

鋼鉄道橋における速度向上と横揺れ

J R 北海道 正員 池田洋悦 J R 北海道 正員 木村武広
 鉄道総研 正員 杉本一朗 鉄道総研 正員 杉舘政雄
 J R 東日本 正員 川井 治

1. はじめに

鋼鉄道橋の主な変状として一般に疲労、腐食、座屈等が挙げられる。たわみについても問題となることが多いが、その多くは列車の走行性の点からの問題で通常は鉛直たわみに関してであり、横方向のたわみが問題になることは少ない。ここでは列車のスピードアップに伴い、水平方向へのたわみが問題となったケースについて、実橋測定を行い、状況を把握しその評価を行ったのでここに報告する。

当該橋梁は明治時代に製作された作錬式の上路プレートガーダーで、支間はおよそ19.2m、軌道半径がR=300mで、橋梁上にレール継ぎ目がある。入線最大列車はED79機関車で軸重にして約17.0tfになる。本橋梁は一度他の線区において供用されていた橋を転用したもので、製作時には直線軌道に対して設計されたものと考えられ横構がない。また、古くから供用されてきた桁のため耐力が小さい可能性がある。この線区において65km/hの速度向上を行ったところ、10mmを超える桁の横揺れの値が観測された。この値は管理値を上回るもので、現在、同橋梁上では徐行措置(35km/h)がとられており、それに対する対策が望まれている。

2. 測定および評価

2. 1 応力測定結果(耐力評価)

応力は桁支間中央部の上下フランジの公称応力を測定した。測定位置を図1に示す。応力、たわみとも共に種々の形式の列車について測定を行った。表1に35km/h徐行時における最大列車荷重(電気機関車2両)が通過した際の上下フランジの最大応力度を示す。桁の公称応力は上下フランジとも20~30(MPa)と小さく、内軌側、外軌側における変化や首振りのような現象は見られなかった。また、桁本体としての腐食はあまりないことが確認された。また、桁の横方向へのたわみが生じることが、桁本体の耐力が小さいことが要因と考えられるため、計算値および実測値を用いて桁の耐力を示す指標である現有応力比率を算出した。表1にその値を示す。ここで使用した現有応力比率は、保守上の許容応力度/作用応力度で示される値である。表1より本桁の耐力はいずれも十分安全側であることが示された。

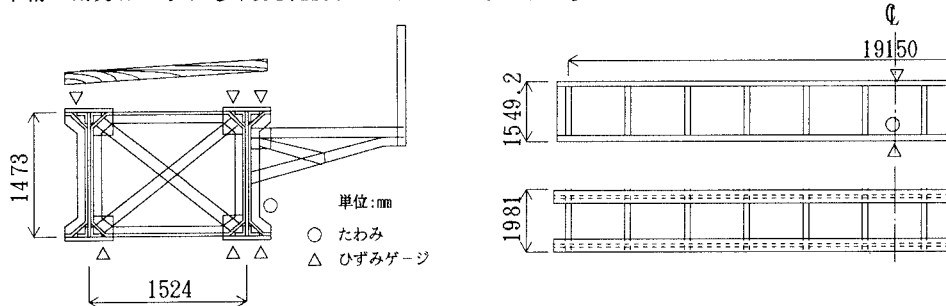


図1 橋梁断面および測定位置

表1 応力の測定結果および現有応力比率 (kgf/cm²)

		応力度 σ_d	応力度 σ_{l+i+c}	保守限 応力度	現有応 力比率
計算値	上フランジ	-152.4	-615.3	-1038.8	136.4
	下フランジ	155.0	814.4	1150	118.63
実測値	上フランジ	-152.4	-331.2	-779.1	161.1
	下フランジ	155.0	306.7	862.5	186.8

$$\text{現有応力比率} = \frac{\text{保守限応力度}}{\text{作用応力度}} \times 100$$

保守限応力度：保守上の許容応力度

2. 2 たわみ測定結果

たわみは桁支間中央部の鉛直・水平方向のたわみを測定した。測定位置を図1に示す。

鉄道構造物等設計標準では橋桁の横方向のたわみは桁の水平方向の加速度が $0.1g \sim 0.2g$ に達すると車両が脱線する恐れがあることから、(1)式で限界値が定められている。桁の固有振動数を解析により求めた結果 $2.78(\text{Hz})$ となった。そこで、この値を用いて桁の横方向の管理値を求めると、列車速度が 35km/h 、 65km/h のいずれにおいても管理値は約 3.1mm となる。実測値と管理値を表2に示す。表2より 65km/h の速度向上が困難であることが示された。なお、鉛直方向の管理値については $L/800$ (L :支間)を用いている。鉛直たわみについては十分安全側である。

表2 列車通過時のたわみ 単位:mm

速度	65km/h (徐行前)		35km/h (徐行後)	
方向	鉛直	水平	鉛直	水平
測定位置	支間中央、外軌側			
管理値	23.9	3.1	23.9	3.1
実測値	13.0	13.0	11.3	2.3

水平方向の変位は片側の振れの値を示す。

$$a \leq \frac{9.93}{(V/L)^2 + 4n^2} \quad (1)$$

ここに a : 横方向の管理値 (cm)

V : 列車速度 (m/s)

L : 支間 (m)

n : 桁の横振れの振動数 (Hz)

3. 解析結果

横方向のたわみが発生する原因の一つとして、桁に横構がないことが考えられる。また、桁内部の四角形のラテラルと主桁との取り付け部でリベットが腐食し、連結が十分でない箇所や、対傾構がガタついた状態で取り付けられているものも見られた。これらのことも横方向への揺れを助長する一因になったことが考えられる。

そこで、桁の横揺れをどのようにして抑えられるか、列車が 65km/h で走行した場合の桁のたわみをFEM解析を用いて比較検討した。解析ケースは以下の通りである

モデル0: 設計時の構造

モデル1: 現在の対傾構の弛みを考慮した状態

モデル2: 対傾構を締め直し、かつ上横構と下横構を新規に入れた状態

解析ではフランジに、はり要素、ウェブに板要素を用いた。荷重は最大鉛直たわみを生じる軸配置の状態では横方向に載荷を行っている。結果を表3に示す。表3より現状を想定したモデル1で鉛直たわみが約 10mm 、横振れが約 10mm と表2における 65km/h 走行時の実測値とほぼ同等の値を得ており、現状を再現していると考えられる。このことより上横構、下横構を加えた構造のモデル2において横振れの値が小さくなっていることから、上横構、下横構の効果が大きいことがわかる。このため横方向へのたわみの発生原因として横構がないため内軌桁および外軌桁の水平方向の荷重の伝達が十分でなかったことが考えられる。

表3 解析結果

節点番号 着目部位	横 振 れ			鉛直たわみ		
	モデル0	モデル1	モデル2	モデル0	モデル1	モデル2
16	10.2	12.9	1.0	-8.4	-8.4	-9.3
内軌下フランジ	0.79	1.00	0.08	1.00	1.00	1.11
118	11.4	15.1	1.3	-8.5	-8.4	-9.3
内軌上フランジ	0.75	1.00	0.09	1.01	1.00	1.11
152	10.2	12.9	0.9	-10.7	-10.8	-9.7
外軌下フランジ	0.79	1.00	0.07	0.99	1.00	0.90
254	11.4	15.1	1.4	-10.7	-10.8	-9.7
外軌上フランジ	0.75	1.00	0.09	0.99	1.00	0.90

上段が解析値 (mm)

下段がモデル1を1.00とした場合

4. おわりに

今回の測定によって急曲線軌道の桁で横構のない場合、左右の桁の横方向の荷重の伝達が十分でなく、横方向に揺れを生じる恐れがあることが明らかになった。今後、これらの成果を速度向上に役立てていきたい。