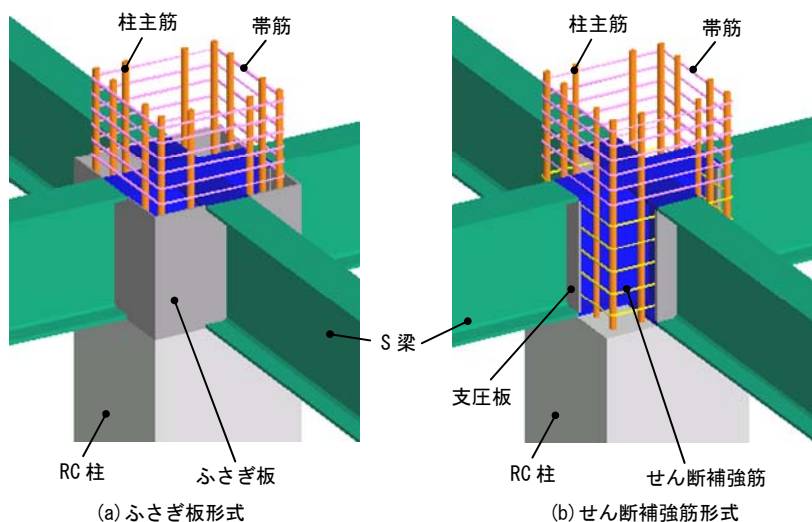


MaRCS II 構法の開発 -前田式 柱 RC 梁 S 構造-

堀 伸輔・成瀬 忠・古宮 嘉之*1・藤原 智*2

Development of R/C-Column and S-Beam Frame Method [MaRCS II]

Tadashi NARUSE, Shinsuke HORI, Yoshiyuki KOMIYA, Satoshi FUJIWARA



研究の目的

柱を RC 造、梁を S 造とする混合構造は、スパンを長くとることが可能で、かつ軸力の作用する柱を RC 造とする合理的な構法である。当社では過去に『MaRCS 構法』を開発し、大型のショッピングセンター、物流施設に実績があるが、今回の構法は、『MaRCS 構法』の上下のリング金物を無くす等、より簡素な接合部を目指した。

また、S 造、SRC 造と比較し柱の鋼材を削減する事による、コスト低減効果がある。

本開発は、前田建設・銭高組・東洋建設の 3 社共同で、(財)日本建築総合試験所の建築技術性能証明を取得した。

技術の説明

本構法の特徴として、① S 梁は接合部内を十字形に貫通させ、施工性に優れた「ふさぎ板形式」と、外周部に鋼材を露出させない「せん断補強筋形式」を選択可能。② せん断補強筋継手は、溶接の他に施工性の優れた「LAPhoop 工法」による重ね継手・OS フープ クリップ から選択可能。③ 接合部内ウェブにダブルプレート を 4 周隅肉溶接することで、せん断強度増大が可能。④ 最上階の柱主筋の定着長さは、端部に機械式金物、補強鉄筋を配置することで 16d と出来る。⑤ 上階が S 造の場合、根巻きを設けて RC 柱主筋の定着部を省略できる。

主な設計条件は、① 階数、建物高さの制限なし。② コンクリート強度 21~60N/mm²。③ 柱主筋 SD295~SD490 (最上階はSD390 まで)。④ RC耐震壁、ブレース併用可能。である。

主な結論

柱梁接合部耐力・支圧耐力・変形性能などを確認するための構造実験を実施し、提案した各耐力の評価式により安全側に評価が可能であることを確認した。

* 1 本店 建築設計部構造設計G

* 2 本店 建築部PJ推進G

MaRCS II 構法の開発 –前田式 柱 RC 梁 S 構造–

堀 伸 輔 成 瀬 忠
古 宮 嘉 之 *1 藤 原 智 *2

要 旨

柱をRC造、梁をS造とする混合構造は、スパンを長くとることが可能で、かつ軸力の作用する柱をRC造とする合理的な構法である。また、S造、SRC造と比較し柱の鋼材量を削減する事による、コスト低減効果がある。過去に開発を行った『MaRCS構法』¹⁾の上下のリング金物を無くす等、より簡素な接合部とすることで、施工性・コストの改善を目指し、『MaRCS II 構法』²⁾を開発した。

本構法の特徴として、S梁は接合部内を十字形に貫通させ、施工性に優れた「ふさぎ板形式」と、外周部に鋼材を露出させない「せん断補強筋形式」の二つの形式を備えている。接合部せん断補強筋の継手は、溶接の他に施工性の優れた『LAPhoop工法』³⁾による重ね継手、機械式継手から選択できる。

本報では、柱梁接合部耐力・支圧耐力・変形性能などを確認するための構造実験を実施し、接合部せん断耐力が提案した耐力評価式により安全側に評価可能であることを確認したので報告する。

本開発は、前田建設・銭高組・東洋建設の 3 社共同で、(財)日本建築総合試験所の建築技術性能証明²⁾を取得した。

キーワード 柱 RC 梁 S 構造／商業施設／物流施設／柱梁接合部／MaRCS

目 次

- | | |
|----------|-------------|
| 1. はじめに | 4. 耐力評価式の検討 |
| 2. 実験の概要 | 5. おわりに |
| 3. 実験結果 | |

Development of R/C-Column and S-Beam Frame Method [MaRCS II]

Shinsuke HORI Tadashi NARUSE
Yoshiyuki KOMIYA Satoshi FUJIWARA

Synopsis:

RC column and S beams mixed structure is rational. It can be long span, decreasing steel, and reduction in cost. We developed “MaRCS 2”, that compared cost and construction with “MaRCS” had developed.

We are able to choose the method of reinforcement for shearing from reinforcement shearing bar form and from reinforcement shearing plate on this structure.

In this paper, we have experiment on frame of RC column and S beams, in order to check the strength formula of bearing strength and shear strength of column-beam joint ,and deformation. And we found enough strength to design by proposal formula.

MAEDA Corp., The ZENITAKA Corporation and Toyo Construction take assessment of technology for building construction on GBRC foundation.

* 1 本店 建築設計部構造設計G

* 2 本店 建築部 P J 推進G

1. はじめに

柱 RC 造，梁 S 造とする混合構造は，柱の鋼材を省略し，梁を長スパンとすることのできる合理的な構造であり，施工性，構造性能にも優れている．本構法は，柱梁接合部内を S 梁が十字型に貫通した形式である．接合部は図-1 に示した，ふさぎ板を用いる形式（以下，ふさぎ板形式）と，せん断補強筋及び支圧板を用いる形式（以下，せん断補強筋形式）の 2 種類について検討し，その柱梁接合部の構造性能を確認するために架構実験を実施した．

主な検討項目は，高強度コンクリート ($F_c=60 \text{ N/mm}^2$) の適用，せん断補強筋に LAPhoop³⁾ を適用すること，最上階の柱主筋の定着方法である．

また，柱梁接合部のせん断耐力の評価について，文献 1) に示される耐力式をもとに，本報の実験結果および既往文献の実験結果を反映し，修正した式を提案し，実験値との対応を確認した．

以下に，実験結果と柱梁接合部耐力の評価方法について報告する．

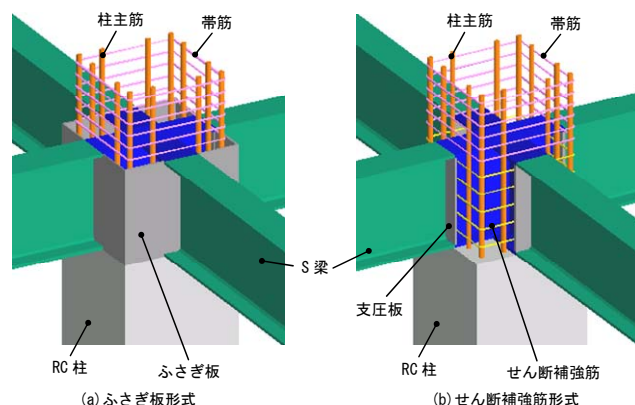


図-1 柱梁接合部の形状

2. 実験の概要

2.1 試験体の概要

試験体の諸元を表-2.1 に，試験体の形状および寸法を図-2.1～図-2.3 に示す．試験体は，実建物の 1/3 程度の

縮尺を想定した 5 体である．S 梁が柱梁接合部を貫通し，ふさぎ板を用いた試験体を基準とした．パラメータは，試験体の形状（一般階を想定した十字型，および最上階を想定した T 字型），コンクリート強度 ($F_c=36, 60 \text{ N/mm}^2$)，梁鉄骨フランジ厚さ (19mm, 22mm)，接合部の補強形式（ふさぎ板形式，せん断補強筋形式），および柱主筋の鋼種 (USD685, SD390) とした．No.1 試験体は十字型の基準試験体，No.2 試験体は No.1 試験体で高強度コンクリートを用いた場合，No.3 試験体はせん断補強筋形式とし，せん断補強筋には LAPhoop を使用した．No.1～3 試験体は破壊形式を接合部せん断破壊型として設計した．No.4 試験体は T 字型で柱主筋に高強度鉄筋を使用し，接合部せん断破壊型とし，No.5 試験体は，柱曲げ降伏先行型として設計した．T 字型試験体の柱頭部は柱主筋にプレートナットを用いて定着させた．定着長は $16d$ (d : 主筋径) とし，補強に定着部拘束筋およびかんざし筋を配筋した．

2.2 材料特性

使用した材料（コンクリート・鉄筋・鋼板）の力学特性を表-2.2～表-2.4 に示す．

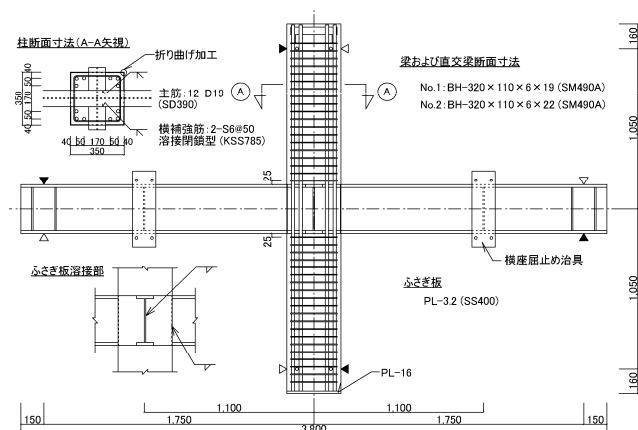


図-2.1 試験体形状（十字型）

表-2.1 試験体諸元

試験体名	架構形状	F_c N/mm ²	柱	梁	接合部
			主筋	断面 (mm) 鋼種 SM490A	補強形式
No.1	十字型	36	12-D19(SD390) $p_g=2.81\%$	BH-320 × 110 × 6 × 19	ふさぎ板形式 PL-3.2(SS400) $p_w=1.83\%*$
No.2		60		BH-320 × 110 × 6 × 22	
No.3				BH-320 × 110 × 6 × 19	せん断補強筋形式 LAPhoop-D6(SD390) × 6 組 $p_w=0.45\%$
No.4	T 型	36	12-D16(USD685) $p_g=1.95\%$	BH-220 × 100 × 6 × 19	ふさぎ板形式 PL-3.2(SS400) $p_w=1.83\%*$
No.5			12-D16(SD390) $p_g=1.95\%$		

共通事項：柱—口-350 × 350，帯筋 2-S6@50(KSS785) $p_w=0.36\%$ ，*補強筋量に換算



表-2.2 コンクリートの力学特性

表-2.3 鉄筋の力学特性表-2.4 鋼材の力学特性

2.3 実験方法

図-2.4, 2.5 に載荷方法を示す。柱に一定軸力（軸力比 $N/(\sigma_B \times B_c \times D_c) = 0.2$ ）を加えた状態で、上下柱の先端部をローラー支持し、押し引き型油圧ジャッキを用いて両梁先端の加力点の変位量を逆対称に制御して加力した。鉄骨梁の横座屈を防止するため、左右の鉄骨梁には振れ止め装置を1箇所ずつ設けた。T字型試験体については、上下を反転した形で載荷した。また、軸力は0とした。

載荷履歴は、目標層間変形角 $R=5 \times 10^{-3} \text{rad.}$ を1サイクル、 $R=10, 20, 30, 40, 50 \times 10^{-3} \text{rad.}$ を2サイクルずつ正負交番繰返し載荷を行った後、正加力方向への単調載荷とした。層間変形は柱上下支点からの梁加力点の変位を計測することにより、層間変形角は梁加力点の変位差を加力点間距離で除して求めた。



3. 実験結果

3.1 試験体の破壊状況

各試験体の Q_c-R 関係を図-3.1 に示す。 Q_c は柱せん断力、 R は層間変形角を示す。 図中に示した限界層間変形角 R_{80} は、耐力が最大耐力の 80% に低下した時の層間変形角と定義した。 図には、実験中に観察された主な発生現象を併記した。 同図中で、柱梁接合部パネルおよびふさぎ

板のせん断降伏は、接合部せん断補強筋およびふさぎ板に貼付たひずみゲージにより計測したせん断ひずみがせん断降伏ひずみに達した現象とした。実験終了後の柱梁接合部周辺の状況を写真-1 に示す。ただし、T字型試験体の写真は載荷時の状況のため上下を反転した状態で示している。

No. 1, No. 2, No. 3 の十字型の各試験体ともに、 $R=4.0 \sim 5.5 \times 10^{-3} \text{rad.}$ 時に柱頭部または柱脚部に曲げひび割れが発生し、 $R=12.0 \sim 13.0 \times 10^{-3} \text{rad.}$ 時に梁鉄骨フランジの引張降伏が生じた後、No. 1, 3 ではふさぎ板、No. 2 では接合部せん断補強筋の降伏、および、梁フランジ直上直下のコンクリートの圧壊が発生して最大耐力に達した。最大耐力後は、接合部せん断変形角の増大、柱コンクリートの圧壊を経て、耐力が低下した。写真-1 で示すように、各試験体とも最終変形まで梁鉄骨の座屈は確認されなかった。破壊モードは 3 試験体ともに接合部せん断破壊と考えられる。

No. 4 は、 $R=15.9 \times 10^{-3} \text{rad.}$ 時に柱頭部梁フランジ直下にコンクリートの圧壊が発生し、 $R=20.1 \times 10^{-3} \text{rad.}$ 時に梁鉄骨フランジが引張降伏した後、 $R=40.2 \times 10^{-3} \text{rad.}$ 時に最大耐力に達した。その後、柱主筋の抜け出し量が増加し、柱頭部コンクリートとふさぎ板間のひび割れが拡大して、緩やかに耐力が低下した。写真-1 に示すように、柱主筋定着金物の抜け出しおよび押込みの繰返しによる柱梁接合部の頂部（写真では下側）に当たるスラブ部の損傷が顕著である。

No. 5 では、柱主筋が $R=-10.0 \times 10^{-3} \text{rad.}$ 時に引張降伏した後、 $R=19.1 \times 10^{-3} \text{rad.}$ 時に最大耐力に達し、その後柱頭部コンクリートの圧壊が確認された。最大耐力後、No. 4 と同様に、柱主筋の抜け出し量の増加および柱頭部コンクリートのひび割れ幅の拡大が確認されたが、耐力の低下は微少であった。

柱主筋鋼種での比較では、図-3.2 に示すように、No. 4 の最大耐力は No. 5 を上回り、その耐力比は 1.49 であった。両試験体とも、梁フランジの座屈あるいは直交梁およびふさぎ板の顕著な変形は確認されなかったが、写真 2 に示すように、支持梁フランジ直上、直下の開き量は No. 4 の方が大きく、柱頭部支持梁直下のコンクリートの圧壊程度も No. 4 の方が顕著であった。

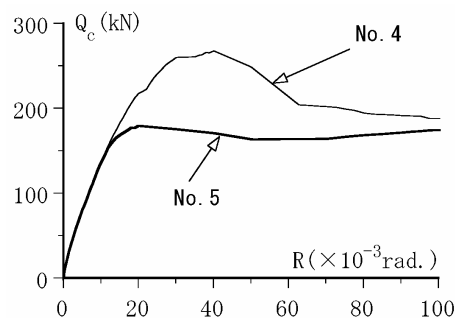


図-3.2 Q_c-R 関係包絡線（T型試験体 正加力時）

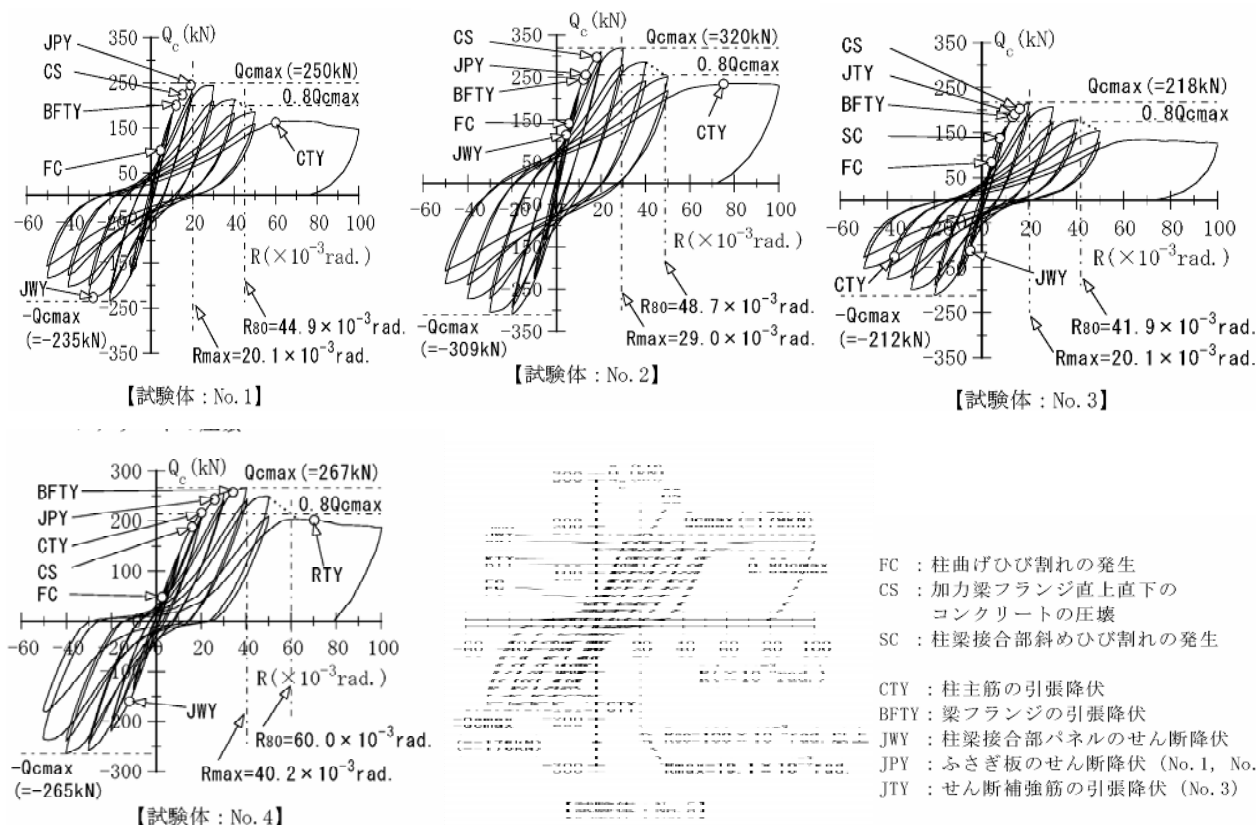


図-3.1 Q_c-R 関係



No. 1



No. 2



No. 3



No. 4



No. 5

写真-1 柱梁接合部周辺の最終状況



No. 4



No. 5

写真-2 支持梁フランジ直下の最終状況

3.2 実験結果と計算値の比較

表-3.1 に部材および接合部せん断耐力の計算値と実験値を比較した結果を示す。

柱梁接合部せん断力は文献 4) の式(1) (以下, 学会式)により, 接合部終局せん断耐力式の低減係数を $\alpha = 1.0$ として算出した。表中の値は全て層せん断力 (kN) に換算している。全試験体が想定した破壊形式であり, 実験値と計算値を比較した結果, 接合部せん断破壊を想定した試験体 No. 1~4 については, 十字・T字型および, ふさぎ板・せん断補強筋形式ともに安全側の評価となった。

$$j_s M_U = \alpha \left\{ c V_e (F_s \cdot j \delta + w p \cdot w \sigma_y) + \frac{1.2_s V_s \sigma_y}{\sqrt{3}} \right\} \quad \text{式(1)}$$

ここで, $j_s M_U$: 柱梁接合部のモーメントに換算した
終局せん断耐力 (Nmm)

α : 低減係数 (=0.8)

$$j F_s = \min(0.12 \cdot F_c, 1.8 + \frac{3.6 \cdot F_c}{100})$$

$$c V_e = \frac{B_c}{2} \cdot s_B d_{mc} d, \quad s V = j t_w \cdot s_B d_{mc} d$$

$j \delta$: 柱梁接合部形状による係数 (十字: 3,

ト字及びT字: 2, L字: 1)

$w p$: せん断補強筋比 (ふさぎ板形式: $2t_f/B_c$,

せん断補強筋形式: $ha/(B_c \cdot x)$)

$w \sigma_y$: ふさぎ板形式- ふさぎ板の材料強度

せん断補強筋形式-せん断補強筋の材料強度

$s \sigma_y$: S梁部分の材料強度 (N/mm²)

F_c : コンクリート設計基準強度 (N/mm²)

表-3.1 実験結果と計算値

	梁曲げ 全塑性	柱曲げ 略算	接合部 せん断 学会式	実験値 Qcal		実験値/ 計算値 (最小値)
				正	負	
No.1	280	360	221	250	-235	1.13
No.2	346	453	242	320	-309	1.32
No.3	280	360	194	218	-212	1.12
No.4	671	216	252	267	-265	1.06
No.5	671	133	252	179	176	1.32

赤太字: 計算値の最小値, 層せん断力換算 (kN)

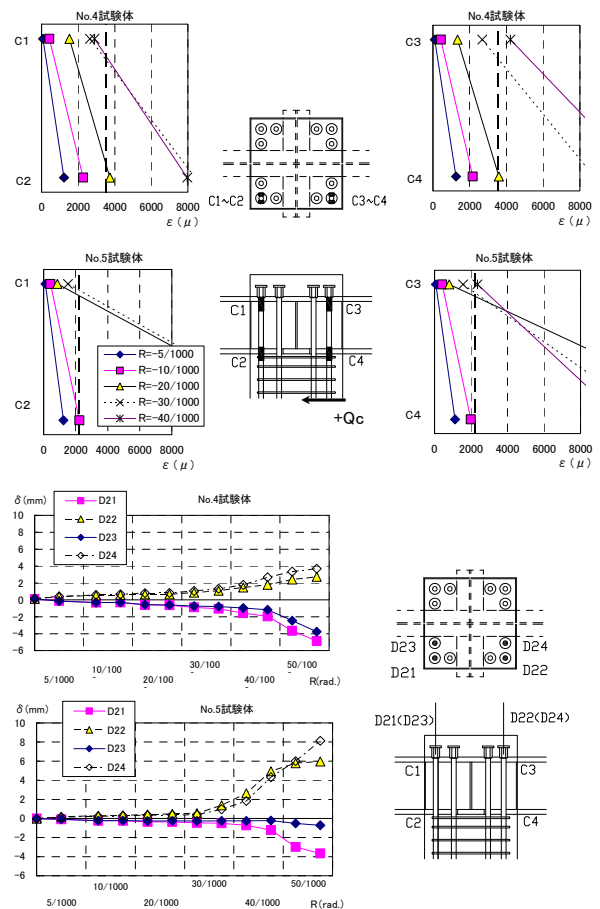


図-3.3 柱主筋のひずみ分布および
定着金物の抜け出し量

3.3 柱頭部の定着

本実験でのT字型試験体No. 4 試験体とNo. 5 試験体の各加力ピーク時の柱筋のひずみ分布および柱筋の抜け出し量の推移を図-3.3 に示す。図に示す様に定着金物下部の鉄筋が降伏する $R=40 \times 10^{-3} \text{rad.}$ まで、定着金物により柱筋は十分定着されていた。本実験では定着長さが柱筋径の16 倍であったが十分な定着性能を有していた。

4. 耐力評価式の検討

本実験の試験体は、柱梁接合部せん断耐力は学会式において、低減係数 $\alpha=1.0$ として評価可能であることを確認した。そこで、本実験結果および既往の文献との比較を行い設計式の妥当性を検証することとした。なお、比較に使用した既往文献の試験体は 1988 年から 2006 年までに発表^{5) -27)}されたS梁を接合部内に十字形に貫通させたふさぎ板形式 51 体およびせん断補強筋形式 44 体であり、対象とした試験体の実験範囲表-4.1 に示す。

表-4.1 既往文献の実験データ範囲

	ふさぎ板形式 51 体	せん断補強筋形式 44 体
コンクリート強度	21.1~59.5N/mm ²	23.5~64.9N/mm ²
梁幅/柱幅	0.3~0.6	0.3~0.5
梁成/柱成	0.7~1.0	0.8~1.0
梁成/柱主筋径	10.6~22.7	13.2~30.8

図-4.1 に示すように本実験結果と柱梁接合部がせん断破壊したと既往の文献にある試験体で学会式の低減係数 α を 1.0 として比較すると、ふさぎ板形式では設計式は下限値を抑えた。これに対して、図-4.2 に示すようにせん断補強筋形式の試験体では低減係数 α が 1.0 では平均的な値となっており、下限を抑えるためには低減係数 α に 0.8 を採用することとした。せん断補強筋形式では、十字型の直交梁（S 梁を接合部内を十字形に貫通した形式）無し試験体と支圧板無し試験体で、低減係数 α を 0.8 とした計算値よりも低い実験値があるが、本構法では支圧板および直交梁を必ず設けることとしている。従って、本指針の接合部終局せん断耐力式により接合部せん断耐力実験値を安全に評価できることを確認した。

5. おわりに

- ・本実験の試験体では、柱梁接合部せん断耐力を学会式の低減係数 α を、ふさぎ板形式、せん断補強筋形式ともに 1.0 として、安全側に評価が可能であった。
- ・ $F_c=60\text{N/mm}^2$ でも学会式で評価可能であり、耐力の余裕度も大きかった。
- ・本実験および既往の文献より、本報の範囲内では直交梁を設けた柱梁接合部せん断耐力は、学会式の低減係数 α を、ふさぎ板形式では 1.0、せん断補強筋形式では 0.8 として下限値をとり、安全側に評価可能であることを確認した。

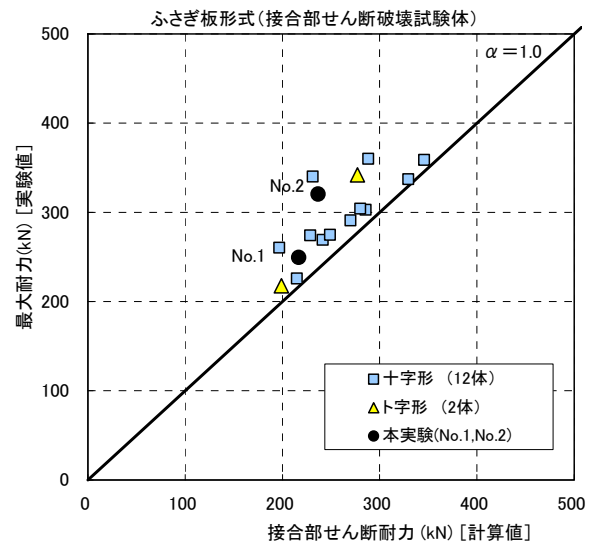


図-4.1 ふさぎ板形式の計算値と実験値の比較

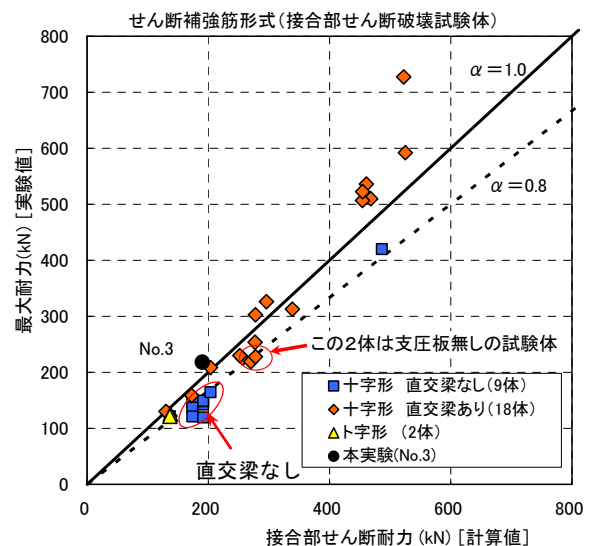


図-4.2 せん断補強筋形式の計算値と実験値の比較

参考文献

- 1) 日本建築総合試験所：性能証明第 02-02 建築技術性能証明 前田式柱 RC 梁 S 構法[MaRCS 構法], 日本建築総合試験所,2002
- 2) 日本建築総合試験所：性能証明第 08-13 建築技術性能証明 前田建設・銭高組・東洋建設 RCS 接合構法 -梁貫通型柱 RC 梁 S 構造の接合部構法, 日本建築総合試験所,2008
- 3) 日本建築総合試験所：性能証明第 02-11 建築技術性能証明 SRC-LAPhoop 工法, 日本建築総合試験所,2002
- 4) 日本建築学会：鉄筋コンクリート柱・鉄骨梁混合構造の設計と施工, 日本建築学会,2001.
- 5) 秦,安倍,早川,安井,細矢,舟山：柱 RC,梁 S から成る構造物の部分架構実験(その 1), 日本建築学会大会学術講演

- 梗概集,1991.9,pp1615-1616
- 6) 坂口：鉄筋コンクリート柱と鉄骨梁で構成される柱梁接合部パネルのせん断耐力,日本建築学会構造系論文報告集 第428号,1991.10,pp69-78
- 7)小澤,岩倉,山本,須田,齊藤：RC柱・S造はりで構成される合成架構に関する研究（その1 囲み板で補強した柱はり接合部の実験）,日本建築学会大会学術講演梗概集, 1992.8,pp1897-1898
- 8)吉松,河口,濱田：柱RC・梁S混合構造接合部に関する実験的研究(その1 実験概要および結果)」,日本建築学会大会学術講演梗概集, 1994.9
- 9) 谷垣, 岩田, 野路, 山本, 小坂, 小田：柱RC梁S構造の接合部性能に関する研究(その1), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1994.9, pp1657-1658
- 10)高見,増田,吉岡：柱RC梁S接合部の支圧性状,日本建築学会大会学術講演梗概集, 1995.8
- 11) 紅谷,金,野口：ハイブリッド構造に関する日米共同構造実験研究(RCS-6) -外柱RC・梁S接合部の実験概要,日本建築学会大会学術講演梗概集,pp891-892,1995.8.
- 12) 遠藤,松原,金,野口：ハイブリッド構造に関する日米共同構造実験研究(RCS-21) -柱に高強度コンクリートを用いたRCS接合部の実験概要,日本建築学会大会学術講演梗概集,1996.9,pp1121-1122
- 13) 蘇鉄,石田,光成：梁貫通ふさぎ板形式RCS混合構造架構の構造性能に関する実験(その1 実験概要および実験結果), 日本建築学会大会学術講演梗概集,1998.9, pp1263-1264
- 14) 長谷川,山内,西山,井崎：鉄筋コンクリート柱と鉄骨梁より成る混合構造 柱梁接合部の弾塑性挙動, 日本建築学会大会学術講演梗概集,昭和62.10,pp1325-1326
- 15) 本間,杉山,藤村,毛井：柱RC梁S接合部の力学性状(その1 予備実験計画および破壊経過), 日本建築学会大会学術講演梗概集,1990.10,pp1183-1184
- 16) 田村,佐藤,成原,勝倉：簡易な仕口による柱RC梁S複合構造の実験(その1 実験概要),日本建築学会大会学術講演梗概集,1992.8,pp1893-189
- 17)村田,藤本,楊：柱RC梁Sからなる混合構造物の架構実験（その1 十字形架構の実験概要および破壊状況）,日本建築学会大会学術講演梗概集, 1994.9
- 18)福本,石原,：バンドプレートで補強された柱RC・梁S構造の柱梁接合部に関する実験研究,日本建築学会大会学術講演梗概集, 1995.8
- 19) 岩渕,吉松,板尾,濱田：柱RC・梁S混合構造の柱梁接合部に関する実験的研究(その1 実験概要とその結果),日本建築学会大会学術講演梗概集,1997.9,pp1015-101
- 20)成原,佐藤,三木,池田：簡易な仕口による柱RC梁S複合構造の実験（その5 柱梁接合部の支圧要素試験）,日本建築学会大会学術講演梗概集, 1997.9
- 21) 渡邊,吉松,佐藤,濱田,岩渕：柱RC・梁S混合構造の柱梁接合部に関する実験的研究(その3 実験概要とその結果), 日本建築学会大会学術講演梗概集,1998.9,pp1257-1258
- 22) 宗宮,福知,川辺,大島：柱RC,梁S接合部における応力伝達,及び耐力評価に関する実験的研究（その1 実験計画と実験結果概要）,日本建築学会大会学術講演梗概集, ,2000.9,pp1231-1232
- 23)飯塚,黒田：梁貫通型柱RC梁S構造十字型接合部の実験的研究（その1 工法の概要と梁曲げ降伏先行型試験体による挙動）,日本建築学会大会学術講演梗概集, 2000.9
- 24)毛井,木村,宮内,太田,佐々木,馬場,西村：せん断補強筋を簡易化した柱RC梁S接合部の力学性状に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2001.9
- 25) 金本, 中西, 山野辺, 渡辺：高強度材料を用いた鉄筋コンクリート柱と鉄骨梁で構成される架構(NewRCSS 構法)の開発(その1), その1 実験計画および実験結果,日本建築学会大会学術講演梗概集, 2005.9, pp1103-1104
- 26) 森, 斎藤：RCS構造におけるふさぎ板形式柱梁接合部のせん断耐力に関する実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2006.9, pp1099-1100
- 27)富永博夫, 村井義則, 高瀬雄一, 坂口昇, 池見堯, 神野靖夫：「鉄筋コンクリート柱と鉄骨梁で構成される架構(RCSS 構法)の耐力及び変形性能（その7 柱主筋が梁フランジに固定されない場合）」,日本建築学会大会学術講演梗概集, 1988.10