

# 加茂橋の簡易振動調査 レポート

2007年3月

島田 静雄 (中日本建設コンサルタント株式会社)  
前田 春和 (中日本建設コンサルタント株式会社)  
橋本 保則 (瀧上工業株式会社)  
平岩 健一 (株式会社東京測器研究所)

---

1. 概要	1
2. 測定対象の橋梁と測定箇所	2
3. 計測作業とモニタリング	3
4. 計測データの整理方法	4
5. 解析結果説明と所見	7
付録A： バイログラムとランニングスペクトル	9
付録B： 加速度・速度・変位のグラフとスペクトルのグラフ	14

---

## 1. 概要

日本は中小河川が多いこともあって、非常に多くの橋が架設されている。アーチ橋、斜張橋、吊橋などは、実用としての目的と同時に、その地域の景観を象徴的に構成するような意図を持って建設される。しかし、最も多く設計され、実用されているのは、中小あまたの単純桁橋、単純トラス橋である。桁橋は支間30m前後まで、それよりもやや支間を伸ばしたい場合に単純トラス橋が多く架設される。モータリゼーションが始まる前、1960年頃までの地方の道路橋は、特に歩道を設けず、2車線5.5mに気持ばかりの歩道幅を加えた6m程度の幅員が普通であったので、その後の交通量の増加に対応するように、種々の対策が取られてきた。例えば、歩行者の安全を確保するため、歩車道を分離する歩道専用橋が多く併設された。幅員を広くするには、桁橋では幅方向に桁の増設で対応する場合がある。トラス橋の場合、幅員が主構間隔で制限されるので、幅員を広げるような改造ができない。新橋に架け換えるのは最後の対策であるので、現状のまま、どの程度の耐力があるかを判定する調査が要望されるようになった。床版コンクリートや床組など、交通荷重に直接接する部分は、こまめに日常的な補修が必要であるので、どのような形式の橋梁でも必須の管理事項である。主構造に耐荷力の余裕が有るか無いかを直接確認するのは、応力や撓みの測定であるが、これは作業がやや特殊になり、予算も時間もかかる。一般的な橋梁は数が多いので、一橋梁当たり短時間の調査でデータを収集して、流れ作業的に解析が得られるような、ハード・ソフト両面のシステムが必要である。

構造物の振動測定を行い、そのデータ解析から何がしかの判定結果を得る方法は、従来は非常に専門的な分野を構成していた。この方法を、言わば、大衆化するため、計測システムと解析システムを合わせて標準化・簡易化・安価化を研究してきた。たまたま、名古屋市郊外の矢作川中流にある加茂橋（支間48m、幅員6mの単純トラス橋）を調査する機会に恵まれ、簡易振動測定を提案して実施することができた。測定は平成18年3月27日に行われた。調査速報は1ヶ月でまとめられ、この調査方法が有効であることが分かった。加茂橋を測定した往時は、まだ測定から解析までの作業経験が浅かったが、その後、これらの経験をもとに上記システムの改良が進んだこともあって、同じ測定データを使って再解析を行った。このレポートはその改訂版に相当する報告である。上記のシステムがあれば、コンピュータの大衆化と相俟って、誰でも計測作業を行うことができる。しかし、結果の判定については、対象とする構造物の特徴が理解できる専門的な知識が必要であるので、相互に比較できる資料があると参考になる。解析ソフトで得られるデータの解釈方法は、対象構造物の健全度を診断する方法と関わるので、コメントを所見で述べた。ここにまとめた報告は、このような参考資料の一つに積み上げることを目的として公開することにした。

(全18ページ)

## 2. 測定対象の橋梁と測定箇所

加茂橋は、愛知県豊田市郊外の矢作川中流を渡る、支間 48m、2連の単純ワーレントラス（駒井鉄工製）であって、昭和 37(1962)年 3 月に建設された幅員 6 m の 1 等橋である。本橋が振動しやすい、撓みやすいというクレームが寄せられたことを受けて、目視点検などが実施されたが、目立った障害も見られなかったため、簡易な振動調査によって健全性を確認する方法を採用することになった。振動測定は、トラス構造本体だけでなく、床版スラブ、橋台、橋脚、地盤も含めた。



図 1： 加茂橋位置図



図 2： 下流側から見た加茂橋全景（愛知県主要地方道瀬戸設楽線 矢作川）

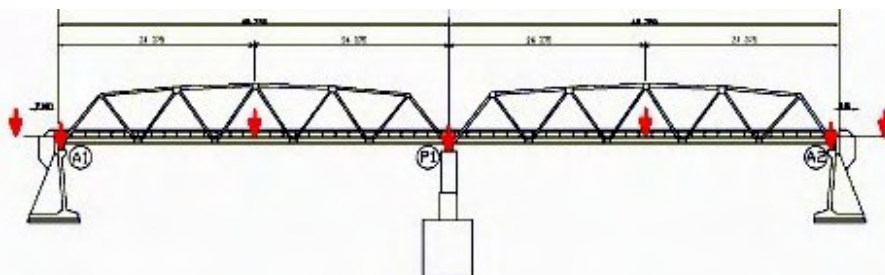


図 3： 測定箇所（左から橋台 A1、トラス T1、中間橋脚 P1、トラス T2、橋台 A2）

### 3. 計測作業とモニタリング

計測から解析までの標準化システムは、別資料である「振動測定による構造物診断システム説明書」にまとめられた仕様で構成されている。加茂橋の測定当時（2006年3月）は、未だ仕様の骨格について確定していなかった箇所があり、今回利用した解析ソフトウェア“DataPreviewer”と“DataIntegral”は完成していなかった。当時の解析ソフトウェアは“TimeProcess”であるが、大量の測定データを流れ作業的に処理するには少し重い。“DataPreviewer”は、生の測定データを詳細解析に掛ける前に、波形全体を観察するパイプログラムの作図と、卓越振動数の出具合を連続的に観察するランニングスペクトルの作図ができることに特徴がある。また、数値的に卓越振動数の拾い出しができる。全測定記録については、データ管理を目的として総て作図して別途保存するが、**付録A**にはパイプログラムとランニングスペクトルの抜粋を添付した。

振動測定の生データは、レコーダに挿入されたコンパクトフラッシュカード(CFカード)にバイナリーデータとしてファイル記録される。そのファイル名は、英字1字と記録順に自動的に3桁の整数番号\*\*\*が発行され、決められた拡張子(.hedと.dat)が付けられる。この名前をデータ整理の識別(ID)に使用する。表1は、加茂橋の測定箇所の説明であり、F\*\*\*のファイル名との対応を示した。この生データは、データ長が必ずしも揃っていないので、“DataPreviewer”は、生のデータから、標準解析用に標準化した解析作業用ファイルを切り出す目的がある。このファイルは、拡張子を.accに変えた同じファイル名が使われる。モニタに表示されるグラフも、デフォルトでこのファイル名に、.bmpの拡張子を付けるようにしてある。スペクトル計算値などのリストはテキストウインドウに出力されるが、これもデフォルトで拡張子.rftの付いたリッチテキストフォーマット形式でファイルに保存することができる。“DataIntegral”は、解析作業用ファイルを入力とするプログラムであって、加速度データから数値積分で速度および変位を計算してグラフに作図する。また、速度データの方からパワースペクトルを作図する。そのグラフは、線形尺度と対数尺度とを並べて表示する。**付録B**に、これらの作図を添付した。振動データのスペクトルは、ランニングスペクトルと合わせて3種類が得られ、それぞれに表示に特徴がある。スペクトルは数値リストとしても得られるが、周波数軸ごとにリストを出すと行数が増えるので、スペクトル強度の小さいデータはリストしないようにしてある。また、周波数軸の刻みは最小周波数分解能で決まるので、卓越振動数の表示では小数以下1桁で丸めて整理してある。ここまでの作業によって、通常は実用的に十分なデータ解析が得られる。

表1： 測定箇所とセンサ設置位置

測定対象	センサ設置位置	ファイル
トラス T2	支間中央、格間スラブ上、R側	F001, F002, F003,
	支間中央、格間スラブ上、L側	F004
	主構格点上、R側	F017
	支間中央スラブ上 (SFRC 増厚部)	F018
	支間中央スラブ上 (増厚無し)	F033, F034
トラス T1	支間中央、格間スラブ上、R側	F005, F006
	支間中央、格間スラブ上、L側	F007, F008, F009
	主構格点上、R側	F023, F024
橋台 A1	L側	F011, F012
	R側	F013, F014
	R側	F022
橋台 A2	R側	F019, F020, F021
A2 側桁端	地覆上	F030, F031, F032
橋脚 P1	R側	F015, F016
	R側、座面上	F029
路盤 (A1側)	L側、舗装アスファルト上	F010

備考：R側は幅員方向の位置で上流側、L側は下流側の意である

## 4. 計測データの整理方法

振動データは、現場においては約 40 秒を区切りとした単位でファイル化され、CF カードに記録されるので、このファイル単位を**作業単位**とする。ファイルの数が作業の多寡を示す指標になる。加茂橋の例では総数で 34 である。同じ測定箇所複数回の計測が行われ、また計測ミスも含まれる。したがって、全体のファイルを見て、解析に有効なデータを選別して切り出す作業が必要になる。従来の振動測定では、巻物のようなオシログラムが元データであった。測定が電子化されたので、それに代わる作図が必要になった。プログラム“DataPreviewer”は、元データを入力して**バイプログラム**（付録 A 参照）を作図する。これは、オシログラムのコンピュータグラフィックス版に当たり、計測の成否が概観できる。ただし、作図は、グラフが見易くなるように波高を調整してある。また、数値はバイナリ値で扱われる。構造物の振動は、場所的にも時間的にも出たり出なかつたりする確率的な性質がある。場所の違いは測定箇所の選定で対応するが、時間的な推移はバイプログラムで観察する。しかし、卓越振動となると、波形の観察だけでは良く分からないので、それを知る目的に**ランニングスペクトル**を作図する。これを見ると、卓越振動はピーク位置が縦に並ぶので、ゴミ的なデータと明瞭に区別することができる。

測定で得られる卓越振動の数値は、“DataPreviewer”の実行時にモニタのテキストウインドウにリストされる。この画面はテキストエディタになっていて、必要に応じて部分的に編集してプリンタまたはテキストファイルに書き出すことができる。数値リストで見るスペクトルの極大値は、物理的に正確な卓越振動数を示すのではなく、確率的な揺れを持つ。また、周波数軸の刻み幅で決まる精度があるので、卓越振動数の数値は小数点以下 1 桁に丸めて理解する必要がある。このことを考慮して、モニタに出力されるスペクトル数値の極大値を、単純に拾いだした表を作業用に作成する。**表 2**がそうである。太字とアンダーラインで強調された数値が極大値群の数値の中で最大値であることを示す。雑音的に極大値が強調されることがあるので、ランニングスペクトルで確かめ、3 成分相互の関連を確かめる。後で解説するが、プログラム“DataIntegral”で作成するスペクトルグラフも参照して選別する。

やや詳しい解析に使うデータは、“DataPreviewer”を使って書式を整えた**解析作業用ファイル**(\* .acc)に切り出す。このファイルの構造はカンマ区切りのテキストファイルに設計されていて、拡張子を (.csv) に変えれば EXCEL で読み出すことができる。**解析作業用ファイル**は、“DataPreviewer”が作成するが、測定時の計測器情報と共に、対象構造物名などを表題・副表題として加える。三成分の振動が並列に記録されるが、数値は加速度単位 ( $m/sec^2$ ) に変換される。Ch1, Ch2, Ch3 に割り当てるセンサ設置向きの情報（橋軸方向、橋軸直角方向、鉛直方向）は**計測単位**によって異なるので、その情報も記録される。これらの情報は、測定作業時の**野帳記録**から転載する。**バイプログラム**はデータ長が不揃いであるので、データ数が不足する元データの場合には後半に 0 を詰める。十分な長さがある元データはデータ切りだし位置をサンプルカウンタで指定できる。**解析作業用ファイル**は、元データから「約 20 秒間・サンプリング周期 100Hz・サンプル数 2048」に標準化される。**解析作業用ファイル**は、なるべく、1 測定箇所 1 ファイルに集約するように編集する。付録 A, 付録 B には、34 個の作業単位のファイルから 9 ファイルに選別したものを示した。なお、ファイル名“F\*\*\*”は一種の共通名であるので、データ管理上は、解析作業全体を総括するユニークなフォルダ名を決める。このレポートで採用した命名法は、計測日を表す 6 桁の整数に続けて、対象構造物名を付した。付録 A, 付録 B のグラフの左上に、フォルダ名のついたファイル名が、例えば「File=D:¥180327 愛知加茂橋¥F017. DAT」とあるのがそうである。

プログラム“DataIntegral”は、**解析作業用ファイル**を入力として対象測定箇所の基礎的な振動データ解析に用いる。加速度から数値積分で速度および変位の計算を行い、そのグラフ化と数値としての最大最小値がリストされる。**表 3**、**表 4**、**表 5**はその抜粋である。パワースペクトルは速度に変換した値で計算され、グラフ化されるので、ランニングスペクトルに較べて低い方の計算値のレベルが高く得られる。特にスペクトル図を両対数座標軸で作図すると、卓越振動数を中心として部分的に山を描くような包絡線になる性質があるので、その山のピーク値の位置が卓越振動数であると判断することができる。卓越振動数の数値計算結果は、この山のピークからズレルことも多い。このことを考えて、対象測定箇所別に卓越振動数の同定を行う。この場合には、測定状況や対象構造物の力学的性質などを勘案するので、次章の所見のところで**表 6**にまとめた。なお、速報の作成時に使用したプログラム“TimeProcess”は、卓越振動数の計算を相関解析から同定し、**減衰係数**の計算の利用するが、減衰係数の計算は解析精度にムラがあるので、この報告では扱っていない。

表 2： 卓越振動数の拾い出しリスト(Hz)

ファイル	橋軸方向	橋軸直角方向	鉛直方向	通行車両 (加振)
F001	4. 5/ <u>18</u>	2. 4/5. 3/ <u>34</u>	9/ <u>12. 9</u> /21	乗用車 3 台
F002	-	<u>22</u>	3. 2/8. 7/ <u>13. 0</u>	ゴミ収集車
F003	<u>6. 5</u>	<u>5. 1/21</u>	3. 3/4. 6/8. 4/10. 3/ 12. 4/ <u>13. 5</u>	ダンプ 1 台
F004	<u>12. 9</u>	5. 1~/ <u>12. 9</u> /22	3. 3/8. 6/ <u>12. 9</u> /22	2 t トラック⇒乗用車
F005	2. 7~3. 5/6. 6/ 8. 3/10. 4/ <u>13</u>	4. 9/ <u>13</u>	<u>13</u>	ダンプ
F006	2. 7/4. 2/ <u>6. 3</u> /7. 0	4. 7/6. 1/ <u>13. 2</u>	<u>13. 2</u>	ダンプ
F007	<u>18. 1</u>	<u>25</u>	8. 6/ <u>10. 7</u> /13. 2	ゴミ収集車
F008	<u>3. 1</u>	<u>25</u>	<u>3. 1</u> /8. 6/13. 3/25	2 t 未満トラック
F009	3. 1/ <u>8. 6</u>	6. 0/ <u>13. 2</u> /24	8. 6/10. 5/ <u>13. 2</u>	ダンプ
F010	-	<u>19</u>	<u>19</u>	大型トラック
F011	-	<u>6. 1</u>	8~13	大型?
F012	-	-	<u>14. 3</u>	大型?
F013	-	-	-	大型?
F014	<u>17</u> /26	<u>26</u>	<u>26</u>	タンク車
F015	3. 2/ <u>13. 4</u>	<u>13. 1</u>	<u>10. 1</u>	大型車
F016	3. 1/ <u>6. 7</u> /8. 6/14	<u>11. 3</u>	11. 3	大型車
F017	11. 7/13. 2/35	<u>6. 0~6. 1</u>	<u>3. 2</u> /6. 1/11. 7	2 t 空積みトラック
F018	<u>26</u>	5. 0/ <u>6. 1</u> /21	3. 2/ <u>10. 3</u>	大型車
F019	<u>10. 4</u>	-	-	マイクロバス
F020	<u>22</u>	-	-	大型車
F021	<u>0. 8</u>	<u>0. 8</u>	<u>0. 8</u>	ダンプ (A 2 側から)
F022	-	<u>11. 4</u>	-	大型車
F023	<u>13. 3</u> /17. 5	<u>6. 0</u>	<u>3. 2~3. 3</u>	2 t 未満トラック
F024	<u>13. 2</u>	<u>6. 1</u>	<u>3. 2</u> /6/13. 2/18. 2/22	4 t トラック
F029	3. 1/ <u>13. 3</u> /	<u>15. 2</u> /	<u>14. 0</u>	4 t トラック+乗用車 2 台
F030	<u>12. 6</u> /24	24/ <u>29</u>	<u>20. 5</u>	2 t トラック
F031	9. 6/ <u>12. 9</u>	<u>32</u>	9. 6/12. 9/ <u>17. 8</u>	4 t トラック
F032	13. 0	18/23/26/ <u>29</u>	<u>13. 0</u> /18	10 t ダンプ
F033	8. 5	5. 5/13/17/ <u>21</u>	<u>3. 2</u> /6. 6/ <u>12. 8</u>	軽自動車 2 台+2 t トラック
F034	36	5. 3/22/25	3. 2/ <u>6. 6</u> /10. 7/12. 9	2 t トラック

【備考】

- 元振動データのデジタル値は、一般に非常に小さくしか得られないので、波形を拡大して観察すると、滑らかな曲線とは程遠い。しかし、2000 個以上のサンプル数で統計的な解析に載せると、周期的な性質が現われてくる。感度を上げたセンサの開発が望ましいが、従来の感覚では捨てられるような、一見するとゴミを計測するようなデータであっても、解析に載ることが証明された。
- 測定レベルが小さい場合であっても、数値計算上のスペクトル最大値を基準として卓越振動数の拾い出しを行った。ランダムな波形の場合、見かけ上多くの卓越振動が求まる。どれが意味を持つかの吟味は、スペクトルのグラフを見ながら判定する。
- スペクトルの数値計算は FFT で行ったが、その周波数分解能は約 0. 2Hz である。低い周波数領域で数値の精度を上げるには自己相関関数の解析を必要とするが、この報告では扱っていない。
- 複数の卓越振動数は、スラッシュ (/) で区切って表す。隣接してその付近に全体の山があるスペクトルの場合には (~) で範囲を示す。太字とアンダーラインで表示した数値は、特にピークが大きく得られた値を示す。
- 卓越振動数の数値は、“DataPreviewer”では加速度スペクトルから、“DataIntegral”では速度スペクトルからの拾い出しである。通常はほぼ同じ値が得られるが多少の揺れがある。

表 3： 計算調整後の加速度最大値 (単位 m/sec<sup>2</sup>)

測定対象	ファイル	橋軸方向	橋軸直角方向	鉛直方向	参考
トラス T2	F004	0.12	<b>0.47</b>	2.75	スラブ上
	F018	<b>0.24</b>	0.44	<b>2.53</b>	スラブ上
トラス T1	F005	0.30	0.26	<b>3.78</b>	スラブ上
橋台 A1	F013	0.04	0.04	<b>0.09</b>	大型車
	F014	0.04	0.06	0.08	大型車
	F022	<b>0.12</b>	<b>0.08</b>	0.04	大型車
橋台 A2	F021	<b>3.06</b>	<b>2.10</b>	<b>5.70</b>	ダンプ
A2 側桁端	F032	<b>0.41</b>	0.26	<b>0.48</b>	10t ダンプ
橋脚 P1	F015	0.12	0.04	<b>0.05</b>	大型車
	F029	<b>0.14</b>	<b>0.11</b>	0.04	4t トラック
路盤 (A1 側)	F010	<b>0.13</b>	<b>0.08</b>	<b>0.10</b>	大型トラック

表 4： 数値積分で求めた速度最大値 (単位 cm/sec)

測定対象	ファイル	橋軸方向	橋軸直角方向	鉛直方向	参考
トラス T2	F018	0.39	0.70	5.03	スラブ上
トラス T1	F005	0.95	0.43	6.00	スラブ上
橋台 A1	F011	<b>0.10</b>	0.07	<b>0.10</b>	大型車
	F014	0.06	0.05	0.11	タンク車
	F022	0.10	<b>0.08</b>	0.07	大型車
橋台 A2	F021	24.3	11.8	21.2	ダンプ
A2 側桁端	F031	<b>0.36</b>	0.11	0.37	4t トラック
	F032	0.35	<b>0.23</b>	<b>0.66</b>	10t ダンプ
橋脚 P1	F015	0.18	0.08	<b>0.10</b>	大型車
	F029	<b>0.23</b>	<b>0.17</b>	0.04	4t トラック
路盤 (A1 側)	F010	0.18	0.10	0.12	大型トラック

表 5： 数値積分で求めた変位最大値 (単位 mm)

測定対象	ファイル	橋軸方向	橋軸直角方向	鉛直方向	参考
トラス T1	F018	0.19	0.31	2.52	スラブ上
トラス T2	F005	0.50	0.33	3.09	スラブ上
橋台 A1	F011	<b>0.17</b>	<b>0.10</b>	<b>0.14</b>	大型車
橋台 A2	F021	<b>45.7</b>	<b>26.3</b>	<b>53.6</b>	ダンプ
A2 側桁端	F030	<b>0.16</b>	0.10	0.17	2t トラック
	F032	0.12	<b>0.15</b>	<b>0.87</b>	10t ダンプ
橋脚 P1	F015	0.20	0.12	<b>0.14</b>	大型車
	F029	<b>0.28</b>	<b>0.19</b>	0.06	4t トラック
路盤 (A1 側)	F010	<b>0.17</b>	<b>0.17</b>	<b>0.16</b>	大型トラック

【備考】

- 加速度から速度・変位を数値積分で求める場合、積分定数の処理と共に FFT を応用したバンドパスフィルタを通してている。積分定数の処理には、解析作業用ファイルの加速度データに数値的に DC 成分と直線的ドリフトが加算される。表 3 の表題にある計算調整はこのことを指す。
- 数値は、振動データの片振幅の極大値を示す。橋台 A2 のデータは飛び抜けて大きな数値で得られている。これは重量の大きなダンプカーの車輪が橋台に衝撃的に当たったことも原因であるが、橋台の支持環境に問題があることが推定される。
- 加速度センサの正負の向きについては、測定作業時に注意を払わなかった。この点については、今後、作業手順に組み込むことを反省事項とした。

## 5. 解析結果説明と所見

- 振動測定においては、何を求めるかの明確な目的を持って測定箇所を選定しなければならない。加速度計は周波数の高い方で出力が大きくなるので、構造物の振動のように低い振動を計測したい場合には注意が必要である。トラス構造の特性を測定する場合、振動レベルが大きくなる支間中央を計測箇所とすることは当然としても、床スラブ上、または高欄地覆部はスラブの局所的な振動が大きく得られることがあり、本体のトラス構造の性質を隠す恐れがある。加茂橋は曲弦ワーレントラスであって、支間の中央はスラブの横桁間スパンの中央でもある。したがって、トラス本体の性質を求めるため、トラス格点の鋼部材に直接センサを置く計測単位を含ませる。卓越振動数は、下のように同定した。

表 6： 卓越振動数の同定

測定対象	卓越振動数(Hz)	説明
トラス T2	3.2~3.3	トラス曲げ 1 次振動
	6.0	橋軸回りの振れ振動
	11.7	橋軸方向と上下方向で卓越。床組みの振動か？
	13.2~13.3	トラス曲げ 2 次振動
	21~22	床スラブで卓越するのでスラブの曲げ振動
	35	弦材を伝わる音
トラス T1	3.1~3.3	トラス曲げ 1 次振動
	6.0~6.1	橋軸回りの振れ振動
	8.6	鉛直と橋軸方向で卓越するので床組の振動か？
	13.2~13.3	トラス曲げ 2 次振動
	25	床スラブの曲げ振動
橋台 A1	6.0	トラスの振れ振動を受けて観察される
	14~17	振動レベルは小さいが鉛直振動に観察される
橋台 A2	0.8	ダンパーによる衝撃加振で発生
	22/24	橋軸方向の振動でスラブの曲げ振動を拾う
橋脚 P1	3.1/6.7/8/13	沓を介してトラスから伝わる振動
	11.3	橋軸直角方向の振動、一種のロッキング振動か？
路盤 A1	19	鉛直方向の振動。築土された取り付け道路の地盤特性

- 加茂橋のトラスは、同形式・同スパンで 2 連ある。トラス T2 では、F017 が主構格点、F004 がスラブ上にセンサが置かれた。同様に、トラス T1 では F024 が主構格点、F008 がスラブ上での測点である。両トラスともに、1 次の固有振動数が 3.2Hz であることが、スペクトルグラフで明瞭なピークとして観察される。F004 のランニングスペクトルでは、12.9Hz が卓越して観察され、3.3Hz はかすかにしか認められない。しかし、対数尺度で表示した速度スペクトルには、3Hz の箇所に明瞭な山が見られる。なお、8~10Hz に幾つかの卓越振動が見つかるが、縦桁・横桁などを含む床組の振動ではないかと推定した。
- 約 13Hz の卓越振動は、トラスの曲げの 2 次振動モードであると考えるのが妥当と思われる。理由は、二連の単純トラスに共通して、ピークがかなり明瞭であるからである。この振動数は、1 次モードの振動数の約 4 倍であることも、2 次モードであることの論拠である。加茂橋の主構は曲弦ワーレントラス構造であるので、上弦材の描く形はアーチの性質を幾分実現すると考えることができる。
- 当初、上記の 13Hz の卓越振動数はスラブの曲げ振動ではないかと想像したが、スラブの曲げ振動にしては低過ぎる。トラス T2 のスラブで 22Hz、トラス T1 のスラブで 25Hz と得られる振動がスラブのものと推定される。この振動数の違いは、T2 トラス側のスラブの剛性が幾らか低いことを意味している。
- 橋台 A1 は、トラス T1 の固定支承側である。その振動レベル(F011)は非常に小さいので、バイブログラムはゴミ状のグラフでしか得られないが、ランニングスペクトルを見ると、大まかではあるが 6Hz 近傍に橋軸直角方向の卓越振動が認められる。総合的にみて健全と判定した。

- 橋台 A2 の振動の性質も振動レベルは非常に小さいが、橋台 A1 とはかなり傾向が異なる。トラス T2 に対して可動支承であるので、トラスの振動は拾っていない。大型車が橋梁側から通過するような場合には (F020)、橋軸方向に 22Hz の卓越振動が認められる。しかし、ダンプカーが取り付け道路から橋梁部に進入したときには (F021)、大きな衝撃力を橋台に与えることが観察された (F021)。これによる加速度・速度・変位の計算値は例外的に大きい。この振動の性質は、振動数 0.8Hz で、減衰係数が 1 のクリチカルダンピングの様相を示している。このことから、橋台 A2 の基礎部はあまり剛な状態では無いと推定した。間接的ではあるが、橋台横に連続する石積み擁壁との間に隙間が認められることから推定された。因みに、橋台 A1 の場合には同様の石積み擁壁が接しているが、隙間は殆ど見られない。
- 橋脚 P1 は、上下動に関しては殆ど振動が認められない (F016)。橋軸方向は、沓を介してトラスの振動に引きずられる卓越振動が観察される。橋軸直角方向の水平動は 11.3Hz が卓越する。この橋脚は、トラス T1 を可動で支持し、トラス T2 に対して固定支承を持つので、T2 の自重を持つロッキング振動が測定されたと推定した。
- 橋梁の鉛直方向の卓越振動数  $f$  (Hz) は、設計時の死荷重・活荷重を合わせた最大タワミに制限があるので、支間  $L$  (m) との間に統計的な性質がある。タワミ制限が  $1/2000$  の場合、 $f = 22/\sqrt{L}$  である。加茂橋の支間 48m で計算した振動数は 3.175Hz であり、この統計的な数値と良く一致している。なお、6Hz の卓越振動は、橋軸回りのトラス組みの捩れ振動と推定した。幅員が 6m と狭い橋梁で支間を 48m 取るためには、トラス桁全体が立体的な捩れ剛性が必要である。鉛直方向の曲げ振動との比が大きいことは、充分の捩れ剛性のあることを示している。
- 結論として、簡易な振動測定を応用した例として、加茂橋の健康診断の総合所見を述べる。トラス主構造は健全と判定できる。スラブおよび床組は、従来通りの継続的な観察が必要である。橋台 A2 は重量車の進入時に衝撃加振が加わるので、舗装などの変化を継続的に監視する必要があると判定した。橋脚 P1、橋台 A1 は、健全であると判定した。

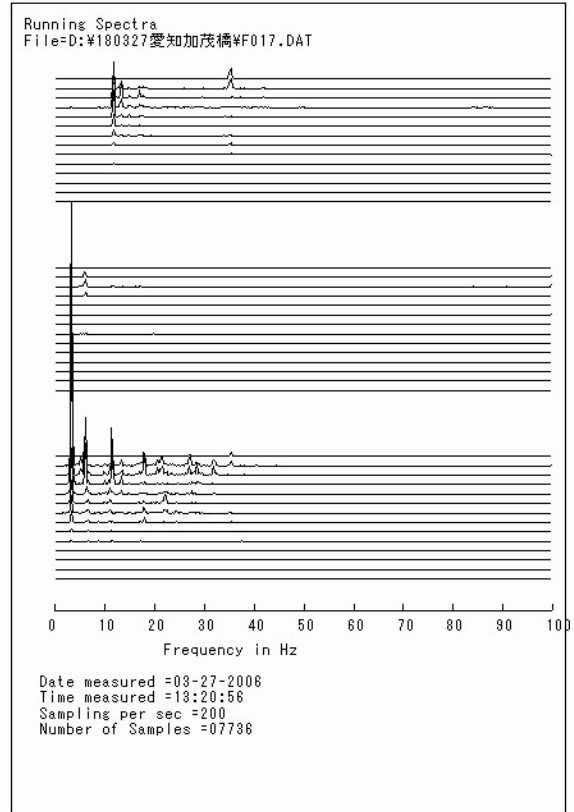
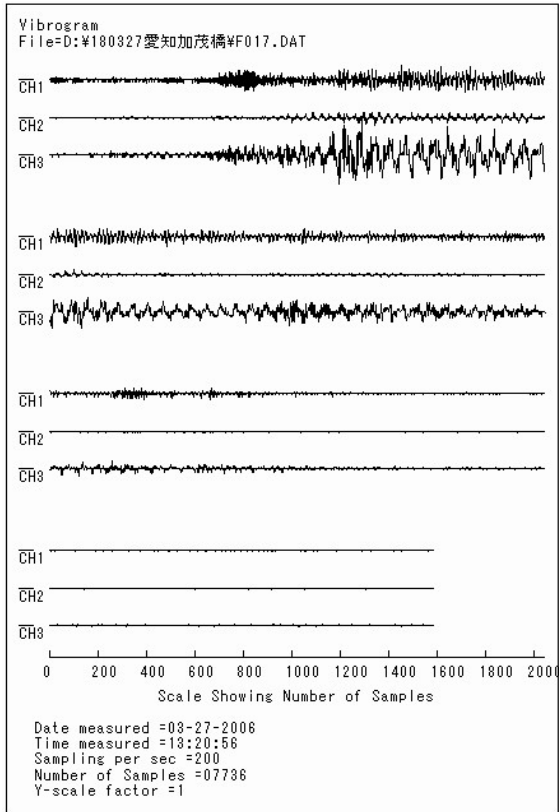
-----レポート本文終了。以降は付録である



# 付録A： バイログラムとランニングスペクトル

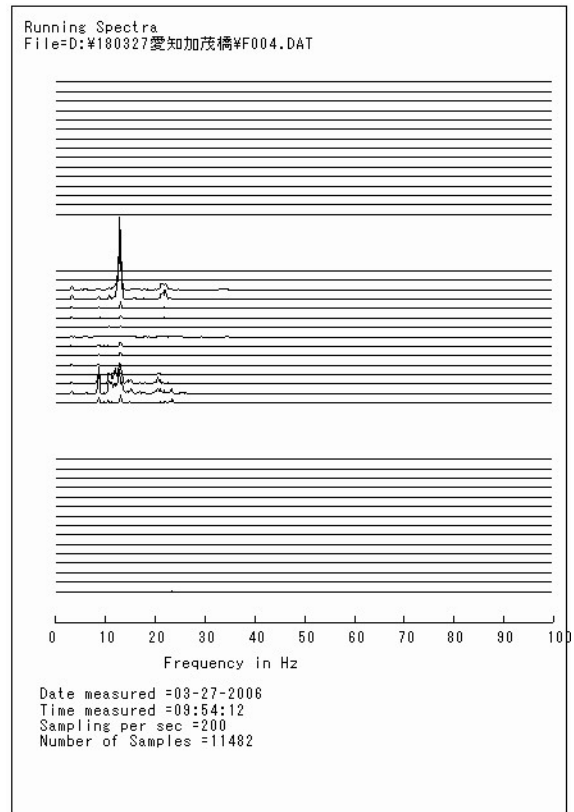
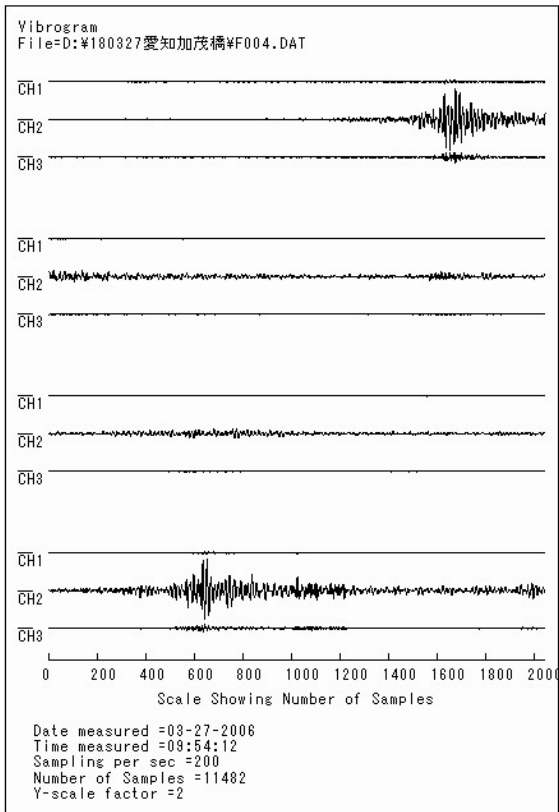
## 加茂橋トラス T2 主構格点 (F017)

(Ch1: 橋軸方向水平動、Ch2: 橋軸直角方向水平動、Ch3: 鉛直方向振動)



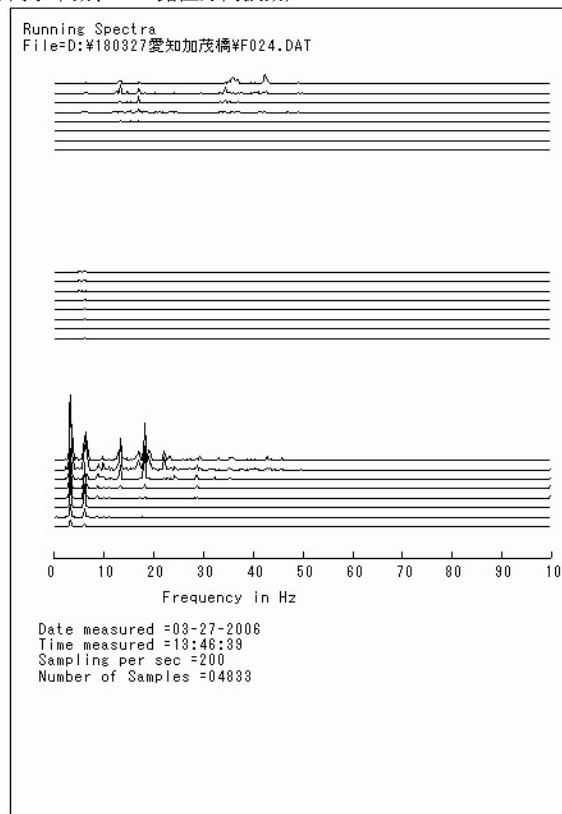
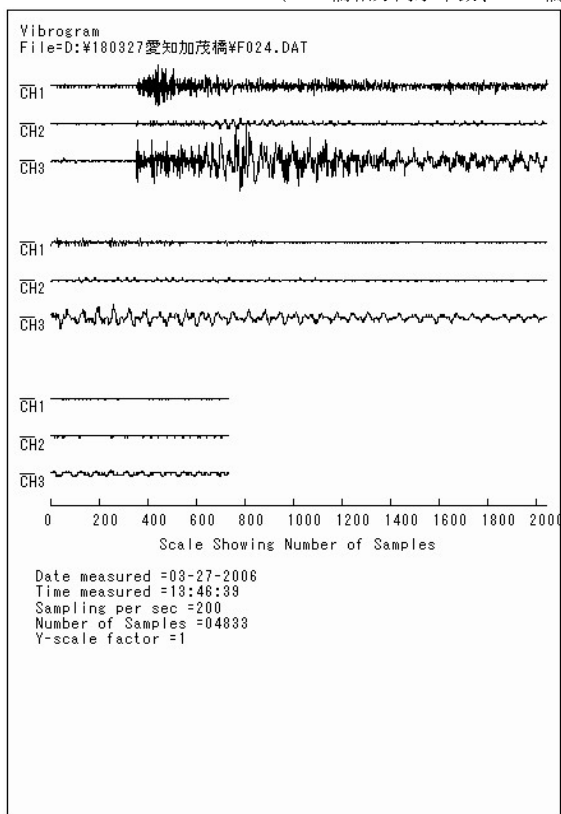
## 加茂橋トラス T2 支間中央スラブ上 (F004)

(Ch1: 橋軸方向水平動、Ch2: 鉛直方向振動、Ch3: 橋軸直角方向水平動)



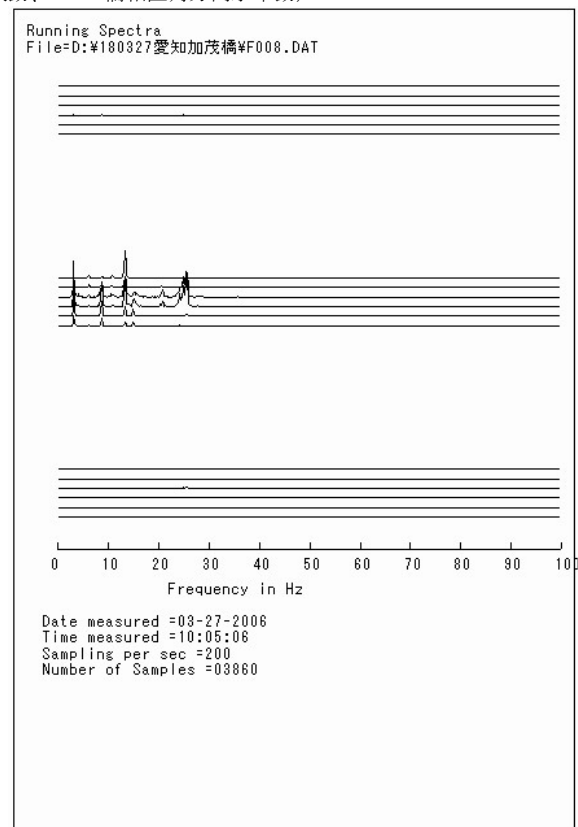
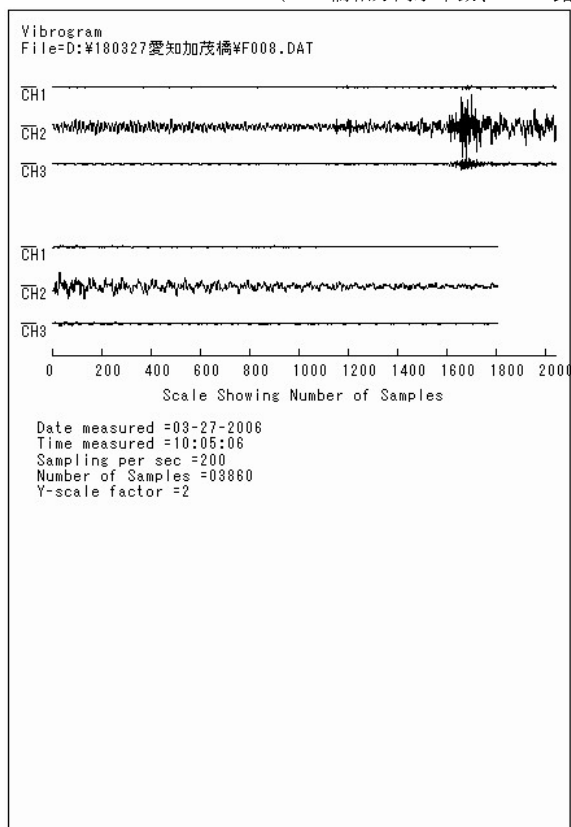
### 加茂橋トラス T1 主構格点 (F024)

(Ch1: 橋軸方向水平動、Ch2: 橋軸直角方向水平動、Ch3: 鉛直方向振動)



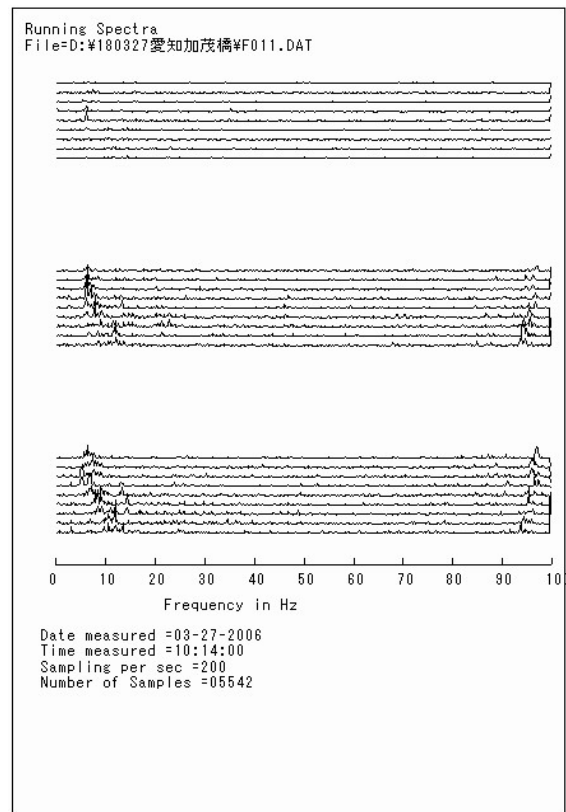
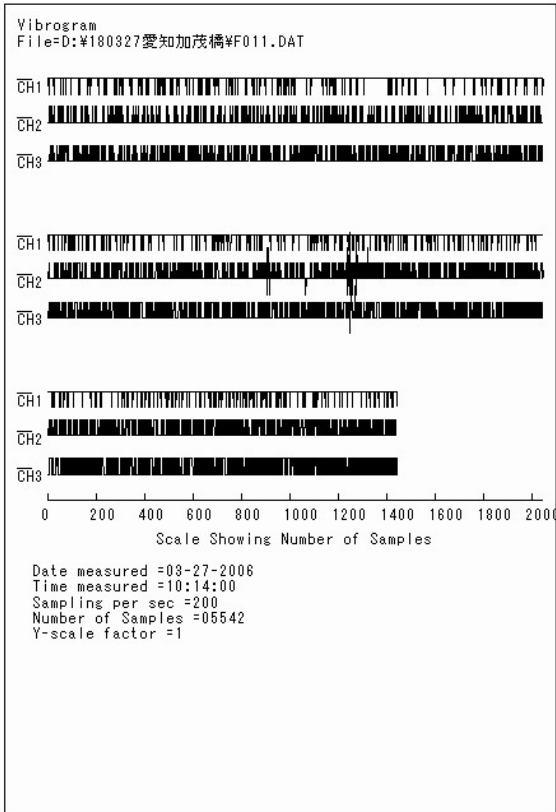
### 加茂橋トラス T1 支間中央スラブ上 (F008)

(Ch1: 橋軸方向水平動、Ch2: 鉛直方向振動、Ch3: 橋軸直角方向水平動)



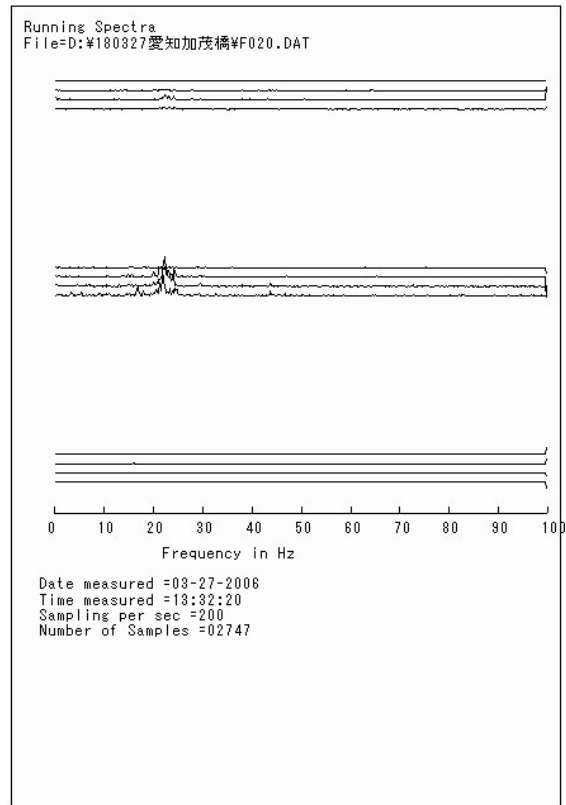
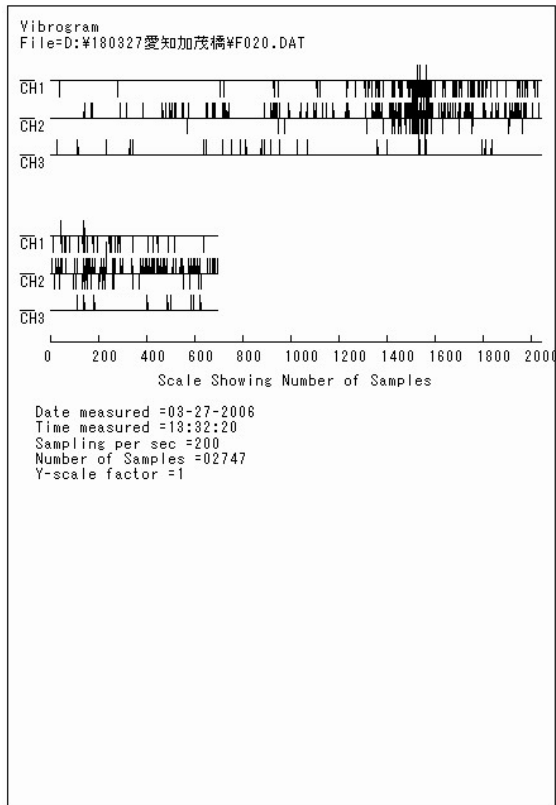
### 加茂橋 橋台 A1 (F011)

(Ch1: 橋軸直角方向水平動、Ch2: 橋軸方向水平動、Ch3: 鉛直方向振動)



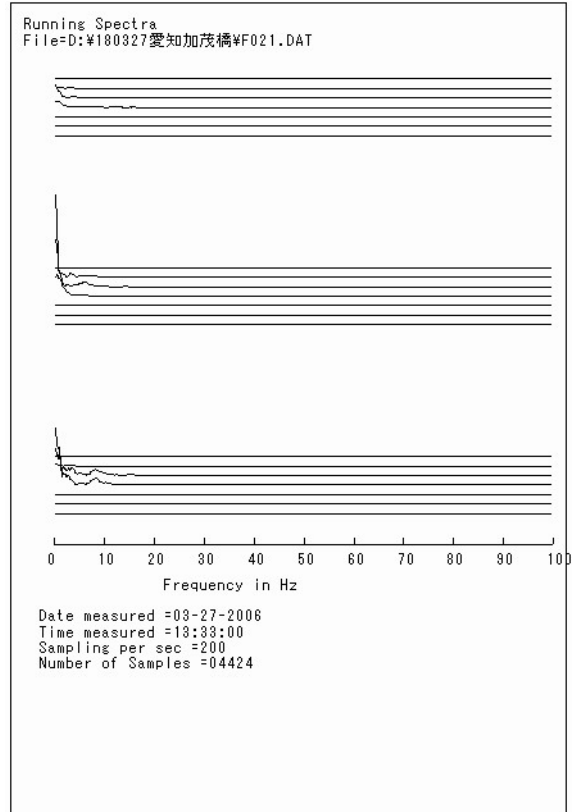
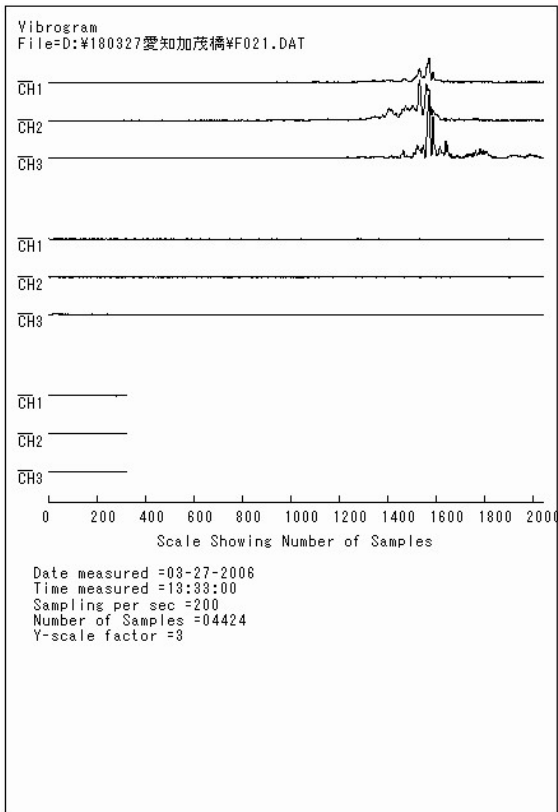
### 加茂橋 橋台 A2 (F020)

(Ch1: 橋軸直角方向水平動、Ch2: 橋軸方向水平動、Ch3: 鉛直方向振動)



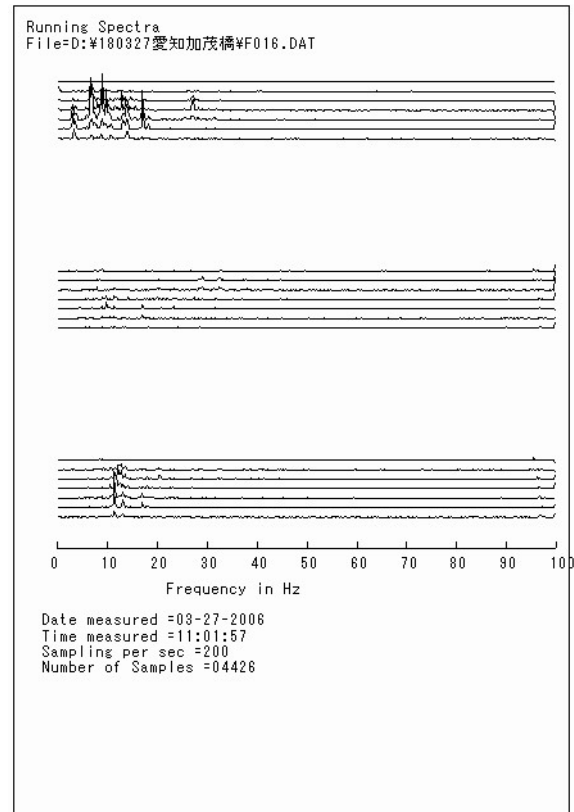
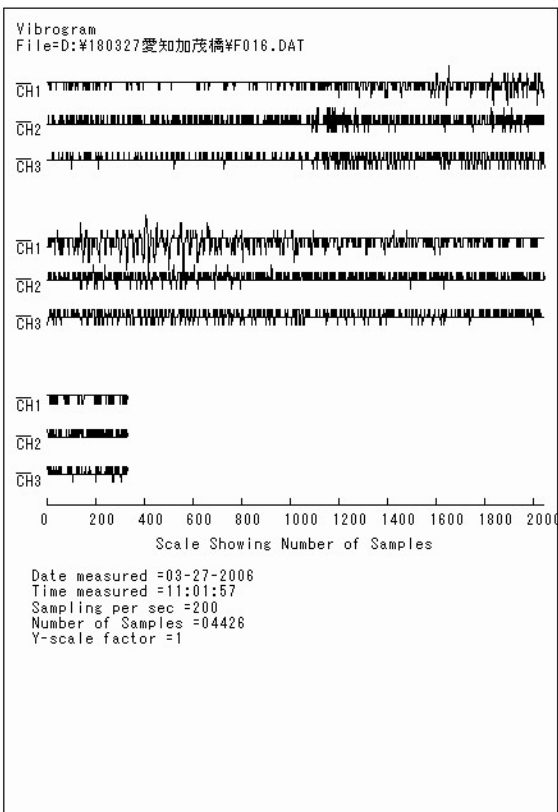
### 加茂橋 橋台 A2 (F021)

(Ch1: 橋軸直角方向水平動、Ch2: 橋軸方向水平動、Ch3: 鉛直方向振動)



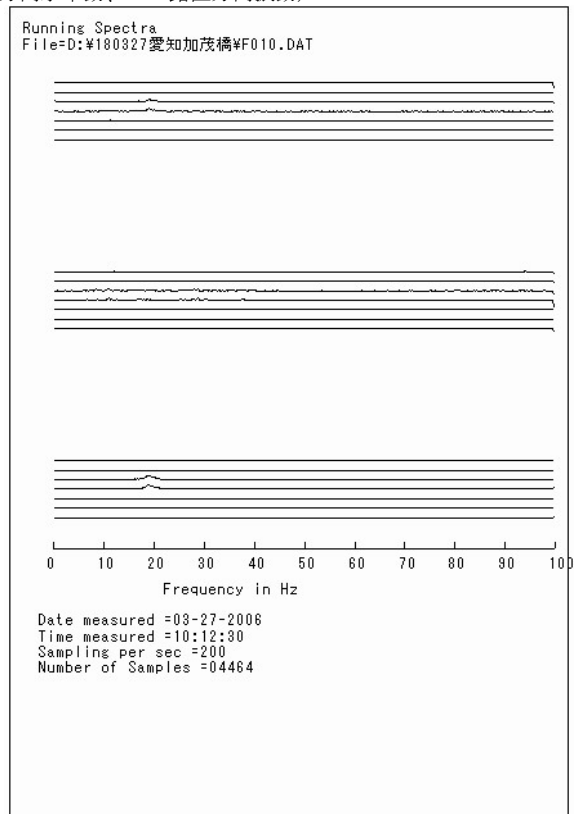
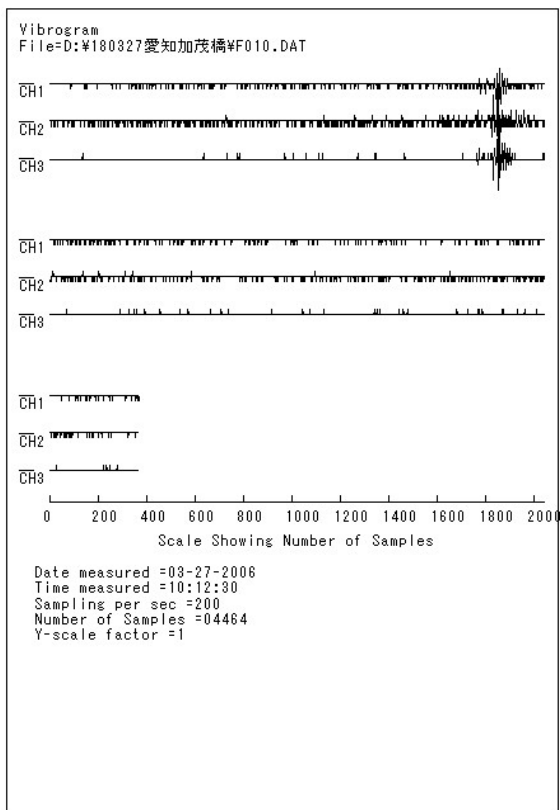
### 加茂橋 橋脚 P1 (F016)

(Ch1: 橋軸方向水平動、Ch2: 鉛直方向振動、Ch3: 橋軸直角方向水平動)



### 加茂橋 A1 橋台側路盤(F010)

(Ch1: 橋軸直角方向水平動、Ch2: 橋軸方向水平動、Ch3: 鉛直方向振動)

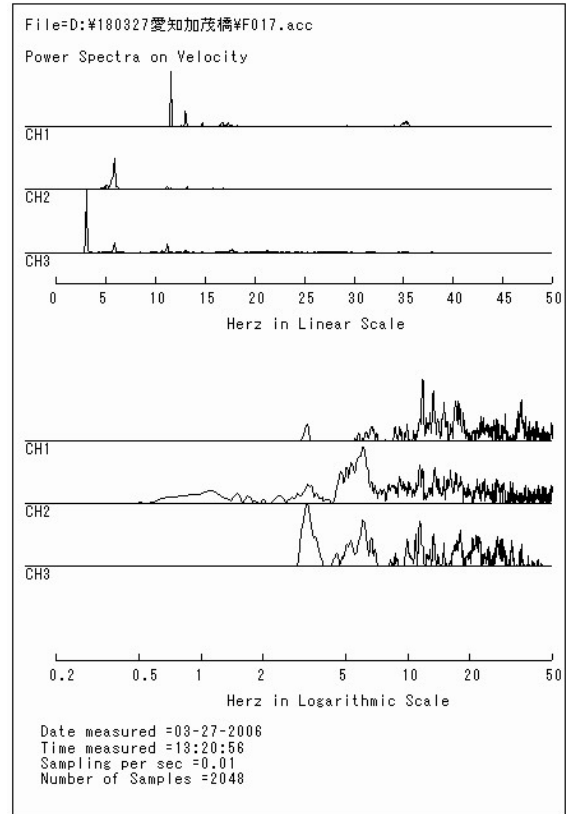
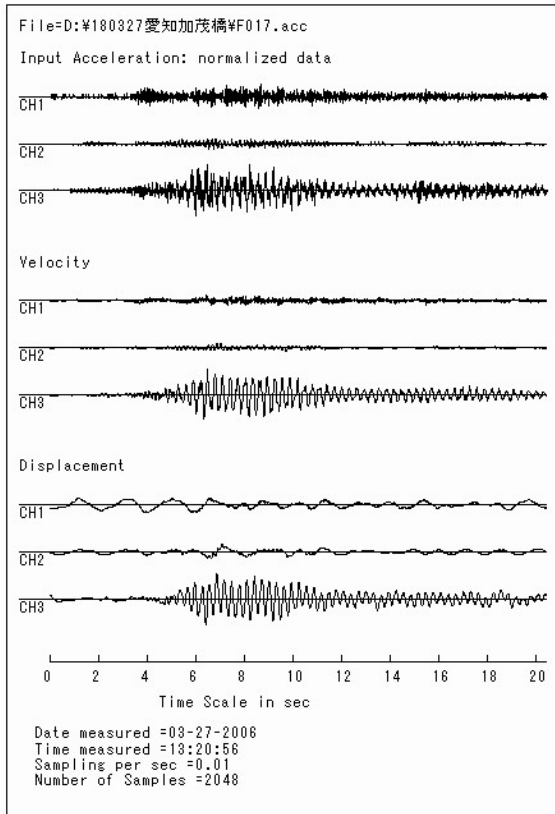


-----///

## 付録B： 加速度・速度・変位のグラフとスペクトルのグラフ

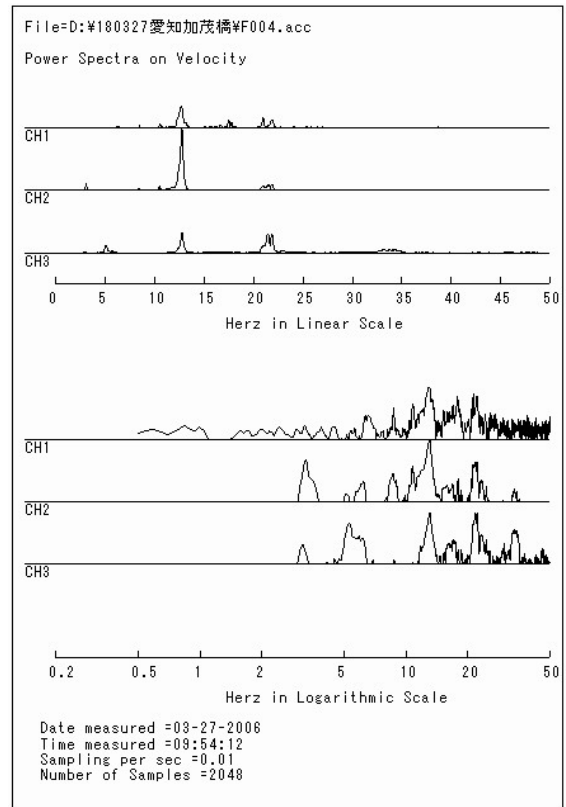
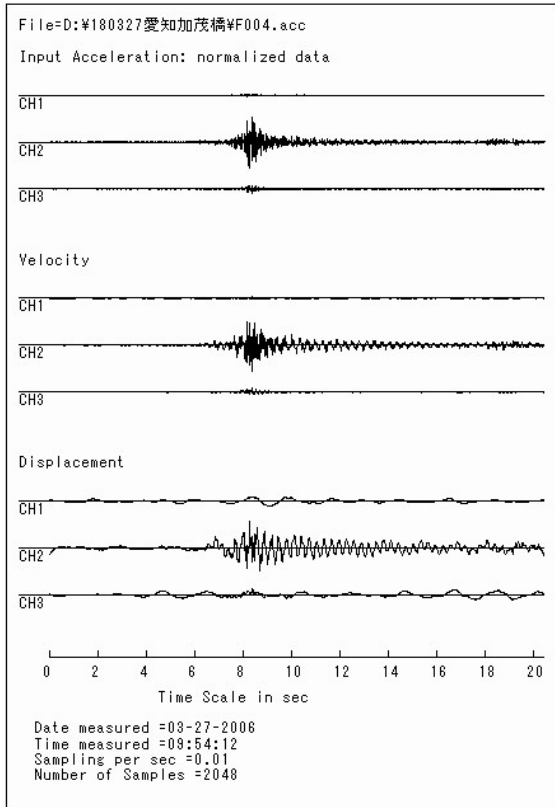
### 加茂橋トラス T2 主構格点 (F017)

(Ch1: 橋軸方向水平動、Ch2: 橋軸直角方向水平動、Ch3: 鉛直方向振動)



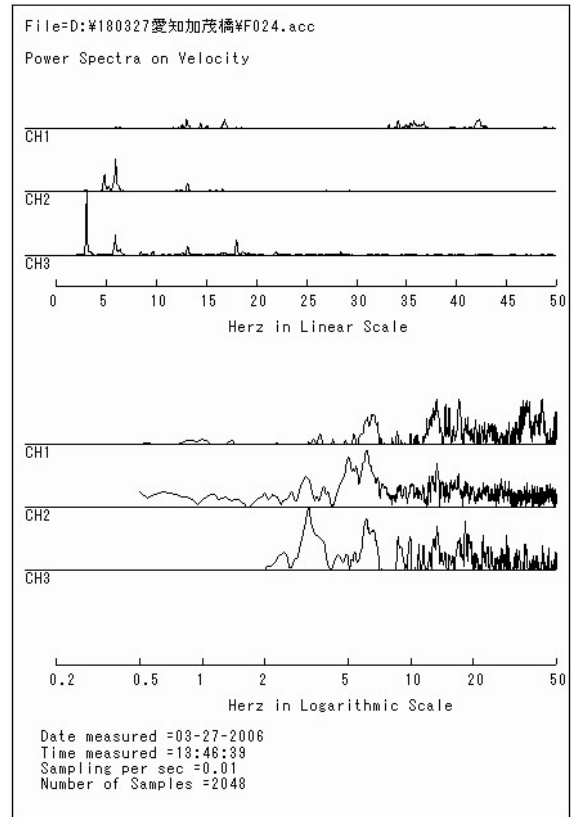
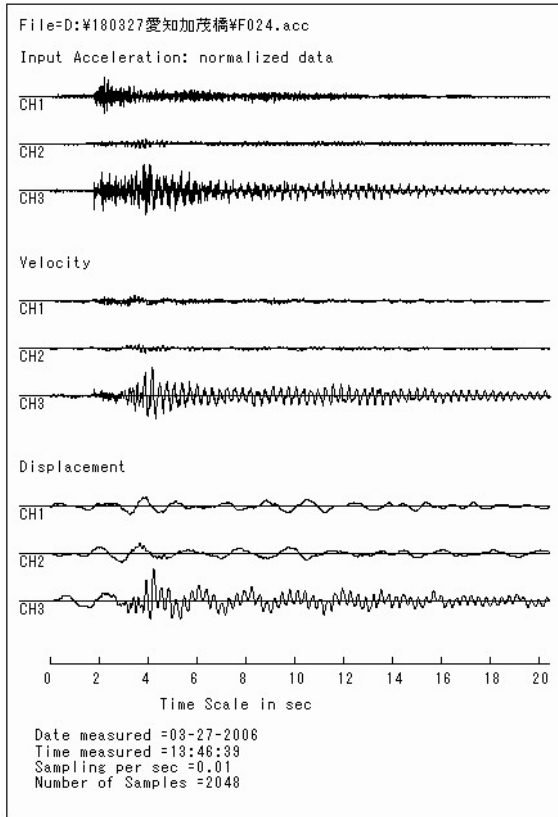
### 加茂橋トラス T2 支間中央スラブ上 (F004)

(Ch1: 橋軸方向水平動、Ch2: 鉛直方向振動、Ch3: 橋軸直角方向水平動)



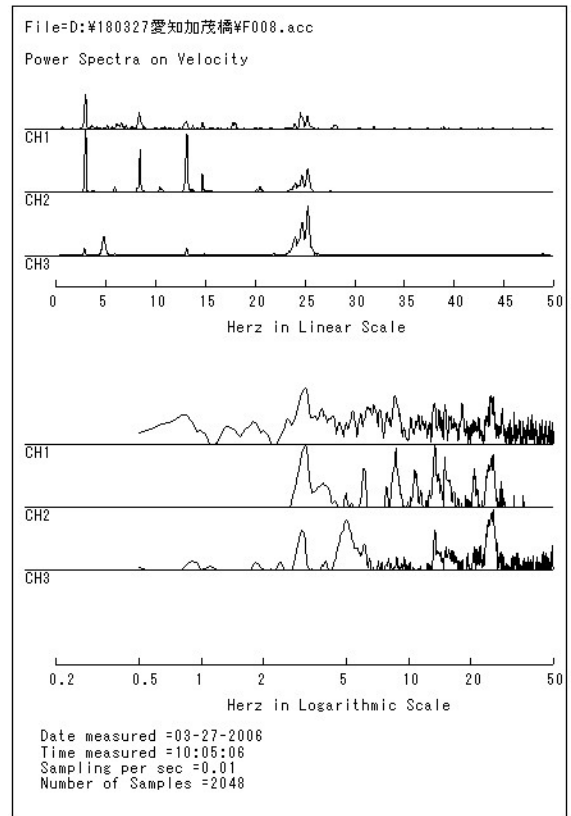
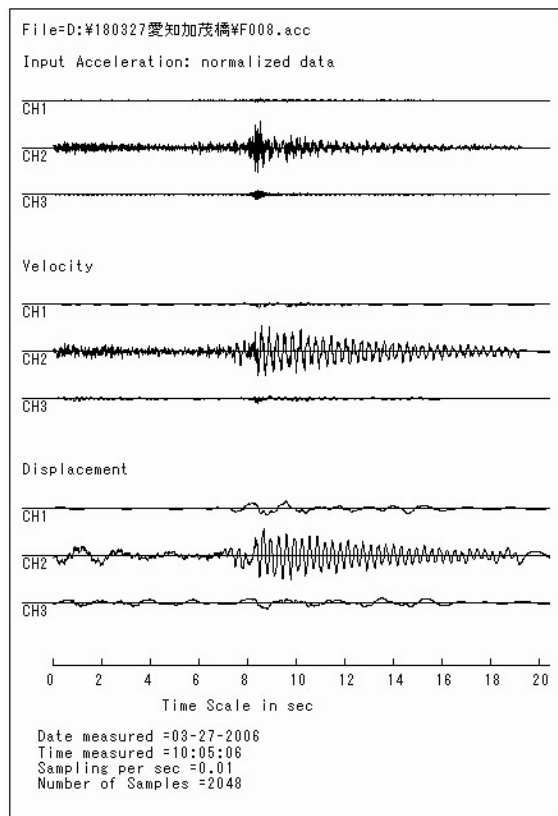
### 加茂橋トラス T1 主構格点 (F024)

(Ch1: 橋軸方向水平動、Ch2: 橋軸直角方向水平動、Ch3: 鉛直方向振動)



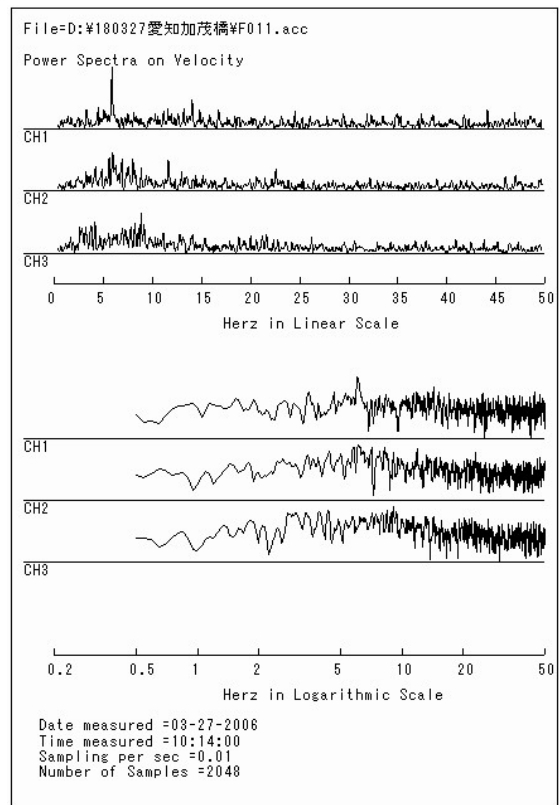
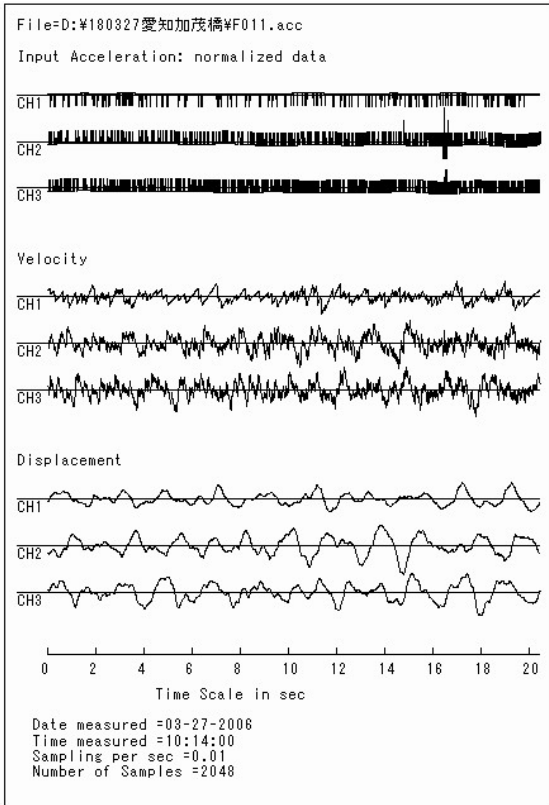
### 加茂橋トラス T1 支間中央スラブ上 (F008)

(Ch1: 橋軸方向水平動、Ch2: 鉛直方向振動、Ch3: 橋軸直角方向水平動)



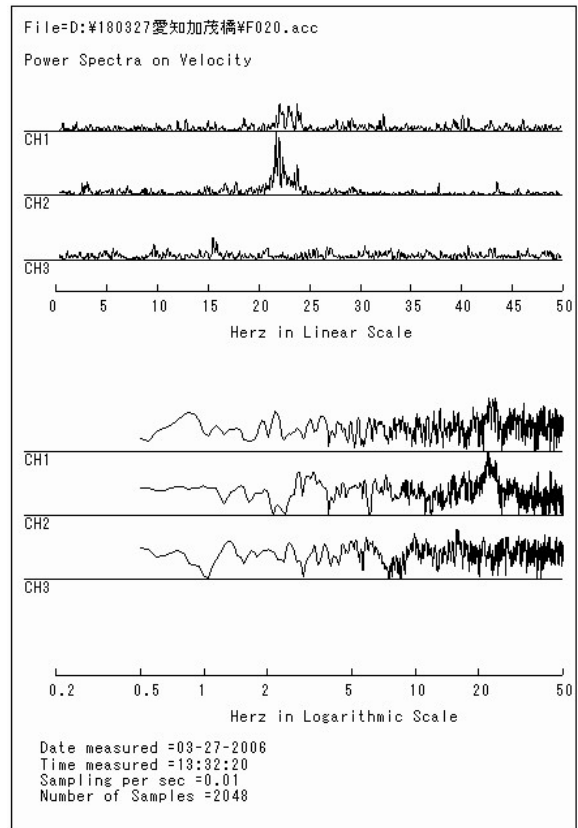
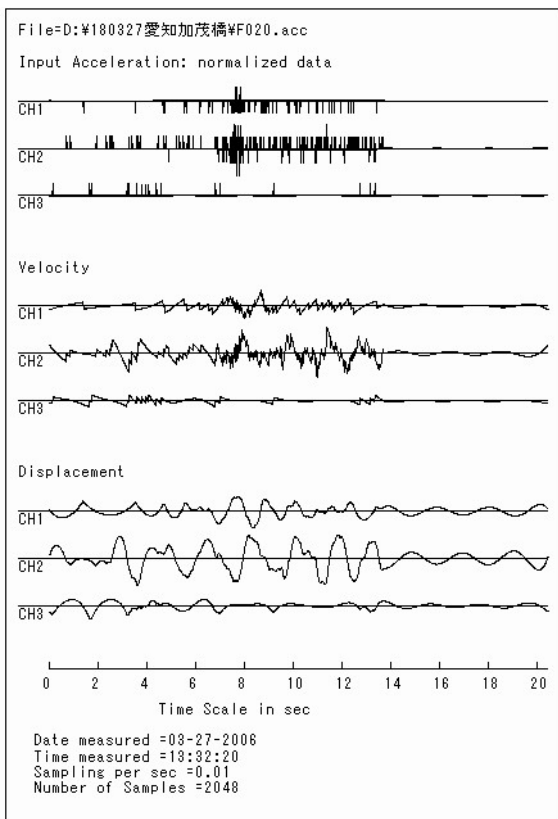
### 加茂橋 橋台 A1 (F011)

(Ch1: 橋軸直角方向水平動、Ch2: 橋軸方向水平動、Ch3: 鉛直方向振動)



### 加茂橋 橋台 A2 (F020)

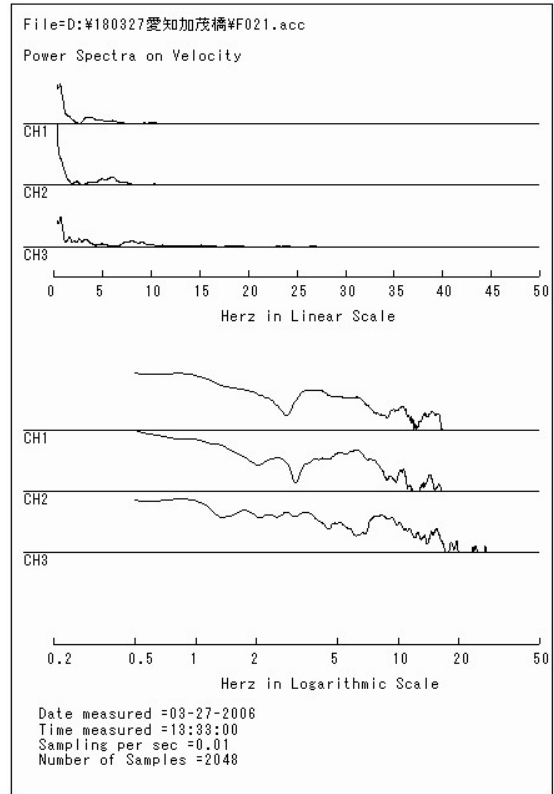
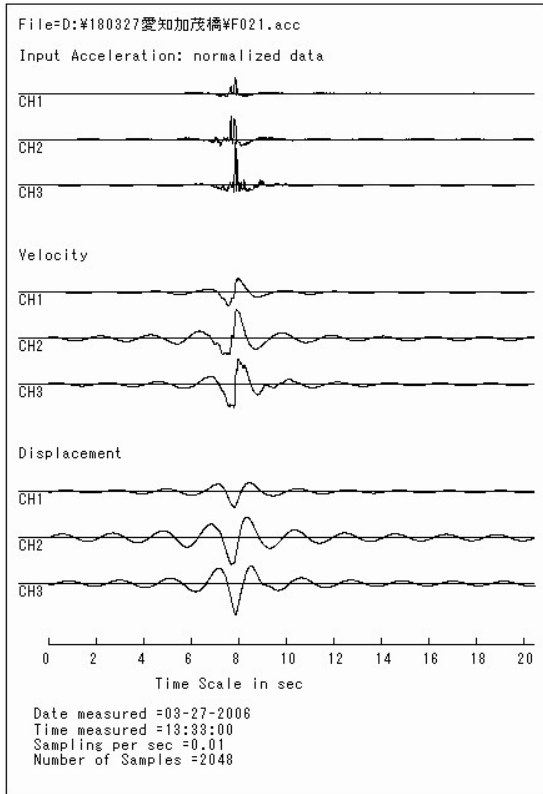
(Ch1: 橋軸直角方向水平動、Ch2: 橋軸方向水平動、Ch3: 鉛直方向振動)





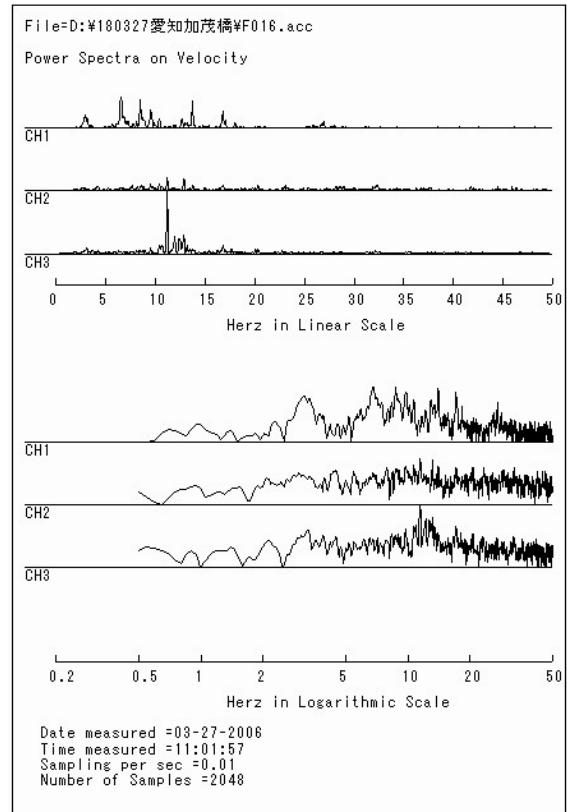
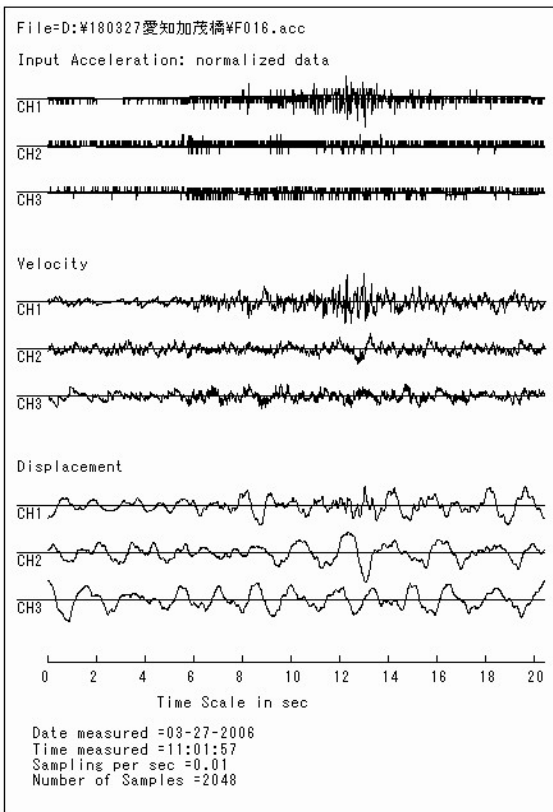
### 加茂橋 橋台 A2 (F021)

(Ch1: 橋軸直角方向水平動、Ch2: 橋軸方向水平動、Ch3: 鉛直方向振動)



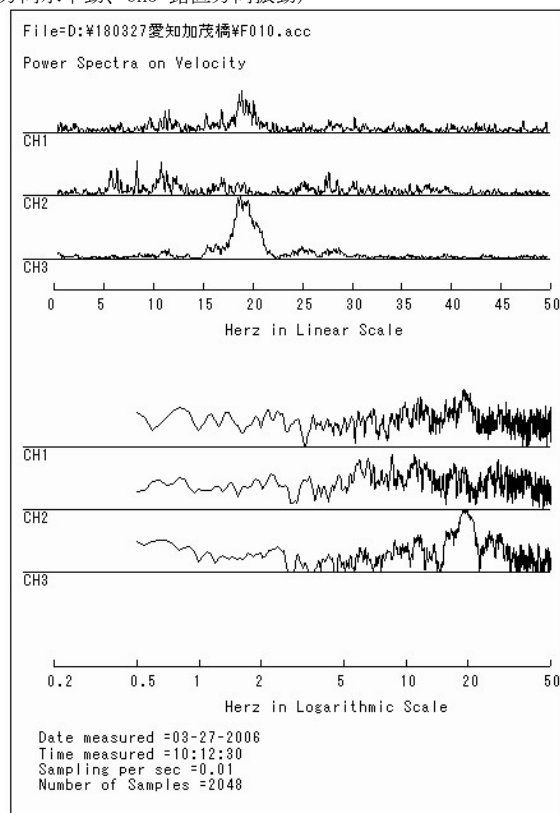
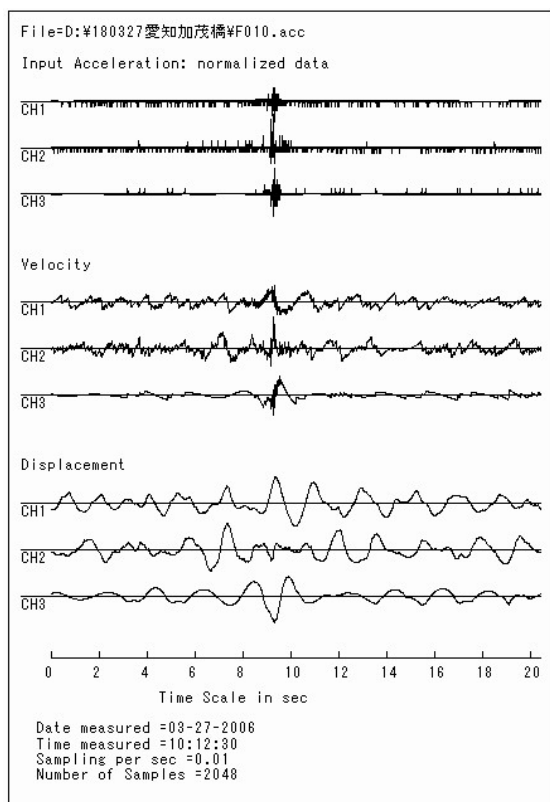
### 加茂橋 橋脚 P1 (F016)

(Ch1: 橋軸方向水平動、Ch2: 鉛直方向振動、Ch3: 橋軸直角方向水平動)



### 加茂橋 A1 橋台側路盤(F010)

(Ch1: 橋軸直角方向水平動、Ch2: 橋軸方向水平動、Ch3: 鉛直方向振動)



///