

横桁フランジの疲労強度に対する継手形状の影響

法政大学大学院 学生員 ○平山 繁幸

法政大学 正会員 森 猛

1. はじめに

一般に横桁フランジの疲労強度は十字継手にモデル化された試験体により求められ、強度等級はE等級と規定されている。しかし、横桁フランジは幅の広い主桁ウェブに取り付けられているため、その継手形状を十字継手にモデル化することは不適切とも考えられる。ここでは、このような継手形状の違いが横桁フランジの疲労強度におよぼす影響を明らかにする目的で行った疲労試験と有限要素応力解析の結果を報告する。

2. 試験体

疲労試験に用いた試験体は、主桁ウェブと横桁フランジ交差部を模擬した AW-I 試験体、AW-I 試験体の主桁ウェブを切断し十字継手とした AW-C 試験体、さらにこれらの試験体に後熱処理を施した SR-I 試験体と SR-C 試験体の4種類である。試験体の形状と寸法を図-1に示す。試験体は、主桁ウェブ中央にガス切断で矩形の穴を設け横桁フランジを差し込み仮付けした後、CO₂溶接法で完全溶け込み溶接を行うことにより製作した。供試鋼材は板厚9mmのSM490Y（降伏応力：434N/mm²、引張強さ：560N/mm²、伸び：26%）である。後熱処理は、620℃で1.5時間保持した後、降温速度70℃/hで300℃まで戻した時に炉から取り出し、空冷することにより行った。

疲労強度に影響をおよぼす因子の一つに残留応力がある。ここでは、横桁フランジ表裏面の溶接止端から5mm程度離れた位置にひずみゲージを貼付し（図-1参照）、ゲージの回りを切断することにより解放されるひずみから試験体の残留応力を測定した。なお、ゲージは板の表裏面に加えて側面にも貼付している。残留応力測定結果を図-2に示す。AW-I試験体の板端部には420N/mm²程度の圧縮残留応力が、板幅中央には最大で約80N/mm²の引張残留応力が生じていた。一方、AW-C試験体の板端部には300N/mm²程度の圧縮残留応力が、板幅中央には最大で約210N/mm²の引張残留応力が生じていた。このように、I試験体とC試験体で残留応力の大きさは異なるものの、その分布形状に大きな違いは認められない。また、両試験体とも後熱処理を施すことにより残留応力が大幅に低減されている。

3. 応力解析

横桁フランジ溶接止端部の応力性状を調べる目的で、8節点固体要素（最小要素寸法：0.05mm）を用いて三次元有限要素応力解析を行った。解析対象は疲労試験に用いたI試験体とC試験体である。

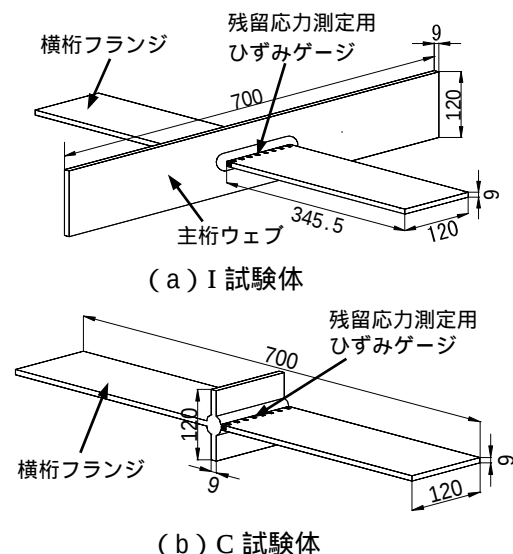
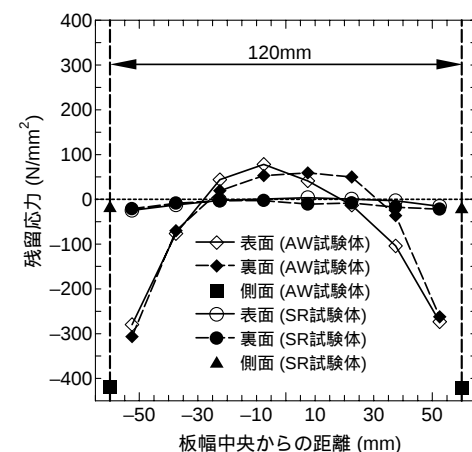
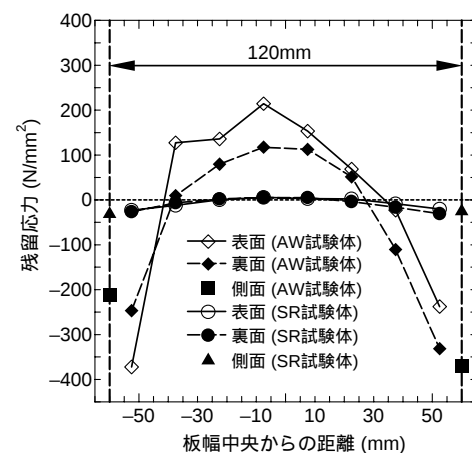


図-1 試験体の形状と寸法（単位：mm）



(a) I試験体



(b) C試験体

図-2 残留応力測定結果

キーワード：横桁フランジ、疲労強度、継手形状

連絡先：〒184-8584 東京都小金井市梶野町3-7-2 法政大学鋼構造研究室 電話番号 042-387-6287

I 試験体の要素分割図を図-3 に示す。

横桁フランジの板幅方向に沿う応力分布を図-4 に示す。図の縦軸は解析で得られた応力を公称応力で除した無次元応力である。I 試験体モデルの無次元応力は、横桁フランジ側面で 2.35 と最も高く、板中央に向かうにしたがって減少している。一方、C 試験体モデルの無次元応力は、側面から 2mm 程度離れた位置で 1.63 と最も高く、板中央に向かうにしたがって減少している。また、C 試験体の端部での無次元応力は I 試験体に比べて 30% 低くなっているが、板幅中央部では I 試験体とほぼ同じである。

4. 疲労試験

疲労試験は電気油圧サーボ式疲労試験機を用いて軸引張荷重下で行った。繰返し荷重は応力範囲が 220, 180, 150N/mm² となるように設定した。試験体数は各応力範囲で 2 体ずつである。荷重波形は正弦波、繰返し速度 5～9Hz とした。

各試験体の疲労亀裂発生位置を表-1 に示す。疲労亀裂発生位置は A, B, C の 3 つに分類した。A は横桁フランジ側面、B は側面から 15mm 以内の横桁フランジ表裏面、C はそれ以外の横桁フランジ表裏面である。AW-I 試験体は応力集中の高い横桁フランジ側面から、AW-C 試験体は側面から 2mm 程度離れた位置から疲労亀裂が生じると予想されたが、亀裂は一般溶接部である C から発生した。これは、側面に高い圧縮残留応力が生じていたためである。一方、SR-I 試験体、SR-C 試験体とも C から亀裂が発生した試験体が 1 体だけあったが、SR-I 試験体は A から、SR-C 試験体は B から亀裂が生じていた。これらは図-4 の応力分布で示した応力集中が最も高い箇所と一致している。

疲労試験より得られた各試験体の公称応力範囲と応力繰返し数の関係を図-5 に示す。図中の直線群は最小自乗法より求めた疲労寿命に対する公称応力範囲の回帰直線である。これらの回帰直線より求めた 100 万回疲労強度は AW-I 試験体で 185N/mm²、AW-C 試験体では 182N/mm² であった。溶接のままの試験体で継手形状の影響が認められなかったのは、応力が最も高い横桁フランジ側面付近に圧縮残留応力が生じていたため、応力集中のほぼ等しい板中央部から疲労亀裂が生じたことによる。したがって、圧縮残留応力がほぼ消失し、応力集中が高い SR-I 試験体の疲労強度は他の試験体よりも低くなると予想される。しかし、その 100 万回疲労強度は 173N/mm² と、SR-C 試験体の 100 万回疲労強度（170N/mm²）と同程度であり、SR 試験体でも継手形状の影響は認められなかった。この原因として、SR-I 試験体の横桁フランジ側面に生じていた 20N/mm² 程度の圧縮残留応力の影響や廻し溶接部と一般溶接部での溶接止端形状の違い等が考えられるが、その詳細は現在のところ不明である。なお、SR-I 試験体の疲労破壊に主たる亀裂は A 部から生じているものが多かったが、それらにおいても C 部から発生した亀裂が観察された。

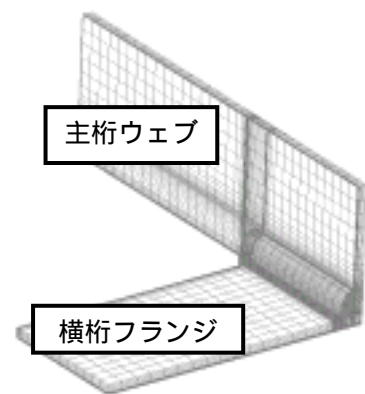


図-3 要素分割図

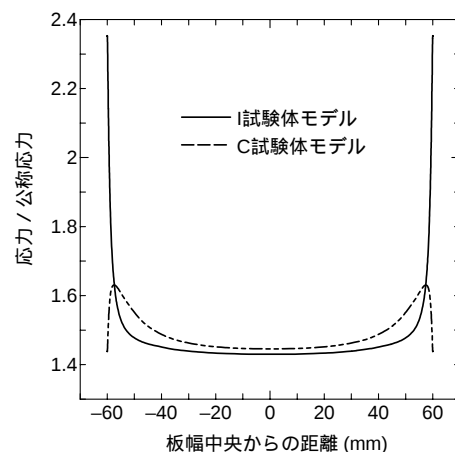


図-4 応力分布

表-1 疲労亀裂の発生位置

試験体名	疲労亀裂発生位置		
	A	B	C
AW-I	-	-	4
SR-I	6	-	1
AW-C	-	-	5
SR-C	-	5	1

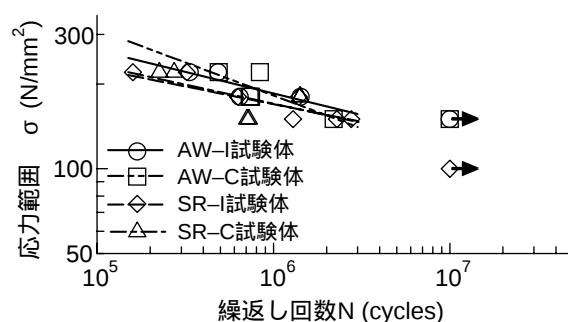


図-5 疲労試験結果