

## 共振する桁橋の疲労振幅と等価繰り返し回数に関する検討

(財)鉄道総研 正会員○ 曾我部正道 (財)鉄道総研 正会員 吉田 幸司  
(財)鉄道総研 正会員 松本 信之 (財)鉄道総研 フェロー 涌井 一

1. はじめに 高架橋・橋梁に生じる動的応答は、列車の走行速度が増加した場合に大きくなる傾向にある。図-1に示すように、走行する列車荷重は、規則的な周期で高架橋・橋梁を加振する、いわゆる「起振機」のようなものであり、列車の走行速度が増加して加振振動数が高架橋・橋梁の固有振動数に近づけば、共振現象が発生し、動的荷重が増大することとなる。

近年、新幹線の営業速度は飛躍的に向上しつつあり、加えて限界状態設計法やPRC構造の導入により比較的低剛性の桁の設計も可能になってきたため、図-2に示すような動的応答が顕著となる橋梁が設計されるようになってきた。

現在の疲労設計では、同橋梁は等価繰り返し回数1回と判定されるが、実際には列車通過後のアップリフトによる疲労振幅の増大や、定周期加振、桁の固有振動などによる等価繰り返し回数の増加が懸念される。構造物の余寿命評価の観点からも列車通過時の挙動を定量化していく必要があり、本研究では動的波形の疲労振幅と等価繰り返し回数に関して数値解析により検討を行った。

2. 検討手法 (1) 影響線算定法 現行標準<sup>1)</sup>の疲労設計では、実列車に基づく荷重列が通過する際に生じる断面力影響線を、レンジペア法を用いて独立波の断面力の繰り返しに換算し、これをマイナー則に従いある独立波(通常最大波で設計荷重)に換算して繰り返し回数を求めている。

(2) 動的算定法 上記検討手法はあくまで静的な影響線を利用するものであるが、本研究では動的解析を実施してその波形に対してレンジペア法を適用することとした。繰り返し回数の換算は上記と同様にマイナー則を用いている。また、本研究ではコンクリート単純梁の曲げモーメントに着目して検討することとした。固有振動数についてはRC桁(20m未満)は $80L_b^{-0.8}$ 、PRC桁(20m以上)は $55L_b^{-0.8}$ と仮定した。

3. 検討結果 (1) 共振法則 図-1に示したように、桁の共振は加振振動数が固有振動数 $n$ の整数倍になった時に生じる。共振速度 $v$ は式(1)のように求まる<sup>2)</sup>。

$$v = n \cdot L_v \quad (1)$$

共振ピークは式(1)の1/2, 1/3の速度においても発生する。これは、1次の振動モードに対する2次共振、3次共振現象によるものである。図-3に1次、2次共振における時系列波形の例を示す。

また、共振ピークの大きさは、無次元化スパン $L_b/L_v$ に依存する。無次元化スパン $L_b/L_v$ が整数の時、共振が最も顕著となる。逆に1次共振点の消失するスパンも存在する。高速鉄道橋梁において、1次共振点の消失するスパンは式(2)で表される。

$$L_b/L_v = k + 0.5 \quad (k=1, 2, 3, \dots) \quad (2)$$

これは、非減衰振動において残留振動が零となる特異点であり、連行移動荷重による繰り返し効果が消失することによる。

(2) 共振の影響 図-4に橋梁スパンと動的算定法と影響線算定法の疲労振幅の比(疲労振幅比)を示す。列車は16両編成、減衰定数は2%とした。各橋梁にお

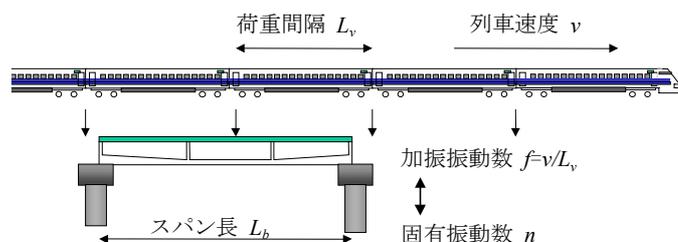


図-1 列車と橋梁の共振現象

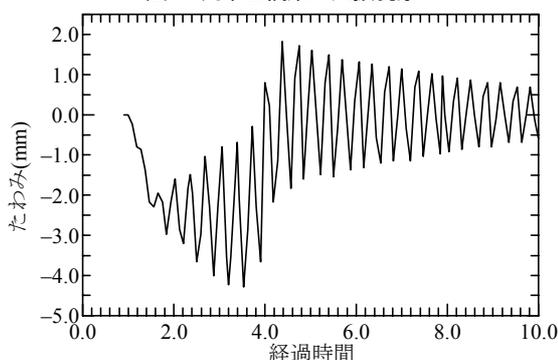
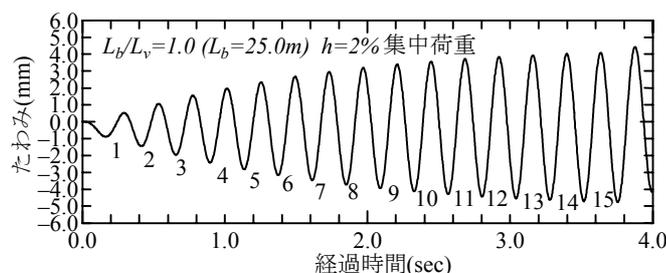
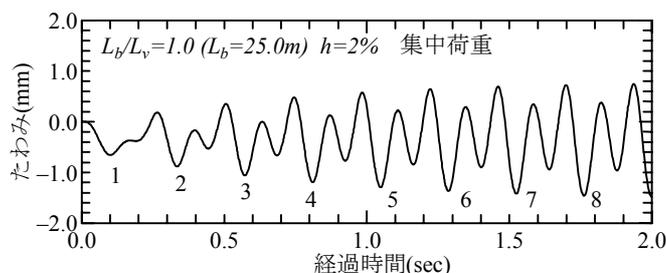


図-2 実測された動的波形( $L_b=45.0m$ )



(a) 1次共振時の波形(速度377km/h)



(b) 2次共振時の波形(速度188km/h)

図-3 数値解析による共振波形の例

Keyword: 動的応答, 等価繰り返し回数, 疲労振幅, 列車荷重  
連絡先:\*〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38

Tel.042-573-7281 Fax.042-573-7282

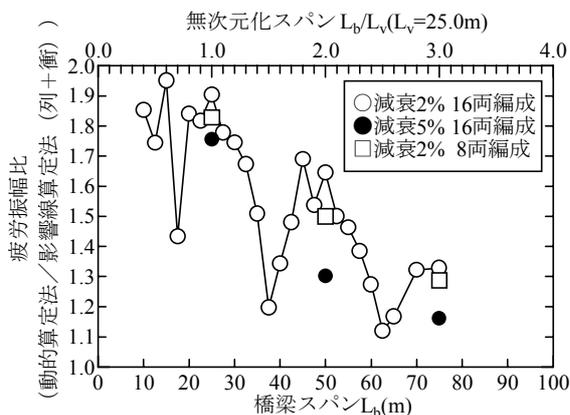


図-4 橋梁スパンと疲労振幅比の関係

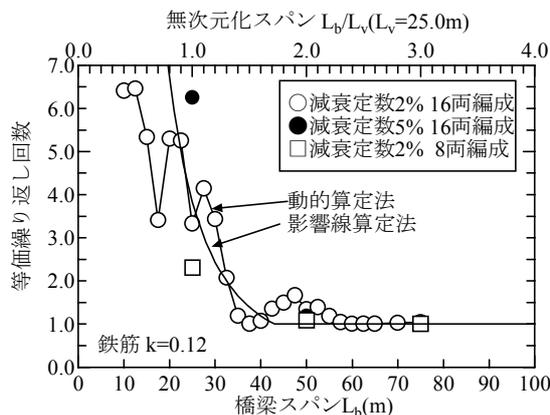


図-5 橋梁スパンと等価繰り返し回数 (鉄筋)

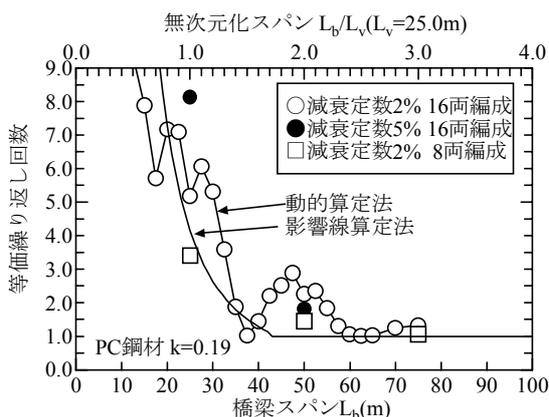


図-6 橋梁スパンと等価繰り返し回数 (PC鋼材)

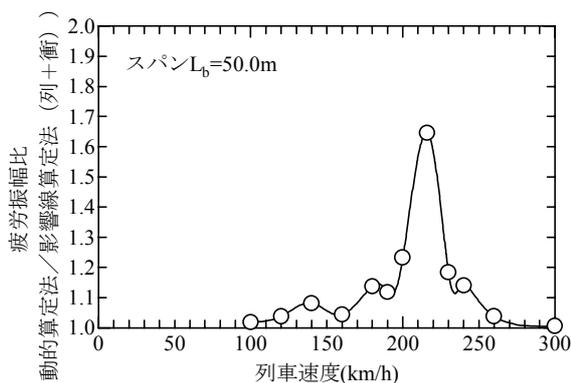


図-7 列車速度と疲労振幅比の関係

ける検討列車速度は式(1)に従い、1次又は2次の共振速度とした。疲労振幅は、各時系列波形において最小断面力(つまりアップリフト時のモーメント)から最大断面力までとした。図から無次元化スパン  $L_b/L_v$  が整数の時に、疲労振幅が大きくなること、式(2)と等しくなるスパンにおいては影響が少なくなることが分かる。

図には、編成両数が少ない場合(8両編成)、減衰定数が高い場合の検討についても併記した。振幅に関しては減衰定数の影響が大きいことが分かる。逆に編成両数が8両程度でも振幅の増大は大きい。

図-5,6に時刻歴波形から求まる等価繰り返し回数を示す。動的算定法では、現行の影響線算定法に沿いつつ共振スパンでピークを生じている。ピークは疲労の影響を受けやすいPC鋼材の方が顕著である。また8両編成とした場合、等価繰り返し回数は荷重数の減少を反映して減るが、減衰定数を5%とすると、等価繰り返し回数は増加する。これは減衰5%の場合には共振増幅が早い段階で定常応答に達し、一定振幅が持続するためである。前述のように振幅自体は減衰定数2%の方が大きい。

図-7に列車速度と疲労振幅比の関係を、図-8に列車速度と等価繰り返し回数の関係をそれぞれ示す。スパン50mの橋梁について示したが、影響線算定法では等価繰り返し回数が1回の橋梁である。振幅や等価繰り返し回数が増加する速度帯は約30km/h程度の幅であることが分かる。

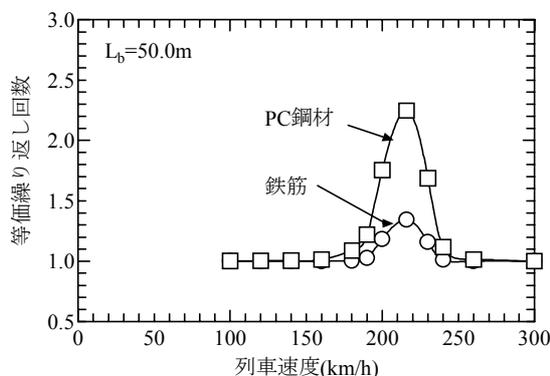


図-8 列車速度と等価繰り返し回数の関係

**4. まとめ** (1)共振領域においては、疲労設計で考慮すべき振幅が1.5~2.0倍程度となる。振幅については減衰定数の影響が大きい。(2)共振領域においては、疲労設計で考慮すべき等価繰り返し回数が増加するが、特にPC鋼材で影響が大きい。等価繰り返し回数は、応力レベルに換算していくとk乗でしか影響しないため、振幅に比べると影響が少ないが、余寿命評価などでは適切な取り扱いが必要であると考える。(3)振幅や等価繰り返し回数の増加が起きる速度帯はスパン50m橋梁の場合で幅30km/h程度である。

本研究では断面力と鋼材の応力が線形であると仮定し検討したが、RCやPRC桁ではその関係は非線形であり、こうした影響についても今後検討していきたいと考えている。

【参考文献】 1)鉄道総合技術研究所：鉄道構造物設計標準・同解説(コンクリート構造物)，1992 2)曾我部正道，四十九勇治，松本信之，涌井一，梶川徹，青木成生：山梨実験線ガイドウェイ構造物の動的応答に関する研究，Vol. 12, No. 8, 1998. 8