

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月18日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21560591

研究課題名（和文）鋼構造柱梁接合部パネルの合理的な設計法の確立

研究課題名（英文）Research on rational design concept of Joint panel of Moment Resisting Steel Frames

研究代表者

難波 尚 (NAMBA HISASHI)

神戸大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：30314503

研究成果の概要（和文）：鋼構造柱梁骨組において接合部パネルのせん断変形が、梁の塑性変形能力および骨組全体の変形能力に及ぼす影響を、接合部パネル耐力比および溶接詳細、梁フランジの板厚を変数とした載荷実験および有限要素解析により検討を行った。接合部パネルのせん断変形量が増大すると、梁フランジ溶接部での歪集中が生じ、強パネルとなるよう設計された骨組よりも最大耐力は低下するが、骨組の累積塑性変形能力については、弱パネルで設計された骨組の方が高くなることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：In this study, the effects of joint panel shear deformation to elastic plastic behavior of Moment Resisting Steel Frames are investigated conducting a series of loading tests and FE analyses with varying joint panel strength ratio, weld detail and width to thickness ratio of beam flange. The ultimate strength of MRFs that is designed under the weak panel design concept is decreased by decrease of the panel strength ratio because of the strain concentration at beam flange near the weld. Regardless of this strength reduction, the cumulative plastic deformation capacity of MRFs with weak panel design concept, increases by decrease of the panel strength ratio.

交付決定額

4,810,000（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	200,000	60,000	260,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：柱梁接合部，接合部パネル，塑性変形能力，パネル耐力比

## 1. 研究開始当初の背景

日米両国で前後して生じたノースリッジ地震と兵庫県南部地震において、適切に設計・建設されたと考えられていた鉄骨骨組の柱梁接合部において脆性的な破断が生じた。その後の研究の結果により得られた問題解

決手法は、両国の技術的背景の相違により、一見したところ異なる形となっているが、それらは溶接部詳細、材料の破壊靱性、溶接施工方法、梁ウェブの接合方法等の影響に関する共通する知見に基づくものである。

しかし、接合部パネルの塑性化が接合部靱

性に与える影響については、両国の認識に大きい相違がある。日本においては、接合部パネルの塑性化は骨組の耐力に大きい影響を与えるが、骨組全体としての靱性に及ぼす影響は比較的小さいと考え、基本的には接合部パネルが柱梁部材に先行して降伏しても良いとの立場をとっている。一方、米国においては、接合部パネルの塑性化は骨組の耐力のみならず接合部靱性にも悪影響を与えると考えており、接合部パネルが梁部材に先行して降伏しないように制限する立場をとっている。これらの設計の考え方が異なるのは、接合部パネルの塑性化が部材に及ぼす影響を定量的に評価できていないことが原因の一つと考えられる。より合理的な接合部の設計法を確立する上で、接合部パネルのせん断変形が梁部材および骨組の弾塑性挙動に及ぼす影響を包括的かつ定量的に明らかにする必要性は高いと言える。

## 2. 研究の目的

柱に H 形鋼を用いる場合を対象に、接合部パネルのせん断変形が、梁および骨組の塑性変形能力に及ぼす影響を明らかにし、接合部パネルの挙動を陽に評価した、骨組の設計法を確立するための基礎資料を得ることを目的とする。

## 3. 研究の方法

図 1 に示す荷重装置を用いて、柱を H 形鋼とした十字型部分骨組(HI シリーズ)あるいはト字型部分骨組(HE シリーズ)の正負漸増交番繰返し荷重実験を計 14 体実施した。

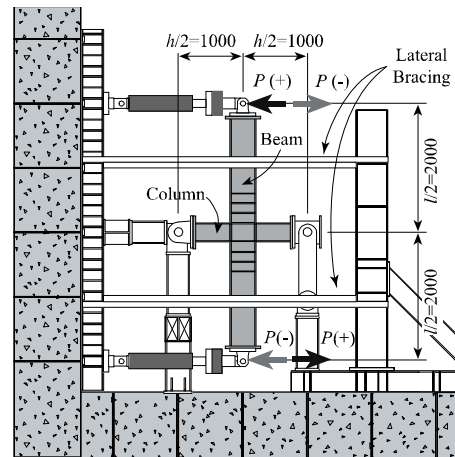
標準試験体の柱および梁の断面寸法は、それぞれ H-300x300x10x15 および H-400x200x8x13 としており、接合部パネルのダブルプレート補強量を変化させることで、接合部パネルと梁の全塑性耐力の比(以下、接合部パネル耐力比  $bpRp$ )を 0.47~1.42 の間で変化させている。また鋼材の破壊靱性値の影響を調べるため、試験体の鋼種を SN490B と SM490A の 2 種類に変化させている。本実験で用いた鋼材の 0°C でのシャルピー吸収エネルギーは、SN490B および SM490A のそれぞれで、285J および 33J となっており、両者の間に優位な差が生じている。標準試験体の梁フランジの溶接部詳細を図 2 に示す。スカラップには、JASS6 型の形状を用いた。梁フランジの開先加工は、工場溶接形式および現場溶接形式を想定して、それぞれ内開先(S タイプ)および外開先(F タイプ)の 2 種類としている。

また標準試験体に加えて柱フランジの幅厚比を 7 および 5 とした弱パネル形式の試験体を 2 体用意しており、米国で柱に慣用される極厚 H 形鋼を想定した実験も実施した(HEF-W シリーズ)。

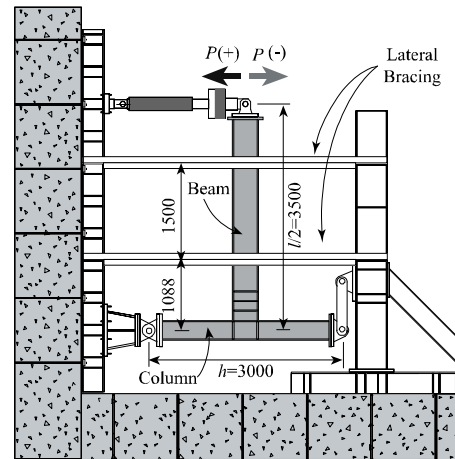
## 4. 研究成果

## 4. 1 荷重—変形挙動

図 3 に梁端モーメントと層間変形角の関係

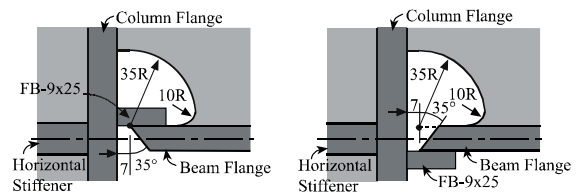


(a) HI シリーズ



(b) HE シリーズ

図 1 試験体形状および荷重装置



(HE-S)

(HI-F & HE-F)

(a) 工場溶接形式

(b) 現場溶接形式

の代表例として、標準試験体の HI および HE シリーズで現場溶接形式の溶接詳細(F タイプ)を有する試験体の実験結果を示す。いずれのシリーズの実験結果においても、パネル耐力比  $pbRp$  が大きくなり、接合部パネルのせん断変形量が減少するほど、早期にスカラップ底を起点とする梁フランジの破断が生じ、骨組全体の変形能力が減少している。

接合部周辺に取付けた変位計より、接合部パネルおよび梁部材の変形により生じる層

間変形角を分離したところ、pbRpが増加するにつれて、梁の変形量が増大し、逆に接合部パネルの変形が減少している様子が確認された。また、強パネル形式試験体の梁による層間変形角への寄与分と弱パネル形式試験体の接合部パネルの寄与分を比較すると、弱パネル形式のパネル挙動の方が、大きな変形角振幅でも安定した荷重-変形挙動を示す。

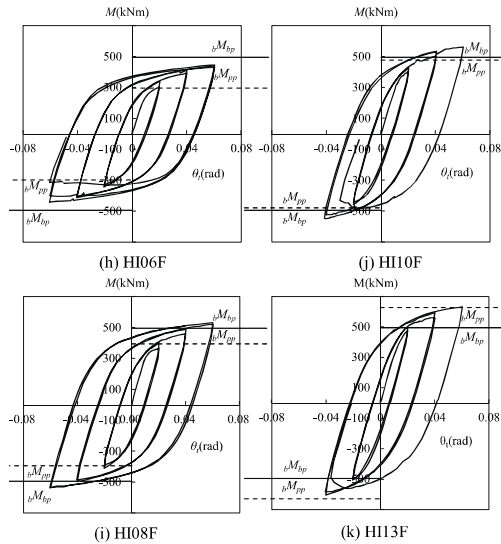


図3 Mb-θ関係

#### 4. 2 変形能力

図4に梁、接合部パネル、全体の累積塑性変形能力と pbRp の関係を示す。同図(a)は、層間変形角の内、梁の塑性変形による寄与分を表したもので、同図(b)は、接合部パネルの塑性変形の寄与分を表したものである。梁の塑性変形の寄与分に及ぼす pbRp の影響は少なく、概ね一定となっている。尚、HES および HIFW は、鋼材の破壊靱性値が大きい鋼材を用いた実験シリーズで、HEF および HIF は、鋼材の破壊靱性値が低い鋼材を用いた実験シリーズである。一方、接合部パネルの寄与分に着目すると、pbRp が 1.0 を下回ると急激に累積変形量が増大している。図 6(c)は、全体の累積塑性変形量における接合部パネルの寄与率と pbRp の関係を示したもので、接合部パネルの寄与率は pbRp が増加すると線形的に減少する傾向を示しており、実験シリーズによる差認められない。接合部パネルの寄与率は、pbRp=1.0 で、概ね 0.5 となり、pbRp=0.5 では、0.9 となっている。

#### 4. 3 耐力

図5に骨組の降伏耐力 ( $M_{t1/3}$ ) および終局耐力 ( $M_{max}$ ) と pbRp の関係を示す。ここで、 $M_{t1/3}$  は、梁端モーメントと層間変形角の関係において、接線剛性が初期剛性の 1/3 に低下した時点の荷重で定義したものである。図より、

pbRp=1.0 の試験体では、骨組の降伏荷重が概ね梁の全塑性モーメントと対応するが、pbRp が低下すると直線的に降伏耐力は減少して

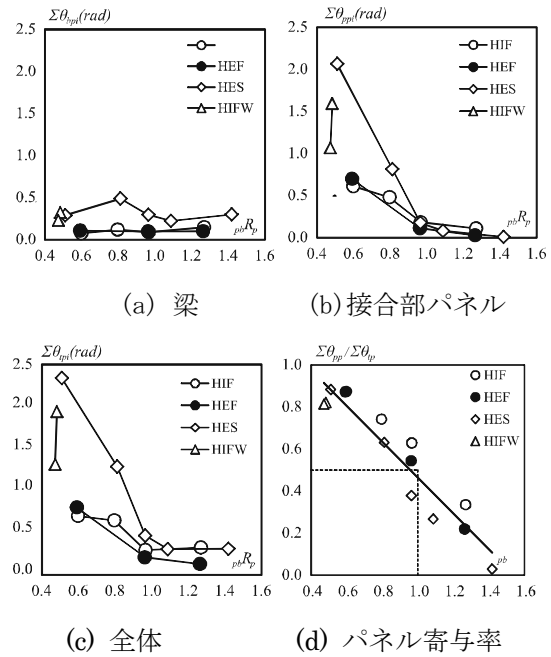


図4 累積塑性変形角

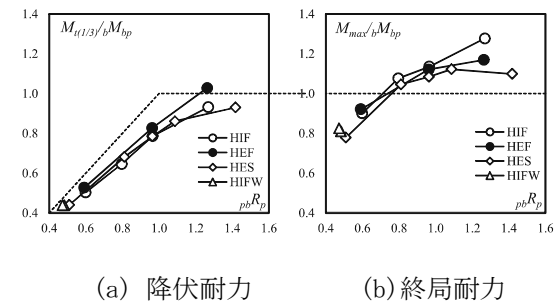


図5 耐力とパネル耐力比の関係

いる。一方、終局耐力については、降伏耐力よりも pbRp の影響は少なく、pbRp=0.8 程度であれば、終局耐力は梁の全塑性耐力の 1.1 倍程度となっている。これは、接合部パネルの降伏後の耐力上昇が大きいためである。

#### 4. 3 接合部パネルのせん断変形が破壊性状に及ぼす影響

図6にスカラップ底に生じた亀裂の開口幅  $\delta_{co}$  と梁部材の累積塑性変形倍率を示す。亀裂開口幅は、各載荷振幅のピーク時点にクラックゲージを用いて目視で計測したものである。図より、スカラップ底に生じた亀裂の進展状況には、pbRp の影響が認められず、梁の累積塑性変形量と比例関係にあることが分かる。

図7は試験終了後に梁端溶接部を梁フランジ中央で切断したマクロ写真である。強パ

ネル試験体では、特に亀裂は認められないが、弱パネル試験体では、開先ルート部に亀裂が

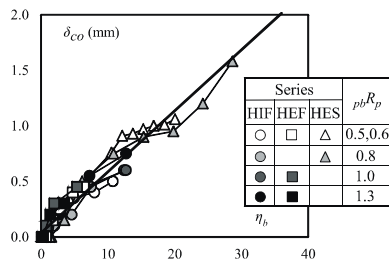
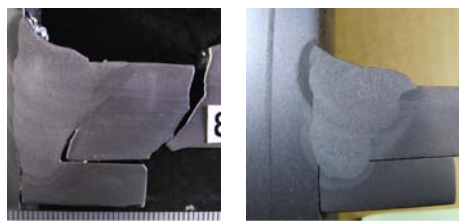


図6 亀裂開口幅と $\eta_b$ の関係



(a)  $pbRp=0.5$  (b)  $pbRp=1.3$

図7 梁フランジ溶接部中央断面マクロ

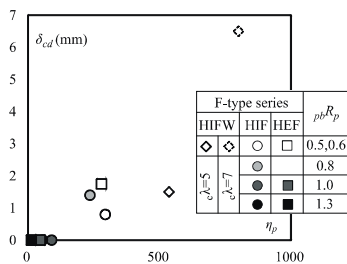


図8 亀裂深さと $\eta_p$ 関係

生じている。図8に開先ルート部の亀裂深さと接合部パネルの累積塑性変形倍率の関係を示す。図より、開先ルート部の亀裂は、接合部パネルの累積塑性変形倍率と正の相関を持ち、弱パネル形式の場合特有の損傷であると言える。ただし、本実験結果では、いずれの試験体も基本的にスカルップ底の亀裂を起点に破壊が決定されており、この部位を起点とした破壊は生じていない。

#### 4.4 結論

- 1) 弱パネル形式の骨組の場合、接合部パネルのせん断変形の影響で、梁の塑性率は減少する。
- 2) 梁部材の累積塑性変形倍率は、接合部パネルのせん断変形量の影響を受けない。これは、弱パネル試験体の場合には、梁の塑性率が減少し、より多くの繰返しに抵抗できるた

めである。

3) 接合部パネルのせん断変形は、現場溶接形式溶接詳細の場合に、梁フランジの開先ルート部の亀裂進展に影響を及ぼす。ただし、この亀裂進展は、非常に緩慢で接合部パネルの累積塑性変形倍率が200程度で漸く1.0mmに達するもので、骨組として十分な塑性変形能力を発揮した後に生じるものである。ただし、本実験結果はいずれも十分な溶接品質が確保された状態のものであり、特に現場溶接形式の場合には、初層の溶接部の品質が重要と判断される。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計0件)  
現在投稿準備中

〔学会発表〕(計5件)

① Faramarz Rahiminia, Hisashi Namba, Hori Takuma: Effects of joint panel shear deformation on elasto-plastic behavior of the beam-to-column connection Part 2 Numerical study on the global behavior, AIJ Trans., 2011

② Hori Takuma, Faramarz Rahiminia, Hisashi Namba: Effects of joint panel shear deformation on elasto-plastic behavior of the beam-to-column connection Part 3 Numerical study on the detail behavior

③ Faramarz Rahiminia, Hisashi Namba, Hori Takuma: Effects of joint panel shear deformation on elasto-plastic behavior of the beam-to-column connection, AIJ Kinki blanch, 2010

④ Faramarz Rahiminia, 堀拓真, 難波尚, 田淵基嗣: 接合部パネルの設計法の相違が鉄骨造骨組の全体挙動に与える影響 その1 実験計画および実験結果, 日本建築学会大会, 2010

⑤ 堀拓真, Faramarz Rahiminia, 難波尚, 田淵基嗣: 接合部パネルの設計法の相違が鉄骨造骨組の全体挙動に与える影響 その2 耐力および塑性変形能力, 日本建築学会大会, 2010

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

難波 尚 (Namba Hisashi)

神戸大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 30314503

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし