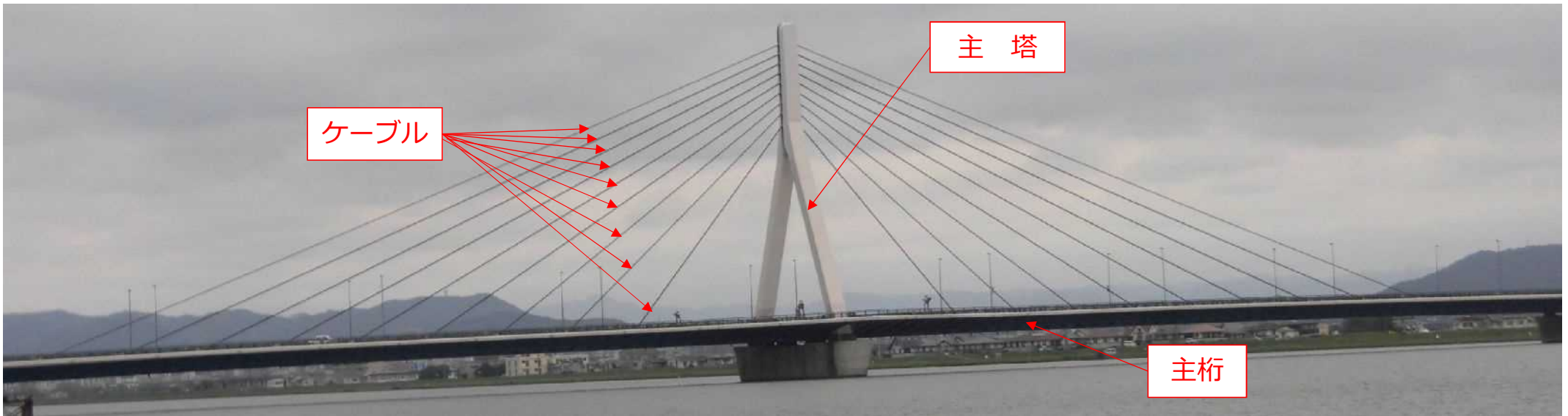


点検支援技術性能カタログ【技術番号 BR030032-V0021】

振動画像によるケーブル張力計測技術のご紹介



斜張橋のケーブル点検の現状と課題



- 斜張橋ケーブルは橋梁にとって非常に重要な部材であり、**損傷を放置すれば落橋にもつながる重要な点検対象**
 - 現在のケーブル張力点検は、特別な場合に実施される「精密点検項目」であり、**定期点検では「外観目視のみ」**
 - 現在の点検はケーブルに近接して計測機器を直接設置する方法のため、**日常的または災害時の迅速・安全な張力の把握が困難**
- 技術開発目標：DXによる計測作業の省力化、作業の安全性の向上、日常的な張力管理、災害時の迅速な張力把握

従来の張力計測手法から画像計測へ

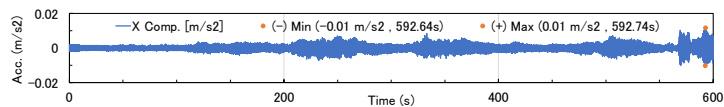
■ 従来技術

加速度計をケーブルに直接設置して計測

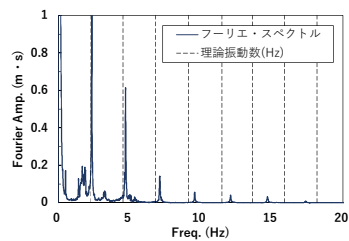
・ 計測状況



・ 加速度時刻歴波形



・ 振動数抽出



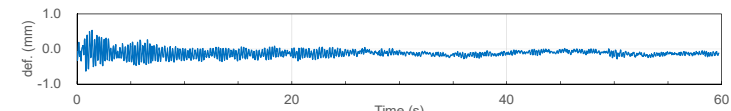
■ 本技術

遠方からケーブルを撮影して計測

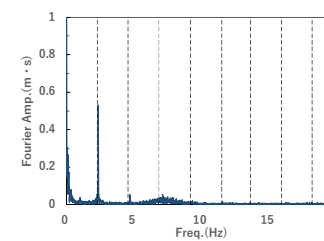
・ 計測状況



・ 変位時刻歴波形



・ 振動数抽出



・ 張力算出 ※数種の算出法あり

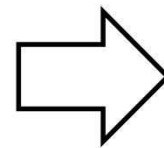
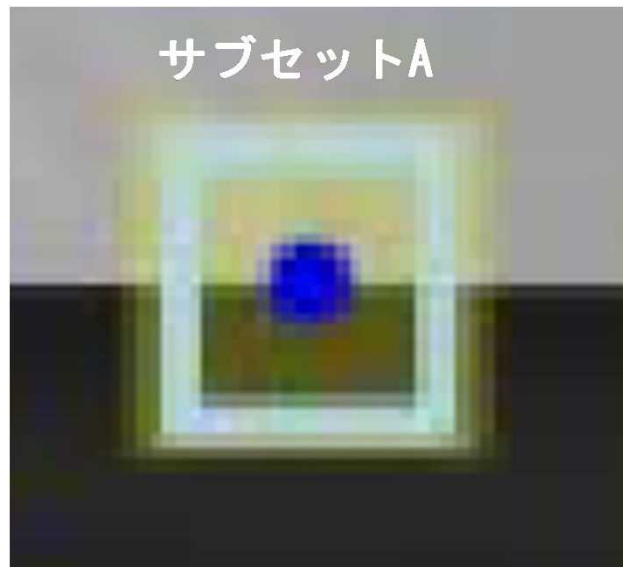
$$T = \left(\frac{2Lf_n}{n} \right)^2 w/g - \frac{n^2 \pi^2 EI}{L^2}$$

設計時の張力と比較して、異常な張力変動がないかを判定



➤ デジタル画像相関法 (DIC)の原理

- 256濃度階調で表現される画素から構成された濃淡画像であることを利用
- 得られたデジタル画像の輝度分布から試料表面の変形量と方向を求める。



サブセットの移動



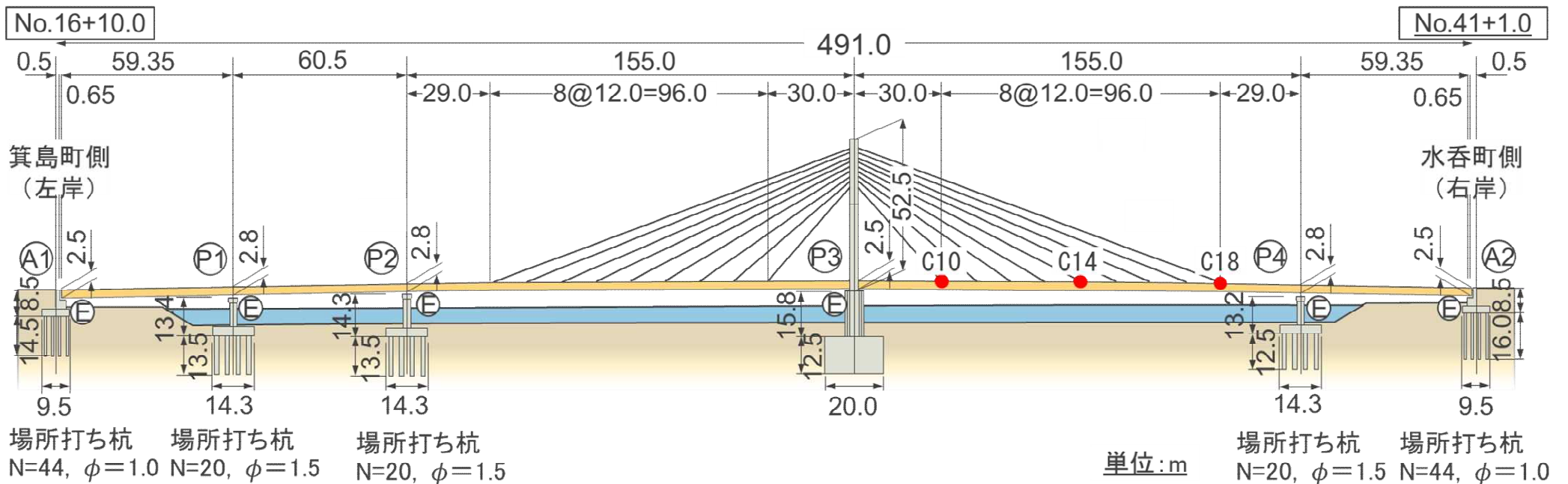
実橋梁における技術検証



➤ 対象橋梁（一面吊り斜張橋）

道路規格	第4種第1級
設計速度	50 km/h
荷重種別	B活荷重
幅員	車道: 7.25m×2 歩道: 3.5m×2
主桁	3室箱桁 2室箱桁
主塔	逆Y字型柱 (塔高 52.5 m)
ケーブル	ファン形式 (1面9段マルチケーブル)

ケーブル No.	C10	C14	C18
ストランド径	φ7mm	φ7mm	φ7mm
本数	301	283	163
ケーブル断面構成			
標準断面積 (mm ²)	11600	10900	6720
破断荷重 (MN)	18.2	17.1	9.85
弾性係数 (GPa)	195	195	195
単位長さ重量 (kN/m)	0.966	0.899	0.520

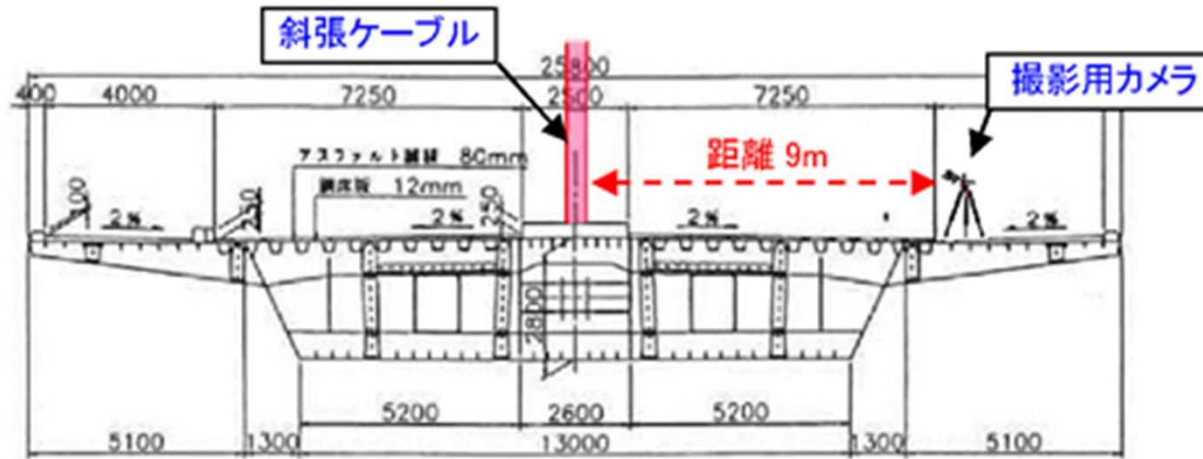




実橋梁における技術検証



➤ 撮影方法



撮影状況とカメラの位置

撮影カメラの仕様

カメラ種別	2Kカメラ 【GS3-U3-23S6M-C】	4Kカメラ 【GS3-U3-89S6M-C】
メーカー	FLIP Japan	FLIP Japan
イメージセンサ	1/1.2型[2K]	1型[4K]
画角	1920 × 1200	3840 × 2400
fps	40	30

計測ケースと計測時間

		C18	C14	C10	計測時間
加速度計		3ケース	3ケース	3ケース	10分
画像計測	2K	6ケース	6ケース	6ケース	1分
	4K	6ケース	6ケース	6ケース	1分

※市販のデジタルカメラでも計測可能

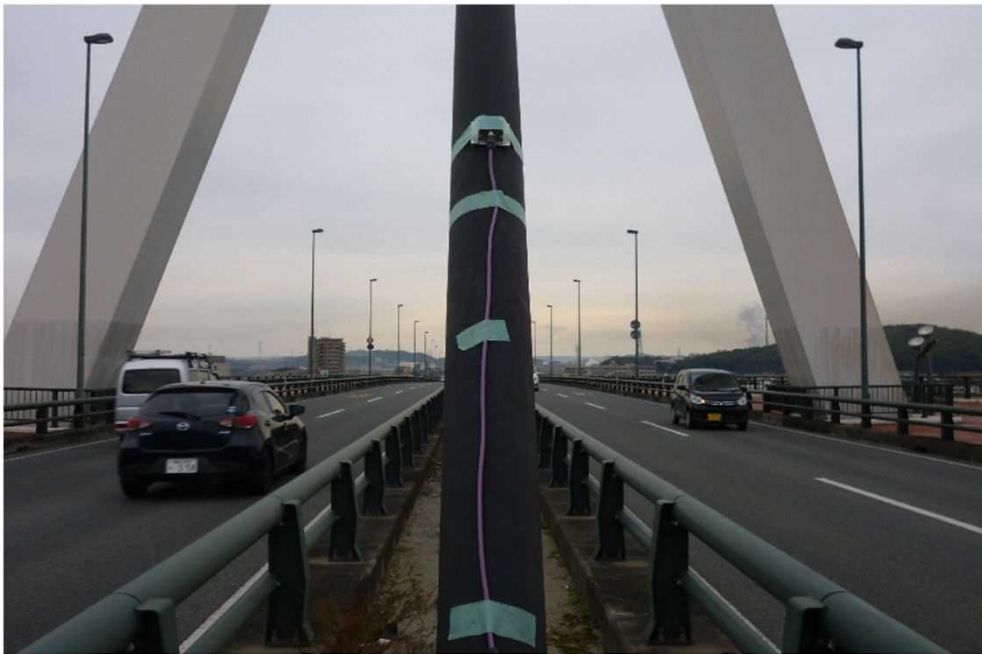




実橋梁における技術検証



➤ 計測状況



加速度計測



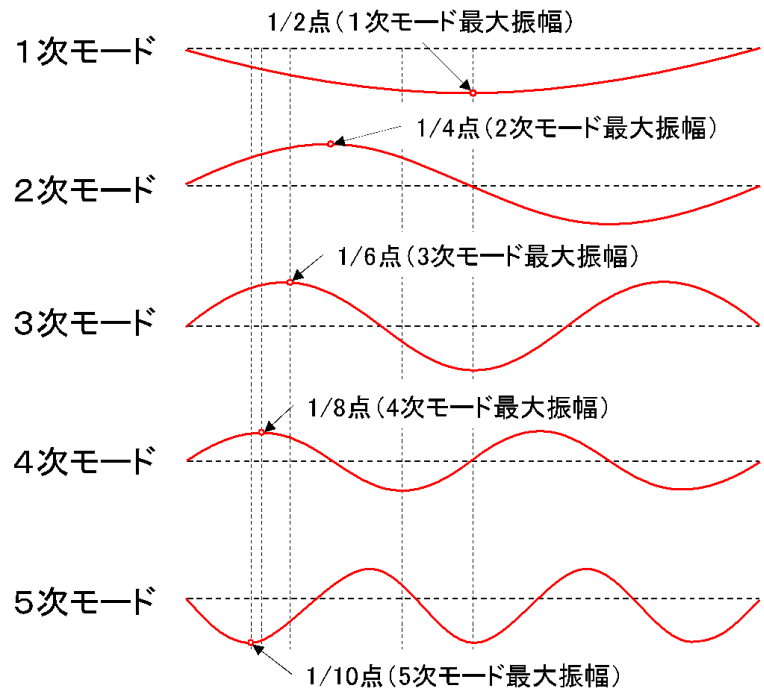
画像計測



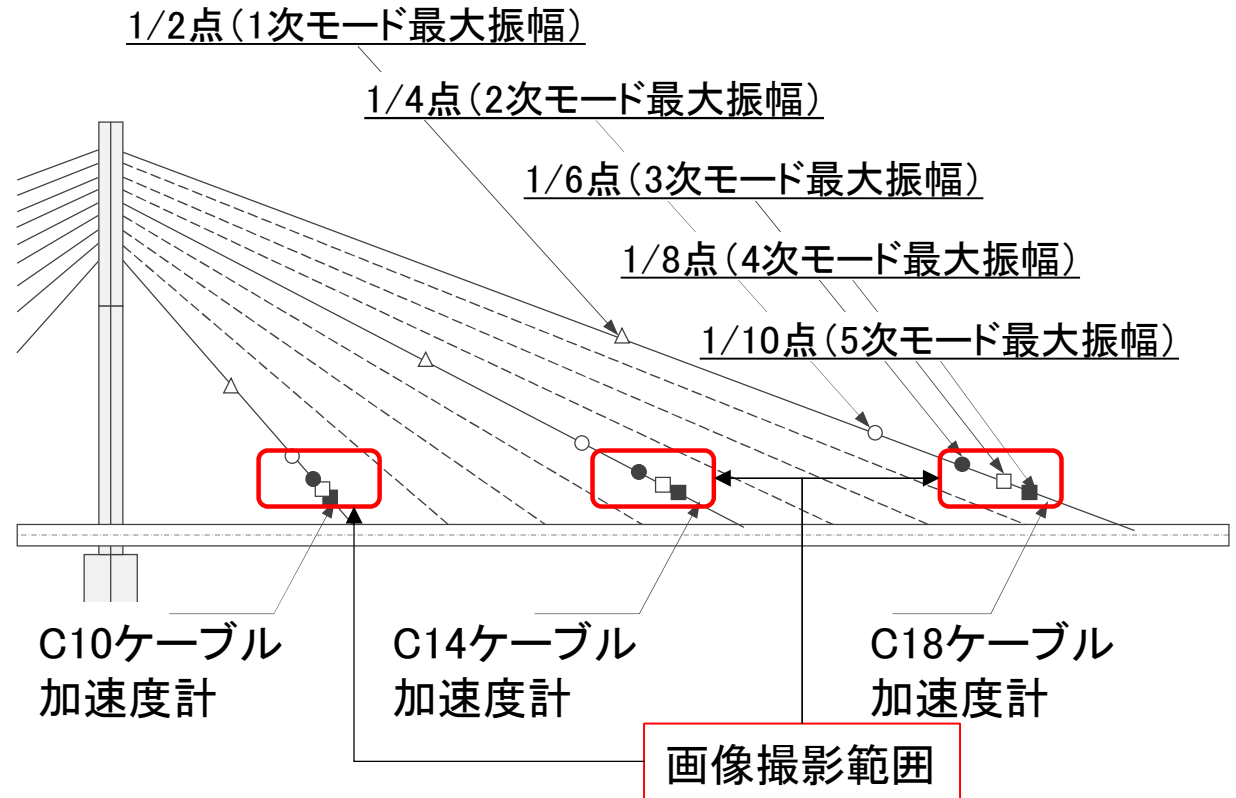
実橋梁における技術検証



計測位置



ケーブルの基本振動モード形状



振動モード最大変位位置と加速度計位置

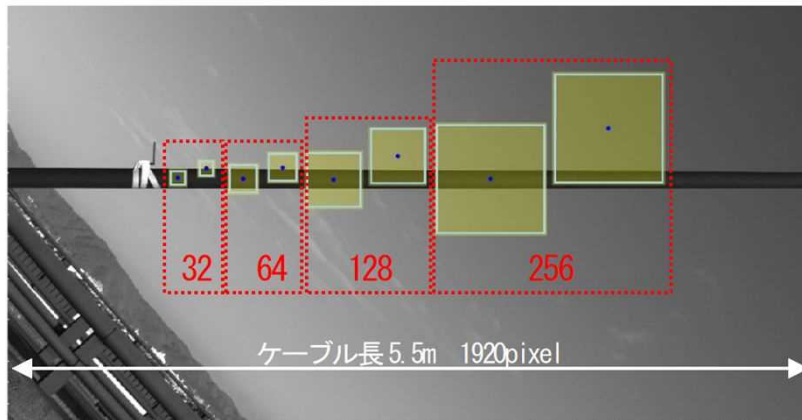


サブセットの設定や画像解像度が 画像計測の精度に及ぼす影響

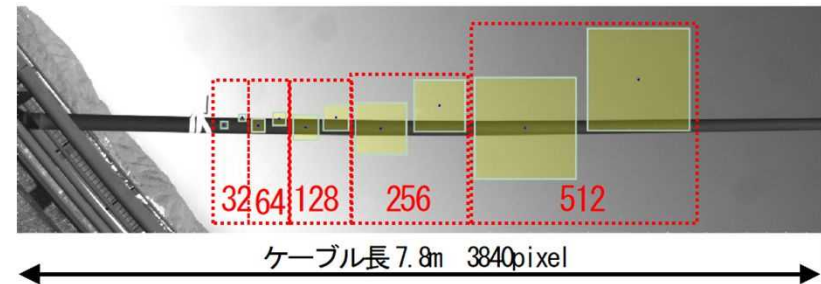


➤ 解析ケース

CASE	カメラ 種別	サンプリング 周波数 (Hz)	サブセットの 大きさ (N×N)	サブセット 位置	CASE	カメラ 種別	サンプリング 周波数 (Hz)	サブセットの 大きさ (N×N)	サブセット 位置
1	2K	40	32×32	中央	9	4K	30	32×32	中央
2				上部	10				上部
3			64×64	中央	11			64×64	中央
4				上部	12				上部
5			128×128	中央	13			128×128	中央
6				上部	14				上部
7			256×256	中央	15			256×256	中央
8				上部	16				上部
					17				中央
					18				上部



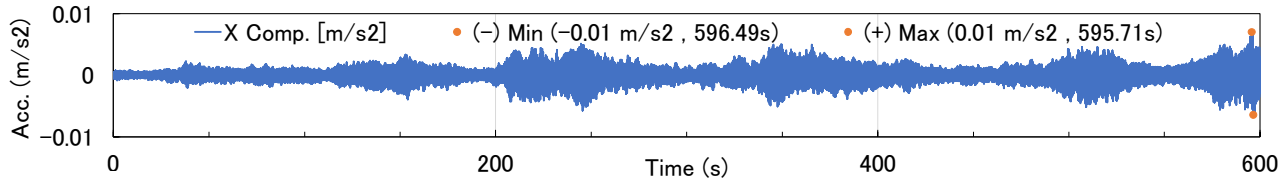
2K画像におけるサブセット



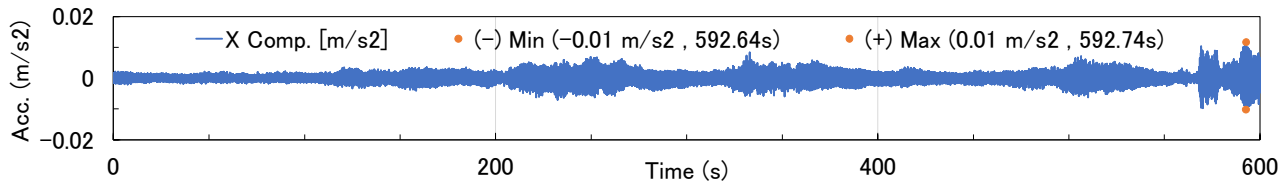
4K画像におけるサブセット

加速度波形と理論振動数

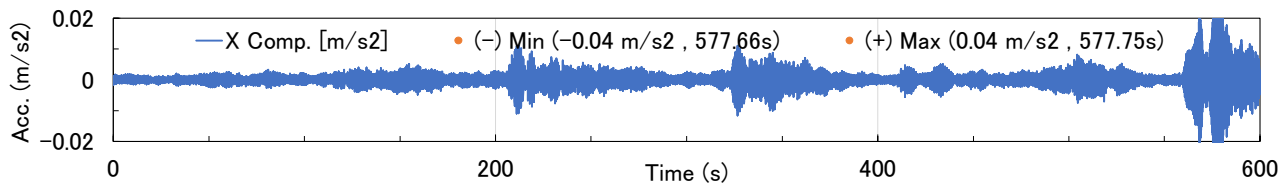
(1)ケーブル10



(2)ケーブル14



(3)ケーブル18



加速度計による計測結果(加速度の時刻歴波形)

$$f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{Tg}{w} \left(1 + \frac{n^2 \pi^2 EI}{L^2 T} \right)}$$

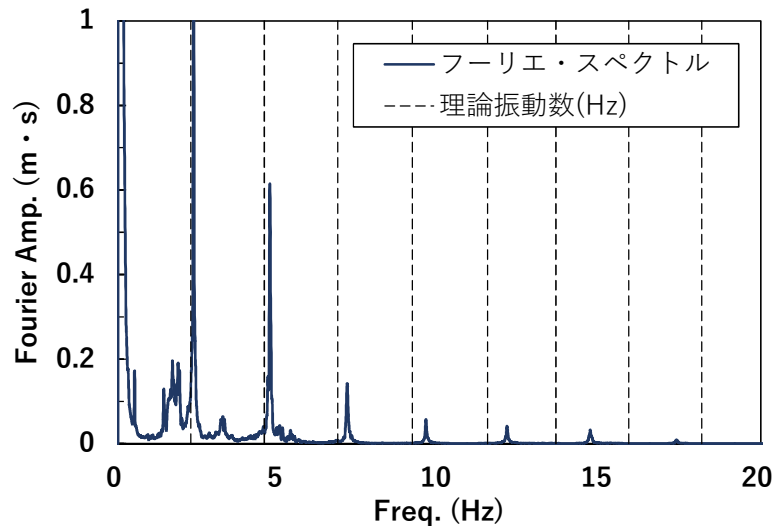
ケーブル理論振動数

	ケーブル番号	振動次数					
		n	1	2	3	4	5
ケーブル理論 振動数 (Hz)	C10	(Hz)	2.27	4.55	6.84	9.16	11.50
	C14	(Hz)	1.27	2.53	3.80	5.06	6.33
	C18	(Hz)	0.87	1.74	2.61	3.48	4.36

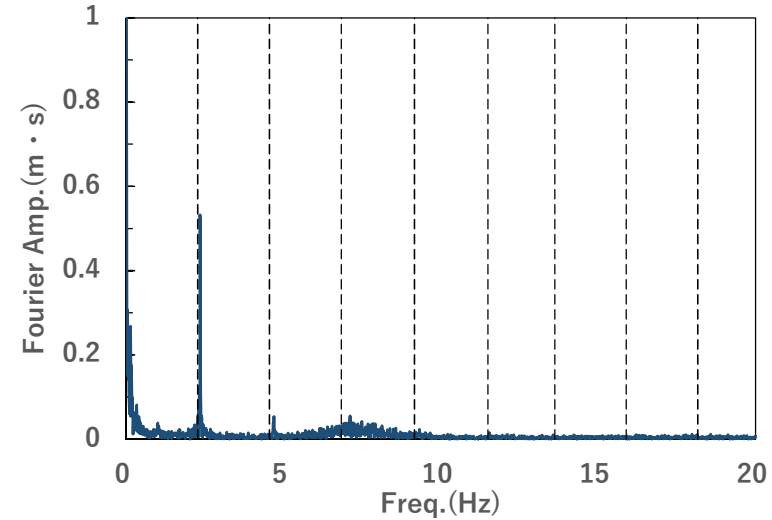
加速度計測結果との比較

- ・1次モードにおける加速度計と画像計測の差は0.5%以内
- ・画像計測では2次まで計測可能※ → 変位応答は高振動数領域は振幅が小さい

※良好条件では高次計測も可能



(a)加速度計測



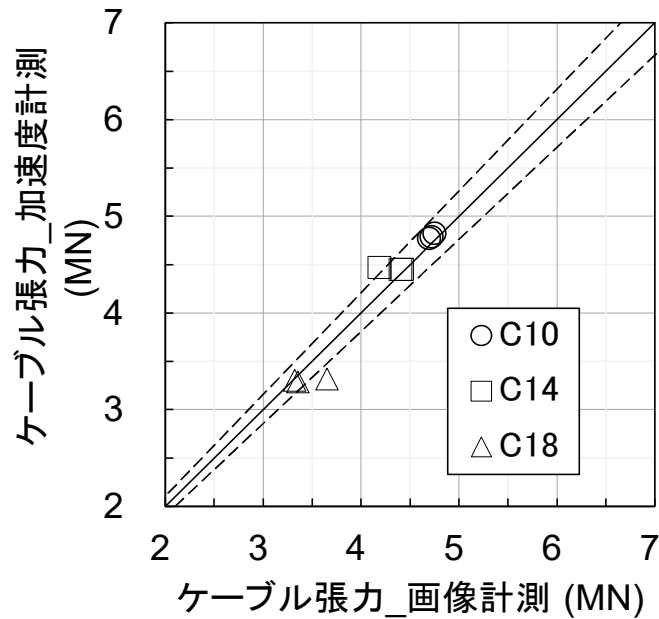
(b)画像計測

加速度波形と画像計測の比較(変位のフーリエスペクトル,ケーブル10)

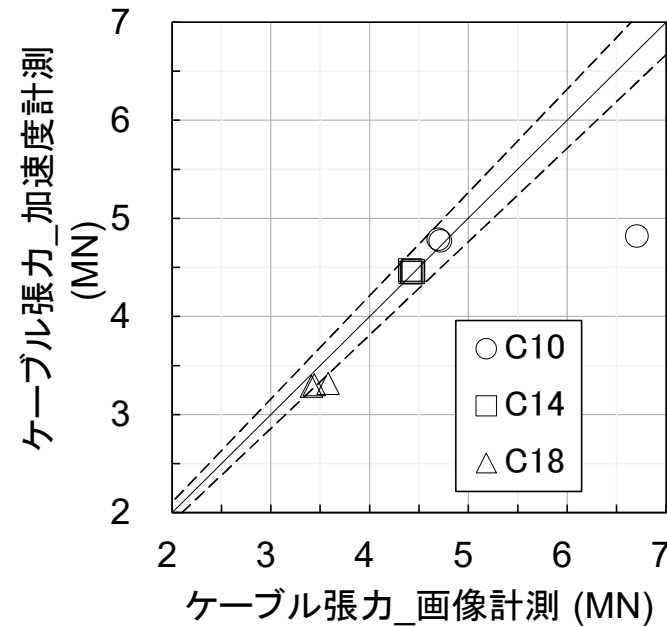
解像度の違いによる画像計測の精度の比較

➤ 2K画像計測と4K画像計測の比較

- ・ 2K, 4K画像計測のいずれの場合も, 加速度計測と同等の「張力計測」が可能



(a) 2K画像計測



(b) 4K画像計測



斜張橋ケーブル振動の可視化

