

岐阜大学 学生会員 ○鈴木達也
岐阜大学 正会員 木下幸治

兵庫県南部地震以降の Level2 地震動を用いた設計法により鋼製ラーメン橋脚の梁と柱の接合部である隅角部の板厚はかなり厚く設計され^{1), 2)}、板厚増加の結果、製作、輸送、並びに架設に困難が生じている。この問題に対して、著者らは、梁フランジ構造の違いが円柱を有する鋼製ラーメン橋脚隅角部の弾塑性挙動に及ぼす影響について、載荷試験、並びに弾塑性 FEM 解析により検討を行った。そこで本研究では、これまでの解析で検討していない溶接部の余盛、残留応力および初期たわみがその弾塑性挙動に及ぼす影響について検討を行った。

本解析には汎用有限要素解析プログラム ABAQUS を用いた。図-1 に解析モデルのメッシュ分割図を示す。隅角部試験体および治具のフランジ、ウェブ、ダイヤフラム等の全ての構成部材は、3 節点あるいは 4 節点のシェル要素を用いてモデルを作成し、治具も考慮した。柱両端は試験ステムと同様にヒンジをモデル化した。試験体部位の使用鋼材は SM400 とし、降伏強度は引張試験結果の平均値を用いた。SM400 の応力-ひずみ関係は引張試験より得られた応力-ひずみ関係を多直線近似したものを用いた。鋼材の降伏判定は von-Mises の降伏条件により行った。解析の収束計算は、標準 Newton-Raphson 法を用いて収束精度を $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.0 \times 10^{-12}$ の範囲で自動増分制御した。

梁と柱の接合部の溶接余盛の影響を検討するために、図-2 に示すように梁プレートの板厚に溶接余盛を板厚に加えるモデル化を行った。

図-3に各試験体に導入した残留応力分布を示す。なお、図-3(b)は重ね合わせた分布のみを示す。隅角部では、梁フランジとウェブとのかど溶接による残留応力のみならず、また、梁フランジと柱鋼板との突合せ溶接による残留応力が加わった分布となることが考えられる。しかし、既往の研究では、かど溶接のみの残留応力による検討が多く、突合せ溶接による残留応力の取り扱いが曖昧である。そこで、ここではかど溶

図-1 解析モデル

柱

梁

荷重点

試験体1, 2

試験体3

円柱

$T_b = T + S/2$

T

S

ダイヤフラム

梁フランジ

$T_b = T + S$

T: 梁フランジ板厚
S: 溶接余盛
 T_b : 梁フランジ板厚 + 溶接余盛

図-2 溶接余盛のモデル化

(a) かど溶接 (b) かど溶接+突合せ溶接

図-3 解析モデルに導入した残留応力分布

Figure 1 consists of four sub-diagrams, each showing a 3D perspective view of a beam-column joint with a red weld line. Labels in Japanese identify the components and the weld type.

- ① 隅角部接合部** (Corner joint): Shows a fillet weld at the corner of the beam-column joint. Labels include 梁 (Beam), 隅角部接合部 (Corner joint), and 柱 (Column).
- ② 梁プレート全面** (Full beam plate): Shows a weld along the entire surface of the beam plate. Labels include 梁 (Beam), 梁ウェブ (Beam web), 梁フランジ (Beam flange), and 柱 (Column).
- ③ 溶接接合部** (Weld joint): Shows a butt joint weld between two plates. Labels include 梁 (Beam), 溶接接合部 (Weld joint), and 柱 (Column).
- ④ 溶接接合部隣接要素** (Weld joint adjacent element): Shows a butt joint weld with adjacent elements. Labels include 梁 (Beam), 溶接接合部 (Weld joint), 隣接要素 (Adjacent element), and 柱 (Column).

圖-4 残留応力導入位置

接の残留応力のみを考慮したケース(図-3(a))，かど溶接と突合せ溶接の残留応力を考慮したケース(図-3(b))を検討した．なお，かど溶接と突合せ溶接の両残留応力を合わせた分布は，重ね合わせの原理が成り立つと仮定し，両残留応力分布を重ね合わせたものとした．図-4に残留応力導入位置を示す．既往の研究では隅角部接合部周辺の残留応力の導入位置について明確な記述がないため，本研究では，①隅角部接合部，

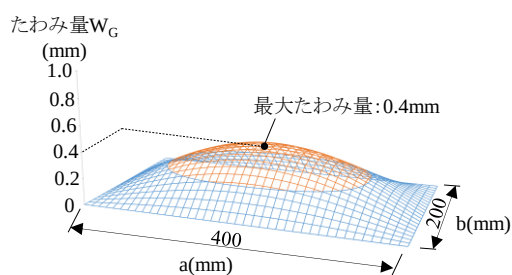
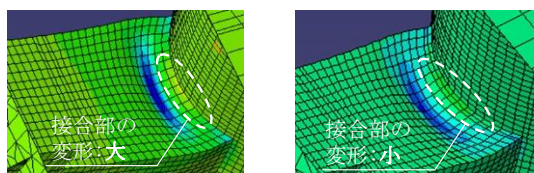


図-5 解析モデルに導入した初期たわみ



(a) 溶接余盛考慮無 (b) 溶接余盛考慮有

図-6 溶接余盛考慮の有無による変形状況の比較

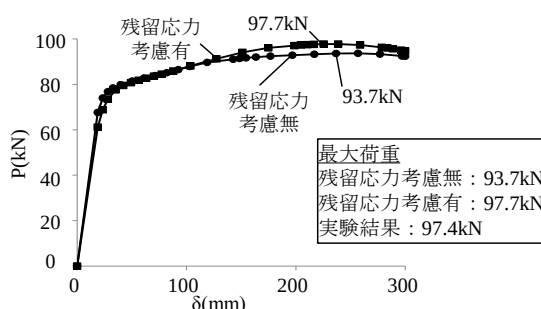


図-7 残留応力考慮の有無による P-δ 曲線の比較

②梁プレート全面、③溶接接合部、④溶接接合部隣接要素の4つの導入位置を検討した。なお、残留応力導入後、荷重作用前に各断面での釣合いの成立を確認した。図-5に梁フランジに考慮した初期たわみの波形を示す。初期たわみは圧縮側梁フランジのみに考慮した。文献3)を参考に式(1)に示す全体系初期たわみ W_G を正弦波で導入した。たわみ量は道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編の施工の部材精度の規定に従い、全体系最大縦距を圧縮材の曲りの許容誤差 $a/1000$ とした。

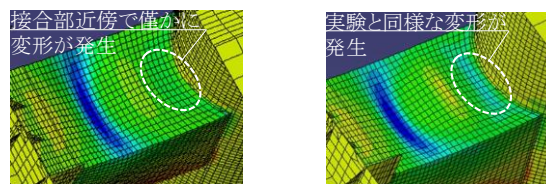
$$W_G(x, y) = W_l \cdot \sin \frac{\pi x}{a} \cdot \sin \frac{\pi y}{b} \quad (1)$$

ここで、 a は梁フランジ長さ(mm)、 b は梁フランジ幅(mm)、 W_l は全体系最大縦距(mm)である。

本解析では溶接余盛、残留応力、初期たわみの3つのパラメータを加えたケースを実施した。各試験体でそれぞれ15ケース、計45ケースとした。

3. 各因子が弾塑性挙動に及ぼす影響

図-6に溶接余盛の考慮の有無に関する解析ケースの変形状況を示す。図-6より、溶接余盛考慮無では接合部で局所的な変形が発生したのに対して、溶接余盛考慮有では溶接部を考慮した要素外側で局所変形が認められた。これは、接合部に溶接余盛を考慮することで、



(a) 初期たわみ考慮無 (b) 初期たわみ考慮有

図-8 初期たわみ考慮の有無による変形状況の比較

接合部の強度が高くなったためと考えられ、溶接余盛考慮の有無は局所変形が生じる位置に影響を与えるといえる。一方、溶接余盛考慮の有無は、最大荷重には殆ど影響を与えないといえる。

次に、残留応力の導入位置の差異では、かど溶接のみの残留応力分布、並びにかど溶接と突合せ溶接を重ね合わせた残留応力分布を①隅角部接合部、③溶接接合部、④溶接接合部隣接要素にそれぞれ導入した結果より、それらの位置によらず最大荷重に殆ど影響を与えなかった。一方、図-7に②梁プレート全面に残留応力を考慮したP-δ曲線の結果を示す。図-7より、残留応力の考慮無ケースの最大荷重93.7kNに比べ、梁プレート全面の要素に残留応力を考慮したケースでは最大荷重が97.7kNに増加し、実験結果に近い値となった。しかし、残留応力が最大荷重に及ぼす影響は、最も影響を与えた解析ケースであっても10%程度であった。

図-8に初期たわみ考慮の有無に関する変形状況の比較を示す。図-8より、初期たわみ考慮無では梁フランジ中央部で局所的な大きな変形が発生し、接合部近傍では僅かに円柱に沿うような局所的な変形が発生した程度であった。一方、初期たわみ考慮有では初期たわみ考慮無で見られた梁フランジ中央部での局所的な大きな変形が小さくなり、接合部近傍で円柱に沿った局所的な大きな変形が見られた。これは、実験で確認された変形状況と良く一致した。一方、初期たわみ考慮による最大荷重への影響は僅かであった。

4. まとめ

最大荷重、並びに変形状況の精度を高めて評価するためには、最大荷重に関しては溶接余盛、並びに初期たわみを考慮すると良い。

〈参考文献〉1)奥村敏恵、石沢成夫：薄板構造ラーメン隅角部の応力計算について、土木学会論文集、No.153、1968。2)高橋宣男：鋼製橋脚隅角部の溶接施工容量について(首都高速道路公団 HN14 工区)、サクラダ技報、No.13、2000。3)美島雄士ら：鋼製ラーメン橋脚 T 形隅角部の弾塑性挙動に関する研究、構造工学論文集、Vol.56A、pp.157-168、2010。