

鋼 I 桁橋の主桁-横桁取合い部の疲労に対する構造要因の解析的検討

首都大学東京 学生会員 ○山本 亨介

首都大学東京 正会員 村越 潤

首都大学東京 正会員 岸 祐介

1. はじめに

鋼道路橋における疲労損傷は 1980 年頃から顕在化しており¹⁾、その中でも 2 次応力に起因した主桁と横桁取合い部での疲労損傷は数多く報告されている。これまで個々の橋梁に対して、構造解析や応力計測等に基づく疲労挙動・対策効果の評価に関する研究は数多く行われているが、様々な諸元を有する鋼桁橋における損傷の発生傾向に関して、橋全体系の構造影響に着目した研究は比較的少ない。本文では、古い年代と現行の設計基準に基づく鋼 I 桁橋を対象として、主桁と横桁の取合い部 (図-1) に着目した 3 次元立体モデルによる弾性 FEM 解析を行い、き裂発生部位の局部応力により、二次応力疲労に対する全体構造系の影響について分析した結果を報告する。

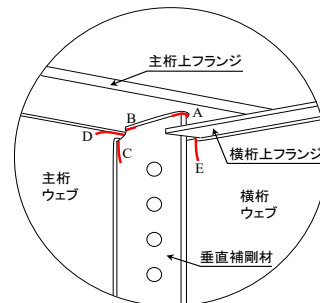


図-1 対象とした主桁-横桁取合い部とき裂の発生位置

2. 着目部位と対象橋梁

ここでは、図-1 中の比較的発生数の多い垂直補剛材上端溶接止端のき裂(き裂 A)¹⁾に着目した。表-1 に解析ケースをまとめる。対象橋梁としては、二次応力に起因するとみられる疲労損傷が相対的に多い¹⁾とされる、昭和 39 年の溶接鋼道路橋示方書(S39 道示)により再現設計された鋼単純合成 I 桁橋 (図-2, 支間 30m) を基本ケースとした。また、二次応力疲労への橋全体系の影響の観点から、同一支間・幅員構成で、B 活荷重及び疲労設計導入後の平成 14 年道路橋示方書(H14 道示)によるケースを比較対象とした。両者は、主に床版厚と主桁フランジ厚・幅の違いから橋全体系の剛性が異なる。さらに、基本ケースに対して、既設橋の補強や応力軽減策の提案事例等を参考に、構造改良のケースを加え、局部応力への影響を検討した。横桁取合い部の構造詳細については、年代毎の標準設計や設計の考え方により異なるが、主桁上フランジ面からの位置により、図-2 に示す 2 タイプとした。タイプ a は S38 標準図集²⁾を、タイプ b は現行設計³⁾を参考にしている。

表-1 解析ケース概要

解析モデル/ケース名	適用基準	横桁取付け位置	概要
基本モデル	S39-Base	30mm	基本ケース
	S39-Base-d150	150mm	応力軽減策(横桁取付け位置を下げる)
	H14-Base	30mm	B活荷重対応, 疲労設計導入
構造改良モデル	S39-Girder	30mm	B活荷重対応(主桁断面剛性1.25倍)
	S39-Deck	30mm	B活荷重対応(床版厚250mm)
	S39-Bolt	30mm	応力軽減策(横桁上端ボルト外し)

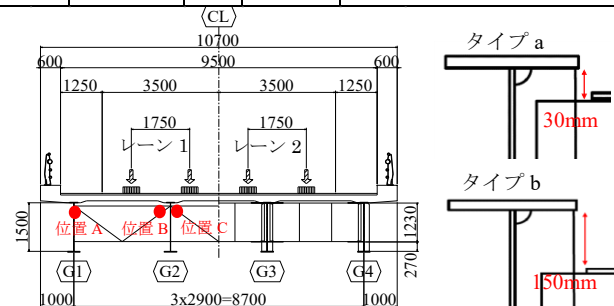


図-2 幅員構成と走行レーン位置図、および横桁取付け位置

3. 解析方法

図-3 に解析モデル図を示す。RC 床版は 8 節点ソリッド要素、他部材はすべて 4 節点シェル要素でモデル化した。床版と主桁間は剛結としている。着目部では図-3 に示すように要素寸法を細かくし

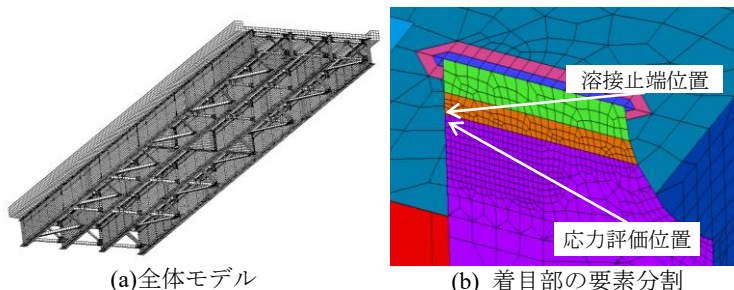


図-3 解析モデルの概要

(最小寸法: 2mm×2mm)、さらに要素の板厚を変化させることで溶接ビードを再現している⁴⁾。要素寸法については、解析ケース間の局部応力を相対比較する上では概ね問題ないことを確認している。活荷重については、本橋が対称断面であることからレーン 1 (レーン 2) 上 (図-2 参照) の橋軸方向の複数位置に F 荷重 (200kN) の載荷を行

キーワード 鋼 I 桁橋, 主桁-横桁取合い部, 疲労, 二次応力, FEM 解析

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京 TEL: 042-677-2782 E-mail: yamamoto-kyosuke@ed.tmu.ac.jp

い、着目位置 A, B, C (図-2 参照) における、溶接止端から鉛直方向に-2mm 位置の節点 (図-3(b)参照) の鉛直方向の応力性状を分析した (本文では支間中央断面載荷時の結果を示す)。なお、横桁と垂直補剛材の接合には、ボルト位置にタイピング節点を使用しており、ボルト外しでは垂直補剛材の上端の 1 ボルトを削除している。

4. 解析結果

(1) S39 道示と H14 道示の発生応力

図-4 に S39-Base について、レーン 1, 2 載荷時の応力とその比率を示す。応力の最大値 (絶対値) で比較すると、位置 A (156N/mm^2) に対して、位置 B では 0.42 倍 (66N/mm^2)、位置 C では 0.40 倍 (63N/mm^2) である。その他のケースでも位置毎の応力の傾向は同様であり、本橋の場合、位置 A の外桁取合い部の応力が厳しい傾向にある。

図-5 に位置 A における、ケース S39-Base, S39-Base-d150, H14-Base の応力とその比率を示す。S39-Base と S39-Base-d150 の比較より、横桁取付け位置の影響は小さいことがうかがえる。また、H14-Base では、S39-Base (156N/mm^2) に対して、0.78 倍 (123N/mm^2) と低下しており、全体構造の剛性等による影響と考えられる。

図-1 のき裂 A の主要因として、床版たわみによる主桁上フランジの首振り現象や主桁間の相対変位が指摘されている^{1),5)}。図-6 にケース S39-Base, H14-Base の支間中央断面における、床版と桁の変形を示す。S39-Base では、床版たわみと主桁相対変位が相対的に大きい傾向にあり、主桁 G1 の上端では面外方向の変形が相対的に大きい。結果的に、S39-Base では H14-Base に対して、前述のとおりの応力が大きくなっているものと推測される。

(2) S39 道示橋梁における構造改良時の発生応力

図-7 に構造改良モデルにおけるレーン 1, 2 載荷時の応力とその比率を示す。位置 A において、S39-Base に対して、応力が最も低減したのは、床版を増厚した S39-Deck であり、S39-Base に対して 0.76 倍 (119N/mm^2) である。床版たわみと垂直補剛材上端の面外方向変位の相互の影響によるものと推測される。一方で、S39-Girder, S39-Bolt では、それぞれ 0.99 倍、1.00 倍であり、本解析モデルでは応力低減効果はほとんど見られなかった。S39-Bolt は、垂直補剛材上端の拘束を軽減する点では、S39-Base-d150 と同様の応力軽減効果を意図した提案策であるが、同様の結果であった。

引き続き、主桁-横桁取合い部に発生するき裂の発生メカニズムについて、局所的な応力・変形状態を基に分析を進めるとともに、効果的な疲労対策について検討を進めていく予定である。

参考文献 1) 日本道路協会：鋼橋の疲労，1997.3.

2) 日本道路協会：道路橋標準設計図集，建設省道路局監修，土木研究所設計，1963.

3) 日本橋梁建設協会：鋼橋構造詳細の手引き（改訂 2 版），2013.6.

4) 町田進，的場正明，吉成仁志，西村隆一：ホットスポット応力基準による疲労強度評価 (第 3 報)-FEM による評価-，日本造船学会論文集，第 171 号，pp.477-484，1992.1.

5) 日本鋼構造協会：鋼橋の疲労耐久性向上・長寿命化技術，2006.10.

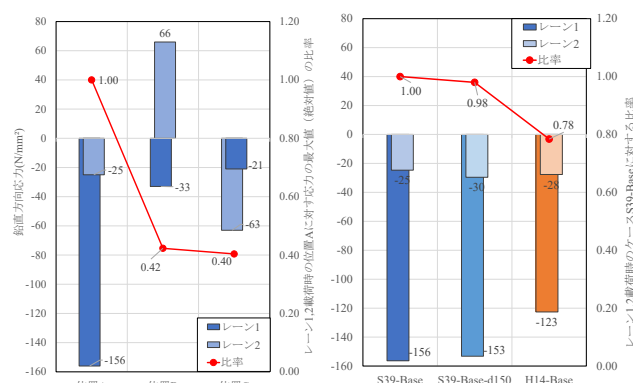


図-4 S39-Base の位置別の応力比較

図-5 位置 A における S39・H14 道示の応力比較

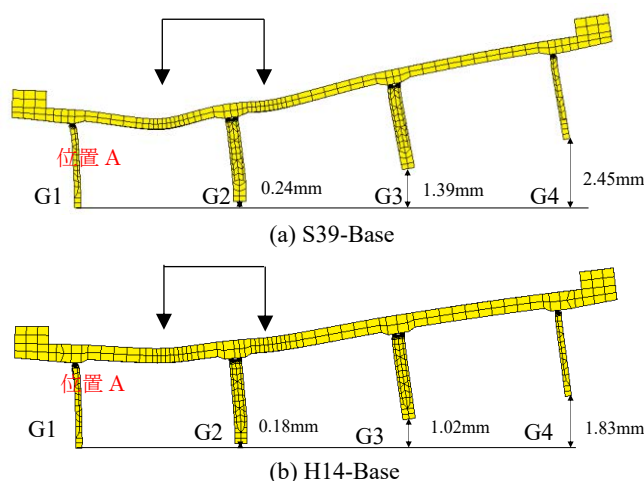


図-6 支間中央断面の床版と桁の変形の比較 (倍率 500)

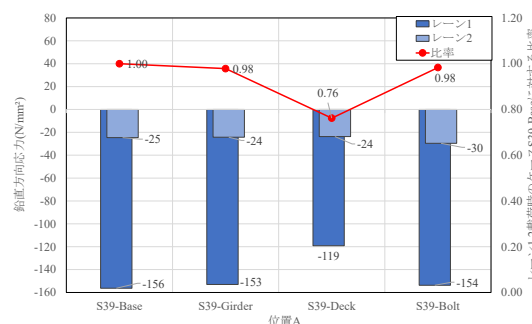


図-7 位置 A における構造改良モデル間の応力比較