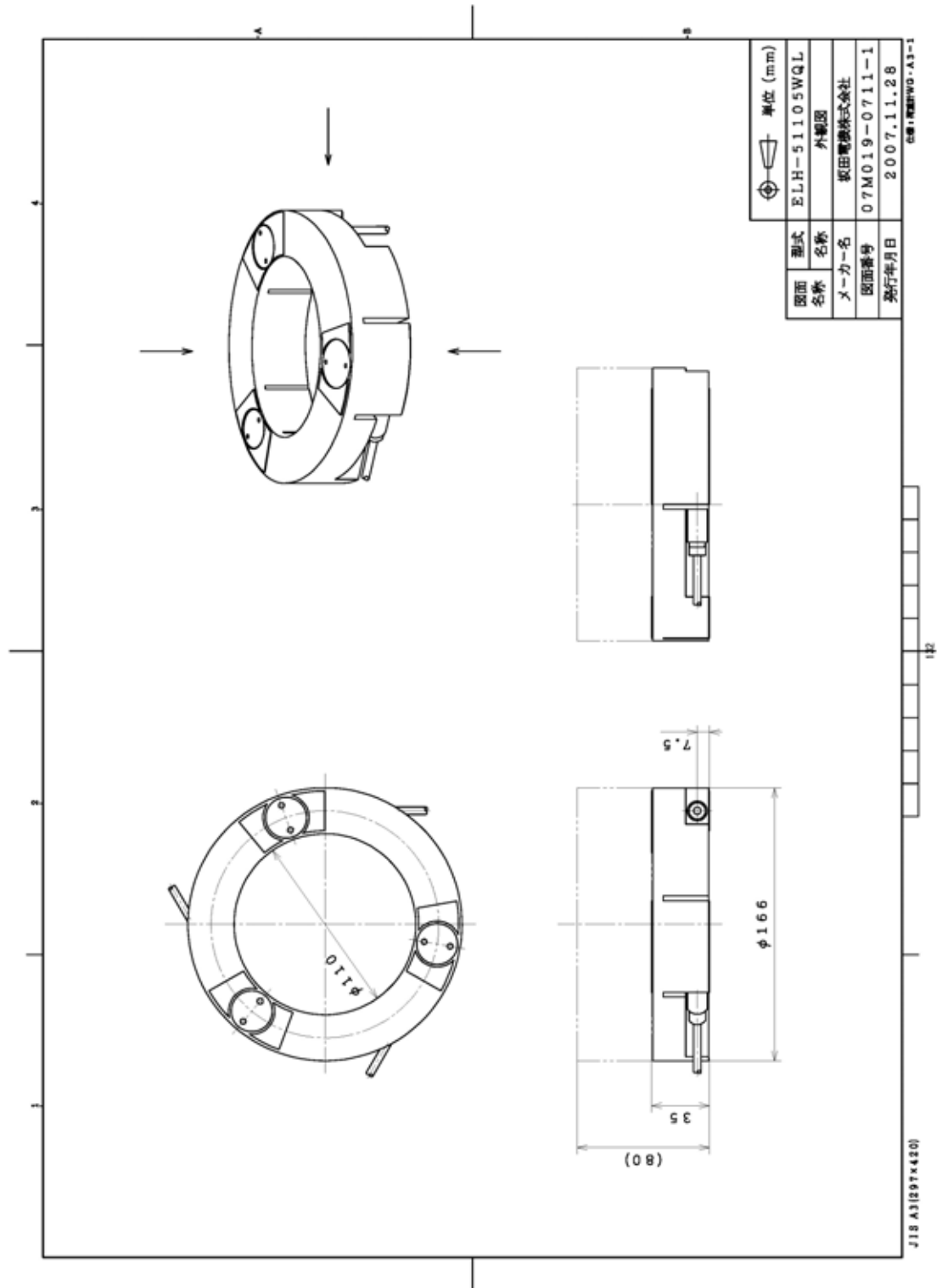


图 5.6 坂田電機製荷重計

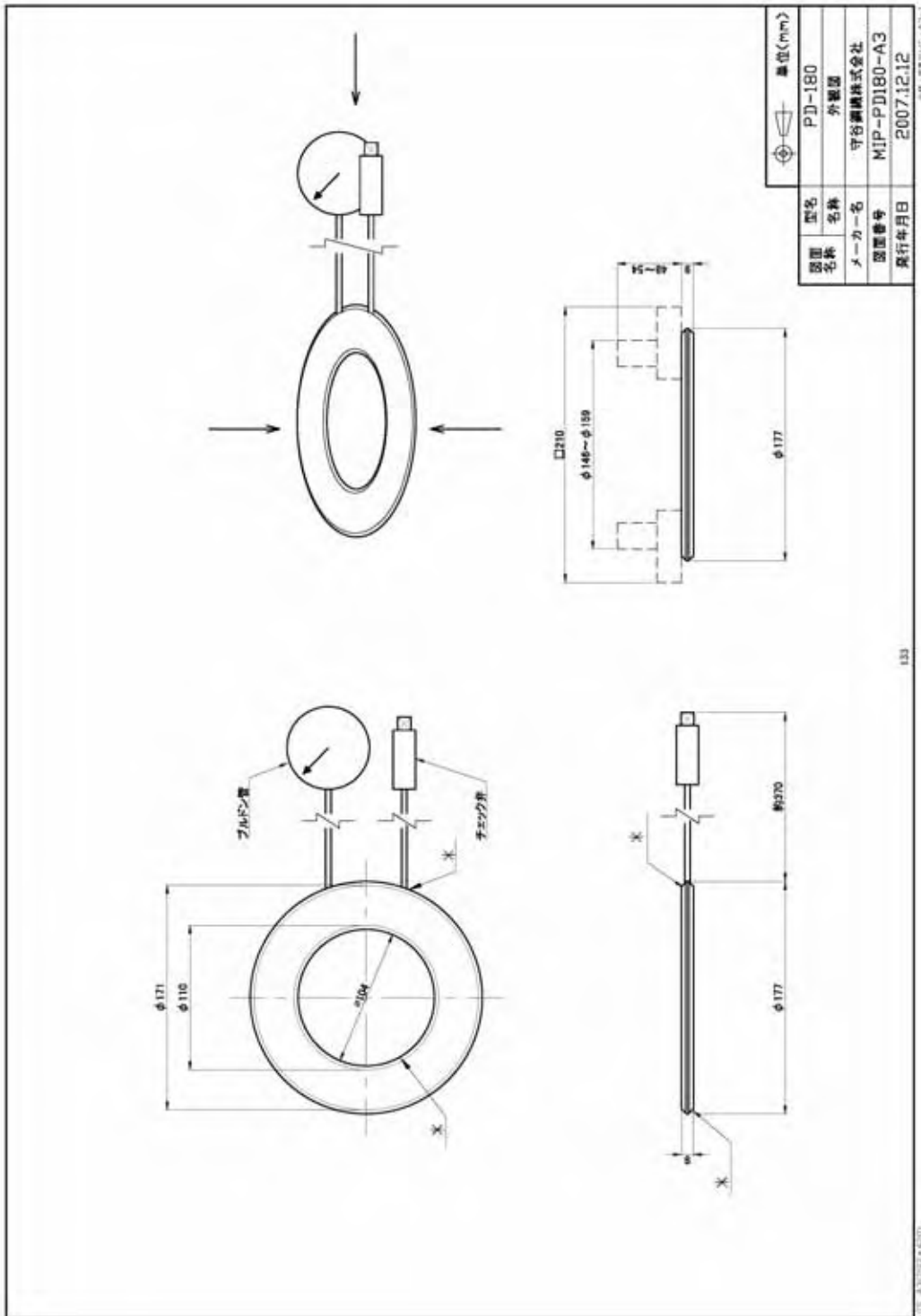


図 5.7 守谷鋼機製荷重計

5.2 試験計画

荷重計の性能を確認した試験を表 5.3 に示す。試験には要求性能（規格値）を設定し、その範囲を超えた荷重計試作品には改良を施すこととした。

表 5.3 試験一覧

試験名		試験の目的	試験項目	規格値
出荷試験		校正	定格出力 非直線性 ヒステリシス	< 10%
立会い試験	載荷板（載荷 1）	載荷治具の影響	各荷重段階での偏差	< 10%
	定着ナット（載荷 2）			
アバット試験（載荷 3）		載荷方法の影響	定着荷重での偏差	< 10%
めっきの影響確認試験		定着ナットのめっきの影響	校正試験におけるめっき無しとの比較	

5.2.1 出荷試験（校正）

各社の検定基準で実施する試験により荷重計の校正係数を算出した。試験時の載荷方法は、通常の載荷板を使用するか、専用の緊張治具（定着ナット）を使用するかは、各社の判断によるものとして、緊張治具を使用する場合はそのことを明記することとした。

5.2.2 立会い試験（精度確認試験）

開発した荷重計の実現場における使用状態は、専用の緊張治具により荷重が載荷されることが決まっている。そのため、立会い試験では、各社同じ条件下における試験で専用の緊張治具が荷重計の性能に与える影響を確認することを目的とした。なお、立会い試験には、JISB7721-2002 表 2 の 2 等級以下の性能が確認されている試験機を使用した。

（1）載荷方法

以下に示す 2 種類の載荷試験を行った。

載荷 1. 載荷板による載荷試験

上下に載荷板を設置して、載荷板を介して荷重計に載荷した（図 5.8）。

専用アタッチメントを用いる場合は、取付けた状態で試験を行った。

- ・測定項目：荷重計出力

載荷 2. 専用緊張治具を介して載荷

専用緊張治具であるテンションスリーブ、定着ナットを介して荷重計に載荷した（図 5.9）。

専用アタッチメントを用いる場合は、取付けた状態で試験を行った。

- ・測定項目：荷重計出力

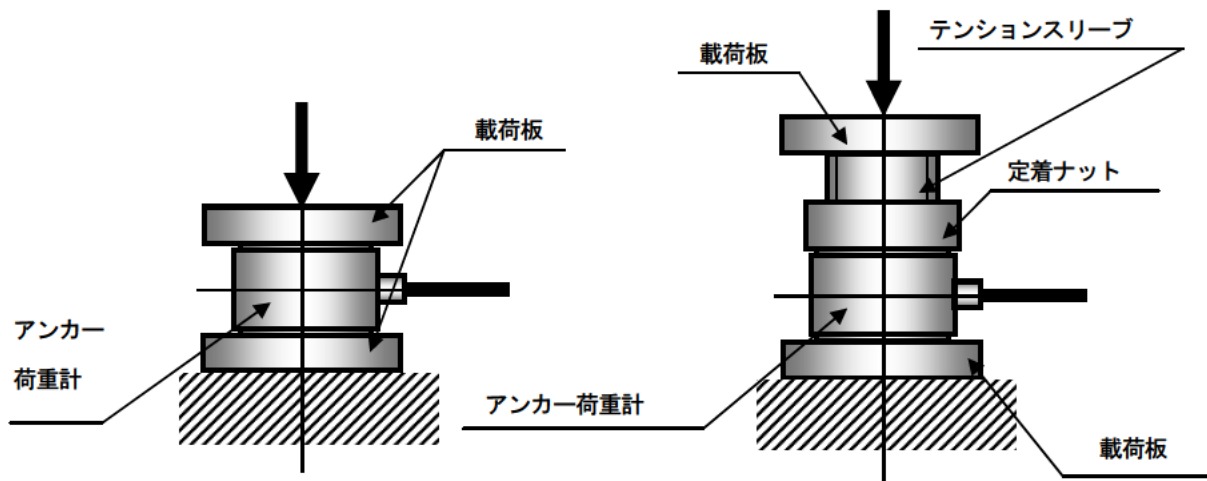


図 5.8 载荷 1 試験模式図

図 5.9 载荷 2 試験模式図

(2) 载荷荷重及び、測定ポイント

载荷 1,2 とともに、载荷する荷重と測定ポイントは図 5.10 に示すとおり、0→500→0kN×4 回とすることとした。

負荷 1 回目を予備負荷として測定は行わず、2, 3 回目は 0 kN 及び 500kN で測定を行った。4 回目は 100kN 間隔で測定を行った。

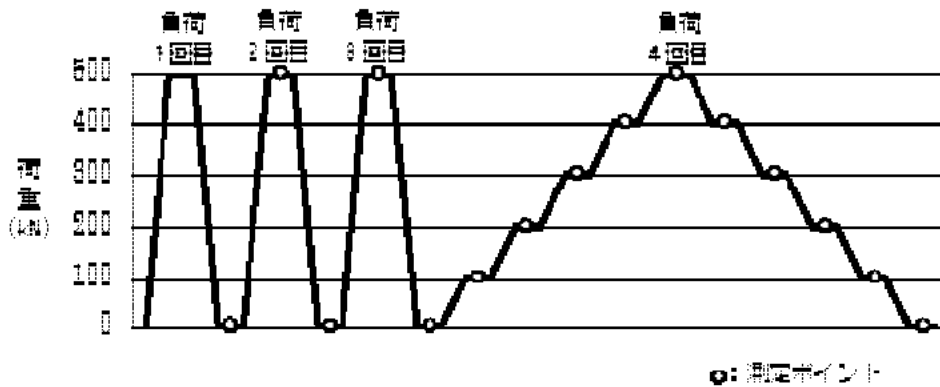


図 5.10 载荷荷重と測定ポイント

5.2.3 アバット試験（载荷3 载荷方法の影響）

本試験は、実際に現場で実施される方法で緊張を行い、荷重計が緊張治具から载荷されたときの荷重計の性能を確認する事を目的として行った。

(1) 試験装置と手順

試験装置を図 5.11 示す。模擬緊張力導入用ジャッキによりアンカーに所定の荷重（約 440kN）を導入したあと、リフトオフジャッキを用いて荷重計に载荷させて、荷重計出力と模擬緊張力導入用ジャッキの油圧から換算した荷重を比較して評価を行った。

(2) 载荷荷重及び、測定ポイント

载荷する荷重及び回数は 0→約 440kN→0kN×1 回である。

0 kN 及び約 440kN で測定を行った。

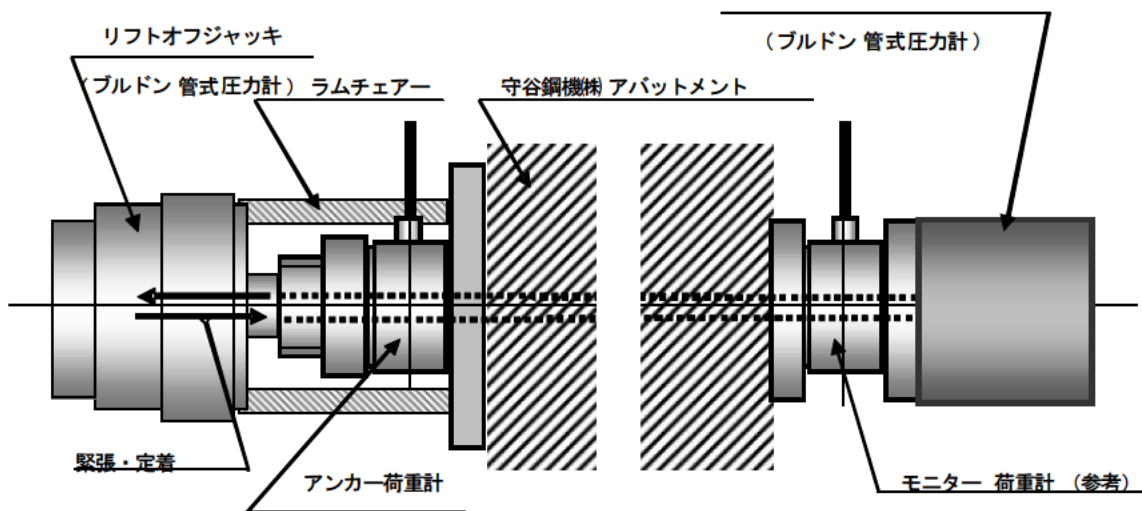


図 5.11 アバット試験概要図

5.2.4 めっきの影響確認試験

上記試験は、めっきが施されていない定着ナットを用いて実施したが、めっきナットに仕様変更されるため、めっきの有無による荷重計出力への影響を確認した。

試験は、出荷試験（校正）と同じ方法で実施した。

5.3 試験結果

緊張治具による影響を確認する目的で、載荷 1 と載荷 2、および載荷 1 と載荷 3 の定格出力変化率を式(5.1)と式(5.2)によって算出した。試験結果一覧を表 5.4～表 5.9 に示す。なお、荷重計出力値は、各社において出荷前に実施した校正試験で得られた校正係数を用いて算出した。さらに、偏差と規格値との関係を図 5.12～図 5.17 に示す。ここでの偏差とは、各荷重ステップにおける負荷値（試験機の表示値）と荷重計出力値の差、また規格値はアンカーの許容荷重である 440kN までは 440kN の 10%にあたる 44kN、荷重計の定格容量である 500kN では 50kN とした。最後に、めっきの影響確認試験の結果を表 5.10 に示す。

・定格出力変化率： E_{Si}

$$E_{Si} = \frac{(E_{02} - E_{01})}{E_{01}} \quad \dots \quad \text{式(5.1)}$$

ここに E_{01} : 載荷 1 定格出力
 E_{02} : 載荷 2 定格出力

・定格出力変化率： E_{So}

$$E_{So} = \frac{(E_{03} - E_{01})}{E_{01}} \quad \dots \quad \text{式(5.2)}$$

ここに E_{03} : 載荷 3 定格出力

表 5.4 優先開発結果一覧（共和電業製荷重計）

型名: BL-07-500kN Ser.No.: S1795001H
 校正係数 0.1438 kN/ $\mu\epsilon$ (出荷試験・校正)

試験荷重(kN)	出荷検査・校正			立会い試験						アバット試験			
	載荷条件:各社基準による			載荷条件:載荷1(載荷板)			載荷条件:載荷2(スリーブ定着ナット押し)			載荷条件:載荷3(アバット試験)			
	出力($\mu\epsilon$)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)	出力($\mu\epsilon$)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)	出力($\mu\epsilon$)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)	評価	参考荷重計(kN)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)
0.0				0.1	0.0	0.0	-0.2	0.0	0.0				
500.0				3412.4	490.7	-9.3	3395.4	488.3	-11.7				
0.0				-0.1	0.0	0.0	-0.4	-0.1	-0.1				
0.0				0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	440kN定着	424.2	427.0	2.8
500.0				3412.0	490.6	-9.4	3394.7	488.2	-11.8	定着5分後	423.8	426.9	3.1
0.0				0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0				
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0				
100.0	716.0	103.0	3.0	671.2	96.5	-3.5	700.0	100.7	0.7				
200.0	1402.6	201.7	1.7	1349.3	194.0	-6.0	1376.7	198.0	-2.0				
300.0	2091.5	300.8	0.8	2038.0	293.1	-6.9	2046.1	294.2	-5.8				
400.0	2782.3	400.1	0.1	2722.9	391.6	-8.4	2715.8	390.5	-9.5				
500.0	3477.1	500.0	0.0	3413.2	490.8	-9.2	3398.5	488.7	-11.3				
400.0	2788.2	400.9	0.9	2720.0	391.1	-8.9	2702.5	388.6	-11.4				
300.0	2097.7	301.6	1.6	2034.8	292.6	-7.4	2019.3	290.4	-9.6				
200.0	1409.9	202.7	2.7	1345.8	193.5	-6.5	1321.1	190.0	-10.0				
100.0	725.3	104.3	4.3	664.6	95.6	-4.4	645.4	92.8	-7.2				
0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0				
非直線性	0.6%			0.5%			0.6%						
ヒステリシス	0.3%			0.2%			1.6%						
繰り返し性				0%			0.1%						
定格出力変化率							0.4%			定格出力変化率			0.7%

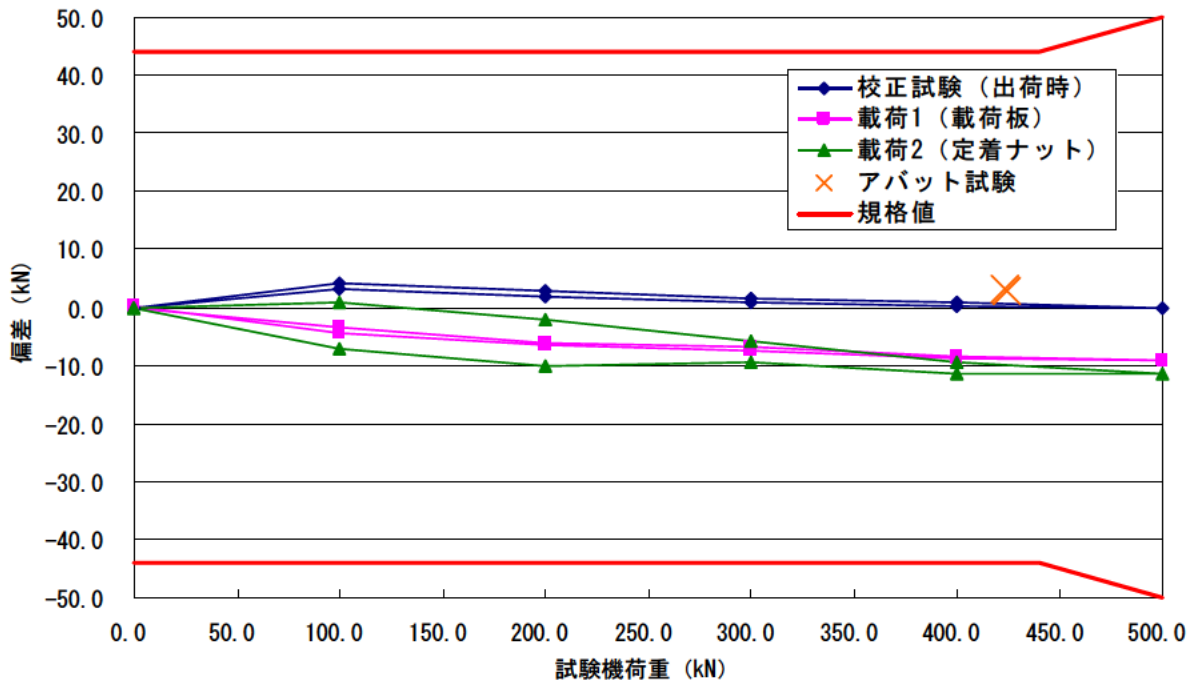


図 5.12 優先開発試験結果総括グラフ（共和電業製荷重計）

表 5.5 優先開発結果一覧 (エスイー製荷重計)

型名:SEEE-500kND Ser.No.:3
 校正係数 0.4098 kN/ $\mu\epsilon$ (出荷試験・校正)

試験荷重(kN)	出荷検査・校正			立会い試験						(参考)アバット試験			
	載荷条件:スリーブ定着ナット押し			載荷条件:載荷1(載荷板)			載荷条件:載荷2(スリーブ定着ナット押し)			載荷条件:載荷3(アバット試験)			
	出力($\mu\epsilon$)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)	出力($\mu\epsilon$)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)	出力($\mu\epsilon$)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)	評価	参考荷重計(kN)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)
0.0				-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				
500.0				1192.5	489.0	-11.0	1320.9	541.0	541.0				
0.0				0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0				
0.0				0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	440kN定着	421.9	427.0	5.1
500.0				1189.1	487.0	-13.0	1320.1	541.0	541.0	定着5分後	422.6	429.8	7.2
0.0				0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0				
0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0				
100.0	257.0	105.0	5.0	254.8	104.0	4.0	248.3	102.0	2.0				
200.0	507.0	208.0	8.0	490.9	201.0	1.0	516.3	212.0	12.0				
300.0	747.0	306.0	6.0	725.9	297.0	-3.0	785.4	322.0	22.0				
400.0	983.0	403.0	3.0	955.0	391.0	-9.0	1056.1	433.0	33.0				
500.0	1220.0	500.0	0.0	1185.4	486.0	-14.0	1320.7	541.0	41.0				
400.0	1000.0	410.0	10.0	960.9	394.0	-6.0	1059.0	434.0	34.0				
300.0	770.0	316.0	16.0	736.4	302.0	2.0	791.2	324.0	24.0				
200.0	526.0	216.0	16.0	504.1	207.0	7.0	514.7	211.0	11.0				
100.0	265.0	109.0	9.0	263.4	108.0	8.0	230.9	95.0	-5.0				
0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0				
非直線性	1.6%			1.5%			1.2%						
ヒステリシス	1.9%			1.1%			1.5%						
繰り返し性				0.6%			0%						
定格出力変化率							11.7%			定格出力変化率			1.7%

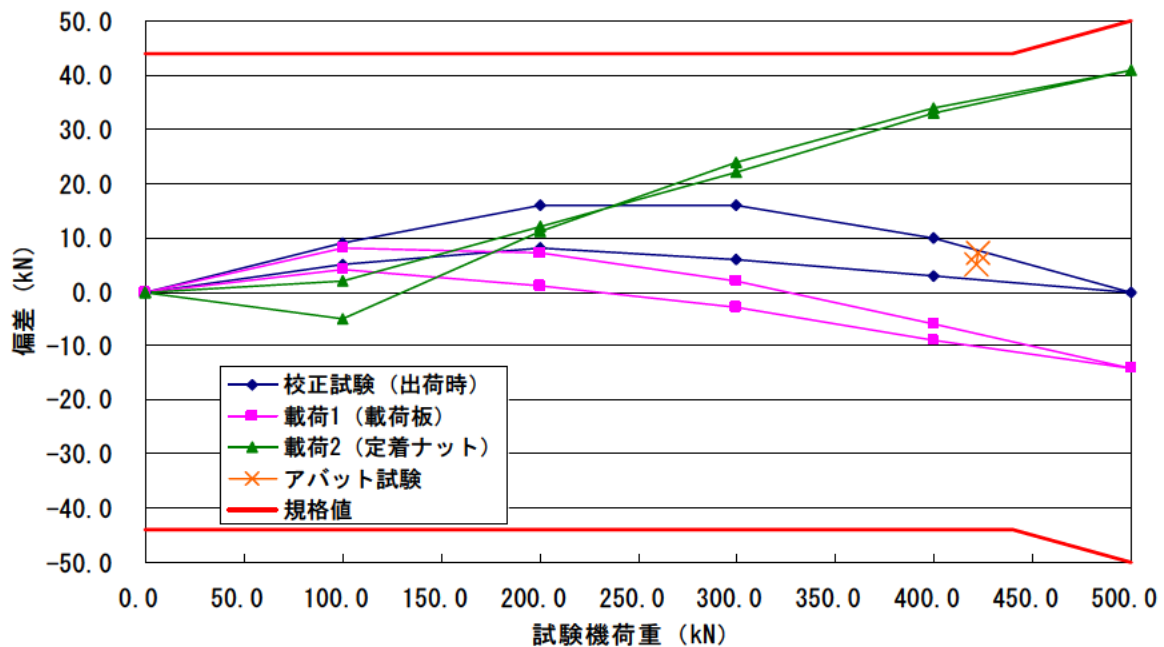


図 5.13 優先開発試験結果総括グラフ (エスイー製荷重計)

表 5.6 優先開発結果一覧 (東横エルメス製荷重計)

型名: GL-500K-1118B Ser.No.: 701208
 校正係数 0.2303 kN/ $\mu\epsilon$ (出荷試験・校正)

試験荷重(kN)	出荷検査・校正			立会い試験						(参考)アバット試験			
	載荷条件:スリーブ定着ナット押し			載荷条件:載荷1(載荷板)			載荷条件:載荷2(スリーブ定着ナット押し)			載荷条件:載荷3(アバット試験)			
	出力($\mu\epsilon$)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)	出力($\mu\epsilon$)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)	出力($\mu\epsilon$)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)	評価	参考荷重計(kN)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)
0.0				-0.2	0.0	0.0	-0.5	0.0	0.0				
500.0				2136.1	492.0	-8.0	2205.2	508.0	8.0				
0.0				0.2	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0				
0.0				-0.2	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	440kN定着	426.0	424.9	-1.1
500.0				2135.8	492.0	-8.0	2207.0	508.0	8.0	定着5分後	426.4	427.2	0.8
0.0				-0.1	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0				
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0				
100.0	438.0	101.0	1.0	412.2	95.0	-5.0	403.3	93.0	-7.0				
200.0	874.0	201.0	1.0	851.3	196.0	-4.0	838.8	193.0	-7.0				
300.0	1312.0	302.0	2.0	1277.5	294.0	-6.0	1297.9	299.0	-1.0				
400.0	1743.0	401.0	1.0	1704.4	393.0	-7.0	1748.2	403.0	3.0				
500.0	2171.0	500.0	0.0	2136.7	492.0	-8.0	2202.7	507.0	7.0				
400.0	1750.0	403.0	3.0	1700.4	392.0	-8.0	1764.3	406.0	6.0				
300.0	1327.0	306.0	6.0	1272.3	293.0	-7.0	1330.9	307.0	7.0				
200.0	899.0	207.0	7.0	844.4	194.0	-6.0	883.2	203.0	3.0				
100.0	461.0	106.0	6.0	412.5	95.0	-5.0	441.1	102.0	2.0				
0.0	-2.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0				
非直線性	0.4%			0.7%			1.9%						
ヒステリシス	1.2%			0.3%			2%						
繰り返し性				0%			0.1%						
定格出力変化率							3.1%			定格出力変化率			0.2%

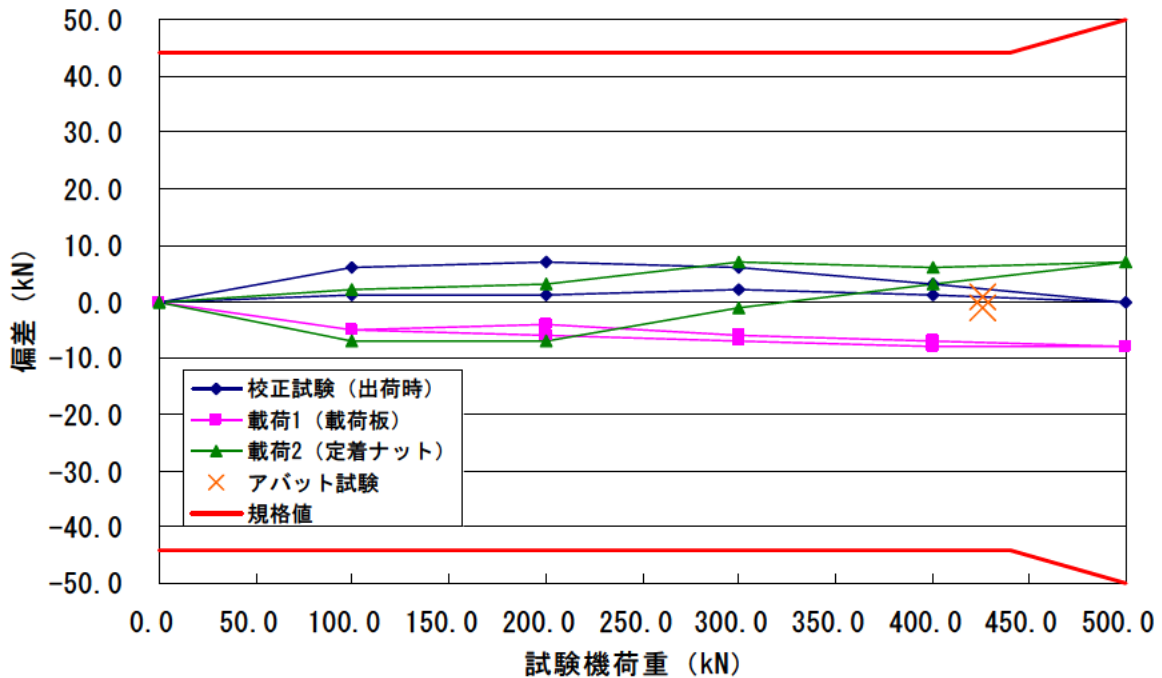


図 5.14 優先開発試験結果総括グラフ (東横エルメス製荷重計)

表 5.7 優先開発結果一覧（東京測器製荷重計）

型名: KCE-500kNAS AHZ07059
 校正係数 0.2056 (出荷試験・校正)

試験荷重 (kN)	出荷検査・校正			立会い試験						(参考)アバット試験			
	載荷条件:各社基準による			載荷条件:載荷1(載荷板)			載荷条件:載荷2(スリーブ定着ナット押し)			載荷条件:載荷3(アバット試験)			
	出力($\mu\varepsilon$)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)	出力($\mu\varepsilon$)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)	出力($\mu\varepsilon$)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)	評価	参考荷重計(kN)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)
0.0				0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				
500.0				2415.9	497.0	-3.0	2439.8	502.0	2.0				
0.0				0.2	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0				
0.0				-0.1	0.0	0.0	-0.2	0.0	0.0	440kN定着	422.0	446.8	24.8
500.0				2416.2	497.0	-3.0	2438.0	501.0	1.0	定着5分後	421.6	448.1	26.5
0.0				0.2	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0				
0.0	0.0			-0.1	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0				
100.0	490.0	101.0	1.0	486.3	100.0	-1.0	467.8	96.0	-4.0				
200.0	980.0	201.0	1.0	971.4	200.0	-1.0	946.7	195.0	-5.0				
300.0	1468.0	302.0	2.0	1457.9	300.0	-2.0	1441.1	296.0	-4.0				
400.0	1951.0	401.0	1.0	1937.0	398.0	-3.0	1934.2	398.0	-2.0				
500.0	2432.0	500.0	0.0	2416.3	497.0	-3.0	2436.1	501.0	1.0				
400.0	1952.0	401.0	1.0	1930.4	397.0	-4.0	1937.8	398.0	-2.0				
300.0	1469.0	302.0	2.0	1451.0	298.0	-4.0	1447.4	298.0	-2.0				
200.0	982.0	202.0	2.0	963.7	198.0	-4.0	951.5	196.0	-4.0				
100.0	490.0	101.0	1.0	480.5	99.0	-2.0	463.7	95.0	-5.0				
	0.0	0.0		-0.3	0.0	0.0	-0.3	0.0	0.0				
非直線性	0.4%			0.3%			1.1%						
ヒステリシス	0.1%			0.3%			0.3%						
繰り返し性				0%			0.2%						
定格出力変化率							0.8%			定格出力変化率			6.3%

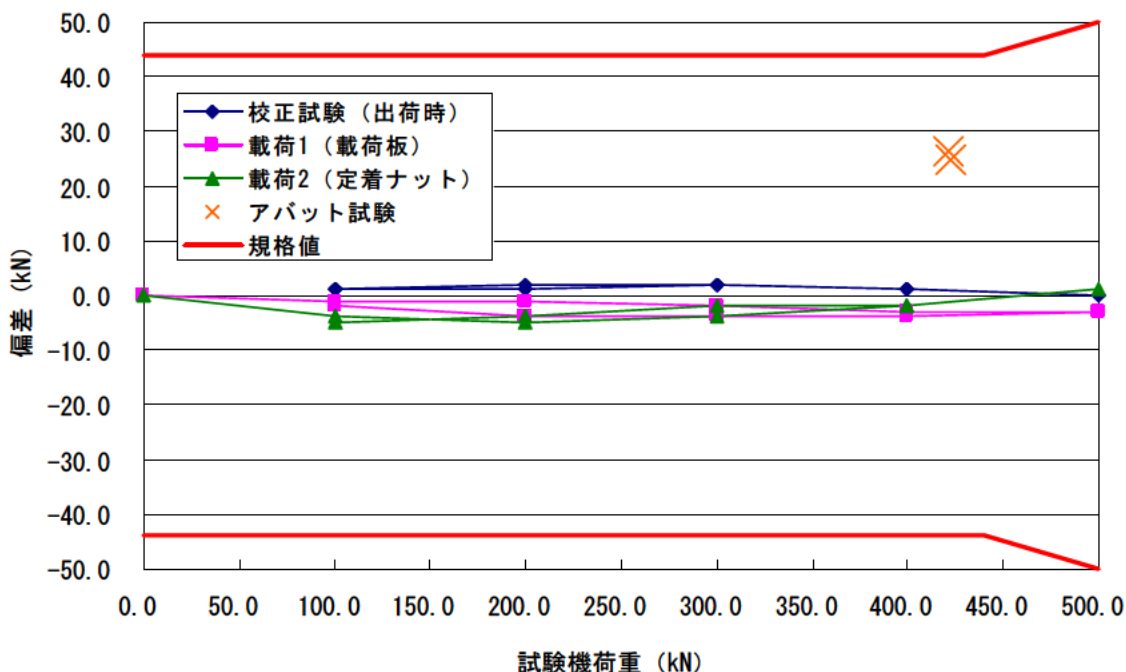


図 5.15 優先開発試験結果総括グラフ（東京測器製荷重計）

表 5.8 優先開発結果一覧（坂田電機製荷重計）

型名:ELH-51105WQL Ser.No.:2
 校正係数 219.68 KN/R (出荷試験・校正)

試験荷重(kN)	出荷検査・校正			立会い試験						(参考)アバット試験			
	載荷条件:各社基準による			載荷条件:載荷1(載荷板)			載荷条件:載荷2(スリーブ定着ナット押し)			載荷条件:載荷3(アバット試験)			
	出力(R)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)	出力(R)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)	出力(R)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)	評価	参考荷重計(kN)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)
0.0				0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				
500.0				2.2	482.0	-18.0	2.2	473.0	-27.0				
0.0				0.0	-1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0				
0.0				0.0	-1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	440kN定着	389.7	415.9	26.2
500.0				2.2	483.0	-17.0	2.1	472.0	-28.0	定着5分後	389.7	410.7	21.0
0.0				0.0	-1.0	-1.0	0.0	-1.0	-1.0				
0.0	0.000	0.0	0.0	-0.003	-1.0	-1.0	-0.003	-1.0	-1.0				
100.0	0.477	105.0	5.0	0.405	89.0	-11.0	0.376	83.0	-17.0				
200.0	0.923	203.0	3.0	0.854	188.0	-12.0	0.807	177.0	-23.0				
300.0	1.373	302.0	2.0	1.297	285.0	-15.0	1.245	274.0	-26.0				
400.0	1.823	400.0	0.0	1.744	383.0	-17.0	1.695	372.0	-28.0				
500.0	2.276	500.0	0.0	2.192	482.0	-18.0	2.147	472.0	-28.0				
400.0	1.841	404.0	4.0	1.759	386.0	-14.0	1.702	374.0	-26.0				
300.0	1.363	299.0	-1.0	1.283	282.0	-18.0	1.221	268.0	-32.0				
200.0	0.885	194.0	-6.0	0.796	175.0	-25.0	0.755	166.0	-34.0				
100.0	0.435	96.0	-4.0	0.361	79.0	-21.0	0.334	73.0	-27.0				
0.0	-0.002	0.0	0.0	-0.008	-2.0	-2.0	-0.005	-1.0	-1.0				
非直線性	1%			1.5%			2.5%						
ヒステリシス	1.8%			2.6%			2.4%						
繰り返し性				0.2%			0.3%						
定格出力変化率							2.1%			定格出力変化率			5.4%

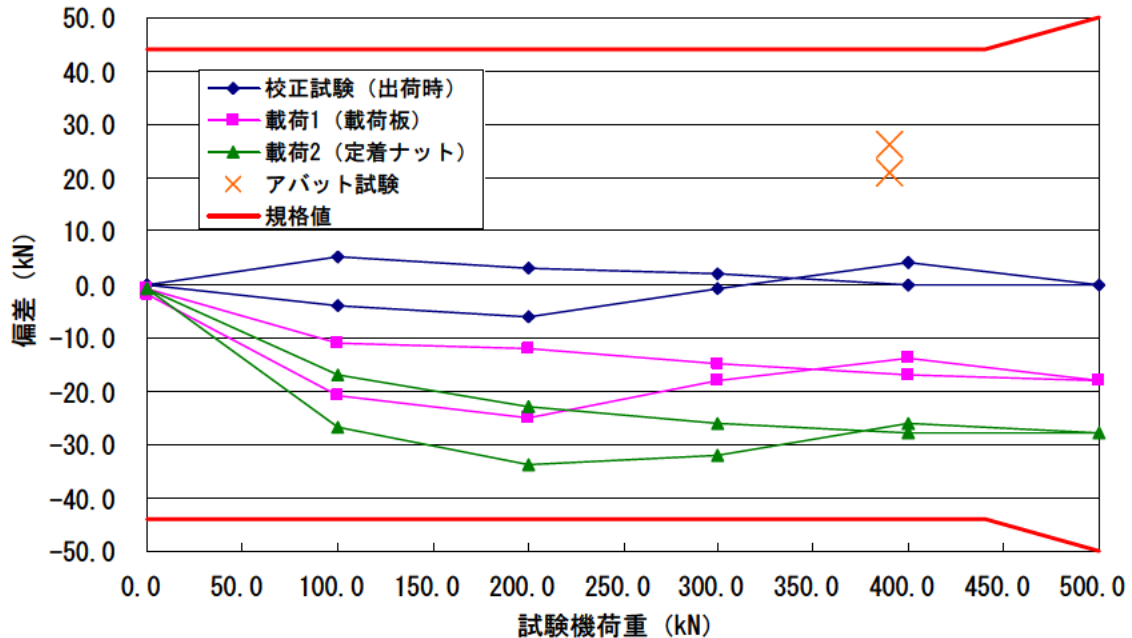


図 5.16 優先開発試験結果総括グラフ（坂田電機製荷重計）

表 5.9 優先開発結果一覧（守谷鋼機製荷重計）

型名: PD-180 Ser.No.:
校正係数 0.1345 kN/ $\mu\epsilon$ (出荷試験・校正)

試験荷重(kN)	出荷検査・校正			立会い試験						(参考)アバット試験			
	載荷条件:各社基準による			載荷条件:載荷v1(載荷板)			載荷条件:載荷2(スリーブ定着ナット押し)			載荷条件:載荷3(アバット試験)			
	出力($\mu\epsilon$)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)	出力($\mu\epsilon$)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)	出力($\mu\epsilon$)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)	評価	参考荷重計(kN)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)
0.0				0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0				
500.0				3729.4	502.0	2.0	3769.3	507.0	7.0				
0.0				-1.5	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0				
0.0				0.3	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	440kN定着	420.8	434.1	13.3
500.0				3724.1	501.0	1.0	3763.9	506.0	6.0	定着5分後	420.5	431.7	11.2
0.0				0.4	0.0	0.0	-5.1	-1.0	-1.0				
0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0				
100.0	900.0	121.0	21.0	883.8	119.0	19.0	898.7	121.0	21.0				
200.0	1654.0	222.0	22.0	1639.9	221.0	21.0	1668.7	224.0	24.0				
300.0	2360.0	317.0	17.0	2356.3	317.0	17.0	2393.2	322.0	22.0				
400.0	3043.0	409.0	9.0	3041.1	409.0	9.0	3083.9	415.0	15.0				
500.0	3717.0	500.0	0.0	3716.9	500.0	0.0	3759.9	506.0	6.0				
400.0	3055.0	411.0	11.0	3059.2	411.0	11.0	3099.5	417.0	17.0				
300.0	2381.0	320.0	20.0	2385.5	321.0	21.0	2420.1	326.0	26.0				
200.0	1685.0	227.0	27.0	1664.0	224.0	24.0	1689.2	227.0	27.0				
100.0	921.0	124.0	24.0	901.5	121.0	21.0	914.6	123.0	23.0				
0.0	0.0	0.0	0.0	-1.3	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0				
非直線性	4.5%			4.1%			4.4%						
ヒステリシス	0.8%			0.8%			0.7%						
繰り返し性				0.3%			0.3%						
定格出力変化率							1.2%			定格出力変化率			2.7%

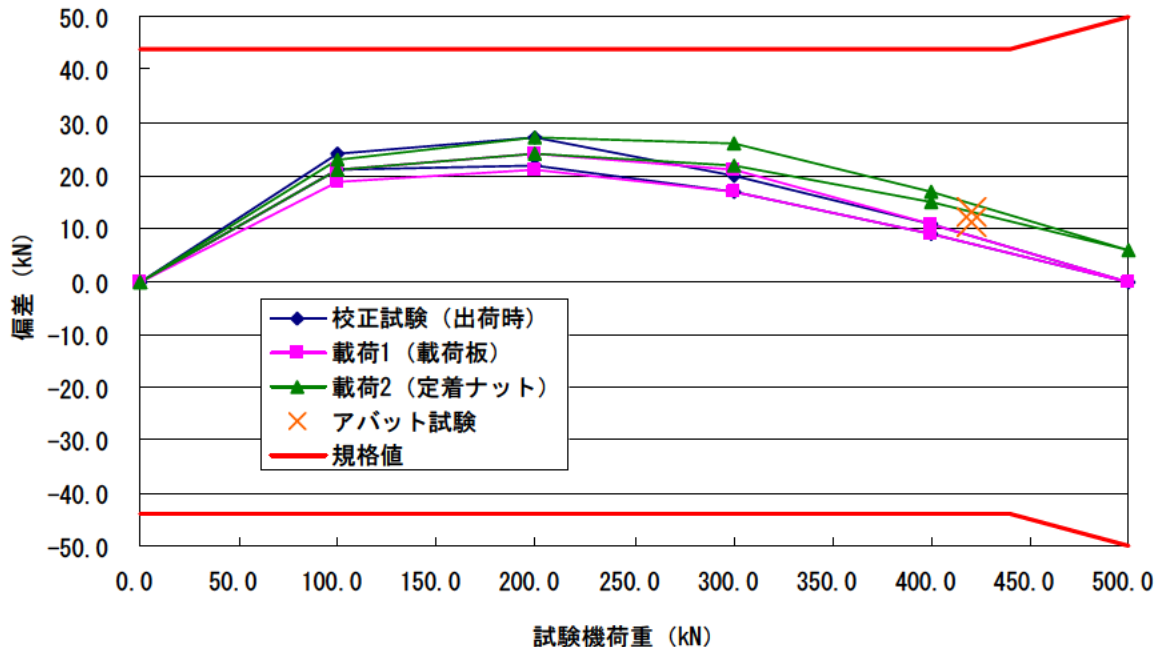


図 5.17 優先開発試験結果総括グラフ（守谷鋼機製荷重計）

表 5.10 めっきの影響確認試験結果一覧（優先開発）

試験荷重 (kN)	共和電業製			エスイー製			東横エルメス製			東京測器製			坂田電機製			守谷鋼機製		
	定着ナット		偏差	定着ナット		偏差	定着ナット		偏差	定着ナット		偏差	定着ナット		偏差	定着ナット		偏差
	めっき無し	めっき有り		めっき無し	めっき有り		めっき無し	めっき有り		めっき無し	めっき有り		めっき無し	めっき有り		めっき無し	めっき有り	
0		0	0		0	0		0	-0.1	0	-0.1				1	6	-5	
500		3309	0		0	0		0	2457.6	2453.1	4.5				3491	3511	-20	
0		0	0		0	0		0	0.3	0.5	-0.2		0	0	8	3	5	
500		3308	0		0	0		0	2456.2	2454.8	1.4		2.153	2.114	3486	3503	-17	
0		0	0		0	0		0	0.3	0.4	-0.1		-0.002	0	8	3	5	
500		3307	0		0	2270	2250	20	2456.7	2452.4	4.3		2.147	2.111	3479	3503	-24	
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0.3	0.4	-0.1		-0.003	-0.001	7	1	6	
100	715.99	692	24	257	219	38	437	443	494.2	492.2	2		0.376	0.368	837	852	-15	
200	1402.61	1343	59	507	442	65	896	905	986.6	984.9	1.7		0.807	0.807	1541	1563	-22	
300	2091.46	1992	100	747	672	75	1360	1365	1476.5	1475.3	1.2		1.245	1.244	2207	2239	-32	
400	2782.32	2647	135	983	925	58	1824	1814	1966.8	1963.5	3.3		1.695	1.679	2848	2877	-29	
500	3477.06	3309	168	1220	1193	27	2269	2252	2456.8	2452.7	4.1		2.147	2.113	3479	3501	-22	
400	2788.16	2623	165	1000	914	86	1839	1832	1965.3	1960.1	5.2		1.702	1.662	2848	2871	-23	
300	2097.65	1962	135	770	662	108	1399	1391	1477.1	1474.1	3		1.221	1.182	2208	2232	-24	
200	1409.89	1314	96	526	434	92	954	958	985.7	984.3	1.4		0.755	0.737	1543	1561	-18	
100	725.33	674	52	265	205	60	484	477	492.8	490.4	2.4		0.334	0.325	834	846	-12	
0	-0.02	0	0	0	1	-1	-1	1	0.1	0.19	-0.09		-0.005	-0.001	8	4	4	
非直線性	0.59 %	0.91 %		1.56 %	3.67 %		0.74 %	0.61 %	0.16 %	0.16 %			2.49 %	2.58 %	4.29 %	4.64 %		
ヒステリシス	0.27 %	0.89 %		1.89 %	1.17 %		2.56 %	2.35 %	0.06 %	0.14 %			2.42 %	3.31 %	0.09 %	0.2 %		

5.3.1 評価

評価は、偏差が規格値である 10%未満であることを確認することによって行った。

図 5.12～図 5.17 に示すとおり、すべての荷重計の偏差が優先開発における規格値未満であり、合格と判定された^{注)}。また、表 5.10 に示すとおり、すべての荷重計は定着ナットのめっきの有無に対して、有意な差は見られなかった。

注) エスイー製荷重計については、再試験の結果であることと、他の荷重計と比較して偏差が大きい傾向にあることを考慮して、校正係数の設定は、現場で使用する緊張治具と同じ形状のものを使用する方法（載荷 2 と同じ方法）で実施することを必須条件とした。

6. 優先開発におけるデータ通信システムの評価

6.1 検討項目

現在の計測データ管理システムは、様々な計測機器と通信機器、さらにはネットワークを組み合わせることで多様なニーズに対応できる。こうした中、データ通信システムの「優先開発」の仕様は、第3次要求性能と今後の効率的な維持管理方法を勘案し表 6.1に示す項目を挙げ検討を行った。その結果、データ通信システムWGは開発要求性能を満たすための開発仕様（表 6.2）を設定した。

表 6.1 優先開発におけるデータ通信システムの検討項目および検討結果

項目		検討結果	備考	
基本性能	ロガー部	適用センサ	ひずみゲージ型、差動トランス型	個々のアンプとする
		測定範囲	センサに合わせる	各社のセンサの定格を考慮
		測定精度	5%R.O 以下	荷重計の精度を考慮
		測定点数	2点（荷重および時間）	時間は年・月・日・時・分
		記録回数	200点以上	1回/日×3ヶ月×2点
	無線通信部	通信方式	無線方式（2.4GHz帯）	低消費電力に対応
		通信距離	50m	現場に調査員が行ってデータを回収することを想定
		通信台数	10台	設置台数を考慮
	電源部	電源方式	電池	荷重計測定用電源と共用
		電源寿命	1年以上	電池交換はなるべく容易にできることを考慮
耐環境性能	使用温度範囲	-10 ~ +50 (零点変動：±2R.O/ , 出力変動：±2R.O/)	JIS C 60068-2-61, JIS C 60068-2-1 および JIS C 60068-2-2 参照	
	使用湿度範囲	85%RH 以下	JIS C 60068-2-61 JIS C 60068-2-30 参照	
	保護等級	IP54	JIS C 0920 参照	
	耐用年数	3年	現場状況を想定	
その他	外形寸法	150 (W)×200 (D)×100 (H)以内 (単位：mm)	ヘッドキャップに取付けられる大きさ	

表 6.2 優先開発におけるデータ通信システムの仕様

項目		会社名	(株)共和電業	(株)東京測器研究所	坂田電機(株)
		基本性能	口ガー部	適用センサ	ひずみゲージ式変換器
測定範囲 (印加電圧)	-500 ~ 5000 × 10 ⁻⁶ (定電流方式〔1V〕)			-500 ~ 5000 × 10 ⁻⁶ (定電圧方式〔1.5V〕)	-0.5 ~ 2.5 (1Vrms,500Hz)
測定精度	±5%R.O			±5%R.O	±5%R.O
測定点数	2点 (荷重および時間)			2点 (荷重および時間)	2点 (荷重および時間)
記録回数	200点以上			200点以上	200点以上
無線 通信部	通信方式		無線方式(2.4GHz帯)	無線方式(2.4GHz帯)	無線方式(2.4GHz帯)
	通信距離		50m	50m	50m
	通信台数		10台	10台	10台
電源部	電源方式		リチウム電池 (上蓋を開閉後、電池交換可能)	リチウム電池 (上蓋を開閉後、電池交換可能)	アルカリ電池 (上蓋を開閉後、電池交換可能)
	電源寿命		1年以上	1年以上	1年以上
耐環境性能	使用温度範囲	-10 ~ +50 (零点変動：±2R.O/ , 出力変動：±2R.O/)	-10 ~ +50 (零点変動：±2R.O/ , 出力変動：±2R.O/)	-10 ~ +50 (零点変動：±2R.O/ , 出力変動：±2R.O/)	
	使用湿度範囲	85%RH以下	85%RH以下	85%RH以下	
	保護等級	IP54	IP54	IP54	
	耐用年数	3年	3年	3年	
その他	外形寸法	80(w)×120(D)×55(H) (単位：mm)	90(w)×115(D)×55(H) (単位：mm)	125(w)×175(D)×75(H) (単位：mm)	

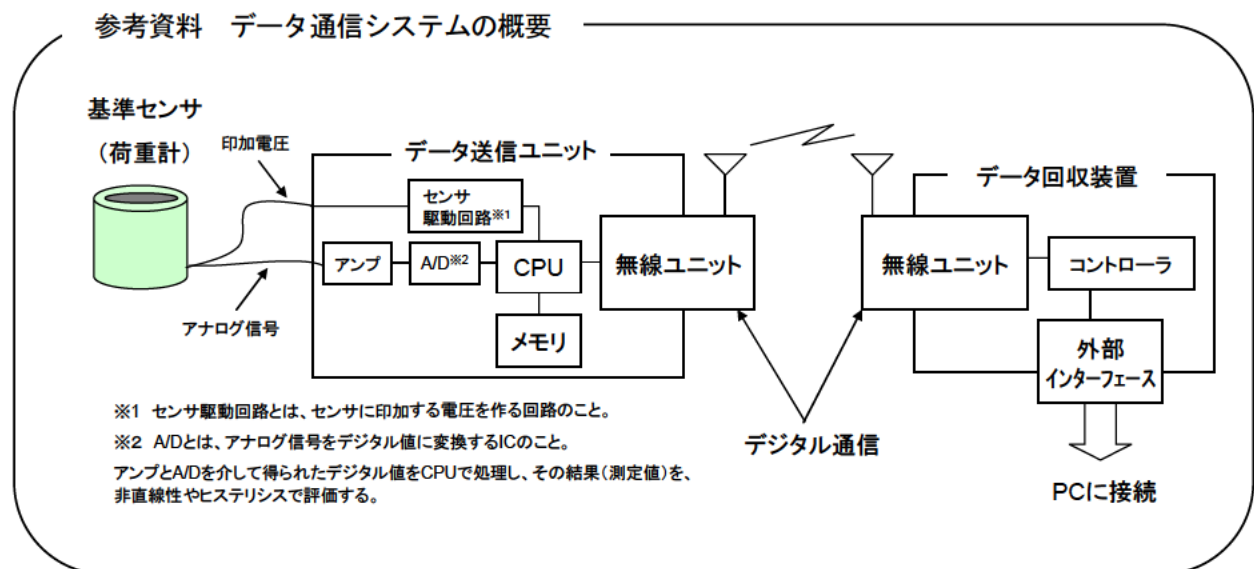
6.2 試験計画

開発仕様に基づき試作したデータ通信システムが、要求される開発性能を満たしているか、表 6.3 にしたがって確認を行った。なお、基本性能試験および耐環境性能試験におけるデータ送信ユニットの試験台数は 10 台とする。また、立会い試験時の試験台数は 4 台とした。

表 6.3 試験項目と試験方法

試験項目		試験方法
基本性能試験	ロガー部 測定精度	非直線性試験およびヒステリシス試験 測定範囲の 1/5 間隔で、模擬荷重を入力し、計測結果から、非直線性、ヒステリシスを求め、規格値以内であることを確認する。非直線性は測定範囲の最小値と最大値を結ぶ直線との最大偏差を測定範囲に対する百分率で表す。ヒステリシスは各測点の行きと帰りの最大値を測定範囲に対する百分率で表す。
	無線 通信部 通信距離	擬似荷重を入力したデータ送信ユニットを用意する。通信距離を 50m、データ回収装置の高さを 50m および 100cm とし、また、データ送信ユニットの高さを地表面上とした場合に通信を 300 回または 5 分間おこない、それぞれの場合のエラー率を下式より算出する。 $\text{エラー率} = \text{エラー回数} / \text{通信回数} \cdots (1)$
	電源寿命	消費電流確認 測定範囲最大値相当の模擬荷重を入力し、一定時間の消費電流計測結果から、1 年間の消費電力量を計算し、規格内であることを確認する。
耐環境性能試験	使用温度 範囲	試験槽にデータ送信ユニット 10 台とデータ回収装置 1 台を入れ、槽内温度を -15 ± 3 と $+55 \pm 3$ で、それぞれ 16 時間放置し、通信に異常の無いことを確認する。また、各温度において、以下のように入力する模擬荷重を変えることで下記を確認し、参考データとする。 ・ 零点変動：A と C の試験結果より算出 ・ 出力変動：B と D の試験結果より算出 A: 低温無負荷 入力：測定範囲最小値 環境温度： -15 ± 3 B: 低温定格負荷 入力：測定範囲最大値 環境温度： -15 ± 3 C: 高温無負荷 入力：測定範囲最小値 環境温度： $+55 \pm 2$ D: 高温定格負荷 入力：測定範囲最大値 環境温度： $+55 \pm 2$
	使用湿度	温湿度試験 試験槽にデータ送信ユニット 4 台とデータ回収装置 1 台を入れる。 高温保持時、低温保持時に、通信に異常の無いことを確認する。また、同時に、測定範囲最大値に相当する模擬荷重を加え、測定値を確認する。 【安定期間】 槽内温度を 25 ± 3 で 1 時間放置する。放置後 1 時間以内に、槽内湿度を 25 ± 3 ままで、槽内湿度を 95%以上にする。 【温度上昇】 湿度を維持したまま、3 時間で 55 に達するようにする。

	使用温度	温湿度試験	<p>【高温保持】温度上昇後、槽内温度を $55\pm 2^{\circ}\text{C}$ の範囲を 9 時間保つ。この間の相対湿度は $93\pm 3\%$ とする。</p> <p>【温度下降】 3 時間で $25\pm 3^{\circ}\text{C}$ になるよう温度を下げる。この間の相対湿度は 95% 以上とする。</p> <p>【低温保持】 温度下降後、槽内温度を $25\pm 3^{\circ}\text{C}$ の範囲を 9 時間保つ。この間の相対湿度を 95% に維持する。</p>
立 会 い 試 験	通信距離 50m 確認試験		通信距離を 50m、データ回収装置の高さを 45cm および 90cm とし、また、データ送信ユニットの高さを地表面上とした場合に通信を 300 回または 5 分間おこない、それぞれの場合のエラー率を(1)と同様に算出する。
	限界受信距離確認試験		データ回収装置の高さを 45cm および 90cm、データ送信ユニットの高さを地表面上、また、各装置間の距離を 80、100m とし、通信を 300 回または 5 分間おこない、それぞれの場合のエラー率を(1)と同様に算出する。ただし、通信不可の場合、それ以降の試験を中止する。
現場実証試験			第 10 章参照



6.3 試験結果

6.2 項の試験計画に基づいて、各社における自主試験および、立会い試験を行った。

優先開発で試作したデータ送信ユニット、データ回収装置および立会い試験時の写真を表 6.4 に示す。また、各社の試験結果を表 6.5～表 6.7 に示す。

立会い試験は、平成 19 年 12 月 18 日（天候：晴れ、気温：11.6℃）と平成 20 年 1 月 16 日（天候：晴れ、気温：9.9℃）に実施した。

表 6.4 データ通信システム一覧および立会い試験風景



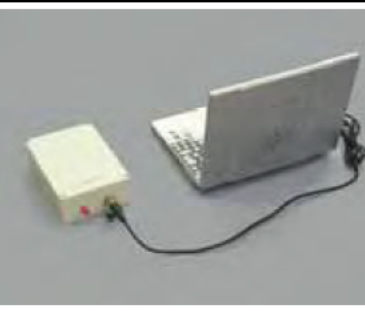



(株)共和電業	(株)東京測器研究所	(株)坂田電機
データ送信ユニット		
		
寸法：80(w)×120(D)×55(H) 単位mm	寸法：90(w)×115(D)×55(H) 単位 mm	寸法：125(w)×175(D)×75(H) 単位mm
データ回収装置		
		
立会い試験風景		
		

表 6.5 試験結果（共和電業）

試験項目		規格	試験結果										単位	
			No1	No2	No3	No4	No5	No6	No7	No8	No9	No10		
基本性能	非直線性試験	±5% R.O	-0.08	-0.11	-0.11	-0.06	-0.08	-0.11	-0.11	-0.06	-0.08	-0.11	%	
	ヒステリシス試験	±5% R.O	-0.08	-0.04	-0.04	-0.02	-0.10	-0.14	-0.08	-0.12	-0.08	-0.08	%	
	通信試験 距離 50m	50 cm (参考)	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	%	
		1m (参考)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	%	
	消費電流確認	365日 以上	432	427	427	427	438	443	427	427	432	443	日	
耐環境性能	温度試験	零点変動	±2% R.O	0.004	-0.002	0.002	0.002	0.001	-0.002	0.001	0.002	-0.002	0.002	%
		出力変動	±2% R.O	-0.008	-0.015	-0.009	-0.013	-0.004	-0.015	-0.009	-0.013	-0.004	-0.015	%
	温湿度試験	85% RH 以下	結露 なし	結露 なし	結露 なし	結露 なし								
立会い試験	通信試験 距離 50m	45 cm (参考)	0.0	1.0	0.0	1.0							%	
		90 cm (参考)	0.0	0.0	0.0	0.0							%	
	限界受信 距離 確認 距離 80m	45 cm (参考)	2.0	3.0	3.0	2.0							%	
		90 cm (参考)	1.0	0.0	1.0	1.0							%	

表 6.6 試験結果（東京測器研究所）

試験項目		規格	試験結果										単位	
			No1	No2	No3	No4	No5	No6	No7	No8	No9	No10		
基本性能	非直線性試験	±5% R.O	-0.44	-0.34	-0.08	-0.16	-0.26	-0.28	-0.28	-0.32	-0.32	-0.38	%	
	ヒステリシス試験	±5% R.O	0.10	-0.14	0.08	-0.08	0.10	-0.12	-0.12	-0.14	0.10	-0.14	%	
	通信試験 距離 50m	50 cm	(参考)	0.7	0.3	1.7	0.3	0.7	0.3	1.7	0.7	0.3	0.3	%
		1m	(参考)	0.3	0.0	0.3	0.3	0.0	0.3	0.3	0.3	0.0	0.0	%
	消費電流確認	365日 以上		443	430	426	431	440	435	428	433	430	438	日
耐環境性能	温度試験	零点変動	±2% R.O	0.005	-0.003	-0.005	-0.004	-0.004	-0.003	-0.003	-0.002	-0.004	-0.002	%
		出力変動	±2% R.O	-0.013	-0.008	-0.016	-0.006	-0.007	-0.007	-0.006	-0.006	-0.011	-0.006	%
	温湿度試験	85% RH 以下	結露 なし	結露 なし	結露 なし	結露 なし								
立会い試験	通信試験 距離 50m	45 cm	(参考)	0.3	0.0	0.3	0.3							%
		90 cm	(参考)	0.0	0.0	0.0	0.0							%
	限界受信 距離 確認 距離 80m	45 cm	(参考)	0.3	0.0	2.3	1.0							%
		90 cm	(参考)	0.3	0.0	0.0	0.3							%

表 6.7 試験結果 (坂田電機)

試験項目		規格	試験結果										単位	
			No1	No2	No3	No4	No5	No6	No7	No8	No9	No10		
基本性能	非直線性試験		±5% R.O	0.12	0.16	0.08	0.20	0.08	0.08	0.12	0.04	0.08	0.20	%
	ヒステリシス試験		±5% R.O	0.24	0.12	0.04	0.12	0.08	0.24	0.20	0.16	0.16	0.28	%
	通信試験	50 cm	(参考)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	%
		距離 50m	1m	(参考)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	%
	消費電流確認		365日 以上	719	719	720	719	720	720	719	719	720	720	日
耐環境性能	温度試験	零点変動	±2% R.O	0.017	0.013	0.017	0.007	0.009	0.005	0.009	0.006	0.001	0.002	%
		出力変動	±2% R.O	0.015	0.012	0.016	0.006	0.007	0.005	0.008	0.005	0.001	0.002	%
	温湿度試験		85% RH 以下	結露 なし	結露 なし	結露 なし	結露 なし							
立会い試験	通信試験	45 cm	(参考)	0.0	0.0	0.0	0.0							%
		距離 50m	90 cm	(参考)	0.0	0.0	0.0	0.0						
	限界受信距離確認	45 cm	(参考)	18.0	0.0	1.0	36.0							%
		距離 80m	90 cm	(参考)	0.0	12.0	1.0	0.0						

6.3.1 評価

各社ともに、表 6.8 に示すように、各試験において、目標仕様を満たす性能を確認することができた。通信試験において、データ回収装置を高くすることで、通信のエラー率が低くなることがわかった。

表 6.8 試験評価（良好、概ね良好、注意、×不良）

試験項目		規格	(株)共和電業	(株)東京測器研究所	坂田電機株
基本性能	非直線性試験	± 5%R.O			
	ヒステリシス試験	± 5%R.O			
	通信試験	50m			
	消費電流確認	365 日以上			
耐環境性能	温度試験	零点変動	± 2%R.O		
		出力変動	± 2%R.O		
	温湿度試験	85%RH 以下			
立会い試験	通信試験	50m			
	限界受信距離確認試験	(参考値)	80m	80m	80m

本結果は、立会い試験時の環境で得られた結果であり、使用環境により変わることに注意が必要である。

7. 拡張開発における緊張治具の評価

7.1 検討項目

「拡張開発」では、優先開発で得られた技術をもとに製品の改良と適用範囲を広げる開発を行った。開発のターゲットとする対象アンカーを優先開発と同様に過去の施工数量から選定した。その結果、対象とするアンカーを VSL アンカー工法の E5-7（1986 年～1996 年に施工、永久常時：770kN/本、アンカーヘッドサイズ：110mm×h60mm）を対象とし開発仕様を設定した。

7.1.1 緊張力の計測機構の検討

アンカーに作用している緊張力を荷重計に移行させる機構は、優先開発と同様とした。

7.2 試験計画

開発仕様に基づき試作した緊張治具が要求性能を満たしているか以下の試験により評価を行った。

マッチング試験：緊張治具と荷重計の実測寸法測定及び組合せ状態の評価

ジャッキ校正試験：油圧ジャッキの载荷性能及び校正

アバットメント試験：荷重計取付け・取外しの作業性の評価

7.2.1 マッチング試験

マッチング試験は、緊張治具及び各社の荷重計に対し、表 7.1 に示す項目の確認を行った。

表 7.1 緊張治具・荷重計マッチング試験 確認項目

分 類		項目	内 容
寸法測定	緊張治具	1-1	ラムチェアの外径、内径、高さ (mm)
		1-2	油圧ジャッキの外径、内径、高さ (mm)
		1-3	ジョイントスリーブの外径、高さ (mm)
		1-4	ジョイントロッドの外径、内径、高さ (mm)
		1-5	定着ナットの外径、内径、高さ (mm)
		1-6	テンションロッドの外径、内径、高さ (mm)
		1-7	テンションナットの外径、内径、高さ (mm)
	荷重計	2-1	荷重計の外径、内径、高さ (mm)
		2-2	ケーブル突出部の突出位置、突出量 (mm)
		2-3	アタッチメントの有無、形状
組合せ状態 目視点検	3-1	荷重計がラムチェア内に支障なく収まるか	
	3-2	荷重計の出力ケーブルが支障なく取り出せるか	
	3-3	荷重計の载荷面と定着ナットの接触面にガタツキ等はないか	
	3-4	組み合せた状態で、定着ナットの締付がスムーズに行えるか	
	3-5	その他、組み合せた状態での不具合はないか	

7.2.2 ジャッキ校正試験

製作した油圧ジャッキをジャッキ検査台にセットし、油圧と校正用荷重計の指示値を比較し、校正係数を求めた。その校正係数を求めて開発した油圧ジャッキの性能を確認した。試験方法は、優先開発時の当該試験の記載内容を参照のこと。

7.2.3 アバットメント試験

アバット試験は、アバットに緊張定着された（定着荷重 700kN）模擬アンカーに対し、緊張治具を用いて各社の荷重計の取付け・取外しを行い、その作業性の評価を行った。アバット試験の概要は、図 4.4 と同様である。

なお、東京測器研究所製荷重計において、定着ナットの下に支圧板を設置して荷重計を取付ける方法（既設支圧板ともう 1 枚の支圧板で荷重計を挟む設置方法）も試した。アバット試験の結果では、「東京測器製」として示す。

（1）リフトオフ試験の実施

緊張治具を用いてリフトオフ試験を実施し、油圧ジャッキの作動状況を及び一連の操作性の評価を行った。リフトオフ試験の最大荷重は、アバットに設置したアンカーの許容荷重（永久常時：770kN）とした。

（2）荷重計の取付け・取外し作業性の確認

アバットに設置したアンカーをリフトオフさせてアンカーヘッドを支圧板から浮かせた後、定着ナットを締付け、油圧ジャッキを解放して荷重計の取付けを行う一連の作業性を確認した。また、その後、定着した荷重計を取外す作業を行い、その作業性も確認した。

確認項目は、表 7.2 に示す通りである。

表 7.2 荷重計の取付け・取外しにおける作業性確認項目

項番	項目	良好	普通	不良
	荷重計の出力ケーブルが支障にならないか			
	荷重計のセンタリングはうまくできるか			
	緊張治具の組立てはスムーズに行えるか			
	定着ナットの締付け作業はスムーズに行えるか			
	荷重計定着時の戻り変位量は小さいか			
	戻り変位による緊張力の低下は小さく抑えられるか			
	再リフトオフ時のリフトオフ荷重の読み取りは明瞭か			
	荷重計の取外し作業はスムーズに行えるか			

(3) リフトオフ荷重と荷重計計測値の比較

アバット試験では、表 7.3 及び図 7.1 に示す載荷ステップを実施し、荷重計計測値とリフトオフ荷重及び模擬緊張用ジャッキ荷重を比較した。

表 7.3 アバット試験の載荷ステップ及び目的

試験ステップ	目的・実施内容	荷重計計測値の評価
予備緊張	リフトオフジャッキで 800kN まで緊張し、緊張治具等を馴染ませる	-
700kN リフトオフ試験	700kN で定着された PC 鋼より線をリフトオフ試験し、定着荷重の確認を行う。その後、引続き荷重計定着へ移行する。	-
770kN 荷重計定着	最大荷重 770kN まで載荷し、この状態で荷重計定着を行う。この時の最大荷重 770kN と定着された荷重計計測値の比較を行う。	
770kN チェックリフトオフ試験	荷重計に定着した定着荷重を確認するために、リフトオフジャッキで 800kN まで載荷するリフトオフ試験を実施する。この時に得られるリフトオフ荷重と荷重計定着した時に出力されていた荷重値を比較する。	
模擬緊張ジャッキ検定	模擬緊張ジャッキを 200kN ,300kN ,400kN ,500kN ,600kN ,700kN と変化させ、この時の荷重計の指示値と比較する。	詳細検討は荷重計 WG
300kN リフトオフ試験	荷重計定着された PC 鋼より線の緊張力を模擬緊張ジャッキで 300kN に設定し、リフトオフジャッキでリフトオフ試験を実施する。 この時のリフトオフ荷重と荷重計計測値を比較する。	参考値
500kN リフトオフ試験	荷重計定着された PC 鋼より線の緊張力を模擬緊張ジャッキで 500kN に設定し、リフトオフジャッキでリフトオフ試験を実施する。 この時のリフトオフ荷重と荷重計計測値を比較する。	参考値
荷重計取外し	上記ステップで荷重計は 500kN で定着されている。そのため、リフトオフジャッキを 500kN 以上まで載荷し、荷重計を取外す。	-
緊張力変化確認	700kN で定着した PC 鋼より線に対し、一連の荷重計取付け・取外しを行う。 この時に、初期に設定した緊張力と、一連作業後の緊張力を比較する。	

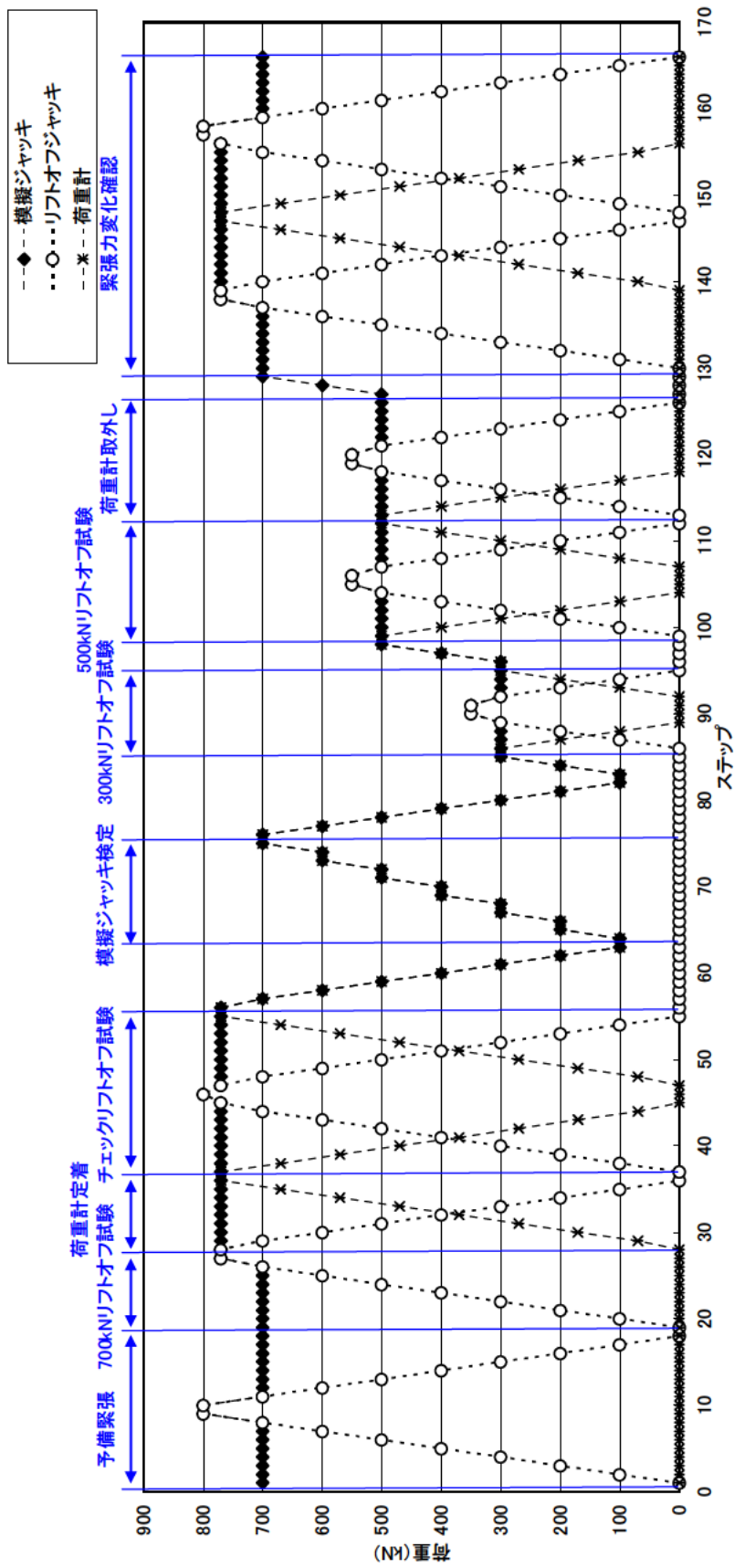


図 7.1 アバット試験の載荷ステップ

7.3 試験結果

7.3.1 製作緊張治具

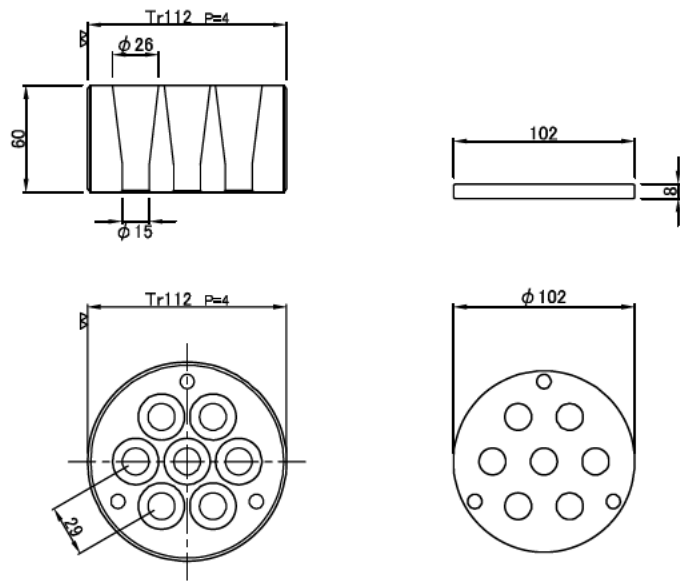
製作した緊張治具の構成を表 7.4 に示す。また、各治具の外観写真を写真 7.1、外観図を図 7.2 ~ 図 7.9 に示す。なお、緊張治具の構成図については、図 4.5 と同様である。

表 7.4 1,000kN 用緊張治具の構成

品名	仕様・規格	重量 (kg)	備考
ジョイントスリーブ	112mm×H60mm リテーナー、(かんざしス ペーサー付き)	3.8	存置部材
テンションスリーブ	145mm×H150mm	8.5	存置部材
定着ナット	185mm×H50mm	4.1	存置部材
	185mm×H110mm	8.9	存置部材、油圧式荷重計用
テンションロッド	112mm×L600mm	25.5	
テンションナット	185mm×H50mm	9.0	
専用油圧ジャッキ	240mm×H215mm 複動式、シリンダースト ローク 50mm	49.0	
ラムチェア	250.5mm×H330mm	46.0	



写真 7.1 緊張治具一式



ジョイントスリーブ

リテーナープレート

図 7.2 ジョイントスリーブとリテーナープレート (1,000kN 用)

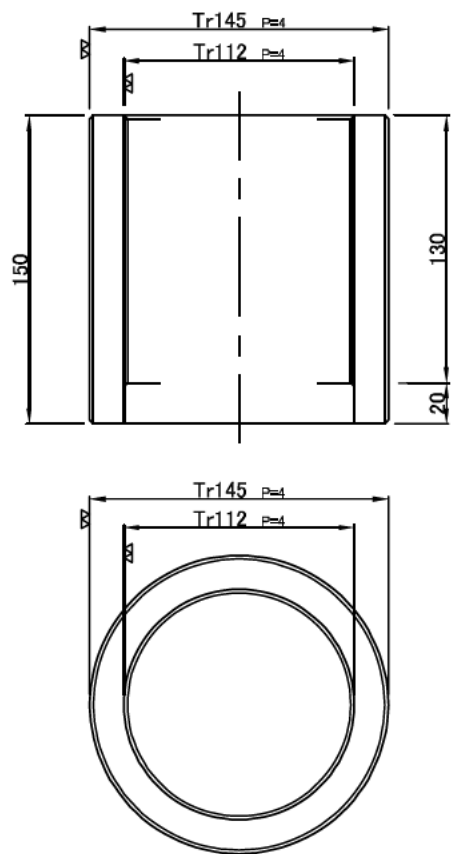


図 7.3 テンションスリーブ (1,000kN 用)

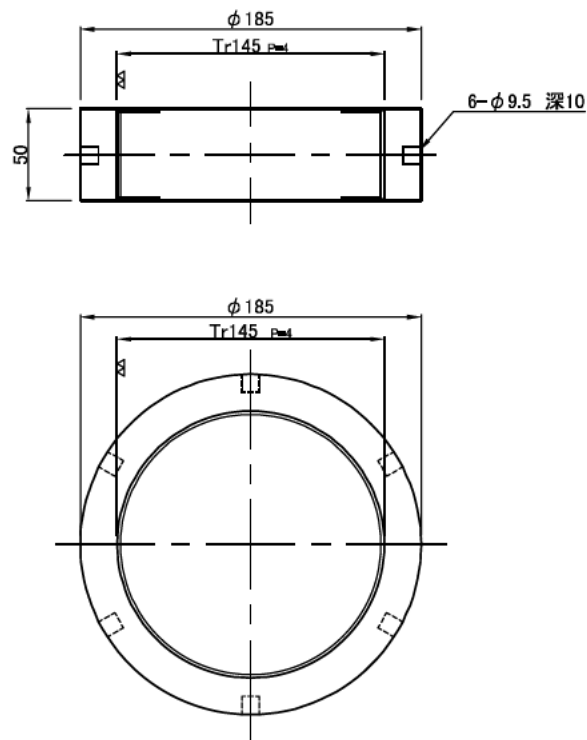


図 7.4 定着ナット (1,000kN 用)

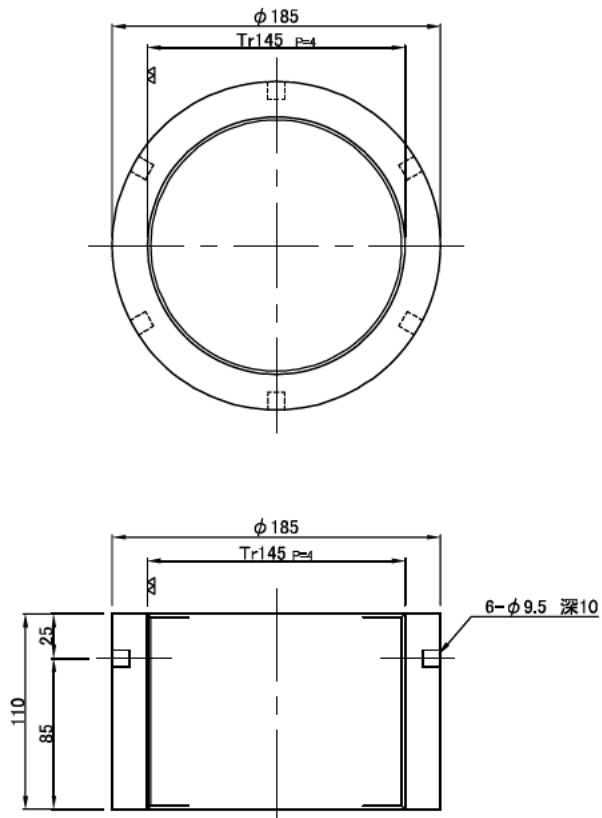


図 7.5 油圧式荷重計用 定着ナット (1,000kN 用)

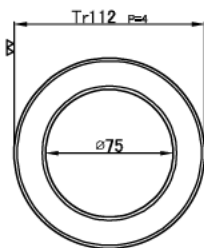
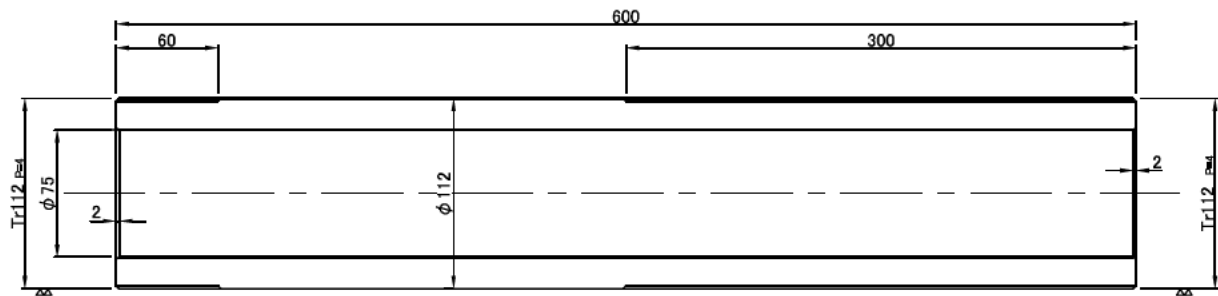


図 7.6 テンションロッド (1,000kN 用)

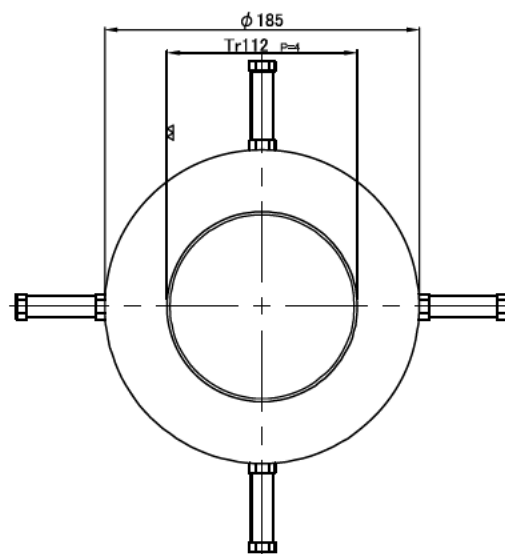
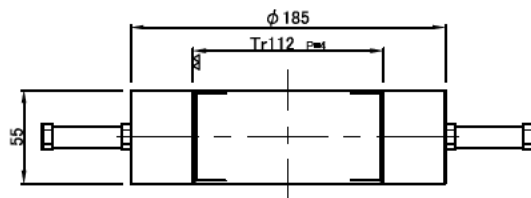


図 7.7 テンションナット (1,000kN 用)

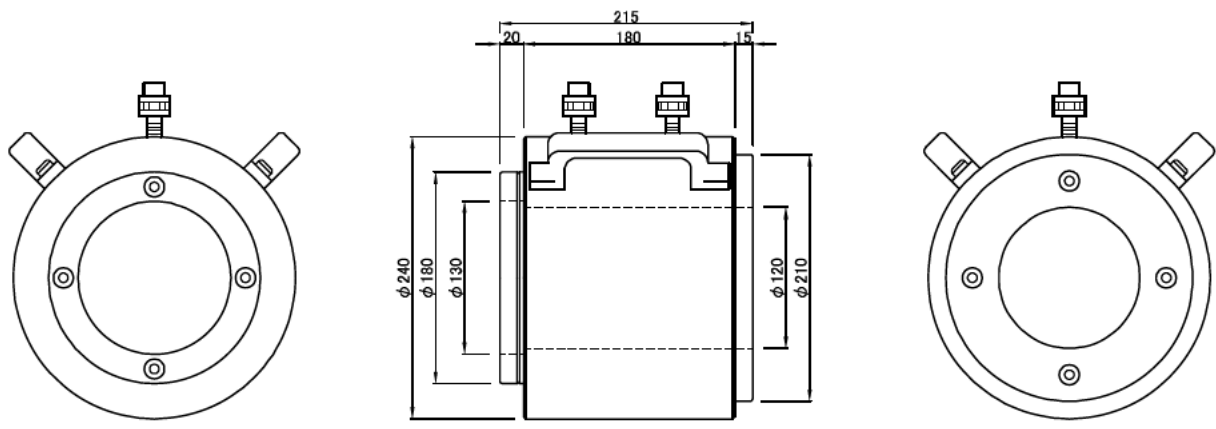


図 7.8 専用油圧ジャッキ (1,000kN 用)

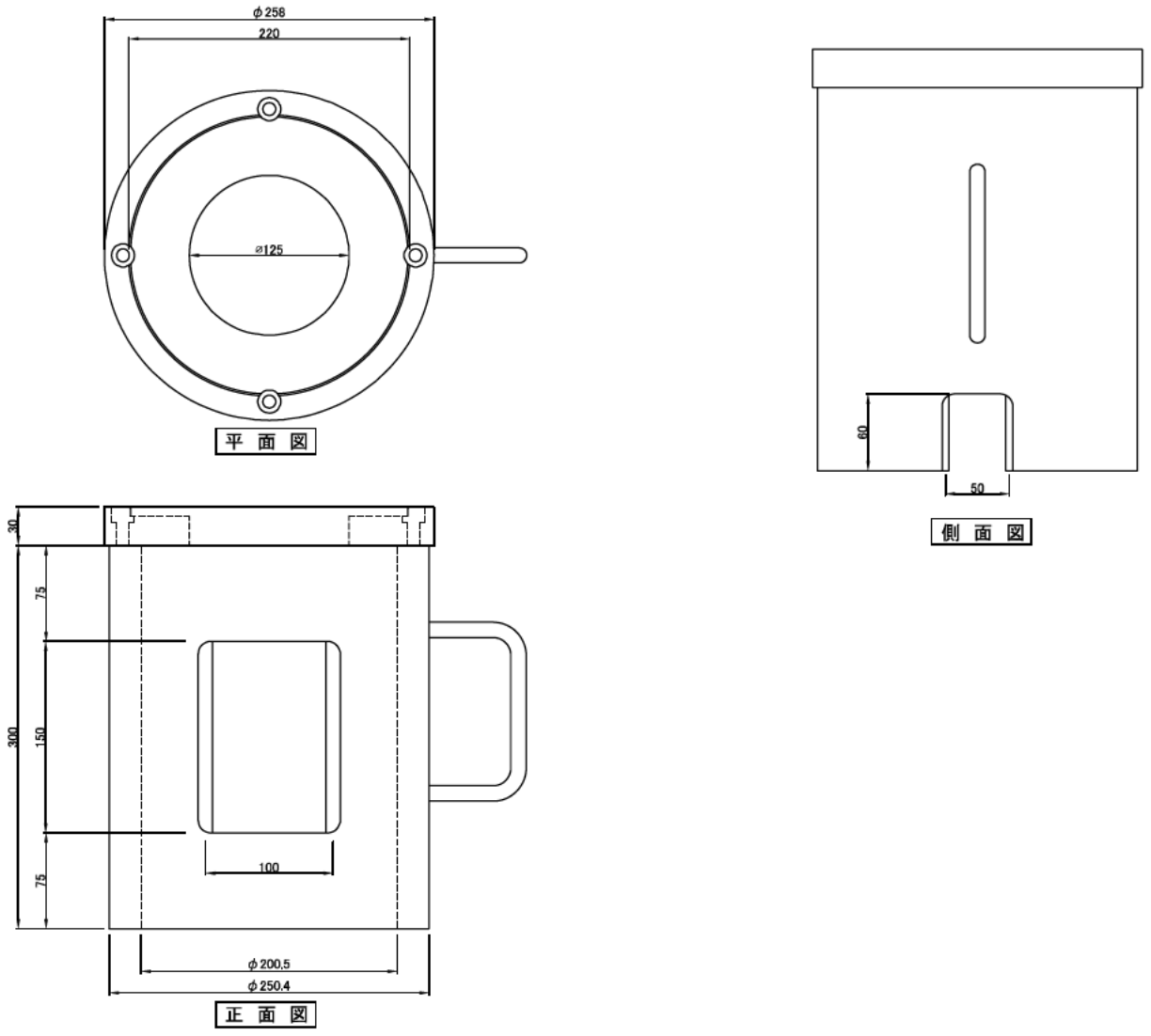


図 7.9 ラムチェア (1,000kN 用)

7.3.2 マッチング試験

(1) 緊張治具の寸法測定

製作した緊張治具について、出来上がりの寸法を実測し、設計通りのものができているか確認した。

表 7.5 緊張治具の寸法計測結果

項目	測定内容								
	外径 (mm)			内径 (mm)			高さ (mm)		
	設計	実測	差	設計	実測	差	設計	実測	差
ラムチェア	250.8	252.1	+1.3	200.8	204.8	+4.0	330.0	335.0	+5.0
専用油圧ジャッキ	240.0	239.2	-0.8	120.0	119.4	-0.6	185.0	185.0	±0.0
ジョイントスリーブ	112.0	111.8	-0.2	-	-	-	60.0	60.1	+0.1
リテーナー	102.0	102.1	+0.1	-	-	-	8.0	8.2	+0.2
テンションスリーブ	145.0	144.9	-0.1	112.0	112.0	±0.0	150.0	150.1	+0.1
定着ナット	185.0	185.0	±0.0	145.0	144.2	-0.8	50.0	50.0	±0.0
定着ナット (油圧式荷重計用)	185.0	185.1	+0.1	145.0	144.9	-0.1	110.0	110.1	+0.1
テンションロッド	112.0	112.0	±0.0	75.0	75.3	+0.3	600.0	600.0	±0.0
テンションナット	185.0	185.0	±0.0	112.0	111.8	-0.2	55.0	55.0	±0.0

(2) 荷重計との組合せ評価

各社の荷重計に対する寸法測定結果と組合せ状況の評価結果を示す。

共和電業製荷重計

表 7.6 荷重計の寸法計測結果（共和電業製荷重計）

項目	測定項目								
	外径 (mm)			内径 (mm)			高さ (mm)		
2-1 荷重計寸法	設計	実測	差	設計	実測	差	設計	実測	差
		198.0	198.1	+0.1	147.0	146.5	-0.5	70.0	70.0
2-2 ケーブル突出部	突出量 (mm)			下部高さ (mm)			上部高さ (mm)		
	設計	実測	差	設計	実測	差	設計	実測	差
	35.0	22.4	-12.6	22.5	20.0	-2.5	57.5	50.0	-7.5
2-3 アタッチメントの有無	有り								
	外径 (mm)		内径 (mm)		高さ (mm)		無し		
	-		-		-				

表 7.7 マッチング試験結果（対 共和電業製荷重計）

項番	項目	良好	普通	不良
3-1	荷重計がラムチェア内に支障なく収まるか			
3-2	荷重計の出力ケーブルが支障なく取り出せるか			
3-3	荷重計の載荷面と定着ナットの接触面にガタツキ等はないか			
3-4	組み合せた状態で、定着ナットの締付がスムーズに行えるか			
3-5	その他、組み合せた状態での不具合はないか			

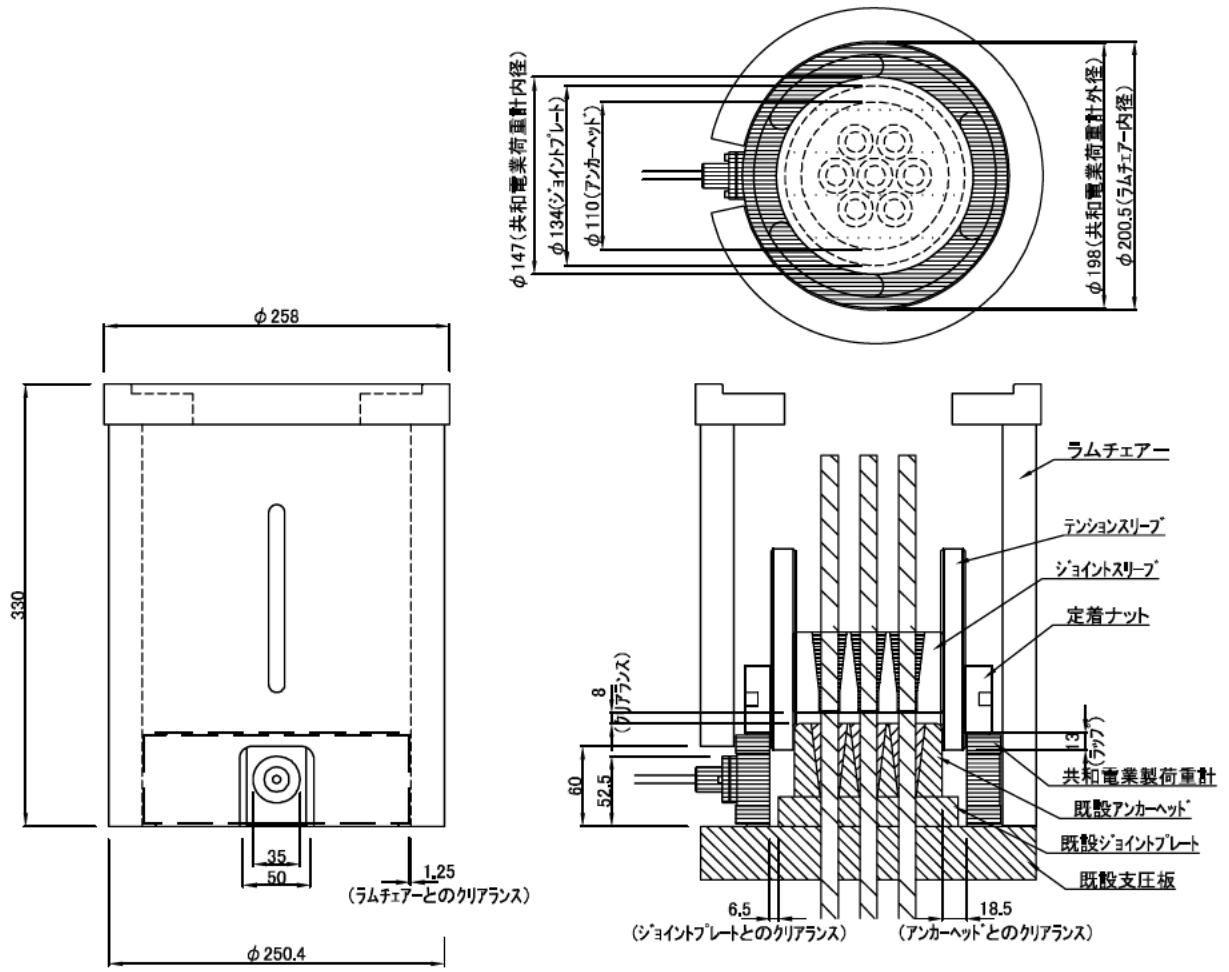


図 7.10 緊張治具・荷重計（共和電業製）の組合せ

エスイー製荷重計

表 7.8 荷重計の寸法計測結果（エスイー製荷重計）

項目	測定項目								
	外径 (mm)			内径 (mm)			高さ (mm)		
2-1 荷重計寸法	設計	実測	差	設計	実測	差	設計	実測	差
		185.0	190.7	+5.7	147.0	155.0	+7.0	80.0	80.1
2-2 ケーブル突出部	突出量 (mm)			下部高さ (mm)			上部高さ (mm)		
	設計	実測	差	設計	実測	差	設計	実測	差
	20.0	62.3	+42.3	27.5	30.7	+3.2	52.5	61.1	+8.6
2-3 アタッチメントの有無	有り						無し		
	外径 (mm)		内径 (mm)		高さ (mm)				
	-		-		-				

ケーブル接続具を接続した状態で測定

表 7.9 マッチング試験結果（対 エスイー製荷重計）

項番	項目	良好	普通	不良
3-1	荷重計がラムチェア内に支障なく収まるか			
3-2	荷重計の出力ケーブルが支障なく取り出せるか			
3-3	荷重計の載荷面と定着ナットの接触面にガタツキ等はないか			
3-4	組み合せた状態で、定着ナットの締付がスムーズに行えるか			
3-5	その他、組み合せた状態での不具合はないか			

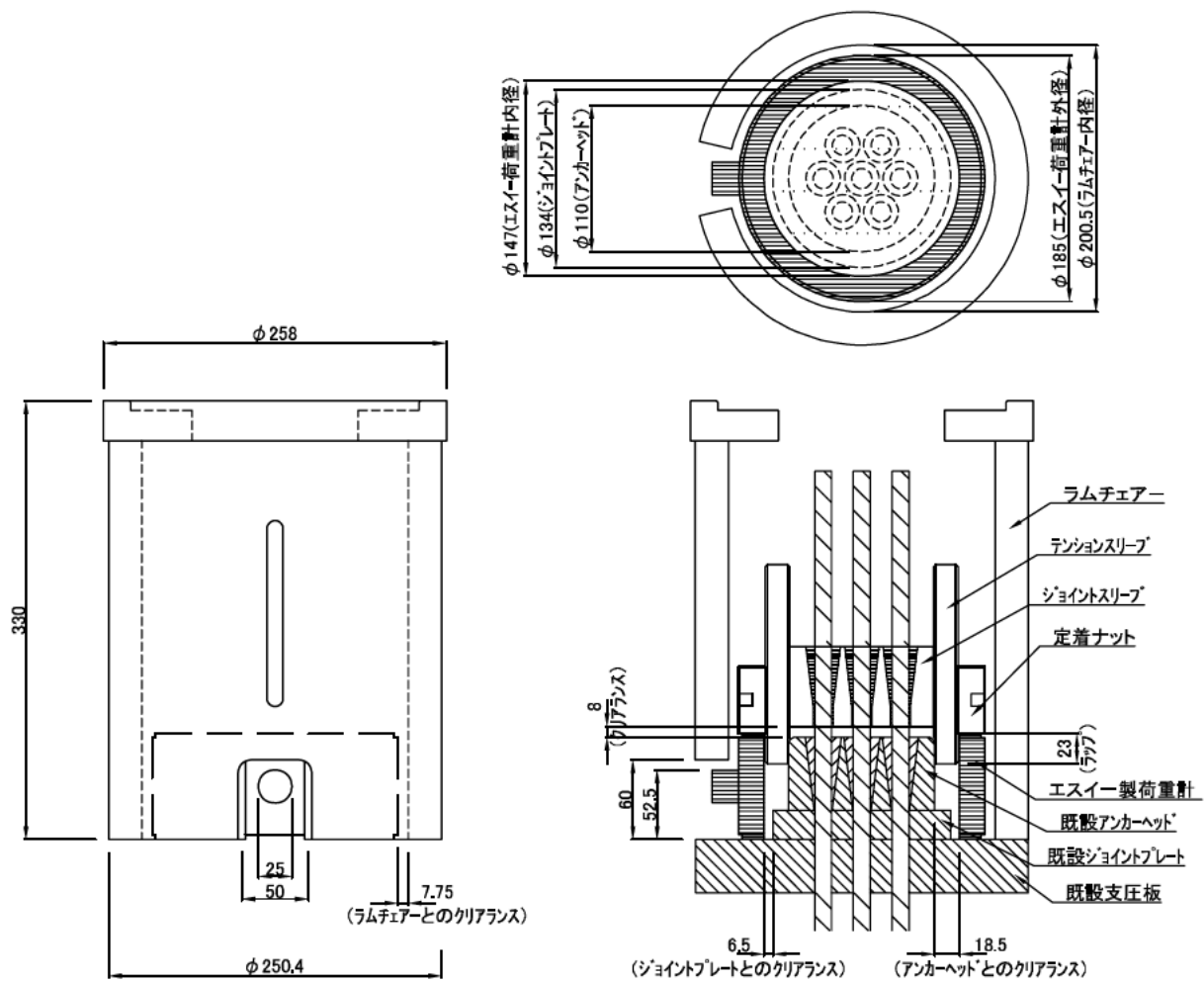


図 7.11 緊張治具・荷重計（エスイー製）の組合せ

東横エルメス製荷重計

表 7.10 荷重計の寸法計測結果（東横エルメス製荷重計）

項目	測定項目								
	外径 (mm)			内径 (mm)			高さ (mm)		
2-1 荷重計寸法	設計	実測	差	設計	実測	差	設計	実測	差
	185.0	177.9	-7.1	146.0	146.1	+0.1	90.0	83.3	-6.7
2-2 ケーブル突出部	突出量 (mm)			下部高さ (mm)			上部高さ (mm)		
	設計	実測	差	設計	実測	差	設計	実測	差
	30.0	26.5	-3.5	30.0	14.3	-15.7	50.0	32.3	-17.7
2-3 アタッチメントの有無	有り						無し		
	外径 (mm)		内径 (mm)		高さ (mm)				
	-		-		-				

表 7.11 マッチング試験結果（対 東横エルメス製荷重計）

項番	項目	良好	普通	不良
3-1	荷重計がラムチェア内に支障なく収まるか			
3-2	荷重計の出力ケーブルが支障なく取り出せるか			
3-3	荷重計の載荷面と定着ナットの接触面にガタツキ等はないか			
3-4	組み合せた状態で、定着ナットの締付がスムーズに行えるか			
3-5	その他、組み合せた状態での不具合はないか			

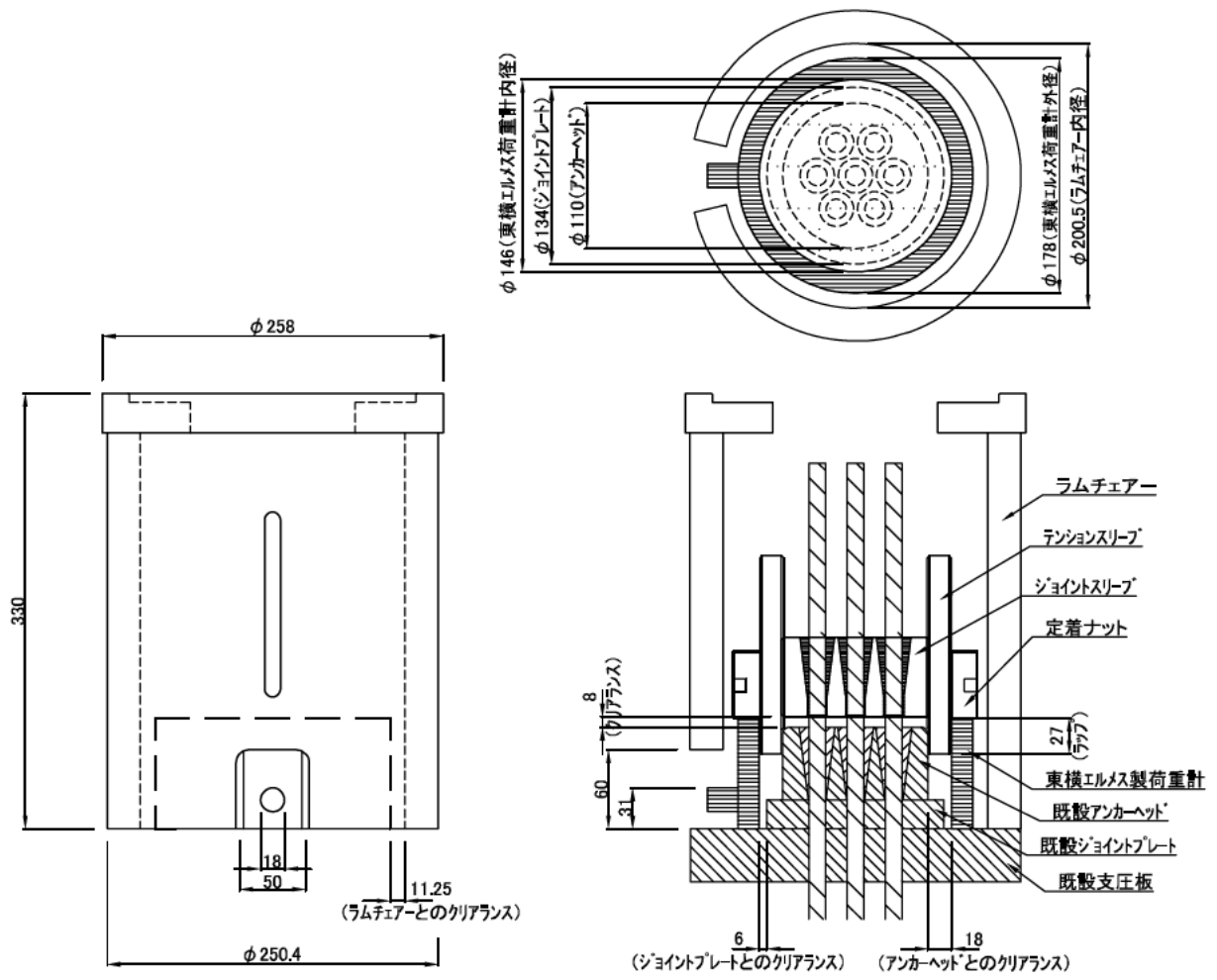


図 7.12 緊張治具・荷重計（東横エルメス製）の組合せ

東京測器研究所製荷重計

表 7.12 荷重計の寸法計測結果（東京測器研究所製荷重計）

項目	測定項目								
	外径 (mm)			内径 (mm)			高さ (mm)		
2-1 荷重計寸法	設計	実測	差	設計	実測	差	設計	実測	差
		193.0	193.0	0	149.0	148.7	-0.3	85.0	85.0
2-2 ケーブル突出部	突出量 (mm)			下部高さ (mm)			上部高さ (mm)		
	設計	実測	差	設計	実測	差	設計	実測	差
	22.5	24.6	+2.1	27.5	27.2	-0.3	57.5	57.3	-0.2
2-3 アタッチメントの有無	有り						無し		
	外径 (mm)		内径 (mm)		高さ (mm)				
	-		-		-				

表 7.13 マッチング試験結果（対 東京測器研究所製荷重計）

項番	項目	良好	普通	不良
3-1	荷重計がラムチェア内に支障なく収まるか			
3-2	荷重計の出力ケーブルが支障なく取り出せるか			
3-3	荷重計の載荷面と定着ナットの接触面にガタツキ等はないか			
3-4	組み合せた状態で、定着ナットの締付がスムーズに行えるか			
3-5	その他、組み合せた状態での不具合はないか			

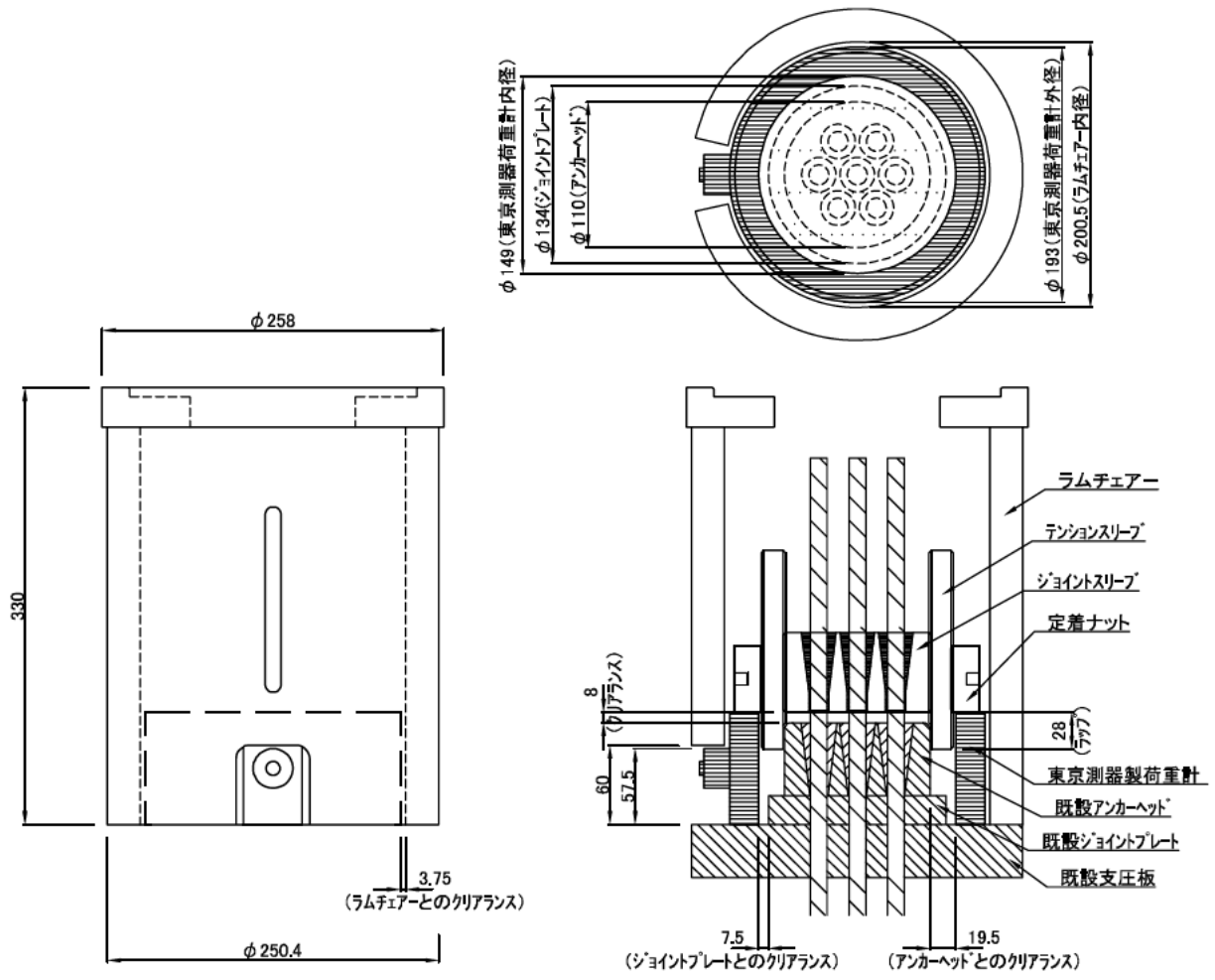


図 7.13 緊張治具・荷重計（東京測器研究所製）の組合せ

坂田電機製荷重計

表 7.14 荷重計の寸法計測結果（坂田電機製荷重計）

項目	測定項目									
	外径 (mm)			内径 (mm)			高さ (mm)			
2-1 荷重計寸法	設計	実測	差	設計	実測	差	設計	実測	差	
	上部	184.0	184.1	+0.1	148.0	147.7	-0.3	40.0	70.0	+20
	下部	195.0	197.6	+2.6	135.0	135.1	+0.1			
2-2 ケーブル突出部	突出量 (mm)			下部高さ (mm)			上部高さ (mm)			
	設計	実測	差	設計	実測	差	設計	実測	差	
	22.0	22.6	+0.6	4.5	4.5	±0.0	16.5	16.5	±0.0	
2-3 アタッチメントの有無	有り						無し			
	外径 (mm)		内径 (mm)		高さ (mm)					
	-		-		-					

表 7.15 マッチング試験結果（対 坂田電機製荷重計）

項番	項目	良好	普通	不良
3-1	荷重計がラムチェア内に支障なく収まるか			
3-2	荷重計の出力ケーブルが支障なく取り出せるか			
3-3	荷重計の載荷面と定着ナットの接触面にガタツキ等はないか			
3-4	組み合せた状態で、定着ナットの締付がスムーズに行えるか			
3-5	その他、組み合せた状態での不具合はないか			

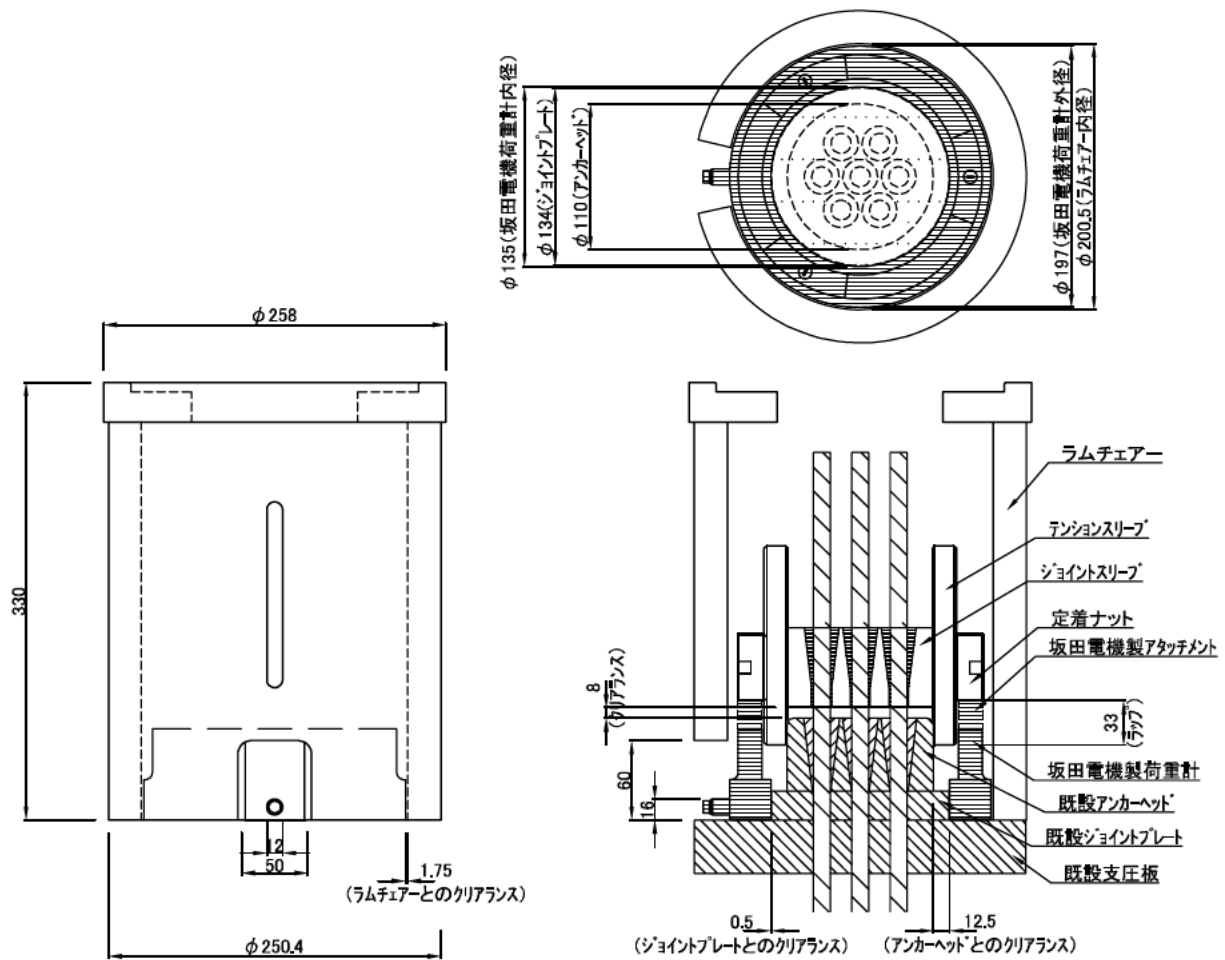


図 7.14 緊張治具・荷重計（坂田電機製）の組合せ

<備考>

荷重計下部の内径はテンションスリーブの外径よりも小さいため、荷重計取付け手順においては、荷重計設置後にテンションスリーブを取付ける必要がある。

守谷鋼機製荷重計

表 7.16 荷重計の寸法計測結果（守谷鋼機製荷重計）

項目	測定項目								
	外径 (mm)			内径 (mm)			高さ (mm)		
2-1 荷重計寸法	設計	実測	差	設計	実測	差	設計	実測	差
		250.0	248.0	-2.0	140.0	140.8	+0.8	8.0	8.9
2-2 ケーブル部	突出量 (mm)			下部高さ (mm)			上部高さ (mm)		
	設計	実測	差	設計	実測	差	設計	実測	差
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-3 アタッチメントの有無	有り						無し		
	1 辺 (mm)		内径 (mm)		高さ (mm)				
	測定忘れ		測定忘れ		測定忘れ				

守谷鋼機荷重計のケーブル部は、ラムチェア寸法の制約を受けないため計測は実施していない。

表 7.17 マッチング試験結果（対 守谷鋼機製荷重計）

項番	項目	良好	普通	不良
3-1	荷重計がラムチェア内に支障なく収まるか			
3-2	荷重計の出力ケーブルが支障なく取り出せるか			
3-3	荷重計の載荷面と定着ナットの接触面にガタツキ等はないか			
3-4	組み合せた状態で、定着ナットの締付がスムーズに行えるか			
3-5	その他、組み合せた状態での不具合はないか			

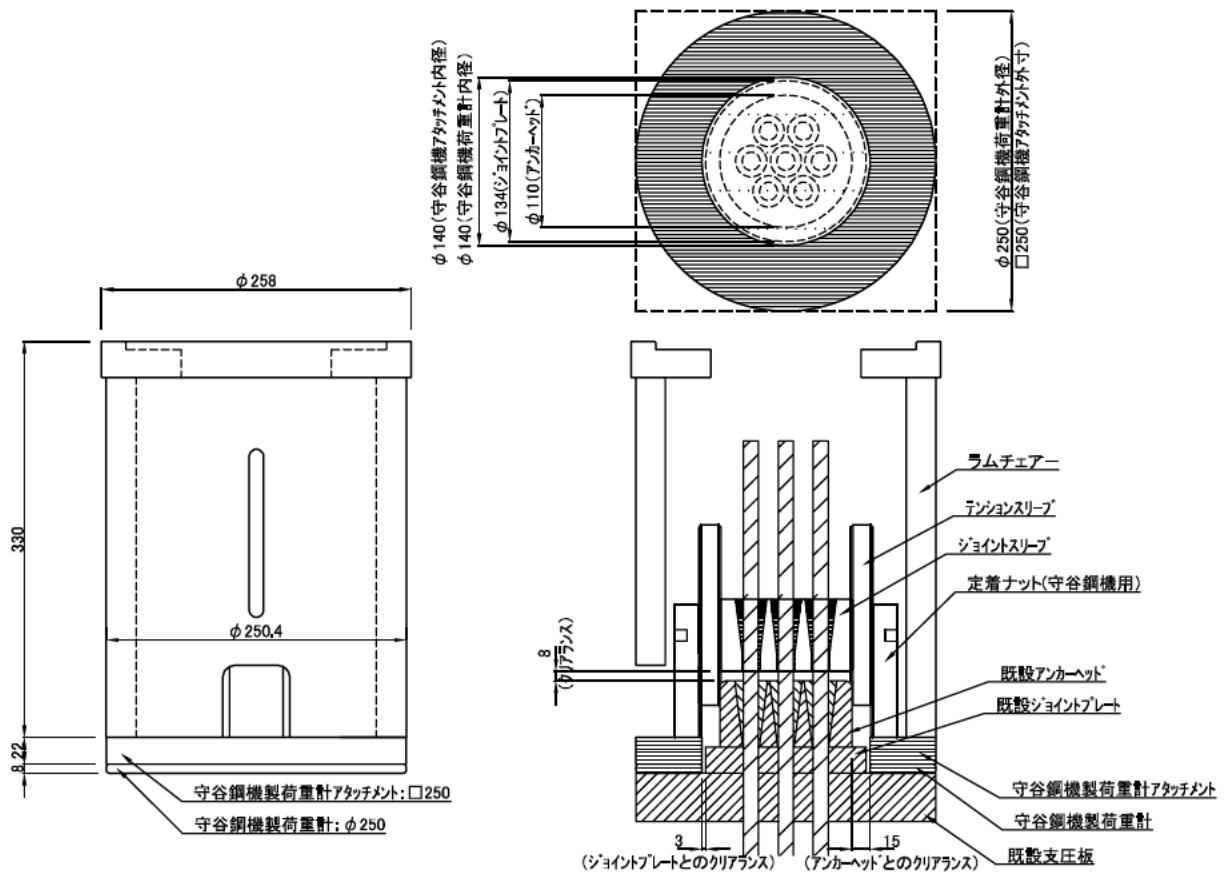


図 7.15 緊張治具・荷重計（守谷鋼機製）の組合せ

7.3.3 ジャッキ校正試験

ジャッキ検査台で開発したジャッキの校正係数を算出した（表 7.18）。その校正係数を使用しジャッキのキャリブレーションを実施した。校正試験状況を写真 7.2 に、キャリブレーション検査表（写）を図 7.16 及び図 7.17 に示す。

その結果、油圧ジャッキは計画した 1,000kN を十分に発揮することができると判断した。

表 7.18 油圧ジャッキ校正係数

型 式	校正係数（受圧面積）	評 価
1,000kN 用油圧ジャッキ	160.2 cm ²	合格 不合格



写真 7.2 ジャッキ校正試験状況

検査年月日 : 2008年10月1日
 機器名称 : 100-50型
 能力 : 1000 kN
 ストローク : 50mm
 受圧面積 : 160.2 cm²
 製造番号 : _____
 圧力計管理番号 : _____
 手動ポンプ番号 : _____
 電動ポンプ番号 : _____
 油圧ホース番号 : _____



【検定源器】
 0.5等級:マスターゲージ
 JIS規格認定検定試験合格器
 (圧力計 No. 01-13555)
 (検査成績書 No. K080923)
 荷重計 : CLP-1MNB
 (校正証明書 No. CQ08-0410)
 (非直線性・ヒステリシス:0.1%R0以下)

下記は弊社で検査を行った結果です。

マスターゲージ

Point	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Mpa	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	62.4			

圧力計:

荷重計: CLP-1MNB

Point	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Mpa	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	62.4			
kN	160.8	322.5	483.3	643.5	802.2	960.5	1000.0			

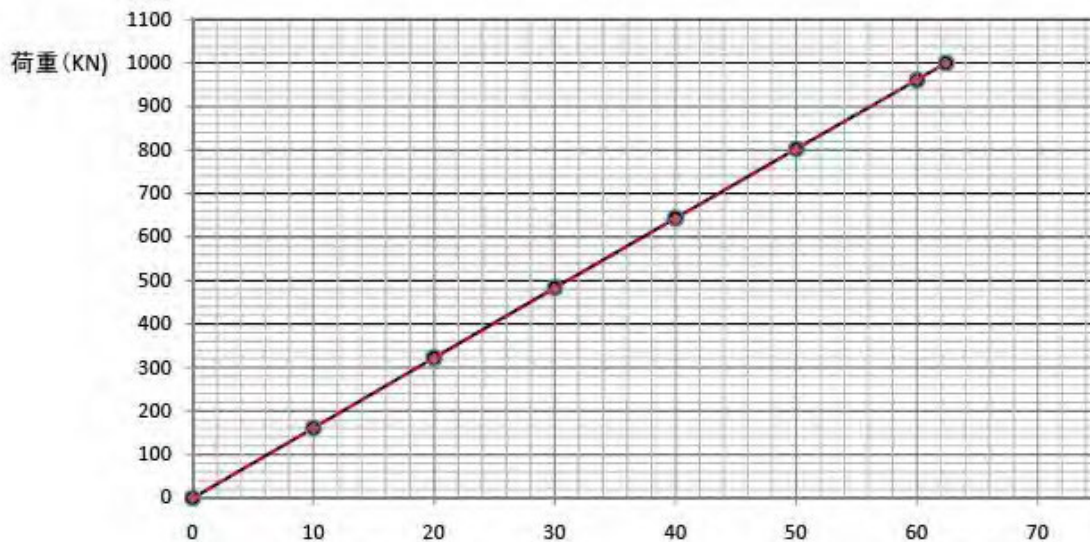
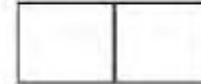


図 7.16 ジャッキキャリブレーション検査表 (1,000kN用ジャッキ)

検査年月日 : 2008年10月1日
 機器名称 : 100-50型
 能力 : 1000 kN
 ストローク : 50mm
 受圧面積 : 160.2 cm²
 製造番号 : _____
 圧力計管理番号 : _____
 手動ポンプ番号 : _____
 電動ポンプ番号 : _____
 油圧ホース番号 : _____



【検定源器】
 荷重計 : CLP-1MNB
 (校正証明書No. CQ08-0410)
 (非直線性・ヒステリシス : 0.1%R0 以下)
 圧力計 : 0
 (検査成績書No. 0)

下記は弊社で検査を行った結果です。

荷重計: CLP-1MNB

圧力計: 0

Point	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
kN	100.0	200.0	300.0	400.0	500.0	600.0	700.0	800.0	900.0	1000.0
Mpa	6.2	12.4	18.6	24.8	31.0	37.3	43.5	49.9	56.1	62.4
理論値	6.2422	12.4844	18.7266	24.9688	31.211	37.4532	43.6954	49.9376	56.1798	62.42197

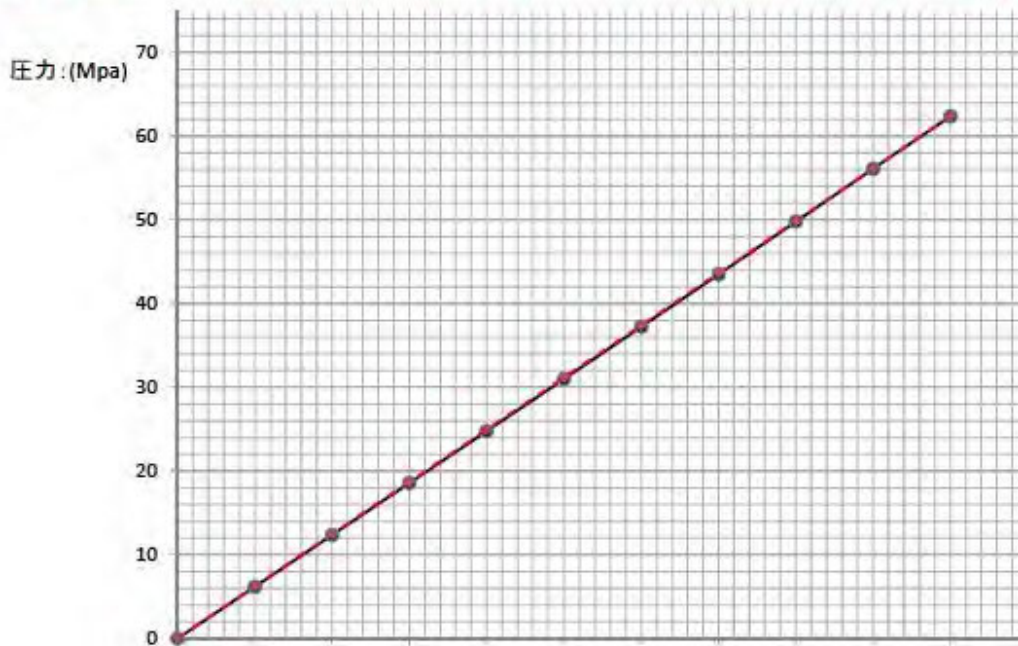


図 7.17 ジャッキキャリブレーション検査表 (1,000kN用ジャッキ)

7.3.4 アバット試験

(1) ジャッキ載荷性能の確認

アバットに定着されている模擬緊張アンカーに対してリフトオフ試験を実施することにより、ジャッキの作動確認及び載荷性能を確認した。

その結果、問題なく作動し、ジャッキの載荷性能を評価することができた(表 7.19)。なお、リフトオフ試験の結果については、各荷重計の結果を参照されたい。

表 7.19 ジャッキ載荷性能の評価

項目	判定
スムーズに載荷することができたか	
載荷による有害な変形、破損等は生じないか	

【凡例】良好(合格): , 普通(合格): , 不良(不合格): ×

(2) 荷重計の取付け・取外し作業性の確認

アバット試験の一連の作業を通じ、各社荷重計に対する取付け・取外し作業性及び緊張治具の作業性を確認した。各社荷重計に対する評価結果を表 7.20 に示す。

全体的に各荷重計ともスムーズな取付け・取外し作業ができた。特に、今回の荷重計では、テンションスリーブを荷重計のセンタリングに使えるように荷重計の内径寸法が設計されているため(守谷鋼機製荷重計を除く)、荷重計の取付け作業をスムーズに行うことができた。

表 7.20 荷重計の取付け・取外し作業性の評価

【凡例】良好(合格): , 普通(合格): , 不良(不合格): ×

項目	荷重計					
	共和電業製	エスイー製	東横 エルメス製	東京測器研 究所製	東京測器 研究所製	守谷鋼機製 坂田電機製
荷重計の出力ケーブルが支障にならないか						
荷重計のセンタリングはうまくできるか						
緊張治具の組立てはスムーズに行えるか					1	1
定着ナットの締付け作業はスムーズに行えるか					3	2
荷重計定着時の戻り変位量は小さいか						
戻り変位による緊張力の低下は小さく抑えられるか						
再リフト時のリフトオフ荷重の読み取りは明瞭か						4
荷重計の取外し作業はスムーズに行えるか						1

1～4については、後述の各項目の評価についての中で説明している。

以下に、表 7.20 に示す各項目に対する評価を述べる。

荷重計の出力ケーブルが支障にならないか

ラムチェアに設けたケーブル取出口から荷重計の出力ケーブルを取出すことができ、問題なく取付け・取外し作業を行うことができた。

荷重計のセンタリングはうまくできるか

荷重計（守谷鋼機製を除く）の内径がテンションスリーブの外径よりも少し大きく製作されているため、テンションスリーブを使って荷重計をセンタリングすることができた。守谷鋼機製荷重計についても、荷重計を下部支圧板に取付ける工夫（両面テープで固定）や、荷重計アタッチメントがテンションスリーブを使ってセンタリングできるため、特に問題なく取付け・取外し作業を行うことができた。

緊張治具の組立てはスムーズに行えるか

守谷鋼機製及び坂田電機製の荷重計は、荷重計の内径、または荷重計の一部の内径がテンションスリーブよりも小さいため、先に荷重計を取付けてからテンションスリーブを取付ける手順となる（表 7.20 1）。その他の荷重計については、テンションスリーブの外径よりも荷重計の内径が大きいため、先にテンションスリーブを取付け、その後に荷重計を取付けることができる。

どちらの両手順でも問題なく取付け・取外し作業が行える。

定着ナットの締付け作業はスムーズに行えるか

坂田電機製荷重計において、荷重計のアタッチメントがとも回りしないように押さえながら定着ナットの締付けを行う必要があった。この作業がやや行いにくい作業であった。理由としては、ラムチェアの窓の位置が高くてアタッチメントを押さえづらかったことと、荷重計とアタッチメントの当り位置が決められているが、固定されておらず回転してしまう組合せ方法になっていたことが挙げられる（表 7.20 2）。

また、東京測器製については、上部支圧板を設置する構造であったため、通常の定着ナット（H=50mm）ではラムチェアの窓から締付け作業ができなかった（表 7.20 3）。そこで、守谷鋼機製荷重計用の定着ナット（H=110mm）を用いた。定着ナットのサイズ選択及びラムチェアの窓の位置を工夫する必要がある。

その他の荷重計については、問題なく取付け・取外し作業を行うことができた。

荷重計定着時の戻り変位量は小さいか

各荷重計の「戻り変位量」を表 7.21 及び図 7.18 に示す。

いずれの荷重計も戻り変位量は、1mm 程度であった。また、荷重計定着後のアンカーヘッドの浮き量は、守谷鋼機製荷重計を除き、いずれも 1mm 以上確保されている。

戻り変位による緊張力の低下は小さく抑えられるか

各荷重計の「戻り変位による緊張力の低下量」を表 7.21 に示す。

戻り変位による緊張力の低下量は、多くの荷重計では 10kN 前後発生している結果となった。守谷鋼機製荷重計については、2.2kN と緊張力低下が小さい結果となった。これは、定着ナットの締め方による影響や上部支圧板を設ける荷重計設置機構のためと考えられる。

なお、同じ上部支圧板を設ける荷重計設置機構を採用した東京測器研究所製荷重計 では、緊張力低下が 11.2kN 発生している結果となった。

再リフトオフ時のリフトオフ荷重の読み取りは明瞭か

坂田電機製及び守谷鋼機製の荷重計は、他の荷重計のリフトオフ試験結果に比べてやや荷重 - 変位曲線の折れ点が明瞭ではない傾向がある（表 7.20 4）。

この原因については次のように考えられる。坂田電機製荷重計は、アタッチメントを設けているため、部材同士のなじみ箇所が他の荷重計よりも多いためと考えられる。また、守谷鋼機製荷重計については、油を封入したプレッシャーディスクがリフトオフジャッキの荷重によって圧縮変形をすることや、他の荷重計と治具を合わせるためにアタッチメントを介在させたためと考えられる。

荷重計の取外し作業はスムーズに行えるか

前述した「緊張治具の組立てはスムーズに行えるか」の結果と同様である。

表 7.21 荷重計定着時の戻り変位置量

単位：mm

項目	共和電業	エスイー	東横 エルメス	東京測器 研究所	東京測器 研究所	守谷鋼機	坂田電機
完全リフトオフ時の変位	1.42	1.80	1.78	1.43	1.97	2.01	1.85
荷重計定着前の変位 (最大値)	4.07	4.23	4.42	4.52	4.45	3.35	4.18
荷重計定着後の変位	3.23	3.35	3.44	3.53	3.59	2.50	3.08
戻り変位置量 (-)	0.84	0.88	0.98	0.99	0.85	0.84	1.10
アンカーヘッドの浮き量 (-)	1.81	1.55	1.66	2.10	1.63	0.49	1.24

リフトオフ試験の変位 - 荷重曲線において、グラフ変曲点以降で完全にPC鋼より線のみ伸びによる勾配となった時の変位

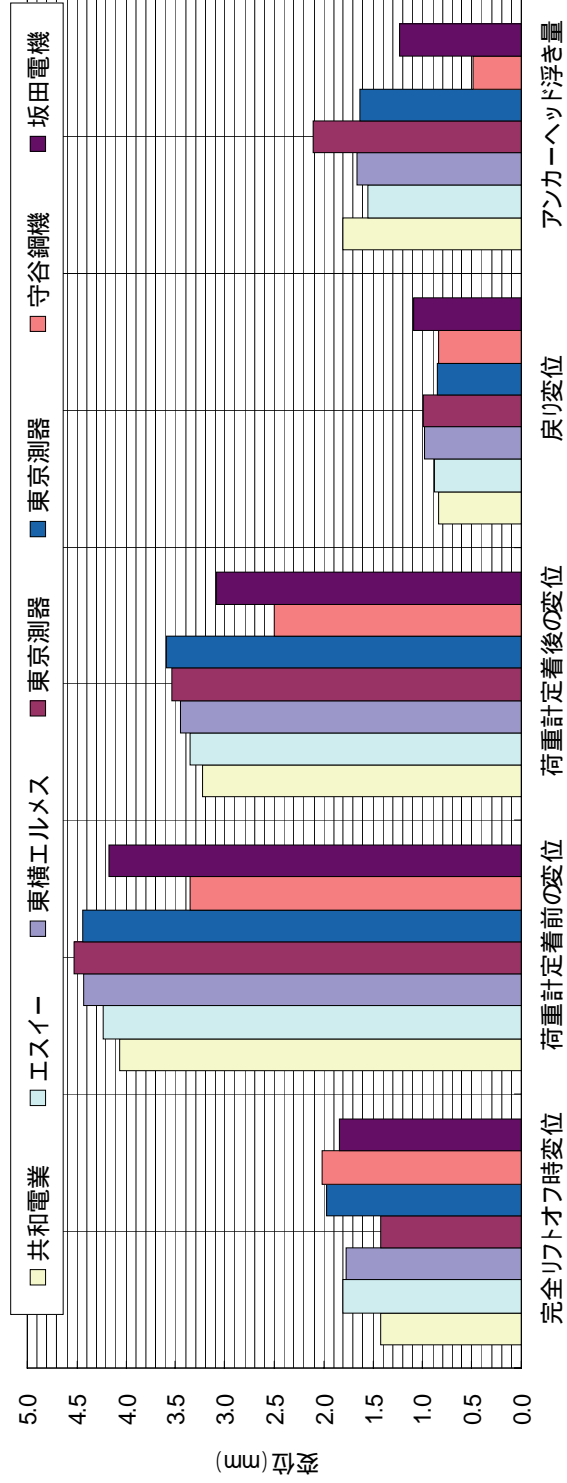


図 7.18 荷重計定着時の戻り変位置量

以上、緊張治具は各社の荷重計に対して取付け・取外し作業が行えることを確認した。

しかしながら、より作業性を向上させるために定着ナット回転用の穴数及び位置を改良する必要があることが分かった。

具体的には、本試験では定着ナットに回転用の穴を4つ設けていただけであったため、作業においてラムチェアの窓から定着ナットを回そうとしても回転用の穴が見えない状態になる時があり、定着ナットの締付け作業が行いづらい状態になることがあった(図 7.9)。そこで、定着ナットの穴の数を増やし、どの状態でもラムチェアの窓から穴が見えるように改良し、定着ナットを回転させられるようにする。



写真 7.3 ラムチェア窓から見える定着ナット

(3) リフトオフ荷重と荷重計計測値の比較

前章に示した荷重計計測値を評価するステップについて、それぞれの結果を以下に示す。

770kN 荷重計定着及びチェックリフトオフ試験

各荷重計の定着荷重及びチェックリフトオフ試験の結果を表 7.22 にまとめる。また、各荷重計のリフトオフ試験時及びチェックリフトオフ試験時の荷重 - 変位曲線を表 7.25 ~ 表 7.26 示す。表 7.22 中のチェックリフトオフ荷重と荷重計計測値との差は、チェックリフトオフ荷重に対して 10%以内であることが確認できた。そのため、本手法は現場における荷重計の設置状態の良否判定に使用できるものと考えられる。

300kN, 500kN チェックリフトオフ試験 (参考値)

各荷重計の 300kN チェックリフトオフ試験の結果を表 7.23 に、500kN チェックリフトオフ試験の結果を表 7.24 にまとめる。また、各荷重計のチェックリフトオフ試験時の荷重 - 変位曲線を表 7.27 ~ 表 7.30 に示す。

なお、荷重 - 変位曲線のプロットにおいて、白抜きプロットは近似直線を求めたデータ群を示すものである。

表 7.22 770kN 荷重計定着及びチェックリフトオフの結果

	計測ステップ	計測値 (kN)						
		共和電業	エスイー	東横 エルメス	東京測器 研究所	東京測器 研究所	守谷鋼機	坂田電機
計測値	リフトオフ最大荷重 (P1)	770.9	769.3	769.4	769.9	770.2	767.9	769.2
	荷重計定着時の荷重計測値	756.9	762.1	767.1	785.1	789.0	718.4	717.4
	チェックリフトオフ試験のリフトオフ荷重 (P1)	758.3	761.0	757.0	760.2	759.0	765.7	757.2
	再荷重計定着時の荷重計測値	766.8	770.9	766.0	778.3	785.4	702.5	707.6
評価	荷重計定着時の戻り変位による緊張力低下量 (-)	12.6	8.2	12.4	9.7	11.2	2.2	12.0
	チェックリフトオフ荷重と荷重計測値の差 (定着時, -)	1.4	-1.1	-10.1	-24.9	-30.0	47.6	39.8
	(-) / ×100 (%)	0.2	0.1	1.3	3.3	4.0	6.2	5.3
	チェックリフトオフ荷重と荷重計測値の差 (再定着時, -)	-8.5	-9.9	-9.0	-18.1	-26.4	63.2	49.6

表 7.23 300kN チェックリフトオフ試験の結果

	計測ステップ	計測値 (kN)							
		共和電業	エスイー	東横 エルメス	東京測器 研究所	東京測器 研究所	守谷鋼機	坂田電機	
計測値	模擬緊張ジャッキ設定値 (P2)	302.9	300.9	300.1	304.0	304.6	303.0	304.9	
	荷重計測値	317.0	270.5	312.4	305.1	305.2	305.4	302.1	
	チェックリフトオフ試験のリフトオフ荷重 (P1)	302.0	301.5	298.4	303.3	300.8	310.3	304.0	
評価	再荷重計着時の荷重計測値	319.5	275.7	316.0	308.8	312.9	298.8	294.4	
	模擬緊張ジャッキとリフトオフ荷重の差 (-)	-0.9	0.5	-1.8	-0.8	-3.8	7.3	-0.9	
	チェックリフトオフ荷重と荷重計測値の差 (定着時, -)	-15.0	31.0	-14.0	-1.8	-4.4	4.9	1.9	
	チェックリフトオフ荷重と荷重計測値の差 (再定着時, -)	-17.5	25.8	-17.6	-5.5	-12.1	11.5	9.6	

表 7.24 500kN チェックリフトオフ試験の結果

	計測ステップ	計測値 (kN)						
		共和電業	エスイー	東横 エルメス	東京測器 研究所	東京測器 研究所	守谷鋼機	坂田電機
計測値	模擬緊張ジャッキ設定値 (P2)	501.2	502.5	501.2	501.3	499.0	504.2	502.3
	荷重計計測値	517.9	493.0	518.6	512.0	505.1	483.9	480.6
	チェックリフトオフ試験のリフトオフ荷重 (P1)	502.0	502.7	501.0	502.7	494.5	511.8	498.0
評価	再荷重計定着時の荷重計計測値	512.0	491.1	510.0	516.0	512.6	468.7	476.2
	模擬緊張ジャッキとリフトオフ荷重の差 (-)	0.8	0.1	-0.2	1.4	-4.6	7.5	-4.3
	チェックリフトオフ荷重と荷重計計測値の差 (定着時, -)	-15.9	9.7	-17.6	-9.3	-10.7	27.9	17.4
	チェックリフトオフ荷重と荷重計計測値の差 (再定着時, -)	-10.0	11.6	-9.0	-13.3	-18.1	43.1	21.8

表 7.25 リフトオフ試験及びチエックリフトオフ試験の結果 (1/2)

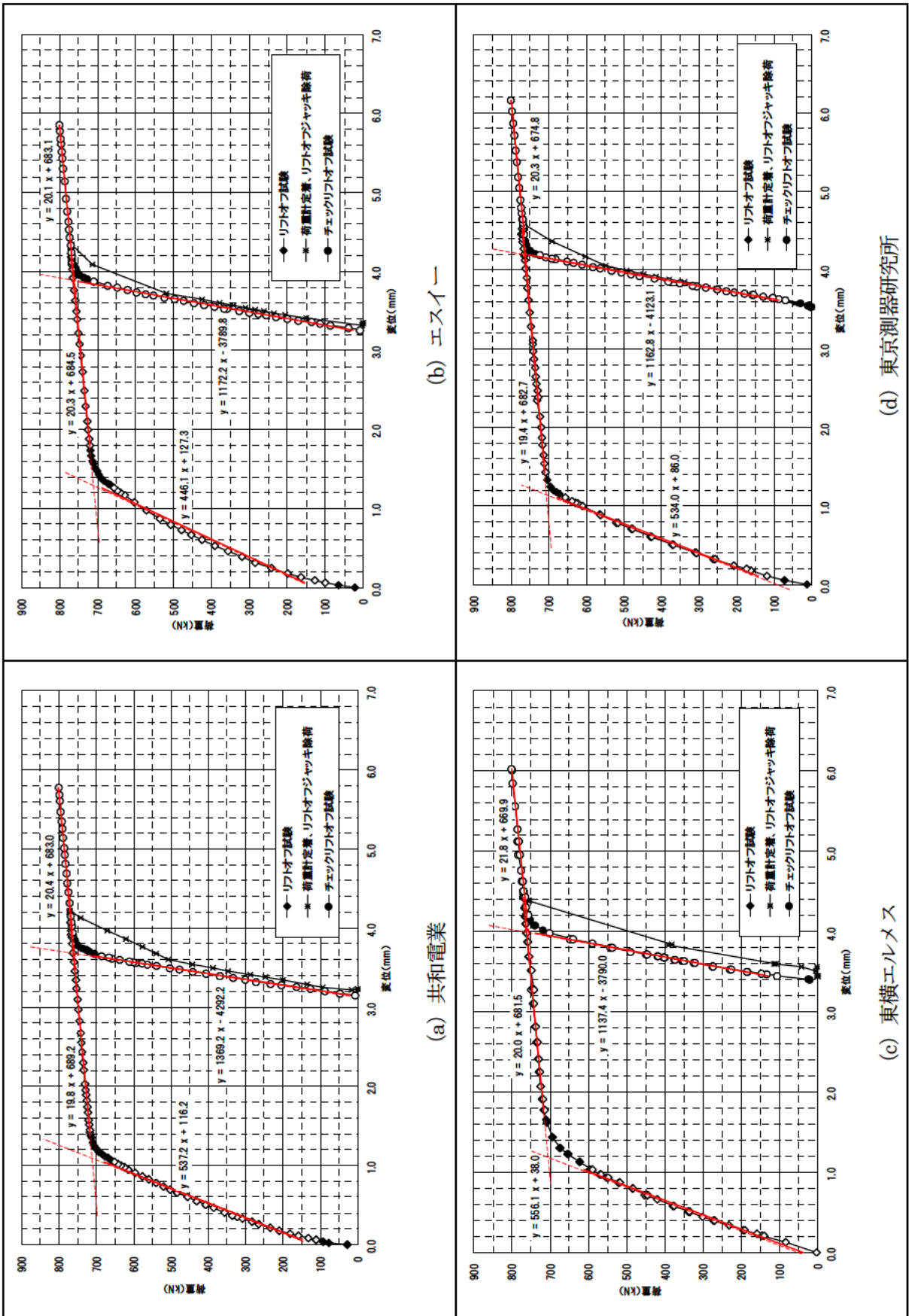
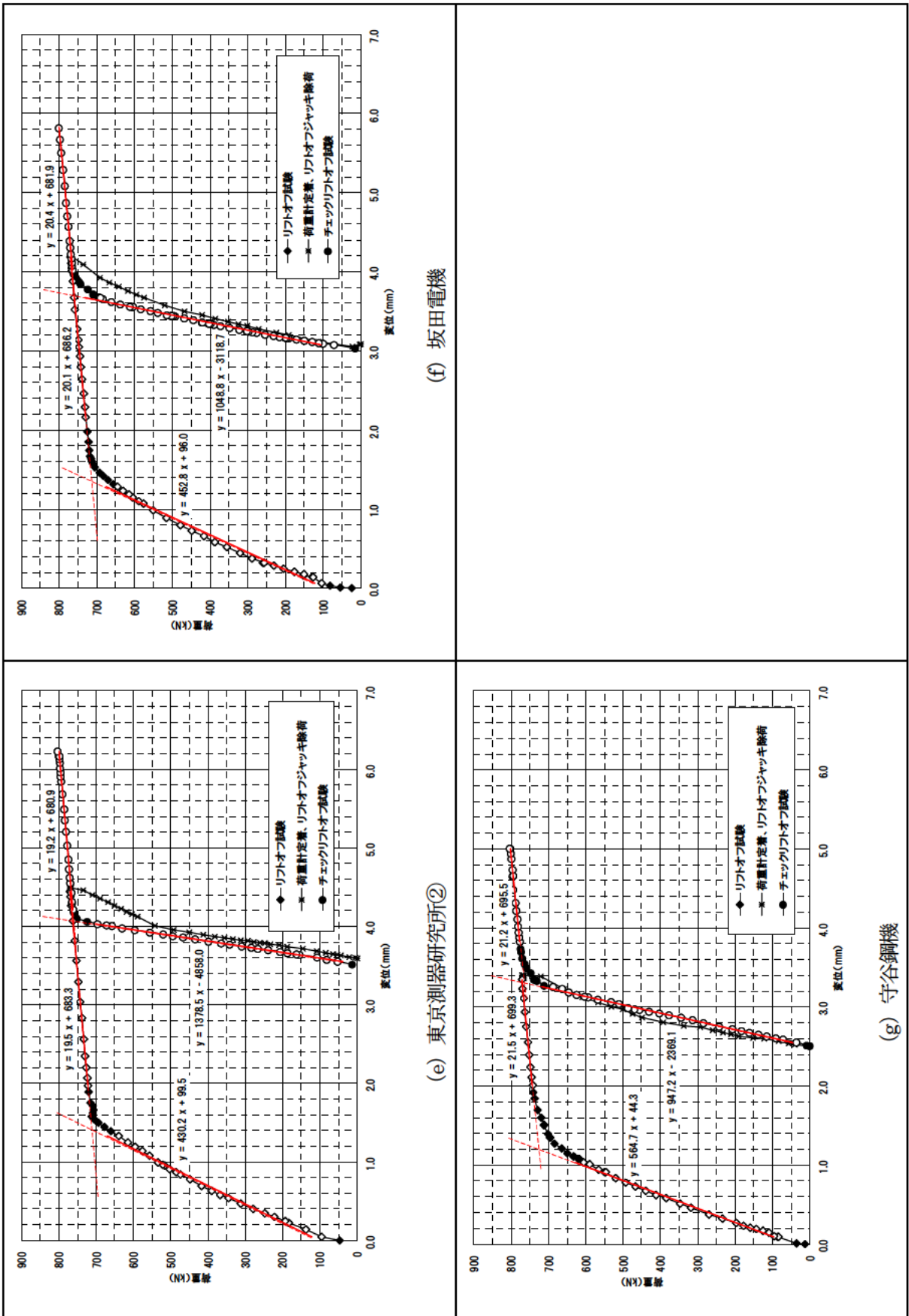


表 7.26 リフトオフ試験及びチェックリフトオフ試験の結果 (2/2)



(e) 東京測器研究所②

(f) 坂田電機

(g) 守谷鋼機

表 7.27 300kN チェックリフトオフ試験の結果 (1/2)

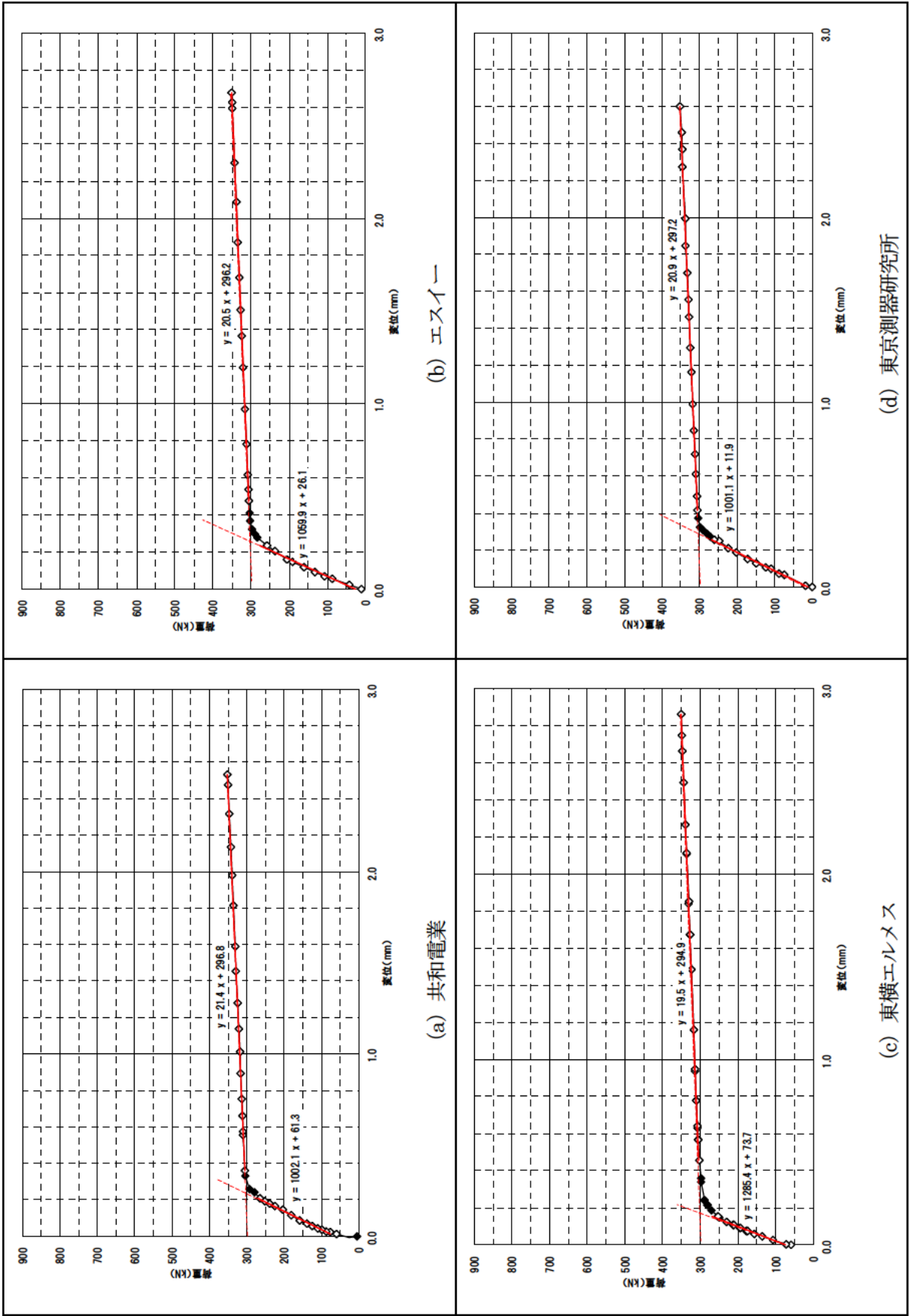


表 7.28 300kN チェックリフトオフ試験の結果 (2/2)

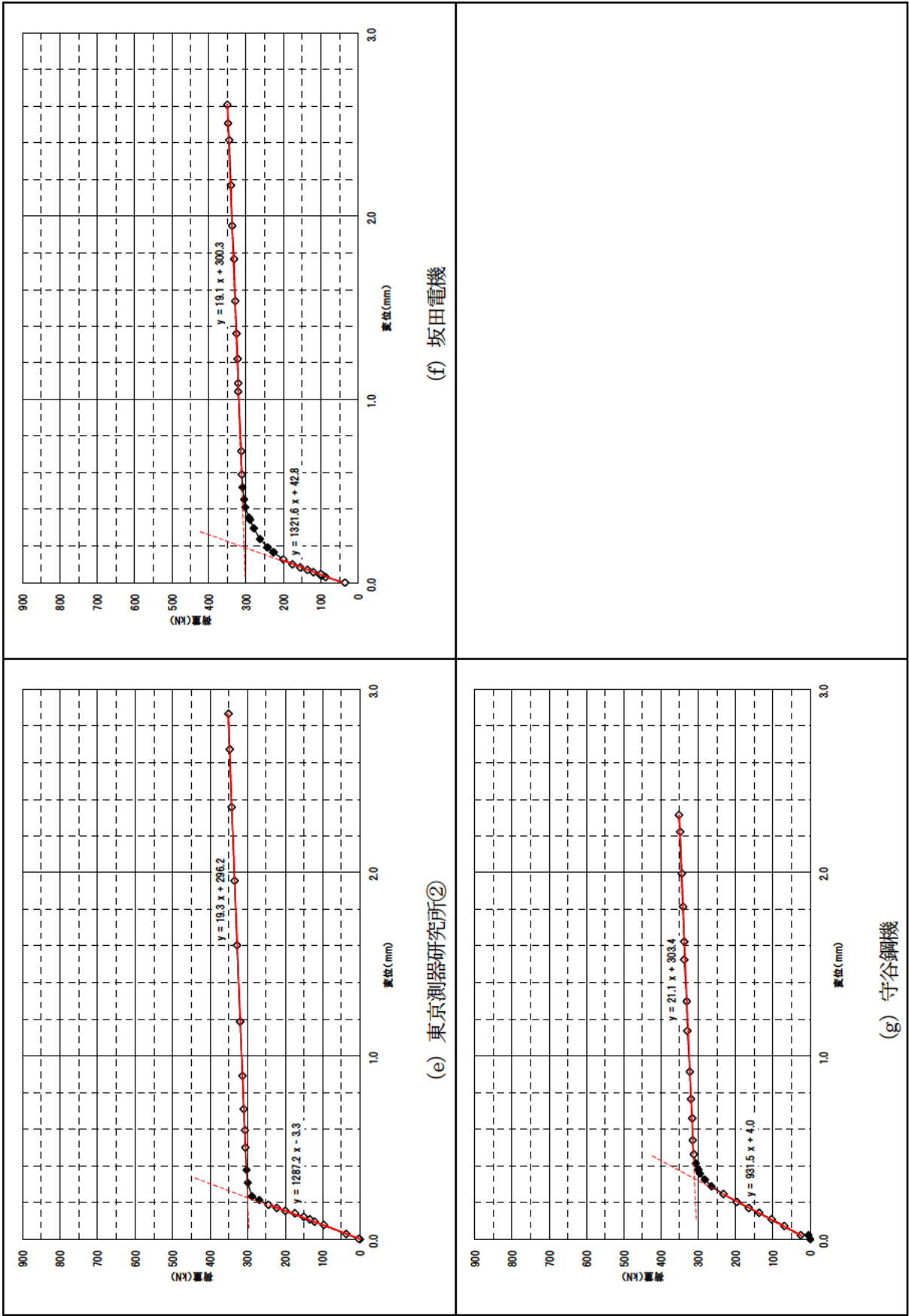


表 7.29 500kN チェックリフトオフ試験の結果 (1/2)

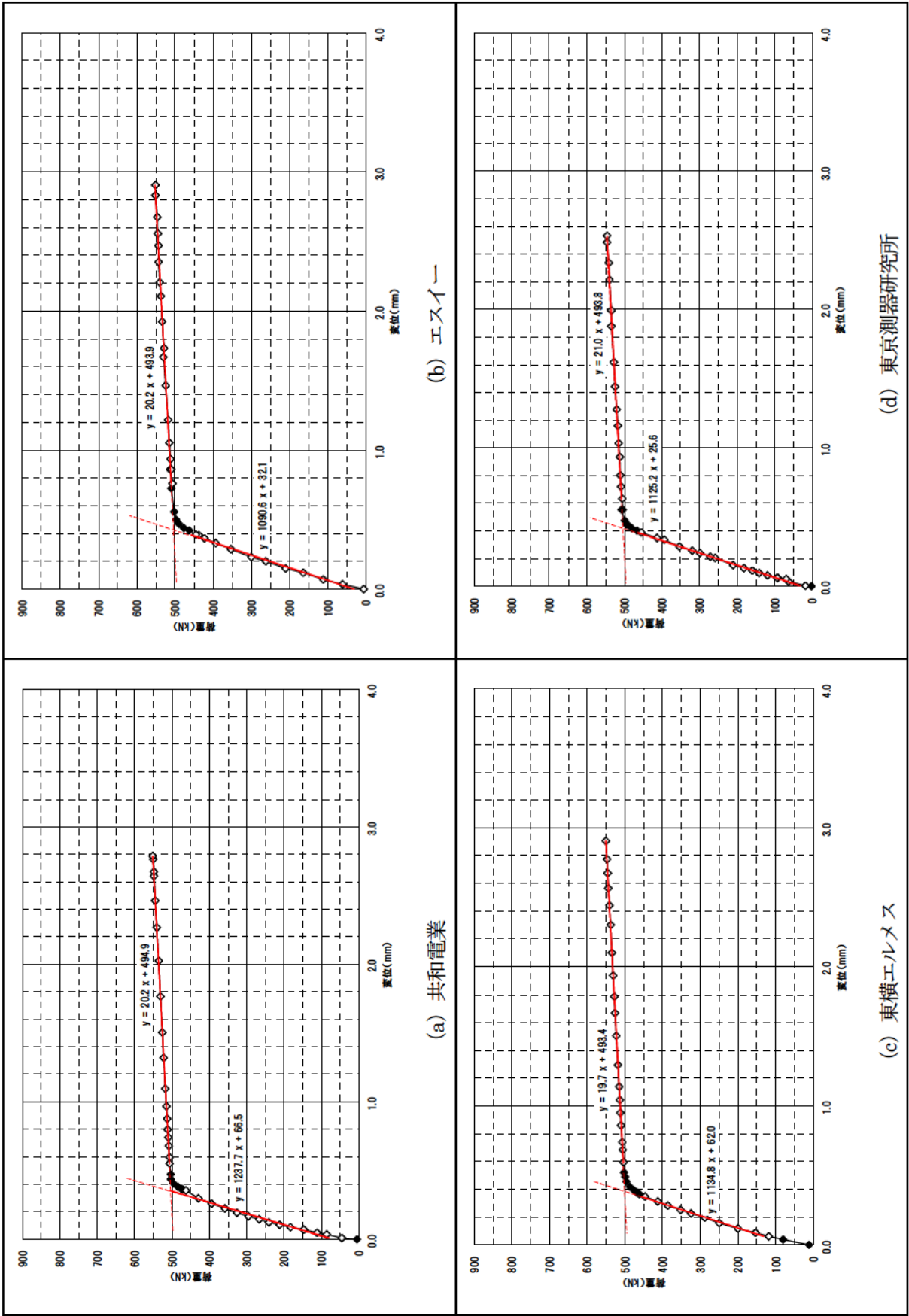
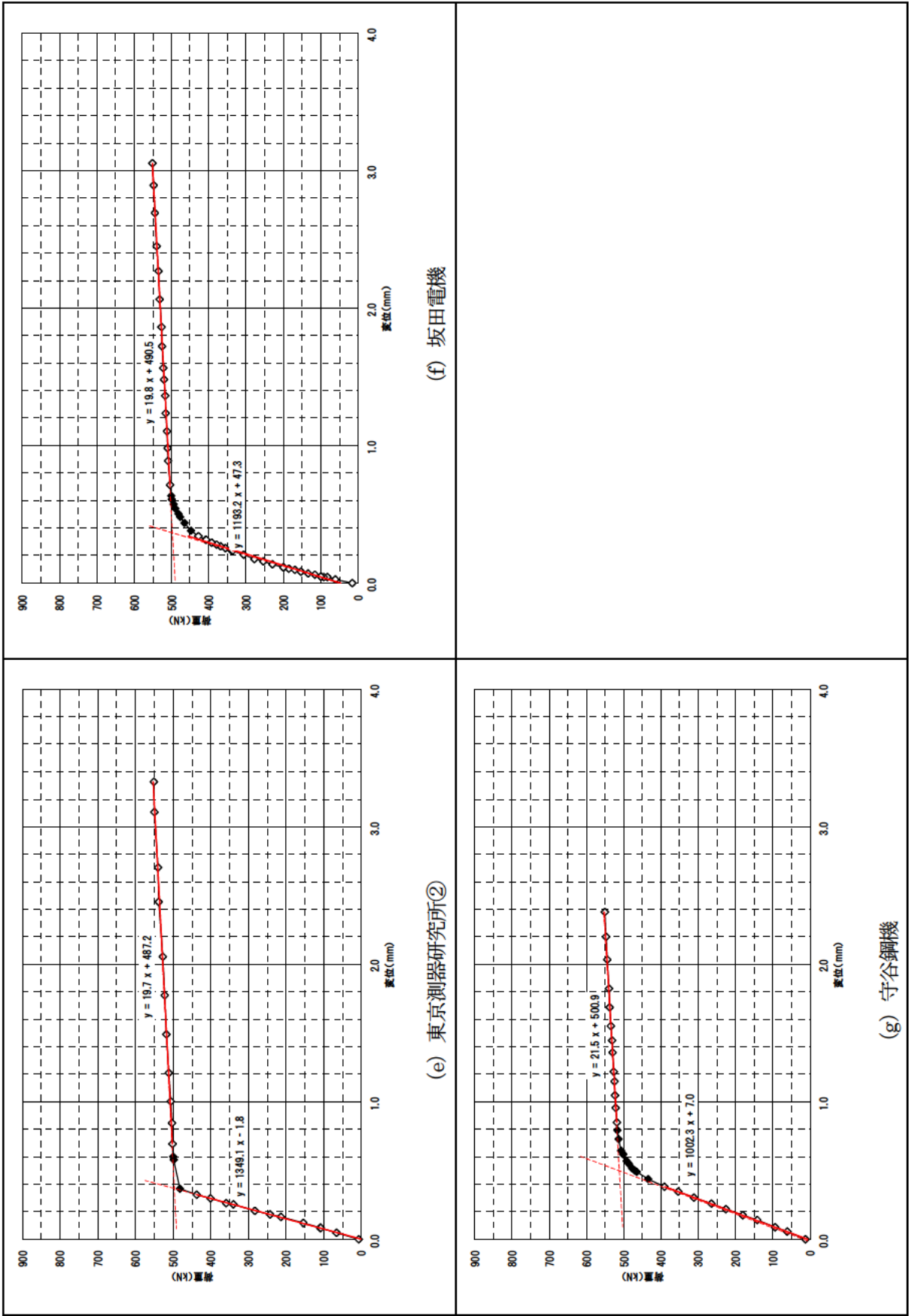


表 7.30 500kN チェックリフトオフ試験の結果 (2/2)



(4) 荷重計取付け・取外し作業がアンカー緊張力に与える影響

荷重計を取付け、取外す一連の作業を行った時、アンカーにもともと導入されている緊張力を減少や増加させるような悪影響がないことをアバット試験で確認した。緊張力変化の確認試験は、エスイー製荷重計、坂田電機製荷重計、守谷鋼機製荷重計で実施した。

各荷重計の結果を表 7.31 及び図 7.19 に示す。試験の結果、荷重計取付け・取外し作業前後の緊張力の差は、誤差の範囲と言える程度の変化しか認められない。このことから、荷重計の取付け、取外しの一連の作業を行っても、導入されているアンカー緊張力には影響がないことが言える。

表 7.31 荷重計取付け・取外し作業前後の緊張力

(単位：kN)

	試験ケース		
	①	②	③
荷重計取付け前 (P2：模擬緊張ジャッキ)	703.5	703.3	703.8
荷重計定着時 (P1：リフトオフジャッキ)	765.8	768.8	761.6
荷重計取外し緊張時最大荷重 (P1：リフトオフジャッキ)	806.2	809.9	810.0
荷重計取外し後 (P2：模擬緊張ジャッキ)	707.6	705.0	703.5
差	4.2	1.8	-0.2

①：エスイー製荷重計の試験時、②坂田電機製荷重計の試験時、③守谷鋼機製荷重計の試験時

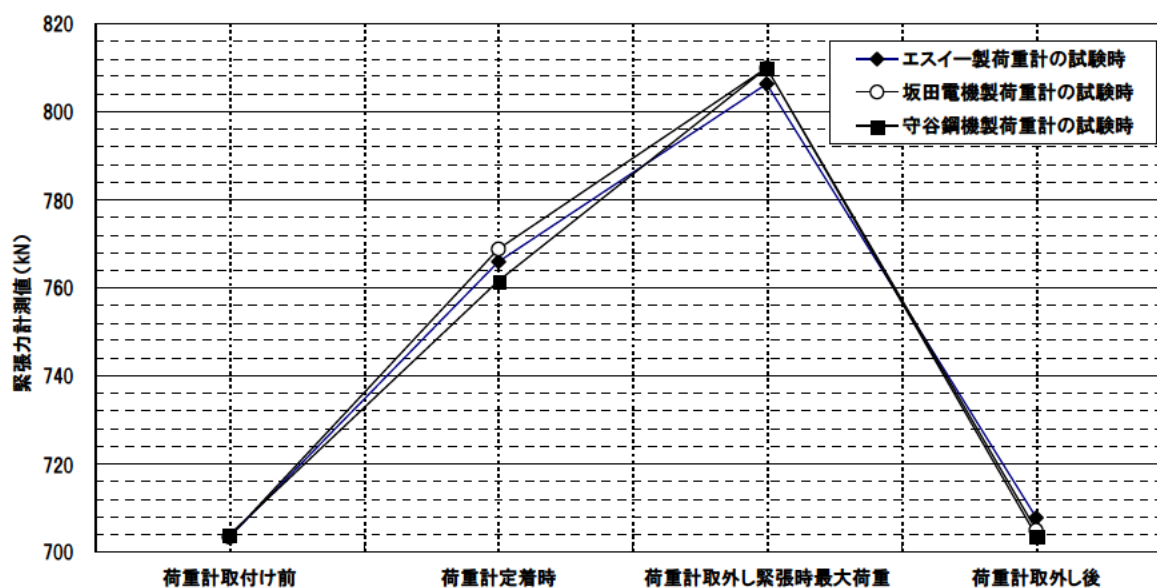


図 7.19 荷重計の測定値の推移

7.3.5 アバット試験により抽出された課題と改良方法

荷重計の取付け・取外しの作業性に関し、荷重計との組合せにおける作業性は良い結果であった。しかしながら、緊張治具の定着ナットに関して表 7.32 に示す課題が抽出された。

そのことから、課題の解決について、現場実証試験用の緊張治具製作時に実施することとした。

表 7.32 油圧ジャッキの課題と改良方法

課 題		改良方法
1	定着ナットの締付け作業を行う際、回転用の穴の設置数が少ないため、ラムチェアの窓からの操作がし難い。	回転用の穴を増設する

8. 拡張開発における荷重計の評価

8.1 検討項目

拡張開発における荷重計が対象とするアンカーは、VSL アンカーの E5-7 である。E5-7 の許容荷重は $T_d=770\text{kN}$ であるが、汎用性や校正試験の作業性を考慮して、荷重計の定格荷重を 1000kN とした。拡張開発用の緊張治具の形状を図 8.1 に示し、それに適合する荷重計の形状の制約条件を表 8.1 に示す。

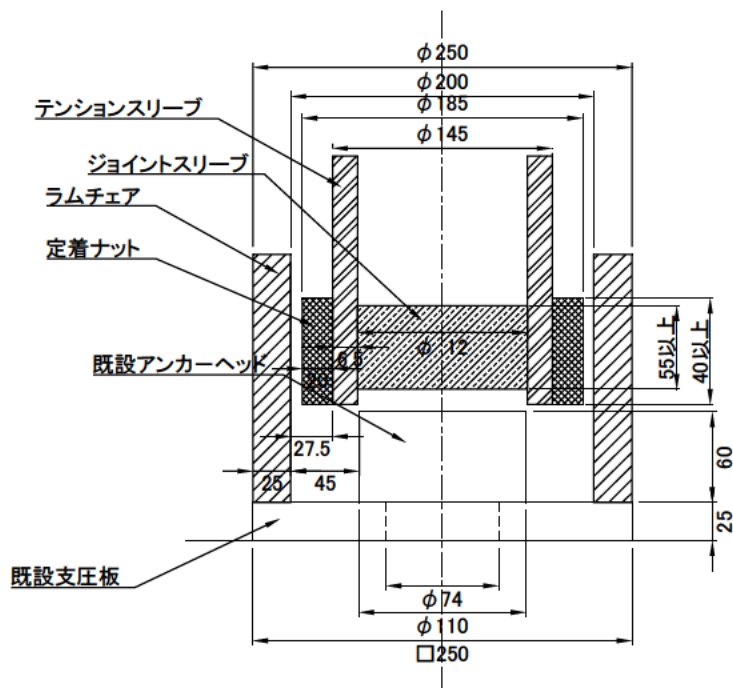


図 8.1 拡張開発緊張治具の形状

表 8.1 緊張治具から受ける荷重計形状の制約条件

項目	条件	制約を与える治具
外径	$\phi 200\text{mm}$ 未満	ラムチェア内径
内径	$\phi 145\text{mm}$ 以上 $\phi 110\text{mm}$ 以上 (アタッチメント使用の場合)	テンションスリーブ外径 既設アンカーヘッド
高さ	特になし	

荷重計 WG 各社における荷重計の電気的特性が異なるため、各社ごとに第 3 次要求性能と緊張治具 WG からの提示された形状寸法に適合できるように開発仕様(表 8.2)を設定し、開発を行った。開発した荷重計の外観図を図 8.2 から図 8.7 に示す。

表 8.2 荷重計の開発仕様

項目	共和電業	エスイー	東横エルメス	東京測器研究所	坂田電機	守谷銅機
定着荷重	770kN	770kN	770kN	770kN	770kN	770kN
形状	200mm未満	200mm未満	200mm未満	200mm未満	200mm未満	-
荷重測定精度	実荷重との誤差5%	実荷重との誤差5%	実荷重との誤差5%	実荷重との誤差5%	実荷重との誤差5%	実荷重との誤差5%
定格容量	1000kN	1000kN	1000kN	1000kN	1000kN	1000kN
定格出力	1mV/V以上	約 3000×10^{-6}	約1.0mV/V	約 2500×10^{-6}	約2.5R	約 3500×10^{-6}
非直線性	2%R.0以内	1%R.0	1%R.0	1%R.0	5%R.0	5%R.0
ヒステリシス	1%R.0以内	1%R.0	1%R.0	1%R.0	5%R.0	5%R.0
零点の温度特性	±0.1%R.0/ 以内	0.1%R.0/	0.05%R.0/	0.1%R.0/	0.1%R.0/	0.1%R.0/
出力の温度特性	±0.1%/ 以内	*****	0.05%R.0/ (技術理論値)	*****	-	-
補償温度範囲	-10 ~ +60	-10 ~ +60	-10 ~ +60	-10 ~ +60	-10 ~ +60	-10 ~ +60
許容温度範囲	-20 ~ +70	-20 ~ +70	-20 ~ +80	-20 ~ +70	-20 ~ +70	-20 ~ +80
許容過負荷	120%	120%	150%	120%	120%	120%
入出力抵抗	350 ±2%	350 ±1%	350 ±1% (120 ~ 1000)	350 ±1%	-	350 ±1%
推奨印加電圧	1 ~ 10V	10V以下	5V以下	10V以下	1V rms 500Hz	10V以下
許容印加電圧	12V	20V	10V	20V	-	20V
零バランス	0.5mV/V以内	5%R.0	±5%R.0	5%R.0	-	5%R.0
絶縁抵抗	1000M 以上	1000M 以上	D C 25Vにて 500M 以上	1000M 以上	50M 以上	1000M 以上
耐用年数(センサー部)	約12年	12年以上	12年以上	12年以上	12年以上	12年以上
耐用年数(鋼材部)	-	50年以上	50年以上	50年以上	50年以上	50年以上
保護等級	IP 67	IP 67	IP 67	IP 67	IP 67	IP 67
その他		薄型	偏荷重に強い	偏荷重に強い	偏荷重に強い	偏荷重に強い

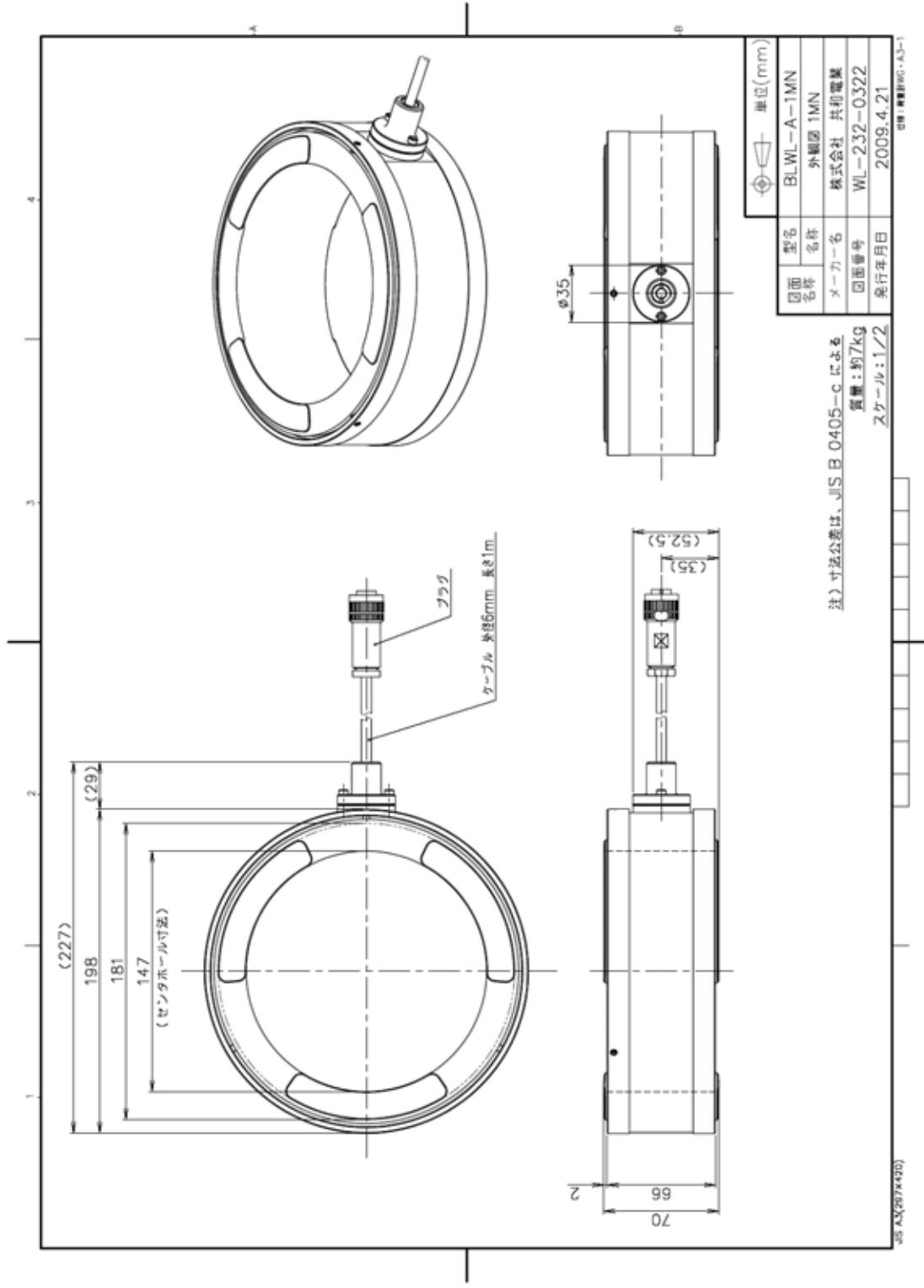


図 8.2 共和電業製荷重計

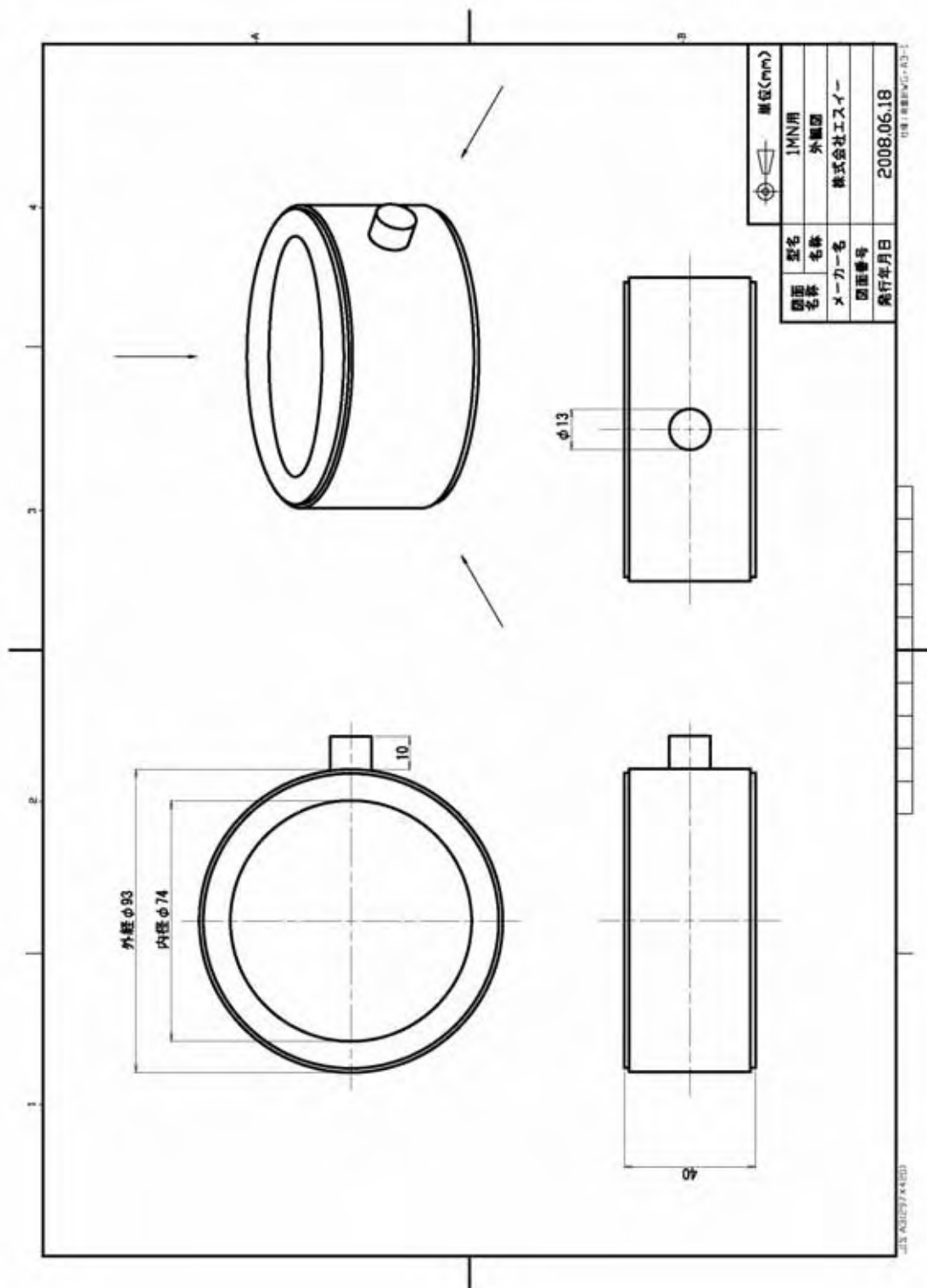


図 8.3 エスイー製荷重計

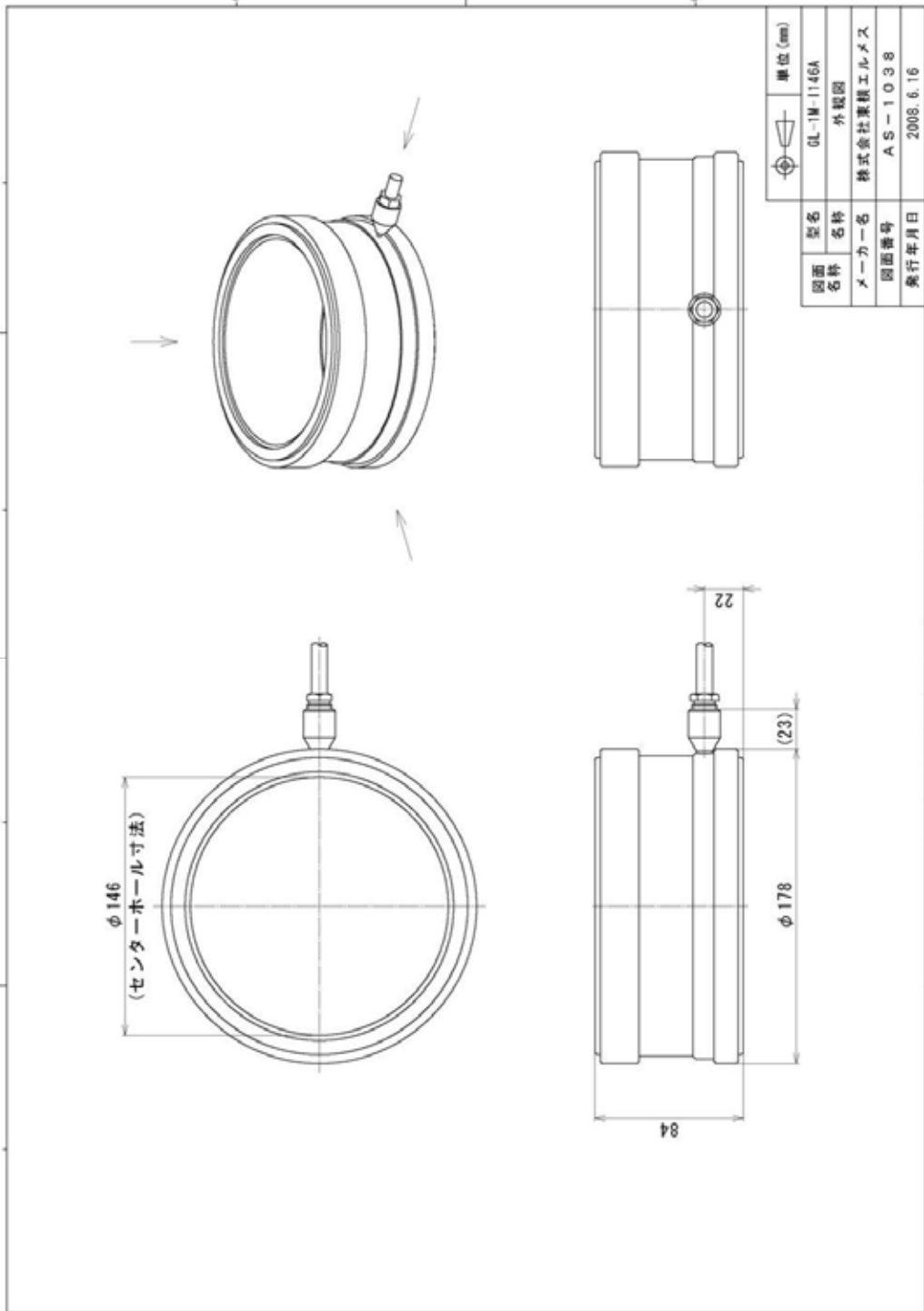


図 8.4 東横エルメス製荷重計

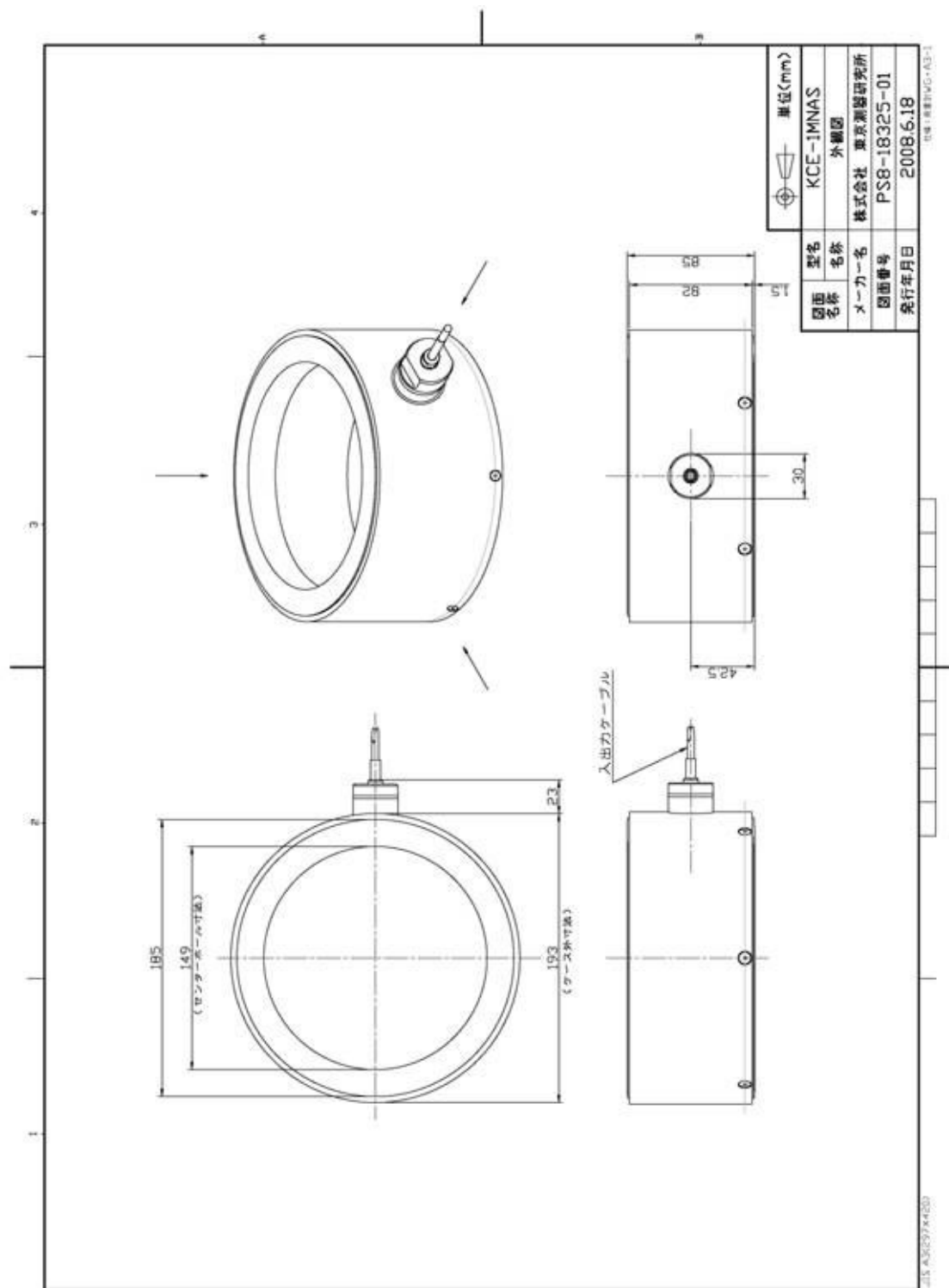


図 8.5 東京測器研究所製荷重計

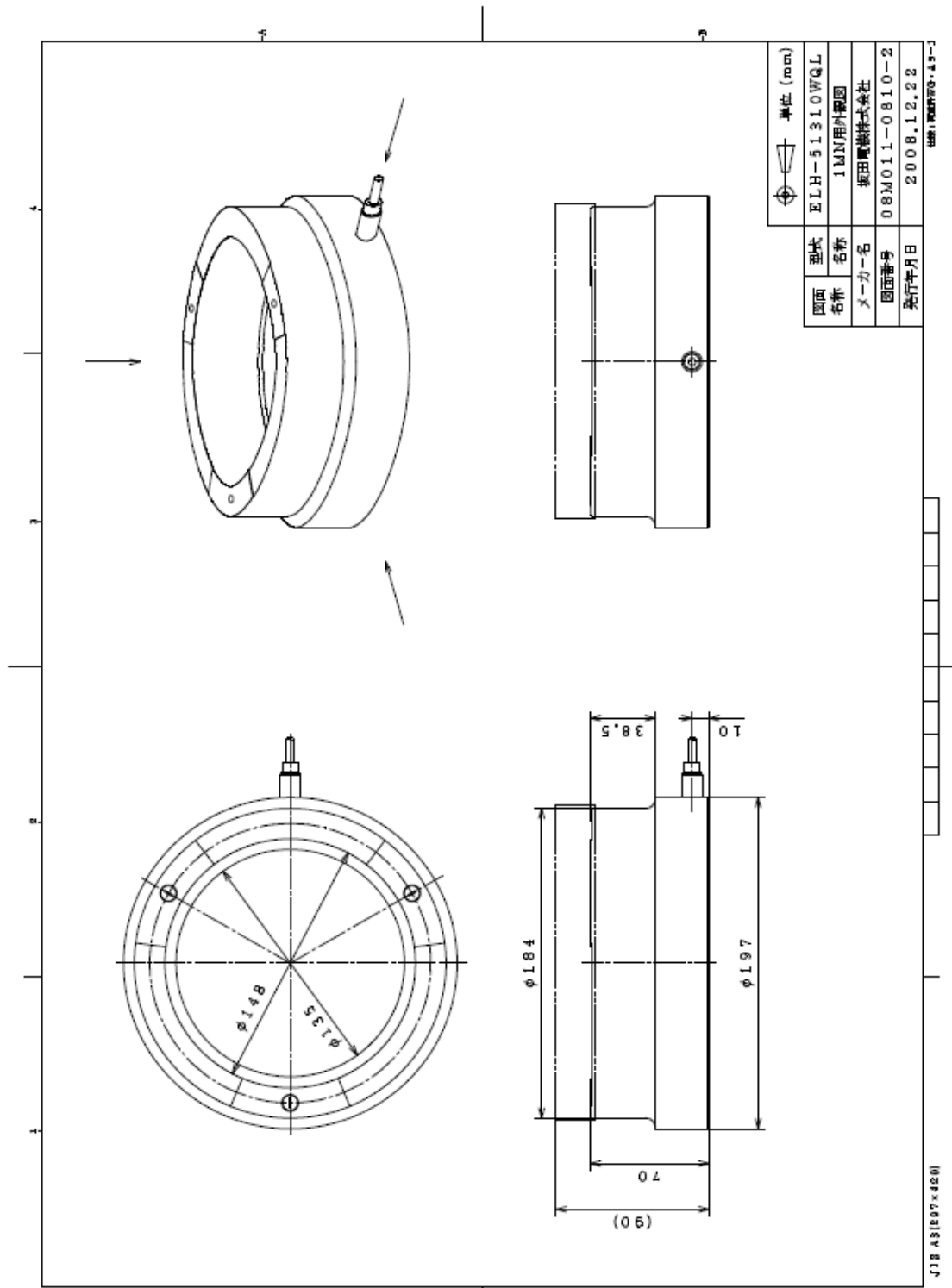


图 8.6 坂田電機製荷重計

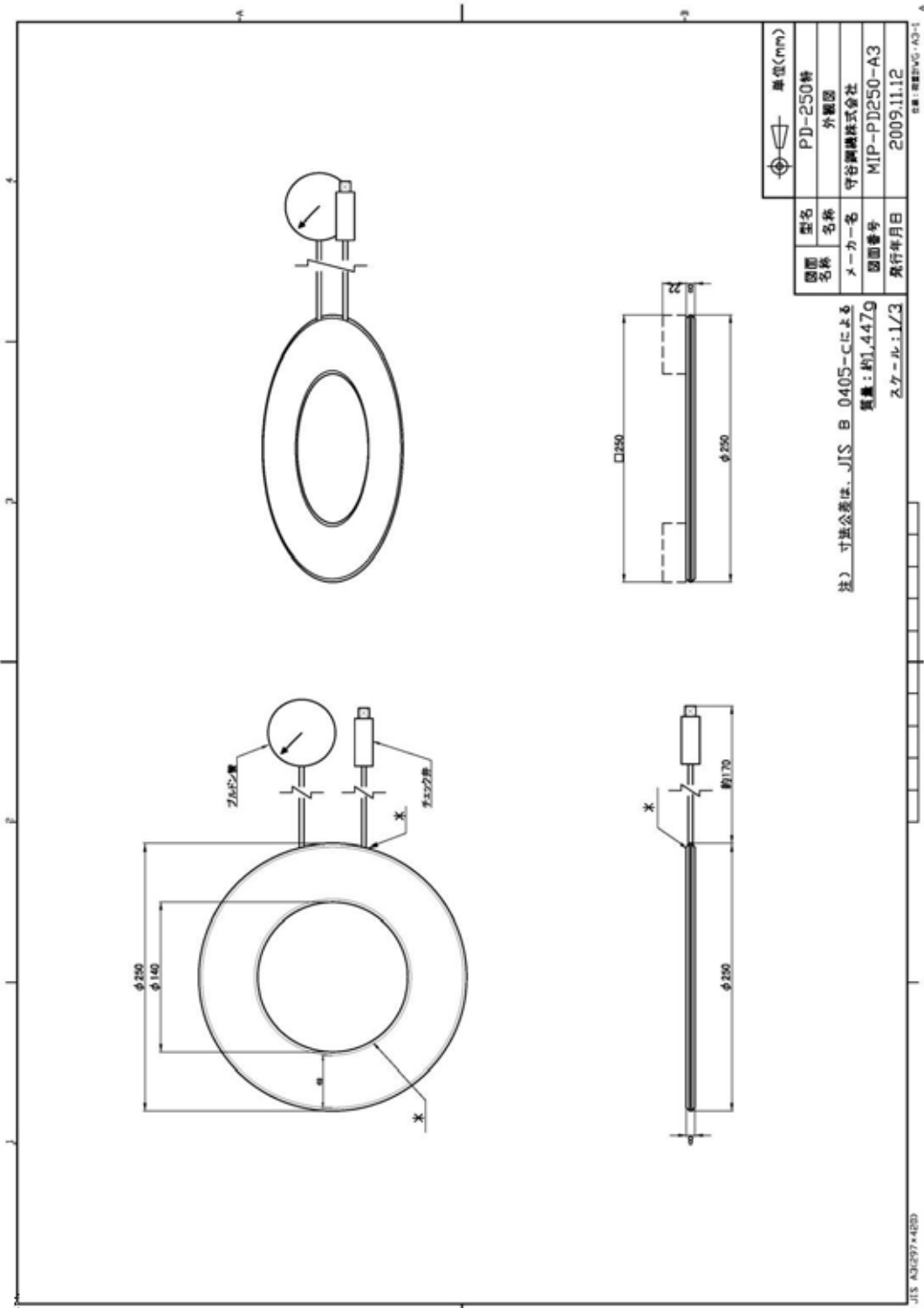


図 8.7 守谷鋼機製荷重計

8.2 試験計画

荷重計の性能を確認した試験を表 8.3 に示す。試験には要求性能（規格値）が設定されており、その範囲を超えた荷重計試作品には改良を施すこととした。

表 8.3 試験一覧

試験名		試験の目的	試験項目	規格値
出荷試験		校正	定格出力 非直線性 ヒステリシス	<5%
立会い試験	載荷板（載荷1）	載荷治具の影響	各荷重段階での偏差	<5%
	定着ナット（載荷2）			
アバット試験（載荷3）		載荷方法の影響	各荷重段階での偏差	<5%
めっきの影響確認試験		定着ナットのめっきの影響	校正試験におけるめっき無しとの比較	

8.2.1 出荷試験（校正）

各社の検定基準で実施する試験により荷重計の校正係数を算出した。試験時の載荷方法は、通常の載荷板を使用するか、専用の緊張治具（定着ナット）を使用するかは、各社の判断によるものとして、緊張治具を使用する場合はそのことを明記することとした。

8.2.2 立会い試験（精度確認試験）

開発した荷重計の実現場における使用状態は、専用の緊張治具により荷重が載荷されることが決まっている。そのため、立会い試験では、各社同じ条件下における試験で専用の緊張治具が荷重計の性能に与える影響を確認することを目的とした。なお、立会い試験には、JISB7721-2002 表 2 の 2 等級以下の性能が確認されている試験機を使用した。

（1）載荷方法

以下に示す 2 種類の載荷試験を行う。

載荷 1. 載荷板による載荷試験

上下に載荷板を設置して、載荷板を介して荷重計に載荷した（図 8.8）。

専用アタッチメントを用いる場合は、取付けた状態で試験を行った。

- ・測定項目：荷重計出力

載荷 2. 専用緊張治具を介して載荷

専用緊張治具であるテンションスリーブ、定着ナットを介して荷重計に載荷した（図 8.9）。

専用アタッチメントを用いる場合は、取付けた状態で試験を行った。

- ・測定項目：荷重計出力

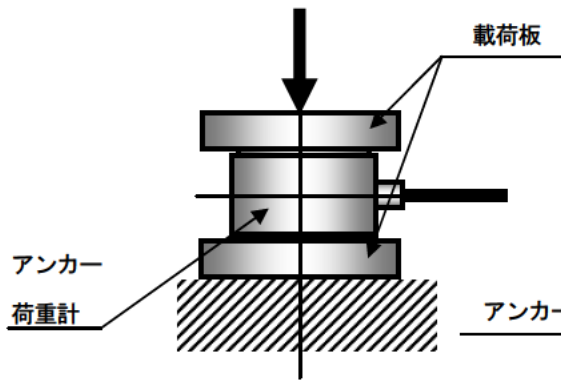


図 8.8 載荷 1 試験模式図

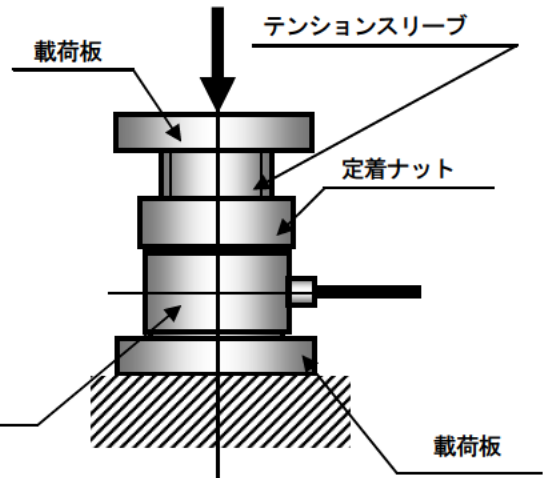


図 8.9 載荷 2 試験模式図

(2) 載荷荷重及び、測定ポイント

載荷 1,2 ともに、載荷する荷重と測定ポイントは図 8.10 に示すとおり、0→1000→0kN×4 回とした。

負荷 1 回目を予備負荷として測定は行わず、2,3 回目は 0 kN 及び 1000kN で測定を行った。4 回目は 200kN 間隔で測定を行った。

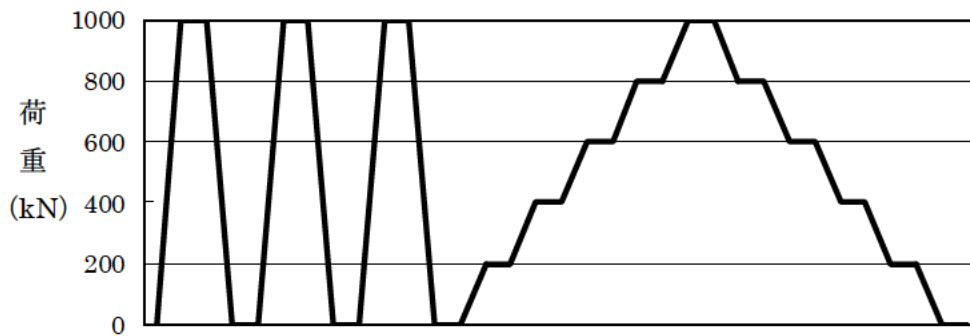


図 8.10 載荷荷重と測定ポイント

8.2.3 アバット試験（載荷3 載荷方法の影響）

本試験は、実際に現場で実施される方法で緊張を行い、荷重計が緊張治具から載荷されたときの荷重計の性能を確認する事を目的として行った。

(1) 試験装置と手順

図 5.11 と同様な試験装置を用い、模擬緊張力導入用ジャッキによりアンカーに所定の荷重（約 770kN）を導入したあと、リフトオフジャッキを用いて荷重計に載荷させて、荷重計出力と模擬緊張力導入用ジャッキの油圧から換算した荷重を比較して評価を行った。

(2) 載荷荷重及び、測定ポイント

まず、模擬緊張力導入用ジャッキにより、PC 鋼より線に E5-7 の許容荷重（ $T=770\text{kN}$ ）を導入した後、リフトオフジャッキによってリフトオフを行い荷重計に載荷する。その後チェックリフトオフ試験を実施した。

さらに、荷重計に載荷したまま模擬緊張力導入ジャッキにより荷重を変動させて、各ステップの負荷値と荷重計出力を比較する荷重変動試験と、300kN 定着時および 500kN 定着時のリフトオフ試験を実施した。

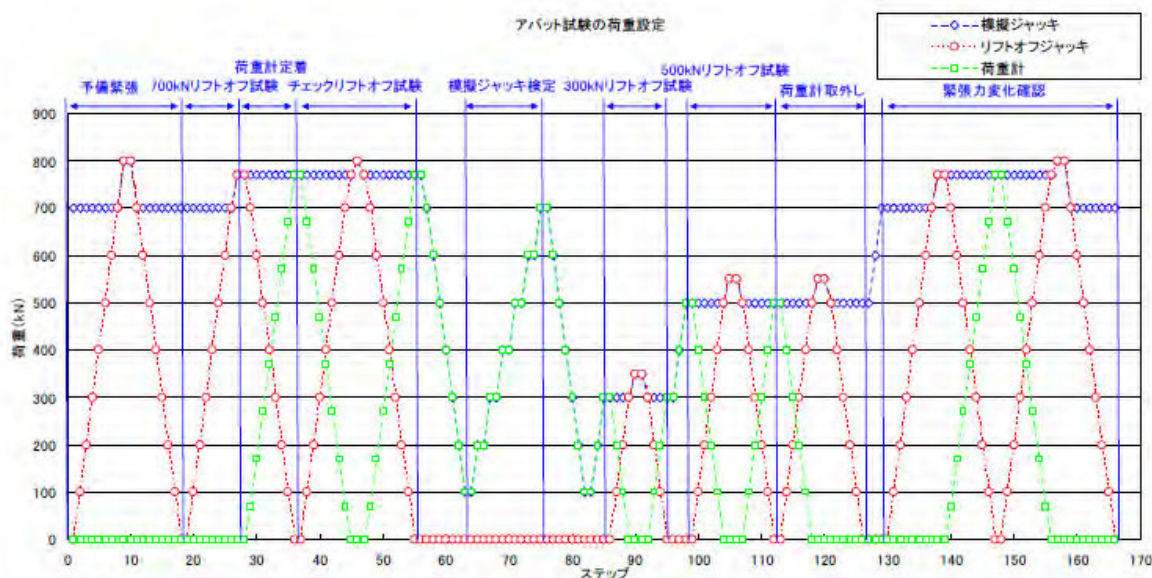


図 8.11 載荷荷重と測定ポイント（載荷3）

8.2.4 めっきの影響確認試験

上記試験は、めっきが施されていない定着ナットを用いて実施したが、めっきナットに仕様変更されるため、めっきの有無による荷重計出力への影響を確認した。

試験は、出荷試験（校正）と同じ方法で実施した。

8.3 試験結果

緊張治具による影響を確認する目的で、載荷 1 と載荷 2、および載荷 1 と載荷 3 の定格出力変化率を式(8.1)と式(8.2)によって算出した。試験結果一覧を表 8.4～表 8.9 に示す。なお、荷重計出力値は、各社において出荷前に実施した校正試験で得られた校正係数を用いて算出した。さらに、偏差と規格値との関係を図 8.12～図 8.17 に示す。ここでの偏差とは、各荷重ステップにおける負荷値（試験機の表示値）と荷重計出力値の差、また規格値はアンカーの許容荷重である 770kN までは 770kN の 5%にあたる 38.5kN、荷重計の定格容量である 1000kN では 50kN とした。最後にめっきの影響確認試験の結果を表 8.10 に示す。

・ 定格出力変化率： E_{si}

$$E_{si} = \frac{(E_{02} - E_{01})}{E_{01}} \quad \dots \text{式 (8.1)}$$

ここに E_{01} : 載荷 1 定格出力
 E_{02} : 載荷 2 定格出力

・ 定格出力変化率： E_{so}

$$E_{so} = \frac{(E_{03} - E_{01})}{E_{01}} \quad \dots \text{式 (8.2)}$$

ここに E_{03} : 載荷 3 定格出力

表 8.4 拡張開発結果一覧（共和電業製荷重計）

型名:BLWL-A-1MN Ser.No.:083207001
 校正係数 0.3301 kN/ $\mu\epsilon$ (出荷試験・校正)

試験荷重(kN)	出荷検査・校正			立会い試験						(参考)アバット試験			
	載荷条件:各社基準による			載荷条件:載荷1(載荷板)			載荷条件:載荷2(スリーブ定着ナット押し)			載荷条件:載荷3(アバット試験)			
	出力($\mu\epsilon$)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)	出力($\mu\epsilon$)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)	出力($\mu\epsilon$)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)	評価	導入ジャッキ(kN)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)
0.0				0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				
1000.0				3008.4	993.0	-7.0	3150.8	1040.0	40.0				
0.0				-0.3	0.0	0.0	-0.6	0.0	0.0				
0.0				0.0	0.0	0.0	-0.4	0.0	0.0	770kN定着1	748.2	757.0	8.8
1000.0				3008.6	993.0	-7.0	3149.1	1040.0	40.0	770kN定着2	752.3	767.0	14.7
0.0				-0.4	0.0	0.0	-0.2	0.0	0.0				
0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	200kN	201.0	219.0	18.0
200.0	635.0	210.0	10.0	623.6	206.0	6.0	656.4	217.0	17.0	300kN	301.5	311.0	9.5
400.0	1240.0	409.0	9.0	1224.8	404.0	4.0	1279.0	422.0	22.0	400kN	402.4	409.0	6.6
600.0	1838.0	607.0	7.0	1820.7	601.0	1.0	1902.9	628.0	28.0	500kN	502.2	509.0	6.8
800.0	2434.0	803.0	3.0	2412.4	796.0	-4.0	2523.1	833.0	33.0	600kN	600.1	607.0	6.9
1000.0	3029.0	1000.0	0.0	3008.2	993.0	-7.0	3148.5	1039.0	39.0	700kN	699.3	708.0	8.7
800.0	2432.0	803.0	3.0	2401.9	793.0	-7.0	2526.2	834.0	34.0				
600.0	1833.0	605.0	5.0	1809.4	597.0	-3.0	1909.3	630.0	30.0	300kN定着1	302.9	317.0	14.1
400.0	1235.0	408.0	8.0	1214.9	401.0	1.0	1285.8	424.0	24.0	300kN定着2	300.9	320.0	19.1
200.0	631.0	208.0	8.0	616.4	203.0	3.0	652.1	215.0	15.0	500kN定着1	501.2	518.0	16.8
0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	500kN定着2	499.1	512.0	12.9
非直線性	1%			0.7%			0.8%			770kN定着時	評価方法②		1.5%
ヒステリシス	0.2%			0.4%			0.2%			荷重変動時	〃		1.8%
繰り返し性				0%			0.1%			300kN定着時	〃		1.4%
定格出力変化率							4.7%			500kN定着時	〃		1.7%

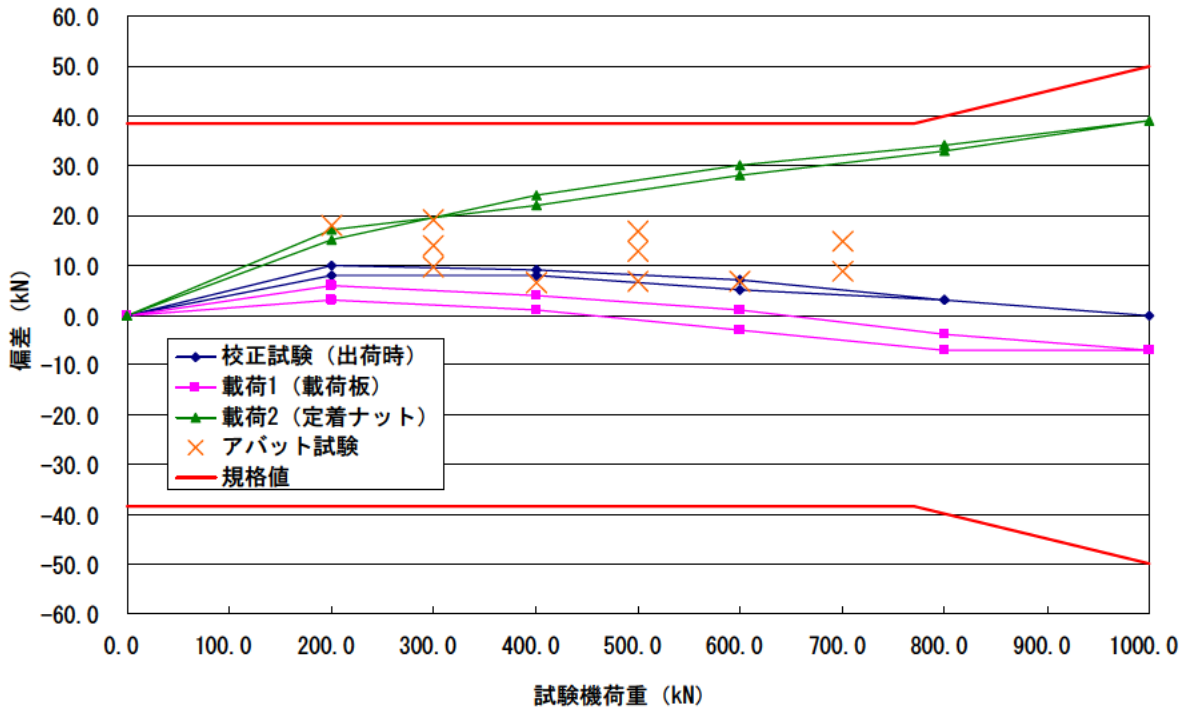


図 8.12 拡張開発試験結果総括グラフ（共和電業製荷重計）

表 8.5 拡張開発結果一覧 (エスイー製荷重計)

型名:SEEE-1000kND Ser.No.:2
 校正係数 0.3188 kN/ $\mu\epsilon$ (出荷試験・校正) 校正係数2 0.3823 kN/ $\mu\epsilon$ (ワッシャ取り付け)

試験荷重 (kN)	出荷検査・校正			立会い試験							(参考)アバット試験				
	載荷条件:スリーブ定着ナット押し			載荷条件:載荷1(載荷板)			載荷条件:載荷2(スリーブ定着ナット押し)				載荷条件:載荷3(アバット試験)				
	出力($\mu\epsilon$)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)	出力($\mu\epsilon$)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)	出力($\mu\epsilon$)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)	評価方法②%	評価	導入ジャッキ(kN)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)	
0.0				0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0						
1000.0				2822.0	900.0	-100.0	3052.1	973.0	-27.0						
0.0				0.4	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0						
0.0				0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0		770kN定着1	745.2	762.0	16.8	
1000.0				2821.9	900.0	-100.0	3060.4	976.0	-24.0		770kN定着2	749.8	771.0	21.2	
0.0				0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	200kN	201.0	166.0	-35.0	
200.0	570.0	182.0	-18.0	558.0	178.0	-22.0	535.0	171.0	-29.0	2.9	300kN	301.5	281.0	-20.5	
400.0	1197.0	382.0	-18.0	1112.2	355.0	-45.0	1133.3	361.0	-39.0	3.9	400kN	402.4	375.0	-27.4	
600.0	1849.0	589.0	-11.0	1676.4	534.0	-66.0	1763.0	562.0	-38.0	3.8	500kN	502.2	488.0	-14.2	
800.0	2482.0	791.0	-9.0	2239.0	714.0	-86.0	2407.0	767.0	-33.0	3.3	600kN	600.1	598.0	-2.1	
1000.0	3137.0	1000.0	0.0	2807.5	895.0	-105.0	3057.4	975.0	-25.0	2.5	700kN	699.3	711.0	11.7	
800.0	2557.0	815.0	15.0	2282.6	728.0	-72.0	2473.2	788.0	-12.0	1.2					
600.0	1911.0	609.0	9.0	1759.4	561.0	-39.0	1861.2	593.0	-7.0	0.7	300kN定着1	300.9	270.0	-30.9	
400.0	1249.0	398.0	-2.0	1194.0	381.0	-19.0	1212.1	386.0	-14.0	1.4	300kN定着2	300.8	276.0	-24.8	
200.0	591.0	188.0	-12.0	612.8	195.0	-5.0	559.3	178.0	-22.0	2.2	500kN定着1	502.5	493.0	-9.5	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	500kN定着2	498.5	491.0	-7.5	
非直線性	1.8%			0.4%			2.9%				770kN定着時		評価方法②	2.1%	
ヒステリシス	2.4%			3%			3.2%				荷重変動時		''	3.5%	
繰り返し性				0.5%			0.2%				300kN定着時		''	3.1%	
定格出力変化率							8.9%				500kN定着時		''	1%	

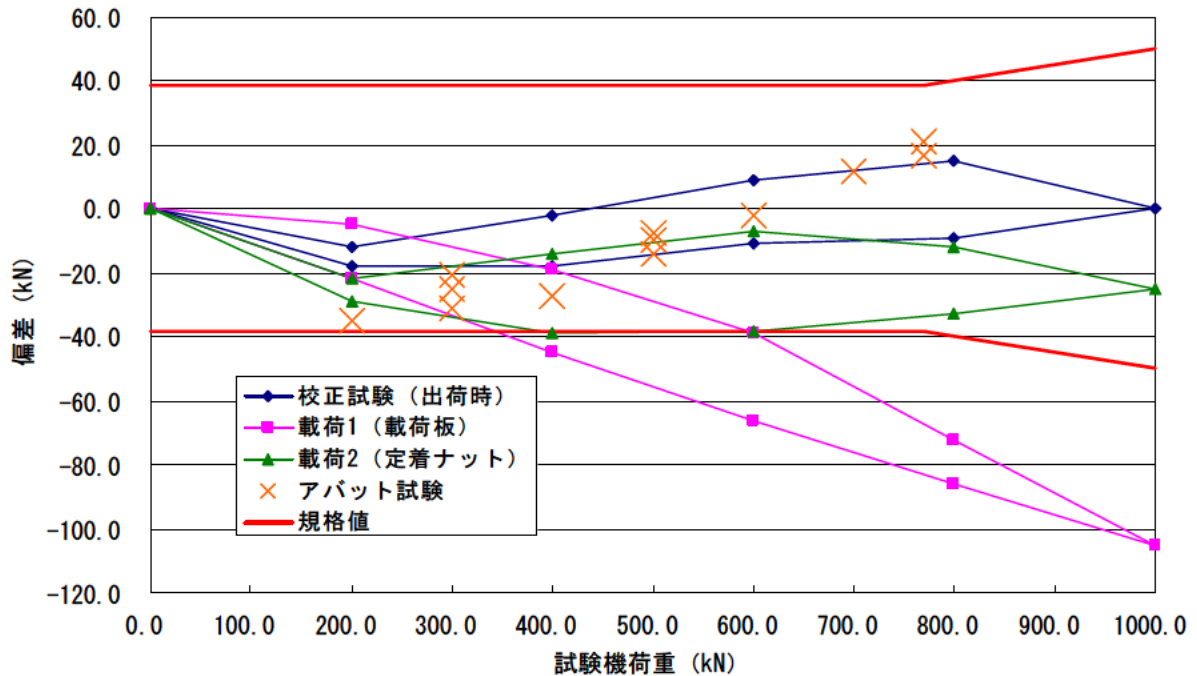


図 8.13 拡張開発試験結果総括グラフ (エスイー製荷重計)

表 8.6 拡張開発結果一覧 (東横エルメス製荷重計)

型名: GL-1MN-1146A Ser.No.: 801066
 校正係数 0.4415 kN/ $\mu\epsilon$ (出荷試験・校正)

試験荷重 (kN)	出荷検査・校正			立会い試験						(参考)アバット試験			
	載荷条件: スリーブ定着ナット押し			載荷条件: 載荷1 (載荷板)			載荷条件: 載荷2 (スリーブ定着ナット押し)			載荷条件: 載荷3 (アバット試験)			
	出力 ($\mu\epsilon$)	荷重計指示値 (kN)	偏差 (kN)	出力 ($\mu\epsilon$)	荷重計指示値 (kN)	偏差 (kN)	出力 ($\mu\epsilon$)	荷重計指示値 (kN)	偏差 (kN)	評価	導入ジャッキ (kN)	荷重計指示値 (kN)	偏差 (kN)
0.0				0.2	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0				
1000.0				2292.5	1012.0	12.0	2257.9	997.0	-3.0				
0.0				1.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0				
0.0				0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	770kN定着1	751.6	767.1	15.5
1000.0				2288.1	1010.0	10.0	2259.6	998.0	-2.0	770kN定着2	752.8	766.0	13.2
0.0				0.4	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0				
0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	200kN	199.9	210.6	10.7
200.0	484.0	214.0	14.0	490.0	216.0	16.0	482.9	213.0	13.0	300kN	299.6	312.6	13.0
400.0	932.0	411.0	11.0	942.4	416.0	16.0	923.0	408.0	8.0	400kN	399.0	412.4	13.4
600.0	1378.0	608.0	8.0	1394.5	616.0	16.0	1369.0	604.0	4.0	500kN	499.3	512.9	13.6
800.0	1819.0	803.0	3.0	1838.8	812.0	12.0	1812.1	800.0	0.0	600kN	599.3	612.7	13.4
1000.0	2265.0	1000.0	0.0	2290.3	1011.0	11.0	2255.3	996.0	-4.0	700kN	698.7	711.7	13.0
800.0	1815.0	801.0	1.0	1836.3	811.0	11.0	1800.7	795.0	-5.0				
600.0	1374.0	607.0	7.0	1391.2	614.0	14.0	1361.0	601.0	1.0	300kN定着1	300.2	312.4	12.2
400.0	930.0	411.0	11.0	941.2	416.0	16.0	918.4	405.0	5.0	300kN定着2	299.3	316.0	16.7
200.0	484.0	214.0	14.0	489.1	216.0	16.0	474.0	209.0	9.0	500kN定着1	501.2	518.6	17.4
0.0	1.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	500kN定着2	497.8	510.0	12.2
非直線性	1.4 %			1.4 %			1.4 %			770kN定着時	評価方法②	1.6 %	
ヒステリシス	0.2 %			0.1 %			0.5 %			荷重変動時	〃	1.4 %	
繰り返し性				-0.1 %			0.1 %			300kN定着時	〃	1.7 %	
定格出力変化率							1.5 %			500kN定着時	〃	1.7 %	

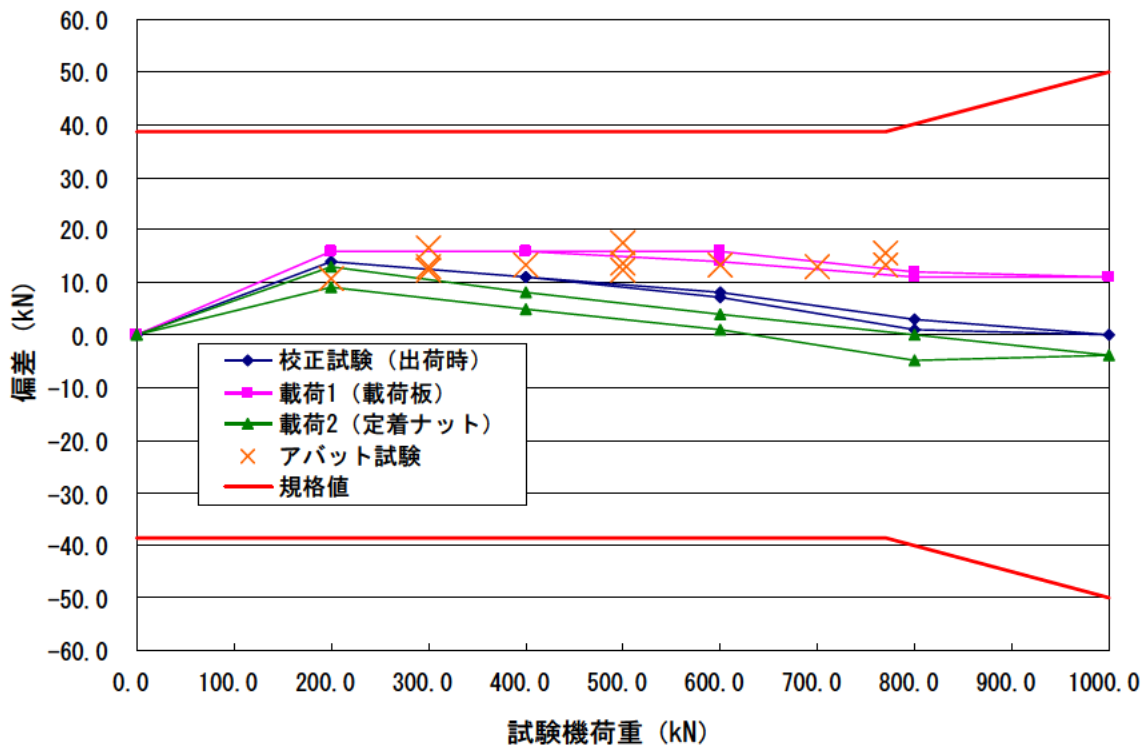


図 8.14 拡張開発試験結果総括グラフ (東横エルメス製荷重計)

表 8.7 拡張開発結果一覧（東京測器製荷重計）

型名:KCE-1MNPS Ser.No.:

校正係数 0.3704 kN/ $\mu\epsilon$

(出荷試験・校正)

試験荷重 (kN)	出荷検査・校正			立会い試験						(参考)アバット試験				
	載荷条件: 各社基準による			試験荷重 (kN)	載荷条件: 載荷1 (載荷板)			載荷条件: 載荷2 (スリーブ定着ナット押し)			載荷条件: 載荷3 (アバット試験)			
	出力($\mu\epsilon$)	荷重計指示値 (kN)	偏差 (kN)		出力($\mu\epsilon$)	荷重計指示値 (kN)	偏差 (kN)	出力($\mu\epsilon$)	荷重計指示値 (kN)	偏差 (kN)	評価	導入ジャッキ (kN)	荷重計指示値 (kN)	偏差 (kN)
0.0					0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0				
1000.0					2733.1	1012.0	12.0	2823.7	1046.0	46.0				
0.0					-0.2	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0				
0.0					0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	770kN定着1	748.5	785.1	36.6
1000.0					2733.1	1012.0	12.0	2823.8	1046.0	46.0	770kN定着2	751.6	778.3	26.7
0.0					0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0				
					0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	200kN	201.0	195.3	-5.7
0.0	0.0	0	0	200.0	561.4	208.0	8.0	564.0	209.0	9.0	300kN	301.5	298.6	-2.9
250.0	681.9	253	3	400.0	1101.9	408.0	8.0	1122.0	416.0	16.0	400kN	402.4	404.3	1.9
500.0	1357.9	503	3	600.0	1649.9	611.0	11.0	1688.4	625.0	25.0	500kN	502.2	506.6	4.4
750.0	2030.8	752	2	800.0	2191.3	812.0	12.0	2253.7	835.0	35.0	600kN	600.1	611.9	11.8
1000.0	2700.0	1000	0	1000.0	2731.9	1012.0	12.0	2821.4	1045.0	45.0	700kN	699.3	716.8	17.5
750.0	2030.8	752	2	800.0	2180.5	808.0	8.0	2254.4	835.0	35.0				
500.0	1358.4	503	3	600.0	1641.5	608.0	8.0	1700.1	630.0	30.0	300kN定着1	304.0	305.1	1.1
250.0	682.6	253	3	400.0	1098.6	407.0	7.0	1132.5	419.0	19.0	300kN定着2	303.4	308.8	5.4
0.0	-0.1	0	0	200.0	552.6	205.0	5.0	557.5	206.0	6.0	500kN定着1	501.3	512.0	10.7
					0.0	-0.1	0.0	-0.3	0.0	0.0	500kN定着2	500.5	516.0	15.5
非直線性	0.3 %			0.5 %			0.2 %			770kN定着時		評価方法②		3.7 %
ヒステリシス	0 %			0.4 %			0.4 %			荷重変動時		"		1.8 %
繰り返し性				0 %			0.1 %			300kN定着時		"		0.1 %
定格出力変化率							3.3 %			500kN定着時		"		1.6 %

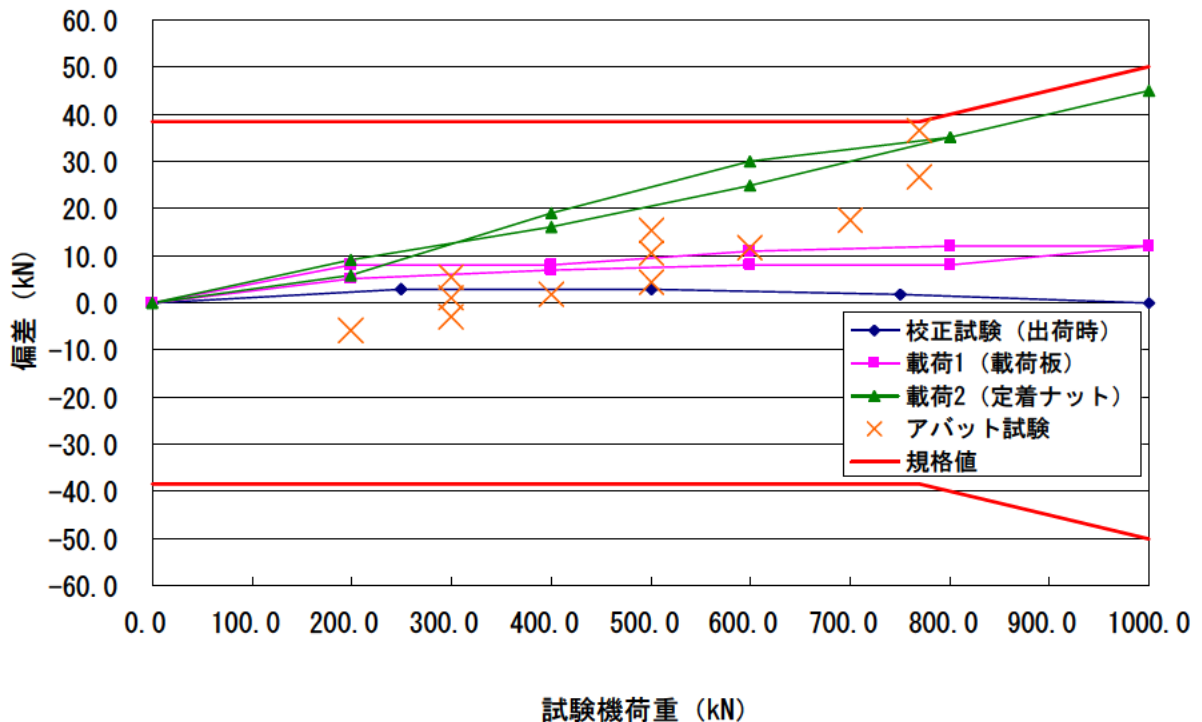


図 8.15 拡張開発試験結果総括グラフ（東京測器製荷重計）

表 8.8 拡張開発結果一覧 (坂田電機製荷重計)

型名:ELH-51110WQL Ser.No.:08090001
 校正係数 336.81 KN/R (出荷試験・校正)

試験荷重 (kN)	出荷検査・校正			立会い試験						(参考)アバット試験			
	載荷条件:各社基準による			載荷条件:載荷1(載荷板)			載荷条件:載荷2(スリーブ定着ナット押し)			載荷条件:載荷3(アバット試験)			
	出力(R)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)	出力(R)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)	出力(R)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)	評価	導入ジャッキ(kN)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)
0.0				0.002	1.0	1.0	-0.002	-1.0	-1.0				
1000.0				2.969	1000.0	0.0	2.962	998.0	-2.0				
0.0				0.004	1.0	1.0	-0.002	-1.0	-1.0				
0.0				0.004	1.0	1.0	-0.002	-1.0	-1.0	770kN定着1	744.7	717.4	-27.3
1000.0				2.977	1003.0	3.0	2.965	999.0	-1.0	770kN定着2	749.6	707.6	-42.0
0.0				0.004	1.0	1.0	-0.002	-1.0	-1.0				
0.0	-0.004	-1.0	-1.0	0.004	1.0	1.0	-0.002	-1.0	-1.0	200kN	201.0	197.7	-3.3
200.0	0.641	216.0	16.0	0.679	229.0	29.0	0.645	217.0	17.0	300kN	299.8	295.4	-4.4
400.0	1.265	426.0	26.0	1.267	427.0	27.0	1.282	432.0	32.0	400kN	401.0	385.3	-15.7
600.0	1.856	625.0	25.0	1.851	623.0	23.0	1.889	636.0	36.0	500kN	500.7	478.3	-22.4
800.0	2.426	817.0	17.0	2.424	816.0	16.0	2.448	825.0	25.0	600kN	602.2	571.6	-30.6
1000.0	2.969	1000.0	0.0	2.977	1003.0	3.0	2.965	999.0	-1.0	700kN	700.4	662.2	-38.2
800.0	2.412	812.0	12.0	2.409	811.0	11.0	2.446	824.0	24.0				
600.0	1.863	627.0	27.0	1.853	624.0	24.0	1.909	643.0	43.0	300kN定着1	304.9	302.1	-2.8
400.0	1.27	428.0	28.0	1.273	429.0	29.0	1.324	446.0	46.0	300kN定着2	303.7	294.4	-9.3
200.0	0.623	210.0	10.0	0.656	221.0	21.0	0.63	212.0	12.0	500kN定着1	502.3	480.6	-21.7
0.0	-0.004	-1.0	-1.0	0.004	1.0	1.0	-0.001	0.0	0.0	500kN定着2	497.3	476.2	-21.1
非直線性	2.6%			2.8%			3.7%			770kN定着時	評価方法②		4.2%
ヒステリシス	0.6%			0.8%			1.4%			荷重変動時	"		3.8%
繰り返し性				0.3%			0.1%			300kN定着時	"		0.9%
定格出力変化率							0.4%			500kN定着時	"		2.2%

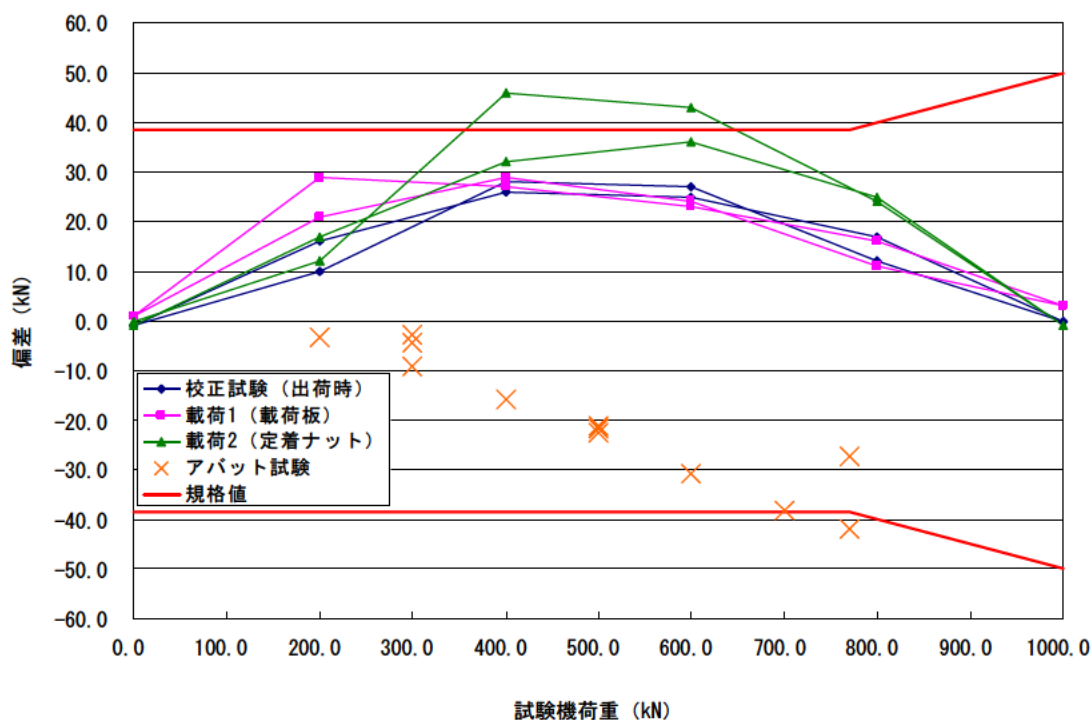


図 8.16 拡張開発試験結果総括グラフ (坂田電機製荷重計)

表 8.9 拡張開発結果一覧（守谷鋼機製荷重計）

型名: PD-250 Ser.No.:
 校正係数 0.3273 kN/ $\mu\epsilon$ (出荷試験・校正)

試験荷重 (kN)	出荷検査・校正			立会い試験						(参考)アバット試験			
	載荷条件:各社基準による			載荷条件:載荷1(載荷板)			載荷条件:載荷2(スリーブ定着ナット押し)			載荷条件:載荷3(アバット試験)			
	出力($\mu\epsilon$)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)	出力($\mu\epsilon$)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)	出力($\mu\epsilon$)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)	評価	導入ジャッキ(kN)	荷重計指示値(kN)	偏差(kN)
0.0				0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0				
1000.0				3045.8	997.0	-3.0	3062.7	1002.0	2.0				
0.0				-0.4	0.0	0.0	-0.6	0.0	0.0				
0.0				0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	770kN定着1	728.9	718.4	-10.5
1000.0				3046.1	997.0	-3.0	3060.6	1002.0	2.0	770kN定着2	731.5	702.5	-29.0
0.0				-0.6	0.0	0.0	-0.4	0.0	0.0				
0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	200kN	200.0	207.0	7.0
200.0	683.0	224.0	24.0	693.6	227.0	27.0	686.6	225.0	25.0	300kN	302.5	304.2	1.7
400.0	1293.0	423.0	23.0	1294.7	424.0	24.0	1303.8	427.0	27.0	400kN	399.3	394.7	-4.6
600.0	1885.0	617.0	17.0	1884.3	617.0	17.0	1891.6	619.0	19.0	500kN	501.8	489.1	-12.7
800.0	2467.0	807.0	7.0	2461.9	806.0	6.0	2471.8	809.0	9.0	600kN	601.9	580.6	-21.3
1000.0	3055.0	1000.0	0.0	3043.4	996.0	-4.0	3056.8	1000.0	0.0	700kN	701.0	668.6	-32.4
800.0	2464.0	806.0	6.0	2451.1	802.0	2.0	2458.9	805.0	5.0				
600.0	1881.0	616.0	16.0	1871.3	612.0	12.0	1874.5	614.0	14.0	300kN定着1	303.0	305.4	2.4
400.0	1290.0	422.0	22.0	1281.0	419.0	19.0	1281.8	420.0	20.0	300kN定着2	300.2	298.8	-1.4
200.0	677.0	222.0	22.0	675.0	221.0	21.0	675.1	221.0	21.0	500kN定着1	504.2	483.9	-20.3
0.0	1.0	0.0	0.0	-0.3	0.0	0.0	-0.2	0.0	0.0	500kN定着2	497.3	468.7	-28.6
非直線性	2.4%			2.8%			2.7%			770kN定着時	評価方法②		2.9%
ヒステリシス	0.2%			0.6%			0.7%			荷重変動時	〃		3.2%
繰り返し性				0.1%			0.2%			300kN定着時	〃		0.2%
定格出力変化率							0.4%			500kN定着時	〃		2.9%

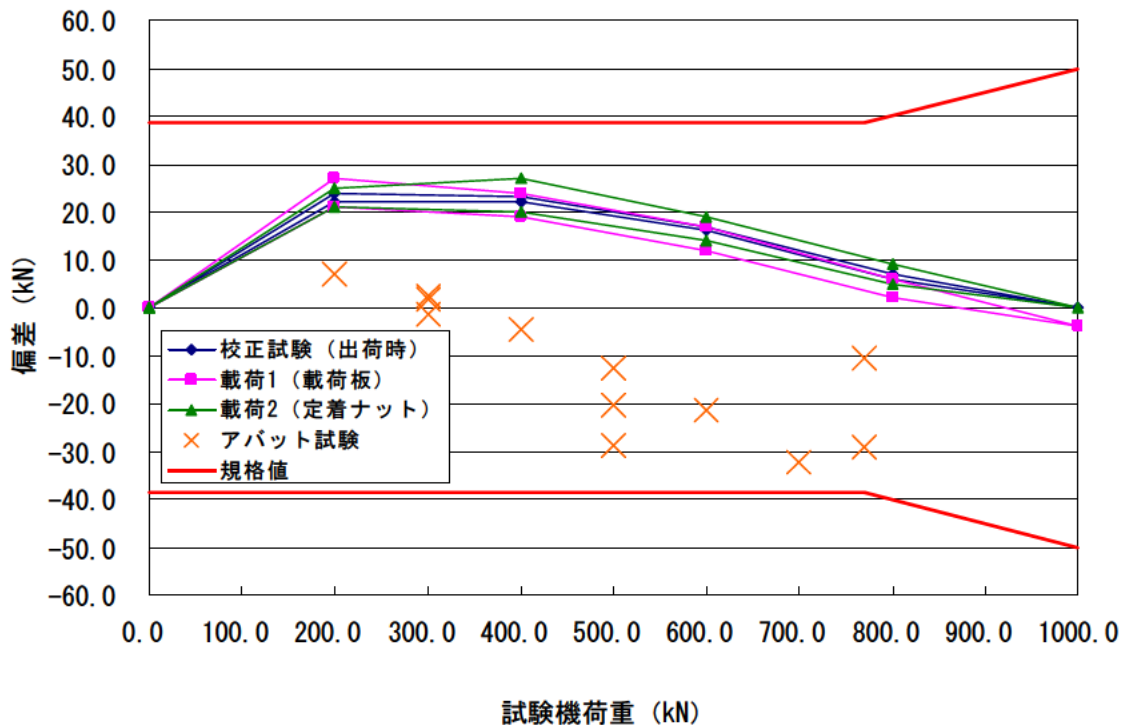


図 8.17 拡張開発試験結果総括グラフ（守谷鋼機製荷重計）

表 8.10 めっきの影響確認試験結果一覧（拡張開発）

試験荷重 (kN)	共和電業製			エスイー製			東横エルメス製			東京測器製			坂田電機製			守谷鋼機製		
	定着ナット		偏差	定着ナット		偏差	定着ナット		偏差	定着ナット		偏差	定着ナット		偏差	定着ナット		偏差
	めっき無し	めっき有り		めっき無し	めっき有り		めっき無し	めっき有り		めっき無し	めっき有り		めっき無し	めっき有り		めっき無し	めっき有り	
0		0	0		0	0	0.3	0	0.3	0	0.3							0
1000		3029	0		0		-2741	-2732.5	-8.5									0
0		0	0		0		0.5	-0.2	0.7									3
1000		3031	0		0		-2741.5	-2736	-5.5									5
0		0	0		0		0.5	-0.2	0.7									1
1000		3031	0		0	2273	2234	2273	-2742.9	-2735.2	-7.7							6
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0.5	-0.2	0.7							1
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0							1
200	635	633	2	257	219	38	483	430	53	553.6	-549.5	-4.1						1
400	1240	1236	4	507	442	65	935	878	57	-1101.9	-1095.4	-6.5						4
600	1838	1838	0	747	672	75	1382	1327	55	-1649.6	-1639.6	-10						0
800	2434	2436	-2	983	925	58	1829	1776	53	-2194.4	-2186.9	-7.5						0
1000	3029	3032	-3	1220	1193	27	2274	2232	42	-2742.8	-2735.3	-7.5						0
800	2432	2421	11	1000	914	86	1825	1778	47	-2196.6	-2188.4	-8.2						6
600	1833	1812	21	770	662	108	1377	1325	52	-1654.3	-1643.4	-10.9						2
400	1235	1209	26	526	434	92	933	881	52	-1109.5	-1098.2	-11.3						4
200	631	609	22	265	205	60	482	431	51	-556	-548.6	-7.4						3
0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0.1	0	0.1	0	0.1	-0.001	-0.001	0	1
非直線性	0.96 %	0.88 %		1.56 %	3.67 %		1.24 %	0.73 %		0.18 %	0.09 %			3.71 %	4.53 %			2.12 %
ヒステリシス	0.17 %	0.89 %		1.89 %	1.17 %		0.22 %	0.13 %		0.28 %	0.14 %			1.42 %	0.51 %			0.19 %

8.3.1 評価

評価は、偏差が規格値である 5%未満であることを確認することによって行った。エスイー製荷重計^{注)}以外は、すべての荷重計の偏差が拡張開発における規格値未満であり合格と判定された。

ここで、坂田電機製荷重計は、アンカー材の許容荷重から算出した規格値 ($\pm 38.5\text{kN}$) を超える値があるが、その偏差は 1000kN の 5%である 50kN を超えないことと、 800kN で校正するとアンカーの許容荷重から算出した規格値を満足することから、合格と判断した。

表 8.10 に示すとおり、すべての荷重計は定着ナットのめっきの有無に対して、有意な差は見られなかった。

注)エスイー製荷重計については、載荷 1 において規格値を満足しなかったため、エスイー製荷重計の校正係数の設定は、現場で使用する緊張治具と同じ形状のものを使用する方法 (載荷 2 と同じ方法) で実施することを必須条件とした上で、載荷 1 の状態では使用しないことを宣言して、開発終了とした。

9. 拡張開発におけるデータ通信システムの評価

9.1 検討項目

拡張開発におけるデータ通信システムの開発仕様は、優先開発の仕様を拡張するとともに経済性を考慮し検討を行った（表 9.1の灰色で囲んだ箇所が優先開発から拡張を図った項目）。その結果、データ通信システムWG各社は開発要求性能を満たすための開発仕様（表 9.2）を設定した。

表 9.1 拡張開発におけるデータ通信システムの検討項目および検討結果

項目		検討結果	備考	
基本性能	ロガー部	適用センサ	ひずみゲージ型、差動トランス型	個々のアンプとする
		測定範囲	センサに合わせる	各社のセンサの定格を考慮
		測定精度	1%R.O以下	荷重計の精度を考慮
		測定点数	2点（荷重または温度および時間）	時間は年・月・日・時・分
		記録回数	2200点以上	2回/日×1年×2点
	無線通信部	通信方式	無線方式（2.4GHz帯）	低消費電力に対応
		通信距離	50m	現場に調査員が行ってデータを回収することを想定
		通信台数	50台	設置台数を考慮
	電源部	電源方式	電池	荷重計測定用電源と共用
		電源寿命	3年以上	電池交換はなるべく容易にできることを考慮
耐環境性能	使用温度範囲	-10℃～+60℃ (零点変動：±0.1R.O℃、 出力変動：±0.1R.O℃)	JIS C 60068-2-61, JIS C 60068-2-1 および JIS C 60068-2-2 参照	
	使用湿度範囲	85%RH 以下	JIS C 60068-2-61 JIS C 60068-2-30 参照	
	保護等級	IP65	JIS C 0920 参照	
	耐用年数	6年	現場状況を想定	
その他	外形寸法	150 (W)×200 (D)×100 (H)以内 (単位：mm)	ヘッドキャップに収まる大きさ	

表 9.2 拡張開発におけるデータ通信システムの仕様

項目		会社名	(株)共和電業	(株)東京測器研究所	坂田電機(株)
		基本性能	ロガー部	適用センサ	ひずみゲージ式変換器
測定範囲 (印加電圧)	-500~5000×10 ⁻⁶ (定電流方式 [1V])			-500~5000×10 ⁻⁶ (定電圧方式 [1V])	-0.5~3.0 (1Vrms,500Hz)
測定精度	±1%R.O			±1%R.O	±1%R.O
測定点数	2点 (荷重または温度、 および時間)			2点 (荷重または温度、 および時間)	2点 (荷重または温度、 および時間)
記録回数	2200回以上			2200回以上	2200回以上
無線 通信部	通信方式		無線方式(2.4GHz帯)	無線方式(2.4GHz帯)	無線方式(2.4GHz帯)
	通信距離		50m	50m	50m
	通信台数		50台	50台	50台
電源部	電源方式		リチウム電池 (上蓋を開閉後、電池交 換可能)	リチウム電池 (上蓋を開閉後、電池交 換可能)	アルカリ電池 (上蓋を開閉後、電池交 換可能)
	電源寿命		3年以上	3年以上	3年以上
耐環境性能	使用温度範囲		-10℃~+60℃ (零点変動：±0.1R.O/℃、 出力変動：±0.1R.O/℃)	-10℃~+60℃ (零点変動：±0.1R.O/℃、 出力変動：±0.1R.O/℃)	-10℃~+60℃ (零点変動：±0.1R.O/℃、 出力変動：±0.1R.O/℃)
	使用湿度範囲	85%RH以下	85%RH以下	85%RH以下	
	保護等級	IP65	IP65	IP65	
	耐用年数	6年	6年	6年	
その他	外形寸法	80(w)×120(D)×55(H) (単位：mm)	90(w)×120(D)×56(H) (単位：mm)	125(w)×175(D)×75(H) (単位：mm)	

9.2 試験計画

拡張開発で試作したデータ通信システムについて、要求される開発性能を満たしているか、表 9.3 に従い、確認を行う。なお、基本性能試験および耐環境性能試験におけるデータ送信ユニットの試験台数は 10 台とする。また、立会い試験時の試験台数は 10 台とする。

表 9.3 試験項目と試験方法

試験項目		試験方法
基本性能試験	ロガー部 測定精度	非直線性試験およびヒステリシス試験 測定範囲の 1/5 間隔で、模擬荷重を入力し、計測結果から、非直線性、ヒステリシスを求め、規格値以内であることを確認する。非直線性は測定範囲の最小値と最大値を結ぶ直線との最大偏差を測定範囲に対する百分率で表す。ヒステリシスは各測点の行きと帰りの最大値を測定範囲に対する百分率で表す。
	無線 通信部 通信距離	擬似荷重を入力したデータ送信ユニットを用意する。通信距離を 50m、データ回収装置の高さを 50m および 100cm とし、また、データ送信ユニットの高さを地表面上とした場合に通信を 300 回または 5 分間おこない、それぞれの場合のエラー率を下式より算出する。 $\text{エラー率} = \text{エラー回数} / \text{通信回数} \cdots (1)$
	電源寿命	消費電流確認 測定範囲最大値相当の模擬荷重を入力し、一定時間の消費電流計測結果から、1 年間の消費電力量を計算し、規格内であることを確認する。
耐環境性能試験	使用温度 範囲	試験槽にデータ送信ユニット 10 台とデータ回収装置 1 台を入れ、槽内温度を -15 ± 3 と $+65 \pm 3$ で、それぞれ 16 時間放置し、通信に異常の無いことを確認する。また、各温度において、以下のように入力する模擬荷重を変えることで下記を確認し、参考データとする。 ・ 零点変動：A と C の試験結果より算出 ・ 出力変動：B と D の試験結果より算出 A: 低温無負荷 入力：測定範囲最小値 環境温度： -15 ± 3 B: 低温定格負荷 入力：測定範囲最大値 環境温度： -15 ± 3 C: 高温無負荷 入力：測定範囲最小値 環境温度： $+65 \pm 2$ D: 高温定格負荷 入力：測定範囲最大値 環境温度： $+65 \pm 2$
	使用湿度	温湿度試験 試験槽にデータ送信ユニット 10 台とデータ回収装置 1 台を入れる。 高温保持時、低温保持時に、通信に異常の無いことを確認する。また、同時に、測定範囲最大値に相当する模擬荷重を加え、測定値を確認する。 【安定期間】槽内温度を 25 ± 3 で 1 時間放置する。放置後 1 時間以内に、槽内温度を 25 ± 3 ままで、槽内湿度を 95%以上にする。 【温度上昇】湿度を維持したまま、3 時間で 65 に達するようにする。

	使用温度	温湿度試験	<p>【高温保持】温度上昇後、槽内温度を 65 ± 2 の範囲を 9 時間保つ。この間の相対湿度は $93 \pm 3\%$ とする。</p> <p>【温度下降】3 時間で 25 ± 3 になるよう温度を下げる。この間の相対湿度は 95% 以上とする。</p> <p>【低温保持】温度下降後、槽内温度を 25 ± 3 の範囲を 9 時間保つ。この間の相対湿度を 95% に維持する。</p>
立 会 い 試 験	通信距離 50m 確認試験		通信距離を 50m、データ回収装置の高さを 45cm および 90cm とし、また、データ送信ユニットの高さを地表面上とした場合に通信を 300 回または 5 分間おこない、それぞれの場合のエラー率を(1)と同様に算出する。
	限界受信距離確認試験		データ回収装置の高さを 45cm および 90cm、データ送信ユニットの高さを地表面上、また、各装置間の距離を 60、80、100m とし、通信を 300 回または 5 分間おこない、それぞれの場合のエラー率を(1)と同様に算出する。ただし、通信不可の場合、それ以降の試験を中止する。
現場実証試験			第 10 章参照

9.3 試験結果

9.2 項の試験計画に基づいて、各社における自主試験および、立会い試験を行った。

優先開発で試作したデータ送信ユニット、データ回収装置および立会い試験時の写真を表 9.4 に示す。また、各社の試験結果を表 9.5、表 9.6、表 9.7 に示す。

立会い試験は、平成 20 年 12 月 12 日（天候：晴れ、気温：15.7℃）に実施した。

表 9.4 データ通信システム一覧および立会い試験風景


(株)共和電業	(株)東京測器研究所	(株)坂田電機
データ送信ユニット		
		
寸法：80(w)×120(D)×55(H) 単位mm	寸法：80(w)×120(D)×56(H) 単位 mm	寸法：125(w)×175(D)×75(H) 単位mm
データ回収装置		
		
立会い試験風景		
		

表 9.5 試験結果（共和電業）

試験項目		規格	試験結果										単位	
			No1	No2	No3	No4	No5	No6	No7	No8	No9	No10		
基本性能	非直線性試験	±1% R.O	-0.09	-0.06	-0.06	-0.06	-0.08	-0.05	-0.04	-0.06	-0.08	-0.11	%	
	ヒステリシス試験	±1% R.O	-0.07	-0.05	-0.02	-0.03	-0.08	-0.03	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	%	
	通信試験	50 cm (参考)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	%	
	距離 50m	1m (参考)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	%	
消費電流確認		1095 日以上	1103	1102	1100	1100	1101	1100	1101	1100	1100	1102	日	
耐環境性能	温度試験	零点変動	±0.1 R.O	0.002	0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	0.001	0.002	0.002	0.002	%
		出力変動	±0.1 R.O	-0.013	-0.015	-0.009	-0.004	-0.004	-0.015	-0.080	-0.009	-0.004	-0.009	%
	温湿度試験		85% RH 以下	結露なし	結露なし	結露なし	結露なし	結露なし	結露なし	結露なし	結露なし	結露なし	結露なし	
立会い試験	通信試験	45 cm	(参考)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	%
		距離 50m	90 cm (参考)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	%
	限界受信距離	45 cm	60m	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	%
			80m	12.0	33.0	1.0	11.0	1.0	1.0	0.0	3.0	3.0	39.0	%
			100m	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	%
	確認 (参考)	90 cm	60m	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	%
80m			48.0	44.0	59.0	84.0	27.0	81.0	66.0	23.0	2.0	2.0	%	
100m			100	100	100	100	100	100	100	100	0.0	100	%	

表 9.6 試験結果（東京測器）

試験項目		規格	試験結果										単位	
			No1	No2	No3	No4	No5	No6	No7	No8	No9	No10		
基本性能	非直線性試験	±1% R.O	0.07	-0.03	-0.07	0.03	0.03	0.07	0.00	0.03	0.03	0.03	%	
	ヒステリシス試験	±1% R.O	0.07	0.03	0.03	0.03	0.03	0.07	0.03	0.03	0.07	0.03	%	
	通信試験	50 cm (参考)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	%	
	距離 50m	1m (参考)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	%	
消費電流確認		1095日 以上	1263	1325	1245	1299	1285	1241	1321	1314	1270	1263	日	
耐環境性能	温度試験	零点 変動	±0.1% R.O	0.000	-0.001	0.000	-0.003	0.000	-0.003	-0.002	-0.002	-0.003	-0.002	%
		出力 変動	±0.1% R.O	0.001	0.002	-0.011	-0.006	0.006	0.003	0.001	-0.002	-0.010	0.008	%
	温湿度試験		85% RH 以下	結露 なし	結露 なし	結露 なし	結露 なし	結露 なし	結露 なし	結露 なし	結露 なし	結露 なし	結露 なし	
立会い試験	通信試験	45 cm	(参考)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	%
		90 cm	(参考)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	%
	限界受信距離	45 cm	60m	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	1.0	0.0	%
			80m	0.0	65.0	7.0	0.0	0.0	47.0	0.0	0.0	50.0	0.0	%
			100m	3.0	100	95.0	3.0	2.0	61.0	2.0	52.0	100	2.0	%
	確認 (参考)	90 cm	60m	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	%
			80m	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	%
100m			0.0	100	22.0	0.0	0.0	8.0	0.0	7.0	93.0	0.0	%	

表 9.7 試験結果 (坂田電機)

試験項目		規格	試験結果										単位	
			No1	No2	No3	No4	No5	No6	No7	No8	No9	No10		
基本性能	非直線性試験	±1% R.O	-0.11	-0.09	0.29	-0.11	0.11	-0.14	-0.17	-0.11	-0.14	-0.17	%	
	ヒステリシス試験	±1% R.O	0.26	0.09	-0.17	0.14	0.06	0.26	-0.09	-0.11	0.23	-0.14	%	
	通信試験 50cm	(参考)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	%	
	通信試験 距離 50m	1m (参考)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	%	
消費電流確認		1095日 以上	1165	1190	1167	1126	1192	1168	1211	1181	1192	1159	日	
耐環境性能	温度試験	零点変動	±0.1% R.O	0.008	0.003	0.005	0.004	0.002	0.001	0.003	0.003	0.003	0.003	%
		出力変動	±0.1% R.O	0.005	0.009	0.004	0.003	0.002	0.003	0.003	0.005	-0.001	0.004	%
	温湿度試験		85% RH 以下	結露 なし	結露 なし	結露 なし	結露 なし	結露 なし	結露 なし	結露 なし	結露 なし	結露 なし	結露 なし	
立会い試験	通信試験 距離 50m	45cm	(参考)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	%
		90cm	(参考)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	%
	限界受信距離	45cm	60m	0.0	14.0	3.0	0.0	19.0	0.0	22.0	4.0	0.0	0.0	%
			80m	96.0	100	80	96	100	96	100	100	56	100	%
			100m	100	100	100	100	100	100	100	100	56	100	%
	確認 (参考)	90cm	60m	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	0.0	8.0	0.0	0.0	%
			80m	0.0	0.0	0.0	0.0	90.0	36.0	0.0	94.0	0.0	52.0	%
100m			100	100	100	92.0	100	0.0	100	100	100	100	%	

9.3.1 評価

各社ともに、表 9.8 に示すように、各試験において、目標仕様を満たす性能を確認することができた。

表 9.8 試験評価（良好、概ね良好、注意、×不良）

試験項目		規格	(株)共和電業	(株)東京測器研究所	坂田電機(株)
基本性能	非直線性試験	±1%R.O			
	ヒステリシス試験	±1%R.O			
	通信試験(距離 50m)	エラー率 3%以内			
	消費電流確認	1095 日 以上			
耐環境性能	温度試験	零点変動	±0.1%R.O		
		出力変動	±0.1%R.O		
	温湿度試験	85%RH 以下			
立会い試験	通信試験(距離 50m)	エラー率 3 3%以内			
	限界受信距離確認試験 (参考値)		80m	100m	80m

本結果は、立会い試験時の環境で得られた結果であり、使用環境により変わることには注意が必要である。

10. 現場実証試験

10.1 試験概要

10.1.1 試験目的

優先開発と拡張開発で開発した緊張治具、荷重計、データ通信システムを実現場へ導入し取付け作業性、耐久性、適応性などを検証した。また、試験結果から得られた課題および問題点を整理し、改良するポイントの抽出を行った。

10.1.2 現場条件

(1) 優先開発

対象斜面

試験対象斜面は本試験の実施日より約 7 年前に道路改良工事に伴い建設されたものである。試験斜面および試験位置を展開図(図 10.1)と横断面図(図 10.2)に示す。

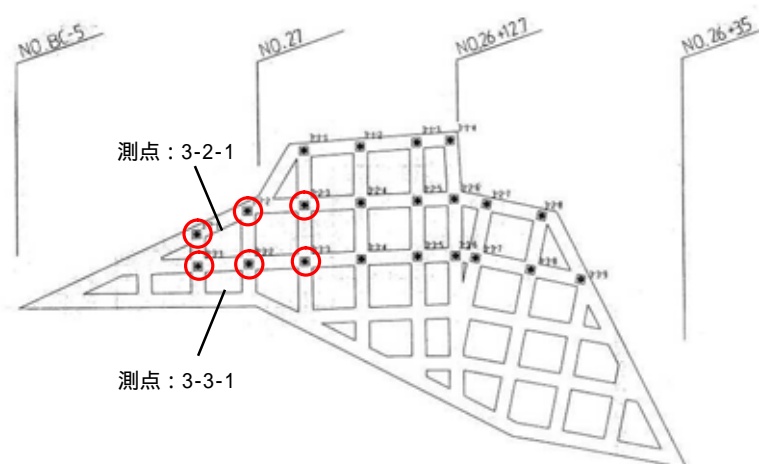


図 10.1 展開図

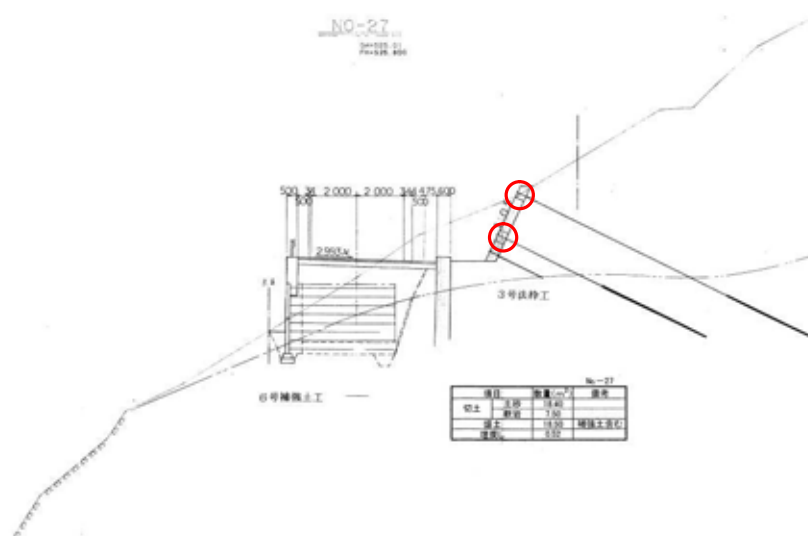


図 10.2 横断面図

試験対象アンカー

試験対象アンカーは切土斜面の安定を図るために設置されたVSLアンカー(E5-4)である。

事前調査により設計図書および施工計画書から把握したアンカーの諸元を表 10.1 に、また現地調査時のアンカーヘッドの状態を写真 10.1 および写真 10.2 に示す。

表 10.1 アンカー諸元一覧表

測点	アンカー諸元						
	規格	自由長 (m)	定着長 (m)	弾性係数 (kN/mm ²)	断面積 (mm ²)	設計荷重 (kN)	定着荷重 (kN)
3-2-1~3 (上段部)	VSL E5-4	10.0	5.0	196.0	394.8	506.0	404.7
3-3-1~3 (下段部)	VSL E5-4	5.0	5.0	196.0	394.8	506.0	404.7

設計荷重：地震時の検討により求められた値。



写真 10.1 アンカー頭部構造(斜め)



写真 10.2 アンカー頭部構造(正面)

(2) 拡張開発

①対象斜面

試験対象斜面は本試験の実施日より約 9 年前に、道路改良工事に伴い建設されたものである。試験斜面および試験位置を展開図 (図 10.3) と横断図 (図 10.4) に示す。

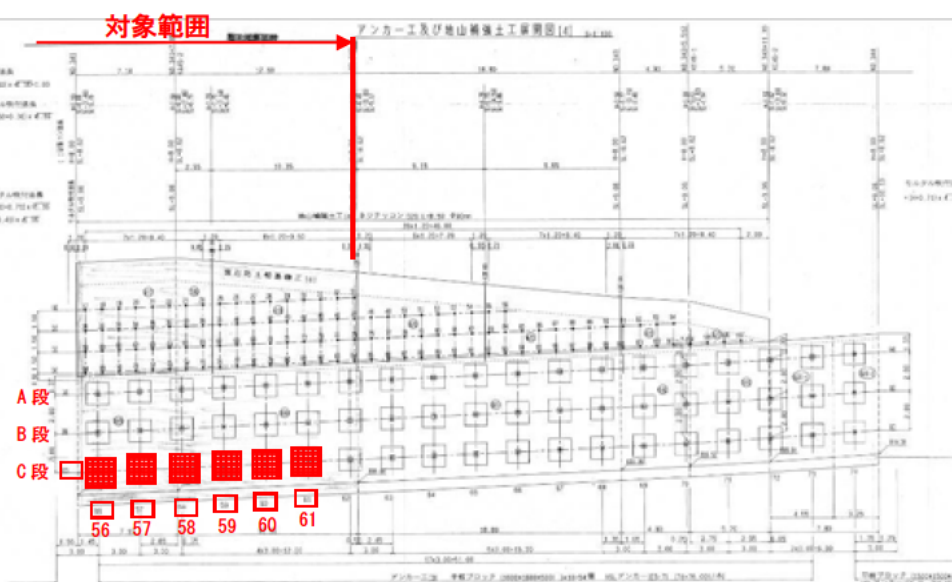


図 10.3 展開図

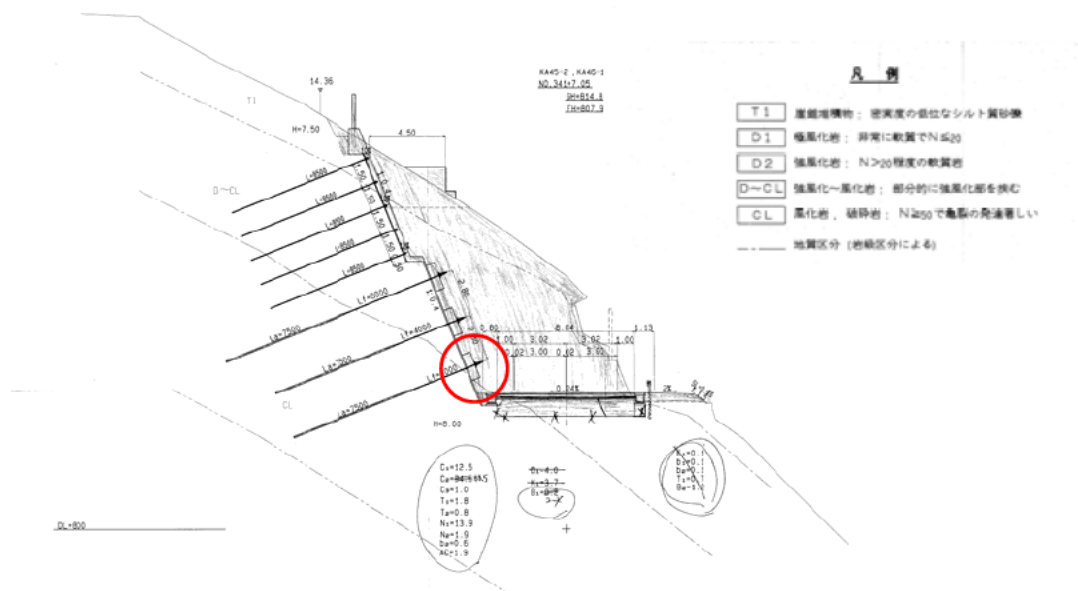


図 10.4 横断図

試験対象アンカー

試験対象アンカーは切土斜面の安定を図るために設置された VSL アンカー (E5-7) である。事前調査により設計図書および施工計画書等から把握したアンカーの諸元を表 10.2 に、また現地調査時のアンカーヘッドの状態を写真 10.3 および写真 10.4 に示す。

表 10.2 アンカー諸元一覧表

測点	アンカー諸元						
	規格	自由長 (m)	定着長 (m)	弾性係数 (kN/mm ²)	断面積 (mm ²)	設計荷重 (kN)	定着荷重 (kN)
C-56~61	VSL E5-7	4.0	7.5	192.0	687.0	744.8	732.6



写真 10.3 アンカーヘッド構造 (斜め)



写真 10.4 アンカーヘッド構造 (正面)

10.2 試験計画（緊張治具）

優先開発および拡張開発で製作した緊張治具の現場での適応性・耐久性・作業性を下記の試験項目により検証を行った。

10.2.1 試験項目

試験は、表 10.3 に示す項目を実施した。

表 10.3 試験項目

試験名	評価性能	評価基準	確認タイミング	備考
取付け作業性 確認試験	作業性	スムーズに既設アンカー頭部に荷重計を取付けできること	取付け作業時	
現場適応性試験	耐久性	試験期間中において治具の腐食等の不具合が見られないこと	試験期間適宜及び試験終了時	
交換作業性確認試験	作業性	スムーズに既設アンカー頭部から荷重計を取外すことができること	試験期間適宜及び試験終了時	

10.2.2 取付け作業性確認試験

取付け作業性確認試験は、既設アンカーに今回開発した緊張治具を用いて専用の荷重計を設置する作業を実施し、各作業段階（各作業手順段階）での作業性を確認した。

（1）試験手順

取付け作業は表 10.4 に示す試験手順に従って実施し、10.2.5 評価方法に示すチェック項目にて評価した。

表 10.4 取付け作業性試験 試験手順

手順	作業内容	備考
1	アンカーヘッドキャップ（正規品）の取外し	
2	防錆油の除去、アンカー頭部の目視点検	
3	荷重計及び緊張治具の取付け	
4	緊張治具によるリフトオフ試験	詳細は、別記
5	荷重計への緊張力移行	
6	定着荷重の確認（チェックリフトオフ試験）	優先開発時は未実施
7	緊張治具の取外し	
8	試験用ヘッドキャップの取付け及び防錆処理	
9	データ通信ユニットの取付け・調整	

作業内容の詳細を以下に示す（図 10.5、図 10.7）。

【手順 1】アンカーヘッドキャップの取外し

対象アンカーの既設アンカーヘッドキャップを取り外す。

【手順 2】防錆油の除去、アンカー頭部の目視点検

防錆油の除去を行いアンカー頭部の健全性（鋼線の損傷、さびの度合い）を目視にて確認する。

【手順 3】荷重計及び緊張治具の取付け

ジョイントスリーブを取付ける。ジョイントスリーブと既設アンカーヘッドは、隙間を開けて設置する。

既設アンカーヘッドに荷重計を取り付ける。

テンションスリーブ、定着ナットを取り付ける。

テンションロッドを取付け、ラムチェア、ジャッキ、テンションナットを設置する。

【手順 4】緊張治具によるリフトオフ試験

取付けた緊張治具を用いてリフトオフ試験を実施し、アンカーに導入されている現状の緊張力を測定する。リフトオフ試験の詳細については、次項で述べる。

【手順 5】荷重計への緊張力移行

リフトオフ荷重を確認後、テンションナットを締め付けて荷重計と密着させ、ジャッキ荷重を除荷する。このとき、荷重計の指示値を確認する。

【手順 6】 定着荷重の確認（チェックリフトオフ試験）

荷重計定着後、再度リフトオフ試験（チェックリフトオフ試験）を行い、荷重 - 変位曲線から荷重計に作用しているアンカー緊張力を求める。

【手順 7】 緊張治具の取外し

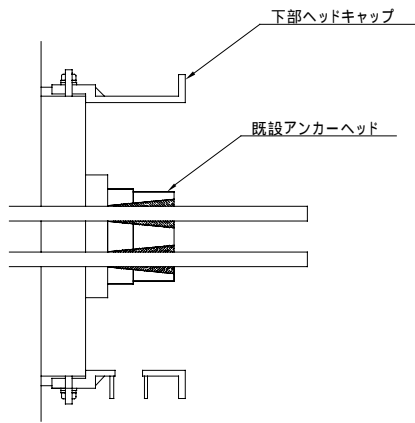
存置治具（テンションスリーブ、ジョイントスリーブ、定着ナット）以外の緊張治具を取り外す。

【手順 8】 試験用ヘッドキャップの取付け及び防錆処理

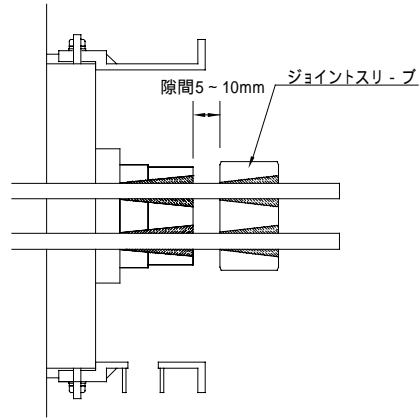
緊張治具を取外した後、ジョイントスリーブ下部に防錆油を注入する。そして、試験用ヘッドキャップ（図 10.6、図 10.8）を取り付け、注入孔より防錆油を注入、充填する。

【手順 9】 データ通信ユニットの取付け・調整

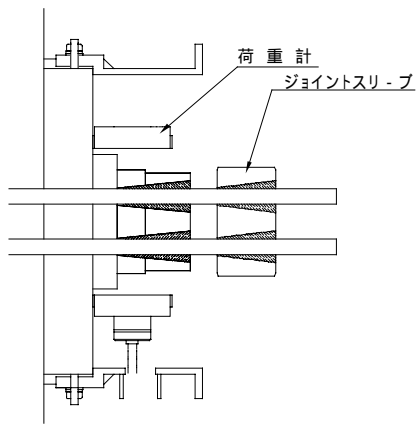
試験用ヘッドキャップ取り付け後、データ通信ユニットをヘッドキャップに取り付け、荷重計の計測を開始する。



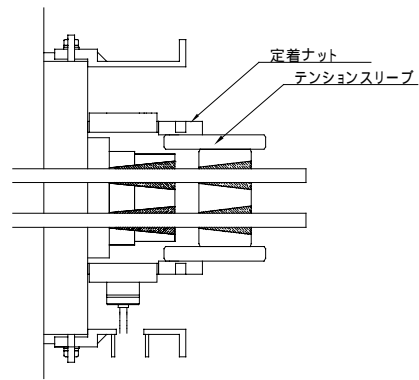
a) 下部ヘッドキャップの取付け



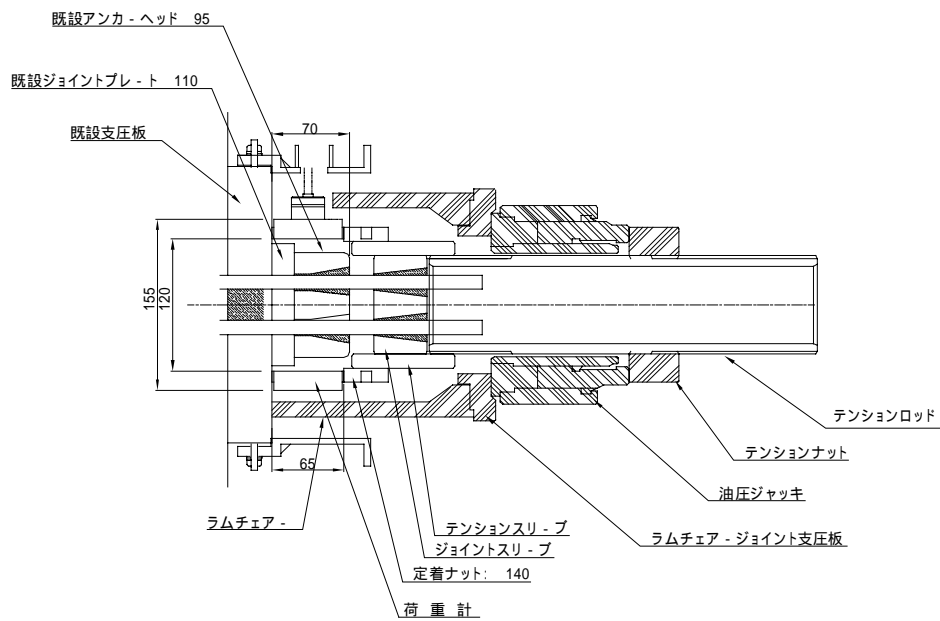
b) ジョイントスリーブの取付け



c) 既設アンカーヘッドへ荷重計の取付け



d) テンションスリーブ、定着ナット取付け



e) テンションロッド等の取付け

図 10.5 荷重計及び緊張治具の取付け手順 (優先開発 500kN タイプ試験時)

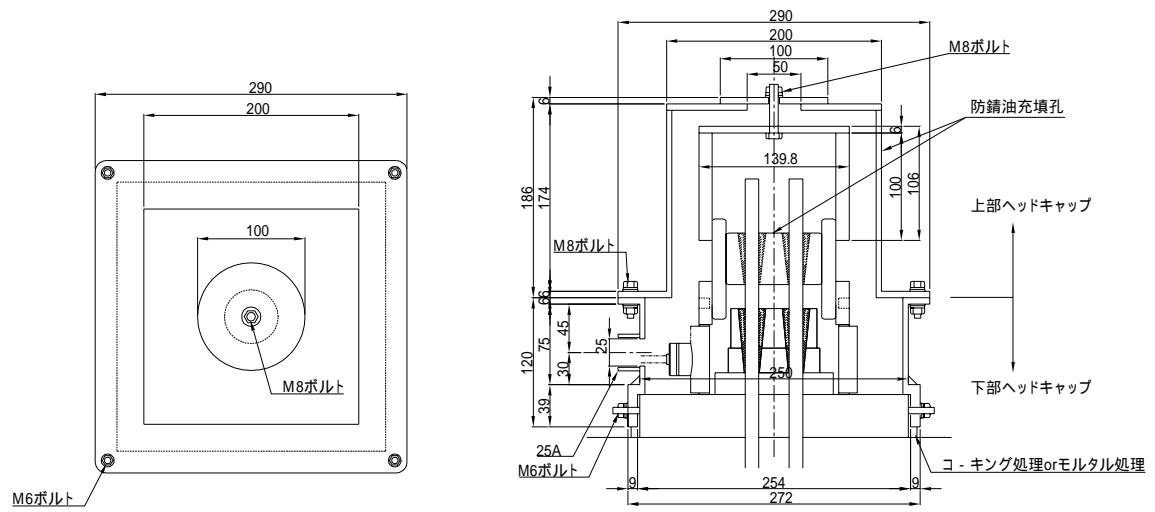


図 10.6 試験用ヘッドキャップの構造（優先開発 500kN タイプ試験時）

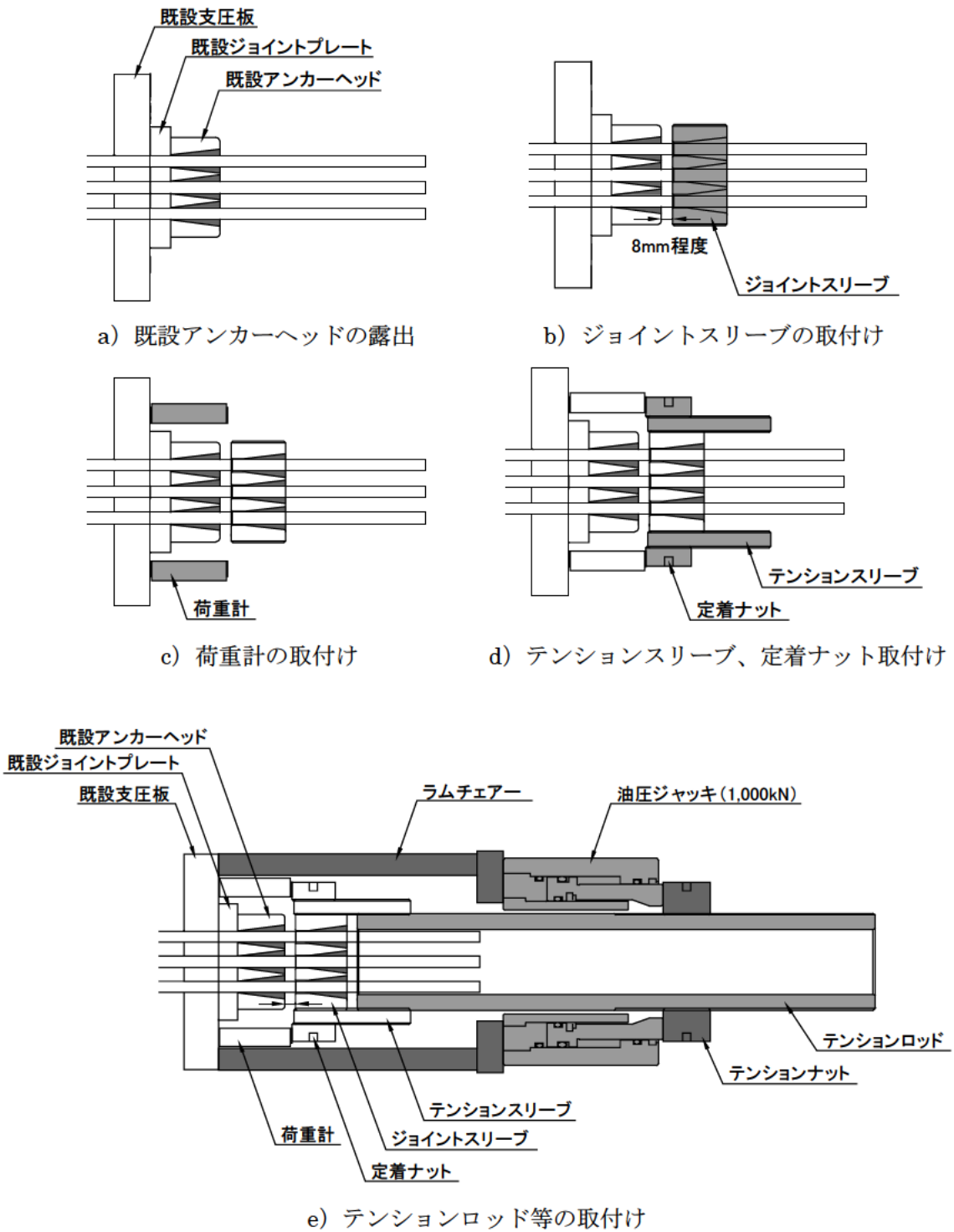


図 10.7 荷重計及び緊張治具の取付け手順（拡張開発 1,000kN タイプ試験時）

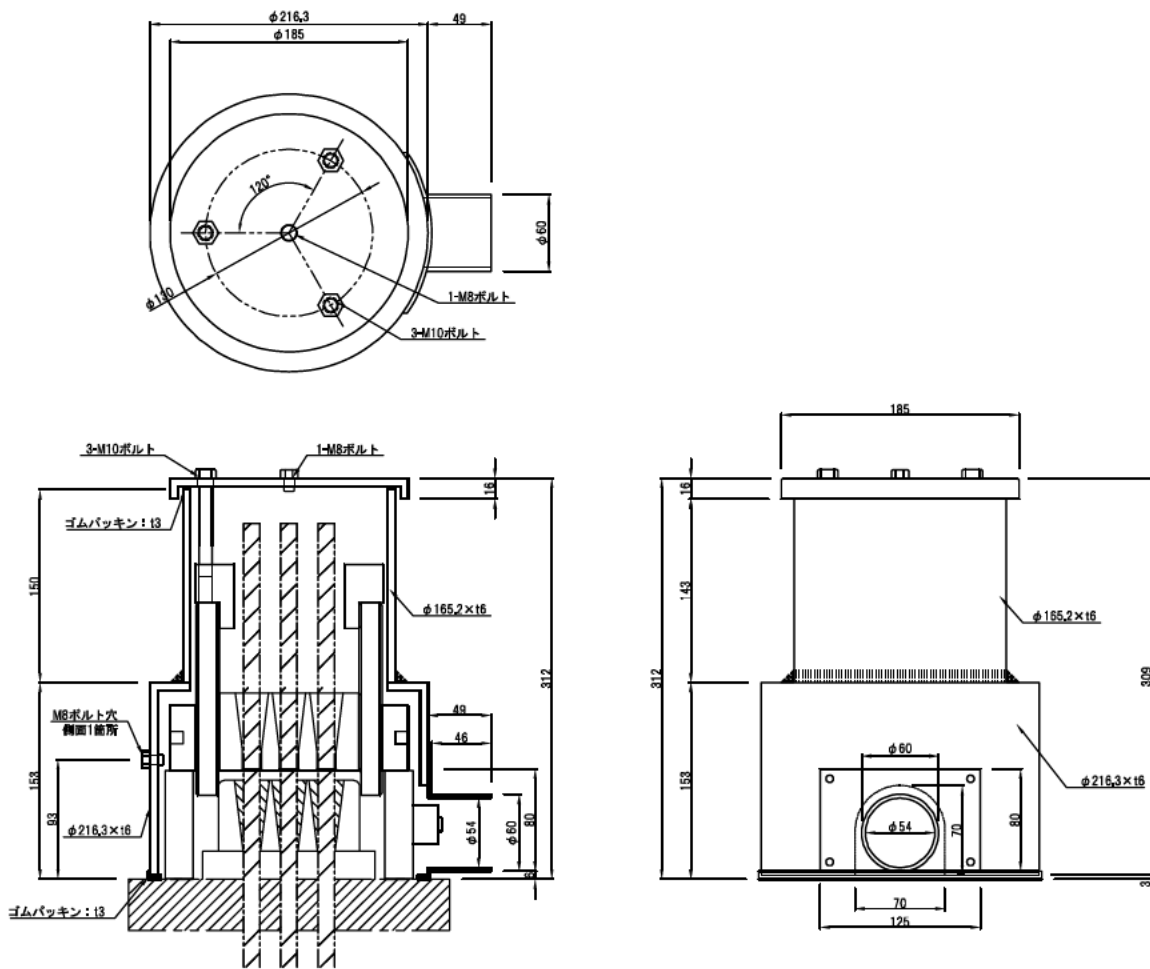


図 10.8 試験用ヘッドキャップの構造（拡張開発 1,000kN タイプ試験時）

(2) リフトオフ試験

アンカーに導入されている緊張力を求めるためにリフトオフ試験を行った。リフトオフ試験は、再緊張余長に治具を取付け、油圧ジャッキにより載荷することによってアンカーヘッドが支圧板から離れ始めた時の荷重を測定し、荷重-変位曲線から導入緊張力を求めた。

① 試験方法

リフトオフ試験の概要を図 10.9 に示す。

なお、試験方法及び計測データの整理方法は、「グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説」¹⁾を基本に計画しているが、開発の検討を行うために載荷サイクルは独自に設定した。

参考文献

- 1) 地盤工学会：グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説，平成 12 年 3 月

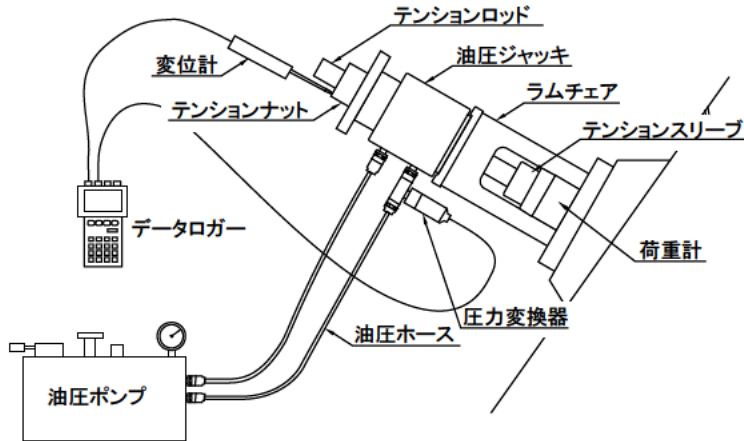


図 10.9 リフトオフ試験の概要

表 10.5 計測項目

項目	センサー	計測位置	備考
アンカーヘッドの変位	変位計	テンションナット部	
ジャッキの油圧	圧力計	油圧配管部	
(荷重計試作品の荷重)	荷重計	荷重計試作品	荷重計WG担当

リフトオフ試験表

1. 試験諸元

工事名	
試験場所	
試験日	
アンカー番号	
試験最大荷重	kN

2. 試験アンカーの諸元

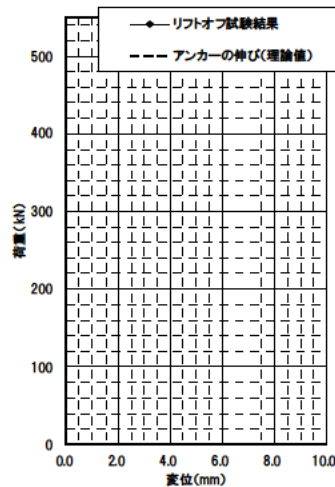
アンカー規格	
アンカー長	m
着長	m
緊張自由長	m
弾性係数 Es	kN/mm ²
断面積 As	mm ²

【参考】

$\Delta F = \Delta L \cdot Isf / (As \cdot Es)$
 ΔL : 増加変位量 (mm)
 ΔF : 増加荷重量 (kN)
 Isf: アンカー自由長 (mm)
 As: アンカーの断面積 (mm²)
 Es: アンカーの弾性係数 (kN/mm²)

3. 計測値

No.	変位		備考
	荷重 (kN)	読み値 (mm) / 変位量 (mm)	
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			



4. 試験結果

リフトオフ荷重	kN
---------	----

図 10.10 リフトオフ試験表例

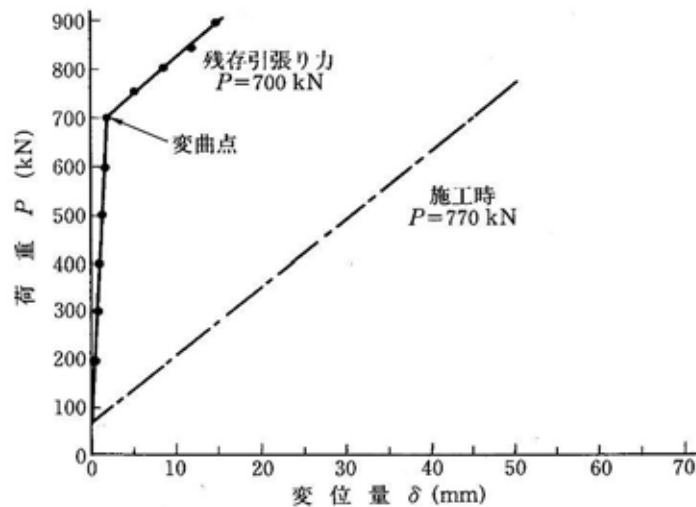


図 10.11 リフトオフ試験結果の整理方法例（荷重 - 変位曲線）

試験計画

優先開発及び拡張開発におけるリフトオフ試験の計画を表 10.6 及び表 10.7 に示す。それぞれの設定値については、試験アンカーの諸元等をもとに決定した。

表 10.6 リフトオフ試験の荷重管理基準の目安（優先開発 500kN タイプ試験時）

項目	設定値 ¹	
	荷重計取付け時	荷重計取外し時
最大試験荷重 ²	506 kN	取付け時の最大試験荷重
初期荷重	40 kN	
載荷速度	20 kN/min	
載荷ステップ ³	0kN 40kN（初期荷重）最大荷重（荷重計取付け） 0kN	0kN 40kN（初期荷重）取付け時の最大荷重（荷重計取外し） 0kN 最大荷重（チェックリフトオフ） 0kN
荷重保持時間	1分	なし（連続載荷）
測定頻度	20kN毎	細かく

- 1 設定値は、現場状況に応じて適宜変更する。
- 2 設計資料より、地震時設計アンカー力
- 3 荷重計取付け時では、リフトオフ確認後、リフトオフ荷重の 1.1 倍まで載荷する。ただし、最大 506kN までとする。
荷重計取外し時では、荷重計取付け時の最大荷重を最大とする。

表 10.7 リフトオフ試験の荷重管理基準の目安（拡張開発 1,000kN タイプ試験時）

項 目	設定値 ¹	
	荷重計取付け時	荷重計取外し時
最大試験荷重	800 kN	取付け時の最大試験荷重
初期荷重	80 kN	
載荷速度	20 kN/min	
載荷ステップ ²	0kN 80kN（初期荷重） 最大荷重（予備緊張） 0kN 最大荷重（荷重計取付け） 0kN 最大荷重（チェックリフトオフ） 0kN	0kN 80kN（初期荷重） 取付け時の最大試験荷重（荷重計取外し） 0kN 最大荷重（チェックリフトオフ） 0kN
荷重保持時間	なし（連続載荷）	
測定頻度	10kNごと	細かく

- 1 設定値は、現場状況に応じて適宜変更する。
- 2 荷重計取付け時では、リフトオフ確認後、リフトオフ荷重の 1.1 倍まで載荷する。ただし、最大 800kN までとする。
荷重計取外し時では、荷重計取付け時の最大荷重を最大とする。

リフトオフ量の算出

アンカーがリフトオフし、弾性変位区間に入ってからからの載荷荷重とPC鋼より線の伸び量の関係は、下式により計算した。

$$u = T \cdot l_{sf} / (A_s \cdot E_s) \quad \dots \quad \text{数式 10.1}$$

u : 増加変位量 [mm]

T : 増加荷重量（測定荷重 - リフトオフ荷重） [kN]

l_{sf} : テンドン自由長（厳密には、再緊張余長やテンションロッドの長さも含まれる）
[mm]

A_s : アンカーの断面積 [mm²]

E_s : アンカーの弾性係数 [kN/mm²]

10.2.3 現場適応性試験（耐久性の評価）

試験期間中、残存治具（テンションスリーブ、ジョイントスリーブ、定着ナット）に異常がないかを確認し、導入緊張力の低下が無いかを確認した。異常が確認された場合は試験を中止し、アンカー緊張力を既設アンカーヘッドに転換させる。既設アンカーヘッドに荷重が移行しても、リフトオフ荷重より定着荷重が低い場合はアンカーの再緊張を行うこととした。

10.2.4 交換作業性確認試験

(1) 試験内容

試験終了時に取付けた荷重計を外す作業を行う。この時の作業性を確認し、交換作業性を評価した。

(2) 試験手順

作業は、表 10.8 に示す手順で実施し、取付け作業の評価と同様に 10.2.5 評価方法に示すチェック項目の評価を行った。

表 10.8 交換作業性確認試験 作業手順

手順	作業内容	備考
1	試験用ヘッドキャップの取外し	
2	防錆油の除去、アンカー頭部の目視確認	
3	緊張治具の取付け	
4	リフトオフ試験の実施	
5	荷重計の取外し（解放）	
6	試験後の緊張力確認（チェックリフトオフ試験）	
7	緊張治具の取外し	
8	ヘッドキャップ（正規品）の取付け及び防錆処理	

【手順 1】試験用ヘッドキャップの取外し

試験用ヘッドキャップを取り外す。

【手順 2】防錆油の除去、アンカー頭部の目視確認

充填した防錆油の除去を行い、アンカー頭部の状況を目視にて確認する。

【手順 3】緊張治具の取付け

テンションスリーブにテンションロッドを接続し、ラムチェア、ジャッキ、テンションナットを取り付ける。

【手順 4】リフトオフ試験の実施

荷重計を取り付けた状態におけるアンカー緊張力をリフトオフ試験にて求める。ここでは、荷重計の取外しは行わず、最大荷重まで載荷後、油圧ジャッキを解放させる。

【手順5】荷重計の取外し（解放）

荷重計の取外しを行うため、再びリフトオフ試験を実施し、リフトオフ後の最大荷重時に定着ナットを緩める。その後、緩やかに油圧ジャッキを除荷し、既設アンカーヘッドへ緊張力を移行させる。

【手順6】試験後の緊張力確認（チェックリフトオフ試験）

現状復旧（荷重計を取外し、既設アンカーヘッドで定着した状態）したアンカーの緊張力を確認するため、再びリフトオフ試験（チェックリフトオフ試験）を実施する。

【手順7】緊張治具の取外し

ジャッキの除荷後、ジャッキ、ラムチェア、テンションナット、テンションロッドを取り外した。そして、残存治具の定着ナット、テンションスリーブ、ジョイントスリーブを外し、最後に荷重計と下部ヘッドキャップを取り外す。なお、ジョイントスリーブの外し方については、図 10.12 に示すように取外し治具を用いて行う。

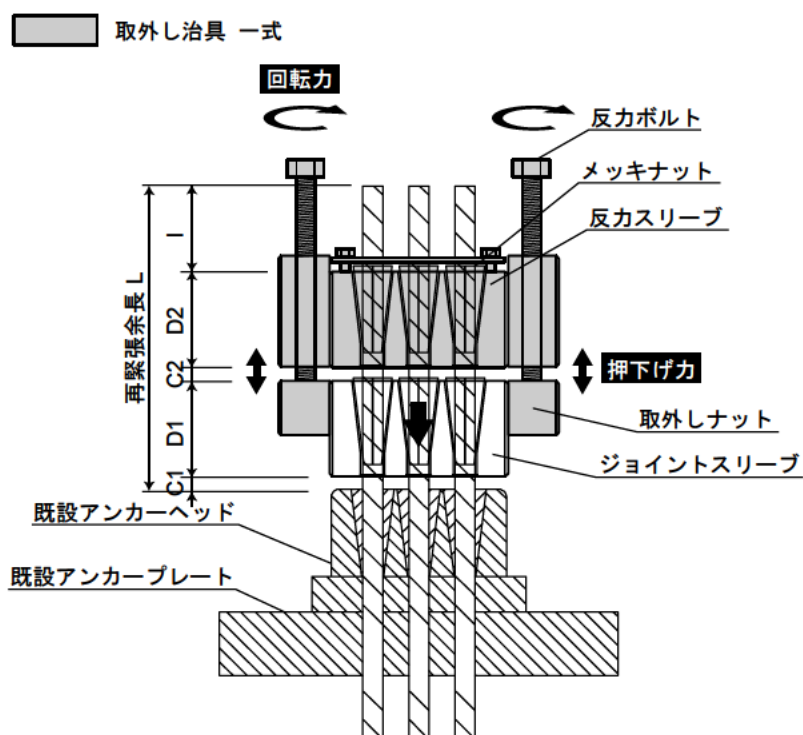


図 10.12 取外し治具の構造及び取外し方法

【手順8】ヘッドキャップ（正規品）の取付け及び防錆処理

既設アンカーヘッドに防錆油を塗布し、ヘッドキャップを取り付け、ヘッドキャップ内に防錆油の充填を行う。

10.2.5 評価方法

(1) 取付け作業性確認試験

取付け作業性は表 10.9 の項目を確認した。

表 10.9 取付け作業性確認試験 チェック表

	チェック項目	問題点
1	荷重計及び緊張治具の取付けしやすさ	
2	緊張治具によるリフトオフ	
3	荷重計への緊張力転換	
4	緊張治具の取外しのしやすさ	
5	ヘッドキャップの取付け及び防錆処理	

(2) 現場適応性試験（耐久性）

現場への適応性は、表 10.10 に示す項目を確認した。

表 10.10 現場適用性試験 チェック表

	チェック項目	問題点
1	リフトオフ荷重の確認	
2	導入緊張力の低下の有無	
3	残存治具の損傷、不具合（長期）	
4	アンカーの防錆処理状況（劣化の有無）	

(3) 交換作業性確認試験

交換作業性は表 10.11 の項目を確認した。

表 10.11 交換作業性確認試験 チェック表

	作業内容	問題点
1	ヘッドキャップの取外しやすさ	
2	防錆油の除去	
3	緊張治具の取付け	
4	緊張治具によるリフトオフ	
5	荷重計の緊張力解放	
6	緊張治具の取外し	

10.3 試験計画（荷重計）

10.3.1 試験項目

試験は、表 10.12 に示す項目を実施した。

表 10.12 試験項目

試験名	評価性能	評価基準	確認タイミング	備考
現場適応性試験	適応性	既設アンカー頭部に対して問題なく取付けができ、緊張力を計測できること	取付け作業時	
	耐久性	試験期間中において腐食等による荷重計測値の異常が見られないこと	試験期間適宜及び試験終了時	

10.3.2 試験方法

(1) 現場適応性試験

荷重計を現場アンカーに設置したまま放置し、現場環境における耐久性等の検証を行った。

適応性

既設アンカーヘッドに正常に設置された事を以下の項目により確認した。

- 1) リフトオフ荷重。
- 2) 設置直後アンカー荷重計出力値
- 3) 設置後 5 分経過時アンカー荷重計出力値
- 4) 目視検査

耐久性

データ取得時及び機器撤去時に以下の項目に異常が無い事を確認した。

- 1) 回収したアンカー荷重計出力値
- 2) 目視検査（但し、データ取得時はヘッドキャップによって確認することは出来ないため、目視で確認出来る範囲の検査とした。）

10.3.3 評価方法

(1) 現場適応性試験

現場への適応性は表 10.13 の項目を確認した。

表 10.13 現場適用性試験 チェック項目一覧表

	チェック項目	問題点
1	リフトオフ荷重の確認 リフトオフ荷重と設置後のアンカー荷重計出力値を比較して、その差が荷重計に対する目標性能以内である事。 ・優先開発の目標性能は±10%以内 ・拡張開発の目標性能は±5%以内	
2	導入緊張力の低下の有無	
3	残存治具の損傷、不具合（長期）	
4	アンカーの防錆処理状況（劣化の有無）	

10.4 試験計画（データ通信システム）

データ通信システムの現場における最終評価は、3.開発計画で述べたように「拡張開発」の試験によるものとした。

10.4.1 試験項目

試験は、表 10.14 に示す項目を実施した。

表 10.14 試験項目

試験名	評価性能	評価基準	確認タイミング	備考
現場適応性試験	耐久性	試験期間中において腐食等による通信データの異常が見られないこと	試験期間適宜及び試験終了時	
データ取得試験	通信性能	現場条件において通信距離 50m を達成できること	取付け作業時	
	データ取得・保存性能	荷重計計測値を取得し、保存、回収ができること	試験期間適宜及び試験終了時	
	電池寿命	目標の電池寿命を達成すること	試験期間適宜及び試験終了時	

10.4.2 試験方法

(1) 現場適応性試験

データ送信ユニットを現場アンカーに設置したまま放置し、現場環境における耐久性等の検証を行った。

耐久性

試験期間中において腐食等による通信データの異常が見られないことを確認した。

- 1) データ回収時に全データ送信ユニットの外観を検査及び写真撮影をした。
- 2) データ回収時に全データが正常に回収されていることを確認した。
- 3) データ送信ユニット撤去後、各社にてその性能検査を行った。

(2) データ取得試験

荷重計に付属して取付けたデータ送信ユニットにてアンカー緊張力の計測データを蓄積できるか検証を行った。また、無線通信により遠隔地から蓄積したデータを取得できるか検証した。

機器の組合せ

各社の荷重計とデータ送信ユニットの組合せは表 10.15 とした。

表 10.15 荷重計とデータ送信ユニットとの組合せ

荷重計		データ送信ユニット
荷重計製作会社	荷重測定方式	データ通信システム製作会社
坂田電機製荷重計	差動トランス式	坂田電機製データ送信ユニット
東京測器研究所製荷重計	ひずみゲージ式	東京測器研究所製データ送信ユニット
エスイー製荷重計	ひずみゲージ式	東京測器研究所製データ送信ユニット
守谷鋼機製荷重計	油圧式 ひずみゲージ式	東京測器研究所製データ送信ユニット
東横エルメス製荷重計	ひずみゲージ式	共和電業製データ送信ユニット
共和電業製荷重計	ひずみゲージ式	共和電業製データ送信ユニット

測定頻度

基本的に荷重計の測定頻度は2回/日以上とした。

データ回収時期

データの回収は表 10.16 の時期とし、担当会社がデータの回収作業を行った。

表 10.16 データ回収日一覧表

試験名		計測予定日		備考
		優先開発	拡張開発	
データ取得試験	第1回	設置後1ヵ月	設置後1ヵ月	
	第2回	設置後3ヶ月	設置後3ヶ月	
	第3回	設置後6ヶ月	設置後6ヶ月	
	第4回	設置後12ヶ月		

通信システムの配置

データ送信ユニットはヘッドキャップ部に配置する。共和電業は図 10.13 に示すソーラーパネルを装備したデータ回収システム 1 台を現場に設置した。なお、このシステムは開発対象外とし性能等の評価は行わないこととした。

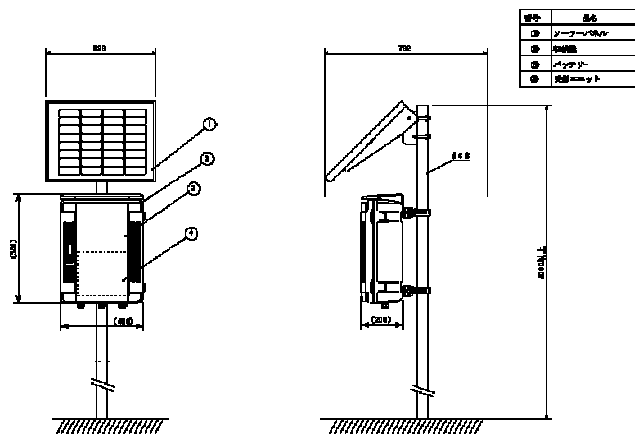


図 10.13 共和電業のデータ回収システム（設置例）

通信性能

現場条件において通信距離 50m を達成できることを確認した。

- 1) 50m 離れた位置にデータ回収装置（データ送信ユニットは荷重計カバーに結束線等で固定）を設置し、通信できることを確認した。
- 2) データ回収装置の位置を数箇所変更し、通信できることを確認した。
- 3) 参考データとして最大通信距離を計測した。

データ取得・保存性能

荷重計計測値を取得し、保存、回収が出来ることを確認した。

- 1) 荷重計設置後、連続 10 回又は 1 分インターバルで 10 回データを取得し、保存できていること、更にデータ回収装置にてデータを回収できることを確認した。
- 2) 1) 項確認後は、1 日 2 回以上のデータ取得を行い、定期回収日にそのデータの回収を行い、正常動作を確認することとした。

電池電圧の確認

- 1) 第 1 回目データ回収時にデータ通信システム各社は、其々の電池電圧の確認を行った。
- 2) 撤去時に電池電圧の確認を行い、第 1 回目データ回収時に確認した電池電圧値と比較を行った。

10.4.3 評価方法

(1) 現場適応性試験

現場への適応性は表 10.17 の項目を確認した。

表 10.17 現場適用性試験 チェック項目一覧表

	チェック項目	問題点
1	通信機器の腐食状況チェック	
2	通信機器の損傷チェック	
3	データ通信の回収状況チェック	
4	撤去後、性能検査	

(2) データ取得試験

通信性能

表 10.18 に示す項目を確認した。

表 10.18 通信性能試験 チェック項目一覧表

	チェック項目	問題点
1	50m離れた位置で通信できること	
2	データ回収装置の位置を数箇所変更し通信できること	
3	最大通信距離を確認する	

データ取得・保存性能

表 10.19 に示す項目を確認した。

表 10.19 データ取得・保存性能 チェック項目一覧表

	チェック項目	問題点
1	設置直後：連続 10 回測定回収できること	
2	定期回収日：データ欠測が無いこと	
3	定期回収日：異常データが無いこと	
4	定期回収日：通信ができること	

電池寿命

表 10.20 に示す項目を確認した。

表 10.20 電池寿命 チェック項目一覧表

	チェック項目	問題点
1	第 1 回目：電池電圧チェック	
2	撤去時・撤去後：電池電圧チェック	

10.5 試験結果 優先開発（緊張治具）

10.5.1 取付け作業性確認試験

取付け作業性確認試験では、これに先立ってアンカー頭部状況の確認とアンカー緊張力を把握するためのリフトオフ試験を実施した。それらの結果を以下に示す。

（１）アンカー頭部状況の確認

取付け作業性確認試験を実施する前に、試験アンカー（６本）のヘッドキャップを外し、再緊張余長の測定とアンカー頭部の状況を確認した。その結果を表 10.21、表 10.22 及び写真 10.5、写真 10.6 に示す。

再緊張余長の測定結果

試験対象アンカーの再緊張余長は最小 124mm，最大 187mm であり、60mm 以上であるため、荷重計を取付けるために必要な余長が確保されていた。

アンカー頭部部材の目視点検結果

ジョイントプレートや支圧板の一部に若干の錆が認められたが、くさびや PC 鋼より線は良好であり、アンカーは健全であると判断した。

表 10.21 試験アンカーの再緊張余長の測定結果

アンカー 番号	再緊張余長の長さ（mm）				備考
	1	2	3	4	
3-2-1	157	146	153	150	
3-2-2	149	150	150	147	
3-2-3	187	186	184	183	最大値 187mm
3-3-1	147	150	142	146	
3-3-2	136	133	128	124	最小値 124mm
3-3-3	168	169	162	158	

表 10.22 試験アンカーのアンカー頭部部材の目視点検結果

アンカー 番号	目視点検結果					評価
	支圧板	アンカー ヘッド	ジョイント プレート	PC 鋼 より線	くさび	
3-2-1	ネジ部に若干の錆あり	ジョイントプレートとの接触面に若干の錆あり	若干の錆あり	良好	良好	健全
3-2-2	ネジ部に若干の錆あり	ジョイントプレートとの接触面に若干の錆あり	若干の錆あり	良好	良好	健全
3-2-3	ネジ部に若干の錆あり	ジョイントプレートとの接触面に若干の錆あり	若干の錆あり	良好	良好	健全
3-3-1	ネジ部に若干の錆あり	良好	若干の錆あり	良好	良好	健全
3-3-2	ネジ部に若干の錆あり	良好	若干の錆あり	切断面に若干の錆あり	良好	健全
3-3-3	良好	若干の錆あり	良好	良好	良好	健全



a) 再緊張余長の確認



b) 頭部状況の確認

1) アンカー番号 3-2-1



a) 再緊張余長の確認



b) 頭部状況の確認

2) アンカー番号 3-2-2



a) 再緊張余長の確認



b) 頭部状況の確認

3) アンカー番号 3-2-3

写真 10.5 試験アンカーの再緊張余長の確認結果 (その1)



a) 再緊張余長の確認



b) 頭部状況の確認

4) アンカー番号 3-3-1



a) 再緊張余長の確認



b) 頭部状況の確認

5) アンカー番号 3-3-2



a) 再緊張余長の確認



b) 頭部状況の確認

6) アンカー番号 3-3-3

写真 10.6 試験アンカーの再緊張余長の確認結果 (その2)

(2) リフトオフ試験結果

各試験アンカーについて、リフトオフ試験を実施した結果をまとめる。リフトオフ試験結果についてまとめたものを表 10.23 に示す。また、各試験アンカーの試験状況を写真 10.7～写真 10.12 に、試験結果を試験表(表 10.24～表 10.29)に示す。

リフトオフ試験の結果、各試験アンカーに導入されている緊張力は約 270～340kN であることが求められた。

表 10.23 リフトオフ試験結果一覧

アンカー番号	試験順序	試験日	施工時定着荷重 ¹ A (kN)	リフトオフ荷重 B (kN)	差 (B-A) (kN)	低下率 ((B-A)/A) (%)	試験表
3-2-1	3	4/15	404.7	270	-134.7	33.3	表 10.24
3-2-2	2	4/15	404.7	300 ²	-104.7	25.9	表 10.25
3-2-3	1	4/15	404.7	320 ²	-84.7	20.9	表 10.26
3-3-1	6	4/16	404.7	340	-64.7	16.0	表 10.27
3-3-2	5	4/16	404.7	330	-74.7	18.5	表 10.28
3-3-3	4	4/16	404.7	340	-64.7	16.0	表 10.29

1：工事書類より引用。

2：リフトオフ試験時に定着ナットが緊張ジャッキに接触したため、緊張治具を取付け直して再試験を実施した。



写真 10.7 リフトオフ試験結果

アンカー番号：3-2-1

荷重計：共和電業製

リフトオフ荷重

A：270kN ¹

B：約 270kN ²

1 データ整理結果（確定値）

2 現場での簡易算出値（写真）



写真 10.8 リフトオフ試験結果

アンカー番号：3-2-2

荷重計：坂田電機製

リフトオフ荷重

A：300kN ¹

B：約 300kN ²

1 データ整理結果（確定値）

2 現場での簡易算出値（写真）



写真 10.9 リフトオフ試験結果

アンカー番号：3-2-3

荷重計：東京測器研究所製

リフトオフ荷重

A：320kN ¹

B：約 320kN ²

1 データ整理結果（確定値）

2 現場での簡易算出値（写真）



写真 10.10 リフトオフ試験結果

アンカー番号：3-3-1
 荷重計：東横エルメス製
 リフトオフ荷重
 A：340kN¹
 B：約 290kN²
 1 データ整理結果（確定値）
 2 現場での簡易算出値（写真）



写真 10.11 リフトオフ試験結果

アンカー番号：3-3-2
 荷重計：守谷鋼機製
 リフトオフ荷重
 A：330kN¹
 B：約 330kN²
 1 データ整理結果（確定値）
 2 現場での簡易算出値（写真）

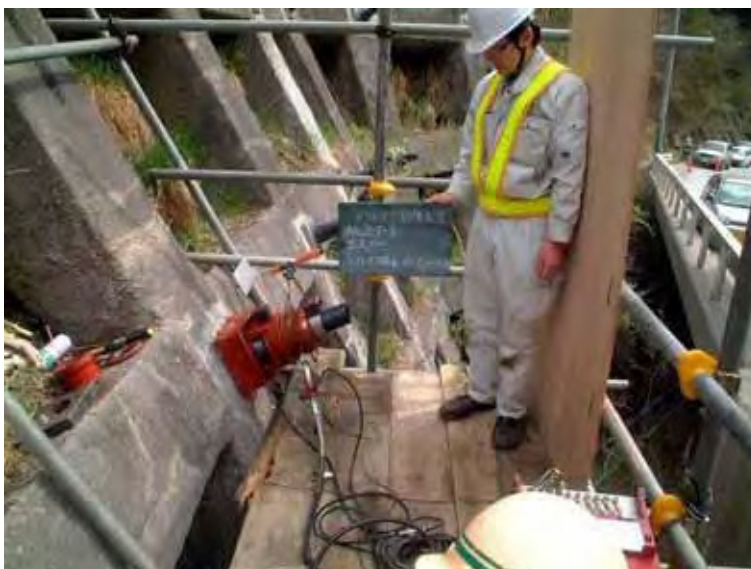


写真 10.12 リフトオフ試験結果

アンカー番号：3-3-3
 荷重計：エスイー製
 リフトオフ荷重
 A：340kN¹
 B：約 330kN²
 1 データ整理結果（確定値）
 2 現場での簡易算出値（写真）

表 10.24 リフトオフ試験表（アンカー番号：3-2-1 / 共和電業）

1. 試験諸元

工 事 名	共同研究「アンカーへの取付け・交換が容易な新型アンカー荷重計の開発」 既設アンカー緊張力モニタリングシステム現場実証試験
試 験 場 所	
試 験 日	平成20年4月15日
アンカー番号	3-2-1（設置荷重計：共和電業製）
試験最大荷重	299.8 kN

2. 試験アンカーの諸元

アンカー規格	VSL E5-4
アンカー長	15.0 m
定 着 長	5.0 m
緊張自由長	10.0 m
弾性係数 Es	196.0 kN/mm ²
断 面 積 As	394.8 mm ²

【参考】

$$\Delta u = \Delta T \cdot l_{sf} / (A_s \cdot E_s)$$

Δu : 増加変位量 (mm)

ΔT : 増加荷重量 (kN)

l_{sf} : アンカー自由長 (mm)

A_s : アンカーの断面積 (mm²)

E_s : アンカーの弾性係数 (kN/mm²)

3. 計測値

	荷重 (kN)	変位		備考
		読み値 (mm)	変位量 (mm)	
1	41.2	2.7	0.0	初期荷重≒40kN
2	61.1	2.9	0.2	
3	80.3	3.1	0.4	
4	100.2	3.3	0.6	
5	100.5	3.4	0.7	
6	120.0	3.5	0.8	
7	139.8	3.9	1.2	
8	160.1	4.4	1.7	
9	179.9	4.8	2.1	
10	199.8	5.3	2.6	
11	219.7	5.7	3.0	
12	240.3	6.1	3.4	
13	260.0	6.5	3.8	
14	279.5	7.5	4.8	
15	290.0	8.6	5.9	
16	295.2	9.4	6.7	
17	299.8	10.0	7.3	←定着ナット セット、緊張 ジャッキ除荷開
18	296.4	10.1	7.4	
19	263.3	10.1	7.4	
20	232.7	9.5	6.8	
21	193.1	8.3	5.6	
22	135.7	7.6	4.9	
23	115.4	7.5	4.8	
24	97.9	7.4	4.7	
25	78.7	7.4	4.7	
26	51.1	7.3	4.6	
27	24.0	7.2	4.5	
28	-2.1	7.1	4.4	
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				
36				
37				
38				
39				
40				

4. 試験結果

リフトオフ荷重	270 kN
---------	--------

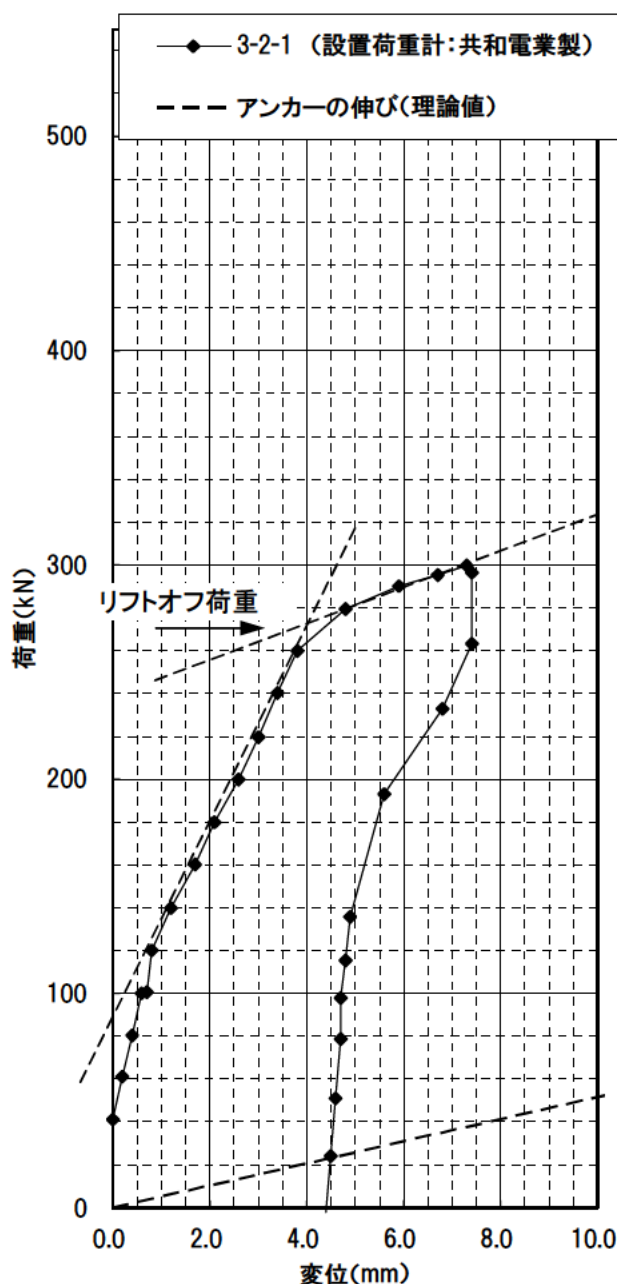


表 10.25 リフトオフ試験表（アンカー番号：3-2-2 / 坂田電機）

1. 試験諸元

工 事 名	共同研究「アンカーへの取付け・交換が容易な新型アンカー荷重計の開発」 既設アンカー緊張力モニタリングシステム現場実証試験
試 験 場 所	
試 験 日	平成20年4月15日
アンカー番号	3-2-2（設置荷重計：坂田電機製）
試験最大荷重	320.5 kN

2. 試験アンカーの諸元

アンカー規格	VSL E5-4
アンカー長	15.0 m
定 着 長	5.0 m
緊張自由長	10.0 m
弾性係数 Es	196.0 kN/mm ²
断 面 積 As	394.8 mm ²

【参考】

$$\Delta u = \Delta T \cdot l_{sf} / (A_s \cdot E_s)$$

Δu ：増加変位量 (mm)

ΔT ：増加荷重量 (kN)

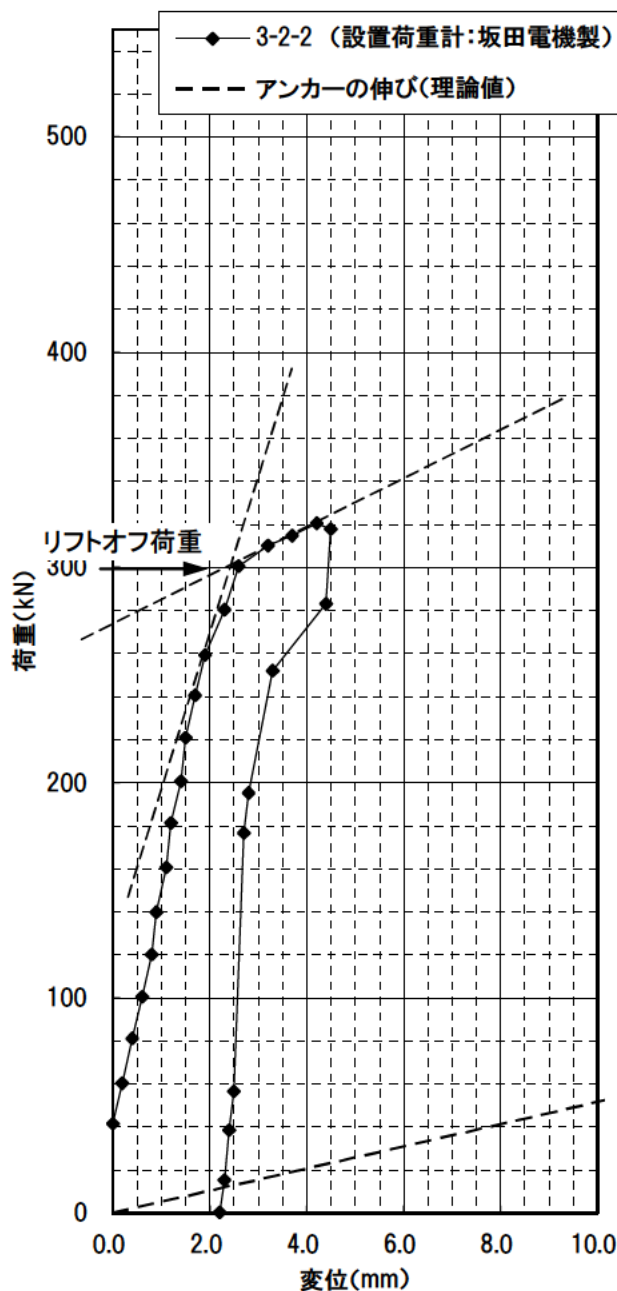
l_{sf} ：アンカー自由長 (mm)

A_s ：アンカーの断面積 (mm²)

E_s ：アンカーの弾性係数 (kN/mm²)

3. 計測値

	荷重 (kN)	変位		備考
		読み値 (mm)	変位量 (mm)	
1	41.4	1.2	0.0	初期荷重≒40kN
2	60.4	1.4	0.2	
3	81.2	1.6	0.4	
4	100.5	1.8	0.6	
5	120.1	2.0	0.8	
6	139.8	2.1	0.9	
7	160.6	2.3	1.1	
8	181.3	2.4	1.2	
9	200.6	2.6	1.4	
10	220.9	2.7	1.5	
11	240.5	2.9	1.7	
12	259.2	3.1	1.9	
13	280.2	3.5	2.3	
14	300.5	3.8	2.6	
15	310.2	4.4	3.2	
16	314.8	4.9	3.7	
17	320.5	5.4	4.2	←定着ナット セット、緊張 ジャッキ除荷開
18	317.8	5.7	4.5	
19	283.1	5.6	4.4	
20	251.8	4.5	3.3	
21	195.2	4.0	2.8	
22	176.7	3.9	2.7	
23	56.6	3.7	2.5	
24	38.6	3.6	2.4	
25	15.3	3.5	2.3	
26	0.3	3.4	2.2	
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				
36				
37				
38				
39				
40				



4. 試験結果

リフトオフ荷重	300 kN
---------	--------

表 10.26 リフトオフ試験表（アンカー番号：3-2-3 / 東京測器研究所）

1. 試験諸元

工 事 名	共同研究「アンカーへの取付け・交換が容易な新型アンカー荷重計の開発」 既設アンカー緊張力モニタリングシステム現場実証試験
試 験 場 所	
試 験 日	平成20年4月15日
アンカー番号	3-2-3（設置荷重計：東京測器研究所）
試験最大荷重	357.2 kN

2. 試験アンカーの諸元

アンカー規格	VSL E5-4
アンカー長	15.0 m
定 着 長	5.0 m
緊張自由長	10.0 m
弾性係数 Es	196.0 kN/mm ²
断 面 積 As	394.8 mm ²

【参考】

$$\Delta u = \Delta T \cdot l_{sf} / (A_s \cdot E_s)$$

Δu ：増加変位量 (mm)

ΔT ：増加荷重量 (kN)

l_{sf} ：アンカー自由長 (mm)

A_s ：アンカーの断面積 (mm²)

E_s ：アンカーの弾性係数 (kN/mm²)

3. 計測値

	荷重 (kN)	変位		備考
		読み値 (mm)	変位量 (mm)	
1	40.5	0.0	0.0	初期荷重≒40kN
2	60.4	0.0	0.0	
3	81.2	0.1	0.1	
4	101.5	0.2	0.2	
5	122.9	0.3	0.3	
6	143.0	0.3	0.3	
7	161.7	0.4	0.4	
8	176.4	0.4	0.4	
9	181.9	0.4	0.4	
10	202.3	0.5	0.5	
11	220.9	0.6	0.6	
12	242.7	0.7	0.7	
13	265.0	1.0	1.0	
14	283.2	1.3	1.3	
15	301.9	1.9	1.9	
16	321.1	3.1	3.1	
17	338.9	5.5	5.5	
18	350.9	7.2	7.2	
19	357.2	7.9	7.9	←定着ナット セット、緊張 ジャッキ除荷開
20	354.9	8.2	8.2	
21	334.3	8.1	8.1	
22	318.1	7.8	7.8	
23	280.2	6.9	6.9	
24	241.7	6.0	6.0	
25	140.7	5.5	5.5	
26	0.0	4.8	4.8	
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				
36				
37				
38				
39				
40				

4. 試験結果

リフトオフ荷重	320 kN
---------	--------

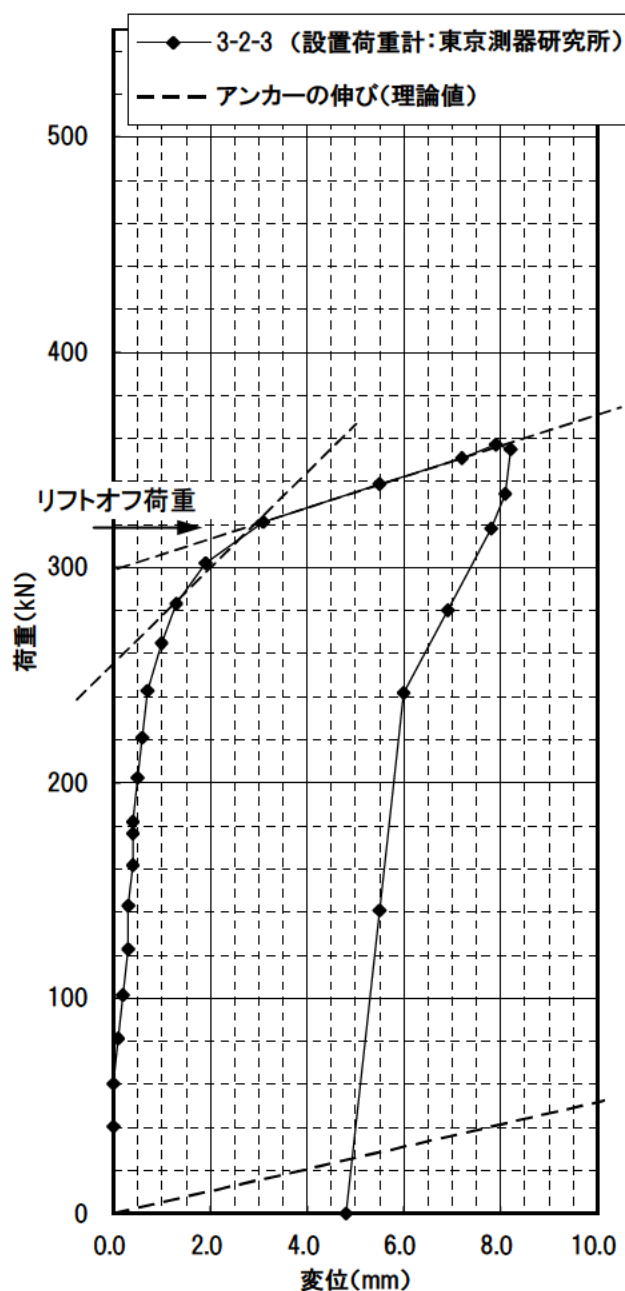


表 10.27 リフトオフ試験表（アンカー番号：3-3-1 / 東横エルメス）

1. 試験諸元

工 事 名	共同研究「アンカーへの取付け・交換が容易な新型アンカー荷重計の開発」 既設アンカー緊張力モニタリングシステム現場実証試験
試 験 場 所	
試 験 日	平成20年4月16日
アンカー番号	3-3-1（設置荷重計：東横エルメス製）
試験最大荷重	361.3 kN

2. 試験アンカーの諸元

アンカー規格	VSL E5-4
アンカー長	10.0 m
定 着 長	5.0 m
緊張自由長	5.0 m
弾性係数 Es	196.0 kN/mm ²
断 面 積 As	394.8 mm ²

【参考】

$$\Delta u = \Delta T \cdot l_{sf} / (A_s \cdot E_s)$$

Δu : 増加変位量 (mm)

ΔT : 増加荷重量 (kN)

l_{sf} : アンカー自由長 (mm)

A_s : アンカーの断面積 (mm²)

E_s : アンカーの弾性係数 (kN/mm²)

3. 計測値

	荷重 (kN)	変位		備考
		読み値 (mm)	変位量 (mm)	
1	40.0	2.5	0.0	初期荷重≒40kN
2	60.1	2.9	0.4	
3	79.9	3.2	0.7	
4	100.2	3.5	1.0	
5	100.2	3.6	1.1	
6	119.9	3.7	1.2	
7	140.1	3.9	1.4	
8	160.3	4.1	1.6	
9	180.0	4.3	1.8	
10	199.8	4.5	2.0	
11	200.6	4.6	2.1	
12	220.1	4.7	2.2	
13	239.7	4.9	2.4	
14	259.8	5.5	3.0	
15	270.6	6.1	3.6	
16	279.8	6.4	3.9	
17	289.8	6.6	4.1	
18	299.5	6.8	4.3	
19	299.7	7.0	4.5	
20	320.3	7.4	4.9	
21	330.4	7.7	5.2	
22	339.8	8.1	5.6	
23	347.1	8.9	6.4	
24	361.3	9.8	7.3	
25	359.5	9.9	7.4	←定着ナット セット、緊張 ジャッキ除荷開
26	303.1	9.9	7.4	
27	273.1	9.9	7.4	
28	247.1	9.9	7.4	
29	221.3	9.8	7.3	
30	197.8	9.7	7.2	
31	172.2	9.7	7.2	
32	146.6	9.6	7.1	
33	121.7	9.6	7.1	
34	95.0	9.5	7.0	
35	55.2	9.5	7.0	
36	25.1	9.5	7.0	
37	11.6	9.5	7.0	
38	-0.2	9.4	6.9	
39				
40				

4. 試験結果

リフトオフ荷重	340 kN
---------	--------

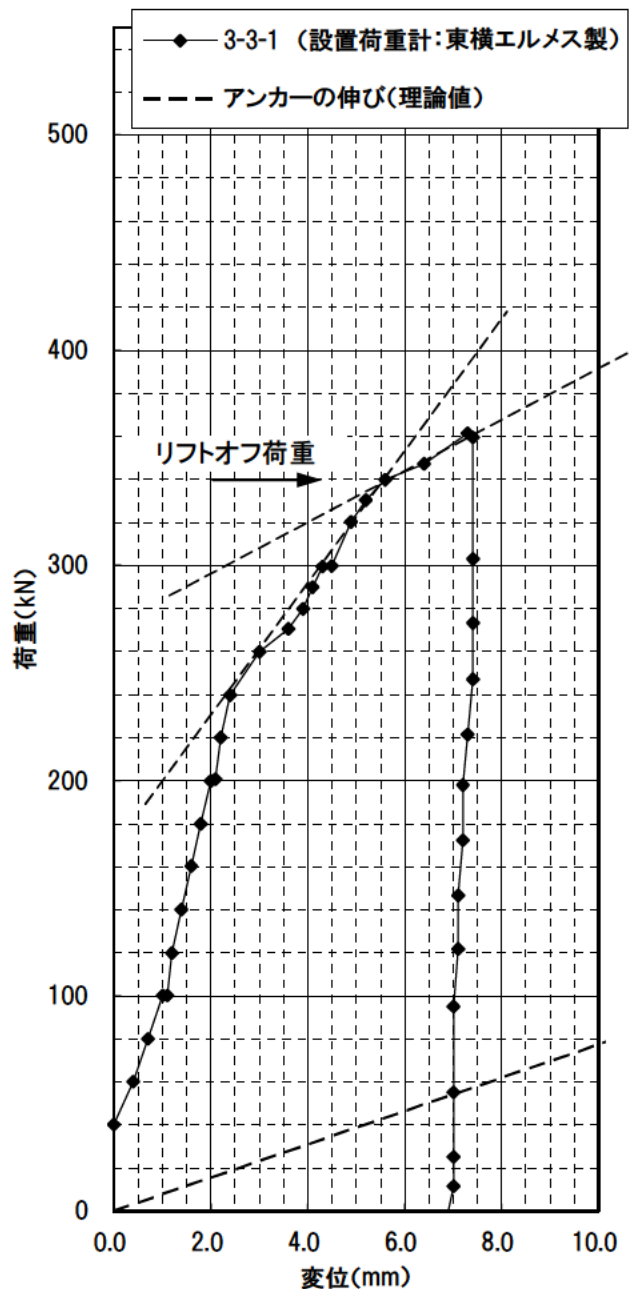


表 10.28 リフトオフ試験表 (アンカー番号 : 3-3-2 / 守谷鋼機)

1. 試験諸元

工 事 名	共同研究「アンカーへの取付け・交換が容易な新型アンカー荷重計の開発」 既設アンカー緊張力モニタリングシステム現場実証試験
試 験 場 所	
試 験 日	平成20年4月16日
アンカー番号	3-3-2 (設置荷重計 : 守谷鋼機製)
試験最大荷重	360.0 kN

2. 試験アンカーの諸元

アンカー規格	VSL E5-4
アンカー長	10.0 m
定着長	5.0 m
緊張自由長	5.0 m
弾性係数 Es	196.0 kN/mm ²
断面積 As	394.8 mm ²

【参考】

$$\Delta u = \Delta T \cdot l_{sf} / (A_s \cdot E_s)$$

Δu : 増加変位量 (mm)

ΔT : 増加荷重量 (kN)

l_{sf} : アンカー自由長 (mm)

A_s : アンカーの断面積 (mm²)

E_s : アンカーの弾性係数 (kN/mm²)

3. 計測値

	荷重 (kN)	変位		備考
		読み値 (mm)	変位量 (mm)	
1	40.2	3.3	0.0	初期荷重≒40kN
2	60.0	3.8	0.5	
3	80.5	4.1	0.8	
4	100.3	4.4	1.1	
5	100.0	4.5	1.2	
6	120.0	4.7	1.4	
7	139.8	5.0	1.7	
8	160.5	5.2	1.9	
9	180.0	5.5	2.2	
10	200.1	6.1	2.8	
11	199.9	6.2	2.9	
12	219.8	6.5	3.2	
13	240.3	6.9	3.6	
14	260.1	7.2	3.9	
15	280.2	7.5	4.2	
16	300.1	7.8	4.5	
17	299.8	7.9	4.6	
18	319.9	8.2	4.9	
19	329.7	8.6	5.3	
20	339.7	9.1	5.8	
21	345.2	9.6	6.3	
22	349.8	10.1	6.8	
23	360.0	11.0	7.7	
24	358.4	11.1	7.8	←定着ナット
25	321.7	11.0	7.7	セット、緊張
26	297.8	10.6	7.3	ジャッキ除荷開
27	278.9	10.4	7.1	
28	249.2	10.1	6.8	
29	224.5	9.9	6.6	
30	197.5	8.9	5.6	
31	168.1	8.7	5.4	
32	141.1	8.5	5.2	
33	104.5	8.3	5.0	
34	89.4	8.3	5.0	
35	68.2	8.2	4.9	
36	35.8	8.1	4.8	
37	20.8	8.0	4.7	
38	-0.1	7.6	4.3	
39				
40				

4. 試験結果

リフトオフ荷重	330 kN
---------	--------

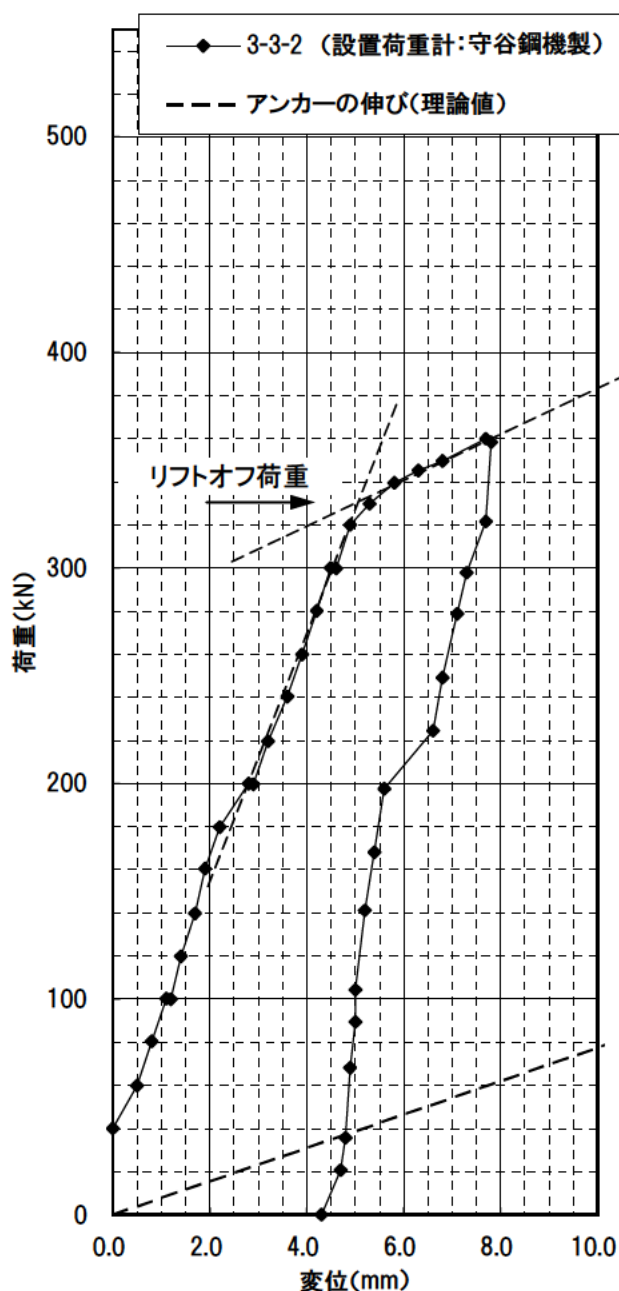


表 10.29 リフトオフ試験表（アンカー番号：3-3-3 / エスイー）

1. 試験諸元

工 事 名	共同研究「アンカーへの取付け・交換が容易な新型アンカー荷重計の開発」 既設アンカー緊張力モニタリングシステム現場実証試験
試 験 場 所	
試 験 日	平成20年4月16日
アンカー番号	3-3-3（設置荷重計：エスイー製）
試験最大荷重	370 kN

2. 試験アンカーの諸元

アンカー規格	VSL E5-4
アンカー長	10.0 m
定 着 長	5.0 m
緊張自由長	5.0 m
弾性係数 Es	196.0 kN/mm ²
断 面 積 As	394.8 mm ²

【参考】

$$\Delta u = \Delta T \cdot l_{sf} / (A_s \cdot E_s)$$

Δu : 増加変位量 (mm)

ΔT : 増加荷重量 (kN)

l_{sf} : アンカー自由長 (mm)

A_s : アンカーの断面積 (mm²)

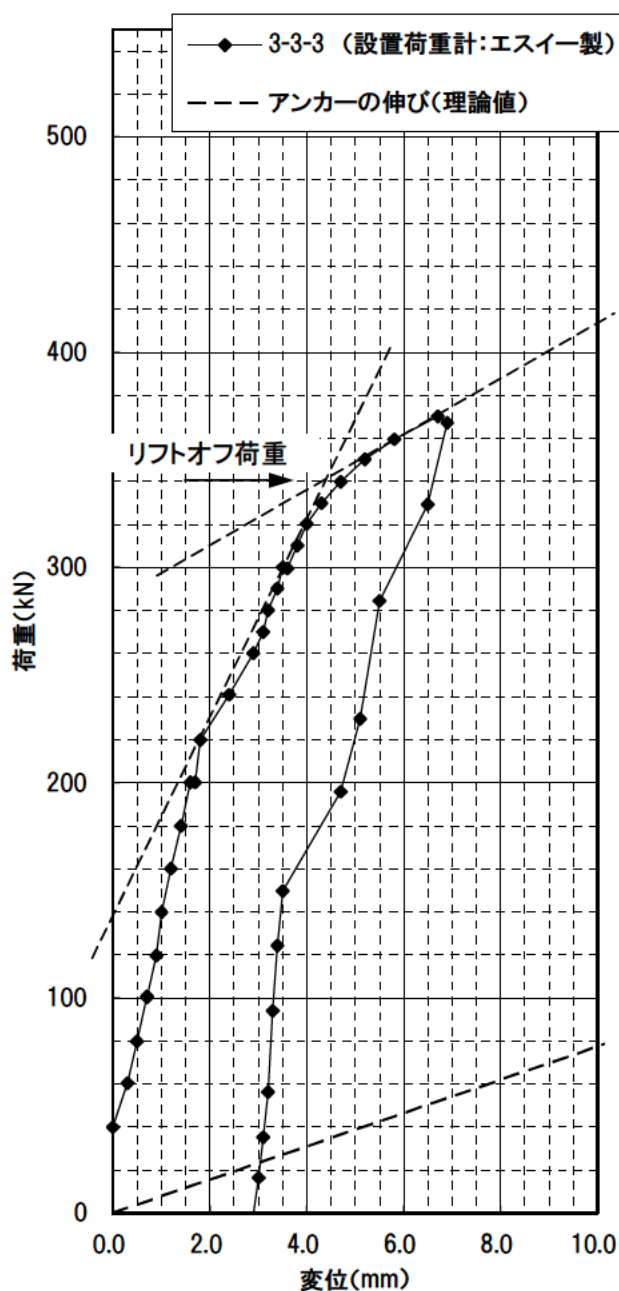
E_s : アンカーの弾性係数 (kN/mm²)

3. 計測値

	荷重 (kN)	変位		備考
		読み値 (mm)	変位量 (mm)	
1	39.8	1.2	0.0	初期荷重≒40kN
2	60.3	1.5	0.3	
3	79.8	1.7	0.5	
4	100.6	1.9	0.7	
5	100.3	1.9	0.7	
6	119.5	2.1	0.9	
7	139.8	2.2	1.0	
8	159.9	2.4	1.2	
9	179.9	2.6	1.4	
10	200.0	2.8	1.6	
11	200.0	2.9	1.7	
12	219.7	3.0	1.8	
13	240.7	3.6	2.4	
14	260.2	4.1	2.9	
15	269.9	4.3	3.1	
16	280.0	4.4	3.2	
17	290.2	4.6	3.4	
18	299.9	4.7	3.5	
19	299.4	4.8	3.6	
20	310.0	5.0	3.8	
21	320.1	5.2	4.0	
22	329.8	5.5	4.3	
23	339.9	5.9	4.7	
24	350.3	6.4	5.2	
25	359.6	7.0	5.8	
26	370.1	7.9	6.7	←定着ナット
27	367.0	8.1	6.9	セット、緊張
28	329.3	7.7	6.5	ジャッキ除荷開
29	284.4	6.7	5.5	
30	229.6	6.3	5.1	
31	195.8	5.9	4.7	
32	149.6	4.7	3.5	
33	124.1	4.6	3.4	
34	93.8	4.5	3.3	
35	56.1	4.4	3.2	
36	35.3	4.3	3.1	
37	16.4	4.2	3.0	
38	-0.5	4.1	2.9	
39				
40				

4. 試験結果

リフトオフ荷重	340 kN
---------	--------



(3) 取付け作業性確認試験の評価

各社荷重計に対して取付け作業性を表 10.30 に示す評価段階で評価した。その結果を表 10.31 に示す。また、各社製荷重計の取付け状況（アンカー緊張力を荷重計に移行させた状態）を写真 10.13～写真 10.18 に示す。なお、荷重計の取付け状況を写真 10.19 及び写真 10.20 に、荷重計の取付け位置を図 10.14～図 10.19 に示す。

試験結果の評価

取付け作業性確認試験の結果、一部、緊張治具の取付け不具合による問題点があったケースを除き、各社の荷重計について良好に取付けられることを確認した。

不具合について

坂田電機製荷重計を取付けた状態でのリフトオフ試験時（アンカーNo.3-2-2）及び東京測器研究所製荷重計を取付ける前に実施したリフトオフ試験時（アンカーNo.3-2-3）において不具合が生じた（表 10.31 の 1、2）。不具合の詳細については、以下の通りである。

テンションスリーブをジョイントスリーブに取付ける際、取付け位置がやや上部側になっていたため、油圧ジャッキを伸張させてリフトオフをさせたところ、テンションスリーブの上端が油圧ジャッキの下面に接触してしまった。このことにより、油圧ジャッキの圧力を上げてジョイントスリーブが接触しているためにストロークが出ず、アンカーをリフトオフさせることができなくなってしまった。

以上の理由であることから、坂田電機製荷重計について荷重計の形状や寸法による影響ではないことをここに述べておく。

なお、上述の現象を確認したため、テンションスリーブの取付け位置を調整し、正常なリフトオフ試験を実施できた。

表 10.30 評価段階

記号	評価	内容
	良	特に問題なく取付け作業が実施できた
	可	若干の問題点があったが、部分的な改良によって良好な取付け作業ができる
×	不可	大きな問題点がある、または取付け作業が不能であったため、根本的な改良が必要である

表 10.31 取付け作業性確認試験の評価

チェック項目		評価					
		共和 電業 製	坂田 電機 製	東京測 器研究 所製	東横工 ルメス 製	守谷 鋼機 製	エス イー 製
1	荷重計及び緊張治具 の取付けしやすさ						
2	緊張治具によるリフト オフ		1	2			
3	荷重計への緊張力転 換						
4	緊張治具の取外しの しやすさ						
5	ヘッドキャップの取 付け及び防錆処理						

- 1：荷重計形状そのものの影響ではなく、緊張治具の取付け位置による影響。
- 2：荷重計を取付けずに実施したリフトオフ試験時に発生。緊張治具の取付け位置による影響



写真 10.13 荷重計取付け状況

荷重計：共和電業製

アンカー番号：3-2-1



写真 10.14 荷重計取付け状況

荷重計：坂田電機製

アンカー番号：3-2-2



写真 10.15 荷重計取付け状況

荷重計：東京測器研究所製

アンカー番号：3-2-3



写真 10.16 荷重計取付け状況

荷重計：東横エルメス製

アンカー番号：3-3-1



写真 10.17 荷重計取付け状況

荷重計：守谷鋼機製

アンカー番号：3-3-2



写真 10.18 荷重計取付け状況

荷重計：エスイー製

アンカー番号：3-3-3



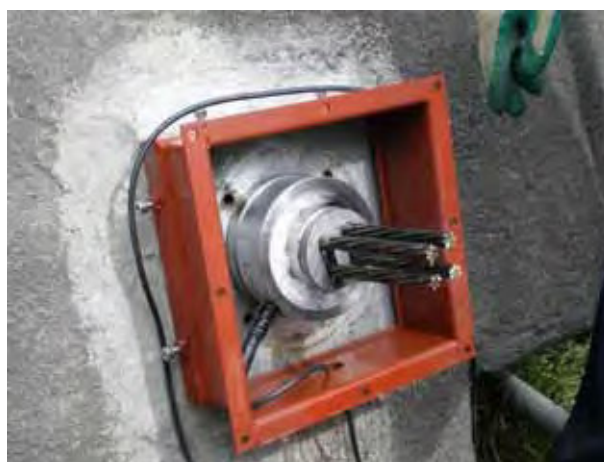
アンカーヘッドキャップの取外し



防錆油の除去、アンカーヘッドの確認



-1 荷重計の取付け



-2 下部キャップの取付け



-3 ジョイントスリーブの取付け



-4 テンションスリーブ、定着ナットの取付け

写真 10.19 荷重計取付け状況 (その1)



-5 テンションロッド・ナットの取付け



リフトオフ試験



荷重計への緊張力移行



緊張治具の取外し



-1 防錆処理



-2 上部ヘッドキャップ取付け

写真 10.20 荷重計取付け状況 (その2)

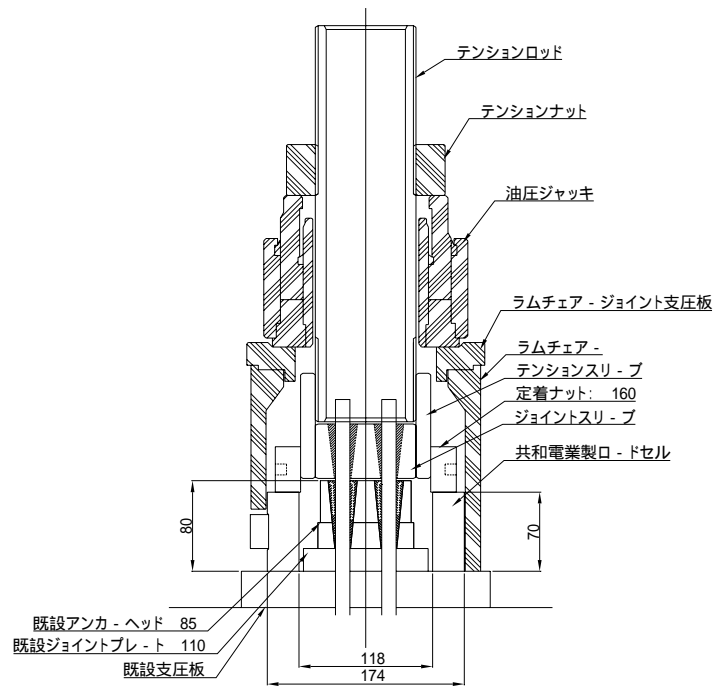


図 10.14 荷重計取付け位置 (共和電業製)

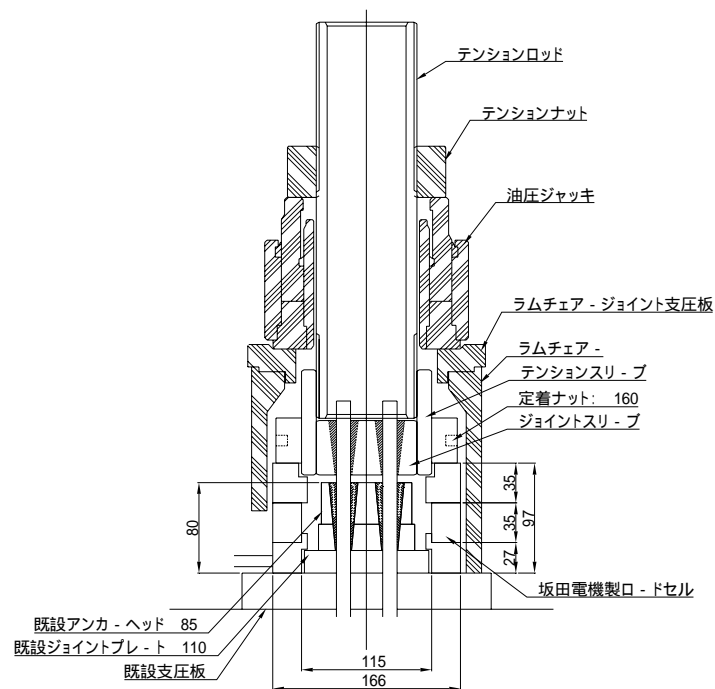


図 10.15 荷重計取付け位置 (坂田電機製)

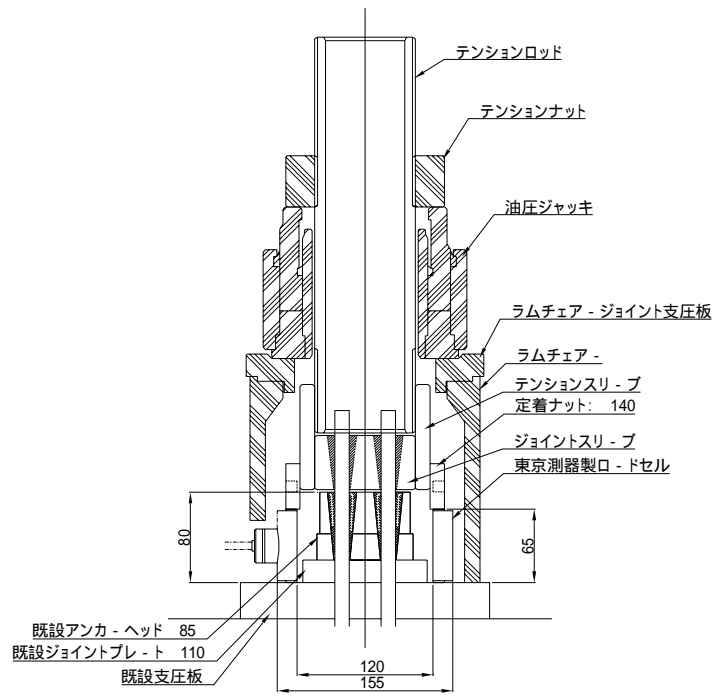


図 10.16 荷重計取付け位置 (東京測器研究所製)

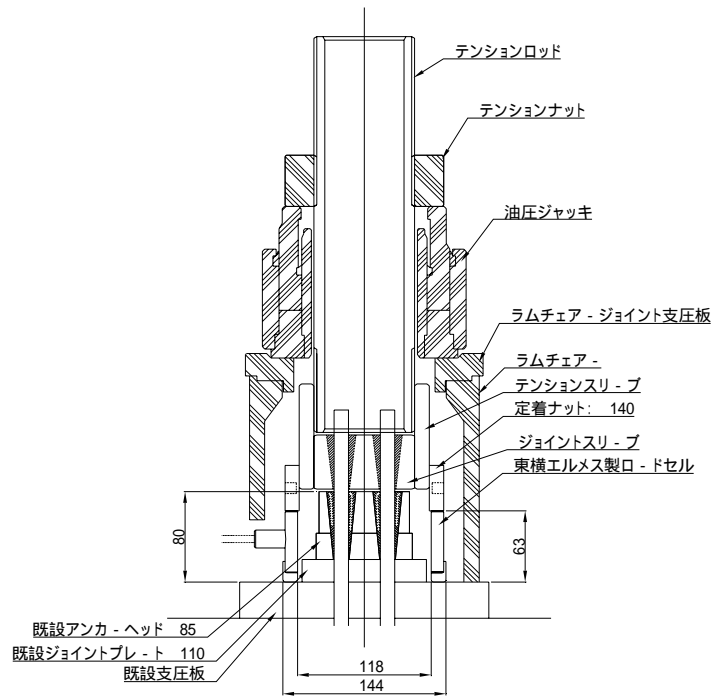


図 10.17 荷重計取付け位置 (東横エルメス製)

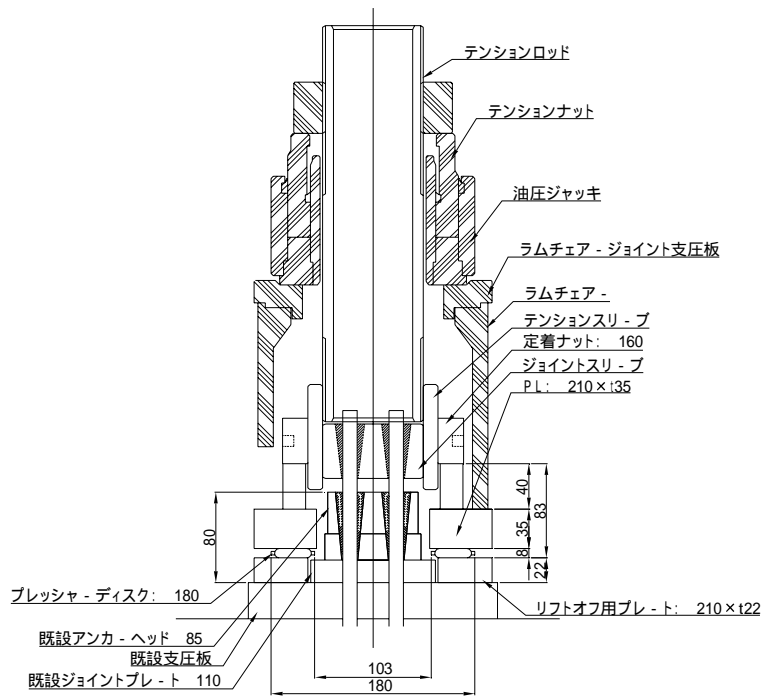


図 10.18 荷重計取付け位置 (守谷鋼機製)

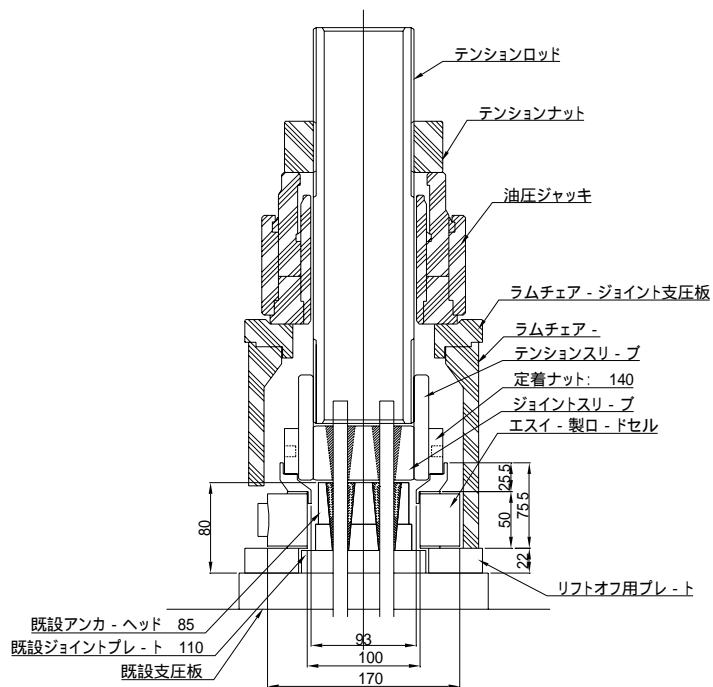


図 10.19 荷重計取付け位置 (エスイー製)

(4) 考察と今後の課題

ラムチェアの高さについて

リフトオフ試験時、テンションスリーブと油圧ジャッキの初期クリアランスが小さいため、油圧ジャッキを加圧するとテンションスリーブが油圧ジャッキに接触し、それ以上シリンダーを送り出すことが出来ない場合があった。これは緊張治具の軽量化のために各部位の寸法をコンパクトに設計した事と、緊張によるクサビ（緊張治具の一部品）の食い込み量（セットロス変位）が予想以上に大きかった事である。

よって、今後、テンションスリーブなどの取付け位置とジャッキストローク長を考慮し、リフトオフ試験時に緊張治具同士が接触しないようなラムチェア高さを検討する必要がある。また、緊張治具取付け時にクサビを打撃する事で予め初期食い込み量を多くし、セットロス変位を小さくする必要がある。

リフトオフ試験方法について

リフトオフ試験結果を鑑みると、リフトオフ試験は一度予備緊張をした後に実施することが望ましいと考察される。

リフトオフ試験結果では、単サイクル（初期状態から最大荷重まで緊張）で緊張した場合は、油圧ジャッキや緊張治具同士のなじみやくさびの食い込みなどによる変位が計測値に含まれてしまう。そのため、荷重 - 変位グラフの変曲点が不明瞭になり、リフトオフ荷重を判断しづらくなってしまう。そこで、一度、予備緊張を行って初期の油圧ジャッキや緊張治具同士のなじみやくさびの食い込み量などを取り除いた後に、リフトオフ試験を実施することが良いと考えられる。

一度リフトオフ試験に失敗し、結果として予備緊張を行ったこととなる表 10.25 及び表 10.26 ではリフトオフ荷重を示す変曲点が明瞭であるが、単サイクルでリフトオフ試験を行った他の 4 箇所では初期のグラフ勾配が緩かったり、途中でリフトオフ荷重とは別の変曲点が認められるなど、リフトオフ荷重を判断しづらいグラフとなっているものが多い。

以上のことから、正確にリフトオフ荷重を求めるためには、変曲点が判断しやすい荷重 - 変位グラフを得ることが必要であり、そのためには予備緊張が必要であると考えられる。今後、このようなことを考慮して、適切なリフトオフ試験の手順や方法を検討する。

アンカー緊張力を荷重計に移行させる際の変位について

リフトオフ試験後、アンカー緊張力を荷重計に移行させるために定着ナットを締付け、油圧ジャッキを除荷する。この際、定着ナットの締付け方、荷重計と定着ナットの間隙などによって支圧板と既設アンカーヘッド間の距離が小さくなる現象（戻り変位）が生じる。この変位については、図 10.20 に示す a~f の箇所が発生す

る変位が考えられる。

本手法においてアンカー緊張力を荷重計に移行させる計画としては、油圧ジャッキを除荷した際に発生する戻り変位（戻り変位 adjust）は、アンカー定着荷重を超えてリフトオフさせた時の変位（図 10.20 のリフトオフ変位 lift）の範囲内であるとされる。例えば既設アンカーヘッドが支圧板から 6mm（リフトオフ変位）浮いた場合、油圧ジャッキを除荷してアンカー緊張力を荷重計に移行させた時の戻り変位は 6mm 未満となっている必要がある。しかし、この戻り変位が 6mm 以上である場合、既設アンカーヘッドが支圧板に再接触してしまい、アンカー緊張力は荷重計に移行されない。

これを図 10.21 に示すリフトオフ試験の変位 - 荷重グラフで説明すると以下の通りである。傾きの変わる変曲点の変位 2mm、荷重 300kN で現れ、リフトオフ荷重 300kN が求められた。その後、ジャッキの荷重を上げて 400kN まで緊張し、その時の変位は 8mm であった。この時、リフトオフを確認した 2mm から 8mm まで引張ったので、アンカーヘッドが支圧板から 6mm 浮いていることとなる。その後、定着ナットを締付けて油圧ジャッキを除荷した時、戻り変位が 4mm で収まった場合、アンカーヘッドと支圧板は 2mm 浮いている計算となり、アンカー緊張力は荷重計に移行されている。しかし、戻り変位が 7mm であった場合、リフトオフが確認される以前の変位 1mm まで戻ってしまうこととなってしまう、アンカーヘッドと支圧板は接触してしまうこととなる。このようになってしまうと、アンカー緊張力は荷重計に移行されることなく、リフトオフ前と同じ状態に戻ってしまうこととなる。

これをまとめると、油圧ジャッキを除荷した際、リフトオフ荷重と判断された変曲点の変位よりも大きな変位で荷重計への緊張力移行が完了している必要がある。

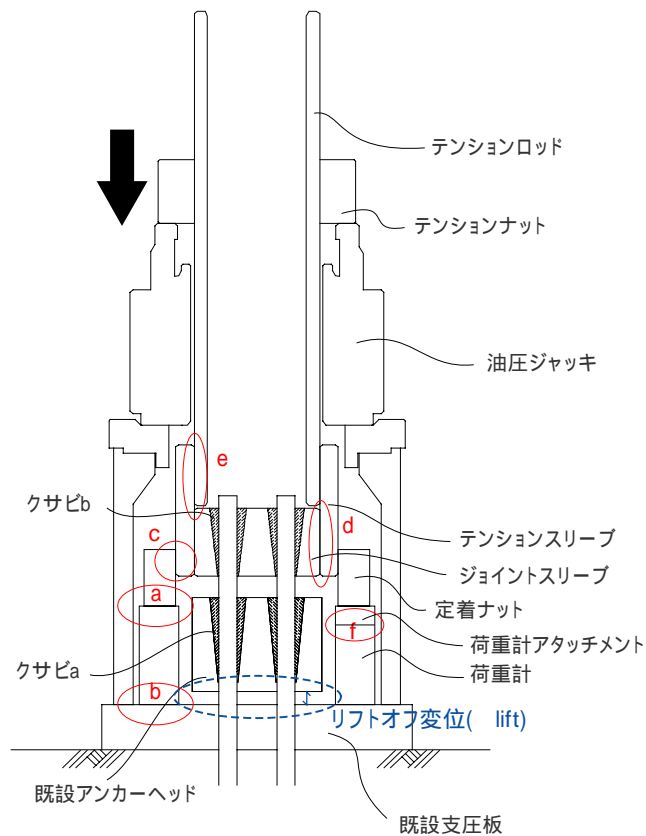


図 10.20 荷重計へ緊張力を移行させる時の変位

油圧ジャッキを除荷した時の変位は、

- a : 荷重計と定着ナットの接触面のなじみ
- b : 荷重計と既設支圧板の接触面のなじみ
- c : 定着ナットとテンションスリーブのネジ結合のあそび (作用力方向の変化)
- d : テンションスリーブとジョイントスリーブのネジ結合のあそび (作用力方向の変化)
- e : テンションスリーブとテンションロッドのネジ結合のあそび (作用力方向の変化)
- f : 荷重計アタッチメントと荷重計の接触面のなじみ

$$\text{なじみ変位(adjust)} = a + b + c + d + e + f$$

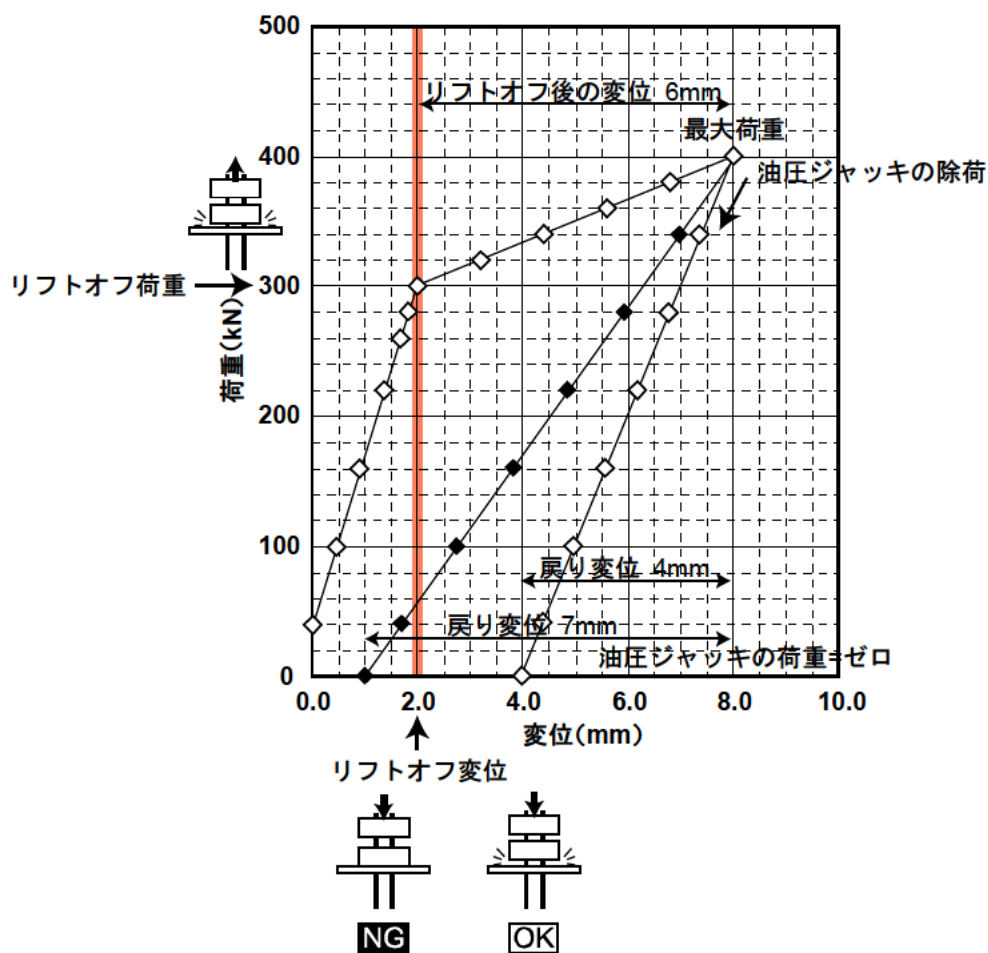


図 10.21 リフトオフ試験の変位-荷重グラフ

④頭部防錆処理方法について

今回の試験においては、支圧板に取付ける箱型のヘッドキャップを準備した。しかしながら、この形状・寸法では保護するアンカーヘッドとヘッドキャップ壁の間隙が大きく、防錆油が大量に必要ななど問題点があった。

したがって、コンパクトで適切にアンカーヘッドを保護できる形状、取付け方法を検討する必要がある。



写真 10.21 試験前の法面



写真 10.22 試験後の法面



写真 10.23 試験後の法面



写真 10.24 緊張治具一式

左：ヘッドキャップ
 中：残置緊張治具
 右：緊張治具



写真 10.25 緊張治具

左上：ラムチェア
 右上：油圧ポンプ
 左下：テンションロッドとテンションナット
 中下：油圧ジャッキ
 右下：油圧ホースとブルドン管



写真 10.26 存置治具

中上：ジョイントスリーブ
 中下：定着ナット
 右：テンションスリーブ
 下：ヘッドキャップ固定用ナット等

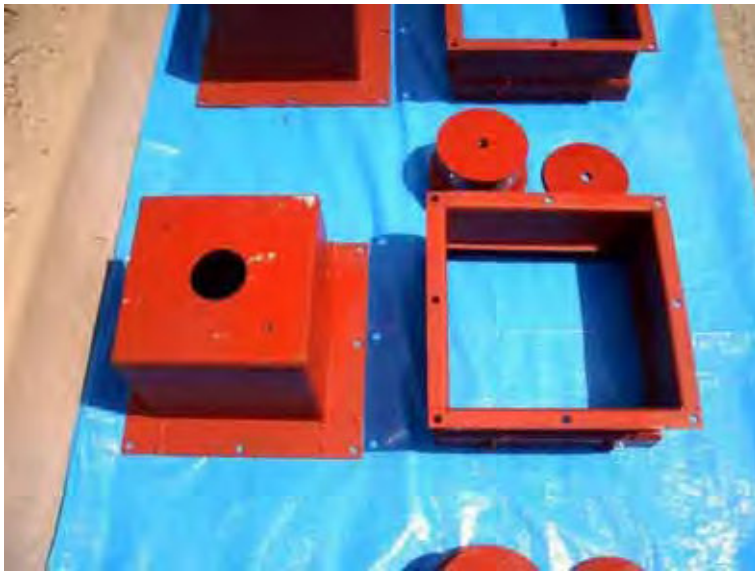


写真 10.27 ヘッドキャップ
(ひずみゲージ式荷重計及び
差動トランス式荷重計用)

左 : 上部ヘッドキャップ
右 : 下部ヘッドキャップ
右上 : テンションスリーブ
キャップ



写真 10.28 ヘッドキャップ
(油圧式荷重計用)



写真 10.29 作業足場の仮設



写真 10.30 リフトオフ前
のアンカーヘッド



写真 10.31 リフトオフ後
のアンカーヘッド
(支圧板からジョイントブ
レートが浮いている)

10.5.2 取付け作業性確認試験（アンカー番号 3-2-2 の荷重計再設置時）

(1) 頭部防錆状況の確認

荷重計を取外した後、防錆処理を行っていた防錆油等を清掃し、アンカーヘッドや PC 鋼より線の状況を確認した。

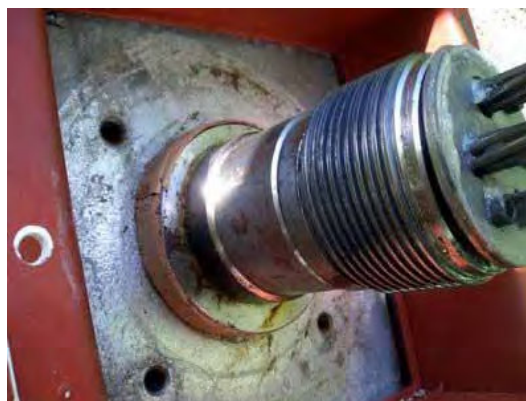
その結果、特に顕著な変化は認められず、頭部防錆処理が機能していることを確認した（表 10.32、写真 10.32）。

表 10.32 試験アンカー（3-2-2）のアンカー頭部部材の目視点検結果

時期	目視点検結果					評価
	支圧板	アンカーヘッド	ジョイントプレート	PC 鋼より線	くさび	
荷重計設置時 （平成 20 年 4 月 15 日、16 日）	ネジ部に若干の錆あり	ジョイントプレートとの接触面に若干の錆あり	若干の錆あり	良好	良好	健全
荷重計再設置時 （平成 20 年 9 月 11 日 150 日経過）	ネジ部に若干の錆あり	ジョイントプレートとの接触面、ヘッド側面に若干の錆あり	若干の錆あり	良好	良好	健全
発錆状況の変化	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	健全



a) 荷重計設置時
（平成 20 年 4 月 15、16 日）



b) 荷重計再設置時
（平成 20 年 9 月 11 日）

写真 10.32 試験アンカー（3-2-2）の頭部状況の確認

(2) リフトオフ試験

表 10.33 にリフトオフ試験結果を示す。同表よりリフトオフ荷重、すなわち荷重計に作用していた荷重値が 295kN であると判断した。なお、荷重計定着前に実施したリフトオフ試験では、リフトオフ荷重、すなわち残存アンカー緊張力を 300kN と判断した。

表 10.33 リフトオフ試験表（アンカー番号：3-2-2 / 坂田電機）

1. 試験諸元

工 事 名	共同研究「アンカーへの取付け・交換が容易な新型アンカー荷重計の開発」 既設アンカー緊張カモニタリングシステム現場実証試験（荷重計再設置）
試 験 場 所	
試 験 日	平成20年9月11日
アンカー番号	3-2-2（設置荷重計：坂田電機製）
試験最大荷重	329.0 kN

2. 試験アンカーの諸元

アンカー規格	VSL E5-4
アンカー長	15.0 m
定着長	5.0 m
緊張自由長	10.0 m
弾性係数 Es	196.0 kN/mm ²
断面積 As	394.8 mm ²

【参考】

$$\Delta u = \Delta T \cdot l_{sf} / (A_s \cdot E_s)$$

Δu：増加変位量 (mm)

ΔT：増加荷重量 (kN)

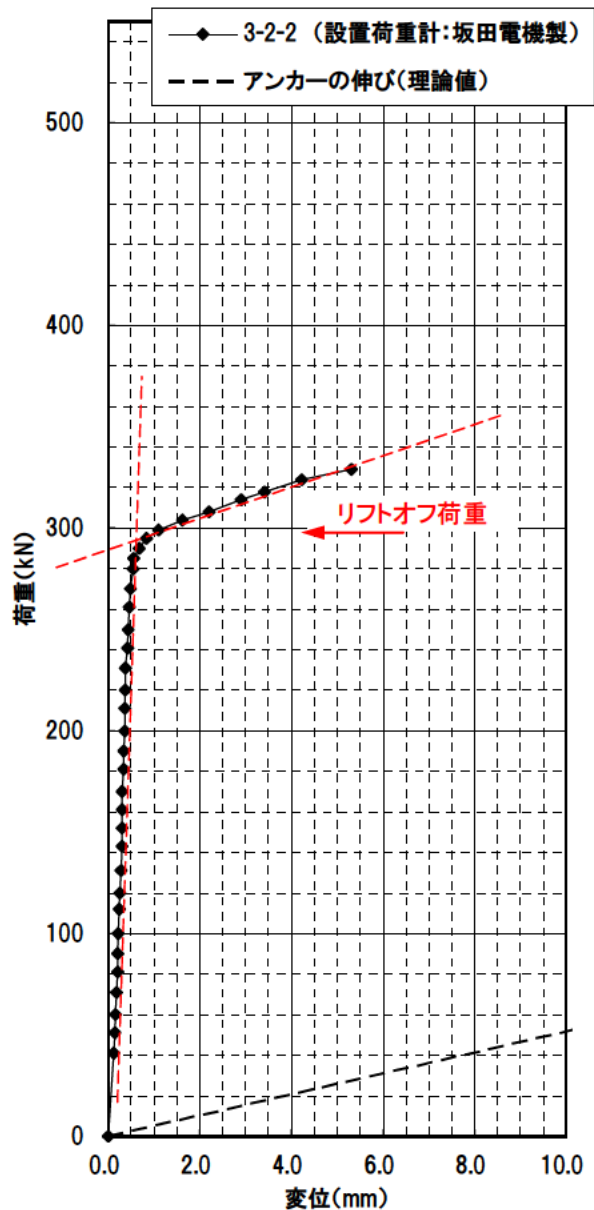
l_{sf}：アンカー自由長 (mm)

A_s：アンカーの断面積 (mm²)

E_s：アンカーの弾性係数 (kN/mm²)

3. 計測値

	荷重 (kN)	変位		備考
		読み値 (mm)	変位量 (mm)	
1	0	0.4	0.0	
2	41	0.5	0.1	
3	51	0.6	0.1	
4	60	0.6	0.2	
5	71	0.6	0.2	
6	81	0.6	0.2	
7	90	0.6	0.2	
8	100	0.6	0.2	
9	112	0.7	0.2	
10	120	0.7	0.3	
11	131	0.7	0.3	
12	143	0.7	0.3	
13	152	0.7	0.3	
14	161	0.7	0.3	
15	170	0.7	0.3	
16	181	0.8	0.3	
17	190	0.8	0.3	
18	200	0.8	0.4	
19	211	0.8	0.4	
20	220	0.8	0.4	
21	231	0.8	0.4	
22	241	0.8	0.4	
23	250	0.9	0.4	
24	261	0.9	0.5	
25	270	0.9	0.5	
26	280	1.0	0.5	
27	285	1.0	0.6	
28	290	1.1	0.7	
29	295	1.3	0.8	
30	299	1.5	1.1	
31	304	2.0	1.6	
32	308	2.6	2.2	
33	314	3.3	2.9	
34	318	3.8	3.4	
35	324	4.6	4.2	
36	329	5.7	5.3	
37				
38				
39				
40				



4. 試験結果

リフトオフ荷重	295	kN
---------	-----	----

(3) 交換作業性の確認

荷重計を取外した後、防錆処理を行っていた防錆油等を清掃し、アンカーヘッドやPC鋼より線の状況を確認した。

荷重計を交換する際の作業性について、表 10.34 に評価した結果を示す。なお、評価基準は、表 10.30 に従う。

表 10.34 交換作業性確認試験の評価

	作業内容	評価
1	ヘッドキャップの取外しやすさ	
2	防錆油の除去	
3	緊張治具の取付け	
4	緊張治具によるリフトオフ	
5	荷重計の緊張力解放	
6	緊張治具の取外し	

10.5.3 現場適応性試験

(1) アンカー頭部部材の目視点検

アンカー頭部部材の目視点検結果を表 10.35、試験時の状況を写真 10.33～写真 10.38 に示す。点検結果からジョイントプレートや支圧板の一部に若干の錆が認められたが、くさびやPC鋼より線は良好であり、アンカーは健全であると判断された。

表 10.35 試験アンカーのアンカー頭部部材の目視点検結果

アンカー番号	時期	目視点検結果					評価
		支圧板	アンカーヘッド	ジョイントプレート	PC鋼より線	くさび	
3-2-1	荷重計取付け時 H20.4	ネジ部に若干の錆あり	ジョイントプレートとの接触面に若干の錆あり	若干の錆あり	良好	良好	健全
	荷重計取外し時 H21.5	変化なし	側面に若干の発錆あり	変化なし	変化なし	変化なし	健全
3-2-2	荷重計取付け時 H20.4	ネジ部に若干の錆あり	ジョイントプレートとの接触面に若干の錆あり	若干の錆あり	良好	良好	健全
	荷重計取外し時 H21.5	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	健全
3-2-3	荷重計取付け時 H20.4	ネジ部に若干の錆あり	ジョイントプレートとの接触面に若干の錆あり	若干の錆あり	良好	良好	健全
	荷重計取外し時 H21.5	変化なし	側面に部分的な発錆あり	発錆範囲の若干の拡大あり	変化なし	変化なし	健全
3-3-1	荷重計取付け時 H20.4	ネジ部に若干の錆あり	良好	若干の錆あり	良好	良好	健全
	荷重計取外し時 H21.5	変化なし	側面に部分的な発錆あり	発錆範囲の若干の拡大あり	変化なし	変化なし	健全
3-3-2	荷重計取付け時 H20.4	ネジ部に若干の錆あり	側面、上面に部分的な錆あり	若干の錆あり	切断面に若干の錆あり	部分的に錆あり	健全
	荷重計取外し時 H21.5	変化なし	発錆範囲の若干の拡大あり	発錆範囲の若干の拡大あり	変化なし	変化なし	健全
3-3-3	荷重計取付け時 H20.4	良好	若干の錆あり	良好	良好	良好	健全
	荷重計取外し時 H21.5	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	健全

時期 H21.5 の点検結果は、時期 H20.4 からの変化を記述



a) 荷重計取付け時 (H20.4)

写真 10.33



b) 荷重計取外し時 (H21.5)

試験アンカーの再緊張余長の確認結果 (アンカー番号 3-2-1)



c) 現状復旧 (錆の除去) の状況 (H21.5)



a) 荷重計取付け時 (H20.4)

写真 10.34



b) 荷重計取外し時 (H21.5)

試験アンカーの再緊張余長の確認結果 (アンカー番号 3-2-2)



c) 現状復旧 (錆の除去) の状況 (H21.5)



a) 荷重計取付け時 (H20.4)

写真 10.35



b) 荷重計取外し時 (H21.5)

試験アンカーの再緊張余長の確認結果 (アンカー番号 3-2-3)



c) 現状復旧 (錆の除去) の状況 (H21.5)



a) 荷重計取付け時 (H20.4)

写真 10.36



b) 荷重計取外し時 (H21.5)

試験アンカーの再緊張余長の確認結果 (アンカー番号 3-3-1)



c) 現状復旧 (錆の除去) の状況 (H21.5)



a) 荷重計取付け時 (H20.4)



b) 荷重計取外し時 (H21.5)



c) 現状復旧 (錆の除去) の状況 (H21.5)

写真 10.37 試験アンカーの再緊張余長の確認結果 (アンカー番号 3-3-2)



a) 荷重計取付け時 (H20.4)



b) 荷重計取外し時 (H21.5)



c) 現状復旧 (錆の除去) の状況 (H21.5)

写真 10.38 試験アンカーの再緊張余長の確認結果 (アンカー番号 3-3-3)

(2) 緊張治具の目視点検

荷重計を取り外し後、緊張治具を清掃して錆等の状況を観察した。確認した結果を表 10.36、試験後の緊張治具の状況を写真 10.39 から写真 10.45 に示す。

定着ナットやテンションスリーブなどに若干の錆が認められた。テンションスリーブなどのネジ加工されたものについては、ネジ溝部に錆が認められた。

ただし、錆の程度からすれば、緊張治具は健全であると判断した。

表 10.36 試験後の緊張治具の状況

アンカー 番号	目視点検結果				評価
	ジョイントス リーブ	くさび	テンションスリーブ	定着ナット	
3-2-1	良好	良好	一部ネジ溝に錆が発生	下面及び側面にやや斑状の錆が発生	
3-2-2	良好	良好	一部ネジ溝に錆が発生	下面及び側面にやや斑状の錆が発生	
3-2-3	良好	良好	一部ネジ溝に錆が発生	良好	
3-3-1	良好	良好	上面及び一部ネジ溝に錆が発生	下面及び側面に若干斑状の錆が発生	
3-3-2	下面に若干斑状の錆が発生 一部ネジ溝に錆が発生	良好	上面及び一部ネジ溝に錆が発生	下面及び側面に斑状の錆が発生	
3-3-3	一部ネジ溝に錆が発生	良好	一部ネジ溝に錆が発生	下面及び側面に斑状の錆が発生	



写真 10.39 荷重計取外し後の緊張治具



写真 10.40 ジョイントスリーブ



写真 10.41 ジョイントスリーブの底面



写真 10.42 くさび



写真 10.43 テンションスリーブ



写真 10.44 テンションスリーブのねじ山内部



写真 10.45 定着ナット

(3) 現場適応性の評価

ヘッドキャップを外し、緊張治具及びアンカーの状態を観察した結果を表 10.37 に示す。

その結果、緊張力の低下、若干の錆は認められたものの概ね良好であった。

表 10.37 現場適用性試験 チェック表

	チェック項目	結果
1	リフトオフ荷重の確認	リフトオフ試験及びリフトオフ荷重の確認は、良好に行うことができた。
2	導入緊張力の低下の有無	全体的に荷重計設置時に比べて低いリフトオフ荷重を示した。リフトオフ試験の方法やリフトオフ荷重の読み取りの誤差が一部に含まれると考えられるが、荷重計の計測値においても緊張力の低下傾向は認められた。 緊張力の低下が大きかったのは、自由長の短い 3-3 段のアンカーであった。
3	残存治具の損傷、不具合(長期)	損傷、不具合は発生しなかった。 しかしながら、定着ナットやテンションスリーブ、ジョイントスリーブにおいて、錆の発生が認められた。錆の発生について特に目出すのは定着ナットであった。また、テンションスリーブやジョイントスリーブでは、ネジ溝部に錆が認められた。
4	アンカーの防錆処理状況(劣化の有無)	ジョイントプレート及びアンカーヘッドにおいて、一部で錆の発生や進行が認められた。 支圧板や PC 鋼より線、くさびについては、錆の発生や進行は認められなかった。

10.5.4 交換作業性確認試験

(1) リフトオフ試験

各試験アンカーのリフトオフ試験結果を表 10.38 と図 10.22 および図 10.23 に示す。また、各試験アンカーのリフトオフ試験（変位 - 荷重曲線）結果を表 10.39 ~ 表 10.44 に示し、試験状況を写真 10.46 ~ 写真 10.51 に示す。

表 10.38 リフトオフ試験結果

試験諸元		アンカー緊張力						備考
アンカー番号	試験順序	試験日	施工時定着荷重* H12 A [kN]	荷重計取付け時 H20.4 リフトオフ荷重 B [kN]	荷重計取外し時 H21.5 リフトオフ荷重 C [kN]	差 (C-B) [kN]	低下率 ((C-B)/B) [%]	荷重計計測値の差 (C'-B') ※2 [kN]
3-2-1	3	5/25	404.7	270	263.0	-7.0	2.6	-4.5
3-2-2	2	5/24	404.7	300	296.5	-3.5	1.2	-6.2※3
3-2-3	1	5/24	404.7	320	314.7	-5.3	1.7	-4.0
3-3-1	6	5/25	404.7	340	320.5	-19.5	5.7	-19.8
3-3-2	4	5/25	404.7	330	302.3	-27.7	8.4	-14.4
3-3-3	5	5/25	404.7	340	323.4	-16.6	4.9	1.5

※1 工事書類より引用

※2 B'は荷重計取付け時 (H20.4) の荷重計計測値。C'は荷重計取外し時 (H21.5) の荷重計計測値。

※3 アンカー番号3-2-2のB'は、9月11日の荷重計再取付け時の荷重計計測値。

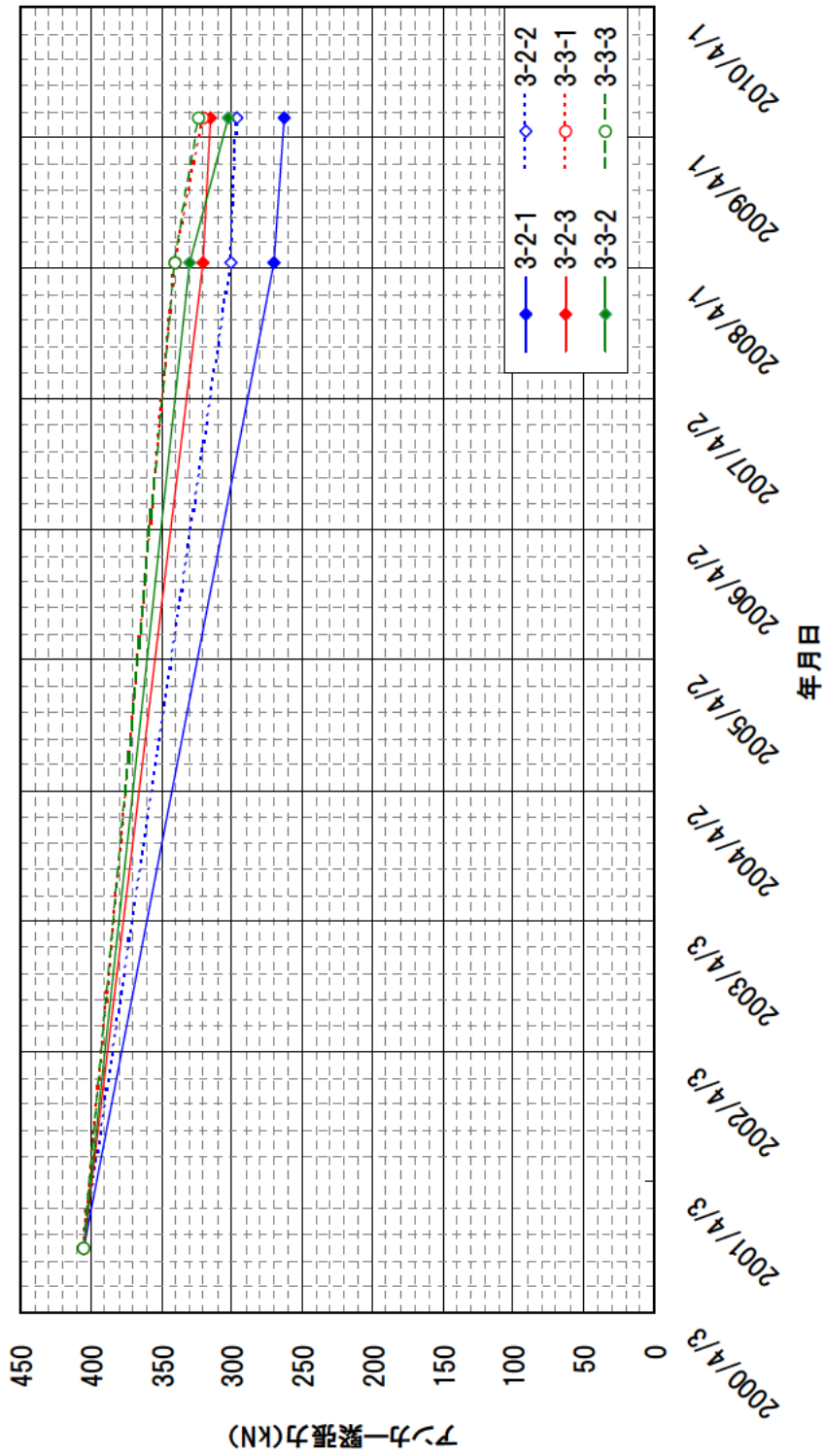


図 10.22 アンカー緊張力の経時変化

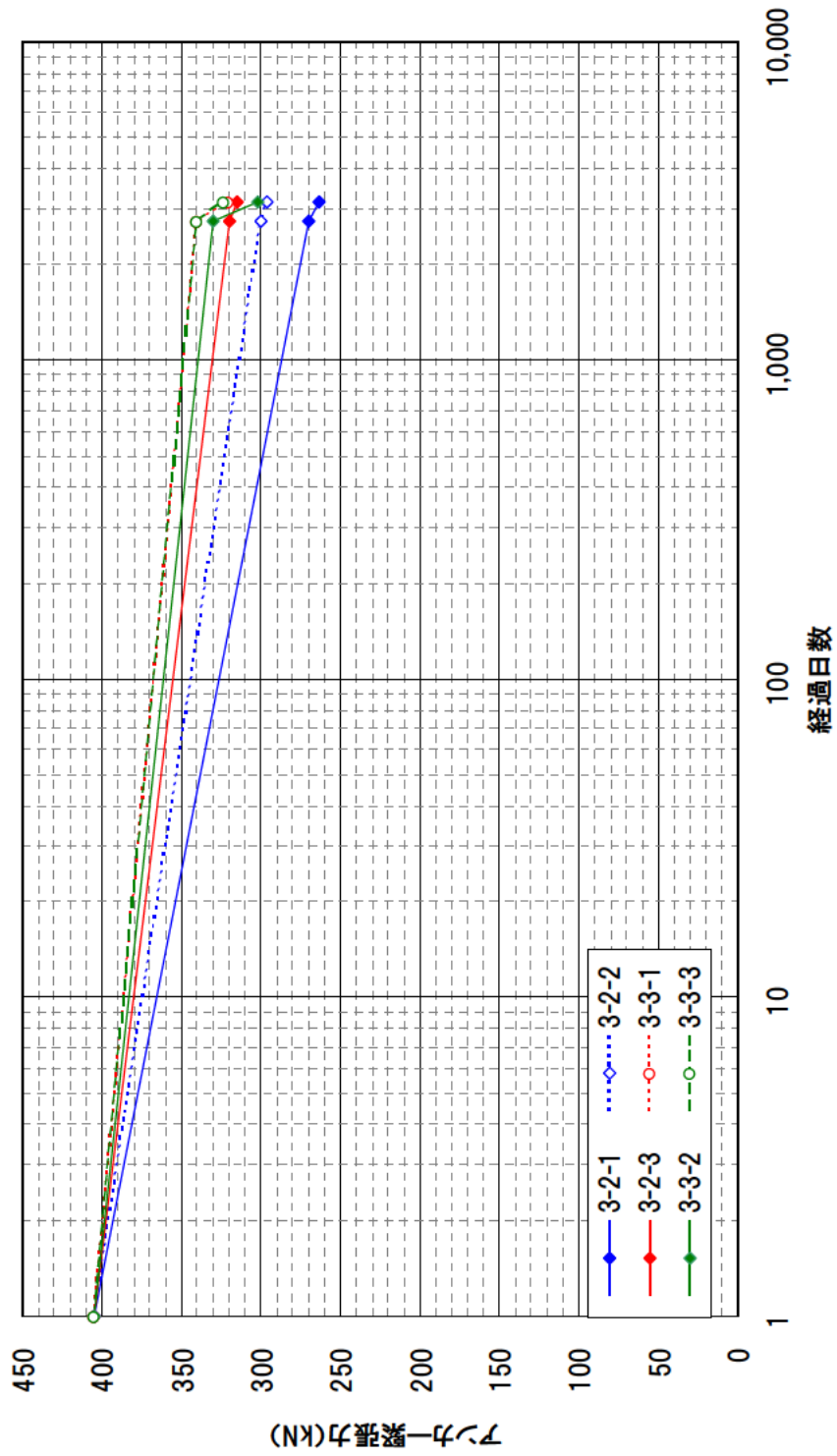


図 10.23 アンカー緊張力の経時変化 (時間軸対数)



写真 10.46 リフトオフ試験結果

アンカー番号：3-2-1

チェックリフトオフ荷重：
263.0kN¹

- 1 データ解析値
- 2 現場測定暫定値：270kN



写真 10.47 リフトオフ試験結果

アンカー番号：3-2-2

チェックリフトオフ荷重：
296.5kN¹

- 1 データ解析値
- 2 現場測定暫定値：295kN



写真 10.48 リフトオフ試験結果

アンカー番号：3-2-3

チェックリフトオフ荷重：
314.7kN¹

- 1 データ解析値
- 2 現場測定暫定値：320kN



写真 10.49 リフトオフ試験結果

アンカー番号：3-3-1

チェックリフトオフ荷重：
320.5kN¹

- 1 データ解析値
- 2 現場測定暫定値：320kN



写真 10.50 リフトオフ試験結果

アンカー番号：3-3-2

チェックリフトオフ荷重：
302.3kN¹

- 1 データ解析値
- 2 現場測定暫定値：300kN



写真 10.51 リフトオフ試験結果

アンカー番号：3-3-3

チェックリフトオフ荷重：
323.4kN¹

- 1 データ解析値
- 2 現場測定暫定値：330kN

表 10.39 リフトオフ試験結果（アンカー番号：3-2-1 / 共和電業）

1. 試験諸元

工 事 名	共同研究「アンカーへの取付け・交換が容易な新型アンカー荷重計の開発」 既設アンカー緊張力モニタリングシステム現場実証試験
試 験 場 所	
試 験 日	平成21年5月25日
アンカー番号	3-2-1（設置荷重計：共和電業製）
試験最大荷重	301.6 kN

2. 試験アンカーの諸元

アンカー規格	VSL E5-4
アンカー長	15,400 mm
定着長	5,000 mm
緊張自由長	10,400 mm
自由長	10,000 mm
把持余長	400 mm
弾性係数 E_s	196.0 kN/mm ²
断面積 A_s	394.8 mm ²

【参考】

$$\Delta u = \Delta T \cdot l_{sf} / (A_s \cdot E_s)$$

Δu ：増加変位量 (mm)

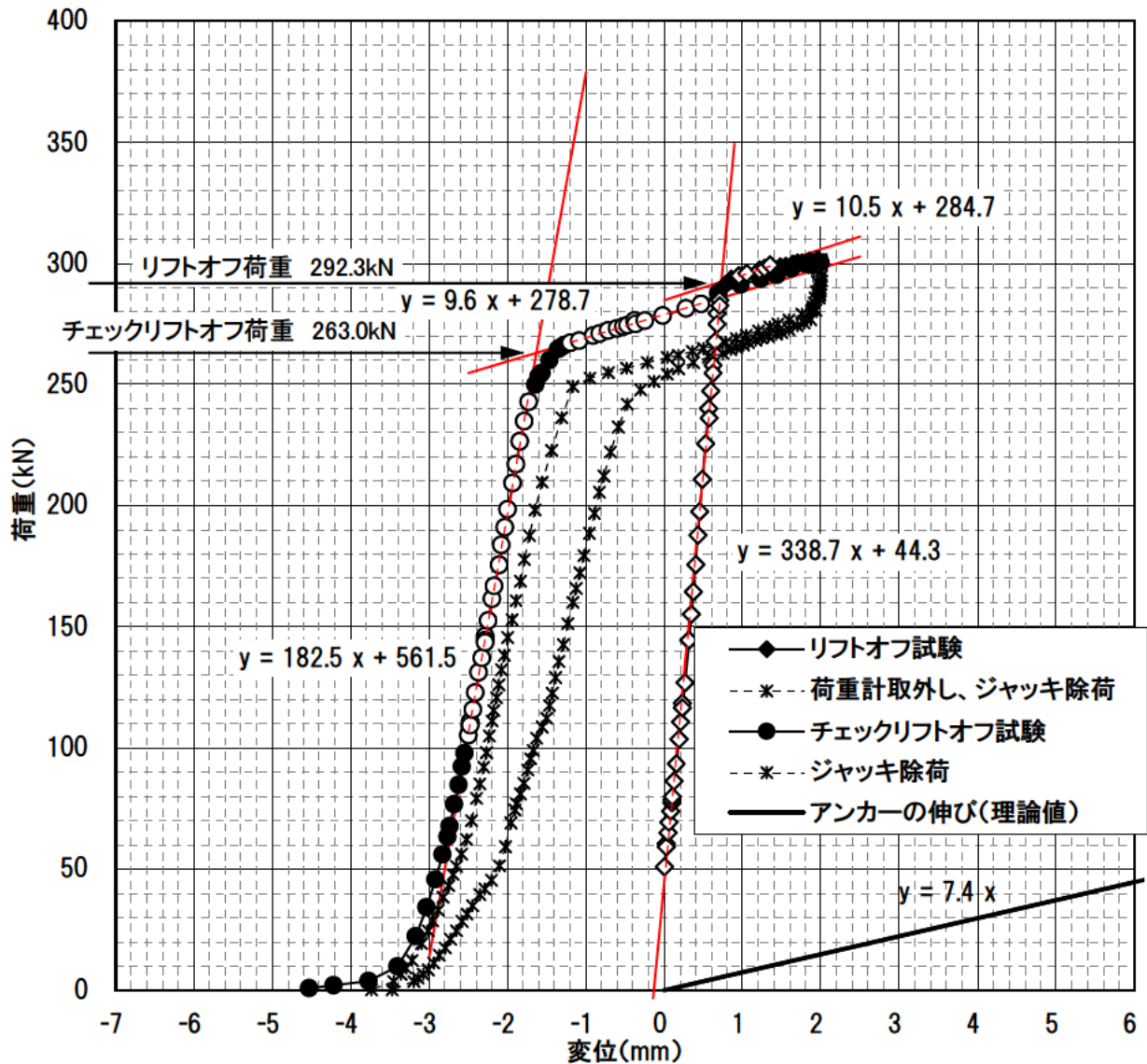
ΔT ：増加荷重量 (kN)

l_{sf} ：緊張自由長 (mm)

A_s ：アンカーの断面積 (mm²)

E_s ：アンカーの弾性係数 (kN/mm²)

3. 計測データ（変位-荷重曲線）



4. 試験結果

リフトオフ荷重	292.3	kN
チェックリフトオフ荷重	263.0	kN

表 10.40 リフトオフ試験結果（アンカー番号：3-2-2 / 坂田電機）

1. 試験諸元

工 事 名	共同研究「アンカーへの取付け・交換が容易な新型アンカー荷重計の開発」 既設アンカー緊張力モニタリングシステム現場実証試験
試 験 場 所	
試 験 日	平成21年5月24日
アンカー番号	3-2-2（設置荷重計：坂田電機製）
試験最大荷重	339.5 kN

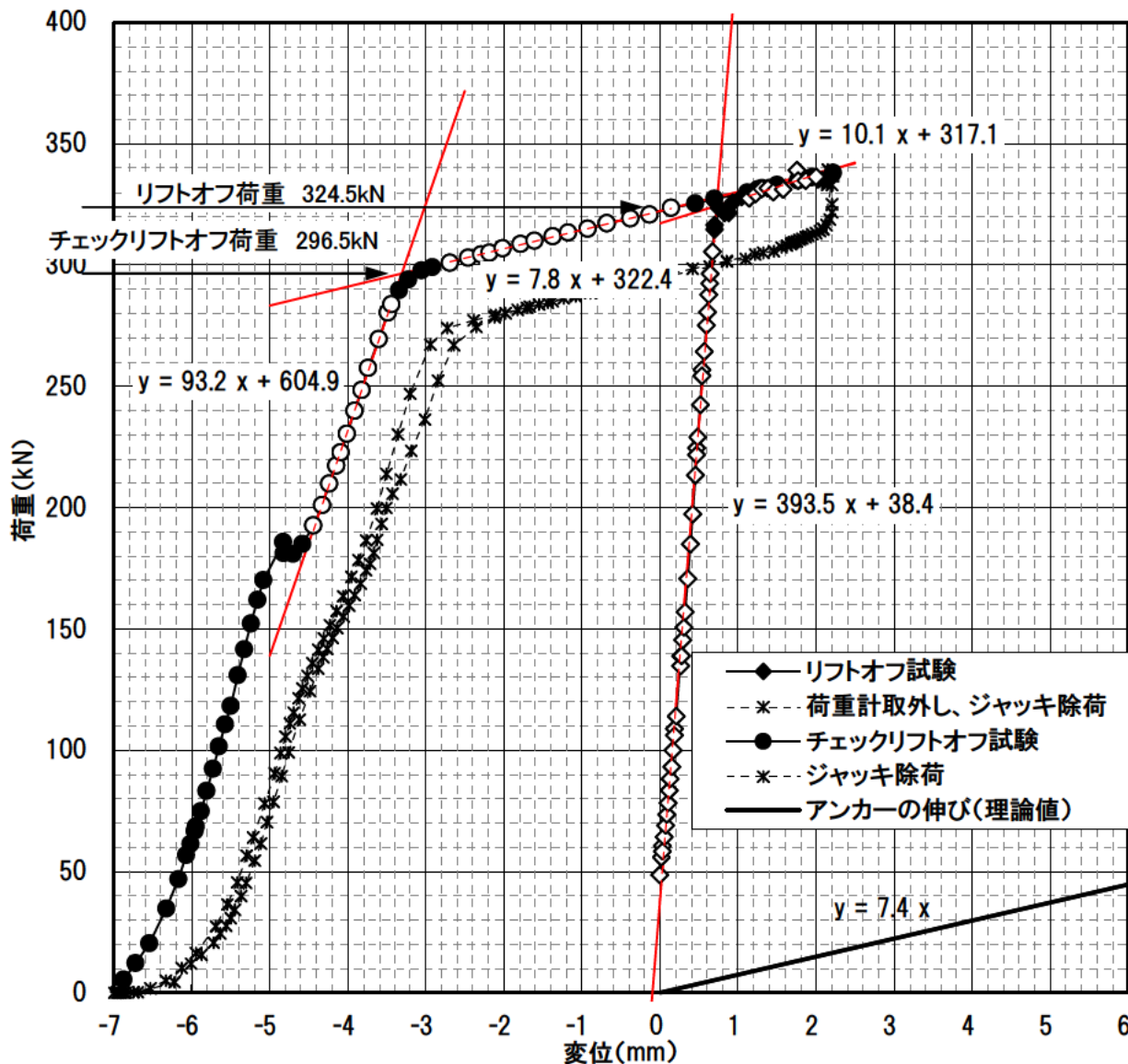
2. 試験アンカーの諸元

アンカー規格	VSL E5-4
アンカー長	15,400 mm
定着長	5,000 mm
緊張自由長	10,400 mm
自由長	10,000 mm
把持余長	400 mm
弾性係数 E_s	196.0 kN/mm ²
断面積 A_s	394.8 mm ²

【参考】

$\Delta u = \Delta T \cdot l_{sf} / (A_s \cdot E_s)$
 Δu : 増加変位量 (mm)
 ΔT : 増加荷重量 (kN)
 l_{sf} : 緊張自由長 (mm)
 A_s : アンカーの断面積 (mm²)
 E_s : アンカーの弾性係数 (kN/mm²)

3. 計測データ（変位-荷重曲線）



4. 試験結果

リフトオフ荷重	324.5	kN
チェックリフトオフ荷重	296.5	kN

表 10.41 リフトオフ試験結果（アンカー番号：3-2-3 / 東京測器研究所）

1. 試験諸元

工事名	共同研究「アンカーへの取付け・交換が容易な新型アンカー荷重計の開発」 既設アンカー緊張力モニタリングシステム現場実証試験
試験場所	
試験日	平成21年5月24日
アンカー番号	3-2-3（設置荷重計：東京測器研究所製）
試験最大荷重	359.7 kN

2. 試験アンカーの諸元

アンカー規格	VSL E5-4
アンカー長	15,400 mm
定着長	5,000 mm
緊張自由長	10,400 mm
自由長	10,000 mm
把持余長	400 mm
弾性係数 E_s	196.0 kN/mm ²
断面積 A_s	394.8 mm ²

【参考】

$$\Delta u = \Delta T \cdot l_{sf} / (A_s \cdot E_s)$$

Δu ：増加変位置量 (mm)

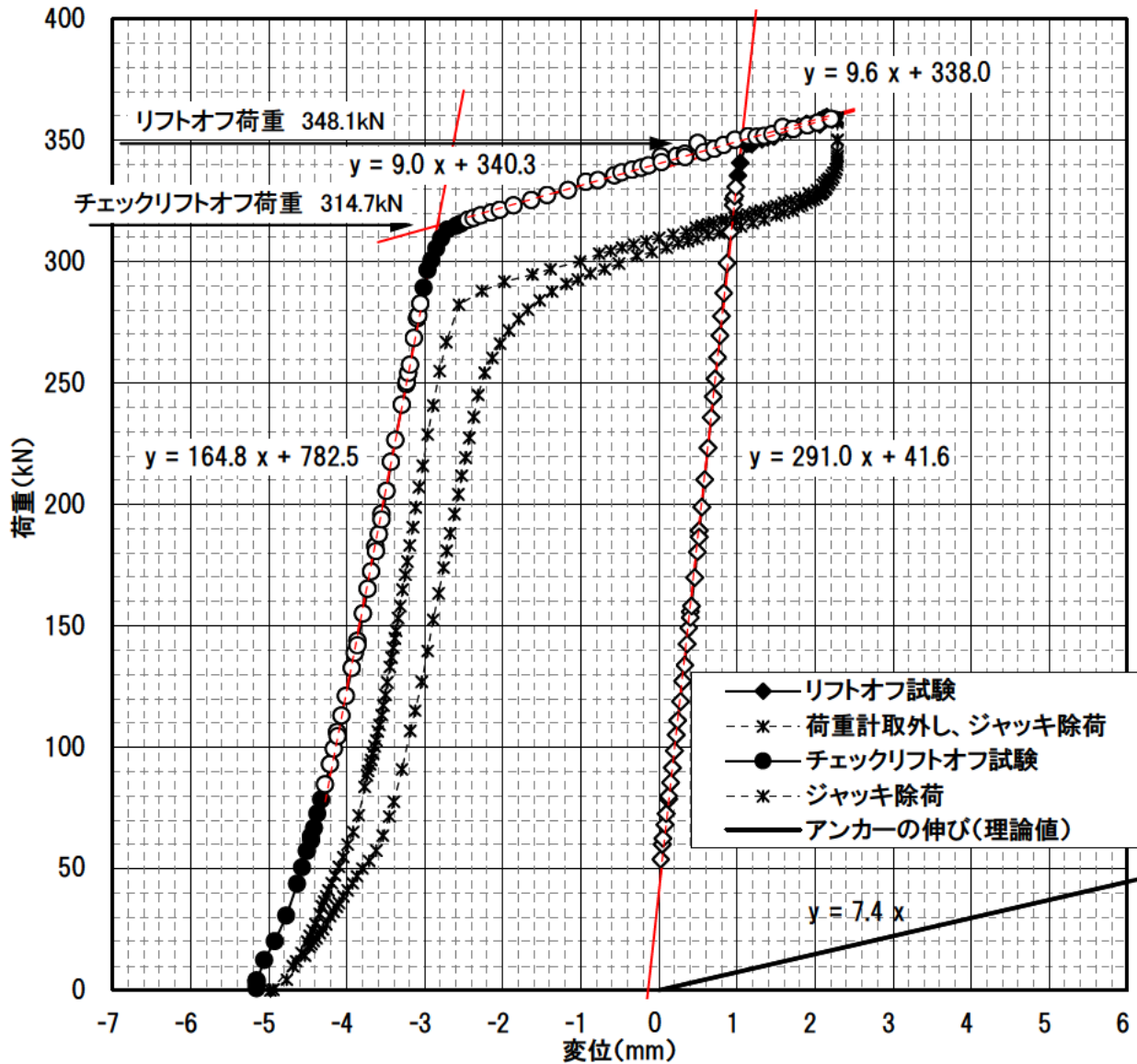
ΔT ：増加荷重量 (kN)

l_{sf} ：緊張自由長 (mm)

A_s ：アンカーの断面積 (mm²)

E_s ：アンカーの弾性係数 (kN/mm²)

3. 計測データ（変位-荷重曲線）



4. 試験結果

リフトオフ荷重	348.1	kN
チェックリフトオフ荷重	314.7	kN

表 10.42 リフトオフ試験結果（アンカー番号：3-3-1 / 東横エルメス）

1. 試験諸元

工 事 名	共同研究「アンカーへの取付け・交換が容易な新型アンカー荷重計の開発」 既設アンカー緊張力モニタリングシステム現場実証試験
試 験 場 所	
試 験 日	平成21年5月25日
アンカー番号	3-3-1（設置荷重計：東横エルメス製）
試験最大荷重	361.0 kN

2. 試験アンカーの諸元

アンカー規格	VSL E5-4
アンカー長	10,400 mm
定着長	5,000 mm
緊張自由長	5,400 mm
自由長	5,000 mm
把持余長	400 mm
弾性係数 E_s	196.0 kN/mm ²
断面積 A_s	394.8 mm ²

【参考】

$$\Delta u = \Delta T \cdot l_{sf} / (A_s \cdot E_s)$$

Δu ：増加変位置量 (mm)

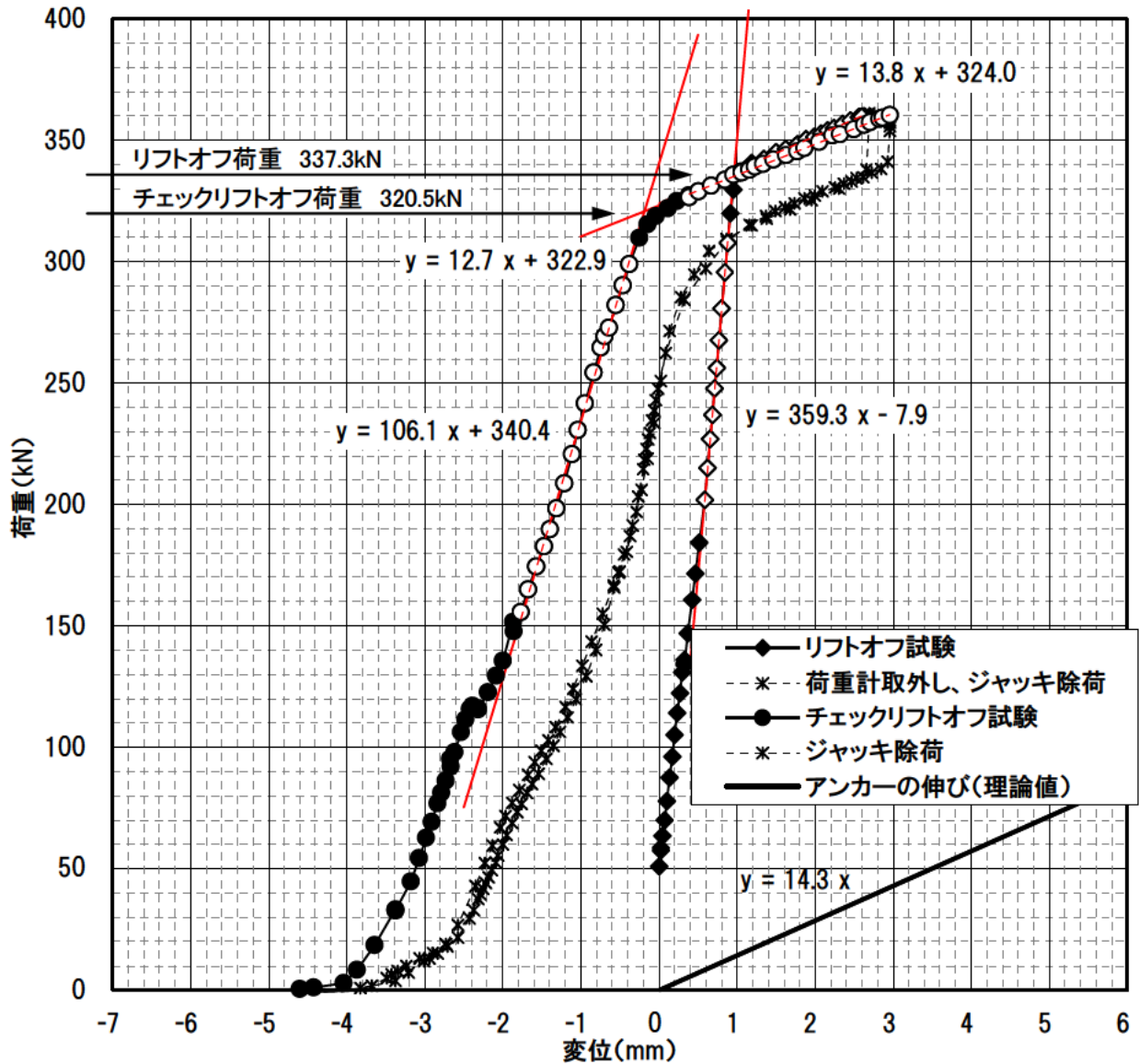
ΔT ：増加荷重量 (kN)

l_{sf} ：緊張自由長 (mm)

A_s ：アンカーの断面積 (mm²)

E_s ：アンカーの弾性係数 (kN/mm²)

3. 計測データ（変位-荷重曲線）



4. 試験結果

リフトオフ荷重	337.3	kN
チェックリフトオフ荷重	320.5	kN

表 10.43 リフトオフ試験結果（アンカー番号：3-3-2 / 守谷鋼機）

1. 試験諸元

工 事 名	共同研究「アンカーへの取付け・交換が容易な新型アンカー荷重計の開発」 既設アンカー緊張力モニタリングシステム現場実証試験
試 験 場 所	
試 験 日	平成21年5月25日
アンカー番号	3-3-2（設置荷重計：守谷鋼機製）
試験最大荷重	361.6 kN

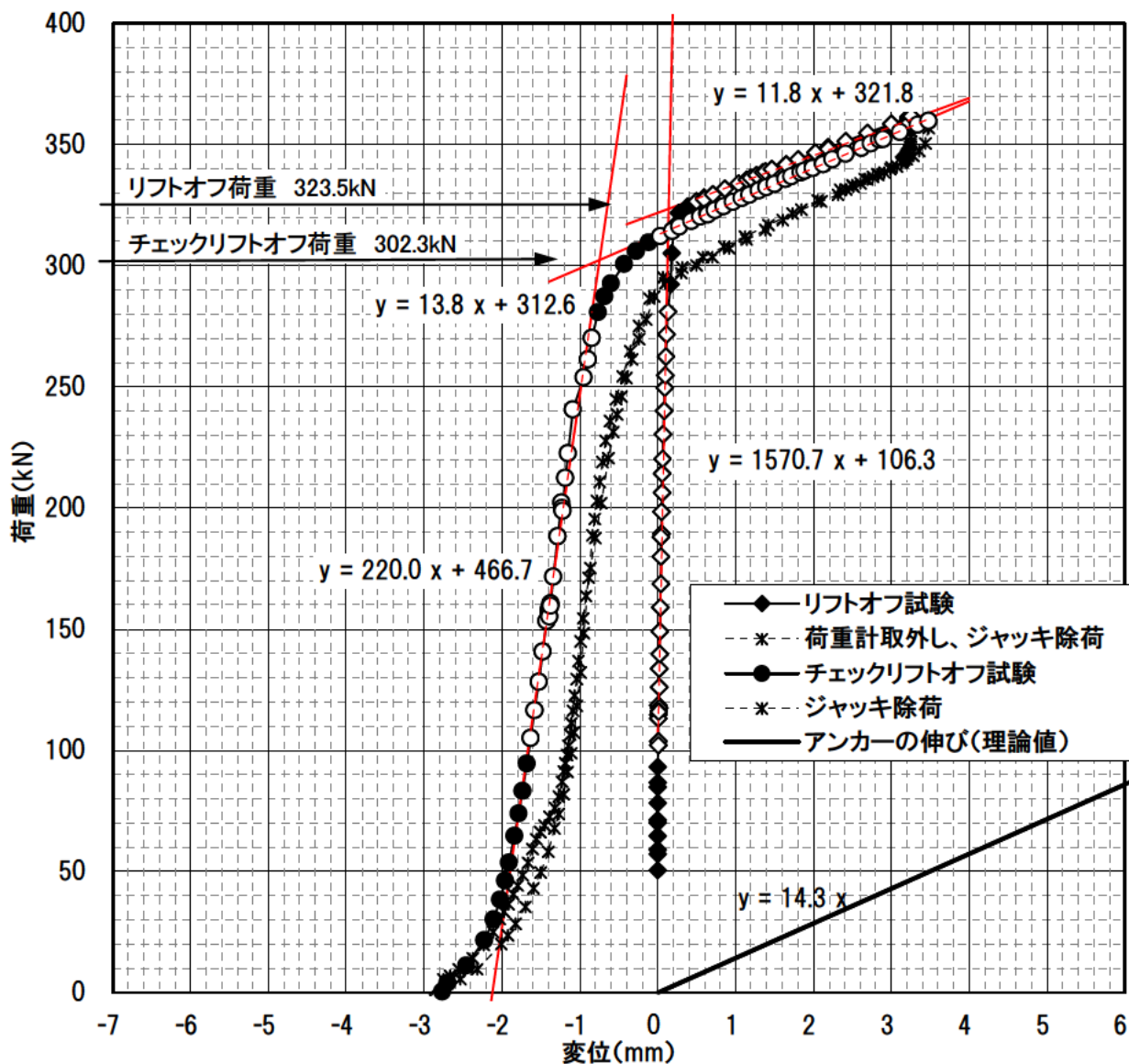
2. 試験アンカーの諸元

アンカー規格	VSL E5-4
アンカー長	10,400 mm
定着長	5,000 mm
緊張自由長	5,400 mm
自由長	5,000 mm
把持余長	400 mm
弾性係数 Es	196.0 kN/mm ²
断面積 As	394.8 mm ²

【参考】

$\Delta u = \Delta T \cdot l_{sf} / (A_s \cdot E_s)$
 Δu : 増加変位量 (mm)
 ΔT : 増加荷重量 (kN)
 l_{sf} : 緊張自由長 (mm)
 A_s : アンカーの断面積 (mm²)
 E_s : アンカーの弾性係数 (kN/mm²)

3. 計測データ（変位-荷重曲線）



4. 試験結果

リフトオフ荷重	323.5	kN
チェックリフトオフ荷重	302.3	kN

表 10.44 リフトオフ試験結果（アンカー番号：3-3-3 / エスイー）

1. 試験諸元

工 事 名	共同研究「アンカーへの取付け・交換が容易な新型アンカー荷重計の開発」 既設アンカー緊張力モニタリングシステム現場実証試験
試 験 場 所	
試 験 日	平成21年5月25日
アンカー番号	3-3-3（設置荷重計：エスイー製）
試験最大荷重	374.4 kN

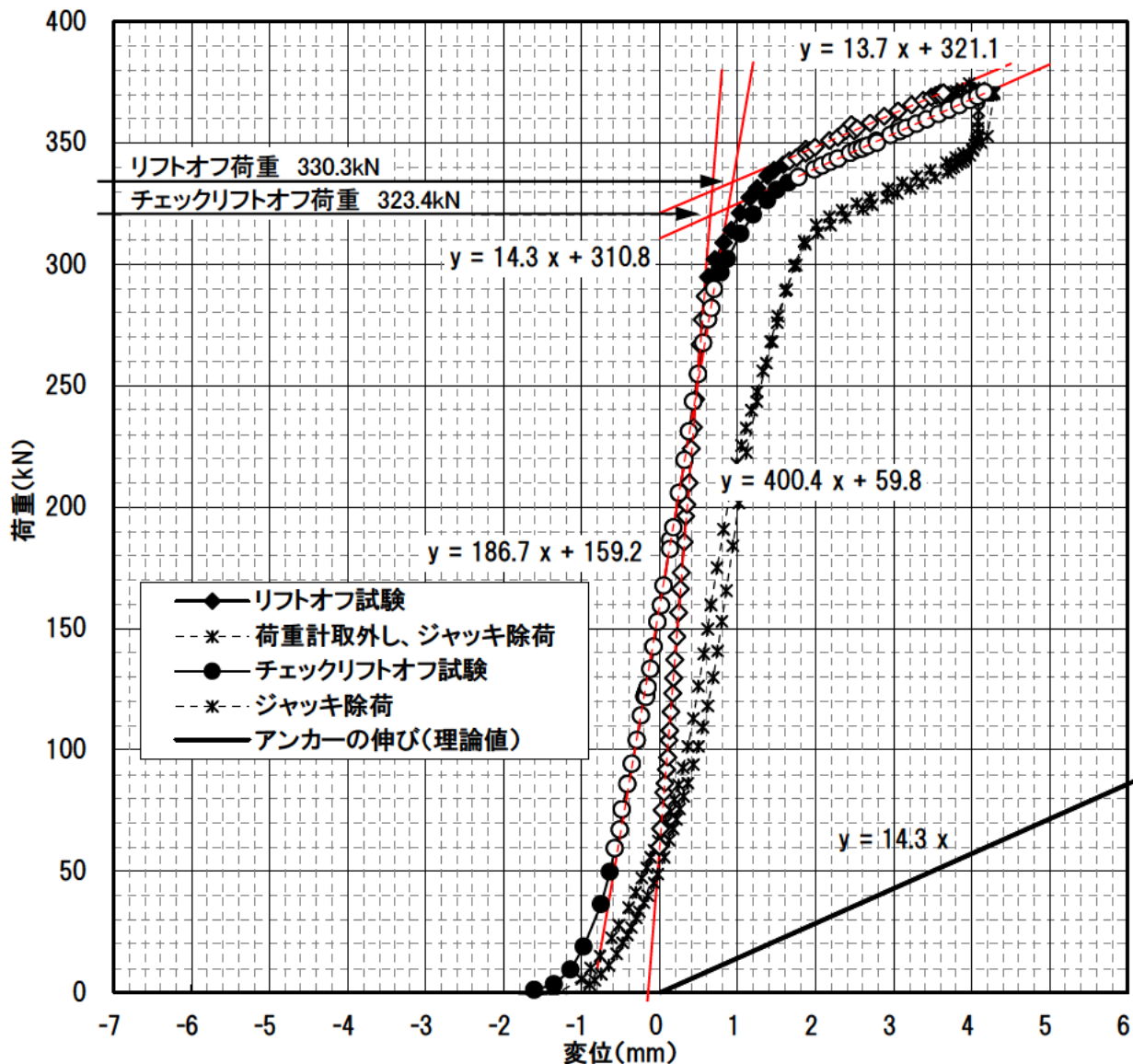
2. 試験アンカーの諸元

アンカー規格	VSL E5-4
アンカー長	10,400 mm
定着長	5,000 mm
緊張自由長	5,400 mm
自由長	5,000 mm
把持余長	400 mm
弾性係数 Es	196.0 kN/mm ²
断面積 As	394.8 mm ²

【参考】

$\Delta u = \Delta T \cdot l_{sf} / (A_s \cdot E_s)$
 Δu : 増加変位量 (mm)
 ΔT : 増加荷重量 (kN)
 l_{sf} : 緊張自由長 (mm)
 A_s : アンカーの断面積 (mm²)
 E_s : アンカーの弾性係数 (kN/mm²)

3. 計測データ（変位-荷重曲線）



4. 試験結果

リフトオフ荷重	330.3	kN
チェックリフトオフ荷重	323.4	kN

(2) 交換作業性の評価

各社荷重計に対して取付け作業性を表 10.45 に示す評価段階で評価した。その結果を表 10.46 に示す。

全てにおいて、問題なく荷重計を交換できることを確認した。

表 10.45 評価段階

記号	評価	内容
	良	特に問題なく取付け作業が実施できた
	可	若干の問題点があったが、部分的な改良によって良好な取付け作業ができる
×	不可	大きな問題点がある、または取付け作業が不能であったため、根本的な改良が必要である

表 10.46 取外し・交換作業性確認試験の評価

チェック項目	評価					
	共和電業 製	坂田電機 製	東京測器 研究所製	東横エル メス製	守谷鋼機 製	エスイー 製
1 ヘッドキャップの取外しやすさ						
2 防錆油の除去						
3 緊張治具の取付け						
4 緊張治具によるリフトオフ						
5 荷重計の緊張力解放						
6 緊張治具の取外し						
7 チェックリフトオフ						

(3) 取外し方法の評価

ジョイントスリーブの取外し

ジョイントスリーブの取外しは、図 10.24 に示す様な治具を用いて簡単に行えたが、今後の拡張開発（容量：1000kN）においても同様に行えるかを事前に確認する必要がある。

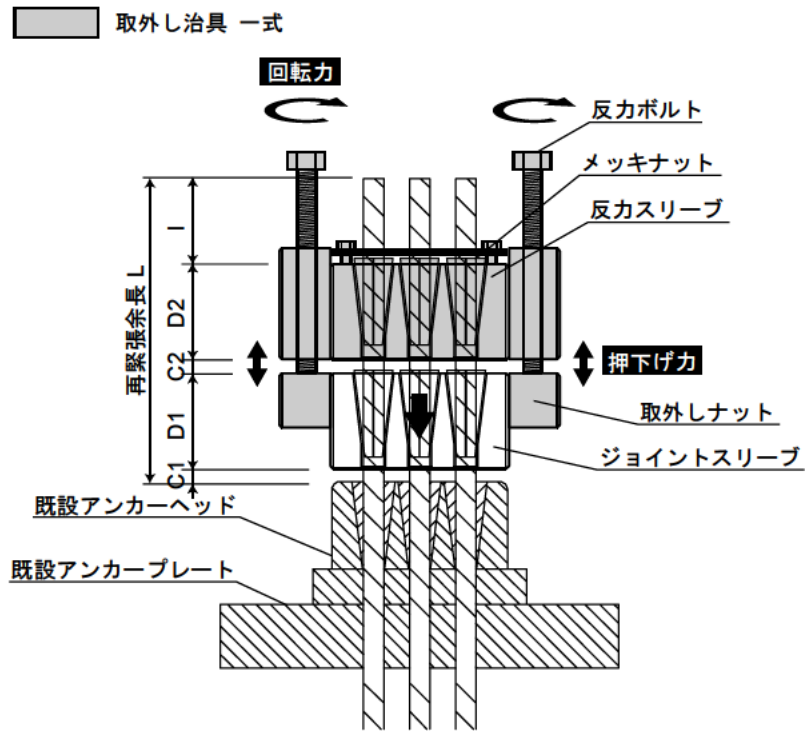


図 10.24 取外し治具の構造及び取外し方法

②油圧ジャッキの選定

守谷鋼機製荷重計の取外しの際、テンションロッドの長さが短くて複動式油圧ジャッキを取付けることができなかった。そのために、荷重計取り付け時と同じ単動式油圧ジャッキを取り付けた。

テンションロッドの長さを検討する必要がある。

③定着ナットを回す治具

定着ナット側面に設けられた回転用の孔を利用して定着ナットを緩めるが、現場ではラチェットや六角レンチなどを使っていた。これらの道具では、作業がしづらだけでなく、定着ナットの孔を傷付けることもあるためふさわしくない。

そこで、回転用の孔にはまる回転棒（治具）を標準的に準備することが良いと考えられる。

10.6 試験結果 拡張開発（緊張治具）

10.6.1 取付け・取外し作業性確認試験

取付け作業性確認試験においては、これに先立ってアンカー頭部状況の確認とアンカー緊張力を把握するためのリフトオフ試験を実施した。ここでは、これらの結果について示す。

(1) アンカー頭部状況の確認

取付け作業性確認試験を実施する前に、試験アンカー（6本）のヘッドキャップを外し、アンカー頭部の状況を確認した。確認は、再緊張余長の測定と、アンカー頭部を構成する部材（支圧板、アンカーヘッド、ジョイントプレート、PC鋼より線、くさび）の目視点検を実施した。その結果を表 10.47～表 10.50 及び写真 10.52、写真 10.53 に示す。また、図 10.25 に PC 鋼より線の番号付け及びジョイントプレート偏芯状況の測定位置を示す。

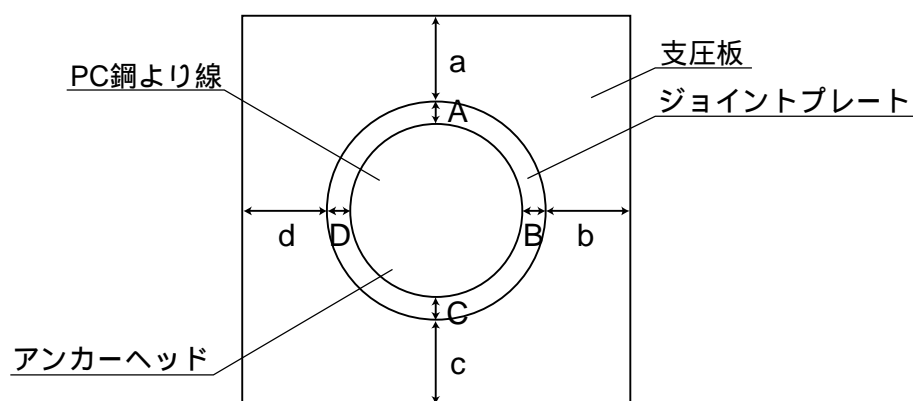


図 10.25 PC 鋼より線の番号付け及びジョイントプレート偏芯状況の測定位置

再緊張余長の確認

再緊張余長は最小 174mm , 最大 210mm であり、70mm 以上の余長が確保されていることが確認された。

表 10.47 試験アンカーの再緊張余長

アンカー 番号	再緊張余長の長さ (mm)						
	1	2	3	4	5	6	7
C-56	206	207	210 _{max}	207	208	208	209
C-57	187	187	185	183	183	182	186
C-58	185	189	192	197	186	184	187
C-59	195	200	203	206	197	195	198
C-60	199	197	197	193	193	193	200
C-61	176	183	184	183	174 _{min}	175	177

ジョイントプレートの偏芯状況

アンカーヘッドに対するジョイントプレートの偏芯は、最大 4mm あった。また、支圧板に対するジョイントプレートの偏芯は、最大 3.5mm であった。偏芯の傾向としては、それぞれ鉛直方向のズレが大きかった。

なお、このような偏芯に対しても、緊張治具の取付けは問題ないと判断した。

表 10.48 ジョイントプレートの偏芯状況 (対アンカーヘッド)

アンカー 番号	長さ (mm)			
	A	B	C	D
C-56	14 (2)	12 (0)	9 (-3)	11 (-1)
C-57	8 _{min} (-4)	13 (1)	16 _{max} (4)	11 (-1)
C-58	8 _{min} (-4)	12 (0)	16 _{max} (4)	12 (0)
C-59	13 (1)	12 (0)	11 (-1)	12 (1)
C-60	9 (-3)	11 (-1)	15 (3)	13 (1)
C-61	9 (-3)	13 (1)	13 (1)	10 (-2)
偏芯なしの場合	12	12	12	12

() 内は、偏芯なしの場合との差

表 10.49 ジョイントプレートの偏芯状況（対支圧板）

アンカー 番号	長さ（mm）			
	a	b	c	d
C-56	73 _{max} （2.5）	70（-0.5）	67 _{min} （-3.5）	70（-0.5）
C-57	68（-2.5）	70（-0.5）	73 _{max} （2.5）	70（-0.5）
C-58	67 _{min} （-3.5）	69（-1.5）	73 _{max} （2.5）	71（0.5）
C-59	70（-0.5）	69（-1.5）	70（-0.5）	71（0.5）
C-60	69（-1.5）	71（0.5）	71（0.5）	67 _{min} （-3.5）
C-61	68（-2.5）	70（-0.5）	71（0.5）	70（-0.5）
偏芯なしの場合	70.5	70.5	70.5	70.5

（ ）内は、偏芯なしの場合との差

アンカー頭部部材の目視点検

アンカー頭部部材の目視点検結果については、ジョイントプレートや支圧板の一部に若干の錆が認められたが、くさびやPC鋼より線は良好であり、アンカーは健全であると判断した。

表 10.50 試験アンカーのアンカー頭部部材の目視点検結果

アンカー 番号	目視点検結果					評価
	支圧板	アンカー ヘッド	ジョイント プレート	PC鋼 より線	くさび	
C-56	ネジ部に若干の錆あり	上面、側面に若干の斑状の錆あり	側面にややサビあり	良好	良好	健全
C-57	ネジ部に若干の錆あり	良好	側面、上面にややサビあり	良好	良好	健全
C-58	ネジ部に若干の錆あり	上面、側面に若干の斑状の錆あり	側面、上面にややサビあり	良好	良好	健全
C-59	ネジ部に若干の錆あり	上面、側面に若干の斑状の錆あり	側面、上面にややサビあり	良好	良好	健全
C-60	ネジ部に若干の錆あり	上面、側面に若干の斑状の錆あり	側面、上面にややサビあり	良好	良好	健全
C-61	ネジ部に若干の錆あり	上面、側面にサビあり	側面、上面にややサビあり	良好	良好	健全



a) 再緊張余長の確認



b) 頭部状況の確認

1) アンカー番号 C-56



a) 再緊張余長の確認



b) 頭部状況の確認

2) アンカー番号 C-57



a) 再緊張余長の確認



b) 頭部状況の確認

3) アンカー番号 C-58

写真 10.52 試験アンカーの再緊張余長の確認結果 (その1)



a) 再緊張余長の確認



b) 頭部状況の確認

4) アンカー番号 C-59



a) 再緊張余長の確認



b) 頭部状況の確認

5) アンカー番号 C-60



a) 再緊張余長の確認



b) 頭部状況の確認

6) アンカー番号 C-61

写真 10.53 試験アンカーの再緊張余長の確認結果 (その2)

(2) リフトオフ試験結果

各試験アンカーのリフトオフ試験結果についてまとめたものを表 10.51 に示す。また、各試験アンカーの試験状況を写真 10.54～写真 10.59 に、試験表を表 10.52～表 10.57 に示す。なお、試験表に示す変位 - 荷重曲線の変位は、予備緊張を行った後の初期荷重（約 80kN）時点をゼロセットした値である。

リフトオフ試験の結果、各試験アンカーに導入されている緊張力は約 481.4～652.9kN であり、全て施工時の定着荷重より低下していた。C-61 アンカーについては低下率が 10%程度であったが、その他のアンカーについては 20%以上の低下率であった。

表 10.51 リフトオフ試験結果一覧

アンカー番号	試験順序	試験日	施工時定着荷重 A (kN)	リフトオフ荷重 B (kN)	差 (B-A) (kN)	試験表
C-56	5	1/29	732.6	520.8	-202.8	表 10.52
C-57	4	1/29	732.6	521.9	-201.7	表 10.53
C-58	6	1/31	732.6	481.4	-242.2	表 10.54
C-59	3	1/29	732.6	549.4	-174.2	表 10.55
C-60	2	1/28	732.6	503.6	-220.0	表 10.56
C-61	1	1/28	732.6	652.9	-79.7	表 10.57

施工時におけるアンカー工品質保証試験計画書より引用。



写真 10.54 リフトオフ試験結果

- ①アンカー番号：C-56
- ②荷重計：共和電業製
- ③リフトオフ荷重
A：520.8kN
B：約 520kN

【注】

- A：データ整理結果（確定値）
- B：現場での簡易算出値（写真）



写真 10.55 リフトオフ試験結果

- ①アンカー番号：C-57
- ②荷重計：東横エルメス製
- ③リフトオフ荷重
A：521.9kN
B：約 530kN

【注】

- A：データ整理結果（確定値）
- B：現場での簡易算出値（写真）



写真 10.56 リフトオフ試験結果

- ①アンカー番号：C-58
- ②荷重計：守谷鋼機製
- ③リフトオフ荷重
A：481.4kN
B：約 490kN

【注】

- A：データ整理結果（確定値）
- B：現場での簡易算出値（写真）

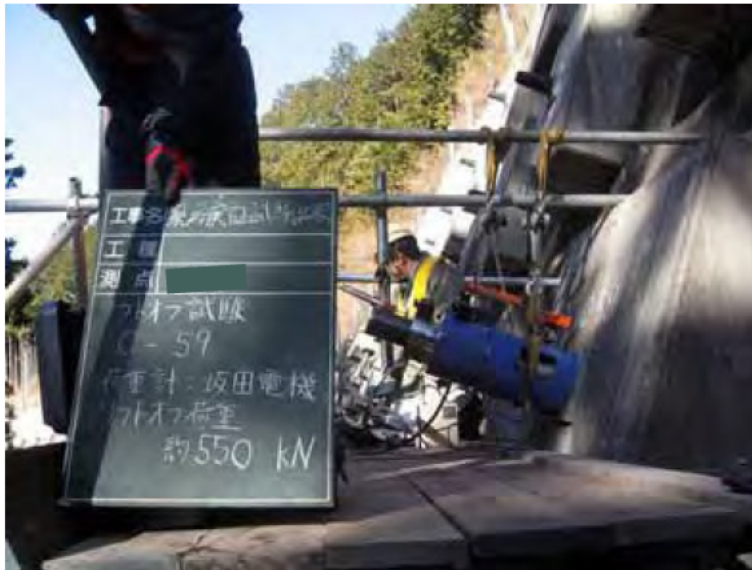


写真 10.57 リフトオフ試験結果

- ①アンカー番号：C-59
- ②荷重計：坂田電機製
- ③リフトオフ荷重
 - A：549.4kN
 - B：約 550kN

【注】

- A：データ整理結果（確定値）
- B：現場での簡易算出値（写真）



写真 10.58 リフトオフ試験結果

- ①アンカー番号：C-60
- ②荷重計：東京測器研究所製
- ③リフトオフ荷重
 - A：503.6kN
 - B：約 500kN

【注】

- A：データ整理結果（確定値）
- B：現場での簡易算出値（写真）



写真 10.59 リフトオフ試験結果

- ①アンカー番号：C-61
- ②荷重計：エスイー製
- ③リフトオフ荷重
 - A：652.9kN
 - B：約 650kN

【注】

- A：データ整理結果（確定値）
- B：現場での簡易算出値（写真）

表 10.52 リフトオフ試験結果（アンカー番号：C-56 / 共和電業）

1. 試験諸元

工事名	共同研究「アンカーへの取付け・交換が容易な新型アンカー荷重計の開発」 既設アンカー緊張力モニタリングシステム現場実証試験
試験場所	
試験日	平成21年1月29日
アンカー番号	C-56（設置荷重計：共和電業製）
試験最大荷重	768.9 kN

2. 試験アンカーの諸元

アンカー規格	VSL E5-7
アンカー長	12,000 mm
定着長	7,500 mm
緊張自由長	4,500 mm
自由長	4,000 mm
把持余長	500 mm
弾性係数 E_s	192.0 kN/mm ²
断面積 A_s	687.0 mm ²

【参考】

$$\Delta u = \Delta T \cdot l_{sf} / (A_s \cdot E_s)$$

Δu ：増加変位置量 (mm)

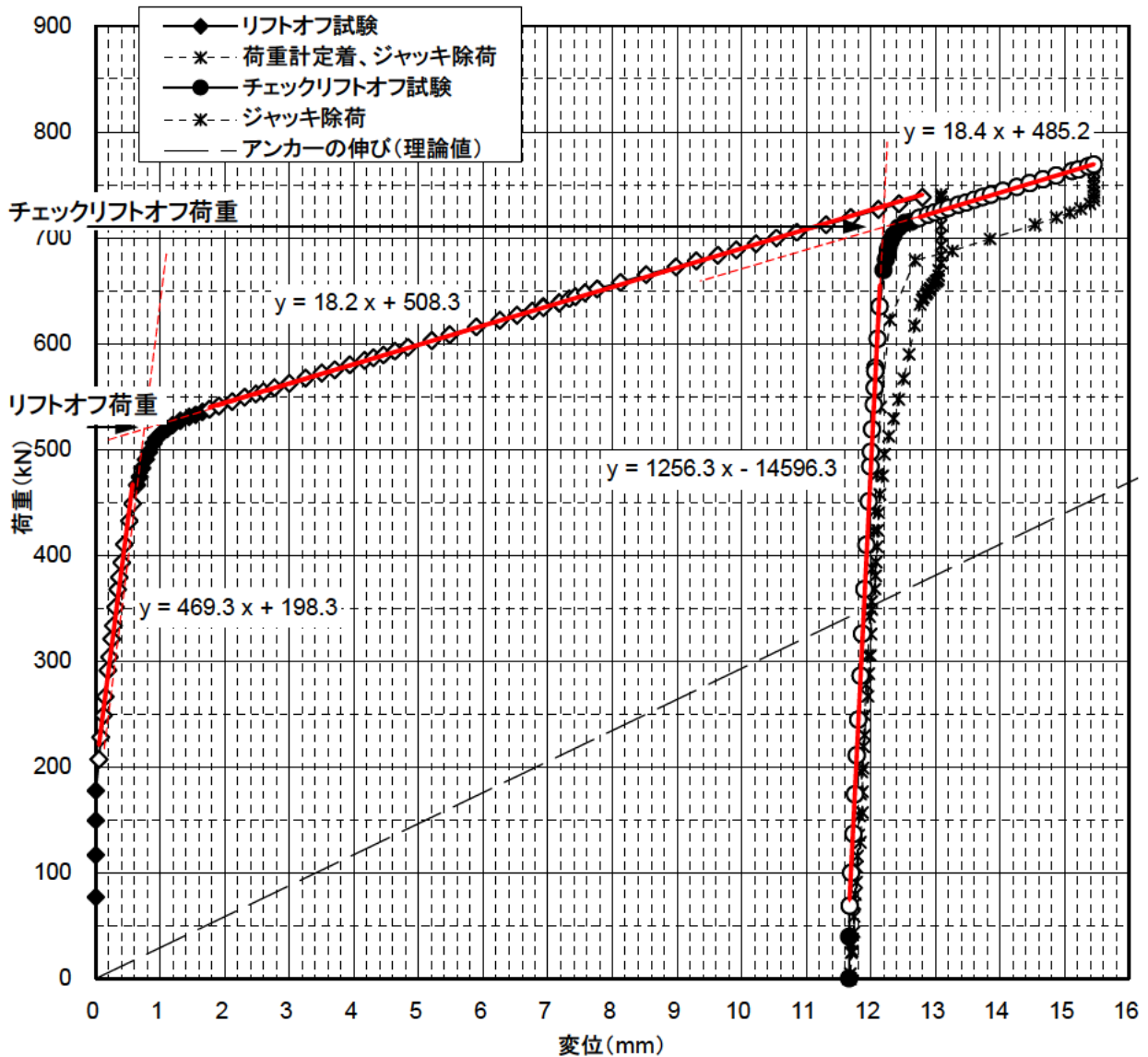
ΔT ：増加荷重量 (kN)

l_{sf} ：緊張自由長 (mm)

A_s ：アンカーの断面積 (mm²)

E_s ：アンカーの弾性係数 (kN/mm²)

3. 計測データ（変位-荷重曲線）



4. 試験結果

リフトオフ荷重	520.8	kN
チェックリフトオフ荷重	709.2	kN

表 10.53 リフトオフ試験結果（アンカー番号：C-57 / 東横エルメス）

1. 試験諸元

工 事 名	共同研究「アンカーへの取付け・交換が容易な新型アンカー荷重計の開発」 既設アンカー緊張力モニタリングシステム現場実証試験
試 験 場 所	
試 験 日	平成21年1月29日
アンカー番号	C-57（設置荷重計：東横エルメス製）
試験最大荷重	770.1 kN

2. 試験アンカーの諸元

アンカー規格	VSL E5-7
アンカー長	12,000 mm
定着長	7,500 mm
緊張自由長	4,500 mm
自由長	4,000 mm
把持余長	500 mm
弾性係数 E_s	192.0 kN/mm ²
断面積 A_s	687.0 mm ²

【参考】

$$\Delta u = \Delta T \cdot l_{sf} / (A_s \cdot E_s)$$

Δu : 増加変位量 (mm)

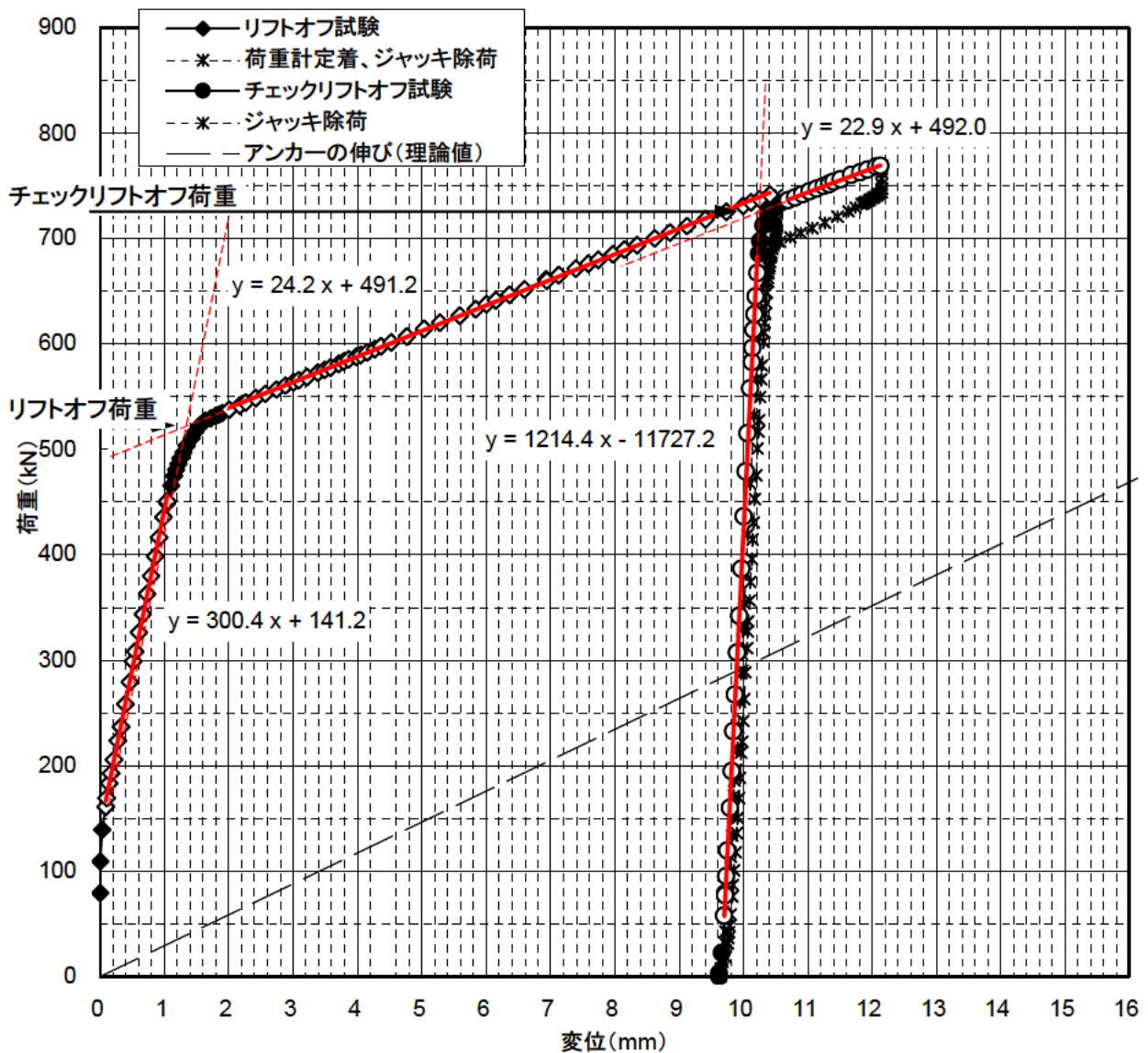
ΔT : 増加荷重量 (kN)

l_{sf} : 緊張自由長 (mm)

A_s : アンカーの断面積 (mm²)

E_s : アンカーの弾性係数 (kN/mm²)

3. 計測データ（変位-荷重曲線）



4. 試験結果

リフトオフ荷重	521.9 kN
チェックリフトオフ荷重	727.0 kN

表 10.54 リフトオフ試験結果（アンカー番号：C-58 / 守谷鋼機）

1. 試験諸元

工 事 名	共同研究「アンカーへの取付け・交換が容易な新型アンカー荷重計の開発」 既設アンカー緊張力モニタリングシステム現場実証試験
試 験 場 所	
試 験 日	平成21年1月31日
アンカー番号	C-58（設置荷重計：守谷鋼機製）
試験最大荷重	769.3 kN

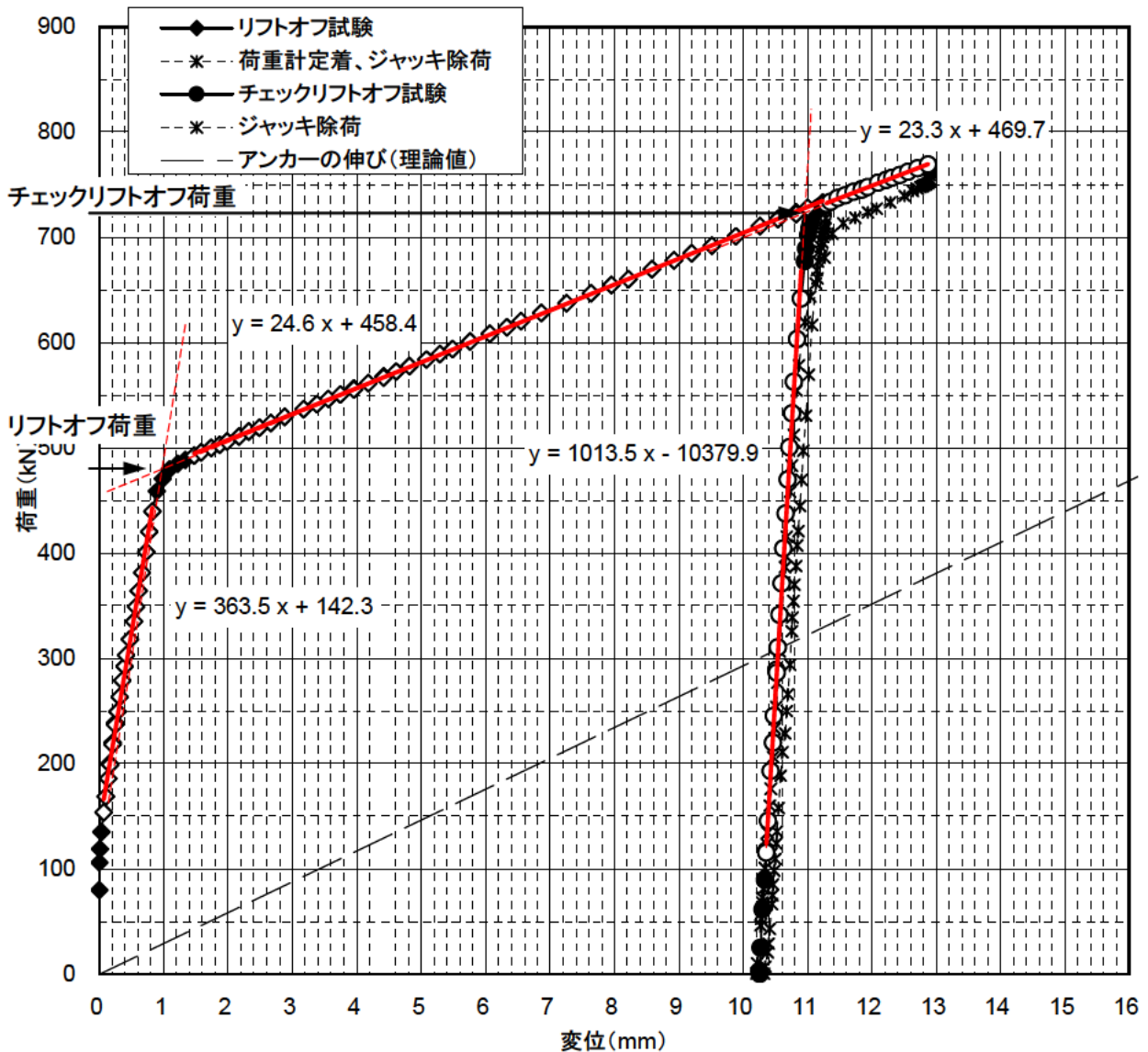
2. 試験アンカーの諸元

アンカー規格	VSL E5-7
アンカー長	12,000 mm
定着長	7,500 mm
緊張自由長	4,500 mm
自由長	4,000 mm
把持余長	500 mm
弾性係数 E_s	192.0 kN/mm ²
断面積 A_s	687.0 mm ²

【参考】

$\Delta u = \Delta T \cdot l_{sf} / (A_s \cdot E_s)$
 Δu ：増加変位置量 (mm)
 ΔT ：増加荷重量 (kN)
 l_{sf} ：緊張自由長 (mm)
 A_s ：アンカーの断面積 (mm²)
 E_s ：アンカーの弾性係数 (kN/mm²)

3. 計測データ（変位-荷重曲線）



4. 試験結果

リフトオフ荷重	481.4	kN
チェックリフトオフ荷重	724.8	kN

表 10.55 リフトオフ試験結果（アンカー番号：C-59 / 坂田電機）

1. 試験諸元

工 事 名	共同研究「アンカーへの取付け・交換が容易な新型アンカー荷重計の開発」 既設アンカー緊張力モニタリングシステム現場実証試験
試 験 場 所	
試 験 日	平成21年1月29日
アンカー番号	C-59（設置荷重計：坂田電機製）
試験最大荷重	770.7 kN

2. 試験アンカーの諸元

アンカー規格	VSL E5-7
アンカー長	12,000 mm
定着長	7,500 mm
緊張自由長	4,500 mm
自由長	4,000 mm
把持余長	500 mm
弾性係数 Es	192.0 kN/mm ²
断面積 As	687.0 mm ²

【参考】

$$\Delta u = \Delta T \cdot l_{sf} / (A_s \cdot E_s)$$

Δu：増加変位置量 (mm)

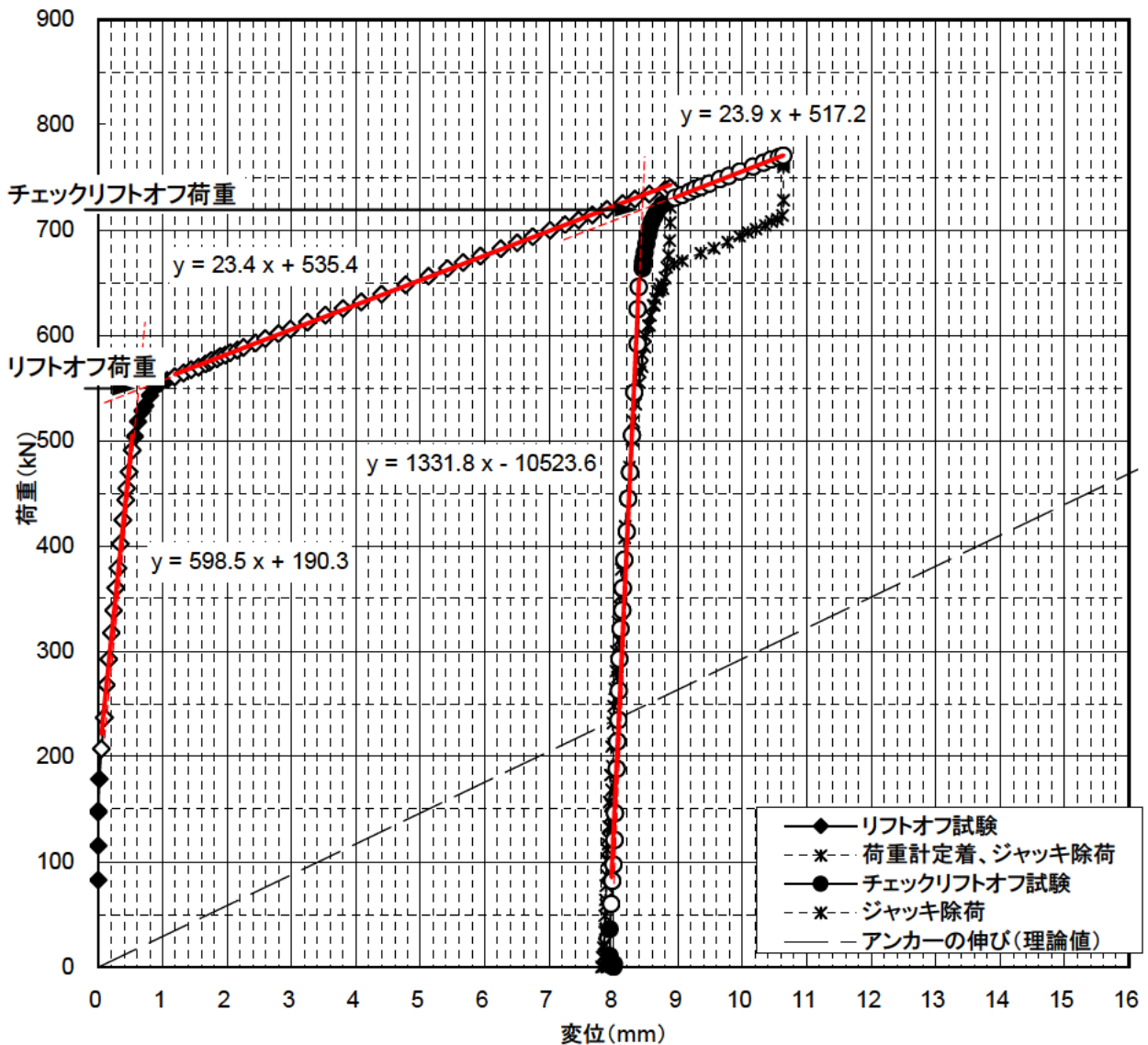
ΔT：増加荷重量 (kN)

l_{sf}：緊張自由長 (mm)

A_s：アンカーの断面積 (mm²)

E_s：アンカーの弾性係数 (kN/mm²)

3. 計測データ（変位-荷重曲線）



4. 試験結果

リフトオフ荷重	549.4	kN
チェックリフトオフ荷重	718.8	kN

表 10.56 リフトオフ試験結果（アンカー番号：C-60 / 東京測器研究所）

1. 試験諸元

工 事 名	共同研究「アンカーへの取付け・交換が容易な新型アンカー荷重計の開発」 既設アンカー緊張力モニタリングシステム現場実証試験
試 験 場 所	
試 験 日	平成21年1月28日
アンカー番号	C-60（設置荷重計：東京測器研究所製）
試験最大荷重	771.9 kN

2. 試験アンカーの諸元

アンカー規格	VSL E5-7
アンカー長	12,000 mm
定着長	7,500 mm
緊張自由長	4,500 mm
自由長	4,000 mm
把持余長	500 mm
弾性係数 E_s	192.0 kN/mm ²
断面積 A_s	687.0 mm ²

【参考】

$$\Delta u = \Delta T \cdot l_{sf} / (A_s \cdot E_s)$$

Δu : 増加変位量 (mm)

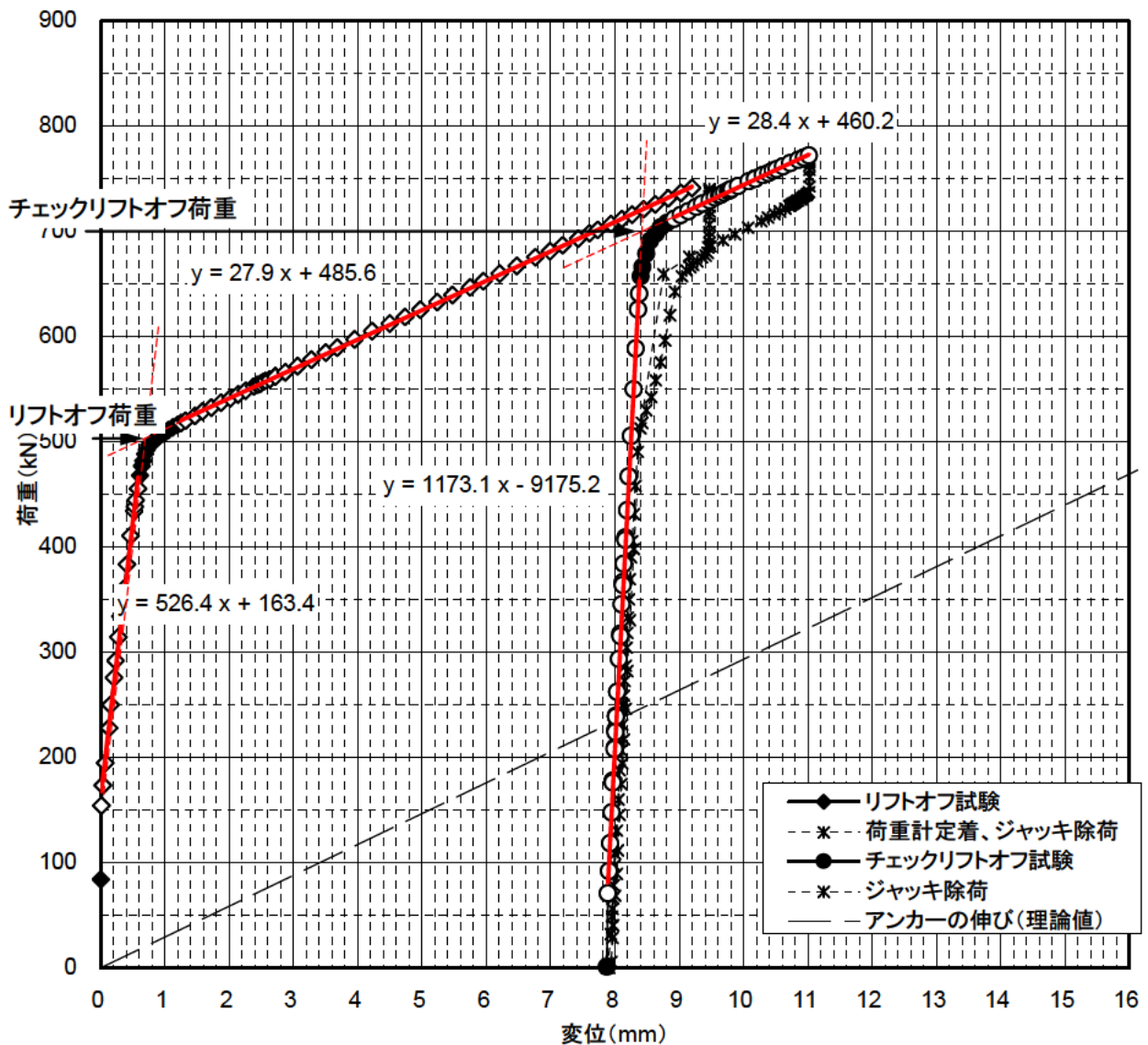
ΔT : 増加荷重量 (kN)

l_{sf} : 緊張自由長 (mm)

A_s : アンカーの断面積 (mm²)

E_s : アンカーの弾性係数 (kN/mm²)

3. 計測データ（変位-荷重曲線）



4. 試験結果

リフトオフ荷重	503.6	kN
チェックリフトオフ荷重	699.2	kN

表 10.57 リフトオフ試験結果（アンカー番号：C-61 / エスイー）

1. 試験諸元

工 事 名	共同研究「アンカーへの取付け・交換が容易な新型アンカー荷重計の開発」 既設アンカー緊張力モニタリングシステム現場実証試験
試 験 場 所	
試 験 日	平成21年1月28日
アンカー番号	C-61（設置荷重計：エスイー製）
試験最大荷重	770.2 kN

2. 試験アンカーの諸元

アンカー規格	VSL E5-7
アンカー長	12,000 mm
定着長	7,500 mm
緊張自由長	4,500 mm
自由長	4,000 mm
把持余長	500 mm
弾性係数 Es	192.0 kN/mm ²
断面積 As	687.0 mm ²

【参考】

$$\Delta u = \Delta T \cdot l_{sf} / (A_s \cdot E_s)$$

Δu : 増加変位量 (mm)

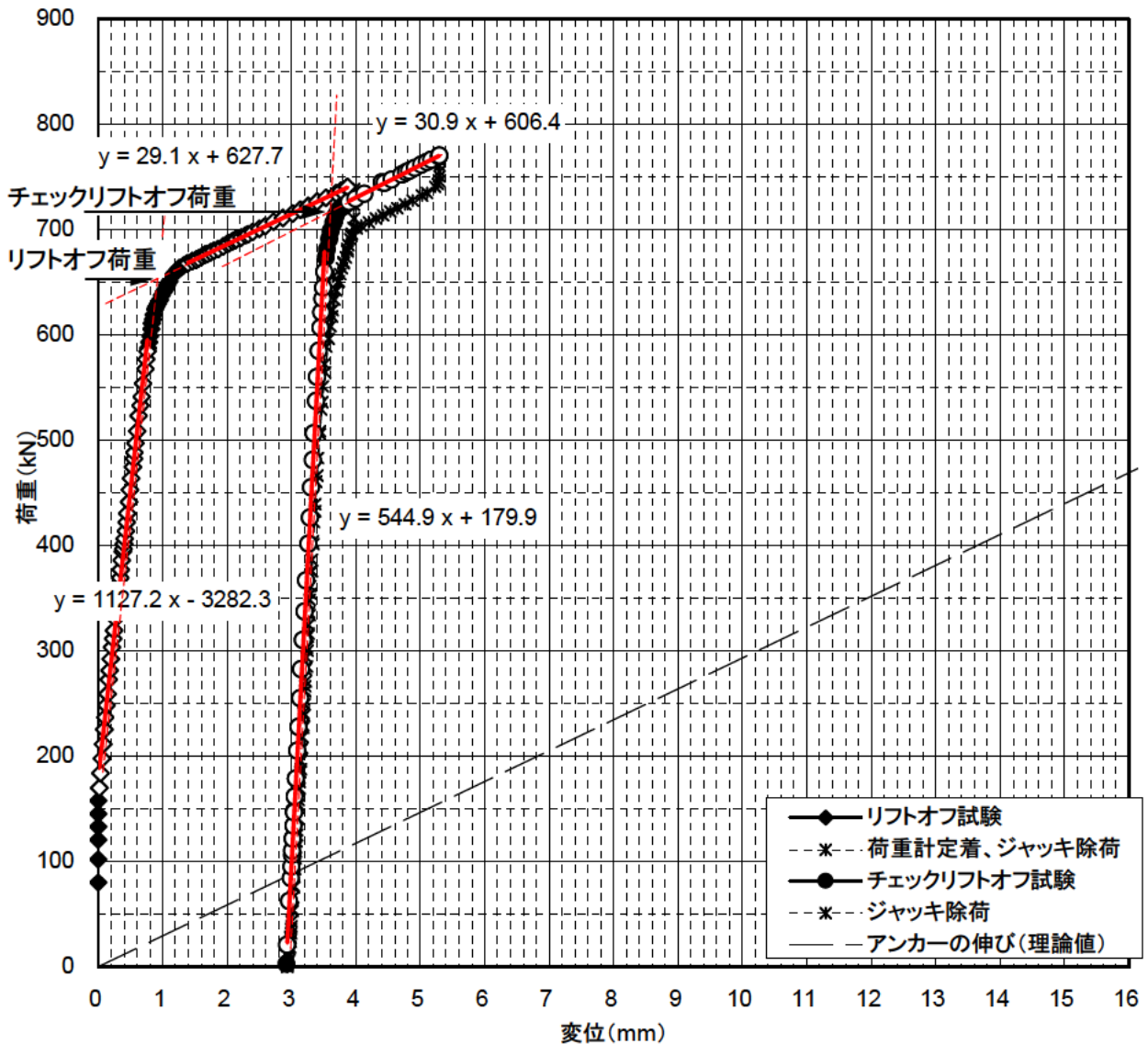
ΔT : 増加荷重量 (kN)

l_{sf} : 緊張自由長 (mm)

A_s : アンカーの断面積 (mm²)

E_s : アンカーの弾性係数 (kN/mm²)

3. 計測データ（変位-荷重曲線）



4. 試験結果

リフトオフ荷重	652.9	kN
チェックリフトオフ荷重	716.1	kN

(3) 取付け作業性確認試験の評価

各社荷重計に対して取付け作業性を表 10.58 に示す評価段階で評価した。

なお、各社製荷重計の取付け状況(アンカー緊張力を荷重計に移行させた状態)を写真 10.60 ~ 写真 10.65 に、荷重計の取付け手順を写真 10.66 及び写真 10.67 に、荷重計の取付け位置を図 10.26 ~ 図 10.31 に示す。

試験結果の評価

取付け作業性確認試験の結果を表 10.59 に示す。一部、緊張治具側の問題により取付け作業がスムーズに行うことができなかったケースがあったが、全般的には荷重計を良好に取付けることができることを確認した。

表 10.58 評価段階

記号	評価	内容
	良	特に問題なく取付け作業が実施できた
	可	若干の問題点があったが、部分的な改良によって良好な取付け作業ができる
×	不可	大きな問題点がある、または取付け作業が不能であったため、根本的な改良が必要である

表 10.59 取付け作業性確認試験の評価

チェック項目	評価					
	共和電業製	坂田電機製	東京測器研究所製	東横エルメス製	守谷鋼機製	エスイー製
1 荷重計及び緊張治具の取付けしやすさ						
2 緊張治具によるリフトオフ						
3 荷重計への緊張力転換						
4 緊張治具の取外ししやすさ						
5 ヘッドキャップの取付け及び防錆処理						

: 緊張治具及びヘッドキャップの構造による不具合

不具合について

a) 荷重計センタリングのための緊張治具構造

共和電業製荷重計を取付ける際、リフトオフ後の荷重計定着させるまでの変位が大きかったため、テンションスリーブで荷重計のセンタリングをしていた状態が外れ、予備緊張時の油圧ジャッキ除荷が行えなくなった。具体的には、荷重計のセンタリングがずれてしまった

ため、除荷時にテンションスリーブの下面が荷重計に接触し、荷重が下げられなくなってしまった。この時、荷重計側ではテンションスリーブの下面からの力により圧縮力がかかっていた。

この原因としては、テンションスリーブと荷重計のラップ長がリフトオフ後の変位よりも短かったことにある。

なお、後段の「(4) 考察と今後の課題」にて詳細を述べる。

b) ヘッドキャップの構造

荷重計からのケーブルを取出すため、ヘッドキャップ側面におちよぼ口型の穴を設けた。また、ヘッドキャップと支圧板が接する面には防水のためのゴムパッキンを入れるように計画した。

これらを現地で組合せることが難しく、より簡易な方法で荷重計からのケーブルを取出す方法を検討する必要がある。

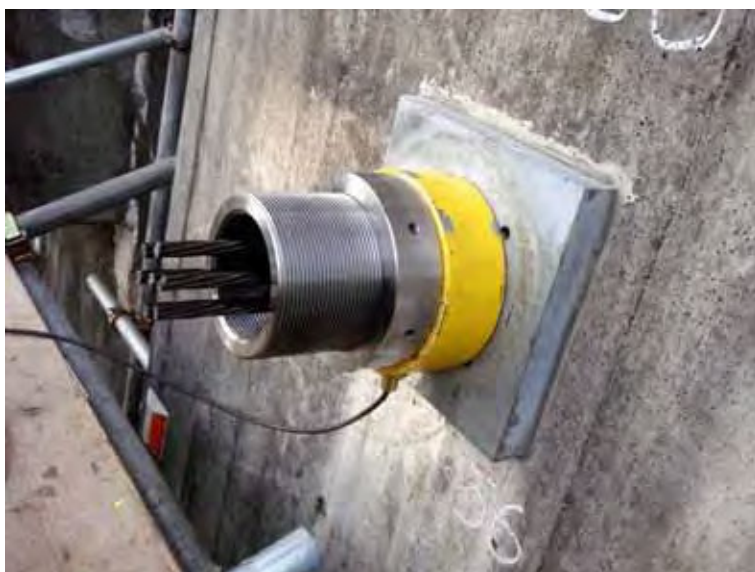


写真 10.60 荷重計取付け状況

荷重計：共和電業製

アンカー番号：C-56



写真 10.61 荷重計取付け状況

荷重計：東横エルメス製

アンカー番号：C-57



写真 10.62 荷重計取付け状況

荷重計：守谷鋼機製

アンカー番号：C-58

ヘッドキャップ設置前の写真がないため、この状態を写真を示す。



写真 10.63 荷重計取付け状況

荷重計：坂田電機製

アンカー番号：C-59



写真 10.64 荷重計取付け状況

荷重計：東京測器研究所製

アンカー番号：C-60



写真 10.65 荷重計取付け状況

荷重計：エスイー製

アンカー番号：C-61



アンカーヘッドキャップの取外し



防錆油の除去、アンカーヘッドの確認



-1 荷重計、ジョイントスリーブの取付け



-2 下テンションスリーブ、定着ナットの取付け



-3 ラムチェアの取付け



-4 テンションロッドの取付け

写真 10.66 荷重計取付け状況 (その1)



-5 油圧ジャッキ、テンションナットの取付け



リフトオフ試験



油圧コントロール、計測作業



荷重計定着完了



-1 防錆処理



-2 ヘッドキャップ取付け

写真 10.67 荷重計取付け状況 (その2)

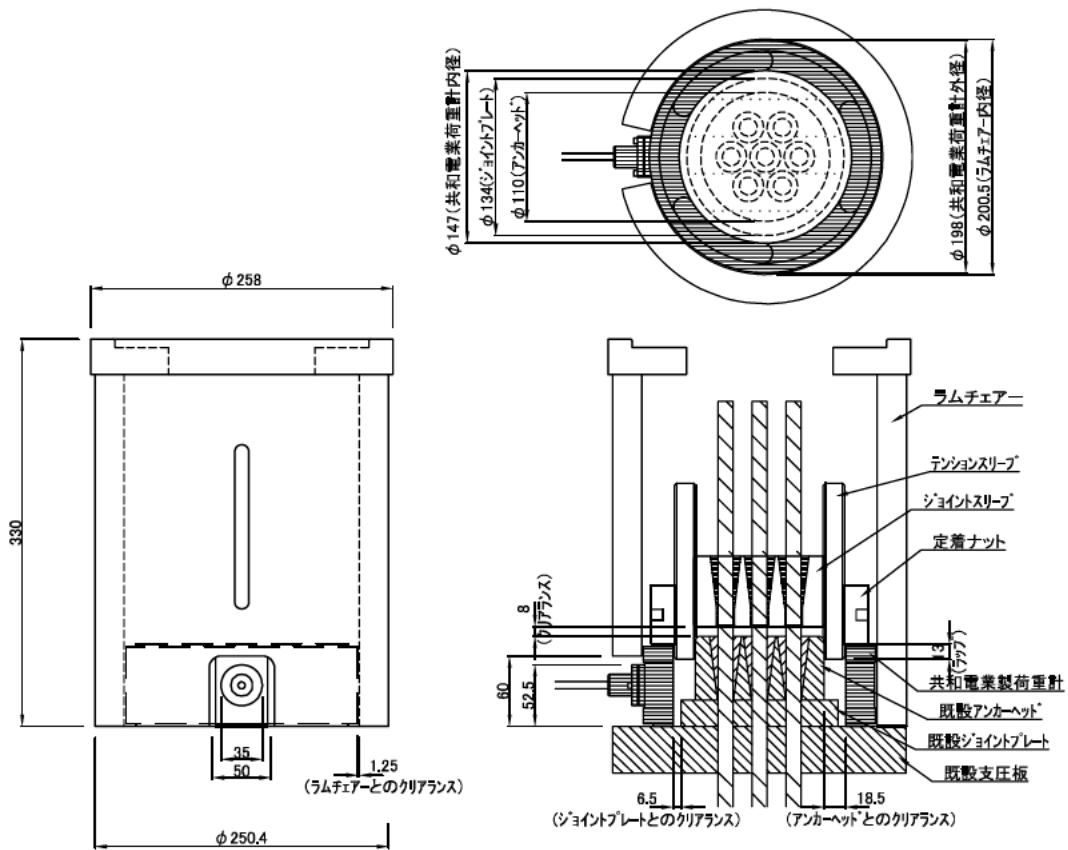


図 10.26 荷重計取付け位置 (共和電業製)

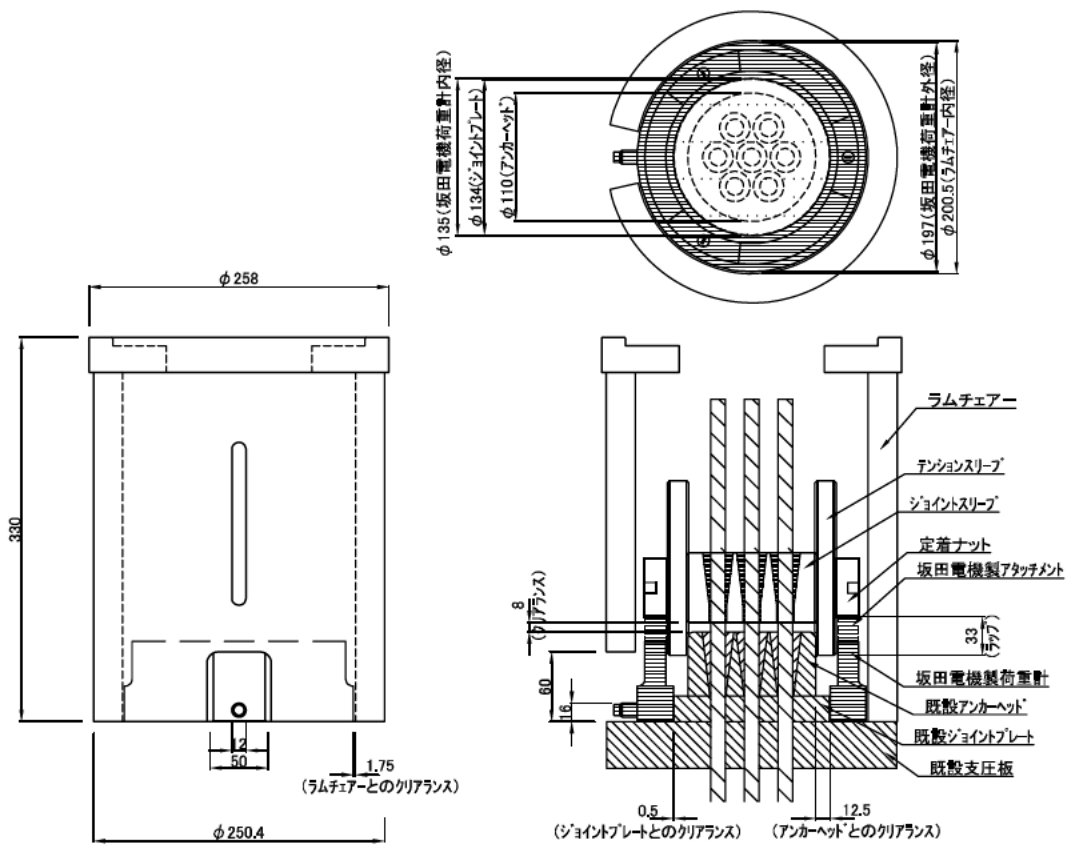


図 10.27 荷重計取付け位置 (坂田電機製)

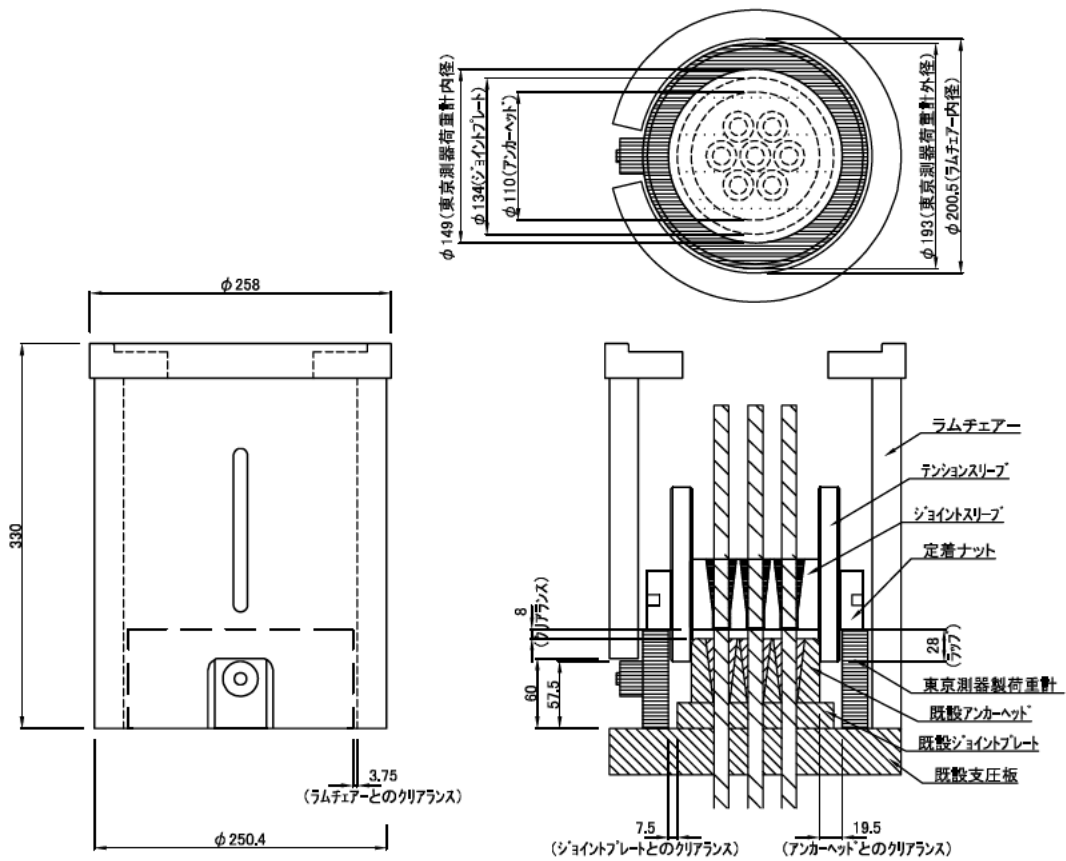


図 10.28 荷重計取付け位置 (東京測器研究所製)

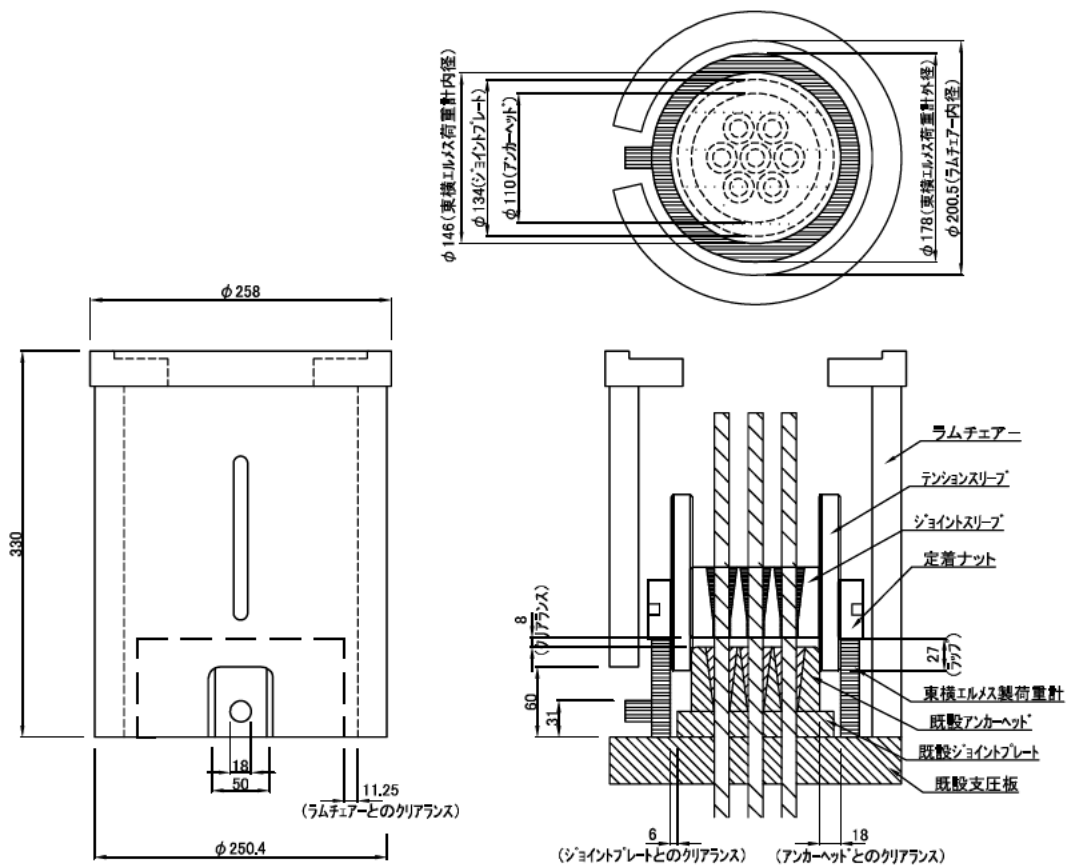


図 10.29 荷重計取付け位置 (東横エルメス製)

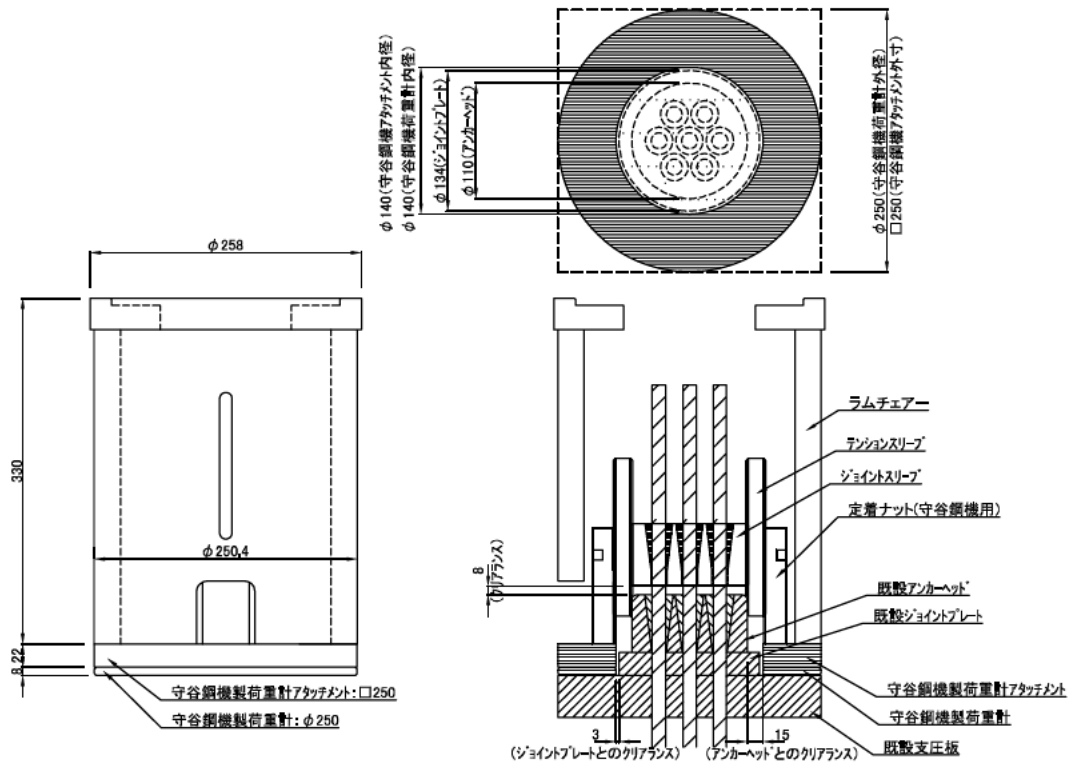


図 10.30 荷重計取付け位置 (守谷鋼機製)

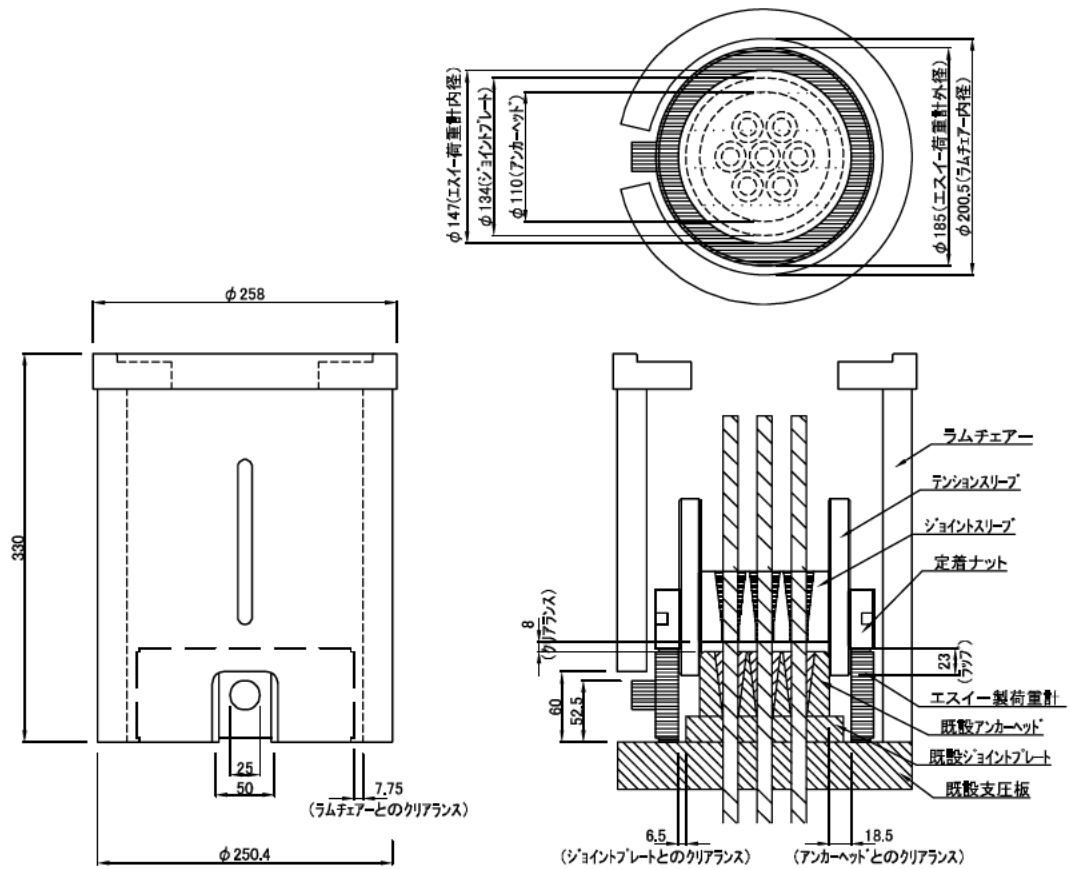


図 10.31 荷重計取付け位置 (エスイー製)

(4) 考察と今後の課題

テンションスリーブの長さについて(荷重計センタリング機構)

前述したように、テンションスリーブと荷重計がラップすることによって荷重計のセンタリングが行えるように計画したが、今回は700kN程度で荷重計を定着させる計画であったためにリフトアップ変位が大きくなり、ラップ長を超えたために荷重計のセンタリングができなくなる状態が生じた。

以下に予備緊張時に不具合のあった共和電業製荷重計を取付けたアンカー番号C-56について考察し、これを解決する方法を検討する。

10.6.1.4. .1 リフトオフ試験時の変位

図 10.32 にアンカー番号 C-56 のリフトオフ試験の生データを示す。

リフトオフ試験では、まず初期荷重(約80kN)をかけて油圧ジャッキとラムチェアを固定する(図中)。この前段階では、油圧ジャッキが無負荷の状態です。定着ナットを締付けているため、ここで発生する変位は初期荷重に応じたくさびの食込みや緊張治具のなじみと考えられる。そして、初期荷重をかけた状態でいったん変位計のデータをゼロセットした。

次に、ジャッキ荷重を上げていき予備緊張(図中)を行った。変位はリフトオフ後、PC鋼より線の弾性変位によって荷重に比例して大きくなる、この時の最大荷重770kNで最大変位となる。

10.6.1.4. .2 テンションスリーブの変位量

テンションスリーブの変位は直接変位計で計測していないが、変位計を取付けた定着ナットとはねじ結合しているテンションロッドを介してつながっているため、変位計で計測した変位と同程度と考えて良いと思われる。そこで、リフトオフ試験の変位-荷重曲線からテンションスリーブの変位量を読み取った。

図 10.32 によれば、初期荷重時に0.57mmの変位が発生し、これをゼロセットしている。そして、その後の予備緊張で最大緊張時に最大変位15.82mmとなっている。したがって、実質的なテンションスリーブの最大変位は、初期荷重時にゼロセットした0.57mmを足した16.4mmとなる。

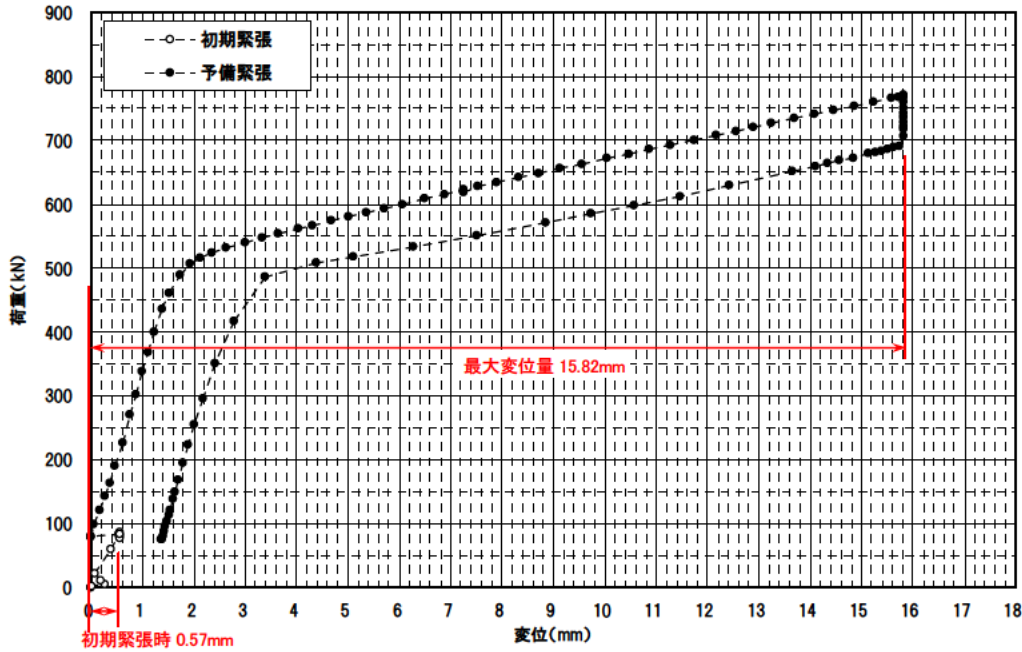


図 10.32 リフトオフ試験生データ（例：アンカー番号 C-56，共和電業）

10.6.1.4.①.3 テンションスリーブの最大変位とラップ長の関係

前項で求めたテンションスリーブの最大変位と、荷重計とテンションスリーブのラップ長との関係を表 10.60 に示す。同表では、他のアンカーについてもその関係を示した。

表 10.60 によれば、C-56 アンカーだけがラップ長よりもテンションスリーブの最大変位が大きい結果となり、このアンカーの試験時に荷重計のセンタリングが取れなくなる不具合が発生したことを明確に示している。

10.6.1.4.①.4 不具合の発生した原因

荷重計のセンタリングが取れなくなる不具合が発生した直接的な原因は、ラップ長よりもテンションスリーブの最大変位が大きくなったことであることは前述の通りである。

原因を詳細に考えると、2つの原因が考えられる。

1つ目としては、C-56 アンカーでは他のアンカーに比べてテンションスリーブの最大変位が大きいことが挙げられる。荷重計とのラップ長がある程度確保されていても、テンションスリーブの最大変位がこれを上回ればセンタリングが外れてしまう。テンションスリーブの最大変位は、リフトオフ荷重や予備緊張の最大荷重によって様々な値となることがあるため、このようなことに対処できる解決方法を考える必要がある。

2つ目としては、荷重計とテンションスリーブとのラップ長が他の荷重計に比べて小さいことが挙げられる。このラップ長は荷重計の高さに直結しており、各社の荷重計の高さの違いがラップ長の違いとして表れる。各社の荷重計に対して十分なラップ長を確保するためには、テンションスリーブをなるべく支圧板側へ下げることができるようにする必要がある。しかしながら、現状のテンションスリー

ブは、既設アンカーヘッドの外径よりもテンションスリーブの内径のほうが若干小さいため、ある位置でテンションスリーブが既設アンカーヘッドに接触してしまう（図 10.33）。よって、テンションスリーブの構造、寸法などを改良する対策が必要と考えられる。

表 10.60 各荷重計のラップ長とリフトアップ変位

アンカー 番号	荷重計		緊張治具 との組合せ		変位量		
	メーカー	高さ	ラップ長	判定	テンションス リーブの最大変 位	予備緊張時 の最大変位	初期荷重ま での変位
C-56	共和電業	70	13.0	<	16.4	15.8	0.6
C-57	東横エルメス	84	27.0	>	15.4	14.2	1.2
C-58	守谷鋼機	80	—	—	15.1	13.7	1.4
C-59	坂田電機	90	33.0	>	12.9	12.7	0.1
C-60	東京測器研究所	85	28.0	>	14.7	12.8	0.1
C-61	エスイー	80	23.0	>	—	7.4	未計測

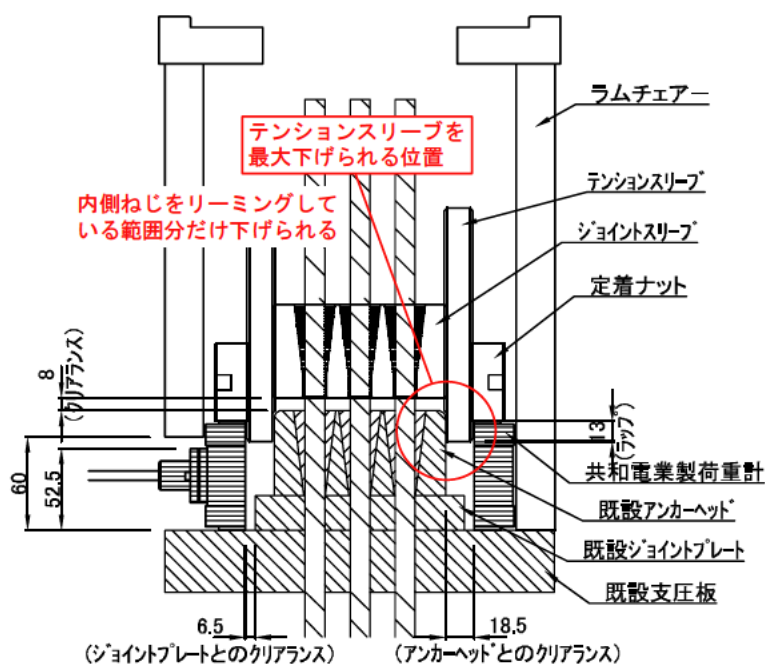


図 10.33 緊張治具と荷重計の組合せ（例：共和電業製荷重計）

10.6.1.4.①.5 解決方法

テンションスリーブを荷重計のセンタリングに用いる構造は、定着ナットと荷重計のセンタリングにつながり、荷重計への偏荷重を回避する方法として有効であると考えられる。したがって、現在の構造を活かした形で、今回の不具合を回

避する方法を考案する。

そこで、不具合の原因を鑑み、テンションスリーブと荷重計のラップ長がより多く確保できるようにテンションスリーブの構造を修正することを考える（図 10.34）。

具体的には、既設アンカーヘッドとの接触をなくすため、現状で高さ 20mm 分、内側のねじをリーミングしているが、これをアンカーヘッドの高さと同程度とする。そして、テンションロッドとのねじ結合部を確保するため、延長したリーミング高さ分だけテンションスリーブの高さを高くする。

これによって、例えば共和電業製荷重計とのラップは最大 48mm 確保できる。

なおこの時、テンションスリーブを高くすることで荷重計内へ防錆油を充填しにくくなる恐れがあるため、防錆油の通り道などを確保する加工が必要になると考えられる。

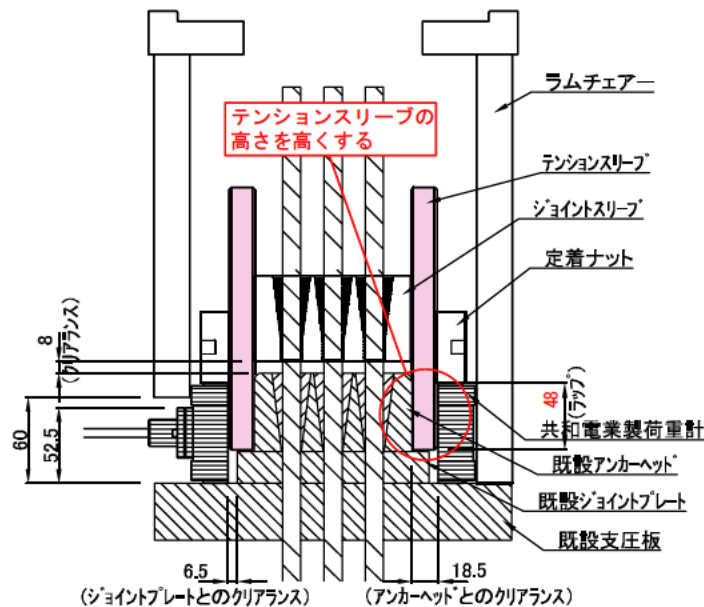


図 10.34 テンションスリーブの改良例（例：共和電業製荷重計）

②荷重計定着時の戻り変位について

リフトオフ試験後に実施した荷重計定着において発生した戻り変位を表 10.61 に示す。いずれも概ね 1mm 程度でおさまっていることが分かる。

これは荷重計のセンタリングをテンションスリーブで行っていることや、前回の現場実証試験及び緊張治具 WG で実施したアバット試験などにより定着ナットの締付け方のノウハウを得ることができたためと考えられる。

なお、C-60 アンカー（東京測器研究所製荷重計）の戻り変位が他に比べて大きいのは、センタリングのためにテンションスリーブにビニールテープを巻いたが、それが定着ナットの確実な締付けを邪魔したためである。このことから、なるべく定着ナットと荷重計に間などに挟まる恐れのあるものは取付けないことが望ましいと思われる。

また、C-56 アンカー(共和電業製荷重計)の戻り変位が大きいことについては、これは荷重計のセンタリングが外れるといった不具合を対処するために行ったことが原因である。

表 10.61 荷重計定着時の戻り変位

アンカー 番号	荷重計	算出変位量		各段階の変位		
	メーカー	戻り変位量 (-)	アンカー ヘッドの浮 き量(-)	完全リ フトオフ 時	荷重計 定着前の 変位	荷重計 定着後の 変位
C-56	共和電業	1.43	9.90	1.76	13.09	11.66
C-57	東横エルメス	0.88	7.62	2.01	10.51	9.63
C-58	守谷鋼機	1.01	8.80	1.47	11.27	10.27
C-59	坂田電機	0.87	6.81	1.19	8.87	8.00
C-60	東京測器研究所	1.32	6.62	1.25	9.20	7.87
C-61	エスイー	1.04	1.53	1.40	3.97	2.93

リフトオフ試験の方法

今回の試験では、予備緊張を行った後にリフトオフ試験を実施した。その結果、リフトオフするグラフの変曲点が明瞭に求められ、リフトオフ荷重をより正確に求めることができた。

ヘッドキャップについて

今回の試験においては、円筒形のヘッドキャップを試作した。荷重計のケーブルを取出す方法や、ヘッドキャップを固定する方法を検討した結果の形状であったが、アンカー頭部への取付けに手間取ることがあった。

また、防錆油の作業性が悪く、荷重計とヘッドキャップの隙間への充填確認が十分にできないケースがあった。その他、防錆油注入口がグリスポンプのホースよりも小さい径であったため、ホースの取付け及び注入に苦労した。

今後、よりスマートな構造、そして防錆油の充填方法を考慮したヘッドキャップの構造を検討する必要がある。

ラムチェアについて

ラムチェアに付けられている取っ手は、荷重計のケーブルを取出すために設けた切り欠き穴と同じ位置にある。今回の現場実証試験では、荷重計のケーブルを下へ向けたため、ラムチェアの取っ手を吊り用に用いることができなかった。

そこで、現在の切り欠き穴と正対した位置にも切り欠き穴を設けるよう改良する。

10.6.2 交換作業性確認試験

(1) アンカー頭部部材の目視点検

アンカー頭部部材の目視点検結果を表 10.62、試験時の状況を写真 10.68～写真 10.73 に示す。点検結果からジョイントプレートやアンカープレートの一部に若干の錆が認められたが、クサビや PC 鋼より線は良好であり、アンカーは健全であると判断した。

表 10.62 試験アンカーのアンカー頭部部材の目視点検結果

アンカー 番号 (荷重計)	時期	目視点検結果					評価
		アンカー プレート	アンカー ヘッド	ジョイント プレート	PC 鋼 より線	クサビ	
C-56 (共和電業)	荷重計 取付け時 H21.1	ネジ部に若干の錆あり	上面、側面に若干の斑状の錆あり	側面にやや錆あり	良好	良好	健全
	荷重計 取外し時 H21.9	変化なし	側面の錆に若干の拡大あり	若干錆の拡大あり	変化なし	変化なし	健全
C-57 (エルメス)	荷重計 取付け時 H21.1	ネジ部に若干の錆あり	良好	側面、上面にやや錆あり	良好	良好	健全
	荷重計 取外し時 H21.9	変化なし	上面、側面に若干の斑状の錆あり	変化なし	変化なし	変化なし	健全
C-58 (守谷鋼機)	荷重計 取付け時 H21.1	ネジ部に若干の錆あり	上面、側面に若干の斑状の錆あり	側面、上面にやや錆あり	良好	良好	健全
	荷重計 取外し時 H21.9	変化なし	変化なし	若干の錆の拡大あり	変化なし	変化なし	健全
C-59 (坂田電機)	荷重計 取付け時 H21.1	ネジ部に若干の錆あり	上面、側面に若干の斑状の錆あり	側面、上面にやや錆あり	良好	良好	健全
	荷重計 取外し時 H21.9	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	健全
C-60 (東京測器)	荷重計 取付け時 H21.1	ネジ部に若干の錆あり	上面、側面に若干の斑状の錆あり	側面、上面にやや錆あり	良好	良好	健全
	荷重計 取外し時 H21.9	変化なし	側面の錆に若干の拡大あり	若干の錆の拡大あり	変化なし	変化なし	健全
C-61 (エスイー)	荷重計 取付け時 H21.1	ネジ部に若干の錆あり	上面、側面に錆あり	側面、上面にやや錆あり	良好	良好	健全
	荷重計 取外し時 H21.9	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	健全

時期 H21.9 の点検結果は、時期 H21.1 からの変化を記述



a) 荷重計取付け時 (H21.1)

写真 10.68

試験アンカーのアンカー頭部材の目視点検結果 (アンカー番号 C-56)



b) 荷重計取外し時 (H21.9)

c) 現状復旧 (錆の除去) の状況 (H21.9)



a) 荷重計取付け時 (H21.1)

写真 10.69

試験アンカーのアンカー頭部材の目視点検結果 (アンカー番号 C-57)



b) 荷重計取外し時 (H21.9)

c) 現状復旧 (錆の除去) の状況 (H21.9)





a) 荷重計取付け時 (H21.1)

写真 10.70

試験アンカーのアンカー頭部材の目視点検結果 (アンカー番号 C-58)



b) 荷重計取外し時 (H21.9)

c) 現状復旧 (錆の除去) の状況 (H21.9)



a) 荷重計取付け時 (H21.1)

写真 10.71

b) 荷重計取外し時 (H21.9)

c) 現状復旧 (錆の除去) の状況 (H21.9)





a) 荷重計取付け時 (H21.1)



b) 荷重計取外し時 (H21.9)



c) 現状復旧 (錆の除去) の状況 (H21.9)

写真 10.72 試験アンカーのアンカー頭部材の目視点検結果 (アンカー番号 C-60)



a) 荷重計取付け時 (H21.1)



b) 荷重計取外し時 (H21.9)



c) 現状復旧 (錆の除去) の状況 (H21.9)

写真 10.73 試験アンカーのアンカー頭部材の目視点検結果 (アンカー番号 C-61)

再緊張余長

再緊張余長は、取付け時及び取外し時の測定担当者及び測定方法に差異があるため、正確に値を比較できないが、測定結果を総じて見ると再緊張余長は変化していないと判断される。

測定値については、2 時期の測定値を比較すると、10mm 程度の差になっているものがあり、これらはスケールの読み違いによるものと考えられる(表中 印)。また、2 時期の測定値に差が数 mm あるものについては、PC 鋼より線の素線の長さが 1 本 1 本若干異なっているため、測定した部分の違いによるためと考えられる。

表 10.63 試験アンカーの再緊張余長

アンカー 番号	測定時期	再緊張余長の長さ (mm)						
		1	2	3	4	5	6	7
C-56	荷重計取付け時 H21.1	206	207	210 _{max}	207	208	208	209
	荷重計取外し時 H21.9	208 [+2]	211 [+4]	210 [0]	208 [+1]	208 [0]	208 [0]	210 [+1]
C-57	荷重計取付け時 H21.1	187	187	185	183	183	182	186
	荷重計取外し時 H21.9	186 [-1]	187 [0]	186 [+1]	183 [0]	182 [-1]	182 [0]	186 [0]
C-58	荷重計取付け時 H21.1	185	189	192	197	186	184	187
	荷重計取外し時 H21.9	189 [+4]	193 [+4]	190 [-2]	187 [-10]	183 [-3]	185 [+1]	189 [+2]
C-59	荷重計取付け時 H21.1	195	200	203	206	197	195	198
	荷重計取外し時 H21.9	196 [+1]	201 [+1]	203 [0]	197 [-9]	196 [-1]	195 [0]	199 [+1]
C-60	荷重計取付け時 H21.1	199	197	197	193	193	193	200
	荷重計取外し時 H21.9	198 [-1]	198 [+1]	198 [+1]	194 [+1]	194 [+1]	194 [+1]	200 [0]
C-61	荷重計取付け時 H21.1	176	183	184	183	174 _{min}	175	177
	荷重計取外し時 H21.9	176 [0]	183 [0]	184 [0]	183 [0]	174 [0]	175 [0]	177 [0]

[]内は、H21.1 時との差

ジョイントプレートの偏心

ジョイントプレートの偏心量を測定した結果、荷重計取付け・交換作業で数 mm 程度アンカーヘッド及びジョイントプレートが移動していることが分かった（表 10.64）。移動の方向については、特に規則性はなく、重力によって下がったとは言えないデータとなっている。この原因としては、ラムチェア及び油圧ジャッキのセット位置がアンカーの軸とズレていたことにより、リフトアップした際にズレ方向にアンカーヘッドが移動したためと考えられる。

表 10.64 ジョイントプレートの偏芯状況（対アンカーヘッド）

アンカー 番号	測定時期	長さ (mm)			
		A	B	C	D
C-56	荷重計取付け時 H21.1	14 (2)	12 (0)	9 (-3)	11 (-1)
	荷重計取外し時 H21.9	11.9 (-0.1) [-2.1]	16.8 _{max} (4.8) [+4.8]	12.3 (0.3) [+3.3]	7.3 _{min} (4.7) [-3.7]
C-57	荷重計取付け時 H21.1	8 _{min} (-4)	13 (1)	16 _{max} (4)	11 (-1)
	荷重計取外し時 H21.9	8.1 (-3.9) [+0.1]	11.9 (-0.1) [-1.1]	16.3 (4.3) [+0.3]	11.9 (-0.1) [+0.9]
C-58	荷重計取付け時 H21.1	8 _{min} (-4)	12 (0)	16 _{max} (4)	12 (0)
	荷重計取外し時 H21.9	10.3 (-1.7) [+2.3]	11.2 (-0.8) [-0.8]	14.5 (2.5) [-1.5]	12.9 (0.9) [+0.9]
C-59	荷重計取付け時 H21.1	13 (1)	12 (0)	11 (-1)	12 (1)
	荷重計取外し時 H21.9	13.9 (1.9) [+0.9]	11.1 (-0.9) [-0.9]	10.5 (-1.5) [-0.5]	12.9 (0.9) [+0.9]
C-60	荷重計取付け時 H21.1	9 (-3)	11 (-1)	15 (3)	13 (1)
	荷重計取外し時 H21.9	12.0 (0) [+3]	16.5 (4.5) [+5.5]	11.8 (-0.2) [-3.2]	7.5 (-4.5) [-5.5]
C-61	荷重計取付け時 H21.1	9 (-3)	13 (1)	13 (1)	10 (-2)
	荷重計取外し時 H21.9	11.5 (-0.5) [2.5]	15.1 (3.1) [2.1]	12.2 (0.2) [-0.8]	8.8 (-3.2) [-1.2]
偏芯なしの場合		12	12	12	12

() 内は、偏芯なしの場合との差

[] 内は、H21.1 時との差

表 10.65 ジョイントプレートの偏芯状況（対支圧板）

アンカー 番号	測定時期	長さ (mm)			
		a	b	c	d
C-56	荷重計取付け時 H21.1	73 _{max} (2.5)	70 (-0.5)	67 _{min} (-3.5)	70 (-0.5)
	荷重計取外し時 H21.9	72 (1.5) [-1]	80 _{max} (9.5) [+10]	68 (-2.5) [+1]	64 (-6.5) [-6]
C-57	荷重計取付け時 H21.1	68 (-2.5)	70 (-0.5)	73 _{max} (2.5)	70 (-0.5)
	荷重計取外し時 H21.9	65 (-5.5) [-3]	70 (-0.5) [0]	76 (5.5) [+3]	69 (-1.5) [-1]
C-58	荷重計取付け時 H21.1	67 _{min} (-3.5)	69 (-1.5)	73 _{max} (2.5)	71 (0.5)
	荷重計取外し時 H21.9	70 (-0.5) [+3]	69 (-1.5) [0]	70 (-0.5) [-3]	71 (0.5) [0]
C-59	荷重計取付け時 H21.1	70 (-0.5)	69 (-1.5)	70 (-0.5)	71 (0.5)
	荷重計取外し時 H21.9	74 (3.5) [+4]	68 (-2.5) [-1]	66 (-4.5) [-4]	72 (1.5) [+1]
C-60	荷重計取付け時 H21.1	69 (-1.5)	71 (0.5)	71 (0.5)	67 _{min} (-3.5)
	荷重計取外し時 H21.9	71 (0.5) [+2]	77 (6.5) [+6]	69 (-1.5) [-2]	63 _{min} (-7.5) [-4]
C-61	荷重計取付け時 H21.1	68 (-2.5)	70 (-0.5)	71 (0.5)	70 (-0.5)
	荷重計取外し時 H21.9	69.9 (-0.6) [+1.9]	73.3 (2.8) [+3.3]	70.9 (0.4) [-0.1]	66.2 (-4.3) [-3.8]
偏芯なしの場合		70.5	70.5	70.5	70.5

() 内は、偏芯なしの場合との差

[] 内は、H21.1 時との差

(2) 緊張治具の目視点検

荷重計を取外し後、緊張治具を清掃して錆等の状況を観察した（表 10.66 及び写真 10.74～写真 10.80）。一部を除き、緊張治具には錆の発生は認められなかった。また、優先開発時に問題となっていたテンションスリーブなどのネジ溝部についても錆の発生は認められなかった。

C-56 のテンションスリーブについては、荷重計取付け時に荷重計と接触した痕跡があり、ネジ部が少し変形していた（写真 10.78）。

表 10.66 試験後の緊張治具の状況

アンカー 番号 (荷重計)	目視点検結果				評価
	ジョイントス リーブ	クサビ	テンションスリーブ	定着ナット	
C-56 (共和電業)	良好	良好	荷重計と接触したねじ部が変形(写真 10.78)	良好	
C-57 (エルメス)	良好	良好	良好	良好	
C-58 (守谷銅機)	良好	良好	良好	良好	
C-59 (坂田電機)	良好	良好	下面の一部に錆が発生 (写真 10.77)		
C-60 (東京測器)	良好	良好	良好	良好	
C-61 (エスイー)	良好	良好	良好	良好	



写真 10.74 荷重計取外し後の緊張治具



写真 10.75 ジョイントスリーブの上面



写真 10.76 ジョイントスリーブの側面



写真 10.77 テンションスリーブの下面



写真 10.78 テンションスリーブ ネジ部の変形

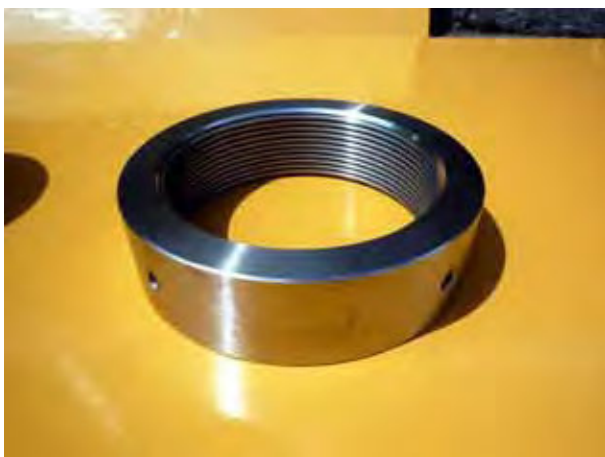


写真 10.79 定着ナットの側面



写真 10.80 定着ナットの内側ねじ部

(3) 現場適応性の評価

ヘッドキャップを外し、緊張治具及びアンカーの状態を観察した結果を表 10.67 に示す。

表 10.67 現場適応性試験 チェック表

	チェック項目	結果
1	リフトオフ荷重の確認	リフトオフ試験及びリフトオフ荷重の確認は、良好に行うことができた。
2	導入緊張力の低下の有無	<p>全体的に荷重計設置時に比べて低いリフトオフ荷重を示した。リフトオフ試験の方法やリフトオフ荷重の読み取りの誤差が一部に含まれると考えられるが、荷重計の計測値においても緊張力の低下傾向は認められた。</p> <p>これは、500kN 弱程度となっていた既設アンカーの緊張力を、荷重計定着のために 700kN 程度とし、試験期間において 200kN 増分によるアンカー体のクリープが発生して緊張力が低下したためと推察される。なお、C-61 については、既設アンカーの緊張力と荷重計定着時の緊張力の差が少なかったため、クリープが進行しなかったと推察される。</p>
3	残存治具の損傷、不具合(長期)	長期使用における損傷、不具合は発生しなかった。また、錆の発生も限定的であった。
4	アンカーの防錆処理状況(劣化の有無)	<p>ジョイントプレート及びアンカーヘッドにおいて、一部で錆の発生や進行が認められた。</p> <p>アンカープレートや PC 鋼より線、クサビについては、錆の発生や進行は認められなかった。</p> <p>錆の発生や進行については、防錆油の充填が不十分であったことが原因である。C-60 については、荷重計のセンタリング材をアンカーヘッド周りに設置したことが防錆油の充填を妨げた原因の 1 つと考えられる。また、その他については、アンカーヘッドと荷重計のクリアランスや防錆油の充填作業の不十分さが原因と考えられる。</p> <p>これについては、荷重計のセンタリング材の設置方法や防錆油の充填方法を改善することで解決できると考える。</p>

10.6.3 現場適応試験

リフトオフ試験

各アンカーのリフトオフ試験結果を表 10.68 に示し、それらを時間との関係でグラフ化したものを図 10.35 図 10.36 に示す。また、各アンカーのリフトオフ試験(変位 - 荷重曲線)結果を表 10.69 ~ 表 10.74 に、試験状況の様子を写真 10.81 ~ 写真 10.86 に示す。

表 10.68 リフトオフ試験結果

試験諸元		アンカー緊張力						備考
アンカー 番号	試験 順序	試験日	施工時定着荷重※1 A [kN]	荷重計取付け時 H21.1 リフトオフ荷重 B [kN]	荷重計取外し時 H21.9 リフトオフ荷重 C [kN]	差 (C-B) [kN]	低下率 ((C-B)/B) [%]	荷重計計測値の差 (C'-B') ※2 [kN]
C-56	6	9/11	732.6	520.8	494.5	-26.3	5.0	-2.0
C-57	5	9/11	732.6	521.9	490.6	-31.3	6.0	-31.0
C-58	4	9/11	732.6	481.4	458.6	-22.8	4.7	-37.0
C-59	3	9/10	732.6	549.4	509.4	-40.0	7.3	4.0
C-60	2	9/10	732.6	503.6	468.0	-35.6	7.1	-22.0
C-61	1	9/10	732.6	652.9	656.1	3.2	0.5	-

※1 工事書類より引用

※2 B'は荷重計取付け時 (H21.1) の荷重計計測値。C'は荷重計取外し時 (H21.9) の荷重計計測値。

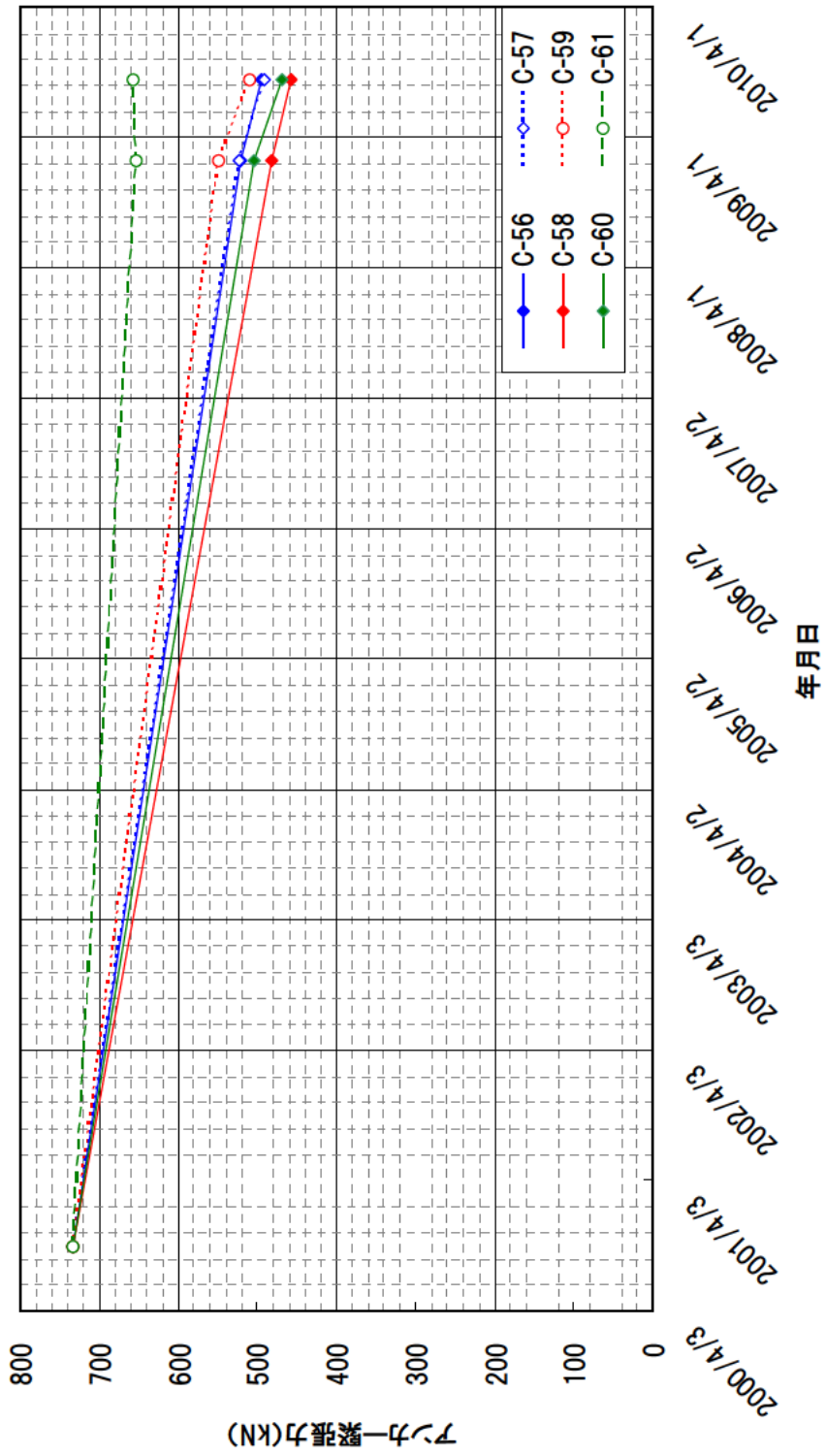


図 10.35 アンカー緊張力の経時変化

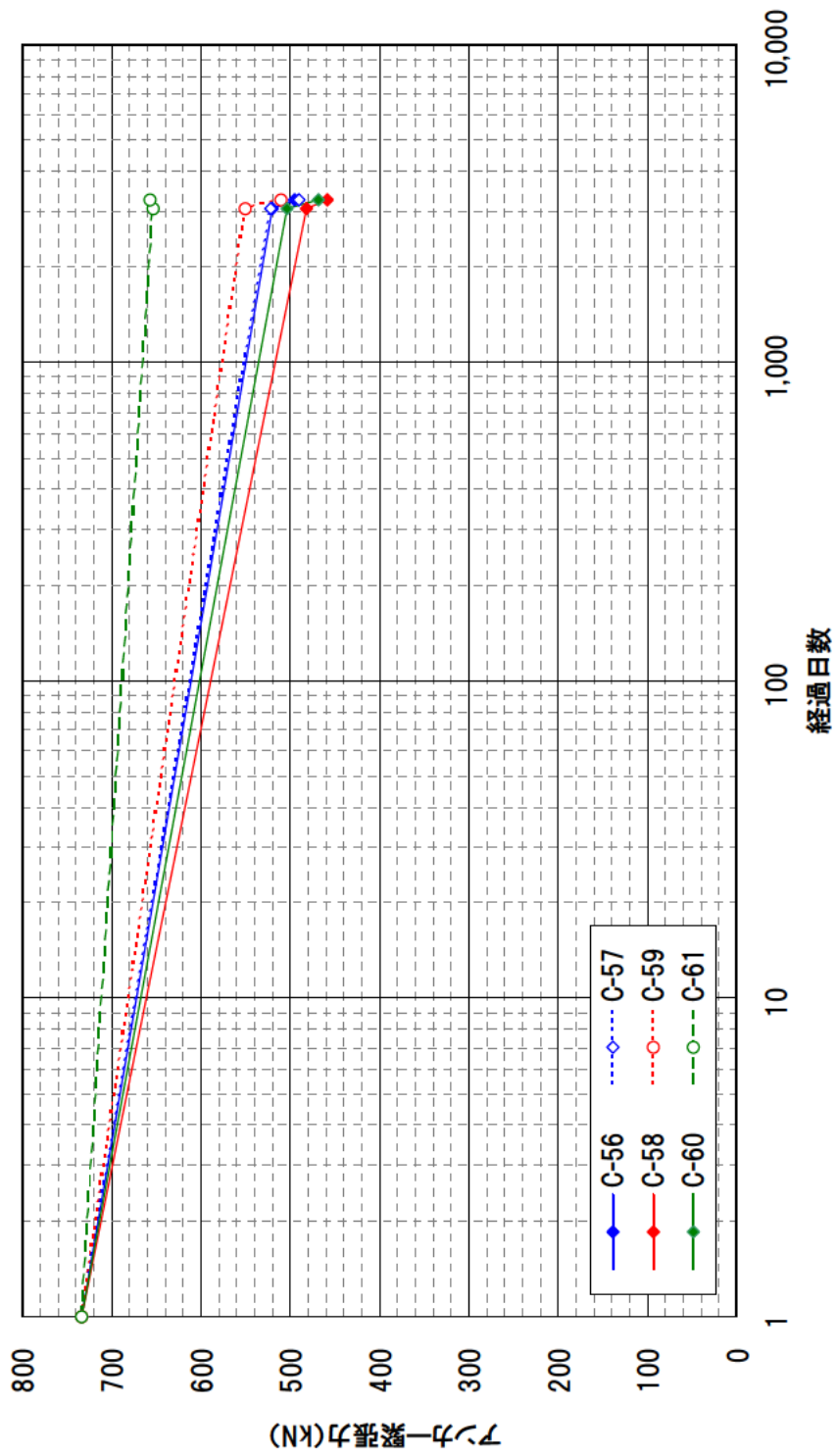


図 10.36 アンカー緊張力の経時変化 (時間軸対数)



写真 10.81 リフトオフ試験結果

- ①アンカー番号：C-56
- ②荷重計：共和電業製
- ③チェックリフトオフ荷重

A：494.5kN
B：約 495kN

【注】

A：データ整理結果（確定値）
B：現場での簡易算出値（写真）



写真 10.82 リフトオフ試験結果

- ①アンカー番号：C-57
- ②荷重計：東横エルメス製
- ③チェックリフトオフ荷重

A：490.6kN
B：約 495kN

【注】

A：データ整理結果（確定値）
B：現場での簡易算出値（写真）



写真 10.83 リフトオフ試験結果

- ①アンカー番号：C-58
- ②荷重計：守谷鋼機製
- ③チェックリフトオフ荷重

A：458.6kN
B：約 460kN

【注】

A：データ整理結果（確定値）
B：現場での簡易算出値（写真）



写真 10.84 リフトオフ試験結果

- ①アンカー番号：C-59
- ②荷重計：坂田電機製
- ③チェックリフトオフ荷重
 - A：509.4kN
 - B：約 505kN

【注】

- A：データ整理結果（確定値）
- B：現場での簡易算出値（写真）



写真 10.85 リフトオフ試験結果

- ①アンカー番号：C-60
- ②荷重計：東京測器研究所製
- ③チェックリフトオフ荷重
 - A：468.0kN
 - B：約 470kN

【注】

- A：データ整理結果（確定値）
- B：現場での簡易算出値（写真）



写真 10.86 リフトオフ試験結果

- ①アンカー番号：C-61
- ②荷重計：エスイー製
- ③チェックリフトオフ荷重
 - A：656.1kN
 - B：約 650kN

【注】

- A：データ整理結果（確定値）
- B：現場での簡易算出値（写真）

表 10.69 リフトオフ試験結果（アンカー番号：C-56 / 共和電業）

1. 試験諸元

工 事 名	共同研究「アンカーへの取付け・交換が容易な新型アンカー荷重計の開発」 既設アンカー緊張力モニタリングシステム現場実証試験
試 験 場 所	
試 験 日	平成21年9月11日
アンカー番号	C-56（設置荷重計：共和電業製）
試験最大荷重	772.4 kN

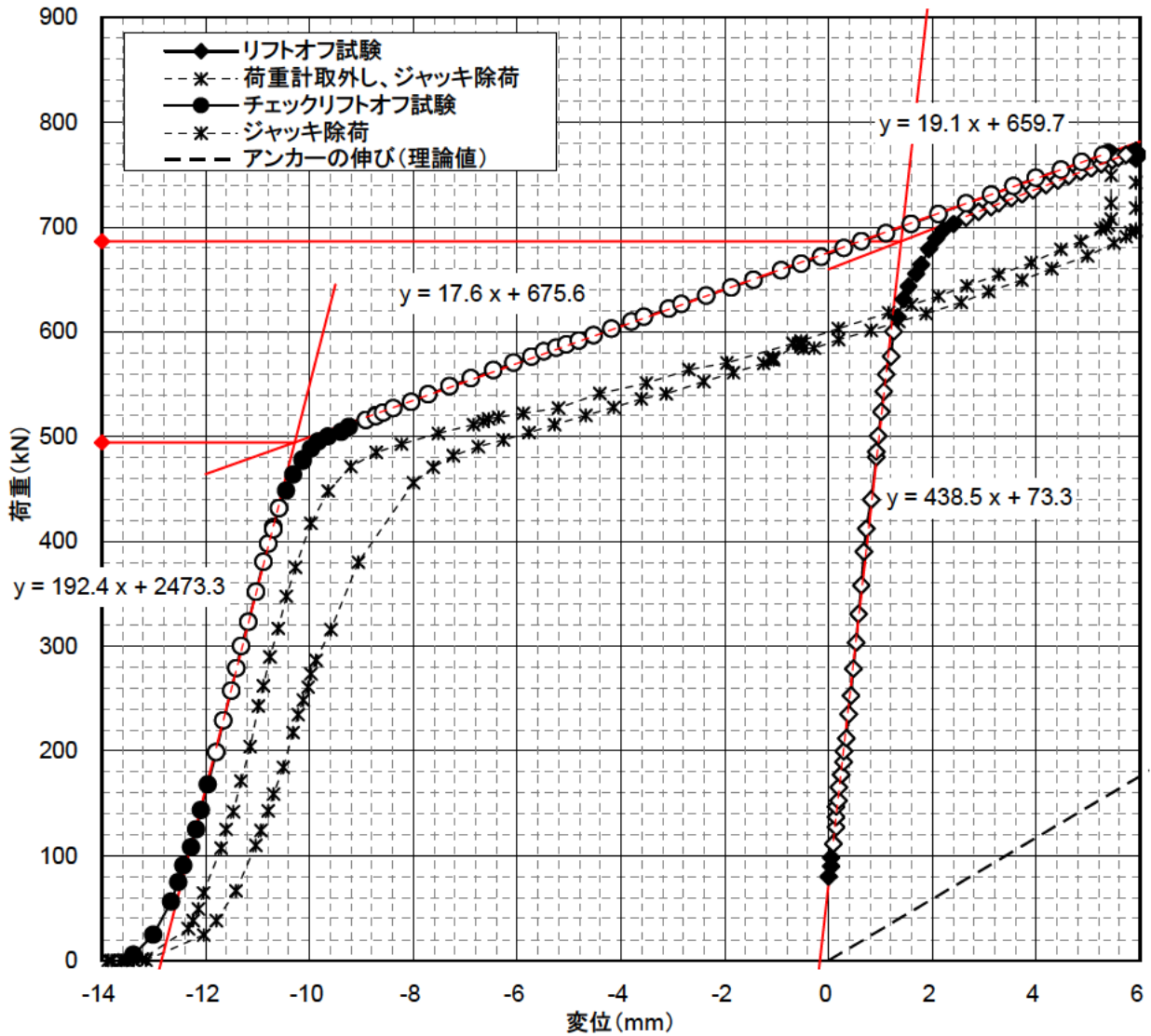
2. 試験アンカーの諸元

アンカー規格	VSL E5-7
アンカー長	12,000 mm
定着長	7,500 mm
緊張自由長	4,500 mm
自由長	4,000 mm
把持余長	500 mm
弾性係数 E_s	192.0 kN/mm ²
断面積 A_s	687.0 mm ²

【参考】

$\Delta u = \Delta T \cdot l_{sf} / (A_s \cdot E_s)$
 Δu : 増加変位置 (mm)
 ΔT : 増加荷重量 (kN)
 l_{sf} : 緊張自由長 (mm)
 A_s : アンカーの断面積 (mm²)
 E_s : アンカーの弾性係数 (kN/mm²)

3. 計測データ（変位-荷重曲線）



4. 試験結果

リフトオフ荷重	686.4	kN
チェックリフトオフ荷重	494.5	kN

表 10.70 リフトオフ試験結果（アンカー番号：C-57 / 東横エルメス）

1. 試験諸元

工 事 名	共同研究「アンカーへの取付け・交換が容易な新型アンカー荷重計の開発」 既設アンカー緊張力モニタリングシステム現場実証試験
試 験 場 所	
試 験 日	平成21年9月11日
アンカー番号	C-57（設置荷重計：東横エルメス製）
試験最大荷重	771.8 kN

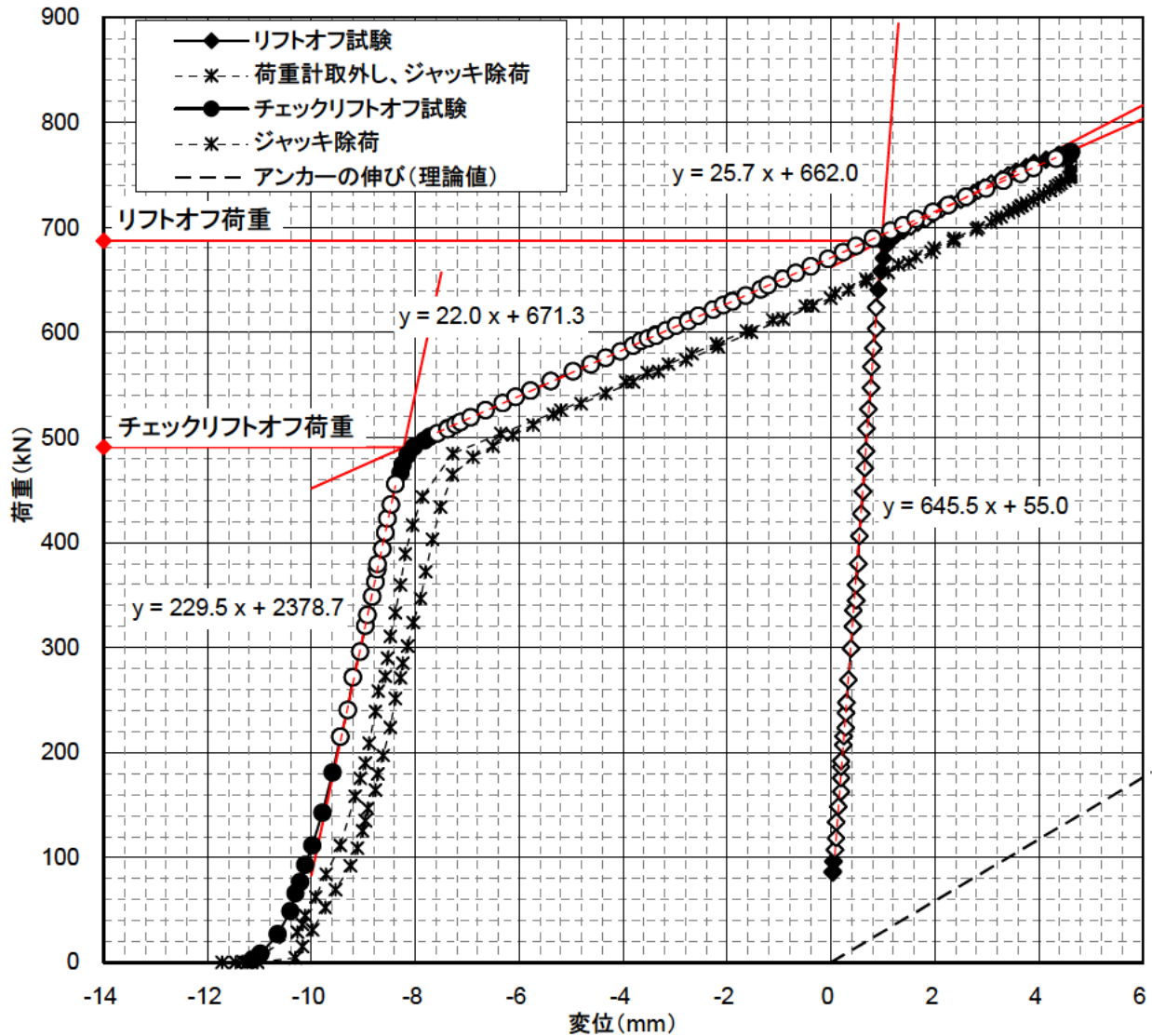
2. 試験アンカーの諸元

アンカー規格	VSL E5-7
アンカー長	12,000 mm
定着長	7,500 mm
緊張自由長	4,500 mm
自由長	4,000 mm
把持余長	500 mm
弾性係数 Es	192.0 kN/mm ²
断面積 As	687.0 mm ²

【参考】

$\Delta u = \Delta T \cdot l_{sf} / (A_s \cdot E_s)$
 Δu ：増加変位置量 (mm)
 ΔT ：増加荷重量 (kN)
 l_{sf} ：緊張自由長 (mm)
 A_s ：アンカーの断面積 (mm²)
 E_s ：アンカーの弾性係数 (kN/mm²)

3. 計測データ（変位-荷重曲線）



4. 試験結果

リフトオフ荷重	687.2	kN
チェックリフトオフ荷重	490.6	kN

表 10.71 リフトオフ試験結果（アンカー番号：C-58 / 守谷鋼機）

1. 試験諸元

工 事 名	共同研究「アンカーへの取付け・交換が容易な新型アンカー荷重計の開発」 既設アンカー緊張力モニタリングシステム現場実証試験
試 験 場 所	
試 験 日	平成21年9月11日
アンカー番号	C-58（設置荷重計：守谷鋼機製）
試験最大荷重	774.1 kN

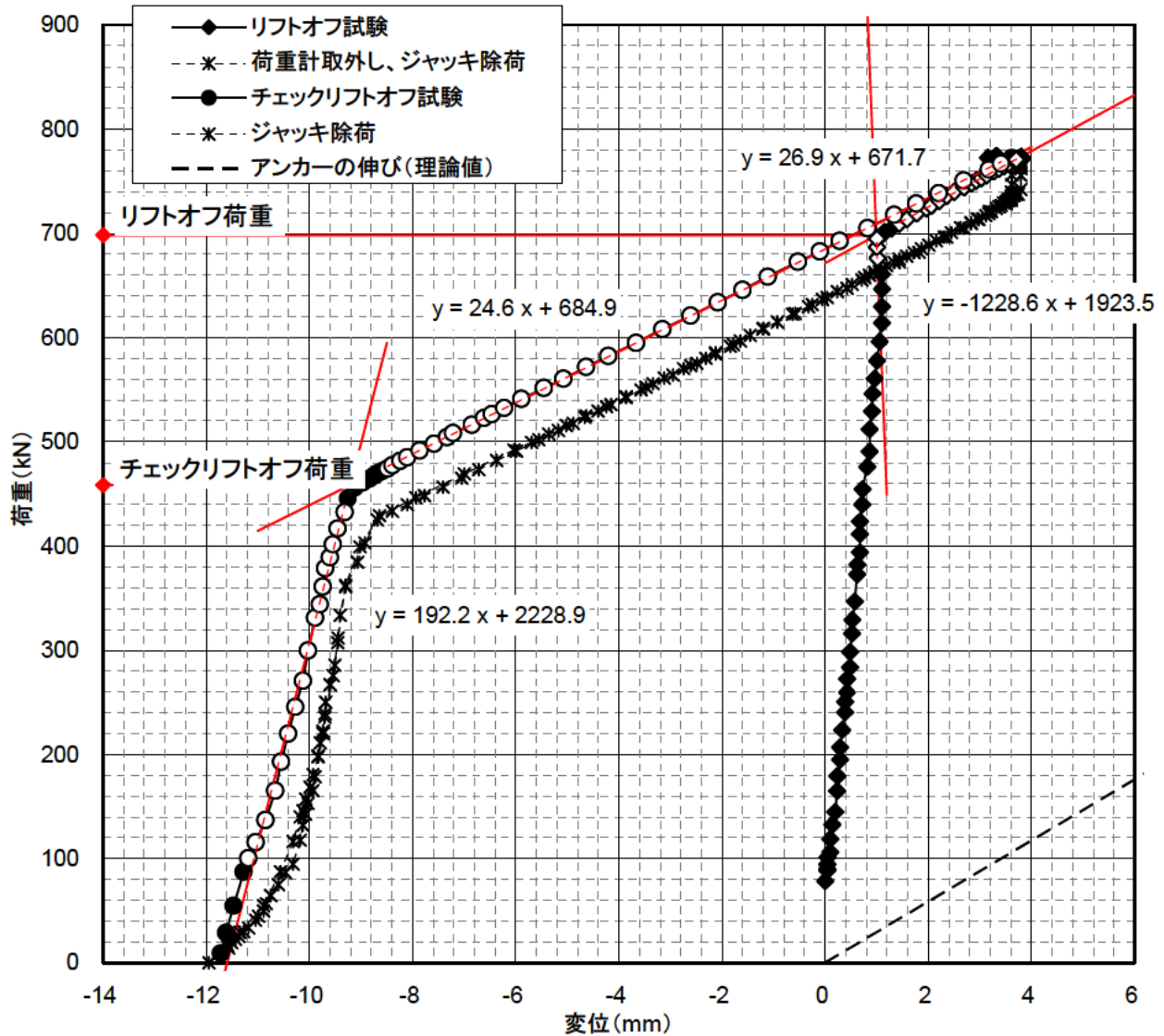
2. 試験アンカーの諸元

アンカー規格	VSL E5-7
アンカー長	12,000 mm
定着長	7,500 mm
緊張自由長	4,500 mm
自由長	4,000 mm
把持余長	500 mm
弾性係数 E_s	192.0 kN/mm ²
断面積 A_s	687.0 mm ²

【参考】

$\Delta u = \Delta T \cdot l_{sf} / (A_s \cdot E_s)$
 Δu : 増加変位置量 (mm)
 ΔT : 増加荷重量 (kN)
 l_{sf} : 緊張自由長 (mm)
 A_s : アンカーの断面積 (mm²)
 E_s : アンカーの弾性係数 (kN/mm²)

3. 計測データ（変位-荷重曲線）



4. 試験結果

リフトオフ荷重	698.4	kN
チェックリフトオフ荷重	458.6	kN

表 10.72 リフトオフ試験結果（アンカー番号：C-59 / 坂田電機）

1. 試験諸元

工 事 名	共同研究「アンカーへの取付け・交換が容易な新型アンカー荷重計の開発」 既設アンカー緊張力モニタリングシステム現場実証試験
試 験 場 所	
試 験 日	平成21年9月10日
アンカー番号	C-59（設置荷重計：坂田電機製）
試験最大荷重	774.0 kN

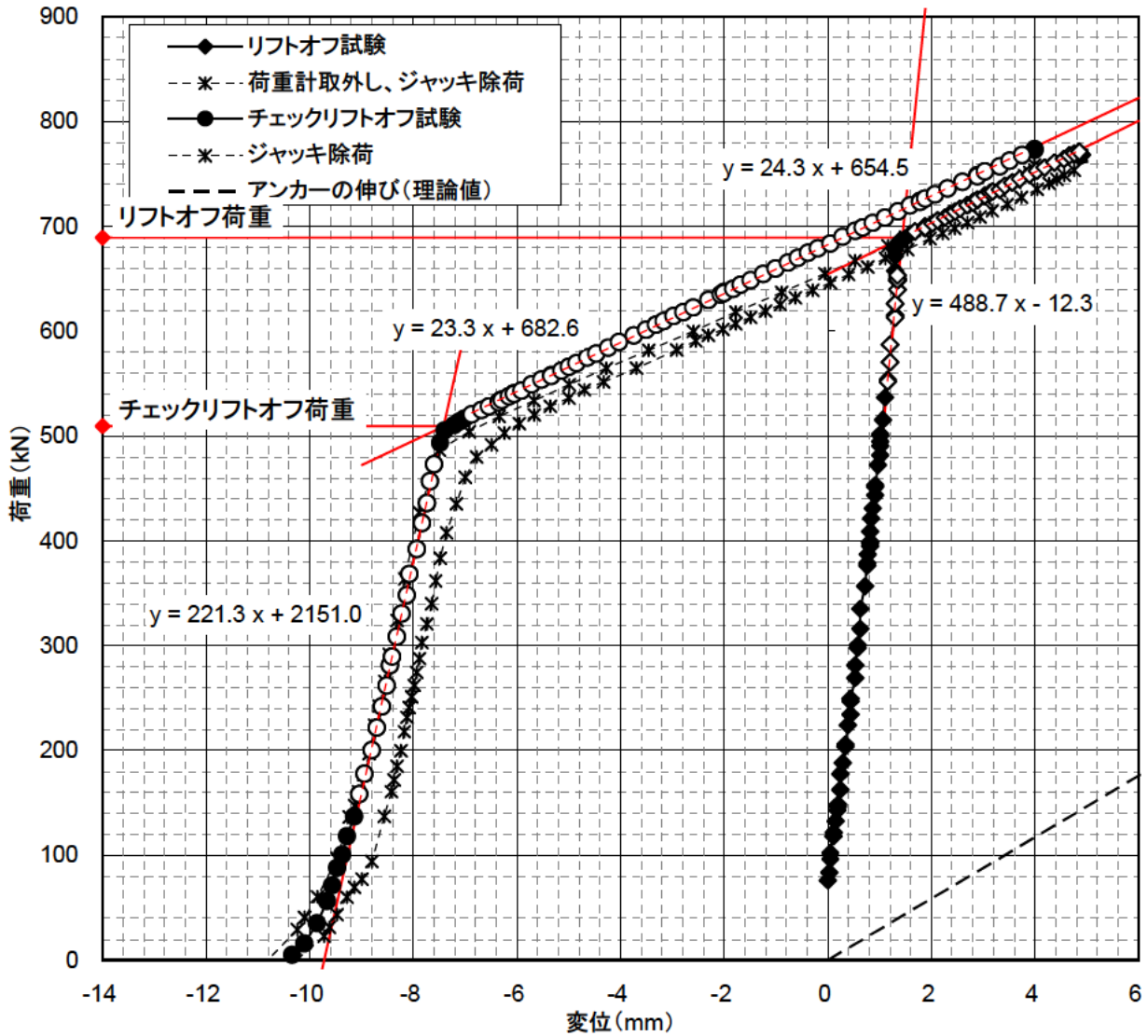
2. 試験アンカーの諸元

アンカー規格	VSL E5-7
アンカー長	12,000 mm
定着長	7,500 mm
緊張自由長	4,500 mm
自由長	4,000 mm
把持余長	500 mm
弾性係数 Es	192.0 kN/mm ²
断面積 As	687.0 mm ²

【参考】

$\Delta u = \Delta T \cdot l_{sf} / (A_s \cdot E_s)$
 Δu : 増加変位置量 (mm)
 ΔT : 増加荷重量 (kN)
 l_{sf} : 緊張自由長 (mm)
 A_s : アンカーの断面積 (mm²)
 E_s : アンカーの弾性係数 (kN/mm²)

3. 計測データ（変位-荷重曲線）



4. 試験結果

リフトオフ荷重	689.5	kN
チェックリフトオフ荷重	509.4	kN

表 10.73 リフトオフ試験結果（アンカー番号：C-60 / 東京測器研究所）

1. 試験諸元

工 事 名	共同研究「アンカーへの取付け・交換が容易な新型アンカー荷重計の開発」 既設アンカー緊張力モニタリングシステム現場実証試験
試 験 場 所	
試 験 日	平成21年9月10日
アンカー番号	C-60（設置荷重計：東京測器研究所製）
試験最大荷重	779.0 kN

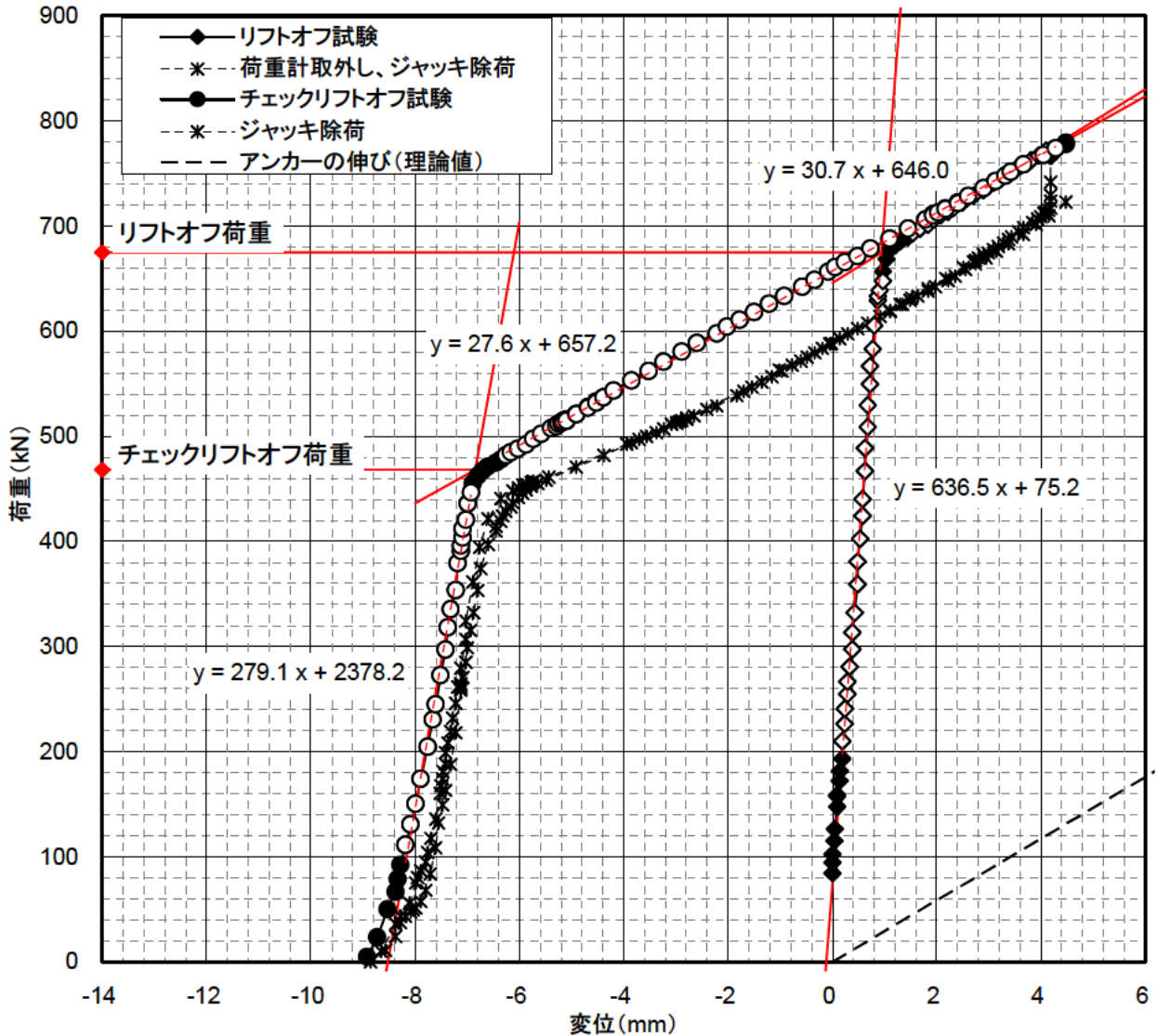
2. 試験アンカーの諸元

アンカー規格	VSL E5-7
アンカー長	12,000 mm
定着長	7,500 mm
緊張自由長	4,500 mm
自由長	4,000 mm
把持余長	500 mm
弾性係数 E_s	192.0 kN/mm ²
断面積 A_s	687.0 mm ²

【参考】

$\Delta u = \Delta T \cdot l_{sf} / (A_s \cdot E_s)$
 Δu ：増加変位量 (mm)
 ΔT ：増加荷重量 (kN)
 l_{sf} ：緊張自由長 (mm)
 A_s ：アンカーの断面積 (mm²)
 E_s ：アンカーの弾性係数 (kN/mm²)

3. 計測データ（変位-荷重曲線）



4. 試験結果

リフトオフ荷重	674.9	kN
チェックリフトオフ荷重	468.0	kN

表 10.74 リフトオフ試験結果（アンカー番号：C-61 / エスイー）

1. 試験諸元

工 事 名	共同研究「アンカーへの取付け・交換が容易な新型アンカー荷重計の開発」 既設アンカー緊張力モニタリングシステム現場実証試験
試 験 場 所	
試 験 日	平成21年9月10日
アンカー番号	C-61（設置荷重計：エスイー製）
試験最大荷重	771.2 kN

2. 試験アンカーの諸元

アンカー規格	VSL E5-7
アンカー長	12,000 mm
定着長	7,500 mm
緊張自由長	4,500 mm
自由長	4,000 mm
把持余長	500 mm
弾性係数 E_s	192.0 kN/mm ²
断面積 A_s	687.0 mm ²

【参考】

$$\Delta u = \Delta T \cdot l_{sf} / (A_s \cdot E_s)$$

Δu : 増加変位置量 (mm)

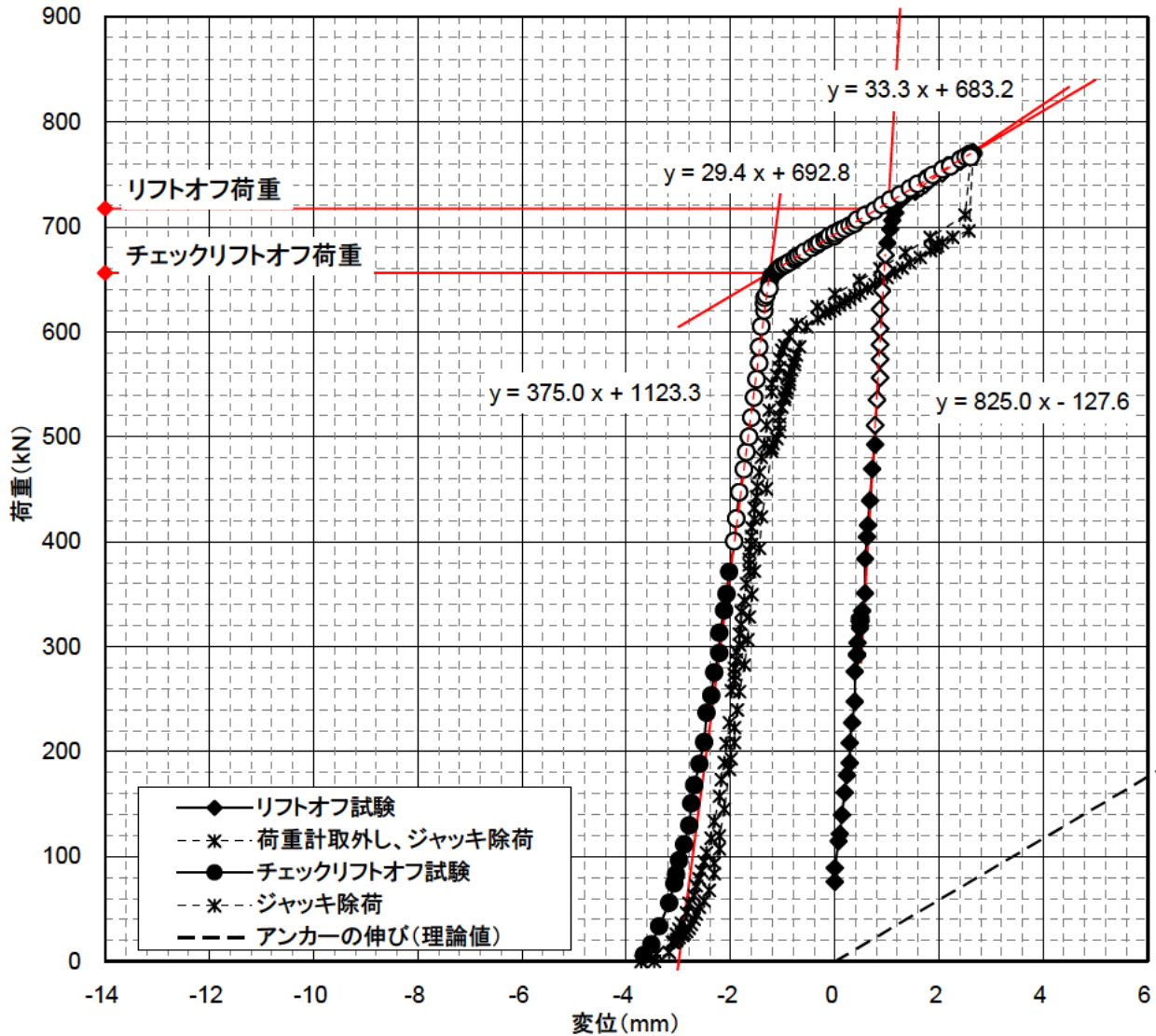
ΔT : 増加荷重量 (kN)

l_{sf} : 緊張自由長 (mm)

A_s : アンカーの断面積 (mm²)

E_s : アンカーの弾性係数 (kN/mm²)

3. 計測データ（変位-荷重曲線）



4. 試験結果

リフトオフ荷重	717.4	kN
チェックリフトオフ荷重	656.1	kN

(2) 交換作業性の評価

各社荷重計に対して取付け作業性を表 10.75 に示す評価段階で評価した。その結果を表 10.76 に示す。

評価となっている共和電業製については、取付け時にも問題となった荷重計とテンションスリーブとのラップに関するものである。リフトオフさせると、テンションスリーブによる荷重計のセンタリングが外れてしまうため、油圧ジャッキ除荷時に荷重計をセンタリング位置に押さえておく必要があった。

表 10.75 評価段階

記号	評価	内容
	良	特に問題なく取付け作業が実施できた
	可	若干の問題点があったが、部分的な改良によって良好な取付け作業ができる
×	不可	大きな問題点がある、または取付け作業が不能であったため、根本的な改良が必要である

表 10.76 取外し・交換作業性確認試験の評価

チェック項目		評価					
		共和電業製	坂田電機製	東京測器研究所製	東横エルメス製	守谷鋼機製	エスイー製
1	ヘッドキャップの取外しやすさ						
2	防錆油の清掃						
3	緊張治具のセット						
4	緊張治具によるリフトオフ						
5	荷重計の緊張力解放						
6	緊張治具の取外し						
7	チェックリフトオフ						

(3) 取外し方法の評価

①ジョイントスリーブの取外し

ジョイントスリーブの取外しは、簡単に行えた。取付け期間が短かったことと、クサビとジョイントスリーブがくっつかないように縁切りテープを挟んでおいたことが功を奏し、テンションロッド等を取外している間にクサビが緩んでいた。

なお、1箇所だけ取外し治具を用いたが、簡単にジョイントスリーブを取外すことができた(図 10.37、写真 10.87)。

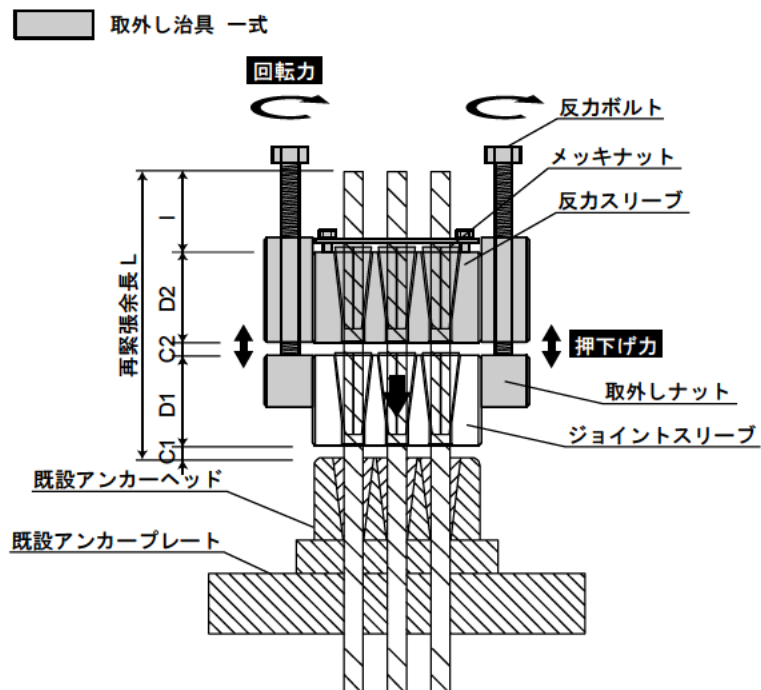


図 10.37 取外し治具の構造及び取外し方法



写真 10.87 ジョイントスリーブ取外し状況 (取外し治具使用)

定着ナットを回す治具

定着ナット側面に設けられた回転用の孔を利用して定着ナットを緩めるが、現場ではラチェットや六角レンチなどを使っていた。これらの道具では、作業がしづらだけでなく、定着ナットの孔を傷付けることもあるためふさわしくない。

そこで、回転用の孔にはまる回転棒（治具）を標準的に準備することが良いと考えられる。

(4) 考察と今後の課題

既設アンカーヘッドの防錆処理

荷重計を取付ける前に、既設アンカーヘッドの各部材に防錆油を塗布し、保護膜を形成しておくことが望ましいと考える。また、荷重計設置後、ジョイントスリーブからの防錆油充填では、十分な量を注入し、各日に充填する必要がある。

また、荷重計センタリング材を用いる場合は、防錆油の充填を妨げるような構造にならないように留意する必要がある。なるべくならばセンタリング材は使用せずにシンプルな構造とすることが望ましく、荷重計のセンタリングはテンションスリーブを用いることが望ましいと考える。

緊張治具の寸法

テンションスリーブの長さについて、荷重計の高さ、アンカーヘッドのリフトアップ量などを考慮し、適切な長さのものとすることが望ましい。

また、テンションスリーブの取付け位置に関しても、既往のテンションスリーブの高さと前述の要素を考慮し、ジョイントスリーブとのネジ結合位置を決めることも必要である。ただし、この時、ジョイントスリーブ及びテンションロッドとの最低ネジ結合量は確保する必要がある。

10.6.4 試験状況

試験時の状況を写真 10.88～写真 10.96 に示す。



写真 10.88 試験前の法面



写真 10.89 試験後の法面



写真 10.90 試験後の法面



写真 10.91 緊張治具一式



写真 10.92 緊張治具

- 左上：ラムチェア
- 中上：油圧ジャッキ
- 右上：油圧ポンプ
- 左下：テンションロッド
- 中下：テンションナット
- 右下：油圧ホース



写真 10.93 ヘッドキャップ



写真 10.94 リフトオフ試験
状況



写真 10.95 防錆油充填状況
(荷重計内)

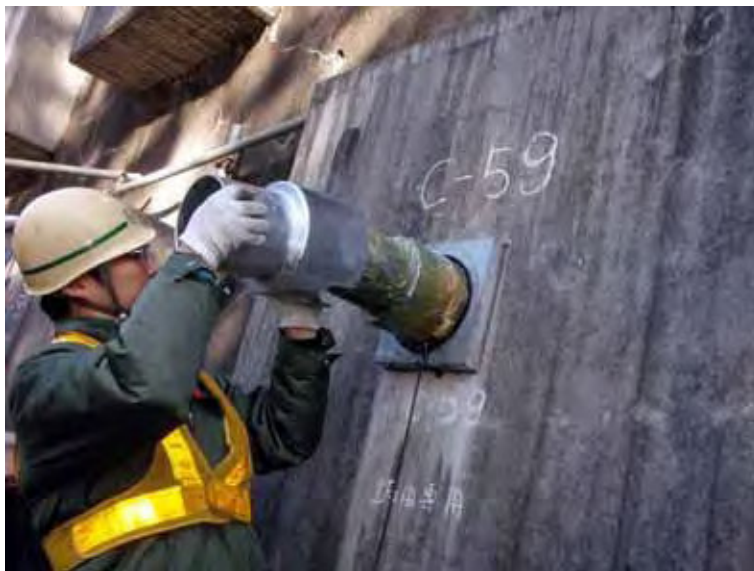


写真 10.96 ヘッドキャップ
取付け状況

10.7 試験結果 優先開発（荷重計）

10.7.1 荷重計出力に対する評価

(1) 試験結果

各社荷重計について、荷重計設置から撤去までの出力データを一覧表にして表 10.77 に示す。

表中の「A」は、荷重計設置前に実施したリフトオフ試験の結果を示したものである。「B」は、荷重計設置直後の荷重計出力を示し、「C」、「D」は通信機器による連続計測データの開始時と終了時の出力を示す。「E」は荷重計撤去時のリフトオフ試験直前の荷重計出力を示し、「F」は荷重計を撤去するために実施したリフトオフ試験荷重である。

表 10.77 リフトオフ荷重と荷重計出力（優先開発）

アンカー番号			3-2-1	3-2-2	3-2-3	3-3-1	3-3-2	3-3-3		
メーカー名			共和電業	坂田電機	東京測器	東横エルメス	守谷鋼機	エスイー		
データ	リフトオフ荷重	荷重計設置時	A	270.0	295.0	320.0	340.0	330.0	340.0	
	荷重計出力		B	279.4	302.4	330.8	274.4	322.8	390.8	
	荷重計出力(通信機器)		試験開始直後	C	283.0	300.9	330.0	278.0	321.0	375.0
			試験終了直前	D	278.5	289.6	323.2	257.2	322.2	369.6
	荷重計出力	荷重計撤去時	E	282.7	296.6	327.1	277.0	331.2	380.0	
	リフトオフ荷重		F	292.3	324.5	348.1	337.3	323.5	330.3	
評価	リフトオフ荷重変動値	F-A	G	22.3	29.5	28.1	-2.7	-6.5	-9.7	
	荷重計出力(通信機器)変動値	D-C	H	-4.5	-11.3	-6.8	-20.8	1.2	-5.4	
	試験期間中の安定性(%)	$\text{abs}((G-H)/A)$	I	9.9	6.2	10.9	5.3	2.3	1.3	
評価	設置時の荷重計出力と負荷の比(%)	B/A	J	103.5	102.5	103.4	80.7	97.8	114.9	
	撤去時の荷重計出力と負荷の比(%)	E/F	K	96.7	91.4	94	82.1	102.4	115	

坂田電機の A～C 値は、平成 20 年 9 月 11 日に再定着作業を行った時の測定値である。

(2) 評価

評価 : 試験期間中の安定性

試験期間中の荷重計の安定性を評価するために、通信機器で測定した荷重計出力の試験開始直後と試験終了直前までの変動値「H」と、荷重計設置時と撤去時のリフトオフ荷重の変動値「G」の差を、荷重計設置時のリフトオフ荷重「A」で除した値を試験期間中の安定性として「I」に示す。「H」には、試験前後のアンカー荷重の変動のほかに、荷重計の零点変化（ドリフト）や感度変化などの不安定化要因が含まれているため、試験前後のアンカー荷重の真の変化量を「G」とすると、「G」と「H」の差を確認することにより、荷重計の試験期間中の不安定化要因を抽出して荷重計の安定性を評価することが出来る。

ただし、リフトオフ荷重「A」は、荷重計設置後のチェックリフトオフ試験の荷重でないことと、予備緊張を実施していないことから、撤去時のリフトオフ荷重「F」と比較すると信頼性に欠ける。したがって厳密な評価は出来ないが、各社の荷重計においては概ね安定性が 10%程度以下であることが確認できた。

評価 : 荷重計出力と負荷の比

荷重計設置時と撤去時について、荷重計出力とリフトオフ荷重（負荷）との比を百分率にして「J」、「K」に示す。

±10%を超えた東横エルメス製荷重計については、既設アンカーヘッドの浮き上がり量が十分ではなく、アンカー荷重が荷重計と既設アンカーヘッドの両方に分散されていたと推定される。また、エスイー製荷重計は、改良前の荷重計を使用したことが原因である。

その他の荷重計は±10%以内であることが確認された。

10.7.2 耐久性に関する評価

(1) データ取得

各荷重計について欠測や異常値は認められなかったこと、また各社荷重計のこれまでの使用実績等を踏まえ、試験結果から耐久性に関して問題はないと確認できた。

(2) 外観

各荷重計について、目視による取付け前後の外観の確認結果を図 10.38 から図 10.43 以下に示す。

外観	取付け時 2008年4月	
	取外し後 2009年5月	
確認結果	<ul style="list-style-type: none"> ・ 取付け時から部分的に塗装のはがれが確認できる ・ 取付け時と取外し後で荷重計の外観に変化はない 	

図 10.38 共和電業製 (3-2-1)

外観	取付け時 2008年4月	
	取外し後 2009年5月	
確認結果	<ul style="list-style-type: none"> ・ 取付け時と取り外し後で荷重計の外観に変化はない。 ・ アタッチメント部分に若干の錆が見られるが、耐久性に問題はない。 	

図 10.39 坂田電機製 (3-2-2)

外観	取付け時 2008年4月	
	取外し後 2009年5月	
確認結果	<ul style="list-style-type: none"> 取付け時と取外し後で荷重計の外観に変化はない 	

図 10.40 東京測器研究所製 (3-2-3)

外観	取付け時 2008年4月	
	取外し後 2009年5月	
確認結果	<ul style="list-style-type: none"> 取付け時と取外し後で荷重計および取付け治具の外観に変化はない 	

図 10.41 東横エルメス製 (3-3-1)


外観	取付け時 2008年4月	
	取外し後 2009年5月	
確認結果	<ul style="list-style-type: none"> 取付け時と取外し後で荷重計の外観に変化はない 	

図 10.42 守谷鋼機製 (3-3-2)

外観	取付け時 2008年4月	
	取外し後 2009年5月	
確認結果	<ul style="list-style-type: none"> ・ アタッチメントの定着ナット接触面に擦れたような跡が認められる ・ 取付け時と取外し後で荷重計および取付け治具の外観に耐久性に関わる変化はない 	

図 10.43 エスイー製 (3-3-3)

10.7.3 考察

試験期間中の安定性は、荷重計のゼロ点移動（ドリフト）と感度変化が含まれているため、荷重計の総合的な安定性を確認することが出来るが、各社とも概ね 10%の範囲に収まっているため、安定性は確保されていると評価できる。なお、荷重計設置時のリフトオフ荷重は、撤去時のリフトオフ荷重とは試験方法が異なるため、評価は参考程度に扱う必要がある。

また、荷重計出力とリフトオフ荷重の差は、既設アンカーヘッドの浮き上がりが不十分と推定された東横エルメス製と、改良前の荷重計を用いたエスイー製の荷重計を除けば、10%以内であることが確認できた。

荷重計出力は、荷重計のセンタリングなど設置状況に影響されることが推定される。したがって、既設アンカーヘッドやテンションスリーブを頼りにセンタリングを行う場合は、リフトオフ試験時のアンカー材の伸びを考慮して、荷重計または緊張治具の形状を検討するとともに、アタッチメント等の付属品を用いない形状にするなど、センタリングが容易な形状とする必要がある。

耐久性については、各荷重計とも実験期間中にわたってデータ取得が可能であったことから、問題がないことを確認した。外観については、実験期間中に機能低下が生じるような変状はなかった。

10.8 試験結果 拡張開発（荷重計）

10.8.1 荷重計出力に対する評価

(1) 試験結果

各社荷重計について、荷重計設置から撤去までの出力データを一覧表にして表 10.78 に示す。表中の「A」は、荷重計設置直後に実施したチェックリフトオフ試験の結果を示したものである。「B」は、荷重計設置直後の荷重計出力を示し、「C」、「D」は通信機器による連続計測データの開始時と終了時の出力を示す。「E」は荷重計撤去時のリフトオフ試験直前の荷重計出力を示し、「F」は荷重計を撤去するために実施したリフトオフ試験荷重である。

表 10.78 リフトオフ荷重と荷重計出力（拡張開発）

アンカー番号			C-56	C-57	C-58	C-59	C-60	C-61	
メーカー名			共和電業	東横エルメス	守谷鋼機	坂田電機	東京測器	エスイー	
データ	リフトオフ荷重	荷重計設置時	A	709.2	727.0	724.8	718.8	699.2	716.1
	荷重計出力		B	676.0	708.0	719.0	596.0	702.0	572.0
	荷重計出力(通信機器)	試験開始直後	C	674.0	708.0	711.0	601.0	697.0	567.0
		試験終了直前	D	669.0	679.0	705.0	608.0	682.0	564.0
	荷重計出力	荷重計撤去時	E	674.0	677.0	682.0	600.0	680.0	-
	リフトオフ荷重		F	686.4	687.2	698.4	689.5	674.9	717.4
評価	リフトオフ荷重変動値	F-A	G	-22.8	-39.8	-26.4	-29.3	-24.3	1.3
	荷重計出力(通信機器)変動値	D-C	H	-5.0	-29.0	-6.0	7.0	-15.0	-3.0
	試験期間中の安定性(%)	$\text{abs}((G-H)/A)$	I	2.5	1.5	2.8	5.1	1.3	0.6
評価	設置時の荷重計出力と負荷の比(%)	B/A	J	95.3	97.4	99.2	82.9	100.4	79.9
	撤去時の荷重計出力と負荷の比(%)	E/F	K	98.2	98.5	97.7	87.0	100.8	-

(2) 評価

評価 : 試験期間中の安定性

試験期間中の荷重計の安定性を評価するために、通信機器で測定した荷重計出力の試験開始直後と試験終了直前までの変動値「H」と、荷重計設置時と撤去時のリフトオフ荷重の変動値「G」の差を、荷重計設置時のリフトオフ荷重「A」で除した値を試験期間中の安定性として「I」に示す。「H」には、試験前後のアンカー荷重の変動のほかに、荷重計の零点変化（ドリフト）や感度変化などの不安定化要因が含まれているため、試験前後のアンカー荷重の真の変化量を「G」とすると、「G」と「H」の差を確認することにより、荷重計の試験期間中の不安定化要因を抽出して荷重計の安定性を評価することが出来る。

各社の荷重計とも、試験期間中の安定性は概ね5%以内であり、安定していることが確認できた。

評価 : 荷重計出力と負荷の比

荷重計設置時と撤去時について、荷重計出力とリフトオフ荷重（負荷）との比を百分率にして「J」、「K」に示す。

坂田電機荷重計は、ジョイントスリーブとテンションロッドの両方に荷重計が接触し、荷重計の出力が小さくなったと考えられる。エスイー製荷重計は、撤去時の破損によって荷重計出力が得られなかったため、「K」の評価は出来ない。「J」については-20.1%と大きな差となったが、リフトオフ試験結果（アンカー番号：C-61/エスイー：表 10.61）を確認すると、荷重計設置時のアンカーヘッドの浮き量が1.53mmと非常に小さいことがわかる。したがって、既設アンカーヘッドにも荷重が分担されていた可能性がある。その他の荷重計は±10%以内であることが確認された。

10.8.2 耐久性に関する評価

(1) データ取得

各荷重計について欠測や異常値は認められなかったこと、また各社荷重計のこれまでの使用実績等を踏まえ、試験結果から耐久性に関して問題はないと確認できた。

(2) 外観

各荷重計について、目視による取付け前後の外観の確認結果を図 10.44 から図 10.49 に示す。


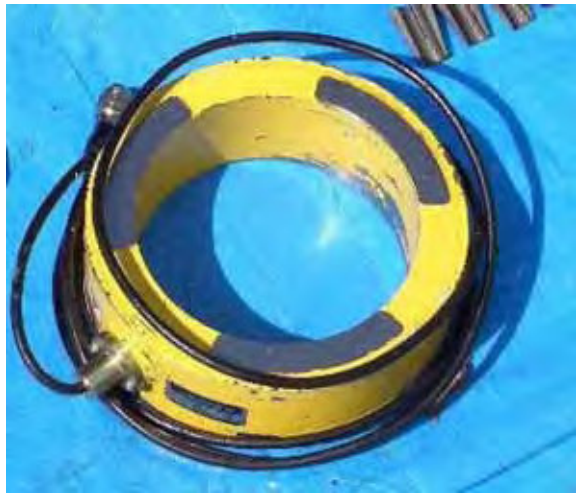
外観	取付け時 2009年1月	
	取外し後 2009年9月	
確認結果	<ul style="list-style-type: none"> ・ 取付け時から部分的に塗装のはがれが確認できる ・ 取付け時と取外し後で荷重計の外観に変化はない 	

図 10.44 共和電業製 (C-56)



外観	取付け時 2009年1月	
	取外し後 2009年9月	
確認結果	<ul style="list-style-type: none"> 取付時と取り外し後で荷重計の外観に変化はない。 	

図 10.45 東横エルメス製 (C-57)



外観	取付け時 2009年1月	
	取外し後 2009年9月	
確認結果	<ul style="list-style-type: none"> 取付け時と取外し後で荷重計の外観に変化はない 	

図 10.46 守谷鋼機製 (C-58)

外観	取付け時 2009年1月	
	取外し後 2009年9月	
確認結果	<ul style="list-style-type: none"> 取付け時と取外し後で荷重計および取付け治具の外観に変化はない 	

図 10.47 坂田電機製 (C-59)



外観	取付け時 2009年1月	
	取外し後 2009年9月	
確認結果	<ul style="list-style-type: none"> 取付け時と取外し後で荷重計の外観に変化はない 	

図 10.48 東京測器研究所製 (C-60)



外観	取付け時 2008年1月	
	取外し後 2009年9月	
確認結果	<ul style="list-style-type: none"> ・ 取付け時と取外し後で荷重計および取付け治具の外観に耐久性に関わる変化はない ・ ヘッドキャップ撤去時にコネクタ部が破損した 	

図 10.49 エスイー製 (3-3-3)

10.8.3 考察

各社の試験期間中の安定性は、概ね 5%以内であり、安定性が確保されていると評価できた。

また、荷重計出力とリフトオフ荷重の比は、坂田電機製とエスイー製を除けば 5%以内に収まっていることが確認された。

耐久性については、各荷重計とも実験期間中にわたってデータ取得が可能であったことから、問題がないことを確認した。外観については、実験期間中に機能低下が生じるような変状はなかった。

10.9 試験結果 優先開発（データ通信システム）

10.9.1 試験実施概要

平成 20 年 4 月 16 日から平成 21 年 5 月 24 日まで、優先開発で製作したデータ通信システムの現場実証試験を行った。

試験実施日と試験内容を表 10.79 に示す。なお、撤去後の性能評価は、各社、持ち帰り実施した。

表 10.79 試験実施日と試験内容

試験実施日	試験内容
平成 20 年 4 月 16 日 (設置時)	通信性能、データ取得・保存性能、電池電圧測定
平成 20 年 5 月 7 日 (第 1 回データ回収)	データ取得・保存性能、外観確認
平成 20 年 7 月 16 日 (第 2 回データ回収)	データ取得・保存性能、外観確認
平成 20 年 10 月 20 日 (第 3 回データ回収)	データ取得・保存性能、外観確認
平成 21 年 5 月 24 日 (撤去時)	データ取得・保存性能、外観確認、電池電圧測定

各社のデータ送信ユニットと荷重計の組み合わせは表 10.80 に示すとおりである。また、実際の取り付け位置を資料の写真 10.97 に示す。

なお、守谷鋼機製荷重計とエスイー製荷重計には、平成 20 年 7 月 16 日より、データ送信ユニットを設置し、温度補正用の温度計測を開始した。

表 10.80 データ送信ユニットと荷重計の組み合わせ

アンカー番号	データ通信システム 製作会社	荷重計製作会社および変換方式	
		荷重計製作会社	変換方式
3-2-1	共和電業	共和電業	ひずみゲージ式
3-2-2	坂田電機	坂田電機	差動トランス式
3-2-3	東京測器研究所	東京測器研究所	ひずみゲージ式
3-3-1	共和電業	東横エルメス	ひずみゲージ式
3-3-2	東京測器研究所	守谷鋼機	油圧式 ひずみゲージ式
3-3-3	東京測器研究所	エスイー	ひずみゲージ式

10.9.2 試験結果

(1) 現場適応試験結果

運用時の外観確認

撤去時に全データ送信ユニットの外観検査を行った。その結果、全データ送信ユニットとも異常は見られなかった（表 10.81、図 10.57 および図 10.58）。

表 10.81 データ送信ユニットの外観確認結果（○：良好、△：良、△：注意、×不良）

データ通信システム 製作会社		共和電業		東京測器研究所			坂田電機
アンカー番号		3-2-1 (上段)	3-3-1 (下段)	3-3-3 (下段)	3-2-3 (上段)	3-3-2 (下段)	3-2-2 (上段)
荷重計製作会社		共和電業	東横 エルメス	エスイー	東京測器研 究所	守谷鋼機	坂田電機
データ送信 ユニットの 外観	第1回データ回収						
	第2回データ回収						
	第3回データ回収						
	撤去時						

②撤去後の性能確認

データ送信ユニット撤去後、各社にてその性能検査を行った。その結果（表 10.82）、全データ送信ユニットとも異常は見られなかった。

表 10.82 撤去後のデータ送信ユニット性能確認結果（基準：5%R.O 以内）

データ通信システム 製作会社		共和電業		東京測器研究所				坂田 電機	
アンカー番号		3-2-1 (上段)	3-3-1 (下段)	3-3-3 (下段)		3-2-3 (上段)	3-3-2 (下段)		3-2-2 (上段)
荷重計製作会社		共和 電業	東横 エルメス	エスイー		東京測器 研究所	守谷鋼機		坂田 電機
				荷重計	温度計		荷重計	温度計	
非直線性 (%R.O)	設置前	-0.11	-0.17	-0.44	-0.16	-0.34	-0.08	-0.26	0.20
	撤去後	-0.15	-0.16	-0.46	-0.51	-0.50	-0.45	-0.48	0.12
ヒステリシス (%R.O)	設置前	-0.02	-0.03	0.10	-0.08	-0.14	0.08	0.01	0.12
	撤去後	-0.03	-0.02	-0.17	-0.11	-0.11	0.06	-0.11	0.24
零点変動 (%R.O)	撤去前	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	撤去後	0.03	0.00	0.04	-0.06	0.06	-0.06	-0.06	0.00
総合精度 (%R.O)	撤去前	0.11	0.17	0.45	0.18	0.37	0.11	0.26	0.23
	撤去後	0.16	0.16	0.49	0.53	0.52	0.46	0.50	0.27

参考資料 性能について

各性能は下記の式で算出される。

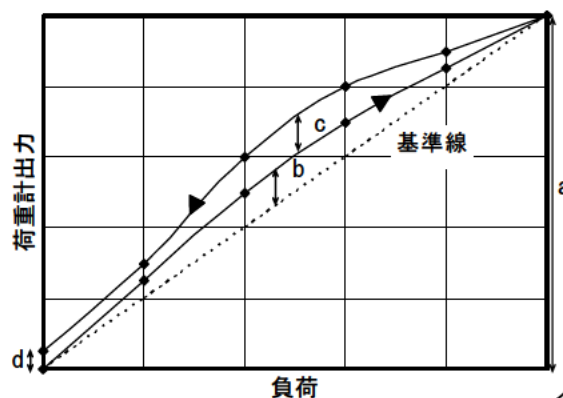
ここで a：定格負荷時の荷重計の出力（定格荷重）

b：無負荷時と定格負荷時を結ぶ基準線と負荷増加時の校正曲線の最大偏差

c：負荷増加時と負荷減少時の最大出力差

d：負荷前後の零点の出力差

1. 非直線性(%R.O) = $b/a \times 100$
2. ヒステリシス(%R.O) = $c/a \times 100$
3. 零点変動(%R.O) = $d/a \times 100$
4. 総合精度 = $\sqrt{\text{非直線性}^2 + \text{ヒステリシス}^2 + \text{零点変動}^2}$



(2) データ取得試験結果

①通信性能

図 10.50 に示すように各測点において、高さ 80cm の台の上にデータ回収装置を置き、通信試験をおこなった(資料:写真 10.98 参照)。測点と通信距離の関係を表 10.83 に示す。なお、通信距離については、各測点間の区間変位をメジャーにて計測し、地図上から直線距離を算出した。

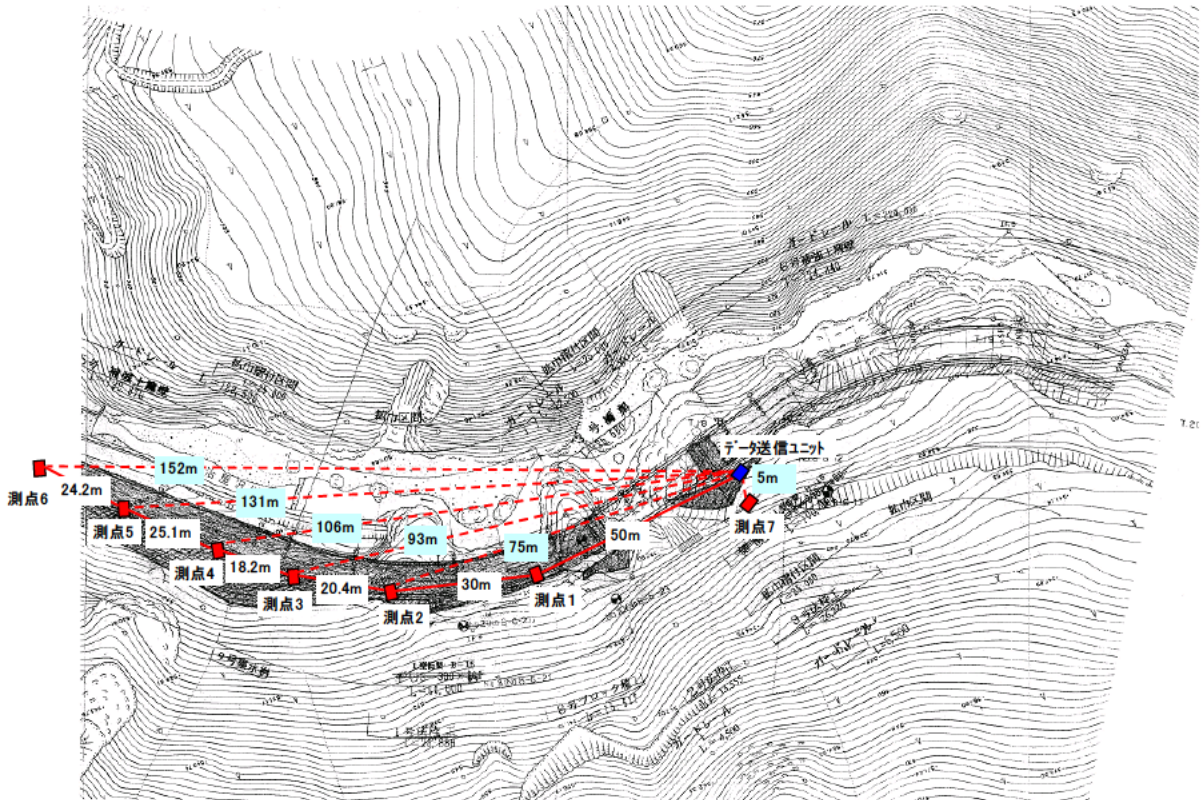


図 10.50 データ送信ユニットと測定位置の関係

表 10.83 測点と通信距離の関係

測点	アンカー荷重計と測点との直線距離 (計算値)	前測点との区間距離 (測定値)
測点1	50m	50m
測点2	75m	30m
測点3	93m	20.4m
測点4	106m	18.2m
測点5	131m	25.1m
測点6	152m	24.2m
測点7	5m	5m

表 10.84 は、各通信距離において、連続 10 回または 1 分のインターバルで、10 回のデータの取得および通信を行い、そのエラー率を表したものである（取得データは資料 表 10.88 参照）。

なお、参考として、データ送信ユニット設置場所の直上でも通信試験を行った。この場合、通信距離は 5m 程度であるが、受信器を置いた位置から、データ送信ユニットは死角となっている。（写真 10.99 参照）

表 10.84 データ通信取得試験結果（エラー率）

データ通信システム製作会社		共和電業		東京測器研究所			坂田電機	備考
アンカー番号		3-2-1 (上段)	3-3-1 (下段)	3-3-3 (下段)	3-2-3 (上段)	3-3-2 (下段)	3-2-2 (上段)	
荷重計製作会社		共和電業	東横 エルメス	エスイー	東京測器研 究所	守谷鋼機	坂田電機	
測点	直線距離 [m]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
測点 1	50	0	0	0	0	0	0	基本 データ
測点 2	75	0	10	0	0	0	0	
測点 3	93	10	20	0	0	0	0	参考 データ
測点 4	106	30	50	0	0	0	0	
測点 5	131	40	70	0	0	0	10	
測点 6	152	30	80	0	0	0	30	
測点 7	5	0	0	100	100	100	0	

データ取得・保存性能

データ送信ユニットに1日2回以上蓄積されたアンカー荷重計のデータ回収を、無線通信で行った。得られたデータを図 10.51～図 10.56 に示す。

その結果(表 10.85) 共和電業製のデータ送信ユニットは無線通信による回収および測定データに問題はなかった。坂田電機製通信ユニットは回収に問題はなかったが、得られたデータの一部に大きな変動が見られた。東京測器研究所製のデータ送信ユニットは、設置および1ヶ月目、3ヶ月目、6ヶ月目の定期回収では、問題なく回収と荷重測定ができていたが、撤去時に5台中4台が電池切れを起こし、データ回収ができなかった。

表 10.85 データの取得・保存性能の結果(:良好、良、注意、×不良)

データ通信システム 製作会社		共和電業		東京測器研究所				坂田 電機	
アンカー番号		3-2-1 (上段)	3-3-1 (下段)	3-3-3 (下段)	3-2-3 (上段)	3-3-2 (下段)		3-2-2 (上段)	
荷重計製作会社		共和 電業	東横 エルメス	エスイー		東京 測器 研究所	守谷鋼機		坂田 電機
				荷重計	温度計		荷重計	温度計	
50m の距離で無線回収ができること	設置時				-			-	
	第1回データ回収				-			-	
	第2回データ回収				-			-	
	第3回データ回収								
	撤去時			1		1	1	1	
1日2回以上の測定ができること	設置時				-			-	
	第1回データ回収				-			-	
	第2回データ回収				-			-	3
	第3回データ回収								
	撤去時			× 2		× 2	× 2	× 2	

- 1 電池交換により通信は可能であることが確認できた
- 2 電池切れによる欠測があった
- 3 荷重計の値に変動が見られたので再定着作業を実施(09.9.11)

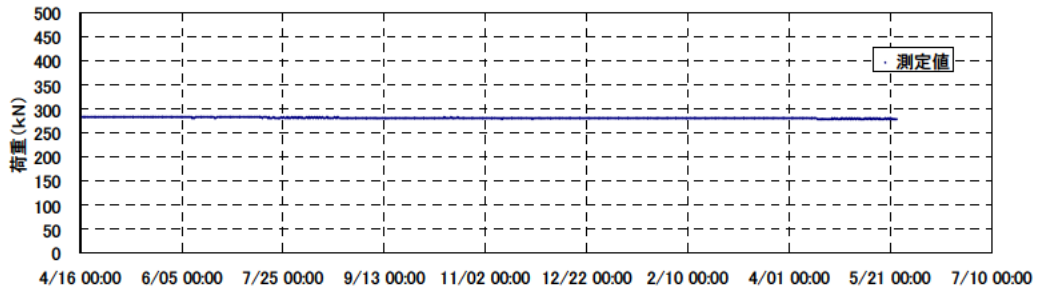


図 10.51 共和電業製荷重計 経時グラフ

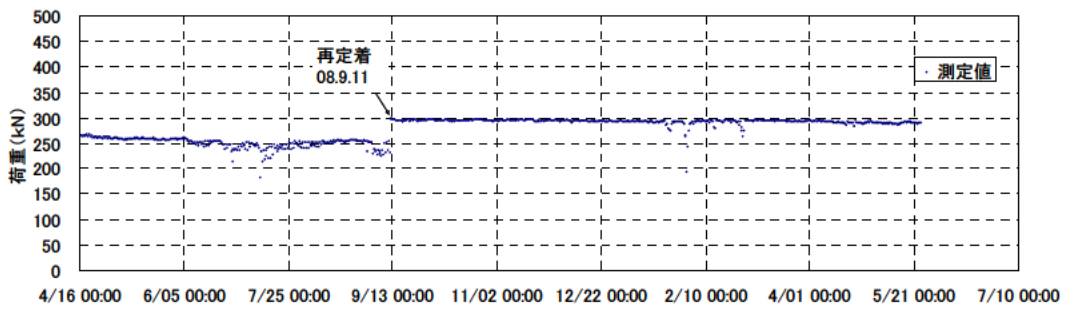


図 10.52 坂田電機製荷重計 経時グラフ

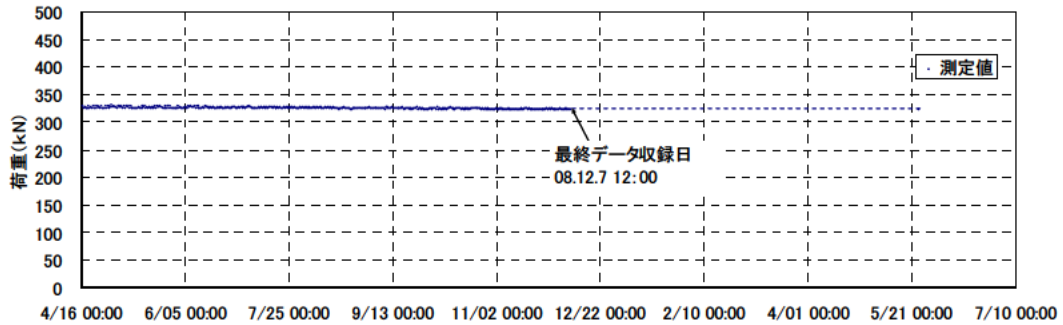


図 10.53 東京測器研究所製荷重計 経時グラフ

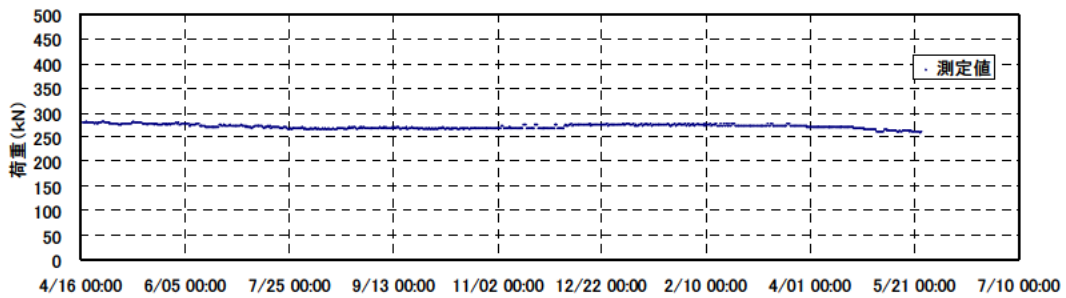


図 10.54 東横エルメス製荷重計 経時グラフ

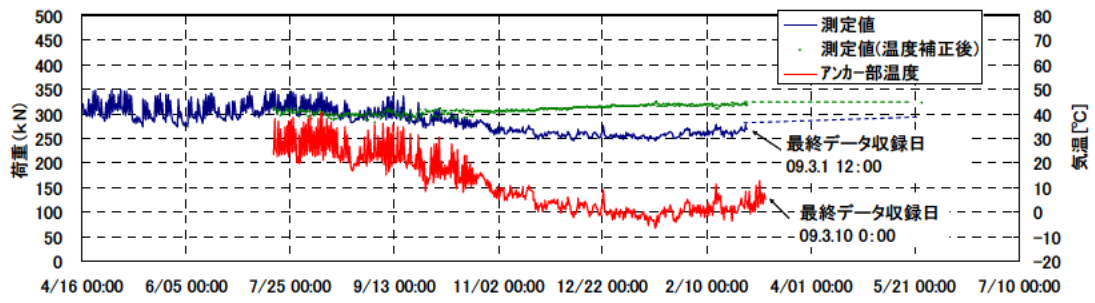


図 10.55 守谷鋼機製荷重計 経時グラフ

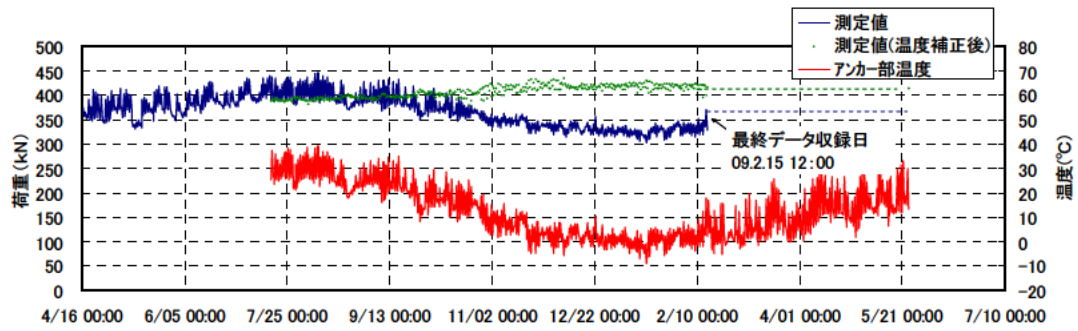


図 10.56 エスイー製荷重計 経時グラフ

電池電圧の確認

表 10.86 は、データ取得試験後に電池電圧の測定を行った結果である。

撤去時に電池電圧の確認を行い、設置時に確認した値と比較した。仕様上の電池寿命は1年であり、本現場実証試験の測定期間が1年1ヶ月であることから、共和電業製および坂田電機製のデータ送信ユニットは仕様を満足していた。東京測器研究所製についてはデータ送信ユニットの5台中4台が電池切れを起こしていた。原因は、プログラム上で正しくスリープ時の消費電流が設計値より大きかったためである。撤去後、正しくスリープ動作を設定し、スリープ時の消費電流が設計値になることを確認した。

表 10.86 設置時電池電圧

データ通信 システム製作会社	(株)共和電業		(株)東京測器研究所					坂田電機 (株)
	アンカー番号	3-2-1 (上段)	3-3-1 (下段)	3-3-3 (下段)	3-2-3 (上段)	3-3-2 (下段)	3-2-2 (上段)	
荷重計メーカ	共和 電業	東横 エルメス	エスイー		東京 測器 研究所	守谷鋼機		坂田 電機
			荷重計	温度計		荷重計	温度計	
設置時(08.4.16)	3.21V	3.21V	3.12V	3.08V 1	3.12V	3.12V	3.09V 1	3.21V
撤去時(09.5.24)	3.05V	3.02V	0.3V 2	2.6V	0.3V 3	0.3V 4	0.3V 5	2.86V

- 1 08.7.16 に設置
- 2 09.2.15 0:00 まで測定
- 3 08.12.7 12:00 まで測定
- 4 09.3.1 12:00 まで測定
- 5 09.3.10 0:00 まで測定

参考資料 『スリープ機能』

ユニットには、測定、通信、スリープの3つの動作モードがある。スリープとは、消費電流を抑制するため、測定や通信の動作を行っていないときに、必要のない部分の電源を遮断する機能である。モードの設定はプログラム上で行うが、今回は、これを誤ったため、一部の部位をスリープできず、想定値よりも大きな電流が流れ、早期に電池切れとなった。

10.9.3 試験評価

優先開発で製作したデータ通信システムの評価は表 10.87 に示すとおりである。

- ・現場適応性試験について

各社とも、外観および性能に異常は見られなかった。

- ・データ取得試験について

各社とも無線通信によるデータ回収に問題はなかった。取得したデータにおいて、坂田電機製のデータ送信ユニットの測定データの一部に大きく値の変わっている箇所があった。冬の一時にデータ変動が見られたが、その時期のみであること、撤去後の性能確認で異常が見られなかったことを考慮すると、原因は低温による基板上の結露が考えられる。今後は、データ送信ユニット内の湿度を抑えるために、現場でデータ送信ユニットを開けないこととする。

また、東京測器研究所製のデータ送信ユニットにおいては電池切れにより、測定値データの欠測があった。スリープ時の電流が大きかったことが原因であり、プログラムの修正により適切な電流値になることを確認した。

表 10.87 通信性能結果 (良好、 概ね良好、 注意 ×不良)

試験名	確認項目	データ通信システム製作会社		
		共和電業	東京測器 研究所	坂田電機
現場適応試験	運用時の外観			
	撤去後の性能確認			
データ取得試験	通信性能			
	データ取得・保存性能			
	電池電圧		×	

10.9.4 資料

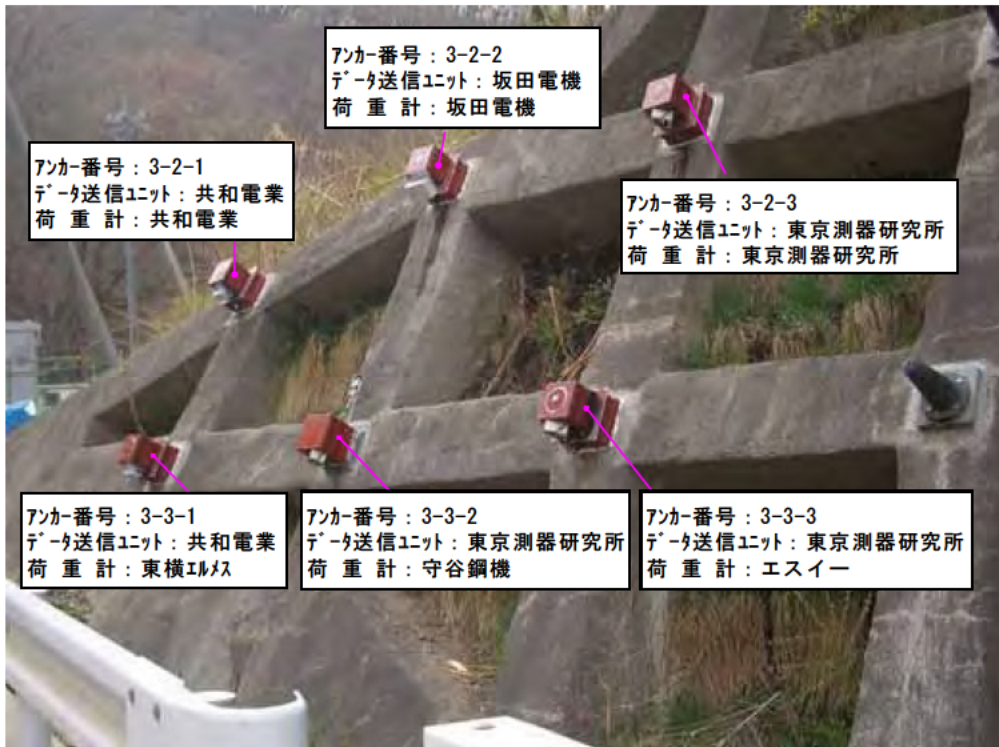


写真 10.97 通信装置の配置



写真 10.98 通信試験状況



写真 10.99 アンカー直上通信試験状況

表 10.88 データ取得試験時データ

データ通信システム 製作会社		共和電業		東京測器研究所			坂田電機
アンカー番号		3-2-1(上段)	3-3-1(下段)	3-3-3(下段)	3-2-3(上段)	3-3-2(下段)	3-2-2(上段)
荷重計メーカー		共和電業	東横機双	エスイー	東京測器研究所	守谷銅機	坂田電機
通信距離[m]	測定回数	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$	R
50	1	1961	1206	2167	1651	2510	1.274
	2	1961	1206	2167	1649	2510	1.275
	3	1961	1206	2166	1650	2509	1.276
	4	1961	1206	2165	1649	2510	1.277
	5	1961	1206	2165	1649	2511	1.273
	6	1962	1206	2167	1649	2508	1.277
	7	1961	1207	2167	1649	2511	1.276
	8	1961	1207	2166	1650	2510	1.281
	9	1962	1207	2167	1649	2509	1.275
	10	1962	1207	2167	1648	2509	1.275
75	1	1961	-	2167	1651	2510	1.283
	2	1962	1206	2167	1649	2510	1.279
	3	1961	1206	2166	1650	2509	1.276
	4	1962	1206	2165	1649	2510	1.277
	5	1961	1206	2165	1649	2511	1.275
	6	1962	1206	2167	1649	2508	1.275
	7	1961	1207	2167	1649	2511	1.280
	8	1961	1207	2166	1650	2510	1.274
	9	1962	1207	2167	1649	2509	1.282
	10	1962	1207	2167	1648	2509	1.278
93	1	1961	-	2167	1651	2510	1.279
	2	-	1206	2167	1649	2510	1.276
	3	1961	1206	2166	1650	2509	1.278
	4	1961	1206	2165	1649	2510	1.276
	5	1961	1209	2165	1649	2511	1.275
	6	1962	1209	2167	1649	2508	1.276
	7	1961	1207	2167	1649	2511	1.276
	8	1961	1207	2166	1650	2510	1.275
	9	1962	-	2167	1649	2509	1.281
	10	1962	1207	2167	1648	2509	1.275
106	1	-	-	2167	1651	2510	1.279
	2	1961	1209	2167	1649	2510	1.279
	3	1961	1209	2166	1650	2509	1.277
	4	-	-	2165	1649	2510	1.276
	5	1961	1209	2165	1649	2511	1.276
	6	1962	-	2167	1649	2508	1.274
	7	1961	-	2167	1649	2511	1.276
	8	1961	1206	2166	1650	2510	1.275
	9	-	-	2167	1649	2509	1.274
	10	1962	1207	2167	1648	2509	1.275
131	1	-	-	2167	1651	2510	1.279
	2	-	-	2167	1649	2510	1.276
	3	1961	-	2166	1650	2509	-
	4	1961	-	2165	1649	2510	1.275
	5	-	-	2165	1649	2511	1.274
	6	1962	-	2167	1649	2508	1.274
	7	1961	-	2167	1649	2511	1.276
	8	-	1206	2166	1650	2510	1.275
	9	1962	1206	2167	1649	2509	1.275
	10	1962	1207	2167	1648	2509	1.281
152	1	1961	-	2167	1651	2510	1.275
	2	1961	-	2167	1649	2510	1.276
	3	1961	-	2166	1650	2509	-
	4	1961	-	2165	1649	2510	-
	5	1961	-	2165	1649	2511	1.276
	6	1962	-	2167	1649	2508	-
	7	1961	-	2167	1649	2511	1.275
	8	-	1206	2166	1650	2510	1.275
	9	-	-	2167	1649	2509	1.275
	10	-	1207	2167	1648	2509	1.274
5	1	1962	1209	-	-	-	1.275
	2	1961	1209	-	-	-	1.275
	3	1961	1206	-	-	-	1.276
	4	1961	1206	-	-	-	1.274
	5	1961	1208	-	-	-	1.275
	6	1962	1206	-	-	-	1.278
	7	1962	1206	-	-	-	1.281
	8	1961	1206	-	-	-	1.273
	9	1962	1207	-	-	-	1.273
	10	1961	1206	-	-	-	1.272

アンカー番号：3-2-1 データ送信ユニット：共和電業製 荷重計：共和電業製



設置時 (08.4.16)



撤去時 (09.5.24)

アンカー番号：3-2-2 データ送信ユニット：坂田電機製 荷重計：坂田電機製



設置時 (08.4.16)

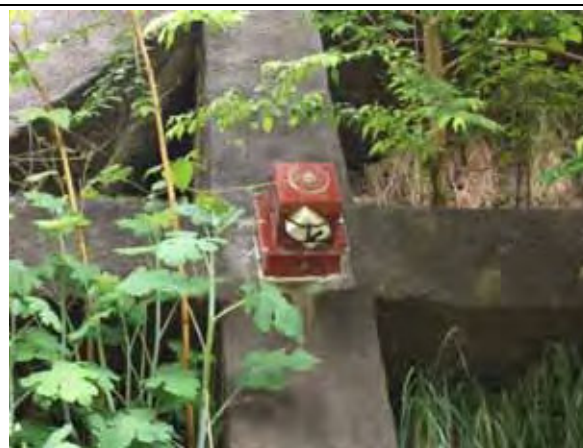


撤去時 (09.5.24)

アンカー番号：3-2-3 データ送信ユニット：東京測器研究所製 荷重計：東京測器研究所製



設置時 (08.4.16)



撤去時 (09.5.24)

図 10.57 設置時と撤去時のデータ送信ユニット外観 (1/2)

アンカー番号：3-3-1 データ送信ユニット：共和電業製 荷重計：東横エルメス製



設置時 (08.4.16)



撤去時 (09.5.24)

アンカー番号：3-3-2 データ送信ユニット：東京測器研究所製 荷重計：守谷鋼機製



設置時 (08.4.16)



撤去時 (09.5.24)

アンカー番号：3-3-3 データ送信ユニット：東京測器研究所製 荷重計：エスイー製



設置時 (08.4.16)



撤去時 (09.5.24)

図 10.58 設置時と撤去時のデータ送信ユニット外観 (2/2)

10.10 試験結果 拡張開発（データ通信システム）

10.10.1 試験概要

平成 21 年 1 月 29 日から平成 21 年 9 月 10 日まで、拡張開発で製作したデータ通信システムの現場実証試験を行った。

試験実施日と試験内容を表 10.89 に示す。なお、撤去後の性能評価は、各社、持ち帰り実施した。

表 10.89 試験実施日と試験内容

試験実施日	試験内容
平成 21 年 1 月 29 日 (設置時)	通信性能、データ取得・保存性能、電池電圧測定
平成 21 年 2 月 20 日 (第 1 回データ回収)	データ取得・保存性能、外観確認
平成 21 年 3 月 26 日 (第 2 回データ回収)	データ取得・保存性能、外観確認
平成 21 年 6 月 24 日 (第 3 回データ回収)	データ取得・保存性能、外観確認
平成 21 年 9 月 10 日 (撤去時)	データ取得・保存性能、外観確認、電池電圧測定

各社のデータ送信ユニットと荷重計の組み合わせは表 10.90 に示すとおりである。また、実際の取り付け位置を資料の写真 10.100 に示す。

なお、(株)エスイー製荷重計の変動が見られたことから、平成 21 年 3 月 26 日に、荷重測定用と温度測定用のデータ送信ユニットの交換を実施した。

表 10.90 データ送信ユニットと荷重計の組み合わせ

アンカー番号	データ通信システム		荷重計製作会社	
	製作会社			
C-56	共和電業	共和電業	共和電業	ひずみゲージ式
C-57	共和電業	東横エルメス	東横エルメス	ひずみゲージ式
C-58	東京測器研究所	守谷鋼機	守谷鋼機	油圧式 ひずみゲージ式
C-59	坂田電機	坂田電機	坂田電機	差動トランス式
C-60	東京測器研究所	東京測器研究所	東京測器研究所	ひずみゲージ式
C-61	東京測器研究所	エスイー	エスイー	ひずみゲージ式

10.10.2 試験結果

(1) 現場適用試験結果

運用時の外観確認

撤去時に全データ送信ユニットの外観検査を行った。その結果、全データ送信ユニットとも異常は見られなかった（表 10.91、図 10.66 および図 10.67）。

表 10.91 データ送信ユニットの外観確認結果

データ通信システム製作会社		共和電業		東京測器研究所			坂田電機
アンカー番号		C-56	C-57	C-58	C-60	C-61	C-59
荷重計製作会社		共和電業	東横エルメス	守谷鋼機	東京測器研究所	エスイー	坂田電機
データ送信ユニットの外観	第1回データ回収	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
	第2回データ回収	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
	第3回データ回収	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
	撤去時	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし

撤去後の性能確認

データ送信ユニット撤去後、各社にてその性能検査を行った。その結果、全データ送信ユニットとも異常は見られなかった（表 10.92）

表 10.92 撤去後のデータ送信ユニット性能確認結果（基準：1%R.0以内）

データ通信システム 製作会社		共和電業		東京測器研究所					坂田 電機
アンカー番号		C-56	C-57	C-58		C-60	C-61		C-59
荷重計製作会社		共和 電業	東横 エルメス	守谷鋼機		東京測器 研究所	エスイー		坂田 電機
				荷重計	温度計		荷重計	温度計	
非直線性 (%R.0)	設置前	-0.06	-0.09	-0.03	±0.03	0.07	-0.07	±0.03	-0.09
	撤去後	-0.09	-0.07	-0.07	0.03	±0.03	-0.07	-0.03	0.06
ヒステリシス (%R.0)	設置前	-0.05	-0.07	0.03	0.03	0.07	0.03	0.03	0.08
	撤去後	-0.06	-0.09	-0.03	-0.03	0.03	-0.06	-0.03	-0.11
零点変動 (%R.0)	撤去前	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	撤去後	0.03	0.00	-0.03	0.00	0.00	0.03	-0.03	0.03
総合精度 (%R.0)	撤去前	0.08	0.11	0.04	0.04	0.10	0.08	0.04	0.12
	撤去後	0.11	0.11	0.08	0.04	0.04	0.10	0.05	0.13

(2) データ取得試験結果

①通信性能

図 10.59 に示すように各測点において、高さ 100cm 程度の位置に受信機を置き、各通信距離で通信試験を行った (資料写真 10.101 参照)。測点と通信距離の関係を表 10.93 に示す。なお、通信距離については、各測点間の区間変位をメジャーにて計測し、地図上から直線距離を算出した。

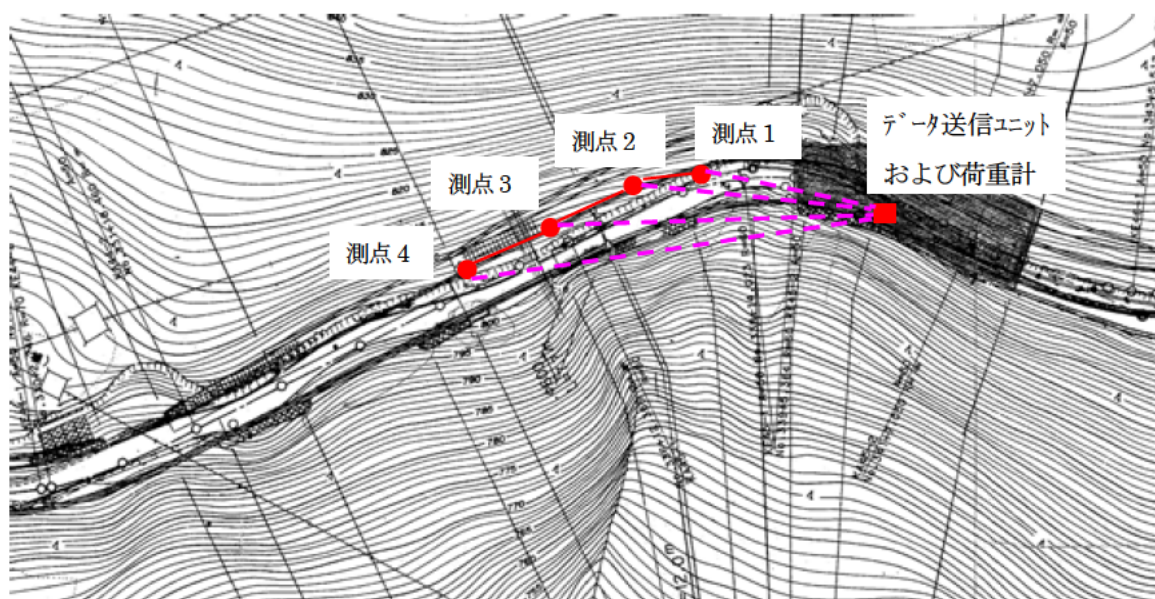


図 10.59 データ送信ユニットと測定位置の関係

表 10.93 測点と通信距離の関係

測点	アンカー荷重計と測点との直線距離 (計算値)	前測点との区間距離 (測定値)
測点 1	50m	50m
測点 2	59m	10m
測点 3	77m	20m
測点 4	96m	20m

表 10.94 は、各通信距離において、連続 10 回または 1 分のインターバルで、10 回のデータの取得および通信を行い、そのエラー率を表したものである（取得データは資料 表 10.98 を参照）。

表 10.94 データ通信取得試験結果（エラー率）

データ通信システム製作会社		共和電業		東京測器研究所					坂田電機	備考
アンカー番号		C-56	C-57	C-58	C-60	C-61	C-59			
荷重計製作会社		共和電業	東横エルメス	守谷鋼機	東京測器研究所	エスイー	坂田電機			
測点	直線距離[m]	[%]	[%]	[%]		[%]	[%]		[%]	
				荷重計	温度計		荷重計	温度計		
測点 1	50	0	0	0	0	0	0	0	0	基本データ
測点 2	60	0	0	0	0	0	0	0	0	参考データ
測点 3	80	10	15	0	0	0	0	0	0	
測点 4	100	80	90	0	0	0	0	0	0	

データ取得・保存性能

データ送信ユニットに1日2回以上蓄積されたアンカー荷重計のデータ回収を、無線通信で行った。得られたデータ図 10.60～図 10.65 に示す。

その結果（表 10.95）、09年3月26日のデータ回収において、エスイー製荷重計を測定しているデータ送信ユニットにおいて、データの異常が見られた。これは東京測器研究所製のデータ送信ユニットの5台中の1台で、09年3月26日にデータ送信ユニットを交換して現場実証試験を継続し、以降はデータに異常は見られなかった。原因はケース内へ湿気が混入し、基板の絶縁が低下したためと考えられた。その他のデータおよび測定データについて問題はなかった。

表 10.95 データの取得・保存性能の結果（：良好、良、注意、×不良）

データ通信システム 製作会社		共和電業		東京測器研究所				坂田 電機
アンカー番号		C-56	C-57	C-58		C-60	C-61	C-59
荷重計製作会社		共和 電業	東横 エルメス	守谷鋼機		東京 測器 研究所	エスイー	
				荷重計	温度計		荷重計	温度計
50mの距離で無線回収ができること	設置時							
	第1回データ回収							
	第2回データ回収							
	第3回データ回収							
	撤去時							
1日2回以上の測定ができること	設置前							
	第1回データ回収							
	第2回データ回収						×	
	第3回データ回収							
	撤去後							

09.3.26 にデータ送信ユニット交換後は問題なし。

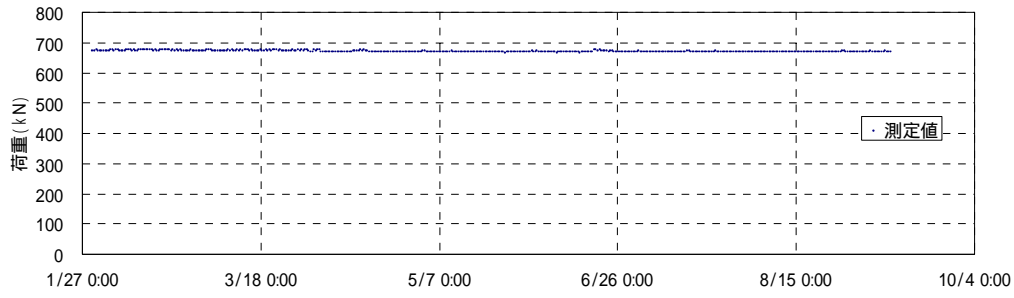


図 10.60 共和電業製荷重計 経時グラフ

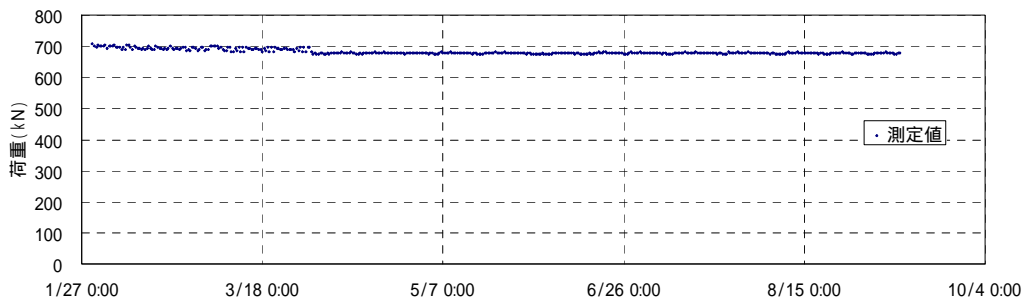


図 10.61 東横エルメス製荷重計 経時グラフ

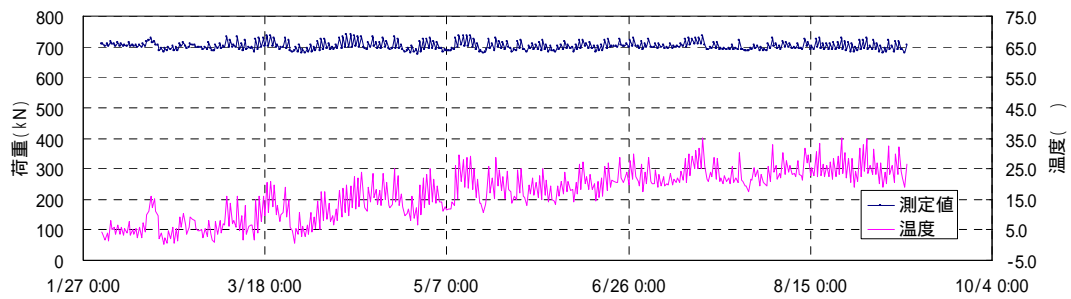


図 10.62 守谷鋼機製荷重計 経時グラフ

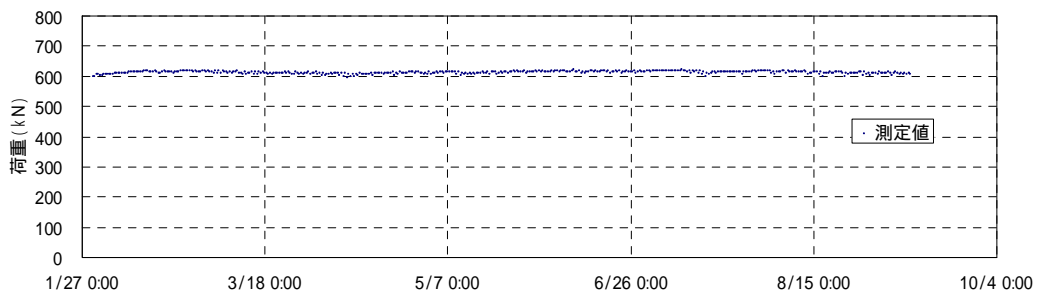


図 10.63 坂田電機製荷重計 経時グラフ

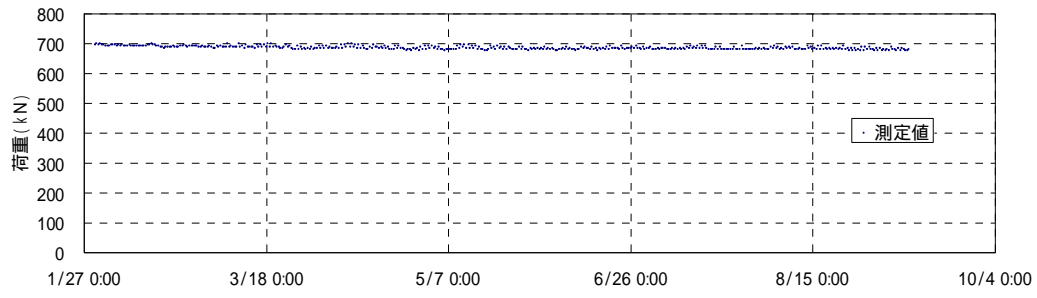


図 10.64 東京測器研究所製荷重計 経時グラフ

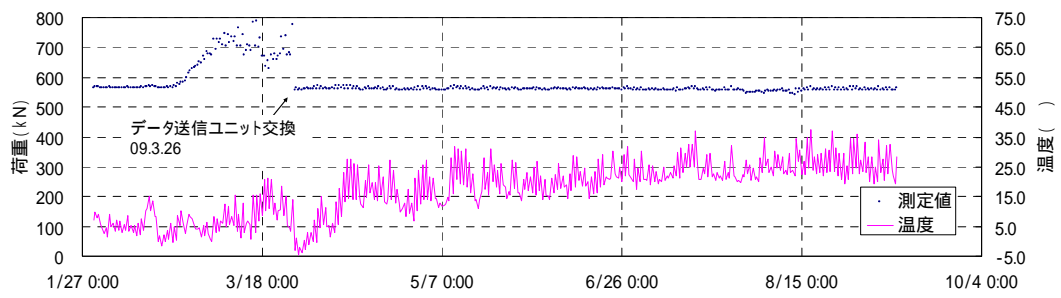


図 10.65 エスイー製荷重計 経時グラフ

電池電圧の確認

表 10.96 は、データ取得試験後に電池電圧の測定をおこなった結果である。撤去時に電池電圧の確認を行い、設置時に確認した値と比較した。仕様上の電池寿命は3年であり、本現場実証試験の測定期間の約7ヶ月で得られた結果から寿命を予想すると、各社とも仕様を満足していることが確認できた。

表 10.96 設置時電池電圧

データ送信 ユニット製作会社	共和電業		東京測器研究所					坂田 電機
	C-56	C-57	C-58		C-60	C-61		
アンカー番号	C-56	C-57	C-58		C-60	C-61		C-59
荷重計メカ	共和 電業	東横 電機	守谷鋼機		東京測器 研究所	エスイー		坂田 電機
			荷重計	温度計		荷重計	温度計	
設置時(09.1.29)	3.20V	3.19V	3.10V	3.10V	3.10V	3.10V	3.11V	3.21V
撤去時(09.9.10)	3.12V	3.10V	3.08V	3.08V	3.08V	3.04V	3.08V	2.94V

09.04.09 再設置

10.10.3 試験評価

約7ヶ月にわたる拡張開発の現場実証試験の結果、以下のことが確認できた。また、最終評価を行う拡張開発における試作品の評価は、表 10.97 に示すとおりである。

・現場適応性試験について

各社とも、外観および性能に異常は見られなかった。

・データ取得試験について

各社とも無線通信によるデータ回収に問題はなかった。取得したデータについて、エスイー製荷重計を測定していた東京測器研究所製のデータ送信ユニットの測定データ（平成21年3月26日）に異常が見られた。原因はケース内へ湿気が混入し、基板上で絶縁低下が発生したためと考えられた。今後は、除湿剤の実装などによる湿気対策を行うこととする。異常が確認されたユニットから新たなユニットに交換して実施した試験では、データおよび測定データについて問題はなかった。

・バッテリー寿命について

バッテリー寿命は、仕様上、3年ではあるが、今回の7ヶ月の試験での残量が、予想の通りの変化であることから、仕様を満たすと考えられた。

表 10.97 通信性能結果（良好、概ね良好、注意 ×不良）

試験名	確認項目	データ通信システム製作会社		
		共和電業	東京測器 研究所	坂田電機
現場適応試験	運用時の外観			
	撤去後の性能確認			
データ取得試験	通信性能			
	データ取得・保存性能			
	電池電圧			

09年3月26日にデータ送信ユニット交換後は問題なし。

10.10.4 資料

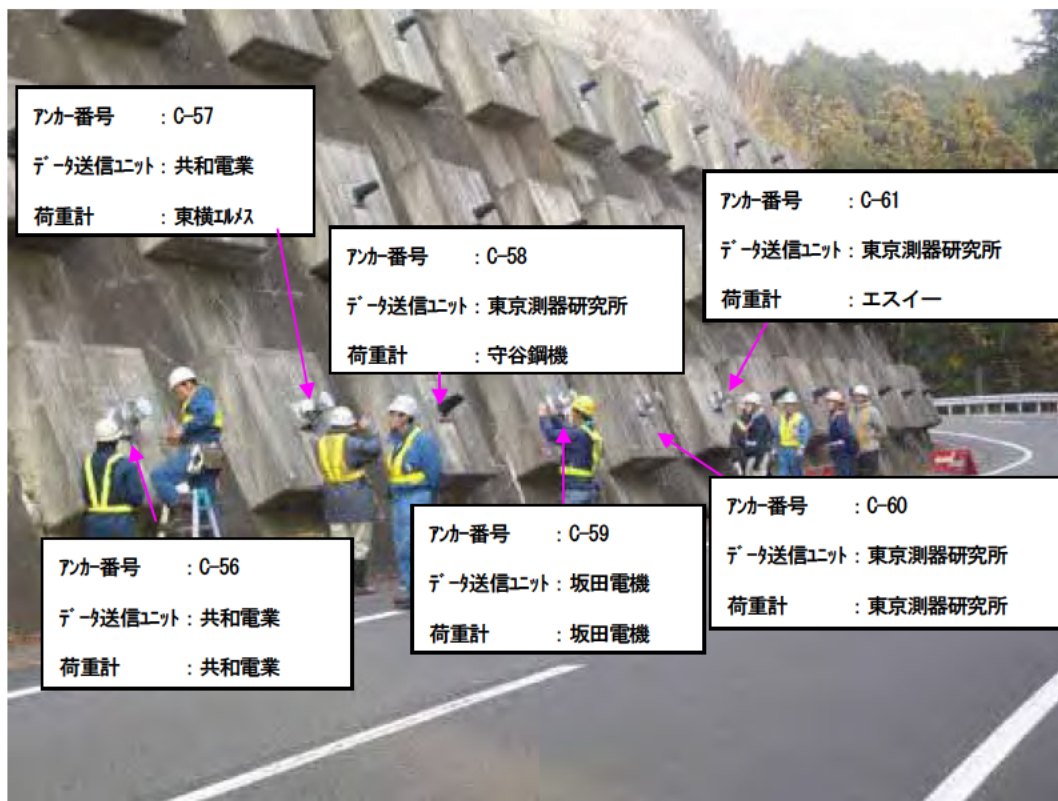


写真 10.100 通信装置の配置



(1) 通信距離 50m



(2) 通信距離 60m



(3) 通信距離 80m



(4) 通信距離 100m

写真 10.101 通信試験状況

表 10.98 データ取得試験時データ

データ通信システム 製作会社		共和電業		東京測器研究所					坂田電機
アンカー番号		C-56	C-57	C-58		C-60	C-61		C-59
荷重計メーカ		共和電業	東横エルメス	エスイー		東京測器研究所	守谷鋼機		坂田電機
				荷重計	温度計		荷重計	温度計	
通信距離[m]	測定回数	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$	R
50	1	2037	1585	2574	405	1913	2482	328	1.838
	2	2037	1585	2574	405	1913	2482	328	1.838
	3	2037	1584	2574	405	1913	2483	327	1.839
	4	2037	1585	2574	404	1912	2482	328	1.837
	5	2037	1585	2573	403	1913	2482	328	1.838
	6	2037	1584	2574	403	1912	2482	327	1.837
	7	2036	1585	2574	403	1912	2482	328	1.831
	8	2037	1585	2574	404	1912	2483	328	1.836
	9	2037	1585	2574	404	1912	2482	328	1.835
	10	2037	1585	2574	404	1912	2482	328	1.831
60	1	2036	1585	2574	410	1913	2482	328	1.826
	2	2036	1585	2574	409	1913	2482	328	1.831
	3	2037	1586	2574	405	1913	2483	327	1.828
	4	2037	1585	2574	404	1912	2482	328	1.831
	5	2037	1585	2573	403	1913	2482	328	1.828
	6	2037	1585	2574	403	1912	2482	327	1.830
	7	2037	1585	2574	403	1912	2482	328	1.827
	8	2038	1584	2574	404	1912	2483	328	1.833
	9	2037	1585	2574	404	1912	2482	328	1.823
	10	2037	1585	2574	404	1912	2482	328	1.828
80	1	2038	1585	2574	410	1913	2482	328	1.835
	2	2038	1582	2574	409	1913	2482	328	1.827
	3	2037	1585	2574	405	1913	2483	327	1.825
	4	2036	1585	2574	404	1912	2482	328	1.834
	5	2037	1585	2573	403	1913	2482	328	1.832
	6	2037	1582	2574	403	1912	2482	327	1.831
	7	2037	1585	2574	403	1912	2482	328	1.829
	8	2034	1585	2574	404	1912	2483	328	1.830
	9	2037	1585	2574	404	1912	2482	328	1.829
	10	2037	1585	2574	404	1912	2482	328	1.833
100	1	2036	1582	2574	410	1913	2482	328	1.830
	2	2037	1585	2574	409	1913	2482	328	1.843
	3	2035	1585	2574	405	1913	2483	327	1.830
	4	2037	1585	2574	404	1912	2482	328	1.832
	5	2037	1585	2573	403	1913	2482	328	1.823
	6	2037	1585	2574	403	1912	2482	327	1.831
	7	2037	1585	2574	403	1912	2482	328	1.833
	8	2036	1584	2574	404	1912	2483	328	1.827
	9	2036	1585	2574	404	1912	2482	328	1.826
	10	2036	1585	2574	404	1912	2482	328	1.827

アンカー番号：C-56 データ送信ユニット：共和電業製 荷重計：共和電業製



設置時 (09.1.31)



撤去時 (09.9.11)

アンカー番号：C-57 データ送信ユニット：共和電業製 荷重計：東横エルメス製



設置時 (09.1.31)



撤去時 (09.9.11)

アンカー番号：C-58 データ送信ユニット：東京測器研究所製 荷重計：守谷鋼機製



設置時 (09.1.31)



撤去時 (09.9.11)

図 10.66 設置時と撤去時のデータ送信ユニット外観 (1/2)

アンカー番号：C-59 データ送信ユニット：坂田電機製 荷重計：坂田電機製



設置時 (09.1.31)



撤去時 (09.9.11)

アンカー番号：C-60 データ送信ユニット：東京測器研究所製 荷重計：東京測器研究所製



設置時 (09.1.31)



撤去時 (09.9.11)

アンカー番号：C-61 データ送信ユニット：東京測器研究所製 荷重計：エスイー製



設置時 (09.1.31)



撤去時 (09.9.11)

図 10.67 設置時と撤去時のデータ送信ユニット外観 (2/2)

11．技術的検討事項

11.1 既往技術の整理（グラウンドアンカー）

11.1.1 アンカーに関する既往技術

1950年代後半に、ヨーロッパから導入されたアンカー工法は、1976年に発刊された「アースアンカー工法」(土質工学会：現地盤工学会)を機に実績が伸び始めた。しかし、この時代のアンカーは、テンドンなどの腐食に対する意識がうすく、防錆処理を施していないものが主体だった。1988年に制定された、「グラウンドアンカー設計・施工指針、同解説」(JGS:D1-88)では、永久アンカーに対しては、2重の防錆処理を施すことが明記された。この結果、アンカーの信頼性も高まり、地すべり対策工事などに採用される例が増えていった。

さらに、2000年に制定された「グラウンドアンカー設計・施工指針、同解説」(JGS4101-2000)では、アンカーされた構造物が、供用期間中にその機能を十分に果たしていることを確認し、必要な処理について検討するために、点検、観測および計測を行うと記されている。

11.1.2 アンカー工法の協会及びアンカー協会

現在の永久アンカーの協会を表 11.1 に示す。

(社)日本アンカー協会は、施工業者の技術レベルの向上、設計施工の標準化、施工管理、品質、安全の確保に官公庁や学識経験者の指導を仰ぎつつ、積極的に取り組み、その成果を防災事業に反映することにより、安全性が高く、防災性に優れた社会基盤の整備に寄与し、もって国民生活の向上に資することを目的としている。

その他の協会は、各工法の材料メーカーが中心となって、各々の工法の普及を活動目的としている。したがって、各協会の上下関係や相互関係は全く無い状態である。

表 11.1 永久アンカーの主な協会一覧表

協会名	事務局	会員数
(社)日本アンカー協会	東京都千代田区三崎町 2-9-1 弥栄ビル	245 社
VSL 協会	東京都新宿区西新宿 3-2-26 立花新宿ビル	56 社
KTB 協会	東京都新宿区西新宿 8-20-2 アイリスビル	161 社
SHS 永久アンカー協会	東京都港区芝 3-20-9	36 社
SSL アンカー協会	東京都港区虎ノ門 3-18-5	88 社
フロテックアンカー技術研究会	東京都港区元赤坂 1-3-12	106 社
KJS 協会	東京都青梅市今井 3-9-21	65 社
Super MC アンカー研究会	東京都港区虎ノ門 2-2-5 共同通信会館	13 社
NM グラウンドアンカー協会	東京都中央区日本橋室町 2-3-14 古川ビル	24 社
RSI アンカー協会	東京都千代田区九段北 4-2-35	20 社

11.1.3 国内におけるアンカー施工量および使用目的

日本にアンカーが導入された初期の施工実績に関するデータは整理されていない。しかし、1983 年から 1993 年までに、公的機関から発注され、当時の主要メーカー 5 社（VSL, KTB, SHS, SEEE、Dywdag）のデータが存在している。そのデータをもとに工事件数をまとめたものを、図 11.1 から図 11.2 に示す。1993 年までの主要 5 メーカーの使用比率は、80%以上と推測する。

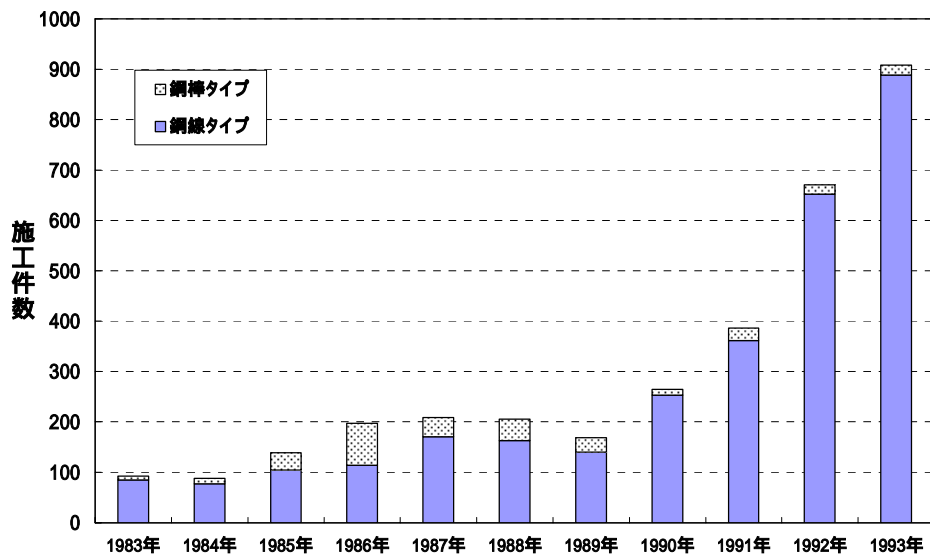


図 11.1 テンドンタイプ別施工件数

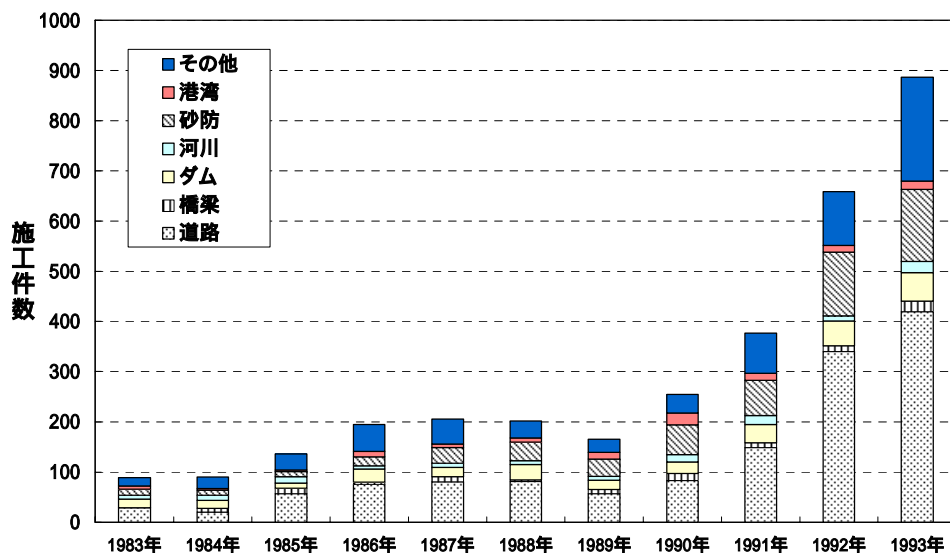


図 11.2 対象構造物別施工件数

施工実績は、1990年から急激に増加し、1993年には年間900件近い実績を有している。1990年には、地盤工学会から2重防錆を考慮に入れた「グラウンドアンカー設計・施工基準」が発刊された年でもあるので、その影響から急激に増加したものと思われる。また、PC鋼より線とPC鋼棒の施工件数を比較すると、圧倒的にPC鋼より線タイプが多いのがわかる。

図 11.2 は、対象構造物別施工件数をまとめたものである。図からわかるように、約半分程度が道路に適用され、その他、ダム、砂防、河川など幅広く適用されている。図中でその他が多いのは、山留め工事の仮設アンカーが含まれているので、このような数字になっている可能性がある。

また、近年の実績は(社)日本アンカー協会によりまとめられたものがあるので、それを図 11.3 と図 11.4 に示す。図に示すように、減少傾向だが、永久アンカーの実績は、年間 2,000～3,000 件程度で推移しており、施工延長も 1,100km～1,800km となっている。

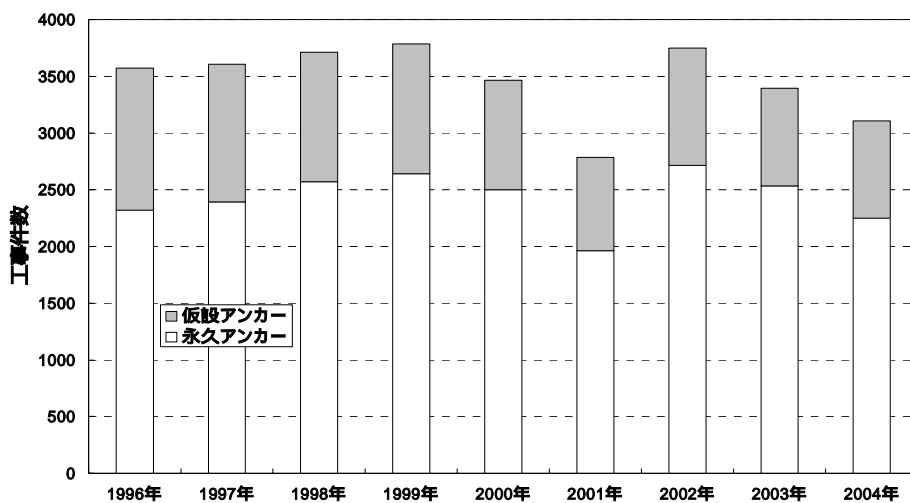


図 11.3 年別のアンカー工事件数

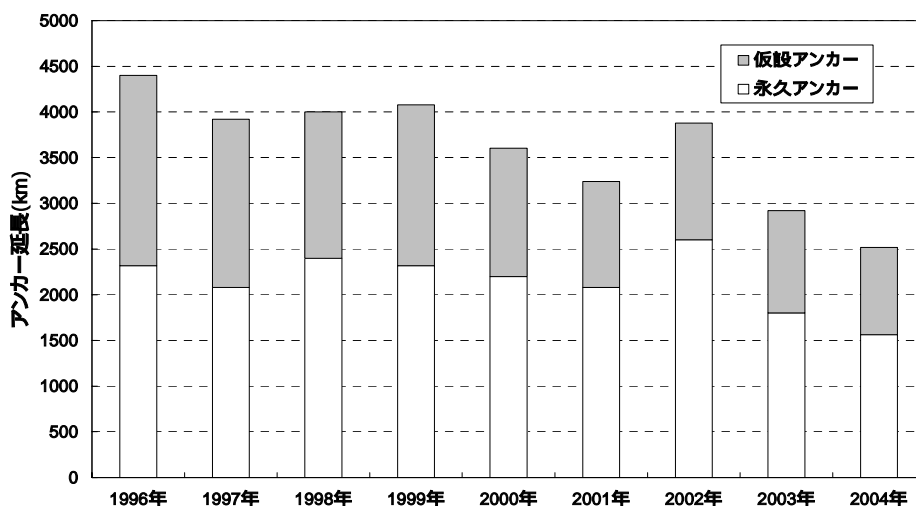


図 11.4 年別アンカー延長

これらの結果から、永久アンカーとして、30,000 件程度、アンカー延長は 20,000km 程度の施工が行われたことが推測できる。

図 11.5 に施工実績数が多い 6 つのアンカー工法について、2004 年に施工した数量（本数）を集計したものを示す。図に示すように SSEE 工法が 27,247 本と最も多く、全体の 35%を占めている。つづいて、KTB、SFL、VSL、EHD、SHS の順で、合計で 77,517 本打設されている。SSEE 工法はナット定着方式で、それ以外の工法は、すべてくさび定着方式であることから、くさび定着式のアンカーは、年間 50,000 本程度打設されていることになり、その割合は全体の 65%である。

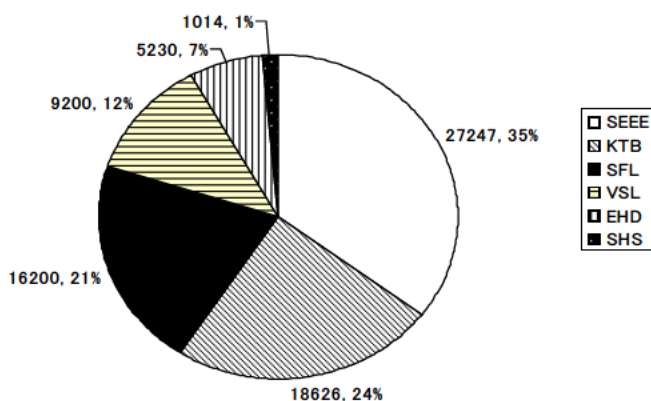


図 11.5 2004 年の工法別アンカー打設本数

図 11.6 に 2004 年に打設したアンカー本数と設計荷重の関係を示す。図 11.6 に示すように、設計荷重が 500kN 以下のアンカーが 52,264 本で全体の 72%を占めている。

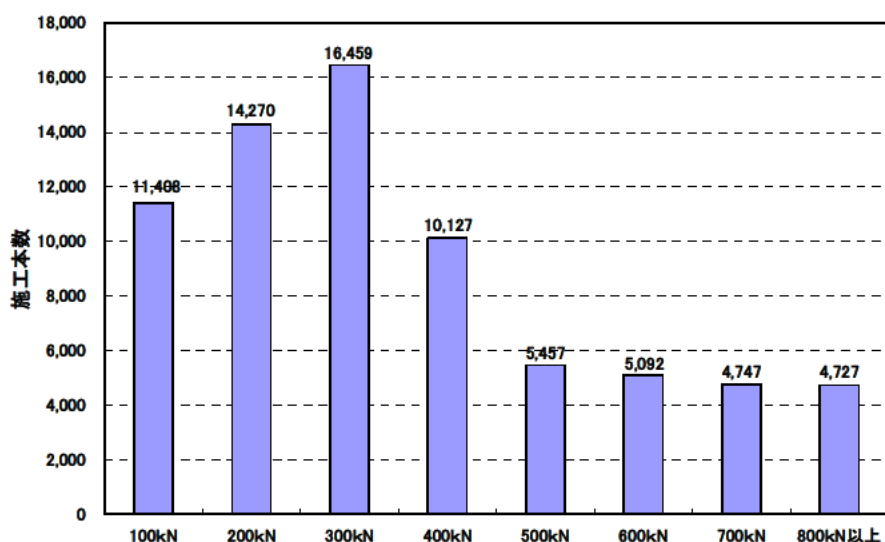


図 11.6 2004 年の設計荷重別アンカー打設本数

上記の調査結果をまとめると、以下の通りである。

- ・現在のアンカー施工現場数は、年間 2,000 ~ 3,000 件程度
- ・現在のアンカー施工延長は、1,100km ~ 1,800km 程度
- ・過去に行ったアンカー現場数を推定すると、30,000 件程度
- ・過去に行ったアンカー延長を推定すると、20,000km 程度
- ・年間に施工するくさび定着のアンカー本数は、50,000 本程度
- ・年間に施工するナット定着のアンカー本数は、27,000 本程度
- ・年間に施工する設計荷重が 500kN 以下のアンカー本数は、52,000 本程度で全体の 72%

図 11.7 に、本共同研究独自で各アンカー工法の協会にアンケート調査を行い、過去からの施工実績をまとめた結果に示す。

図からは、1980 年後半からアンカーの施工実績が増え始め、2000 年頃をピークとし、現在はやや施工数量が落ちている傾向になる。

なお、いくつかの工法の施工数量は推定値であることに留意されたい。また、古い時代ほど施工実績の把握が困難であり、グラフに計上できていないものがあることにも留意されたい。

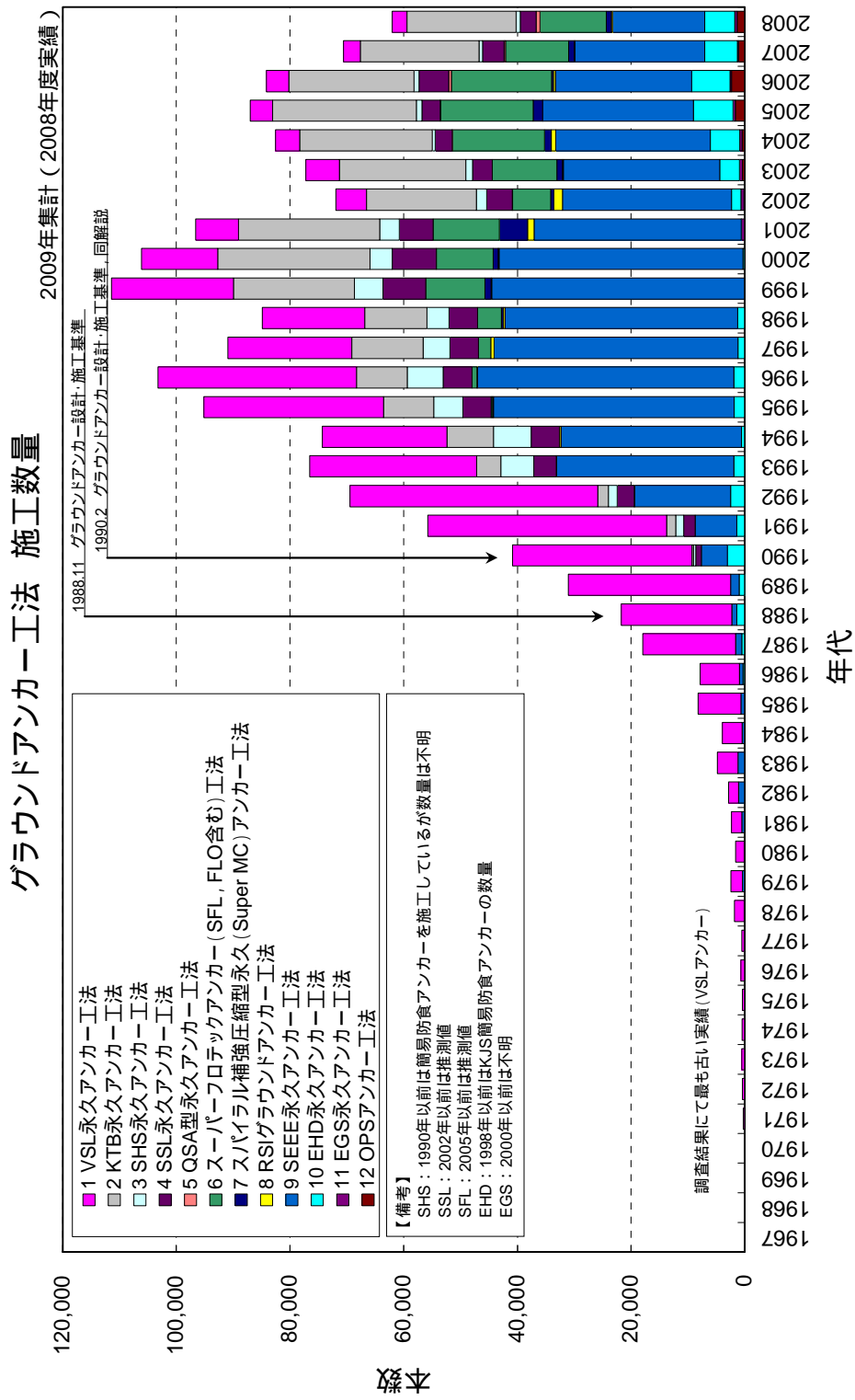


図 11.7 グラウンドアンカー工法 施工数量アンケート調査結果

11.1.4 グラウンドアンカー工法の種類と特徴

(1) グラウンドアンカー工法の種類

国内で50年近い歴史があるグラウンドアンカー工法は、目的・用途や施工条件などに応じて開発・改良が進み、現在では多くの種類が多方面で用いられている。(社)日本アンカー協会の刊行物では、土木分野の永久アンカーに限定しても20を超える工法が紹介されている。その内14のアンカー工法が、技術審査証明を取得している。

表 11.2 技術審査証明を取得しているアンカー工

工法名称		取得年月日	審査証明実施機関
VSL 永久アンカー工法		平成4年3月27日 平成9年3月26日更新	(財)砂防・地すべり技術センター
	SP型	平成14年2月18日	
EGS 永久アンカー工法		平成6年1月14日 平成11年1月14日更新	(財)土木研究センター
SSL 永久アンカー工法		平成6年1月14日 平成11年1月14日更新	(財)砂防・地すべり技術センター
	SSL-CE型	平成14年9月17日	
	拡孔支圧型	平成17年1月15日	
NM グラウンドアンカー工法		平成6年3月31日 平成11年3月31日更新 平成16年3月31日	(財)土木研究センター
CFRP グラウンドアンカー工法		平成6年3月31日	(財)土木研究センター
アラミドFRP グラウンドアンカー工法		平成6年3月31日 平成11年3月31日更新 平成16年3月31日	(財)土木研究センター
SEEE 永久アンカー工法		平成6年8月11日 平成11年8月11日更新	(財)砂防・地すべり技術センター
	A・U・M型	平成16年8月10日	
KTB 永久アンカー工法	荷重分散型	平成8年6月7日 平成16年12月23日	(財)砂防・地すべり技術センター
	SC型	平成10年6月18日 平成16年12月2日	(財)土木研究センター
	応力拘束型 Cms	平成12年12月14日 平成17年12月12日	
SHS 永久アンカー工法		平成9年4月2日 平成14年4月2日	(財)砂防・地すべり技術センター
スパイラル補強圧縮型永久(SuperMC)アンカー工法		平成10年7月8日 平成17年3月28日	(財)砂防・地すべり技術センター
スーパーフロテック(SFL)アンカー工法(旧:FLO工法)		平成12年2月29日 平成17年3月1日 平成18年4月21日 (内容変更)	(財)土木研究センター
EHD 永久アンカー工法		平成13年3月8日	(財)土木研究センター
OPS アンカー工法		平成16年2月17日 平成18年11月10日 (依頼者名変更)	(財)土木研究センター
RSI グラウンドアンカー工法		平成18年3月31日	(財)土木研究センター

(2) 各工法の特徴

構造物からの引張り力を地盤に伝達するための構造物部材と定義されるアンカーは、以下に示す機能を有した「アンカー体」、「引張り部」、「アンカー頭部」の3要素で構成されており、上記14工法も例外でない。

表 11.3 アンカーの構成要素とその機能

構成要素	機能
アンカー体	引張り部の引張り力を地盤に伝達させる機能
引張り部	アンカー頭部からの引張り力をアンカー体に伝達させる機能
アンカー頭部	アンカーを構造物に緊結する機能

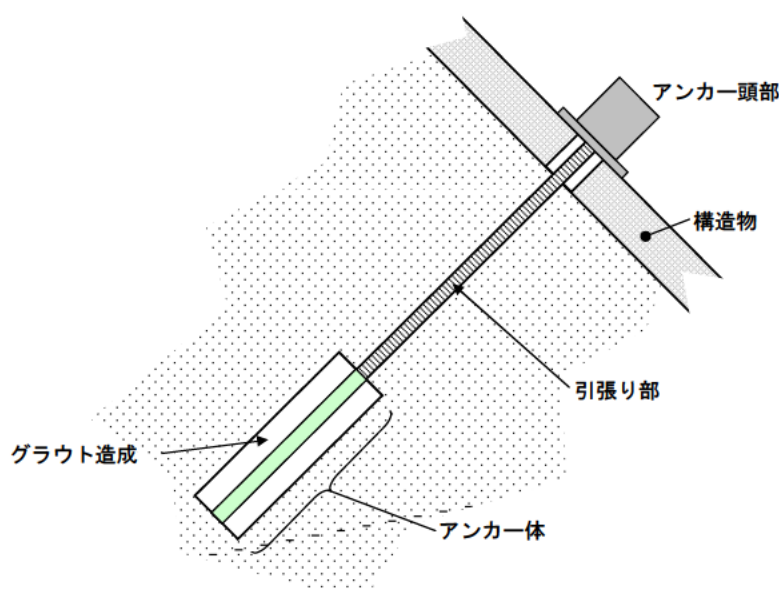


図 11.8 アンカーの構成

しかし、それぞれの工法は部材仕様、施工方法、支持機構といった各構成要素に対して、固有の特徴を有している。一般にアンカーはこれらを踏まえ、次のように分類される。

(3) 定着地盤の支持方式による分類

アンカーは、定着地盤を支持する方法により摩擦型アンカーと支圧型アンカーおよび複合型アンカーとに分類される。それぞれ、地盤に引張り力を伝達する方法が異なり、摩擦型アンカーは、アンカー体と定着地盤との間で発生する摩擦抵抗によって引張り力を地盤に伝達するのに対し、支圧型アンカーは、アンカー体に作用する支圧抵抗により引張り力を地盤に伝達する。さらに摩擦型は、アンカー体に発生する応力の作用方向によって、引張り型、圧縮型、荷重分散型に細分される。

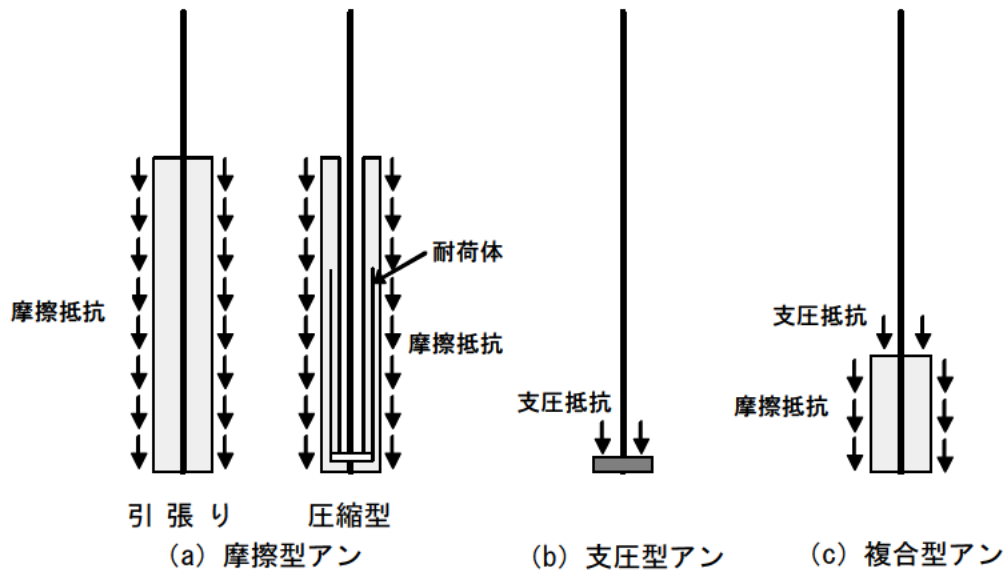


図 11.9 定着地盤への支持方式

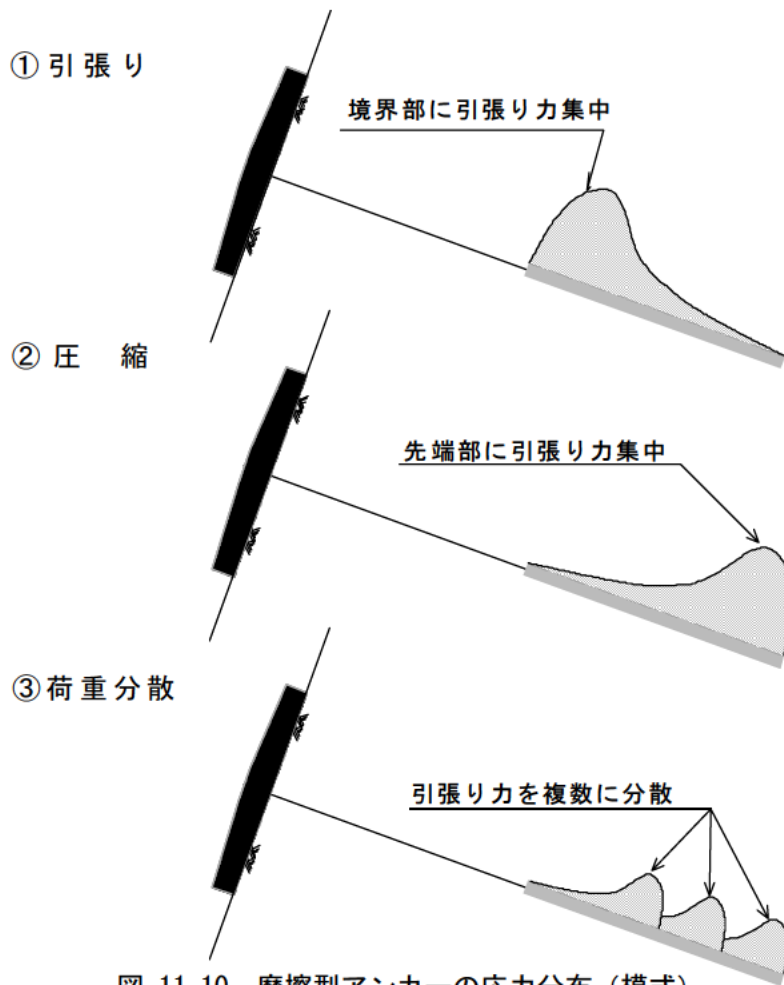


図 11.10 摩擦型アンカーの応力分布 (模式)

(4) アンカー構成材料による分類

グラウト

アンカー体を構成するグラウトには、セメント系と非セメント系がある。ほとんどの場合では、セメント系のグラウト材が用いられており、その中でもセメントペーストが大半を占めている。非セメント系には合成樹脂材があるが、高価なため温泉地など地熱の影響によりセメント系が使用できない場合に利用が限られている。

テンドン

テンドンには、PC 鋼材と新素材系の材料がある。そのうち PC 鋼材は、PC 鋼線、PC 鋼より線、多重 PC 鋼より線、PC 鋼棒、異形 PC 鋼棒がある。

(5) アンカー頭部定着方式による分類

定着方式は、テンドンの仕様などによりくさび方式、ナット方式、くさび・ナット併用方式に分類される。PC 鋼棒、異形 PC 鋼棒をテンドンとして使用する場合には、ナット方式が用いられる。PC 鋼線、PC 鋼より線、多重 PC 鋼より線をテンドンとして使用する場合には、くさび方式やくさび・ナット併用方式を用いることが多いが、テンドン端部にグリップを圧着・ネジ切り加工することでナット定着することもできる。



くさび方式



ナット方式



くさび・ナット併用方

写真 11.1 頭部定着方式

以上の分類方法で、前出 14 のアンカー工法を区分したものが、下表である。

表 11.4 技術審査証明を取得しているアンカー工法の区分

工法名称		アンカー体	引張り部	アンカー頭部
		支持方式	テンドン	定着方式
VSL 永久アンカー工法		摩擦引張り型	PC 鋼より線	くさび方式 (くさび・ナット併用)
EGS 永久アンカー工法		摩擦引張り型	異形 PC 鋼棒	ナット方式
SSL 永久アンカー工法	SSL-CE 型	摩擦圧縮型	PC 鋼より線	くさび方式
	拡孔支柱型	複合型	PC 鋼より線	くさび方式
SEEE 永久アンカー工法	A・U・M 型	摩擦圧縮型	PC 鋼より線 多重 PC 鋼より線	ナット方式
NM グラウンドアンカー工法		摩擦引張り型	新素材 (CFCC)	ナット方式
CFRP グラウンドアンカー工法		摩擦引張り型	新素材 (CFRP ロッド)	ナット方式
アラミド FRP グラウンドアンカー工法		摩擦引張り型	新素材 (アラミド FRP)	ナット方式
KTB 永久アンカー工法	荷重分散型	荷重分散型	PC 鋼より線	くさび・ナット併用
	SC 型	摩擦引張り型	PC 鋼より線	くさび・ナット併用
	応力拘束型 Cms	荷重分散型	PC 鋼より線	くさび・ナット併用
SHS 永久アンカー工法		摩擦引張り型	PC 鋼より線	くさび方式 (くさび・ナット併用)
スパイラル補強圧縮型永久 (SuperMC) アンカー工法		荷重分散型	PC 鋼より線	くさび方式 (くさび・ナット併用)
スーパーフロテック (SFL) アンカー工法		摩擦引張り型	PC 鋼より線	くさび・ナット併用
EHD 永久アンカー工法		摩擦引張り型	PC 鋼より線	くさび・ナット併用
OPS アンカー工法		摩擦引張り型	PC 鋼より線	くさび方式
RSI グラウンドアンカー工法		摩擦引張り型	多重 PC 鋼より線	ナット方式

11.1.5 アンカー頭部構造

(1) アンカー頭部構造の概要

アンカー頭部は、 tendon を固定するアンカーヘッド、くさび、ナットと呼ばれる定着部材と、定着部と台座あるいは、構造物との間に設置する支圧板で構成される（図 11.11）。

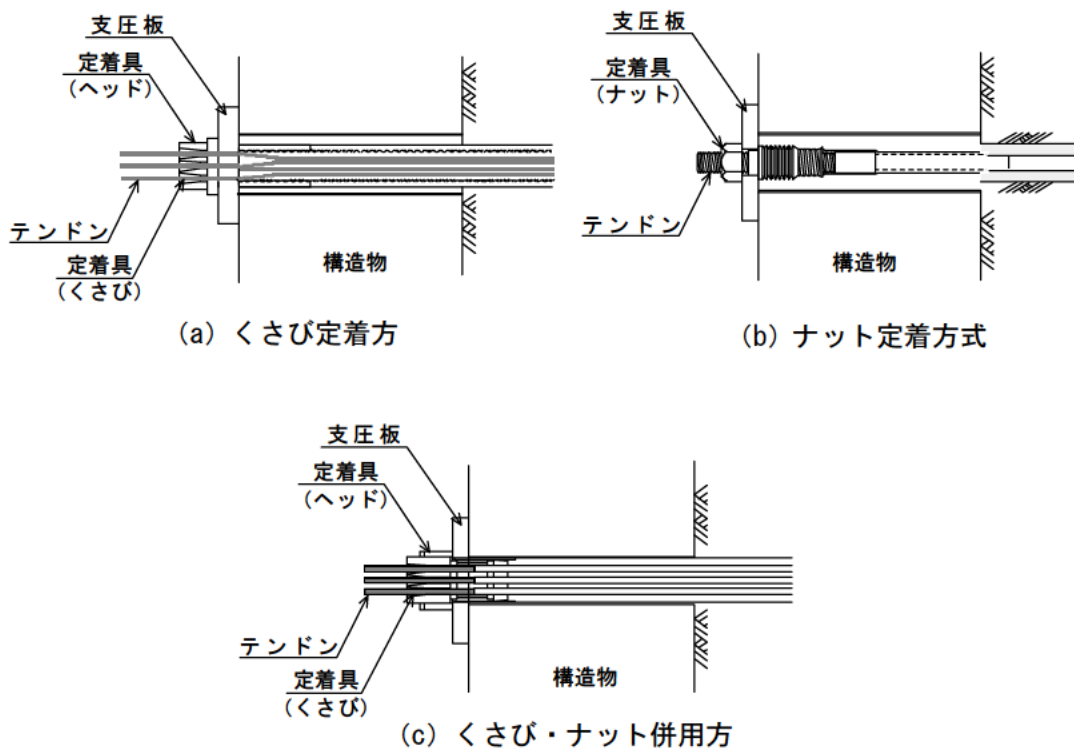


図 11.11 アンカー頭部の構成

定着具の仕様は、アンカーの引張り力から定まる tendon の仕様（種類・本数など）によって決まる。また、支圧板の仕様はアンカーの引張り力（設計アンカー力）に加え、構造物の強度により決まる。

(2) アンカー頭部構造の変遷

アンカー頭部の構造は、同一工法であっても施工時期により異なることがある。これは、メーカーの自主的な改良・改善に伴う仕様変更が主な理由であるが、それ以外にも地盤工学会が定めたアンカー基準の改訂が契機となって、変更をしている場合がある。傾向としては、アンカー導入期の初期に開発された工法に仕様変更が多く、最近開発された工法は、仕様変更していない場合が多い。頭部の仕様を変更したアンカー工法は以下の通りであり、アンカー頭部構造の主な変遷を表 11.6 に示す。

表 11.5 アンカー頭部仕様変更の有無

アンカー頭部仕様変更の有無	工法名称
仕様変更有り	VSL・EGS・SSL・SEEE・KTB・SHS・スーパーフロテック(SFL)
仕様変更なし	NM・CFRP・アラミドFRP・SuperMC・EHD・OPS・RSI

表 11.6 アンカー頭部構造の主な変遷一覧

工法名称	EGSアンカー	SEEEアンカー	KTBアンカー	VSLアンカー	SHSアンカー	SSLアンカー	スーパーフロテック(SFL)アンカー
1970		基本技術導入 (1967年)		技術導入 (1968年)			
		製造開始 (1973年)					
「アースアンカーの設計・施工基準」制定(1976年)							
1980			工法開発 協会設立 (1978年)		技術導入 (1977年)		
		支圧板変更 (1986年)		協会設立 (1981年)		工法開発 (1984年)	
				ヘッド追加 (1986年)			
				支圧板追加 (1988年)			
「グラウンドアンカー設計・施工基準」制定(1988年)							
1990	支圧板変更 (1991年)	支圧板変更 (1991年)	ヘッド追加 支圧板変更 補剛板新設 (1991年)	支圧板追加 補剛板新設 (1990年)	協会設立 (1990年)		
		ナット追加 支圧板変更 (1996年)	補剛板追加 (1997年)	ヘッド追加 支圧板変更 補剛板廃止 ジョイント プレート新設 (1997年)	ヘッド追加 支圧板変更 (1993年) 支圧板変更 (1994年)	協会設立 (1993年)	協会設立 (1995年) ディスク追加 支圧板追加 (1997年)
		支圧板変更 (1998年)				ヘッドアダ プタ変更 (1999年)	ジョイント 鋼管新設 ディスク追加 (1999年)
「グラウンドアンカー設計・施工基準」改訂(2000年)							
2000			補剛板変更 (2000年) 補剛板変更 (2002年)	ヘッド変更 支圧板変更 (2001年)			ジョイント 鋼管変更 ディスク変更 支圧板変更 (2000年)

変更を行ったアンカー工法のうち、比較的使用頻度の高いものについて変更履歴と部材仕様の荷重別のバリエーションをまとめた。取り上げるアンカー工法は、VSLアンカー、SEEE アンカー、KTB アンカー（荷重分散型、引張り型 SC アンカー）、SHS アンカーおよびスーパーフロテック（SFL）アンカーである。なお、部材仕様の分類を行う荷重は使用頻度の高い500kN程度以下のものとし、大幅に規格を変えた工法について旧型と新型の共存時期があった場合、新規格のものを取り上げる。

頭部部材を定着具と支圧板に大別し、各工法の部材の荷重別仕様変更概要を以下に示す。なお、各仕様に示す記号の意味は次の通りである。

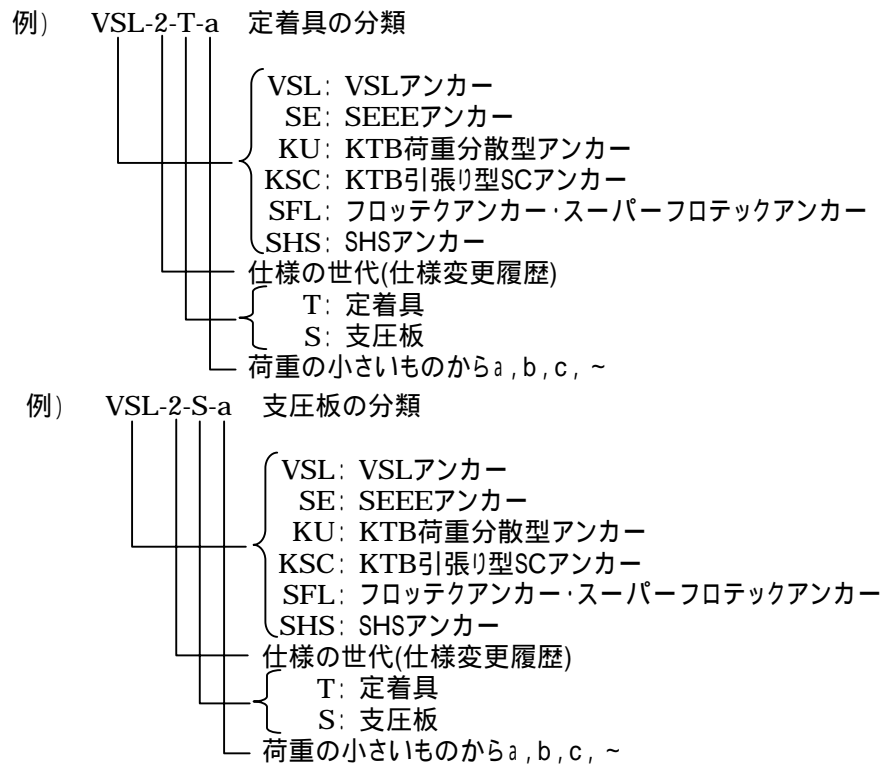


表 11.7 頭部部材変更履歴(1)

VSL アンカー工法

工法	荷重 年度	(kN)						
		0	100	200	300	400	500	600
VSL	1983年~	定着具	VSL-1-T-a	VSL-1-T-b	VSL-1-T-c			
		支圧板	VSL-1-S-a	VSL-1-S-b	VSL-1-S-c			
	1986年~	定着具	VSL-2-T-a	VSL-2-T-b	VSL-2-T-c			
		支圧板	VSL-2-S-a	VSL-2-S-b	VSL-2-S-c			
	1989年~	定着具	VSL-2-T-a	VSL-2-T-b	VSL-2-T-c			
		支圧板	VSL-3-S-a	VSL-3-S-b	VSL-3-S-c			
	1990年~	定着具	VSL-2-T-a	VSL-2-T-b	VSL-2-T-c			
		支圧板	VSL-4-S-a	VSL-4-S-b				
	1991年~	定着具	VSL-2-T-a	VSL-2-T-b	VSL-2-T-c			
		支圧板	VSL-5-S-a	VSL-5-S-b				
	1993年~	定着具	VSL-2-T-a	VSL-2-T-b	VSL-2-T-c			
		支圧板	VSL-6-S-a	VSL-6-S-b	VSL-6-S-c			
	1997年~	定着具	VSL-2-T-a	VSL-2-T-b	VSL-2-T-c			
		支圧板	VSL-7-S-a	VSL-7-S-b	VSL-7-S-c			
	2001年~	定着具	VSL-3-T-a	VSL-3-T-b	VSL-3-T-c			
		支圧板	VSL-8-S-a	VSL-8-S-b				
	2006年~	定着具	VSL-4-T-a	VSL-4-T-b	VSL-4-T-c			
		支圧板	VSL-9-S-a	VSL-9-S-b	VSL-9-S-c			

表 11.8 頭部部材変更履歴(2)

SEEE アンカー工法

工法	荷重 年度	(kN)							
		0	100	200	300	400	500	600	
SEEE	1983年～	定着具		SE-1-T-a		SE-1-T-b	SE-1-T-c		
		支圧板		SE-1-S-a		SE-1-S-b	SE-1-S-c		
	1986年～	定着具		SE-2-T-a	SE-2-T-b	SE-2-T-c	SE-2-T-d		
		支圧板		SE-2-S-a	SE-2-S-b	SE-2-S-c	SE-2-S-d		
	1991年～	定着具		SE-2-T-a	SE-2-T-b	SE-2-T-c	SE-2-T-d		
		支圧板		SE-3-S-a	SE-3-S-b	SE-3-S-c	SE-3-S-d		
	1996年～	定着具		SE-3-T-a	SE-3-T-b	SE-3-T-c	SE-3-T-d	SE-3-T-e	
		支圧板		SE-4-S-a	SE-4-S-b	SE-4-S-c	SE-4-S-d	SE-4-S-e	SE-4-S-f
	1998年～	定着具		SE-4-T-a	SE-4-T-b	SE-4-T-c	SE-4-T-d		
		支圧板		SE-5-S-a	SE-5-S-b	SE-5-S-c	SE-5-S-d	SE-5-S-e	SE-5-S-f
	1999年～	定着具		SE-4-T-a	SE-4-T-b	SE-4-T-c	SE-4-T-d		
		支圧板		SE-6-S-a	SE-6-S-b	SE-6-S-c	SE-6-S-d	SE-6-S-e	SE-6-S-f

表 11.9 頭部部材変更履歴(3)

KTB アンカー工法

工法	荷重 年度	(kN)							
		0	100	200	300	400	500	600	
KTB 荷重 分散	1991年～	定着具		KU-1-T-a	KU-1-T-b	KU-1-T-c			
		支圧板		KU-1-S-a	KU-1-S-b	KU-1-S-c			
	1992年～	定着具		KU-1-T-a	KU-1-T-b	KU-1-T-c			
		支圧板		KU-2-S-a	KU-2-S-b	KU-2-S-c			
	1994年～	定着具		KU-1-T-a	KU-1-T-b	KU-1-T-c			
		支圧板		KU-3-S-a	KU-3-S-b	KU-3-S-c			
	1997年～	定着具		KU-1-T-a	KU-1-T-b	KU-1-T-c			
		支圧板		KU-4-S-a	KU-4-S-b	KU-4-S-c	KU-3-S-c		
	2000年～	定着具		KU-2-T-a	KU-2-T-b	KU-2-T-c			
		支圧板		KU-4-S-a	KU-4-S-b	KU-4-S-c	KU-3-S-c		
	2004年～	定着具		KU-2-T-a	KU-2-T-b	KU-2-T-c			
		支圧板		KU-5-S-a	KU-5-S-b	KU-5-S-c	KU-5-S-d		
	KTB SC	2000年～	定着具		KSC-1-T-a		KSC-1-T-b		
			支圧板	KSC-1-S-a	KSC-1-S-b	KSC-1-S-c	KSC-1-S-d	KSC-1-S-e	
2002年～		定着具		KSC-1-T-a		KSC-1-T-b			
		支圧板	KSC-2-S-a	KSC-2-S-b	KSC-2-S-c	KSC-2-S-d	KSC-2-S-e		

表 11.10 頭部部材変更履歴 (4)

SHS アンカー工法

工法	荷重		(kN)						
	年度		0	100	200	300	400	500	600
SHS	1987年~	定着具			SHS-1-T-a			SHS-1-T-b	
		支圧板		SHS-1-S-a			SHS-1-S-b	SHS-1-S-c	
	1993年~	定着具			SHS-2-T-a			SHS-2-T-b	
		支圧板			SHS-2-S-a			SHS-2-S-b	
	1994年~	定着具			SHS-2-T-a			SHS-2-T-b	
		支圧板			SHS-3-S-a		SHS-3-S-b	SHS-3-S-c	

表 11.11 頭部部材変更履歴 (5)

SFL アンカー工法

工法	荷重		(kN)						
	年度		0	100	200	300	400	500	600
SFL	1995年~	定着具		SFL-1-T-a		SFL-1-T-b		SFL-1-T-c	
		支圧板		SFL-1-S-a		SFL-1-S-b		SFL-1-S-c	
	1997年~	定着具		SFL-2-T-a		SFL-2-T-b		SFL-2-T-c	SFL-2-T-d
		支圧板		SFL-2-S-a		SFL-2-S-b		SFL-2-S-c	SFL-2-S-d
	1999年~	定着具		SFL-3-T-a		SFL-3-T-b		SFL-3-T-c	SFL-3-T-d
		支圧板		SFL-3-S-a		SFL-3-S-b		SFL-3-S-c	SFL-3-S-d
	2000年~	定着具		SFL-4-T-a		SFL-4-T-b		SFL-4-T-c	SFL-4-T-d
		支圧板		SFL-4-S-a		SFL-4-S-b		SFL-4-S-c	SFL-4-S-d
	2006年~	定着具		SFL-4-T-a		SFL-4-T-b		SFL-4-T-c	SFL-4-T-d
		支圧板		SFL-5-S-a		SFL-5-S-b		SFL-5-S-c	SFL-5-S-d

次に、上表の通り分類した各工法の定着具および支圧板の詳細を以下に示す。

表 11.12 頭部部材寸法表 (1)

VSL アンカー工法定着具

部材区分	種別	部材名称	区分	荷重による区分 (mm)					模式図
				a	b	c			
定着具	VSL-1-T	くさび定着式 アンカーヘッド	A	42	80	110			<p>くさび定着式 アンカーヘッド</p> <p>くさびナット併用式 アンカーヘッド</p>
	VSL-2-T	くさび定着式 アンカーヘッド	A	80	85	110			
	VSL-3-T	くさび定着式 アンカーヘッド	A	90	95	114			
	VSL-4-T	くさび定着式 アンカーヘッド	A	90	95	114			
VSL-4-T	くさびナット併用式 アンカーヘッド	A	85	90	114				
		B	108	118	140				

表 11.13 頭部部材寸法表 (2)

VSL アンカー工法支圧板 (1)

部材区分	種別	部材名称	区分	荷重による区分 (mm)					模式図
				a	b	c			
支圧板	VSL-1-S	支圧板	A	80	130	190			<p>支圧板</p>
			B	15	51	74			
	VSL-2-S	支圧板	A	120	140	180			
			B	50	55	74			
VSL-3-S	支圧板	A	190	190	180				
		B	50	55	74				

表 11.14 頭部部材寸法表 (3)

VSL アンカー工法支圧板 (2)

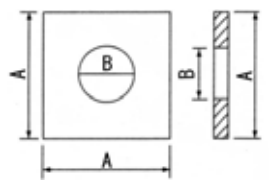
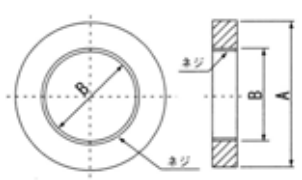
部材区分	種別	部材名称	区分	荷重による区分 (mm)				模式図
				a	b			
支 圧 板	VSL-4-S	くさび定着式 支圧板	A	230	250			 <p>支圧板・補剛板</p>
			B	55	74			
		くさびナット併用式 支圧板	A	280	280			
			B	74	74			
		補剛板	A	280	300			
			B	85	94			
	VSL-5-S	くさび定着式 支圧板	A	250	250			
			B	74	74			
		くさびナット併用式 支圧板	A	280	280			
			B	74	74			
		補剛板	A	280	300			
			B	85	94			
	VSL-6-S	くさび定着式 支圧板	A	230	230	250		 <p>ジョイントプレート</p>
			B	50	55	74		
		くさびナット併用式 支圧板	A	250	250	280		
			B	50	55	74		
		補剛板	A	280	280	300		
			B	85	85	94		
	VSL-7-S	支圧板	A	240	250	275		
			B	89	89	103		
		くさび定着式 ジョイントプレート	A	110	110	134		
B			64	64	84			
くさびナット併用式 ジョイントプレート		A	130	130	155			
		B	64	64	84			

表 11.15 頭部部材寸法表 (4)

VSL アンカー工法支圧板 (3)

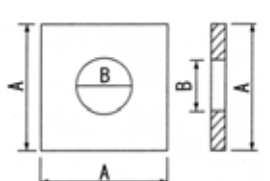
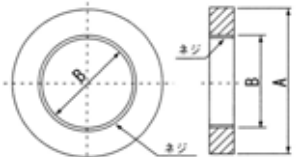
部材区分	種別	部材名称	区分	荷重による区分 (mm)				模式図	
				a	b				
支圧板	VSL-8-S	支圧板		a	b			 <p>支圧板・補剛板</p>	
			A	240	290				
			B	89	103				
		くさび定着式 ジョイントプレート		a	b				
			A	110	134				
			B	64	84				
	くさびナット併用式 ジョイントプレート		a	b					
		A	130	155					
		B	64	84					
	VSL-9-S	くさび定着式 支圧板		a	b	c			 <p>ジョイントプレート</p>
			A	220	240	260			
		B	89	89	103				
		くさびナット併用式 支圧板		a	b	c			
			A	240	240	275			
		B	89	89	103				
		くさび定着式 ジョイントプレート		a	b	c			
A			110	110	134				
B		64	64	84					
くさびナット併用式 ジョイントプレート			a	b	c				
	A	130	130	155					
B	64	64	84						

表 11.16 頭部部材寸法表 (5)

SEEE アンカー工法定着具

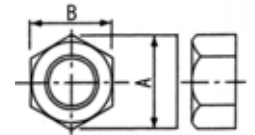
部材区分	種別	部材名称	区分	荷重による区分 (mm)					模式図
				a	b	c	d	e	
定着具	SE-1-T	ナット		a	b	c			 <p>ナット</p>
			A	73	86.5	94			
			B	63	75	82			
	SE-2-T	ナット		a	b	c	d		
			A	73	86.5	94	107		
			B	63	75	82	93		
	SE-3-T	ナット		a	b	c	d	e	
			A	63.5	73	86.5	94	107	
			B	55	63	75	82	93	
	SE-4-T	ナット		a	b	c	d		
			A	63.5	73	86.5	94		
			B	55	63	75	82		

表 11.17 頭部部材寸法表 (6)

SEEE アンカー工法支圧板

部材区分	種別	部材名称	区分	荷重による区分 (mm)						模式図
				a	b	c				
支 圧 板	SE-1-S	アンカープレート		a	b	c				 <p>アンカープレート</p>
			A	130	150	180				
			B	51	58	65				
	SE-2-S	アンカープレート		a	b	c	d			
			A	130	130	150	180			
			B	50	58	65	71			
	SE-3-S	アンカープレート		a	b	c	d			
			A	210	240	260	280			
			B	51	58	65	71			
	SE-4-S	アンカープレート		a	b	c	d	e	f	
			A	200	220	240	250	260	280	
			B	46	52	58	60	65	71	
	SE-5-S	アンカープレート		a	b	c	d	e	f	
			A	200	220	240	250	260	280	
			B	46	50	52	58	58	65	
	SE-6-S	アンカープレート		a	b	c	d	e	f	
			A	200	220	240	250	260	280	
			B	46	52	52	58	58	65	

表 11.18 頭部部材寸法表 (7)

KTB 荷重分散型アンカー工法定着具

部材区分	種別	部材名称	区分	荷重による区分 (mm)			模式図
				a	b	c	
定 着 具	KU-1-T	くさびナット併用式 アンカーヘッド (Sタイプ)	A	70	90	95	 <p>くさびナット併用式 アンカーヘッド</p>
			B	89	114	120	
		くさびナット併用式 アンカーヘッド (L・LLタイプ)	A	81	96	106	
			B	101	120	130	
	KU-2-T	くさびナット併用式 アンカーヘッド (L・LLタイプ)	A	81	96	106	
			B	101	120	130	

表 11.19 頭部部材寸法表(8)
KTB 荷重分散型アンカー工法支圧板

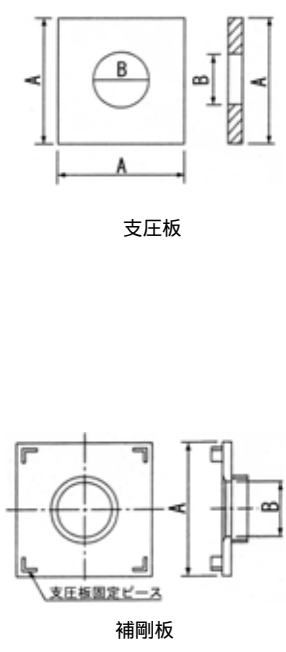
部材区分	種別	部材名称	区分	荷重による区分 (mm)				模式図	
				a	b	c			
支 圧 板	KU-1-S	支圧板		a	b	c		 <p>支圧板</p> <p>補剛板</p>	
			A	150	190	240			
			B	77	90	102			
		KU-2-S	支圧板		a	b	c		
				A	150	190	240		
				B	50	65	74		
	KU-3-S		支圧板		a	b	c		
				A	200	220	250		
				B	50	65	74		
		KU-4-S	支圧板		a	b	c		
				A	200	200	230		
				B	50	65	74		
	KU-5-S		支圧板		a	b	c		d
				A	200	200	220		240
				B	50	65	74		74
		KU-1-S	補剛板		a	b	c		
				A	180	250	300		
				B	102	115	140		
	KU-2-S		補剛板		a	b	c		
				A	180	250	300		
				B	102	115	140		
		KU-3-S	補剛板		a	b	c		
				A	200	260	300		
				B	103	89.1	101.6		
KU-4-S	補剛板			a	b	c			
			A	200	240	280			
			B	76.3	89.1	101.6			
	KU-5-S	補剛板		a	b	c	d		
			A	200	230	260	270		
			B	103	103	103	103		

表 11.20 頭部部材寸法表 (9)
KTB 引張り型 SC アンカー工法定着具

部材区分	種別	部材名称	区分	荷重による区分 (mm)					模式図
				a	b				
定着具	KSC-1-T	くさびナット併用式 アンカーヘッド (L・LLタイプ)	A	81	96				 くさびナット併用式 アンカーヘッド
			B	101	120				

表 11.21 頭部部材寸法表 (10)
KTB 引張り型 SC アンカー工法支圧板

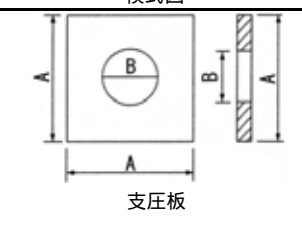
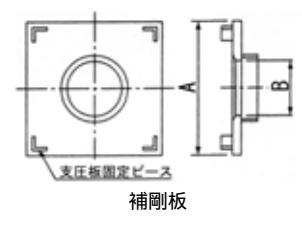
部材区分	種別	部材名称	区分	荷重による区分 (mm)					模式図
				a	b	c	d	e	
支圧板	KSC-1-S	支圧板	A	200	200	220	220	250	 支圧板
			B	50	50	65	65	74	
		補剛板	A	210	220	250	280	300	
			B	76.3	76.3	89.1	89.1	101.6	
	KSC-2-S	支圧板	A	200	200	200	220	220	 支圧板 補剛板
			B	50	50	50	65	65	
		補剛板	A	200	210	240	260	280	
			B	103	103	103	103	103	

表 11.22 頭部部材寸法表 (11)
SHS アンカー工法定着具

部材区分	種別	部材名称	区分	荷重による区分 (mm)					模式図
				a	b				
定着具	SHS-1-T	くさび定着式 アンカーヘッド	A	80	110				 くさび定着式 アンカーヘッド くさびナット併用式 アンカーヘッド
	SHS-2-T	くさび定着式 アンカーヘッド	A	80	110				
		くさびナット併用式 アンカーヘッド	A	88	108				
			B	108.2	140.7				
C	100	130							

表 11.23 頭部部材寸法表 (12)

SHS アンカー工法支圧板

部材区分	種別	部材名称	区分	荷重による区分 (mm)				模式図	
				a	b	c			
支 圧 板	SHS-1-S	アンカープレート	A	140	160	180			<p>アンカープレート</p> <p>トランベットシース付 アンカープレート</p>
			B	50	55	73			
	SHS-2-S	トランベットシース付 アンカープレート		a	b				
			A	250	250				
		B	60	73					
	SHS-3-S	トランベットシース付 アンカープレート		a	b	c			
A			250	250	250				
	B	53	60	73					

表 11.24 頭部部材寸法表 (13)

SFL アンカー工法定着具

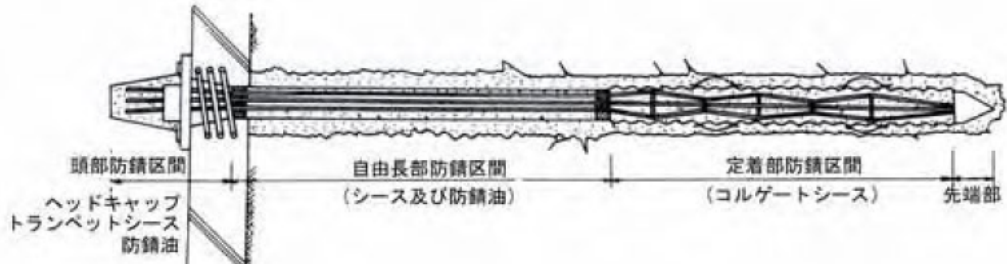
部材区分	種別	部材名称	区分	荷重による区分 (mm)				模式図	
				a	b	c			
定 着 具	SFL-1-T	くさびナット併用式 アンカーディスク	A	55	95	115			<p>くさびナット併用式 アンカーディスク</p>
			B	70	120	143			
	SFL-2-T	くさびナット併用式 アンカーディスク		a	b	c	d		
			A	55	85	95	115		
		B	70	102	120	143			
	SFL-3-T	くさびナット併用式 アンカーディスク		a	b	c	d		
			A	55	95	110	120		
		B	66	108	126	140			
	SFL-4-T	くさびナット併用式 アンカーディスク		a	b	c	d		
			A	65	100	120	130		
		B	75	113	136	149			

表 11.25 頭部部材寸法表 (14)

SFL アンカー工法支圧板

部材区分	種別	部材名称	区分	荷重による区分 (mm)				模式図	
				a	b	c			
支 圧 板	SFL-1-S	アンカープレート		a	b	c		<p>アンカープレート</p> <p>円形プレート</p> <p>ジョイント鋼管</p> <p>円形プレート</p> <p>ジョイント鋼管</p>	
			A	180	260	300			
			B	53	95	95			
		SFL-2-S	円形プレート		a	b	c		
				A	85	135	160		
				B	24	70	80		
	SFL-3-S		アンカープレート		a	b	c		d
				A	180	220	260		300
				B	53	79	95		95
		SFL-4-S	ジョイント鋼管		a	b	c		d
				A	80	112	143		153
				B	42.7	76.3	76.3		89.1
	SFL-5-S		アンカープレート		a	b	c		d
				A	180	230	280		300
				B	56	90	90		103
		SFL-5-S	ジョイント鋼管		a	b	c		d
				A	80	118	141		154
				B	42	76	76		86

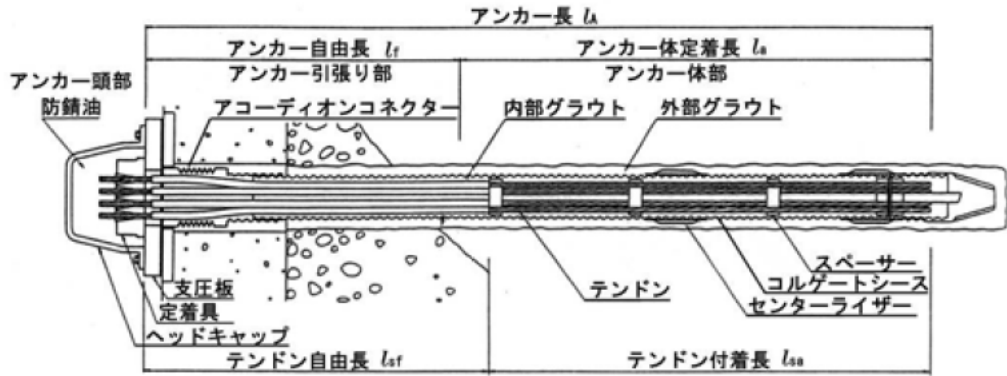
一例として、VSL 永久アンカー工法の頭部構造変遷を以下に示す。
 ~1990年



~1997年

変更点

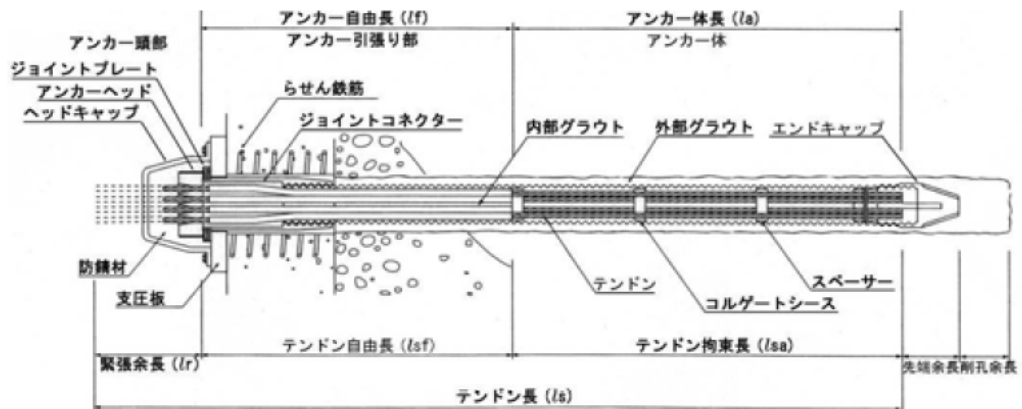
- ・二重防食機能を付加 (全長にコルゲートシースを取付ける)
- ・頭部背面処理機能を付加 (アコーディオンコネクタ及び補剛板の新設)
- ・支圧板の防錆化



1997年~

変更点

- ・頭部背面処理の変更 (アコーディオンコネクタ及び補剛板の廃止、これに伴う支圧板の防錆方法及び寸法変更ジョイントプレートの新設)
- ・アンカーヘッド寸法変更 (2001年)

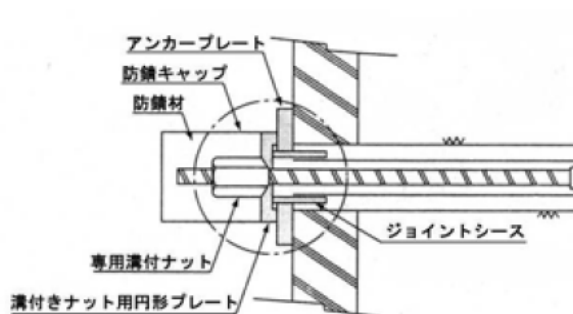


(VSL アンカー協会 設計・施工指針 (案) より抜粋)

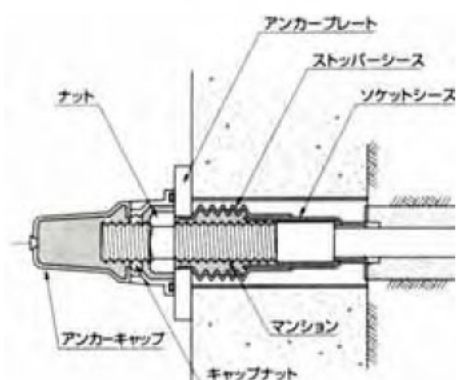
図 11.12 頭部構造の変遷 (VSL 永久アンカーの例)

(3) 既往アンカー頭部の種類

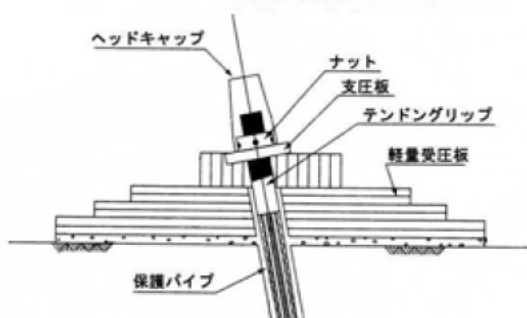
アンカー頭部は、定着部材の構成の観点から見ると、ナット方式と非ナット方式とに大別することができる。各構成部材の詳細は、工法によって部材点数や名称が異なっている。また、構成部材の規格は引張り力（緊張力）に基づくため、各工法とも経済性を考慮して、規格を細かく設定している。そのため、前述の通り一工法でも部材の総点数は非常に多くなっている。以下に各工法の最新規格の頭部構造詳細図を示す。



工法名：EGS 永久アンカー工法	
分 類：ナット方式	
構 成	構成部材
定着具	・溝付きナット
支圧板	・アンカープレート ・溝付きナット用円形プレート

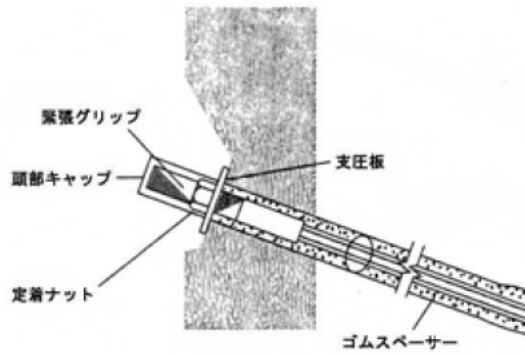


工法名：SEEE 永久アンカー工法	
分 類：ナット方式	
構 成	構成部材
定着具	・ナット
支圧板	・アンカープレート

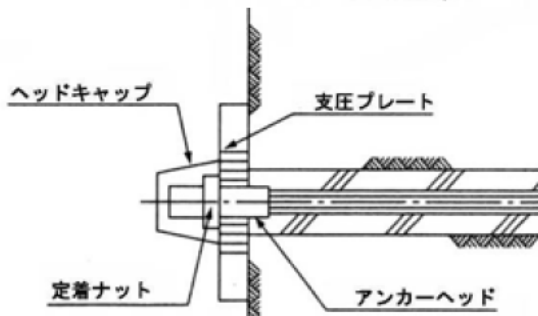


工法名：NM グラウンドアンカー工法	
分 類：ナット方式	
構 成	構成部材
定着具	・ナット
支圧板	・支圧板

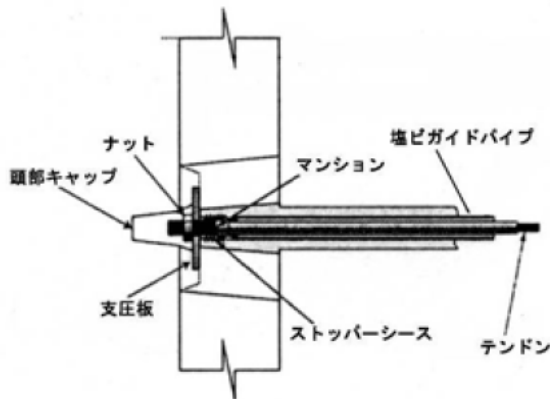
図 11.13 アンカー頭部構造 (1)



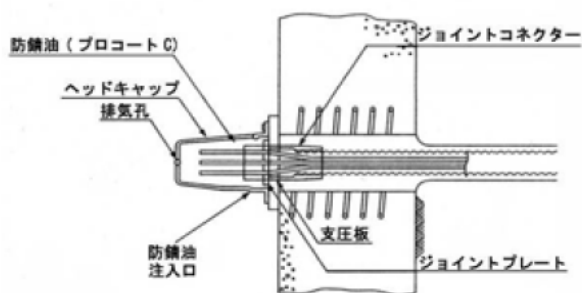
工法名：CFRP グラウンドアンカー工法	
分類：ナット方式	
構成	構成部材
定着具	・定着ナット
支圧板	・支圧プレート



工法名：アラミド FRP グラウンドアンカー工法	
分類：ナット方式	
構成	構成部材
定着具	・定着ナット
支圧板	・支圧板

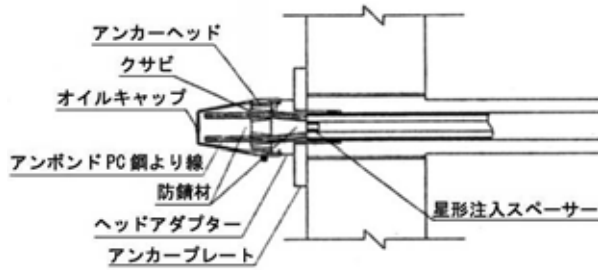


工法名：RSI アンカー工法	
分類：ナット方式	
構成	構成部材
定着具	・ナット
支圧板	・支圧板

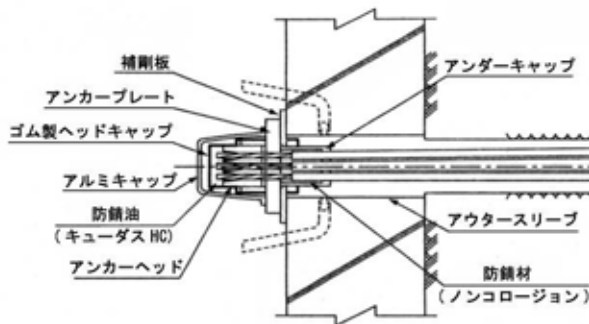


工法名：VSL 永久アンカー工法	
分類：くさび(くさび・ナット併用)方式	
構成	構成部材
定着具	・アンカーヘッド ・くさび
支圧板	・支圧板 ・ジョイントプレート

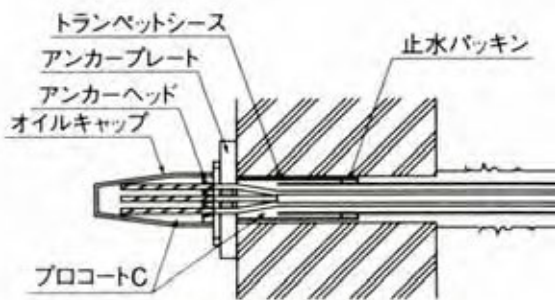
図 11.14 アンカー頭部構造 (2)



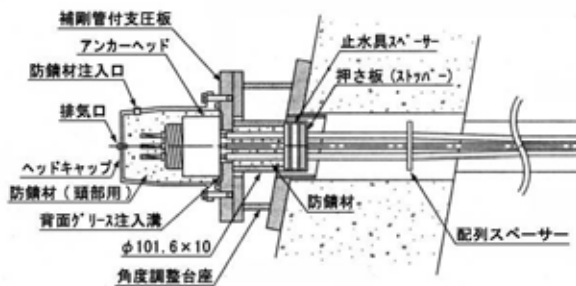
工法名：SSL 永久アンカー工法	
分類：くさび方式	
構成	構成部材
定着具	・アンカーヘッド ・くさび
支圧板	・アンカープレート



工法名：KTB 永久アンカー工法	
分類：くさび・ナット併用方式	
構成	構成部材
定着具	・アンカーヘッド ・くさび
支圧板	・アンカープレート ・補剛板

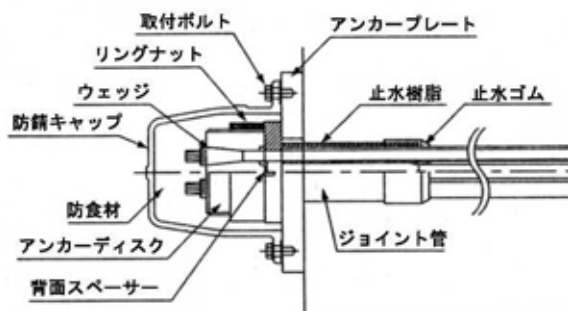


工法名：SHS 永久アンカー工法	
分類：くさび方式	
構成	構成部材
定着具	・アンカーヘッド ・くさび
支圧板	・アンカープレート

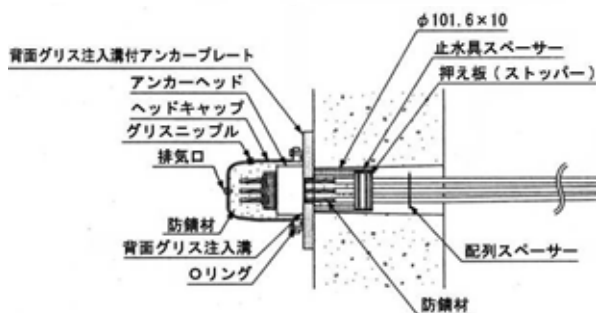


工法名：スパイラル補強圧縮型永久アンカー工法	
分類：(くさび・ナット併用)方式	
構成	構成部材
定着具	・アンカーヘッド ・くさび
支圧板	・補剛管付支圧板

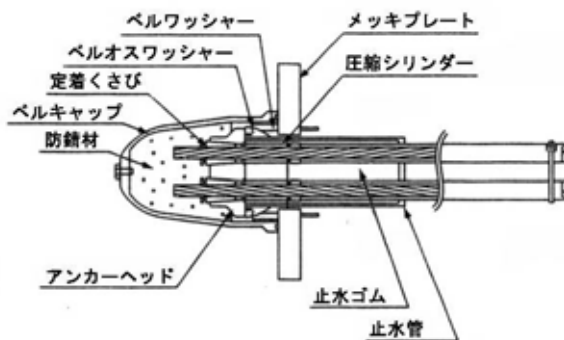
図 11.15 アンカー頭部構造 (3)



工法名：スーパーフロテック（SFL）工法	
分類：くさび・ナット併用方式	
構成	構成部材
定着具	・アンカーディスク ・リングナット ・ウェッジ
支圧板	・アンカープレート ・背面スペーサー



工法名：EHD 永久アンカー工法	
分類：くさび・ナット併用方式	
構成	構成部材
定着具	・アンカーヘッド ・くさび
支圧板	・背面グリス注入溝付アンカープレート



工法名：OPS アンカー工法	
分類：くさび方式	
構成	構成部材
定着具	・アンカーヘッド ・定着くさび
支圧板	・ベルオスワッシャー ・ベルワッシャー ・メッキプレート

図 11.16 アンカー頭部構造（4）

(4) 荷重計の設置位置および設置方法

アンカー供用中の残存引張り力を測定する方法には、リフトオフ試験による方法と、荷重計を設置する方法がある。連続的なデータが必要な場合には、荷重計を設置することが、費用の面からも優位である。荷重計は、一般に下図に示す位置に設置する。荷重計設置は、緊張・定着前のアンカーの支圧板・定着具を取付け時に併せて行われる。そのため、アンカー供用中に荷重計を設置する必要が生じた場合には、緊張力を解放した後に設置する必要がある。緊張力解放には、テンドンを引っ張る十分な余長が必要となるため、荷重計の設置が難しい場合がある。また、緊張力解放後のテンドン引込み量が大きい場合は、緊張に必要な余長が足りず、荷重計の設置ができない場合もある。ナット定着方式のアンカーは、比較的余長が短くても緊張力の解放が容易であるが、くさび定着やくさび・ナット方式は必要余長が長いため、荷重計設置が難しい場合が多い。

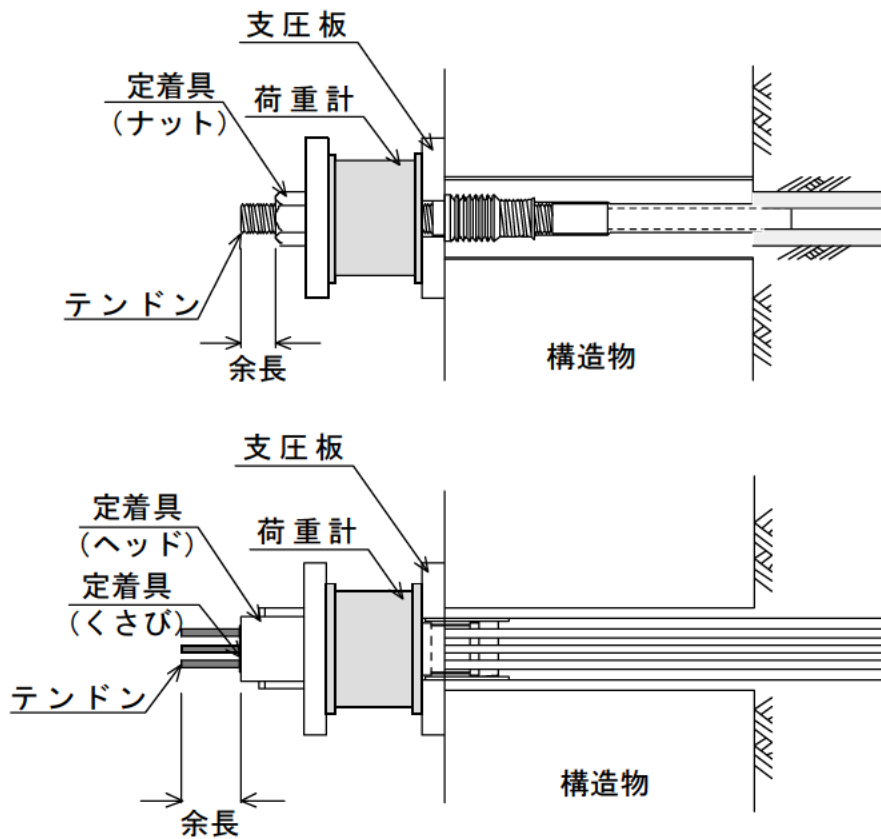


図 11.17 荷重計設置位置

11.1.6 アンカーリフトオフに関する既往技術

リフトオフ試験は、残存引張り力を求めるために、定着具やテンドン余長にジャッキを設置して載荷することで、定着具が支圧板から離れ始めたときの荷重を測定し、アンカー残存引張り力を求める試験である。図 2.1 に示す変曲点が、定着具と支圧板が離れ始めた点であるので、この例の場合には、残存引張り力は、700kN としている。リフトオフ試験の載荷方法は図 11.18 に示すように、定着方式や定着具の形状や再緊張余長により異なる。

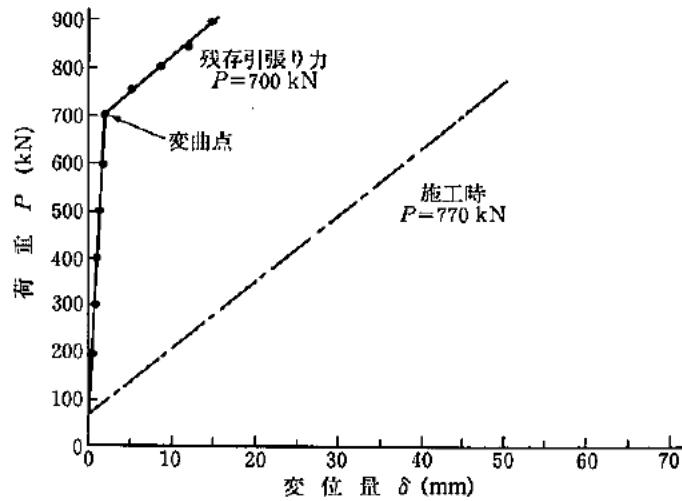
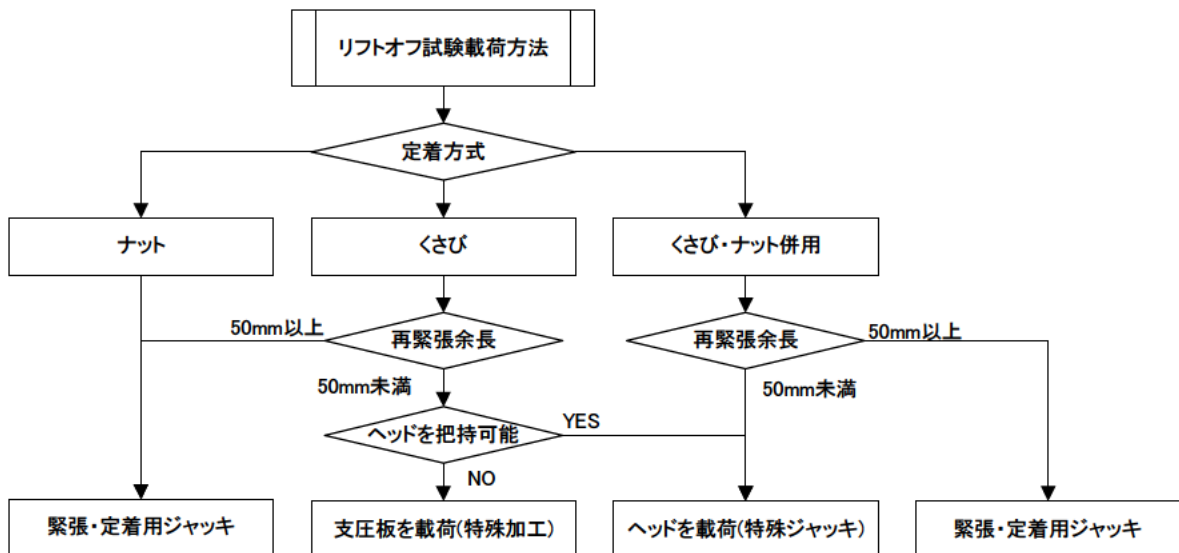


図 11.18 リフトオフ荷重の測定例



※くさびとくさびナット併用では異なる特殊ジャッキを使用する。

図 11.19 リフトオフ試験の載荷方法

(1) くさび定着の荷重方法

PC 鋼より線の定着具は支圧板、くさびおよびアンカーヘッドで構成される。くさび定着でリフトオフ試験を実施するための荷重方法は、PC 鋼より線の再緊張余長が 50mm 以上か未満かによって異なる。また、特殊な工法(フレシネーや BBRV)で定着された場合は、支圧板を荷重する方法で行う。

以下に各パターンでの荷重方法を記す。

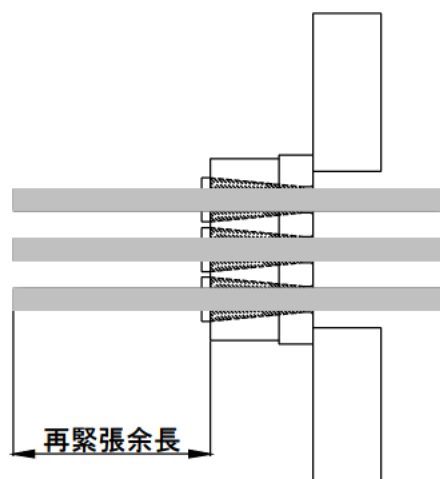


図 11.20 再緊張余長

(2) 緊張・定着ジャッキでの方法

アンカーヘッドから緊張材の再緊張余長が 50mm 以上の場合はプーリングヘッドを介して緊張材にくさびを掛け、リフトオフすることが出来る。使用される再緊張用機材は図 11.21 で示すように各部品を現場で組立てる。それぞれのパーツに分かれており、最大重量は緊張ジャッキとなっている(表 11.26)。電動油圧ポンプを用いる場合には、発電機が必要となる。人力作業の許容範囲と見なされ、最も広く使用されているリフトオフの方法である。

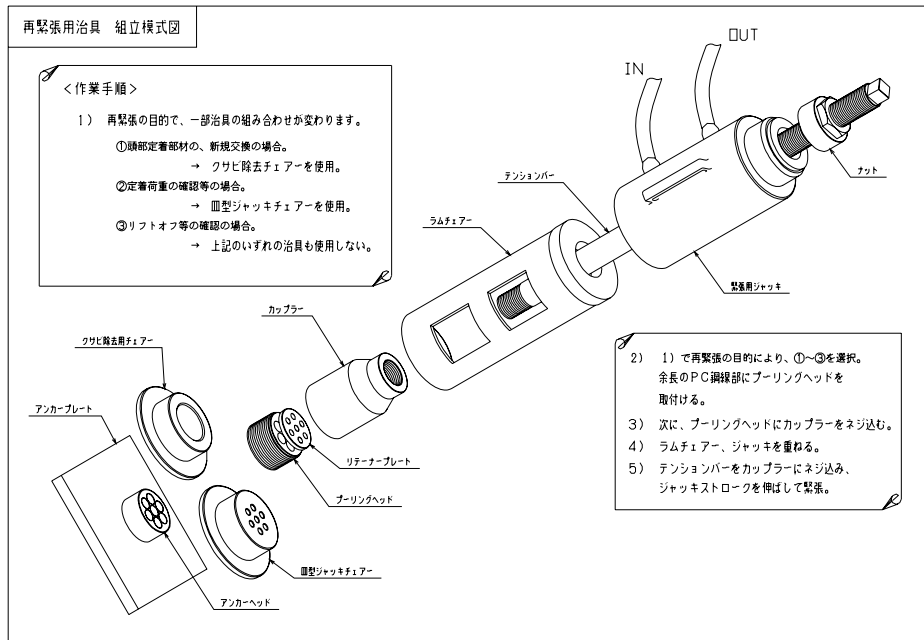


図 11.21 再緊張治具組立模式図（例）

表 11.26 再緊張治具の構成部材と機材重量（例）

テンドンの構成		緊張用ジャッキ	テンションバー	ラムチェアー	プーリングヘッドユニット
12.7×2～4	仕様	600KN×180	45×950mm	165×470mm	118×200mm
	寸法	ストローク			
12.7×5～7	仕様	1,000KN×180	60×1050mm	195×480mm	138×205mm
	寸法	ストローク			
	重量	45 kg	12 kg	11 kg	9 kg
	重量	70 kg	23 kg	30 kg	13 kg

(3) 特殊ジャッキでの載荷方法

緊張材の再緊張余長が 50mm に満たない場合はアンカーヘッドの外側をくさびで掴み、アンカーヘッドそのものを引き上げ、リフトオフを行う(図 11.22、写真 11.2)。ジャッキの構造はメインシリンダーの内側にもう 1 つヘッドを掴むためのシリンダーが内蔵されている。したがって、油圧ポンプは 2 台必要になる。

操作手順としては、はじめにアンカーヘッドを掴み、その後メインシリンダーに圧力を加えて、テンドンをリフトオフさせることになる。

アンカーヘッドを直接掴むジャッキはメンテナンスジャッキと称せられ、既設アンカーのリフトオフに広く使用されているが、シリンダーが 2 重構造であること、およびプーリングヘッドが内蔵された 1 体構造であることからジャッキの重量が嵩み、人力だけでは取り扱いができない。

当時のアンカーヘッドの外形寸法は 3 タイプが主流だったために、表 11.27 に示す 3 種類のジャッキが製作されている。

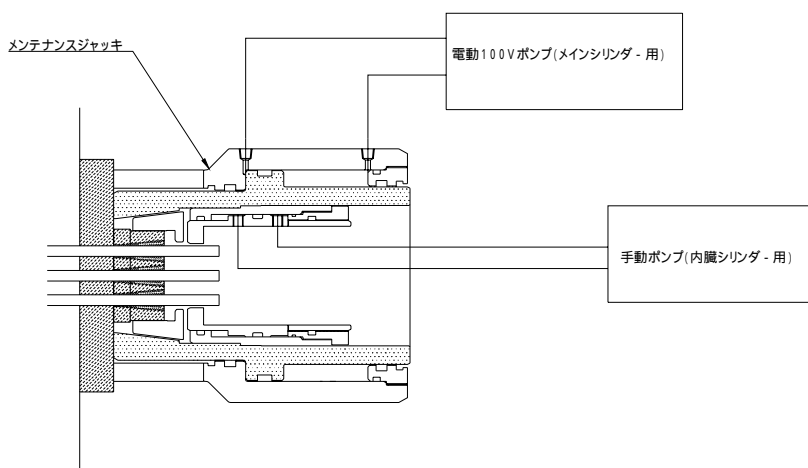


図 11.22 メンテナンスジャッキの構造



写真 11.2 メンテナンスジャッキ

表 11.27 メンテナンスジャッキの諸元

種類	12.7×2~4用	12.7×7本用		12.7×12本用
	ストローク 100mm	ストローク 40mm	ストローク 200mm	ストローク 40mm
最大荷重 (kN)	600	800	800	1,200
受圧面積 (cm ²)	164.8	176.7	176.7	263.9
ジャッキ機高 (mm)	352	304	624	304
重量 1式 (kg)	96	109	197	185
油圧ポンプ	100V 電動ポンプ(手動ポンプ)+手動ポンプ			

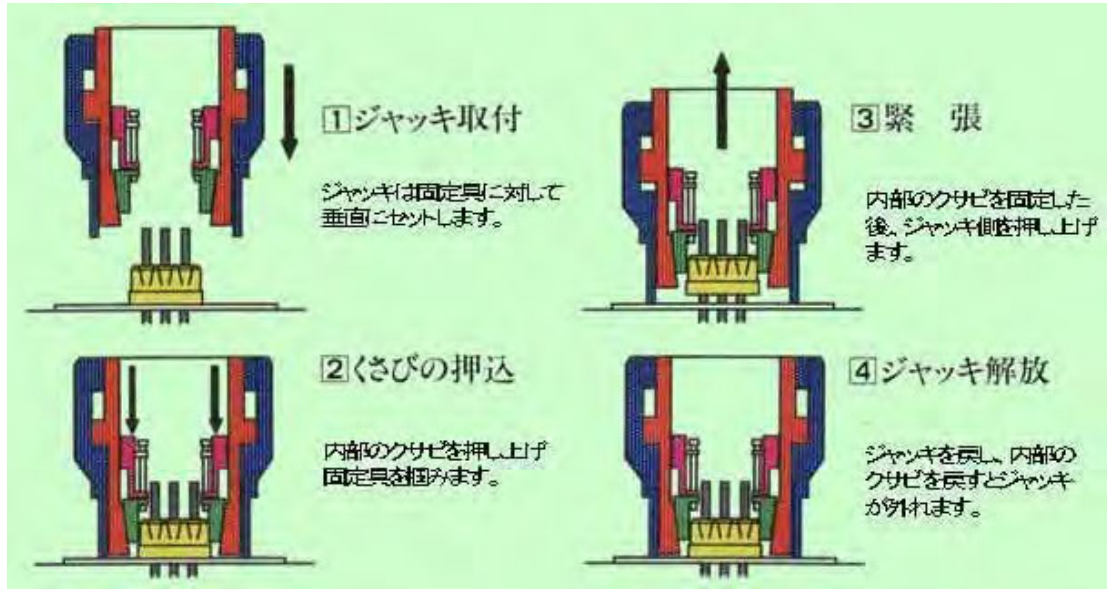


図 11.23 メンテナンスジャッキの動きの模式図

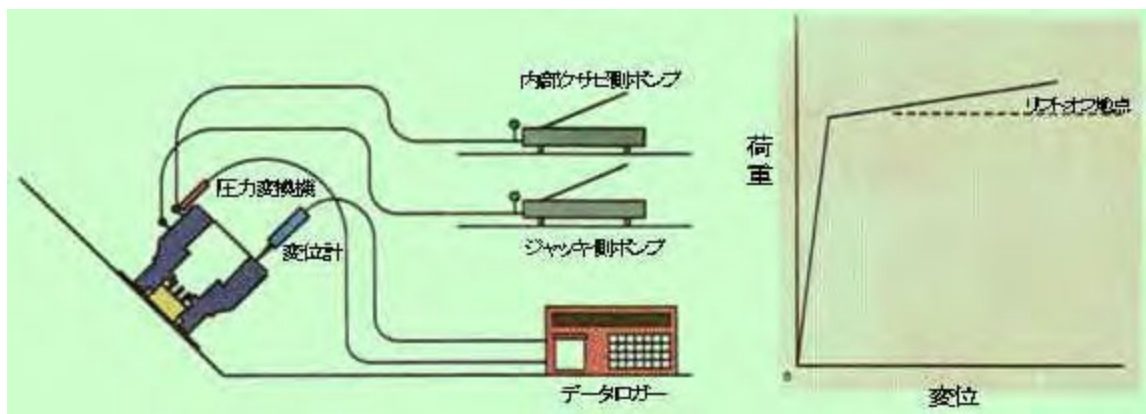


図 11.24 メンテナンスジャッキによるリフトオフ作業

(4) 特殊な載荷方法

現在ではアンカーとしては、使われていないフレシナー工法や BBRV 工法で定着されているものは、アンカーヘッドや PC 鋼より線を掴むことが難しい。この場合のリフトオフは図 11.25 に示すように、支圧板にネジ穴を開け、ボルトでカップラーと接続して支圧板を持ち上げる方法で行っている。支圧板のリフトオフは特殊な例ではあるが、他に方法が無い場合には有効な方法である。

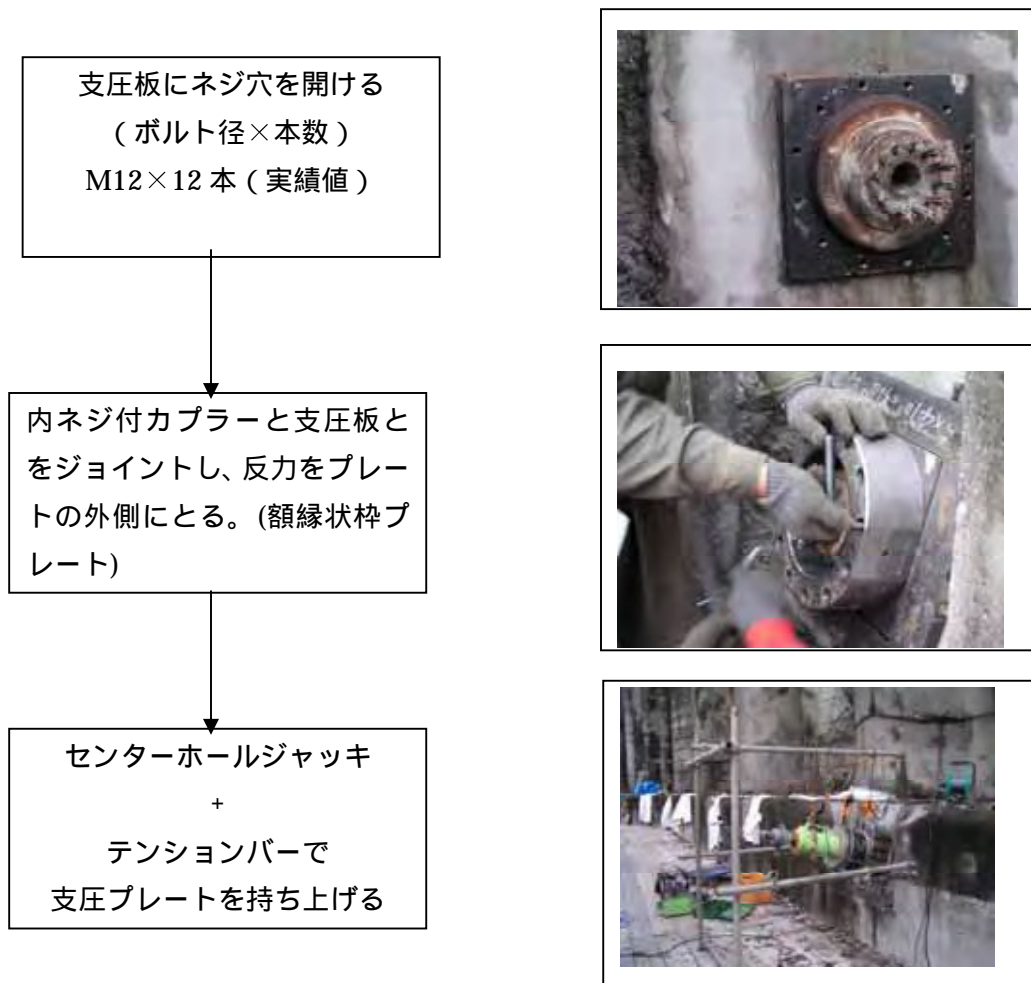


図 11.25 支圧板持ち上げ方式のリフトオフ作業手順

(5) くさび・ナット併用方式

くさび・ナット併用方式の利点は、以下のとおりである。

- ・くさびのセットロスをキャンセルするため
- ・導入緊張力の微調整や再緊張を容易にするため
- ・残存緊張力を容易に計測するため

リフトオフ時の載荷方法は、くさび・ナット併用方式もくさび定着方式も基本的には変わらない。ここではアンカーヘッド外周のネジを利用した載荷方法について記す。



写真 11.3 外ネジ付アンカーヘッド



写真 11.4 再緊張用特殊ジャッキ

再緊張用特殊ジャッキは内面に雌ネジがあり、ジャッキを回転させアンカーヘッドに装着する。定着されたアンカーヘッドはしっかりと固定されていることからリフトオフに必要なジャッキストロークは 10mm程度で十分であり、ストロークが短い分だけジャッキは軽量化ができる。

表 11.28 再緊張ジャッキの一例

	単位	1000kN 対応	1500kN 対応
最大荷重	kN	1,000	1,500
最大ストローク	mm	10	10
緊張側受圧面積	cm ²	252.2	332.2
最大使用圧力	MPa	39.7	45.2
寸法 (外径 * 内径)	mm	270 * 110	330 * 142
重量	kg	31	56
適用アンカーヘッド		12.7×2, 3, 4, 7 本用	12.7×12 本用

(6) ナット定着方式のリフトオフ

ナット定着方式はPC 鋼棒と多重 PC 鋼より線および炭素繊維を使用したアンカー tendon が該当する。多重 PC 鋼より線や炭素繊維の場合は緊張・定着完了後、頭部ネジ部(マンション、グリップと称す)は基本的に切断しない。そのため、リフトオフする場合は緊張・定着時と同一条件で載荷できる。一方、PC 鋼棒は定着作業完了後に鋼棒先端部を切断する場合がある。PC 鋼棒のリフトオフに必要な再緊張余長を表 11.29 に示す。

表 11.29 PC 鋼棒のリフトオフ必要な再緊張余長

PC 鋼棒の直径	再緊張に必要な余長
23 mm	40 mm
26 mm	45 mm
32 mm	55 mm

(7) 多重 PC 鋼より線の緊張ジャッキ

多重 PC 鋼より線の緊張作業は図 11.26 に示すジャッキを使用する。既設アンカーの頭部に緊張ジャッキを設置して、アンカー定着具のねじにカプラーを介してテンションバーを取付けて油圧により載荷する方法で、新設アンカーの緊張・定着時と同じ方法で載荷を行うことができる。

標準緊張ジャッキを使用することにより、リフトオフ荷重を測定した後に直ちに再緊張や緊張力緩和、除荷といった荷重調整が可能となる。

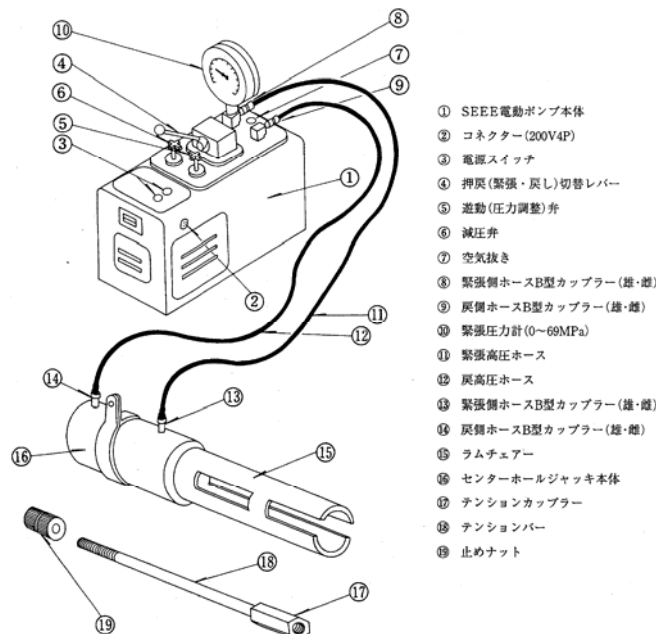


図 11.26 多重 PC 鋼より線の緊張ジャッキ模式図

表 11.30 多重 PC 鋼より線の緊張機器の諸元

種類	JC360-100	JC600-200	JC1100-200	JC2000-200	JC2500-200	JC3000-200
最大荷重 (kN)	350	590	1100	2000	2500	2900
受圧面積 (cm ²)	51.2	89.3	156.9	284.5	357.4	440.0
ストローク (mm)	100	200	200	200	200	200
ジャッキ高 (mm)	795	940	1039	1181	1268	1370
重量 1 式 (kg)	40	70	120	240	290	470

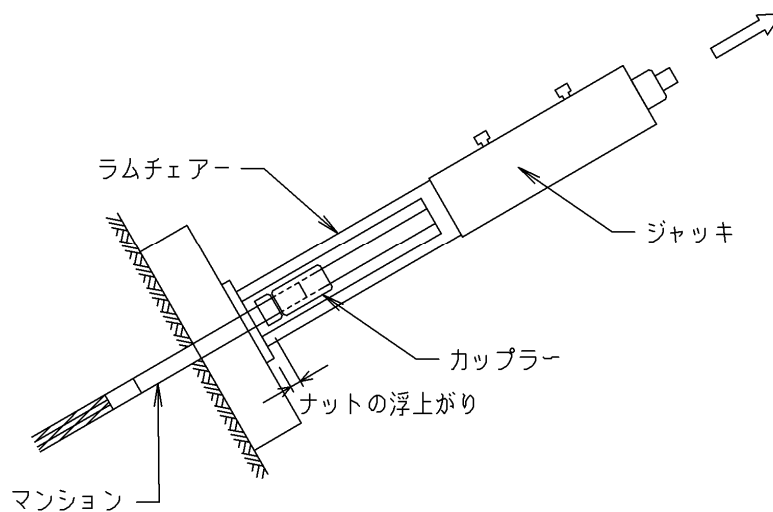


図 11.27 多重 PC 鋼より線・標準ジャッキによるリフトオフ模式図

(8) リフトオフ用軽量ジャッキ

従来のセンターホールジャッキを小型・軽量化した軽量ジャッキは、シリンダーロッドとその周囲にストロークをガイドするシリンダーチューブからなるもので、油圧により荷重を載荷する。シリンダーロッド内側にアンカー定着具のねじと接続する治具を備えており、ネジをかみ合わせて載荷し、シリンダーロッドのストロークによってナットを浮き上がらせる。

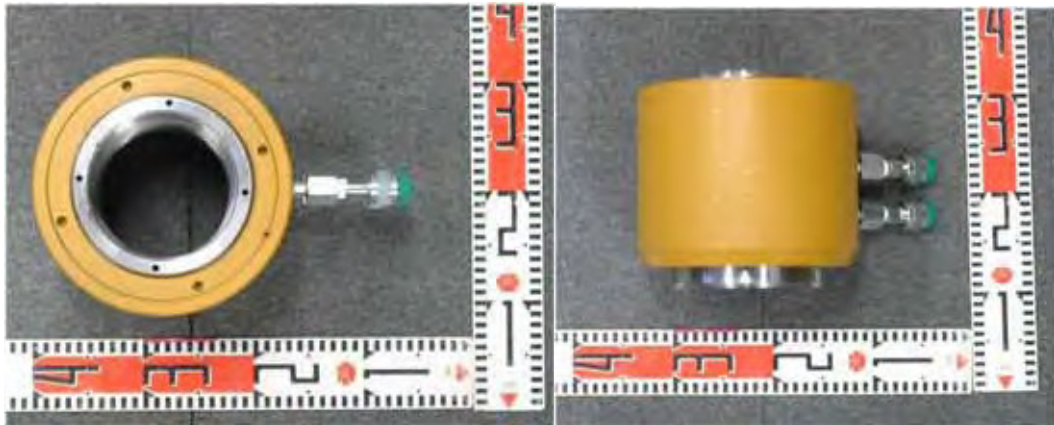


写真 11.5 リフトオフ軽量ジャッキ



写真 11.6 リフトオフ用軽量ジャッキ

(9) リフトオフ試験方法

既設アンカーのリフトオフを実施する場合の手順を図 11.28 に示す。

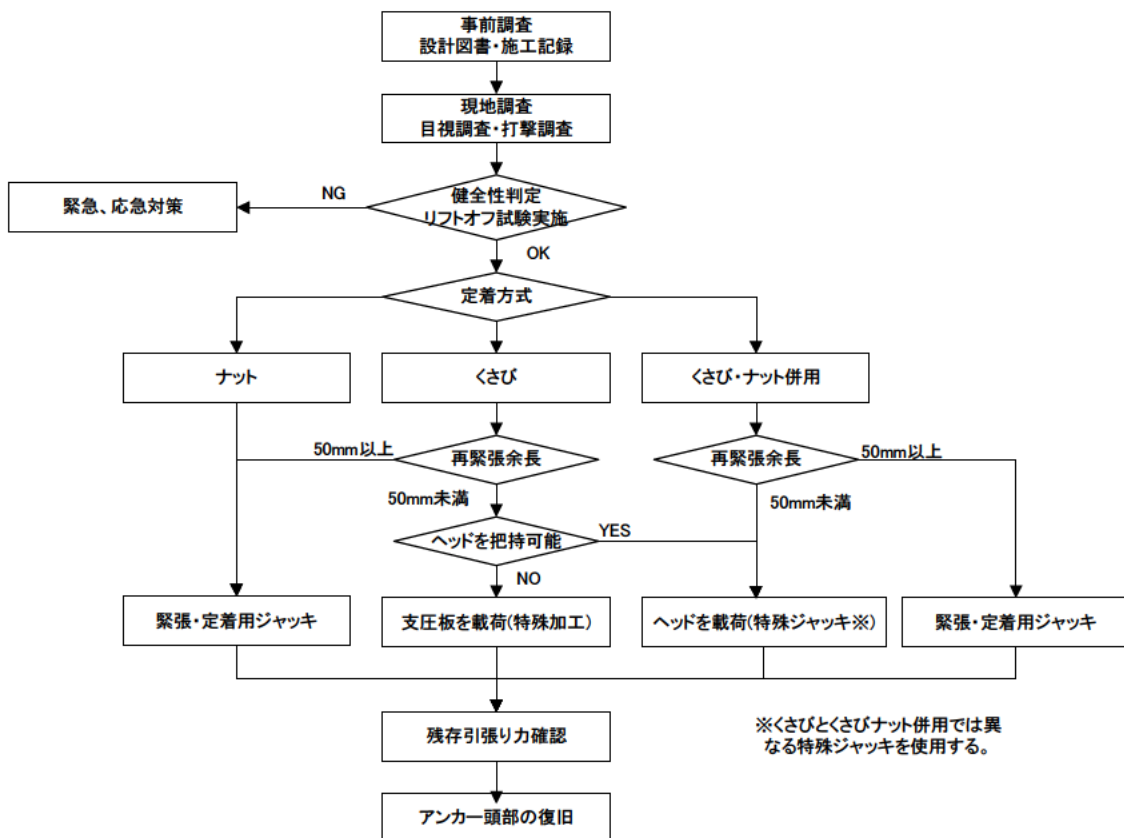


図 11.28 リフトオフ作業フロー

11.1.7 事前調査

事前調査とはアンカーのリフトオフを実施するために必要なデータを得るために調査対象とする工事記録等の既存資料を整理することである。

- アンカーリフトオフを実施する対象地盤の地質調査資料
- アンカー採用に至る経緯、設計資料
- アンカーの打設配置図
- アンカーの構造図、設計荷重、初期緊張力
- 施工時の図面、工事記録、および完成図

11.1.8 現地調査

現地調査はリフトオフ作業を進める上で必要な仮設や搬入路を検討し、全体としての施工計画を立案するために実施され、地盤の変状の有無、構造物の変状、湧水状況等を調査の対象とし、既設アンカーが置かれている環境について概略を確認する。併せてリフトオフを対象とするアンカーの頭部を確認する。アンカー頭部は次の3つに分けられる。

- ・コンクリートキャッピング
- ・オイルキャップにより保護がされている
- ・何もしていない。キャップはしてあるが破壊しており頭部の保護は不十分

アンカー頭部やその周辺からの湧水の有無、コンクリートキャッピングの場合、コンクリートから発生する遊離石灰やコンクリートの劣化状況、支圧プレートからの錆びだれ等を調べることが出来る。オイルキャップについてはキャップからのオイル漏れの有無を調べる。

目視調査とは肉眼で観察できる範囲でアンカー頭部の状況調査をいい、特にオイルキャップを外した頭部の状況やコンクリートキャッピングをはつた後の状況確認はリフトオフ計画に大きく影響する。

(1) リフトオフアンカーの選定

現地調査の実施により、アンカー頭部の診断結果を得る。アンカーの配置図から重要度を勘案しリフトオフすべきエリアを概略で定める。選定されたエリアの中から頭部診断の結果、状況が良くないと判断されたアンカーをリフトオフアンカーとして選定する。

アンカーの定着方式や再緊張余長の長さにより使用するジャッキが選定される。支圧板の大きさはアンカーの構造物の設計やアンカー設計荷重から決定されているが、リフトオフ作業においては使用するジャッキにより決定され、反力を受ける支圧板の大きさが必要となる。

リフトオフを対象とするアンカーの本数は全アンカー本数の10%程度とし、1現場当たりでは3本以上を選定し仮設計画や機材の搬入路計画を立案する。

(2) リフトオフ荷重の計測

リフトオフ荷重の計測はアンカーの残存緊張力の確認である。また同時にアンカー定着長、自由長部の健全性を判定するために設計荷重の1.2倍あるいは引っ張り材の降伏荷重の90%までの内のいずれかの小さいほうを最大荷重とし再緊張を行い、アンカーの荷重・伸び曲線を計測する。

使用機材は前述したアンカー頭部の定着方式に必要なジャッキ・ポンプ(動力を含む)と共にデータロガー、圧力変換器、変位計などの機材を使用する。

リフトオフ荷重の計測の代表例を図 11.29 に示す。

くさび定着方式、再緊張余長が 50mm 以上ある場合

アンカー頭部の再緊張余長をくさびで掴み、カップラー・テンションロッドを使用してジャッキで緊張作業を実施する。

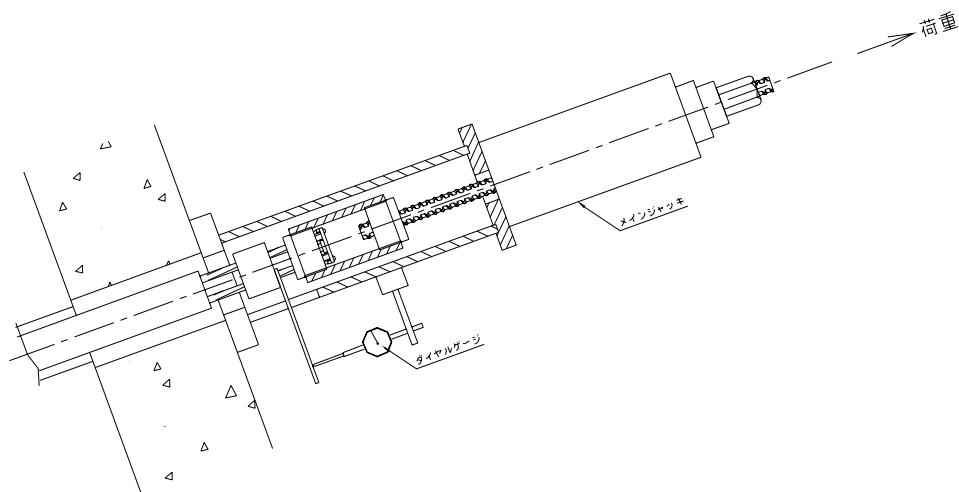


図 11.29 リフトオフ試験の概要



写真 11.7 リフトオフ試験状況

くさび定着方式、再緊張余長が 50mm 未満の場合

メインジャッキの中に内蔵ジャッキが組みこまれており、内蔵ジャッキの前後の動きがアンカーヘッドを掴む構造となっている。アンカーヘッドを掴んだ後、メインジャッキが tendon を緊張し、所定の荷重確認終了後メインジャッキを戻し、内蔵ジャッキがアンカーヘッドを開放する。

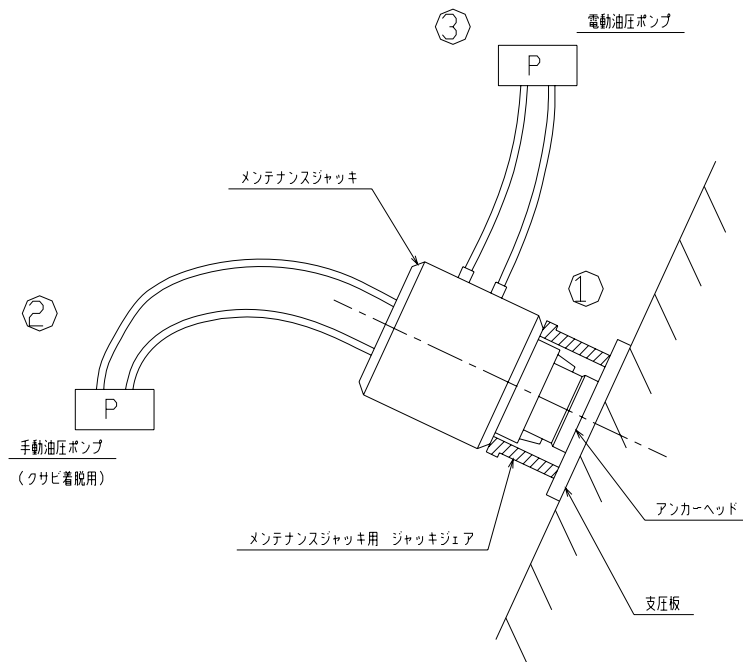


図 11.30 再緊張余長が 50mm 未満の場合のリフトオフ

ナット定着方式

アンカー施工時の緊張作業が終了した状況がそのまま残っているため新設アンカーの施工方法そのままリフトオフが出来る。新設工事のときと比べ、現場では人力が主体となるため標準ジャッキでは重量が高むことから軽量ジャッキが用意されている。



写真 11.8 軽量ジャッキのセット状況

11.1.9 既設アンカーリフトオフの問題点

既設アンカーは本章の冒頭でも指摘されている通り 1988 年に制定された「グラウンドアンカー設計・施工指針、同解説」で分けられ、1988 年以前に施工されたアンカーと 1988 年以降に施工されたアンカーでは頭部の保護が大きく変わっている。1988 年の改定によりアンカーテンドンの 2 重防錆が採用されたことからアンカー頭部は防錆キャップが標準品となった。防錆キャップの高さは 100mm 以上あることから緊張材の再緊張余長は全てのアンカー工法が共に 50mm 以上が確保されている。それに対して 1988 年以前のアンカーは頭部をコンクリートキャッピングしたものが多く見受けられ、頭部構造の詳細ははつてみないと確認出来ない。

(1) コンクリートで頭部をキャッピングされたアンカーリフトオフ

- ・くさび定着方式の場合、コンクリートでキャッピングされたコンクリートがアンカーヘッドとくさび、PC 鋼より線の中に入り込み固まってしまう、くさびの滑動効果が阻害されるケースも見られている。
- ・コンクリートの高防錆力で保護されていたアンカー頭部はコンクリートをはつたことからアンカーヘッドや支圧板の防錆対策が必要となる。アンカーヘッドは支圧板にネジ穴を開け、オイルキャップを取付けるが支圧板の防錆が塗料に頼ることになる。垂鉛メッキに比べ防錆力が不足する。

(2) くさび定着方式の場合の荷重開放

- ・くさび定着方式は緊張作業において、テンドンの任意な位置で定着位置の設定が可能である。アンカー打設工事において頭部の位置はばらつきが発生するためくさび定着方式は非常に優れた緊張・定着システムである。しかしながら、アンカー自由長の伸び量を緊張作業完了後切断することが一般的であることから既設のアンカーの伸び量は再緊張余長に残っておらず、くさびを外してアンカーの荷重開放することが難しい。

(3) ネジ式定着方式の安全対策

- ・PC 鋼棒や多重 PC 鋼より線は過負荷による破断は一瞬のうちに発生する。その衝撃は大きく、アンカーのリフトオフ作業時の安全対策はテンドンの破断荷重を考慮した防護柵を用意する必要がある。

11.2.2 荷重測定方式の分類と特徴

アンカーの緊張力を計測するための方法と変換器を図 11.32 に示す。

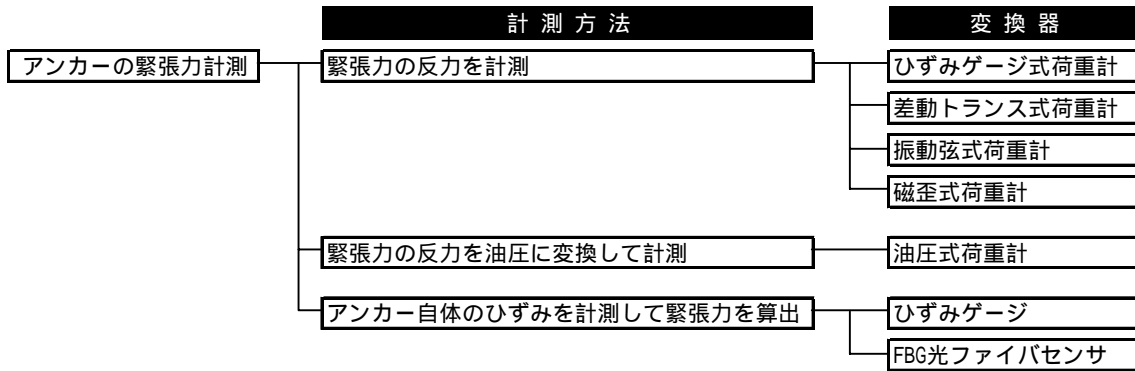


図 11.32 アンカーの緊張力の計測方法及び、変換器

(1) ひずみゲージ式荷重計

測定原理

ひずみゲージは、図 11.33 のグリッド長方向の伸縮により、その電気抵抗が変化する性質を利用した、ひずみ測定素子である。

ひずみゲージの電気抵抗を R とし、伸縮によるひずみが ε のときの電気抵抗の変化量を ΔR とすると、以下の関係式が成り立つ。

$$\frac{\Delta R}{R} = K \cdot \varepsilon \quad \dots \text{式 (11.1)}$$

ここで、 K はひずみ感度（ゲージ率）と呼ばれており、一般のひずみゲージに使用されている銅/ニッケル合金では、 $K = 2$ である。

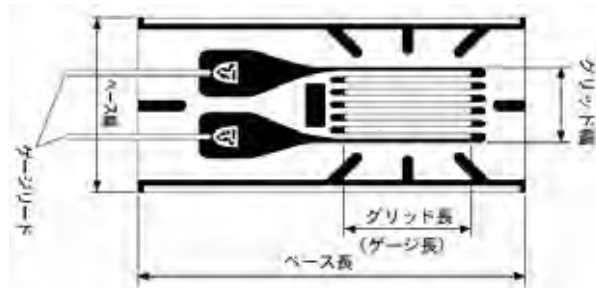


図 11.33 ひずみゲージ外観図

②アンカー荷重の測定方法

一般的には、図 11.34に示すような中空の金属起歪筒^{※1} にひずみゲージが接着されており、4枚のひずみゲージが図 11.35のようにホイートストンブリッジに結線されている。荷重校正により、ホイートストンブリッジの出力電圧を荷重として測定できる。

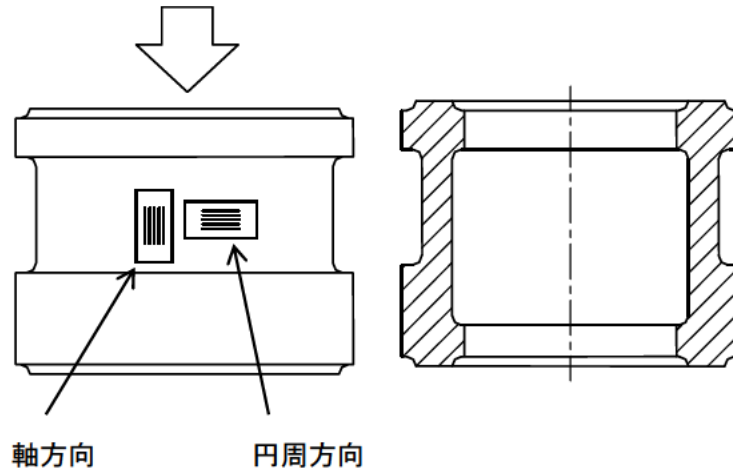


図 11.34 荷重計の構造

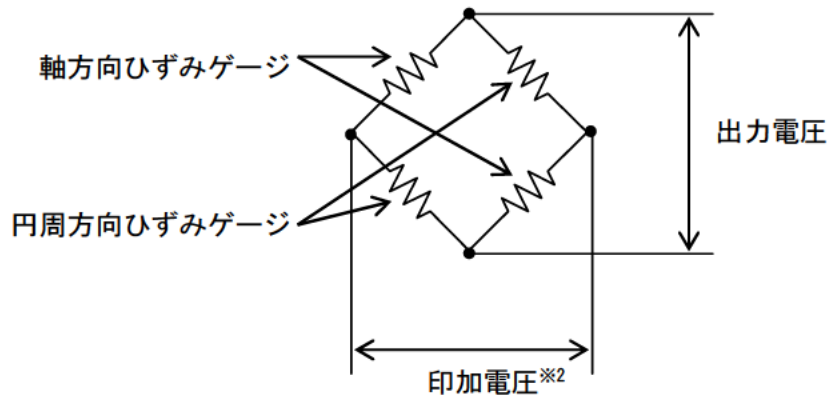


図 11.35 ホイートストンブリッジ

③特徴

長所

- ・構造が比較的シンプルなため信頼性が高い。
- ・小型化が比較的容易。
- ・ひずみ測定器なども含めた計測システムが比較的安価。

短所

- ・出力電圧が小さいためノイズ対策が必要である。

(2) 差動トランス式荷重計

①測定原理

差動トランスは図 11.36 に示すように、1 次コイル、二つの 2 次コイル、鉄芯で構成されている。図 11.37 に示すように 1 次コイルに交流電圧を印加すると、鉄芯の位置により、各 2 次コイルに異なる電圧 A、電圧 B が発生する。得られた電圧の差(A-B)は、鉄芯の位置に比例することから、コイルと鉄芯を相対位置に配置することで、相対変位を電気出力に変換することができる。

一方、2 次コイルの出力は 1 次コイルに流れる電流に比例して変化することから、ケーブル長や温度によって変化する感度を補償するために、DC・DC 方式、割り算方式などの実用変換方式が使われる。

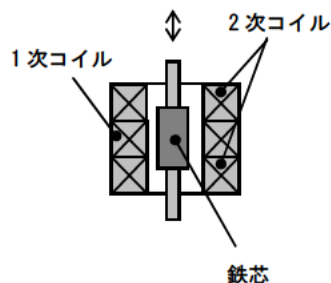


図 11.36 差動トランス構成

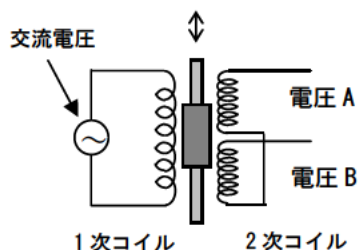


図 11.37 差動トランス回路構成

②DC-DC 方式

差動トランスセンサ内に駆動発信機と差動トランス交流出力を検波・平滑する回路などを内蔵しており、直流電圧を印加することによって変位に比例した直流電圧が得られる変換方式である。

③割り算方式

2次コイルの異なる電圧 A および電圧 B の和(A+B)は、鉄芯の位置に関係なく一定の電圧を示し、また、1次コイルに流れる電流が変化したときの2次コイル電圧の和(A+B)は、その差(A-B)に比例して変化する。その比 $\{(A-B)/(A+B)\}$ から1次コイルに流れる電流と関係のない鉄心とコイルの相対変位を求める方式である。

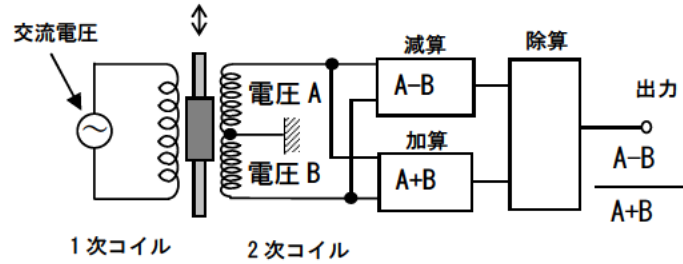


図 11.38 割り算方式による測定

④アンカー荷重の測定方法

差動トランス式アンカー荷重計は図 11.39 に示すよう起歪体内部の上下それぞれに、コイルと鉄芯が固定されている。本方式では、起歪体に、ある荷重 W が加わったときの起歪体の伸縮量 ΔL を差動トランスで測定し、その伸縮量 ΔL から、荷重 W を算出している。

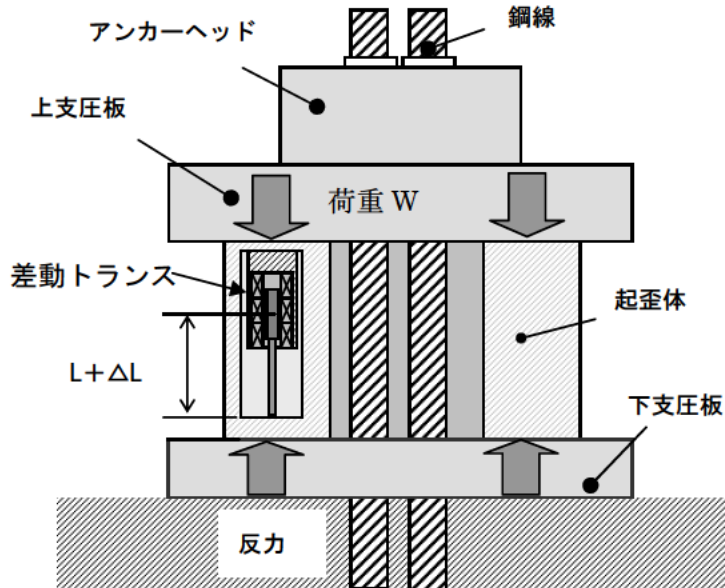


図 11.39 差動トランス式アンカー荷重計構造図

⑤特徴

長所

- ・ノイズに強い。
- ・経年変化がほとんどない。
- ・出力電圧が大きく、絶縁低下に強い。
- ・センサから計測器までのケーブル長変更が自由。

短所

- ・形状が比較的大きい。
- ・鉄心が慣性質量になることに注意が必要。

(3) 振動弦式荷重計

①測定原理

振動弦式荷重計は、2点間に張られた弦の2点間の距離が変化する事により固有振動数が変化する性質を利用したものである。図 11.40 は2点で固定された振動弦において、固定点の一つが固定点間距離が短くなる方向に移動した場合の固定間距離と振動弦の固有振動数の関係を示した図である。

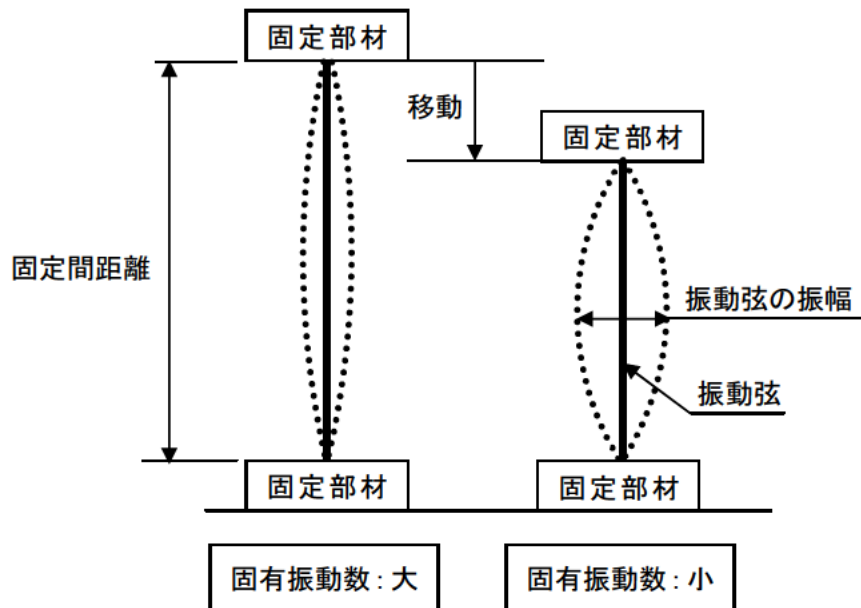


図 11.40 振動弦原理説明図

アンカー荷重の測定方法

振動弦式荷重計は、振動弦の測定原理を利用し、荷重による起歪体のひずみを振動弦の固有振動数の変化に変換する。一方、弦の固有振動はコイルにより同じ振動数の交流電圧に変換する事ができる。よって出力された交流電圧の周波数を計測する事で、荷重荷重がわかる。

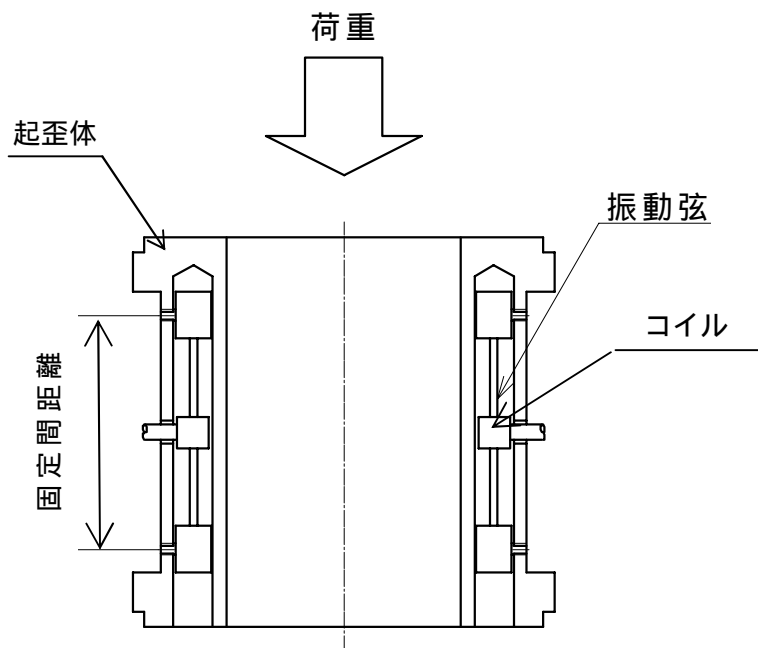


図 11.41 振動弦式荷重計構造図

特徴

長所

- ・優れた耐雷性能。
- ・長期信頼性。
- ・耐湿性に優れている。

短所

- ・動的測定に不向き。

(4) 磁歪式荷重計

①測定原理

Fe (鉄)、Co (コバルト)、Ni (ニッケル) などの強磁性体には磁場印加により長さが変化 (元の長さに対して約 0.01 ~ 0.0001 %) する「磁歪」と呼ばれる性質がある。また、その逆の「ビラリ効果」と呼ばれる磁性体が歪む事で磁性体の磁場に対する応答が変化する現象がある。磁歪式荷重計はこのビラリ効果を利用した荷重計である。

②アンカー荷重の測定方法

荷重計の構造は図 11.42 に示す様にケイ素鋼板を積層してエポキシ樹脂で接着した素子と直交する2つの強磁性体コイルから成り、原理は一方のコイルに交流を流し、ケイ素鋼板素子端面に荷重が作用すると軸方向の透磁率が減少し、その直行方向の透磁率が増大するため、他方のコイルに載荷に比例した電圧が生じる事である。

磁性材でできたテンドンの透磁率を同心円上に巻いた2つのコイルにより測定する事で現有応力を測定するEMセンサー (荷重計) がある。

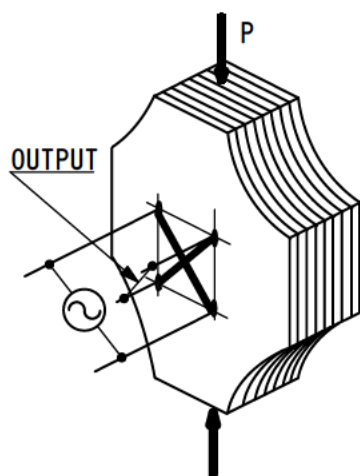


図 11.42 磁歪式荷重計

③特徴

長所

- ・ 長期的安定性に優れる。
- ・ 偏心荷重計測可能。
- ・ 設置時電気配線不要。

短所

- ・ 手計りのため、対象アンカーへのアクセスルート及び、周囲に 400mm 程度のクリアランスが必要。

(5) 油圧式荷重計

①測定原理

内部にオイルが封入された金属製の薄肉容器と例えばブルドン管式圧力計などのオイルの圧力変化を測定する圧力計と薄肉容器と圧力計を結ぶ金属製管から成り、作用する力により薄肉容器が微小変形をして内圧が変化する。その内圧変化を圧力計で測定する事で作用する力を測定する。

②アンカー荷重の測定方法

上部・下部支圧板に挟まれた、円形センターホール型・溶接構造によるステンレス製油圧プレッシャーディスクで受圧した油圧力を圧力計（ブルドン管）または、圧力変換器（圧力計）に伝達し受圧した圧力を読み取って荷重を計測する。

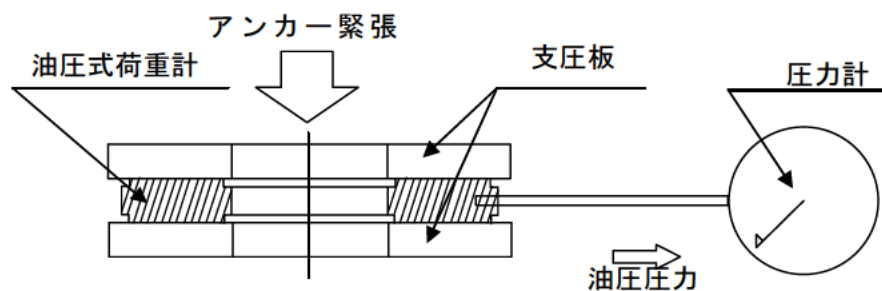


図 11.43 油圧式荷重計の概略図

③特徴

長所

- ・薄型で不要な突起物が無い。
- ・落雷落石等で変換機やブルドン管が破損しても修復が可能。
- ・斜定着した場合でも、測定値はグラフ上直線状態になる。
- ・各種アンカー工法に対応可能。

短所

- ・温度依存性がある。

(6) FBG センサ式荷重計

測定原理

FBG (Fiber Bragg Grating) とは、光ファイバのコア部の屈折率を一定の周期で変化させたもので、特定の波長 (Bragg 波) の光のみ選択的に反射する性質を有している。この FBG にひずみが生じると波長がシフトするため、そのシフト量を検出することによってひずみを算出し、それを荷重に換算する事により荷重の変動を計測するシステムである。

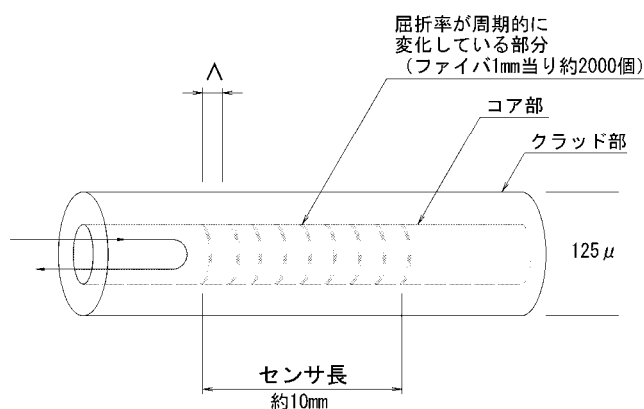


図 11.44 FBG センサイメージ図

表 11.31 FBG センサの性能

項目	性能
最大測定レンジ	40,000 μ strain
測定分解能	< 1 μ strain
温度依存性	$\pm 0.2 \mu$ / 温度範囲-5 ~ +70 ~ $\pm 0.8 \mu$ / 温度範囲-35 ~ +85

アンカー荷重計の測定方法

FBG センサ式荷重計は、FBG センサを PC 鋼より線に直接取り付け、PC 鋼より線のひずみを測定し、それを荷重に換算するシステムである。図 11.45 にその構造を示す。

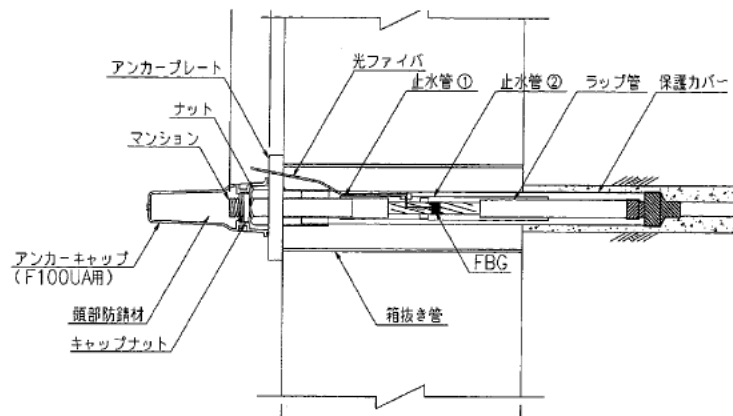


図 11.45 FBG センサ式荷重計の構造

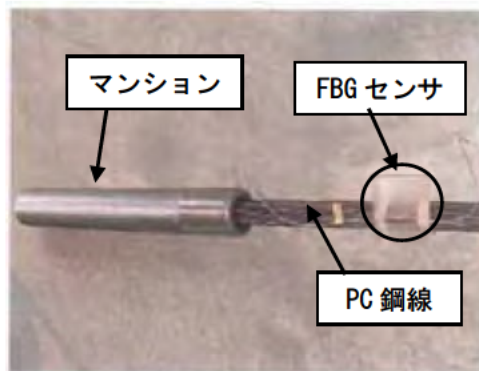


写真 11.9 FBG センサ取付状況写真

③特徴

長所

- ・センサ部が地表面に突出しないため、直射日光などの温度変化の影響が少ない。
- ・センサ部、伝送部とも全て光ファイバを使用しているため、耐雷性に優れる。
- ・センサを PC 鋼線に直接取り付けるため、偏心などの設置による誤差の影響を受けない。
- ・センサを工場にて取り付け出荷するため、現場での省力化が図れる。

短所

- ・現場搬入時およびアンカー材挿入時においてセンサ部を損傷する恐れがある。
- ・測定器を含めた計測システムが比較的高価である。

11.2.3 アンカー用荷重計の用途

アンカー用荷重計の用途を表 11.32に示し、実施例を写真で示す。

表 11.32 アンカー荷重計の用途一覧表

橋梁	斜張橋の斜材の張力測定	写真11.10、 11.11
	橋桁の導入プレストレス測定	
仮設構造物 (土留め・山留め工事)	切梁式：切梁の軸力測定	
	アースアンカー式：アンカーの軸力測定	写真11.12
	控え工法：タイロッドの張力測定	
山岳トンネル(NATM)	ロックボルトの軸力測定	
	支保工の荷重測定	
シールドトンネル	地盤反力の測定	
圧入ケーソン	グラウンドアンカーの軸力測定	
法面・斜面・地すべり末端部	グラウンドアンカーの軸力測定	写真11.13～ 11.17



写真 11.10 斜材の張力測定実施状況（ひずみゲージ式荷重計）



写真 11.11 斜材張力管理用荷重計（ひずみゲージ式荷重計）



写真 11.12 山留め工事におけるアースアンカーの軸力測定実施状況
(差動トランス式荷重計)



写真 11.13 地すべり対策工事におけるグラウンドアンカーの軸力測定実施状況
(差動トランス式荷重計)



写真 11.14 ダム側面のグラウンドアンカー軸力測定実施状況 1
(油圧式荷重計)



写真 11.15 ダム側面のグラウンドアンカー軸力測定実施状況 2
(油圧式荷重計)

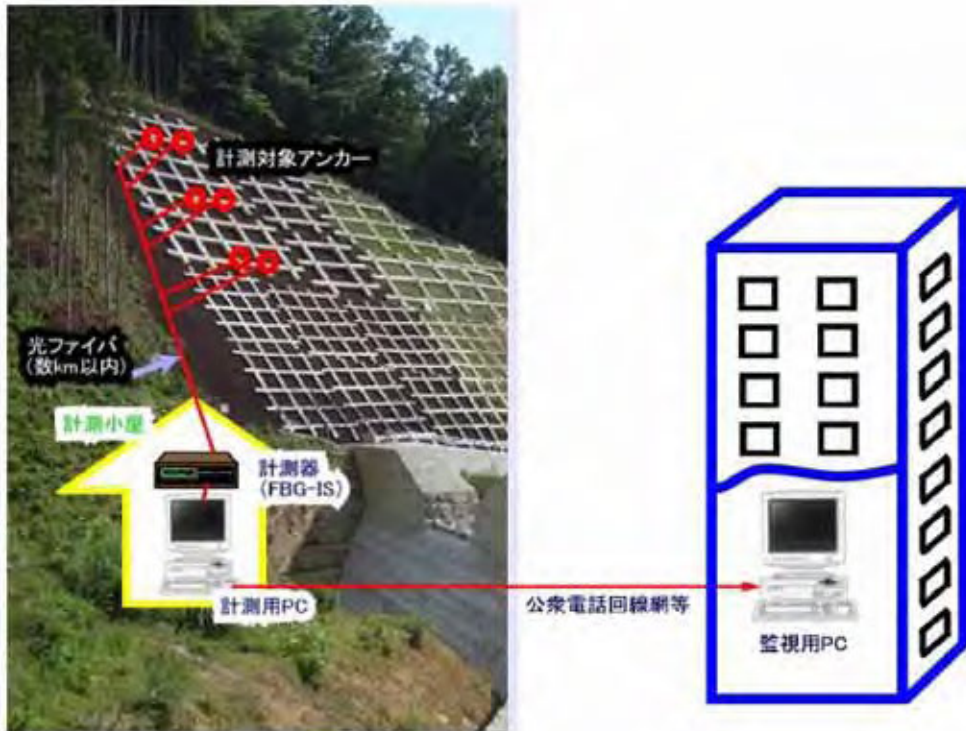


写真 11.16 法面でのグラウンドアンカーの軸力測定実施状況
(FBG センサ式荷重計)



写真 11.17 砂防堰堤でのグラウンドアンカーの軸力測定実施状況
(FBG センサ式荷重計)

11.2.4 アンカー用荷重計の規格・規定

(1) 性能

一般的な荷重計の性能を示す用語について表 11.33に示す。

表 11.33 荷重計の性能を示す用語一覧表

	性能を示す用語	簡単な説明(単位)
仕様	specification	荷重計の性能或いは、条件の規定値。
容量	Capacity	荷重計の測定範囲の上限。(N)
零点 零バランス 初期不平衡	Zero Balance	荷重計の無負荷時の出力値。(mV/V、 $\times 10^{-6}$ 、 $\mu\epsilon$)
定格出力	Rated Output	荷重計の容量時の出力値から零点を差し引いた値。(mV/V)
非直線性	Non-Linearity	荷重計の零点と容量時の出力値を結ぶ直線と荷重計の測定範囲における負荷増加時(載荷時)の出力値との隔たりの最大値で、定格出力に占める割合で表す。(%RO)
ヒステリシス	Hysteresis	荷重計の測定範囲における負荷増加時(載荷時)の出力値と減少時(除荷時)の出力値との差の最大値で、定格出力に占める割合で表す。(%RO)
繰り返し性	Repeatability	一樣な環境で同一な負荷を繰り返した際の定格出力値の差の最大値で、定格出力に占める割合で表す。(%RO)
感度	Sensitivity	定格出力を容量で除した値。(校正係数の逆数)
校正係数	Calibration Constant	容量を定格出力で除した値。(感度の逆数)
零点の温度特性 零点の温度影響	Temperature Effect on Zero (Balance)	所定の温度範囲内における零点の変動量の単位温度当たりの最大値で、定格出力に占める割合で表す。(%RO /)
出力の温度特性 出力の温度影響	Temperature Effect on Span Temperature Effect on Output	所定の温度範囲内における定格出力の単位温度当たりの変動量の最大値で、定格出力に占める割合で表す。(%RO /)
補償温度範囲	Compensated Temperature Range	零点の温度特性、出力の温度特性が仕様を満足する環境温度範囲で、その上限と下限で表す。()
許容温度範囲	(Safe) Temperature Range	仕様は外れるが、荷重計の性能には変化を与えない環境温度範囲で、その上限と下限で表す。()
許容過負荷	Over Load Safe OverLoad Rating	仕様は外れるが、荷重計の性能には変化を与えない負荷の最大値で、容量に占める割合で表す。(%RO)
限界過負荷	Ultimate Over Load (Rating)	荷重計が破壊しない負荷の最大値で、容量に占める割合で表す。(%RO)
推奨印加電圧	Recommend Exciting Voltage Recommend Excitation Voltage	仕様を満足する入力端子に印加する電圧の最大値。(V)
許容印加電圧	Allowable Exciting Voltage Saf Excitation Voltage	仕様は満足しないが、荷重計の性能に変化を与えない入力端子に印加する電圧の最大値。(V)
保護等級	Degree of Protection	電気機械器具の外郭による保護等級 { IP(International Protection)コード } JIS C 0920 (IEC 60529) の事。

(尚、表 11.33に示す用語の説明は特定の規定・規則に則ったものではない。)

(2) 耐久性

アンカー荷重計の耐久性は、IP規格或いは、繰返し載荷試験結果により示される。

(3) IP規格

IP規格は、「IP」に続く2桁の数字で示され(例：IP45)、10の位を第一特性数字といい「外来固形物の侵入に対する保護」の程度を示し、1の位は第二特性数字といい「水の侵入に対する保護」の程度を示す。それぞれの数字が示す保護の程度を表 11.34に示す。

アンカー荷重計は、試験により保護の程度が示される。

表 11.34 第一特性数字で示される危険な個所及び外来固形物に対する保護等級一覧表

(参考規格JIS C 0920:2003)

第一特性数字	保護の程度	
	種類	JIS規格 / JISの説明
0	無保護	保護されていない。
1	直径50mmより大きい固形物に対する保護	拳などが誤って内部の危険な箇所に接触する恐れがない。直径50mm以上の外来固形物が内部に侵入しない。
2	直径12.5mmより大きい固形物に対する保護	指先、又は長さが80mmを越えない指先類似物が内部の危険な箇所に侵入しない。直径12.5mmを越える固形物が内部に侵入しない。
3	直径2.5mmより大きい固形物に対する保護	直径、又は厚さが2.5mmを越える工具やワイヤなどの固形物が内部に侵入しない。
4	直径1.0mmより大きい固形物に対する保護	直径、又は厚さが1.0mmを越える工具やワイヤなどの固形物が内部に侵入しない。
5	防じん型	JIS規格：防じん形 粉じんが内部に侵入する事を防止する。 若干の粉じんの侵入があっても動作及び、安全性に問題がない。
6	耐じん型	JIS規格：防じん形 粉じんが内部に侵入しない。
第二特性数字	保護の程度	
	種類	JIS規格 / JISの説明
0	無保護	保護されていない。
1	滴下する水に対する保護	JIS規格：防滴形 鉛直に落下する水滴によって有害な影響を受けない。
2	15°傾斜した時落下する水に対する保護	JIS規格：防滴形 正常な取付位置より15°以内の範囲で傾斜した時、鉛直に落下する水滴によって有害な影響を受けない。
3	噴霧水に対する保護	JIS規格：防雨形 鉛直から60°以内の噴霧した水によって有害な影響を受けない。
4	飛沫に対する保護	JIS規格：防沫形 いかなる方向からの水の飛沫によっても有害な影響を受けない。
5	噴水流に対する保護	JIS規格：防噴流形 いかなる方向からの水の直接噴流によっても有害な影響を受けない。
6	波浪に対する保護	JIS規格：耐水形 波浪又は、いまなる方向からの強い水の直接噴流によっても、有害な影響を受けない。
7	水中への浸漬に対する保護	JIS規格：防浸形 規定の圧力、時間で一時的に水中に浸漬しても、有害な影響を受けない。
8	水没に対する保護	JIS規格：水中形 製造者によって規定された条件に従って、数字7より厳しい条件下で連続に水中に沈めても有害な影響を受けない。

(4) 繰り返し荷試験

アンカー荷重計は容量が大きい(数百kN~数MN)ため、繰り返し荷試験は縮尺モデルで代行する事が多い。その方法は縮尺モデルの起歪体¹⁾を疲労試験機等により片振り圧縮荷荷で無荷(0%)から縮尺モデルの容量(100%)までを正弦波状に繰り返し圧縮荷荷して性能の変化や変形等が生じないサイクル数を求める(通常 1×10^6 回程度)。

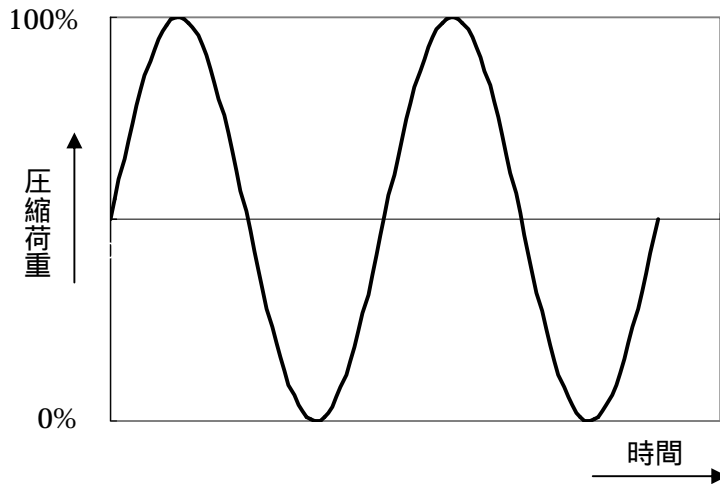


図 11.46 繰り返し荷試験荷荷状況

(5) 誤差および精度

真の値・測定値・誤差・かたより

JIS Z8103-2000-2005 確認 計測用語 図 11.47 による。

(JIS Z8103-2000 計測用語、2601,2603,2604,2605 定義 参照)

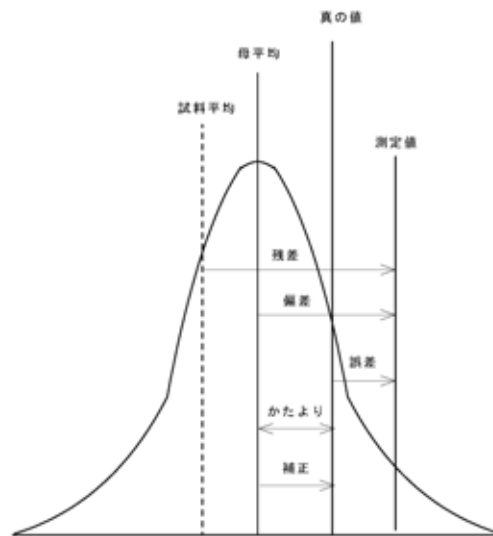


図 11.47 JIS Z8103 2000 付図

取決めによる真の値

取決めによって、ある目的に対して妥当な不確かさをもつものとして受け入れられた値。備考：標準器については、それが現実にもつ値。

(JIS Z8103-2000 計測用語、2602 定義)

精度

測定結果の正確さと精密さを含めた、測定量の真の値との一致の度合い。

参考：JIS Z8101-2 では精確さ、総合制度という。

(JIS Z8103-2000 計測用語、2623 定義)

不確かさ

合理的に測定量に結び付けられ得る値のはらつきを特徴つけるパラメータ。これは測定結果に付記される。

備考1：パラメータは例えば、標準偏差（又はその倍数）であっても、又は信頼水準を明示した区分の半分の値であってもよい。

備考2：測定の不確かさは、通常、多くの成分からなる。それらの成分の一部は、一連の測定結果の統計的分布に基づいて推定可能で、試料標準偏差で示すことができる。その他の成分は、経験又は他の情報に基づいてだけ推定可能である。

備考3：測定の結果は、測定量の値の最良推定値であると理解されている。また、補正や参照標準に付随する成分のような系統効果によって生じる成分も含めた、すべての不確かさの成分はばらつきに寄与すると理解されている。

(JIS Z8103-2000 計測用語、2614 定義)

国際7機関による計測の不確かさに関するガイド（GUM-1993）以降、関連国内機関・規格も整備された。校正方法や不確かさの見積もり方法についての指針文書として、共通区分での「JCGC200-05：校正方法と不確かさに関する表現」や力区分での「JISB7721-2002に関するJCG204S11-05：一軸試験機」と「JISB7728-2002に関するJCG204S21-05：力計」が独立行政法人製品評価技術基盤機構認定センターから発行されている。

標準不確かさ

標準偏差で表される、測定結果の不確かさ。(JIS Z8103-2000 計測用語 定義 2615)

11.2.5 品質保証のための試験項目及び方法

アンカー荷重計の品質保証のために行う試験項目及び方法を以下に示す。

(1) 校正試験

校正試験は、環境温・湿度が管理された屋内で、力基準機を用いて行い、定格出力、非直線性、ヒステリシスを求めるために行う。

表 11.35 校正試験方法の試験項目及び試験方法

試験項目	試験方法
定格出力	⑥の測定値が仕様を満足している事を確認する。
非直線性	載荷時の①～⑥の測定値と①と⑥の測定値を結ぶ直線の最大の隔たりを求め⑥の測定値で除する。その値が仕様の非直線性の規定値以内である事を確認する。
ヒステリシス	徐荷時の⑦～⑪と載荷時の①～⑤で同じ荷重値の測定値差し引き、その最大値を⑥の測定値で除する。その値が仕様のヒステリシスの規定値以内である事を確認する。

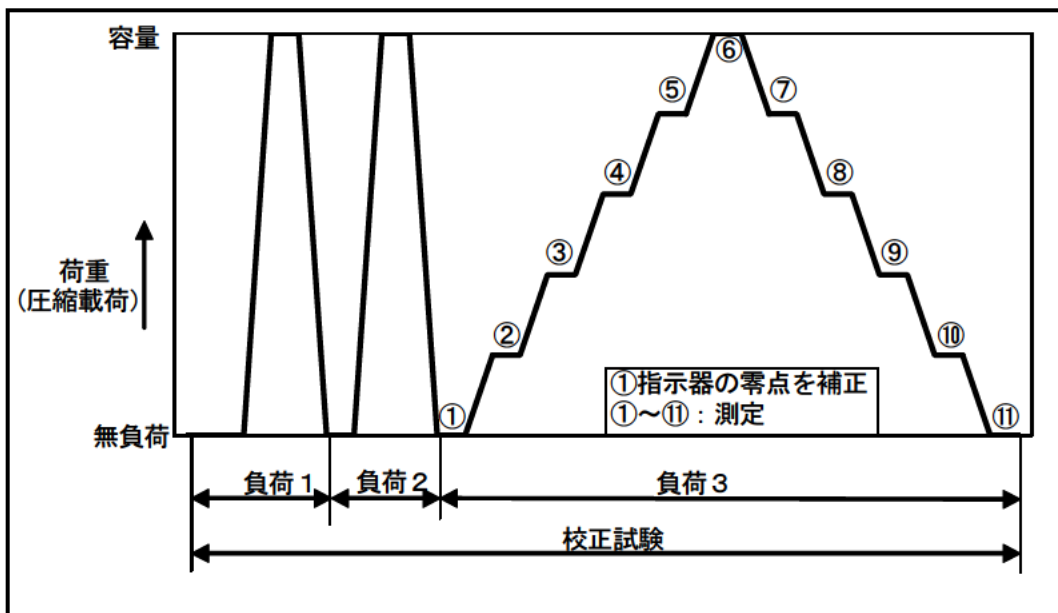


図 11.48 校正試験概略図

(2) 温度試験

温度試験は、環境試験機を用いて行い零点の温度特性を求めめるために行う。その際、使用する温度計はトレーサブルがとれているものである。

表 11.36 温度試験方法の試験項目及び試験方法

試験項目	試験方法
零点の温度特性	①～⑥の測定値が仕様の「零点の温度特性（温度影響）」の範囲内であることを確認する。

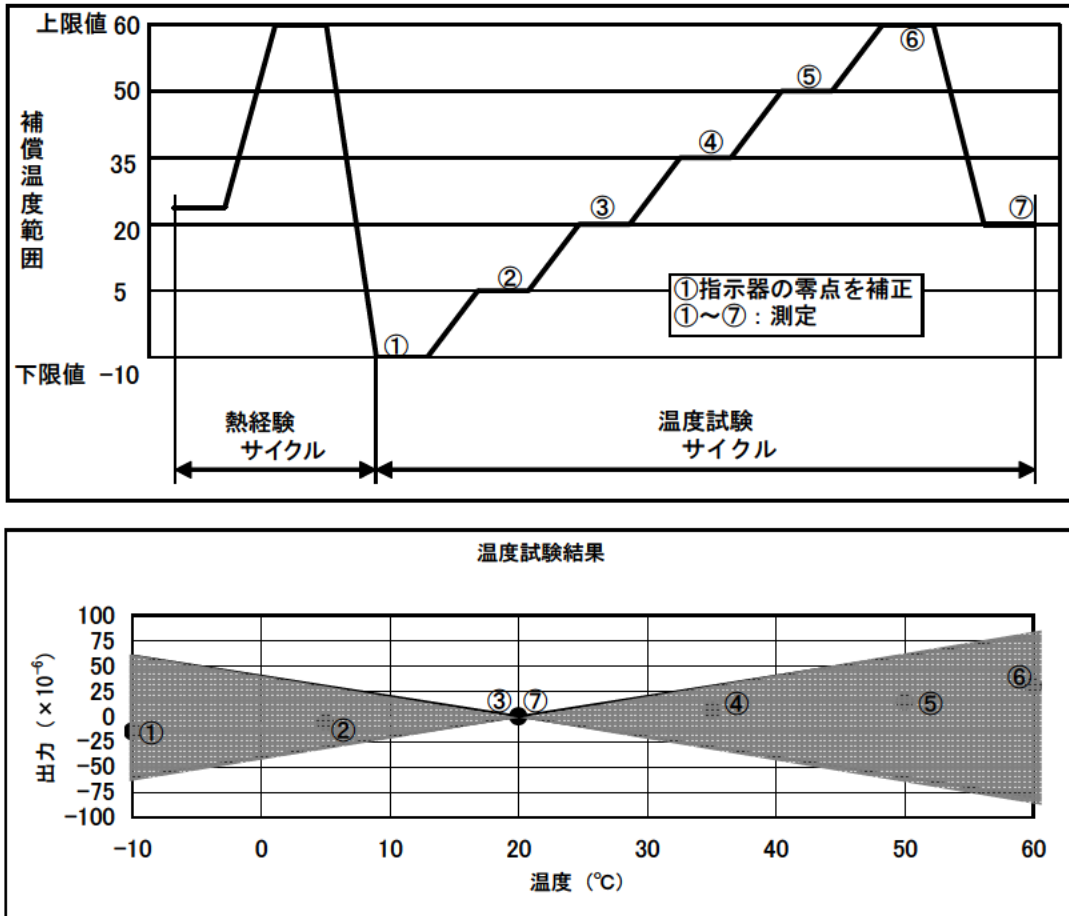


図 11.49 温度試験方法概略図

(3) その他の試験

その他の試験として、環境温・湿度が管理された屋内で、表 11.37の試験を行う。

表 11.37 その他の試験項目及び方法一覧表

試験項目	試験方法
零点	指示計（基準計）による指示値が基準の範囲内である事を確認する。
絶縁抵抗	絶縁計（基準計）による抵抗値が基準以上である事を確認する。
コイルの導通抵抗	デジタルマルチテスタ（基準計）の抵抗値が基準の範囲内である事を確認する。
入出力抵抗	
外観の確認	目視により、外観に有害な傷等がない事を確認する。

11.2.6 品質保証をする機関について

図 11.50にトレーサビリティ体系図を示す。

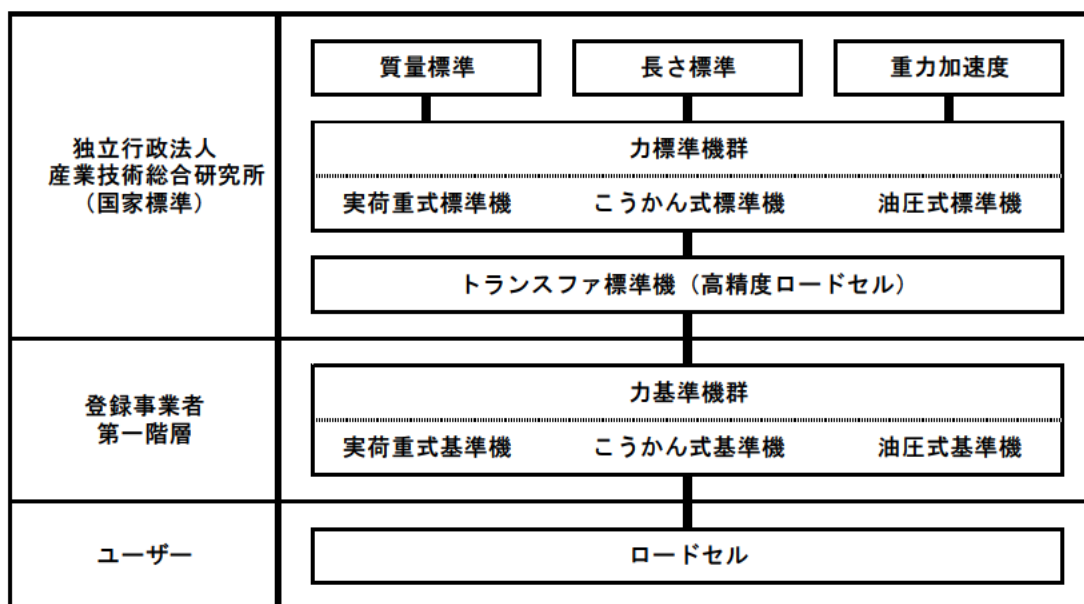


図 11.50 トレーサビリティ体系図

11.2.7 アンカー荷重計製造メーカー

(1) 国内の荷重計製造メーカー

表 11.38 国内の荷重計製造メーカー一覧表

受感素子別	メーカー名称
ひずみゲージ式	株式会社共和電業
	株式会社東横エルメス
	株式会社 エスイー
	株式会社東京測器研究所
	ティアック株式会社
	昭和測器
	株式会社バルコム
	株式会社 東陽テクニカ
	ミネベア株式会社
	株式会社 エー・アンド・デイ
ユニバルス株式会社	
油圧式	守谷鋼機株式会社
差動トランス式	坂田電機株式会社
圧電式	株式会社 東陽テクニカ
磁歪式	三菱重工業株式会社

用語説明

- 1) 起歪体 : 作用する物理量変化により弾性変形する変換器の主要な部材を起歪体といい、ひずみゲージ変換器の場合、その表面にひずみゲージを貼り付け弾性変形の変化分を電圧変化に変換する事で物理量変化を測定する事が出来る。そして、円筒形の起歪体を起歪筒という。

11.3 既往技術の整理（データ通信システム）

11.3.1 通信手法の種類

「通信」とは情報を伝達するための手段であり、特に、計測データ管理システムでは、「電気通信」が利用されている。電気通信事業法によると「有線、無線その他の電磁的方式により、符号、音響又は映像を送り、伝え又は受けること」と定義されている。

図 11.51 に示すように、現場に設置された各種計測機器、各種計測器のデータを収録するデータ収録装置と、管理事務所等に置かれた計測管理用 PC 間で、計測データのやり取りをおこなうために、さまざまな通信手法が用いられている。

通信手法は「有線通信」と「無線通信」に大別されるが、現在の通信ネットワークでは有線・無線を組み合わせて構築される場合が多い。

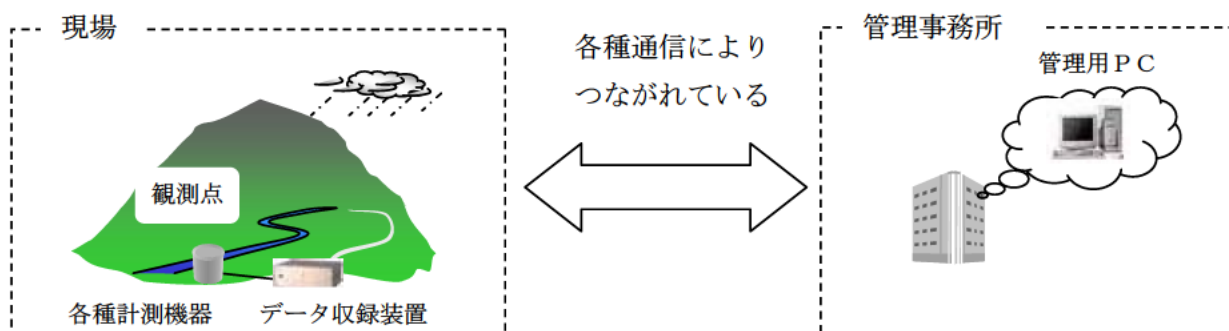


図 11.51 計測データ管理システムにおける通信イメージ

11.3.2 通信回線について

現場と事務所を通信する手段として、図 11.52 に示すように私設線、公衆網、専用線がある。

私設線では、有線（メタルケーブル、光ファイバ等）や無線（特小無線、無線 LAN 等）を利用して、現場と事務所をつないでいる。通信には RS232 や RS485 などの通信規格や各社独自の通信規格が使われている。

公衆網では、電気通信事業者がおこなっているサービスを利用して、現場と事務所をつないでいる。公衆網には、一般電話回線、携帯電話、衛星電話等があり、一般電話回線ではモデムを介してアナログ通信がおこなわれている。また、携帯電話や衛星電話等ではデジタル通信（パケット通信）がおこなわれている。

専用線では、電気通信事業者の設備を専用で使うことで、現場と事務所をつないでいる。専用線にすることで、公衆線よりも大量のデータを通信することができる。

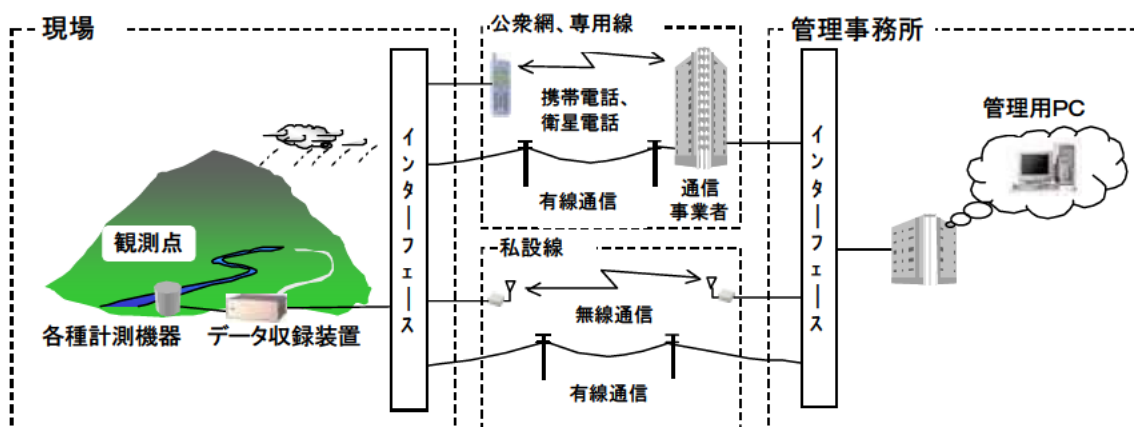


図 11.52 現場と管理事務所をつなぐ通信回線のイメージ

11.3.3 通信手法

計測データ管理システムにおいては、各種計測機器のデータをデータ収録装置に接続してデータを管理する集中型と、計測機器毎にデータ収録装置と通信器を一体型にしてデータを管理する分散型とがある。

集中型においては、例えば、都市土木などのように計測箇所が集中している場合によく使われる。図 11.53 のように、多数の計測機器とデータ収録装置を有線（メタルケーブル等）でつないで、データ収録装置から先を、各種通信回線を利用して管理事務所とつないでいる。

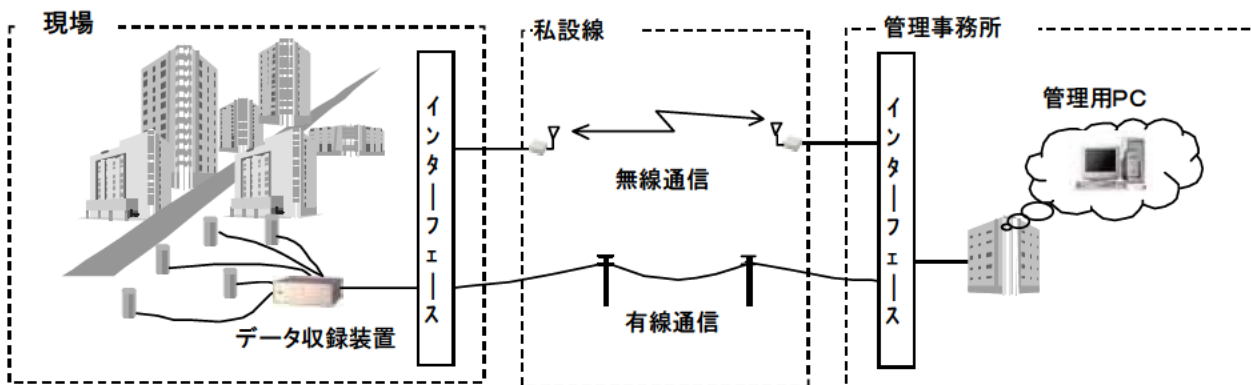


図 11.53 集中型計測データ管理システムのイメージ

一方、分散型においては、例えば、地すべり観測などのように、計測箇所が分散している場合によく使われる。図 11.54 のように、数台の計測機器、データ収録装置、通信機（携帯電話、衛星電話、特小無線、地中通信等）を各測定箇所に設置し、各種通信回線を利用して現場事務所とつないでいる。

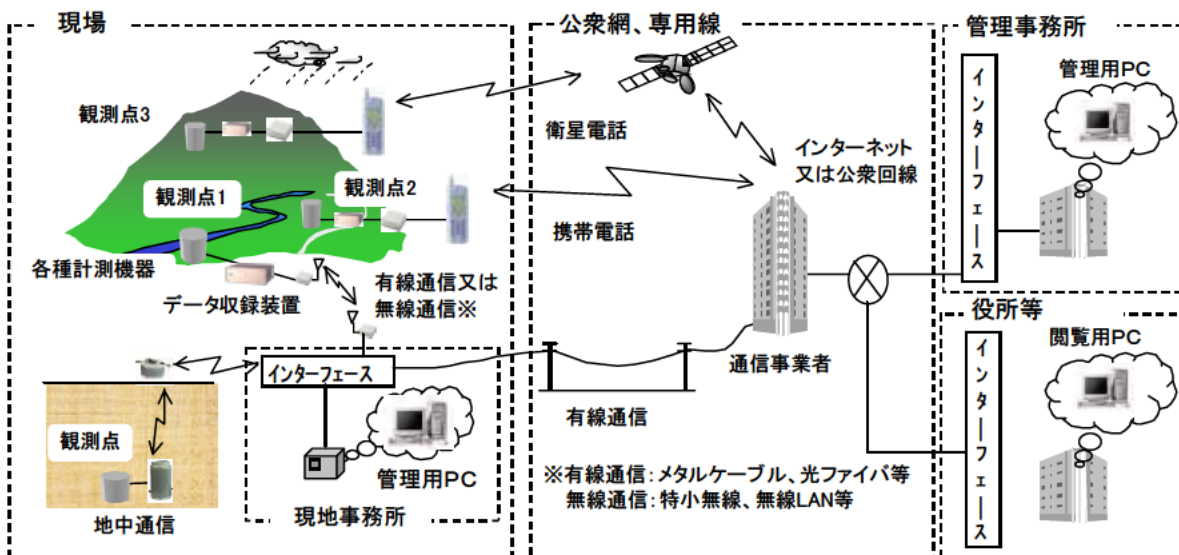
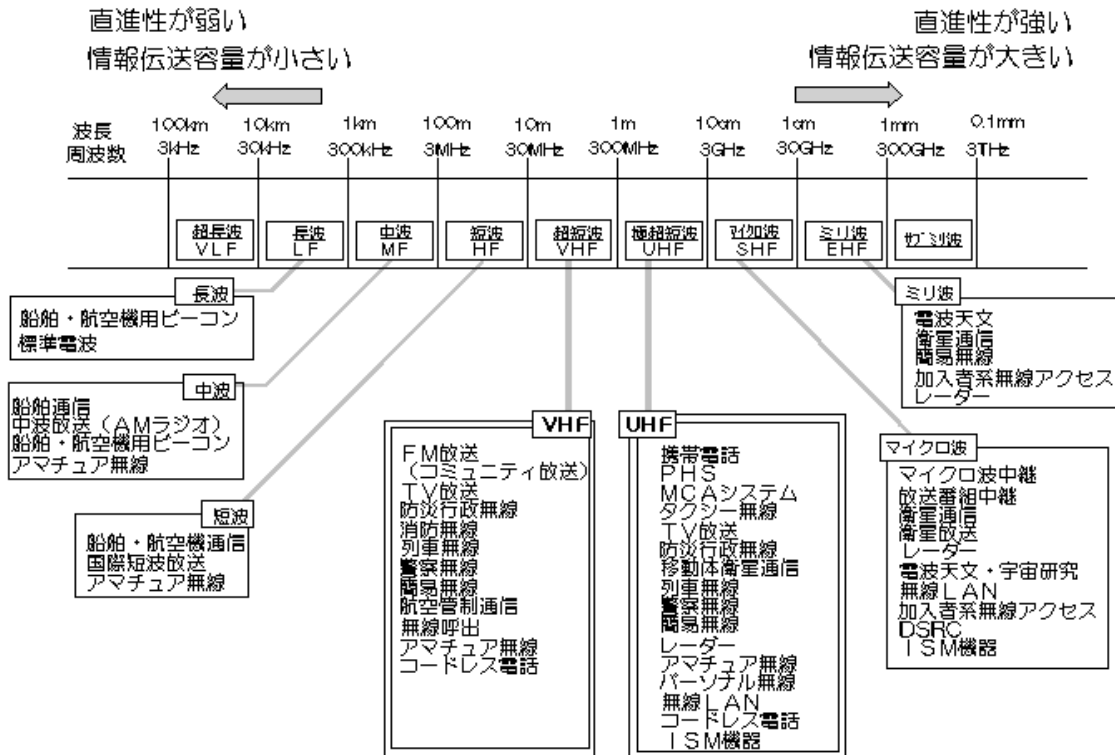


図 11.54 分散型計測データ管理システムのイメージ

11.3.4 国内での無線通信周波数の規格

電波は、各周波数帯ごとにその特性に応じた利用がなされている。また、歴史的には、まず低い周波数帯が利用され、技術の向上及び社会・経済の発展と歩調を合わせたニーズの増大に伴い、次第に高い周波数帯の実用化が図られてきた。

図 11.55 は、各周波数帯ごとの電波利用状況を表したものである。



1,000Hz = 1kHz、1,000kHz = 1MHz、1,000MHz = 1GHz、1,000GHz = 1THz

図 11.55 各周波数帯ごとの電波利用状況

(1) 超長波 (VLF : Very Low Frequency 3kHz ~ 30kHz)

超長波は 10 ~ 100km の非常に長い波長を持ち、地表面に沿って伝わり低い山をも越えることができる。また、水中でも伝わるため、海底探査にも応用できる。

(2) 長波 (LF : Low Frequency 30kHz ~ 300kHz)

長波の波長は 1 ~ 10km で、非常に遠くまで伝わるることができる。1930 年頃までは電信用として利用されていたが、大規模なアンテナと送信設備が必要な欠点があり、また短波通信が発展したことにより、電信用にはあまり用いられなくなった。

長波の一部はヨーロッパやアフリカ等でラジオ放送に使われている。日本では無線航行用のロラン C¹ 局や、船舶・航空機航行用ビーコン²、及び電波時計などに、時間と周波数標準を知らせるための標準周波数局用として利用されている。

(3) 中波 (MF : Medium Frequency 300kHz ~ 3MHz)

中波の波長は 100 ~ 1,000m で、約 100km の高度に形成される電離層の E 層³に反射して伝わるることができる。

電波の伝わり方が安定していて遠距離まで届くことから、主にラジオ放送用として利用されている。送信機や送信アンテナは大規模なものが必要だが、受信機は簡単なもので済む利点がある。

(4) 短波 (HF : High Frequency 3MHz ~ 30MHz)

短波の波長は 10 ~ 100m で、約 200 ~ 400km の高度に形成される電離層の F 層³に反射して、地表との反射を繰り返しながら地球の裏側まで伝わっていくことができる。

長距離の通信が簡単に行えることから、現在でも、遠洋の船舶通信、国際線航空機用の通信、国際放送及びアマチュア無線に広く利用され、今後も需要が続く見込みである。

(5) 超短波 (VHF : Very High Frequency 30MHz ~ 300MHz)

超短波の波長は 1 ~ 10m で、直進性があり、電離層で反射しにくい性質もあり、山や建物の陰にもある程度回り込んで伝わるることができる。

短波に比べて多くの情報を伝えることが出来るため、アナログ TV 放送や FM 放送の放送メディアを中心に、多種多様な移動通信に幅広く利用されている。

超短波のアナログ TV 放送が 2011 年に終了した後の空き周波数帯は、地上デジタル音声放送⁴、移動通信等に関する今後の利用ニーズを踏まえ、2011 年以降に新規需要へ割り当てられる予定である。

(6) 極超短波 (UHF : Ultra High Frequency 300MHz ~ 3GHz)

極超短波の波長は 10cm ~ 1m で、超短波に比べて直進性が更に強くなるが、多少の山や建物の陰には回り込んで伝わることもできる。

伝送できる情報量が大きく、小型のアンテナと送受信設備で通信できることから、携帯電話を初めとした多種多様な移動通信システムを中心に、空港監視レーダーや電子レンジ等に幅広く利用されている。最近では、電子タグ⁵への応用が期待されている。

なお、アナログ TV 放送では超短波のほかに、この極超短波も利用しているが、デジタル TV 放送では、この極超短波のみを利用している。

極超短波のアナログ TV 放送が 2011 年に終了した後の空き周波数帯は、2012 年以降に移動通信システム等に利用される予定である。

(7) マイクロ波 (SHF : Super High Frequency 3GHz ~ 30GHz)

マイクロ波の波長は1~10cmで、直進性が強い性質を持つため、特定の方向に向けて発射するのに適している。

伝送できる情報量が非常に大きいことから、主に電話局間や放送の送信所間を結ぶ固定の中継回線、衛星通信、衛星放送や無線LANに利用されている。この帯域は無線LANやFWA⁶などの無線アクセスシステム、次世代移动通信システムなどの移动通信システムへの需要が大きいことから、一部の周波数利用について見直しを行い、移动通信システムへの需要に応え、ワイヤレスブロードバンドを推進するための「電波開放戦略」が進行中である。

この他、レーダーもマイクロ波の直進性を活用した利用システムのひとつで、気象レーダーや船舶用レーダー等に利用されている。

(8) ミリ波 (EHF : Extra High Frequency 30GHz ~ 300GHz)

ミリ波の波長は1mm~10mmと非常に短く、マイクロ波と同様に強い直進性があり、非常に大きな情報量を伝送することができるが、悪天候時には雨や霧による影響を強く受けてあまり遠くへ伝わることができない。

このため、比較的短距離の無線アクセス通信や画像伝送システム、簡易無線、自動車衝突防止レーダー等に利用されている他、電波望遠鏡による天文観測が行われている。

なお、低い周波数帯と比較してあまり利用が進んでいないことから、大容量・長距離の伝送を可能とする技術や無線装置の小型化・低価格化等、利用促進に向けた技術の研究開発が行われているところである。

(9) サブミリ波 (300GHz ~ 3THz)

サブミリ波の波長は0.1mm~1mmで、光に近い性質を持った電波である。

現在の技術では巨大な無線設備が必要で、また水蒸気による吸収が大きいという性質があるため、通信用としてはほとんど利用されていないが、一方では、ミリ波と同様に電波望遠鏡による天文観測が行われている。

この周波数帯についても、無線通信技術の発達による今後の利用拡大が期待されている。

(参考資料)

総務省 電波利用ホームページ / 平成19年3月

<http://www.tele.soumu.go.jp/search/myuse/summary.htm>

11.3.5 無線通信の種類

(1) 通信距離による分類

図 11.56 の通信距離に応じて、主な無線通信の種類を分類すると表 11.39 のようになる。

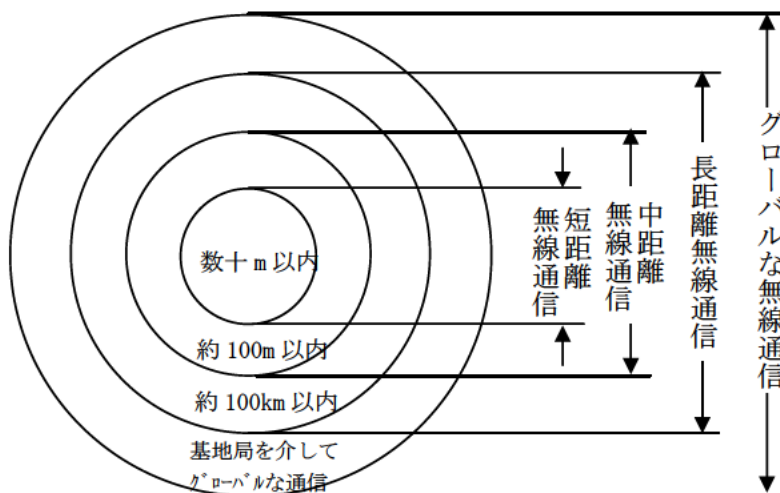


図 11.56 通信距離

表 11.39 通信距離による分類

通信距離	分類	例
数十 m 以内	短距離無線通信	BAN (Body Area Network) ^{※7} <ul style="list-style-type: none"> ・微弱無線 ・特定小電力無線 ・RFID (Radio Frequency Identification) ・DSRC (Dedicated Short Range Communication) ・NFC (Near Field Communication)
		無線 PAN (Personal Area Network) ^{※8} <ul style="list-style-type: none"> ・ZigBee ・Bluetooth ・UWB (Ultra Wide Band)
約 100m 以内	中距離無線通信	<ul style="list-style-type: none"> ・無線 LAN (Local Area Network) ・特定小電力無線 (SS 無線)
約 100km 以内	長距離無線通信	無線 MAN (Metropolitan Area Network)
基地局を介してグローバルな通信が可能	グローバルな無線通信	<ul style="list-style-type: none"> ・携帯端末 ・無線 WAN (Wide Area Network) ・衛星通信

(2) 短距離無線通信

短距離無線通信には非接触 IC カードと非接触センサの間で簡易通信を行なうものから、ワイヤレスネットワークに利用できる高機能のものまである。前者では、特定小電力無線、微弱無線、JR 東日本の Suica や JR 西日本の ICOCA などに用いられている NFC(Near Field Communication)、RFID(Radio Frequency Identification)、高速道路交通システムの自動料金徴収(ETC)に用いられる DSRC(Dedicated Short Range Communication)が代表的である。後者は無線 PAN(Personal Area Network)と呼ばれる ZigBee、Bluetooth、UWB(Ultra Wide Band)などがある。

使用周波数帯は NFC が 13.56MHz、DSRC が 5.8GHz で、無線タグや IC タグと呼ばれる RFID は用途によって 135kHz、13.56MHz、900MHz、2.4GHz が使用されている。ZigBee と Bluetooth の使用周波数帯は 2.4GHz で UWB の高速版が SHF 帯の 3.1~10.6GHz、低速版が 2.4GHz および SHF 帯の 3.1~10.6GHz となっている。

(3) 中距離無線通信

無線 LAN は設置条件により屋内用と屋外用がある。また、使用周波数帯は 2.4GHz と 5GHz が割当てられている。

特定小電力無線は空中線電力 10mW (アンテナ交換は不可)まで使用できる。スペクトル拡散技術により混信に強く、数 100m の通信距離が可能な製品もある。

(4) 長距離無線通信

無線 MAN(Metropolitan Area Network)は使用周波数帯が 2.5GHz、3.5GHz、5.8GHz で固定局と移動体(時速 120km 以下)で規格が定められている。通信距離は固定局で約 300m~100km、移動体で約 300m~3km になる。

(5) グローバルな無線通信

携帯電話網が代表的で使用周波数帯は 500MHz、800MHz、1.5GHz が使用されている。

11.3.6 データ通信に使用できる無線方式の紹介

アンカー荷重計のデータ通信に使用できる無線方式は表 11.40 のようになる。

表 11.40 データ通信に使用できる無線方式

方式名称	通信距離	伝送速度	利用周波数帯域	消費電力 (通信/待機)
微弱無線	30m	2kbps	300MHz 帯	66mW/3.3mW
特定小電力無線	30 ~ 300m	2.4kbps	429MHz	50mW/0.3mW
ZigBee	10 ~ 75m	250kbps	2.4GHz (868MHz) (915MHz)	<60mW (通信)
Bluetooth	10m(1mW 出力) 100m(100mW 出力)	1Mbps	2.4GHz	1mW 出力時 120mW/4.2mW
UWB(低速)	10 ~ 30m	数 10kbps ~ 10Mbps	2.4GHz (868MHz) (915MHz) 3.1 ~ 10.6GHz	6.2mW (通信)
UWB(高速)	10m(110Mbps) 4m(200Mbps)	480Mbps 最大 1.03Gbps	3.1 ~ 10.6GHz	<100mW (通信)
超長波通信	100m(地・空中)	75bps	30kHz 以下	電池による長期動作可

(1) 微弱無線

弱無線は発射する電波が著しく微弱なため、免許および登録を要しない無線局として運用が許可されている。周波数帯は主に超短波帯(VHF)を利用する。短波帯はアンテナが高くなり、UHF 帯は電界強度の許容度が低くなるため、専ら VHF 帯の 300 ~ 320MHz が利用される。狭いエリアでの無線伝達、例えば微弱型コードレス電話、ワイヤレスマイク、非常警報送信機、自動ドア送信機、リモコンなどに広く利用されている。

(2) 特定小電力無線

微弱無線よりも大きな空中線電力 10mW(一部のシステムでは 1mW 以下)まで使用できる。特定小電力無線には以下の特徴がある。

- ・免許や資格、通信費や電波利用料が不要
- ・送信出力は最大 10mW でアンテナ交換は不可
- ・充電電池や乾電池での使用が可能
- ・VHF 帯の電波を使用すると雨中でも利用可能

(3) ZigBee

ホームオートメーション、ビルオートメーション、ファクトリオートメーションへの応用を狙いとして 2001 年以降に標準化が進展した無線通信規格である。ユビキタスシステム普及への期待が盛り上がり、センサネットワークとして利用される可能性が高まり、2004 年初頭から急速に注目を集めるようになった。Bluetooth よりも低速(約 1/3)ながら、低価格、低消費電力、多数の無線機の接続が可能、設置が容易という点でセンサネットワークの要求に合致している。

(4) Bluetooth

Bluetooth は、10m の距離で 1Mbps の通信速度を実現する無線通信技術であり、1990 年代前半に研究が進められ、2005 年末にはマイクロソフトや IBM など 3000 社以上が業界団体に参加している。

(5) UWB(Ultra Wide Band)

UWB は超広帯域無線と訳され、周波数帯はマイクロ波帯(3GHz ~ 30GHz)を使用し、短距離ながら 100Mbps 以上の高速な通信が可能である。しかし、商用化に当っては超広帯域の回路と超広帯域のアンテナなど技術的な開発が求められている。

(6) 超長波通信

超長波(3kHz ~ 30kHz)は地中、水中、海中、空気中のいずれにおいても電波が伝わる特長を持っており、地中でも 100m 程度の通信距離が実現できるため、地中通信等に利用されている。

用語解説

1 ロラン C 局

ロラン(LORAN)は、船舶・航空機が洋上などで電波を用いて位置を知るための手法。用いる電波によってロラン A (中波を使用)、ロラン C (長波を使用、広範囲)等に分類される。ロラン C の精度は 30 ~ 300m ほどである。

2 航行用ビーコン

地上から電磁波を放射し、航空機・船舶・自動車等の移動体に搭載された機器で受信することにより、自分の位置を始めとした各種情報を取得するための設備。

3 電離層 E 層、F 層

地球を取り巻く大気の上層部にある分子や原子が、太陽光線やエックス線等の宇宙線により電離した領域。電離層は高度 80km から 500km の間に位置し、電子密度の違いによって、下から順に D 層 (80km)、E 層 (100 ~ 120km)、F1 層 (170 ~ 230km)、F2 層 (200 ~ 500km) の 4 つに分けられる。上の層に行くほど宇宙線は強く、多くの電離が生じるため電子密度が高い。

4 地上デジタル音声放送

地上デジタル音声放送は、日本の地上デジタルテレビジョン放送の移動体向け放送(いわゆる“ワンセグ”)と共通した方式で、この方式に対応したラジオ受信機でデジタルテレビの移動体向け放送を受信することができるであろうとされている。テレビが 13 セグメントで UHF 帯を使用するのに対して、ラジオでは 3 または 1 セグメントを一単位として利用し、VHF 帯を使用する。

5 電子タグ (IC タグ)

IC タグとは、小型の情報チップのひとつ。RFID(Radio frequency identification の略)の一種である。IC タグリーダーから放射される電波によって微量な電力が回路内に発生し、その電力で情報を処理し、リーダーに送信する。大抵の場合、使用できる電波出力の関係などから、IC タグと IC タグリーダーを近づける必要はあるが、必ずしも接触する必要はない。

商品に IC タグをつけておくことで、生産者や流通経路を記録することもでき、物流管理への貢献が期待されている。

6 FWA (Fixed Wireless Access)

FWA は信号を伝えるケーブルの代わりに無線 (電波) を使うデータ通信サービスの総称。無線アクセスシステム。GHz 帯を使うものが多い。

日本国内においては、無線 LAN とは異なり、無線局免許に基づく基地局からの、比較的高出力の空中線電力により、主に屋外等の比較的広い範囲をカバーするものである。制度的には無線 LAN の屋外等への利用開放（4.9～5.0GHz 帯）に関する物もある。

7 BAN(Body Area Network)

手を伸ばせば触れることのできる極めて身体に近い領域内での無線通信技術。ボディアクセスネットワーク(BAN)と呼ばれる場合は人の身体を通信の信号経路として利用する。

8 無線 PAN(Personal Area Network)

人間一人が自分の直接的な活動を示す範囲といわれる数十m四方をカバーする無線通信技術で、ZigBee、Bluetooth、UWB(Ultra Wide Band)などがある。

11.4 くさびセットロス量及び戻り変位量の把握

11.4.1 概要

荷重計設置時のリフトオフ試験方法及び荷重計設置方法の確立を目指し、アバットメントを用いたリフトオフ試験により「セットロス変位量」及び「戻り変位量」の把握を行った(表 11.41)。

表 11.41 試験目的及び検討内容

項目	内容	備考
セットロス変位量	初回緊張時、ジョイントスリーブへのくさびの噛み込みにより発生する「セットロス変位量」(残留変位量)の把握	VSL工法施工マニュアル: 6mm
戻り変位	荷重計へアンカー緊張力を移行させる際に行う油圧ジャッキの解放により発生する「戻り変位量」の把握 主に定着ナットの締付け程度に起因する	

11.4.2 試験方法

(1) セットロス変位量の把握

- 1) 目的 : 初回緊張時、ジョイントスリーブへのくさびの噛み込みにより発生する「セットロス変位量」(残留変位量)の把握
- 2) 実施システム : 500kN システム
- 3) 試験方法 : 模擬緊張用ジャッキにより PC 鋼より線を 450kN で緊張定着し、油圧ジャッキでジョイントスリーブを緊張した。
- 4) 試験ケース : 2 ケース (アバットメント、図 11.57)
くさびをゆるくセット
くさびをしっかりセット
定着ナット、荷重計試作品は設置しない
- 5) 荷重パターン : 1 パターン (多サイクル荷重)
0 100kN 0 200kN 0 300kN 0 400kN 0
500kN (リフトオフ) 0 500kN (リフトオフ) 0
- 6) 試験数 : 2
- 7) 計測項目 : 荷重 (ジャッキ荷重、モニター荷重計、模擬緊張用ジャッキ)
変位 (ジョイントスリーブ、PC 鋼より線などの各所)

(2) 戻り変位量の把握

- 1) 目的 : 荷重計への荷重定着の際に発生する油圧ジャッキ解放時の戻り変位量の把握
- 2) 実施システム : 500kN システム
- 4) 試験方法 : 模擬緊張用ジャッキにより PC 鋼より線を 400kN で緊張定着し、さらに油圧ジャッキで予備緊張を実施する。その後、油圧ジャッキでリフトオフさせ、最大荷重で荷重計へ荷重定着を行った。
- 3) 試験ケース : アバットメント (図 11.57)
 - 荷重計構造の違い . . . 3 ケース
 - a) アタッチメント無し荷重計
 - b) アタッチメント付き荷重計
 - c) 油圧式荷重計
 - 定着ナットの締付け程度 . . . 2 ケース
 - a) ゆる締め
 - b) きつ締め 手締めの感覚にて
- 5) 载荷パターン : 1 パターン
 - 0 400kN (リフトオフ) 450kN (最大荷重) 約 450kN (荷重計定着)
- 6) 試験数 : 6 (=荷重計 3 ケース×定着ナット締付け程度 2 ケース)
- 7) 計測項目 : 荷重 (油圧ジャッキ、荷重計試作品、模擬緊張用ジャッキ)
変位 (ジョイントスリーブ、PC 鋼より線などの各所)

11.4.3 使用資機材等の諸元

表 11.42 アバット試験の諸元

項目	値	備考
アンカー材	VSL E5-4 PC鋼より線 (12.7mm) ×4本	優先開発対象アンカー
アンカー定着荷重	セットロス試験 : 400kN 戻り変位試験 : 450kN	
アバットメント長さ	約5m	守谷鋼機 (株) 製
アンカー自由長	5.72m	アバットメント長さに支圧板の厚みや模擬緊張用ジャッキの長さなどを加算

表 11.43 PC鋼より線 (12.7mm × 4本) の諸元

項目	値	備考
アンカーの断面積 (A_s)	394.8mm ²	4本分
PC鋼より線の弾性係数 (E_s)	196 kN/mm ²	
PC鋼より線の強度	引張荷重 (T_{us}) : 732kN 降伏荷重 (T_{ys}) : 624kN	4本の合計

表 11.44 計測項目等の諸元

項 目	台数	規格等	センサー番号等
油圧ジャッキ	1	複動式油圧ジャッキ (500kN 用、ストローク50mm)	優先開発試作品の改良型
変位	4	SDP-100C (容量: 100mm) SDP-50C (容量: 50mm)	D1: ジョイントスリーブ D2: テンションナット D3: 定着ナット-ラムチェア間 D4: アバットメント(不動点)
荷重計試作品	3	優先開発試作品 (定格荷重 500kN)	東京測器研究所製 エスイー製 守谷鋼機製 を使用 S1: ひずみ測定 プレッシャーディスクは圧力変換器で計測
圧力計	2	PWH-70MPa (容量: 70MPa)	P1: 油圧ジャッキ P2: 擬似緊張用ジャッキ
擬 似 緊 張 用 ジャッキ	1	KKE-60 (山本扛重機製、スト ローク: 180mm、圧力: 678kg/cm ²)	
データロガー (静ひずみ測定 器)	1	TDS-530	

11.4.4 試験結果

(1) セットロス変位量の把握

くさびのセット状態

くさびのセット状態は、「ゆるくセット」と「しっかりセット」の2ケースを実施した。「ゆるくセット」では、くさびを手ではめ込む程度の状態とした。一方の「しっかりセット」では、くさびを叩いてはめ込んだ。

くさびのセット状態の評価については、ジョイントスリーブからのくさびの突出量を計測した(図 11.58)。それぞれのくさびのセット状態を写真 11.18 及び写真 11.19 に示す。

その結果、「ゆるくセット」では平均 4.6mm、「しっかりセット」では平均 1.4mm の突出量であった(表 11.45)。

なお、試験後のくさびの突出量については、緊張治具を外すと、くさびが緩んでしまったために計測ができなかった。しかしながら、「戻り変位量の把握」時において、油圧式荷重計の最大荷重時のくさびの食込み状態を確認することができた(写真 11.20)。

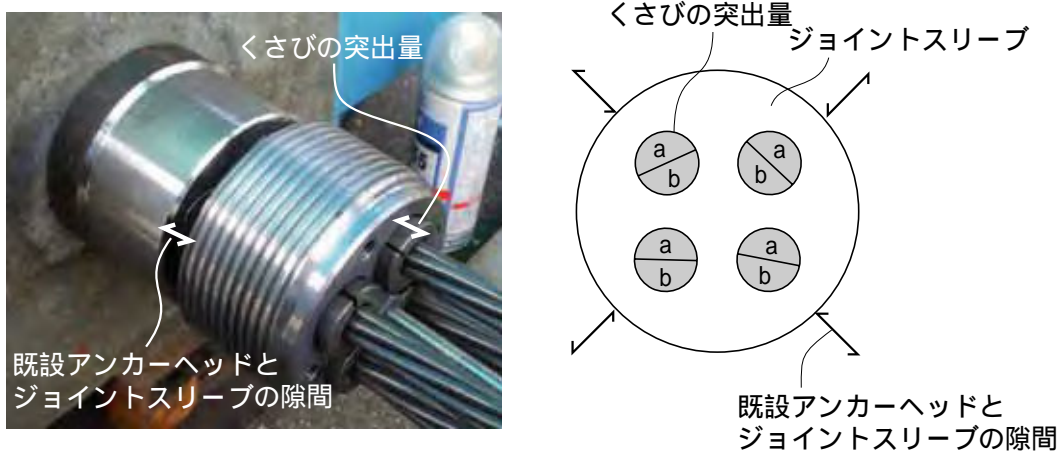


図 11.58 くさびのセット状態の測定位置



写真 11.18 ゆるくセットのくさび状態



写真 11.19 しっかりセットのくさび状態

表 11.45 くさびのセット状態

測定項目	測定位置	ゆるくセット		しっかりセット	
		セット時	試験後	セット時	試験後
クサビ突出量		a: 6.2 b: 5.8	- -	a: 1.4 b: 1.3	- -
		a: 4.1 b: 4.7	- -	a: 1.8 b: 1.4	- -
		a: 2.9 b: 3.7	- -	a: 1.7 b: 1.6	- -
		a: 4.8 b: 4.8	- -	a: 1.0 b: 0.9	- -
	平均	4.6	-	1.4	-
既設アンカーヘッドとジョイントスリーブの隙間		7.7	8.0	9.6	9.9
		8.0	7.3	9.1	9.4
		8.0	8.1	9.6	9.8
		8.0	7.3	9.2	9.5
	平均	7.9	7.7	9.4	9.7



写真 11.20 最大載荷時のくさび状態

試験結果

試験を行った結果について、図 11.59及び図 11.60にジョイントスリーブの変位と油圧ジャッキ荷重の関係を、図 11.61にくさびのセット状態の違いによるセットロス変位量の違いについて示す。なお、図 11.61には、この各サイクルで発生したセットロス変位量をまとめものを示す。

その結果、両ケースとも、載荷サイクルを重ねて最大荷重を増加させていくと、油圧ジャッキ荷重を除荷した時(0kN)に残留する変位量(セットロス変位量)が徐々に大きくなっているのが分かる。また、今回の試験では、500kNにおけるセットロス変位量は、「ゆるくセット」で約4.3mm、「しっかりセット」では約2.3mmとなり、その差が約2.0mmであった。すなわち、両ケースの結果を比較すると、各ケースの勾配は同程度であるが、Y軸切片の値に違いがあることが分かった。

したがって、500kNにおけるセットロス変位量の差(約2.0mm)については、最初の最大荷重100kNまでの間にその差が発生したといえる。その状況については、グラフの荷重100kN以下の勾配の違いとして読み取ることができる。そして、セットロス変位量は、くさびの遊び(初期のセット状態)により発生したものといえる。

なお、セットロス変位量の約2.0mmという差については、表 11.45に示した初期のくさびセット時の「ゆるくセット」と「しっかりセット」の差(3.2mm)より小さい値であった。しかしながら、くさびセットの程度の違いが、セットロス変位量の違いとなることを十分示している結果となった。

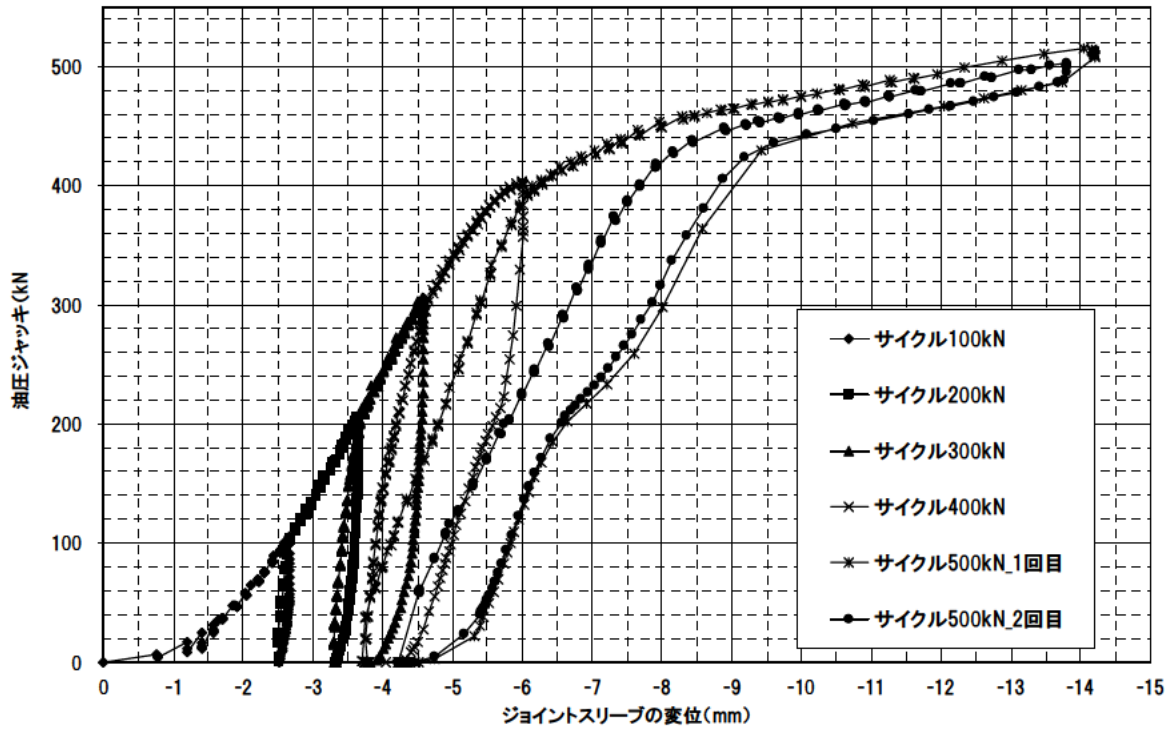


図 11.59 「ゆるくセット」の多サイクル載荷結果

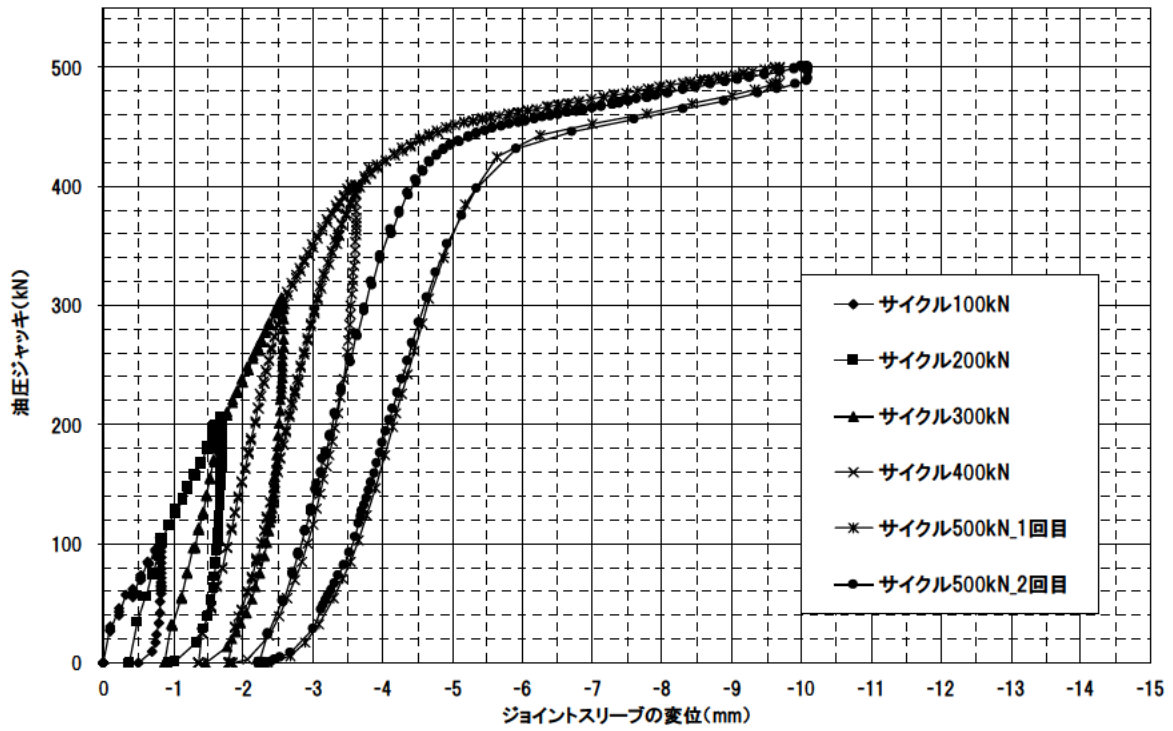


図 11.60 「しっかりセット」の多サイクル載荷結果

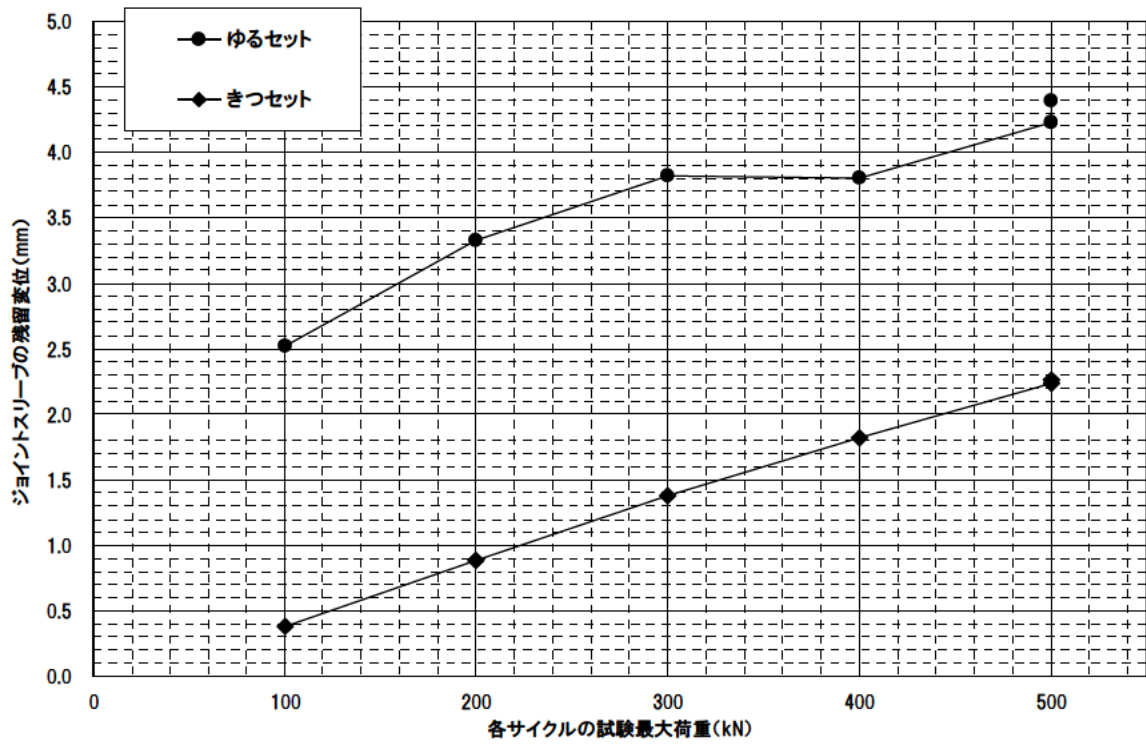


図 11.61 くさびのセット状態の違いによるセットロス変位量

(2) 戻り変位量の把握

载荷サイクル

緊張ステップは以下の通りで、試験結果のグラフはその順番に凡例を示している。

なお、アタッチメント付き荷重計の予備緊張は、先に行った実験によって十分に予備緊張されていると判断したため実施していない。

予備緊張

- 「ゆる締め」ケース リフトオフ
- 「ゆる締め」ケース 荷重計定着
- 「ゆる締め」ケース 荷重計取外し
- 「きつ締め」ケース リフトオフ
- 「きつ締め」ケース 荷重計定着
- 「きつ締め」ケース 荷重計取外し

試験結果

図 11.62～図 11.64にジョイントスリーブの変位とジャッキ荷重の関係を示す。なお、グラフ中の凡例「ゆる締め_荷重計定着」のプロットデータにおける変位量が、戻り変位量を捉えた計測値である。

その結果、どの荷重計に対しても荷重計定着時における戻り変位は0.5～1.0mm程度であることが分かった。

なお、表 11.46のアタッチメント付き荷重計で「きつ締め」時の戻り変位が大きくなっているが、プロットの傾向を見ると異常値と判断される。原因は、定着ナットが正確に締付けられていなかったため、または緊張治具同士や緊張治具と荷重計の接触によるものと考えられる。

表 11.46 戻り変位量の結果

試験ケース		戻り変位量	備考
アタッチメント無し荷重計	ゆる締め	0.48mm	
	きつ締め	0.29mm	
アタッチメント付き荷重計	ゆる締め	0.59mm	
	きつ締め	3.59mm	異常値(対象外)
油圧式荷重計	ゆる締め	0.83mm	
	きつ締め	0.65mm	

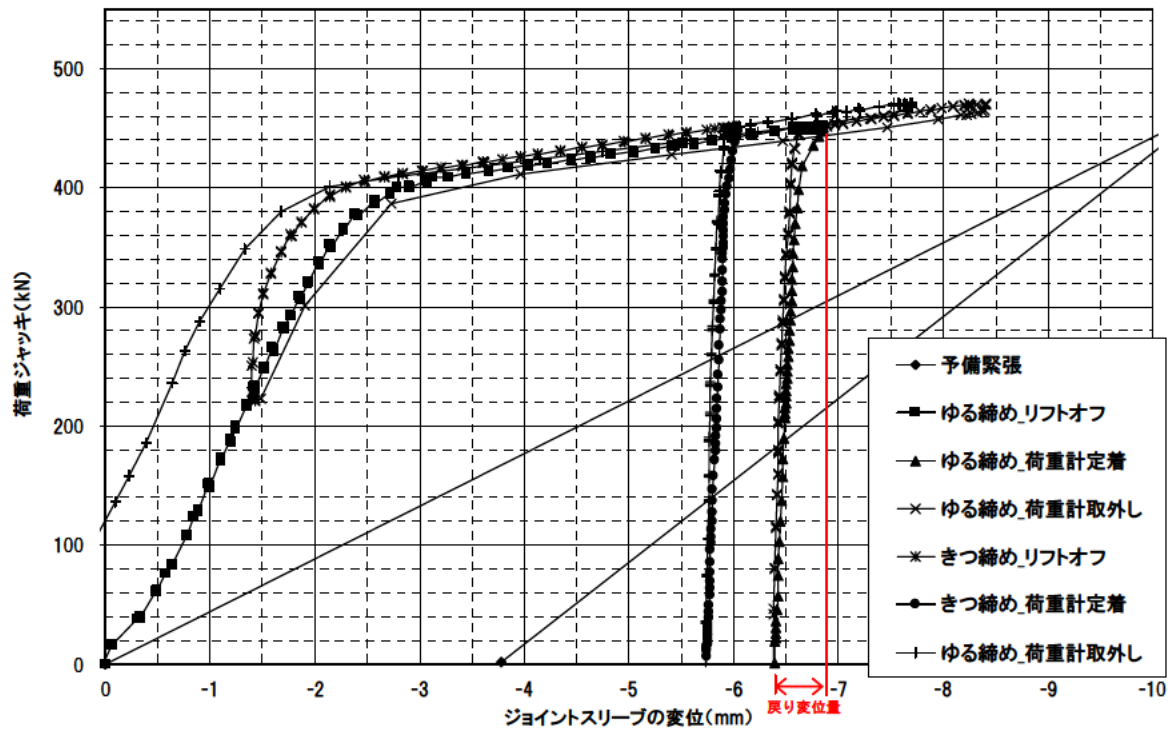


図 11.62 アタッチメント無し荷重計の定着時戻り変位

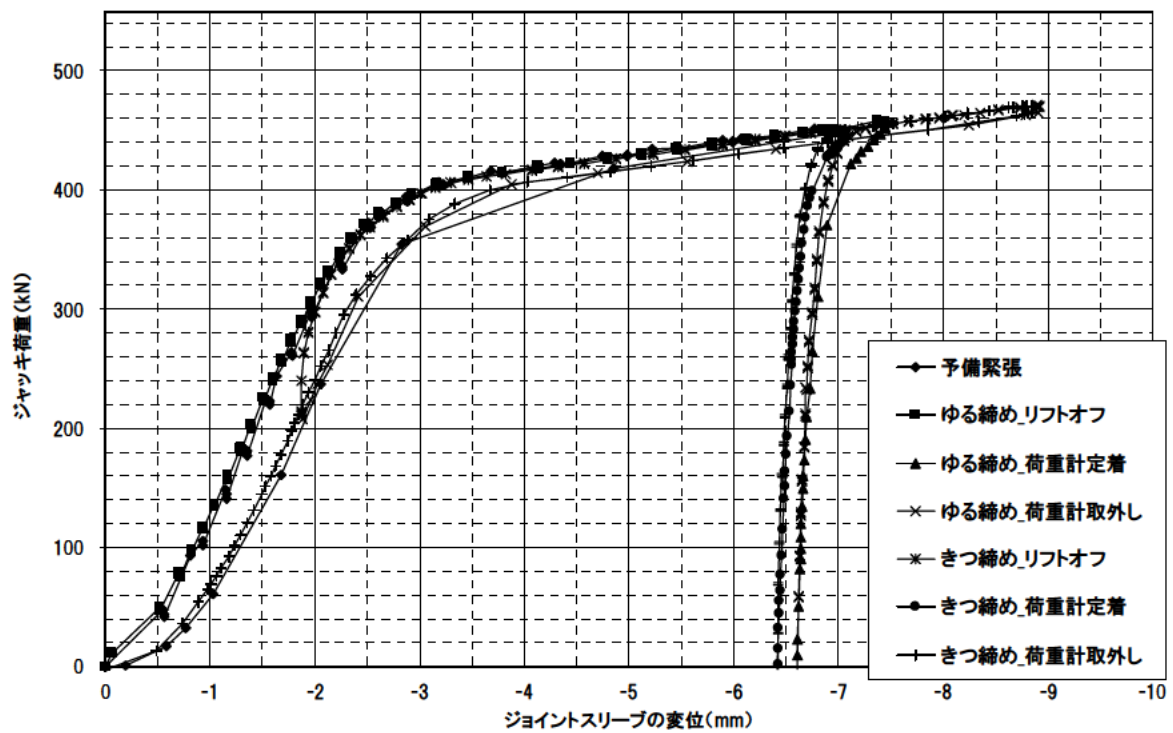


図 11.63 アタッチメント付き荷重計の定着時戻り変位

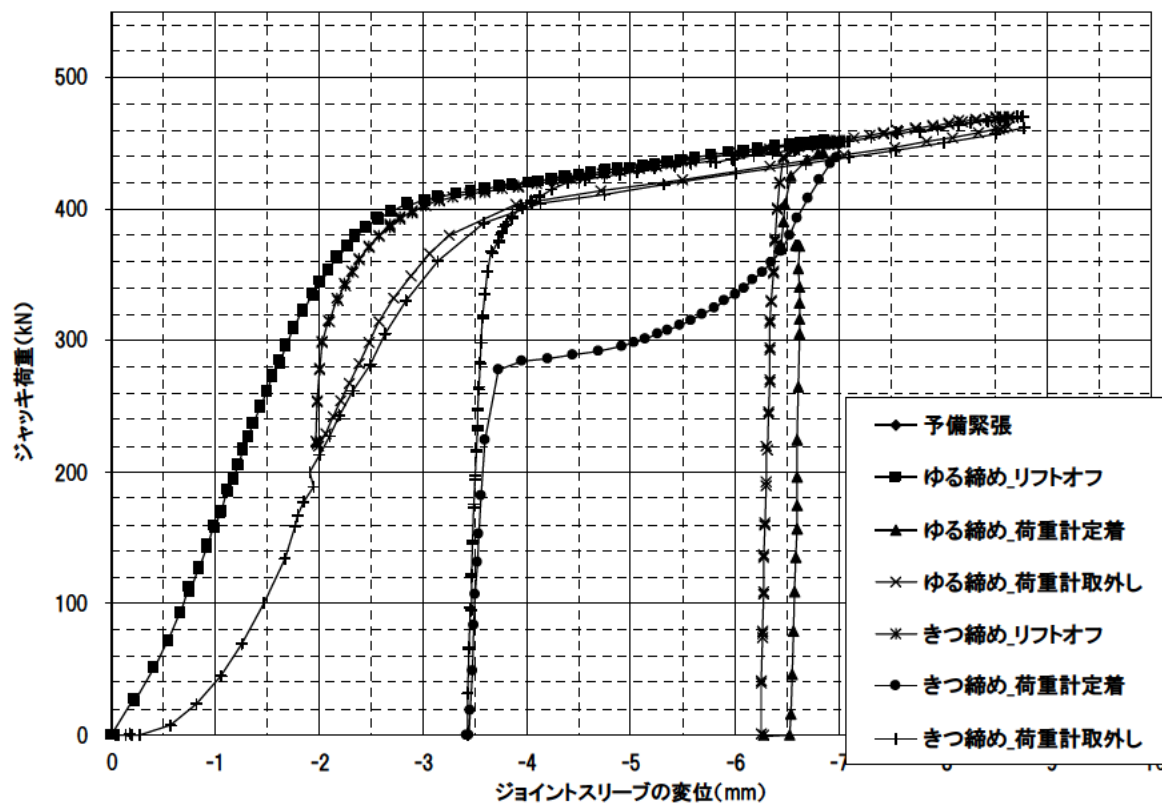


図 11.64 油圧式荷重計の定着時戻り変位

11.4.5 考察

(1) リフトオフ試験の初回緊張時におけるセットロス発生への対処

くさびのセットロス変位量は最大緊張力に比例して大きくなることが分かった。また、初期のくさびのセット状態によっても変化し、くさびをゆるくセットした場合は、セットロスが大きくなる傾向があった。

そのため、ジョイントスリーブへのくさびのセットは、くさびセットの遊びによるセットロスを小さくするため、極力しっかりと挿入することが望ましい。また、初回緊張時に、くさびのPC鋼より線への噛み込みによるセットロスが発生するため、これを取り除くためにリフトオフ試験前に予備緊張を行い緊張治具を調整することが望ましい。予備緊張では、リフトオフ試験と同様の計測を行い、アンカーの安全性を確認しながら計画最大荷重まで載荷する。その後、除荷して荷重をもとの状態に戻し、緊張治具を調整し2回目を本番のリフトオフ試験として実施し、このデータをもとにリフトオフ荷重を求める方法が良いと考える。

(2) 戻り変位量への対処

荷重計定着による戻り変位は、適切に荷重計と定着ナットを締付ければ1mm以内に収まること分かった。

しかしながら、優先開発の現場実証試験では、戻り変位量が平均2.8mm（最小0.5mm、最大4.0mm）であった。これらのうち、戻り変位が大きかった荷重計については、荷重計をセンタリングさせるために入れた間詰め材が、荷重計と支圧板の間に挟まり、それが荷重計を定着する際に大きな戻り変位として計測された可能性がある。または、緊張治具と荷重計のセンタリングが良くなく多少のガタツキを持っていたため、それが荷重計定着時の戻り変位として現れた可能性があった。

したがって、定着ナットをしっかりと締付けることのほかに、荷重計のセンタリング用の間詰め材を適切に配置して支圧板と荷重計の間に挟まらないようにすること、また緊張治具と荷重計のセンタリングをしっかりと行ってガタツキを無くすことが戻り変位を抑制する対策と考える。

(3) 荷重計定着に必要なリフトアップ量

荷重計定着に際し、セットロス変位は予備負荷等でほぼ零にすることが可能である。一方戻り変位については、定着ナットを十分締め付けることで約1mm程度にすることが可能であることが解った。

以上のことから、荷重計を定着させるためのリフトアップ量（リフトオフ後のリフトオフ変位）は、荷重計のセンタリング等が適切に実施されていることを条件とし、緊張治具や荷重計のなじみ及び荷重計定着の確実性を見込んで3mm以上とすることが良いと判断する。

なお、アンカーの自由長やPC鋼より線の本数、また許容されるリフトオフ後の緊張力増加量

によっては、リフトアップ量を3mmとすることが困難な場合もある。その場合は、リフトアップ量を3mm以下で荷重計定着させた後、定着した荷重計に対するリフトオフ試験（チェックリフトオフ試験）を実施し、荷重計へのアンカー緊張力の移行状態を確認しながら設置することも可能と考えられる。

（４）定着した荷重計に作用するアンカー緊張力の確認

荷重計定着を行う際、若干ではあるが戻り変位によってアンカー緊張力が低下する。そのため、ジャッキ荷重として計測していたアンカー緊張力と同じ緊張力が荷重計に作用するとは限らない。原理的には、若干ではあるが荷重計に作用するアンカー緊張力のほうが小さくなると考えられる。

そこで、荷重計定着したアンカーに対して再度リフトオフ試験（チェックリフトオフ試験）を実施し、既設アンカーヘッドの変位とジャッキ荷重の関係、及び荷重計の計測値の変化から、荷重計に作用していたアンカー緊張力を確認することが良いと思われる。

(5) リフトオフ試験及び荷重計定着作業の手順(案)

上述したことをまとめ、リフトオフ試験及び荷重計定着作業の手順(案)を以下に示す。

表 11.47 リフトオフ試験及び荷重計定着作業の手順(案)

手順	説明	注意事項
緊張治具のセット	テンションスリーブ等を既設アンカーに取付け、リフトオフ試験が実施できる準備をする。	テンションスリーブにくさびをセットする際は、ガタツキが無いようにしっかりと挿入する。
予備緊張の実施	くさびのセットロスを取り除くため、計画最大荷重まで予備緊張を行い、緊張治具を調整する。	計測をしながら実施する。最大荷重は計画最大荷重までとするが、測定値により適宜変更する。
リフトオフ試験の実施	密に計測を行いながら、リフトオフ試験を実施する。	計測は、なるべく細かく実施することが望ましい。また、予備緊張で概略のリフトオフ荷重が求められた場合は、その付近の計測を密に行う。
荷重計定着前、3mmのリフトアップ	リフトオフ後の変位が3mm以上となるまで緊張する。	3mm以上のリフトアップが困難な場合、最大計画荷重等を考慮して可能な範囲までとする。
荷重計定着	定着ナットを締付けて荷重計に当接させ、ジャッキを除荷して荷重計定着を行う。	センタリング用の間詰め材が支圧板と荷重計の間に挟まれないように注意する。緊張治具と荷重計のセンタリングをしっかりと行う。定着ナットをしっかりと締付け、荷重計とのガタが無いようにする。
定着荷重確認のチェックリフトオフ試験	荷重計定着後、再度リフトオフ試験を実施する。アンカーヘッドの変位とジャッキ荷重、及び荷重計の計測値から荷重計に移行されているアンカー緊張力を求める。	通常のリフトオフグラフ(変位 - ジャッキ荷重)から読み取るリフトオフ荷重のほかに荷重計の計測値を加え、3データの関係から荷重計に移行されたアンカー緊張力を求める。
緊張治具の取外し	存置される治具以外を外す。	

11.5 ジョイントスリーブの取外し方法の検討

11.5.1 試験概要

アンカーの再緊張余長に取付けられているジョイントスリーブを専用の取外し治具で取り外す方法を確立することを目的とした。

11.5.2 試験方法

(1) 手順

アバットメントにPC鋼より線×7本（E5-7）をセットし、アンカーヘッドにて緊張定着を行う。その後、ジョイントスリーブを取付け、テンションスリーブとテンションロッドを介してジョイントスリーブを緊張した。緊張力は770kNとし、一晚、緊張力を保持した。

試験当日、緊張力を解放し、荷重計を取外した後にジョイントスリーブを取外す段階を模した状態にした。そして、ジョイントスリーブから突出している再緊張余長部に取外し治具（写真 11.21）を取付け、ジョイントスリーブの取外しを行った。

(2) 取外し治具の構造及び機構

取外し治具の構造を図 11.65に示す。取外し治具は、ジョイントスリーブに取付ける「取外しナット」と、再緊張余長に取付ける「反力スリーブ」、「反力ナット」、「メッキナット」からなる。

ジョイントスリーブの取外しは、反力ナットを螺進させることによって取外しナット及びジョイントスリーブに取外し力を与えることで行った。



写真 11.21 取外し治具（E5-7用）



写真 11.22 取外し治具 (E5-4 用)

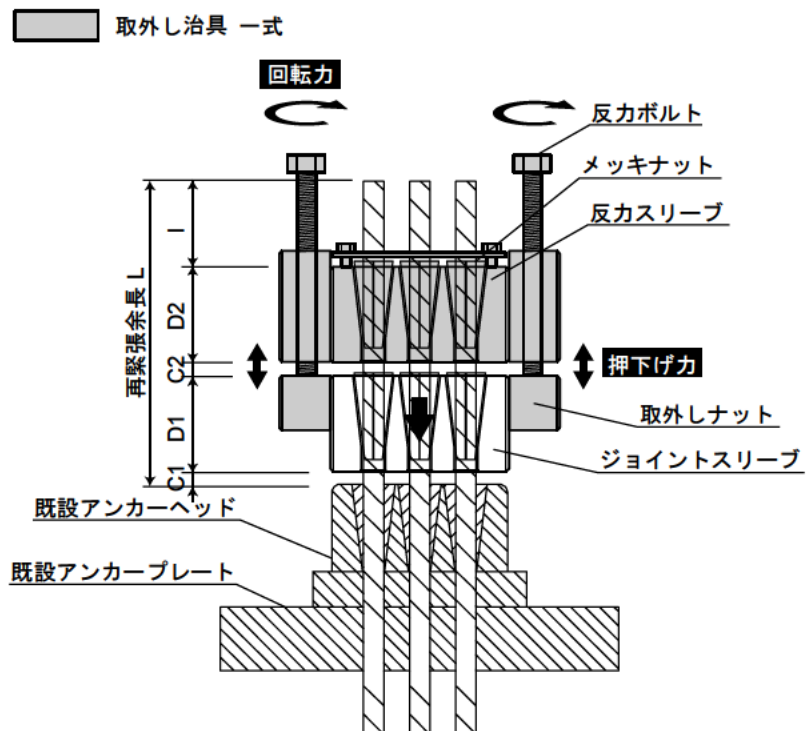


図 11.65 取外し治具の構造及び取外し方法

11.5.3 試験結果

(1) 概要

試験の結果、E5-7にてジョイントスリーブを取外すことができた。ジョイントスリーブを外す力は、取外し治具に取付けたボルトの締付け力に反映されるが、ラチェットで人力で締付けられる程度であった。ジョイントスリーブが外れる寸前まで、静的に取外し力を与えていたが、ある程度までジョイントスリーブに取外し力を与えた後、軽くジョイントスリーブを打撃することで、よりスムーズに取外しができるものと推測された。

また、今回の試験ではE5-7で確認を行ったが、PC鋼より線の本数が少ないE5-4では、より取外し力は小さく、簡単にジョイントスリーブの取外しが行えるものとする。

(2) 取外し状況

試験時の取外し状況を、写真 11.23～写真 11.32に示す。



写真 11.23 ジョイントスリーブの取付け状況



写真 11.24 ジョイントスリーブのくさび



写真 11.25 取外しナットの取付け



写真 11.26 反カスリーブの取付け



写真 11.27 反力ボルトの締付け



写真 11.28 ジョイントスリーブ取外し完了



写真 11.29 ジョイントスリーブ取外し完了



写真 11.30 取外し後のくさび状況



写真 11.31 取外し後のくさび状況



写真 11.32 くさびが把持した位置

(3) 考察

実験を通じ、考察されたことを下記に示す。

- ・ジョイントスリーブのくさびを解放させるため、取外し治具（反力スリーブ）とジョイントプレートの間隙を開けておく必要がある。
- ・反力ボルトをある程度以上締付けて取外しナットに取外し力を与えるとジョイントスリーブは外れるが、静的な取外し力を大きくする前に、ジョイントスリーブを軽く打撃して衝撃を与えれば、その衝撃で簡易に外れると思われる。
- ・取外し治具（E5-7用）のくさびが噛んだ位置は、再緊張余長の13～16cmの位置であった。今後の対応として、再緊張余長が短い場合に備え、反力スリーブの高さを低くしておく必要がある。
- ・各取外し治具を取付けるために必要な再緊張余長の長さは、表 11.48の通りである。なお、表中の記号は、図 11.65を参照されたい。

表 11.48 取外し治具を取付けるための必要再緊張余長

		E5-4用	E5-7用
必要再緊張余長		112mm	136mm
内 訳	クリアランス (C1)	8mm	8mm
	ジョイントスリーブ (D1)	48mm	60mm
	クリアランス (C2)	8mm	8mm
	取外し治具 (D2)	48mm	60mm

- ・現場実証試験（優先）を実施しているアンカー（E5-4）の最小再緊張余長は124mmである。表 11.49に示す通り、各アンカーに対応可能である。
- ・現場実証試験（拡張）を実施しているアンカー（E5-7）の最小再緊張余長は174mmである。表 11.50に示す通り、各アンカーに対応可能である。

表 11.49 現場実証試験（優先）アンカーの再緊張余長と取外し治具の取付け必要再緊張余長

アンカー 番号	再緊張余長の長さ (mm)				必要再緊張余長 (mm)	対応
	1	2	3	4		
3-2-1	157	146	153	150	> 112	OK!
3-2-2	149	150	150	147		OK!
3-2-3	187	186	184	183		OK!
3-3-1	147	150	142	146		OK!
3-3-2	136	133	<u>128</u>	124		OK!
3-3-3	168	169	162	158		OK!

___アンダーラインは最小再緊張余長

表 11.50 現場実証試験（拡張）アンカーの再緊張余長と取外し治具の取付け必要再緊張余長

アンカー 番号	再緊張余長の長さ (mm)							必要再緊張余長 (mm)	対応
	1	2	3	4	5	6	7		
C-56	206	207	210	207	208	208	209	> 136	OK!
C-57	187	187	185	183	183	182	186		OK!
C-58	185	189	192	197	186	184	187		OK!
C-59	195	200	203	206	197	195	198		OK!
C-60	199	197	197	193	193	193	200		OK!
C-61	176	183	184	183	<u>174</u>	175	177		OK!

___アンダーラインは最小再緊張余長

11.5.4 取外し手順(案)

取外し手順(案)を、以下にまとめる。

ジョイントスリーブに取外しナットを取付ける(写真 11.25)。

再緊張余長に取外し治具(反カスリーブ)を取付ける(写真 11.26)。この時、ジョイントスリーブを取外した時にくさびが解放されるよう、ジョイントスリーブと取外し治具(反カスリーブ)の隙間を8mm程度開けておく。

反カボルトを螺進させ、取外しナットに力を加える(写真 11.27)。反カボルトの締付けは、均等に行うようにする。

ある程度以上に反カボルトを締付けた時、ジョイントスリーブが外れる(写真 11.28、写真 11.29)。この時、取外しの補助として、軽くジョイントスリーブに打撃を与えると、その衝撃で簡易に外せられると思われる。

取外し治具を取外す(写真 11.30、写真 11.31)。

ジョイントスリーブを外し、完了とする(写真 11.32)。

11.6 緊張治具の取付け具合の違いによる算出リフトオフ荷重のばらつき

11.6.1 試験概要

(1) 試験方法

アンカーを約 380kN（模擬緊張用ジャッキ値=圧力変換器）で定着し、リフトオフ試験を実施した。リフトオフ試験は、緊張治具の取付け状況の差異によってリフトオフ荷重が異なるかどうかを検証するため、緊張治具の取付け・取外しを 3 回行い、1 回の緊張治具のセットに対して 1 回の予備緊張と 3 回のリフトオフ試験を実施した。なお、リフトオフ最大荷重は 440kN とした。

(2) アバットメント設定

アバットメントを図 11.66 に示すように設定し、リフトオフ試験を実施した。試験実施状況を写真 11.33 と写真 11.34 に示す。

なお、今回の試験では、緊張定着した PC 鋼より線の緊張力が、なるべく経時的に低下しないよう、模擬緊張用ジャッキ側においても油圧ジャッキを使わず、アンカーヘッドで定着した。

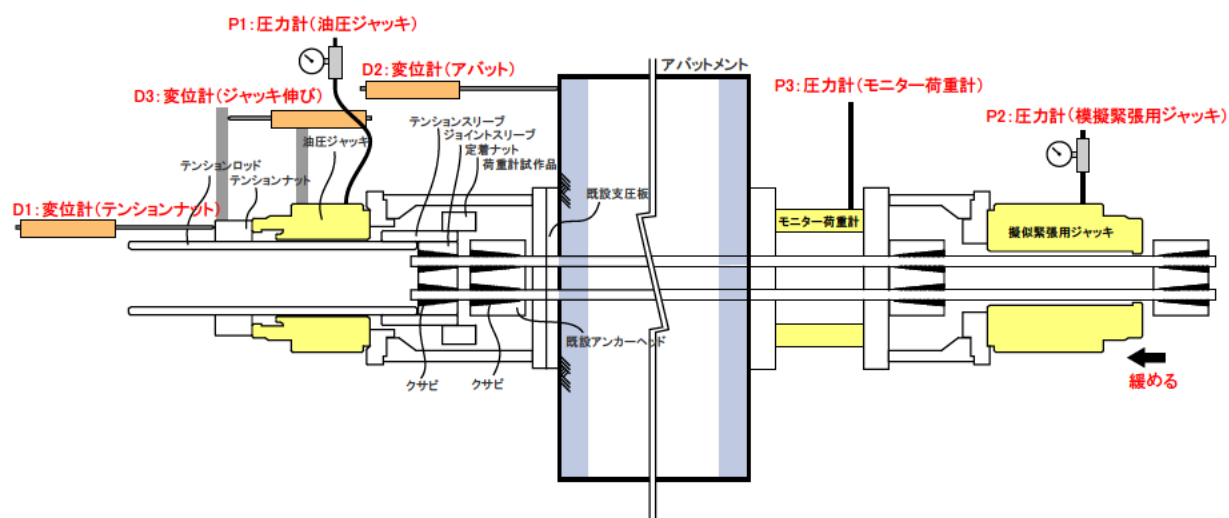


図 11.66 アバット試験装置



写真 11.33 模擬緊張用ジャッキ側のセット状況



写真 11.34 模擬緊張用ジャッキ側のアンカーヘッドによる定着

11.6.2 試験結果

(1) 荷重ステップ

試験で実施した荷重の荷重ステップを図 11.67 に示す。

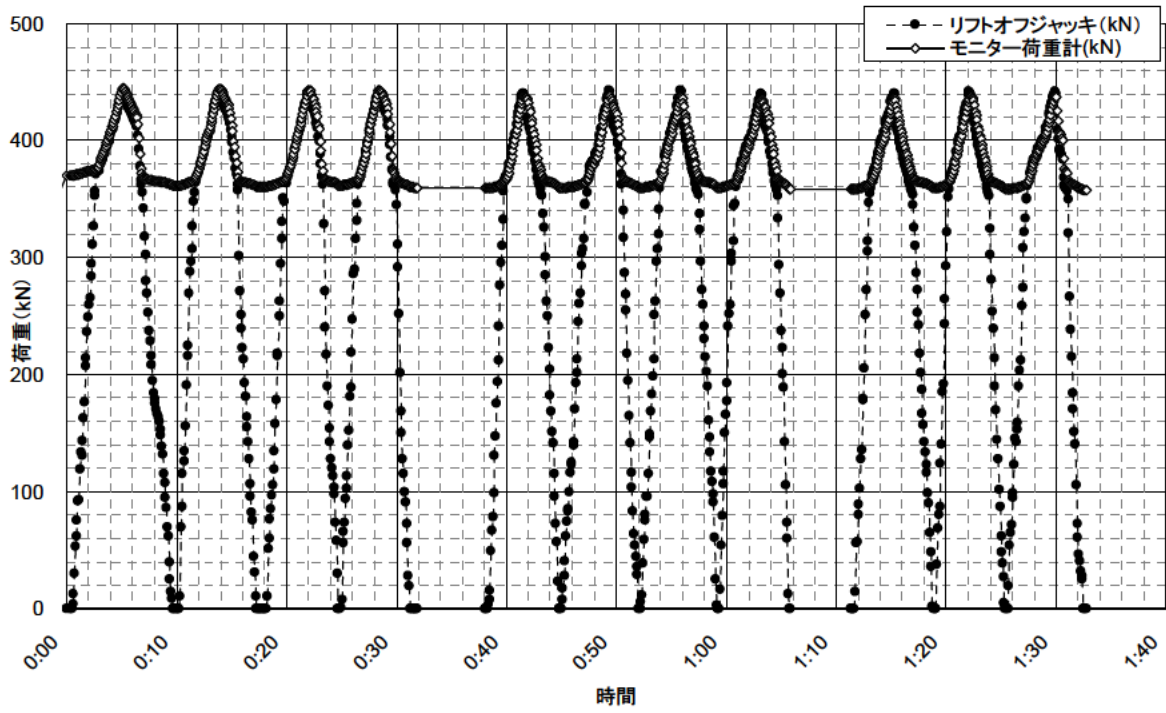


図 11.67 荷重ステップ

(2) リフトオフ試験結果

リフトオフ試験の結果を表 11.51 及び図 11.68 に示す。また、各リフトオフ試験の変位-荷重曲線を図 11.69～図 11.71 に示す。

表 11.51 リフトオフ試験結果

			(kN)					(kN)	
1回目-1から3回目-3までのデータ数11個	算出リフトオフ荷重		各回平均値	標準偏差	1回目-1データを除くデータ数10個	算出リフトオフ荷重	各回平均値	標準偏差	標準偏差/平均値 %
			標準偏差/平均値 %	標準偏差/平均値 %					
1回目	-1	370.7	366.2	3.2	1回目	-1	364.7	1.3	0.87%
	-2	363.2							
	-3	365.3							
	-4	365.6							
2回目	-1	367.5	367.1	1.3	2回目	-1	367.5	0.35%	0.36%
	-2	368.5							
	-3	367.1							
	-4	365.4							
3回目	-1	368.2	365.6	2.7	3回目	-1	368.2	0.74%	
	-2	365.9							
	-3	362.8							
データ数11個での	最大値	370.7	366.4	2.3	データ数10個での	最大値	366.0	1.9	0.53%
	最小値	362.8							
	平均値	366.4							
	標準偏差	2.3							
標準偏差/平均値 %			0.64%		標準偏差/平均値 %			0.53%	

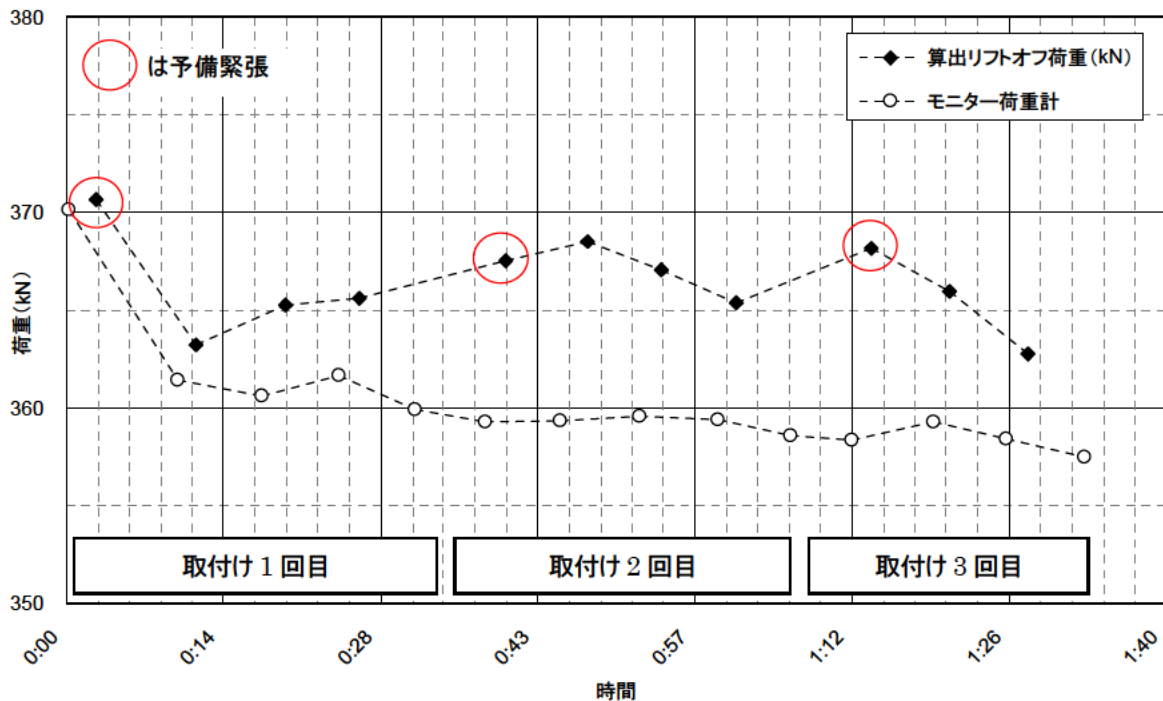
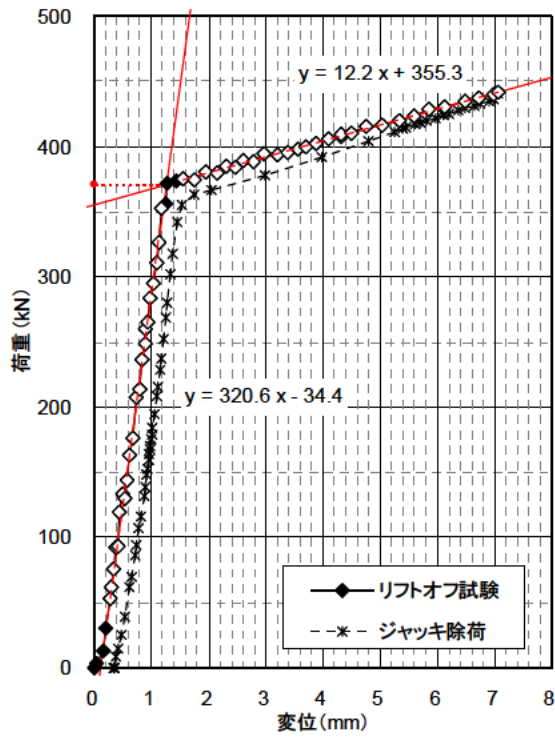
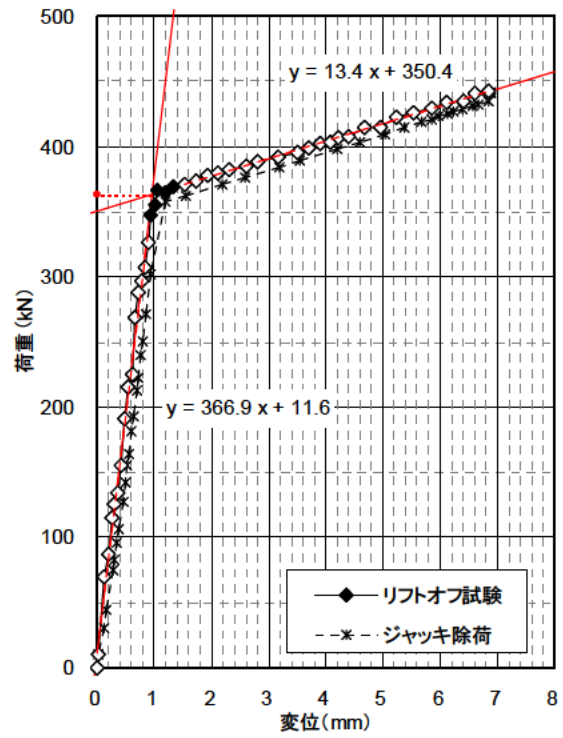


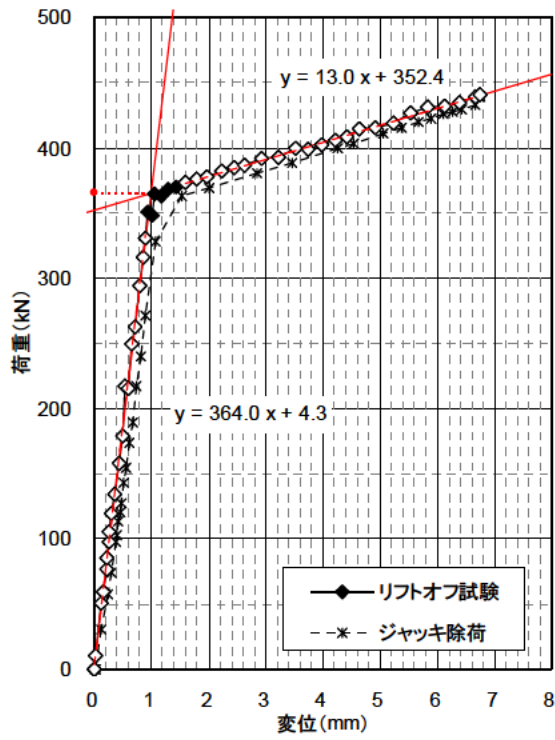
図 11.68 リフトオフ荷重の変化



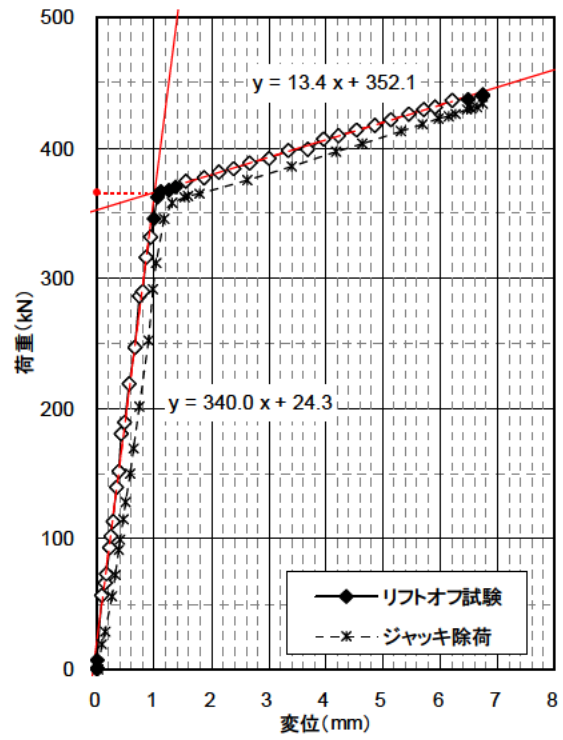
a) リフトオフ 1回目



b) リフトオフ 2回目

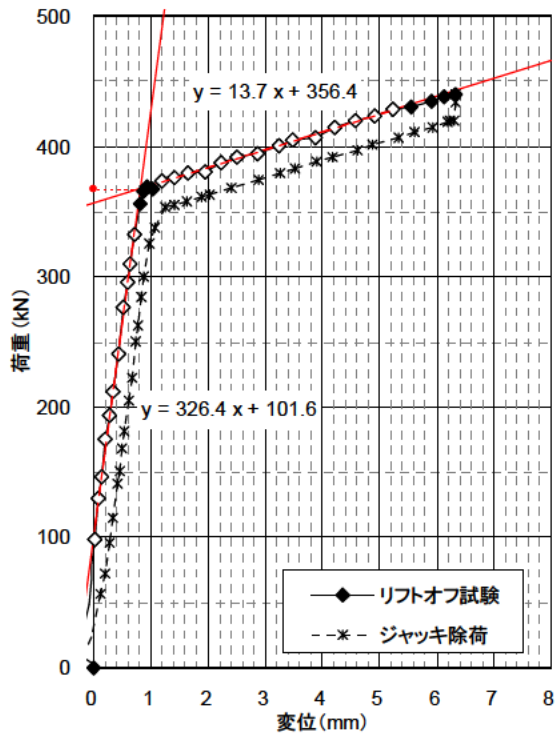


c) リフトオフ 3回目

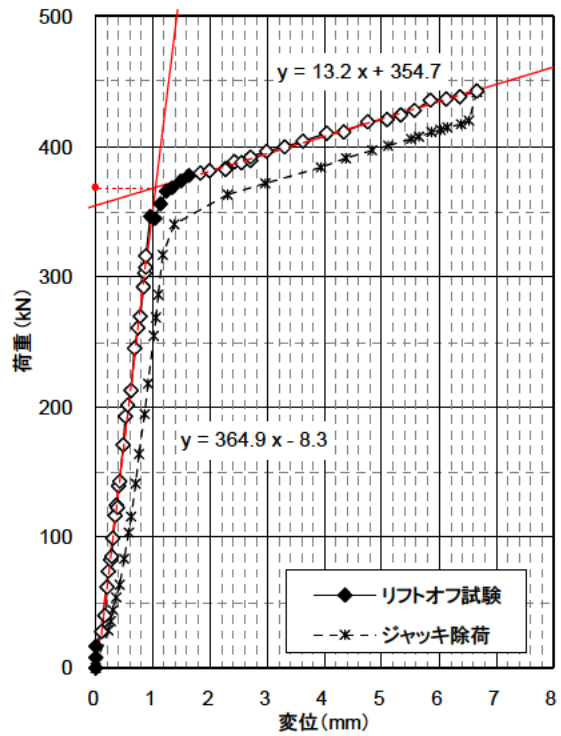


d) リフトオフ 4回目

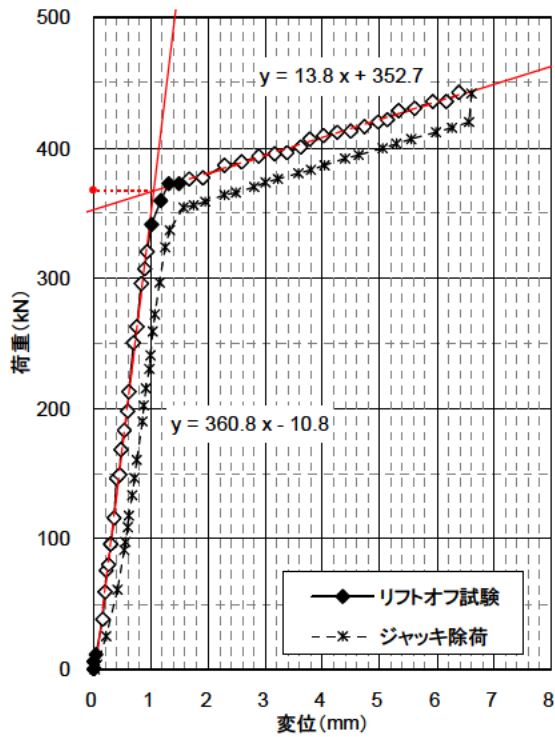
図 11.69 リフトオフ試験結果 (緊張治具セット 1 回目)



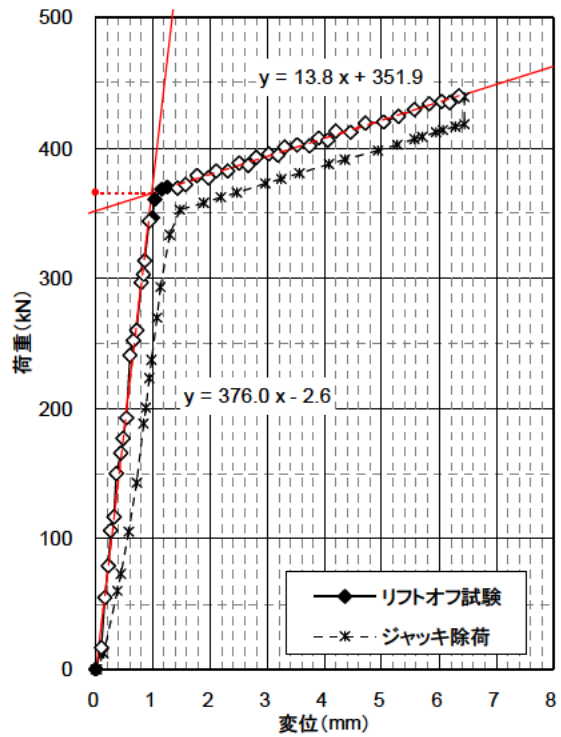
a) リフトオフ 1 回目



b) リフトオフ 2 回目

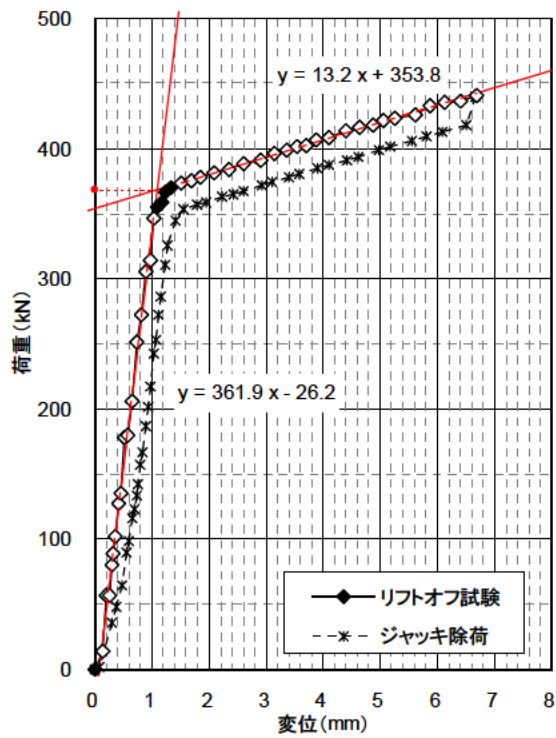


c) リフトオフ 3 回目

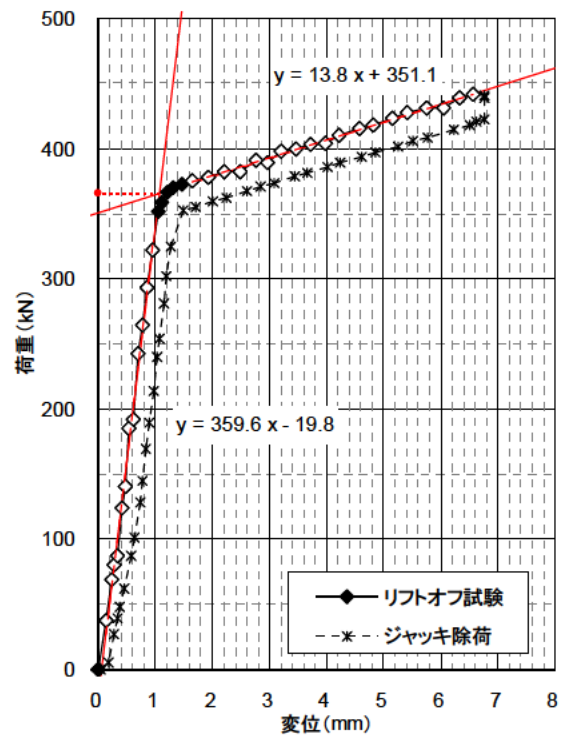


d) リフトオフ 4 回目

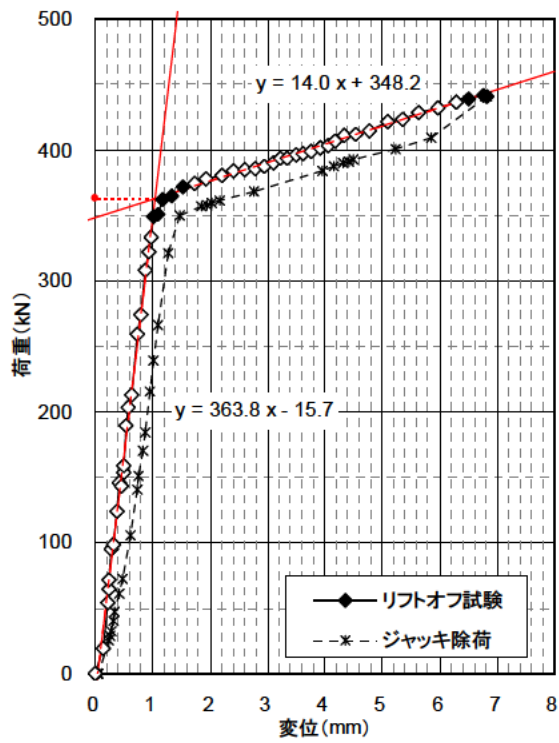
図 11.70 リフトオフ試験結果 (緊張治具セット 2 回目)



a) リフトオフ 1 回目



b) リフトオフ 2 回目



c) リフトオフ 3 回目

図 11.71 リフトオフ試験結果 (緊張治具セット 3 回目)

(3) 緊張治具の取付け具体の違いによる算出リフトオフ荷重のばらつき

前述の結果より、緊張治具の取付け具体の違いによるリフトオフ荷重の誤差について評価すると下記の通りである。

- ・取付け 1 回目の予備緊張前はモニター荷重計で約 370kN を示していたが、予備緊張をしたことで約 362kN に低下した。これは、最初の予備緊張により、くさびの噛込み（セットロス）が発生したためと考えられる。
- ・モニター荷重計の計測値を見ると、試験時間内に徐々に荷重が低下している。PC 鋼より線の両方をアンカーヘッドで定着したが、このような結果となった。
- ・リフトオフ試験ごとにリフトオフ荷重が異なり、そのばらつきは、 $\pm 3\text{kN}$ 程度で、約 365kN の緊張力の 1%以下であった。
- ・最初の予備緊張時を除いたリフトオフ荷重は値のばらつきはさらに小さくなり、緊張治具の取付け具合には大きく左右されず、予備緊張の効果があると言える（表 11.51）。

11.7 作動ジャッキの摩擦力の把握

拡張開発、アバット試験データから試験に使用されたジャッキの摩擦力の推定を試みた。

11.7.1 装置作動モデル

ジャッキ A により模擬緊張力 (T_a) をセットした状態でジャッキ B と緊張治具を用いてリフトオフした状態を図 11.72 に示す。

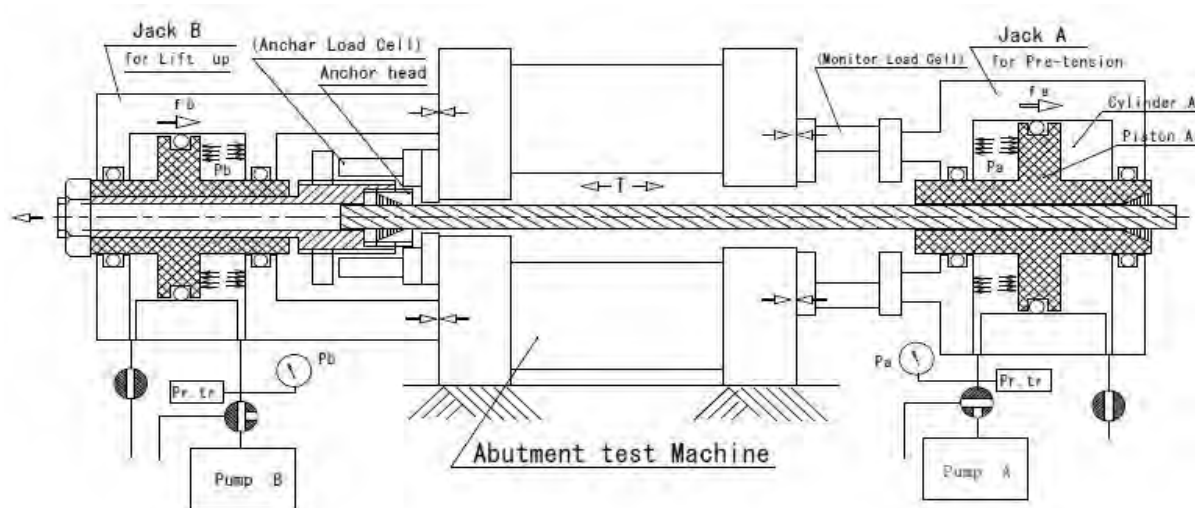


図 11.72 ジャッキ作動によるリフトオフした状態

11.7.2 摩擦力の算出方法

ジャッキ A (受圧面積 A : 148.4cm²) の作動圧 (静止圧力) を P_a 、ピストン A の摩擦力を f_a とし、ジャッキ B (受圧面積 B : 160.2cm²) でリフトアップを行い、リフトオフ状態に至った後のジャッキ B の作動圧 (静止圧力) を P_b 、ピストン B の摩擦力を f_b とすれば、 tendon は二つのジャッキで引っ張り合い平衡しており、その張力 T は (1) 式で示される。

$$T = F_b - f_b = F_a + f_a \gg T_a \dots (1)$$

ここに、 $F_b = P_b \times B$ (160.2cm²)、 $F_a = P_a \times A$ (148.4cm²) で、2 つの圧力を同時に計測して得られる各々のジャッキの推力である。

(1) 式を

$$F_b - F_a = f_b + f_a \dots (2)$$

と書き直す。すなわち、推力 F_b と F_a の差は、ジャッキ A 及び B の摩擦力の和となる。

今、摩擦力はピストン受圧面の円周長に比例すると仮定すると、ジャッキの有効面積の平方根に比例する (3) 式が成立する。

$$F_b / f_b = \sqrt{B/A} = 1.039 \dots (3)$$

この (2) (3) 式からジャッキの摩擦力 f_a は (4) 式で推定できる。

$$f_a = (F_b - F_a) / 2.039 \dots (4)$$

T > T aが確認できるリフトオフ状態は荷重計WG 6 社毎に予備試験、770 k N試験、750 k Nチェック、300 k N及び500 k Nのリフトアップ試験の5 ケースが得られている。装置の性能確認でもあり、開発荷重計のデータは無関係である。P bは脈動しながら上昇するので上昇を確認したデータで摩擦力を推定した。

11.7.3 摩擦力の推定結果

推力F bとF aの差及びジャッキAの摩擦力の推定結果を表 11.52 と図 11.73 に示す。

データの標準偏差値のから、バラツキの少ない正確な値を得たといえる。

図 11.73 の (F b - F a) はリフトアップ試験中の油圧の脈動分データ分もプロットしている。

表 11.52 ジャッキの摩擦力

表内単位 kN

	試験フェーズ		ジャッキA推	ジャッキA	推力B (F b)	ジャッキB
			力	の摩擦力	- 推力A (F a)	の摩擦力
			Fa	Fa	Fb-Fa	fb
1	予備緊張	平均値	755.7	7.2	14.8	7.5
		標準偏差	20.0	0.5	1.1	
2	リフトオフ試験	平均値	739.2	7.1	14.4	7.3
		標準偏差	15.9	0.9	1.9	
3	チェックリフトオフ試験	平均値	772.6	7.6	15.6	7.9
		標準偏差	13.5	1.0	1.0	
4	300kN リフトオフ試験	平均値	335.6	5.3	10.8	5.5
		標準偏差	4.2	0.3	0.5	
5	500kN リフトオフ試験	平均値	525.6	5.9	12.1	6.2
		標準偏差	8.7	0.6	1.2	

ジャッキAの摩擦力 f aは (5) の実験式で表され定量化することができた。

$$f_a = 3.5 + 0.05 \times F_a \cdots (5)$$

図 11.72 の装置には張力を直接検知できる場所にモニタ荷重計がつけられている。

アバット試験中の推力 F a とモニタ荷重計指示値との偏差曲線も同時に図 11.73 に示す

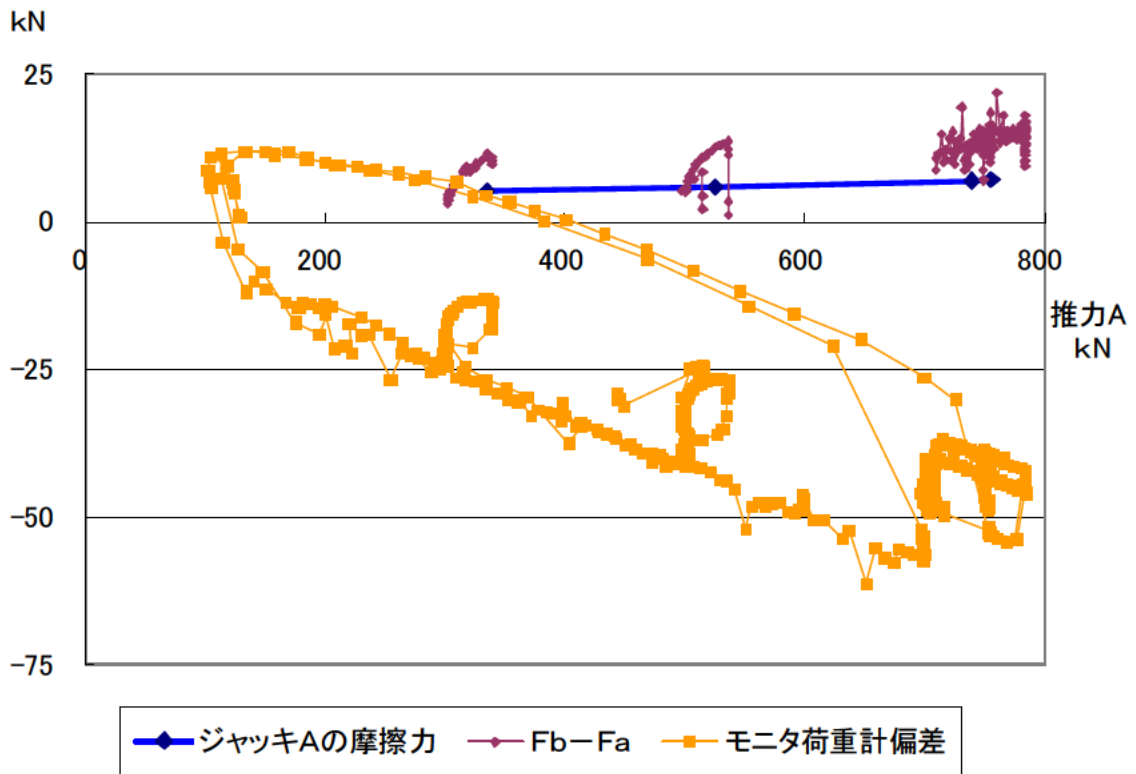


図 11.73 ジャッキの摩擦力

11.7.1 アバット試験機基準荷重と摩擦力に関する考察

(1) 理論誤差

作動ジャッキの摩擦力はジャッキの増減圧操作方法に関する理論誤差（かたより）でありその大きさはジャッキ指示荷重の 1%程度となる実験式（5）として求めることが出来た。増圧状態でリフトアップ中の張力はリフトアップジャッキBによる指示荷重より小さく、定着するための減圧中の張力はジャッキBによる指示荷重より大きい値となり、ジャッキ圧による指示荷重が同じでも実張力で約 2%程度の差が出ることもある。後述するようにモニタ荷重計の指示値の大きさは別として、モニタ荷重計の偏差曲線でのリフトアップ試験時のループ曲線分はこの実張力分の差を反映した結果をあらわしていると考えられる。戻り曲線（ヒステリシス）分差はジャッキA自身の減圧作動のため流体の流れの影響がでているためさらにその倍以上の差が現れている。

(2) 誤差レベル

アバット試験機、作動ジャッキの油圧計測値は現場要求の誤差 5%レベルの 1/3 程度内に、十分応えられる範囲で計測できていることが確認できた。

(3) 今後の課題

今回使用したモニタ荷重計は、製造業者添付の校正係数を用いると、ジャッキ A の油圧による指示荷重と比較し指示値が 6~8%も小さくなり、基準荷重値を余計不明なものにしてしまう恐れがある。公開特許公報（特開平 6-207867）の図 6 の既存構造品がもっている、荷重分布を平坦にする重厚当板がないときに現れる欠点である。このような欠点品用に荷重分布を調整できる当板技術の特許もあり（特公平 6-76927）公報の第 16 図に調整データ量が示されている。しかしこの技術を必要としないように内・外円筒面にゲージを配置しているものも 20 年以上も前から既存品として販売されている。他の製造業者の既存品を使用して比較することが解決の近道で、本研究の 21 年度で実施すべき課題と考える。

張力を直接検知できるモニタ荷重計の選定方法について手順を決めることと、現在の開発品の出荷・校正基準を第三者に明確にすることは“同じ開発である”。

優先開発（目標誤差 10%確認）のアバット試験では油圧ジャッキの自動記録計測を十分に実施することができなかった。そのため拡張開発（目標誤差 $\pm 5\%$ 確認）以降では油圧ジャッキ指示荷重との連動記録値が確実に把握できるように努めた。しかしながら、既存の円筒型荷重計の分析に手が届かなかったことは残念である。

12. まとめ

近年、高度経済成長期前後に建設された河川、道路等の社会資本は本格的な更新または維持管理の時代を迎え、アセットマネジメントを導入した戦略的な維持管理が求められている。これは、斜面安定工法として、これまで幅広く用いられてきたアンカー工においても同様なことが言える。しかしながら、現状ではアンカー工の効果的、効率的な維持管理技術は確立されていない。

こうした背景のもと本共同研究では、アンカー工の緊張力変化を捉え地すべり滑動の早期発見、また現状の維持管理技術の向上や管理コストの縮減を図ることを目的とし研究開発を進めた。検討項目は、既設アンカーへの取付けが容易にできる荷重計の構造および取付け方法の検討、荷重計測値の簡易な取得方法の検討である。検討結果から開発する要素技術を整理し、現状における各分野の技術とすり合わせをおこないながら開発仕様を定めた。その仕様に従い開発を進めるとともに各種室内試験および現場実証試験を実施し、現場における実用性を確認することができた。

以下に、本研究で開発した技術の概要をまとめる。

12.1 開発技術の特徴

開発した技術は、荷重計、緊張治具、データ通信システムの3つの要素技術から構成される(図12.1)。開発技術の特徴は、以下の通りである。なお、全体の要素技術を組み合わせて、「既設アンカー緊張力モニタリングシステム」と称することとした。

特徴 荷重計の寿命が到来しても、アンカーに導入されている緊張力を低下させることなく荷重計の取付け・交換ができる。

特徴 簡易なデータ収録装置でデータを連続的に蓄積し、さらには計測データを無線通信により遠隔地から取得でき、維持管理の低減が図れる。

特徴 従来の同規格の油圧ジャッキ等と比較し、取付け治具がコンパクトかつ軽量である。



図 12.1 開発技術の概要

12.2 開発技術の概要

開発した技術の概要的な構造を図 12.2 に示す。

緊張治具および荷重計の仕様(図 12.2 左)は、様々なアンカーの規格・仕様がある中で、国内におけるアンカーの施工数量が増え始めた1980年代後半から1990年代後半においてシェアが高かった「くさび定着方式」のアンカーを対象とし、設計アンカー力 500kN 以下(500kN タイプ)と 1,000kN 以下(1,000kN タイプ)に分けて開発を行った。アンカーに作用している緊張力を荷重計に移行させる機構は以下の通りである。アンカーヘッドの外側に円筒形の荷重計を被せ、再緊張余長を利用してジョイントスリーブをクサビにより固定させ、これをテンションスリーブ、テンションロッドを介して油圧ジャッキにより緊張し、既設アンカーヘッドをリフトアップさせる。その状態で定着ナットをネジ回転により荷重計に密着させ、油圧ジャッキを除荷する。これにより、アンカー緊張力が荷重計に伝わる機構とし、さらに既設アンカーへの荷重計の取付け・交換を可能とした。

データ通信システムの仕様(図 12.2 右)は、維持管理の向上が図れるようデータの蓄積数およびバッテリー容量に着目し開発を行った。現場に存置されるデータ通信ユニットは、アンカーヘッドキャップに取り付けられるコンパクト形状なものとした。

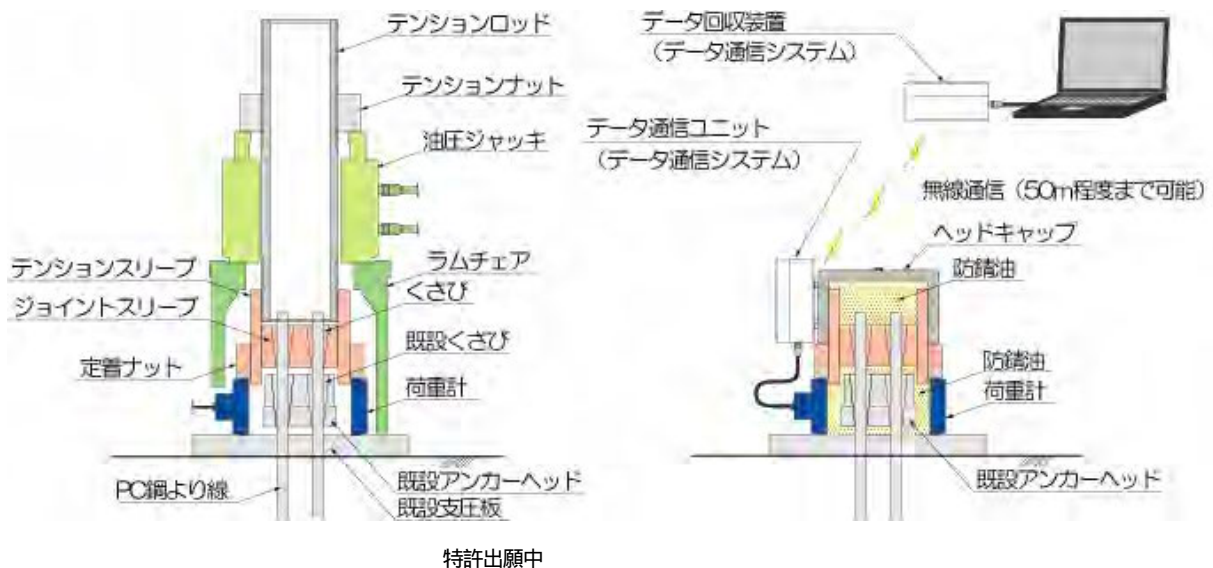


図 12.2 システム構造

(1) 荷重計

荷重計は、既設アンカーヘッドの外側に配置できかつラムチェア内に収まるよう、さらに緊張治具との組合せや作業性の向上を図れるよう、小型かつ安価なものを目指して開発を行った。なお、荷重計は、ひずみゲージ式、差動トランス式、油圧式の3タイプを開発した(図 12.3)。

製造メーカー	(株) 共和電業	(株) エスイー	(株) 東横エルメス
タイプ	ひずみゲージ式	ひずみゲージ式	ひずみゲージ式
1000kN 外観図			
製造メーカー	(株) 東京測器研究所	坂田電機 (株)	守谷鋼機 (株)
タイプ	ひずみゲージ式	差動トランス式	油圧式 (ひずみ変換式)
1000kN 外観図			

図 12.3 荷重計

(2) 緊張治具

緊張治具は、既設アンカーのアンカーヘッドや支圧板の大きさ、荷重計との組合せを検討し、構造・寸法を決定した。その際、専用のラムチェア、油圧ジャッキ、テンションロッド等の治具は、作業性向上のため、極力小型かつ軽量の構造とした (図 12.4)。緊張治具を構成する部品は、荷重計取付け時に使用するラムチェア、油圧ジャッキ、テンションロッド、テンションナット、また荷重計を取付けた時にアンカー頭部に残置されるジョイントスリーブ、テンションスリーブ、定着ナットがある。

製造メーカー	日特建設 (株)・守谷鋼機 (株)・ライト工業 (株)
500kN 外観図	 <p>テンションスリーブ テンションロッド 複動式油圧ジャッキ ラムチェア</p> <p>リテーナー ジョイントスリーブ 定着ナット テンションナット</p>

図 12.4 緊張治具

(3) データ通信システム

データ通信システムは、アンカーヘッド部に取付けた「データ通信ユニット」に計測データを蓄積し、必要な時に「データ回収装置」で 50m 程度の遠方から無線通信で容易に入手できるシステムを開発した (図 12.5)。「データ通信ユニット」は、汎用性を考慮して市販の乾電池を使用し、1日2回のデータ蓄積、1月1回のデータ回収であれば約3年間の稼働を可能としている。なお、計画する計測期間やデータ取得回数、消費電力設定、バッテリー容量などの組合せにより、現場に応じた設定ができる。







製造メーカー	(株) 共和電業	(株) 東京測器研究所	坂田電機 (株)
適用荷重計	ひずみゲージ式	ひずみゲージ式	差動トランス式
データ通信ユニット 外観図			
データ回収装置 外観図			

図 12.5 データ通信システム

謝辞

本共同研究の現場実証実験の実施にあたり、現場を提供下さいました関係者の皆様方には、大変ご協力をいただきました。ここに、深く御礼申し上げます。

13. 巻末資料

13.1 参考文献

本共同研究により開発した技術「既設アンカー緊張力モニタリングシステム」について紹介した文献を下記に整理する。

藤澤和範・石田孝司・窪塚大輔：「既設アンカーの緊張力モニタリングシステムの開発」、土木技術資料、Vol.51 No.2、pp.49 50、2009.2

藤澤和範・石田孝司・窪塚大輔・田中尚・那須敦・横田弘一・立野恵一・竹家宏治・峯尾卓光・長友聖二・山賀一徳：「既設アンカー緊張力モニタリングシステムの開発」、第 48 回日本地すべり学会研究発表会講演集、pp.118 119、2009.8

藤澤和範：「既設アンカー緊張力モニタリングシステムの開発」、土木施工、Vol.50 No.9、pp.51 55、2009.9

藤澤和範・田中尚・那須敦・横田弘一・立野恵一・竹家宏治・峯尾卓光・長友聖二・山賀一徳：「既設アンカー緊張力モニタリングシステム」、斜面防災技術、Vol.36 No.2、pp.64 67、2009.11

藤澤和範・石田孝司・窪塚大輔：「アンカー緊張力計測の重要性と緊張力モニタリングシステム」、月刊メディア砂防、No.309、pp.6 7、2009.12

(独)土木研究所地すべりチーム：「既設アンカー緊張力モニタリングシステム運用マニュアル」、土木研究所資料、第 4171 号、2009.12

藤澤和範・石田孝司・窪塚大輔：「既設アンカー緊張力モニタリングシステムの開発」、ダム技術、No.281、pp.10 16、2010.2

藤澤和範・石田孝司・窪塚大輔：「既設アンカー緊張力モニタリングシステムの開発と運用マニュアルの作成」、土木技術資料、Vol.52 No.3、pp.53 54、2010.3

共同研究報告書
Cooperative Research Report of PWRI
No.407 Mar 2010

編集・発行 ©独立行政法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

独立行政法人土木研究所 企画部 業務課
〒305 - 8516 茨城県つくば市南原1 - 6 電話029 - 879 - 6754