

鉄道橋の評価に用いる乗り心地基準に関する検討

鉄道総研 正会員 ○長谷川 淳史 鉄道総研 正会員 曾我部正道
 鉄道総研 正会員 古川 敦 鉄道総研 正会員 松本 信之

1. 目的 鉄道橋の設計では、列車の走行安全性と乗り心地を確保するために、桁にたわみ制限を設けて一定の剛性を付与している。本検討では、近年の高速化に対応したたわみ制限の改訂作業の一貫として、鉄道橋の評価に用いる乗り心地基準について、その適用性を検証する。

2. 各乗り心地基準の概要 鉄道で用いられている乗り心地基準は多々あるが、本検討では、主に以下に示す4つの基準について比較した。

(1) **国鉄乗り心地基準** 図-1に国鉄乗り心地基準を示す。米国自動車協会 Janeway が提案した自動車用の乗り心地基準を参考とし、国鉄が1963年に、独自の実験結果を加味して定めたものである。現在の鉄道橋のたわみ制限もこれに基づいている。基準値としては乗り心地係数1.5（良い）が用いられてきた（1.0：非常に良い，2.0：普通）。

(2) **列車動揺管理基準** JR、民鉄で行われている軌道管理の基準で、例えば新幹線では最大加速度（全振幅）が0.25gを超えると保守が投入される。これらは最大加速度を指標としており、多い線区では数日に1回の割合で動揺測定が行われている。

(3) **乗り心地レベル** ISO-2631を基本とし、鉄道車両の振動特性に合わせて図-2に示す等感覚曲線を定め、表-1に基づく判定を行う手法で、1981年に国鉄により提案された。式(1)に乗り心地レベル L_T (dB)を示す。

$$L_T = 10 \cdot \log(\bar{a}^2 / a_{ref}^2) = 10 \cdot \log(1/T) \int_0^T (\bar{a}_w(t) / a_{ref})^2 dt \quad (1)$$

ここで、 $a_w(t)$ は乗り心地補正した振動加速度、 $\bar{a}_w$ は乗り心地補正した振動加速度の実効値、 a_{ref} は基準加速度で $10^{-5}(\text{m/s}^2)$ の値、 T は評価時間をそれぞれ表す。

(4) **欧州基準案 No. 1990（参考）** ユーロコード：構造設計の基本 付則A2 橋梁への適用（基準）第2案では、乗り心地基準を最大加速度（片振幅）で、大変良い 1.0m/s^2 、良い 1.3m/s^2 、許容範囲 2.0m/s^2 と定めている。

3. 検討手法 桁のスパン長 L を10～100m、桁のたわみを $L/2000 \sim L/6000$ として、数値解析により車体加速度を

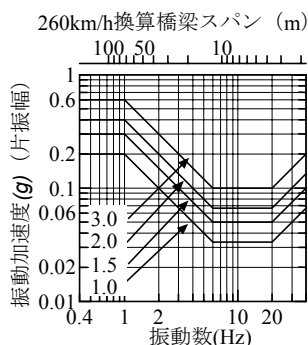


図-1 乗り心地係数

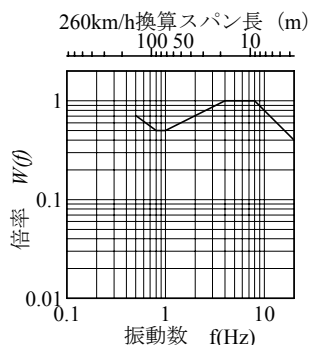


図-2 ISO-2631 等感覚曲線

表-1 乗り心地レベルによる評価区分

乗り心地レベル(dB)	評価
$L_T < 83$	非常に良い
$83 \leq L_T < 88$	良い
$88 \leq L_T < 93$	普通
$93 \leq L_T < 98$	悪い
$98 \leq L_T$	非常に悪い

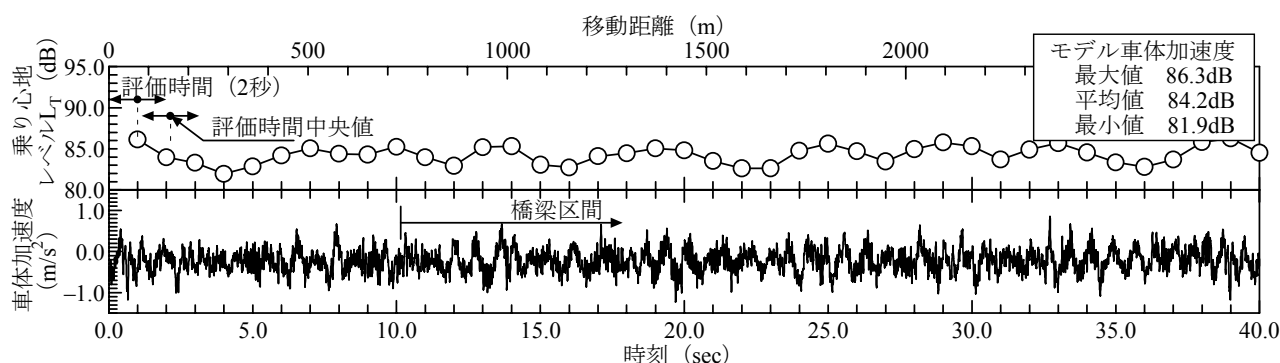


図-3 乗り心地レベルによる評価結果

キーワード 鉄道橋、たわみ制限、乗り心地

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (財)鉄道総合技術研究所 コンクリート構造

TEL 042-573-7281

算定して、これを各乗り心地基準で評価した。乗り心地レベルについては区間乗り心地となるため、実際の新幹線の動揺記録（列車速度260km/h）から、平均84.2dBとなるモデル車体加速度を作成し、このモデル波形に数値計算により求めた橋梁通過時の車体動揺加速度波形を重ね合わせ、乗り心地レベルを算定評価した。橋梁は各スパン5径間（単純桁の連続）とした。列車速度は260km/hとした。

4. 検討結果 図-4に各乗り心地評価基準による評価結果を示す。(a)の最大加速度と乗り心地レベルでは、ほぼ同様な傾向が得られている。各乗り心地基準における「非常に良い」、「良い」といった評価は定義の違いもあり一概に比較できないが、定性的には大差ない傾向にあると言えるであろう。また両者とも短スパン橋梁に対して感度が低い。(b)の国鉄乗り心地基準と乗り心地レベルでは、乗り心地係数が10m前後の短スパンで感度が高い。これは、乗り心地係数が、短スパンにおいて厳しい制限値となっていることに起因する。一方、20m以降は両者はほぼ同様の傾向となっている。

図-5に乗り心地レベルによる評価結果を示す。評価時間を2秒、計算間隔を1秒とし、横軸をその中央値として示した。乗り心地レベルは橋梁区間で明らかに増大しており、区間乗り心地の指標であっても評価時間が2秒程度であれば、橋梁の影響を明確に捉えられることが分かる。橋梁は各スパンとも5連として設定したが、評価時間の計算間隔が1秒であるため個々のスパンの形状までは表れてこない。

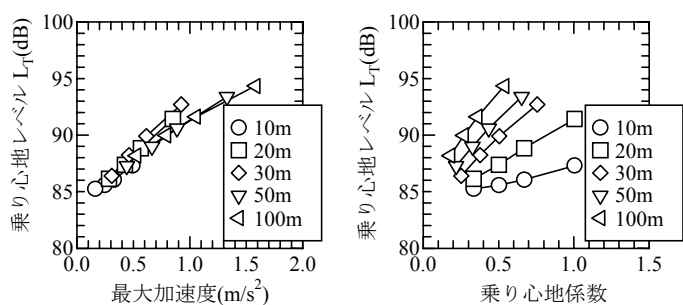
図-6に評価時間が乗り心地レベルに及ぼす影響を示す。スパン50mの場合について示した。乗り心地レベルの評価時間としては、一般的な車両動揺には 3 ± 2 秒が適当とされているが、特に動揺の激しい箇所には短時間乗り心地レベルとして、評価時間に2秒が用いられている。同図からも、評価時間を2~3秒としなければ、軌道狂いの影響の間に埋没してしまい、評価が困難となることが分かる。当然のことではあるが、評価時間が長くなればなるほど、ピーク値の地点情報、ピーク波形の周波数情報が失われていくこととなる。

5. まとめ (1) 乗り心地係数による評価は、

周波数特性に範囲して10m前後の短スパンで他の乗り心地基準に比べ感度が高い。(2) 20m以上の橋梁であれば、何れの乗り心地基準を用いたとしても、定性的な傾向にそれほど差はない。(3) 乗り心地レベルによる評価は、評価時間に左右される。基準とする軌道狂い等も必要となることからやや煩雑となる。

以上の結果を踏まえ、従来の設計との連続性も勘案し、乗り心地係数により鉄道橋梁のたわみ制限を検討して行く予定である。

文献 1) 国鉄列車速度調査委員会：車両の乗り心地基準，資料3A-2-1，1963。2) 乗り心地管理基準に関する研究報告書：日本鉄道技術協会，1979。～1981。3) Eurocode：Basis of Structural Design Annex2 Application for bridges (Normative) Draft Nr.2, 26 February 2001 24/I-62, pp.83-102, 2003。



(a) 最大加速度と乗り心地レベル (b) 乗り心地係数と乗り心地レベル

図-4 各乗り心地評価基準による評価結果

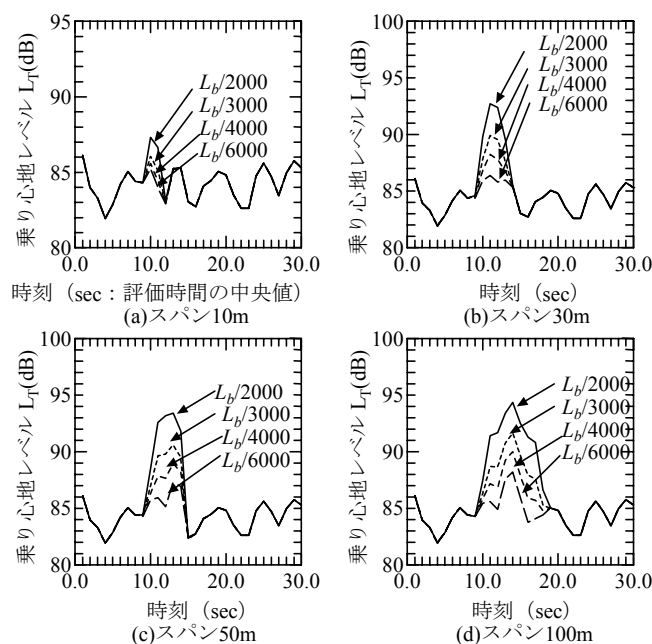


図-5 乗り心地レベルによる評価結果

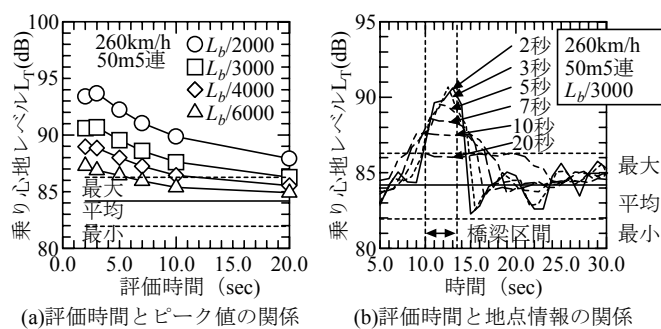


図-6 評価時間が乗り心地レベルに及ぼす影響