

I-155 溶接継手の板厚方向の破壊特性に関する基礎的研究

長岡技術科学大学大学院 学生員 佐々木 定雄
 長岡技術科学大学工学部 正 員 林 健治
 長岡技術科学大学工学部 正 員 桒戸 松二

1. まえがき

近年、溶接構造物の大型化に伴い、板厚は増大し、複雑な構造の溶接継手が採用される場合が多くなった。これらの継手では、板厚方向に大きな拘束力を受け、ラメラ・テアと呼ばれる層状の溶接割れが発生し易く、また、板厚方向の耐疲労性能が要求されるなど、溶接部の板厚方向の破壊特性を把握することは、重要となる。

そこで、本報告では、板厚方向に直接応力が作用するよう鋼構造物溶接部を対象として、鋼素材及び溶接継手の板厚方向の破壊特性、特に、引張特性と疲労特性について実験的に検討した結果を報告する。

2. 実験概要

供試材は、板厚 40 mm の S S 4 1 厚鋼板であり、その化学成分を表-1 に示す。

溶接継手の板厚方向の破壊特性を検討する上で、その基礎となる鋼素材の板厚方向の破壊特性を明らかにし、素材の圧延方向(L方向)と圧延直角方向(C方向)に対する板厚方向(Z方向)の破壊特性の差異を調べるために、日本溶接協会規格(JES-1106)を参考にして、素材の3方向の試験片を製作し、引張及び疲労試験を行った。試験片形状を図-1 に示す。

溶接継手では、まず、はみ板(試験板)につかみ板を溶接した十字すみ肉溶接継手を採用し、はみ板内の応力状態が実構造物の溶接部の応力状態と近似的に等しくなるようのはみ板の板幅(有効幅)を決定するために予備実験を行った結果、有効幅を板厚の2.3倍以上採ればよいことが判明したので、有効幅を板厚の3倍とした。

次に、被覆アーク溶接により、上述の有効幅を有する継手試験体(ET, EF)を製作し、また、被覆アーク溶接及びサブマージアーク溶接により組み立てられた試験体のはみ板の両側とつかみ板まで切落した試験体(それぞれ, MT, MF と ST, SF)を製作し、引張及び疲労試験を実施した。これらは、継手の板厚方向の破壊特性に及ぼす溶接法(入熱量の差異)と幾何学的形状(応力集中)の影響を検討するためである。継手の試験体形状を図-2 に示す。

また、溶接継手については、ビッカースの硬さ試験も併せて実施した。

表-2 素材の3方向の機械的性質

Mark	σ_y kg/mm ²	σ_u kg/mm ²	E_u %	E_{total} %	q %	ϵ_{max}
TL	26.5	43.8	28.3	43.8	76.0	1.43
TC	26.2	43.5	26.4	43.5	76.3	1.44
TZ	29.2	43.8	11.1	29.2	76.9	1.47

remark) σ_y : Yield point, σ_u : Ultimate strength
 E_u : Uniform elongation, q : Reduction of area
 E_{total} : Total elongation, ϵ_{max} : Maximum true strain

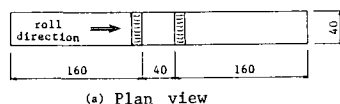
なお、記号の
 T は Tensile Test,
 F は Fatigue Test
 Specimen のそれぞれ頭文字を意味する。

表-1 供試材の化学成分(%)

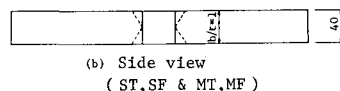
C	Si	Mn	P	S
0.09	0.19	1.06	0.016	0.005



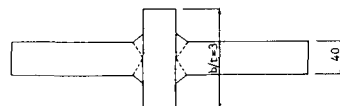
図-1 素材の引張・疲労試験片形状(単位mm)



(a) Plan view



(b) Side view
(ST, SF & MT, MF)



(c) Side view (ET, EF)

図-2 継手の引張・疲労試験体形状(単位mm)

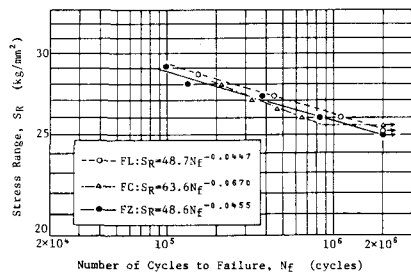


図-3 素材の3方向のS-N線図

3. 実験結果と考察

(1) 素材の引張特性

素材の3方向の機械的性質を表-2に示す。同表より、 σ_Y , σ_u のような強度特性において、異方性は認められぬが、 E_u , E_{total} のような伸び性能において、Z方向の変形能力がL・C方向に比して著しく低下するので、注意しなければならない。

(2) 素材の疲労特性

素材の3方向の応力範囲 S_R と破断までの繰返し数 N_f の関係を図-3に示す。200万回疲労強度は、L・C方向では共に25.5kg/mm²、Z方向では25.1kg/mm²であり、平滑材の疲労強度に限って言えば、3方向共にほぼ同程度である。

なお、Z方向試験片は、引張・疲労試験共にはすみ板の中央で破断した。

(3) 継手の引張特性

継手の引張試験結果を表-3に示す。ここで、各試験片共にNo.3の数値が若干高くなっているのは、後述の硬工試験を行う際に、試験体を半分程度の寸法にし、その後、元の寸法に溶接接合したためである。同表と表-2の数値を比較すると明らかなように、継手の強度は素材の強度にほぼ等しいが、継手の変形能力は素材の変形能力に比して著しく小さい。これは、はすみ板の板厚方向の変形能力が小さいこと及び溶接熱影響部の硬化等により、継手の変形が拘束されためである。

(4) 継手の硬工分布

継手の硬工分布を図-4に示す。ここで、奥線は板厚中央の硬工分布(測定点1~33)を表わし、破線は表面から板厚中央へ5mmの位置の硬工分布(測定点34~66)を表わす。同図より、溶接熱影響はET>MT>STの順である。MTとSTの差は入熱量に起因する。また、ETとMTの差は、MTKにおいて、はすみ板の板幅をすみ板の板厚まで切落したために、溶接残留応力が弛緩されたことによる。

(5) 継手の疲労特性

各試験片共に破断位置は溶接上端部近傍であった。継手の疲労試験結果を図-5に示す。200万回疲労強度は、SFでは24.2kg/mm²、MFでは23.0kg/mm²、EFでは15.0kg/mm²である。SFとMF、及び、MFとEFとの疲労強度に差を生じさせる主因は、それぞれ、溶接熱すみ履歴による材質の脆化と幾何学的形状に起因する応力集中であり、板厚方向の疲労性能は2次的なものである。

4. あとがき

本報告の範囲内では、溶接継手の破壊特性において、直接、板厚方向の破壊特性が問題となることはないが、他の継手形式や溶接条件などの場合にはどうなるか検討する必要がある。最後に、本研究にご助力頂いた新日鉄の森山康氏、神戸製鋼所の森脇良一氏、同構研の神原史雄氏、横河橋梁製作所の林尚武氏に謝意を表します。

表-3 継手の引張試験結果

Mark	σ_Y kg/mm ²	σ_u kg/mm ²	δ %
ST-1	27.3	42.1	7.6
ST-2	27.8	41.9	7.6
ST-3	30.6	45.0	11.3
MT-1	27.8	42.0	7.8
MT-2	27.8	42.0	7.6
MT-3	30.3	44.8	11.3
ET-1	27.8	41.5	7.2
ET-2	27.5	41.3	7.8
ET-3	29.4	45.0	7.1

remark) δ : Total elongation at maximum load (= σ_u)

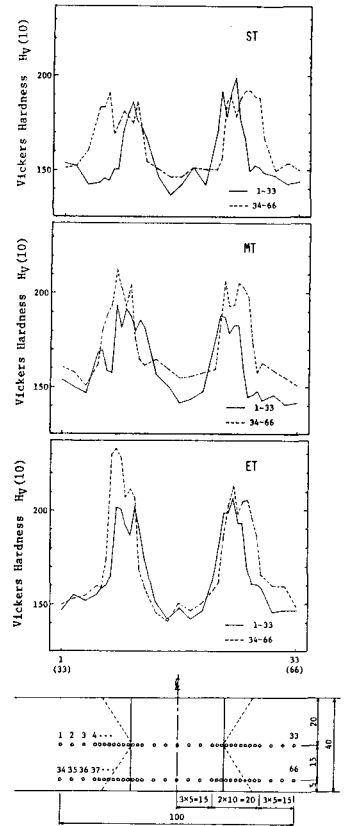


図-4 継手の硬工分布

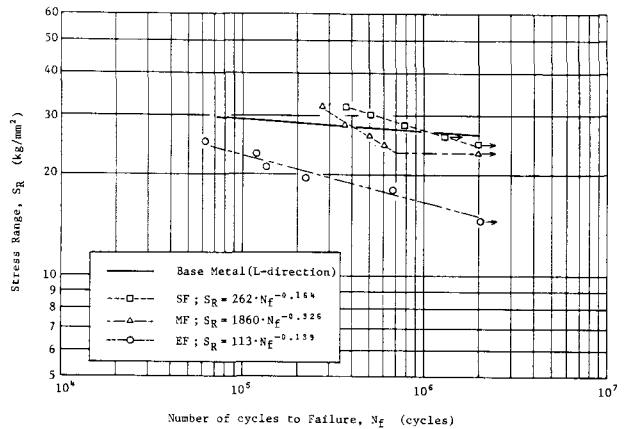


図-5 継手のS-N線図