

建築鉄骨梁端接合部の変形性能予測精度向上に資する 溶接部ディテールに応じた耐破壊性能の定量化

中野 達也
宇都宮大学

1 はじめに

建築鉄骨の溶接部は応力伝達上、極めて重要な箇所である。溶接欠陥の検査および評価には、一般に日本建築学会「鋼構造建築溶接部の超音波探傷検査規準・同解説¹⁾」(以下、UT規準)が適用されている。このUT規準の合否判定には、エコー高さと欠陥評価長さが用いられているが、欠陥位置は考慮されていない。

形状欠陥は、2次元問題では板幅方向の端部片側・端部両側・中央欠陥に分類され、3次元問題ではさらに板厚方向の表面・埋没・貫通欠陥との組合せになる。問題を単純化するために、溶接継手の単純引張実験により溶接欠陥の影響が検討されるケースが多く、現行の合否判定基準は、そのような実験結果に基づいて定められている。しかし、柱梁部分架構試験体の実大接合部曲げ実験では、欠陥寸法が同じであっても欠陥位置によって部材の塑性変形能力が異なることが指摘されている¹⁾。欠陥位置に応じた許容欠陥寸法を評価することができれば、合理的な合否判定基準の設定が可能となる。

そこで本研究では、溶接部ディテールに応じた耐破壊性能の定量化を目標とした第1段階として、溶接欠陥位置の違いをWES2805²⁾のき裂特性寸法 \bar{c} とWES2808³⁾のひずみ集中係数 K_e で評価し、実験から得られた梁の塑性変形能力との関係を調べる。

2 研究方法

本研究で対象とする建築鉄骨のH形断面梁の梁端接合部(図1)には、主として曲げモーメントが作用する。断面の曲げ応力度分布を考えれば、引張側フランジの内面側に存在する欠陥に比べて、外面側に存在する欠陥の方が破壊に及ぼす影響は大きいことが容易に理解できる。これに加えて、梁端フランジ溶接部ではフランジ板要素の面外方向に二次曲げモーメントが作用する。この二次曲げモーメントは内面側が圧縮、外面側が引張となる方向に作用するため、内面側の欠陥には有利に、外面側の欠陥には不利に働く。

固形タブを用いた溶接施工法では、図2に示す溶接始末端位置の溶接初層に溶込み不良が生じやすい。図3に示すように、工場溶接形式では上下フランジとも外開先となるため溶接初層はフランジの内面側になり、他方、工事現場溶接形式では下フランジは内開先となるため溶接初層はフランジの外面側になる。

本研究での溶接欠陥の評価指標は次のとおりである。

- 1) UT規準¹⁾の欠陥断面率 s_a
- 2) WES2805²⁾のき裂特性寸法 \bar{c}
- 3) WES2808³⁾のひずみ集中係数 K_e と \bar{c} の積

s_a は破壊の起点となった側の欠陥断面積(欠陥の実測高さを実測長さの積)をフランジ断面積で除した値である。破壊の起点にならなかった側の欠陥断面積は算入

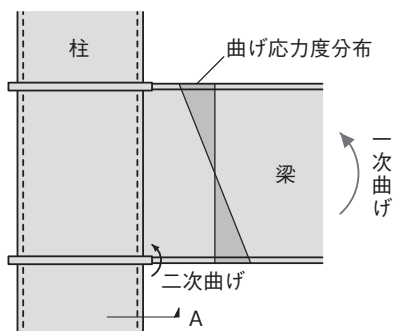


図1 梁端接合部

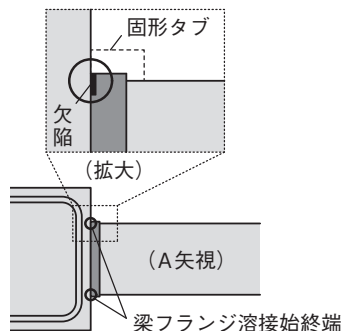


図2 溶接始末端の位置

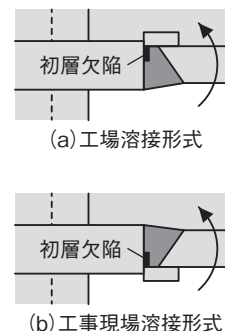


図3 初層欠陥の位置

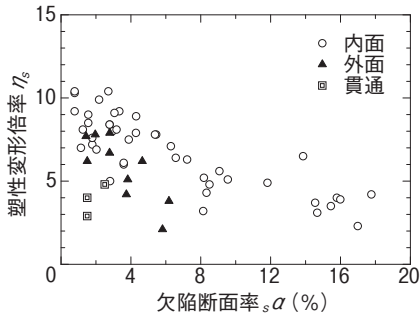


図4 塑性変形倍率と欠陥断面率の関係

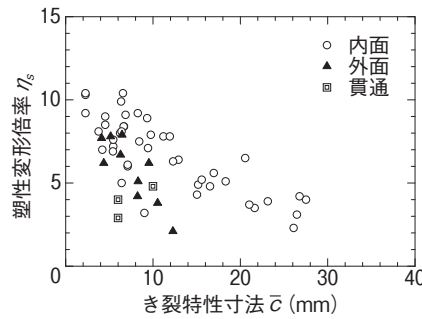


図5 塑性変形倍率とき裂特性寸法の関係

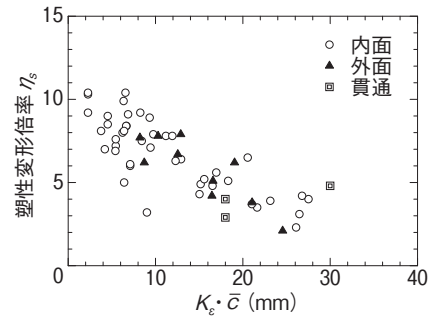


図6 塑性変形倍率と修正き裂特性寸法の関係

しない。

\bar{c} は、応力拡大係数 K 値の等価則を用いて、3次元の板厚非貫通き裂を力学的に等価な2次元の板厚貫通き裂に置き換えたものである²⁾。破壊の起点となった側の欠陥の実測高さ a と実測長さから算定する。

K_e は、梁端部の平均的ひずみに対する局所ひずみの比である。WES2808³⁾では、溶接始末端部の K_e に及ぼす局所領域寸法の影響が調査されている。端部表面欠陥の場合は欠陥寸法の影響はあまり小さくなく欠陥位置（フランジの外側か内側か）に依存し、端部貫通欠陥の場合は欠陥長さに依存する解析結果が示されている。 K_e の目安としては、端部欠陥の場合はフランジ外側で2、内側で1が提案されており、本研究でもこれらの値を採用する。貫通欠陥の場合は欠陥長さとの関係が示されているが、端部表面欠陥の場合との関係から一律に3と仮定する。

実験データは、角形鋼管柱とH形断面梁を通シダイアフラム形式で接合する場合を対象に、梁端フランジ溶接部の端部欠陥に着目して行われた柱梁部分架構試験体の実大接合部曲げ実験に関する既往研究から収集したものである¹⁾。ただし、破壊起点近傍の0°Cシャルピー吸収エネルギーが30J以下の実験データは除いている。塑性変形能力の評価指標は、骨格曲線を対象とした塑性変形倍率 η_s （正負で大きい方の値）とする。

3 主な研究成果

塑性変形倍率 η_s と欠陥断面率 a の関係を図4に示す。図4より a の増加にともなって η_s の上限が減少する傾向がわかる。 a が同じ場合を比較すると、外側（内開先の初層端部欠陥）の方が、内側（外開先の初層端部欠陥）に比べて η_s が小さい。また、貫通欠陥の場合は a が同程度の非貫通欠陥の場合に比べて η_s が極端に小さくなっている。これらの結果から、梁端フランジ溶接部の端部欠陥が、フランジの外側にあるか内側にあるか、貫通欠陥か非貫通欠陥かによって、梁の塑性変

形能力に及ぼす影響が異なることがわかる。

塑性変形倍率 η_s とき裂特性寸法 \bar{c} の関係を図5に示す。図4に示した a との関係に比べて、全体のばらつきは小さくなっているように見受けられる。一方で \bar{c} によって、とくに欠陥高さ a と欠陥長さの影響を等価に扱えることが期待されるが、図5で内側側の○プロットだけに着目して \bar{c} が同じ場合を比較しても η_s が大きくばらついている。また当然ではあるが、図5で \bar{c} が同じ場合を比較すると、外側の方が内側側に比べて η_s が小さい傾向は図4と変わらない。

塑性変形倍率 η_s とひずみ集中係数による修正き裂特性寸法 $K_e \cdot \bar{c}$ の関係を図6に示す。図4、図5に比べて、外側と内側側が同じプロット群として集結している様子がわかる。

4 おわりに

本研究では、溶接欠陥位置の違いを考慮するために、WES2805²⁾のき裂特性寸法 \bar{c} とWES2808³⁾のひずみ集中係数 K_e による修正き裂特性寸法 $K_e \cdot \bar{c}$ を検討し、これが梁の塑性変形能力を評価できる有効な指標になる可能性を示した。

なお、図4～6に共通する内容であるが、横軸の値が同じ場合であっても η_s のばらつきが大きい。欠陥寸法の実測値に計測誤差があることも要因のひとつであると考えられるが、破壊靱性や載荷履歴などの影響も及んでいるものと考えられる。

今後は、WES2808³⁾のひずみ集中係数 K_e の更新を目指して載荷実験や精緻な有限要素法解析を実施し、梁端接合部の破断で決まる梁の塑性変形能力の予測精度向上を目指す。

参考文献

- 1) 日本建築学会：鋼構造建築溶接部の超音波探傷検査規準・同解説 第6版，2018.12
- 2) 日本溶接協会：WES2805：2011，溶接継手のぜい性破壊発生及び疲労亀裂進展に関する欠陥の評価方法，2011.10
- 3) 日本溶接協会：WES2808：2017，動的繰返し大変形を受ける溶接鋼構造物のぜい性破壊性能評価方法，2017.7