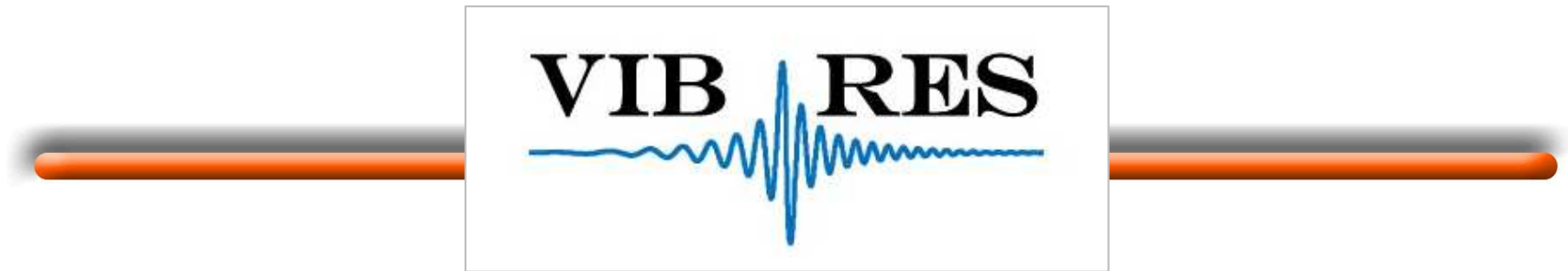


グラウンドアンカー緊張力測定の効率化を図る 「VIBRES[®](ビブリス)システム」



中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株)

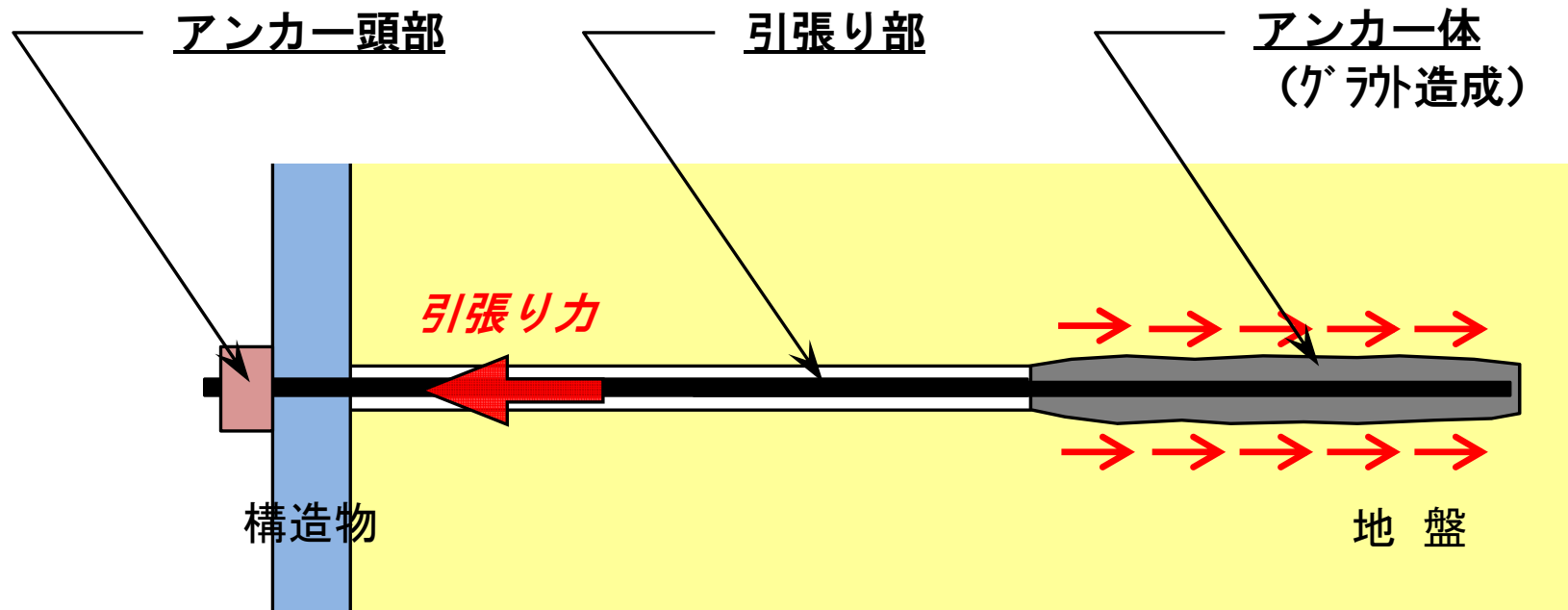
上席研究員 山崎 充



1. グラウンドアンカーとは？

1-1. グラウンドアンカーとは？

グラウンドアンカー(以下, アンカー)は, 作用する引張り力(緊張力)を地盤に伝達するためのシステムで, グラウト注入によって造成されるアンカー体, 引張り部, アンカー頭部から構成される¹⁾.



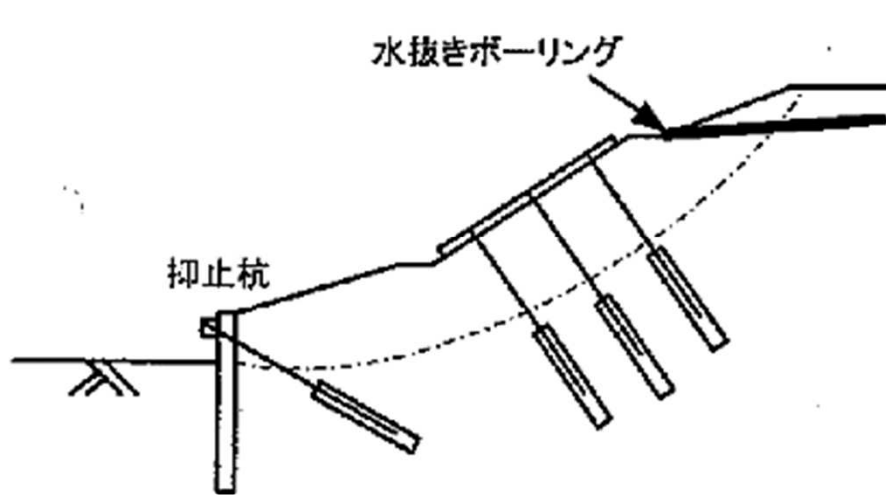
グラウンドアンカーの模式構造図¹⁾

1) 公益社団法人 地盤工学会:グラウンドアンカー設計・施工基準, 同解説 JGS4101-2012, 2012.

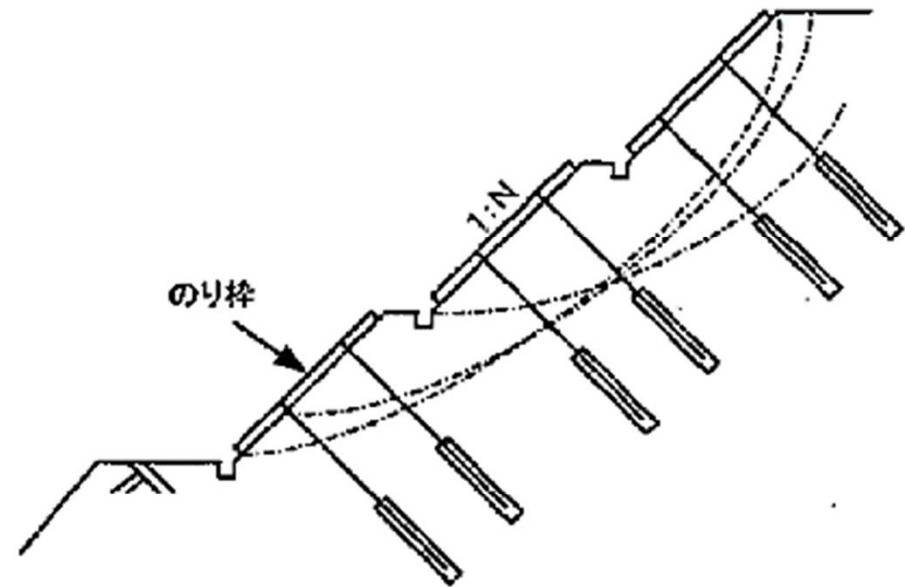
1. グラウンドアンカーとは？

1-3. 高速道路での採用例

高速道路では、アンカーは主にのり面や斜面の安定の構造物として用いられる³⁾。



(a) 地すべり対策



(b) 盛土・切土のり面安定

高速道路におけるグラウンドアンカーの用途³⁾

3) 中日本高速道路(株):グラウンドアンカー設計・施工要領, p.1, 2007.

1. グラウンドアンカーとは？

1-3. 高速道路での採用例



切土のり面：新東名高速道



切土のり面：東海北陸道



切土のり面：東海北陸道



切土のり面：新東名高速道



自然斜面の地すべり対策：紀勢道



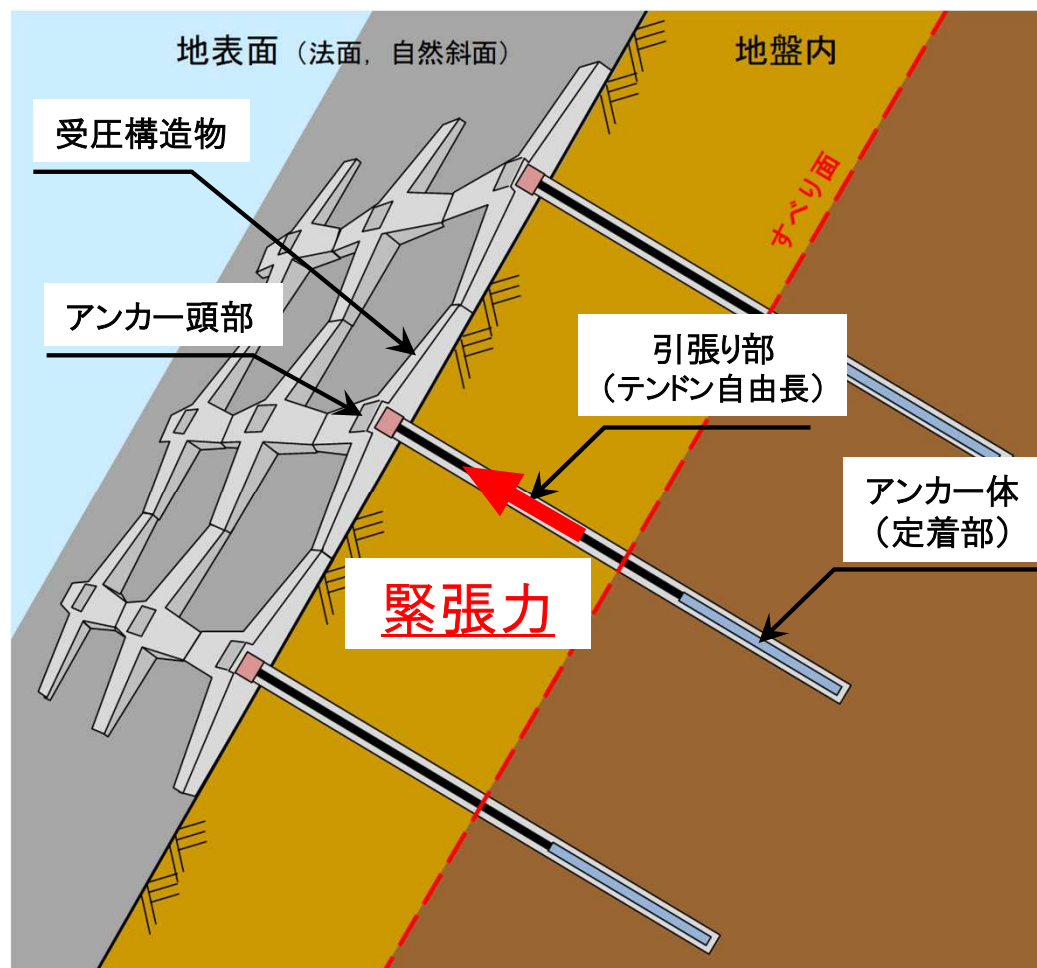
トンネル坑口の地すべり対策：新東名高速道

高速道路におけるグラウンドアンカーの採用例

2. グラウンドアンカーの維持管理とその課題

2-1. グラウンドアンカーの維持管理

アンカーはのり面や斜面の安定化を図る構造物 ⇒ **維持管理が必要**



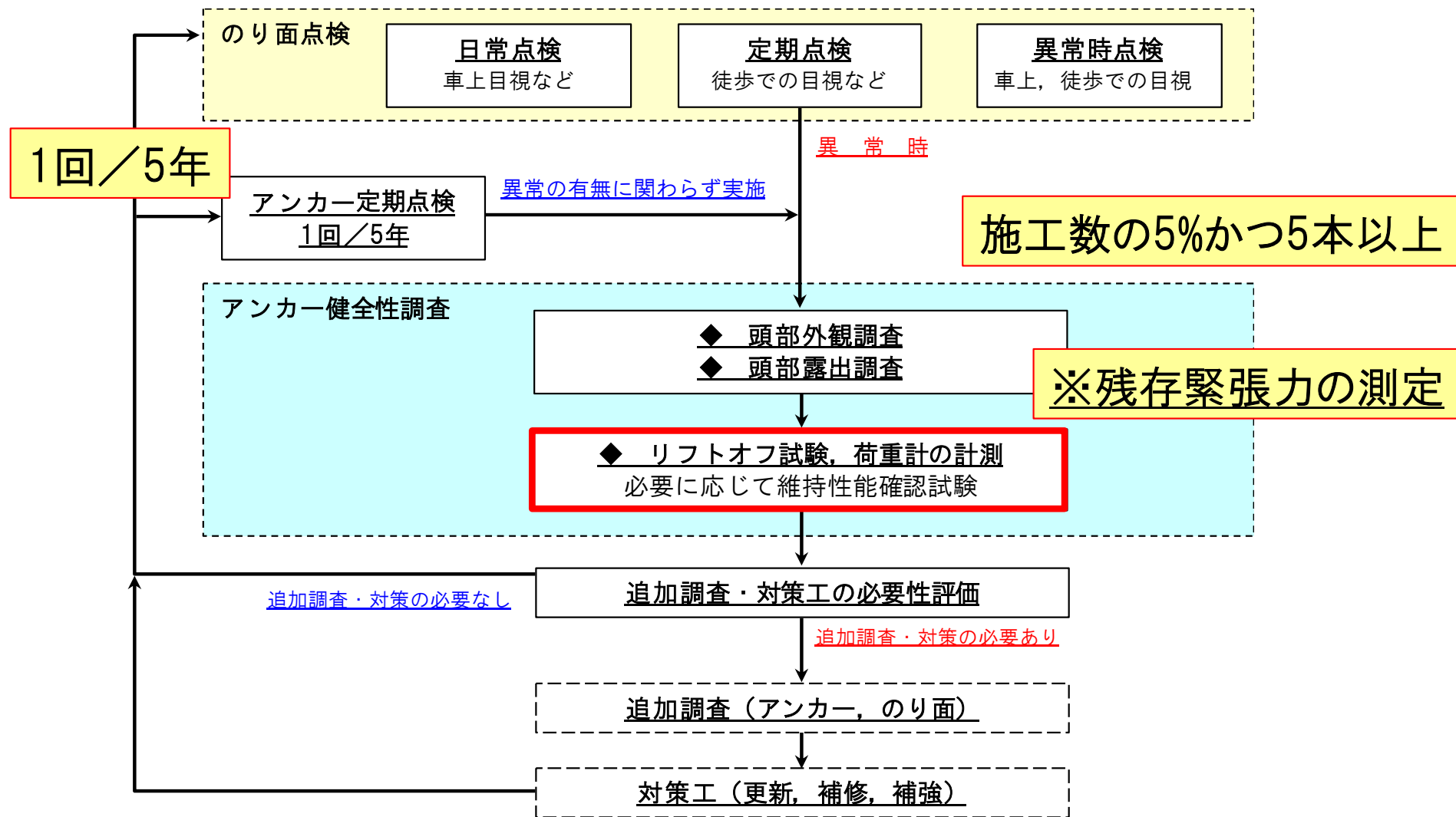
高速道路には少なくとも、
120,000本のアンカーが存在⁴⁾

国道，県道などの道路，
砂防，河川，ダム，港湾などを
含めると，国内には，
高速道路の何倍，何十倍もの
アンカーが存在すると考えられる。

4) (株)高速道路総合技術研究所：高速道路におけるアンカー維持管理の現状，グラウンドアンカー維持管理に関するシンポジウム，2013.

2. グラウンドアンカーの維持管理とその課題

2-1. グラウンドアンカーの維持管理

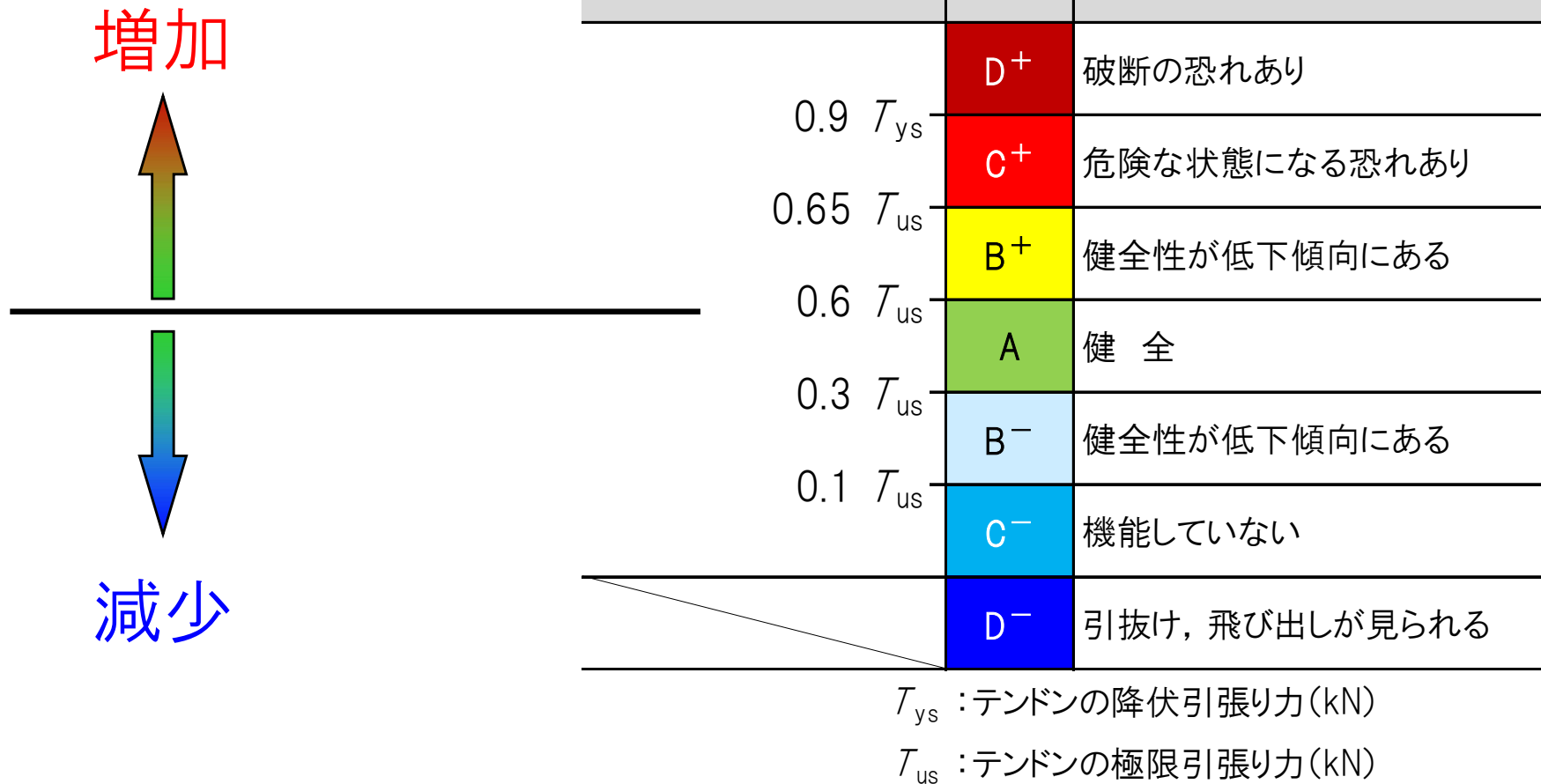


グラウンドアンカー維持管理の流れ(NEXCO名古屋支社管内の例)

2. グラウンドアンカーの維持管理とその課題

2-1. グラウンドアンカーの維持管理

残存緊張力評価の目安²⁾

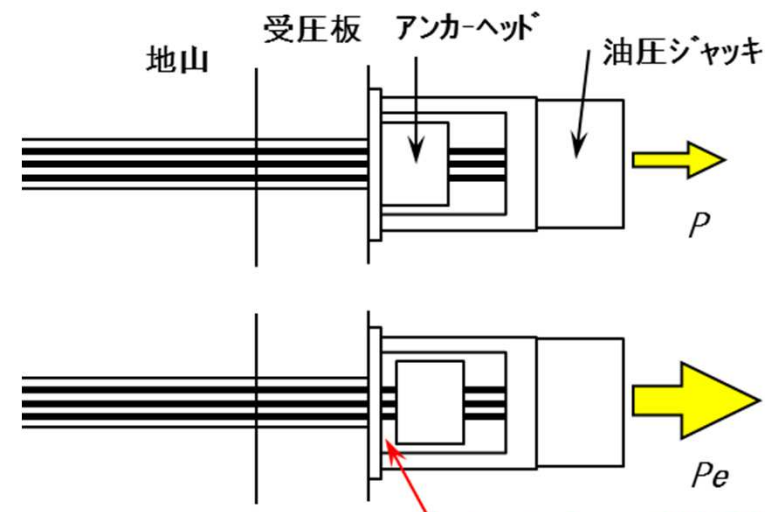


2) 土木研究所, 日本アンカー協会, 三重大学, 高速道路総合技術研究所: グラウンドアンカー維持管理マニュアル, pp.119-123, 2020.

2. グラウンドアンカーの維持管理とその課題

2-2. 維持管理における課題

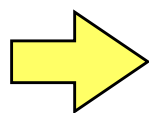
アンカー緊張力の測定には、油圧ジャッキによるリフトオフ試験が行われる。



リフトオフ=残存緊張力

油圧ジャッキによるアンカー緊張力の測定(リフトオフ試験)の例

リフトオフ試験の機材は重く、仮設足場が必要な場合があり、手間とコストがかかる。



このため、

リフトオフ試験に代わる、簡易で安価な技術の開発が求められている。

3. VIBRESシステムの原理と機器構成

3-1. VIBRESシステムの原理

私たちは、リフトオフ試験に代わる簡易で安価な方法として、振動を用いたグラウンドアンカー緊張力の測定技術「VIBRES(ビブリス)」を開発。

原理: アンカーの自由長部には、緊張力が作用。

定着部と頭部で固定された「弦」 → 数Hz～60Hz で振動



$$T = 4 L^2 f^2 \mu$$

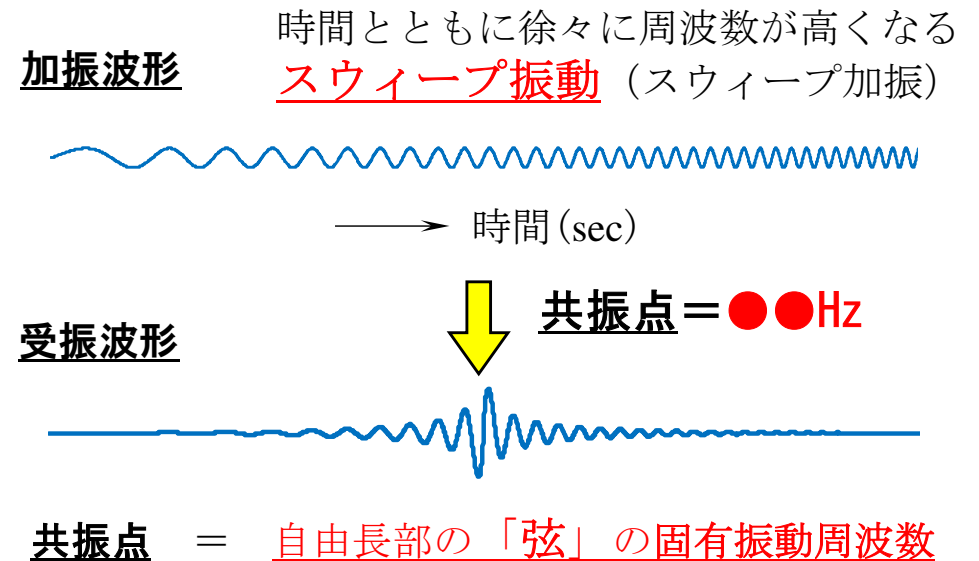
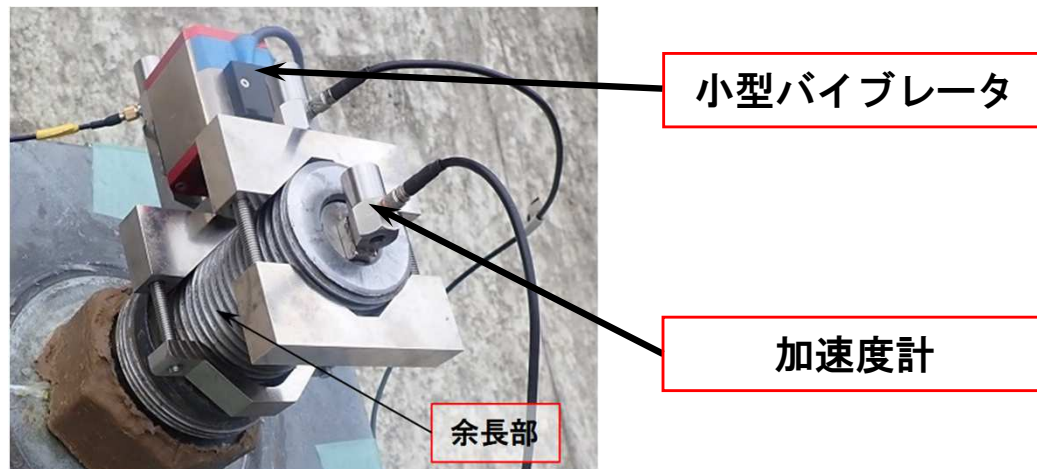
T : 緊張力(N)
 L : 自由長部の長さ(m)
 f : 振動周波数(Hz)
 μ : 自由長部の線密度(kg/m)

自由長部の振動周波数「 f (Hz)」が測定できれば、緊張力が求められる。

3. VIBRESシステムの原理と機器構成

3-2. VIBRESシステムの測定方法

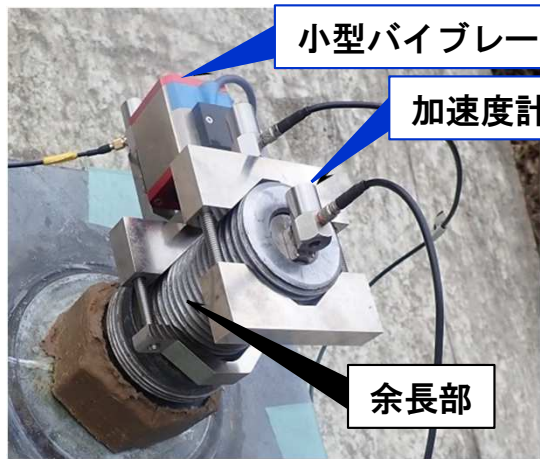
しかし、自由長部は地盤内にあるため、直接振動を加え、測定することはできない。
そこで本技術では、アンカー余長部に小型バイブレータを取り付け、時間とともに徐々に周波数が高くなる「スイープ振動」(例: 10Hz~20Hz)を加える(加振する)。



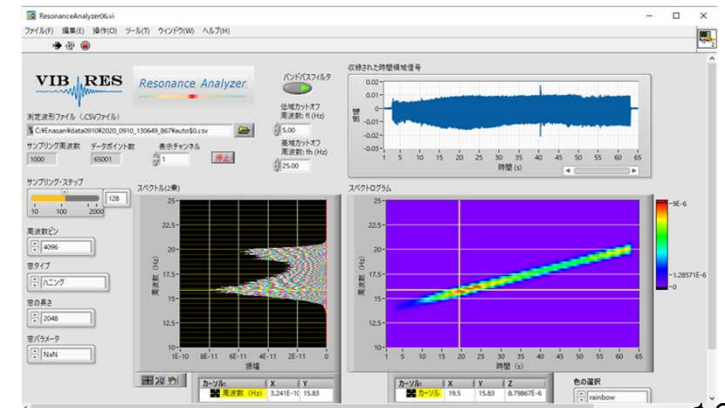
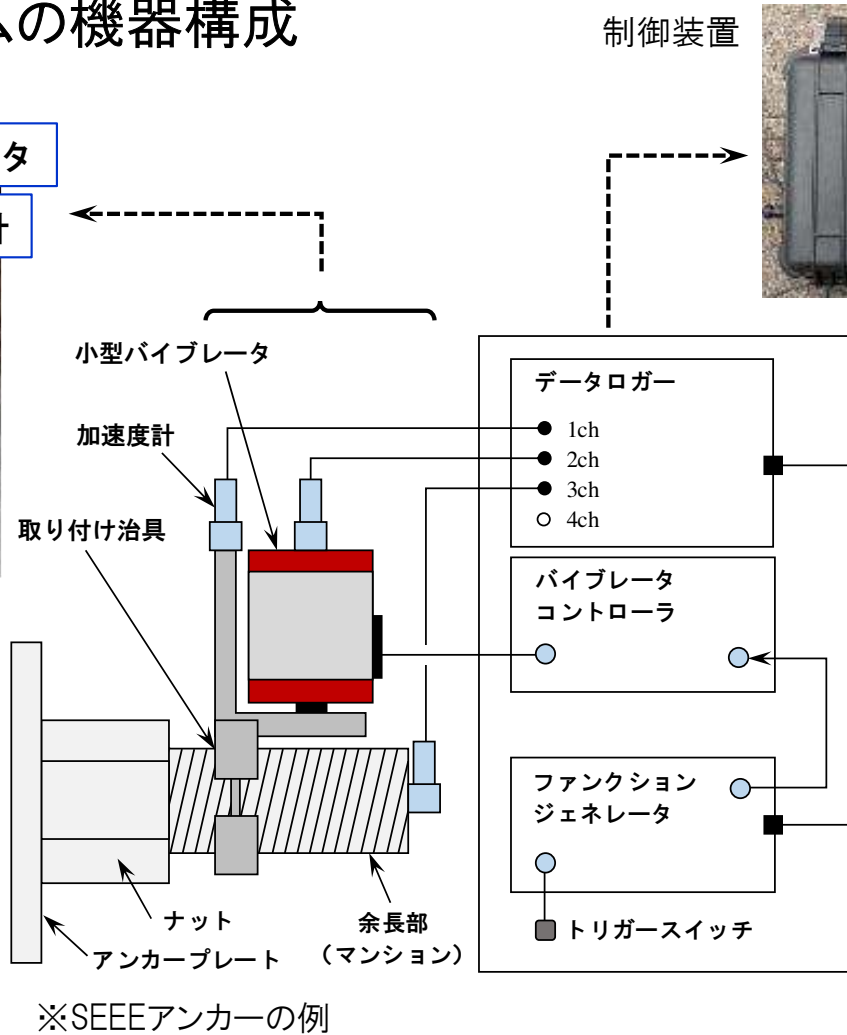
加振周波数が、自由長部の固有振動周波数と一致したとき「共振現象」が生じる。
この共振現象(共振点)を加速度計で読み取り、緊張力を求める。
1回の測定時間は、60秒~120秒程度。

3. VIBRESシステムの原理と機器構成

3-3. VIBRESシステムの機器構成



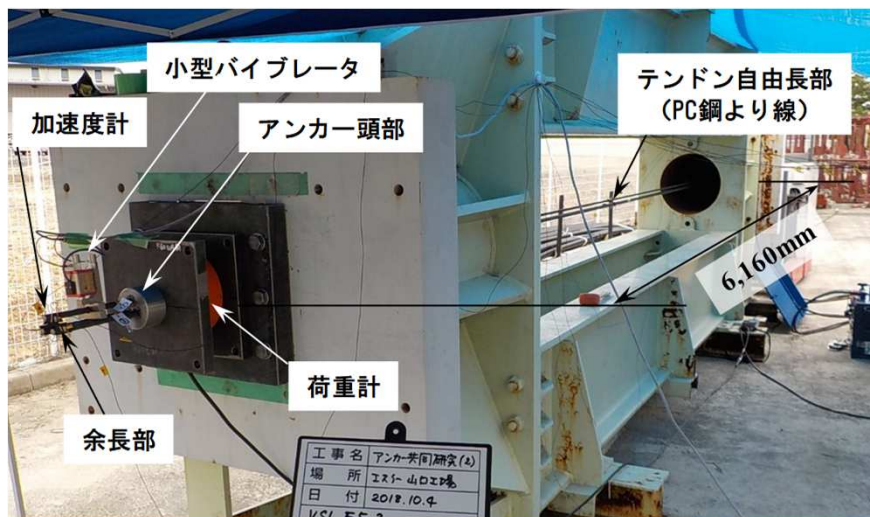
※小型バイブレータ:
約400g
※加速度センサー:
約30g



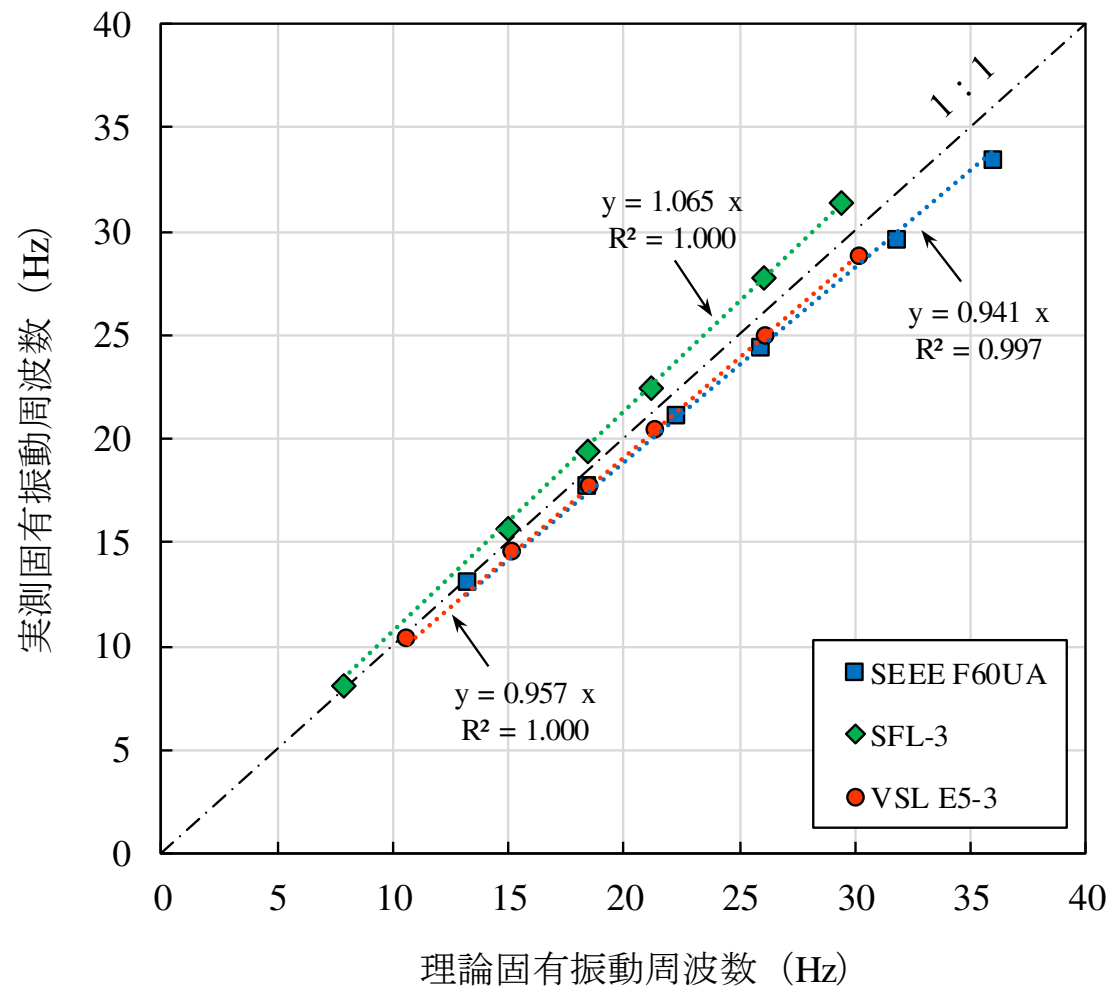
VIBRESシステムの測定機器の構成

4. 実物大アンカー模型による検証

4-1. 実物大アンカー模型による検証実験



5段階の緊張力(1/3*Ta, 1/2*Ta, 2/3*Ta, Ta, 0.9*Tys)で検証



アンカー規格	SEEE F60UA	SFL-3	VSL E5-3
頭部写真			
定着具タイプ	 ナット	 くさびナット	 くさび
PC鋼より線数	1	3	3
PC鋼より線径 φ (mm)	21.8	15.2	12.7

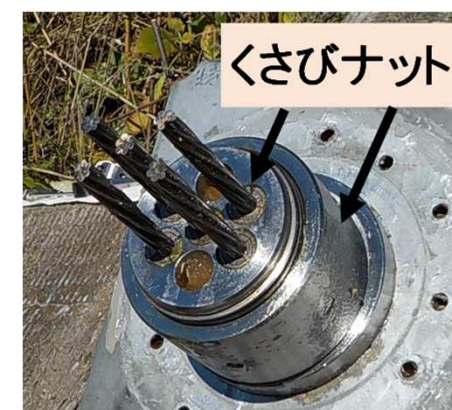
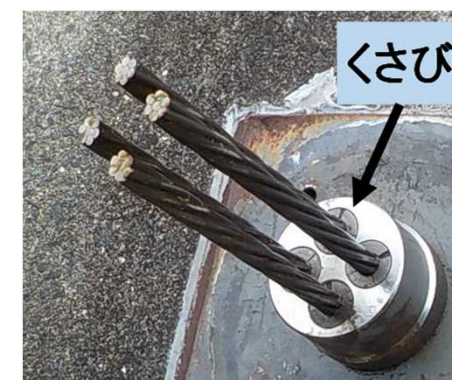
実物大アンカー模型による tendon 自由長の振動検証

5. 現場アンカーへの適用性検証

5-1. 検証に用いた現場アンカー

検証に用いた現場アンカー

定着タイプ	振動法 測定数 (n)	テンドン 自由長 l_{sf} (m)	鋼線数 (本)	リフトオフ 試験比較数 (n)
ナット	11	7.2~20.9	1	11
くさび	85	4.0~17.0	2~8	85
くさびナット	36	4.0~14.5	1~4	34
合計	132	—	—	130

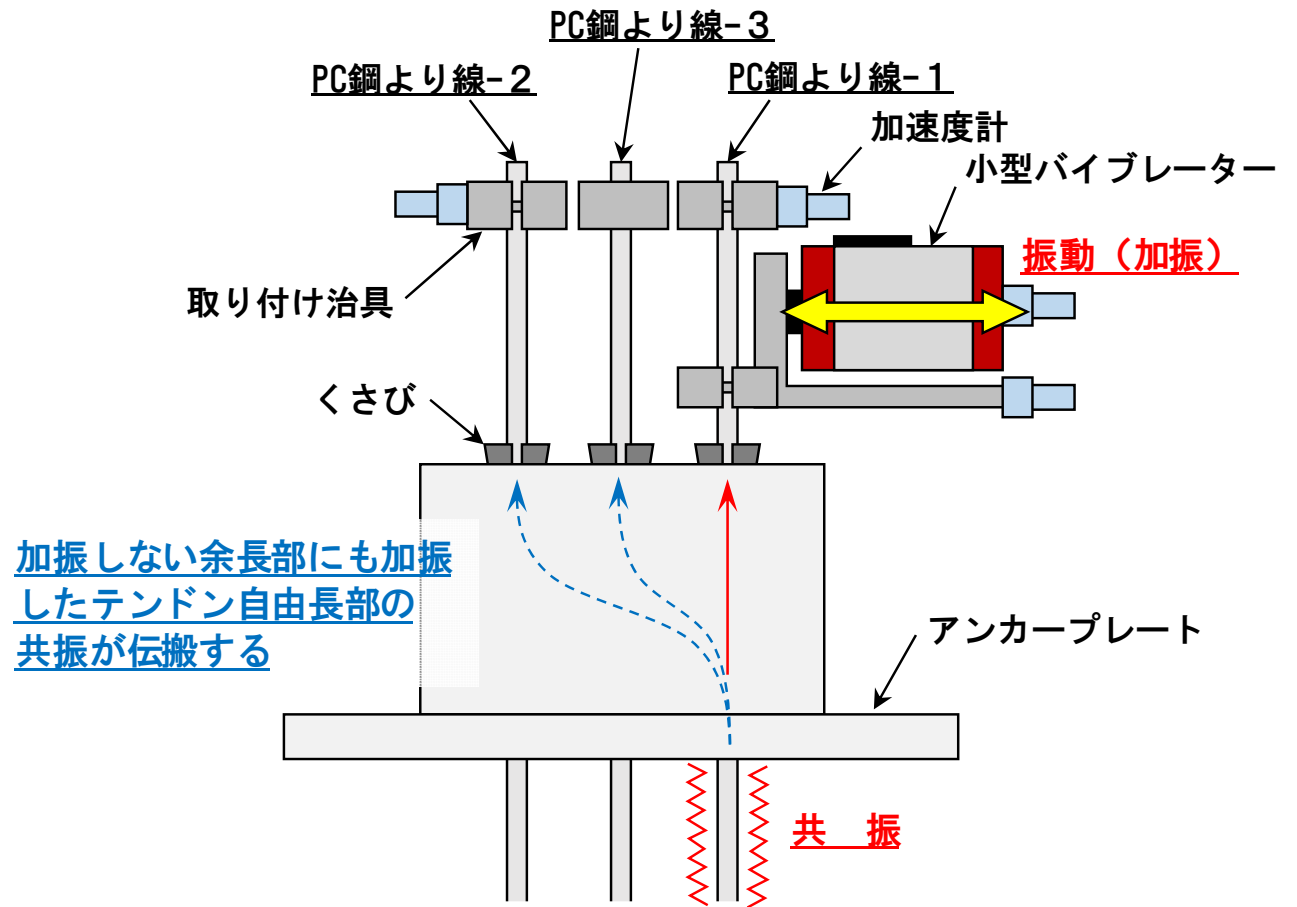
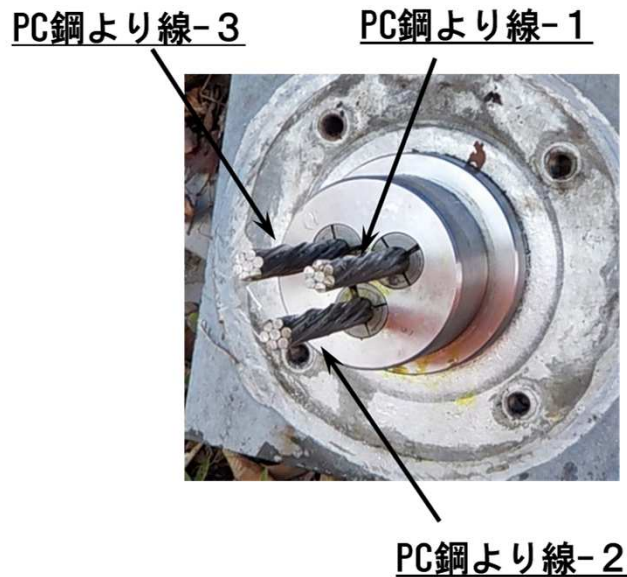


※リフトオフ試験の比較数が少ないのは、過緊張でリフトオフ試験を中止したアンカー(2本)があるためである。

5. 現場アンカーへの適用性検証

5-2. 現場におけるVIBRESの測定方法

PC鋼より線(テンドン)が複数の場合,
加振しない鋼線の余長部でも加振した鋼線の共振(固有振動)周波数が捉えられる。

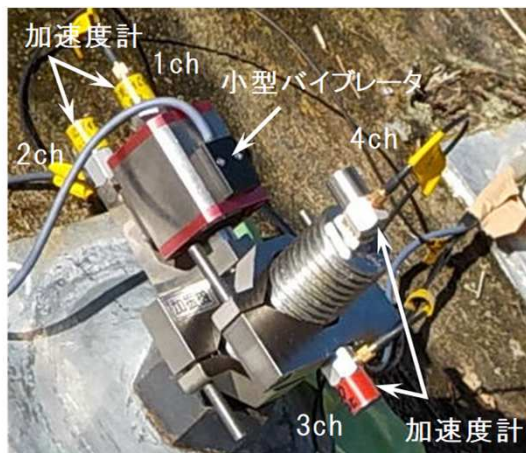
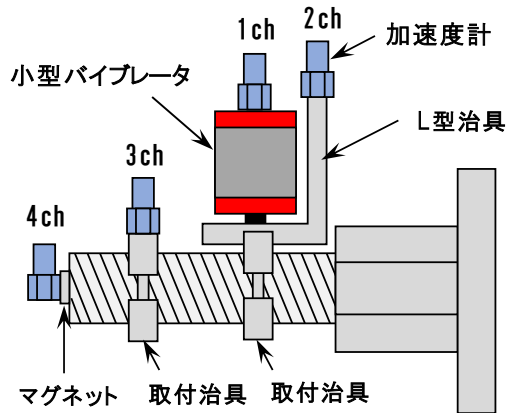


振動周波数の伝搬模式図(3本鋼線の例)

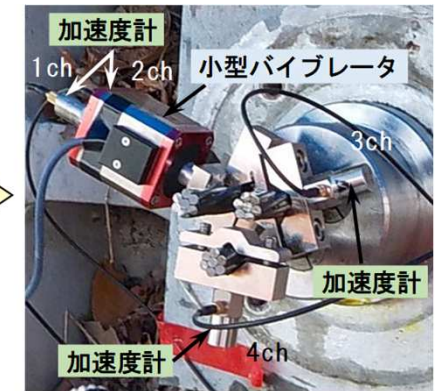
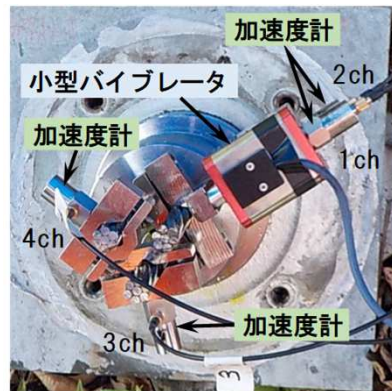
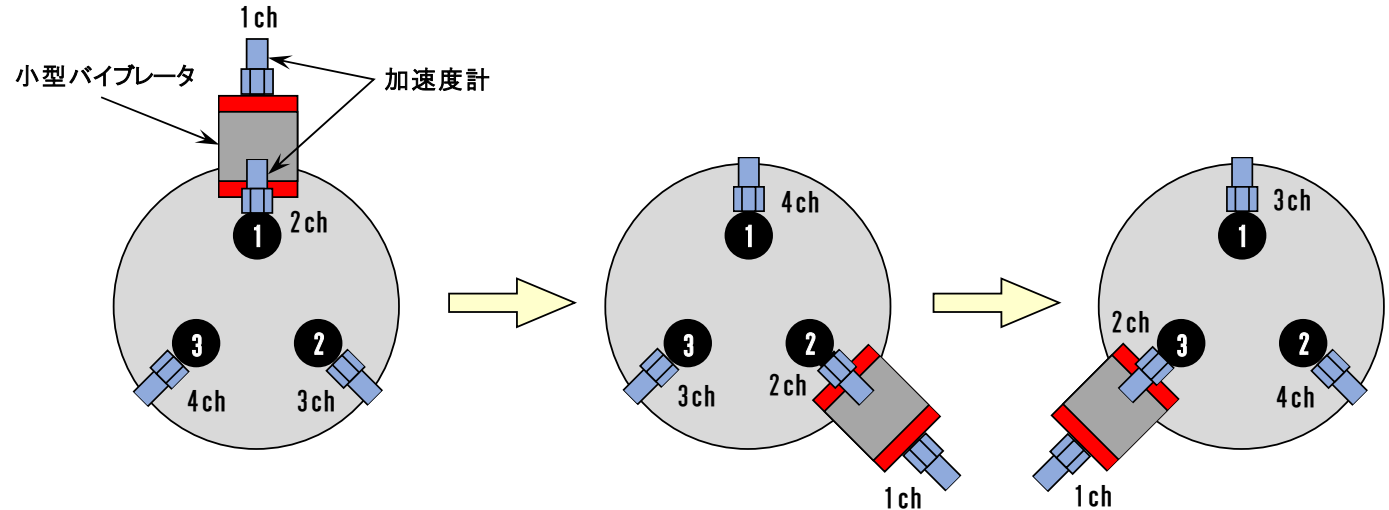
5. 現場アンカーへの適用性検証

5-2. 現場におけるVIBRESの測定方法

1本鋼線の場合



3本鋼線の場合(例)

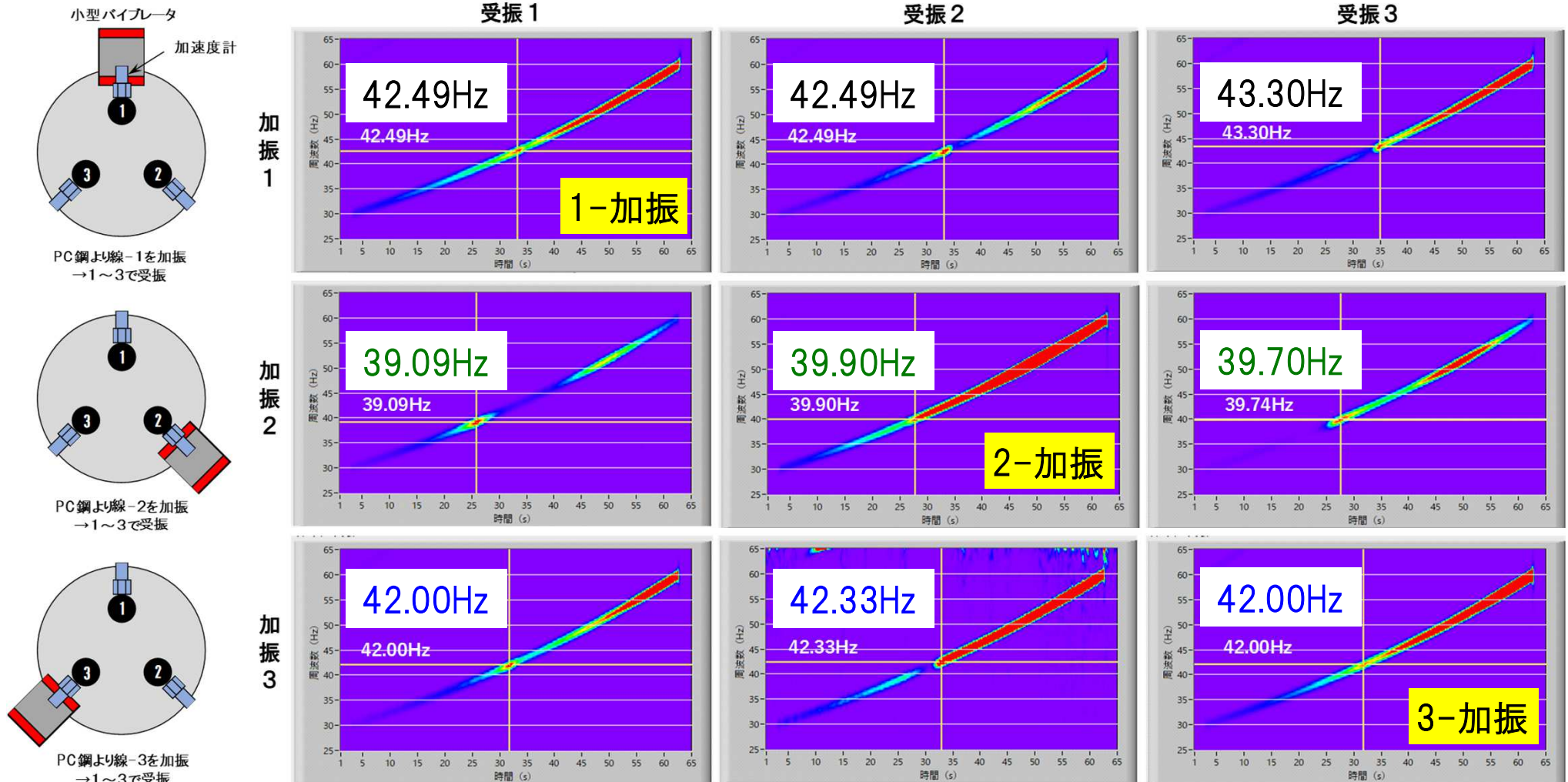


鋼線数の違いによる振動法の測定方法模式図

5. 現場アンカーへの適用性検証

5-2. 現場におけるVIBRESの測定方法

● 複数鋼線の共振の伝搬



加振鋼線・受振鋼線のスペクトログラムの組み合わせ

5. 現場アンカーへの適用性検証

5-2. 現場におけるVIBRESの測定方法

●スウィープ加振・受振の方法

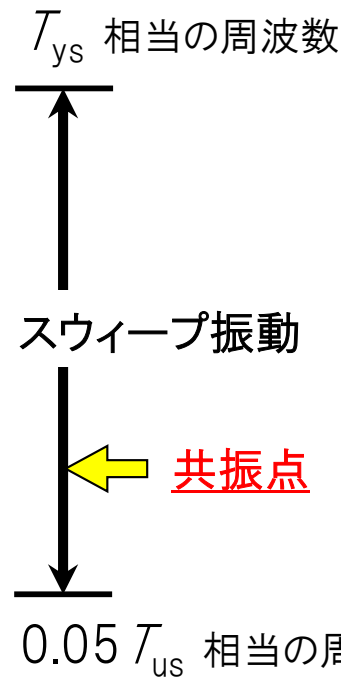
残存緊張力の目安²⁾

残存緊張力の範囲	評価		状態
	土研	NEXCO	
$0.9 T_{ys}$	D ⁺	IV ⁺	破断の恐れあり
$0.65 T_{us}$	C ⁺	III ⁺	危険な状態になる恐れあり
$0.6 T_{us}$	B ⁺	II ⁺	健全性が低下傾向にある
$0.3 T_{us}$	A	I	健全
$0.1 T_{us}$	B ⁻	II ⁻	健全性が低下傾向にある
	C ⁻	III ⁻	機能していない
	D ⁻	IV ⁻	引抜け、飛び出しが見られる

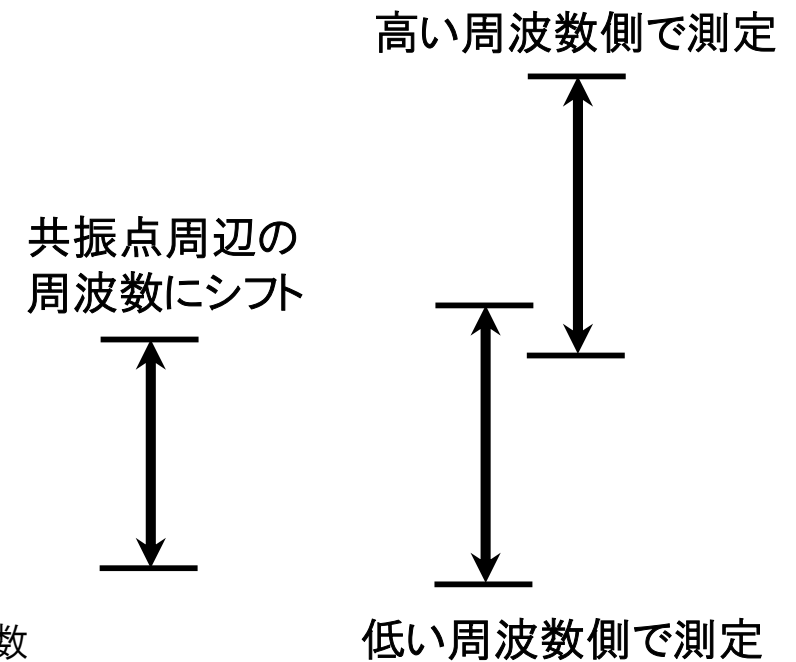
T_{ys} : テンドンの降伏引張り力 (kN)

T_{us} : テンドンの極限引張り力 (kN)

1回目の測定



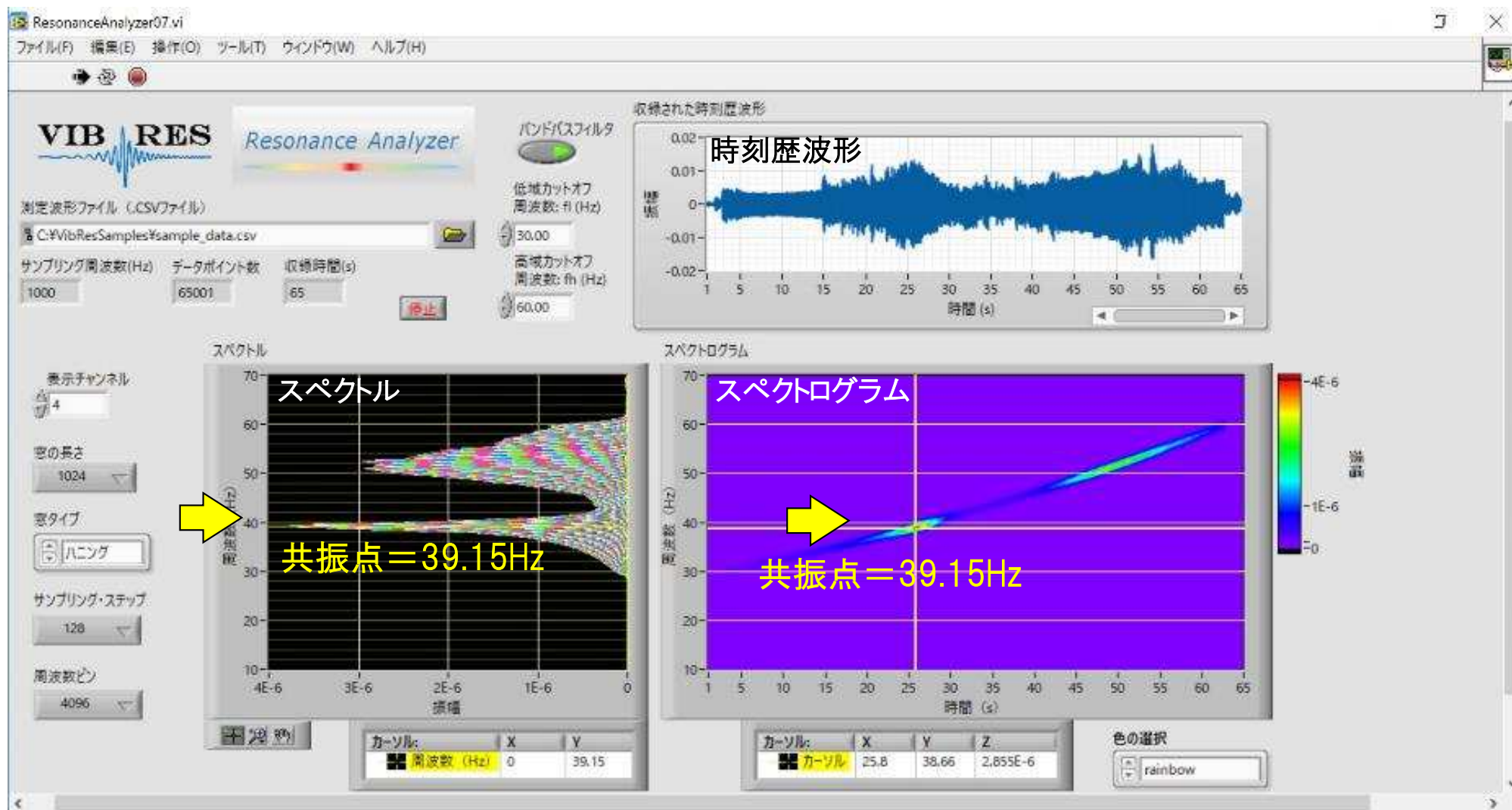
2回目以降の測定



2) 土木研究所, 日本アンカー協会, 三重大学, 高速道路総合技術研究所: グラウンドアンカー維持管理マニュアル, pp.119-123, 2020.

5. 現場アンカーへの適用性検証

5-3. 現場におけるVIBRESの測定方法



現場アンカーのVIBRES測定の解析例(共振点(共振周波数)の検出例)

5. 現場アンカーへの適用性検証

5-3. リフトオフ試験との比較検証

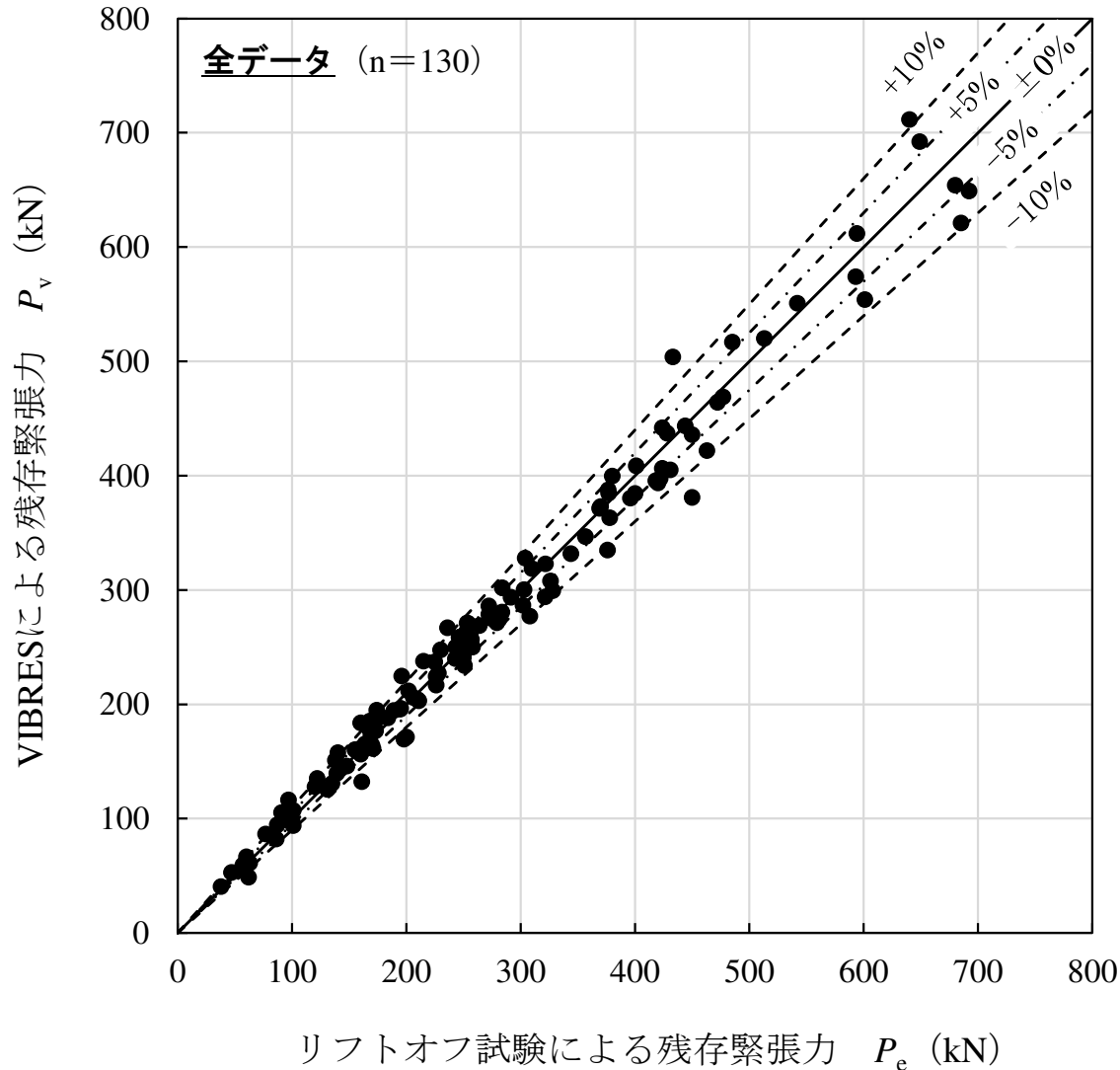
●VIBRES測定結果・リフトオフ試験との比較

VIBRESによる緊張力測定結果

項 目	全データ		
	数(n)	母数(N)	割合(%)
<u>緊張力を求められなかったもの</u>	0	132	0.0
リフトオフ試験に対して <u>±10%範囲から外れたもの</u>	21	130	16.2
リフトオフ試験の評価(<u>健全度の目安</u>)と 異なる健全度となったもの	13	130	10.0

5. 現場アンカーへの適用性検証

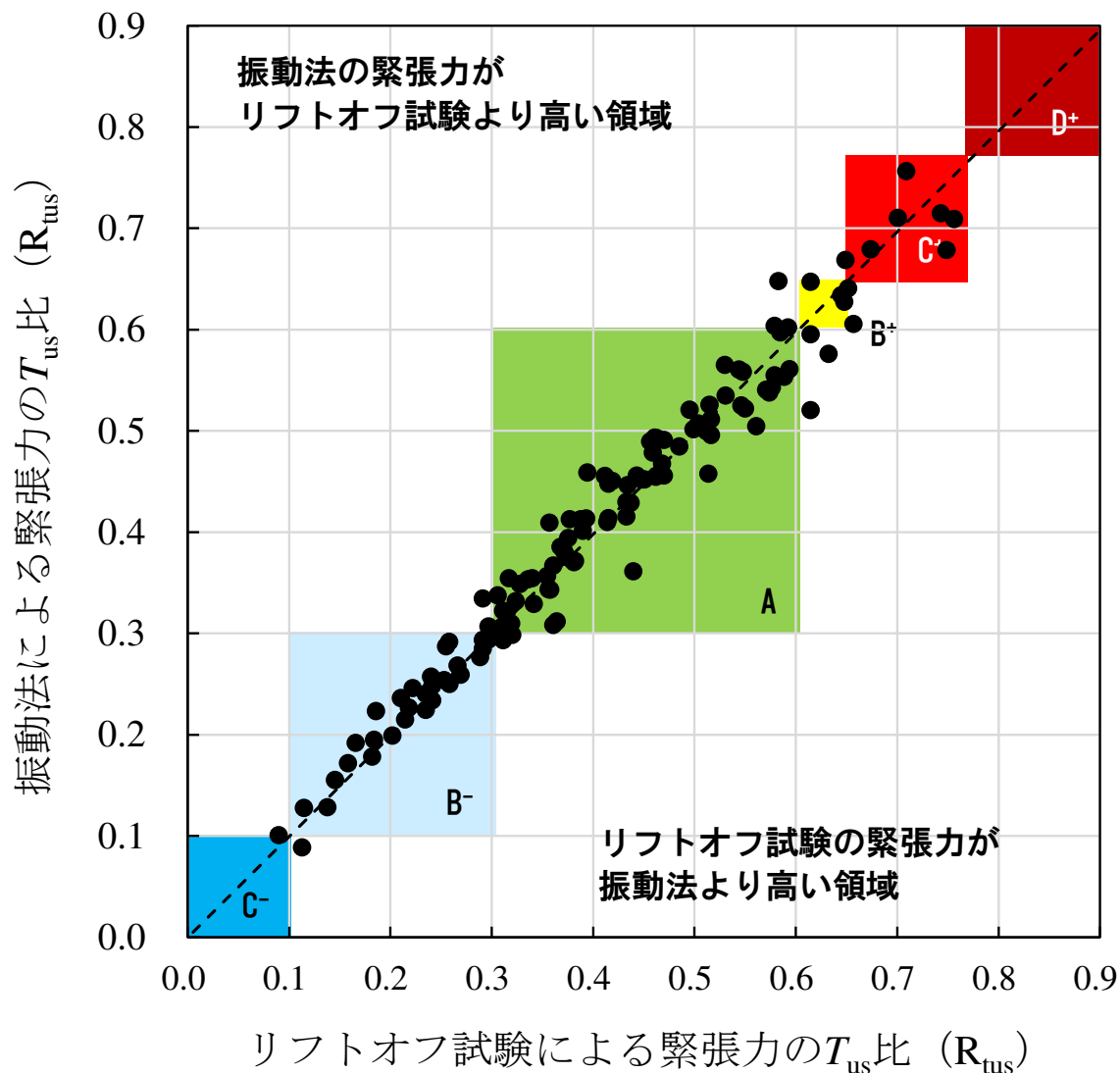
(1). リフトオフ試験に対する誤差 : ±10%から外れたアンカー, 21/130本(16.2%)



リフトオフ試験とVIBRES緊張力の関係(全データ)

5. 現場アンカーへの適用性検証

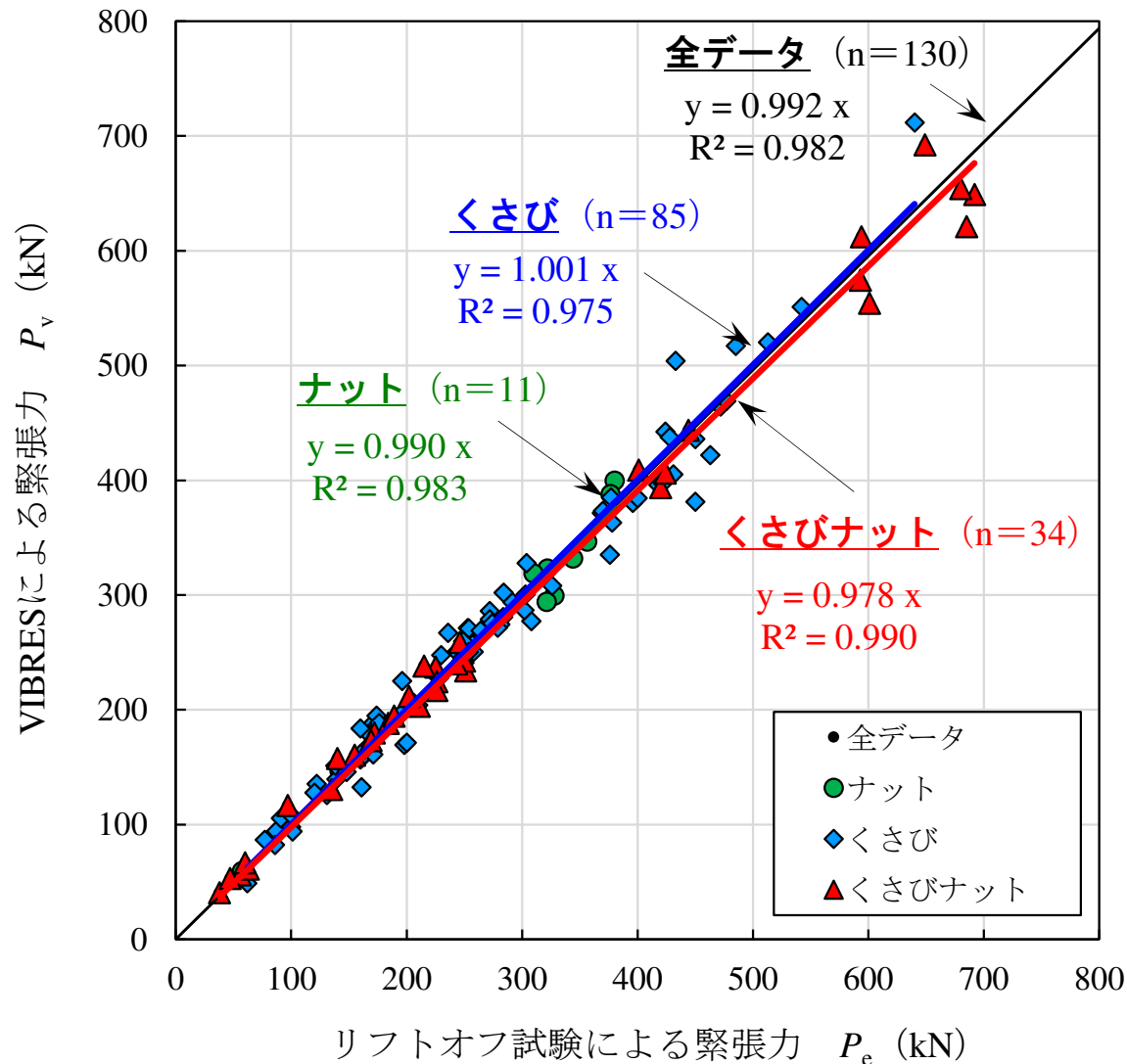
(2). 健全度評価結果の相違 : 異なる健全度評価, 13/130本(10.0%)



リフトオフ試験とVIBRESの健全度評価関係(全データ)

5. 現場アンカーへの適用性検証

(3). リフトオフ試験との相関性 : 傾き(α):0.978~1.001, 決定係数(R^2):0.975~0.983



リフトオフ試験とVIBRES緊張力の関係(タイプ別)

5. 現場アンカーへの適用性検証

(3). リフトオフ試験との相関性

VIBRESは、リフトオフ試験の緊張力に対して、±14.0%の誤差(2σ(約95%のデータ領域))。

※誤差(%) = $(P_v - P_e) / P_e \times 100$

VIBRESのリフトオフ試験に対する誤差

定着タイプ		全データ	ナット	くさび	くさびナット
項目	データ数	130	11	85	36
誤差	平均 (%)	0.7	0.0	0.6	1.4
	最大 (%)	20.1	5.2	16.4	20.1
	最小 (%)	-21.5	-8.7	-21.5	-9.3
標準偏差	σ (%)	7.0	4.9	7.4	6.6
	2σ (%)	14.0	9.7	14.8	13.2

5. 現場アンカーへの適用性検証

(4). リフトオフ試験使用との比較

リフトオフ試験

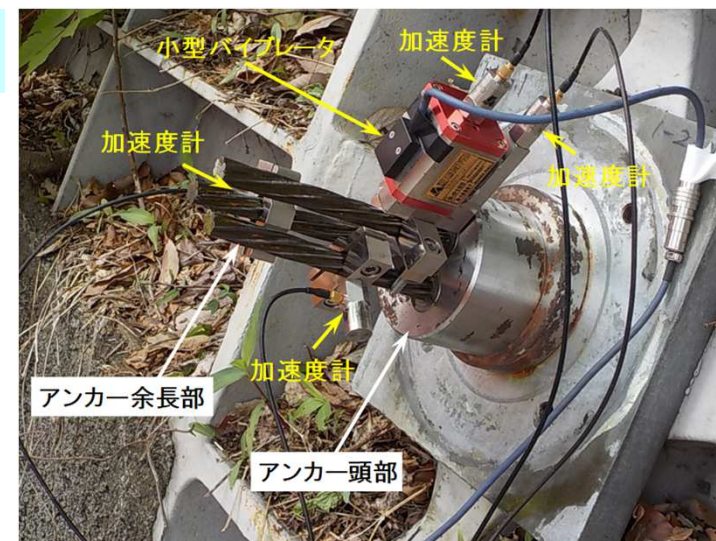


リフトオフ試験時の仮設足場



VIBRES測定状況

- ※小型バイブレータ:
約400g
- ※加速度センサー:
約30g



6. VIBRESシステムの適用条件と効率性

6-1. VIBRESの適用条件

●VIBRESの適用条件

- (1) アンカーのテンドン自由長が分かっていること
- (2) アンカーのテンドン自由長が振動すること
- (3) テンドン余長部にバイブレータ, 加速度計が設置できること

●VIBRESの適用範囲 (2024年6月現在)

項目	適用範囲
アンカー規格※1)	VSL, KP, SFL, FLO, EHD, SHS
テンドン自由長※2)	L=4~20m
アンカー径(PC鋼より線径)	12.7mm~47.5mm
PC鋼より線数	2~8本
アンカー余長	5.0cm程度以上

※1): 旧タイプアンカーは適用範囲から除く

※2): テンドン自由長が分かっていることが条件(VIBRES測定からテンドン自由長を推定することは不可)

6. VIBRESシステムの適用条件と効率性

6-2. VIBRESの効率性

●VIBRESの効率性

項目	リフトオフ試験		<u>本技術</u> <u>VIBRES</u>
	施工用ジャッキ	小型・軽量ジャッキ	
機材重量(kg)※1)	40~120kg	10~95kg	0.4kg
作業時間(本/日)※2)	1~2(本/日)	2~7(本/日)	5~8(本/日)
作業人数(人/日)※2)	3(人/日)	3(人/日)	3(人/日)

※1):リフトオフ試験はのり面アンカー(1,000kNまで)を想定したジャッキの重量, VIBRESは小型バイブレータの重量

※2):現場アンカーによる実績, 作業時間・人数は, アンカー規格, 現場条件によって異なる

➡ 測定費用はリフトオフ試験の1/4~2/3

●VIBRESの安全性

➡ VIBRESはアンカーテンドンを引っ張らないため, 破断する恐れが無い.
VIBRES機材は軽量・コンパクトで, 大掛かりな機材が不要のため作業も安全.

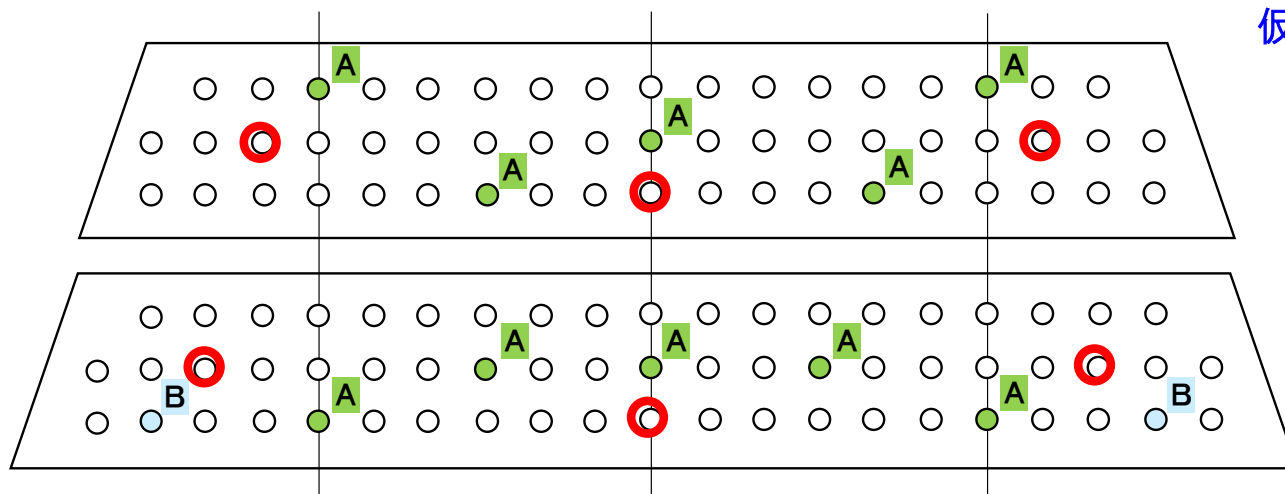
7. VIBRESシステムの活用シーン

7-1. VIBRESの活用シーン①

●シーン①：定期健全度調査にVIBRESを活用

2巡目, 3巡目などの調査を効率的に実施したい

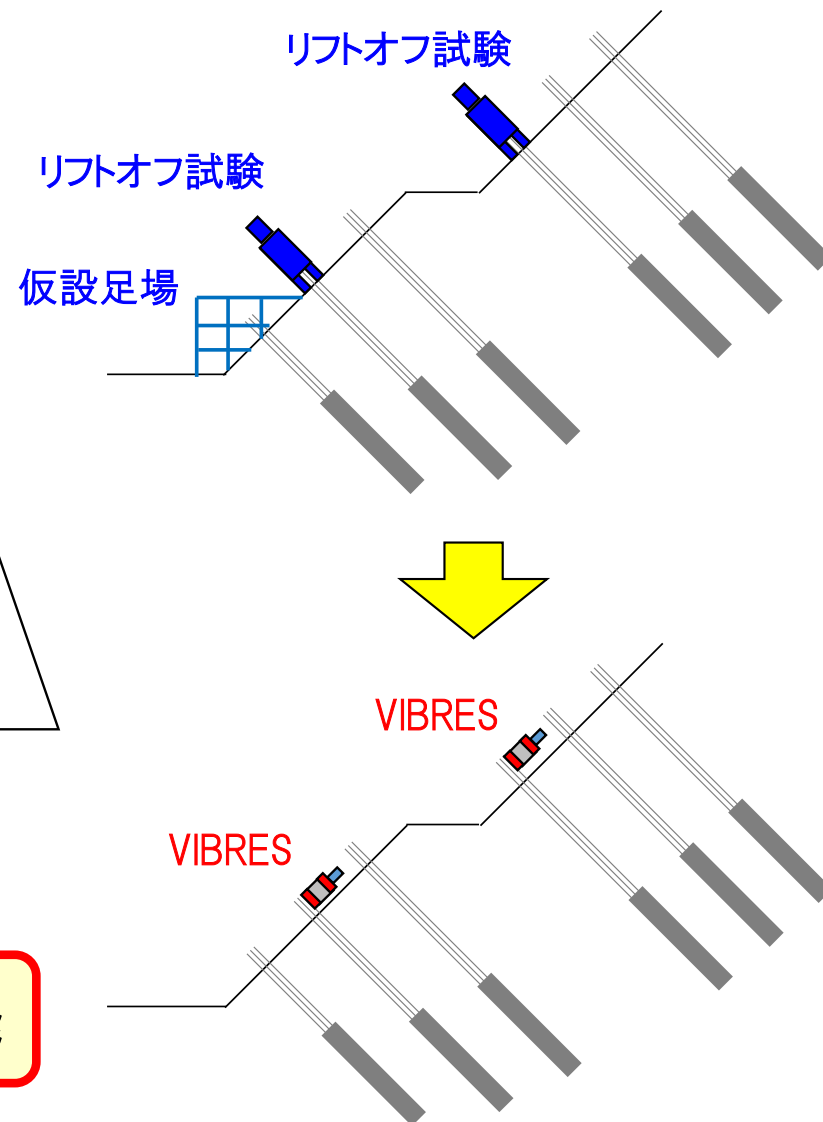
過年度の健全度調査結果：リフトオフ試験にて実施



2巡目, 3巡目の健全度調査にVIBRESを活用

メリット

大掛かりな資材などが不要となり効率的な調査が可能



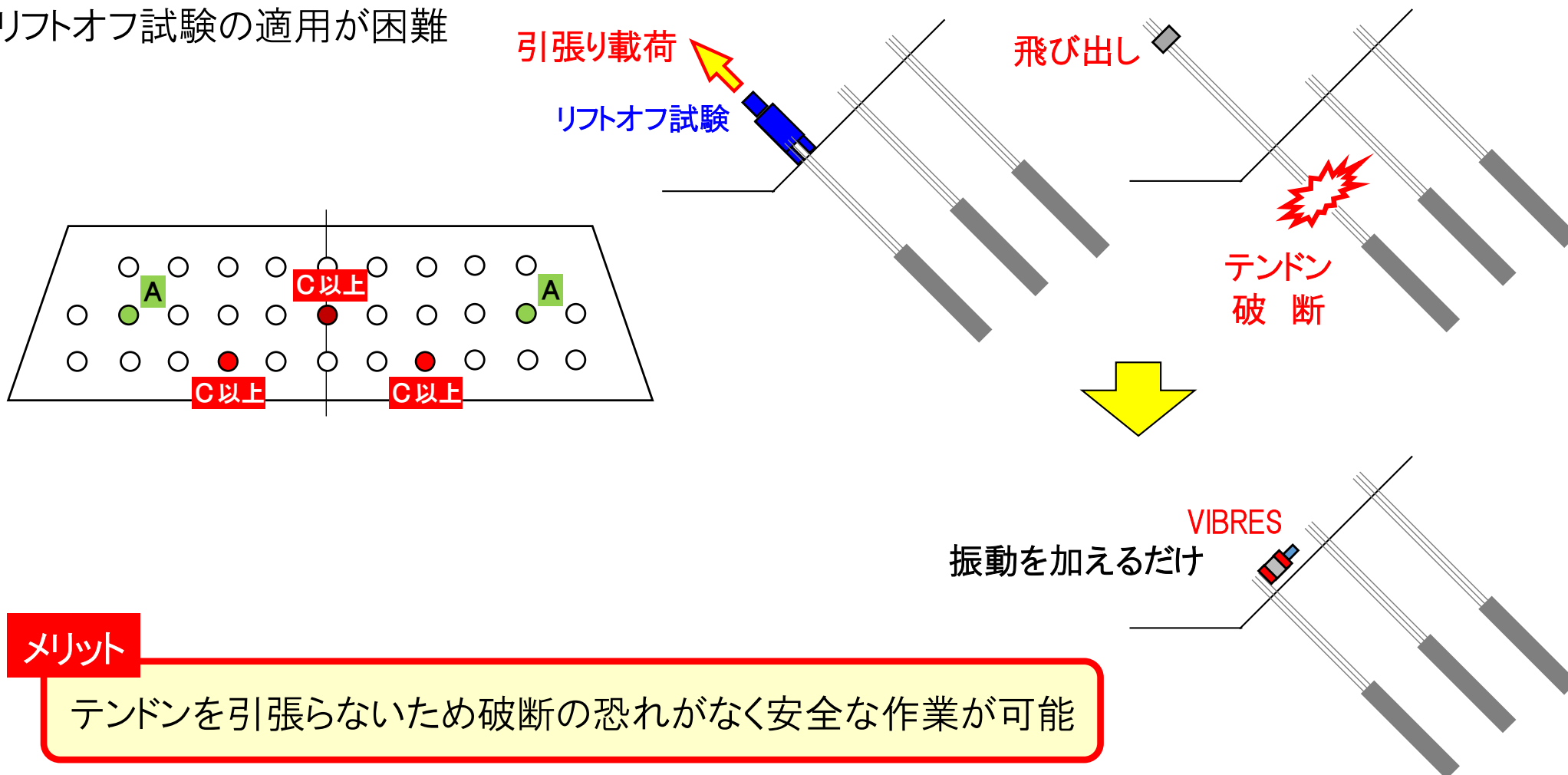
VIBRESの活用シーン①

7. VIBRESシステムの活用シーン

7-2. VIBRESの活用シーン②

●シーン②： 過緊張アンカーの緊張力測定に活用

リフトオフ試験の適用が困難



メリット

テンドンを引張らないため破断の恐れがなく安全な作業が可能

VIBRESの活用シーン②

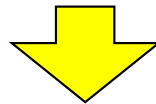
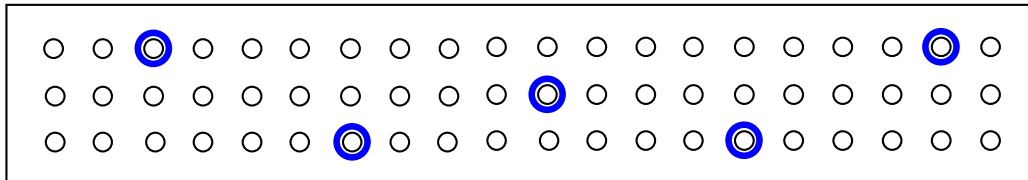
7. VIBRESシステムの活用シーン

7-3. VIBRESの活用シーン③

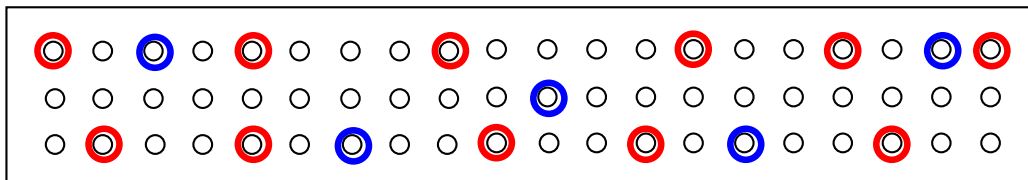
●シーン③： 対策が求められるのり面の面的な緊張力把握調査に活用

のり面の広範囲(面的)で緊張力を把握したい

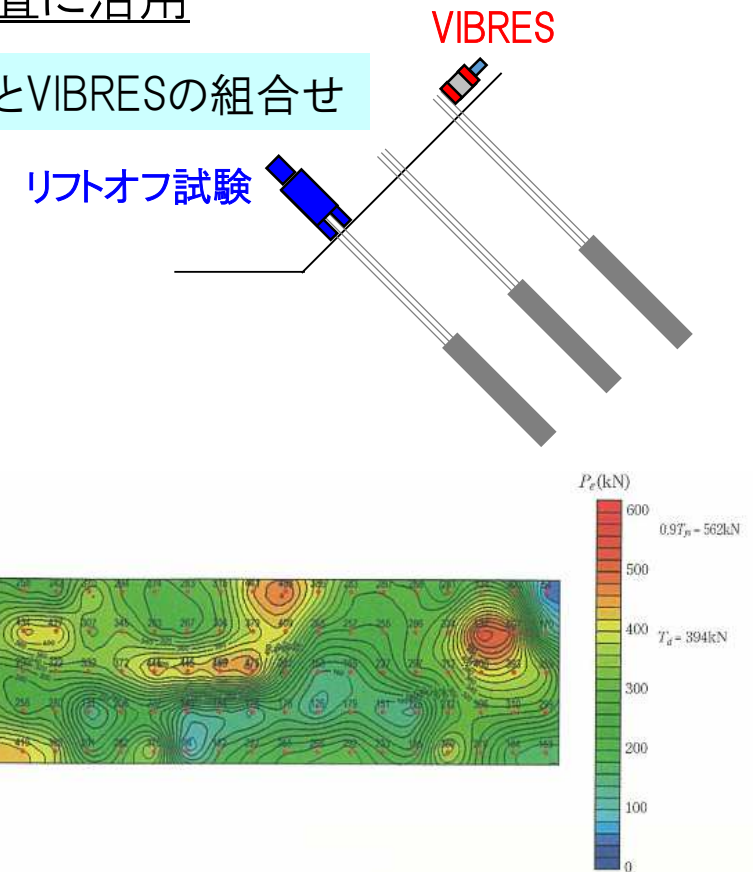
従来のリフトオフ試験を採用



リフトオフ試験に加えてVIBRESを追加



リフトオフ試験とVIBRESの組合せ



メリット

計測が容易なため測定箇所数を増やすことができ広範囲の緊張力分布の把握が可能

VIBRESの活用シーン③

9. VIBRESシステムについて

特許など ※中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋, 応用地質, 岐阜大学の共同特許

●特許番号 : 第6283439号

商標登録 : 第6336830号, 第6336842号



「ビブリス」

Vibration(振動)を用いて,
Resonance(共振)を捉える(緊張力を求める).

NETIS ※中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋, 応用地質, 岐阜大学の3者で登録

●登録番号 : CB-230025

技術名称 : グラウンドアンカーノンリフト試験 登録日 : 2023年12月21日

検索キーワード : VIBRES, ノンリフト試験, 中日本ハイウェイ, 応用地質

9. VIBRESシステムについて

● VIBRESシステムに関するお問い合わせ

中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋株式会社 本社 営業部

TEL:052-212-4770(営業部直通)

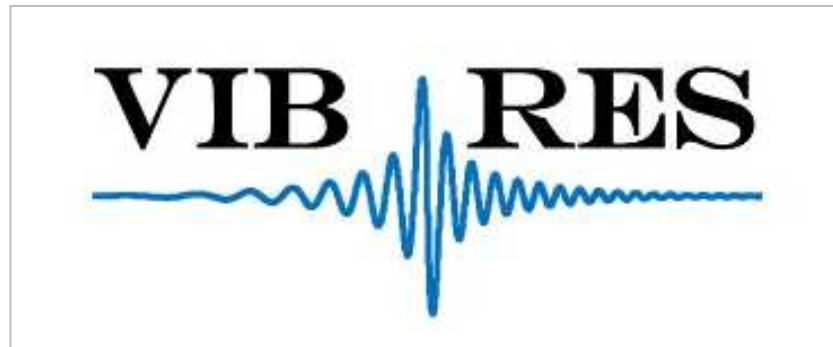
E-mail:info.yy@c-nexco-hen.jp

弊社の取扱製品・技術情報はこちら

<http://www.c-nexco-hen.jp/>



ご清聴ありがとうございました。



VIBRES®システムは、中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株)、応用地質(株)、岐阜大学の3者で共同開発した技術です。今後も精度向上に努めます。