

鉄道下路トラス橋に用いる合成床版に関する研究(その3:繰返し載荷試験結果)

J R 東日本 正会員 後藤 貴士

J R 東日本 正会員 吉田 直人

J R 東日本 正会員 谷口 望

J R 東日本 正会員 工藤 伸司

1. はじめに

当社では、都市内に架設される鉄道用下路トラスを想定した橋床組に底鋼板を有する合成床版を開発している。本構造においてはトラスのスパン中央部で、下弦材および床版に軸方向引張力が作用するが、床組厚さが 250mm 程度と非常に薄いため、繰返しの列車荷重による安全性を明らかにする必要がある。本稿では、実物大軌道試験機を使用した薄型合成床版の繰返し載荷試験を実施し、断面性能の変化、および耐久性について確認したのでその結果を報告する。

2. 実物大軌道試験機を用いた繰返し載荷試験

繰返し載荷試験には、当社所有の実物大軌道試験装置を用いた。実物大軌道試験装置は、1 レールあたり 4 軸の鉛直アクチュエーターを有している。合成床版の試験体は、1 レール分を想定したものであり、床版の高さ、および軸方向剛性(鉄筋比・鉄骨コンクリート比)は他の SRC 床版を採用した橋梁¹⁾を参考に決定した。載荷鉛直荷重は、設計荷重(EA-17)による発生応力度相当となるよう、1 アクチュエーターあたりの振幅値 85kN(最大 95kN, 最小 10kN)、各アクチュエーターの位相差 45° の正弦波を与えることとし、試験体の軸方向にも常時 2000kN の水平引張り力を作用させることとした。この引張り力は、床版に生じるひび割れ幅が約 0.2mm 程度となる値を基に決定した。

また、繰返し数 200 万回以降 600 万回までは、促進試験として鉛直荷重、水平荷重共に増加させた。なお、4 本のアクチュエーターが各々載荷した 1 サイクルを繰返し数 1 回としている。載荷方法、および載荷状況を図 1、図 2 に示す。

【載荷方法】

繰返し回数: 0~200万回(累計)

動的載荷 鉛直荷重: 85kN(振幅値) 軸引張力: 2000kN(一定)

静的載荷 鉛直荷重: 85kN 軸引張力: 2000kN

繰返し回数: 200~600万回(累計)

動的載荷 鉛直荷重: 100kN(振幅値) 軸引張力: 3000kN(一定)

静的載荷 鉛直荷重: 110kN 軸引張力: 3000kN

促進載荷

図 1 載荷方法

3. 繰返し載荷試験結果

試験体の繰返し載荷試験結果の一例を図 3 に示す。図 3 は、スパン中央の試験体の鉛直変位(たわみ)、床版コンクリート表面のひび割れ幅、スパン中央の主構(トラスの下弦材を想定した溝形鋼)の上フランジのひずみを示したものである。床版は、2000kN の軸引張力導入時、床版表面の横桁直上にひび割れが集中して発生した。鉛直荷重の振幅値 85kN を繰返し載荷開始後、5 万回を越えたあたりから、鉛直変位、コンクリート表面のひび割れ幅、鉄筋や鋼材のひずみ等の計測値はほぼ安定した値となった。その他の計測箇所についても同様の傾向が見られた。

鉛直荷重の振幅値を 100kN(最大 110kN, 最小 10kN)、水平荷重を 3000kN に増加させて実施した促進載荷試験結果においても、軸力増加時に鉛直変位、ひび割れ幅、鉄筋や鋼材のひずみは増加するものの、繰返し数が 200 万回以降 600 万回までも安定した値を示すという結果が得られた。また、床版表面のひび割れ状況の観察結果からも水平軸力導入以降 600 万回終了まで、ひび割れの目立った進展は見られなかった。

よって、繰返し載荷試験結果から、試験体は比較的早い時期に挙動が安定し、繰返し数増加後の挙動の変化や床版コンクリートの損傷が進まないことが確認できた。

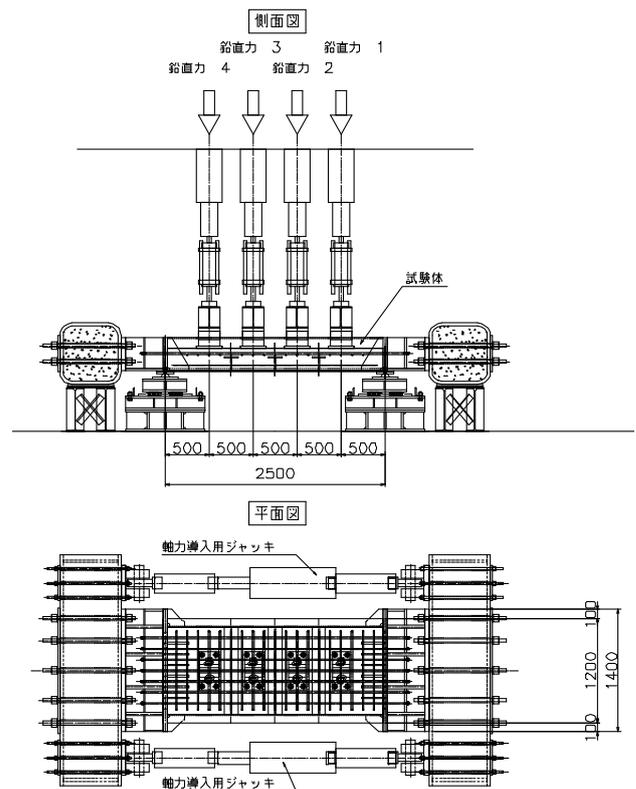


図 2 載荷状況

キーワード 合成床版, 合成トラス, 繰返し載荷試験

連絡先 〒151-8512 東京都渋谷区代々木 2-2-6 J R 東日本 東京工事事務所 工事管理室 TEL 03-3379-4353

4. 実設計を想定した疲労に対する検討

本試験では、鉛直荷重の振幅値を 85kN で繰り返し数 200 万回、鉛直荷重の振幅値 100kN で繰り返し数 400 万回、合計 600 万回の繰り返し載荷試験を実施している。

現在の鉄道構造物の設計時の耐用年数の想定は 100 年としている。そこで、実際に想定される営業列車 (E231 系列車) が 100 年間走行したという条件で、鋼部材、鉄筋、およびコンクリート床版の押抜きせん断の各疲労に対する検討を行った。なお、検討は鉄道構造物設計標準 2) 3) に準拠して行った。

鋼部材については、溝型鋼と横桁の溶接部を想定した十字溶接継手のうち、荷重非伝達型の非仕上げのすみ肉溶接継手 (強度等級 E) として照査を行った。鋼材の設計疲労強度は式(1)で表される。実際の橋梁の 100 年間の列車走行による繰り返し数を想定し、設計疲労強度を算出したところ、 $f_{srd}=61.7\text{N/mm}^2$ となった。また、試験結果から本床版構造に作用する発生応力度の振幅の最大値は、溝形鋼フランジにおいて 25N/mm^2 程度であり、鋼部材の疲労では鋼部材断面が決定しないことが確認できた。

$$f_{srd} = \frac{10^{\sigma_r}}{N^k} \cdot C_R \cdot C_t / \gamma_s \cdot \dots \text{式(1)}$$

- ここに、 f_{srd} : 設計疲労強度 (N/mm²)
- N: 繰り返し数 (回)
- C_R : 平均応力に関する係数 (=1.0)
- C_t : 板厚に関する係数 (=1.0)

引張り鉄筋の疲労照査は、総等価繰り返し数の算定により行った。総等価繰り返し数は、実橋梁で実列車荷重 (輪重 84kN 相当) が 100 年間走行した場合の等価繰り返し数と、試験で振幅値 85kN の鉛直荷重が 200 万回、および振幅値 100kN の鉛直荷重が 400 万回作用した場合の等価繰り返し数 (荷重は 100kN に換算) を比較した。結果から、実際の列車荷重を想定した場合の等価繰り返し数、および今回の試験の等価繰り返し数共に 410 万回程度となり、床版の鉄筋の疲労に対して満足することが確認できた。また、繰り返し鉛直荷重による押し抜きせん断疲労についての検討を行ったが、これについても問題が無いことが確認できた。

5. まとめ

鉄道用下路トラスのスパン中央部を想定した橋床組に底鋼板を有する合成床版の繰り返し載荷試験を実施し、今回の試験では以下の結果が得られた。

- ・ 繰り返し載荷を開始した直後は、ひび割れ幅やひずみに変化が見られるが、5 万回を過ぎたあたりから、挙動は安定した。また、水平荷重を増加した後も挙動は安定した。
- ・ 水平軸力作用時に発生したひび割れは、その後の繰り返し載荷試験においてもひび割れの進展はわずかである。
- ・ 要求される耐用年数 (100 年) の間において、実列車相当の荷重で走行した際の鋼部材、鉄筋、床版の押し抜きせん断について各々の疲労強度の検討を行ったが、実際の SRC 床版を持つトラス橋 1) と同等な応力レベルでは、疲労損傷 (耐久性) について問題が無いことが分かった。

【参考文献】

- 1) 西村康之, 下野一行, 紀伊昌幸, 矢島秀治: 奈良線鴨川橋梁の設計と施工 SRC 床版の採用により低い床高と鋼重の低減を可能にした鉄道鋼トラス橋, 橋梁と基礎, 2000-11, pp.9-18, 2000.
- 2) 鉄道構造物等設計標準 鋼とコンクリートの複合構造物, 国土交通省鉄道局監修, 2002.
- 3) 鉄道構造物等設計標準 コンクリート構造物, 国土交通省鉄道局監修, 2004.

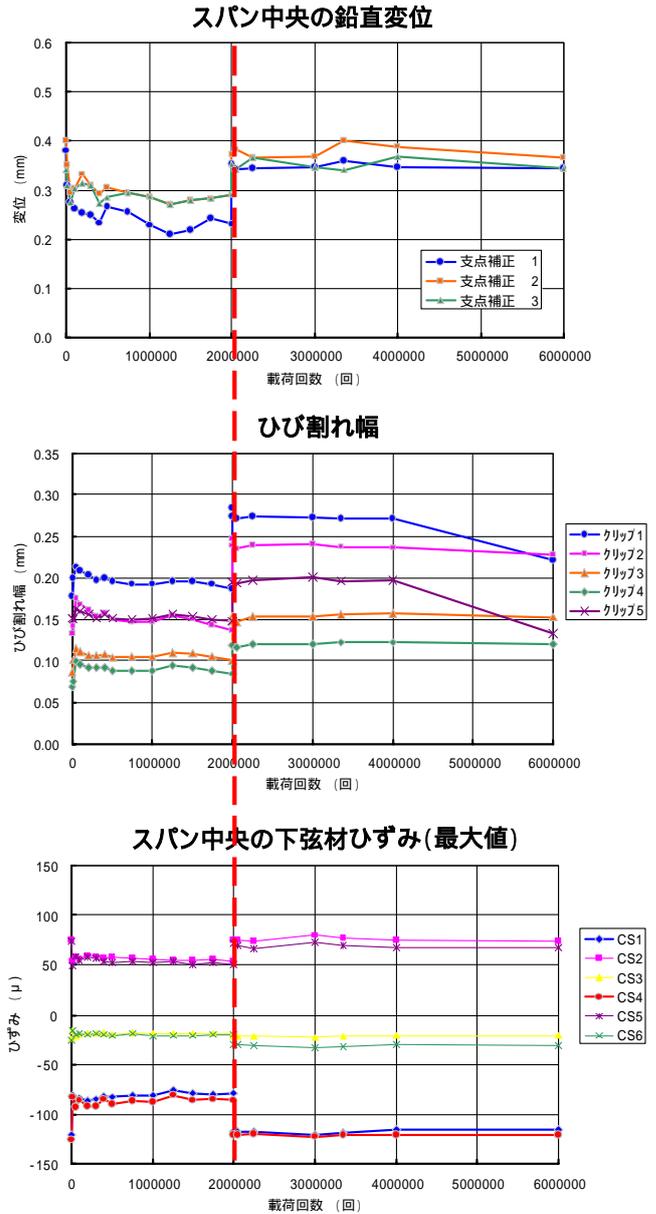


図3 測定結果例