

主応力の方向が変化する鋼橋部材交差部の疲労挙動

法政大学大学院 学生会員 望月 建志
 法政大学大学院 学生会員 平山 繁幸
 法政大学 正会員 森 猛

1.はじめに 車両が橋上を走行する際、鋼 I 断面橋梁の疲労上の弱点とされる横桁フランジが交差する主桁ウェブ溶接部では、せん断応力の方向が反転し、主応力の方向が変化する。疲労亀裂は主応力と垂直な方向に発生・進展することが知られているが、このように主応力の方向が変化する場合の疲労亀裂の発生・進展性は、いまだ明らかになっていない。本研究では、横桁フランジが接合された主桁ウェブを対象として、主応力の方向が変化する場合の疲労強度の評価方法について検討する。そのため、モデル試験体の逆位相 2 軸疲労試験を行うとともに、応力測定試験と応力解析を行う。

2.疲労試験 疲労試験に用いた試験体の形状と寸法を図 1 に示す。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、動的能力 $\pm 200\text{kN}$ の直交 2 軸試験機を用いて、逆位相の引張繰返し荷重下で行った。繰返し応力は、最小応力をほぼ 0 として、応力範囲 $x=150\text{N/mm}^2$, $y=150\text{N/mm}^2$ となるように設定した。また、比較のために同位相の 2 軸疲労試験と 1 軸疲労試験も行った。試験はそれぞれの条件で 2 体ずつ行っている。

図 2 に廻し溶接止端中央から 3mm 離れた位置に 3 軸ゲージを貼付し、 $x=120\text{N/mm}^2$, $y=120\text{N/mm}^2$ を逆位相で載荷した場合の応力測定結果を示す。主応力の方向が約 90 度変化していることがわかる。

疲労試験より得られた各試験体の疲労寿命を図 3 に示す。疲労寿命の平均は逆位相で 58 万回、同位相で 207 万回、1 軸で 180 万回であった。1 軸疲労試験で得られた疲労寿命を 1.0 にすると、逆位相で 0.32 と短く、同位相で 1.15 と若干長くなっている。疲労亀裂の起点と進展経路を写真 1(a)~(c) に示す。逆位相の場合、疲労亀裂は廻し溶接端部のコーナーから発生し、溶接止端に沿って進展している。その後、廻し溶接中央付近で 2 方向に分かれ、一方の亀裂がそのまま進展し破断に至っている。同位相では廻し溶接端部以外に一般の溶接部からも亀裂が発生し、それぞれの亀裂が合体して破断している。1 軸では亀裂は廻し溶接端部から発生し、荷重方向と垂直に進展し、破断に至っている。

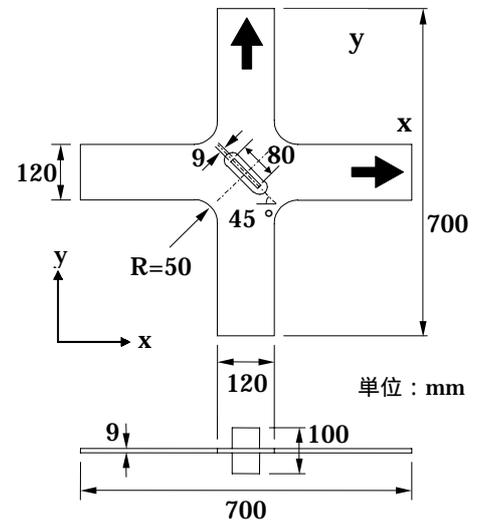


図 1 試験体

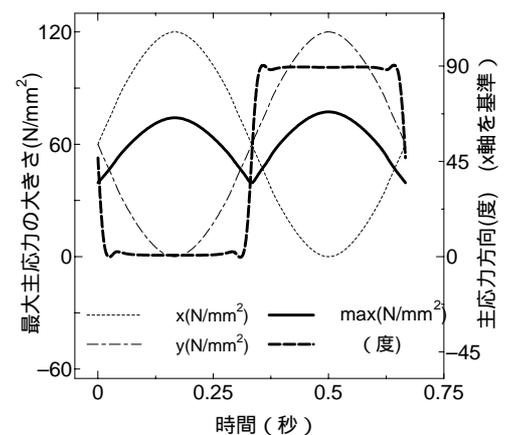


図 2 試験体による模擬

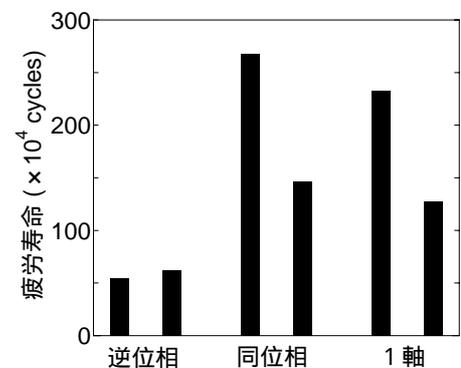


図 3 疲労寿命

キーワード：主応力の方向の変化 主桁・横桁交差部 2 軸疲労試験

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 電話番号 042-387-6287

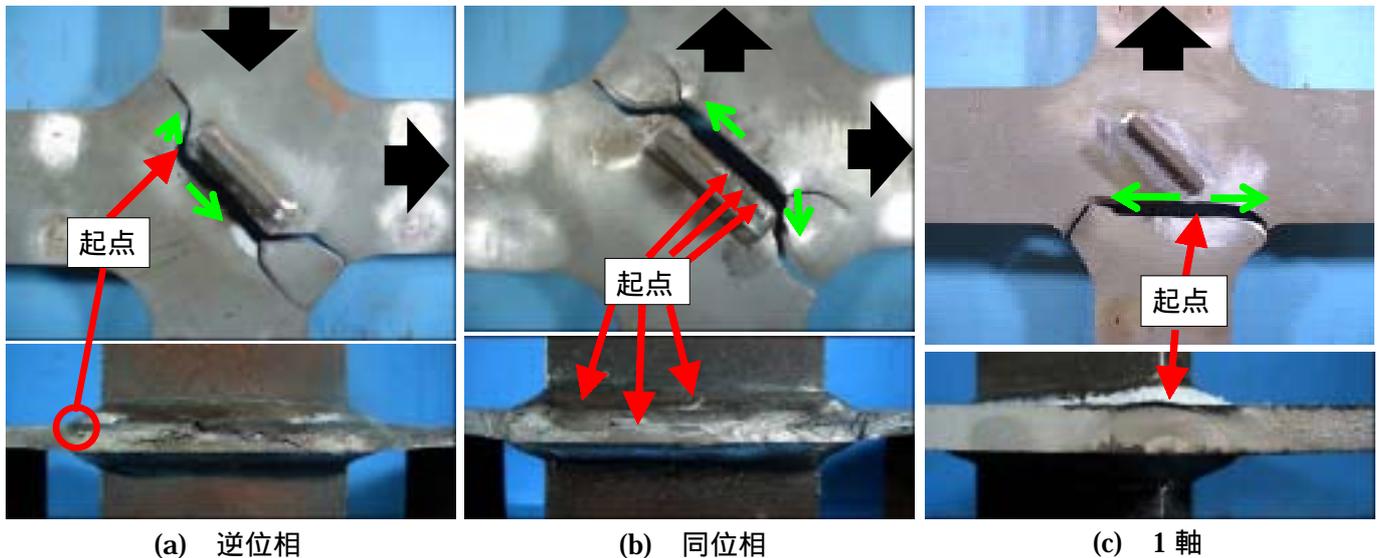


写真1 疲労亀裂発生・進展性状

3. 応力性状 疲労試験に用いた試験体を対象として x 方向、y 方向それぞれに載荷した場合、そして、x 方向と y 方向共に載荷した場合の 3 次元有限要素応力解析を行った。また、ガセットを有さない平板モデルの応力解析も行っている。図 4 に解析結果を示す。図の縦軸は試験体モデルより得られた応力を平板モデルの解析で得られた同位置の応力で無次元化したものである。横軸は図中に示すように廻し溶接止端中央からの溶接止端に沿う距離である。逆位相での応力は、x 方向載荷と y 方向載荷の結果を重ね合わせることで求められる。逆位相と 1 軸では廻し溶接端部付近で応力が最大になっているのに対して、同位相では廻し溶接からやや離れた位置で最大になり、一般の溶接部でも高くなっている。これは疲労試験で観察された疲労亀裂起点と一致する。

4. 疲労強度評価 疲労強度を評価するために無次元応力が最大になる位置の応力範囲を求めた。ただし逆位相のときは主応力の方向が変化するので、主応力の方向を統一して応力範囲を算定する必要がある。そこで、応力範囲は着目点の最大主応力の極大値とその方向に分解した最小主応力の極小値の差として求めた。は逆位相で 281N/mm^2 ，同位相で 197N/mm^2 ，1 軸で 236N/mm^2 となり、疲労試験結果で得られた疲労寿命の順番と一致する。

5. 主桁ウェブガセット溶接部の疲労強度評価 図 5 は直応力の大きさを一定としてせん断応力の大きさを変えたときに (1) 応力範囲を直応力のみで算定した場合、(2) 最大主応力で算定した場合、(3) 最大主応力と最小主応力の差で算定した場合の応力範囲の変化を示している。溶接継手の強度等級は応力範囲が 2 割増大すると 1 等級低くなるが、直応力のみで応力範囲を算定した場合を基準にすると、最大主応力で応力範囲を算定した場合に直応力とせん断応力の比が約 0.5 のとき応力範囲が 2 割増大している。また最大主応力と最小主応力の差で応力範囲を算定した場合、この比が約 0.4 で応力範囲が 2 割増大している。

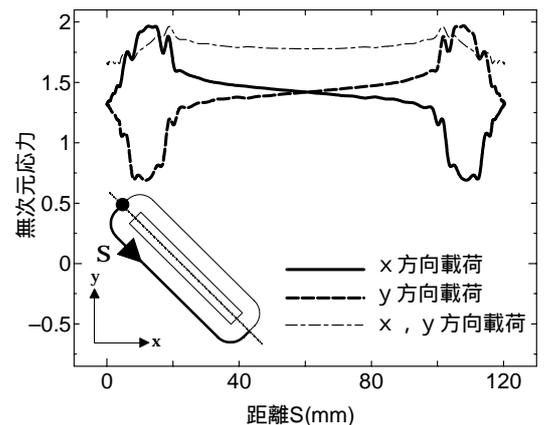


図4 応力分布

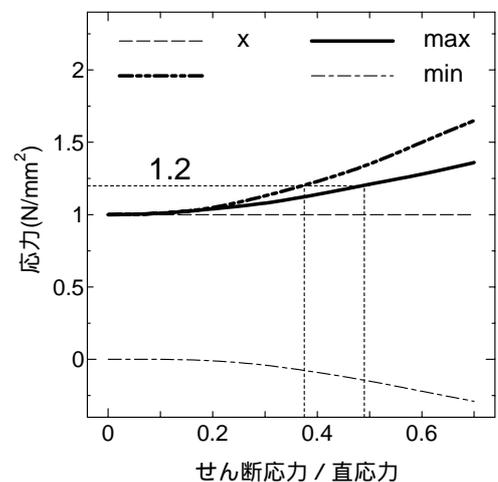


図5 応力範囲の増加