

I-25

溶接接合セミリジッドラーメンの塑性崩壊挙動について

九州大学工学部	学生員	Mian Amar Mahmood
九州大学工学部	正会員	彦 坂 熙
九州電力㈱	正会員	前 畠 龍 三
Innsbruck大学工学部		Ferdinand Tschemmerneegg

1. 緒 論

ラーメン構造に関する従来の解析と設計法のほとんどすべては、終局耐力に至るまで柱とはりの接合部が剛節であるとの仮定に基づいている。しかし、実際の接合部は有限の領域をもつパネルであり、部材端モーメントを受けて弾性・塑性変形を生じるため、“セミリジッド”な挙動を示す。セミリジッド接合部をもつラーメンに関する研究は、接合部の実態に則した解析をすることにより構造物の安全性を向上させるのみならず、その製作・施工コストの低減に寄与する目的をも有するものである。解析に際して次の仮定を設ける。

① ラーメンの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用いられる。② はりは柱のフランジに直接溶接接合される。はりのフランジ、ウェブとも全周すみ肉溶接される場合、およびはりのフランジが突き合せ溶接、ウェブがすみ肉溶接の場合を考える。③ 部材の曲げモーメントと曲率の関係は完全弾塑性モデルで表され、部材の塑性域は塑性ヒンジとしてのみ扱われる。

2. セミリジッド溶接接合部のモーメント-相対回転角特性

柱とはりの溶接接合部は、適正な断面の水平および斜め補剛材を図-1のように柱ウェブの両面に溶接して補強することにより、剛節の仮定をほぼ満足する。水平補剛材は、はりの端モーメントによりその上下フランジを介して柱ウェブに導入される水平集中力の一部を負担し、柱フランジ・ウェブの局部変形を防止する。斜め補剛材は、水平補剛材と柱フランジとで囲まれる柱ウェブの長方形パネルゾーンのせん断変形を防止する目的で挿入さ

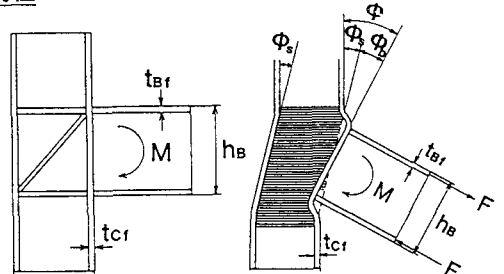


図-1

図-2

れる。本論文では、上記の各補剛材のすべてまたは一部を省略し、柱とはりの相対回転角を許すものを、セミリジッド溶接接合と呼ぶ。この相対回転角 ϕ は、水平および斜め補剛材の挿入目的にそれぞれ対応して、図-2に示す曲げ相対回転角 ϕ_b とせん断相対回転角 ϕ_s とに分けて扱われる。 ϕ_b は、はりの端モーメントに伴う柱ウェブの水平引張および圧縮変形により生じ、また ϕ_s は、柱ウェブパネルゾーンの純せん断変形により生じるものとする。接合部のモーメントと相対回転角の関係は、降伏モーメント M_{yb} または M_{ys} 以下の弾性領域、およびそれらを越えて塑性モーメント M_{pb} または M_{ps} に至るまでの弾塑性領域をbi-linear型モデルで表し、塑性モーメントに達した接合部は塑性ヒンジ化するものと仮定する。

(1) 曲げ相対回転挙動の特性値¹⁾

接合部の曲げ相対回転剛性 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パネルゾーンの柱ウェブの弾性変形に基づいて求められる。曲げ相対回転降伏モーメント M_{yb} は柱ウェブの初期降伏条件から、また曲げ相対回転塑性モーメント M_{pb} は、柱ウェブの有効幅 ℓ_p を用いて $M_{pb} = \sigma_y t_{cw} \ell_p h_B$ で算定される。ここに、 σ_y は降伏応力、 t_{cw} は柱フランジ厚、 h_B ははり高である。

(2) せん断相対回転挙動の特性値

接合部のせん断相対回転剛性 C_s は、純せん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、またせん断相対回転降伏モーメント M_{ys} は純せん断を受ける柱ウェブの降伏条件から、それぞれ求められる。 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、接合部は十分な相対回転容量を持つ。せん断相対回転塑性モーメント M_{ps} の算定には、実験から求められた経験式²⁾を用いた。

3. 有限要素法による弾塑性解析

相隣る2つのセミリジッド接合部を両端にもつラーメン部材を考え、接合部パネルの中心 i, j 間の距離をその部材長とする。部材 $i-j$ は両端に等価回転剛性 C_i, C_j の相対回転ばねを、またその内側直列に回転剛性 p_i, p_j の塑性ヒンジばねをそれぞれ有し、各ばねの寸法は部材長 l に比べて無視できるものとする。部材の i 端における塑性ヒンジばねは、部材端モーメント M_{ij} が全塑性モーメント M_p に達するまでは無限大の回転剛性 $p_i = \infty$ を有し、 M_p に達した以後の回転剛性は $p_i = 0$ とする。相対回転ばねのモーメント M と相対回転角 ϕ の関係は、仮定により図-3 のようになる。はり部材端 i に挿入する相対回転ばねの等価回転剛性 C_i は、接合部の曲げ相対回転剛性 C_b に等しい。また、柱部材端 i に挿入する相対回転ばねの等価回転剛性 C_i は、接合部のせん断相対回転剛性 C_s に対応するものである。部材の i 端における相対回転ばねと塑性ヒンジばねは直列に接続されるので、両者を組み合わせた接合部の等価ばね剛性を k_i とおけば、接合部 i が剛節の場合は $C_i = \infty$ より $k_i = p_i$ となる。接合部 i がセミリジッドの場合は、接合部、部材ともに弾性のとき $p_i = \infty$ より $k_i = C_i$ 、接合部または部材端に塑性ヒンジが生じたとき $k_i = 0$ とする。

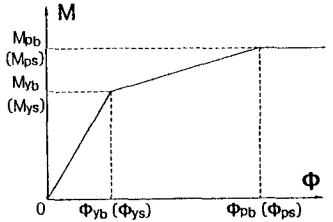


図-3

接合部の相対回転塑性モーメント M_{pb} または M_{ps} がともに部材自身の全塑性モーメント M_p より大きく、かつラーメンの崩壊形式が同じであれば、セミリジッドラーメンの崩壊荷重はリジッドラーメンのそれに等しくなる。しかしここでは、J I S 圧延 H 鋼の塑性設計が可能な断面の中から M_{pb} または M_{ps} の何れかが部材の M_p より小さくなる3種の組合せをよりおよび柱部材に選び、弾塑性解析によりセミリジッドおよびリジッドラーメンの塑性崩壊挙動を比較して、結果を図-4に示した。図中の節点に付した数字は塑性ヒンジの発生順序を示しており、最終崩壊形式が同じでも、それに至る経過はセミリジッドとリジッドの間で大きく異なることが分かる。溶接接合セミリジッドラーメンに関しては、一般に柱とより部材に同一断面を用いた時の強度低下が顕著である。

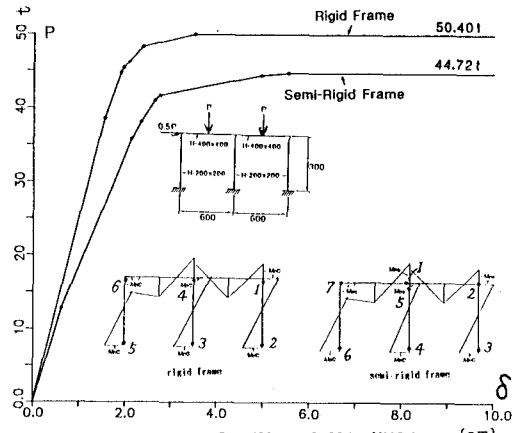
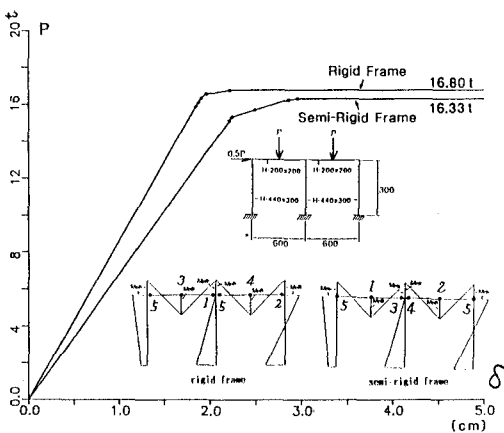
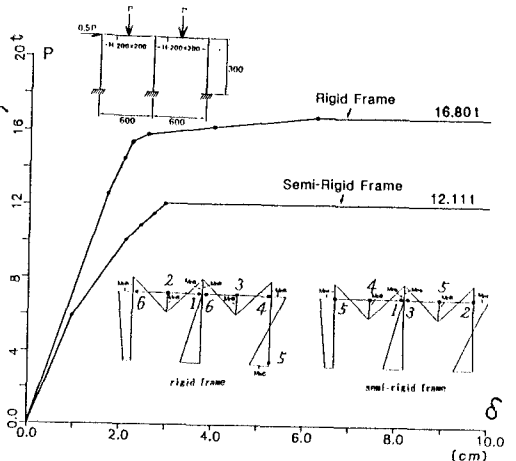


図-4 1層2スパンリジッドおよびセミリジッドラーメンのP- δ （柱頭変位）関係

〔参考文献〕1)彦坂他：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，昭和62年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp.40~41，1988.3. 2)H.Krawinkler et al: Seismic Behavior of Moment Connections and Joints, ASCE ST2, Feb. 1982.