

奥村組特定研究報告

No.33

梁の塑性変形能力および亀裂進展に及ぼす
梁端フランジ溶接部の溶接欠陥の影響

2025.3

神戸大学博士(工学) 上田 遼

RYO UETA
Dr. Eng. KOBE UNIVERSITY

この「奥村組特定研究報告」は著者が
神戸大学へ提出した学位論文を再編、
収録し、掲載するものである。

梁の塑性変形能力および亀裂進展に及ぼす梁端フランジ溶接部の溶接欠陥の影響

論文の要旨

我が国の鋼構造建築物で幅広く採用される柱梁接合形式として、通しダイアフラム補剛による角形鋼管柱と H 形断面梁で構成される接合形式がある。本形式では、梁フランジと通しダイアフラム間を完全溶込み溶接にて接合する。耐震構造では、溶接部を含めた梁端部では大地震時に塑性ヒンジを形成する場合があります、設計時に塑性変形を許容している。つまりこの梁端溶接部には、十分な塑性変形能力とエネルギー吸収能力を発揮するために必要な耐力と破壊靱性が求められる。

一方、これらの溶接接合部には溶接施工時に溶接内部に欠陥が生じる可能性があり、梁端溶接接合部における溶接欠陥の発生は梁の塑性変形能力の低下を招くことが報告されている。特に梁端部は梁フランジから通しダイアフラムへの急激な断面変化に伴う歪集中が生じる場所であると同時に、溶接初層の溶接始末端部でのアークスタート位置特有の不安定なアークに伴う溶込み不良などの溶接欠陥が生じ易い位置でもある。溶接始末端部の処理に固形エンドタブを用いた溶接施工では、溶接始末端部に発生した溶接欠陥がエンドタブ内のみに留まらずに梁フランジの幅内にまで渡って発生する可能性がある。また、柱梁溶接接合部の溶接形式には、工場溶接形式と現場溶接形式がある。工場溶接形式では上下フランジとも外開先となるため、溶接部初層における欠陥の位置が、フランジの内面側に入るのに対して、現場溶接形式では下フランジの開先形状が内開先となるため、溶接部初層の欠陥はフランジの外側に入る。梁断面の最外縁側に欠陥が存在する内開先の溶接部初層の欠陥は外開先の場合に比べて、破壊に対して敏感に働くことが指摘されている。

梁端フランジ溶接部の溶接欠陥を対象とした研究は複数報告されているものの、溶接欠陥高さについての研究事例は少ない。またそのほとんどが溶接欠陥を起点とした破断に至るまでの変形能力の評価に着目しているが、溶接欠陥を起点とした破壊には、脆性破断を伴い亀裂の進展する場所によっても実験結果にばらつきが生じやすい。さらに、梁端部の破断までの変形能力には断面寸法比の影響があることが指摘されているが、梁端フランジ溶接部の溶接欠陥と梁断面の寸法比を組合せた研究事例は極めて少ない。

そこで本論文では、溶接欠陥寸法の欠陥高さに特に着目して、欠陥寸法、開先形状および梁断面寸法を因子とした実大載荷実験および有限要素数値解析を実施して、梁端フランジ溶接部の溶接欠陥が梁の塑性変形能力および亀裂進展に及ぼす影響について調べる。さらに、不安定な脆性破壊を伴う破断までではなく、安定した延性亀裂による溶接部の板厚貫通亀裂が発生するまでに注目して、塑性変形能力の評価を行う。加えて、梁フランジ溶接部に人工的に溶接欠陥を設けた試験体に対して、フェーズドアレイ超音波探傷検査法による検査を行い、欠陥高さの検出可否についても調べる。

以上を踏まえて、本論文の構成は次の通りとする。

第 1 章では、研究背景と研究目的を述べ、本研究に関連のある既往の文献についてまとめる。そして、これらをもとに本研究の研究手法について述べる。

第 2 章では、開先形状、溶接欠陥寸法および試験体寸法比を因子とした実大 T 字形試験体による一定振幅繰返し载荷実験である実大载荷実験 I および実大载荷実験 II を実施する。実験 I では、梁せい 500mm の試験体を使用する。開先形状は、工場溶接を想定した外開先と現場溶接を想定した内開先で上下フランジとも同一形状としている。なお、溶接始末端部の処理には L 形固形エンドタブを使用している。欠陥寸法は、無欠陥、欠陥あり（フランジ幅内欠陥長さ（mm）×欠陥高さ（mm）：5×5、5×10、5×15、5×19、15×5）の 6 体を 1 シリーズとして計 12 体製作した。亀裂の進展状況を各サイクルで記録し、溶接欠陥が亀裂の進展に与える影響について調べる。実験 II では、実験 I の試験体寸法を約 1.6 倍した梁せい 800mm の試験体を使用する。開先形状は、実験 I と同様とし、欠陥寸法も約 1.6 倍して寸法比による塑性変形能力および亀裂進展に及ぼす影響について調べる。

第 3 章では、第 2 章で実大载荷実験を行った試験体に供した解析モデルを作成し、有限要素数値解析を行う。溶接欠陥近傍の歪性状および亀裂開口変位（以下、COD）、溶接部に発生する延性亀裂がフランジ板厚方向に貫通するまでの累積塑性変形倍率に着目して、溶接欠陥寸法による違いを考察した。さらに、塑性変形能力の下限値を設定し、その下限値を下回らない許容溶接欠陥長さと高さの組合せを示した。実験 II の解析モデルについては、COD を寸法比の 1.6 で除して基準化して評価した。

第 4 章では、許容欠陥寸法に影響を与える因子の候補として、溶接部強度および接合部係数に着目して有限要素数値解析を行い、その影響について考察する。

第 5 章では、第 1 章～第 4 章についてまとめ、本論文で得られた知見を示す。