

斜張橋ケーブルの張力評価
鋼中路式アーチ橋の剛性評価

気仙沼地域の重要橋梁を守る！！

高性能レーザードップラー振動計の活用

- ・気仙沼湾横断橋のケーブル張力診断
- ・気仙沼大島大橋の剛性評価



宮城県気仙沼市は、東日本大震災で津波と火災の被害に見舞われた地域です。震災後、気仙沼本土と大島とを結ぶ気仙沼大島大橋（写真右中央；鋼中路アーチ橋）や復興道路である気仙沼湾横断橋（写真中央；斜張橋）を架設し、地域の重要路線を確立しています。上晴では、高性能レーザードップラー振動計を使用し、気仙沼湾横断橋のケーブル張力管理及び気仙熊大島大橋の橋梁全体剛性評価の一役を担っています。

気仙沼湾横断橋と気仙沼大島大橋の位置づけ

気仙沼市は、宮城県の北東端に位置し、東は太平洋に面し、西は岩手県一関市、南は宮城県南三陸町、北は岩手県陸前高田市に接しています。その中で、気仙沼湾横断橋は、三陸縦貫自動車道における気仙沼湾を南北に横断する3径間連続鋼斜張橋として2021年3月に開通されました。また気仙沼大島大橋は、東日本大震災で一時孤立した大島と気仙沼本土を結ぶ「命の橋」として2019年4月に開通しました。当該橋が架かる大島瀬戸は水深が深いため、杭・橋脚を設けない鋼中路アーチ橋という建設コスト削減を図ると同時に津波の影響を受け難い橋梁形式が採用されています。



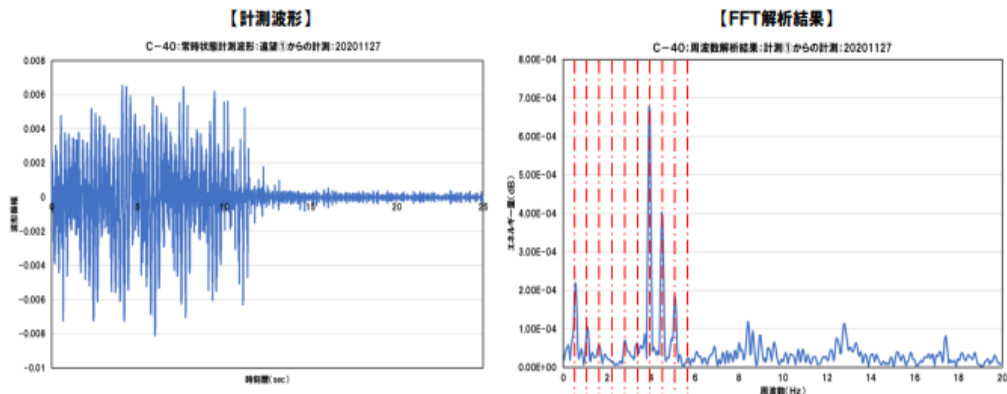
気仙沼湾横断橋



気仙沼大島大橋

高性能レーザードップラー振動計を用いた気仙沼湾横断橋のケーブル張力診断

※計測①:計測平面距離:533m



※計測②:計測平面距離:257m

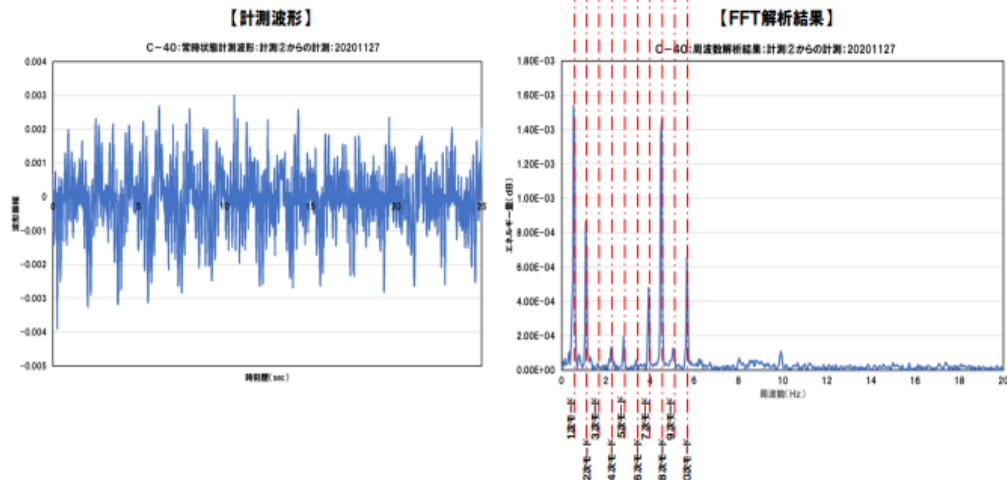


表-1 計測波形のFFT解析結果

計測箇所	FFT解析結果(各モード値:Hz)									
	1次	2次	3次	4次	5次	6次	7次	8次	9次	10次
計測①	0.547	1.094	1.641	---	2.813	3.320	3.906	4.492	5.078	---
計測②	0.547	1.094	---	2.266	2.813	3.359	3.945	4.531	5.078	5.664



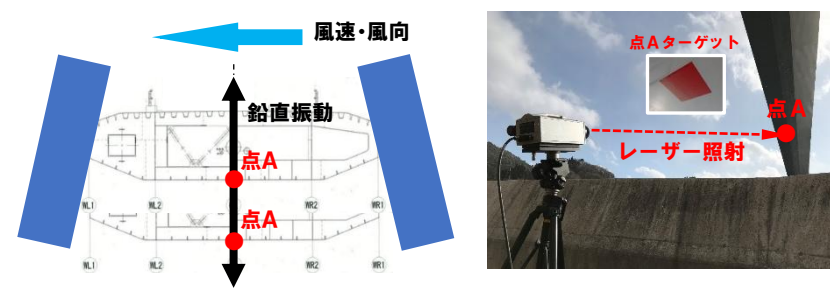
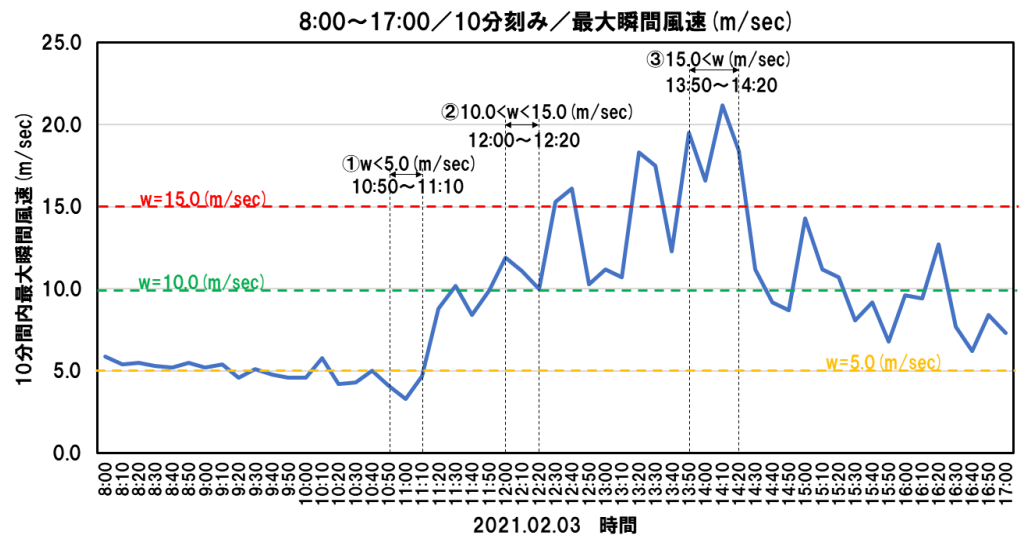
当該橋は自動車専用道路に位置することから、従来の加速度計による振動計測を実施する場合、交通規制を伴います。上晴では、交通規制を解消するため、高性能レーザードップラー振動計を用いて距離の離れた位置から振動計測を実施することを提案・実施しました。上写真に示すように、計測対象ケーブルとしてC-40を選定し、2箇所の計測ポイント（計測①及び計測②）からレーザー光をケーブルに照射することでケーブル振動を計測・FFT解析によるケーブル周波数を把握しています。計測距離が500m以上離れていても瞬時に周波数を把握します。得られた周波数からケーブル張力を把握することが可能となります。

《高性能レーザードップラー振動計を用いた気仙沼大島大橋の固有周波数(剛性)評価》

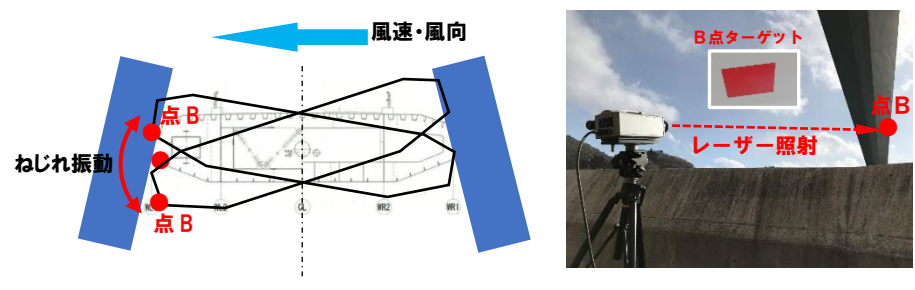
(1) 強風時の固有周波数評価

当該橋が架かる大島瀬戸地区は風の抜け道となっているため、風速 20m/s 以上を記録することもあり耐風設計を考慮した橋梁デザインとなっている。そこで上晴では、高性能レーザードップラー振動計を用いて風速毎に対する常時振動計測から当該橋の固有周期を把握し、剛性を評価しています。右図に示すように①風速 $w < 5.0(\text{m/s})$ ② $10.0(\text{m/s}) < w < 15.0(\text{m/s})$ ③ $15.0(\text{m/s}) < w$ の 3 条件対して振動計測を実施し、固有周波数を評価しました。

風による振動としては、補剛桁の鉛直振動とねじれ振動がメインと考えられます。

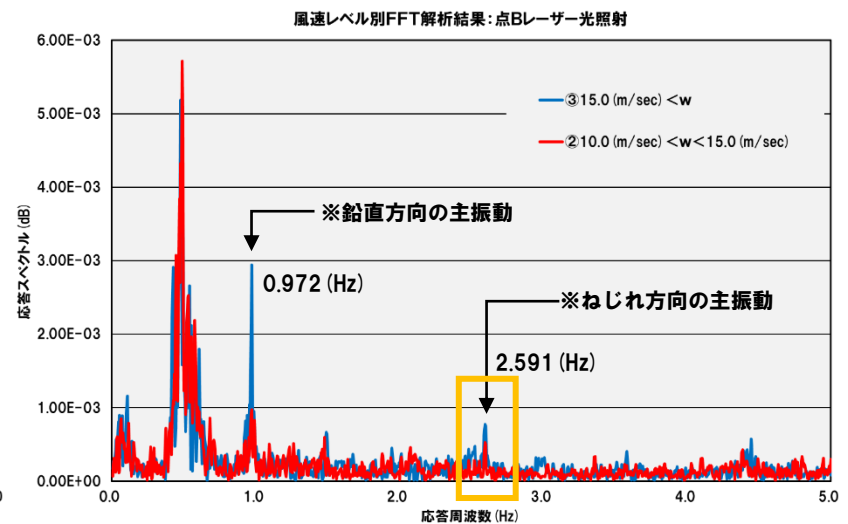
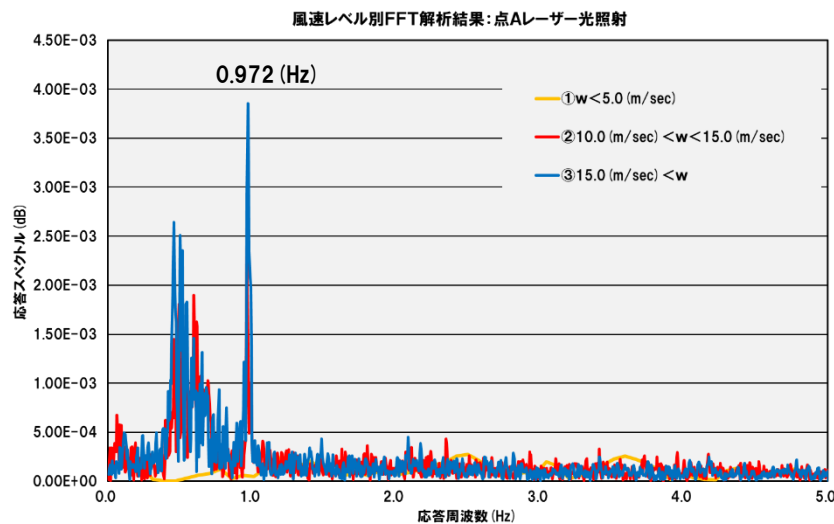


(a) 風による鉛直振動



(b) 風によるねじれ振動

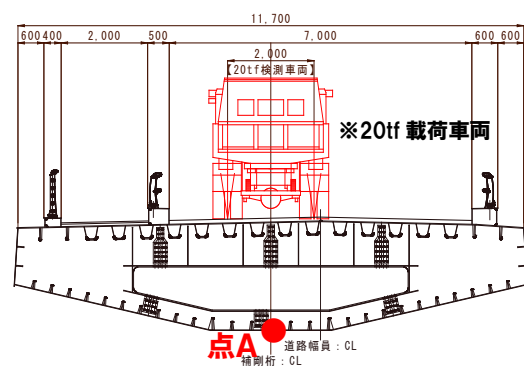
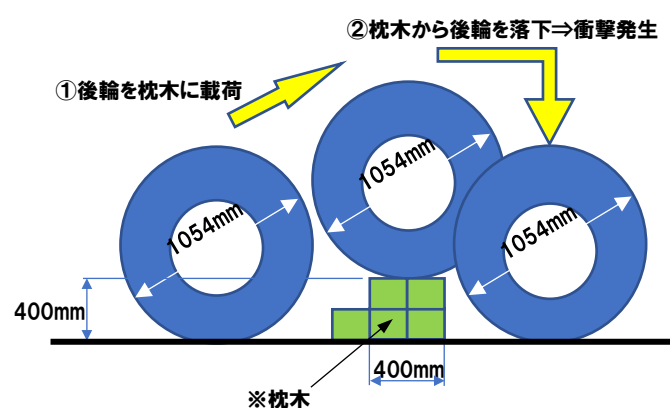
予め補剛桁支間中央下面の 2 箇所（点 A 及び B）にターゲットを設置し、レーザー光を照査して風に対する常時振動計測を実施し橋梁の固有周波数を評価した結果が以下の通りです。



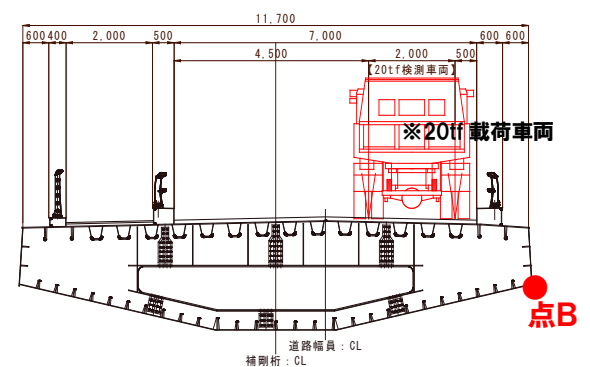
3 条件の風速別の常時振動に対する FFT 解析結果から、当該橋の固有周波数は $\omega = 0.972(\text{Hz})$ であることが確認できました。② $10.0(\text{m/s}) < w < 15.0(\text{m/s})$ 及び③ $15.0(\text{m/s}) < w$ の条件下では明確に固有周波数を特定することが確認できる反面、① $w < 5.0(\text{m/sec})$ では、橋梁の固有周波数を把握することは難しい状況にあることも確認できます。また点 B における 3 条件の風速別の常時振動に対する FFT 解析結果を示したものが上右図ですが、固有周波数は $\omega = 0.972(\text{Hz})$ は『鉛直方向振動の成分』であり、『ねじれ（回転）方向』の振動成分として 2.591 で囲った固有周波数： $\omega = 2.591(\text{Hz})$ が確認されています。このように高性能レーザードップラー振動計を用いることで、風速 10.0(m/s)以上の環境条件下では、鉛直及びねじれ振動に対する固有周波数を確認することが可能と判断できます。

(2) 衝撃振動試験による橋梁固有周波数評価

当該橋補剛桁は鋼ボックス桁であり、剛性が非常に高い構造です。従って通常の動載荷試験では十分な振動を得ることが困難な場合も考えられたため、下左図に示すように枕木による段差を強制的に作り、その段差から 20tf 検測車を落下させることで強制的に振動を発生させ、橋梁固有周波数を評価することを実施しました。



鉛直振動試験概要



ねじれ(回転)振動試験概要



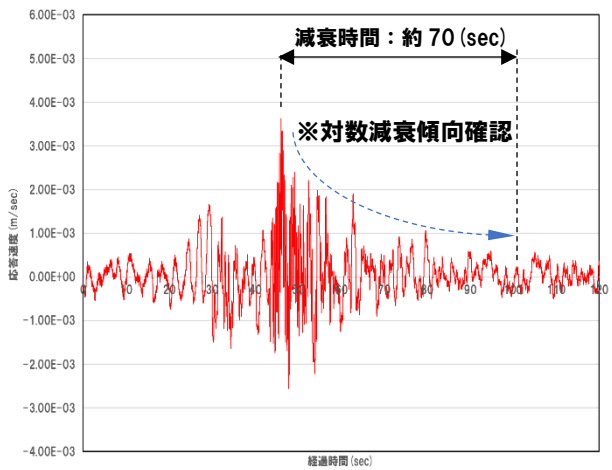
使用した試験車両（総重量：21.020tf）



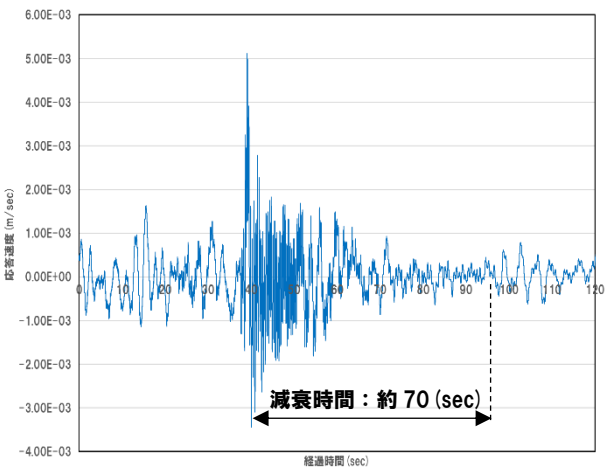
衝撃試験の実施方法

衝撃試験は、試験車両を支間中央位置まで移動させ、枕木を後輪2軸間にセットします。次にゆっくり第1枕木・第2枕木に順に移動し試験車両を安定させ、その後、ゆっくり前進させ、枕木から後輪を落下させ衝撃を橋梁に与えます。後輪を落下後、振動波形がゼロになるまで橋面上に一般車両を進入させず、これを橋面中央及び車道端部の位置にて各々3回実施しました。

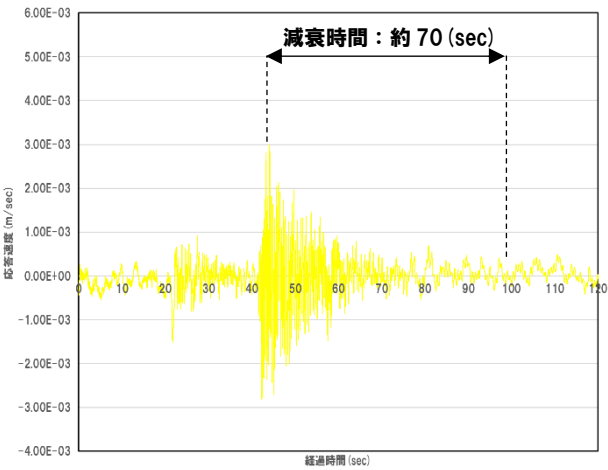
下図は各載荷位置における鉛直方向衝撃試験によって計測された振動波形です。3波形とも綺麗な対数減衰傾向が確認でき、約70～80(sec)で減衰が“ゼロ”になっていることが確認できます。



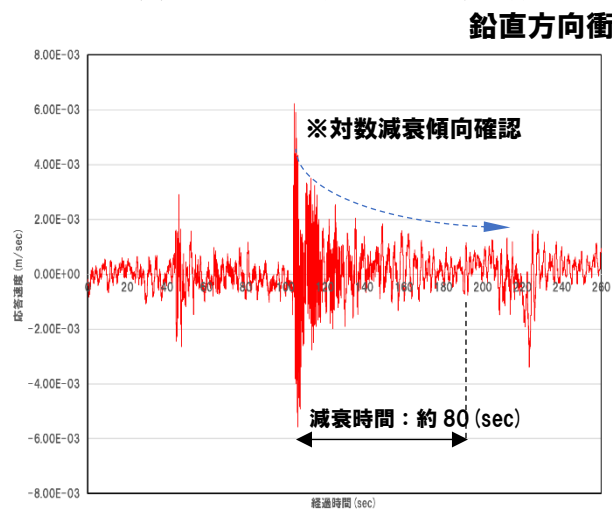
(a) 1回目鉛直方向衝撃振動波形



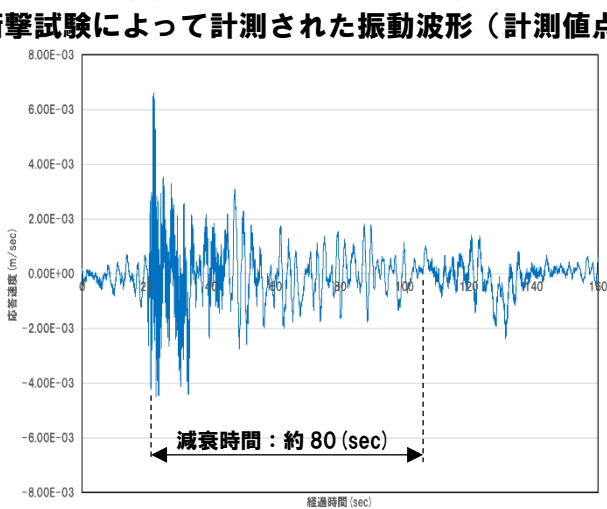
(b) 2回目鉛直方向衝撃振動波形



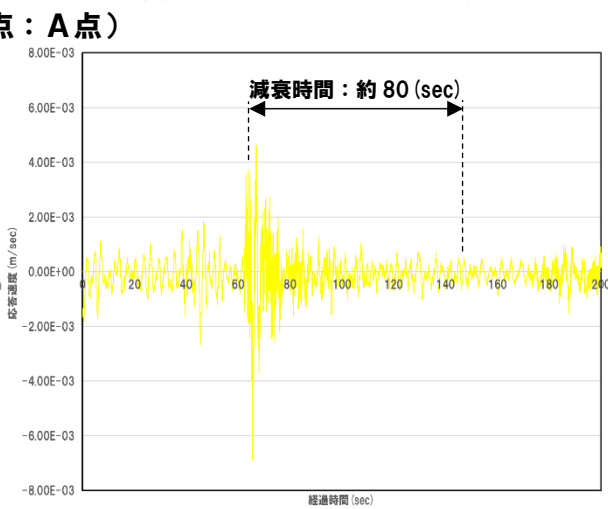
(c) 3回目鉛直方向衝撃振動波形



(a) 1回目ねじれ方向衝撃振動波形



(b) 2回目ねじれ方向衝撃振動波形



(c) 3回目ねじれ方向衝撃振動波形

鉛直方向衝撃試験によって計測された振動波形（計測値点：A点）

ねじれ（回転）方向衝撃試験によって計測された振動波形（計測値点：B点）

これら3波形をFFT解析した結果が右図です。上図が点A、下図が点Bにレーザー光を照射したものです。3計測波形とも、応答エネルギーが大きい成分として点Aでは『0.966(Hz)』及び『2.490(Hz)』、点Bではそれ以外に『2.591(Hz)』が確認できます。点Bで確認された『2.591(Hz)』は、ねじれ（回転）振動試験のみに確認できた成分であるため、これがねじれ（回転）振動に対する当該橋の固有周波数と判断できます。

これらの結果は、先に実施した風による常時振動計測結果によって得られた鉛直方向及び回転（ねじれ）方向の固有周波数と合致する傾向が確認できます。すなわち高性能レーザードップラー振動計を用いることで、衝撃振動試験のような特別な計測方法を用いなくとも常時の風による振動によって、十分鉛直振動による固有周波数を評価することが可能と判断できます。

