

実測データに基づく斜張橋モデルにおける温度変化を考慮した場合の動的応答

Dynamic response of a cable-stayed bridge model based on long term monitoring data considering with temperature fluctuation

北見工業大学大学院
北見工業大学
千葉エンジニアリング
北見工業大学
北見工業大学

○学生員
正会員
正会員
正会員
F会員

木村浩士
宮森保紀
池田憲俊
三上修一
大島俊之

1. はじめに

吊橋や斜張橋といった橋梁は地震時の挙動が複雑であるが、斜張橋は設計の自由度が大きい、支間長の適応範囲が広い、経済的かつ多様な景観設計が可能である等の優れた構造特性を持っているため、動的解析により地震時安全性の照査がなされなければならない橋梁形式とされている。そのため、斜張橋の動的解析については、これまでに様々な研究が行われている。

本研究では実橋梁の振動計測結果に基づいて斜張橋解析モデルを構築し、温度により変動する固有振動特性や動的応答量を正確に把握することを目的とする。具体的には、まず、設計資料²⁾に基づいて斜張橋の解析モデルを構築する。そして、札内清柳大橋の主塔頂部で観測している温度データを取得し、夏季(8月)と春季(5,10月)、冬季(1月)と春季(5,10月)のそれぞれの温度差を温度荷重として設定する。そして、温度荷重なし、夏季を想定した温度荷重設定、冬季を想定した温度荷重設定の3つの解析モデルを構築した。そこで、この3つの解析モデルによる固有振動解析、時刻歴応答解析を行ない、解析結果と実橋梁の計測結果を比較することで、解析モデルの妥当性と温度変化が動的応答量に与える影響を検討した。

2. 対象橋梁

本研究で対象とした鋼斜張橋は、これまで著者らが遠隔振動計測を行なっている札内清柳大橋とする。本橋は主塔高さ50m、支間長97.7m+132mの非対称支間である。またケーブルは1面吊りの11段ハープ型マルチケーブルで主塔基部と補剛桁は剛結構造となっている。2002年3月に供用が開始され、2004年11月以降主塔や桁、地盤で常時と地震時の加速度や温度等を継続して測定している。

3. 解析モデル

解析モデルは汎用構造解析プログラムRESP-Tで節点数64要素数82の3次元骨組みモデルを構築した。上部構造と下部構造は鋼製支承を想定したバネ部材で下部構造

と地盤は地盤バネでそれぞれ結合されている。また減衰定数は道路橋示方書・同解説 V耐震設計編³⁾に基づき要素減衰定数を設定した。さらに温度については札内清柳大橋の主塔頂部で観測している温度の5月と10月の月平均気温をさらに平均し、その温度を標準温度 $T_A=12.4^{\circ}\text{C}$ として8月の月平均気温を $T_B=24.4^{\circ}\text{C}$ 、1月の月平均気温を $T_C=-5.9^{\circ}\text{C}$ とする。また温度荷重は標準温度と部材温度の差に線膨張係数を乗じて温度ひずみを計算し、そこから温度応力を計算して部材に作用させる。そこで、主桁と主塔ケーブルに T_B と T_A の温度差 $\Delta T_B=12.0^{\circ}\text{C}$ の温度荷重を作用させたものをモデルB、 T_C と T_A の温度差 $\Delta T_C=-18.3^{\circ}\text{C}$ の温度荷重を作用させたものをモデルC、温度荷重を設定しないものをモデルAとして設定した。また、時刻歴応答解析は直接数値積分法のNewmark- β 法より $\beta=0.25$ 、積分時間間隔 $\Delta t=0.01\text{sec}$ として計算した。時刻歴応答解析に用いる減衰マトリックスについては、レーリー減衰を設定した。レーリー減衰の定数は、固有振動解析によって各モード毎の減衰定数を求め1次と6次の減衰定数と固有円振動数からレーリー減衰の定数を算出した。図-1に解析モデルを示す。

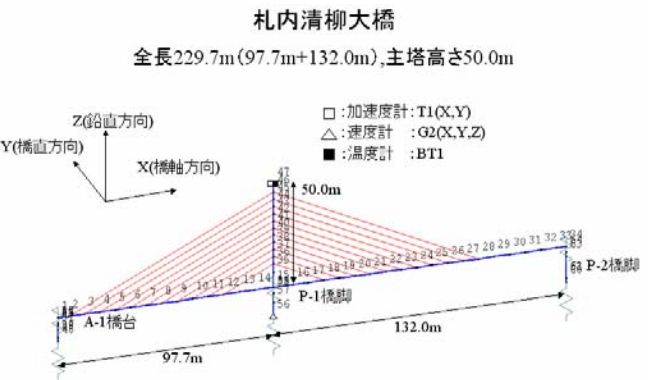


図-1 解析モデル

表-1 固有振動特性

モード	モデル A ($T_A=12.4^{\circ}\text{C}$)				モデル B ($T_B=24.4^{\circ}\text{C}$)				モデル C ($T_C=-5.9^{\circ}\text{C}$)			
	固有振動数 [Hz]		減衰定数 [%]		固有振動数 [Hz]		減衰定数 [%]		固有振動数 [Hz]		減衰定数 [%]	
	計測	解析	計測	解析	計測	解析	計測	解析	計測	解析	計測	解析
1 次	0.615	0.616	1.5964	2.5253	0.607	0.600	1.6224	2.5397	0.635	0.640	0.5832	2.5050
2 次	0.809	0.731	0.3690	3.7880	0.806	0.731	0.2455	3.7876	0.820	0.730	0.4046	3.7875
3 次	1.133	1.105	0.8268	1.8010	1.124	1.090	0.8231	1.8075	1.161	1.128	0.6400	1.7903
4 次	1.663	1.561	0.7428	2.5220	1.677	1.540	0.6357	2.5151	1.684	1.594	0.7495	2.5333
5 次(解析は9次)	4.980	4.467	0.2644	3.4980	4.984	4.467	0.4781	3.4977	5.142	4.466	0.9347	3.4969

キーワード：ERA, 温度荷重, 固有振動特性, 時刻歴応答解析
連絡先：〒090-8507 北海道北見市公園町 165 番地 TEL 0157-26-9472 FAX 0157-23-9472

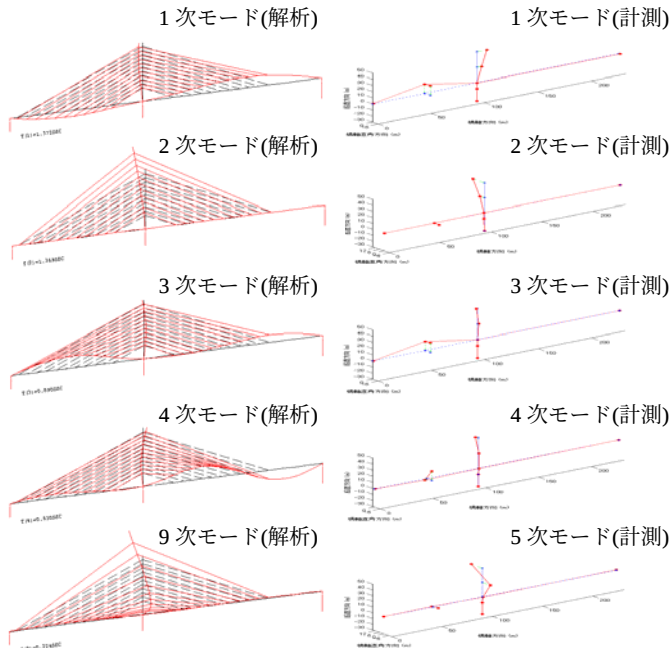


図-2 固有振動モード

4. 固有振動解析

3つの解析モデルで温度による構造特性の変化を想定した固有振動解析を行った。また2006年の1月、5月、8月、10月に札内清柳大橋で観測された常時微動データに対してERA(Eigensystem Realization Algorithm)⁴⁾を適用して、固有振動特性を求めた。ERAによって得られた固有振動数と固有振動解析によって求められた固有振動数の比較を表-1に、固有振動モードの比較を図-2に示す。計測では長支間側に測点がないため、長支間側が振動するモードは把握できなかったものの、4次モードと5次モードの間に幾つかのモードがあると推定される。図-2のモード形状からは、計測の5次モードが解析の9次モードと対応していることが分かった。

解析によって求められた固有振動数と計測から求められた固有振動数を比較すると、解析値は計測値より数%高い。また、季節変動はいずれも夏季には1%程下がり、冬季には2%程上がる傾向を示した。減衰定数については、計測と解析で10倍程の差異が生じているモードもある。これは、常時微動データを用いて計測の減衰定数を算出したため、減衰の振幅依存性によって小さな値となったと考えられる。

5. 時刻歴応答解析

動的応答解析は2005年8月16日に対象橋梁で観測された地震波を入力する。図-3に入力地震波の加速度波形とフーリエスペクトルを示す。この時観測された対象橋梁の主塔頂部の応答加速度とモデルA~Cに対する時刻歴応答解析により計算された応答加速度を比較する。

結果の一例として応答加速度の最大値が大きい橋軸方向の主塔頂部の応答加速度波形とフーリエスペクトルを計測、解析3つ分の計4つを重ねた波形を図-4に示す。応答加速度波形は、計測、解析共に最大応答加速度に到達する時間が近く、解析と計測の差異が3gal以内となっている。更に、最大応答加速度に到達した後の応答量の変化や応答加速度の値もほぼ同程度となっている。また、温度荷重の影響については今回の解析では、解析モデル間で応答加速度が0.02galの差異が生じただけで、温度荷重が時刻歴応答解析に与える影響はごくわずかであった。

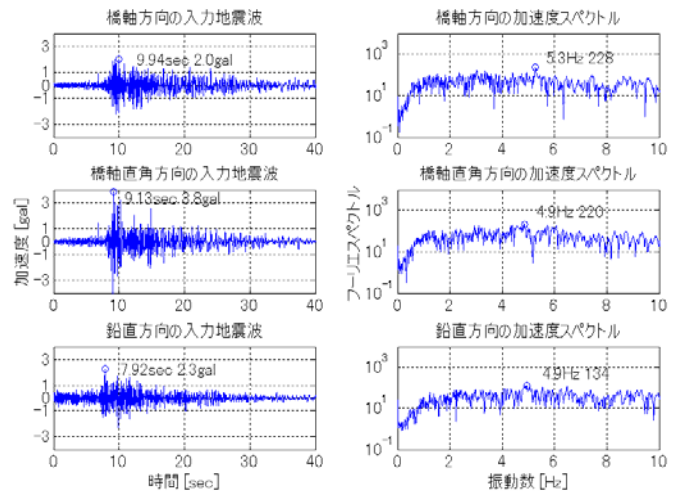


図-3 入力地震波

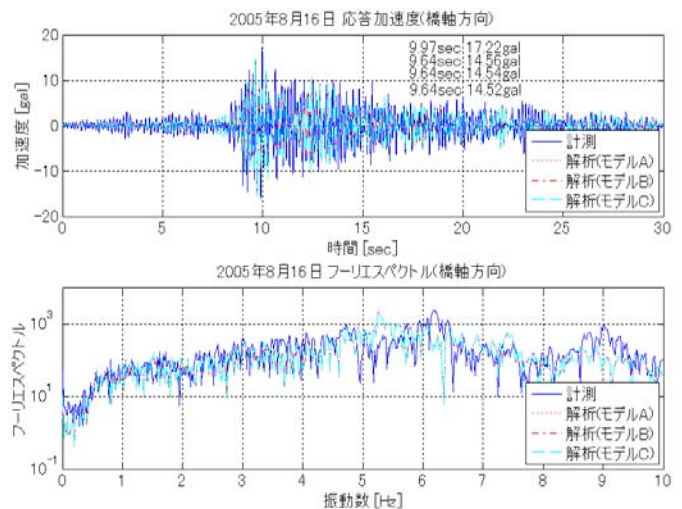


図-4 応答加速度(橋軸方向)

6. おわりに

本研究では対象橋梁の札内清柳大橋の測定データから斜張橋の解析モデルに温度荷重を設定し、夏季と冬季で変動する固有振動特性を再現した。また、対象橋梁で観測された地震波を入力し、時刻歴応答解析を行なった。その結果、固有振動特性や応答加速度が計測と解析で整合したが、温度荷重を導入した解析モデル間で、動的応答量には大きな変化はなかった。

今後の課題として標準地震動等の比較的大きい地震動を入力した場合についても検討を行なう必要がある。

最後に設計資料などをご提供いただいた北海道帯広土木現業所に対し深く感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 宇佐美勉, 織田博孝: 鋼構造物の耐震解析法および耐震照査法に関する研究展望土木学会論文集 I 668 巻 54 号 p p.1-16 2001.
- 2) 北海道帯広土木現業所北海道開発コンサルタント(株): 幕別帯広芽室線第二札内橋新設工事上部工修正設計報告書 1997.
- 3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 1996.12.
- 4) Jer-Nan Juang: Applied System Identification pp.121-173 1994.