

I-186 箱根登山鉄道早川橋梁の実荷重による強度調査

(株)東京鐵骨橋梁製作所 正員 山内幸政
(株)東京鐵骨橋梁製作所 正員 入部孝夫
箱根登山鉄道(株) 勝間田直之

1. まえがき 箱根登山鉄道の早川橋梁は、1888年(明治21年)旧天竜川橋梁の一連として架設され、1917年(大正6年)に現在の箱根登山鉄道の早川橋梁に転用されたもので、我が国の鉄道橋としては希にみる長寿命の橋である(供用期間約100年)。

このように長い間使用されてきた橋梁は、腐食、摩耗、疲労などが原因による耐荷力の低下が予想される。昭和46年3月に、応力測定や外観調査などを実施しているが、この時点から20年以上経過しており、又輸送量の増大から従来の1両、2両編成に加えて3両編成を通すことから改めて健全度調査を実施した。

本稿は、健全度調査の一環として行った実荷重による強度調査について報告する。

2. 構造上の特徴 一般図を

図-1に示す。材料は、上・下弦材、端柱に鋼を、又斜材・床組に錬鉄を使用している。構造上の特徴を以下に列挙する。A. 上・下弦材がH型断面である。B. 横桁は下弦材の上に固定している(ポーナル型)。そのため、下弦材は床組作用を受け易い。C. 英国系ダブルワーレントラスで、主構(上・下弦材、端柱)が連続一体構造である。D. 上・下弦材の中立軸と斜材のピン位置が偏心している。そのため、斜材軸力により応力が弦材に発生する。E. 支承部は、点支承ではなく橋軸方向1m×下弦材下フランジ幅0.9mの面支承となっている。

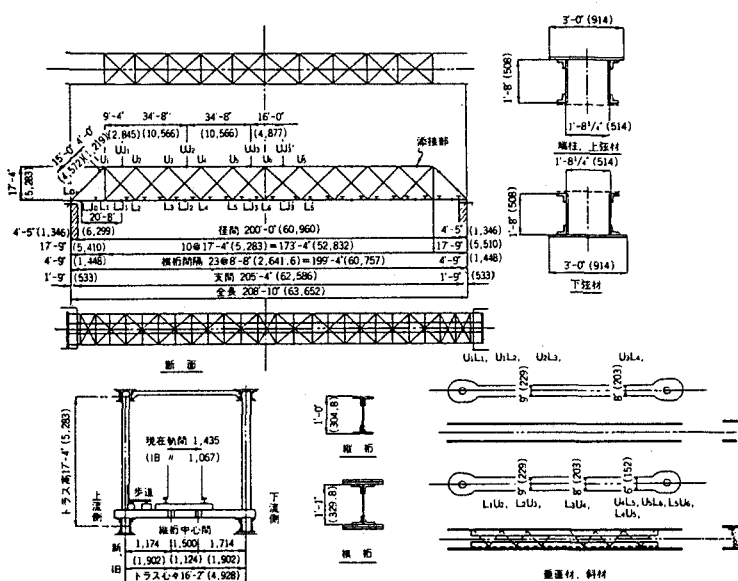


図-1 早川橋梁一般図

3. 測定概要 今回の測定に使用した試験車両は、軸重8.75t、車両重量35.0t、軸距1.8m+6.7m+1.8mであり、最大3両編成とした。応力測定位置を図-2に示す。各測定位置に対して斜材・垂直材は内側(軌道側)・外側の2箇所、上・下弦材、端柱は上・下フランジの内側・外側の4箇所、合計46点にひずみゲージを取り付け測定した。また、たわみの測定にはレベル、たわみ計を、振動測定には加速度計を用いた。

(1) 静的測定 静的応力測定時の試験車両載荷位置を図-3に示す。3両編成5ケース+1両編成3ケースの合計8ケースで、いずれかの車軸が横桁位置になるようにした。ここでの1両編成3ケースは、昭和46年当時と直接比較するためのケースである。

(2) 動的測定 動的応力測定は、試験車両と営業電車の測定を行った。試験車両での測定は、3両編成で速度と進行方向を変えて、以下の通り行った。

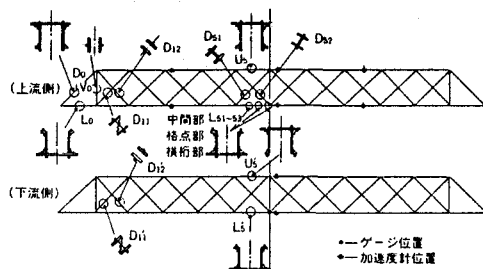


図-2 測定位置図

時速30km/h×2（上り、下り）×2回

時速20km/h×2（上り、下り）×1回

時速10km/h×2（上り、下り）×1回 合計8回測定

営業電車の測定は、2両編成を上り3本、下り3本、合計6回測定した。このときレールにマーカー（ひずみゲージ）を取り付け、速度を測定すると共に、乗客荷重を把握するために乗客人数を調べた。

4. 測定結果と考察 今回の測定に先立ち、平面骨組応力解析により実応力計算値を算出した。解析モデルは、図-4に示すような、斜材のピンの偏心を考慮したモデルとした。

（1）静的応力測定結果 今回と昭和46年当時の測定結果との比較、実測値と計算値との比較、上流側・下流側の比較をそれぞれ行った。

昭和46年との比較、上・下流側の比較では平均応力（上フランジ、下フランジの内側・外側の平均）ではほぼ一致したが、計算値との比較では桁端部下弦材・支間中央下弦材でそれぞれ計算値と異なる応力が発生した。これは2つの理由が考えられる。一つは解析モデルと実構造の支承条件の違いである。構造上の特徴でも触れたように、解析モデルでは点支持であるが、実際には面で受けているためである。これに対しては、解析モデルの支承条件を変更することにより、計算値と実測値がより近くなることを確認している。もう一つの理由は、解析モデルの下弦材の剛度には、レール、縦桁、橋側歩道の剛性は考慮されていないことである。これに対しては、下弦材の剛度を変更しても計算値とあまり一致しない。

（2）動的応力測定結果 動的応力度の弦材の断面内分布は、先に実施した静的応力測定結果と同様の傾向を示した。応力値は、静的応力度より極端に大きくなるものはなかった。また、車両走行速度と各部材応力度との相関関係は認められなかった。これは、走行速度が10～30km/hと比較的低速領域であったためと考えられる。進行方向（上り、下り）による応力値の差異も見られなかった。

動的応力測定値と、計算値の許容応力度との比率を図-5に示す。なお、実測応力度の死荷重応力度は骨組構造解析による計算応力度を用い、活荷重応力度は試験車両（3両）走行時の実測最大応力度に乗客荷重（200%）の比率を掛けて算出している。

端下弦材、支間中央下弦材の応力度が計算値と実測値で異なっている理由は、先の静的応力測定結果で挙げた2つの理由、すなわち支承条件、下弦材の剛度の違いからと考えられる。また、全部材とも、実測応力度と許容応力度との比が0.8～0.3程度であり、3両編成の乗客満載時（200%）において強度上の問題はないといえる。

5. あとがき 鋼橋の健全度および強度を確認する手法

として、本橋では実荷重を用いた応力測定を実施し、安全性の照査、解析との相違点等を考察した。鋼橋の耐用年数は一般に50年程度と言われている。本橋はすでに100年を越しており、鋼橋の寿命と耐久性の関係を知らずとも貴重な橋梁である。なお、本橋の詳細は、（株）東京鉄骨橋梁製作所 技術報NO.36「箱根登山鉄道早川橋梁の健全度調査」に掲載している。最後に今回の調査を行うにあたり多大なご指導並びにご助言を戴いた東京大学名誉教授久保慶三郎先生、足利工業大学教授阿部英彦先生に深く感謝の意を表します。

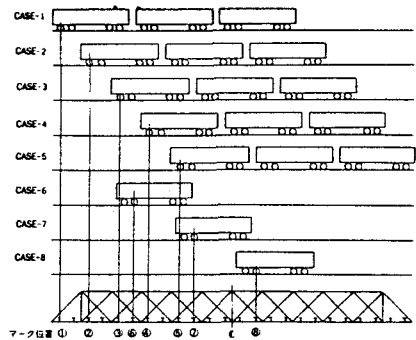


図-3 静的荷重載荷位置

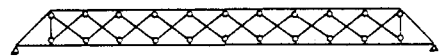


図-4 解析モデル

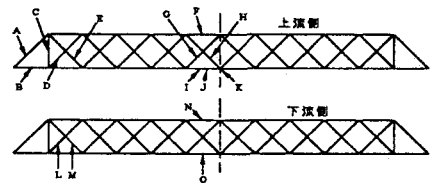
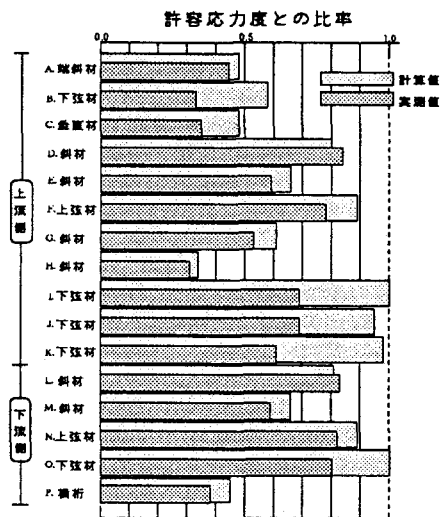


図-5 動的応力測定結果