

主応力の方向が変化する部材交差部の疲労強度評価

法政大学大学院 学生会員 ○望月 建志
 東京鐵骨橋梁 正会員 平山 繁幸
 法政大学 正会員 森 猛

1. はじめに 桁構造の主桁・横桁交差部では、その直上を車両が走行した際にせん断応力の方向が反転するため、主応力の方向は変化する。疲労亀裂は主応力と直角な方向に発生・進展することが知られているが、このような状態での疲労亀裂の発生・進展性状はいまだ明らかになっていない。著者らは、交差部の疲労強度に対する主応力方向の変化の影響は、主応力範囲 $\Delta\sigma_p$ (最大主応力とその方向の最小応力の差) で整理できることを示した。さらに、**図1**に示す主応力範囲の概念を主桁ウェブに取り付けられたガセット溶接部の疲労強度評価に適用することを検討し、 $\tau/\sigma > 0.87$ の領域では、主応力範囲が最大主応力よりも大きくなること、その原因は、 σ_{min} が負の値になるためであることを示した¹⁾。しかし、主応力の傾きが大きくなると、主応力範囲だけではなく、溶接止端部の応力集中も変化すると考えられる。本研究では、主応力の方向が変化する場合の疲労強度が主応力範囲で整理できることを確認する目的でモデル試験体の2軸疲労試験を行うとともに、有限要素応力解析により主応力方向と溶接止端部の応力集中の関係を明らかにし、それを加味した主応力範囲に基づく部材交差部の疲労強度評価法について検討する。

2. モデル試験体の応力解析 疲労試験に用いるモデル試験体を対象として3次元有限要素応力解析を行った。モデル試験体の形状と寸法を**図2**に示す。解析では試験体の対称性を考慮して1/2モデルを用いた。逆位相での応力は、x方向荷重とy方向荷重の結果を重ね合わせることで求められる。解析結果を表1に示す。逆位相では、荷重する基準の応力を 150N/mm^2 としている。なお、これらの値は応力集中を含んでいる。

3. 疲労試験 疲労試験に用いた試験体は完全溶け込み溶接を行って製作した。使用鋼材は板厚 9mm の SM490Y である。疲労試験は、主応力の方向が変化する応力場を模擬するために、動的能力 $\pm 200\text{kN}$ の2軸疲労試験機を用いて、逆位相の引張繰返し荷重下で行った。繰返し速度は 1.5Hz 、繰返し応力は $(\Delta\sigma_x = 150\text{N/mm}^2, \Delta\sigma_y = 150\text{N/mm}^2)$ あるいは $(\Delta\sigma_x = 150\text{N/mm}^2, \Delta\sigma_y = 75\text{N/mm}^2)$ として行った。また、比較のために2つの条件

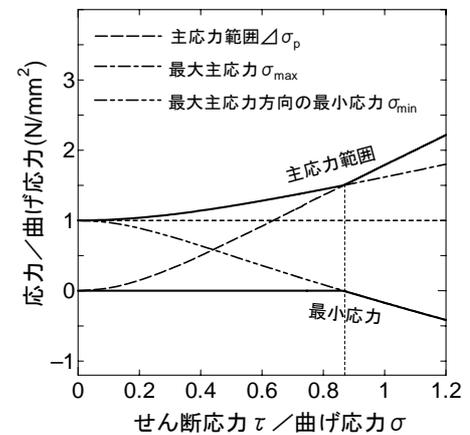


図1 τ/σ と主応力範囲 $\Delta\sigma_p$

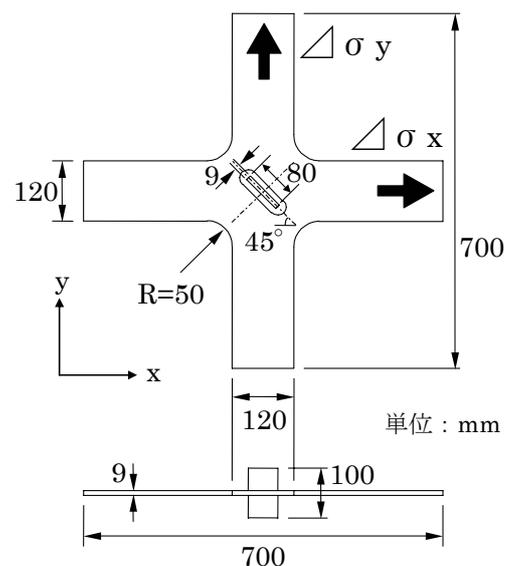


図2 試験体

表1 最大主応力と主応力範囲

	最大主応力 σ_{max} (N/mm^2)	主応力範囲 $\Delta\sigma_p$ (N/mm^2)
逆位相(1:1)	236	281
逆位相(1:0.5)	236	258
1軸(164N/mm^2)	258	258
1軸(150N/mm^2)	236	236

キーワード：主応力の方向の変化，主応力範囲，応力集中

連絡先：〒184-8584 東京都小金井市梶野町3-7-2 法政大学工学部 TEL 042-387-6287

で 1 軸疲労試験 [($\Delta\sigma_x=150\text{N/mm}^2$, $\Delta\sigma_y=0\text{N/mm}^2$), ($\Delta\sigma_x=164\text{N/mm}^2$, $\Delta\sigma_y=0\text{N/mm}^2$)] も行った。

疲労亀裂の起点は逆位相、1 軸ともに廻し溶接コーナー部付近であり、すべて同じ位置であった。疲労試験で得られた各試験体の疲労寿命を **図 3** に示す。図の横軸はモデル試験体の応力解析で得られた応力集中を含んだ主応力範囲である。疲労寿命の対数平均値は逆位相(1:1)で 81 万回、逆位相(1:0.5)で 128 万回、1 軸($\Delta\sigma_x=164\text{N/mm}^2$)で 182 万回、1 軸($\Delta\sigma_y=150\text{N/mm}^2$)で 198 万回であった。図中の点線は、疲労寿命が応力範囲の 3 乗に反比例するとして求めた疲労寿命と主応力範囲の関係である。

4. 主応力方向と溶接止端の応力集中 主応力の作用方向と応力集中の関係を明らかにするために、平板にフランジとガセットを取り付けたモデルを対象として直応力 σ を一定とし、それに対するせん断応力 τ の割合を変化させて有限要素応力解析を行った。解析は対称性を考慮して 1/2 モデルを用いた。平板、フランジ、ガセットの板厚は 12mm、溶接部は脚長 6mm の二等辺三角形とした。最小要素寸法は 0.1mm である。また解析条件の妥当性を確認する目的でガセットを有さない平板モデルの応力解析も行った。**図 4** に解析モデル、**図 5** に解析結果を示す。**図 5** の縦軸は、 $\tau/\sigma=0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$ での応力集中係数を $\tau/\sigma=0$ での応力集中係数で無次元化したものである。 τ/σ が大きくなるにしたがって、すなわち主応力の角度が大きくなるにしたがって、応力集中係数は小さくなっている。

5. 疲労強度評価 主応力範囲の概念を主桁ウェブに取り付けられたガセット溶接部の疲労強度評価に適用することを考えた。**図 6** は、これまでの主応力範囲 $\Delta\sigma_p$ と応力集中係数の減少を考慮した修正主応力範囲 $\Delta\sigma_{mod}$ を示している。図の縦軸は、単純な梁理論から計算される公称の面内曲げ応力範囲で無次元化している。主応力範囲 $\Delta\sigma_p$ と修正主応力範囲 $\Delta\sigma_{mod}$ は次式より求めることができる。

$$\Delta\sigma_p = \sigma_{max} - \left(\frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} + \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \cos 4\theta \right)$$

σ_{max} : 最大主応力, σ_{min} : 最小主応力, θ : 主応力の方向

$$\Delta\sigma_{mod} = \Delta\sigma_p \times (\text{NSCF})$$

$$\text{NSCF} = -0.061 \times (\tau/\sigma)^2 - 0.017 \times (\tau/\sigma) + 1.000$$

τ : せん断応力, σ : 曲げ応力

参考文献

1) 平山繁幸, 森猛, 望月建志: 主応力方向が変化するウェブガセット溶接継手部の疲労強度評価, 構造工学論文集, Vol.51A, pp.1027-1036, 2005.

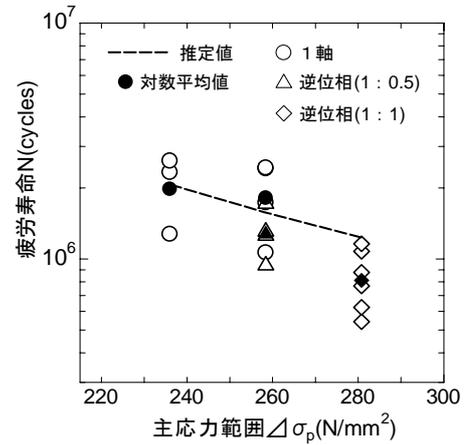


図 3 疲労寿命

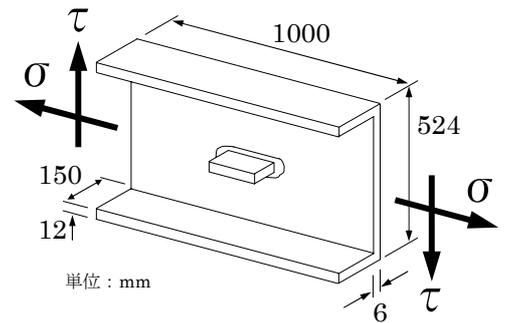


図 4 解析モデル

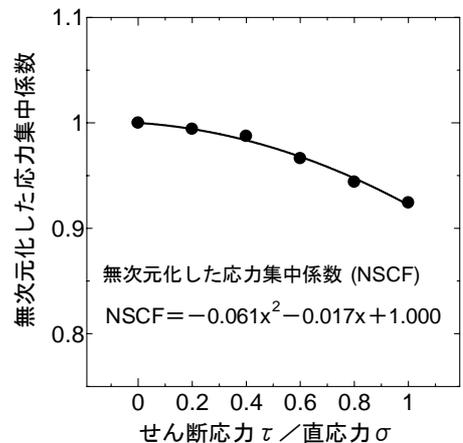


図 5 解析結果

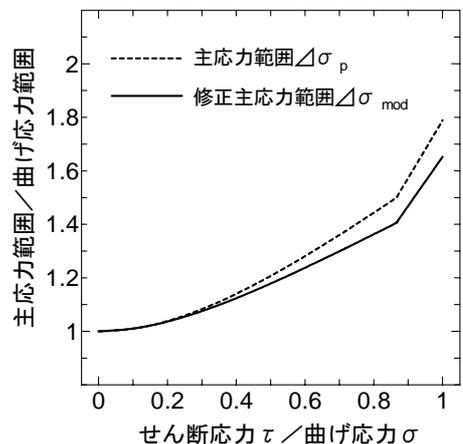


図 6 修正主応力範囲 $\Delta\sigma_{mod}$