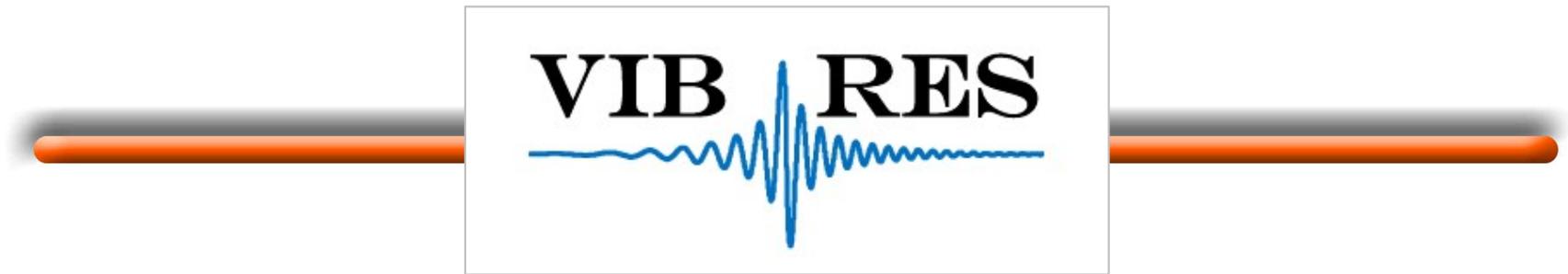


# グラウンドアンカー緊張力測定効率化を図る 「VIBRES<sup>®</sup>(ビブリス)システム」



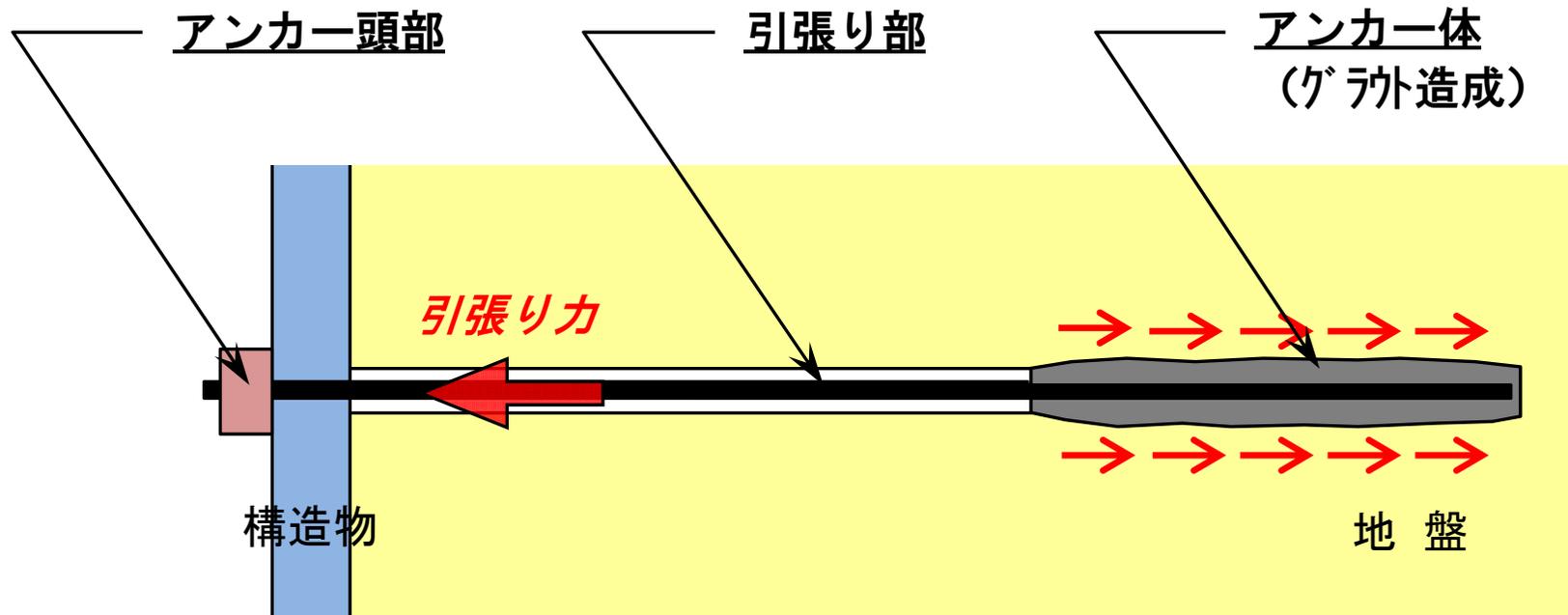
中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株)



# 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<sup>1)</sup>.



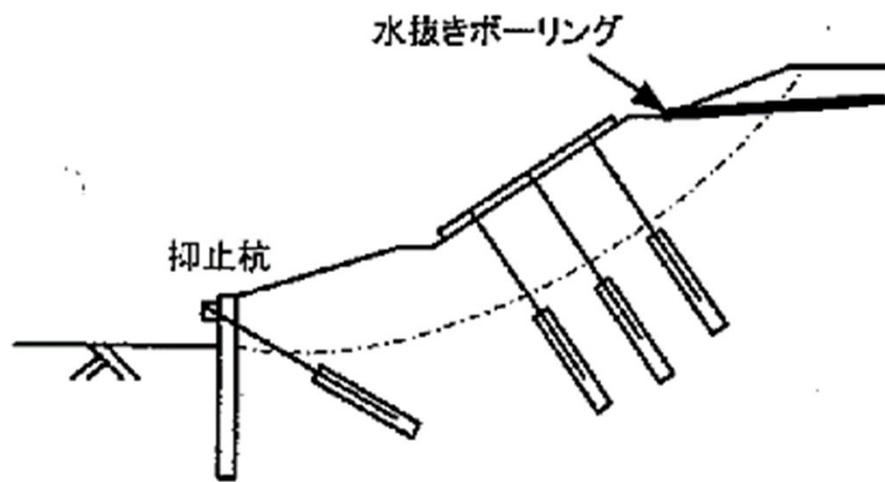
グラウンドアンカーの模式構造図<sup>1)</sup>

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.

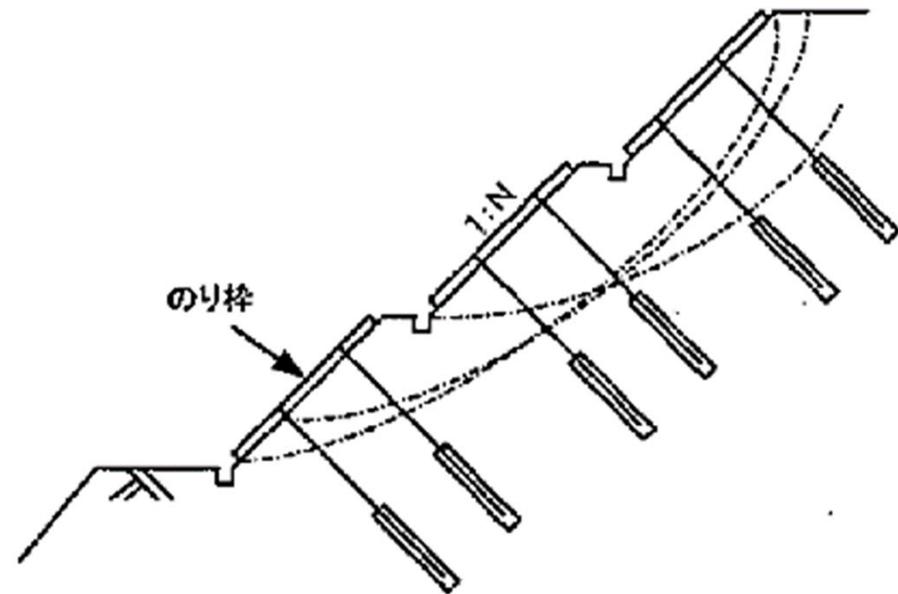
# 1. グラウンドアンカーとは？

## 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<sup>3)</sup>。



(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<sup>3)</sup>

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



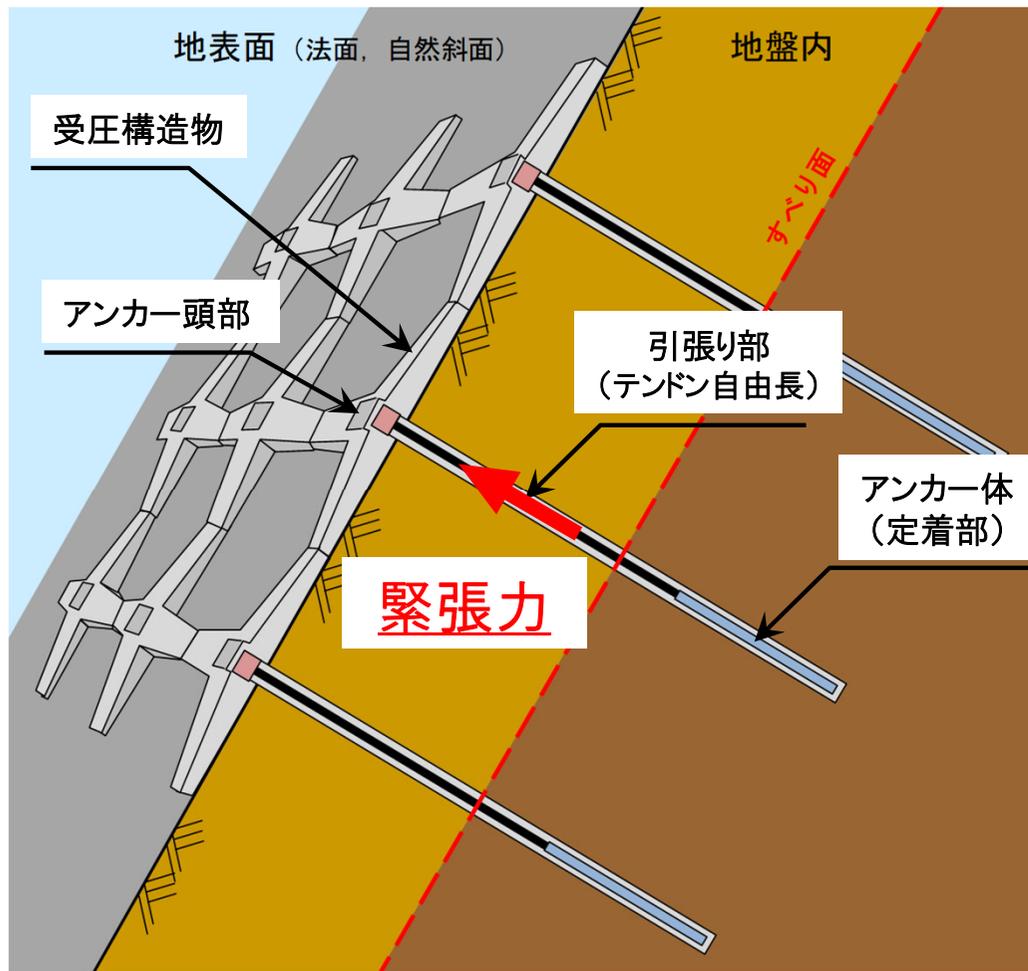
トンネル坑口の地すべり対策：新東名高速道

## 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**



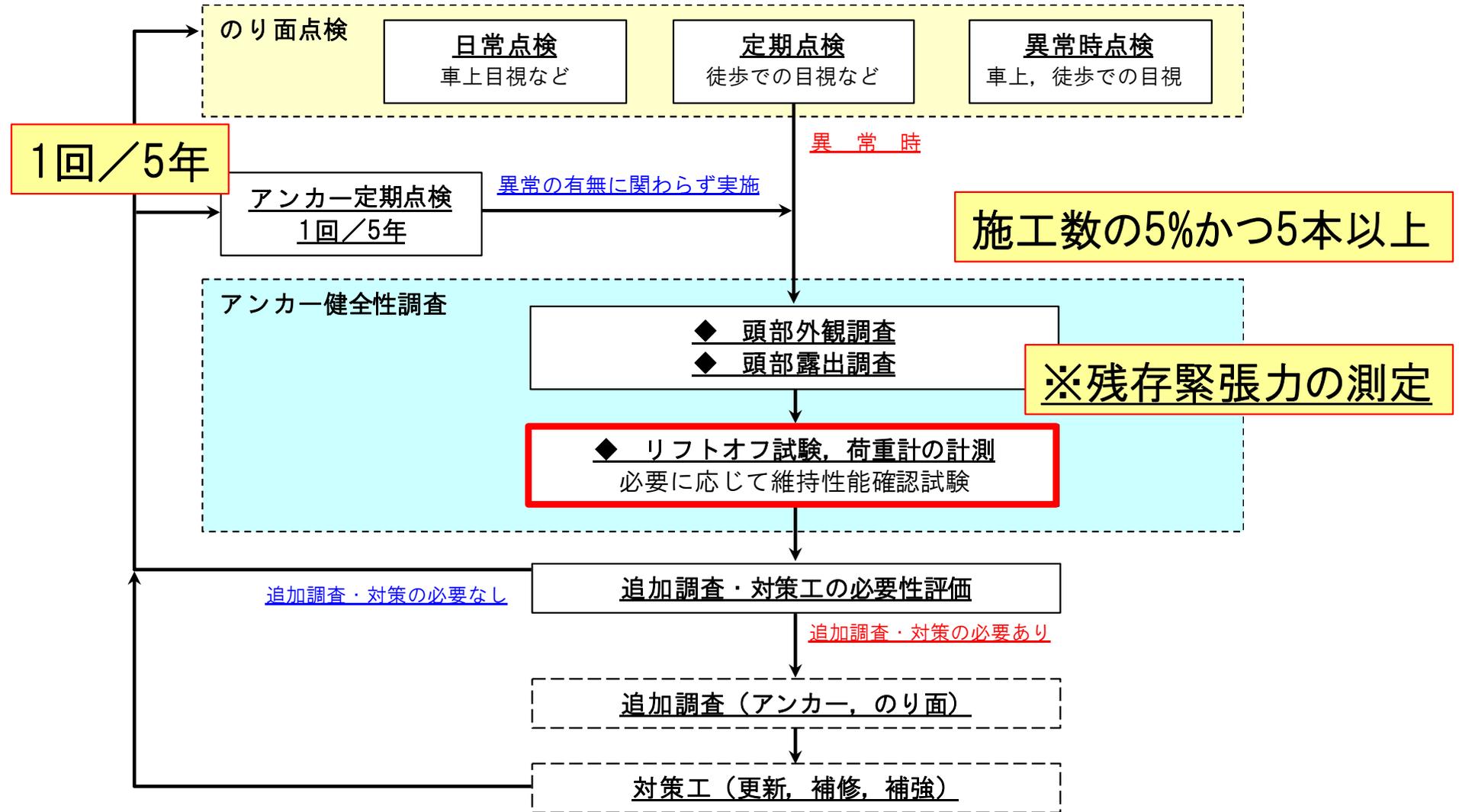
高速道路には少なくとも、  
120,000本のアンカーが存在<sup>4)</sup>

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<sup>2)</sup>

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

注)  $T_{ys}$  : テンドンの降伏引張り力 (kN)

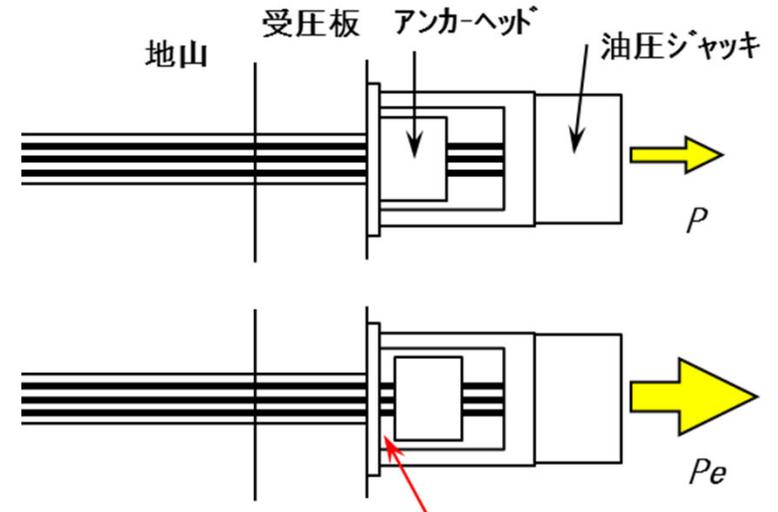
$T_{us}$  : テンドンの極限引張り力 (kN)

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

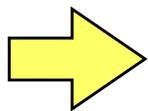
アンカー緊張力の測定には、油圧ジャッキによるリフトオフ試験が行われる。



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。

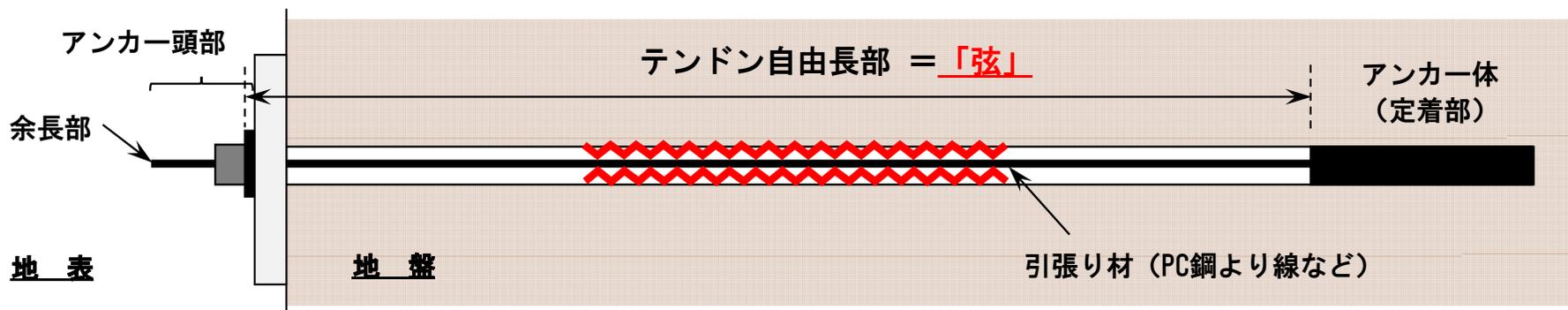
# 3. VIBRESシステムの原理と機器構成

## 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



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

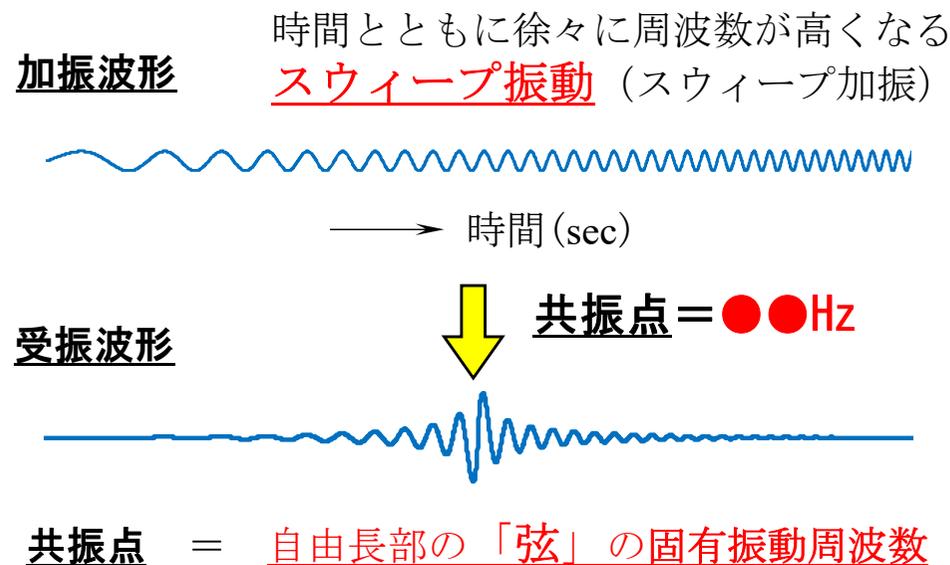
$T$ : 緊張力(N)  
 $L$ : 自由長部の長さ(m)  
 $f$ : 振動周波数(Hz)  
 $\mu$ : 自由長部の線密度(kg/m)

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

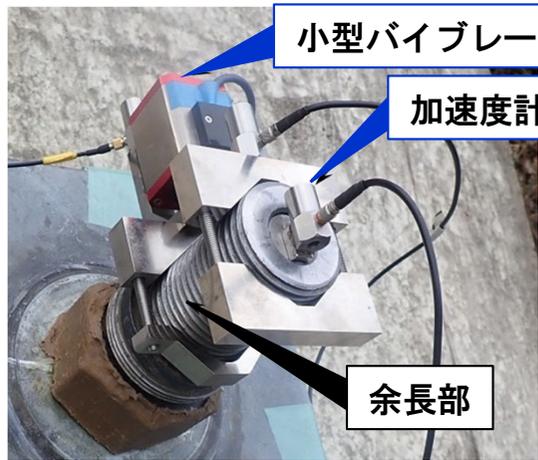
しかし、自由長部は地盤内にあるため、直接振動を加え、測定することはできない。  
そこで本技術では、アンカー余長部に小型バイブレータを取り付け、時間とともに徐々に周波数が高くなる「スイープ振動」(例：10Hz～20Hz)を加える(加振する)。



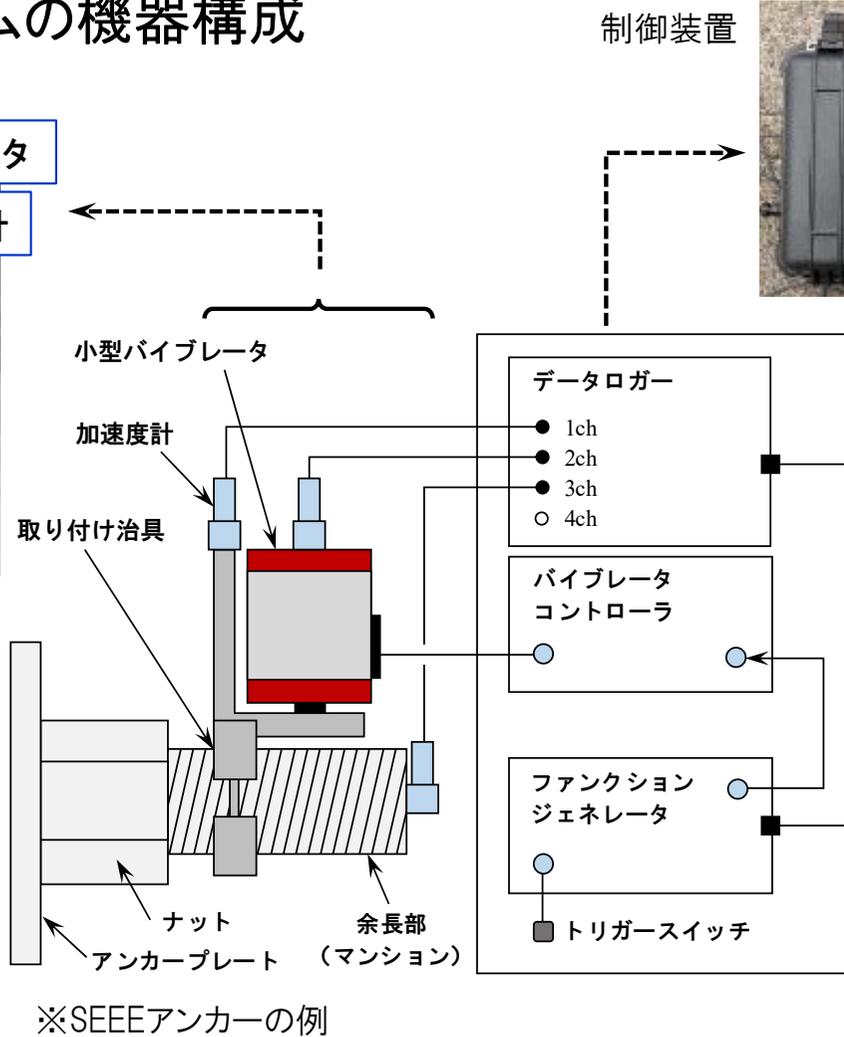
加振周波数が、自由長部の固有振動周波数と一致したとき「共振現象」が生じる。  
この共振現象(共振点)を加速度計で読み取り、緊張力を求める。  
1回の測定時間は、60秒～120秒程度。

# 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



※SEEEアンカーの例

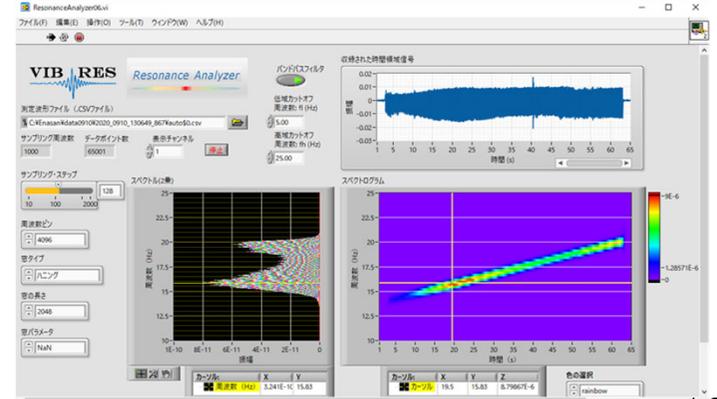
制御装置



ノートPC  
測定制御・解析用



制御・解析ソフト

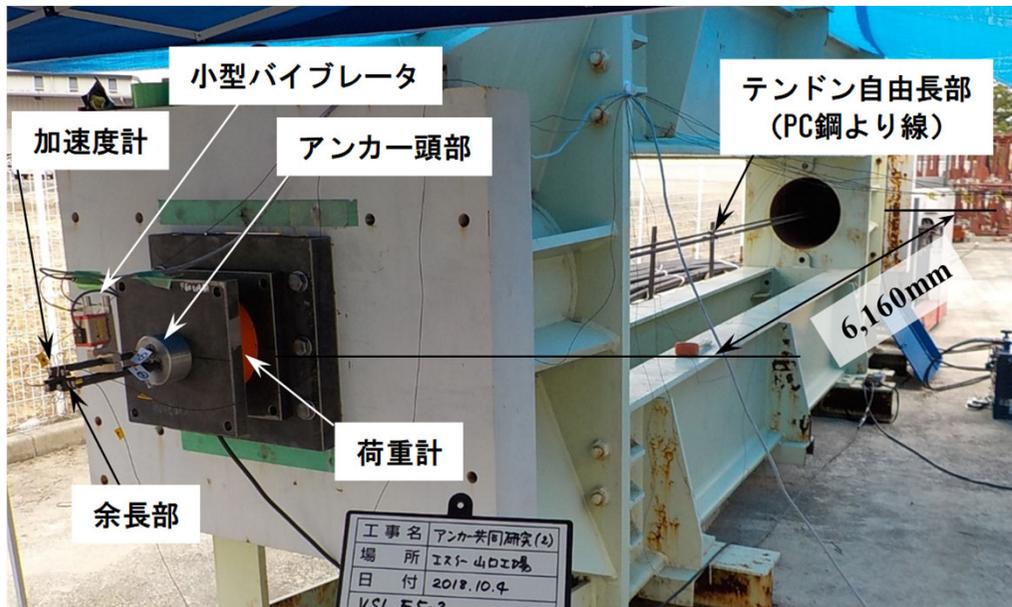


VIBRESシステムの測定機器の構成

# 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

実際には地盤内にある tendon 自由長部が露出するため、自由長を自在に振動させ、計測することが可能である。



実物大アンカー模型の写真(VSL E5-3の例)

模型検証に用いたアンカー

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

定着タイプの異なる3種類のアンカー,

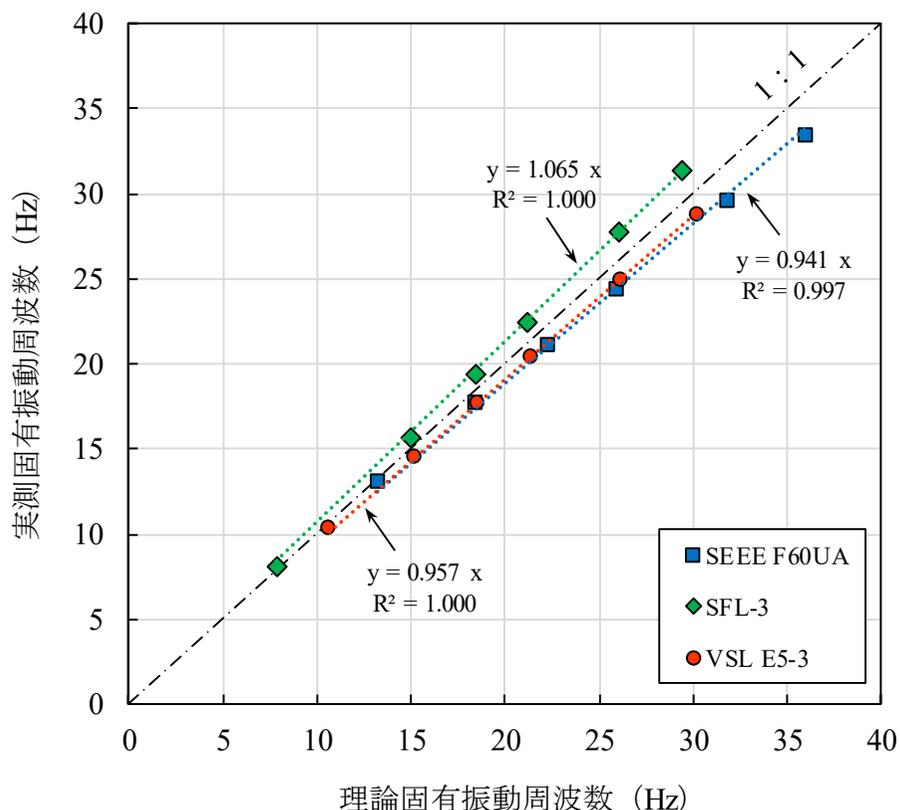
5段階の緊張力(1/3\*Ta, 1/2\*Ta, 2/3\*Ta, Ta, 0.9\*Tys)において検証を実施.

# 4. 実物大アンカー模型による検証

## 4-2. 実物大アンカー模型による検証結果

### (a)自由長部は「弦」振動するか？

※ハンマー打撃で振動させて検証



⇒ 理論とおりに弦振動する。

### (b)その固有振動を余長部で測定できるか？

⇒ 余長部の加速度計で測定できる。

### (c)余長部加振で自由長部は共振するか？

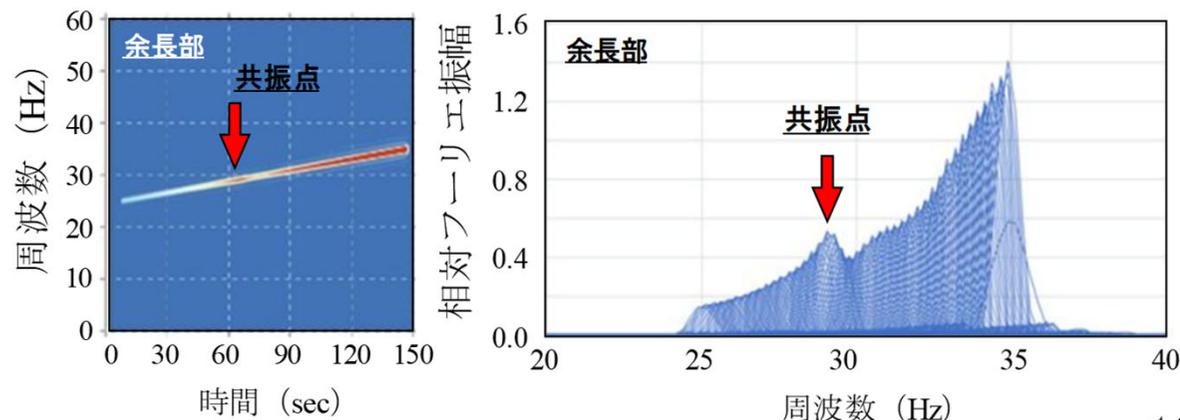
⇒ 共振する。 ※理論値, (a)と一致する

### (d)余長部加振／余長部受振の方法は？

⇒ 狭い周波数幅 or 長い時間で加振することが有効(1oct/min)

### (e)共振点検出の方法

⇒ 2つの図で組み合わせ, 共振点を明確化

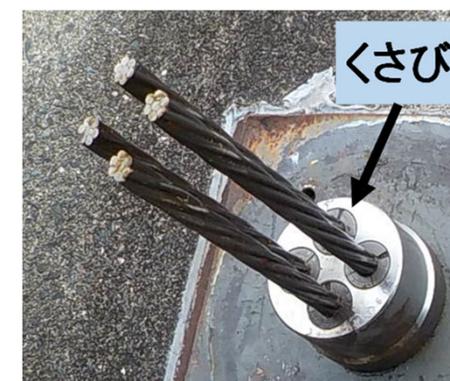


# 5. 現場アンカーへの適用性検証

## 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

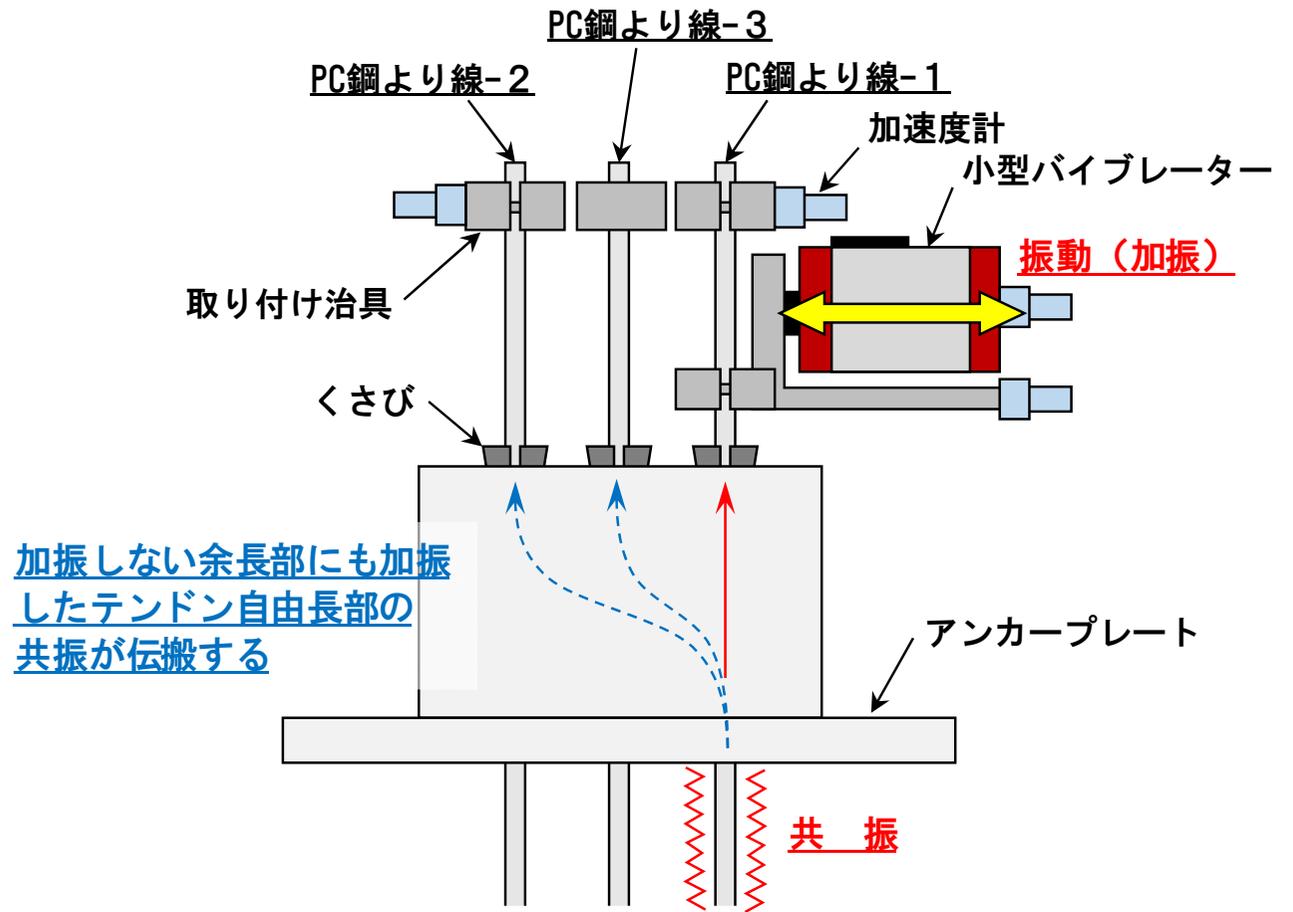
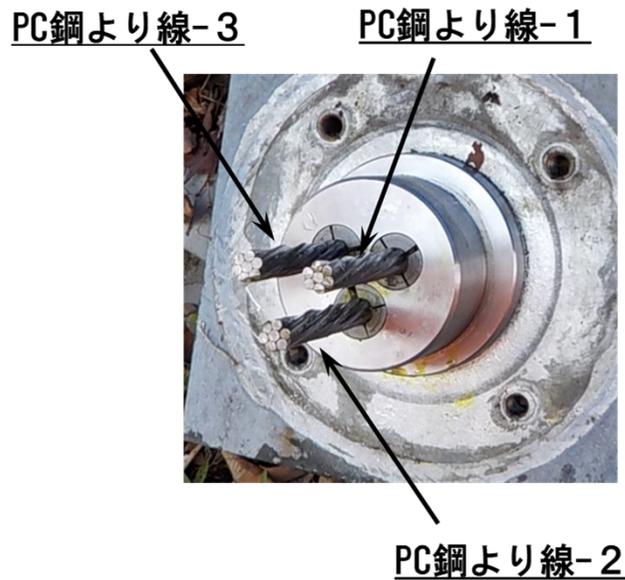


※リフトオフ試験の比較数が少ないのは、過緊張でリフトオフ試験を中止したアンカー(2本)があるためである。

# 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。

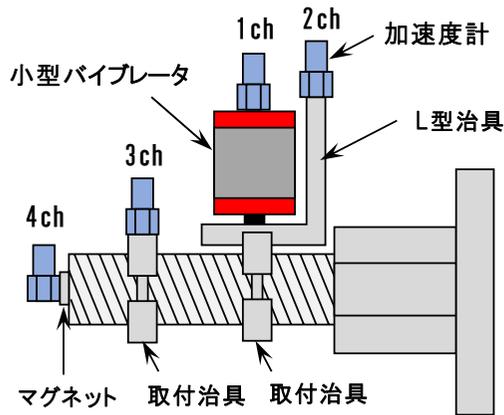


振動周波数の伝搬模式図(3本鋼線の例)

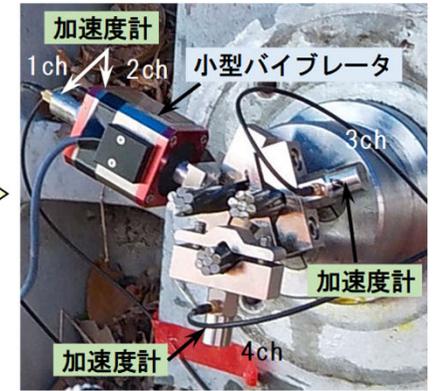
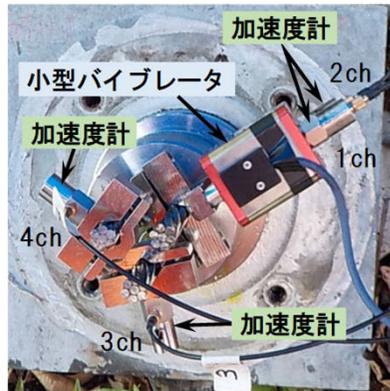
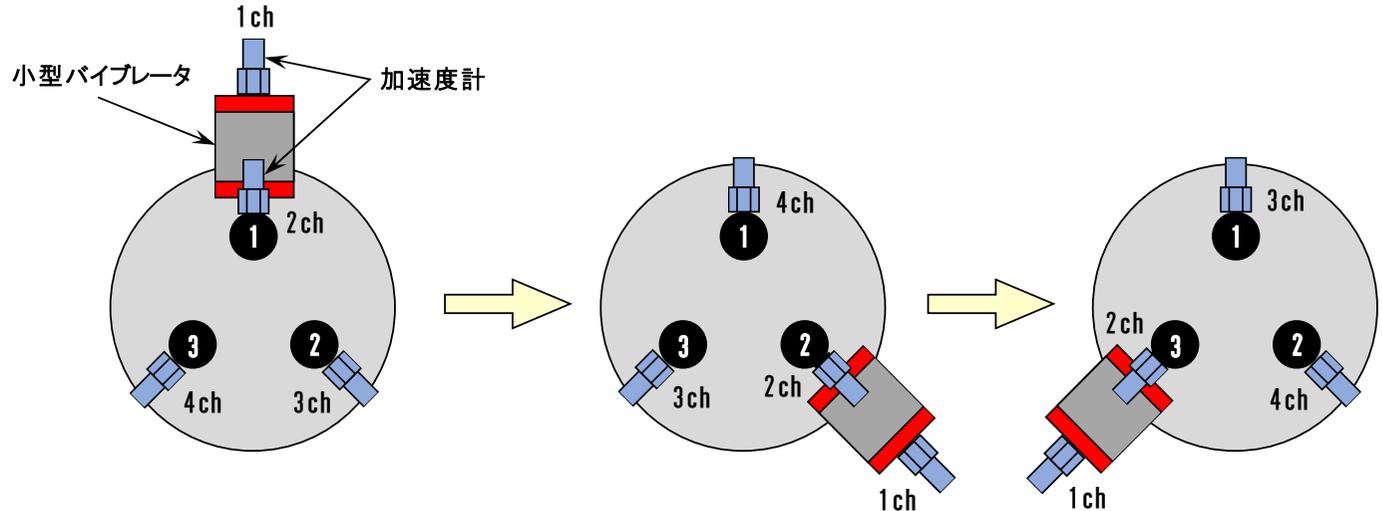
# 5. 現場アンカーへの適用性検証

## 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)

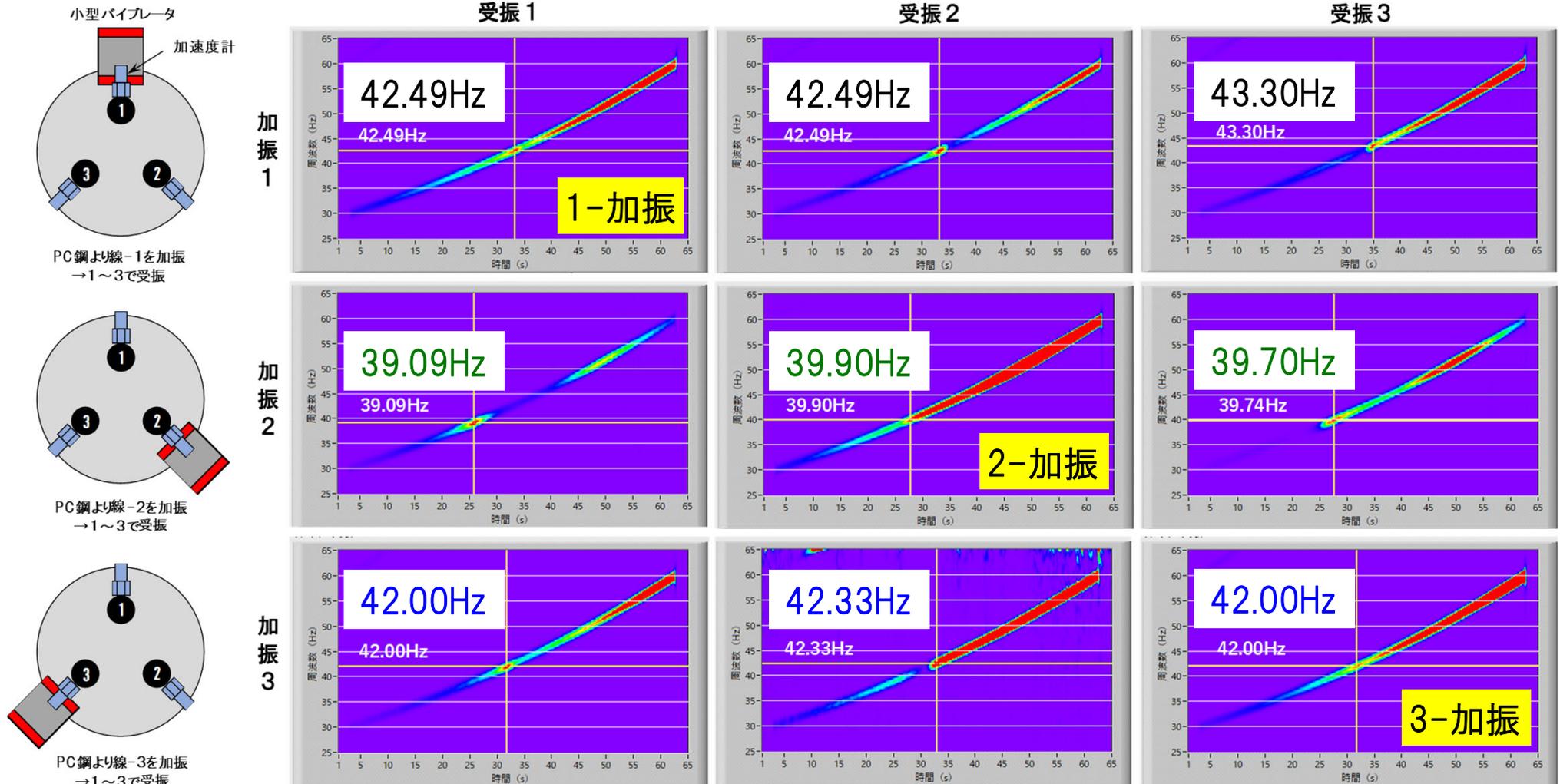


鋼線数の違いによる振動法の測定方法模式図

# 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weep加振・受振の方法

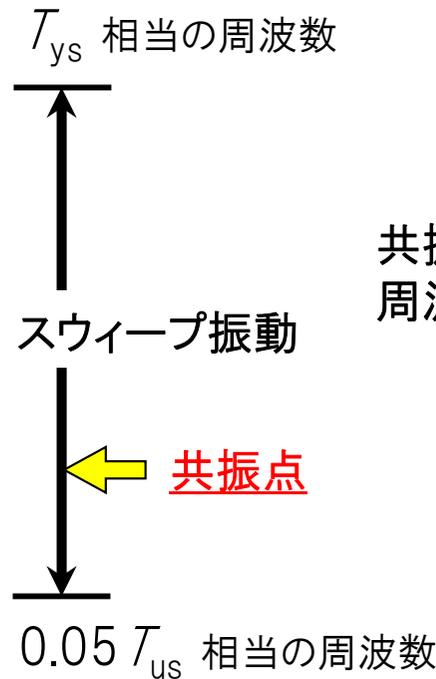
残存緊張力の評価の目安<sup>2)</sup>

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

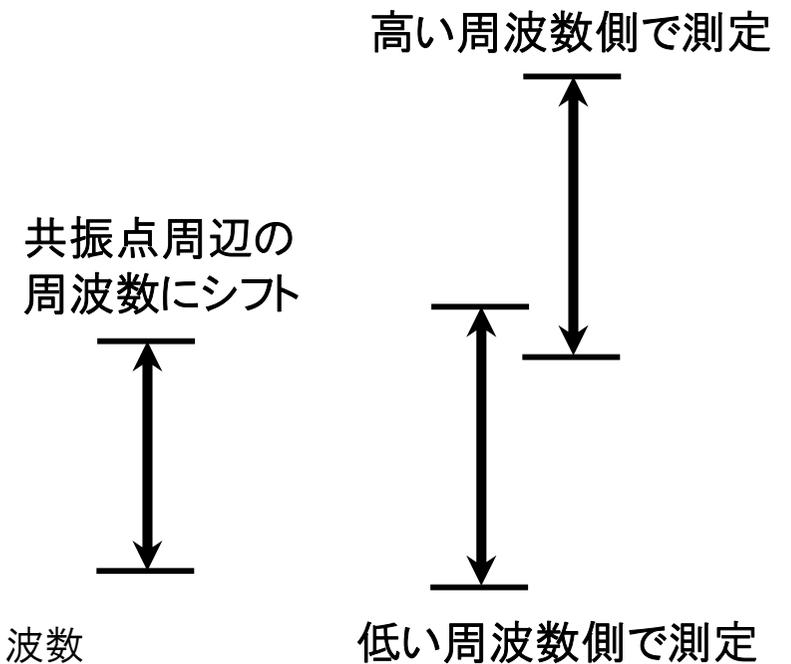
$T_{ys}$  : テンドンの降伏引張り力 (kN)

$T_{us}$  : テンドンの極限引張り力 (kN)

### 1回目の測定



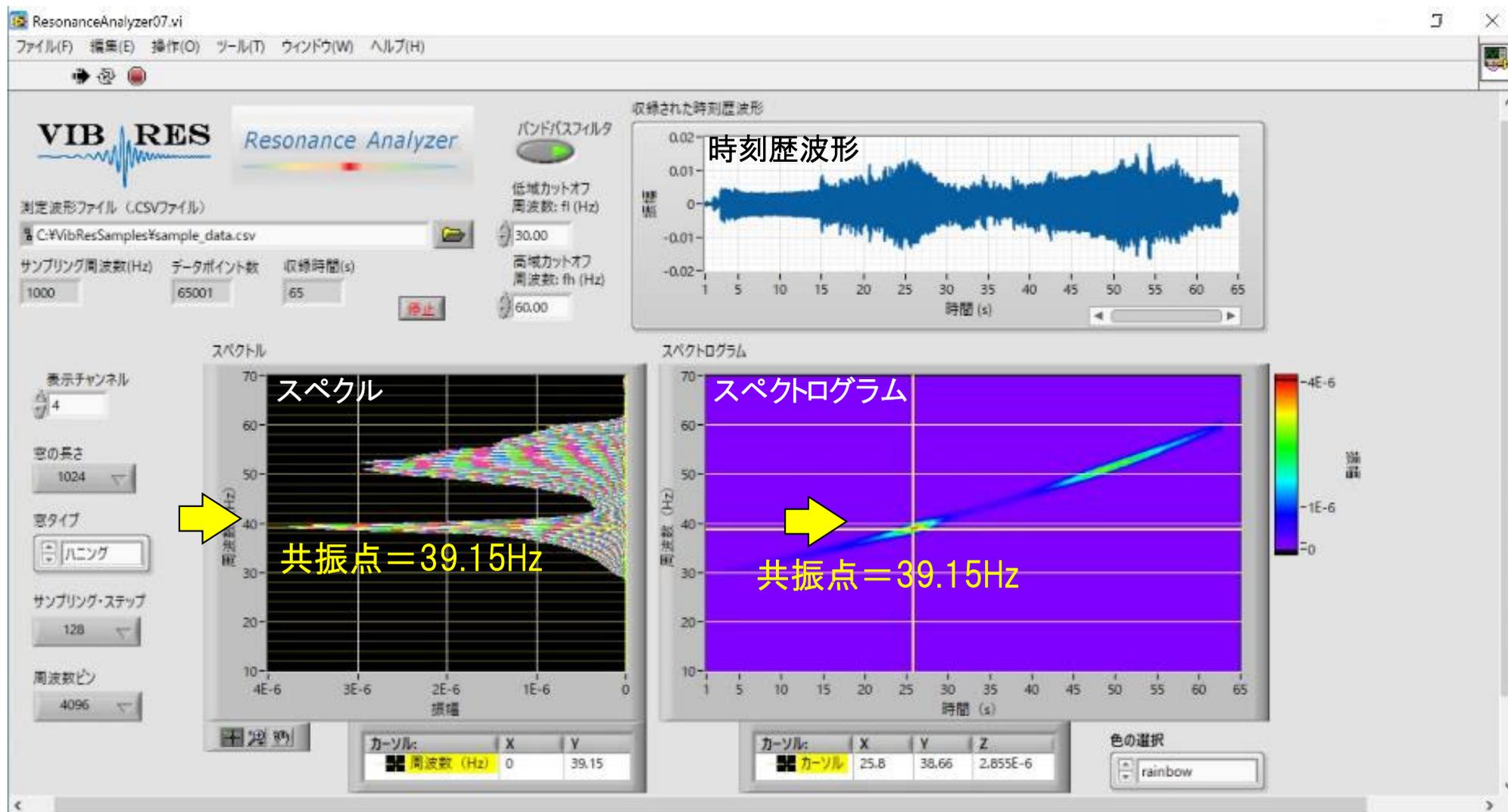
### 2回目以降の測定



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

## 5-2. 現場におけるVIBRESの測定方法

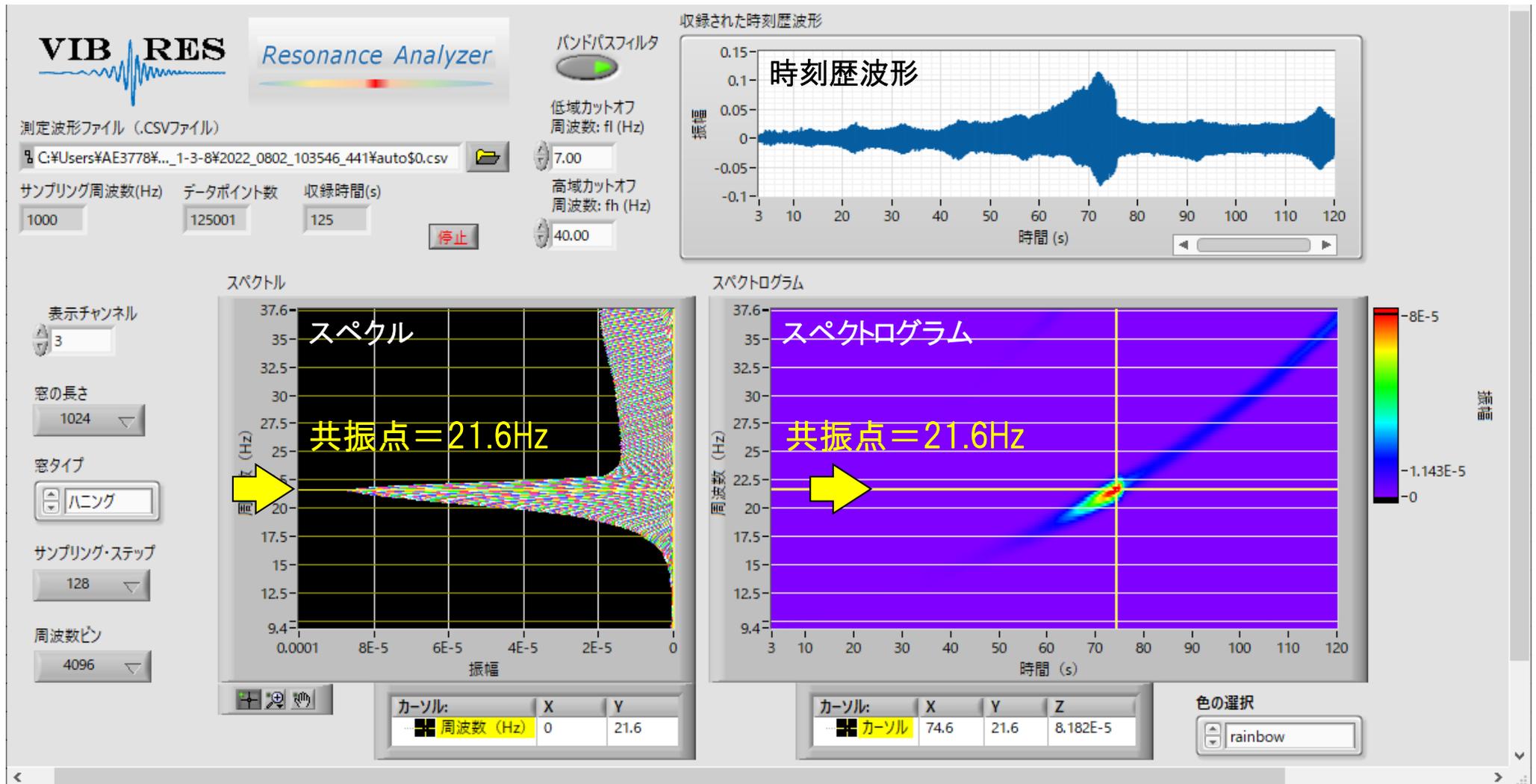


現場アンカーのVIBRES測定の解析例(共振点(共振周波数)の検出例)

# 5. 現場アンカーへの適用性検証

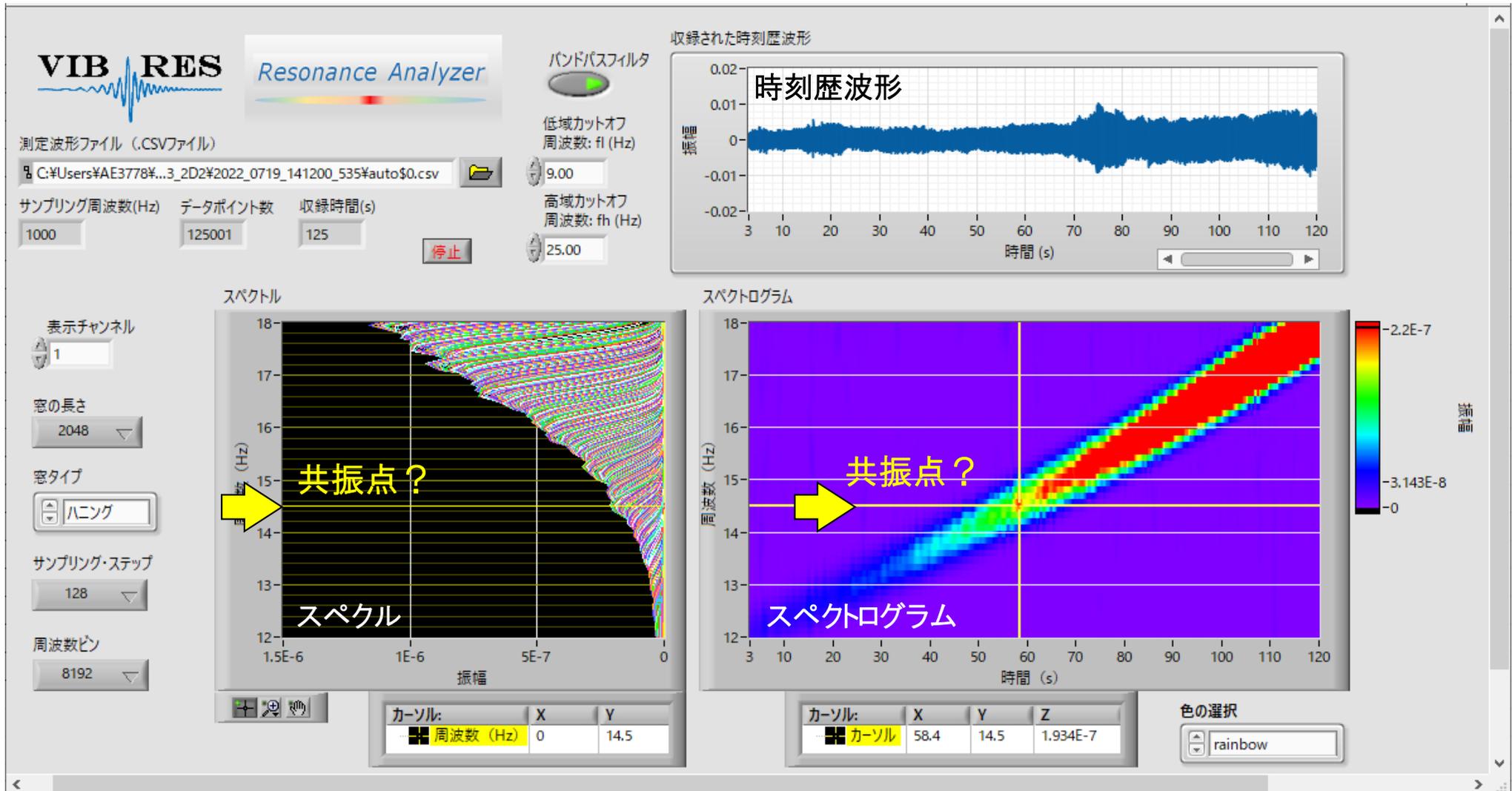
## ●現場アンカーにおける測定解析結果(例)

○ : スペクトルピークが明瞭でピーク振幅も大きいもの(例)



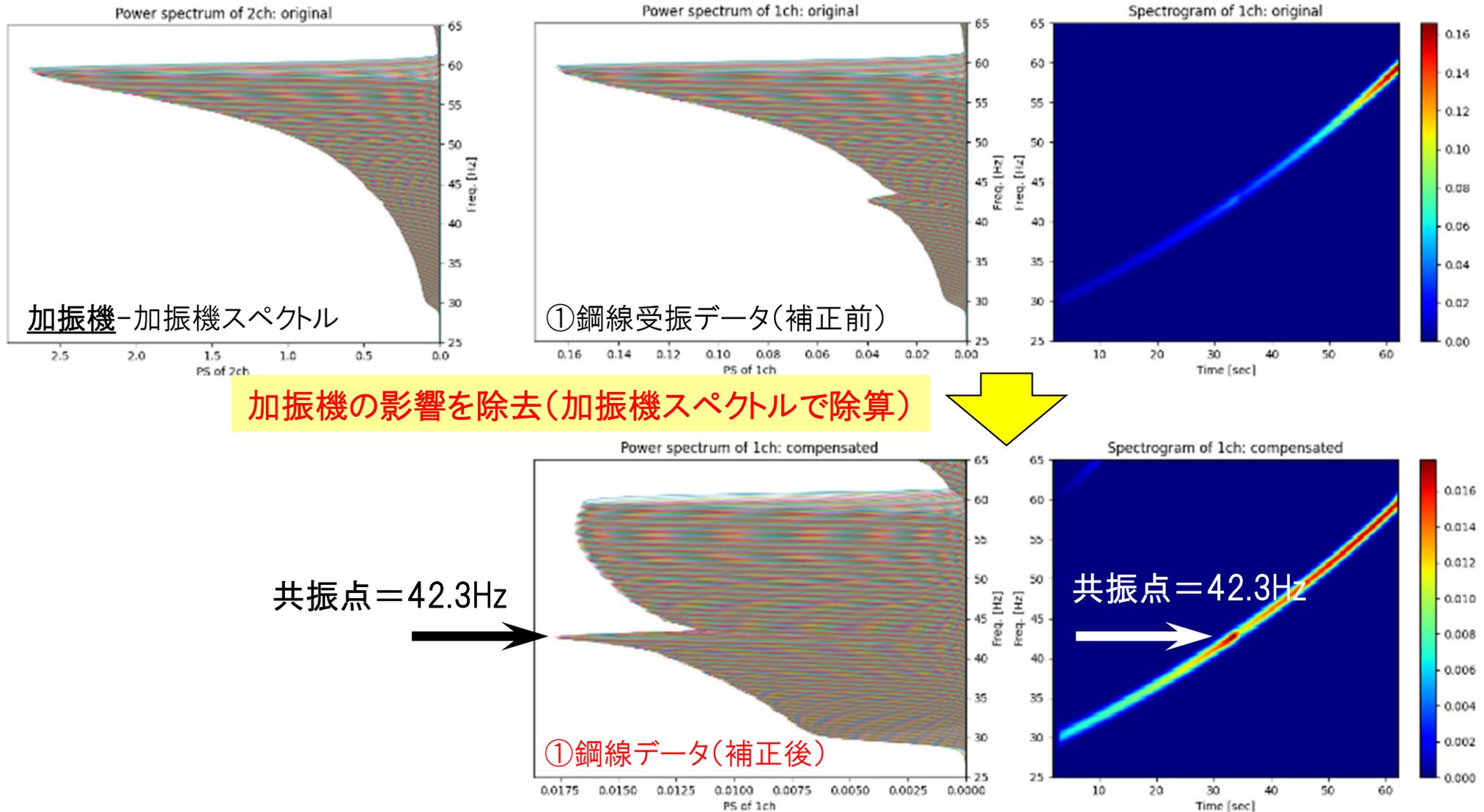
# 5. 現場アンカーへの適用性検証

△① : 大きなトレンド(加振機の影響)の中にピークが埋もれているもの  
⇒ 加振機の影響を除去することで、共振点の検出が可能



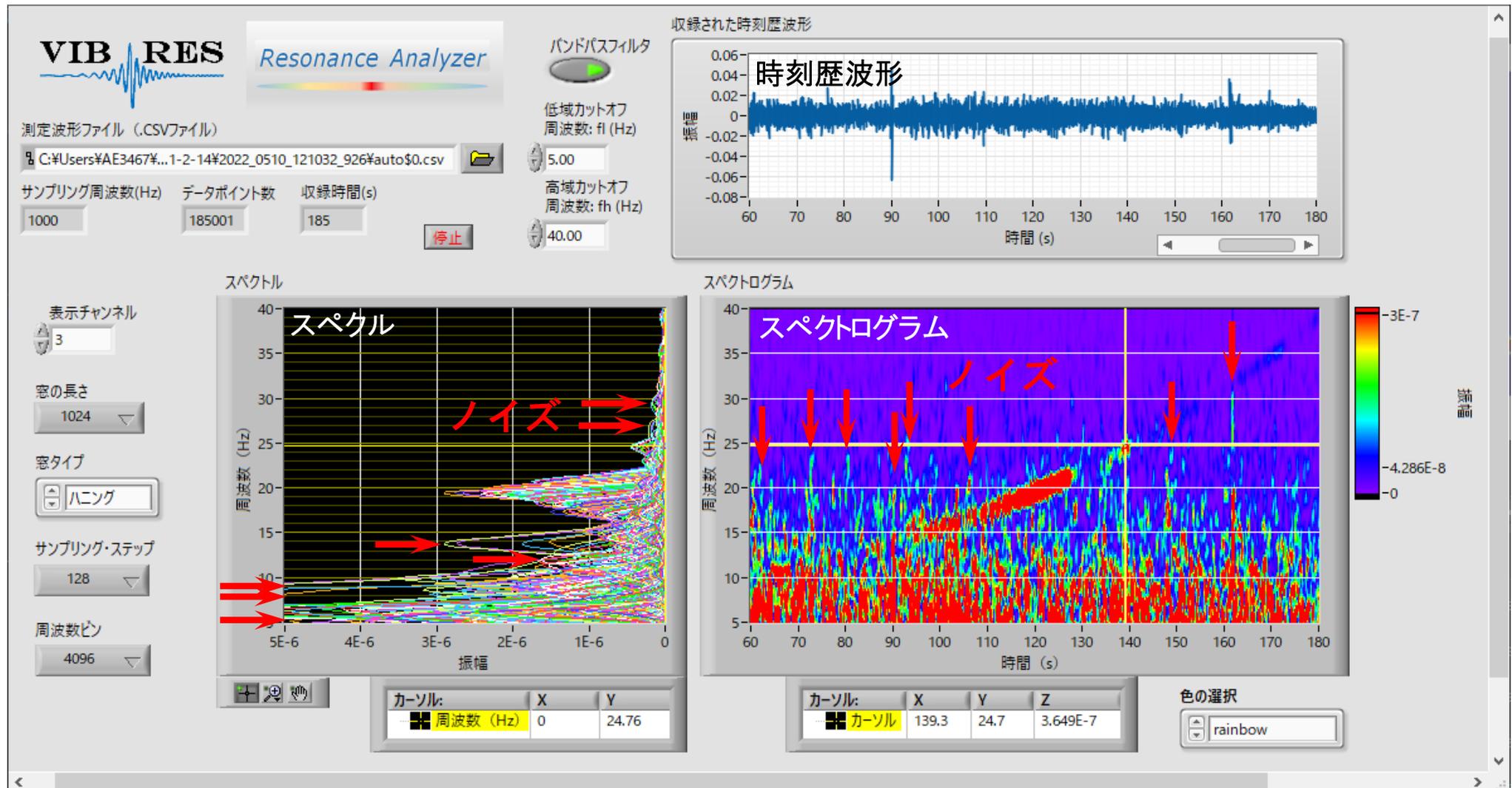
# 5. 現場アンカーへの適用性検証

△① : 大きなトレンド(加振機の影響)の中にピークが埋もれているもの  
⇒ 加振機の影響を除去することで、共振点の検出が可能



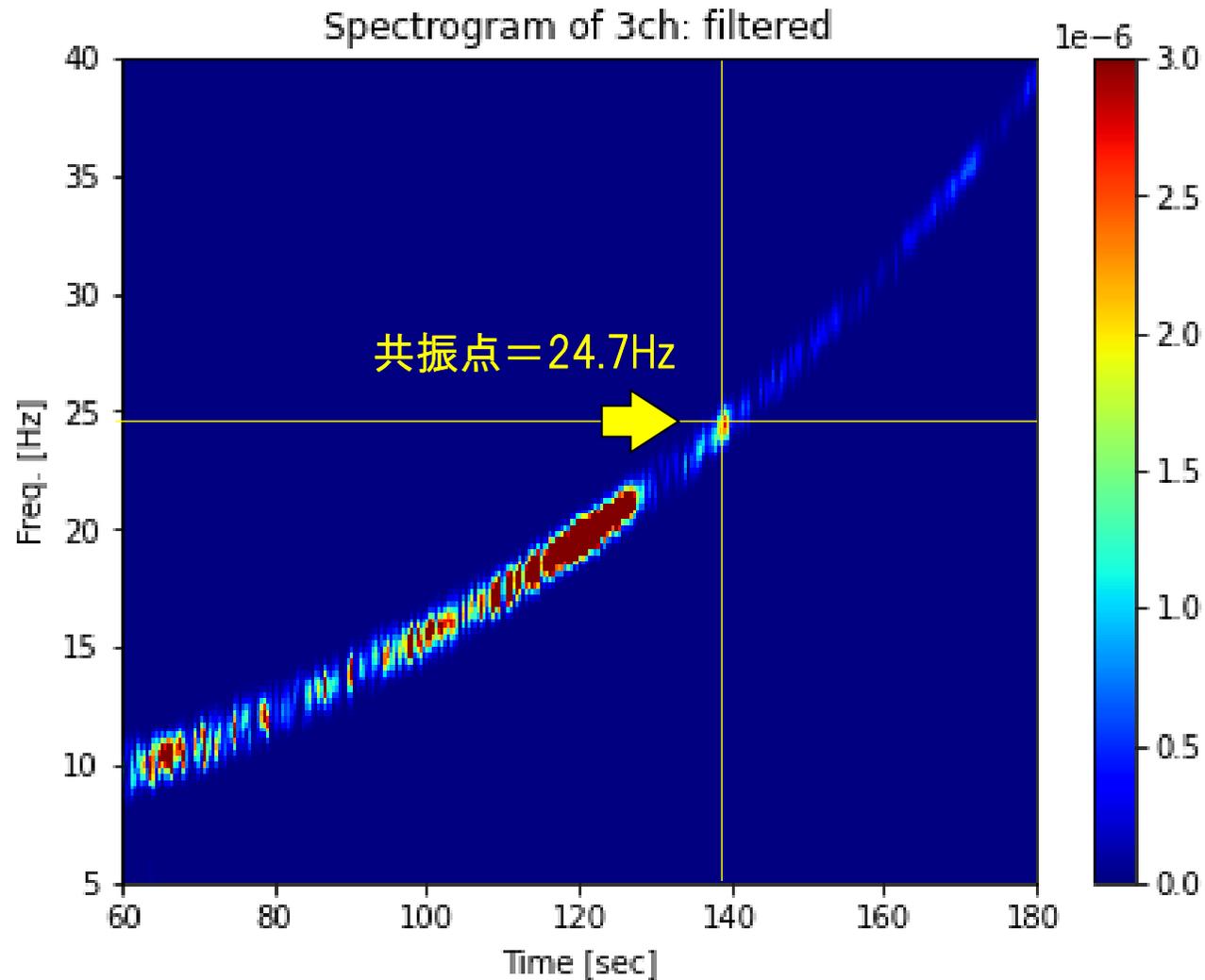
# 5. 現場アンカーへの適用性検証

△② : ピークがノイズに埋もれているもの  
⇒ 複数測定, ノイズを除去して他鋼線と比較することで, 共振点の検出が可能



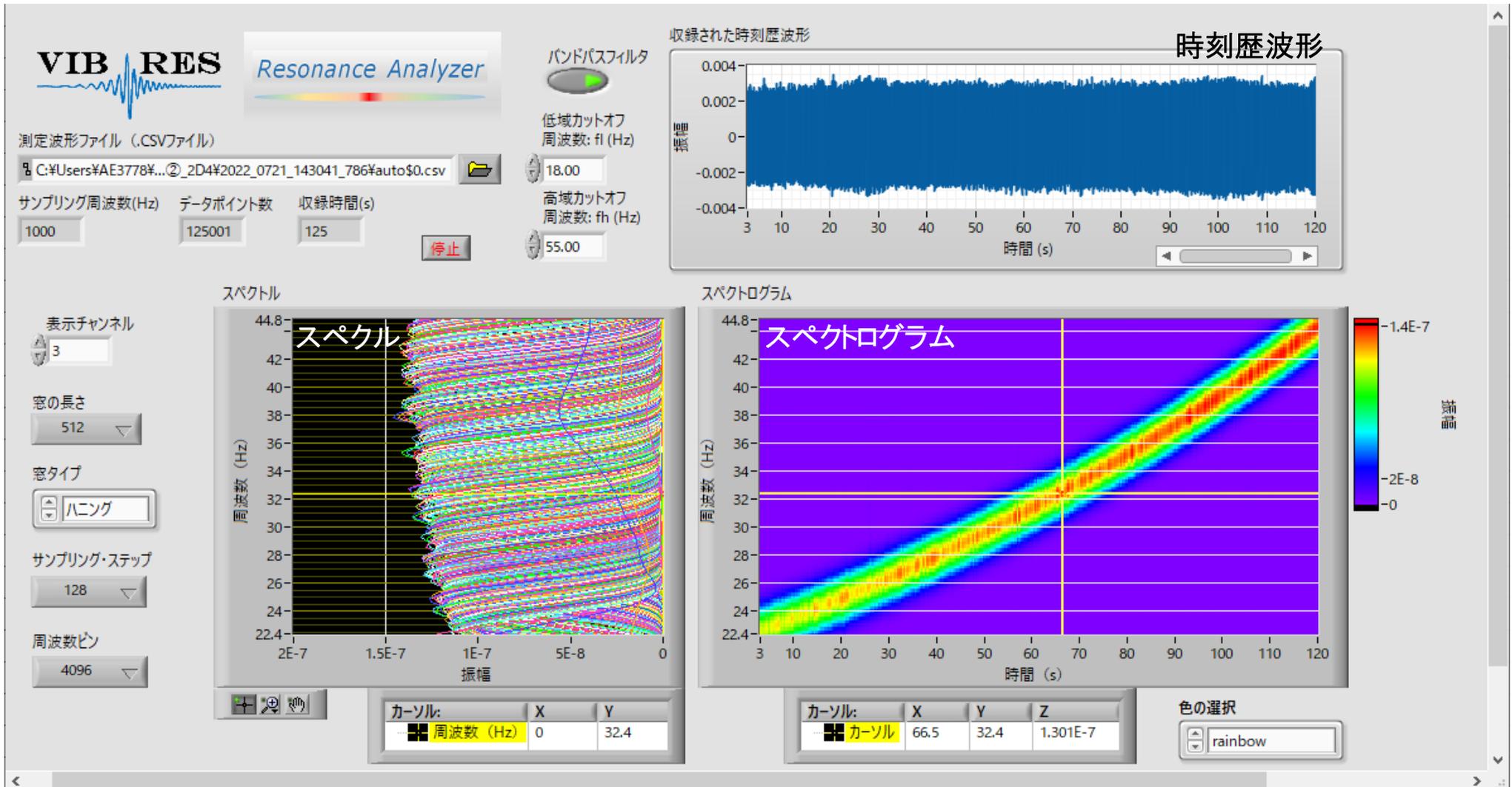
# 5. 現場アンカーへの適用性検証

△② : ピークがノイズに埋もれているもの  
⇒ 複数測定, ノイズを除去して他鋼線と比較することで, 共振点の検出が可能



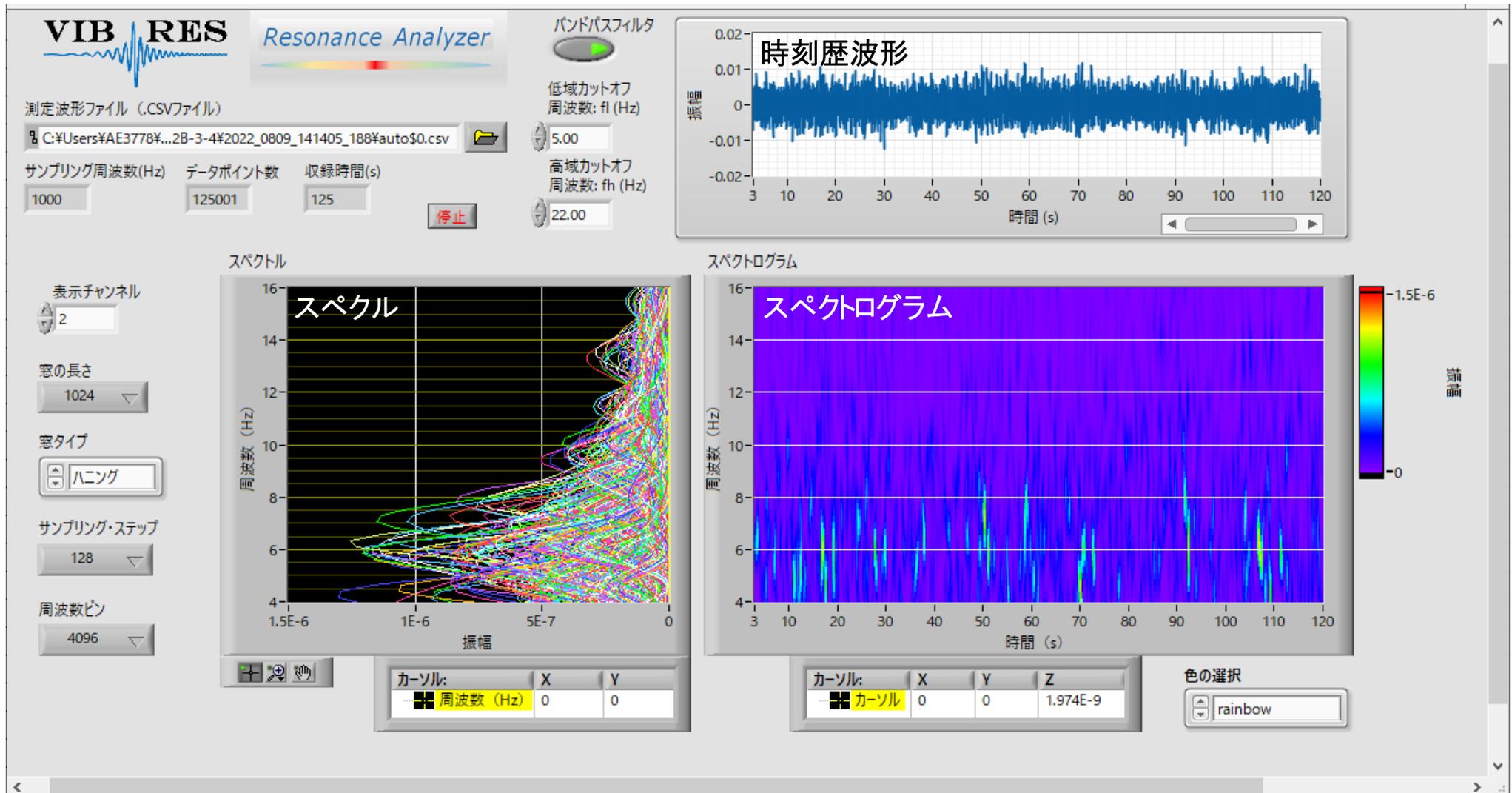
# 5. 現場アンカーへの適用性検証

△③ : ピークが複数見られるもの  
⇒ 加振機の影響を除去しても多数のピークがあり, **共振点の検出が不可能**



# 5. 現場アンカーへの適用性検証

× : ピークが見られず信頼性が極めて低いもの  
⇒ ピークがなく, **共振点の検出が不可能**



# 5. 現場アンカーへの適用性検証

## ●現場アンカーにおけるVIBRES測定の下緊張力の求め方

共振周波数の明瞭さは、以下の3段階5パターン、○、△①、△②、△③、×に分けられる。  
緊張力の算出には、○、△①、△②を用いる。

○、△①、△② ⇒ アンカー緊張力の算出に用いる

- : スペクトルピークが明瞭でピーク振幅も大きいもの  
⇒ スペクトルピーク(以下、ピーク)が共振点である信頼性が高く、共振点の検出が可能
- △① : 大きなトレンド(加振機の影響)の中にピークが埋もれているもの  
⇒ 加振機の影響を除去することで、共振点の検出が可能
- △② : ピークがノイズに埋もれているもの  
⇒ 複数測定、ノイズを除去して他鋼線と比較することで、共振点の検出が可能

△③、× ⇒ アンカー緊張力の算出に用いない

- △③ : ピークが複数見られるもの  
⇒ 加振機の影響を除去しても多数のピークがあり、共振点の検出が不可能
- × : ピークが見られず信頼性が極めて低いもの  
⇒ ピークがなく、共振点の検出が不可能

# 5. 現場アンカーへの適用性検証

## ●現場アンカーにおけるVIBRES測定の緊張力の求め方

各鋼線の読み取り共振周波数の平均値から、各鋼線の緊張力を求め、各鋼線の緊張力の合算するなどして、当該アンカーの緊張力を求める。

VIBRES測定における共振周波数の検出例

アンカー番号	アンカー規格	テンドン自由長(m)	VIBRES実施日	加振鋼線	受振鋼線	file-ID	加振周波数範囲(Hz)	ピーク周波数f(Hz)	明瞭さ	備考	読み取り共振周波数(Hz)	各鋼線の共振周波数(Hz)	各鋼線の残存緊張力(kN)	アンカーの残存緊張力 $P_v$ (kN)
2-2-1	VSL E5-2	8.5	2022/6/10	1	1	125318	6.5~26.0	17.2	○	-	17.2	18.1	65	125.6
						134419	14.0~21.0	17.2	○	-				
					2	125318	6.5~26.0	20.2	△①	-	18.9			
						134419	14.0~21.0	17.5	○	-				
				2	1	132414	6.5~26.0	17.6	○	-	17.7	17.5		
						133313	14.0~21.0	17.7	○	-				
2	132414	6.5~26.0	17.4		○	-	17.4							
	133313	14.0~21.0	17.4		○	-								
2-9-13	VSL E5-3	4.0	2022/11/15	1	1	125214	14.0~56.0	-	×	ピークなし(読み取り不能)	-	-	-	-
						131255	30.0~45.0	38.2	△③	-				
					2	125214	14.0~56.0	38.0	△③	-	-			
						131255	30.0~45.0	38.7	△③	-				
					3	125214	14.0~56.0	41.0	△③	-	-			
						131255	30.0~45.0	37.6	△③	-				
				2	1	132828	14.0~56.0	39.5	△③	-	-	38.7		
						134340	30.0~45.0	40.6	△③	-				
					2	132828	14.0~56.0	37.2	△①	-	38.7			
						134340	30.0~45.0	40.2	△①	-				
					3	132828	14.0~56.0	39.5	△③	-	-			
						134340	30.0~45.0	40.5	△③	-				
				3	1	135724	14.0~56.0	34.4	△③	-	-	39.5		
						140612	30.0~45.0	40.1	△③	-				
					2	135724	14.0~56.0	34.4	△③	-	39.5			
						140612	30.0~45.0	39.5	△①	-				
					3	135724	14.0~56.0	-	×	ピークなし(読み取り不能)	-			
						140612	30.0~45.0	-	×	ピークなし(読み取り不能)				

# 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

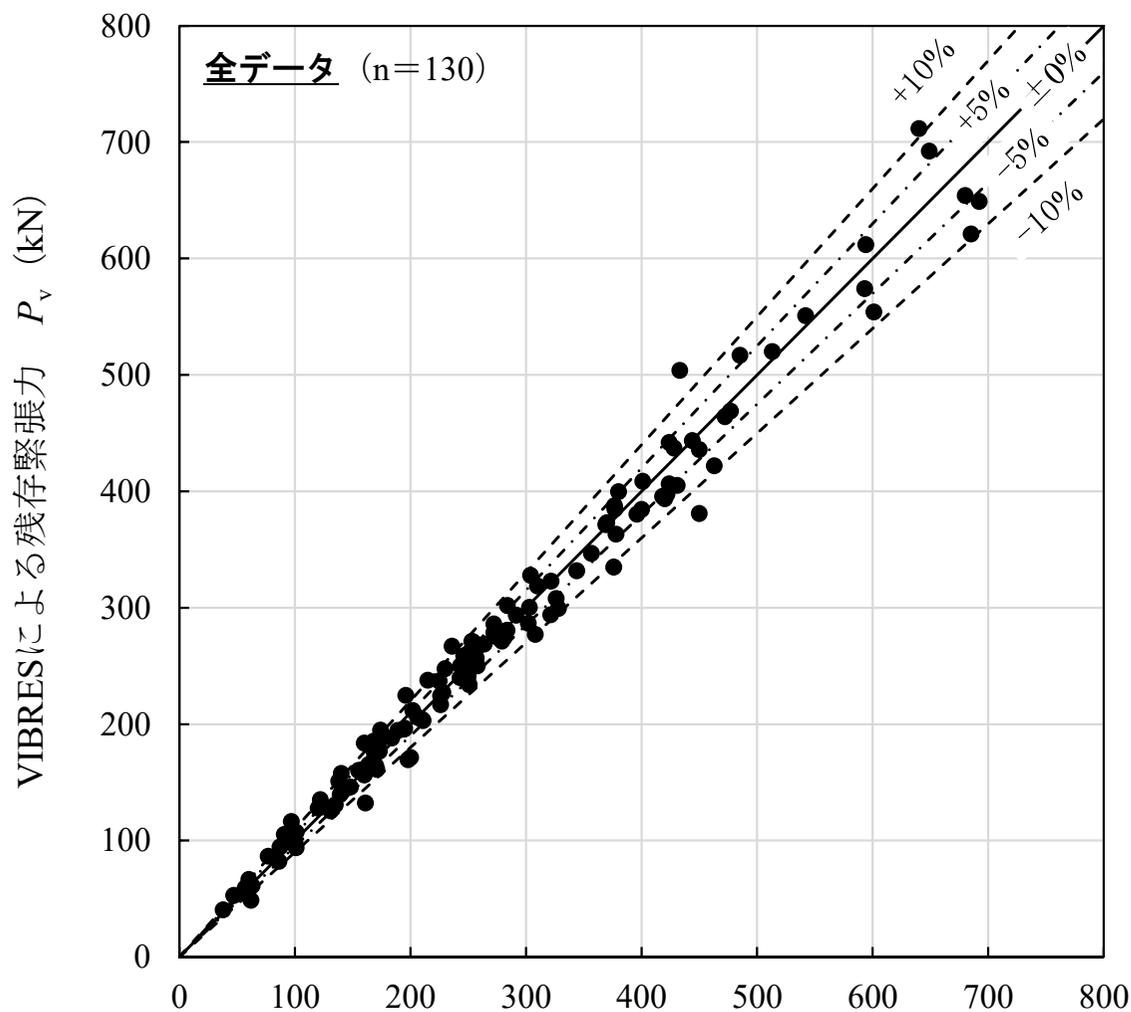
### ●VIBRES測定結果・リフトオフ試験との比較

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

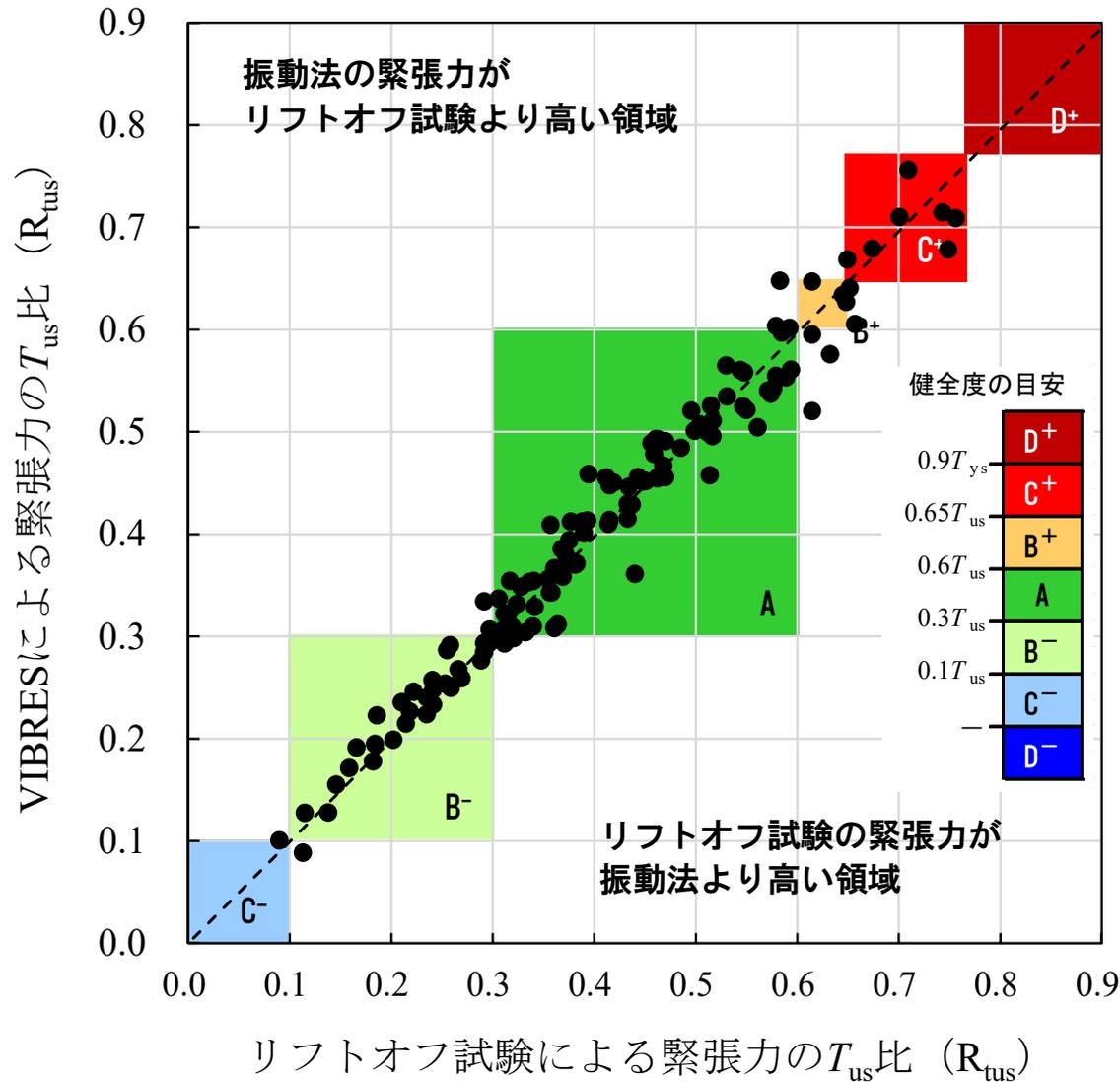
(1). リフトオフ試験に対する誤差 : ±10%から外れたアンカー, 21/130本(16.2%)



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

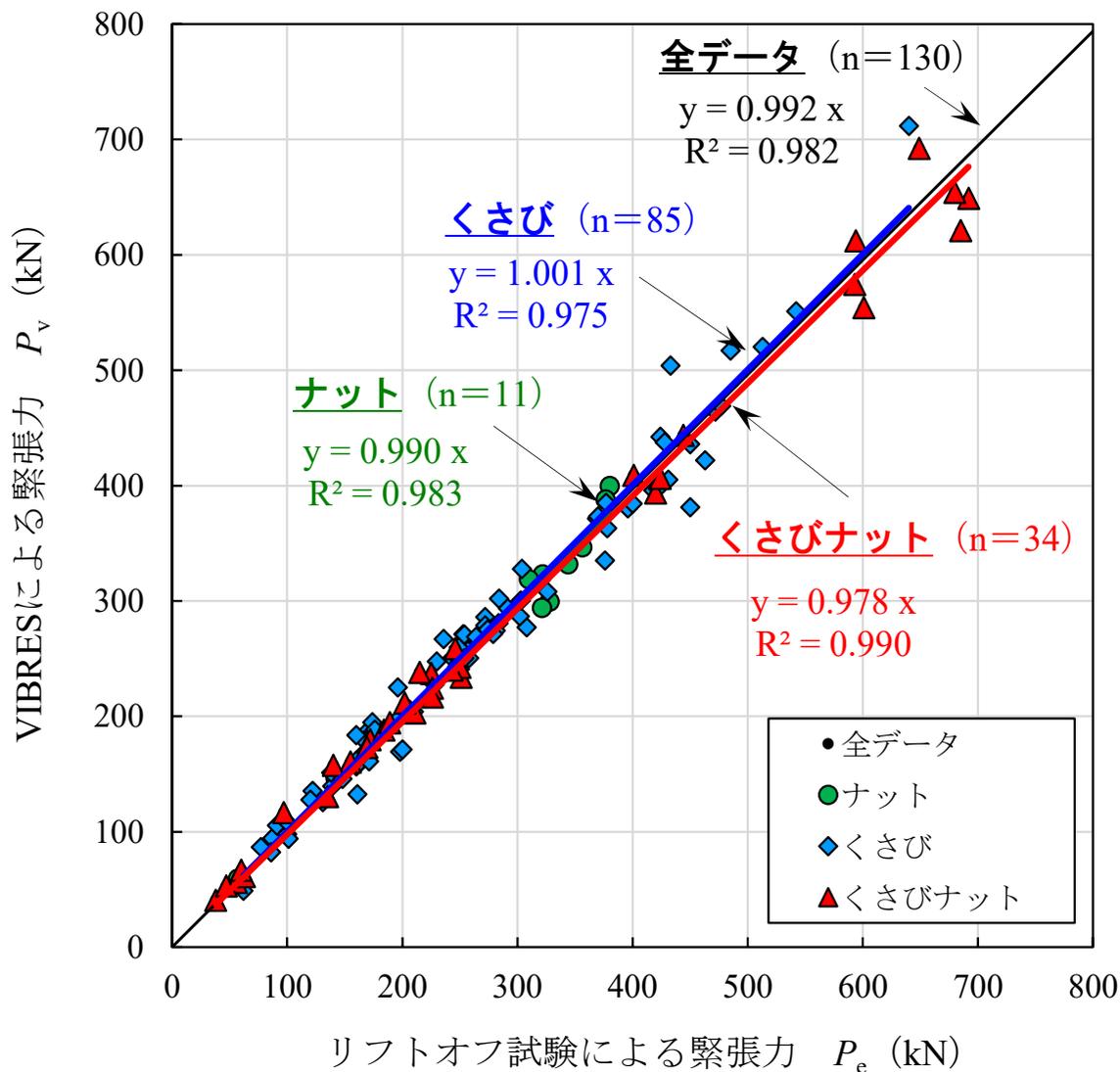
(2). 健全度評価結果の相違 : 異なる健全度評価, 13/130本(10.0%)



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( $\alpha$ ):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))。

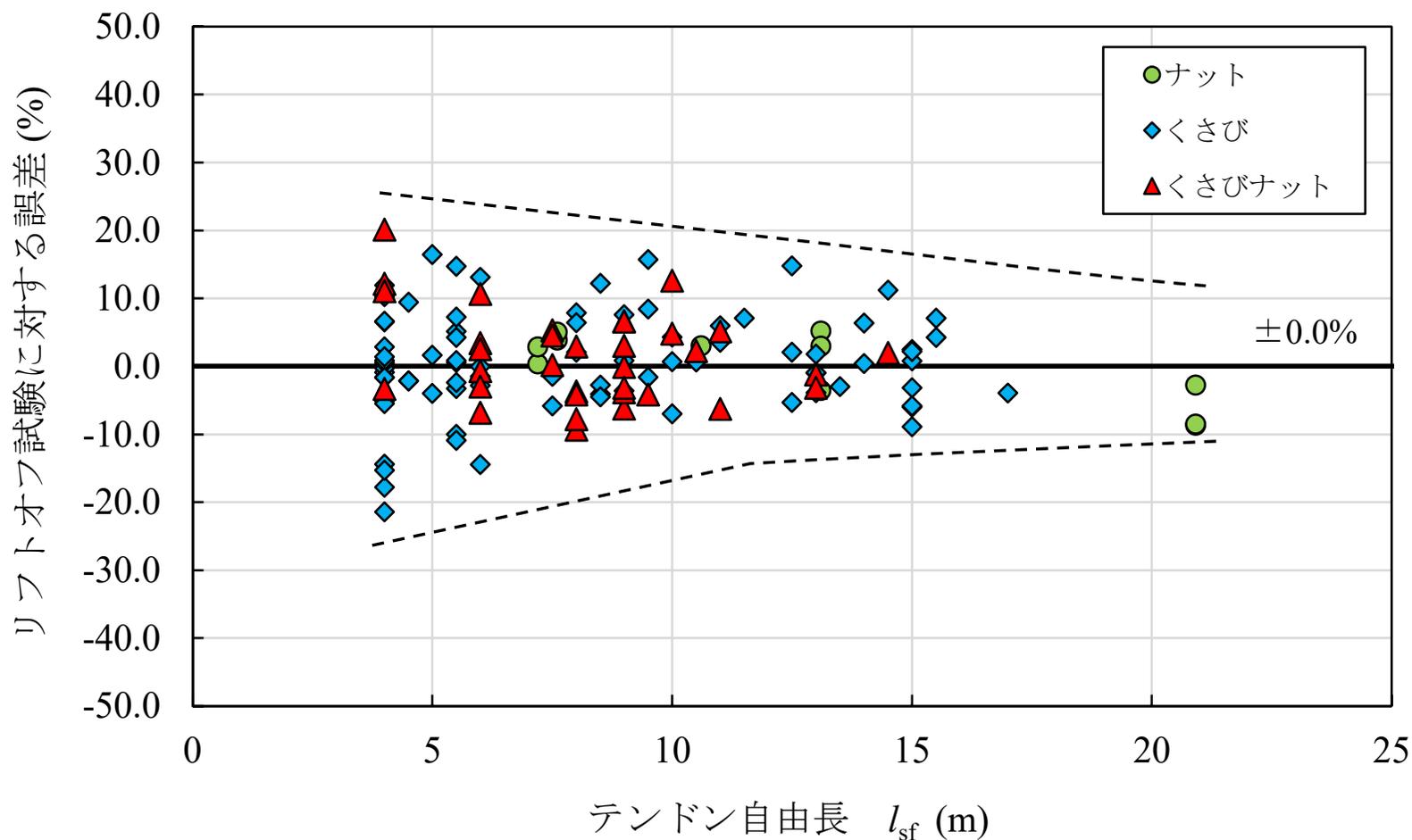
※誤差(%) =  $(P_v - P_e) / P_e \times 100$

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

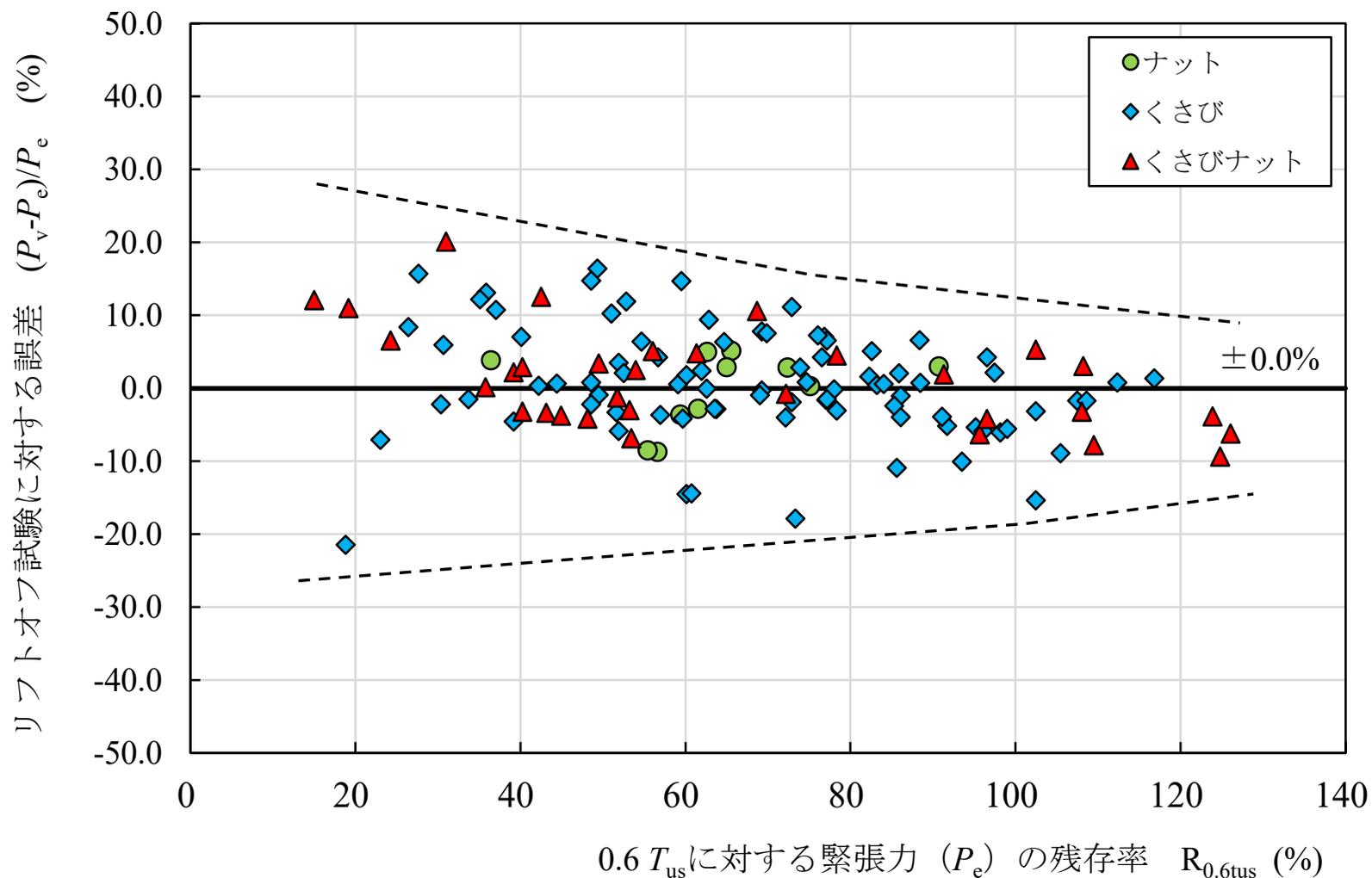
## (4). VIBRESによる緊張力の誤差のバラツキ



テンドン自由長と誤差の関係

# 5. 現場アンカーへの適用性検証

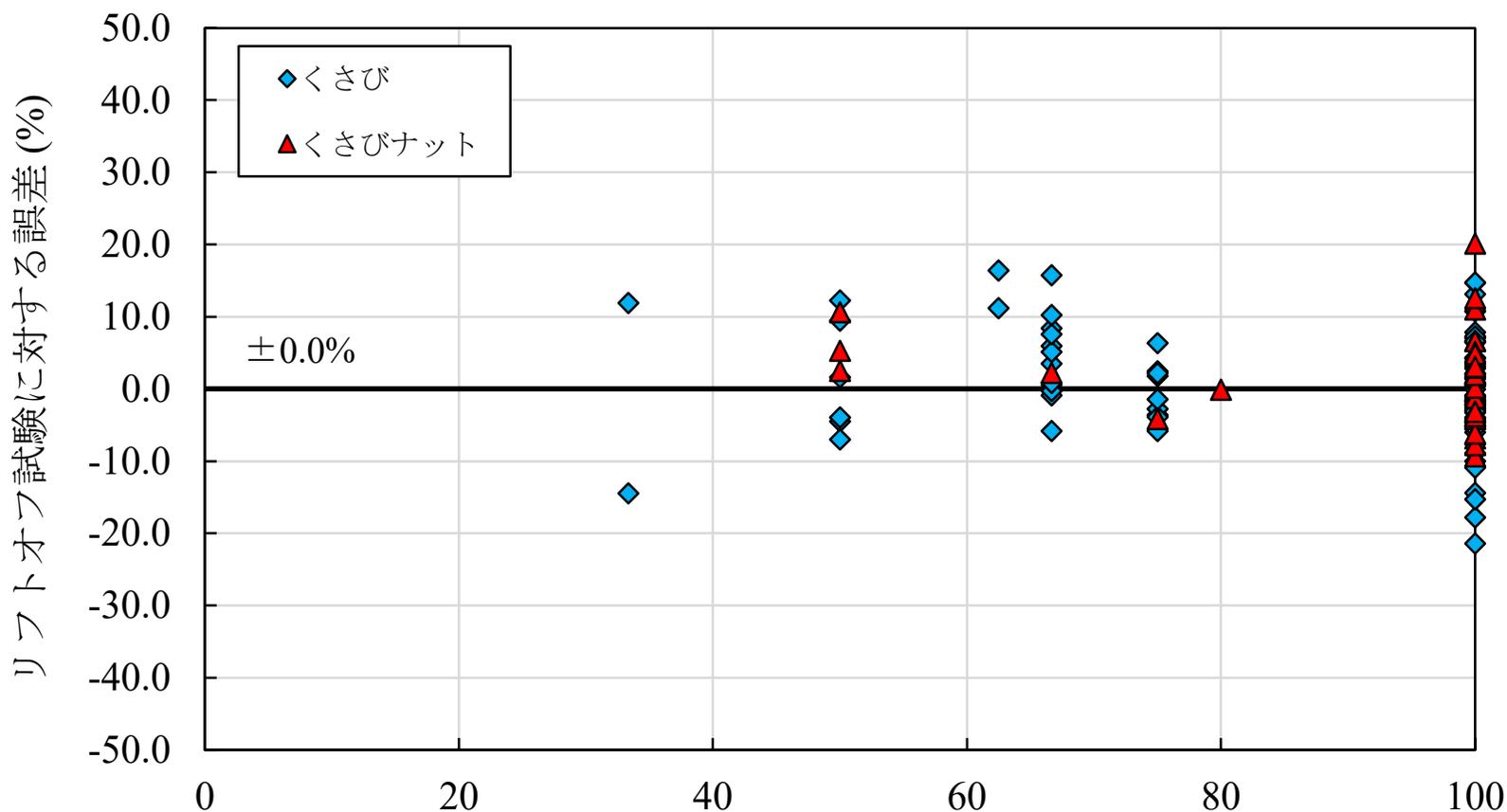
## (4). VIBRESによる緊張力の誤差のバラツキ



緊張力の残存率と誤差の関係

# 5. 現場アンカーへの適用性検証

## (4). VIBRESによる緊張力の誤差のバラツキ



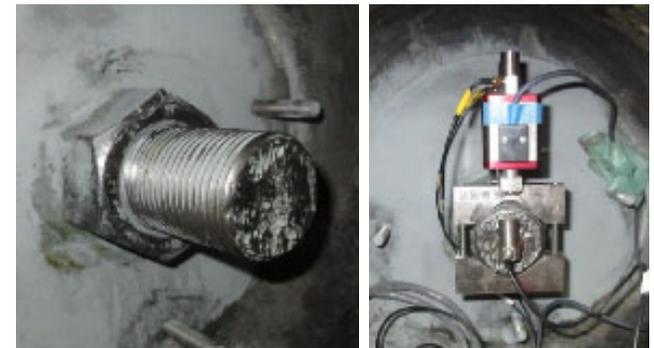
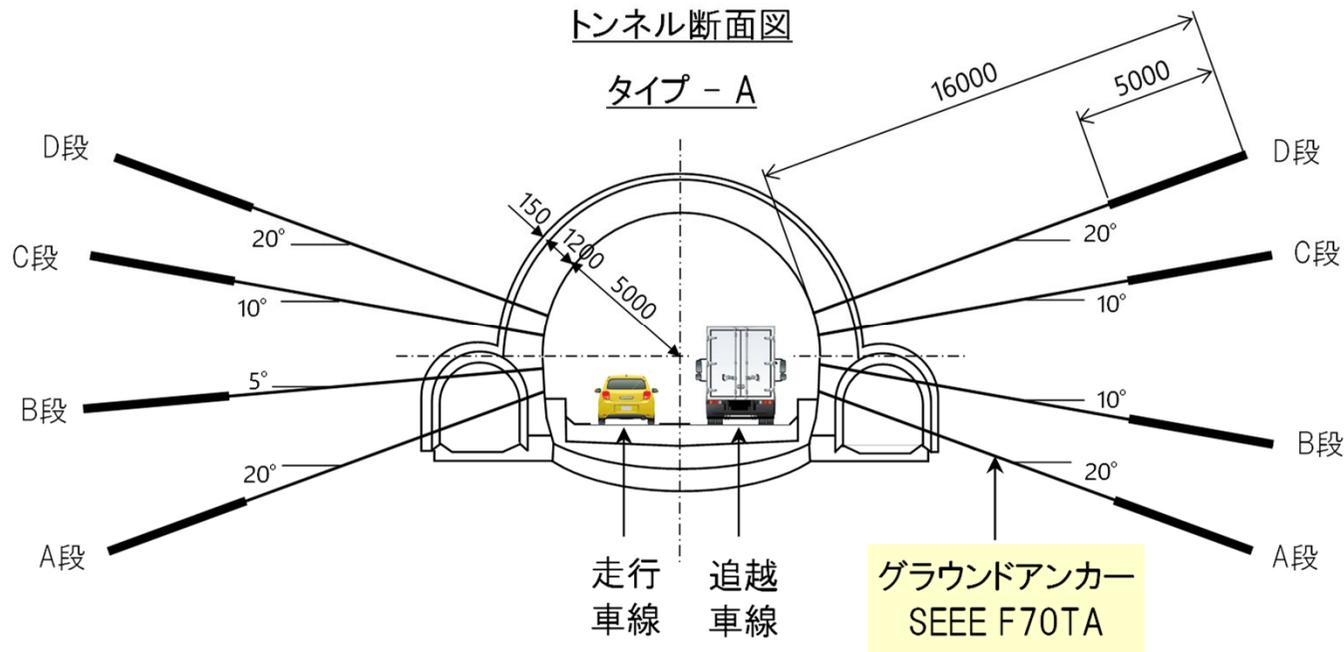
複数鋼線における共振周波数の読み取り率：読み取り鋼線／全鋼線 (%)

共振周波数(共振点)の読み取り率と誤差の関係

# 6. VIBRESシステムの適用事例

## 6-2. 重交通環境下における適用例

本技術は、のり面や斜面のみならず、リフトオフ試験の適用が難しい、トンネル内のような重交通を伴う交通規制下における緊張力測定にも適している。



トンネル内アンカー：SEEE F70TA実施状況

# 6. VIBRESシステムの適用事例

## 6-2. 重交通環境下における適用結果

重交通環境下でのVIBRESによりアンカー緊張力が求められ、計測の大幅な効率化を達成した。

トンネル内アンカーでの実績

9本  
9:00～16:00  
で測定完了

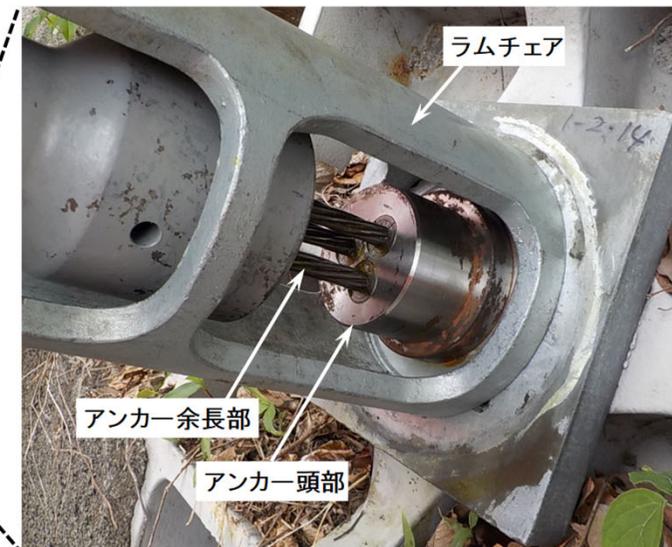
6本  
9:00～14:00  
で測定完了

車線	通番	アンカー番号	アンカー規格	アンカー長 $l_A$ (m)	tendon長 $l_s$ (m)	実測共振 周波数 (Hz)	推定 緊張力 $P$ (kN)	評価	定着時 緊張力 $P_t$ (kN)	$P/P_t$ (%)
走行	1	207L-2D	SEEE F70TA	16.0	15.28	11.07	347.9	A	392.4	88.7
	2	211L-3D	SEEE F70TA	16.0	15.28	11.96	406.1	A	392.4	103.5
	3	216L-1B	SEEE F70TA	16.0	15.28	11.35	365.7	A	392.4	93.2
	4	217L-6A	SEEE F70TA	16.0	15.28	11.89	401.4	A	392.4	102.3
	5	218L-4A	SEEE F70TA	16.0	15.28	10.84	333.6	A	392.4	85.0
	6	219L-1A	SEEE F70TA	16.0	15.28	11.26	360.0	A	392.4	91.7
	7	243L-5A	SEEE F70TA	12.5	11.76	15.83	421.4	A	392.4	107.4
	8	243L-5B	SEEE F70TA	12.5	11.76	16.13	437.5	B	392.4	111.5
	9	244L-1B	SEEE F70TA	12.5	11.76	15.28	392.6	A	392.4	100.1
追越	10	201R-5D	SEEE F70TA	16.0	15.28	11.29	361.9	A	392.4	92.2
	11	207R-1B	SEEE F70TA	16.0	15.28	11.75	392.0	A	392.4	99.9
	12	217R-4B	SEEE F70TA	16.0	15.28	11.68	387.3	A	392.4	98.7
	13	218R-4B	SEEE F70TA	16.0	15.28	13.18	493.2	C	392.4	125.7
	14	220R-1A	SEEE F70TA	16.0	15.28	11.17	354.2	A	392.4	90.3
	15	243R-4B	SEEE F70TA	12.5	11.76	15.51	404.5	A	392.4	103.1

# 7. VIBRESの適用条件と効率性

## ● VIBRESシステムの適用範囲と効率性

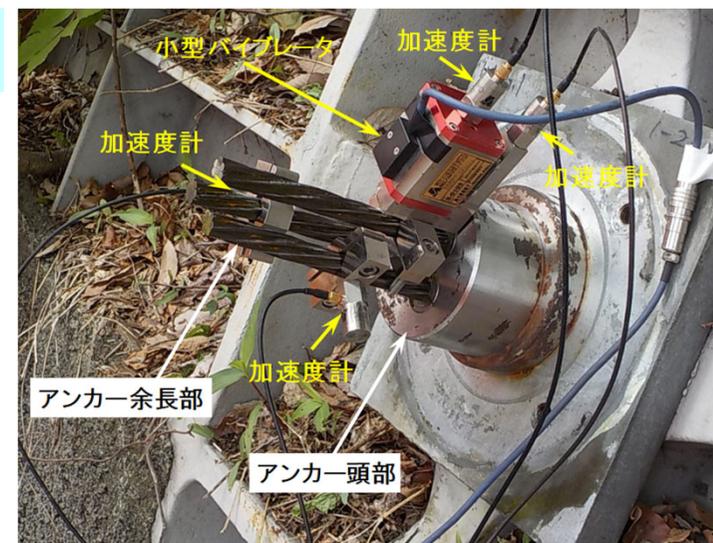
### リフトオフ試験



### リフトオフ試験時の仮設足場



### VIBRES測定状況



# 7. VIBRESの適用条件と効率性

## ●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1月現在)

項目	適用範囲
アンカー規格※1)	SEEE, 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	1~8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)

# 7. VIBRESの適用条件と効率性

## ●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。

# 8. 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

## 8. 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:052-212-4597(営業部直通)

E-mail:[info.yy@c-nexco-hen.jp](mailto:info.yy@c-nexco-hen.jp)

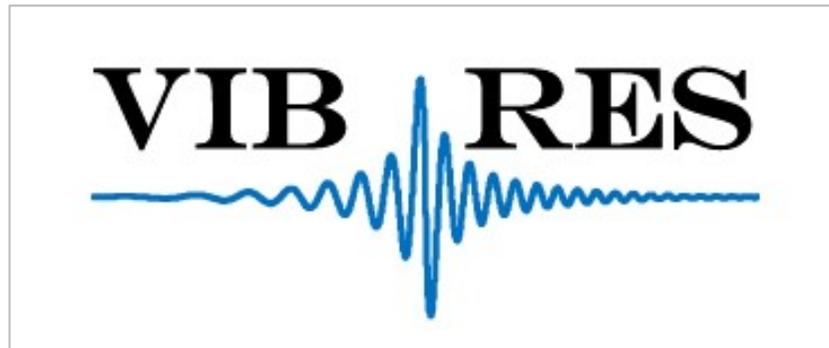
中日本エンジ名古屋

検索

<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。