

## 溶接ジョイントの非線形剛特性を考慮したラーメンの解析

九州大学工学部 学生員 前 島 龍 三

" " 学生員 Mian Amar Mahmood

" " 正会員 彦 坂 照

## 1. 緒 言

鋼ラーメンにおける剛節の解析仮定を満足させるためには、柱-はり接合部に十分な補剛材の配置を必要とし、溶接工数の増加により製作・施工コストが増大する。構造物の重要度に応じてこの補剛材の一部を省略し、柱とはりの相対回転角を許すものをセミリジッド接合と呼ぶ。本研究は、製作・施工コストの低減を目的とする接合部のセミリジッド化が平面ラーメンの剛性と強度の低下に及ぼす影響を、次の仮定のもとに解析したものである。(1) はりおよび柱部材は塑性設計が可能なH形またはI形断面を有し、強軸まわりの曲げ部材としてのみ用いる。(2) はりは柱のフランジに直接溶接接合される。(3) 部材の座屈は無視できる。

## 2. 溶接ジョイントのモーメント-相対回転角特性

柱-はりが溶接接合されるラーメンの塑性設計においては、材端に塑性ヒンジが生じるまで、節点において柱-はりの相対回転角は生じないと仮定し、このため接合部は通常図-1(a)のような水平および斜め補剛材で補強される。これらの補剛材を省略した同図(b)のセミリジッド接合部に生じる相対回転角 $\phi$ を、ここでは次の2つに分けて考える(図-2参照)。

- ① 曲げ相対回転角  $\phi_b$  : はりの曲げモーメントに伴う、柱ウェブの引張および圧縮変形により生じる。
- ② セン断相対回転角  $\phi_s$  : 接合部の柱ウェブパネルの純せん断変形により生じる。

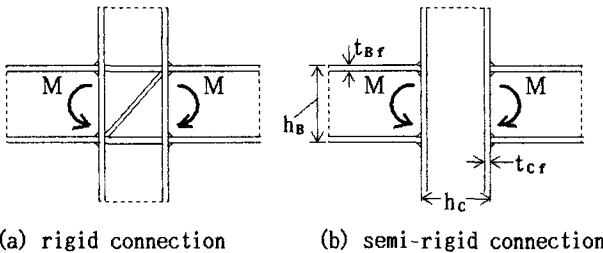


図-1 柱-はりの溶接接合部

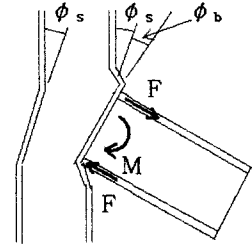


図-2 柱-はりの相対回転角

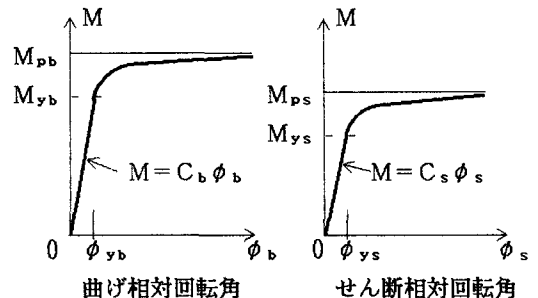
接合部の力学的挙動を解析するに当たり、はりの材端モーメントMは静力学的に等価なフランジ偶力Fに置き換える。すなわち、

$$M = F(h_B - t_{Bf}) \quad (1)$$

ここに、 $h_B$  ははり高、 $t_{Bf}$  ははりのフランジ厚。せん断相対回転角 $\phi_s$ は接合部左右のはりの端モーメントが等しくないときに生じ、図-2の例では、偶力Fが $\phi_s$ を引き起こすせん断力にもなる。

## (1) 曲げ相対回転挙動の特性値

曲げ相対回転剛性 $C_b$ は、はりのフランジ偶力Fにより引張および圧縮を受ける接合部の柱ウェブの弾性変形に基づいて算定される。すなわち、ヤング係数をE、ポアソン比を $\nu$ 、柱のウェブ厚を $t_{cw}$ として

図-3 セミリジッドジョイントのM- $\phi$ 関係

$$C_b = \frac{E t_{cw}}{1-\nu^2} (h_B - t_{Bf})^2 \quad (2)$$

降伏モーメント  $M_{yb}$  は、柱ウェブの有効幅  $\ell_e$  を用いて算定される直応力の最大値が降伏応力  $\sigma_y$  に達する条件から、

$$M_{yb} = \sigma_y t_{cw} \ell_e (h_B - t_{Bf}) \quad (3)$$

ここに  $\ell_e = t_{Bf} + 2\sqrt{2}a + 2(r_c + t_{cf})$ 、 $a$  は溶接のど厚、 $r_c$  は柱ウェブフィレット半径、 $t_{cf}$  は柱フランジ厚。

終局モーメント  $M_{pb}$  は、式(3)の弾性有効幅  $\ell_e$  の代わりに、塑性有効幅  $\ell_p$  を用いて算定される<sup>1)</sup>。

$$M_{pb} = \sigma_y t_{cw} \ell_p (h_B - t_{Bf}) \quad (4)$$

$$\ell_p = t_{Bf} + 2\sqrt{2}a + 5(r_c + t_{cf})$$

## (2) セン断相対回轉挙動の特性値

セン断相対回轉剛性  $C_s$  は、純セン断を受ける接合部の柱ウェブパネルの弾性変形に基づいて算定される。すなわち、セン断弾性係数を  $G$ 、柱断面高さを  $h_c$  として

$$C_s = G t_{cw} (h_c - t_{cf}) (h_B - t_{Bf}) \quad (5)$$

降伏モーメント  $M_{yb}$  は、von Mises の降伏条件より、

$$M_{ys} = 0.58 \sigma_y t_{cw} (h_c - t_{cf}) (h_B - t_{Bf}) \quad (6)$$

式(6)の  $M_{ys}$  を越えるモーメントは、主として柱フランジの曲げにより抵抗され、ジョイントは十分な相対回轉容量を持つ。本研究では、Krawinkler らが実験により求めた終局モーメント式<sup>2)</sup>を用いた。

## 3. セミリジッドジョイントをもつラーメンの弾塑性近似解析法

セミリジッド溶接ジョイントの  $M-\phi$  関係を、図-4 のように降伏モーメント  $M_{yk}$ 、終局モーメント  $M_{pk}$  の折線で近似し、弾性および塑性解析を行った。弾性域におけるジョイントの曲げおよびセン断相対回轉剛性  $C_b$ 、 $C_s$  の効果を解析に取入れるため、接合部を、そのパネル長の半分  $h_B/2$ 、 $h_c/2$  に等しい材長と断面二次モーメント  $I_{Bk} = C_b h_c/2E$ 、 $I_{ck} = C_s h_B/4E$  の十字形剛節骨組に置換する(図-5)。接合部における部材端モーメント  $M$  が  $M_{yk}$  に達した後は、十字形骨組の節点に  $M_{yk} < M < M_{pk}$  なるモーメントの作用するヒンジを挿入し、繰返し計算により図-4の  $M-\phi$  関係を満足させて解析を進めた。図-6 は、簡単な門形ラーメンについて、ジョイントがリジッドおよびセミリジッドの場合の解析結果の一例を示したものである。

謝辞： 本研究の一部は、著者の一人彦坂が文部省在外研究員としてオーストリア Innsbruck 大学に滞在中に行ったものである。御指導頂いた同大学の F. Tschemmerneegg 教授に深甚なる謝意を表す。

## 参考文献

- 1) EEC/EC3: Eurocode No.3 for Steel Structures (Draft November 1983).
- 2) H. Krawinkler et al.: Seismic Behavior of Moment Connections and Joints. ASCE ST2, Feb. 1982

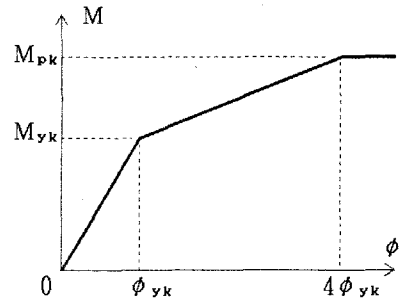


図-4 ジョイントの  $M-\phi$  モデル

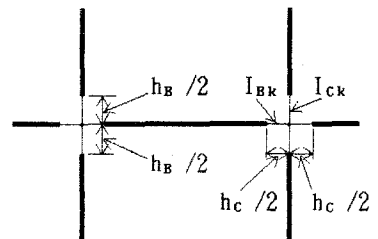


図-5 ジョイントの解析モデル

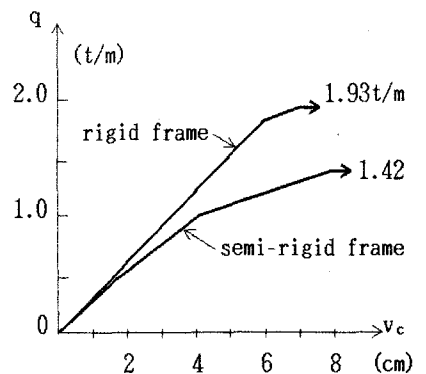
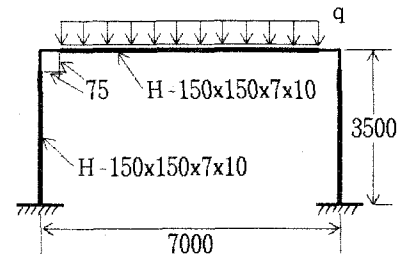


図-6 荷重-たわみ曲線 (はり中点)