

荷重伝達型十字溶接継手の延性破壊靱性値に関する研究

(一社)日本橋梁建設協会 正会員 ○田村 修一 法政大学 フェロー 森 猛
(一社)日本橋梁建設協会 正会員 村上 貴紀 小谷 祐樹 高橋 正和 余吾 聖

1. はじめに

溶接構造物に用いられる十字溶接継手は、溶接部が荷重を伝達するか否かによって荷重伝達型十字溶接継手と荷重非伝達型十字溶接継手に分けられる。荷重伝達型十字溶接継手の静的強度評価法は、溶接ルート部からの破壊を想定し、のど断面のせん断応力で評価するのが慣例である。しかし、直応力で評価した方が合理的とした研究もある。また、溶接部の破断は、未溶着部先端からのき裂進展によって生じることから、強度評価には破壊力学の手法を用いるべきとも考えられる。

本研究では、鋼材の種類、溶接脚長と溶接の溶込み深さを変えて製作した 17 種類の荷重伝達型十字溶接継手の引張試験を行う。そしてその強度を評価するための応力について検討するとともに、破壊力学パラメータである破壊靱性値 (Jc 値) の算出を試みる。

2. 試験体と試験方法

板厚 22mm の SM400、SM490Y と SM570 の 3 種類の鋼材を用いて、荷重伝達型十字溶接継手試験体を製作した。試験体の形状と寸法を図 1 に示す。試験体は、鋼種、溶接材料、溶接脚長、開先深さを変えた 17 種類である。試験体の一覧を表 1 に示す。また、溶接金属部の引張強度を推定する目的でビッカース硬さを測定した。引張試験は 2000kN の万能試験機を用いて行った。その際、破壊性状を明らかにする目的で高速度カメラにて破壊の瞬間の試験体の状況を観察した。

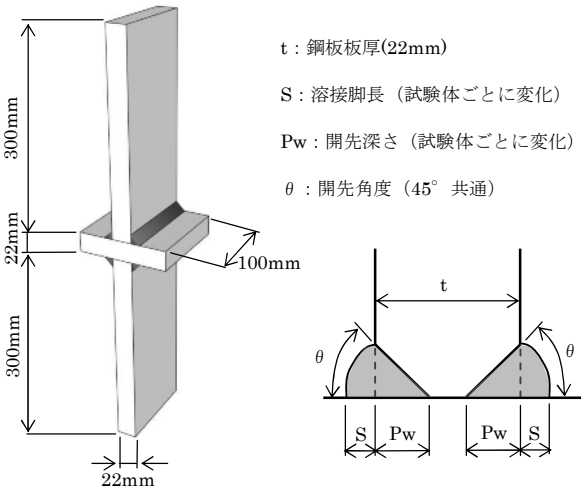


図 1 試験体試験体の形状寸法

表 1 試験体の種類と引張試験結果

試験体名	溶接条件					試験結果		溶接金属部の引張強度
	溶接の種類	鋼種	溶接材料	溶接脚長	開先深さ	最大荷重	破断箇所	
40-F0-07	すみ肉溶接継手	SM400	490N/mm ² 用ワイヤ	7mm	-	632kN	溶接部	749N/mm ²
40-F0-10		SM400	490N/mm ² 用ワイヤ	10mm	-	843kN	溶接部	725N/mm ²
40-F0-15		SM400	490N/mm ² 用ワイヤ	15mm	-	951kN	母材	635N/mm ²
49-F0-07		SM490Y	490N/mm ² 用ワイヤ	7mm	-	674kN	溶接部	771N/mm ²
49-F0-10		SM490Y	490N/mm ² 用ワイヤ	10mm	-	898kN	溶接部	708N/mm ²
49-F0-15		SM490Y	490N/mm ² 用ワイヤ	15mm	-	1136kN	溶接部	677N/mm ²
49-F0-15-1		SM490Y	490N/mm ² 用ワイヤ	15mm	-	1168kN	溶接部：1体、母材：2体	625N/mm ²
57-F0-07		SM570	570N/mm ² 用ワイヤ	7mm	-	670kN	溶接部	695N/mm ²
57-F0-10	部分溶込み溶接継手	SM570	570N/mm ² 用ワイヤ	10mm	-	932kN	溶接部	688N/mm ²
57-F0-15		SM570	570N/mm ² 用ワイヤ	15mm	-	1235kN	溶接部	647N/mm ²
40-P3-10		SM400	490N/mm ² 用ワイヤ	10mm	3mm	900kN	溶接部	649N/mm ²
40-P7-10		SM400	490N/mm ² 用ワイヤ	10mm	7mm	951kN	母材	653N/mm ²
49-P3-10		SM490Y	490N/mm ² 用ワイヤ	10mm	3mm	949kN	溶接部	661N/mm ²
49-P7-10		SM490Y	490N/mm ² 用ワイヤ	10mm	7mm	1148kN	母材	645N/mm ²
49-P7-10-1		SM490Y	490N/mm ² 用ワイヤ	10mm	7mm	1156kN	母材	642N/mm ²
57-P3-10		SM570	570N/mm ² 用ワイヤ	10mm	3mm	1032kN	溶接部	696N/mm ²
57-P7-10		SM570	570N/mm ² 用ワイヤ	10mm	7mm	1380kN	母材	709N/mm ²

↑ 最初の数字：鋼種，F or P：すみ肉 or 部分溶込み，最後の数字：溶接脚長 (mm) 各3本ずつ

キーワード すみ肉溶接，荷重伝達型十字溶接継手，引張試験

連絡先 〒105-000 東京都港区西新橋 1-6-11 西新橋光和ビル 9F (一社) 日本橋梁建設協会 TEL 03-3507-5225

3. のど断面応力を用いた評価

17種類の試験体をそれぞれ3体ずつ、合計で51体の引張試験を行った。表1には、試験体の種類ごとの最大荷重の平均値と破断箇所も示している。また、別途行った母材の引張試験とビッカース硬さ試験から、引張強度とビッカース硬さの関係を求めた。その結果を以下の式に示す。

$$\text{溶接部の引張強度} [\text{N/mm}^2] = \text{ビッカース硬さ} [\text{HV}] \times 4.00 - 170$$

表1には試験体の種類ごとに上記の式より算出した溶接金属部の引張強度も示している。いずれの鋼種、溶接材料においても、脚長7mmの場合の溶接金属部の引張強度が最も高い。これは、溶接部の冷却が、脚長が小さいほど速くなるためだと考えられる。

溶接部で破断した試験体について、のど厚から算定したのど断面応力を算出した。のど断面応力の算出時に用いたのど厚については、各試験体の測定結果より求めた実のど厚に加えて、道路橋示方書¹⁾などで用いられている45°断面で算出した理論のど厚、さらに、過年度の研究²⁾により適切と考えられる30°方向の断面での理論のど厚でも算出した。最大荷重での各のど断面応力を溶接金属部の引張強度で除した引張強度比を図2に示す。この比が1.0であれば、のど断面応力は溶接金属部の引張強度と等しいことになる。せん断強度は引張強度の $1/\sqrt{3}$ (0.58)とされており、その値も図中に破線で示している。各試験体の引張強度比はいずれの場合でも0.58以上1.0未満である。したがって、直応力を基準とした強度評価は危険側、せん断応力を基準とした強度評価は安全側であるといえる。

高速度カメラにより観察した溶接部の破壊状況を写真1に示す。溶接ルート部からき裂が入り溶接金属部で破断している。

4. J積分を用いた評価

J積分とは、破壊力学において、弾塑性体に存在するき裂先端の力学的負荷量を表すパラメータであり、き裂が存在する材料の評価に用いられる。破壊が生じるときのJ積分が破壊靱性値 J_c である。

溶接部で破断した試験体を対象とし、その1/4モデルを用いて2次元弾塑性有限要素応力解析を行い、破壊靱性値(J_c 値)を求めた。このときの載荷荷重は引張試験での最大荷重とした。図3に解析により求めた破壊靱性値 J_c とビッカース硬さにより算出した溶接金属部の引張強度の関係を示す。相関はさほど高くないものの引張強度が高くなるにしたがって、 J_c が小さくなる傾向が認められる。3種類の鋼材ではSM570材を使用した解析モデルの破壊靱性値が最も低い。

5. まとめ

荷重伝達型十字溶接継手の溶接部の破断強度の評価には、のど断面応力をせん断強度と比較するのが安全側である。破壊靱性値は、溶接部の引張強度が高くなるにしたがって低くなる。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編, 2012. 3
- 2) 田村修一, 森猛, 村上貴紀, 小谷祐樹, 高橋正和, 余吾聖：荷重伝達型十字すみ肉溶接継手の静的強度, 第72回土木学会年次学術講演会, 2017. 9

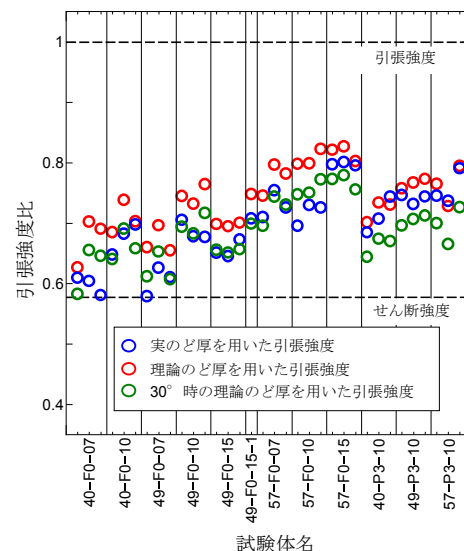
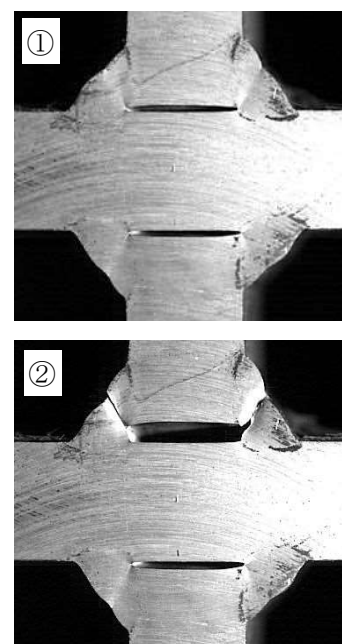


図2 引張強度比



- ① 溶接ルート部にき裂が入る
- ② 両側の溶接部の破壊

写真1 溶接部の破壊性状
(40-F0-10)

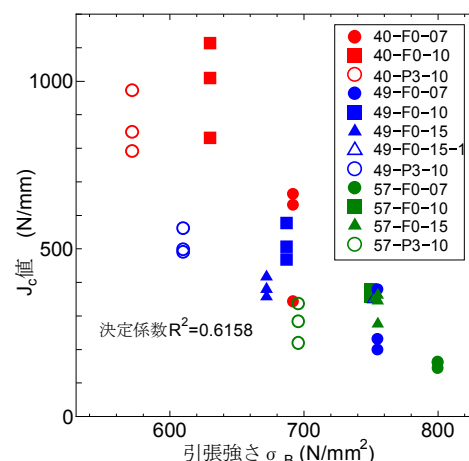


図3 破壊靱性値 J_c と引張強度の関係