

小規模吊橋の耐風索設置角度による挙動

高知工業高等専門学校 学生会員 藤川昌也
高知工業高等専門学校 非会員 小田憲史

1. 緒言

高知県香美市を流れる物部川の上流から下流の吊橋を調査した結果、15橋ほど確認することができた。これらの吊橋のほとんどが、橋長が30m~50m、幅員が2m前後の人道橋で、国道と物部川を挟んだ向かい側の民家とを結ぶ生活道路、災害時の避難路に利用されている。ところが、吊橋によっては金属の腐食、部材の座屈、耐風索の破断したものがあり、補修・補強や維持管理が急がれる。中でも耐風索が破断している吊橋は、主塔間37.4m、幅員が2.0mで、桁組と主塔の一方が使用済と思われるレールが使われ、床版厚さが2.0cmの木床であり、特に補修が急がれる。そこで、本研究ではこの吊橋をモデルとして、耐風索の配置による吊橋としての耐風性能と地震時の挙動を解析的に調査する。

2. 解析モデル

2.1 解析モデル形状

吊橋主塔間は37.4m、幅員は2.0m、主塔1と主塔2の高さは2.48m、3.80m、主索はφ30、サグ比は0.06であった。図1に吊橋の形状と座標系を示す。

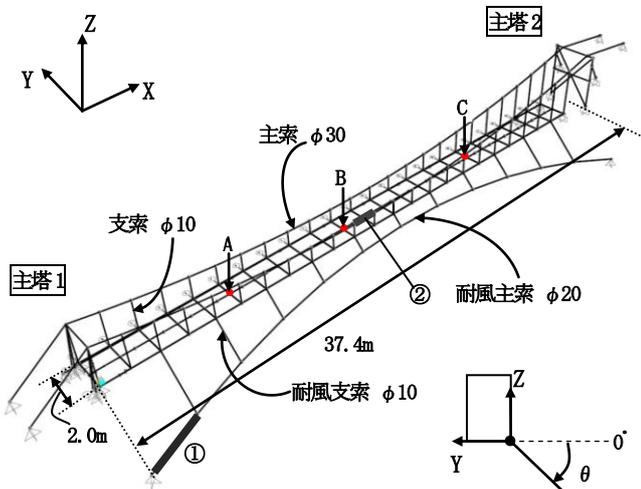


図1 吊橋の解析モデル

耐風主索φ20、耐風支索φ10、耐風主索のサグ比を0.10とし、耐風索設置角度を水平面($\theta=0^\circ$)から図1のX軸回りに15°刻みで90°まで回転した全7モデルを考えた。そして、全てのモデルに対し、耐風主索の張力が40kN¹⁾となるつり合い状態を初期解析モデルとした。また、耐風索がないモデルの解析を試みたが、不安定のため解析不能であった。解析モデルの総節点数は189、総要素数は299、支点は20ヶ所である。

2.2 断面性能

断面性能を表1に示す。ケーブル部材の断面積は実断面積とした。レールについては断面の入力が困難なので、表1に示したような断面形状とし、断面積と断面2次モーメントを近似させた。また、各部材の単位体積重量は76.97kN/m³で統一した。ヤング率については、ケーブル(索)では 1.37×10^8 kN/m²、鋼材では 2.00×10^8 kN/m²とした。

表1 各部材の断面形状(A: $\times 10^{-4}$ [m²], I: $\times 10^{-7}$ [m⁴])

桁・横架材	主塔1	主塔2	斜材
			
A=7.62 I=2.74	A=11.4 I=6.37	A=17.9 I=64.2	A=12.7 I=6.65
筋交	主索	耐風主索	支索
			
A=1.32 I=0.0138	A=4.38	A=1.95	A=0.487

2.3 境界条件

ケーブルの支点はX・Y・Z方向移動固定、回転フリーとし、主塔1の支点は移動固定、回転フリー、主塔2の支点と主塔2の控え柱の支点は移動固定、Y軸回転フリー、X・Z軸回転固定とした。また、桁組の支点はX方向移動フリー、Y・Z方向移動固定、Y軸回転フリー、X・Z軸回転固定とした。

2.4 荷重条件と質量条件

死荷重としてケーブルと桁組の荷重は単位体積重量から求め、木床の荷重は桁組の節点に振り分けた。風荷重は、吹下ろし荷重4.41kN/m² \times 0.6、吹上げ荷重4.41kN/m² \times (-0.9)とし、桁組み節点に振り分け、横風は部材の見付け面積に等分布荷重とした²⁾。質量については、死荷重の荷重より計算し各節点に振り分けた。

3. 解析方法

解析は、汎用構造解析ソフト SAP2000(Ver.14)³⁾を使用し、主に静的解析と動的解析の2つを行った。

3.1 非線形荷重増分解析

風荷重の吹き上げ時と吹き下げ時の解析は、荷重増分法を使い、増分回数は10回とした。

3.2 振動モード解析

振動モード解析は、12次モードまで解析を行った。なお、振動モード解析に用いた解析モデルは、初期つり合い状態である。

3.3 非線形時刻歴解析

入力に用いた地震波は、エル・セントロ NS 波(最大加速度 340gal)とし(図2), 0秒から30秒を0.02秒刻みでY方向に入力した。解析は、直接積分法を使い、減衰はレイリー減衰を用いた。

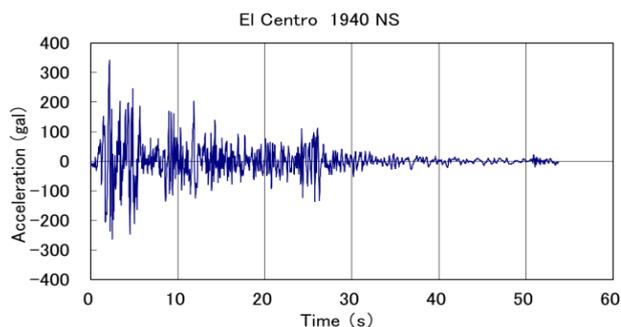


図2 エル・セントロ地震波

4. 解析結果

4.1 非線形荷重増解析結果

耐風索が、風荷重に対して耐風性能を発揮するのは吹き上げ時であるため、本論では、吹き上げ時の耐風性能についてまとめる。なお、耐風索角度が0°の解析モデルは、発散したため解析不能であった。図3に橋の midpoint(図1のB点)のY・Z方向変位と設置角度の関係を示す。

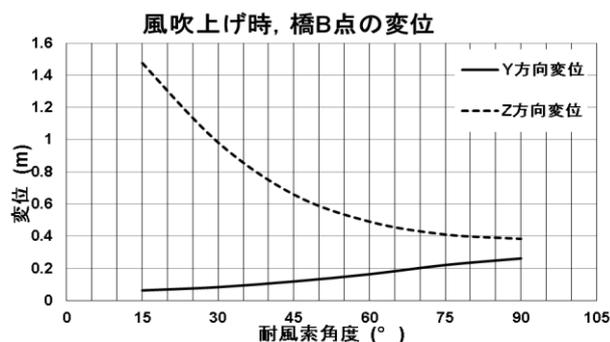


図3 風吹き上げ時、橋B点の変位と角度の関係

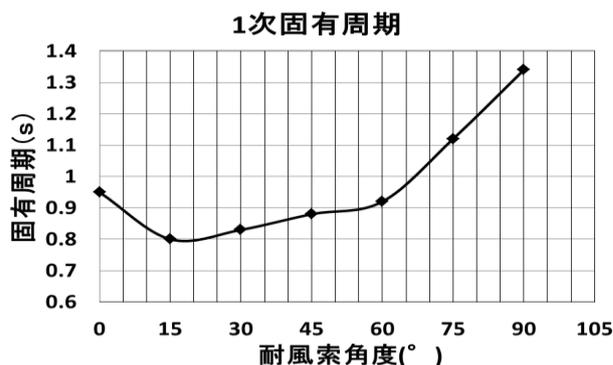


図4 1次固有周期と角度の関係

4.2 振動モード解析結果

4.3 非線形時刻歴解析結果

耐風索が、風荷重に対して耐風性能を発揮するのは吹き上げ時であるため、本論では、吹き上げ時の耐風性能についてまとめる。なお、耐風索角度が0°の解析モデルは、発散したため解析不能であった。図3に橋の midpoint(図1のB点)のY・Z方向変位と設置角度の関係を示す。

4.2 振動モード解析結果

耐風索角度の角度毎と1次固有周期の関係を図4に示す。

4.3 非線形時刻歴解析結果

図5に主索と耐風主索の最大応答軸力と耐風索角度の関係を示す。主索、耐風索ともに角度が45°以上になるとほぼ一定になっている。図6に桁組のA点、B点、C点(図1)の最大応答変位と耐風索角度の関係を示す。変位についても45°以上になるとほぼ一定になっている。

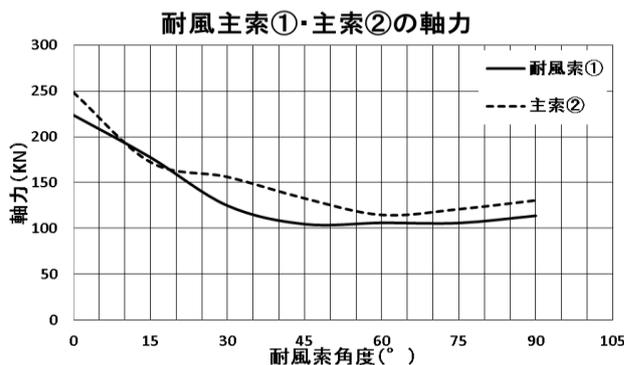


図5 耐風索・主索の最大応答軸力と角度の関係

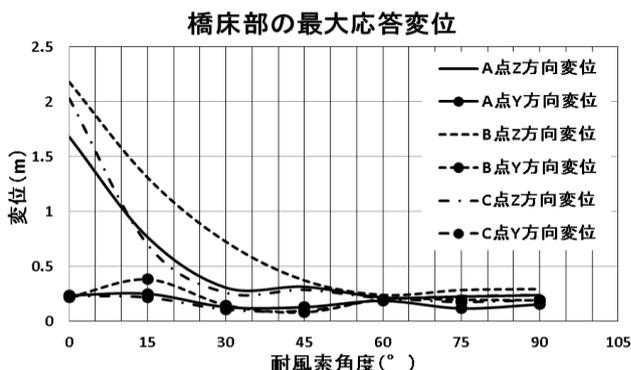


図6 橋床部の最大応答変位と角度の関係

5. 結 言

①風の吹き上げでは、耐風索60°~90°の間で変位が小さい。②振動モード解析では15°で最小の0.80s、90°で最大の1.34sとなった。③地震応答解析では、耐風索の最大応答軸力は45°以上は一定になる。

今後は、この吊橋に比べ、床板の重量が大きい吊橋を同様に解析し、耐風索の性能の比較・検討を行う予定である。

文 献

- 1) 社団法人日本道路協会, 小規模吊橋指針・同解説, (1984).
- 2) 日本建築学会, 建築物荷重指針・同解説, (2004), p. 37, 日本建築学会.
- 3) 構造解析オブジェクト, SAP2000 入門チュートリアル.