

鋼構造柱・はり接合部の残留応力とせん断強度に関する研究

中山 昭夫*・桑田 裕次*

Study on the Shearing Strength and the Residual Stresses of
Beam-to-Column Connections of Wide Flange

AKio NAKAYAMA and Hirotsugu KUWADA

ABSTRACT

It is a well known fact that the beam-to-column connection of steel structure, that is, so called panel zone, takes much deformation when it suffers severe earthquake load, etc., because it consists of this web plate. For that sake, we usually take the shear deformation of panel zone into account in case of the design of multi-story building, or stiffen it by another steel plate to prevent the deformation.

On the other hand, there is another problem that panel zone is surrounded by many weld lines and has much residual stresses by welding. It is clarified that the strength and ductility of steel structure would be much influenced by residual stresses, for instance, the instability of column and plate and so on.

In this paper, the authors made clear the distribution pattern of residual stresses in panel zone and the co-relation between the shear strength and residual stresses by the experiment of beam-to-column specimen.

1. はじめに

鋼構造骨組の節点である柱・はり接合部のパネルゾーンは弾性体であるため剛接合とはならず、応力が作用した場合には変形を生じることが従来から指摘されている。⁽¹⁾⁽²⁾特に、地震時の応力が卓越している我国においてはその変形量は無視できないほど大きい場合もあり、具体的にその変形量を評価した設計法の提案もなされ、⁽¹⁾⁽³⁾超高層等の大規模建築物ではその変形量を設計に組み込むことが一般に行われている。しかしながら、接合部はもともと剛であるべきであり、その様な観点からその補強方法を模索する研究も行われている。⁽⁴⁾⁽⁵⁾この他に、パネルゾーンは溶接の集中する所であるため、その残留応力の評価も重要な問題である。この残留応力の問題に関して、筆

者等はこれまで系統的な研究を行い、その成果の一部は学会等において公表してきた。⁽⁶⁾

溶接部の残留応力は簡単な場合を除いて、これを解析的に取り扱うことは非常に困難であり、ほとんど行われていない。筆者等はこの残留応力を実験的に求めて、これまでに行われた研究結果と比較・検討することによって、パネルゾーンにおける残留応力の分布とそれがパネルゾーンの挙動に与える影響を明確にしていきたいと考えている。このため、パネルゾーンの残留応力に関するより信頼性の高い資料を蓄積し、またその影響の程度を実験により明らかにしていくことがこの研究の目的である。

2. 実験の概要

2.1 残留応力の測定

残留応力の測定法は様々な方法があり、国際溶接学会 (I.I.W) では Phender 法を推奨しているが、この実験では残留応力の大きさやその精度及び主応力等をも測定するためにワイヤストレインゲージによる方法を採用した。

パネルゾーン内部の残留応力を測定するため、H-200×20×5.5×8を用いて溶接接合部の試験体を製作し、パネルゾーン内部に3軸ワイヤストレインゲージをFig. 1に示すように等間隔にてん付し、機械的にこの試験片を小片に分割して応力を測定した。

この残留応力の測定結果をFig. 2に示す。測定結果は主応力で表示し、その大きさと方向を図示している。測定結果は良好な対象性を示しているが、残留応力の分布は隅角部で最大であり、中央部が最小となっている。

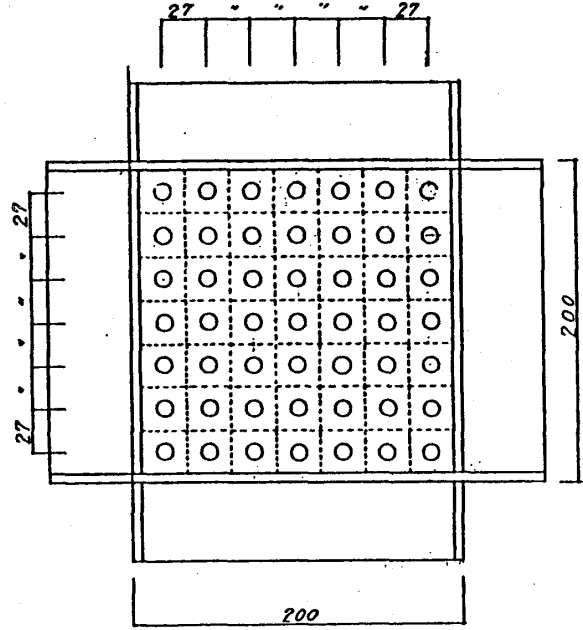


Fig.1 Position of Rosette Type gage in Panel Zone

2.2 逆T字試験体の荷重試験

試験体はFig. 3に示す逆T字型の柱・はり接合部を含んだ1/5程度の縮尺のモデルである。試験体は残留応力の測定に用いたと同じH-200×200×5.5×8のH形鋼を使用し、材質はSS41である。鋼材より切り出した素材試験の結果をTable 1に示す。

荷重は福山大学8号館に設置された20tonサーボアクチュエーターを用いて、正負交番繰り返し荷重を行い、荷重制御で少しずつ荷重振幅を増やしながら荷重を行った。この実験ではパネル部の挙動を重点的に観測するた

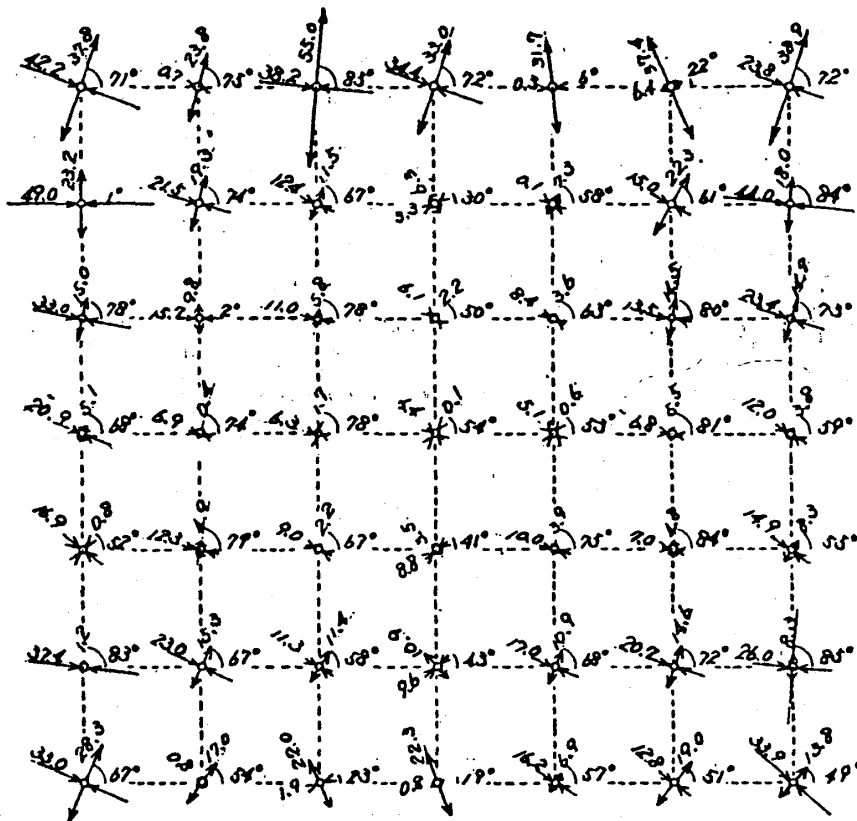


Fig.2 Distribution of Residual stresses

Table 1 Mechanical Properties of Used Steel

	Yield Stress (kg/mm ²)	Ultimate Strength (kg/mm ²)	Elongation (%)
SS41	38.8	48.3	20.1

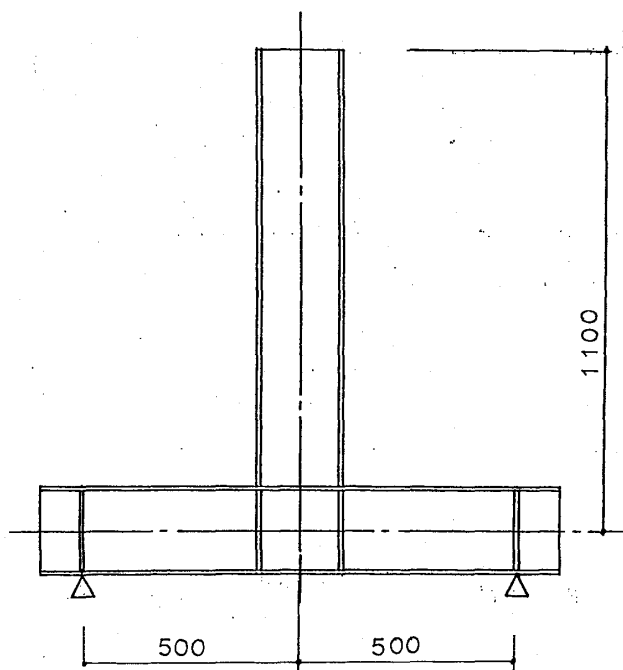


Fig. 3 Beam-to-Column Test Specimen

め、パネル部のひずみの測定が主であり、それと平行してFig. 3に示すようにパネルゾーンのせん断変形を図のようにダイヤルゲージで計測した。

実験はFig. 4の概要に示すように試験体をセットし、はり中央の反曲点に相当するT型フレームの頂部にサーボアクチュエーターを固定して、繰り返し载荷を行い、各点の変位及びひずみを計測した。

3. 実験結果

T型フレーム頂部における荷重と変位との関係の一例をFig. 5に示すが、荷重—変位曲線はいずれも紡錘型の安定した履歴ループを猫いている。図中の破線はVon Misesのせん断ひずみエネルギー説による降伏条件から求めたパネルゾーンの降伏耐力である。図からもこの理論値がほぼパネルの降伏耐力を与えると考えても差し支えない。

次にパネルゾーンの各点にてん付したワイヤーストレインゲージの測定結果の代表例をFigs. 6～15に示す。パネルゾーンの応力は前報告でも示したようにせん断力が卓越していて、主応力はほぼ45度方向を向いているため、ここで45度方向のひずみの測定結果を示す。また、その測定結果はパネルゾーン内部での応力の対称性を考

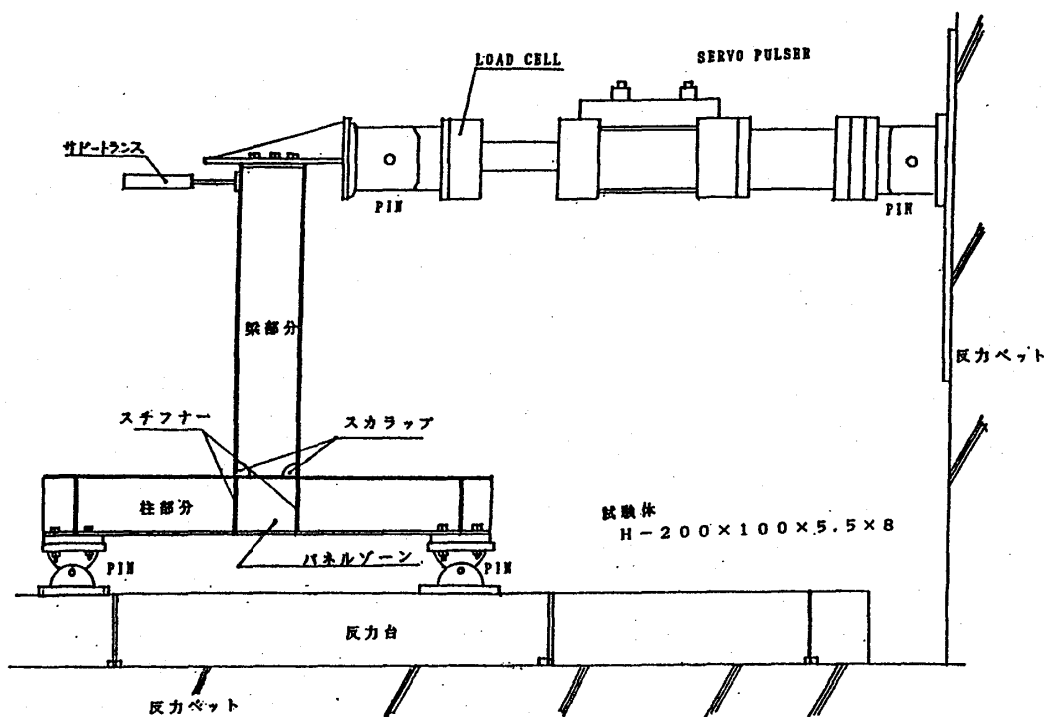


Fig. 4 Testing Set' up

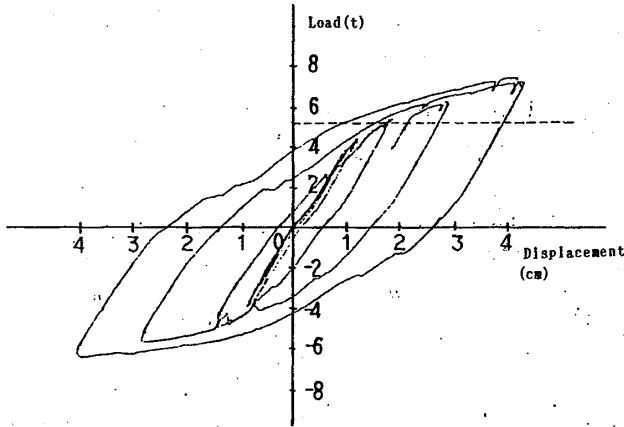


Fig.5 Load-Deflection Curve at the Top of the Specimen

慮してパネル部の1/8部分についてのひずみ履歴を示している。

せん断ひずみエネルギー説より求めた降伏耐力は5ton程度であるが、荷重-変位曲線からも降伏は4ton前後から開始していると判断される。しかしながら、Figs. 6~15で示される各点でのひずみ測定の結果は降伏がもっと低い荷重で始まっていることを示している。この理由は文献に示されているように⁽¹⁾⁽⁸⁾パネルゾーン内部における応力の分布が一定でないこと、残留応力の影響等が考えられる。すなわち、パネルゾーン内部の応力は中央部が少し大きくなっていて、周辺部にいくに連れて若干応力が小さくなる。また、残留応力はFig. 2に示したように逆に周辺部が高く中央部はかかなり小さくなっている。

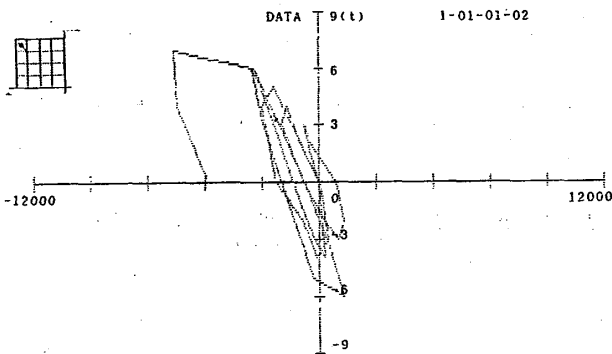


Fig.6 Load-Strain Curve in Panel Zone

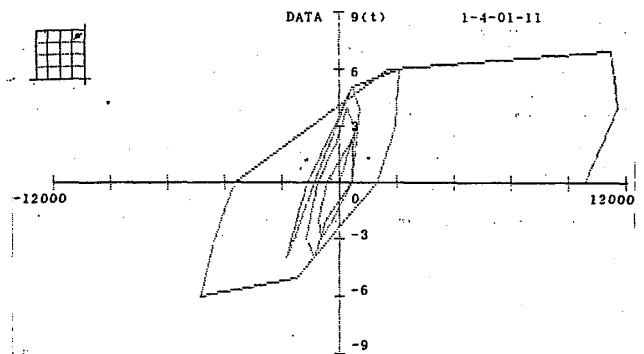


Fig.9 Load-Strain Curve in Panel Zone

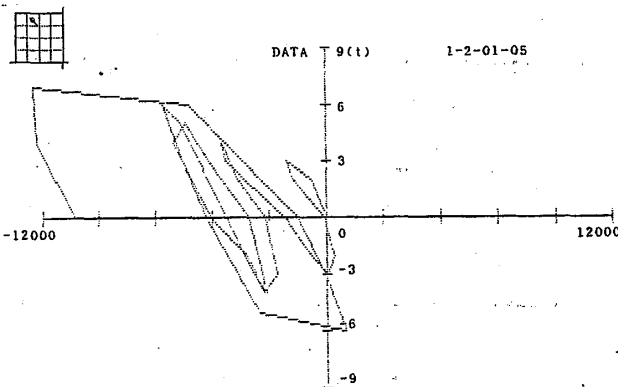


Fig.7 Load-Strain Curve in Panel Zone

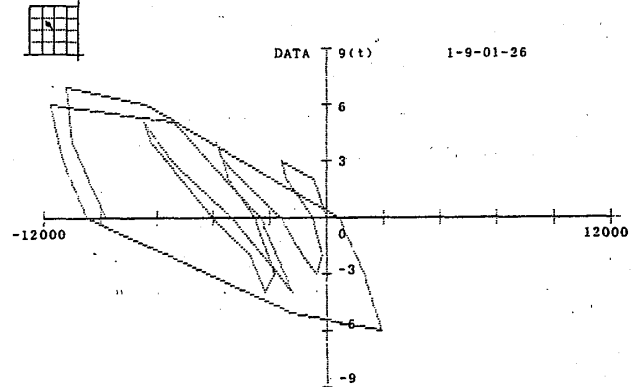


Fig.10 Load-Strain Curve in Panel Zone

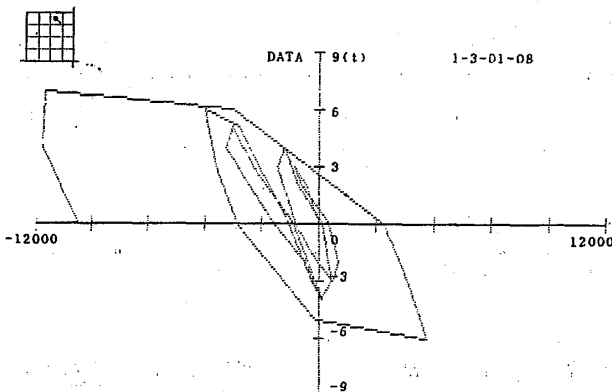


Fig.8 Load-Strain Curve in Panel Zone

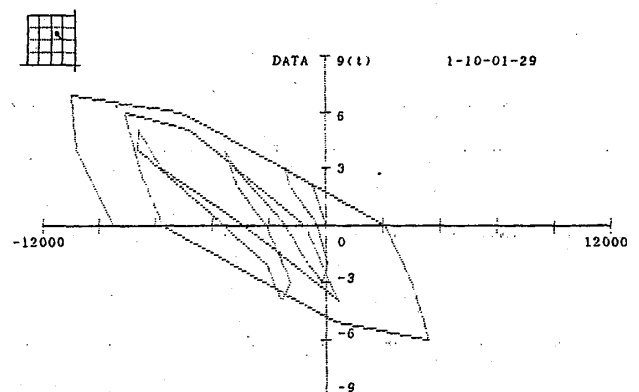


Fig.11 Load-Strain Curve in Panel Zone

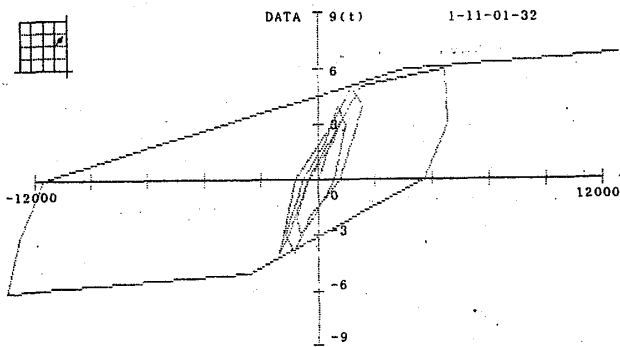


Fig.12 Load-Strain Curve in Panel Zone

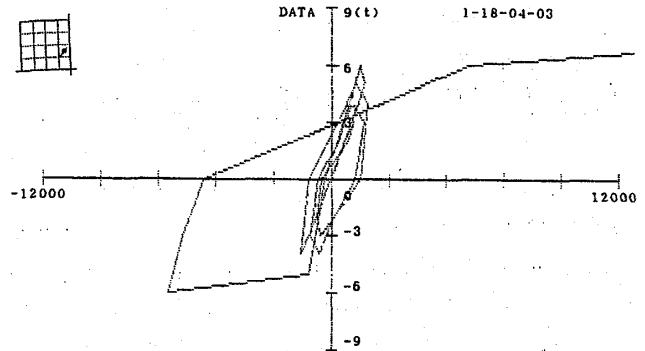


Fig.14 Load-Strain Curve in Panel Zone

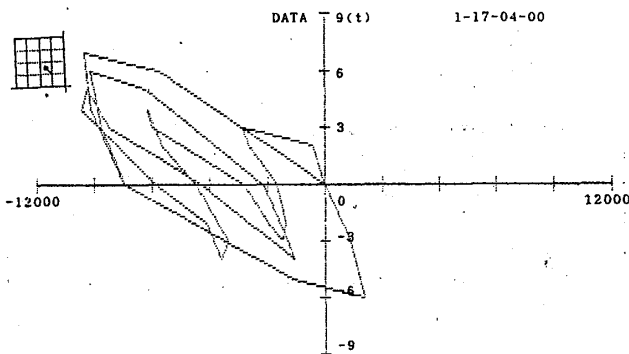


Fig.13 Load-Strain Curve in Panel Zone

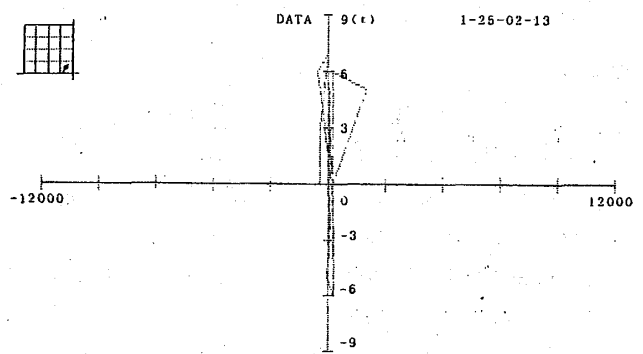


Fig.15 Load-Strain Curve in Panel Zone

せん断ひずみエネルギー説より求められる応力の等高線はFig.16に示されるように中央部が周辺より1.5倍程度高くなっているが、残留応力は周辺部の応力が5~8倍程度も大きくなっているため、残留応力の影響の方が強く出ていることになる。このため、周辺部から少し中央部寄りの所あたりから降伏が先行し、徐々に降伏域が広がっていくことになる。この様な傾向はひずみの測定結果からも明確に確認される。

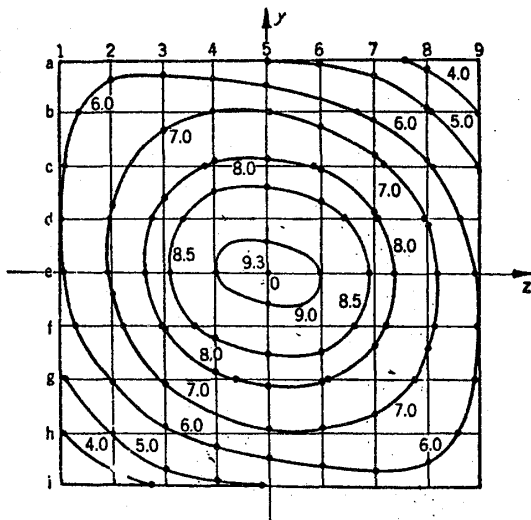


Fig.16 Strain Energy Distribution in Panel Zone

4. 結論

柱・はり接合部パネルゾーンの残留応力の測定結果とその弾塑性域での繰り返し載荷実験の結果を要約して、次のような結論を導くことができる。

- (1)パネルゾーン内部の残留応力はかなり大きく、降伏点に近いものも検出される。また、その残留応力は隅角部で最大値となり、ほぼ45度方向を向いている。この残留応力は中央部にいくにつれて小さくなり、中央部では隅角部の1/5~1/8程度となる。
- (2)この様な残留応力分布をもつパネルゾーンに応力が作用した場合、理論値よりも低い荷重で降伏が始まる。この理由は上記の残留応力とパネルゾーン内部の応力分布が不均一であることに起因しているものと考えられる。すなわち、パネルゾーン内部の応力分布は中央部がひずみエネルギーが高く、周辺部はその50%~70%程度である。また、残留応力は前述したように中央部は周辺部の15%~20%程度であり、この結果パネルゾーン内部は均一な応力分布を仮定した理論値よりも低い荷重で降伏が始まることになる。
- (3)パネルの降伏荷重に影響を与える上記2つの要因については、その影響の度合は残留応力の方が高いと考えられる。すなわち、ひずみエネルギーは中央部が1.5~2倍程度高くなっているが、残留応力は5~8倍程度も高

いため、その影響は大きい。また、ひずみエネルギーの分布は中央部からただかに小さくなるが、残留応力は周辺部から $1/4$ 程度の距離までは比較的なだらかでも、そこからは急に減少しているため、降伏の開始地点はパネル周辺部から $1/4$ 程度中央に入った辺りとなり、ここから徐々に降伏が始まるものと考えられる。各点にてん付したワイヤーストレインゲージの測定結果もそれを裏付けている。

以上、柱・はり接合部パネルゾーンのせん断挙動を確かめるために、残留応力の測定と逆T字型試験体の繰り返し載荷実験を行ったが、残留応力の分布を組み入れたパネル部の降伏理論を一步前進させることができたと考ええる。

参考文献

- (1) 東大／仲研究室編，「鉄骨高層建築の構造設計」，彰国社発行，昭和39年10月。
- (2) Huang, J.S., Chen, W.F., Beedle, L.S., "Behavior and Design of Steel Beam-to-Column Moment Connections", Welding Research Council Bulletin, No. 188, Oct., 1973.
- (3) 日置典一郎，他，「接合部パネルのせん断変形を考慮したたわみ角法」，日本建築学会論文報告集，101号，昭和39年8月，pp. 39.
- (4) 仲威雄，中尾雅躬，他，「鋼構造ラーメンの復原力特性に関する研究」，日本建築学会大会学術講演梗概集，昭和56年9月，pp. 1971.
- (5) 中山昭夫，金多潔，「柱・はり接合部の補強効果と復原力特性」，福山大学工学部記要，第7号（開学10周年記念号），昭和60年3月，pp. 101.
- (6) 中山昭夫，金多潔，「鋼構造柱・はり接合部パネルゾーンのせん断挙動について（その1）」，日本建築学会中国支部研究報告集，第13巻，昭和61年3月。