

なぎさ・ブリッジの構造特性と実橋振動実験

鈴木 拓也*・工 藤 浩**・長谷川 明***
塩 井 幸 武***

Structural Characteristics and Vibration Test of the Nagisa-bridge

Takuya SUZUKI*, Hiroshi KUDO**, Akira HASEGAWA***
and Yukitake SHIOI****

Abstract

In December 2002, A pedestrian bridge as hybrid PC cable-stayed bridge was constructed at Aomori prefecture. This bridge has two hybrid systems. The cable system was consisted as hybrid structures of suspension bridge and cable stayed bridge. The girder system was also consisted of steel girder and prestressed concrete girder. Such a structure is the first type in the world. So that vibration experiment was enforced to clear the dynamic structural characteristics of this bridge. The paper reports the outline of the experiment and the analysis on the dynamic structural characteristics.

Key words: hybrid PC cablestayed bridge PC, spectrum, suspension bridge, vibration

1. はじめに

2002年12月に青森県鯉ヶ沢町に歩道橋としてハイブリットPC斜張橋(なぎさ・ブリッジ)が架橋された。本橋は(写真1)ケーブル特性が吊橋と斜張橋のハイブリット、桁が鋼桁とPC桁のハイブリットである。吊橋部は軽量で引張力に対し有利な鋼部材を、斜張橋部は斜材により軸力が導入されるので圧縮力に対し有効なコンクリート部材をそれぞれ採用した構造となっており、このような構造は世界初の試みである。また、本橋は現在計画中の津軽海峡大橋の橋梁形式として提案している4径間連続斜張併用吊橋の小型模型に相当する。

そこで、本橋の動的な構造特性を明らかにするため動的載荷試験を実施したので、その概要を報告する。

2. 実験内容

なぎさ・ブリッジの詳細、センサー位置を図1、測定ケース及び実験車両の詳細は表1に示すとおりである。人力ではジャンプ(写真2)、車両では(写真3)10cmのスロープからの前輪を落とし加振した。対象とした測定は、鉛直、水平、ねじれ、及び歩行による影響とした。

3. 実験結果

数パターンある実験結果の中から、測定ケースNo3の鉛直加振と、No6の車両による水平加振で得られた原波形を図2,3に示す。測定は図に示すように、加振後100~120秒間行った。

平成16年12月17日受理

* 大学院工学研究科土木工学専攻博士前期課程・2年

** 大学院工学研究科土木工学専攻博士後期課程・2年、長大国際事業部

*** 大学院土木工学専攻・教授



写真1 なぎさ・ブリッジ

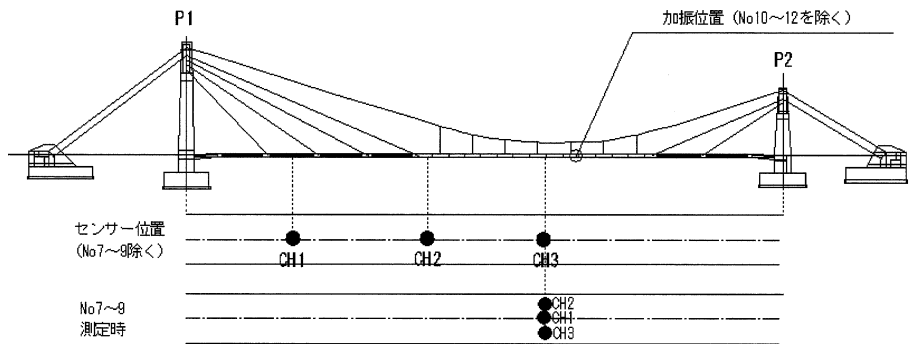


図1 センサー位置

表1 測定条件、車両詳細

No	mode	load	No	mode	load	総重量	16268	N
1	Vertical	1人	7	Torsion	1人	軸重(前)	9604	
2		6人	8		車両	軸重(後)	6664	
3		車両	9		7人	長さ	4.58	m
4	Horizontal	1人	10	Vertical (Walk)	1人	車幅	1.77	
5		6人	11		11人合歩	高さ	1.69	
6		車両	12		11人乱歩	固有振動数	1.35	Hz



写真2 人による加振



写真3 車両による加振

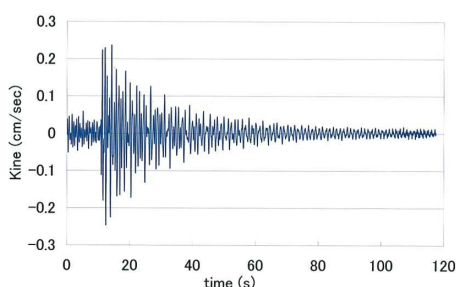


図2 鉛直車両加振

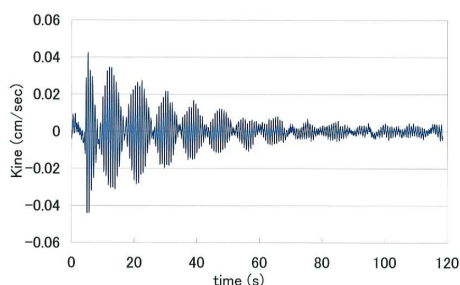


図3 水平車両加振

図3からわかるように、水平加振の場合、測定ケース No 3 から No 6 全てにおいてうねりが生じていた。このことから、水平においては互いに非常に近い振動数による振動が発生していると考ええる。

4. 振動恕限度による評価

なぎさ・ブリッジは歩道橋であることから、歩道橋としての評価を行う。評価の方法は、過去の歩道橋を用いた振動試験、使用性の評価などを行った論文を参考に、ここでは速度計からの実験値（速度）をダイレクトに用いて評価を行うことの出来る「振動恕限度」^{1,2)} を評価方法として選定した。

まず、歩行時（No 10～No 12）と鉛直（No 1～No 3）の原波形より最大値（ V_{max} ）を求め、振動速度の実効値（ V_e ）を(1)式から計算した。

$$V_e = V_{max} / \sqrt{2} \dots\dots\dots (1)$$

計算した V_e を表2を用いて、人への不快感が

表2 振動恕限度

実効値 V_e (cm/sec)

少し感じる	0.42～0.85
はっきり感じる	0.85～1.70
不快である	1.7 以上

表3 歩行時の実効値

歩行	V_{max}	V_e	不快感
	(cm/sec)	(cm/sec)	
1 人	0.526	0.372	感じない
11 人 合歩	1.745	1.234	はっきり感じる
11 人 乱歩	0.566	0.400	感じない

表4 鉛直加振時の実効値

鉛直	V_{max}	V_e	不快感
	(cm/sec)	(cm/sec)	
1 人	0.668	0.472	少し感じる
6 人	1.903	1.345	はっきり感じる
車両	0.526	0.372	感じない

どの程度であるか判断した。表3の歩行時について、11人でリズムを合わせた歩行の場合のみ不快感をはっきり感じる結果となった。表4の鉛直加振の結果も考慮すると、多人数でのジャンプなどでは不快を得るが、本橋の歩行時の振動特性は優れていることがわかった。

5. スペクトル解析

なぎさ・ブリッジの固有振動数をフーリエスペクトル解析により求めることとした。解析条件は、速度計のサンプリング間隔を0.005秒、データ数を16,384個とし、解析時間82秒で解析を行った。解析結果を表5に示し、原波形より求めたものと数値解析によって求めた振動数

の比較をした。その結果、差は小さく数値解析の妥当性は確認できた。しかし、実験ではねじれの振動数は検出できず、加振方法に問題があったと考えられる。

図4から図6は車両加振による鉛直,水平,ねじれ測定時のスペクトル図,図7は一人歩行時のスペクトルを示すと同時に各センサー位置でのスペクトル速度も表示している。図4から鉛直卓越振動数は1次モード(0.89 Hz)であり、こ

表5 解析結果の比較

モード		実験値 Hz	数値解析 Hz
Vertical	1	0.89	0.86
	2	1.37	1.33
	3	2.02	2.08
	4	2.83	2.91
	5	4.03	4.30
Horizontal	1A	1.34	1.35
	1B	1.46	1.59
Tosion	1	3.40	3.29

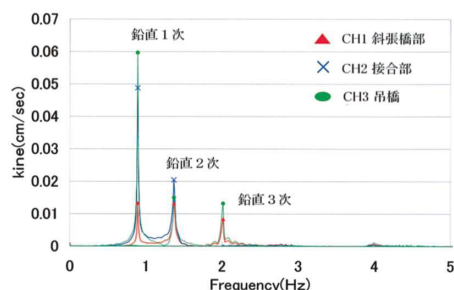


図4 鉛直振動数

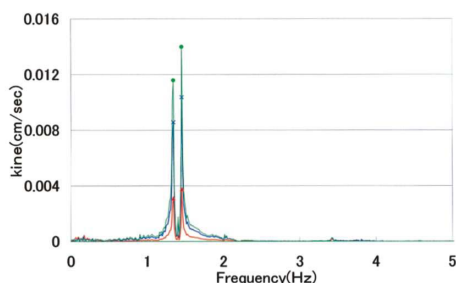


図5 水平振動数

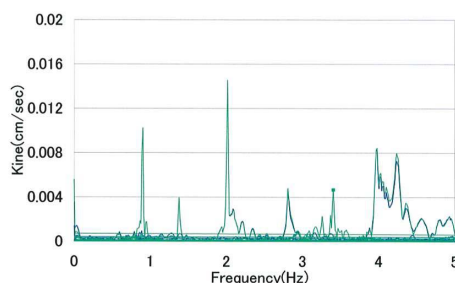


図6 ねじれ振動数

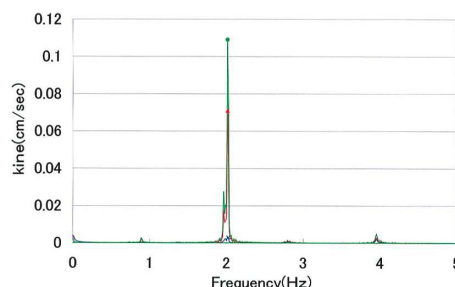


図7 鉛直振動数(歩行)

の時センサー位置での速度の違いは大きい。3次モード(2.02 Hz)においてはCH2の速度が微小であり、これは数値解析の3次モード図と比較した結果、接合部(CH2)が節になっているためと考えられる。

図5の水平振動においては、卓越振動数が非常に近い2つの値を示した。なぎさ・ブリッジの特徴である異なった主塔高さ、左右非対称な構造から非常に近い1次モードが検出され、うねりの原因にもつながったと判断した。ねじれ振動数は、ねじれ振動を起こすため様々な加振方法を行っている中で、図6に示したバタ足での加振が、ねじれ振動数3.40 Hzが明瞭な結果となった。低次の振動数を発生させないように加振したバタ足による加振方法は有効であったと考える。図7の一人歩行の鉛直成分については、3次モード(2.02 Hz)が卓越しているという結果となった。

表6 対数減衰率

	加振方法	振動数	対数減衰率
V1 次	1 人	0.89Hz	0.0285
V3 次	1 人歩行	2.02Hz	0.0286
V4 次	11 人乱歩	4.00Hz	0.0362

6. ランニングスペクトル

本橋は、歩道橋でありながら構造形式にケーブル系を用いている。ケーブル系の橋は揺れやすく歩行者に不安感を与える。そこで本橋の減衰状況をランニングスペクトルで求めることとした。ねじれ測定時を除く全 9 パターン(表 1 参照)で、解析条件は前節と同様で行った。ここでは測定開始時間が異なるため、荷重別での比較は行わず、ハイブリット橋の同荷重時のセンサー(桁材)別での比較を行うこととする。また、代表的なケースの対数減衰率を表 6 に示す。その結果、本橋の対数減衰率は 2.6%~3.6% 程度と推定される。

6.1 鉛直成分について

車両加振時(吊橋部)の結果を図 8 に示す。図

から鉛直 2 次 1.37 Hz, 3 次 2.02 Hz, 1 次 0.89 Hz の順で減衰していくことわかる。また、センサー位置ではどの振動数を見ても、スペクトル速度の最大値に対し、測定後 60 秒で、斜張部は 42% に減少、接合は 43%, 吊橋部は 43% という結果で差はなかった。

6.2 水平成分について

測定ケース No 4~No 6 の全てにおいて図 9 に示すように 1.46 Hz よりも 1.34 Hz のほうが早く減衰する結果となった。

6.3 歩行時について

No 10~No 12 全ての加振パターンで卓越振動数は 2.02 Hz (鉛直 3 次) であった。これは、歩行者のリズムが約 2 Hz であることを示している。

1 人歩行時の結果を、図 10 に斜張橋部分、図 11 に吊橋部分を示す。図から、斜張橋部分の方が早く減衰すること、発生しているスペクトル速度から斜張橋部分の剛性が優れていることがわかる。歩行人数では、11 人の方が①卓越振動数 2.02 Hz 付近で 1 人より多くの振動成分が発生していた。②鉛直 1 次 0.89 Hz, 5 次 4.00 Hz, 小さく 2 次 1.37 Hz が発生し、それぞれの

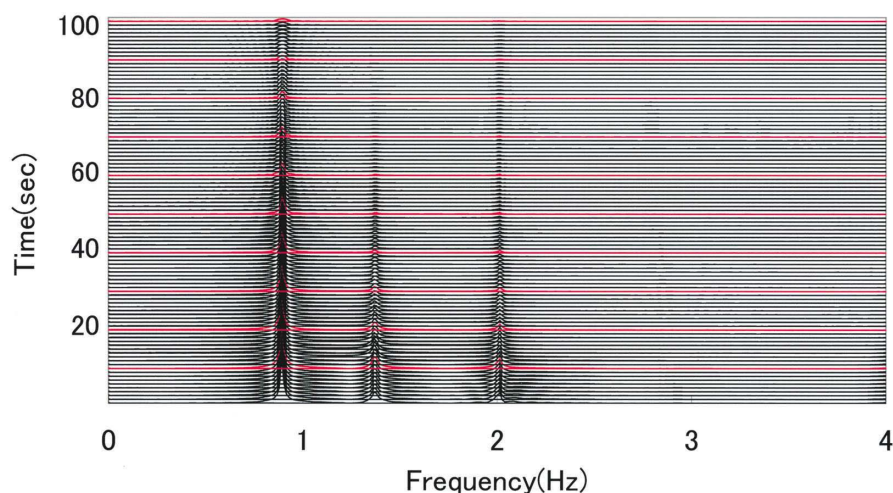


図 8 鉛直車両加振(吊橋部)

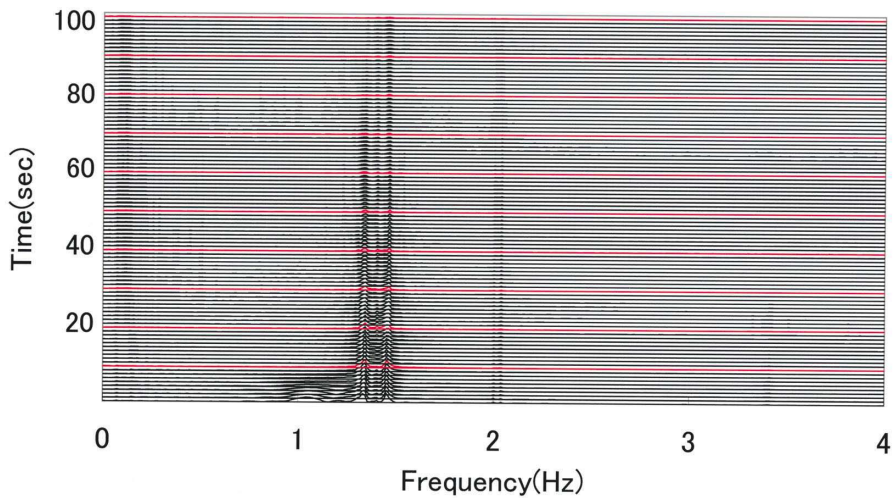


図9 水平人力加振(吊橋部)

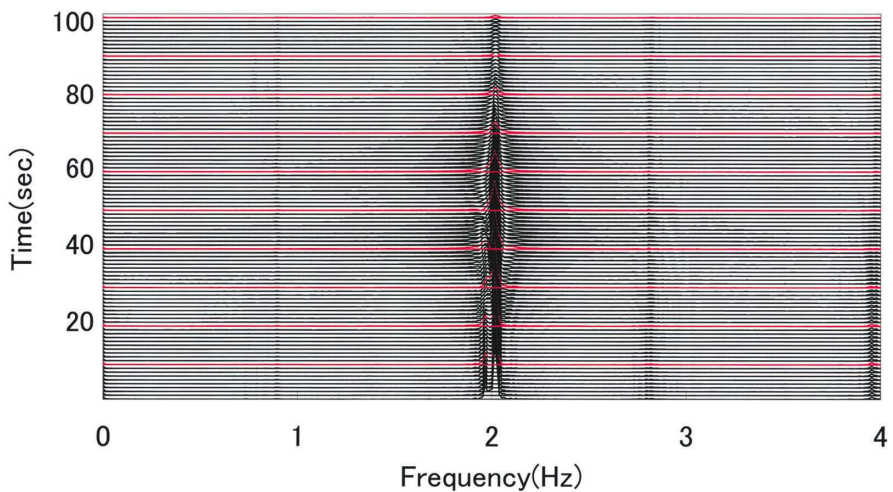


図10 一人歩行時(斜張橋部)

スペクトル速度が1人より大きい値を示した。

7. 結 論

本実験によって、ハイブリット構造の動的特性が次のように明らかとなった。

- ① なぎさ・ブリッジの鉛直成分の固有振動数は0.89 Hzであり、3次モードではJOINT部が節になっている。

- ② 左右非対称の構造上、非常に近い水平成分の振動数が発生しうなりを生じる。
- ③ 歩行による評価を過去の文献と比較調査したところ、本橋の振動は人に与える不安感が少ないことが示された。
- ④ 加振した重量によってスペクトル速度の違いはあるが、モード形状はどの加振方法でも重なり合う。
- ⑤ 本橋の対数減衰率は2.6%～3.6%で、鉛

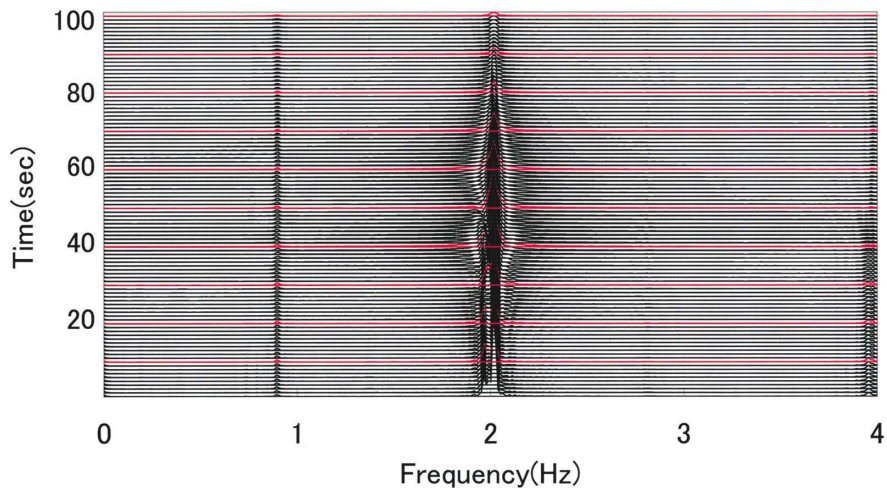


図 11 一人歩行時（吊橋部）

直振動では、吊橋部、斜張橋部ともに減衰特性に差はなかった。

今後、ハイブリット構造を長大橋技術に活かすためにも、同時に実施した張力測定をまとめるとともに、数々の実験・解析で今以上の力学的特性を明らかにする必要がある。

謝 辞

最後に、本実験では青森県西北漁業整備事務

所の協力を得た。ここに御礼申し上げます。

文 献

- 1) 小堀・梶川：振動間隔を考慮した歩道橋の設計 橋梁と基礎（1974.12）
- 2) 小堀・梶川：橋梁振動の人間工学的評価法 土木学会論文報告集 第 230 号（1974.10）