

鳥崎川河川公園歩道橋の固有振動特性評価

室蘭工業大学 学生員 松本 一希
 室蘭工業大学 正 員 小室 雅人

室蘭工業大学 正 員 岸 徳光
 (株) KGE 正 員 巽 治

1. はじめに

鳥崎川河川公園歩道橋は、平成13年に建設された外ケーブル式2径間連続PC中空床版橋である。本歩道橋は、世界的にも例のない型式であることから、完成後の振動特性を確認するため、人力による加振実験を実施した。また、今後の維持管理の観点から有限要素法による固有振動解析を行い、実験結果と比較することにより、解析手法の妥当性を検討した。

2. 加振実験概要

図-1には、鳥崎川河川公園歩道橋の概要図を示している。本実験では、本橋の固有振動特性を精度良く計測するために、曲げおよび水平振動成分観測時には中央径間に、ねじり振動成分観測時には桁両側端部にサーボ型加速度計を設置することとした。また、同図には人力による加振位置を示している。図中の case 1 および case 2 では桁上各点で数秒間ジャンプすることにより鉛直振動成分を、case 3 では上流側から下流側へ走行することにより水平振動成分を励起させることとした。なお、サーボ型加速度計による応答加速度波形はアンプ内蔵のメモリーレコーダーを用い 100 Hz で一括収録している。

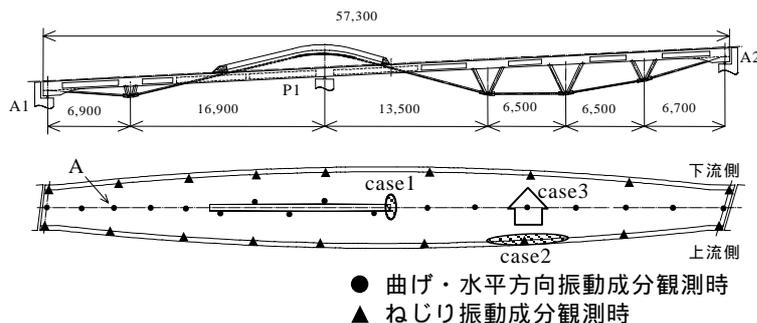


図-1 本橋の概要図

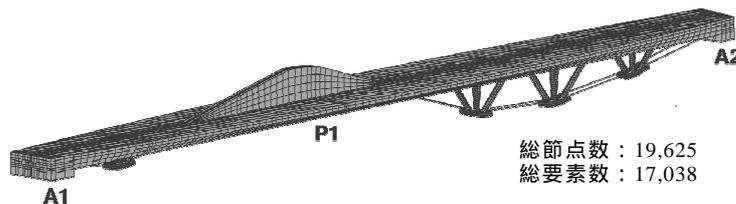


図-2 要素分割状況

表-1 物性値一覧

(a) ケーブル，鉄筋コンクリート，舗装部

	弾性係数 E (GPa)	ポアソン比	単位体積質量 ρ (kg/m ³)
鉄筋コンクリート	35.0	0.167	2,480
ケーブル	206	0.3	7,850
舗装部	1.00	0.35	2,300

(b) 積層ゴム支承の物性値(設計値)

支承位置	鉛直剛性 K_c (kN/cm)	水平剛性 K_m (kN/cm)
A1	6,390	29.6
P1	33,930	171.8
A2	9,280	37.1

3. 有限要素法を用いた固有値解析仮定

本解析では、橋桁部および舗装部に8節点あるいは6節点固体要素，ケーブル取付部に4節点あるいは3節点シェル要素，ケーブルに3次元梁要素を用いてモデル化している。また、高欄部は、計算の簡略化を図るため質量および剛性を等価としたシェル要素でモデル化している。なお、本橋の支承部には、積層型反力分散ゴム支承が設置されている。ここでは、ゴム支承の異方性を簡易に考慮するために鉛直剛性および水平剛性が等価となるように梁要素でモデル化している。その剛性特性は外力条件に大きく依存することから、後述の加振実験結果を踏まえ水平剛性を設計値の1, 2, 3, 3.5, 4倍と変化させて解析を試みた。図-2には本橋の要素分割状況を示している。総節点数および総要素数は19,625, 17,038である。表-1には、本解析で使用した物性値を一覧にして示している。表中のゴム支承の物性値は設計値である。

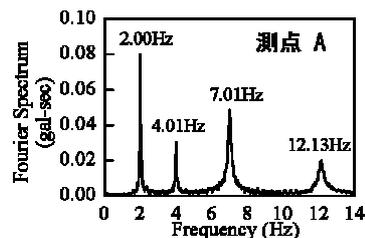


図-3 フーリエスペクトル (曲げ振動)

固有振動解析は、構造解析用汎用プログラムである ABAQUS を

キーワード：外ケーブル式，PC 中空床版橋，固有振動，人力加振，有限要素法

連絡先：〒050-8585 室蘭市水元町 27-1 室蘭工業大学 TEL 0143-46-5230 FAX 0143-46-5227

用いて実施した。なお、ケーブルの質量は桁端定着部、P1 橋脚上のフィン部およびケーブル定着部に振り分けることとし、ゴム支承の質量は無視することとした。また、計算の簡略化のため、橋桁内部の PC 鋼線、ケーブルの張力および加振時の人間の質量は無視している。

4. 実験結果および解析結果

図-3には、実験結果の一例として加振実験時の case 1 測点 A (図-1参照)における曲げ振動のフーリエスペクトル図を示している。各固有振動モードおよび固有振動数は、フーリエスペクトル図から得られた卓越振動数に対応するモード分布図を求め、モードの連成の無いことを確認して特定した。表-2には、このようにして得られた実験結果とゴム支承部の水平剛性を変化させた場合における解析結果を比較して示している。表より、曲げ振動に関する解析結果に着目すると、1次振動数は実験値とほぼ等しいものの、高次振動では若干の差異が生じていることや、水平剛性 K_{mi} の影響は非常に小さいことが分かる。ねじり振動に関しては、解析結果がいずれの場合も実験結果と比較して小さな値を示している。一方、水平振動において、設計値の水平剛性を採用する場合の解析結果は、水平1次振動モードで 0.31 Hz と実験結果 (2.01 Hz) と比較して極めて小さいことが明らかになった。これは、人力加振時の加振エネルギーが小さいため、ゴム支承の変形量も小さく弾性係数が設計値よりも大きく評価されるためと推察される。表より、ゴム支承の水平方向剛性を 3.5 倍とした場合の解析結果が、実験結果とほぼ一致することから、以後の解析は 3.5 倍として処理することとする。

図-4には、実験結果から得られた各振動モードを解析結果と比較して示している。(a)~(c) 図より、曲げ振動モードは、実験結果とほぼ一致したモード分布を示していることが分かる。(d) 図のねじり1次振動モードに関しては、上下流側ともに実験結果の振動モードと若干のずれが生じている。(c), (d) 図の比較的高次の曲げおよびねじり振動モードにおいて、各支点は節とはならず若干の振動を呈している。(e), (f) 図より、水平振動モードに関する実験結果は、1次、2次振動モードとも支点が変位する傾向を示していることが分かる。解析結果は、この特性も含め全体的に実験結果と良く対応していることが分かる。

5. まとめ

外ケーブル式2径間連続 PC 中空床版橋の振動特性を確認するために人力加振実験および維持管理の観点から有限要素法による固有振動解析を実施した。検討の結果、

- 1) 人力加振結果より、本 PC 橋の固有振動特性が明確に把握できた。
- 2) 水平振動モードでは、支承部の振動を確認できた。これは、支承部が反力分散ゴム支承であるためと考えられる。
- 3) 数値解析結果より、ゴム支承の水平方向剛性を設計値の 3.5 倍とすることによって実験結果の水平振動モードがほぼ再現可能であることが明らかになった。

謝辞：本実験を遂行するにあたり、森町役場、シーイーサービス、三井建設(株)およびドーピー建設(株)の関係各位には、多大なご協力を戴きました。ここに記して感謝の意を表します。

表-2 実験値および固有振動解析結果との比較

振動モード	実験値 (Hz)	解析値 (Hz)					
		1.0 K_{mi}	2.0 K_{mi}	3.0 K_{mi}	3.5 K_{mi}	4.0 K_{mi}	
曲げ振動	1次	2.00	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01
	2次	4.00	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83
	3次	7.01	7.36	7.36	7.37	7.37	7.37
ねじり振動	1次	8.53	6.89	6.90	6.89	6.89	6.89
水平振動	1次	2.01	0.31	1.29	1.77	1.98	2.12
	2次	7.84	6.34	6.62	6.92	7.01	7.13

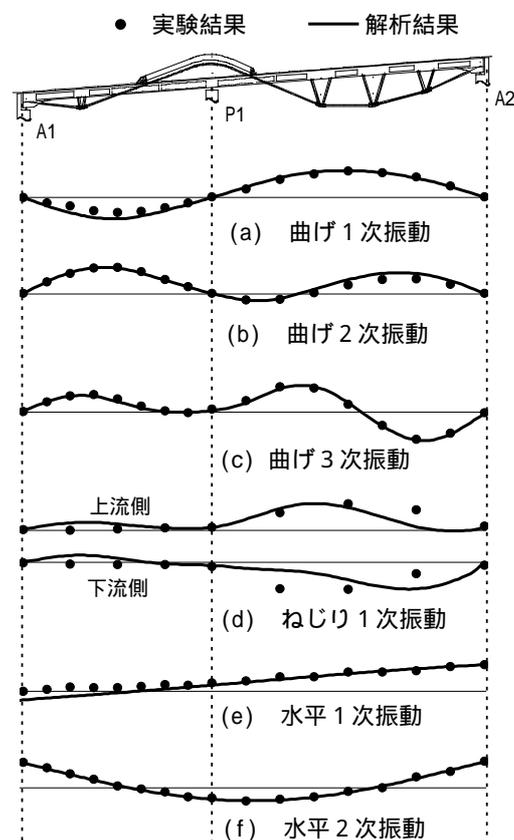


図-4 実験および解析結果におけるモード分布の比較