

アンカー工設置のり面の 健全性評価に関する研究

プロジェクトリーダー
神戸大学名誉教授
沖村 孝

1. アンカー工設置のり面の 健全性評価に関する研究の概要

研究体制

- ・研究代表者：神戸大学都市安全センター特別研究員
沖村孝（神戸大学名誉教授）
- ・参加大学：神戸大学（沖村孝、芥川真一）
- ・近畿地整：道路部
姫路河川国道事務所
近畿技術事務所
- ・参加企業：西日本高速道路株式会社
日特建設株式会社
ライト工業株式会社
応用地質株式会社
株式会社ダイヤコンサルタント

研究の背景

切土のり面の安定化工法としてアンカー工が多くののり面で採用されてきたが、アンカー工が昭和32年（1957年）に我が国において初めて導入されて以来、50年近くが経過しアンカー工の腐食や、のり面の劣化等の問題が発生しており、アンカー工設置のり面の健全性を評価することが重要な課題となってきた。

特に昭和63年（1988年）11月に制定された土質工学会（地盤工学会）基準「グラウンドアンカー設計・施工基準」（J S F : D 1 - 8 8）において二重防食が義務づけられ、続いてグラウンドアンカーがその目的に応じて適切に使用されるように、平成2年2月に「グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説」が発刊された。これ以前のアンカー（以後「旧タイプアンカー」と呼ぶ）は、防食を重要視していなかったため、アンカーの腐食・劣化等によりアンカーが破損し、飛び出し現象などが見られ、ひいては交通障害を招くおそれがある状況が発生している。

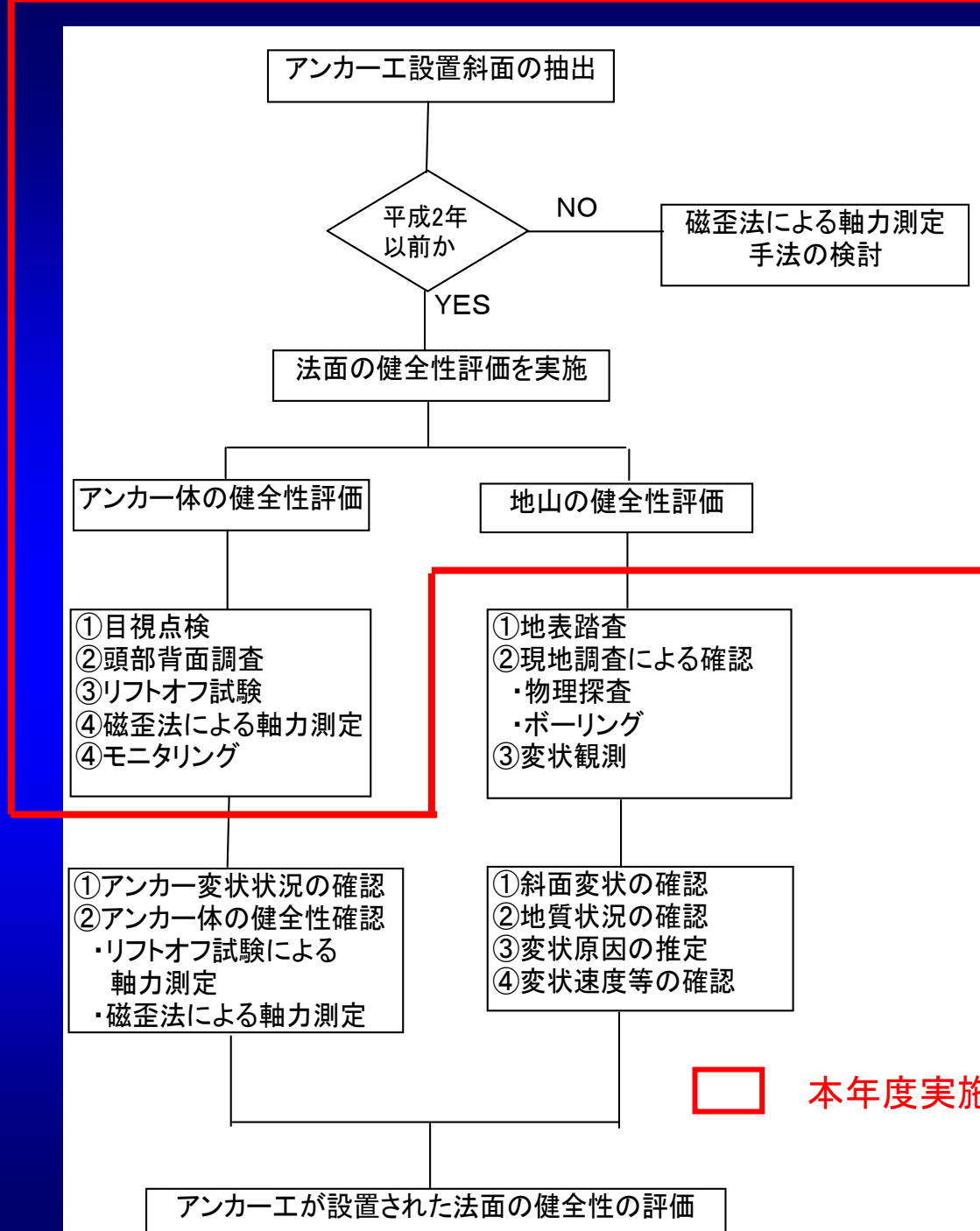
破断したアンカー

旧タイプ鋼棒アンカーが破損して抜け出している写真である。



研究目的

このような背景から、本研究では、近畿圏におけるアンカー工設置のり面の実態把握や現地調査を実施し、この結果から課題を明らかにするとともに、のり面の変状やアンカー緊張力の簡易なモニタリング手法の開発を進めるとともに実際のモニタリングなどを通じて、アンカー工が設置されているのり面の健全性評価手法確立のための課題を明らかにすることを目的とする。



2. アンカー工の実態とその特徴

試験フィールド

- ①「A地区」・・・「旧タイプアンカー」*施工現場
- ②「B地区」・・・ 1988年11月に制定された土質工学会基準「グランドアンカー設計・施工基準」に準拠した施工現場

* 1988年11月に制定された土質工学会基準「グランドアンカー設計・施工基準」（JSF：D1－88）の学会基準に準拠していないアンカー体（旧タイプアンカー」と呼ぶ）

現地状況

A 地区

旧タイプアンカー

規格	総ネジP C 鋼棒 $\phi 23\text{mm}$
	自由長 $L_f = 5.0 \sim 9.0\text{m}$ 定着長 $L_a = 3.0\text{m}$ アンカー長 $L = 8.0 \sim 12.0\text{m}$
受圧構造物	フリーフレーム工法（現場打ち吹付法枠工） 型式F300-2.0m $\times$ 2.0m 許容最大設計アンカー力 約80kN

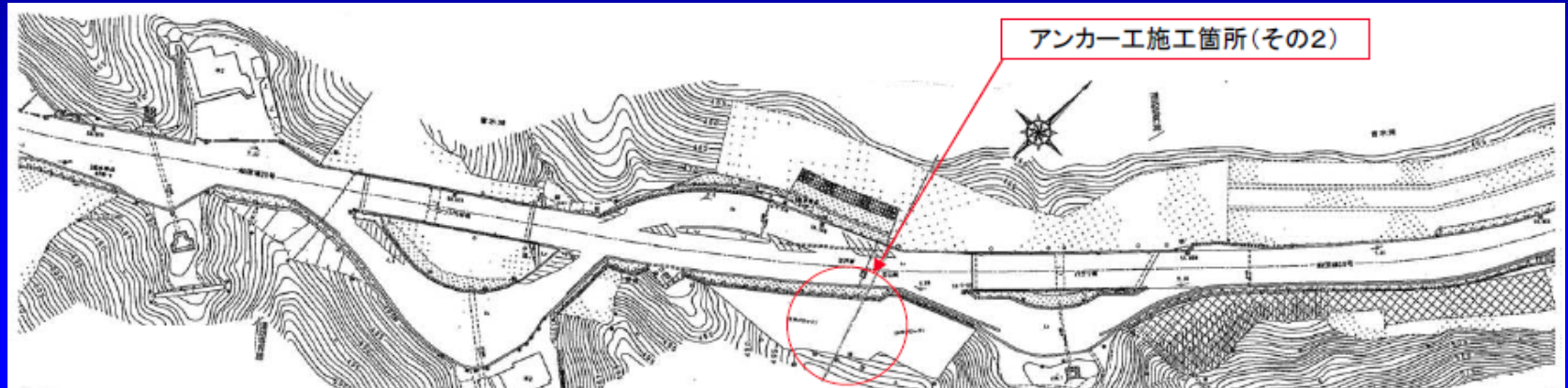
B 地区

1988年11月土質工学会基準

「グランドアンカー設計・施工基準」に準拠したアンカー

規格	PC鋼より線 $\phi 12.7\text{mm} \times 4$ 本
	自由長 $L_f = 11.0\text{m}$ (14.0m) 定着長 $L_a = 6.0\text{m}$ (9.0m) アンカー長 $L = 17.0\text{m}$ (23.0m) () 内は最大
受圧構造物	プレストレスコンクリート受圧板 許容最大設計アンカー力 329kN

A地区の概要



地質状況

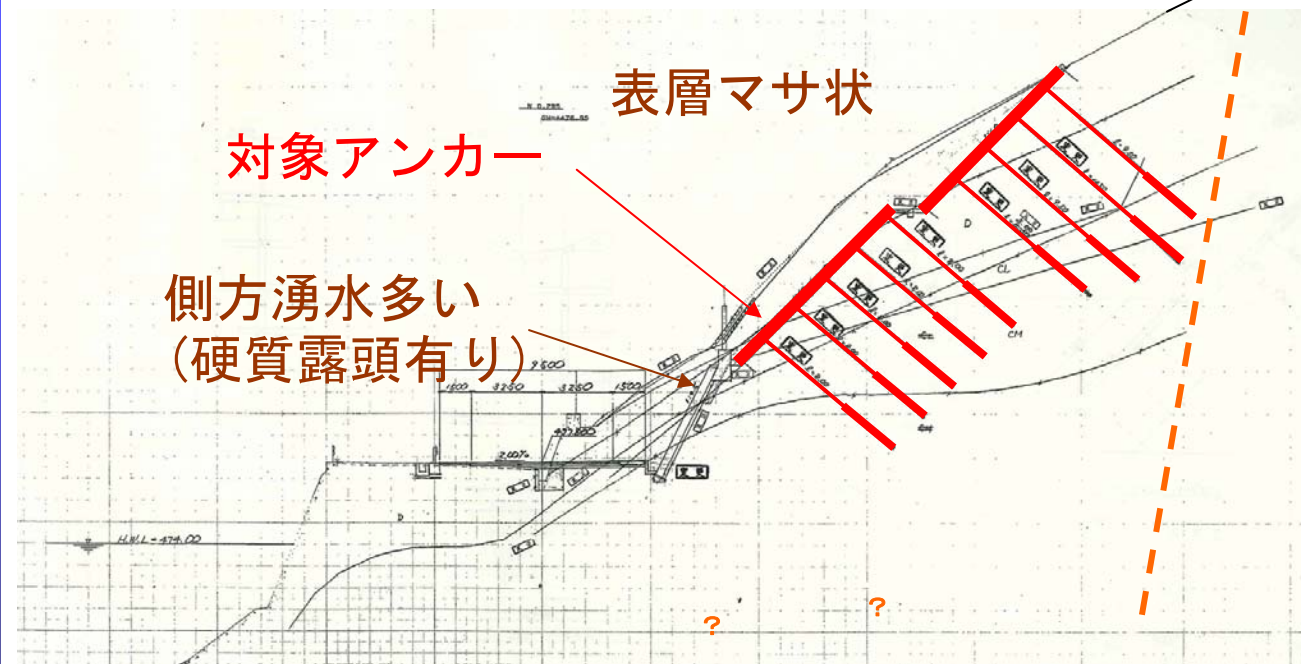
この地区の地形は、既往地質図によると断層による変形地形であることが明らかである。基盤岩は花崗閃緑岩からなる岩脈（頁岩、凝灰岩）であり、終点側のり面最下段には硬質な岩盤が露出しているものの、のり面中腹部より上ではこの花崗閃緑岩起源のマサが多く認められている。この硬質な露岩部には湧水が認められることから、断層による劣化ゾーンが断層と平行して発達し、水みちとなっていることが予想される。

A地区の現場状況

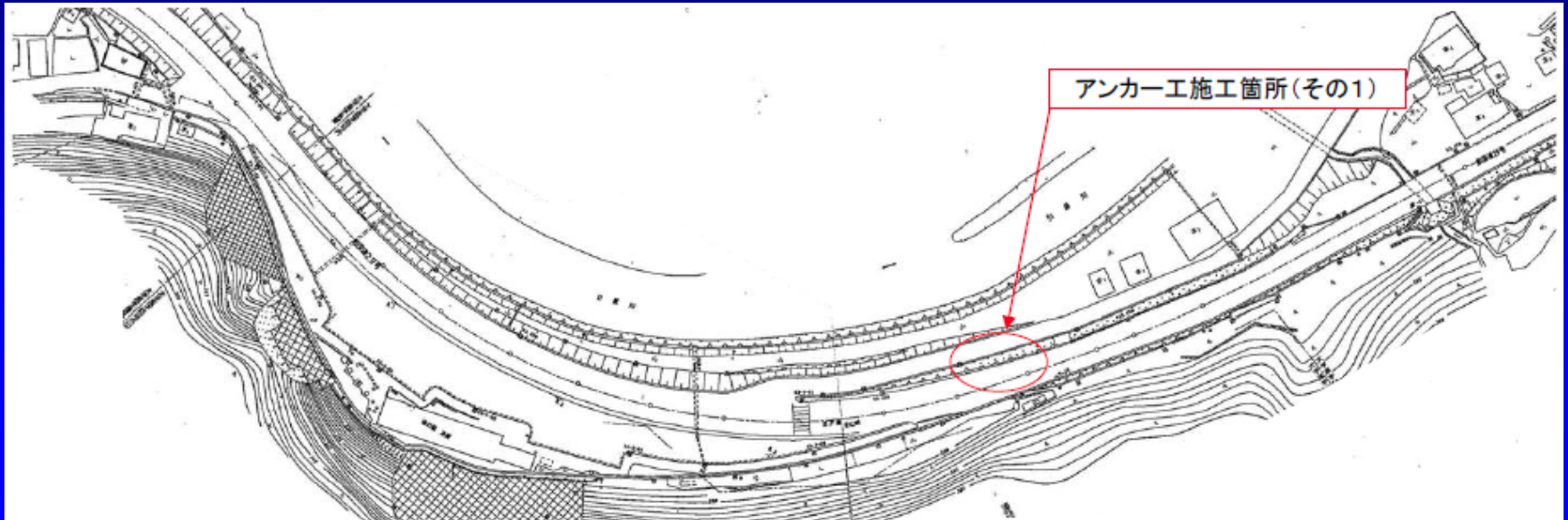


A地区推定断面図

尾根の屈曲、鞍部形成
複数の変形地形ほぼ並行に発達(断層?)



B地区の概要



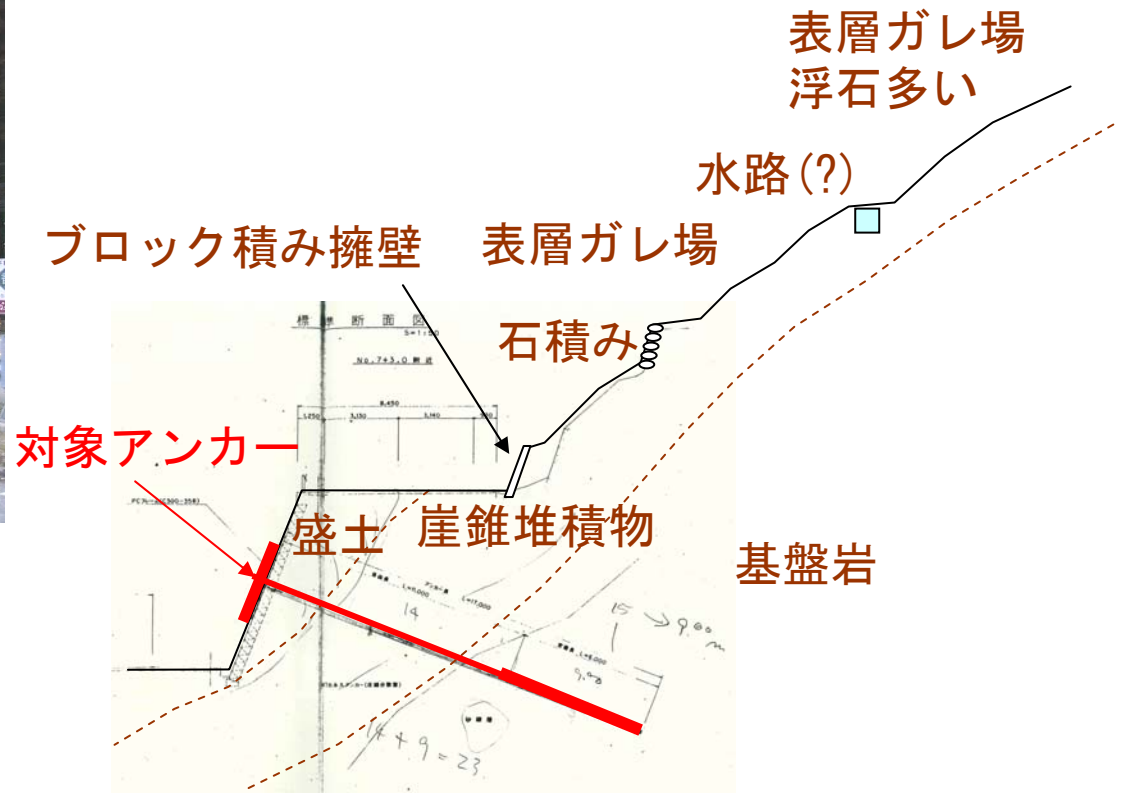
地質状況

B地区はアンカー背面の自然斜面は約 40° 程度以上の急斜面であり、一部緩い沢地形を呈している。基盤岩は粘板岩、砂岩の互層である。本斜面の特徴は、表土が薄く、緩みを生じた岩塊を主体とする崖錐堆積物が厚く分布することである。

B地区の現場状況

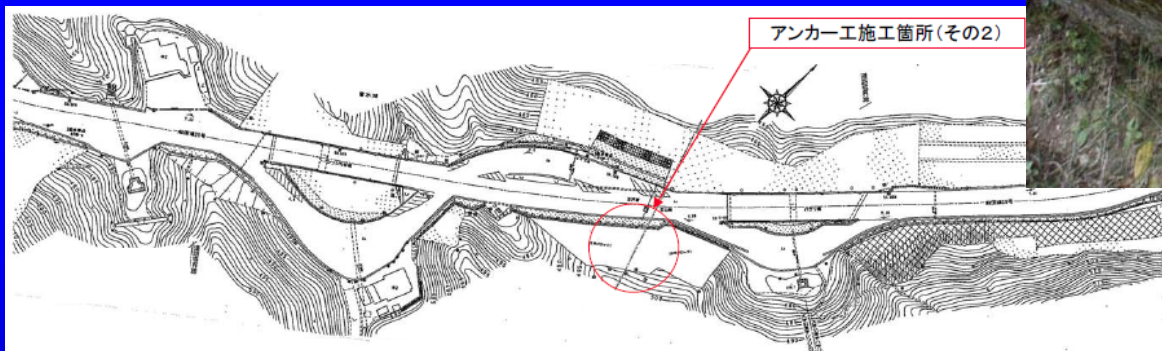


B地区推定断面図



アンカー工の状況

① A地区

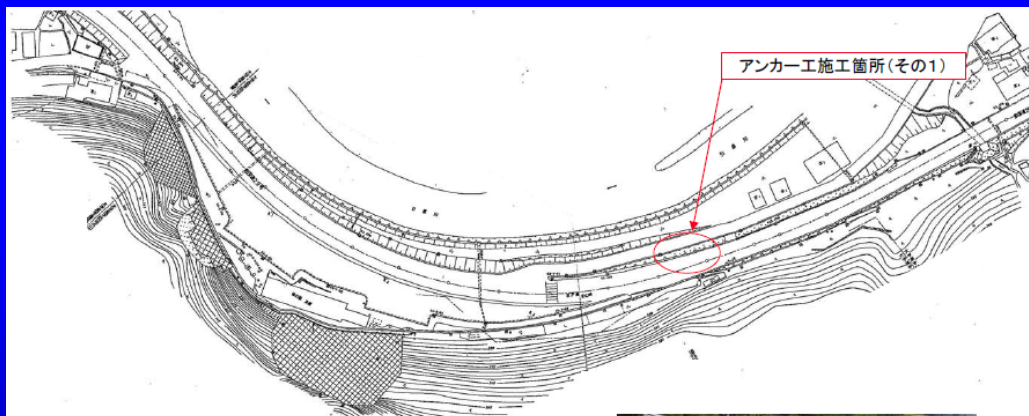


現地の状況(その1)



現地の状況(その2)

①B地区



現地の状況(その1)



現地の状況(その2)

アンカー健全性調査

調査項目		調査箇所	着目点	摘 要
アンカー頭部 詳細調査	目視による調査	頭部コンクリート	浮き上がり、クラック、破損、劣化、落下	
		頭部キャップ	破損、変形、劣化、固定状況、落下	
		その他	遊離石灰、湧水	
	頭部を露出させての調査	頭部キャップ	破損、変形、劣化、固定状況、パッキンの状況	
		防錆油	油漏れの痕跡、量、変質、劣化	
		テンドン(余長部)	引き込まれの有無、腐食の状況、傷、破損(断面欠損)、再緊張余長	
		定着具	腐食の状況	
		支圧板	浮き、変形、腐食の状況、塗装の劣化	
		その他	背面からの湧水	
リフトオフ試験			残存引張り力、伸び特性	
頭部背面調査	頭部背面構造	防食機構、止水性		
	背面部の環境	地下水の侵入、土砂の混入		
	テンドン	腐食の状況、傷、破損		
	防錆油	油漏れの痕跡、量、変質、劣化		
	支圧板背面部	変形、破損、クラック、遊離石灰		
	その他			
維持性能確認試験			耐力、伸び特性	
防錆油の試験			変色、固化、軟化	
モニタリング			残存引張り力	

①頭部背面調査

②リフトオフ試験

①A地区



頭部コンクリート除去後



アンカープレート背面

①A地区



自由長部のシースはφ60の
ポリエチレン管である。

シース内部には防錆油の付着
が確認できるが、内部が十分
に充填されていない。

間詰めモルタル除去後

②B地区



受圧板のコンクリートキャップ



アンカーヘッドキャップ

②B地区



ヘッドキャップ内の防
錆油充填状況



防錆油の充填が不足し
ているもの

②B地区



ゴムパッキンの劣化状況



受圧板表面の白華現象

3. リフトオフ試験による残存荷重の確認 試験装置



油圧ポンプ



油圧ジャッキ



ラムチェア

テンションバー



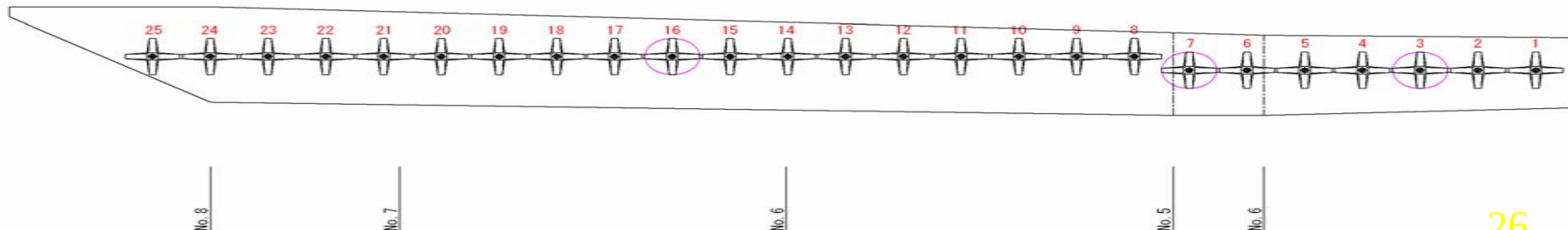
試験位置とアンカー諸元（A地区）

工法名称	総ネジP C鋼棒		
規 格	総ネジP C鋼棒 $\phi 23\text{mm}$		
	自由長	$L_f=5.0\sim 9.0\text{m}$	
	定着長	$L_a=3.0\text{m}$	
	アンカー長	$L=8.0\sim 12.0\text{m}$	
荷 重	不 明		
受圧構造物	フリーフレーム工法（現場吹付法砕工） 型式 F300-2.0m×2.0m 許容最大設計アンカー力 約80kN		

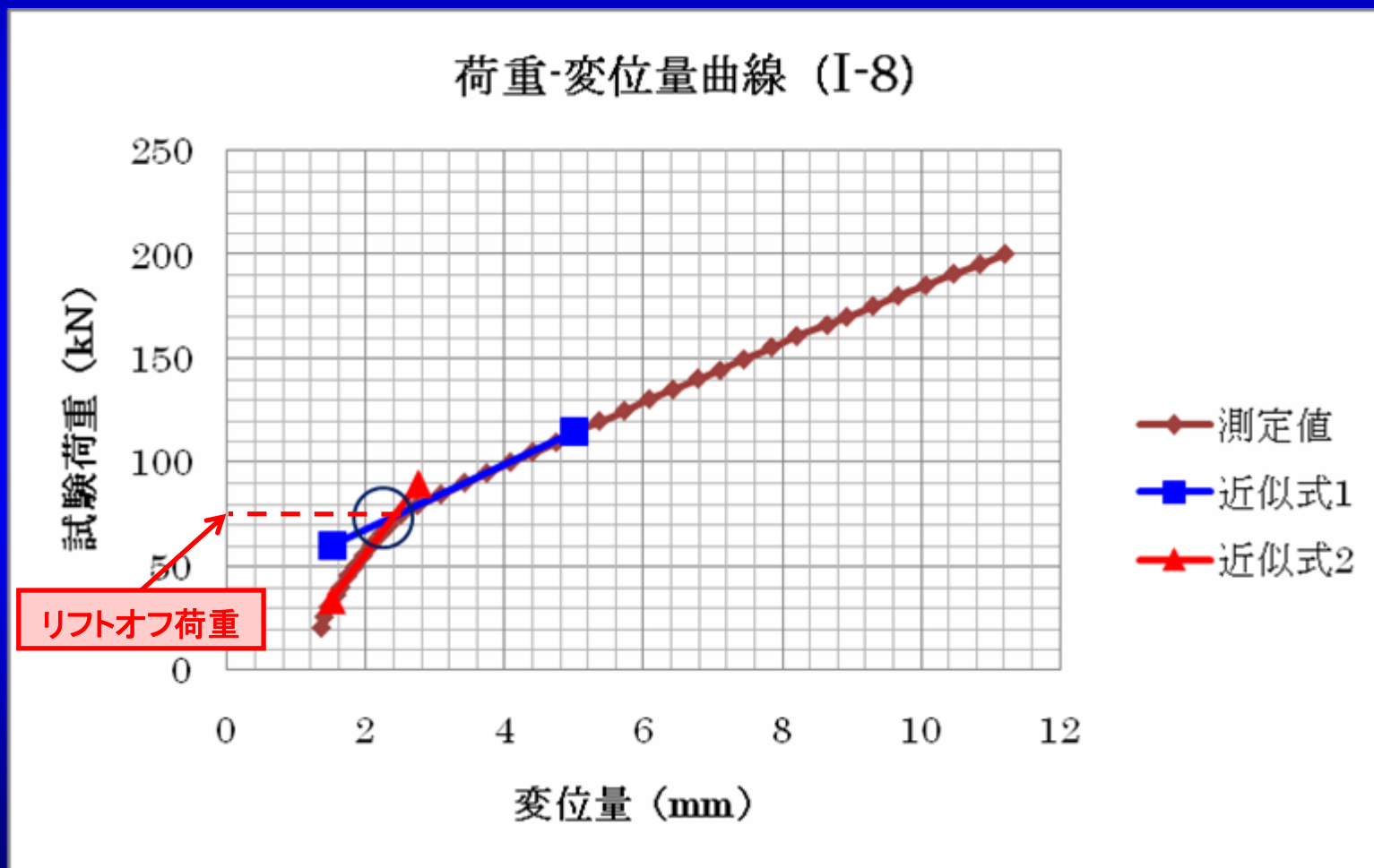
試験位置とアンカー諸元（B地区）

工法名称	PC鋼より線
規 格	PC鋼より線 $\phi 12.7\text{mm} \times 4\text{本}$ 自由長 $L_f = 11.0\text{m}$ (14.0m) 定着長 $L_a = 6.0\text{m}$ (9.0m) アンカー長 $L = 17.0\text{m}$ (23.0m) () 内は最大
荷 重	不 明
受圧構造物	PCフレームアンカー工法（プレストレスコンクリート製） 型式C300-35B 許容最大設計アンカー力 329kN

○ : リフトオフ試験実施箇所



リフトオフ試験結果と考察 アンカー残存荷重（A地区）



荷重-変位量曲線

アンカー残存荷重

リフトオフ試験結果一覧表

試験本数

A地区 21本

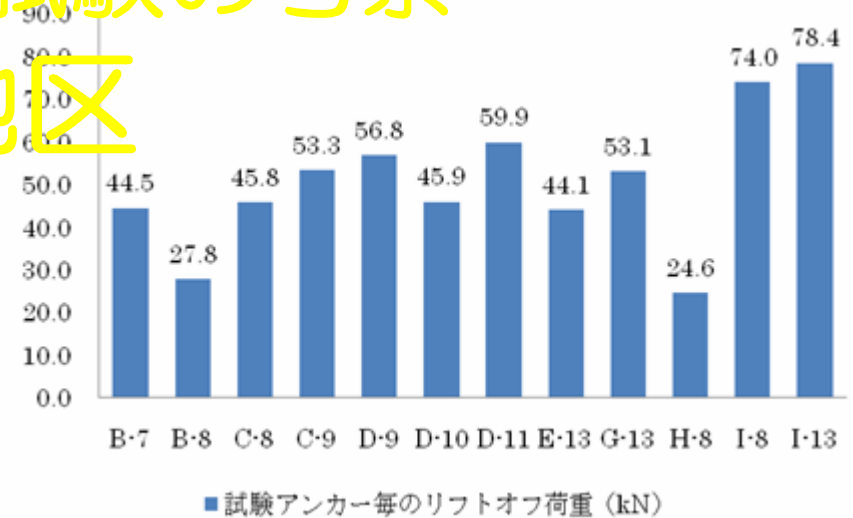
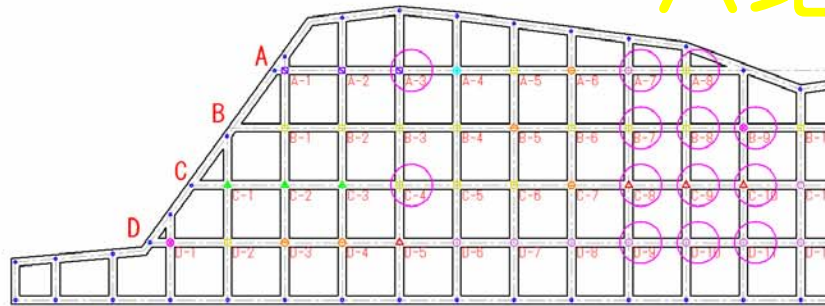
B地区 3本

のうち、15本のリフトオフ荷重を確認できた。

試験場所	アンカー孔番	最大試験荷重 (kN)	リフトオフ荷重 (kN)	状 況	備 考
A地区	A-3	115	—	115kNから120kNへ載荷中に抜けた。	引き抜け
	A-7	30	—	30kNから35kNへ載荷中に抜けた。	
	A-8	20	—	初期荷重(20kN)まで載荷できなかった。	
	B-7	100	44.5		リフトオフ荷重確認O. K.
	B-8	100	27.8		リフトオフ荷重確認O. K.
	B-9	100	—	初期荷重(20kN)でリフトオフしている。	
	C-4	200	—	最初からナットが緩んでいた。	
	C-8	150	45.8		リフトオフ荷重確認O. K.
	C-9	150	53.3		リフトオフ荷重確認O. K.
	C-10	135	—	載荷不能のため、ナットをはずして試験を実施した。	
	D-9	150	56.8		リフトオフ荷重確認O. K.
	D-10	150	45.9		リフトオフ荷重確認O. K.
	D-11	150	59.9		リフトオフ荷重確認O. K.
	E-8	200	—	初期荷重(20kN)でリフトオフしている。	
	E-13	150	44.1		リフトオフ荷重確認O. K.
	F-8	200	—	初期荷重(20kN)でリフトオフしている。	
	G-8	200	—	載荷不能のため、ナットをはずして試験を実施した。	
	G-13	150	53.1		リフトオフ荷重確認O. K.
	H-8	150	24.6		リフトオフ荷重確認O. K.
	I-8	200	74.0		リフトオフ荷重確認O. K.
	I-13	150	78.4		リフトオフ荷重確認O. K.
B地区	3	260	247.6		リフトオフ荷重確認O. K.
	7	230	205.6		リフトオフ荷重確認O. K.
	16	260	237.4		リフトオフ荷重確認O. K.

リフトオフ試験の考察

A地区



リフトオフ荷重は、約25～80kNとバラツキのある。

最下段のI列に大きい荷重が集中している。

リフトオフ試験荷重で25kN程度のアンカー（B-8,H-8）は、全体の平均に比べ荷重が低いことから、荷重が減少した可能性がある。

列のアンカー（A-3,7,8）の引き抜けに関する考察

アンカーが引き抜けた原因を特定するためには、引き抜けたアンカーのテンドンを摘出するなどの追加調査を実施する必要がある。

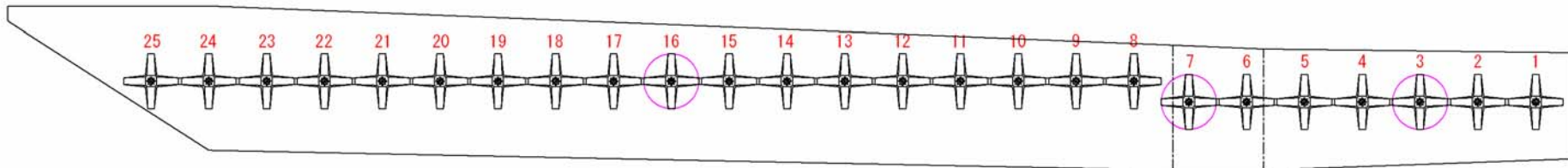
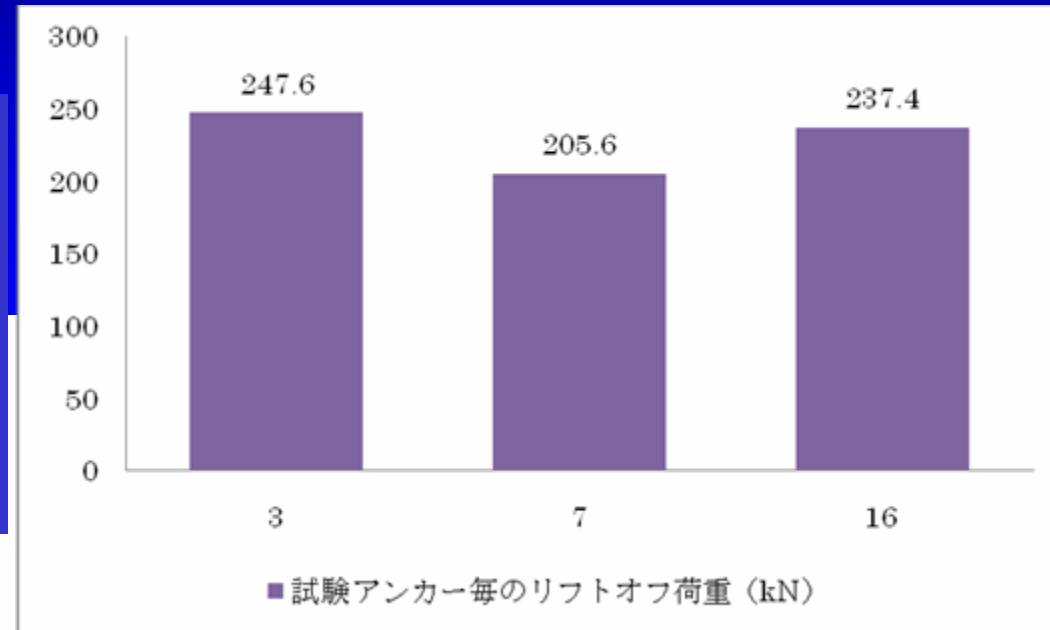
アンカー体設置地盤の一部が断層破碎帯付近に架かることから、地質状況の把握も必要である



頭部コンクリートキャップの浮き

B地区

- 3本共ほぼ同等の残存荷重を確認した。
- 施工後に荷重が大きくなった可能性は低い。
- アンカーの機能に問題はない。



No. 8

No. 7

No. 6

No. 5

No. 6

4. 磁歪によるアンカー緊張力測定

- 1) 磁歪法とは
- 2) 残留応力の計測
- 3) 軸力と固定部の応力の関係
- 4) 現場計測結果
- 5) 2008年度の検討から得た知見

磁歪センサ

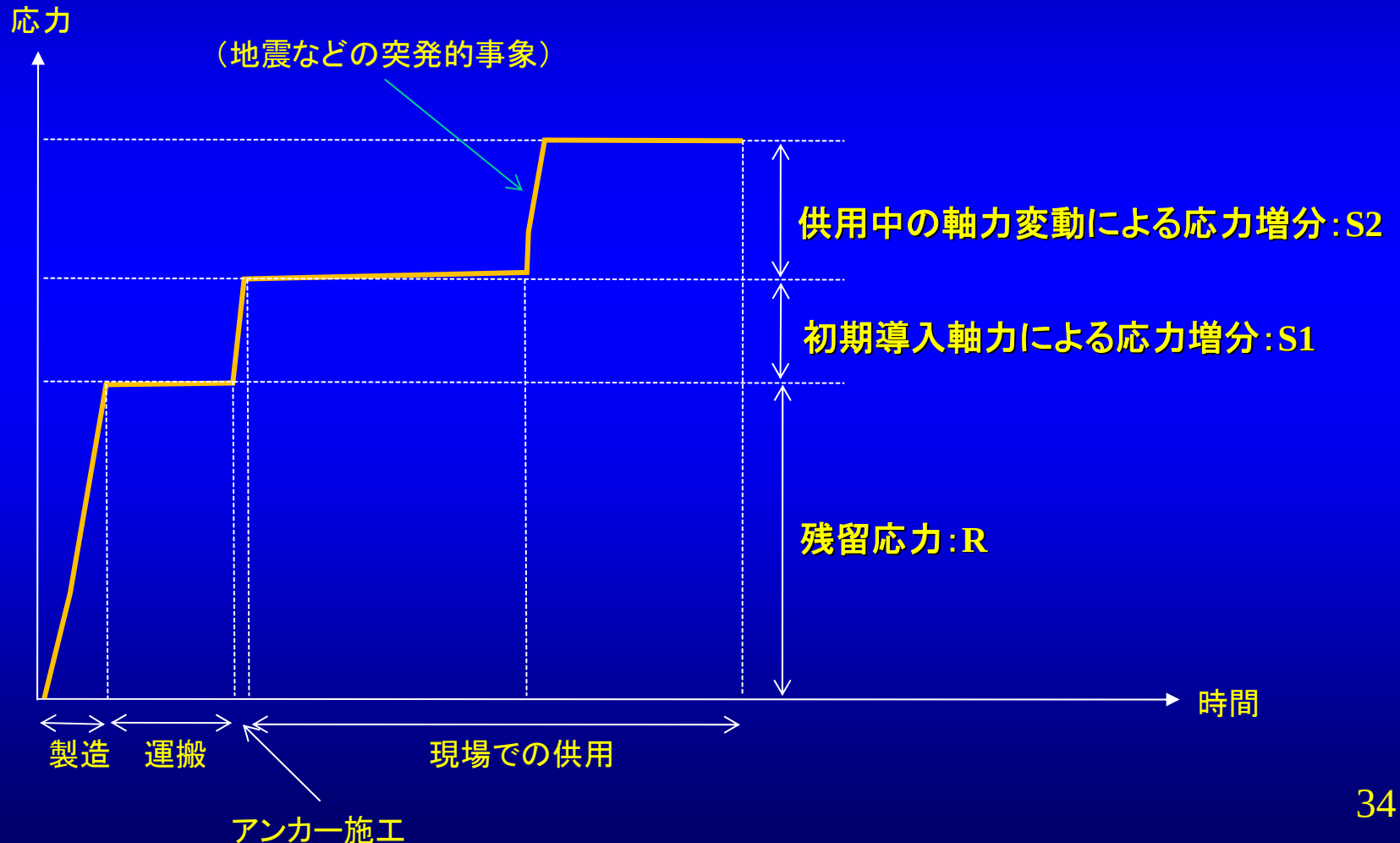
- 非破壊で鉄表面の応力を計測できる.
- 誤差は10から20MPa程度.



アンカーの軸力推定

- アンカー固定部の応力を計測.
- その応力から間接的に軸力を推定⁸³.

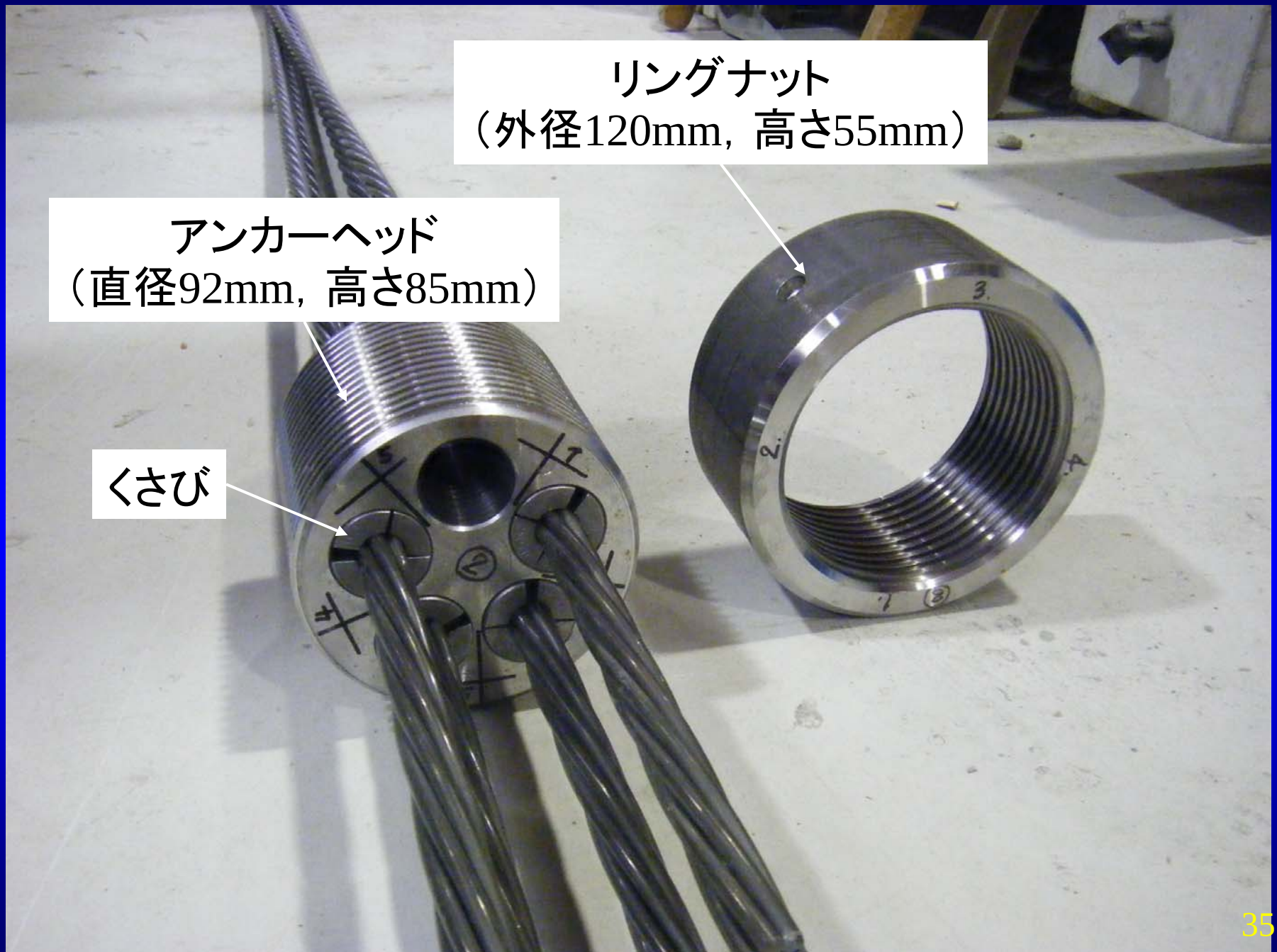
アンカー固定部における応力履歴



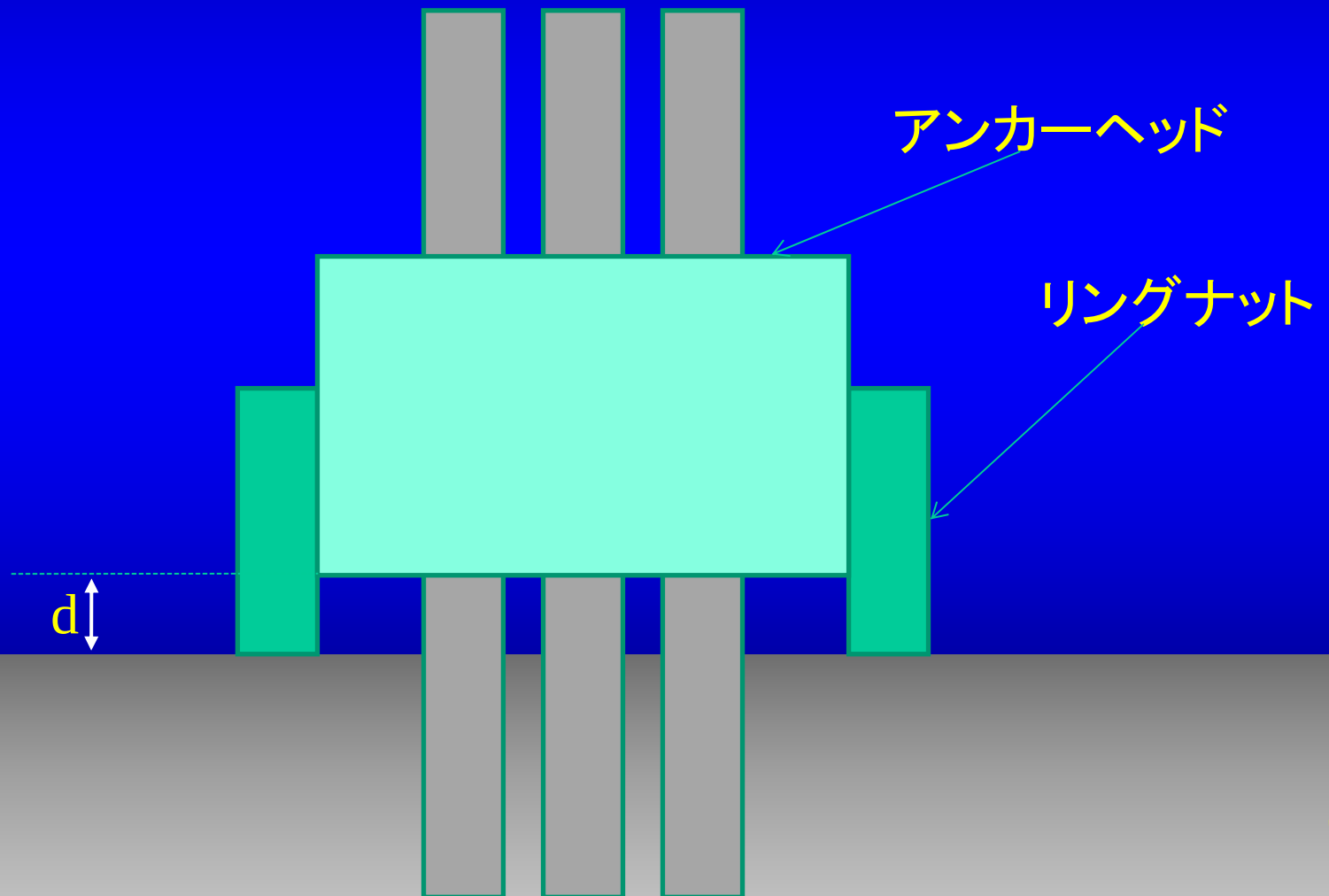
リングナット
(外径120mm, 高さ55mm)

アンカーヘッド
(直径92mm, 高さ85mm)

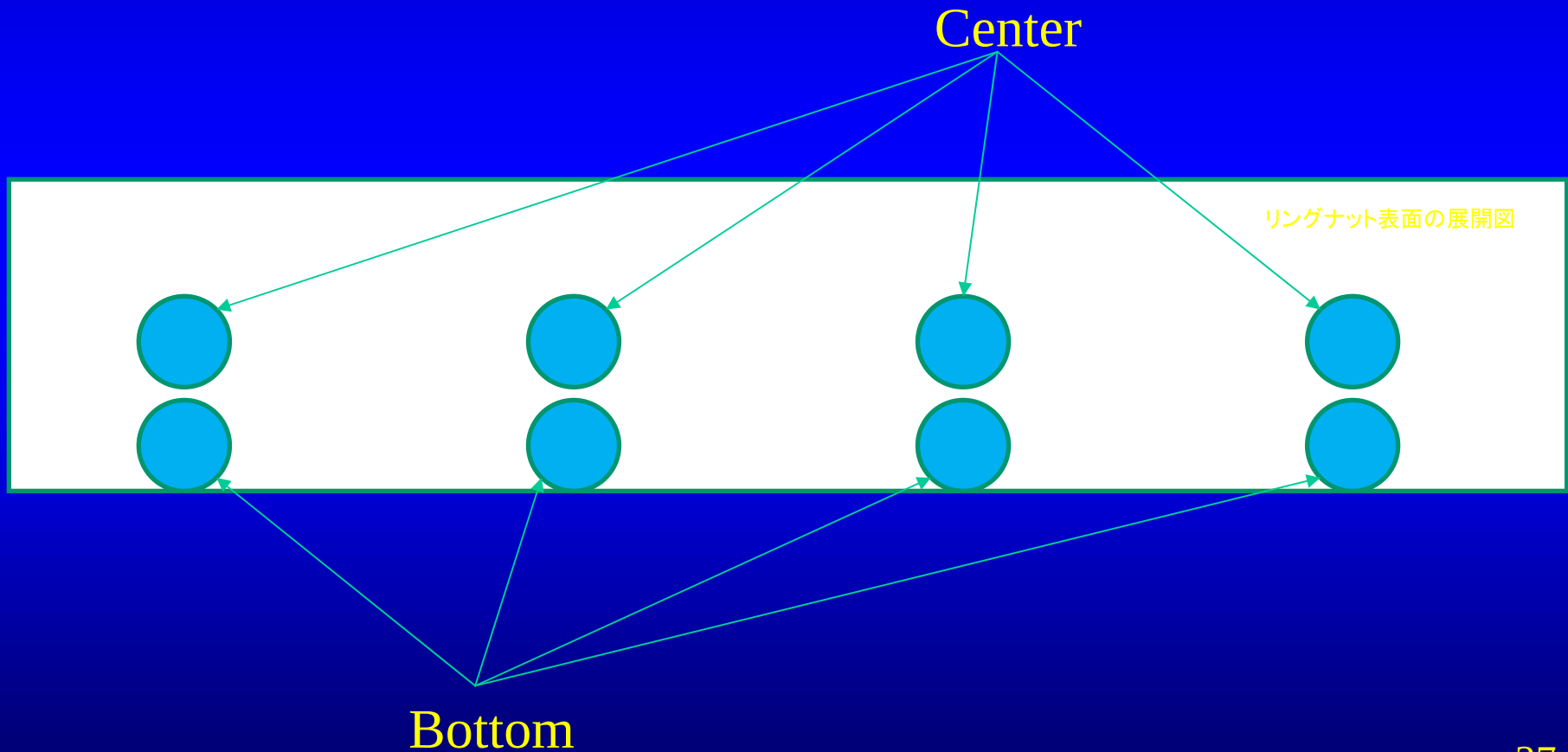
くさび



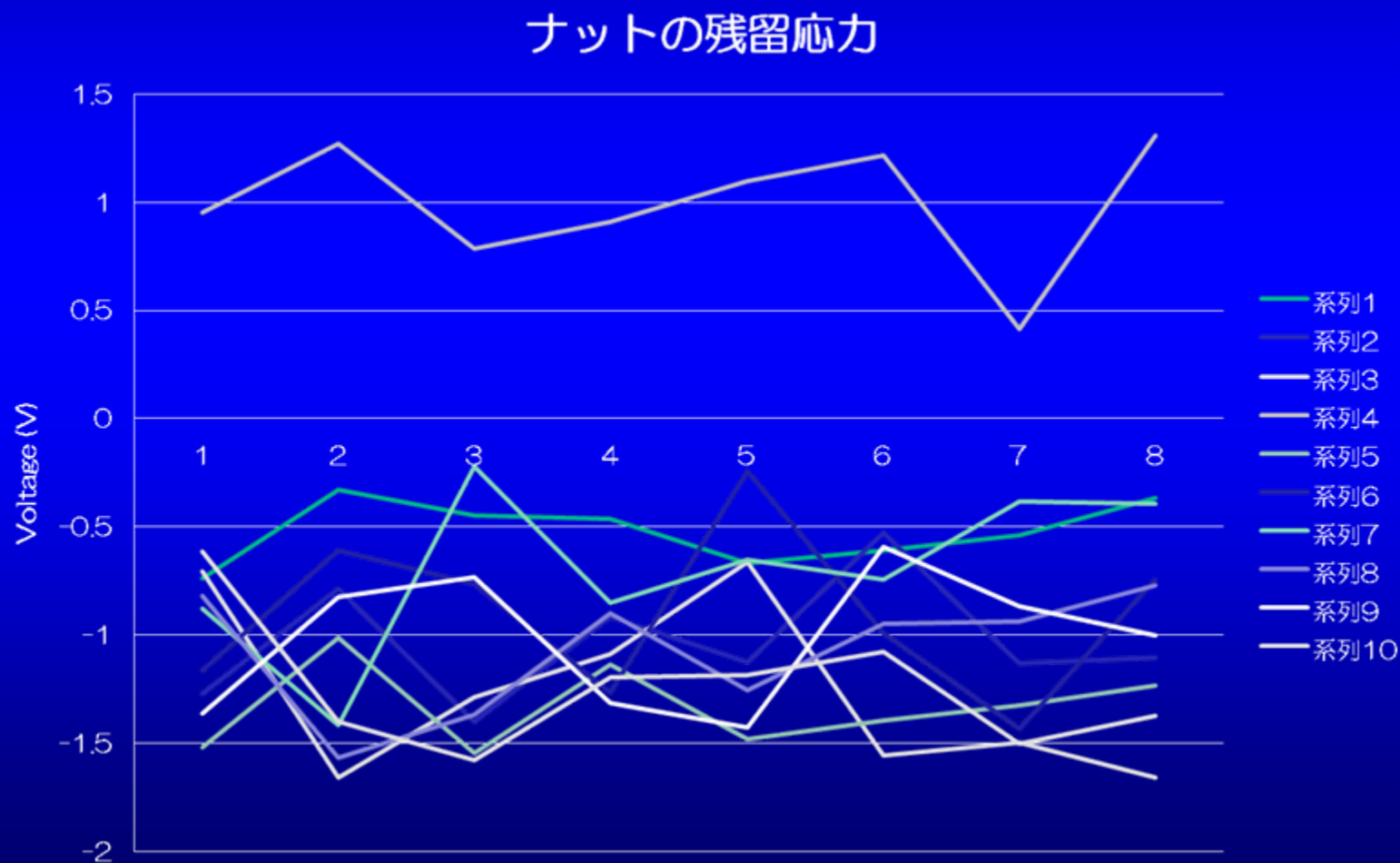
アンカー固定部の構造



リングナットでの計測位置

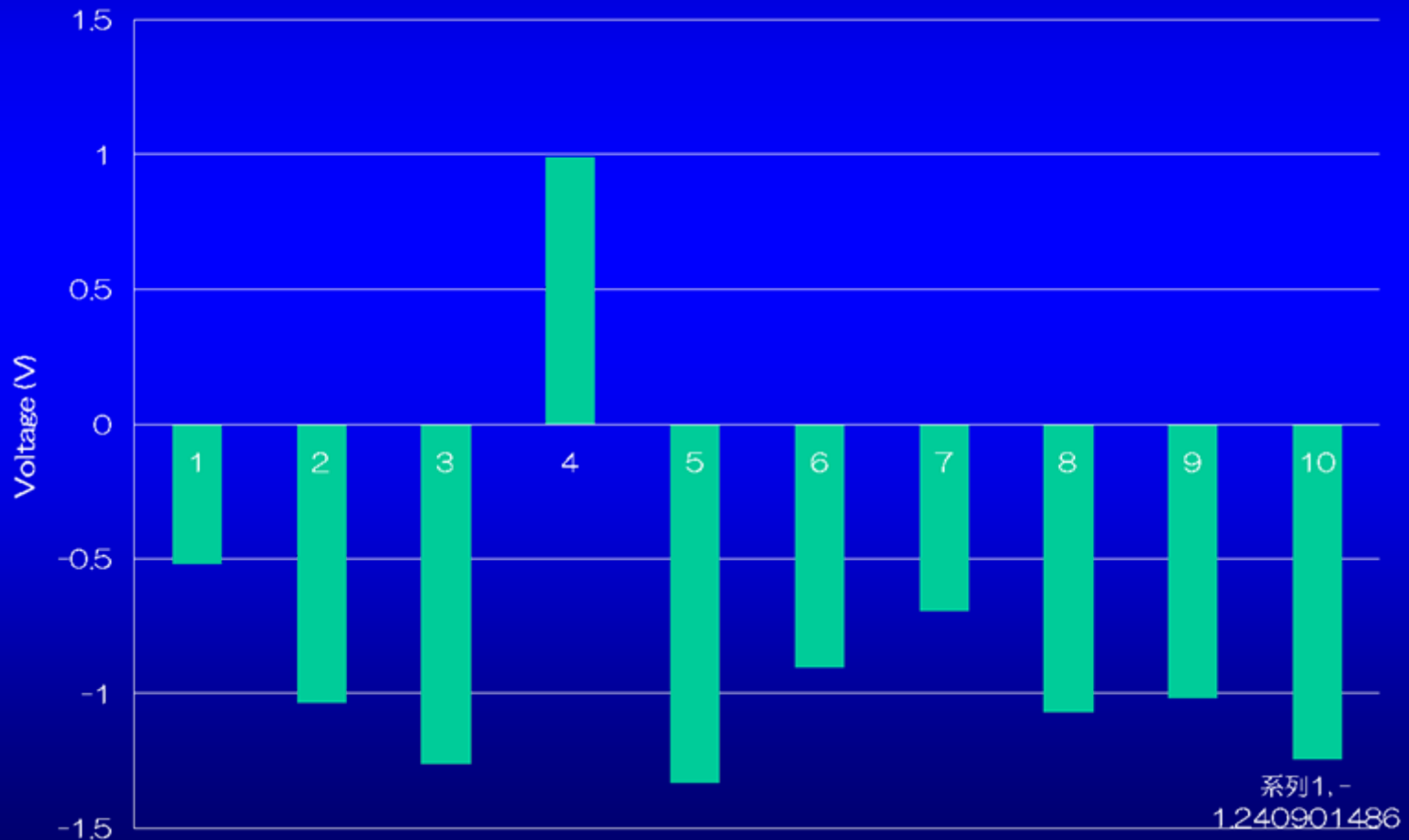


リングナットの残留応力（電圧）



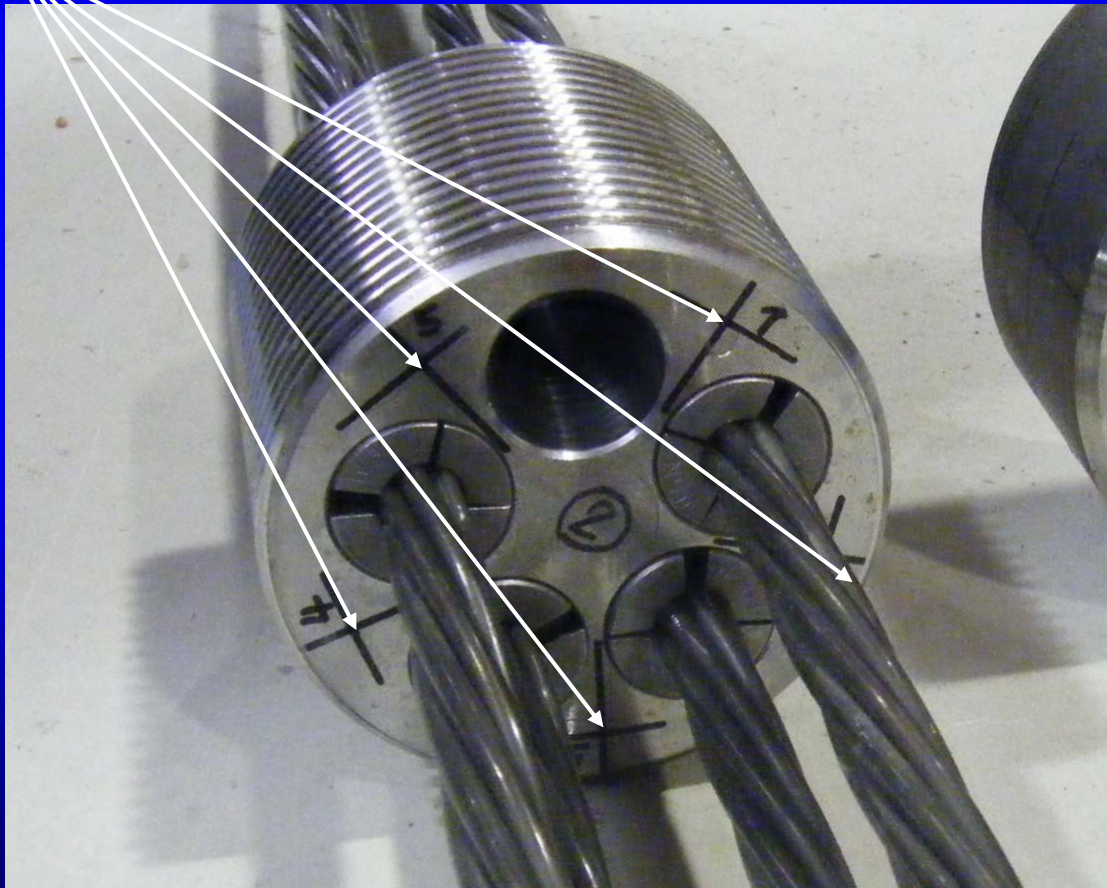
リングナットの残留応力（電圧）

異なるリングナットの残留応力

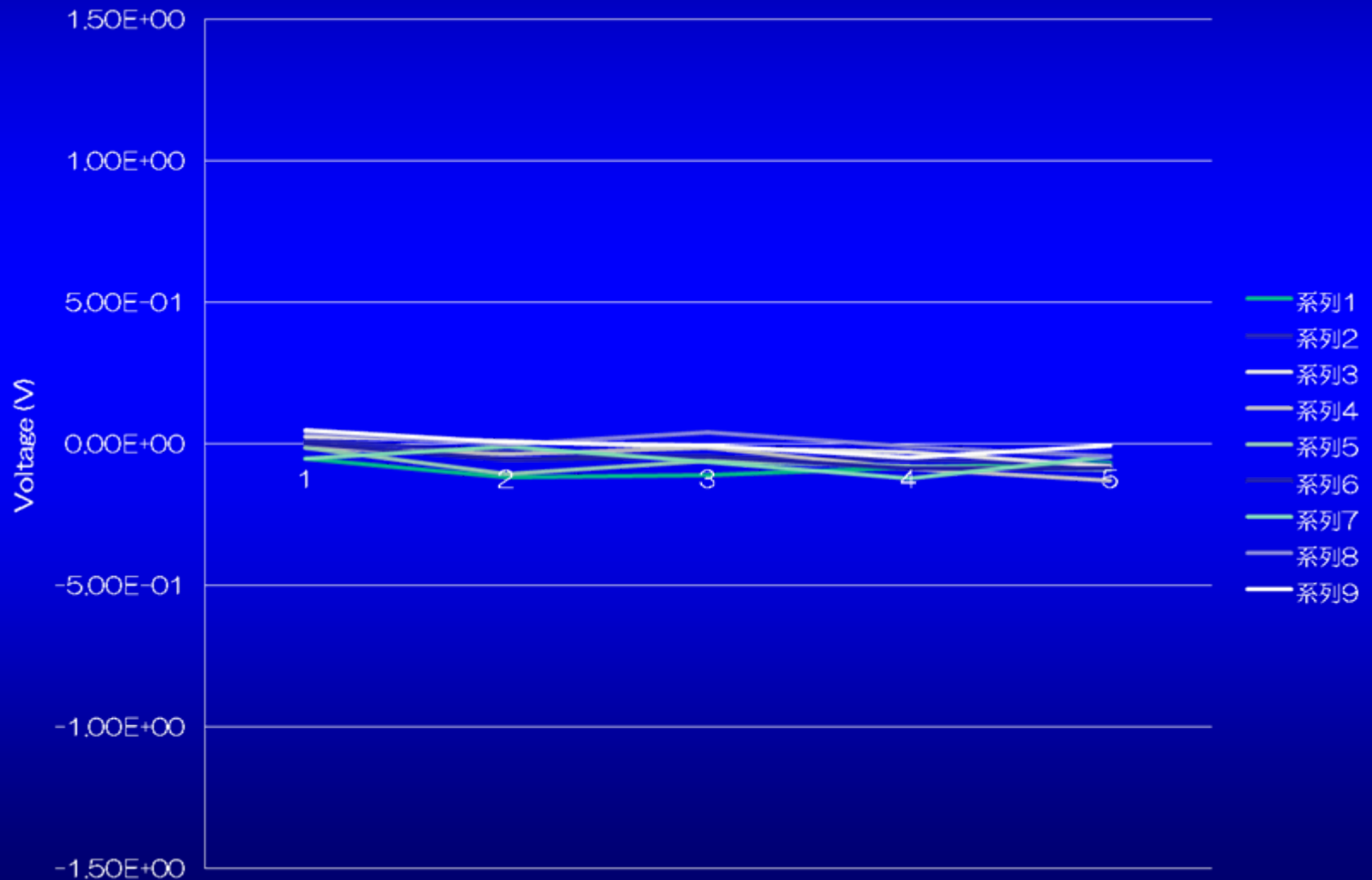


アンカーヘッドにおける検討

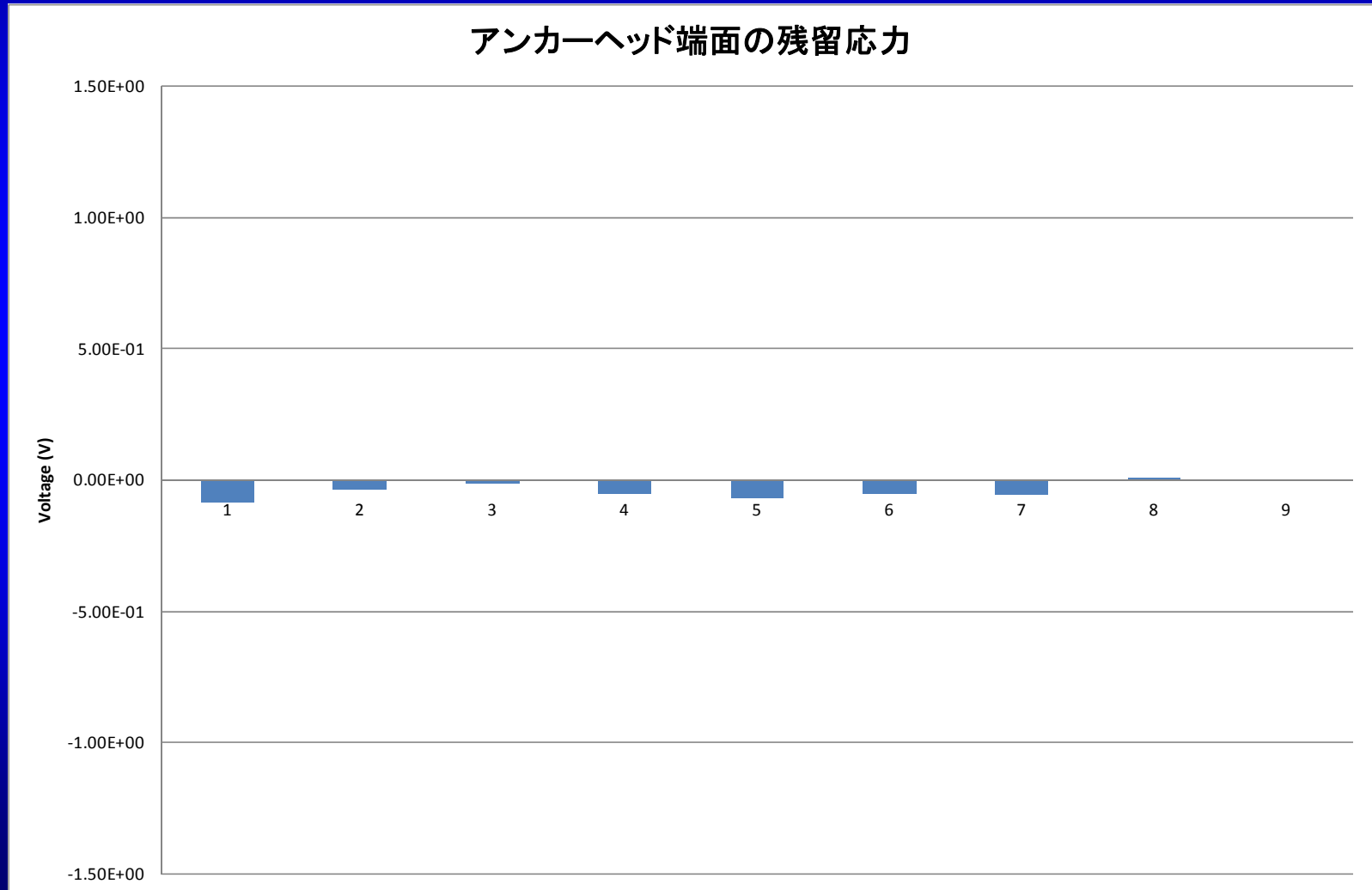
磁歪センサで計測する5箇所



アンカーヘッドの残留応力



アンカーヘッドの残留応力



軸力載荷実験



アンカーヘッドの浮き高さ: d

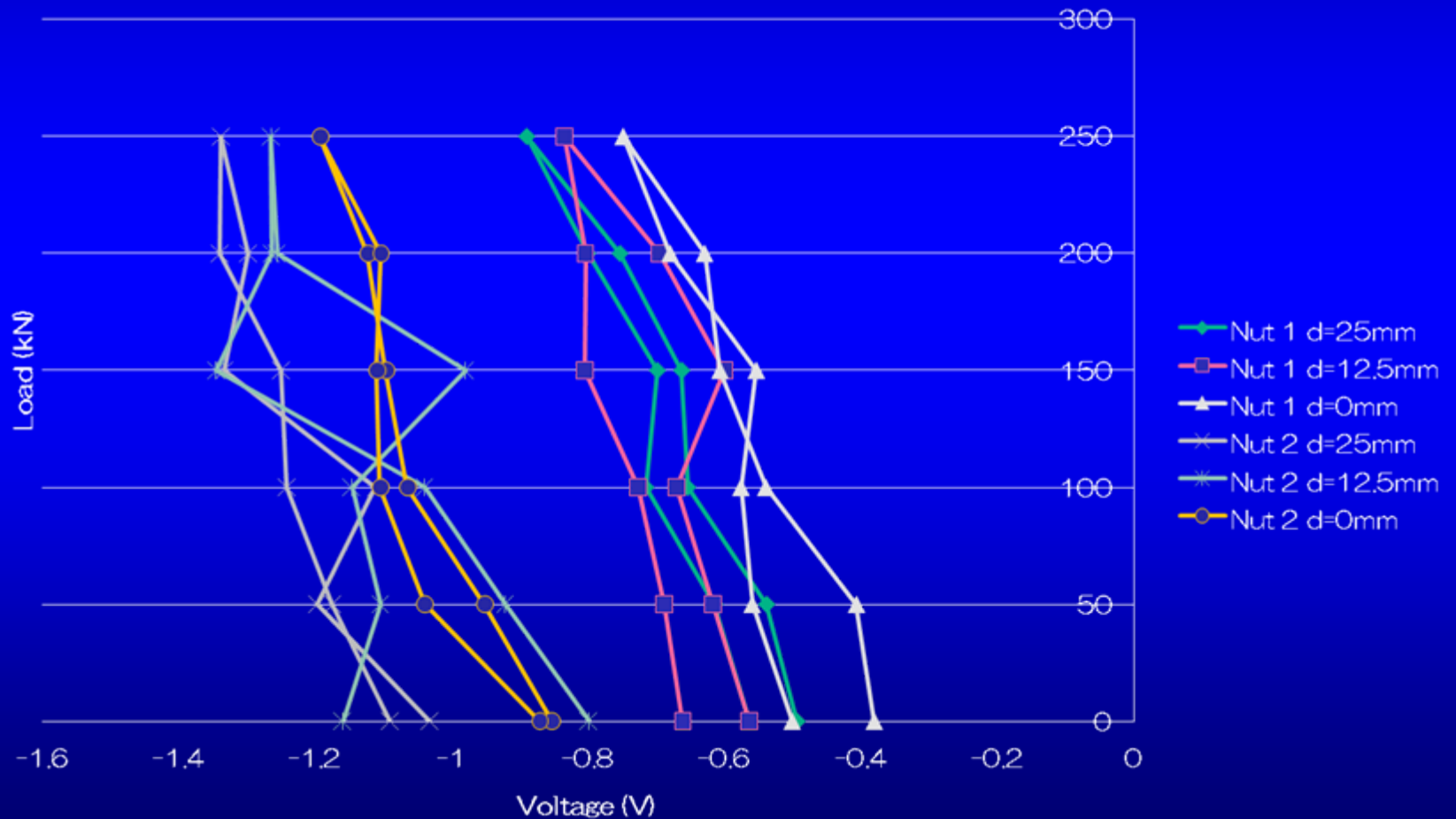


実験の内容

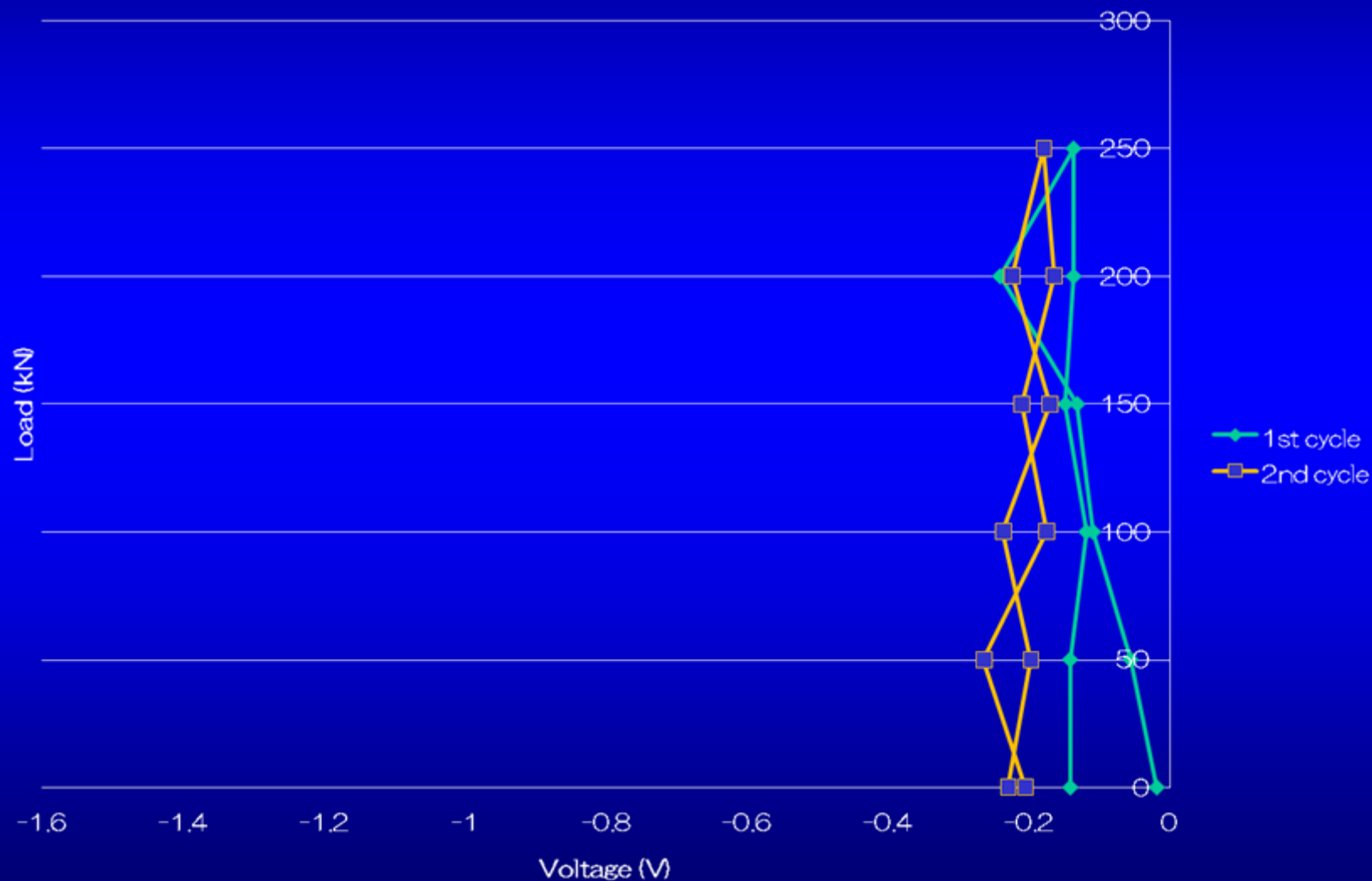
リングナットの番号	実験の内容
Nut 1	【载荷サイクル1】 まず、$d=25\text{mm}$に設定する。次に、0から250kNまで荷重をあげる。軸力は50kNごとにホールドし、リングナットの側面においてCenter, Bottomの合計8か所において電圧値を計測する。ピーク荷重後は、同様に50kNごとに荷重を下げ、それぞれのレベルで計測を実施する。 【载荷サイクル2】 $d=12.5\text{mm}$にして同様の実験を行う。この際、アンカーヘッドはサイクル1を終えた状態のもの（くさびが食い込んでいるもの）を使う。 【载荷サイクル3】 $d=0\text{mm}$にしてサイクル1, 2と同様の実験を実施する。この際、アンカーヘッドはサイクル1, 2を終えた状態のもの（くさびが食い込んでいるもの）を使う。
Nut 2	リングナットだけを交換して、Nut 1に対して実施したものと同様の実験を実施する。アンカーヘッドはそのままのものを用いる。

軸力載荷実験：リングナット

リングナットの載荷実験結果

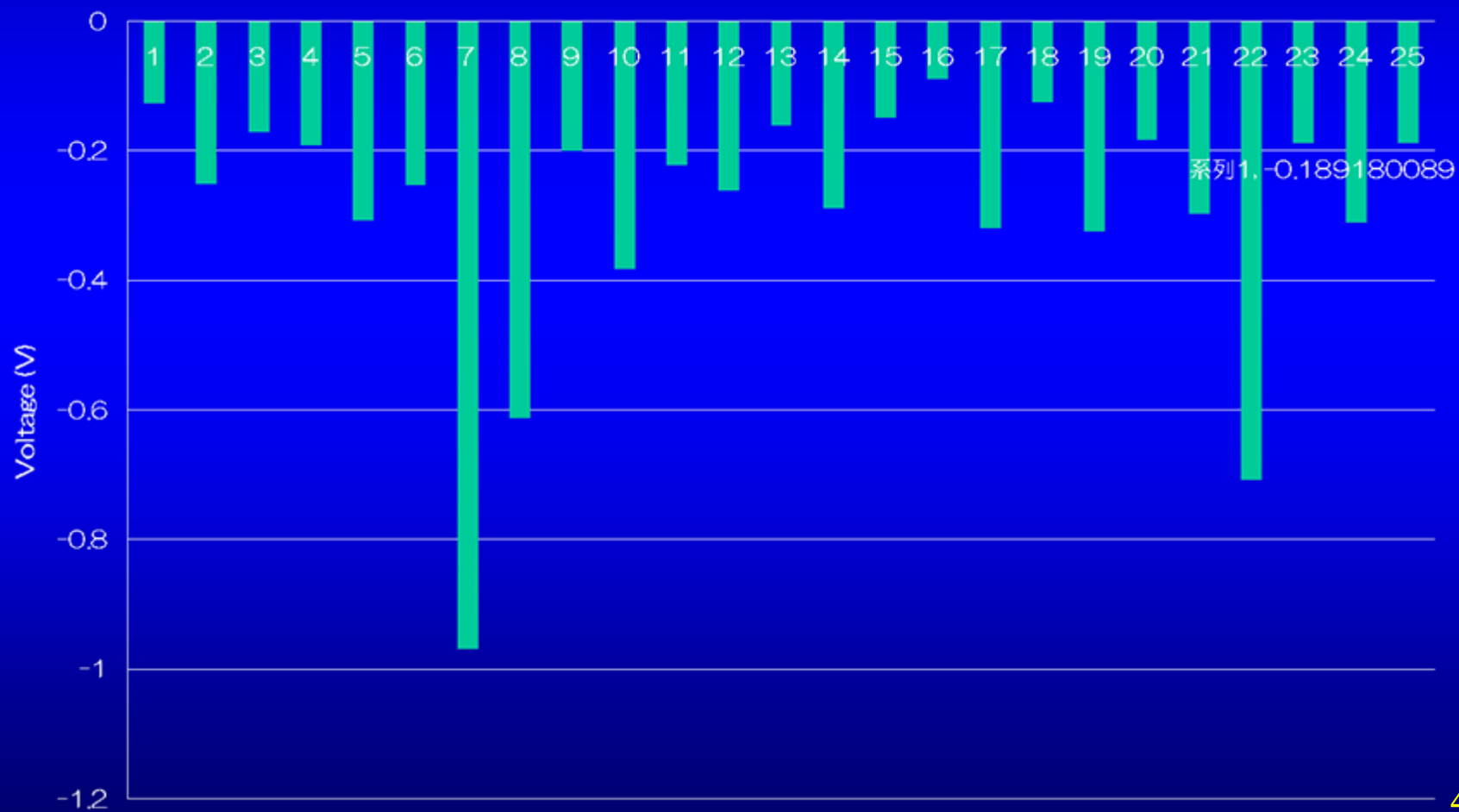


軸力載荷実験：アンカーヘッド



現場計測結果

(すべての平均値)



磁歪法による結果の検証

アンカー番号	リフトオフの結果 (kN)	磁歪法による平均 電圧 (V)
3	247.6	-0.17
7	205.6	-0.97
16	237.4	-0.09

2008年度の検討から得た知見

検討項目	リングナット	アンカーヘッド
残留応力	-0.5Vから-1.3Vの範囲で大きくばらつく.	0から-0.1V以下の範囲に収まっている.
荷重に対する反応	0.1Vの変動が荷重変動69kNに相当する.	0.1Vの変動が荷重変動88kNに相当する.
校正曲線	個体ごとの残留応力のばらつきが大きいため、統一的な校正曲線を作成することが困難.	個体ごとの残留応力のばらつきが小さいため、統一的な校正曲線を作成することが可能.
注意点	残留応力のばらつきは大きいですが、荷重に対する感度は安定している。従って、初回の計測によって軸力を推定することはできないが、複数回の計測を実施すれば、その間の荷重変動を精度よく推定できる可能性が残っている.	過去の最大荷重に依存する形でくさびが食い込むため、その後荷重が減少した場合にそれが判定できない。荷重の減少がないことが確認できれば、磁歪法による良好な測定対象箇所とすることができる.

5. モニタリングについて

モニタリングの目的

今回のリフトオフの結果からは荷重が確認出来なかったものを含めて、推定設計荷重の70%以下になっているものが大半であった。これらの原因を究明する上から、現状のアンカーに荷重計を設置し、今後の荷重低下の状況を調べることにより、荷重が低下した原因を究明するためモニタリングを実施するものとする。

荷重計の分類と概要

計測形式	①歪みゲージ式荷重計	②差動トランス式荷重計	③油圧ディスク式荷重計
計測原理	円筒形の起歪部に取り付けた歪みゲージを介して電圧に変換して、一般の歪み測定機器を用いて計測する。	一次コイルと二次コイルおよびその中心部にある磁性体で構成されたトランスである。その両者の誘導電圧差を計測することにより軸力を計測する。	ディスクの構造は、金属薄板の2枚を溶接して、その中に作動油を充填したものである。ディスク内の油圧力から軸力を計測する。
性 能	適用荷重：～5,000kN 温度制限：-10～+60℃	適用荷重：～2,000kN 温度制限：-30～+80℃	適用荷重：～1,600kN 温度制限：-30～+60℃

「出典：グラウンドアンカー維持管理マニュアル」

グラウンドアンカー用荷重計の比較①

歪みゲージ式



製品名	圧縮センターホール 荷重計	センターホール型荷重計	KTB・ナットゲージ
型名	KCM-500KNA	BL-50TB	NK-2
定格容量	500 kN	500 kN	750 kN
重量	2.8 kg	3.3 kg	1.8 kg

グラウンドアンカー用荷重計の比較②

差動トランス式



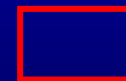
製品名	センターホール荷重計
型名	ELH-50510-3
定格容量	1 MN
重量	16.3 kg

グラウンドアンカー用荷重計の比較③

油圧ディスク式



製品名	ディスクセンサー	プレッシャーディスク
型名	DS800	PD-150
定格容量	800 kN	500 kN
重量	0.55 kg	1.0 kg



今回採用

グラウンドアンカー用荷重計の比較④

磁歪式



製品名	Mリングセンサー
型名	MR-60
定格容量	480 kN
重量	9.5 kg

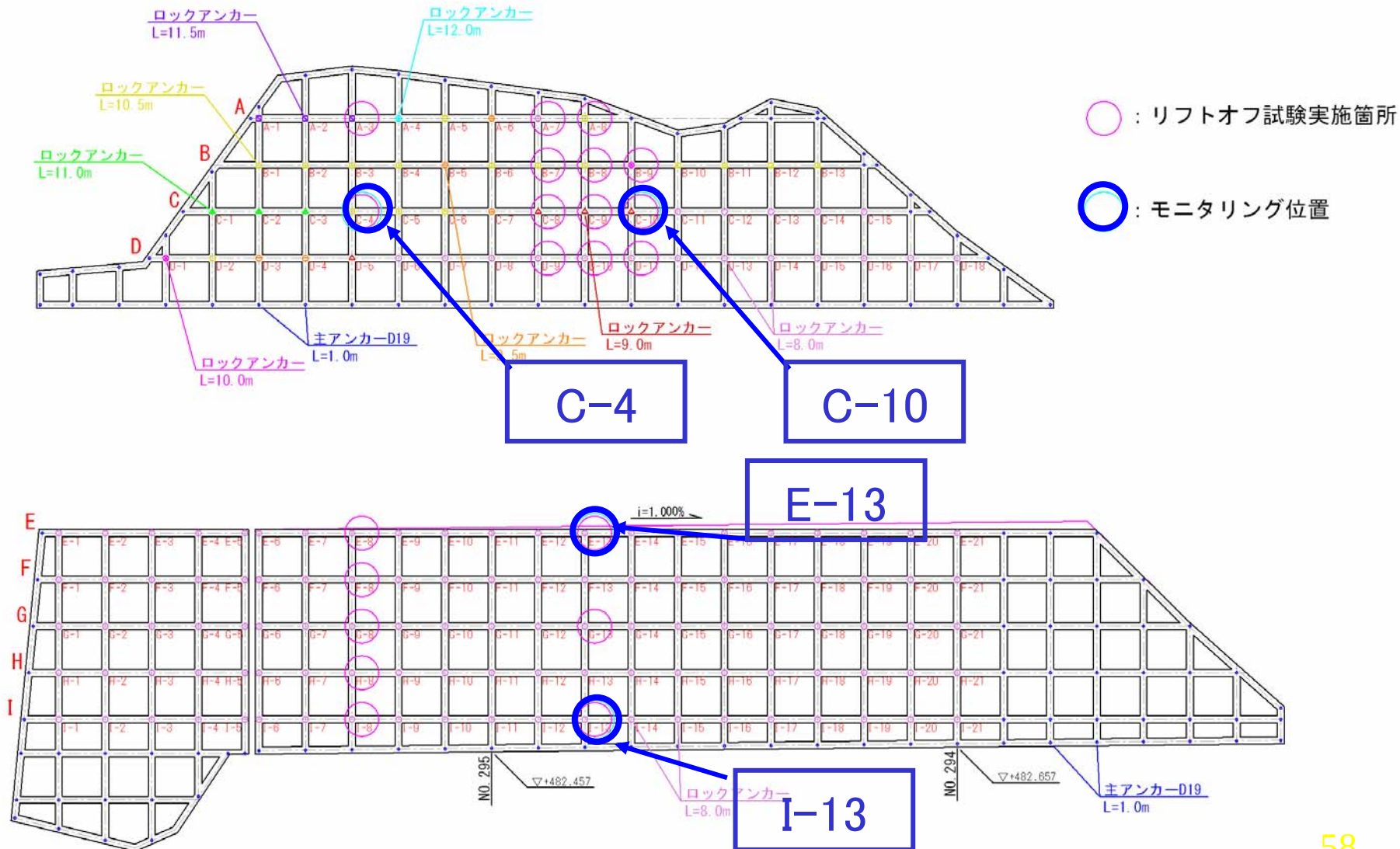
モニタリングの方法

モニタリングを行う荷重計には前述のようなものがある。
本調査ではこれらの中から

- ① 0.55kgと小型で軽量であるため、法面での作業が容易であること。
- ② 価格的にも比較的安価であること。
- ③ 設置実績も多い。
- ④ アンカーの種別を問わずに設置可能である。

等々の理由により、ディスクセンサーを用いる事にした。

モニタリング箇所を選定



モニタリング対象アンカーと 定着荷重

アンカー 孔番	定着荷重 (kN)	備考
C-4	83.8kN	鋼棒掴みシロがなかったためリフトオフをしていない (その他定着時荷重を採用)
C-10	57.2kN	鋼棒掴みシロがなかったためリフトオフをしていない (C-9のリフトオフ荷重を採用)
E-13	45.5kN	リフトオフ荷重を採用
I-13	78.0kN	リフトオフ荷重を採用

モニタリングの頻度と計測期間

モニタリングの頻度

3時間毎

モニタリングの期間

2年間

とするが、変状の状況に応じて計測頻度を決定する

6. 問題点の整理と今後の検討課題

(旧タイプのアンカーが施工されている「A地区」について)

地山の問題点と今後の課題

・地山の問題点

本斜面の特徴は、断層によって背面に分離面を有する地盤となっている点である。アンカーの機能としては、この断層前面の劣化した土塊の安定性を確保することが目的であったと考えられる。しかしながら、終点側ののり裾には湧水があり、この地下水が断層に作用すると、断層前面の土塊に対し不安定要因となる可能性が高い。現状は目立った変状がないため安定性を損なうほどの影響は生じていないと考えられるが、アンカー定着は一部断層破碎帯内にある可能性や、地下水の影響による劣化が進行する地盤に施工されている可能性がある。

・今後の対応

現在の斜面の地質状況を詳細に調べるために、ボーリングと弾性波探査を実施して、のり面の地質的な特徴をつかんでおく。

ただし、対策工が既に施行されている斜面であり、調査計画に当たっては事前に十分な検討が必要である。

既設アンカーの問題点と今後の課題

・ 既設アンカーの問題点

一部のアンカーは想定的设计アンカー緊張力(80kN)の1.5倍(120kN)まで
載荷出来ずに抜けてしまい、アンカーの機能が果たせていない。

・ 対応策

これらのアンカーが抜けた原因は何かを確かめるために、アンカー鋼棒を引き抜き、
鋼棒が切れて抜けたためなのか、鋼棒は切れずに定着部分の周面摩擦力が低下して
抜けたためなのかを確かめることを提案する。

・ 引き抜き試験を行うことでわかる今後の課題

1) 鋼棒が切断していた場合

- ・ 計画以上の荷重が作用して切断していれば設計の想定滑り力を見直す必要が有る
- ・ 鋼棒が何らかの原因で腐食して切断していたとすれば、他のアンカーも今後腐食し、切断する可能性があるため、腐食の度合いを別途調査する必要が有る。

2) 鋼棒が切れずに定着層の周面摩擦力が低下して抜けた場合

- ・ 定着層とした地層が断層破碎帯内にあれば、元々周面摩擦力が足りなかった事になり安定計算を見直す必要が有る。
- ・ 地層が風化したことにより当初設計の周面摩擦力以下に低下していれば、他の段のアンカーの周面摩擦力もいずれ低下してのり面全体が不安定になる。

ご静聴、ありがとうございました。

