

鉄骨柱—梁接合部の強度と変形に関する研究 (その2)

—パネル部の補強について—

高橋 泰彦 竹本 靖
武田 寿一

Research on Strength and Deformation of Steel Beam to Column Connections (Part 2)

—Panel Zone Reinforced with Steel Plates—

Yasuhiko Takahashi Yasushi Takemoto
Toshikazu Takeda

Abstract

As the yielding of a panel zone of a steel H-beam to H-column connection has large influence on deformation of a building under horizontal loading, the panel zone must be reinforced to prevent it from early yielding. For the reinforcement of this part, square steel plates were provided by fillet welding on one or both sides of panel zones of specimens and five model specimens were tested under repeated horizontal load to investigate the effect of such reinforcing plates. The experimental results indicated that a panel zone reinforced by this method had good hysteretic behavior and large ductility, and its yield strength and rigidity could be calculated with use of the concept of effective volume ratio.

概 要

H型鋼で構成される建物の柱—梁接合部パネル部が降伏すると、建物全体の変形量にかなりの影響を与えるので、パネル部を補強して早期降伏を防止する必要がある。今回は、パネル部の片面、または、両面に補強用プレートを用いて補強する方法について、水平力を想定した5種類の模型実験を行い、補強の効果を検討した。その結果、この方法で補強したパネル部の履歴性状、および靱性は良好であること、また、降伏耐力と剛性はパネル部の有効体積率を乗じた値を用いて計算すれば無補強パネル部に匹敵する性状となること、などがわかった。

1. まえがき

柱、梁がH型鋼から成る建物の柱—梁接合部パネル部（以下、パネル部と略称する）の板厚は、柱貫通型では柱の、また、梁貫通型では梁のウェブの厚さに等しい。ところが、建物が地震や風などの水平力を受けた場合、パネル部に生じるせん断力は、梁や柱のせん断力に比べはるかに大きいので、かなり低い荷重で、パネル部に降伏が起る。パネル部の降伏は建物全体の変形にかなり大きな影響を与えるので、パネル部の

早期降伏を防止するために補強をする必要がある。この報告はパネル部の補強効果について述べている。

2. 補強方法

パネル部の補強にはいろいろの方法があり、それらについての実験例もある^{1),2),3),4),5)}。

この報告では、図—1のような、パネル部の片面、または、両面に補強プレートを隅肉溶接する標準的な方法を取りあげた。

この方法については、補強プレートが小さくなれば、

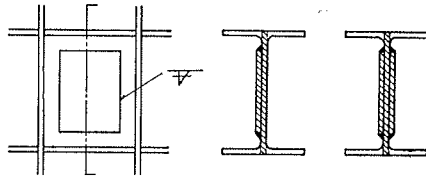


図-1 補強方法略図

補強効果が低下することは一般によく知られているが、プレートの効果を定量的に把握するまでには至っていない。そこで、補強プレートの大きさ、厚さをかえた模型実験を行い、プレートの効果を調べた。

3. 試験体

図-2, 図-3に試験体の全体略図とパネル部の補強詳細を示す。

試験体は柱貫通型の十字架形式で、柱は H-300×300×10×15、梁は H-390×300×10×16である。パネル部は補強プレート(Ⅱ6, Ⅱ9)を全周隅肉溶接して補強した。試験体は、PLD-6, PSD-6, PLD-9, PLS-9, PT-22の5体で、頭文字のPはパネル部の略を、2番目の文字は補強プレートの大小(L:大, S:小)を、3番目は補強プレートの枚数(D:両面補強, S:片面補強)を、最後の数値は補強プレートの厚さ(単位mm)を示す。なお、PT-22は他の4体との比較の基準となる試験体で、パネル部のまわりのウェブを切り取り、Ⅱ-22のパネルプレートをはめこんだものである。

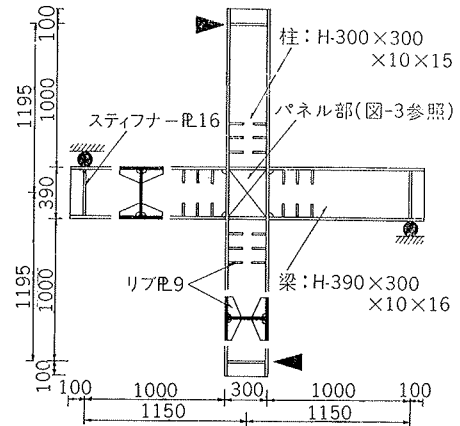


図-2 試験体略図

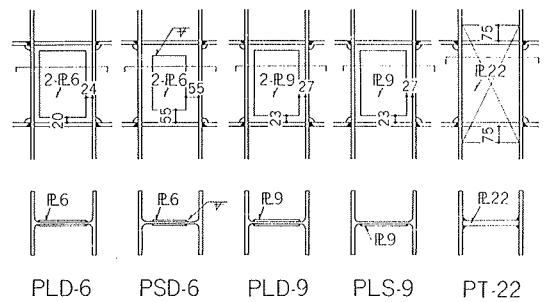


図-3 パネル部の補強詳細図

	柱材	梁材	補強用プレート		
			Ⅱ 6	Ⅱ 9	Ⅱ 22
降伏応力TON/cm ²	2.83	2.86	2.95	2.87	3.16
最大応力TON/cm ²	4.42	4.52	4.60	4.50	4.57

表-1 素材試験結果

使用鋼材の素材試験の結果を表-1に示す。この表によると、柱材と補強プレートの降伏応力度に多少の相違があるが、パネル部の計算に用いた降伏応力度は最少の $\sigma_y = 2.83t/cm^2$ である。

4. 加力方法および測定方法

試験体を垂直に立てた状態で、柱頭と柱脚に左右から、ピン、ロードセル、ローラーを介して50TONジャッキ2基で加力し、梁端の2点でローラー支持して、反力をとった。なお、加力中には加力点と反力支持点以外の支えはすべて除去した。

加力時の状況を図-4に示す。

また、変形は試験体の両面で測定し、両者の平均値

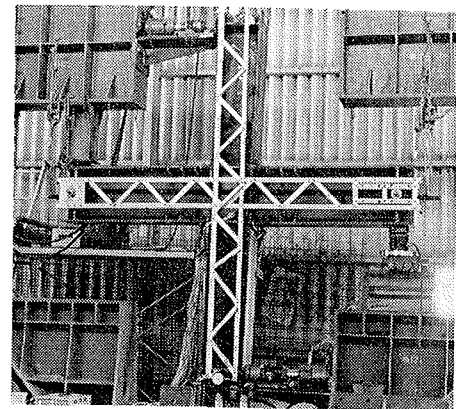


図-4 加力状況

を実験値とした。なお、パネル部の変形は対角線方向の伸縮を測定することにより求め、全体の変形は柱の上下の加力点の位置にピン、ローラーで固定した十字型の治具によって、梁端の変形を測定する方法で求めた。その他に、柱、梁、パネル部の歪をストレインゲージで測定した。

5. 計算方法

図-5で説明する記号を用いて、一般的な計算式を次に示す。

a) パネル部の応力計算

精算式

$$\tau = \frac{bM_1 + bM_2}{V} - \frac{P}{h_c \times t_w}, \quad \tau_y = \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} \quad \dots\dots(1)$$

学会式

$$\tau' = \frac{bM_1 + bM_2}{V}, \quad f_s = \frac{F_s}{1.5} \quad \dots\dots(2)$$

b) パネル部の変形角(γ)

$$\gamma = \frac{\tau}{G}, \quad \gamma_y = \frac{\tau_y}{G} \quad \dots\dots(3)$$

c) 全体の变形(δ_T)

$$\delta_T = \delta_P + \delta_B + \delta_C \quad \dots\dots(4)$$

δ_P : パネル部の変形

δ_B, δ_C : 梁および柱の変形

d) 計算の仮定

補強したパネル部の計算には次式を用いる。

$$\left. \begin{aligned} t_p &= t_w + t_R \\ V &= h_c \times h_B \times t_p \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots(5)$$

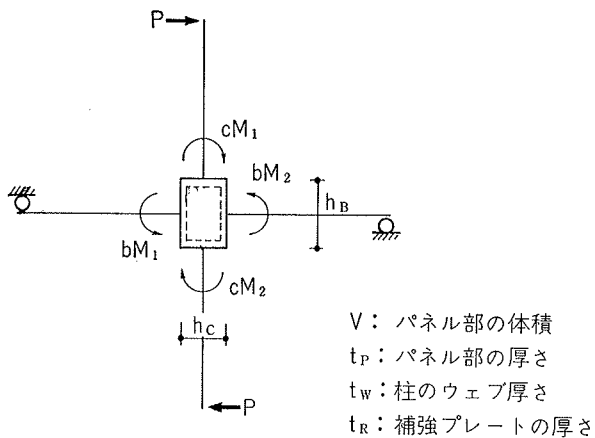


図-5 記号の説明

6. 実験結果と考察

6.1. 実験結果

実験値と計算値をまとめて表-2に示す。図-6は無補強パネル部の τ - γ 曲線であり、図-7は補強したパネル部のせん断応力(τ/τ_y)と変形(γ/γ_y)の関係を、図-8はパネル部のみかけの降伏耐力とパネル部の有効体積率の関係と、パネル部の剛性と有効体積率の関係を示す。図-9は荷重(P)と全体変形(δ_T)、荷重とパネル部の変形(δ_P)の代表例で、PT-22とPLS-9の2体について示す。図-10は実験終了時の写真である。

表-2、図-7、9が示すように、パネル部を補強してないPT-22と同じく、補強プレートをはりつけたその他の4体でも、パネル部の降伏以後も荷重は徐

々に上昇した。その間の履歴性状は紡錘型で非常に安定し、パネル部の靱性率も20以上であった。

従って、補強したパネル部も良好な性状をもつことがわかった。

試験体	実験値				計算値		
	最大荷重	最大変形	パネルの最大変形	破壊状況	降伏荷重	降伏荷重時の変形	パネルの降伏時の変形
PLD-6	TON	cm	Radian	補強プレートのせん断座屈	TON	cm	Radian
PLD-6	35.6	-	-		22.8	1.30	0.0024
PSD-6	29.2	11.20	0.059	-	22.8	1.30	0.0024
PLD-9	39.0	9.94	0.053	補強プレートの溶接部から割れが発生	28.6	1.54	0.0025
PLS-9	33.0	10.80	0.057	-	19.4	1.15	0.0023
PT-22	42.2	7.26	0.034	-	25.4	1.30	0.0027

表-2 実験結果と計算値

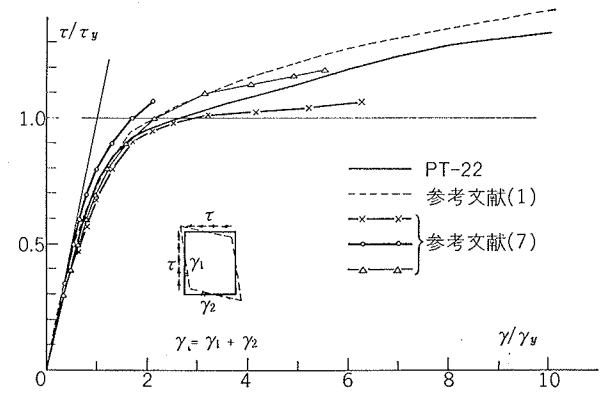


図-6 無補強パネル部の τ - γ 曲線

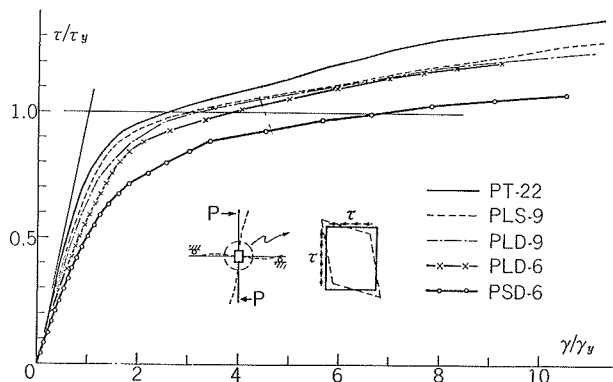


図-7 パネル部の τ - γ 曲線

しかし、両面に補強プレートを溶接する形式は、パネル部の最終破壊性状だけから考えるとあまり良好とは言えない。すなわち、PLD-6の補強プレートの1枚にはせん断座屈が起こり、PLD-9では、補強プレートの溶接熱影響部から割れが発生し、パネル部に伝播した。

これらの原因として、前者では補強プレートが比較的薄いために、溶接による初期たわみが生じたこと、また、後者では、パネル部の両面からの溶接によって材質の硬化、ぜい化が起こり、残留応力やフランジからの応力集中などの悪条件が重なり割れが発生したと思われる。

6.2. 無補強パネル部の性状

図-6はPT-22の結果と過去の実験値^{1),7)}を示す。

これらの結果には、材質や板厚などによるバラツキがみられるが、平均的には、 $\tau=0.7\tau_y$ (τ_y :降伏応力)あたりから剛性が低下し始め、 $\gamma=2\gamma_y$ (γ_y :降伏変形の計算値)で τ_y に達する。PT-22のパネル部は $\gamma=2.5\gamma_y$ で τ_y となり、全体からみて、耐力は少々低いようである。しかし、剛性はほぼ平均的な値を示している。

6.3. 補強したパネル部の性状

図-7では、PT-22, PLS-9, PLD-9, PLD-6, PSD-6の順に耐力、剛性とも低下していることがわかる。しかし、補強プレートの大きいPLS-9, PLD-9, PLD-6の相異は、弾性から塑性へ移行する $0.5\tau_y < \tau < \tau_y$ の範囲に存在するだけで、全体的にみてほぼ等しい。一方、補強プレートの小さいPSD-6は他の3体に比べ、補強の効果は著しく劣っている。

図-7のせん断応力(τ)は、パネル部の厚さ、および体積を(5)式($t_p=t_w+t_r$, $V=h_c \times h_b \times t_p$)として、計算した。

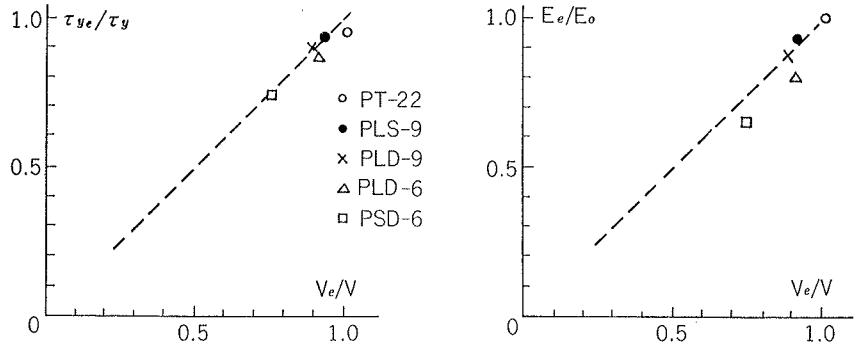


図-8 降伏耐力と有効体積率, 剛性と有効体積率の関係

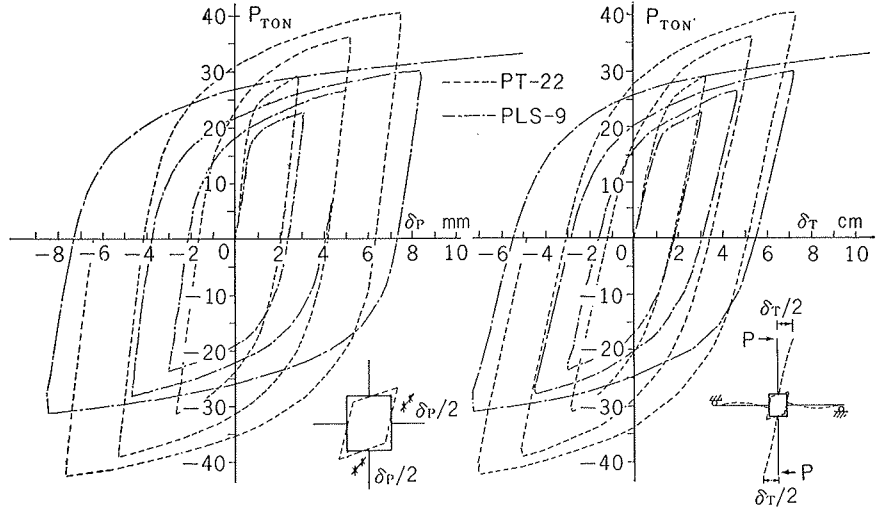
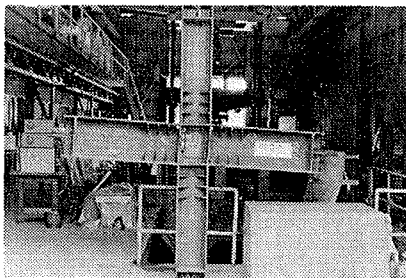


図-9 荷重とパネル部の変形, 荷重と全体変形の関係

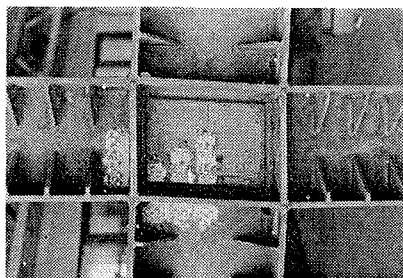
また、PLS-9で測定した補強プレート面上の歪と、裏面の無補強パネル面上の歪を比較すると、弾性域で前者が後者よりわずかに小さい。しかし、バラツキを考えるとその差は顕著なものではないので、補強プレートも十分にせん断力を分担していると考えられる。

従って、図-7の各試験体の $\tau/\tau_y - \gamma/\gamma_y$ 曲線の比がそのまま、パネル部の有効性を表わすことになる。

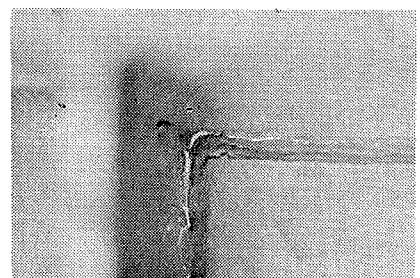
(1), (2)式が示すように、パネル部のせん断応力は、



PSD-6



PLS-9



PLD-9

図-10 実験終了時の写真

パネル部の体積に関係するので、補強したパネル部の有効体積率を(6)式のように定義し、実験値をもとにして、補強したパネル部の設計法を検討する。

$$\text{有効体積率} = V_e/V \quad \dots\dots(6)$$

〔 V : (6)式より求める
 V_e : 補強したパネル部の実際の体積

図一8はみかけの降伏応力(τ_{ye}/τ_y)と有効体積率の関係である。なお、6.3節で述べたように、 τ_y に達するパネル部の平均的な変形が $2\gamma_y$ であることから、 $\gamma/\gamma_y=2$ の時のせん断応力をみかけの降伏応力(τ_{ye})とした。図一8では、各試験体とも降伏耐力が、 $\tau_{ye}/\tau_y = V_e/V$ の関係と等しく、耐力上の補強効果は良好なことがわかる。

また、図一8は剛性低下率(E_e/E_o)と有効体積率の関係も示しているが、 $E_e/E_o = V_e/V$ (図中の点線)とほぼ同じ傾向である。

E_e は図一7で、原点と $\tau=0.5\tau_y$ の点を結んだ直線の勾配である。 E_o はPT-22の勾配を示す。

図一8の結果より、補強プレートで補強したパネル部のみかけの降伏応力と剛性を次式

$$\tau_{ye} = \tau_y \times \frac{V_e}{V}, \quad E_e = E_o \times \frac{V_e}{V} \quad \dots\dots(7)$$

とすれば、降伏耐力は安全側にあり、かつ、剛性も無補強パネル部にほぼ等しくなる。

従って、補強プレートをつけたパネル部の設計は、 V_e を用いて応力を求め、許容応力 $2f_s$ でチェックする方法、または、 V で応力を求め、 $2f_s \times V_e/V$ でチェックする方法のいずれかの方法によれば良いことになる。

6.4. 柱、梁を含めた全体の性状

図一9にP- δ_T 曲線の1部を示す。試験体の最初の降伏は19~25TONでパネル部に起こり、柱と梁は38TON以上で降伏する。従って、P- δ_T 曲線にはパネル部の $\tau-\gamma$ 曲線の傾向がそのままあらわれることになる。図一9で比較すれば明らかであるが、両者はほぼ相似である。

なお、パネル部の変形が全体の变形におよぼす影響はPLS-9が最も大きく、弾性時で約30%、PLD-9が最も小さく約20%であった。しかし、パネル部が降

伏すると、この割合は増大し、90%以上を占めるようになった。

7. まとめ

補強プレートで補強したパネル部の履歴性状、靱性は良好で、補強しないパネル部に匹敵する。しかし、補強プレートを両面につけた場合には、最終破壊性状に多少問題がある。

降伏耐力と剛性は、補強プレートが小さくなるにつれて低下するが、今回の試験体のようなプロポーションの場合には、低下の傾向が有効体積率とほぼ一致する。従って、パネル部の許容応力を有効体積率だけ低下させて設計すれば、無補強パネル部にほぼ等しい性状となる。なお、有効体積率ということばを有効板厚と言いかえても考え方は同じである。

この実験には、本店設計部 樋口次長、横井主査、および新日本製鉄K. K. 中野掛長、他の皆様の協力を得たことを記し、感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 若林, 南: 鋼構造柱梁接合部実験資料 (未発表)
- 2) 坂, 山田, 他: KTCビルの構造に関する研究 (その3), 学会梗概集 昭和44年8月
- 3) 加藤, 中尾, 他: H型鋼強軸交叉形柱梁接合部の補強とその効果に関する実験, 学会梗概集 昭和45年9月
- 4) 藤本, 羽倉, 他: H型鋼構造接合部の標準化に関する2, 3の問題 (その1, その2) 学会梗概集 昭和47年10月
- 5) 山田: H型鋼柱梁接合部の設計資料 カラム 12号
- 6) 建築学会: 鋼構造設計規準
- 7) 武田, 高橋, 他: 鉄骨柱梁接合部強度と変形に関する研究 (その1), 大林組技術研究所報 No. 2 1968年