# UIT を施した荷重非伝達型十字継手の疲労強度に及ぼす鋼材強度と板厚の影響

### 1. 背景と目的

新日鐵住金 正会員 o島貫 広志, 正会員 米澤 隆行

溶接部の疲労対策処理の一つである超音波衝撃処理(UIT)<sup>1)</sup>等の HFMI 処理は,溶接止端形状の改善に加えて,溶接止端部へ圧縮残留応力導入を行い,局所的な平均応力を下げることで疲労強度改善を行うものであり,著者らは,この改善効果は高強度鋼材を用いた方がより顕著であることを,面外ガセット継手を用いて明らかにしてきた<sup>2)</sup>.また,HFMI 継手における鋼材強度の影響は IIW においても確認されてきている<sup>3)</sup>.また,継手疲労試験では板厚により疲労強度が変化することが知られており,岩田ら<sup>4)</sup>の荷重非伝達型の継手による実験の結果によれば,この板厚効果は UIT 継手でも JSSC の疲労設計指針<sup>5)</sup>などで示されている通常の溶接継ぎ手と同様の傾向があることが示されている.

本研究では、岩田ら<sup>4)</sup>の実験と同様の荷重非伝達型十字の試験片形状であるが、より高強度の鋼材を用いた試験片を作 製し、UIT 継手の疲労試験を行った.この実験結果と岩田らの試験結果を比較することで UIT 継手における板厚効果と鋼 材強度の重畳効果について考察した.

# 2. 使用鋼材と試験片形状

本研究では図1に示す形状・寸法の荷重非伝達型十字継手試験体を 用いた.溶接ままの十字試験体は平行部にくびれの無いストレート型とした が,UITを施す試験片ではUITによる疲労強度向上により試験片掴み 部のチャック切れを起こすため,掴み部は拡幅した.使用した鋼材は,岩田 ら<sup>4)</sup>が溶接構造用のSM490A(板厚 22mm材の降伏応力(YS)は317N/mm<sup>2</sup>, 引張強度(TS)は514N/mm<sup>2</sup>で,板厚50mm材は降伏応力(YS)が337N/mm<sup>2</sup>, 引張強度(TS)は531N/mm<sup>2</sup>)を用いているため,比較のため,溶接構造用で より高強度の590 N/mm<sup>2</sup>級鋼を用いた.板厚22mm材(SM570TMC)の降伏 応力(YS)は548N/mm<sup>2</sup>,引張強度(TS)は644N/mm<sup>2</sup>で,板厚 50mm材 (EH47)は降伏応力(YS)が523N/mm<sup>2</sup>,引張強度(TS)は615N/mm<sup>2</sup>であった.

溶接は強度 590N/mm<sup>2</sup>用の7ラックスコアードワイヤ-SF-60を用いた FCAW で溶接脚長が上下均等になるよう鋼板を 45°傾けた下向き溶接としている. なお,溶接脚長は板厚 22mm の場合は約 17mm で,板厚 50mm の場合は 17~25mm とした. なおルートから破壊した試験体については止端から破壊しものと疲労特性を直接比較できないため評価に用いなかった. UIT は, ESONIX<sup>®</sup>27 UIS (UIT は米国 PRS 社の技術)装置,打撃ピンには直径 3mm,先端曲率半径 3mm のものを用い,十字溶接後,試験片形状に切り出し加工を終えてから溶接止端のみ,止端線が消失するまで行った.この処理によってできる止端部の凹みは 0.2~0.3mm を目標とした.

## 3.疲労試験方法と試験結果

疲労試験には容量が 500kN の油圧チャックを装備した油圧サーボ式試 験機を用い,応力比 R は R=0.05 として,各試験片ごとに 4~8 本 試験片を用いて S-N 線図を採取した.なお,UIT 継手は止端の疲労 強度が向上するため,相対的にすみ肉溶接のルート部の疲労強度が低 くなってしまう.このため板厚 50mm の試験片において,特に脚長 の小さい試験片において溶接ルートから疲労破壊するケースがあった.そ こでルート破壊の試験結果は1本 (600 万回を超えてルート破壊となった ため疲労限と取り扱った)を除き除外した.

試験結果を岩田らの試験結果<sup>4</sup>と合わせて図2に示す.図より明らか に UIT を施した試験片では疲労強度が著しく向上し,S-N 線図の勾配 が溶接ままに比べ小さくなる傾向が見られた.この結果は従来から言わ



<sup>500</sup> . MPa range, 100 stress SM490データは文献(4)より Nominal SM490, UIT, 22mm -SM570, UIT, 22mm • SM490, UIT, 50mm --- EH47 , UIT, 50mm SM490, AW, 22mm -- A-- SM490, UIT, 40mm SM490, AW, 22mm -SM490, AW, 40mm SM490, UIT, 10mm SM490 AW 50mm -- 4--11-SM570, AW, 22mm SM490, AW, 10mm 10 10<sup>5</sup> 10<sup>4</sup>  $10^{6}$ 10' Cycles to failure, cycle UIT による継手疲労特性向上に及ぼす板厚 図 2 と鋼材強度の影響

キーワード 疲労強度,超音波衝撃処理,荷重非伝達十字継手,板厚効果,鋼材強度 連絡先 〒293-8511 千葉県富津市新富 20-1 新日鐵住金(株)鉄鋼研究所 厚板・形鋼研究部

れている結果<sup>1,3,4)</sup>と合致した.ただし,線図の勾配の係数を疲労限となった試験片を除き最小二乗近似直線から求めると図3に示すようにm=7 前後となっており,IIW で議論されている Marquis ら<sup>3)</sup>の線図の勾配 (m=5)より小さい傾きとなった.

# 4. 疲労特性に及ぼす鋼材強度と板厚の影響

## 4.1 鋼材強度の影響

UIT 継手の疲労強度は鋼材強度の影響を受けることが知られており<sup>2)</sup> 今回の試験結果でのその傾向が見られた. IIW の疲労設計では荷重非 伝達十字継手では疲労強度クラスが FAT80 であり, Marquis ら<sup>3)</sup>の強度 クラスの分類では強度 490 N/mm<sup>2</sup> クラスでは 4 段階上(FAT125), 590 N/mm<sup>2</sup>クラスでは 5 段階上(FAT140)に FAT クラスを上げることができる. つまり 200 万回繰り返し疲労強度で 15 N/mm<sup>2</sup>設計強度向上が見込める



ことになる.また,著者らはUITによる疲労強度向上効果を簡易的に見積もるS-N線図推定方法<sup>70</sup>を提案しており,この方法 を用いた疲労強度向上効果の見積もり結果とS-N線図の傾向から求めた向上代を実験結果として表1に表した.向上効果 推定計算にあたってUIT継手の応力集中係数は止端の曲率半径を測定実績から2mmとして辻の式<sup>80</sup>を用いて求め,UIT 部の圧縮残留応力は降伏応力の0.52倍<sup>70</sup>とした.今回の試験片での実験結果で見られた疲労強度向上の絶対値及び強度 の影響はMarquisら<sup>30</sup>の提案や,著者らの推定結果より大きいが,著者らの方法による推定値に近い結果となった.

表1 UIT 処理による疲労強度向上に及ぼす鋼材強度の影響 YS: Yield strength (N/mm<sup>2</sup>)

Plate thickness mm	Kt (tuji's eq.)	Estimated $\sigma$ w (R=0.05) N/mm <sup>2</sup>				Estimated $\sigma$ w	Measured $\sigma$ w improvement (Experiment)	
		SM490 YS= 317	SM490 YS= 337	SM570 YS= 548	EH47 YS= 523	N/mm <sup>2</sup>	From S-N curve	From thickness effect
22	2.54	150.7	-	173.8	-	20.6	27.1	36.5
50	2.98	-	130.1	-	146.0	27.9	12.2	21.9

### 4.2 板厚の影響

次に板厚効果について検討した. S-N 線図で見かけ上疲労限に近い 200 万回疲労強度で板厚が疲労強度に及ぼす影響を岩田ら<sup>4)</sup>の実験結果と合わせて図4に示した.板厚効果の勾配はJSSCの疲労設計指針<sup>5)</sup>においては-0.25,また IIW の recommendation<sup>6)</sup>では-0.2 となっており,最小二乗法による回帰線図で求めた板厚効果の勾配は溶接ままと UIT による違いは見られず JSSC の係数に近い結果となった.なお,この板厚効果の傾向から前述した疲労強度の向上代に及ぼす鋼材強度の影響を再推定した結果を表1に示している.この結果, S-N曲線から直接求めた値よりも強度の影響は大きくなった.



### 5. まとめ

荷重非伝達型十字継手を用いてUITを施した継手の疲労強度に及 ぼす鋼材強度の影響と板厚効果について検討した.この結果,著者ら

図4 UIT 継手の疲労強度に及ぼすの板厚の影響

の簡易推定方法<sup>7)</sup>で疲労強度向上や鋼材強度の影響を安全側に見積ることができた.また,板厚効果については高強度材でも岩田らの結果と同様で JSSC の疲労設計指針<sup>5)</sup>で示されている効果に近い結果となった.

#### 参考文献:

1) 例えば野瀬: 溶接学会誌, Vol.77, No.3, pp.4-7, 2008. 2) 島貫ら:第67回 JSCE 年講, I-260, pp.519-520, 2012. 3) G. Marquis, et.al: IIW Doc. IIW-2393, 2013. 4) Iwata, et.al: IIW Document, 2015. 5) JSSC: 鋼構造物の疲労設計指針・同解 説,2012. 6) Hobbacher :IIW recommendations, 2009. 7) 島貫, 米澤, 田中, 森: 第70回 JSCE 年講, I-366, 2015. 8) 辻: 西武造船会会報,第80回,241-251,1990.