

垂直補剛材溶接止端形状に着目した鋼床版の FEM 解析

日本工営 正会員 ○坂柳 皓文
 首都高速道路 正会員 小島 直之
 法政大学 正会員 森 猛

1. はじめに

首都高速道路では、鋼床版の疲労耐久性を向上させる構造として、デッキプレートと垂直補剛材との間に隙間を設けたウェブギャップ構造を推奨しており、その有効性を確認するために疲労載荷試験を実施した。試験では、10t 輪荷重相当の荷重を 500 万回繰返した結果、改良型垂直補剛材では溶接部の応力集中による疲労亀裂が発生しなかった。本論文では試験時の応力状態を把握するため、溶接止端部に着目した FEM 解析を実施し、疲労載荷試験の検証を行った。

2. 解析手法

FEM 解析において、溶接止端部の局所応力を再現するためには、要素分割を細かくする必要があるため、約 0.1mm サイズの 6 面体ソリッド要素を用いて着目部の部分解析を実施した。その前段階として、まず 4 辺形シェル要素による解析モデルを用いた疲労載荷試験の再現解析を行い、解析モデルにおける荷重載荷方法、拘束条件の妥当性を確認した。次に、垂直補剛材上端部のみを 2mm サイズの 6 面体ソリッド要素に置き換えて部分解析に用いる境界条件を抽出し、これを用いて詳細部分モデルによる解析を行った(図-1)。解析に用いたソルバーは Nastran5.0、プリポストは Femap v9.3.1 である。

3. 疲労載荷試験の再現解析

疲労載荷試験では、試験体の下フランジ全面を架台上にボルトにより仮締めした状態で、ダブルタイヤを模した 100kN 荷重を垂直補剛材の直上に載荷している。試験体における載荷位置とひずみ及び変位の計測位置を図-2、載荷試験の全体解析モデルを図-3 に示す。

試験体の拘束条件は、①下フランジ全面を完全拘束した場合、②ウェブと下フランジ交差部で橋軸直角方向にのみ回転を許した場合の、2 ケースについて解析を行い、比較した。その結果、ひずみ及び変位に大きな差がなかったため、実験同様に全面拘束とした。

荷重条件は、疲労載荷試験では対角位置の 2 箇所同時に同時載荷していたが、片側 1 箇所載荷でも、載荷位置に近い垂直補剛材付近のひずみ及び変位に差が無いことが解析によって確認されたため、片側 1 箇所のみの載荷で再現解析を行うこととした。

表-1 に疲労載荷試験の計測値と FEM 解析結果を示す。これより、計測値と解析値に大きな差がみられないため、シェル要素による全体解析で載荷試験を再現できていると判断した。そして、全体解析

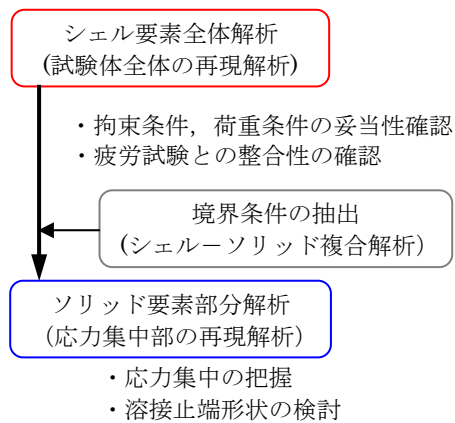


図-1 解析フロー

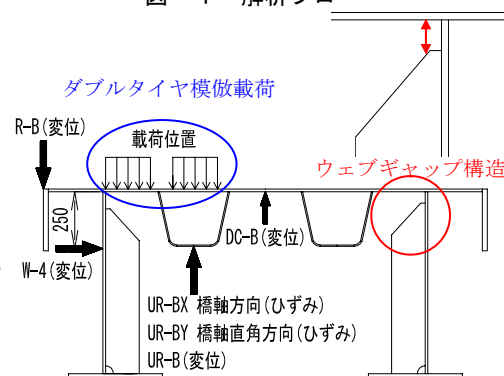


図-2 載荷位置および計測位置

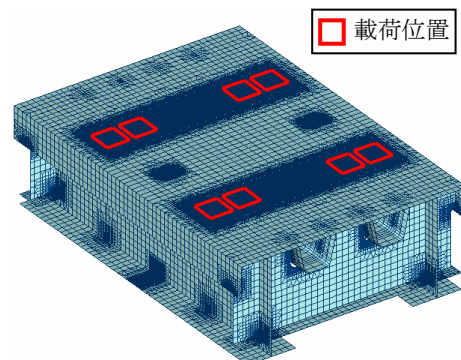


図-3 鋼床版試験体全体解析モデル

表-1 鋼床版試験体全体解析値と試験値比較

計測箇所	単位	試験値	解析値	差(%)
UR-BX	μ	256	283	10
UR-BY	μ	121	148	18
UR-B	mm	-0.63	-0.67	6
R-B	mm	0.03	0.06	50
W-4	mm	-0.27	-0.12	125
DC-B	mm	-0.47	-0.46	2

キーワード FEM 解析, Effective Notch Stress 法, 鋼床版, 疲労損傷, 垂直補剛材

連絡先 〒102-8539 東京都千代田区麹町 5-4 日本工営(株) 交通運輸事業部 道路橋梁部 TEL03-3238-8347

モデルをベースに、垂直補剛材上端部分をソリッド要素で置き換えた解析を実施し、部分解析のための境界条件の抽出を行った。

4. 垂直補剛材上端に着目した部分解析

荷重試験では正確に計測できない溶接止端部の発生応力を検討するため、鋼床版の垂直補剛材上端に着目した FEM 解析を実施した。部分解析モデルを図-4 に示す。10t 輪荷重により最大の応力集中が発生する垂直補剛材上端の廻し溶接部に着目し、モデル構築を行った。溶接止端部のモデル化においては、IIW で推奨される Effective Notch Stress 法¹⁾ (以下、ENS 法) を用いた。ENS 法は局所応力を取り扱う手法の一つであり、溶接ルート部や止端部を仮想的円弧に置き換えることで、局所的な応力を評価する手法である。さらに、ENS 法では溶接部形状の影響を含んだ応力値を算出することができる。

解析モデルの諸元は、疲労荷重試験体の溶接止端形状を極力再現することとし、隅肉溶接のフランク角 $\theta=45^\circ$ 、溶接脚長 $S=10\text{mm}$ (疲労荷重試験体とのど厚を合わせた) とした。供試体の溶接止端部は大きくグラインダー仕上げされており、実測値から仕上げ半径 $\rho=12\text{mm}$ とした。さらに、疲労損傷と仕上げ半径の関係を検証するため、 $\rho=1\text{mm}$, 3mm , 5mm とした解析モデルも追加し、解析を行った。溶接止端の着目部におけるメッシュサイズは、ENS 法の推奨値が仕上げ半径の $1/6$ 以下であるのに対し、応力集中をより詳細に把握できるように、約 0.1mm とした。試験値と部分解析のひずみ値の比較を図-5、最小主応力の分布を図-6 に示す。ひずみ値の比較より、溶接止端から離れた部分では解析値と疲労荷重試験の試験値が比較的良好に一致しており、部分解析モデルは妥当と判断できる。また、最小主応力の分布より、試験体を再現した $\rho=12\text{mm}$ のモデルでは応力集中がほとんど発生していない。さらに、仕上げ半径が大きくなると、応力集中の低減率が小さくなっている。

次に、溶接部のグラインダー仕上げによる母材研削が止端部の応力集中へ与える影響について、図-7 に示す研削モデルで検討を行った。研削深さは 0.5mm (本四公団規定を参考)、仕上げ半径は $\rho=5\text{mm}$ とした。図-8 に示す結果から、 0.5mm 以下の研削では、応力集中にほとんど影響を及ぼさないことが確認できた。

5. まとめ

FEM 解析の結果、以下のことが分かった。

- ・疲労荷重試験の溶接仕上げ半径 $\rho=12\text{mm}$ では、垂直補剛材止端部に応力集中がほとんど発生していない。
- ・仕上げ半径 $\rho=3\sim 5\text{mm}$ 程度で、応力集中は大きく緩和される。
- ・ 0.5mm 程度の母材研削では、応力集中への影響は小さい。

参考文献

- 1) A. Hobbacher (chairman of IIW Joint Working Group XIII-XV), Recommendation for fatigue design of welded joints and components, 2008, 6

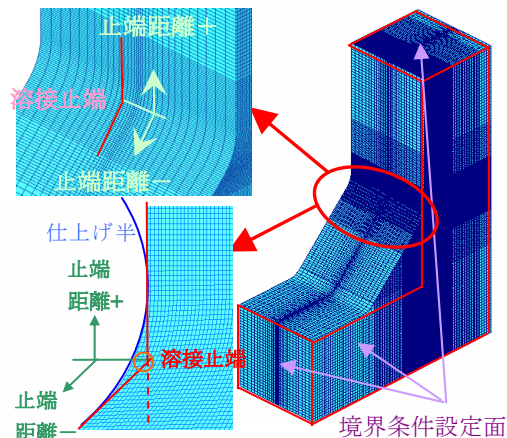


図-4 部分解析モデル

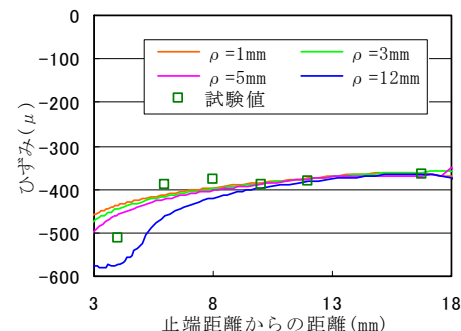


図-5 試験値とのひずみ比較

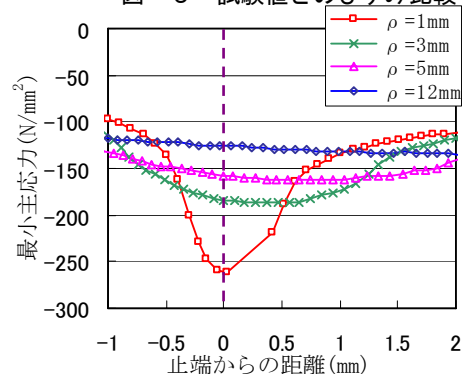


図-6 溶接止端部の応力分布

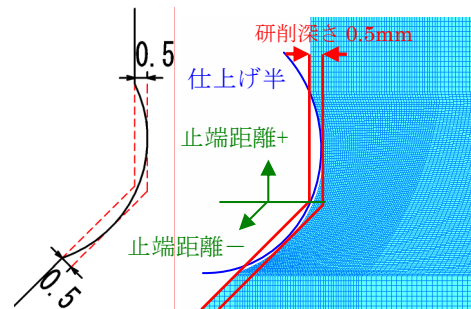


図-7 研削モデル

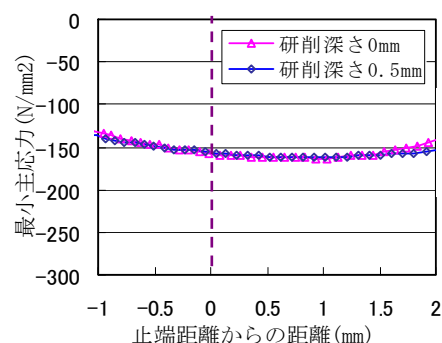


図-8 研削深さの比較