

H形鋼桁橋の主桁-横桁接合部における疲労損傷の構造的要因に関する解析的検討

東京都立大学大学院 学生会員 ○吉川 聡平 東京都立大学大学院 正会員 村越 潤

1. はじめに

鋼 I 桁橋の主桁-横桁接合部のき裂の発生・進展には、橋全体系の挙動に伴う二次応力が影響しているが、き裂の進展性と橋梁毎の構造・载荷条件等との関係性に関しては必ずしも明らかにされていない。著者らによる既設鋼桁橋の損傷事例の発生傾向分析によれば、短支間で低桁高の H 形鋼桁橋では溶接 I 桁橋と比較して、き裂の発生傾向が異なり構造的に局部応力が大きい可能性が考えられる¹⁾。これまでも H 形鋼桁橋の損傷事例への対策検討は実務的には行われているが、疲労挙動について検討した研究事例は少ない。本稿では H 形鋼桁橋の疲労挙動を明らかにすることを目的として、実橋での損傷・対策事例をケーススタディとして、橋全体系の FEM 解析により、疲労着目部位における局部応力・変形性状を分析した結果を報告する。

2. 対象橋梁と疲労損傷の発生傾向

対象橋梁は高架橋の H 形鋼桁橋 (図-1, 図-2) で、多径間単純合成桁橋の 1 径間 (上下線ともに同一構造) である。支間 1/4 間隔で 3 本の中間横桁が設置されており、主桁との接合部は、外桁では垂直補剛材を介してウェブを連結する 1 面せん断伝達、内桁では両者の上フランジ間を連結するモーメント伝達の継手となっている。同径間上下線における損傷状況や既往事例¹⁾を踏まえ、垂直補剛材上端部のき裂 A1 (図-4) に着目し、さらに止端き裂とルートき裂に分類して整理を行った。

図-3 にき裂 A1 の主桁毎の発生分布を、図-4 にき裂の進展方向を示す。外桁での発生数・長さがともに大きく、き裂長の偏りも顕著である。G1 側と G5 側では荷重条件 (隣接レーンからの距離) が異なるが、き裂の発生数と長さに大きな差異はみられない。図-5 に外桁におけるき裂 A1 の横桁毎の発生状況を示す。各横桁間ではき裂発生数の差はみられないが、き裂の総延長としては支間中央の横 2 接合部で最も長い。

3. 解析方法

図-6(a)に全体モデルを示す。RC 床版と壁高欄は 8 節点ソリッド要素、鋼部材は 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、横桁と垂直補剛材はボルト位置を剛梁で結ぶことで接合した。着目部では要素寸法を最小 2mm×2mm とし、垂直補剛材上端部では要素厚を変化させることでサイズ 6mm の溶接ビードを再現した²⁾。活荷重は、レーン 1 (走行車線)・レーン 2 (追越車線) それぞれ支間中央に F 荷重を載荷した。支間中央断面の全 8 箇所と、支間 1/4 断面の外桁の 2 箇所の垂直補剛材に着目し、補剛材上端の溶接止端から鉛直方向に 2mm 下方の節点における鉛

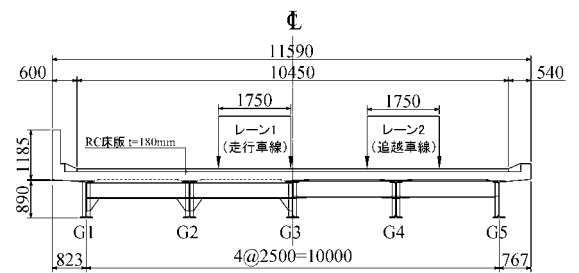


図-1 対象橋梁の断面図

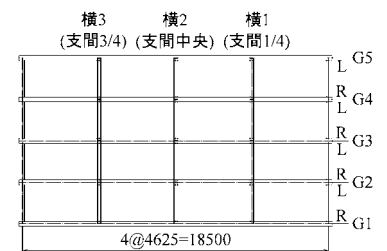


図-2 対象橋梁の部材配置平面図

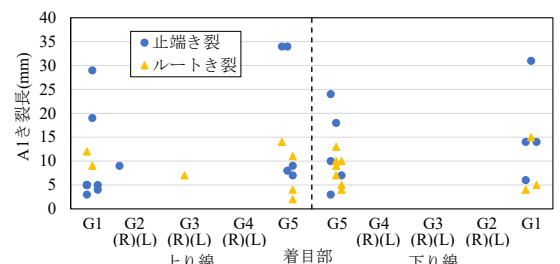


図-3 き裂 A1 の主桁毎の発生分布

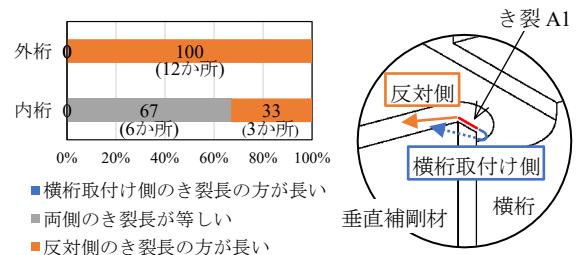


図-4 き裂 A1 の進展方向

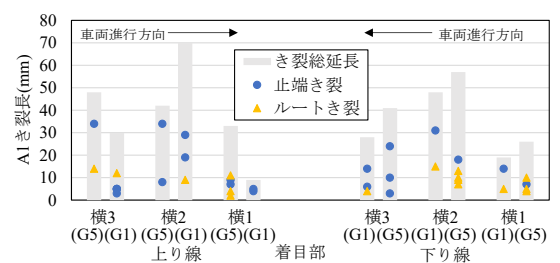


図-5 外桁におけるき裂 A1 の横桁毎の発生分布

キーワード H形鋼桁橋, 主桁-横桁接合部, 疲労, FEM 解析

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 東京都立大学大学院 TEL:042-677-2782 E-mail:yoshikawa-sohei@ed.tmu.ac.jp

直方向応力を比較した(図-6(b)). 応力は、垂直補剛材の横桁取付け側表面・反対側表面・板厚中心の3層の値を抽出し、曲げ応力(両面応力の差の1/2)、膜応力(両面応力の和の1/2)を評価した。

4. 解析結果

(1) き裂の発生傾向との比較

図-7に着目部の応力範囲を示す。なお、支間1/4断面は、着目部の応力が最大となる載荷位置(G1-Rでは支間中央、G5-Lでは支間1/4断面に載荷)の結果を示している。各レーンへの載荷に対する応力範囲は、支間中央断面の外桁G5、G1の順で大きいほか、外桁の支間1/4では支間中央の90%程度となっており、き裂の発生傾向と概ね一致している。一方で、レーン1載荷時のG1とレーン2載荷時のG5では、応力範囲に約1.5倍の差があり、き裂の発生傾向と必ずしも一致していない結果となっている。

図-8に、支間中央断面における床版と主桁の変形状況を示す。レーン1載荷時のG1では、レーン2載荷時のG5と比較して、隣接桁間との相対変位が大きい一方で、床版たわみの影響は小さいことが確認できる。G1とG5では、以前より指摘されている床版たわみと主桁間の相対変位の寄与の程度が異なるものと考えられる。床版と主桁の変形と局部応力の関係性については、今後検討していく必要がある。

(2) 局部応力へ影響を与える構造的要因の検討

内桁-横桁間の接合形式の影響を確認するため、上フランジの添接板を除去しせん断伝達に変更したモデルに載荷を行った。図-9に変更前後の結果を比較して示すが、G2-Rで約3倍の応力が発生するなど内桁で応力が増加しているほか、接合形式変更前モデルの外桁G1での応力を上回っており、内桁では横桁接合部のディテール(モーメント連結板の有無)により応力が抑制されていることを確認した。

図-10に、壁高欄の影響を確認するため、壁高欄を除去したモデルに載荷を行った結果を示す。レーン1載荷時、壁高欄あり(実橋)のモデルでは、壁高欄なしと比較して、G1-Rの支間中央・支間1/4で応力が約20~30%高い一方、レーン2載荷時は大きな差異は認められず、壁高欄が床版の変形を抑制し、応力がやや増加していることを確認した。また、実橋で壁高欄の上部に設置されている遮音壁の影響を考慮して壁高欄の剛性を増加させたモデルでは、さらに約10%応力が増加したが、図-7で示したG1-RとG5-Lの応力差と比較すると依然として小さくなっている。引き続き、同着目部の局部応力・変形状態の分析を進めるとともに、効果的な対策工法について検討を行う予定である。

謝辞：本研究の一部は、(一財)首都高速道路技術センターの研究助成を受けて実施した。ここに、記して謝意を表す。

参考文献 1) 山本亨介, 村越潤, 上仙靖: 橋梁点検データに基づく鋼I桁橋における主桁-横部材取合い部の疲労損傷事例の分析, 鋼構造論文集, 第28巻, 第112号, pp.89-100, 2021.12. 2) 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.

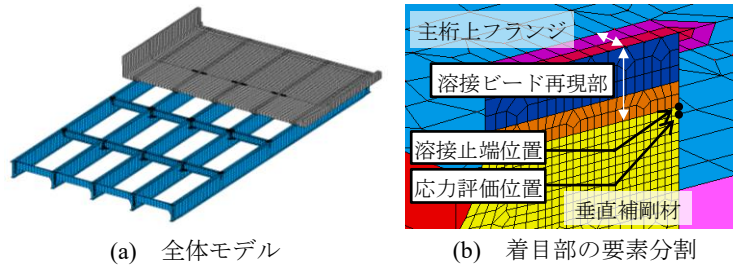


図-6 解析モデルの概要

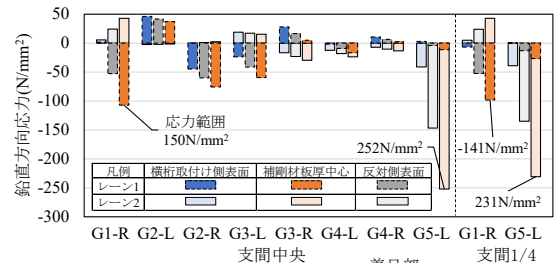


図-7 各着目部の応力範囲

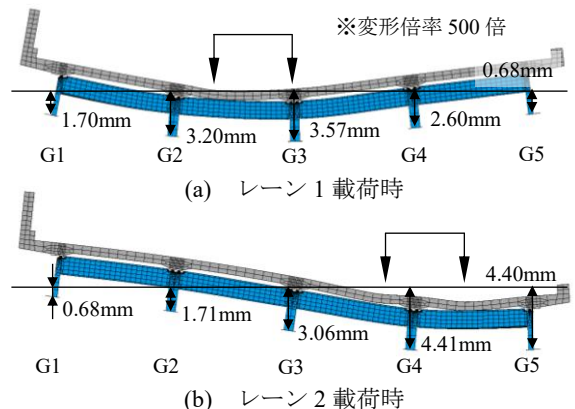


図-8 支間中央断面における床版と主桁の変形状況と下フランジの鉛直方向変位

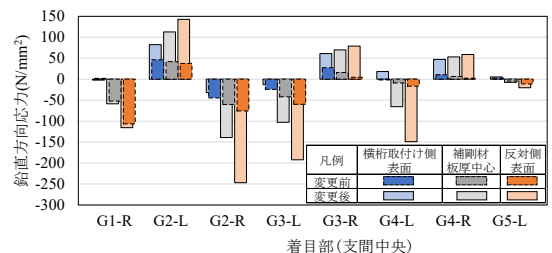


図-9 レーン1載荷時における横桁接合の変更前後の各着目部の応力

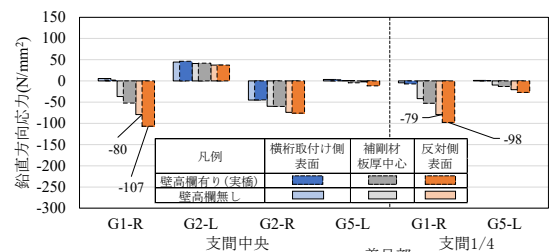


図-10 レーン1載荷時における壁高欄の除去前後の各着目部の応力