

H 形鋼桁橋の疲労発生部位における応力性状と主桁・床版の変形挙動との関係

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 桁橋の疲労き裂は、主桁-横桁接合部の垂直補剛材上端部における疲労き裂が事例の大半を占めており¹⁾、その発生と進展には、橋全体挙動に伴う二次応力の影響が大きいとされている（例えば、2）。著者らは同き裂の進展性を明らかにし、合理的な対策選定に資する実用的な診断手法を提案するための基礎検討として、短支間・低桁高の H 形鋼桁橋の損傷・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・変形状を分析している³⁾。本稿では、同解析モデルを基に、橋全体系の挙動が外桁垂直補剛材上端部の局部応力に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、疲労着目部の局部応力と主桁・床版の変形パラメータとの関係について検討した結果を報告する。

2. 対象橋梁と解析方法

対象橋梁は H 形鋼桁橋（図-1、図-2(a)）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。表-1 に、解析ケースとその概要を示す。実橋の構造に基づいた基本モデル（Model 1）に加えて、応力軽減策として B 活荷重対応を想定したモデル（Model 2, 3）で検討を行った。

図-2(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、図-2(a)に示す横桁ウェブと主桁の垂直補剛材間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 $2\text{mm} \times 2\text{mm}$ 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。活荷重は図-3 に示すような F 荷重の移動載荷を行い、支間中央断面での幅員方向への移動載荷を CASE 1、走行車線・追越車線での橋軸方向への移動載荷をそれぞれ CASE 2-1・CASE 2-2 とした。支間中央断面の外桁の 2 か所の垂直補剛材 (G1-R, G5-L) 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直方向応力を比較した (図-2(b))。応力は、垂直補剛材の横桁取り付け面・反対面・板厚中心の 3 層の値を抽出し、膜応力 σ_m (両面応力の和の 1/2)、曲げ応力 σ_b (両面応力の差の 1/2) を評価した。

3. 解析結果と考察

(1) 変形パラメータの定義と分析方法

着目部の局部応力に影響を与える部材変形を表す指標として、以前より損傷要因とされている主桁・床版変形の影響²⁾や、既往研究⁴⁾を参考に、主桁上フランジとウェブの交点周りの2つの回転角 θ_d と θ_w を考えたこととした。図-4に、支間中央断面の変形状況と、2つの回転角の定義(設定方法)を示す。 θ_d は、主桁上フランジ縁端の節点と水平線がなす角度であり、主桁上の床版のたわみ変形角に対応する。 θ_w は、主桁ウェブ上端から下方向に204mm

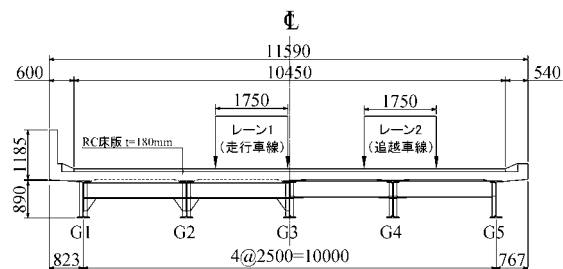
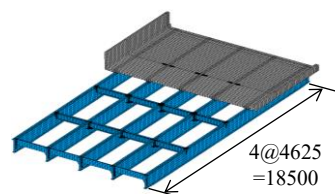
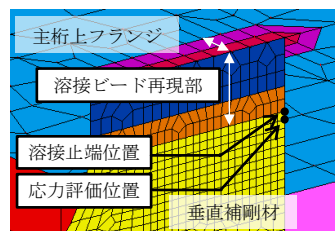


図-1 対象橋梁の断面図



(a) 全体モデル



(b) 応力着目部

図-2 解析モデル

表-1 解析ケースとモデルの概要

ケース名	解析モデルの概要
Model1	基本モデル：実橋の構造に基づく
Model2	床版増厚モデル：床版厚を180mmから230mmに増厚
Model3	下フランジ増厚モデル：主桁断面剛性を1.25倍に増加

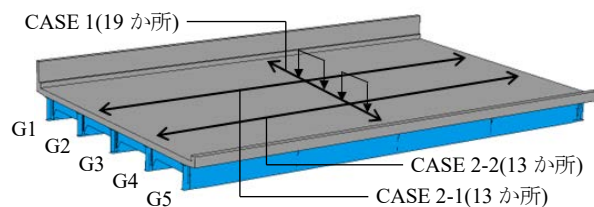


図-3 F荷重の移動載荷位置

(横桁の中立軸位置付近)の節点と鉛直線がなす角度であり、主桁間の相対変位を横桁が拘束することにより生じるウェブの変形に対応する。符号は、上フランジとウェブの交点を中心に、垂直補剛材が床版支間の方向に回転しようとする方向を正としている(図-4においては時計回り)。

着目位置の膜・曲げ応力 σ_m , σ_b と回転角 θ_d , θ_w との関係を分析するとともに, σ_m , σ_b を目的変数とし, θ_d , θ_w を説明変数とした重回帰分析を行った。Model 1 の G1-R, G5-L 位置の FEM 解析値に対する回帰分析を実施した結果を基に, $(\theta_w - \theta_d)$ による膜・曲げ応力の推定式(回帰式)をそれぞれ作成した後, Model 1, 2, 3 に対して推定値(回帰式による計算値)と解析値とを比較した。表-2 に, 得られた推定式と相関係数を示す。図-5 に, Model 1 に対する CASE1 載荷時の, G1-R における膜応力 σ_m と変形パラメータ θ_d , θ_w の関係を示す。主桁上フランジとウェブ間の相互の変形を考慮した $(\theta_w - \theta_d)$ には, 膜応力 σ_m の発生傾向との類似性が確認できる。

(2) 局部応力の解析値と推定値との比較

図-6 に, Model 1 における G1-R, G5-L の膜・曲げ応力 σ_m , σ_b と, $(\theta_w - \theta_d)$ を用いた推定式による推定値との関係を示す。また図-7 に, Model 1, 2, 3 での CASE 1 載荷に対する解析値と推定値の関係を示す。いずれも解析値と推定値は概ね一致しており, 載荷位置に応じた膜・曲げ応力の発生傾向を推定できていることがわかる。G1-R と G5-L では壁高欄の有無, また Model 1, 2, 3 では応力軽減策の適用により応力性状が異なるが, 膜・曲げ応力を同一の推定式によって推定できている。すなわち, 2 つの回転角

表-2 推定式と相関係数

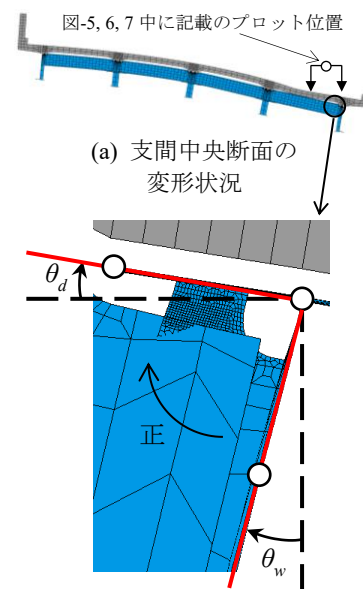
	推定式	相関係数
膜応力 σ_m	$\sigma_m = -4131(\theta_w - \theta_d) - 2.46$	0.999
曲げ応力 σ_b	$\sigma_b = -2745(\theta_w - \theta_d) - 7.06$	0.963

により, 構造条件が変わる場合でも局部応力性状を推定できる可能性があることが確認された。今後, 変形パラメータ $(\theta_w - \theta_d)$ を比較的簡便な構造解析モデルによる変形パラメータと関連付けることにより, 局部応力を概略推定する方法について検討する予定である。

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, 記して謝意を表する。

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, pp89-100, 2021.12. 2) 日本道路協会: 鋼道路橋疲労設計便覧, 2020.9. 3) 吉川聡平, 村越潤: 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, 土木学会第 77 回年次学術講演会講演概要集, I-63, 2022.9. 4) 大倉一郎, 指吸政男, 平野浩: プレートガーダー橋の横桁連結部の局部応力と橋の 3 次元挙動の関係, 構造工学論文集, Vol.33A, 1987.3.



(b) 変形パラメータ抽出位置
図-4 回転角 θ_d と θ_w の定義
(変形倍率: 500 倍)

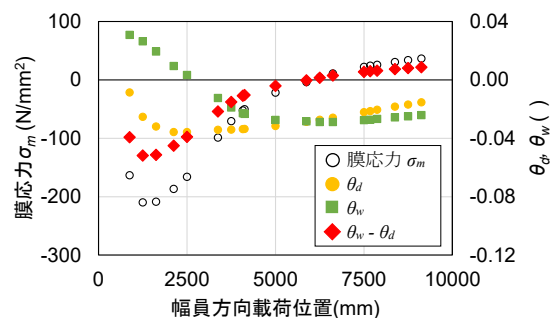
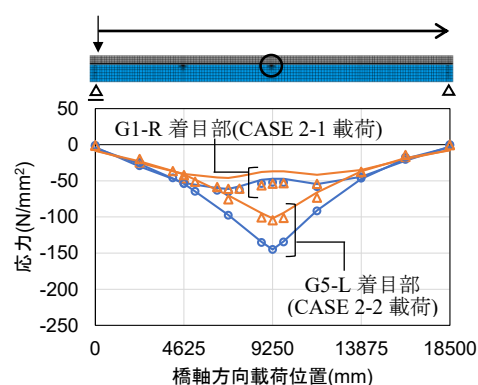
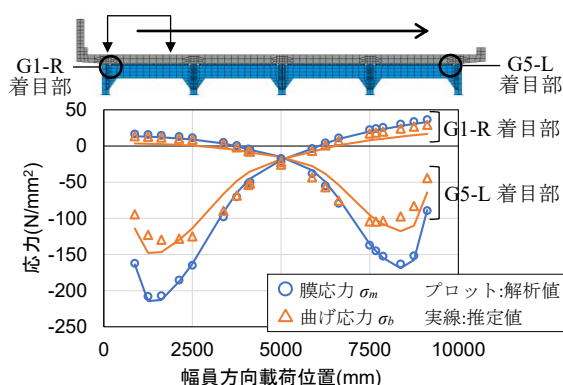


図-5 Model 1 に対する CASE 1 載荷時の着目部 G1-R における膜応力 σ_m と変形パラメータ



(a) CASE 2-1, CASE 2-2 載荷時



(b) CASE 1 載荷時

図-6 Model 1 に対する移動載荷時の各着目部における応力の解析値と推定値

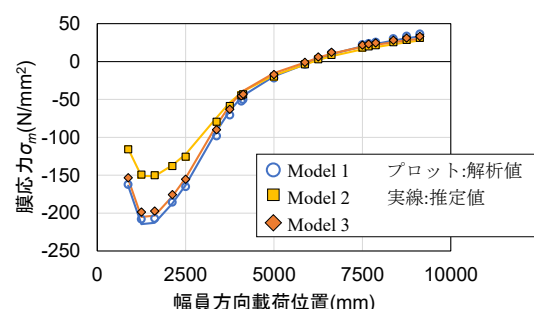


図-7 Model 1, 2, 3 に対する CASE 1 載荷時の着目部 G1-R における応力の解析値と推定値