技術番号	BR030033

技術名	無線加速度センサーによる斜張橋の斜材張力モニタリング	開発者名	沖電気工業株式会社

試験日	令和3年　4　月　9　日	天候	晴れ	気温	15.0　℃	風速	3.2　m/s
試験場所	実橋						

カタログ分類	計測・モニタリング技術　カタログ	検出項目	張力	試験区分	標準試験

試験で確認するカタログ項目	計測精度

対象構造物の概要

橋梁形式：3径間連続斜張橋（箱桁橋）

橋長：261m、支間長：150.3＋75.0＋34.4m

全体一般図

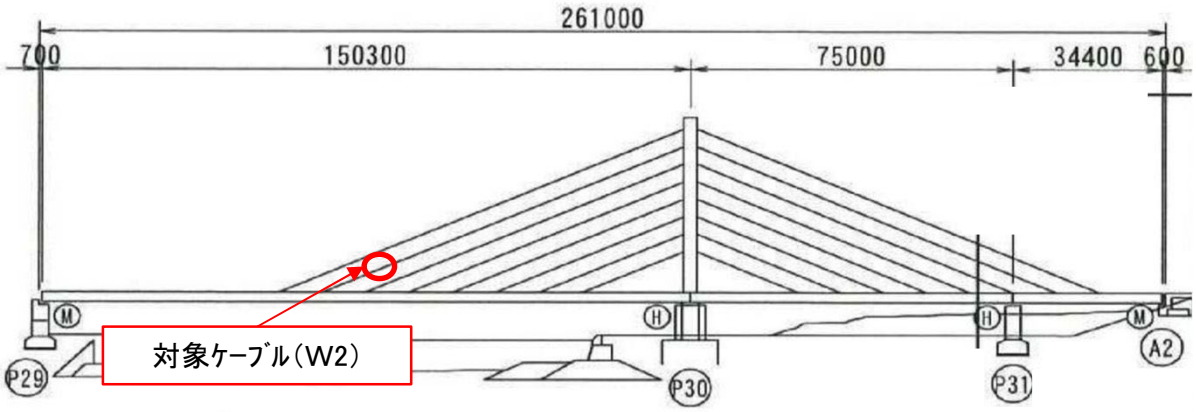
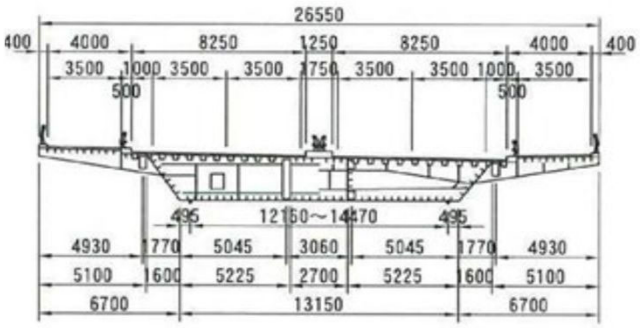




写真-1　全体写真

断面図



対象径間：第1径間　　計測対象部材：斜材ｹｰﾌﾞﾙ（W2）

試験方法（手順）	技術番号	BR030033

①	計測機器の搬入（結束バンド、無線加速度センサーユニット、ゲートウェイ）（写真-2）
②	計測器取付作業（写真-3）
③	計測器取付状況（写真-4）
④	計測状況：4回計測（写真-5）
⑤	後日、計測した加速度等をﾚﾌｧﾚﾝｽ用加速度計のﾃﾞｰﾀと比較する。

開発者による計測機器の設置状況

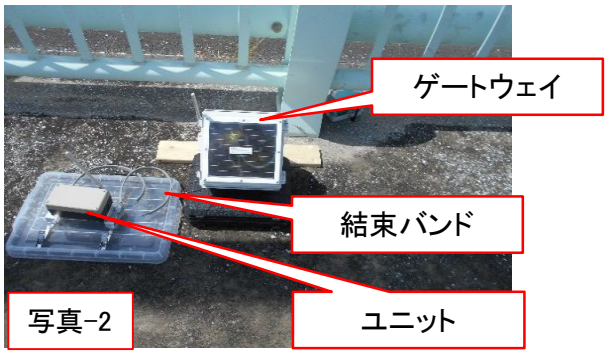


写真-2


写真-3



写真-4


写真-5

比較対象を得るため、立会者による計測機器の設置状況

レファレンス用加速度計:EPSON M-A351AU



※同一の斜材ｹｰﾌﾞﾙ（W2）に計測器近くにﾚﾌｧﾚﾝｽ用加速度計を設置し、加速度を計測する。

比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況	技術番号	BR030033

※ﾚﾌｧﾚﾝｽ用加速度計の測定

(1)固有振動数

・FFT(高速フーリエ変換)による固有振動数の算出

＜算出条件＞

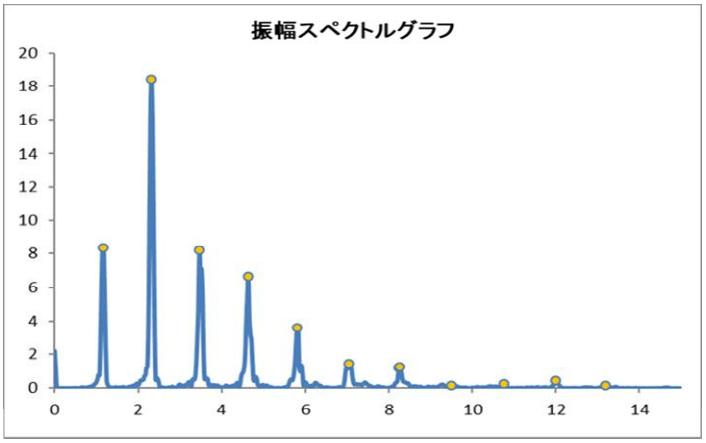
①出力点数:2048(11次)

②窓関数:ハニング

③データ点数:30001

④サンプリング時間:0.01秒

上記算出条件のもと、振幅スペクトルグラフから確認できる突出値を各次数の固有振動数として整理する。なお、グラフより突出値が読み取り困難な場合は固有振動数とモード次数の関係式から除外する。



(2)張力の算出

係数A　係数B

$$f_i^2 = \frac{\pi^2 EI}{4\rho AL^4} i^4 + \frac{T}{4\rho AL^2} i^2$$

f_i :	固有振動数 (Hz)	i :	次数
T :	張力 (N)	EI :	曲げ剛性 (N・m²)
L :	ケーブル長 (m)	ρA :	単位長さあたり質量 (kg/m)

斜張橋の斜材ケーブルの低次から高次までの固有振動数fiと次数iの関係式であり，計測データから得られた固有振動数を用いて，最小二乗法によって2つの係数(A，B)を同定できる。係数Bに含まれるケーブル長L，及び，単位長さあたりの質量ρAは設計値があるため，係数Bから張力Tを算出する。

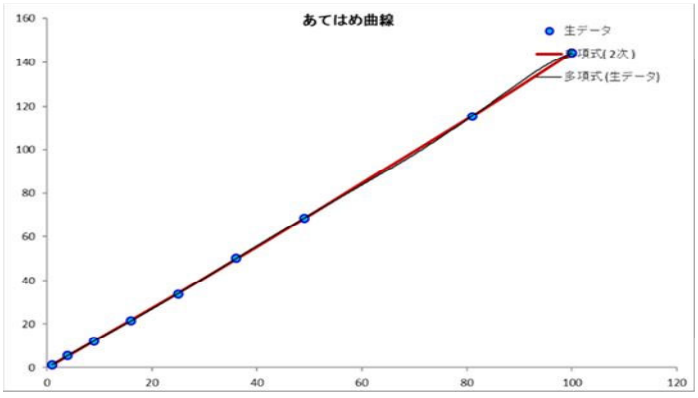
＜算出条件＞

①算出方法:最小二乗法による回帰曲線

②回帰モデル:多項式

③次数:2次

④基底関数の個数:10



計測結果の比較	技術番号	BR030033

※計測結果

(1)固有振動数

1～4回目の各5分間データより得られた1~10次の固有振動数を下表に示す。

単位：Hz

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1回目	1.16950	2.31592	3.49312	4.67031	5.84751	7.04779	8.27115	9.52529	10.77940	12.04890
2回目	1.16184	2.31598	3.48551	4.65504	5.81687	6.98640	8.24826	9.51013	10.76430	－
3回目	1.16186	2.31602	3.47788	4.64743	5.84007	7.01731	8.24073	－	10.72600	12.00330
4回目	－	2.32365	3.48548	4.65500	－	7.04790	8.27128	－	10.74880	12.03380

※　－（ハイフン）は固有振動数が不検出

(2)張力

固有振動数から張力を推定する。下記の式は，斜張橋の斜材ケーブルの低次から高次までの固有振動数fiと次数iの関係式であり，計測データから得られた固有振動数を用いて，最小二乗法によって2つの係数（A，B）を同定できる。係数Bに含まれるケーブル長L，及び，単位長さあたりの質量ρAは設計値があるため，係数Bから張力Tを算出する。

係数A　係数B

$$f_i^2 = \frac{\pi^2 EI}{4\rho AL^4} i^4 + \frac{T}{4\rho AL^2} i^2$$

f_i：固有振動数（Hz）　　i：次数

T：張力（N）　　EI：曲げ剛性（N・m²）

L：ケーブル長（m）　　ρA：単位長さあたり質量（kg/m）

1～10次の固有振動数(Hz)を用いた。

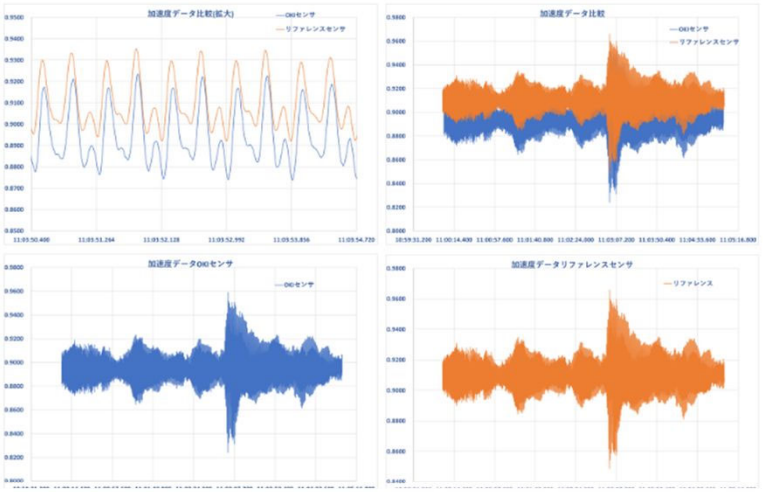
ρA:単位長さあたり重量は、135.8kg/m　を用いた

L:ケーブル長は、93.582m　を用いた(固定間距離)

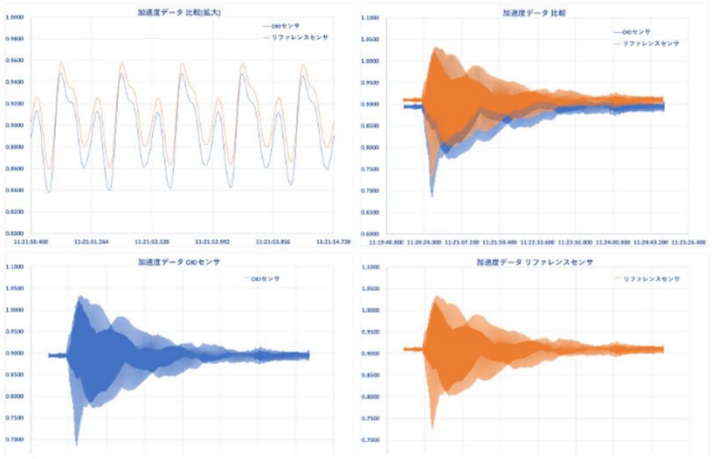
時刻	張力(単位：t)
2021/4/9 11:00	652.8477
2021/4/9 11:20	640.0966
2021/4/9 11:40	646.8137
2021/4/9 12:00	651.4777

(3)加速度ﾃﾞｰﾀの比較

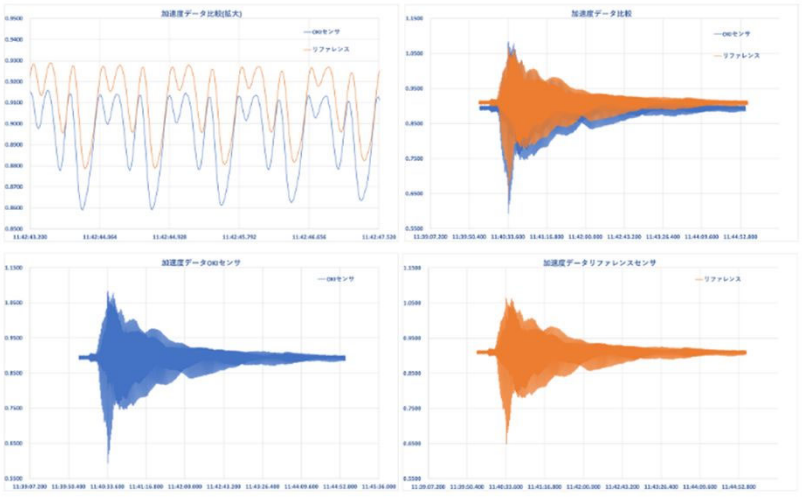
F2　加速度データ　リファレンスとの比較　1回目11:00



F2　加速度データ　リファレンスとの比較　2回目11:20



F2　加速度データ　リファレンスとの比較　3回目11:40



(4)張力の比較

	1回目	2回目	3回目	4回目
係数 A	0.03032	-0.18673	0.263358	-0.18673
係数 B	1.341127	1.354572	1.310398	1.354572
$T(t)_{REF}$	651.0107	657.5371	636.0943	657.5371
$T(t)_{OKI}$	652.8477	640.0966	646.8137	651.4777
差異(%)	0.2814	-2.7247	1.6573	-0.9301

※考察

レファレンス用加速度計からの張力と支援技術による張力の誤差は−2.7%～1.7%であった。

技術番号	BR030033

技術名	無線加速度センサーによる斜張橋の斜材張力モニタリング	開発者名	沖電気工業株式会社

試験日	令和3年　4　月　9　日	天候	晴れ	気温	15.0　℃	風速	3.2　m/s
試験場所	実橋						

カタログ分類	計測・モニタリング技術　カタログ	検出項目	張力	試験区分	現場試験

試験で確認するカタログ項目	動作確認（精度以外）

対象構造物の概要

橋梁形式：3径間連続斜張橋（箱桁橋）

橋長：261m、支間長：150.3＋75.0＋34.4m

全体一般図

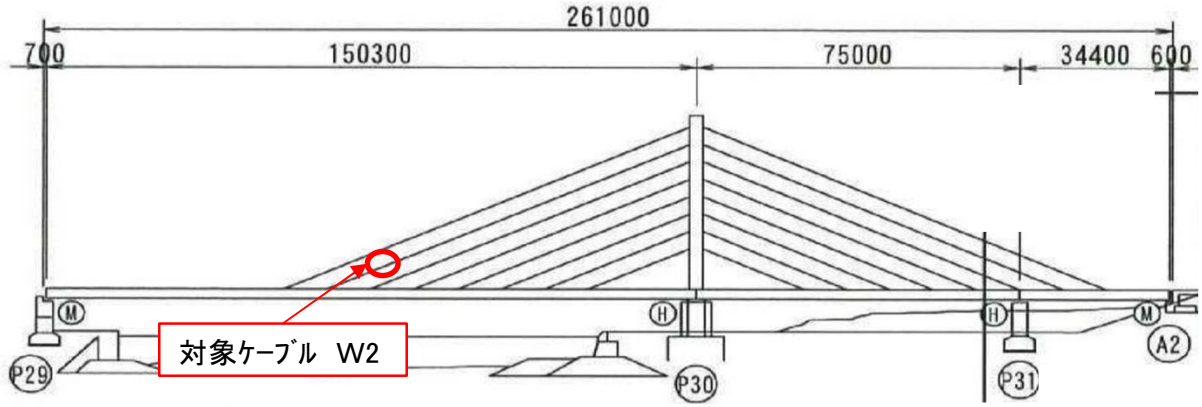
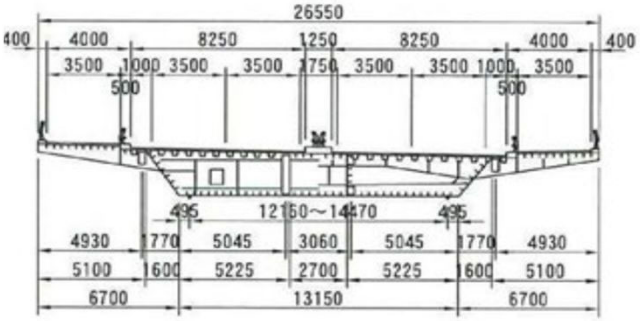




写真-1　全体写真

断面図



対象径間：第1径間　　計測対象部材：斜材ｹｰﾌﾞﾙW2

試験方法（手順）	技術番号	BR030033

①	計測機器の搬入（結束バンド、無線加速度センサーユニット、ゲートウェイ）（写真-2）
②	計測器取付作業（写真-3）
③	計測器取付状況（写真-4）
④	計測状況（写真-5）
⑤	後日、計測した加速度から張力を算出する。

開発者による計測機器の設置状況

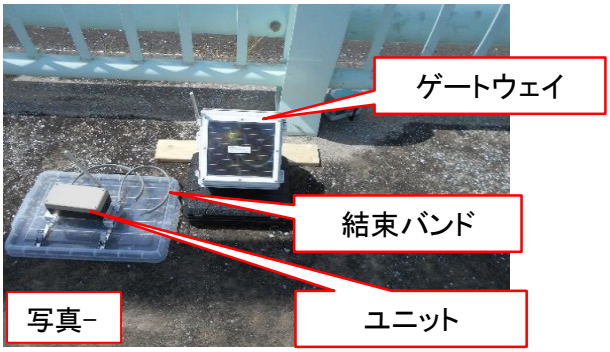


写真-

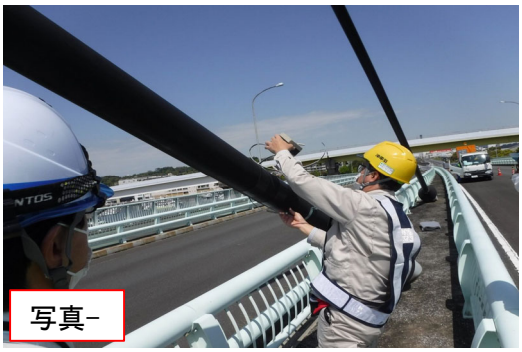

写真-


写真-


写真-

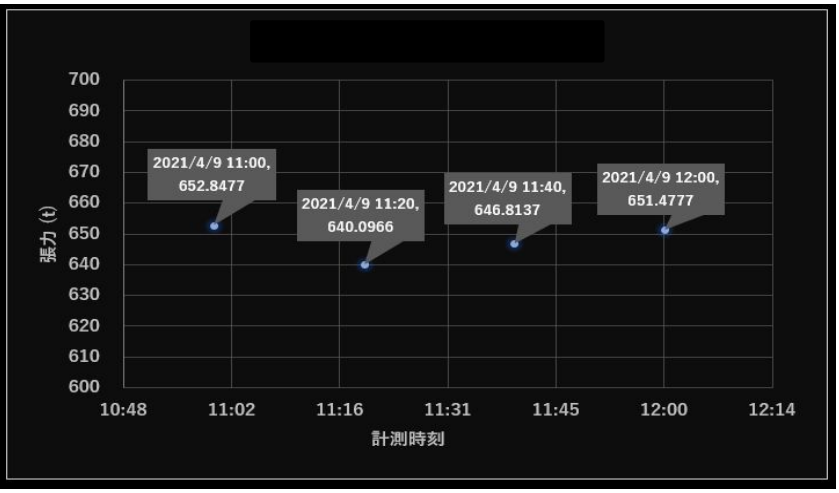
計測結果の比較	技術番号	BR030033

※計測結果

・斜材ｹｰﾌﾞﾙ(W2)の張力を算出

時刻	張力(単位：t)
2021/4/9 11:00	652.8477
2021/4/9 11:20	640.0966
2021/4/9 11:40	646.8137
2021/4/9 12:00	651.4777

※ 1(t) = 1,000(kg) = 9,800(N) で算出



固有振動数から張力を推定する。下記の式は，斜張橋の斜材ケーブルの低次から高次までの固有振動数fiと次数iの関係式であり，計測データから得られた固有振動数を用いて，最小二乗法によって2つの係数（A，B）を同定できる。係数Bに含まれるケーブル長L，及び，単位長さあたりの質量ρAは設計値があるため，係数Bから張力Tを算出する。

係数A　係数B

$$f_i^2 = \frac{\pi^2 EI}{4\rho AL^4} i^4 + \frac{T}{4\rho AL^2} i^2$$

f_i：固有振動数（Hz）　　i：次数

T：張力（N）　　EI：曲げ剛性（N・m²）

L：ケーブル長（m）　　ρA：単位長さあたり質量（kg/m）

1～10次の固有振動数(Hz)を用いた。

ρA:単位長さあたり重量は、135.8kg/m を用いた

L:ケーブル長は、93.582m を用いた(固定間距離)