

波形鋼板ウェブ橋継手部X型スカラップ部の疲労強度

○住友重機械工業(株) 正会員 江崎慶治
同上 正会員 小西拓洋
同上 正会員 武内隆文

1. はじめに

波形鋼板ウェブ橋継手部に廻し溶接を採用する場合、ウェブ・フランジ接合部にスカラップを設ける必要がある。スカラップ及び首溶接部周辺は品質管理上重要な位置であるが、この部分には形状により大きな応力集中が生じることから、当該部の応力性状の把握の為、静的載荷実験とFEM解析を実施した。更に、廻し溶接がスカラップを通過する構造に対する明確な疲労設計法が存在しないことから、スカラップ周辺の代表的応力による評価法を提案する。

2. 研究の概要

ウェブ継手部スカラップは、波形ウェブ橋の製作・架設を左右する重要なポイントであり、この溶接施工性、疲労強度の観点から図-1に示す円弧型とX型のスカラップ形状を提案した。今回の一連の研究は、同スカラップの疲労強度、施工性把握、他橋梁で採用されるディテールとの比較を実施しているが、本論文では図-1bに示すX型スカラップの疲労強度特性について報告する。まず、応力性状の確認のためPCスラブ付き桁供試体の静的載荷実験を行った。図-2に試験供試体の概要を示す。図中断面1、2における応力分布を測定し、FEM解析、梁理論による計算値と比較した。次にスカラップ部の疲労強度把握のため、同一供試体の繰り返し載荷試験を実施した。試験条件を表-1に示す。

3. 波形鋼板ウェブの応力性状

波形鋼板ウェブ橋は、既存の橋梁とは異なる力学的挙動を示す。この相違は、ウェブの形状に起因しており、ウェブのほとんどの部分には、直応力が発生せず、せん断応力のみが作用する。しかし、フランジ近傍のウェブにおいては、コンクリートとの合成により、せん断応力に加え、直応力も発生する。

図-2に示す桁供試体中央に588kN(60tf)の荷重を載荷した時の実測応力とFEM解析及び梁理論による計算応力を比較した。比較を行う場所は、上述の断面1及び断面2とスカラップ近傍で比較した。断面1及び断面2については、直応力 σ_x とせん断応力 τ_{xy} について比較を行う。これを基にスカラップ近傍の応力状態を評価するための公称応力を決定する。本論文では、梁理論による応力は次式で定義する。

直応力

$$\sigma_x(y) = \frac{M}{I} y \quad \dots (1)$$

せん断応力

$$\tau_{xy}(y) = \frac{QS(y)}{b(y)I} \quad \dots (2)$$

ここに、M:曲げモーメント、I:断面1及び2での断面2次モーメント、Q:せん断力、S(y):断面1及び2での断面1次モーメント、b(y):フランジ部ではb=350(mm)、ウェブ部ではb=9(mm)。

(1)直応力分布

図-3に断面1及び2の直応力分布を示す。波形鋼板ウェブは、プレートガーダー橋のウェブと異なり、直応力は殆ど発生しないことが知られている。図-3からもその傾向は明らかである。しかし、ウェブ上下縁では、フランジに発生する直応力により波形鋼板にも直応力が発生しており、その規模はFEM解析で10MPa程度、実測では18MPa程度である。断面2ではウェブ下側に圧縮応力が実測、FEMとも発生しており、その原因を究明中である。

表-1 試験条件

支持条件	載荷条件	試験周波数
単純支持	桁中央 588kN(60tf)	1.0Hz

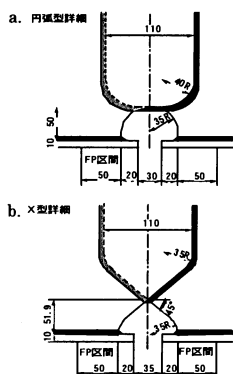


図-1 試験供試体のスカラップ形状

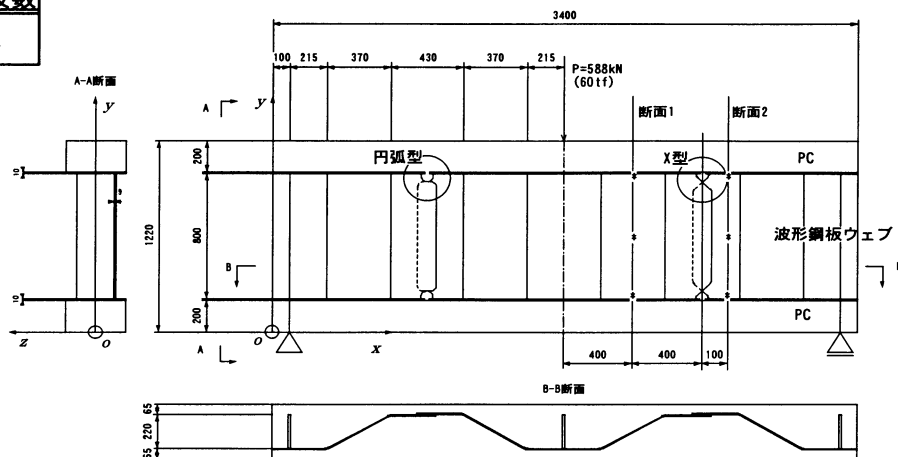


図-2 試験供試体概要

キーワード：波形鋼板ウェブ橋、疲労試験、FEM解析、疲労設計法、疲労評価応力

連絡先：住友重機械工業(株) 〒141-8686 東京都品川区北品川5-9-11 TEL03-5488-0735 FAX03-5488-8147

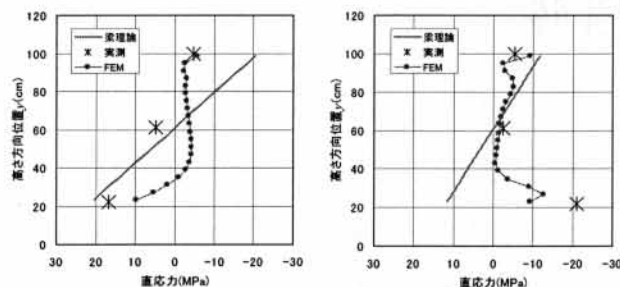


図-3 直応力分布(左:断面1 右:断面2)

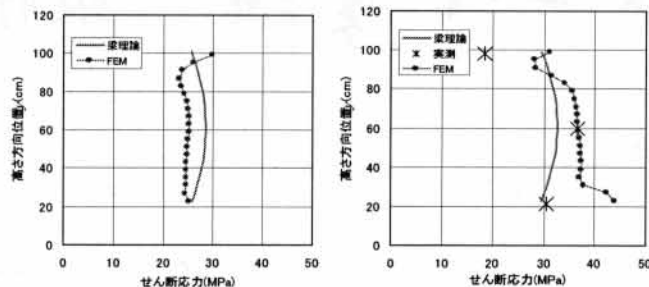


図-4 せん断応力分布(左:断面1 右:断面2)

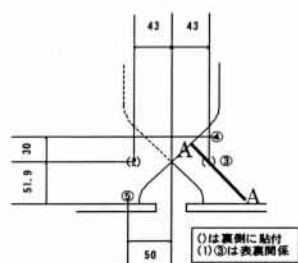


図-5 ゲージ貼付位置

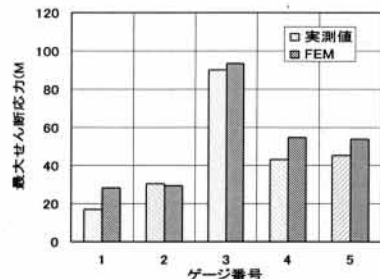


図-6 最大せん断応力の比較

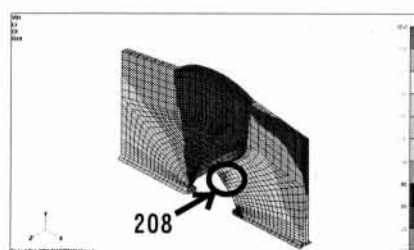


図-7 最大主応力コンター

(2) せん断応力分布

図-4 にせん断応力分布を示す。実測とFEM解析は、ほぼ同一の分布を示し、その大きさもほぼ同様であることが分かる。断面2上下縁で曲げ同様の応力の乱れが見られる。

(3) 疲労設計法の提案

以上の静的実験結果より、波形鋼板ウェブ橋は、ウェブの大部分でせん断応力が卓越するが、スカラップ近傍は、直応力の影響が加わることから疲労設計に用いる評価応力としては主応力が妥当と考えられる。

重ね継手部の疲労強度を推定するため、JSSC鋼構造物の疲労設計指針・同解説書のカバープレートをつみ肉溶接で取り付けたディテール($t > 300\text{mm}$ 非仕上げ)を参考として採用した。この場合、公称応力で評価すればG等級となる。また、ホットスポット応力で評価した場合はE等級となる。

4. 試験供試体スカラップ近傍の応力と疲労強度予測

ウェブ下側のX型スカラップ近傍の応力をFEM解析と比較した。ゲージの貼付位置を図-5に示し、図-6に最大せん断応力の実測値とFEM解析値の比較を示す。FEM解析値はスカラップ近傍においても実測値を良く再現していることが分かる。従って、FEM解析によるスカラップの近傍の応力分布を用いて疲労照査応力を決定する。

図-7にFEM解析により得られた最大主応力のコンター図を示す。図-8はFEM解析により得られた最大主応力を溶接止端から図-6A-Aに沿ってプロットしたものである。これより止端より0.5t、1.5tの応力を外挿したホットスポット応力は、117MPaと算出される。また、最大主応力のピーク値から漸減し収束した値80MPaをスカラップ付近の公称応力として採用した。これらの応力を評価応力として疲労照査を行う。表-2はそれぞれの等級と評価応力の組み合わせに対し亀裂発生までの予想繰返し回数 N を算出したものである。図-9は現在(H13年3月2日現在)の繰返し回数 N と上記で算出した繰返し回数 N をSN曲線上に示したものである。これより本実験結果は予測した繰返し回数を3種類の評価応力全てで越えていることが分かる。また、提案したX型スカラップは少なくともF等級を越える疲労強度を有すると言える。

5. まとめ

波形鋼板ウェブは、ウェブの大部分ではせん断応力が支配的であるが、フランジ近くでは直応力が発生する。特に、X型スカラップ近傍では直応力がせん断応力の30%程度発生する。この為、スカラップ近傍で疲労照査を行う場合、直応力は無視できず、組み合わせ応力で検討を行った。また、今回提案したX型スカラップはJSSCの指針ではF等級を越える疲労強度を有する。

謝辞

本研究に当たり、ご指導を頂いた関西大学工学部坂野昌弘助教授に厚く感謝の意を表します。

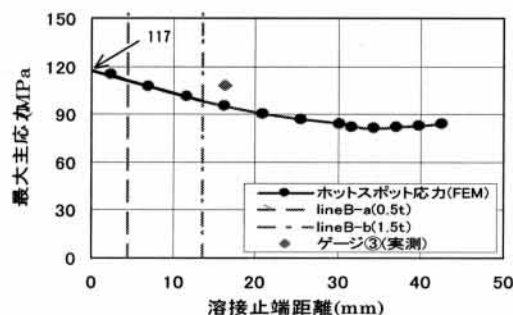


図-8 ホットスポット応力

表-2 疲労強度

単位: MPa

	等級	応力(FEM)	繰返し回数(万回)
ホットスポット応力	E	117	64
公称応力(スカラップ近傍)	G	80	49
公称応力(供試体一般部)	G	45	274

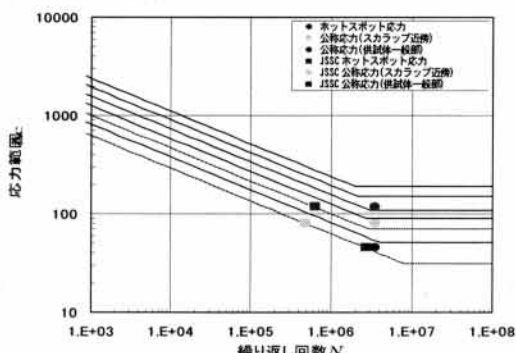


図-9 SN曲線(JSSC)