

1. はじめに

全ての物体には、それ自体が持っている振動に関する固有のモードがあり、同一の周波数的影響を受けると共振振動を引き起こします。楽器や子供の頃に遊んだ糸電話などこの共振を利用したものです。人間の胸から腹部は、縦方向で4~8Hzあたりに、また横方向には1~2Hzあたりに固有値を持っていることが判明している¹⁾ようです。プロの音楽家達は自身の体型や骨格、身体全体からステージの固有値までの共振を利用しているといえ、その苦勞が偲ばれるというものです。

昨年度より、高専の大屋先生・学生の持田さんとともに”宍道湖大橋の固有値の計測“をテーマに分科会として取り組んだのは、振動と言うより震動という長い周期の部分、“ガタガタ”、“ユラユラ”、“ユッサユッサ”という地震の震動が構造物に大きな影響を与えるところについてです。本文では、昨年度の計測結果と、今年度取り組んだ数値解析の概算値について報告します。

2. 固有値の解析

阪神大震災以降の道路橋示方書²⁾では、耐震設計に当たって、“地震時保有水平耐力法”を定めました。静的に荷重を載荷した際のたわみ曲線を一次モード(支配的な振動)形状として、地震動に対してその応答に配慮するというものです。橋脚の終局時の耐力を相手に照査するため、非常に厳しいものとなりますが、この方法では先の共振現象を把握することは出来ません。やって来るいろいろな周期を持つ震動波の影響は、その対象(構造)物のもつ固有値を見ることが欠かせないものになります。

固有値の解析は、運動方程式(下式)の右辺の外力をゼロとする事により算出できます。

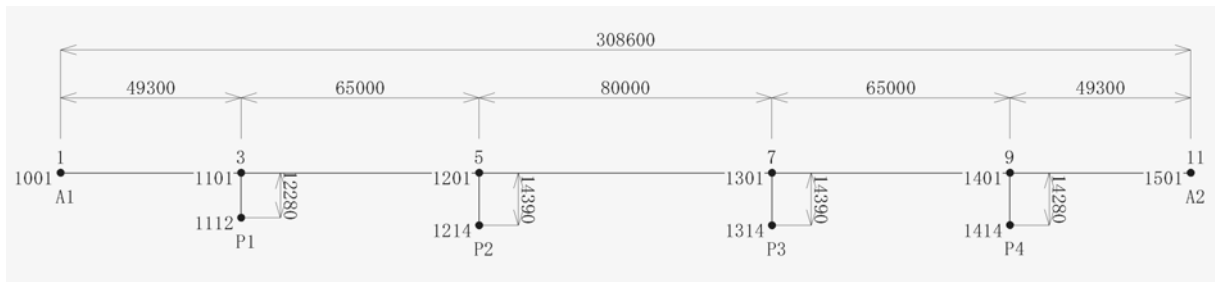
$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = P$$

解析コードTDAPにより求めた概算値を以下に、モデル図と固有値のモード図を次ページに掲載します。

【固有値の概算値】

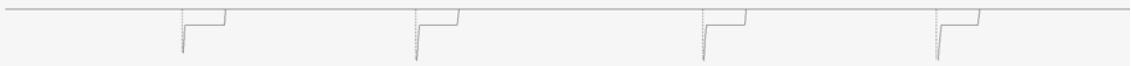
モード次数	振動数 (Hz)	固有周期 (sec)	刺激係数 (橋軸)	刺激係数 (鉛直)
1	0.589	1.698	25.911	0.000
2	1.180	0.848	0.000	4.076
3	1.844	0.542	0.000	-0.003
4	2.030	0.493	0.000	9.477
5	3.066	0.326	0.000	0.621
6	3.083	0.324	0.000	14.971
7	4.139	0.242	-6.666	0.000
8	5.151	0.194	-6.834	0.000
9	5.535	0.181	-6.877	0.000
10	6.046	0.165	-6.253	0.000

表中、右欄の刺激係数はたくさんある振動モードの内、そのモードが全体にどれほどの影響を占めるかを表しています。図表のとおり、1次と7次モード以降は水平方向、2次から6次モードは鉛直面内方向の振動モードになります。特に1次モードは、ゴム支承のバネとしての固有値と思われます。このクラスの橋梁では非常に長い周期になっているのが特徴的です。ただし、これらは速報版で、今後入力データの精査を加えることが必要です。



【解析モデル】

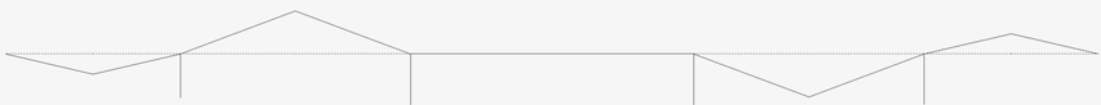
< 1次 > 固有周期 = 1.698(sec)



< 2次 > 固有周期 = 0.848(sec)



< 3次 > 固有周期 = 0.542(sec)



< 4次 > 固有周期 = 0.493(sec)



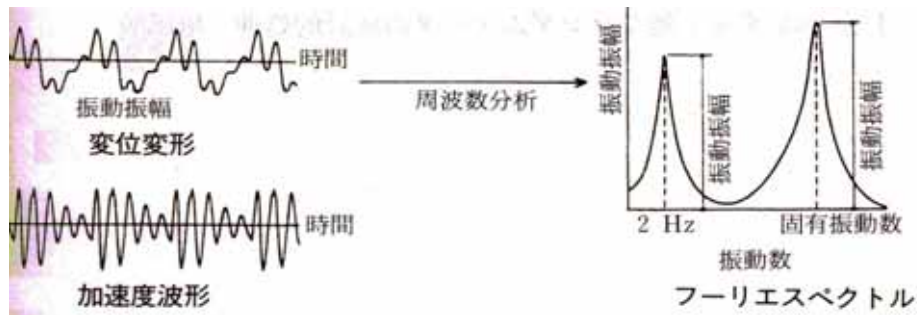
【解析結果】

1次から4次までのモード図

3. 計測方法と結果

常時微動から固有値を求めるため、速度計を橋梁歩道上に設置することにより計測を行いました。

固有周期の推定は、この速度データを高速フーリエ変換(FFT)により、フーリエ・スペクトルへ変換し、卓越する成分を採用することによって求めています。

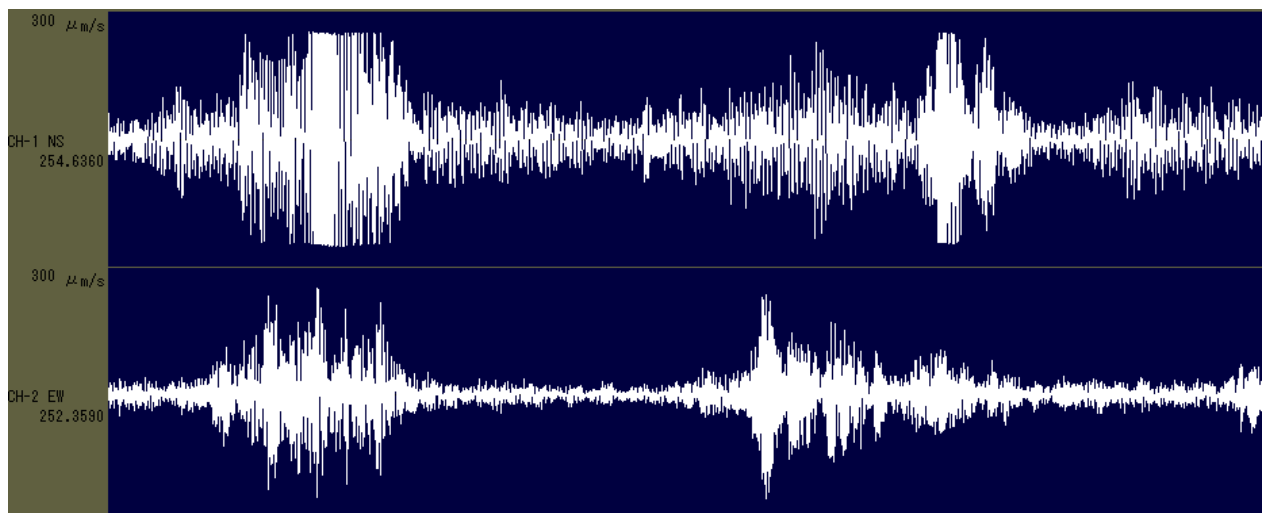


【速度計】



【併せて行った応力頻度測定用のひずみゲージ】

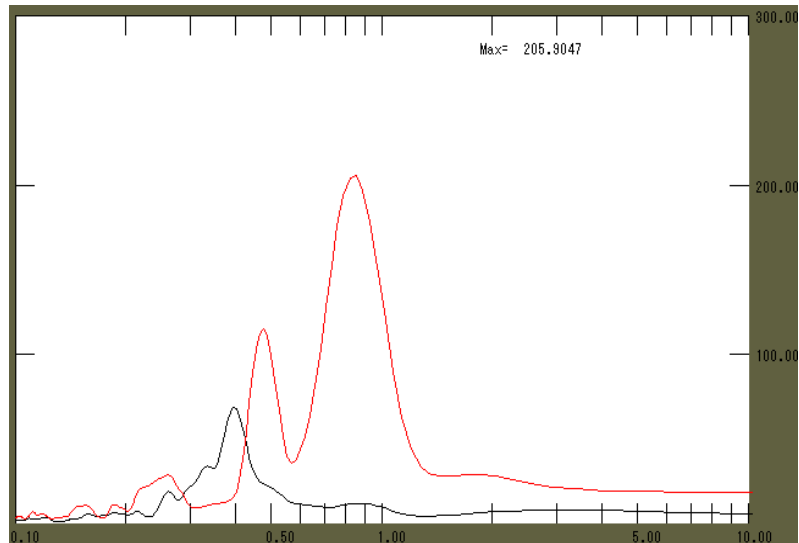
速度計のレンジに対し、上下方向は速度が大きく振り切れてしまい、正常なデータを得ることができませんでした。水平2方向の速度を計測し、得られた速度波形を下図に示します。



【計測された速度波形】

得られたフーリエ・スペクトルから宍道湖大橋の固有周期を読み取ると、橋軸方向の固有周期は約 0.4s、橋軸直角方向の固有周期は約 0.9s となりました（右図参照）。

常時微動には、地盤、基礎構造、橋脚・上部構造などの個々の固有値成分を含んだものになっているはずで、今回は卓越振動のみに着目しています。これらの各成分への分解は今後のテーマです。



【フーリエ・スペクトル】

4. おわりに

固有値解析については、上部工骨組の剛度データが荒いこと、基礎工部分の影響を考慮していないことなど、データの与え方に不十分さがあり、もう少し練る必要を感じています。

現場計測については、年明けに今年度の計測が予定されており、上下方向のデータを得る工夫を加え、再度チャレンジすることを予定しています。地盤構造の持つ固有値の同定なども今後の課題です。

また、耐震設計（動的応答解析）に当たっての入力地震動は、これまでに観測された強震記録データから、プレート境界に生じる海洋性の大規模な地震と内陸直下型の地震に区分し、さらに地盤種別ごとに与えることになっています。本文では、応答を知るための固有値について着目してきましたが、もう一方で、入力する地震動（荷重）がそのロケーションにふさわしいものであるか、先の示方書に規定される入力地震動でこと足りるか、知っておくことも重要と思われます。ロケーションにふさわしい入力地震動の作成とまではいかなくても、出雲部や石見部がどのような震動の伝搬経路になっているか、なども大きなテーマであろうと思います。

研究発表では、鳥取県西部地震や関東大震災での地震動について、これまでに作成した応答スペクトルなどを交えご報告したいと考えています。

本報文の現場計測部分の執筆に当たり、松江高専卒業研究報告書を引用させて頂きました。紙上を借りてお礼申し上げます。

【参考文献】

- ¹⁾ヘルツ工業「ナノテク時代の振動対策技術資料」<http://www.herz-f.co.jp/siryou/pdf/herz01.pdf>
- ²⁾道路橋示方書・同解説 平成 14 年 3 月
- 新・地震動のスペクトル解析入門 大崎順彦
- 最新耐震構造解析 柴田明徳
- 鋼橋の応力頻度測定と疲労寿命の推定に関する研究 持田・大屋 松江工業高等専門学校卒業研究報告書(平成 14 年度)