

主桁・横桁交差部の疲労強度評価応力に関する実験的検討

東京鐵骨橋梁 正会員 ○平山繁幸
法政大学 正会員 森 猛
東京都 正会員 香川拓也

1. はじめに：鋼 I 桁橋梁の主桁ウェブと横桁フランジの交差部は、主桁ウェブ応力と横桁フランジ応力が作用する 2 軸応力状態となることが多い。この部分の疲労破壊起点としては、主桁ウェブ側止端部と横桁フランジ側止端部の 2 箇所が考えられる。著者らは、主桁ウェブ側溶接止端部の応力集中と横桁フランジ側溶接止端部の応力集中は、それぞれ横桁フランジ応力と主桁ウェブ応力の影響を受けるということを既に明らかにしている。さらに、これら 2 軸応力の影響は 1 軸応力下における溶接止端部近傍の応力分布にある係数を乗じることで表現できると考え、応力増加係数を定義した。しかし、これらは 1 種類の試験体で検討した結果であったことから、前報では、板厚、溶接脚長および止端半径をパラメータとした FEM 解析を行うことにより、各パラメータが応力増加係数に与える影響を明らかにし、これらの影響を補正するための式を提案した^{1,2)}。提案式から求めた補正係数を応力増加係数に乗じることで、任意の板厚・溶接形状を有する交差部の疲労強度に対する 2 軸応力の影響を評価できると考えた。

本報では、疲労強度に対する板厚および溶接形状の影響を実験的に明らかにする目的で行った 2 軸疲労試験の結果について報告するとともに、主桁・横桁交差部の疲労強度評価応力について再検討する。

2. 試験方法：疲労試験では、図-1 に示す十字試験体の横桁フランジ厚を 16mm としたシリーズ（以下、T シリーズ）と板厚は 9mm のままで溶接形状を等脚としたシリーズ（以下、L シリーズ）の 2 種類の試験体を使用した。使用鋼材はいずれも SM490YA、板厚および溶接脚長は表-1 に示す通りである。上述の通り、主桁・横桁交差部の疲労破壊起点としては、主桁ウェブ側止端部と横桁フランジ側止端部の 2 箇所が考えられる。コーナー部の横桁フランジ側止端部には降伏点に近い圧縮残留応力が作用するため、横桁フランジ側止端部を対象とする場合には熱処理により残留応力を低減した試験体を使用した。なお、T シリーズの横桁の疲労破壊を対象とした疲労試験は、試験機の容量の関係から行っていない。

疲労試験は、動的能力±200kN の 2 軸疲労試験機を使用し、試験体の主桁ウェブと横桁フランジに同位相の繰返し引張り荷重（下限荷重：5kN）を与えて行った。試験状況を写真-1 に示す。主桁ウェブ側止端部を対象とする場合、T シリーズでは主桁ウェブの応力範囲を 100N/mm² で一定として、横桁フランジの応力範囲を 0, 25, 50, 75N/mm²、L シリーズでは主桁ウェブの応力範囲を 100N/mm² で一定として、横桁フランジの応力範囲を 0, 50, 100N/mm² とした。横桁フランジ側止端部を対象とする場合（L シリーズのみ）は、横桁フラン

表-1 試験体の寸法

試験体	主桁 板厚 t_w (mm)	横桁 板厚 t_f (mm)	主桁側 溶接脚長 (mm)	横桁側 溶接脚長 (mm)
既往の研究	9	9	12.2	8.4
Tシリーズ	9	16	15.4	8.3
Lシリーズ	9	9	8.2	8.5

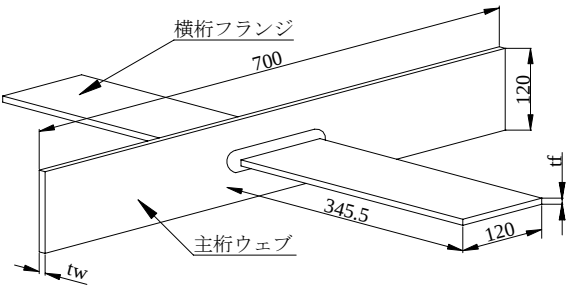


図-1 試験体の形状

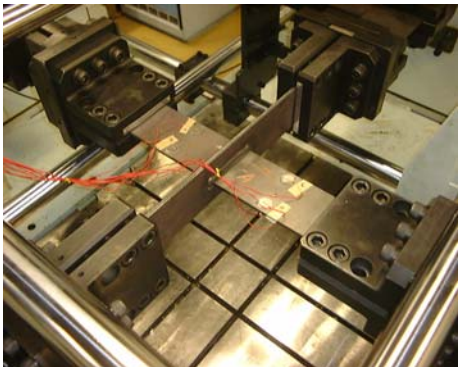


写真-1 疲労試験状況

ジの応力範囲を 150N/mm^2 で一定として、主桁ウェブの応力範囲を 0, 50, 100N/mm^2 とした。2 軸荷重載荷時の繰返し速度は 1.5Hz 、1 軸荷重載荷時の繰返し速度は 5Hz である。

3. 試験結果：主桁ウェブ側溶接止端部を対象とした疲労試験の結果を図-2 に示す。図の縦軸は疲労寿命（試験体が破断するまでの繰返し回数）、横軸は横桁・主桁応力比（横桁フランジ公称応力／主桁ウェブ公称応力）である。なお、図中には比較のために既に公表している疲労試験の結果³⁾ も示している。フランジ厚を 16mm とした場合、横桁・主桁応力比 0 (1 軸応力) では 3 体中 2 体が未破断と疲労限近くであるのに対し、2 軸応力状態となることで疲労寿命は 100 万回前後に減少している。ただし、横桁・主桁応力比が 0.25 以上の領域では、横桁・主桁応力比にかかわらず、疲労寿命はほぼ一定となっている。溶接形状を等脚とした場合、横桁・主桁応力比 0 と 0.5 の疲労寿命は同程度、1.0 で疲労寿命はほぼ半分であり、2 軸応力の影響は明確ではない。図中の横に引いた破線は、JSSC 指針で規定されている各疲労強度等級の応力範囲 100N/mm^2 に対する疲労寿命を示している。JSSC 指針において、主桁ウェブ溶接部は G 等級（面外ガセット溶接継手）であるが、すべての試験結果は F 等級以上であり、2 軸応力（横桁・主桁応力比 1.0 まで）による疲労寿命の低下は強度等級として 1 ランク程度以下である。そのため、主桁ウェブ側溶接部の疲労強度を評価する際には 2 軸応力の影響を考慮する必要はないと考える。

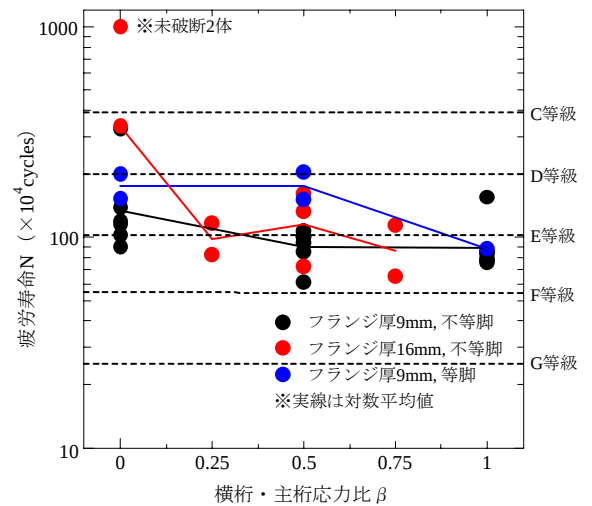


図-2 疲労試験結果（主桁側）

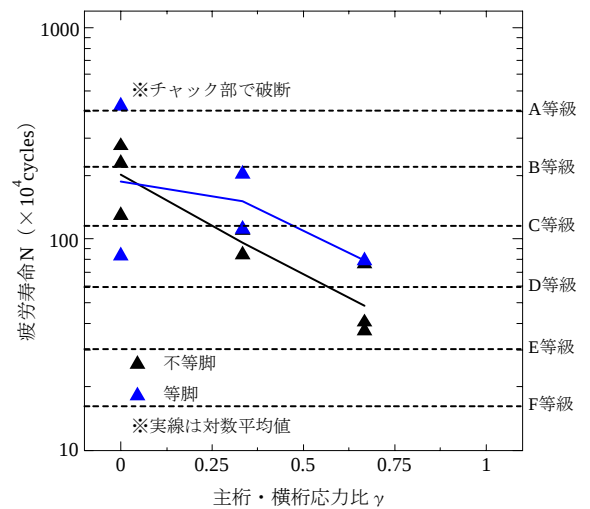


図-3 疲労試験結果（横桁側）

図-3 は、横桁フランジ側溶接止端部を対象とした熱処理試験体の疲労試験結果を示している。図の縦軸は疲労寿命、横軸は主桁・横桁応力比（主桁ウェブ公称応力／横桁フランジ公称応力）である。比較のために、図中には既往の疲労試験結果³⁾（不等脚）も示している。いずれの場合も、横桁フランジ側溶接部の疲労寿命は主桁・横桁応力比が高くなるにしたがって減少しており、応力比 0.67 では 0 の 1～2 等級程度下の疲労寿命となっている。また、等脚の試験体で得られた疲労寿命は、不等脚の試験体よりも長寿命側となっている。文献 1) の解析結果によれば、溶接形状が主桁ウェブ側に長い不等脚であるほど疲労寿命に対する 2 軸応力の影響は大きくなる。この傾向は今回の試験結果と対応している。

4. まとめ：1) 主桁ウェブ側溶接部の疲労強度を評価する際には 2 軸応力の影響を考慮する必要はない。2) 横桁フランジ側溶接部の疲労強度を評価する際には 2 軸応力の影響を考慮する必要がある。この影響をどのように考慮するかについては今後の課題としたい。

参考文献：

- 1) 香川ら：主桁ウェブに接合された横桁フランジ溶接止端部の応力性状に対する板厚と溶接形状・寸法の影響，第 62 回年次学術講演会，2007。
- 2) 香川ら：2 軸荷重下にある主桁・横桁交差部の応力性状に対する溶接部曲率半径と面取りの影響，第 63 回年次学術講演会，2008。
- 3) 平山ら：主桁・横桁交差部の疲労強度に対する 2 軸荷重の影響，第 60 回年次学術講演会，2005。