

箱根西麓・三島大吊橋(三島スカイウォーク)の振動試験

川田テクノロジーズ 正会員 ○甲木 里沙
 正会員 畠中 真一
 川田工業 正会員 田中 寛泰

1. はじめに

富士山と駿河湾を見渡せる風光明媚な高台に建設された「箱根西麓・三島大吊橋」は、無補剛形式の吊橋としては日本一の支間長 400m を有する人道吊橋であり、新たな観光名所として 2015 年 12 月に開通した¹⁾。本橋の設計に際しては、固有値解析の結果から振動諸元を仮定し、耐風挙動に関する安定性の検討^{2,3)}を実施している。今回、これらの検討の妥当性を検証すべく実橋での振動試験を行った。振動試験では図1に示すような最大 63 名での歩行試験や強制加振を行い、固有振動数と減衰特性を直接計測したほか、歩行時の安定性についてアンケート調査を行ったので、併せて結果を報告する。



図1 加振状況

2. 試験概要

試験では、より多様な振動モードが分析できるよう橋長の 8 分点の中から、図2の①～⑧に示す位置に 8 基の加速度センサを配置した。このうち、2/8・4/8・6/8 の各地点には、山側と海側の高欄基部付近に 1 基ずつセンサを配置し、鉛直加速度の差分から、ねじれ振動成分を検出できるようにしている。また、水平振動の測定では、センサの感度方向を適宜盛り換えて測定を行った。測定にあたっては、常時微動の記録にはじまり、少人数から最大 63 名での歩行や強制加振によって振動を発生させ、加振停止後の応答振幅を記録した。フィルタによりモードを分離して減衰特性を求める一方、複数点の振動波形の相関関係などの分析からモードを同定した。

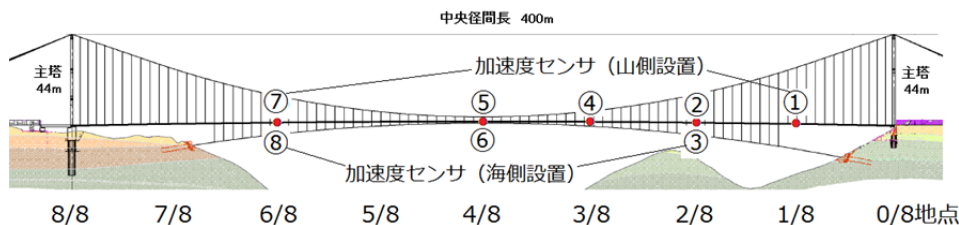


図2 8分点と加速度センサ配置

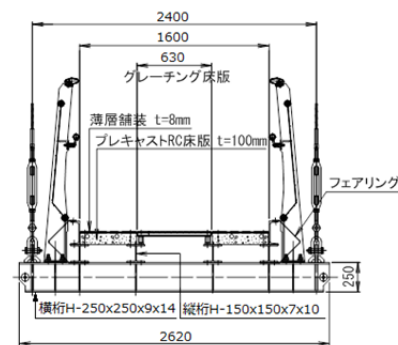


図3 断面図

表1 最低次の振動数と解析結果の比較

振動モード図(解析値)		解析値 (モード形)	計測結果 f (Hz)	計測結果 対数減衰率 δ
たわみ		0.28 Hz (対称2次)	0.31 Hz	0.03
ねじり		0.58 Hz (逆対称1次)	0.65 Hz	0.07
水平		0.17 Hz (対称1次)	0.20 Hz	0.06

キーワード: 吊橋 振動試験 固有振動数 減衰率 人力加振

〒321-3325 栃木県芳賀郡芳賀町芳賀台 122-1 TEL 028-687-2217 FAX 028-677-5892

3. 試験結果と考察

(1) **固有振動特性** 各振動試験から得られた、たわみ・ねじり・面外水平の最低次の振動数と対数減衰率および固有値解析の結果を、表1に示す。実測された最低次の振動数は、たわみが0.31Hz、ねじりが0.65Hz、面外水平が0.20Hzとなり、解析値よりも10～15%高めの振動数となった。対数減衰率はそれぞれ0.03, 0.07, 0.06と比較的大きな値になっており、歩行などの外力により振動が発生しても振幅が増大するような危険は生じにくいと考えられる。耐風検討時に仮定した、たわみとねじりの振動モードは、それぞれ $f_h=0.24\text{Hz}$ (逆対称1次)と $f_\theta=0.34\text{Hz}$ (対称1次)であったことから、これらのモードを再現する強制加振も実施したが、減衰波形の分析によると、加振時よりも高次のモードのみが観察された。固有値解析から得られた最低次モードは、加振してもすぐに別のモードに移行する性質の振動か、もしくは減衰率が十分に大きな振動モードであったと考えられる。対数減衰率についても想定値(たわみ $\delta_h=0.02$, ねじり $\delta_\theta=0.03$)よりも大きな値が得られており、耐風検討の結果は十分な安全性が確保されていると判断される。

(2) **振動数の分布** 図4は、自由歩行中のFFT解析結果である。図4(a)に見られる0.73Hzおよび1.37Hzのピークは、たわみの固有振動数である。他に1.6～1.8Hzに2つのピークがあり、図4(b)では、0.6～0.9Hzに4つのピークが散見されるが、これらは自由減衰時には観察されないことから、歩行から発生する振動を直接計測したものと判断される。前述した0.20Hzの水平振動は、加速度の値としては非常に小さく、図4(b)では殆ど見えていない。以上の結果から、供用後の振動として懸念される2.0Hz前後の鉛直振動や1.0Hz前後の水平振動が歩行時に増大するような現象は、発生しにくいと考えられる。

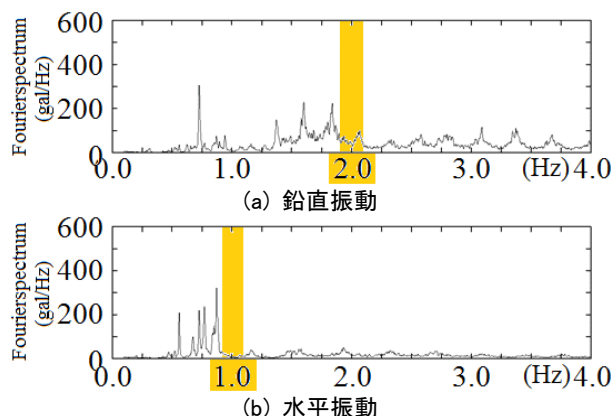


図4 自由歩行時の振動スペクトル分布

(3) **アンケートの結果** 振動試験の加振協力者を対象に、揺れと歩きやすさに関するアンケート調査を行った。自発的に参加された方々を対象としているため、母集団に偏りがあると予想されるものの、図5に示すように「思ったよりゆれない」と「ゆれは感じなかった」を合わせると全体の85%となった。残りの15%にあたる6人が「ゆれが大きい」と感じているが、自由回答欄では「もう少しスリルがあってもよい」や「もう少しゆれてもよい」という意見もあり、揺れを期待して渡る趣向が垣間見える結果となっている。歩きやすさの面では図6に示すように、93%が「まったく問題ない」又は「歩きにくいほどではない」と回答しており、「歩きにくい」という回答は7%に留まった。なお、「歩きにくい」の程度に関しては全回答とも「少し歩きにくい」であった。

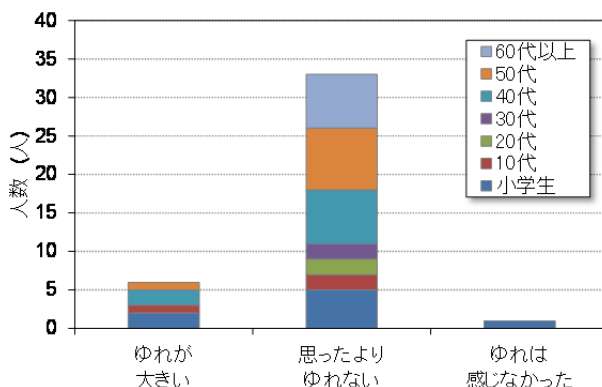


図5 アンケート結果【ゆれの程度】

4. おわりに

実橋振動試験により、箱根西麓・三島大吊橋の基本的な振動特性を把握することができた。設計当初に想定していた固有振動数および減衰率の仮定も、安全性を評価する上で適切であったものと判断され、耐風安定性に関する検討が極めて妥当なものであったことが確認できた。また、歩行性に関しても安定性の高い構造物であることが確認され、今後、同様の形式・規模の橋梁を計画する際の有用な知見となるものと考えられる。

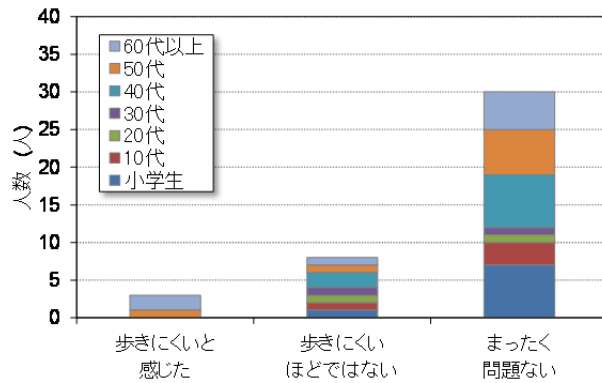


図6 アンケート結果【歩きやすさ】

- 【参考文献】1)長尾, 田口, 向笠, 田中, 杉本, 本江:箱根西麓・三島大吊橋の建設 ～日本一の人道吊橋～, 川田技報, Vol.35, 2016.1.
2)宮澤, 大村, 岩井, 小笠原, 畠中:箱根西麓・三島大吊橋の計画(3)耐風対策, 土木学会第67回年次学術講演会, I-358, H24.9
3)畠中, 小笠原, 大野:箱根西麓・三島大吊橋の耐風検討, 川田技報, Vol.32, 2013.1.