

鳥崎川公園橋(大偏心外ケーブルトラスPC連続橋)の実橋振動実験

三井建設(株) 技術研究所	○篠崎 裕生
森町役場	釜沢 弘
(株)シーイーサービス	北条 倫史
ドーピー建設工業(株)北海道本店	正会員 竹本 伸一

1. はじめに

著者等は PC 外ケーブルを桁高さ以上に大きく偏心配置することで、合理的な PC 橋梁の構築を可能にする“大偏心外ケーブルトラス PC 橋”の研究開発を行ってきた。鳥崎川公園橋は本構造が採用された 2 径間連続歩道橋である。本構造は従来の PC 橋と比較して軽量なため、桁の剛性が小さくなる傾向にある。そこで、振動の影響を検討するため実橋の振動試験を行い、振動特性の把握および歩行使用性の確認を行った。振動特性(固有振動数、減衰定数)は人力による衝撃加振で、歩行使用性は 2 人あるいは 5 人の等周期歩行で確認した。実験の結果、歩行使用性を損なうような振動は生じないこと、また、はり要素を用いた比較的簡易なモデルにより固有振動数の予測および歩行シミュレーションができることが分かった。

2. 振動実験の概要

写真 1 に鳥崎川橋の全景を示す。また、図-1 に鳥崎川橋の一般構造図を、表-1 に工事概要を示す。

本橋梁は、橋長 56.2m (23m+33.2m) で長径間 3 箇所、短径間 1 箇所のストラットにより桁下に偏心させた外ケーブルを支えている。中間支点部では、外ケーブルを桁上に偏心させるため、コンクリートのフィン内部に外ケーブルを配置する、いわゆるフィンバックを採用した。偏向部(ストラット、フィンバック)においては外ケーブルが自由にスライドできる構造となっている。

本構造は、合理的な外 PC ケーブル配置が可能のため、主桁の軽量化と PC 鋼材使用量の低減などの効果がある反面、主桁剛性が小さくなることによって、活荷重に対する動的応答が従来からの PC 橋と比較して大きくなることが予想される。

本構造を当該歩道橋に適用するにあたり、縮小模型試験体の振動実験および解析を行った。その結果、はり要素を用いた簡易なモデルにより、良い精度で振動特性を予測できること、モデル化の際に、偏向部における外ケーブルのスライドを無視した方が、実験結果との適合性が良いことなどを明らかにした。

ここでは、実橋を用いた振動実験を行うことにより、振動特性予測に対する解析モデルの妥当性を再検証するとともに、歩行使用性の確認とそのシミュレーション解析を検討した。



写真 1 鳥崎川橋全景

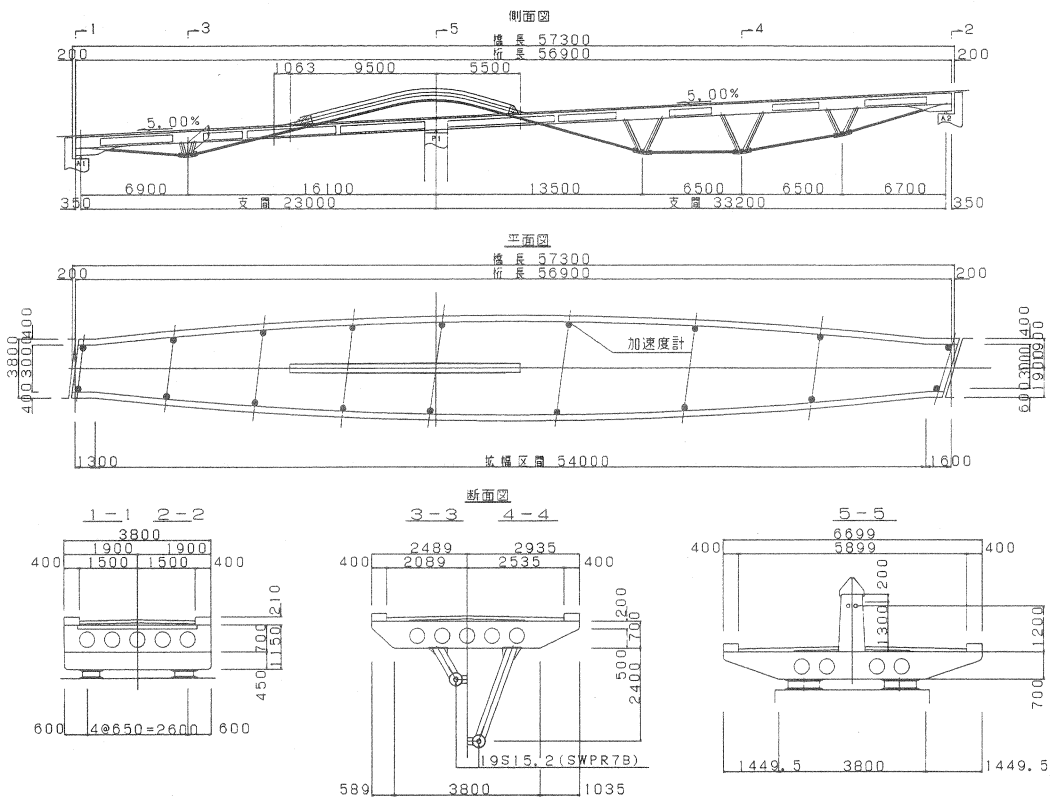


図-1 鳥崎川橋構造一般図

表-1 工事概要

工事名	鳥崎川河川公園整備工事 (人道橋上部工)
構造形式	2径間連続ポストテンション方式 中空床版橋
橋長	57.3m
支間	23.0m+33.2m
有効幅員	3.0m~6.0m
縦断線形	i=5.0%
PC 鋼材(内鋼材)	SWPR7B 12S15.2
PC 鋼材(外鋼材)	SWPR7B 19S15.2 アンボンドマルチケーブル

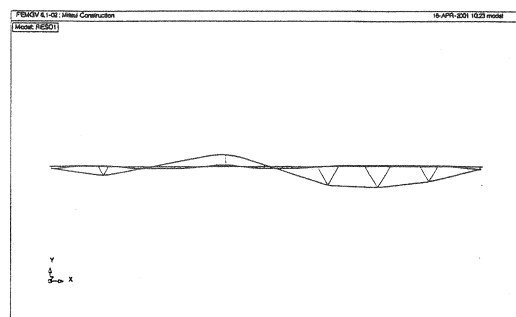


図-2 解析モデル

実験では、振動特性(固有振動数および減衰定数)確認のために、人力による衝撃加振・定点加振を、歩行使用性確認のために歩行試験を行った。なお、加速度の測定は、主桁上面に取付けた加速度計により行った(取付け位置は図-1参照)。

振動解析は、主桁およびストラットにはり要素を、外ケーブルにトラス要素を用いた2次元モデルで行った。解析モデルを図-2に示す。

3. 固有振動数

図-3に3次までの振動モード図を、表-2に固有振動数の実験値と解析値との比較を示す。また、図-4

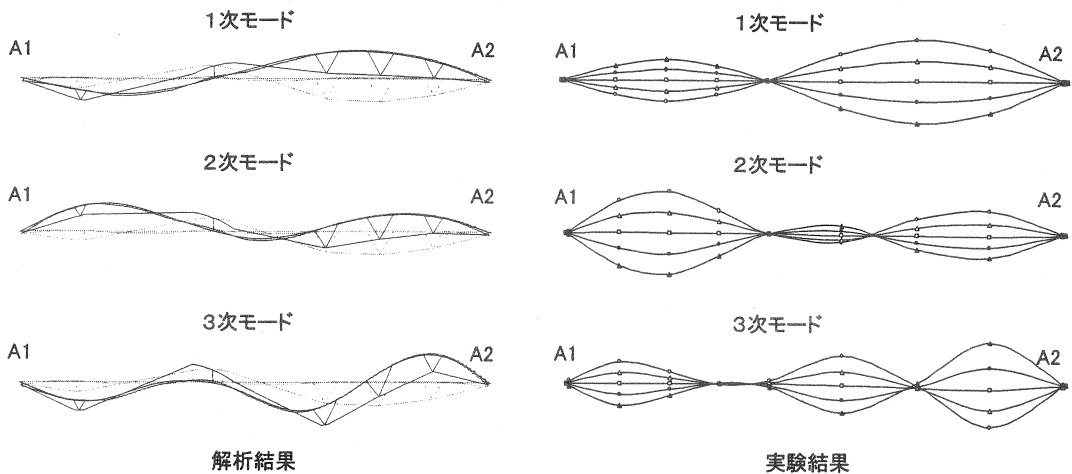


図-3 振動モード

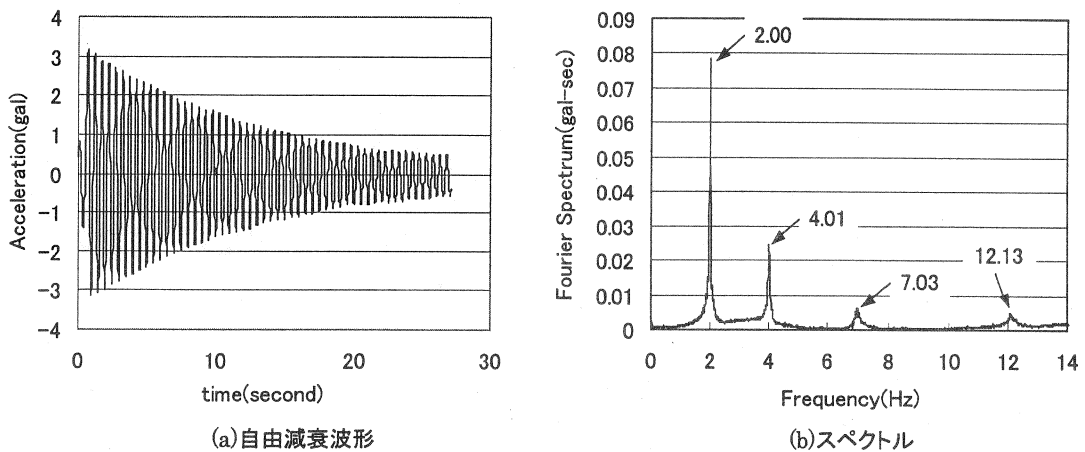


図-4 衝撃加振により得られた応答値

表-2 固有振動数解析結果

解析 ケース	E_c (N/mm^2)	γ_c (kg/mm^3)	接続条件	固有振動数(Hz)				
				1次	2次	3次	4次	5次
1	34300	2.5×10^{-6}	固定	1.84	3.83	7.04	11.94	15.17
2	32400	2.5×10^{-6}	固定	1.82	3.78	6.96	11.79	14.99
3	34300	2.5×10^{-6}	スライド	1.70	3.73	6.48	11.32	14.36
4	32400	2.5×10^{-6}	スライド	1.67	3.68	6.39	11.16	14.18
実験値	—	—	—	2.00	4.01	7.03	12.13	—

注: 接続条件は偏向部での外ケーブルのスライドなし(固定)とスライドあり(スライド)

に自由減衰波形とそのスペクトルを示す。振動モードは実験結果と解析結果が良く一致した。固有振動数の比較検討では、外ケーブルのスライドの有無(スライド、固定)とコンクリートの弾性係数をパラメータとして表-2に示すケースで計算を行った。弾性係数は設計値($32400N/mm^2$)と、振動実験の際に行った静的載荷試験結果から推定した弾性係数($34300N/mm^2$)の2ケースとした。その結果、外ケーブルのスライドを無視し、弾性係数を $34300N/mm^2$ にしたケース1で実験値と計算値が最も良く一致した。

以上から、本構造における固有振動数解析においては、模型試験体の振動実験でも明らかとなったように、偏向部での外ケーブルのスライドを無視したモデルを用いるのが良いと考えられる。

減衰定数については、1次モードで0.59%、2次モードで0.69%との結果が得られた。これは、模型試験体の振動実験¹⁾で得られた結果(1次:0.56%, 2次:0.76%)とほぼ同じ結果となった。

4. 歩行解析

歩行使用性を確認するため、2名あるいは5名の人が一列に並んで歩行した。歩行振動数は1次固有振動数と一致させた。歩行解析における入力荷重は、文献²⁾における歩行時の荷重・時間曲線を参考に図-5のように定めた。減衰行列は Rayleigh 減衰により設定し、その減衰定数には実測値を用いた。

歩行パターンは短スパン側から長スパン側へ方向に歩行する場合と、橋両端から同時にスタートして交差する場合の計4ケースとした(図-6)。

図-7～図-10に、それぞれの歩行パターンにおける加速度の経時変化を解析値とともに示した。それぞれ、短スパン中央および長スパン中央の加速度の値を比較検討した。

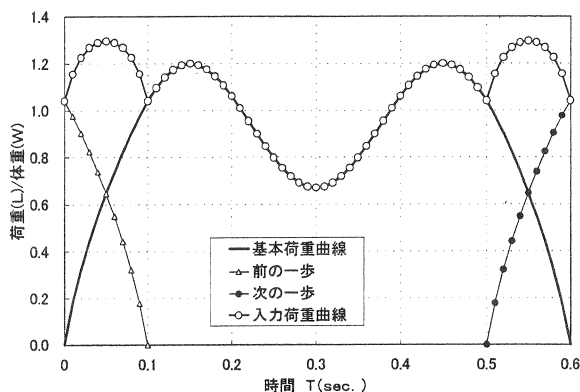


図-5 歩行荷重・時間曲線



写真2 振動実験状況(定点加振しているところ)

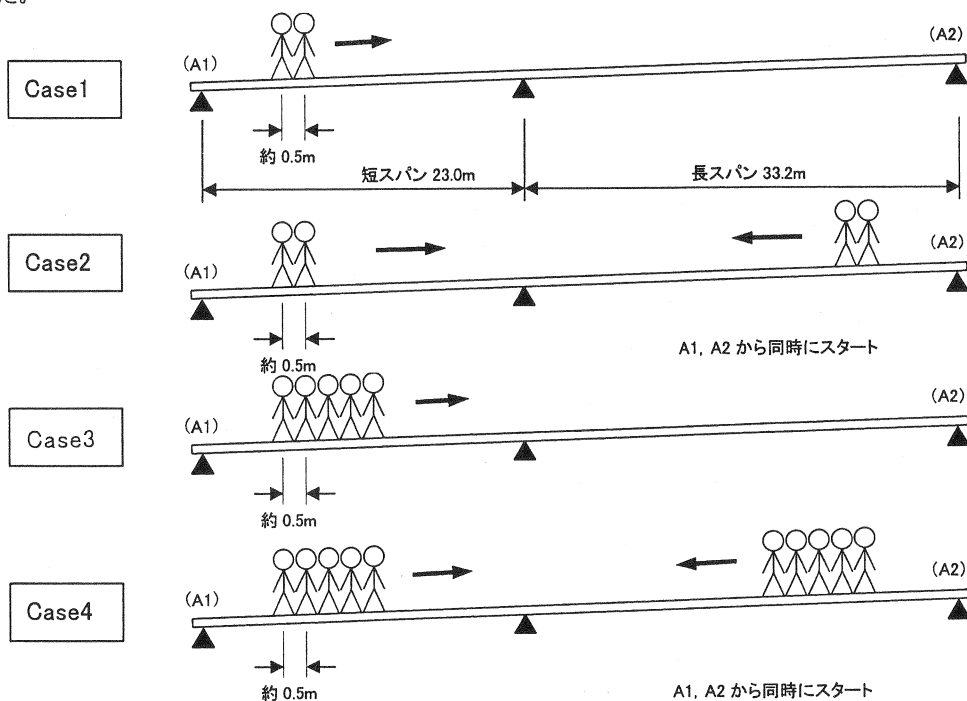


図-6 歩行パターン

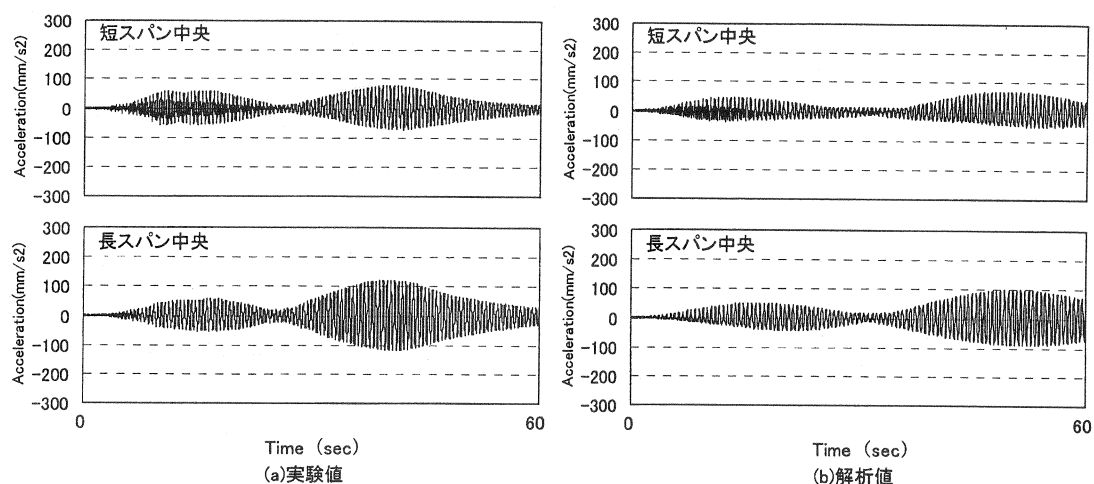


図-7 Case1(2人一方向)

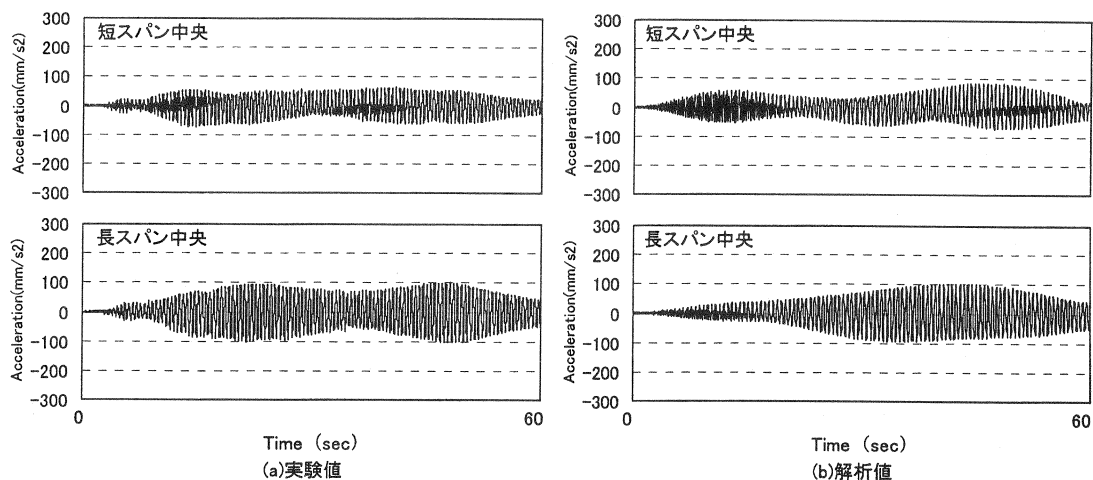


図-8 Case2(2人交差)

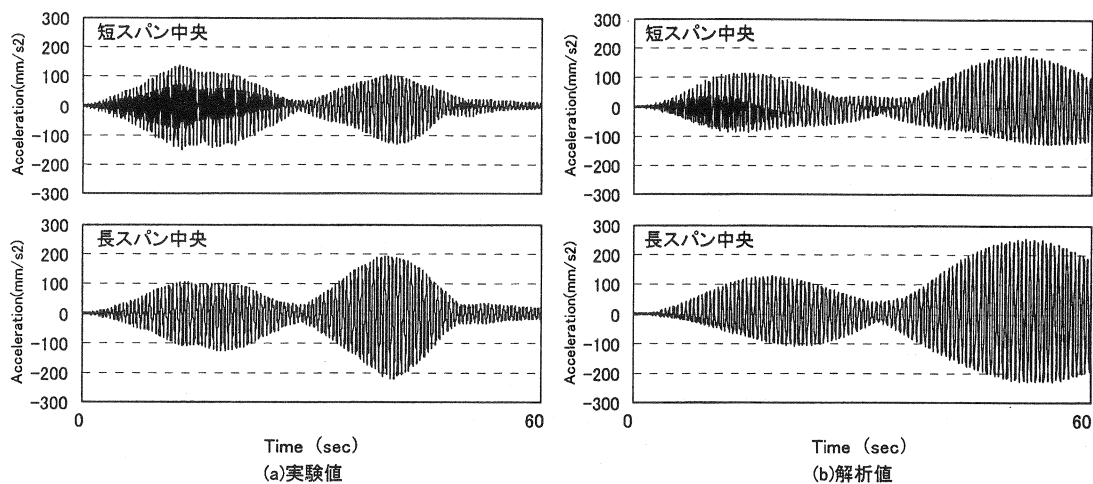


図-9 Case3(5人一方向)

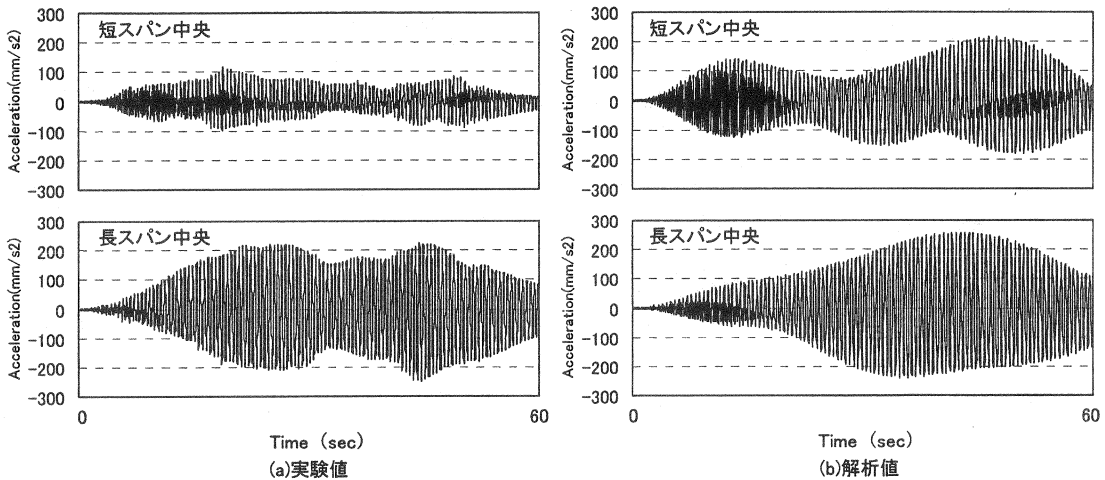


図-10 Case4(5人交差)

図より、歩行振動による加速度波形は、一方向歩行では明瞭なピークが見られるのに対し、交差歩行では両スパンの干渉によりピークがつぶれた波形となっている。解析結果は比較的良好な精度で実験結果と一致した。

歩行使用性を評価するため、振動感覚を考慮した振動じょ限度と卓越振動数の関係³⁾⁴⁾を示した図-11に、本実験で得られた各ケースの最大応答加速度をプロットした。その結果、5人歩行時でも単独歩行者の歩行を想定したじょ限度の提案値以下の応答値であることから歩行使用性を損なうような振動は生じないことが分かった。

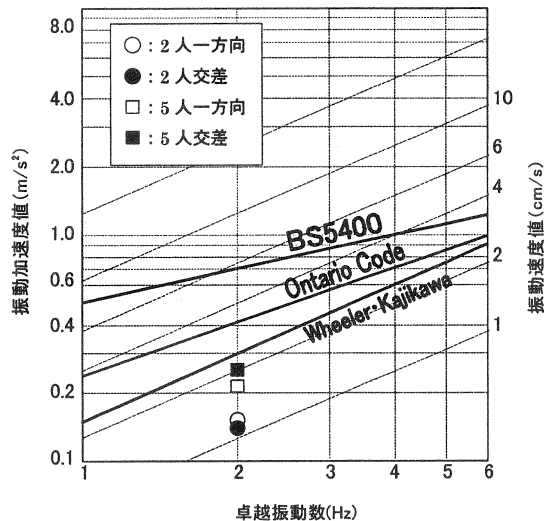


図-11 振動加速度と振動じょ限度の関係

5. まとめ

大偏心外ケーブルトラス構造を採用した鳥崎川橋の実橋振動実験を行い以下のことが明らかとなった。

- ①本構造の振動解析では、偏向部における外ケーブルのスライドを無視するのが適切である。
- ②はり要素とトラス要素を組合わせた比較的小規模な解析モデルにより、良好な精度で歩行振動をシミュレーションできることが分かった。
- ③歩行試験結果から、本橋の歩行使用性を評価した。その結果、1次卓越振動数に同調した5人の歩行でも振動じょ限度を超えるような応答値が発生しないことが分かった。

参考文献

- 1) 篠崎, 渡辺, 松井, 睦好: 大偏心外ケーブルトラス PC 連続橋構造の振動・クリープ特性について、プレストレストコンクリート技術協会 第9回シンポジウム論文集, pp.535~540, 1999.10
- 2) 横山 裕: 人間の動作による床振動評価の現状と問題点および住宅における評価事例, 第17回環境振動シンポジウム-環境振動予測の現状と今後の課題-, pp.41~52, 1999
- 3) 梶川, 犬島, 角本, 大沼, 堀: 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, pp. 1377~1386, 1999. 3
- 4) 梶川: 振動感覚を考慮した歩道橋の使用性照査法に関する考察, 土木学会論文報告集, Vol. 325, pp. 23~33, 1982. 9