

繰り返し変位履歴を受ける梁端溶接接合部の延性破断を考慮した変形能力評価

Evaluation of Plastic Deformation Capacity of Steel Beam Ends with Ductile Fracture under Cyclic Loading

澤本 佳和 Yoshikazu Sawamoto

1. はじめに

兵庫県南部地震（1995 年）では、角形鋼管柱と H 形鉄骨梁接合部の被害、なかでも梁フランジの破断（梁端溶接部の破断）が多数報告された。また、上記の地震が直下型であったことから、梁端接合部には短時間に大きな荷重が生じることとなり、これが破断の一因と考えられた。これに伴い、鋼材破断に対するひずみ速度や破壊靱性の影響に関する数多くの研究が実施され、実用化に向けた検討が行われてきた。また、東北地方太平洋沖地震（2011 年）では、首都圏の超高層建築物が長時間揺れ続けたことや震源から 700 km 以上離れた大阪湾岸の超高層建築物の頂部が大きく揺れたことが報告された。さらに、最近の地震動予測研究の進捗から、南海トラフを震源域とする巨大地震により、東京、名古屋、大阪などの大都市圏の超高層建築物に長周期地震動が大きな影響を及ぼす可能性が指摘されている。これに伴い、鉄骨超高層建築物などが長時間継続して多数回繰り返される揺れを受ける際の構造骨組が発揮する力学性能に関し、鉄骨部材及び部分骨組による多数回繰り返し実験が行われ、構造実験を基にして梁端接合部ディテール毎（スカラップの有無等）に破断に至るまでの保有性能の評価式（性能曲線）が提案されている。また、弾塑性有限要素法による数値解析（FE 解析）による検討も行われている。

しかしながら、これらの研究では、評価手法の入力値の設

定が難しく簡易な評価とはなっていないこと、FE 解析に於いては単調荷重を含む大きな振幅による 1 回～数回の繰り返しでの破断を考慮した損傷モデルは検討されていないことが課題であった。

本研究では、FE 解析に着目して、最初に、極大地震を想定して、衝撃荷重や単調荷重の荷重を受ける場合のように、主としてひずみが単調に増加する場合の鋼材破断（延性き裂発生に起因する破断）に対するひずみ速度や破壊靱性等の影響を簡易に考慮して FE 解析を用いた変形能力を評価する方法を提案する。次に、長周期地震動（複数回の極大地震動を含む）を想定し、多数回繰り返し荷重を受ける場合での梁端の局部座屈と梁端フランジ溶接部の延性破壊を考慮して、FE 解析を用いた変形能力評価法を提案する。なお、解析では汎用有限要素解析プログラム LS-DYNA を用いている。

2. 衝撃荷重下及び単調荷重時の変形能力の評価

ここでは、最初に地震のような正負交番繰り返し荷重ではなく、衝撃荷重や単調荷重の荷重を受ける場合のように、主としてひずみが単調に増加する場合に限定することで、鋼材破断に対するひずみ速度や破壊靱性等の影響を簡易に評価することを目的に、応力・ひずみ関係の応力集中係数、ひずみ速度、及び破壊靱性（シャルピー衝撃値 E_v ）への依存性のモデルを提案する。これまで破壊靱性の検討に FE 解析を用いた例はないが、本研究では、シャルピー衝撃試験の FE 解析を実施して、その結果を基にして応力・ひずみ関係に反映した（Fig.1）。次に、ノッチ付き梁の静的及び衝撃実験について、静的及び衝撃実験について、上記の検討結果を応力・ひずみ関係に適用した FE 解析を実施し、実験結果を良好に

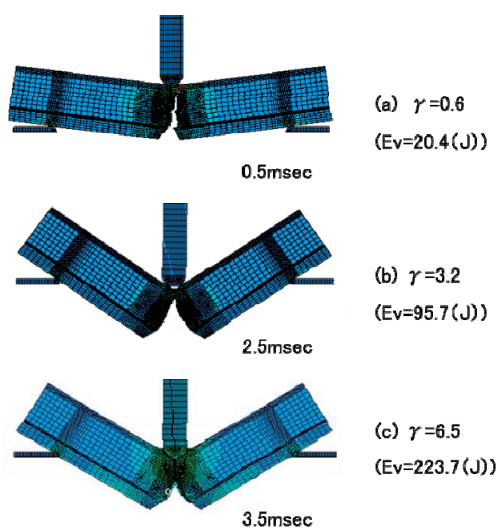


Fig. 1 シャルピー衝撃試験の解析
(Numerical Analysis of Charpy Impact Test)

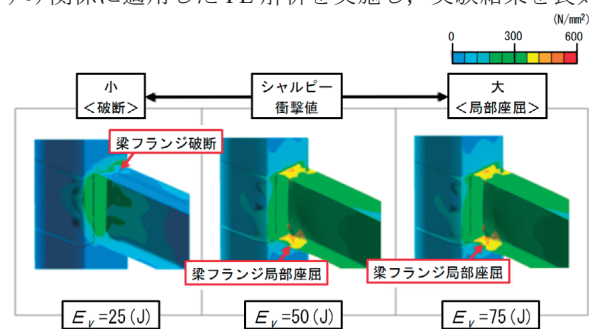


Fig. 2 シャルピー衝撃値を変化させたパラメータスタディ
(Parameter Study of Charpy Impact Value)

シミュレート可能であることを確認することで、本解析法の妥当性を検証した。また、工場溶接接合形式の柱梁接合部（梁フランジ溶接、ウェブボルト接合）を対象に、変形能力に影響を及ぼすと考えられる因子（梁フランジ材の降伏比、梁フランジの幅厚比、溶接部のシャルピー衝撃値、梁部材のせん断スパン比）を選定し、FE解析を用いたパラメータスタディ（Fig.2）により変形能力に関するデータを取得し、得られた解析結果を重回帰分析により近似することで変形能力評価式を提案した。

3. 繰り返し载荷時の変形能力の評価

ここでは、多数回繰り返し荷重を受ける場合での梁端の局部座屈と梁端フランジ溶接部の延性破壊をFE解析によりシミュレートすることを目的に、既往の損傷モデルを低サイクル疲労から単調载荷まで拡張した損傷モデルを考案し、梁端接合部（溶接部）に特有な材料特性を考慮することで、FE解析を用いた変形能力評価法を提案する。まず、梁フランジ・ウェブの一部を模擬した要素実験及び部分骨組実験のシミュレーションを実施することにより、提案した損傷モデルを用いて、延性破壊が支配的な状況でのき裂発生及び進展、それに伴う荷重低下状況を、梁端接合部ディテール（スカ

ップ形状）の異なる場合について高精度で模擬できることを確認した（Fig.3）。次に、本手法により、スカラップ形状等の梁端ディテールの影響も含めた性能曲線を評価できることを確認し、既往の性能曲線と比較することにより本評価法の妥当性を検証した。最後に、梁ウェブが薄い場合について、FE解析によるパラメータスタディを実施し、梁ウェブが薄い鉄骨梁を設計する上での新たな知見（梁ウェブが薄く塑性率振幅が大きな場合には、梁端破断が発生する前に局部座屈による急激な荷重低下が発生する等）を得ている。

4. おわりに

本研究では、FE解析を用いて、【極大地震を想定】衝撃荷重や単調载荷の荷重を受ける場合に対するひずみ速度や破壊靱性等の影響を簡易に考慮した変形能力評価法、【長周期地震動を想定】多数回繰り返し荷重を受ける場合での梁端の局部座屈と梁端フランジ溶接部の延性破壊を考慮した変形能力評価法の提案を行った。

本提案モデルは、様々な梁端接合部ディテールに対する梁端の局部座屈と梁端フランジ溶接部の破断を考慮した変形能力を評価する際の構造実験を補完できる方法として、今後活用されることが期待される。

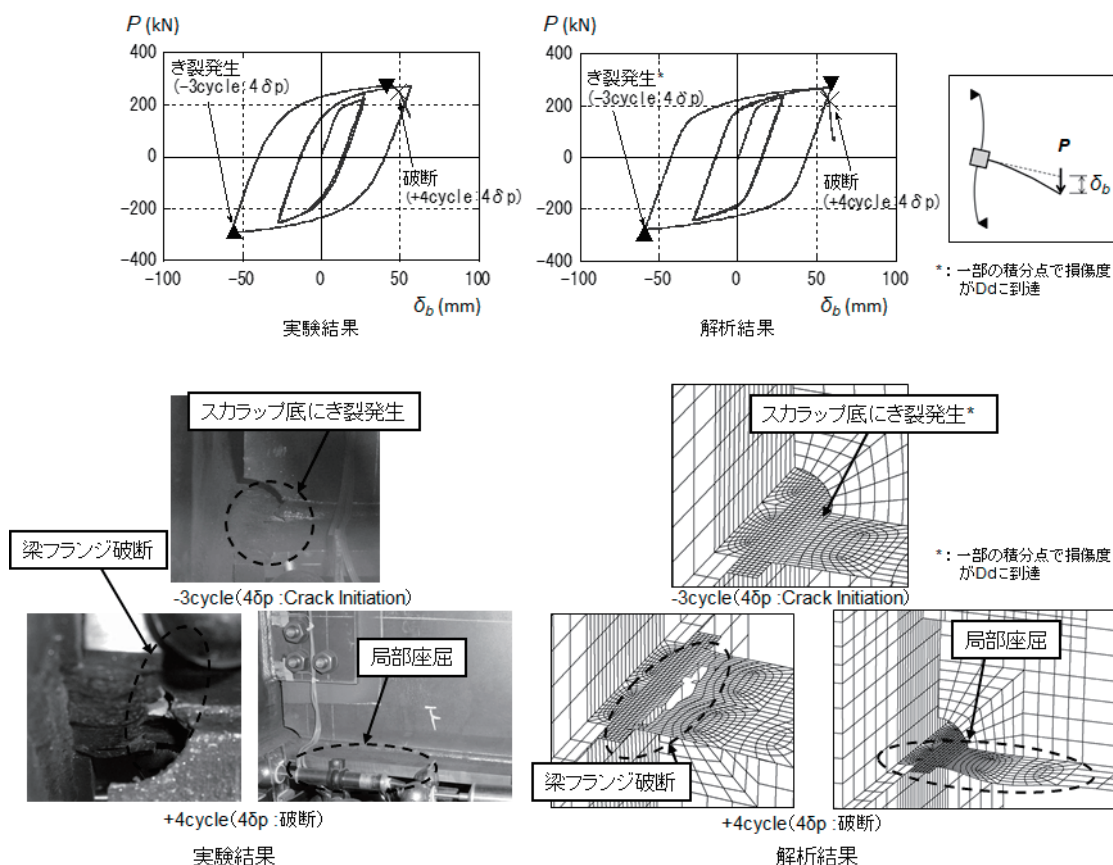


Fig. 3 部分骨組実験のシミュレーション
(Simulation Analysis of Beam-Column Subassembly Test)

キーワード: 鋼構造, 塑性変形能力, 梁端溶接部, 局部座屈, 有限要素解析

Keywords : steel structure, plastic deformation capacity, welded beam end, local buckling, FE analysis