

上路式 PC 吊床版橋の振動特性の比較検討

金沢大学大学院 学生員 ○山田智之
金沢大学大学院 正会員 梶川康男
金沢大学大学院 正会員 深田宰史

1. まえがき

従来から国内外において架設されている、PC 吊床版橋の床版上に鉛直材を配置し、その上に路面となる上床版を架設するという形式の橋梁に上路式 PC 吊床版橋がある¹⁾。その特徴として、橋面の形状に左右されることなく吊床版のサグを設定し張力コントロールをすることができる。サグ量を大きくできるので経済的である。路面の横断勾配を小さくできるのでバリアフリーに対応した形式であることなどが挙げられる。その一方で、低振動数領域に多くの固有振動数を持つことが考えられ、歩行者の歩行時に大きな振動が発生し不快感を与える可能性がある。本研究ではこの上路式 PC 吊床版橋を対象として、動的解析を行い対象橋梁の振動特性について調べた。また、実橋実験を行い解析結果との比較から解析手法の妥当性を検討した。さらに、吊床版橋や他の形式の橋梁と、その振動使用性について比較した。

2. 実験概要

対象橋梁の一般図、実験時の測点配置図を図-1 に示す。支間長 55m、吊床版のサグ量は 2.2m である。また、本橋と同程度の支間を有する吊床版橋 2 橋（支間長はそれぞれ 51m と 60m、サグは 1.4m と 1.8m）¹⁾、また他形式の橋梁として自旋式上路 PC 吊橋（支間 39m、サグ 2.565m）²⁾、張弦橋（支間 40m、張弦ケーブルの偏心量 2.55m）³⁾。を比較対象とした。図-2～5 にその一般図を示す。さらに本橋は上床版の支間中央にゴム製の伸縮継ぎ手が設けられている。この橋梁に対して、振動特性を把握するために振動実験（衝撃加振実験、定点加振実験、歩行走行実験）を行った。また比較対象とした橋梁についても同様の実験を行った。

3. 解析概要

解析モデルとして対象橋梁を図-5 に示すように、3 次元骨組み構造にモデル化した。上床版、吊床版、鉛直材は梁部材、ケーブル部材は幾何剛性を考慮した弦部材、横継ぎ材は剛部材としてモデル化した。また、上床版支間中央に設けられているゴム製の伸縮継ぎ手をばね要素により考慮し、解析を行った。

4. 固有振動特性

実験と固有値解析の結果、ならびに比較対象とした橋梁での実験の結果より得られた値を表-1 に示す。また他の吊床版橋についても同様の実験を行い、得られた結果を加えて比較したものを図-6 に示す。これよりたわみ振動の場合、吊床版橋ではサグなどの影響から、概ね最低次に逆対称モードが現れ、次いで対称モードの順に現れており、それらの振動数は非常に近接している。今回対象とした上路式 PC 吊床版橋についても、他の吊床版橋と同様の結果が得られ、振動数と支間との関係も図に示した双曲線で概ね近似できる範囲に入っている。水平方向の振動モードは、上床版支間中央部に挿入されているゴムが影響して水平 2 次モードにおいて解析との振動数に相違が見られた。また実験結果から、支間中央部において水平 1 次モード、水平 2 次モードは、上床版、下床版それぞれがねじれていたが、上床版、下床版の橋軸直角水平方向の位相が水平 1 次では同じであり水平

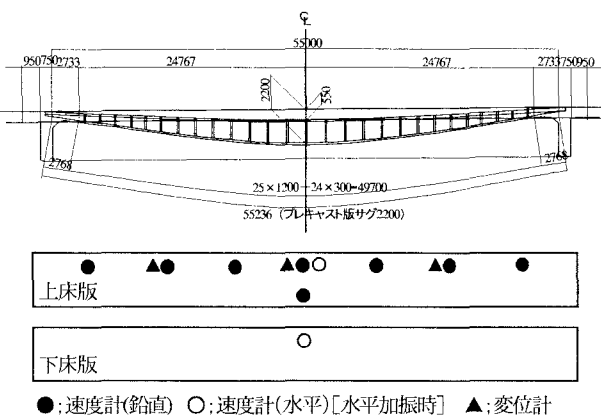


図-1 一般図・測点配置図

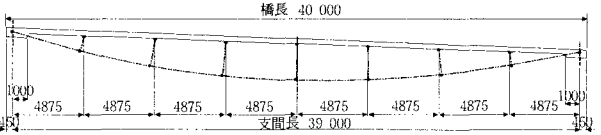


図-2 自旋式上路 PC 吊橋

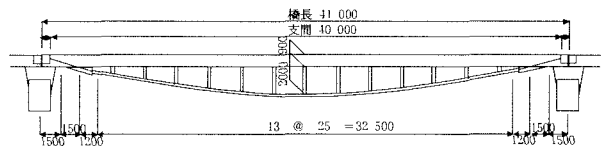


図-3 張弦橋

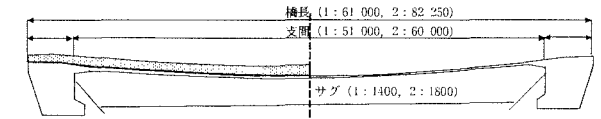


図-4 吊床版橋

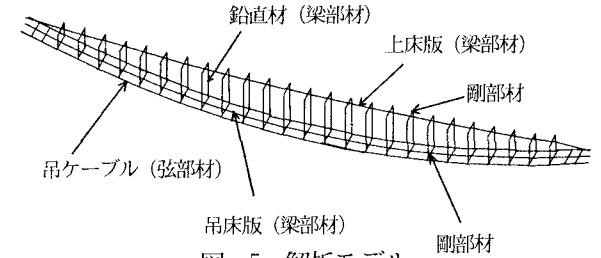


図-5 解析モデル

2 次では逆位相となっていた。また本橋では、人が歩いた時の歩調範囲である 1.5~2.5Hz には、たわみ対称 1 次とたわみ対称 2 次の 2 つの固有振動数が、走行範囲である 3.0Hz 付近には水平 1 次、逆対称 2 次、水平 2 次の固有振動数の存在が確認できた。

5. 減衰特性

実験・解析より得られた減衰定数を、比較対象橋梁の値とあわせて表-2 に示す。また、他の吊床版橋の支間長と減衰の関係を図-7 に示す。その結果、本橋の値は概ね 0.7~0.9% の範囲にあることがわかった。これは他の吊床版橋に比べて小さい値となっている。他形式の橋梁とは違いが見られた。これらを説明するため、各部材のひずみエネルギー比に着目した。比較対象橋梁のうち、自旋式上路 PC 吊橋、張弦橋について、各振動モードの固有振動解析により得られた、全振動エネルギーに対する部材のひずみエネルギーの比を図-8 に示す。これによると、本橋の場合、逆対称 1 次、2 次モードでは鉛直材のエネルギー比率が他に比べて大きくなっており、対称 1 次、2 次モードでは下床版の比率が大きくなっていった。また、水平 1 次、2 次振動については、それぞれ下床版、上床版を主体とする水平振動であることがわかった。

6. 動的応答特性

歩行者の振動に対する心理的な影響からみた振動じよ限度に対し、人間の歩行・走行の歩調範囲と考えられる (1.5~3.0 歩/秒) 付近において先に得られた卓越振動数とその時の最大応答値との関係を図-9 に示す。また較対象橋梁においても実験において得られたものとを合わせて示す。これによると、人間の歩調範囲である 2Hz 前後に存在するたわみ対称 1 次モード、対称 2 次モードの値は Wheeler・Kajikawa の提案値を超えているが、実験では強制的に振動させて得られた結果であるということを考慮すると日常の利用時での歩行外力では問題は生じないであろうと考えられる。また、本橋の値は同程度の支間の吊床版橋に対しては比較的近い値を示しているが、他形式の橋梁と比べると大きい値をとることがわかる。特に、張弦橋とは大きな違いが見られるが、この要因としては、張弦橋が本橋に比べ幅員が約 4 倍程度と大きく、これにともない質量も大きくなっているため、歩行外力が相対的に小さくなり、使用性の応答値も小さくなったものと考えられる。

7. おわりに

今回対象とした上路式 PC 吊床版橋において、実験と解析および他の橋梁との比較を通じて、その振動特性が吊床版橋に近い傾向を示す結果が得られた。

参考文献

- 1) 梶川康男, 深田幸史, 吉川裕晃, : 単径間 PC 吊床版橋歩道橋の振動特性, 構造工学論文集, Vol.44A, pp811~817, 1998.
- 2) 梶川康男, 犬島秀治, 角本周, 大沼孝司, 堀達浩: 自旋式上路 PC 吊橋の構造特性と振動使用性, 構造工学論文集, Vol.45A, pp1377~1386, 1999.
- 3) 近藤真一, 内村高利, 中積健一, 梶川康男, 前田研一: 斜張橋を複合させた張弦桁橋の構造特性と振動使用性, 構造工学論文集, Vol.46A, pp1449~1459, 1999.

表-1 固有振動数 (Hz)

次数	上路式 PC 吊床版橋 (解析値)	上路式 PC 吊床版橋 (実験値)	PC 吊床版橋 (支間 51m)	PC 吊床版橋 (支間 60m)	自旋式上路 PC 吊橋	張弦橋
たわみ逆対称 1 次	1.30	1.4	1.61	1.27	1.65	4.91
たわみ対称 1 次	1.77	1.7	1.78	1.59	1.17	1.71
たわみ対称 2 次	2.49	2.5	2.91	2.34	3.86	-
たわみ逆対称 2 次	2.99	3.2	4.3	3.25	-	-
水平 1 次	2.81	2.8	-	-	-	-
水平 2 次	3.47	3.0	-	-	-	-
水平ねじれ連成 1 次	-	-	3.54	2.81	4.74	-

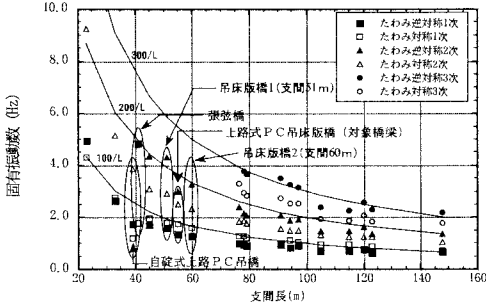


図-6 他の吊床版との固有振動数の比較

表-2 減衰定数 (%)

次数	上路式 PC 吊床版橋 (解析値)	上路式 PC 吊床版橋 (実験値)	PC 吊床版橋 (支間 51m)	PC 吊床版橋 (支間 60m)	自旋式上路 PC 吊橋	張弦橋
たわみ逆対称 1 次	0.70	0.78	0.69	0.82	1.20	1.59
たわみ対称 1 次	0.92	0.93	1.16	1.39	0.67	1.31
たわみ対称 2 次	0.71	0.65	1.00	1.06	1.06	-

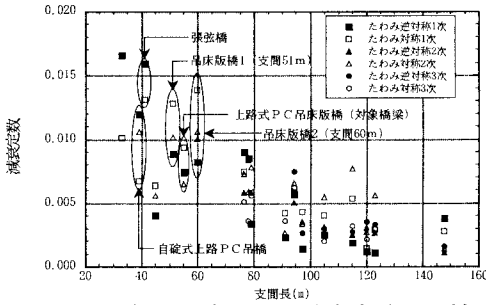
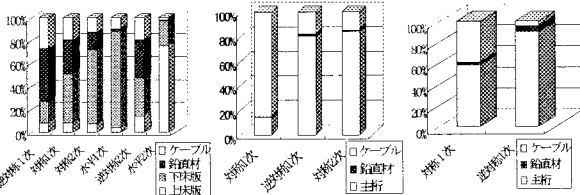


図-7 他の吊床版との減衰定数の比較



(a) 上路式 PC 吊床版橋 (b) 自旋式上路 PC 吊橋 (c) 張弦橋

図-8 各橋梁のひずみエネルギー比

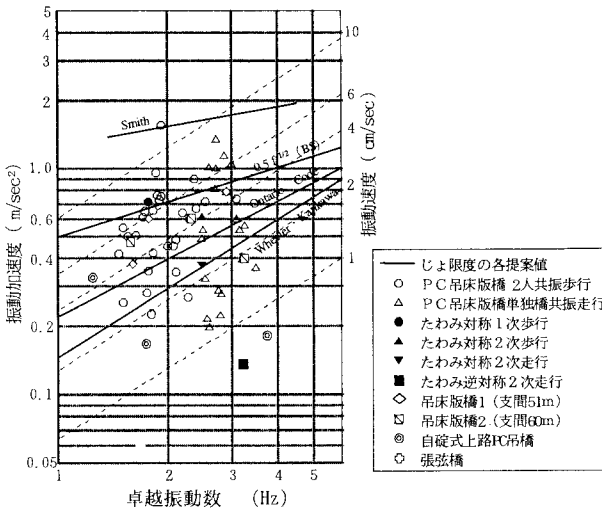


図-9 振動じよ限度