

# 論文 ふさぎ板を有する高強度コンクリート柱 RC 梁 S 接合部の構造性能に関する研究

池田 和憲\*1・宮内 靖昌\*2・福原 武史\*3

**要旨：**高強度コンクリート ( $F_c=80 \text{ N/mm}^2$ ) を用いた柱 RC 梁 S 接合部の構造性能を実験により検討した。実験変数は、ふさぎ板の有無およびふさぎ板の板厚である。実験の結果、ふさぎ板を設けると、柱梁接合部のせん断破壊が軽減され、終局せん断耐力が増大し、最大耐力後の耐力低下が小さくなった。柱梁接合部の終局せん断耐力を 2 つの式を用いて計算した結果、両式とも実験値が計算値より大きくなり、安全側に計算できることがわかった。

**キーワード：**柱 RC 梁 S 接合部, ふさぎ板, 高強度コンクリート, せん断耐力, 履歴性状

## 1. はじめに

柱 RC 梁 S 構造は多くの構造実験が実施され、その研究成果が反映され、商業施設や倉庫を中心として実施設計および建設に採用されている。本構造の柱梁接合部には、柱梁接合部の周囲を鋼板で囲む、いわゆるふさぎ板を配置する場合と配置しない場合に大別される。本研究は、ふさぎ板の有無およびふさぎ板の板厚を実験変数として行った構造実験の結果を報告する。また、柱および柱梁接合部のコンクリートを高強度コンクリート ( $F_c=80 \text{ N/mm}^2$ ) としたことも本実験の特徴である。

## 2. 実験計画

### 2.1 試験体

表-1 に試験体の一覧を、図-1 に試験体の断面および形状を示す。試験体は 3 体で、ふさぎ板の有無および

板厚を実験変数とした。

試験体は十字形部分架構の形状とし、梁先端のピン間距離  $L=4000 \text{ mm}$ 、柱先端のピン間距離  $H=2000 \text{ mm}$  とした。柱断面は  $B \times D=350 \times 350 \text{ mm}$ 、主筋は 12-D19 (引張鉄筋比  $P_t=1.4\%$ )、帯筋は柱のせん断破壊を防止するために、2-K10@80 (高強度せん断補強筋、帯筋比  $P_w=0.51\%$ ) とし、各試験体共通とした。ふさぎ板を有する試験体 No.11 および No.12 は、柱梁接合部に帯筋を配筋していない。これに対して、ふさぎ板の無い試験体 No.13 は、柱梁接合部の帯筋を 2-D10@100 (3 段) とした。

鉄骨梁の断面は、H-300×125×9×25 とした。柱梁接合部には加力方向の鉄骨梁と同じ断面の直交梁を接合部内に貫通させた。

ふさぎ板は冷間折り曲げ加工とし、厚さは、表-1 に示すように、PL-2.3 および PL-9 とし、ふさぎ板の幅厚比

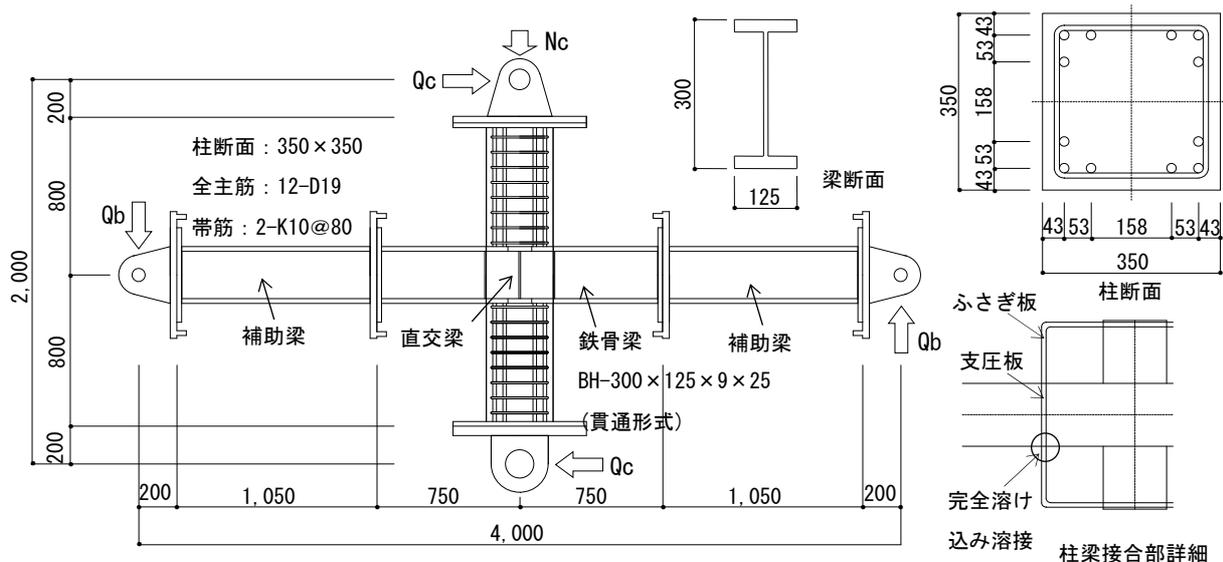


図-1 試験体の断面および形状 (単位; mm)

\*1 大阪工業大学 大学院 (学生会員)

\*2 大阪工業大学 工学部建築学科 教授 博(工) (正会員)

\*3 (株)竹中工務店 技術研究所 博(工) (正会員)

表-1 試験体の一覧

試験体	No.11	No.12	No.13
ふさぎ板の有無, 板厚	有 (PL-2.3)	有 (PL-9)	無し
梁断面	BH-300×125×9×25		
支圧版	PL-9		

表-2 コンクリートの材料試験結果

圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	割裂強度 (N/mm <sup>2</sup> )
86.2	36800	5.28

・3回の試験結果の平均値

表-3 鋼材の引張試験結果

種類	使用部位	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )
D19	柱主筋	360	537	203400
K10	帯筋	917	1061	190700
D10	接合部帯筋	401	567	182500
PL-25	梁フランジ	356	509	202500
PL-9	梁ウェブ	368	549	203600
PL-9	ふさぎ板 支圧版	281	428	208400
PL-2.3	ふさぎ板	298	470	211800

に相当する  $b_c/t_f$  ( $b_c$ : 柱幅,  $t_f$ : ふさぎ板の板厚) =152 および 38.8 とした。参考文献に示す既往の実験では  $b_c/t_f$  が 78~173 に分布するのに対し, 試験体 No.12 は, 検討範囲の拡大を意図したものである。

## 2.2 使用材料

表-2 にコンクリートの材料試験結果を示す。試験体に打設したコンクリートは, 粗骨材の最大径 15 mm の普通コンクリートである。

また, 表-3 に鋼材の引張試験結果を示す。使用した鋼材は, 梁フランジおよびウェブには SM490A 材を, ふさぎ板および支圧板には SS400 材を用いた。柱の帯筋に

は高強度せん断補強筋を, 柱梁接合部の帯筋には SD295 を用いた。

## 2.3 加力方法

図-2 に加力装置の概要を示す。加力は試験体を縦置きし, 柱の上下端をピン支持し, 柱に一定の圧縮軸力  $N_c = \alpha_N \times B \times D \times \sigma_{B1}$  ( $\sigma_{B1}$ : 1 回目のコンクリート試験の圧縮強度で 85.2 N/mm<sup>2</sup>) を載荷した後, 梁先端に正負繰り返しのせん断力を載荷した。試験体 No.11 および No.13 の  $\alpha_N$  は 0.1 ( $N_c = 1043$  kN), 試験体 No.12 の  $\alpha_N$  は柱が曲げ降伏しないように, 0.13 ( $N_c = 1356$  kN) とした。変位計測は, 柱上下端に取り付けた測定フレームを用いて, 梁先端の変位量を測定し, 十字形骨組の層間変形角  $R$  を繰り返し載荷に対する制御変位とした。

## 3. 実験結果

### 3.1 ひび割れ状況および破壊経過

図-3 に  $R=30/1000$ rad 時のひび割れ状況を, 写真-1 に  $R=40/1000$ rad 時のひび割れ状況を示す。

ふさぎ板のある試験体 No.11 および No.12 は,  $R=5/1000$ rad の加力サイクルで柱側面に曲げひび割れが発生

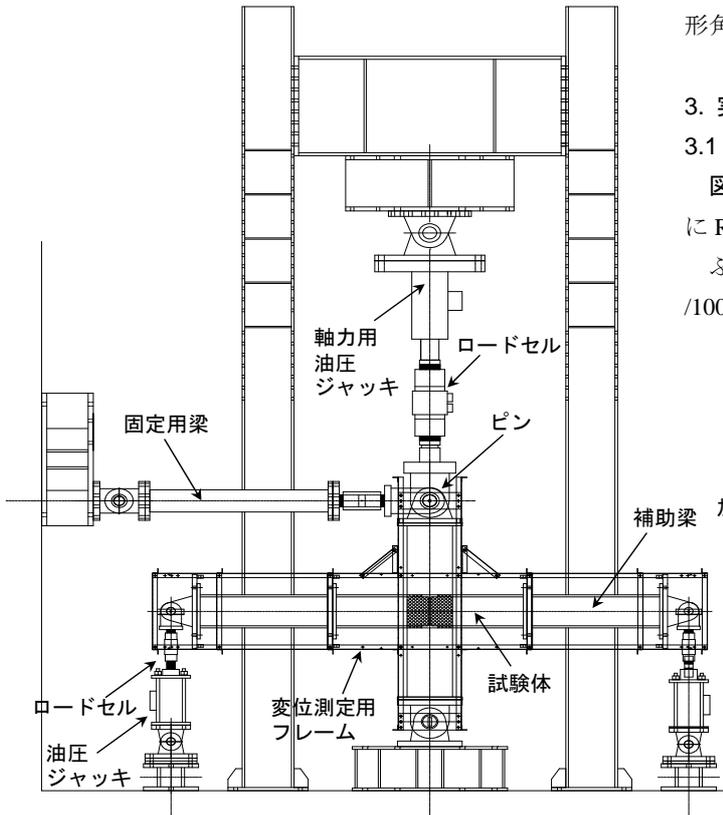


図-2 加力装置の概要

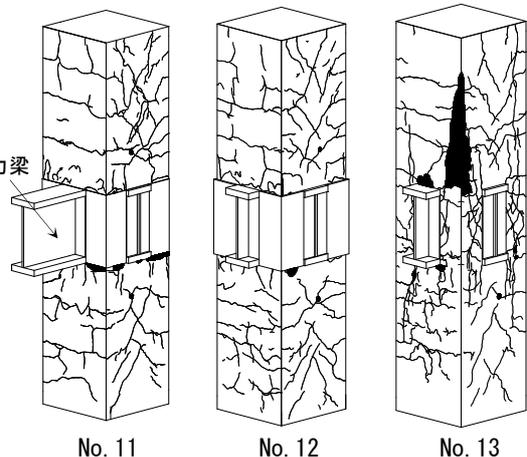


図-3 ひび割れ状況 (R=30/1000 rad)



No.11  
ふさぎ板PL-2.3



No.13  
ふさぎ板無し

写真-1 ひび割れ状況 (R=40/1000rad)

した。R=20/1000rad の加力サイクルで柱側面のふさぎ板際に軽微なコンクリートの剥落、柱に曲げせん断ひび割れが生じ、R=30/1000rad の加力サイクルでふさぎ板あるいは梁フランジの支圧によるひび割れが顕著になった。

ふさぎ板の無い試験体 No.13 は、R=5/1000rad の加力サイクルで柱側面に曲げひび割れが発生した。R=10/1000rad の加力サイクルで直交梁の横にせん断ひび割れおよび直交梁のコーナー部から柱方向に斜めひび割れが生じた。R=20/1000rad の加力サイクルで直交梁横のせん断ひび割れが進展するとともに、梁フランジ部の支圧によるひび割れが生じた。最終的に柱梁接合部がせん断破壊した。

### 3.2 荷重-変位関係

図-4 に荷重-変位曲線を示す。縦軸は梁せん断力  $Q_b$  (kN) を、横軸は層間変形角  $R$  (rad) を示す。図中のラインは後述する終局耐力の計算値(梁せん断力)である。

すべての試験体で R=30/1000rad 時に最大耐力に達した。ふさぎ板 PL-9 の試験体 No.12 は、PL-2.3 の試験体 No.11 より最大耐力は増大し、また、逆 S 字形のスリップ性状は改善されている。ふさぎ板の無い試験体 No.13 は、ふさぎ板のある試験体より、最大耐力後の耐力低下が大きくなった。

### 3.3 ひずみ状況

図-5 に試験体 No.11 および No.12 の柱梁接合部における鉄骨ウェブおよびふさぎ板のひずみ状況を示す。縦軸は梁せん断力  $Q_b$  (kN) 、横軸はひずみを示す。ひずみは 3 軸ゲージの Z 軸方向のひずみである。

両試験体とも鉄骨ウェブは、最大耐力時に降伏ひずみに達していた。一方、ふさぎ板は、PL-2.3 の試験体 No.11 では降伏ひずみに達したが、PL-9 の試験体 No.12 では降伏ひずみに達していない。なお、試験体 No.11 および No.12 では、最大耐力時近傍で、梁フランジが降伏ひずみに達していた。

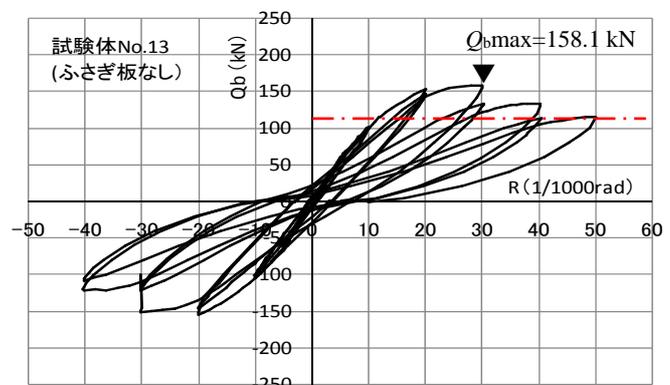
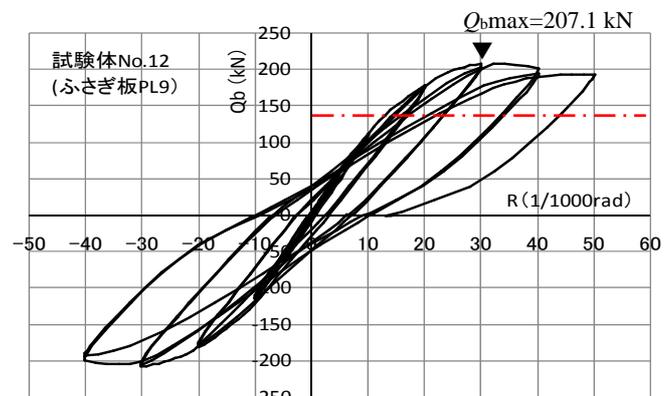
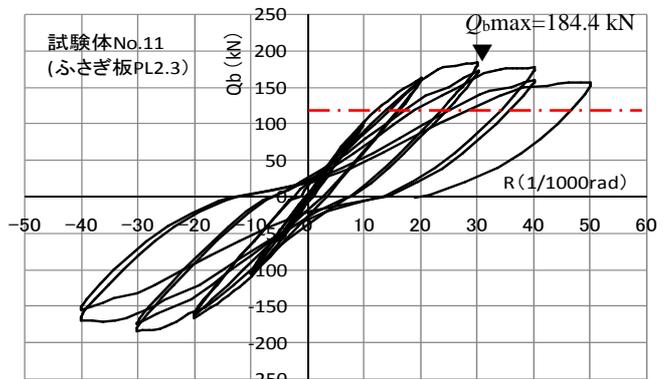
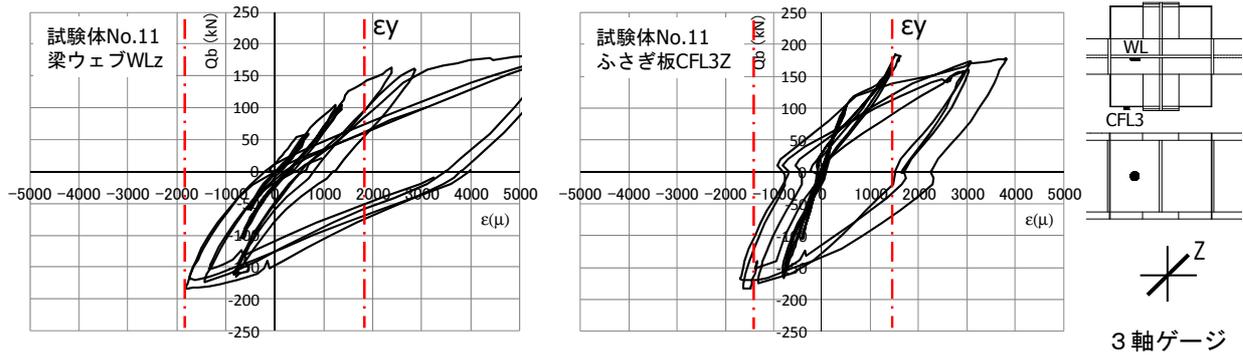


図-4 荷重-変位曲線

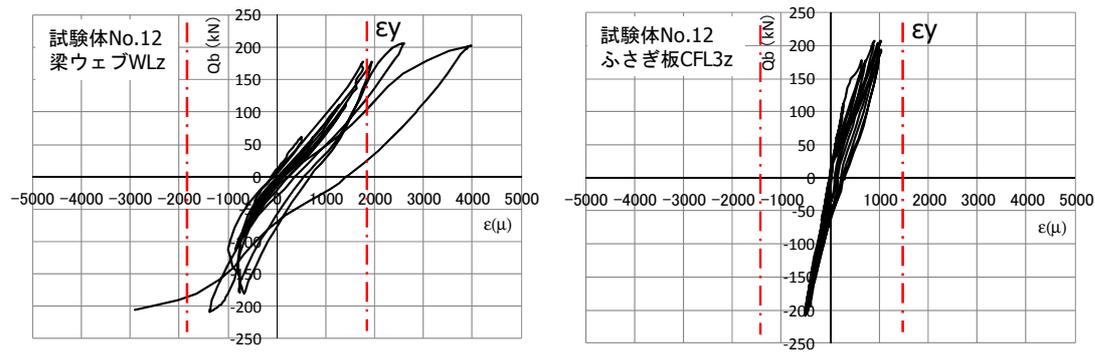
## 4. 終局耐力の検討

### 4.1 実験値と計算値の比較

各試験体の最大耐力実験値と終局耐力計算値を比較し



(a) 試験体 No. 11 (ふさぎ板 PL-2.3)



(b) 試験体 No. 12 (ふさぎ板 PL-9)

図-5 柱梁接合部における鉄骨ウェブおよびふさぎ板のひずみ状況

て表-4 に示す。計算値は、柱および梁のそれぞれ曲げ耐力およびせん断耐力、柱梁接合部のせん断耐力のうち、最も小さい値とした。柱・梁のせん断耐力は曲げ耐力より大きいため、表-4 では省略した。

柱 RC 梁 S 接合部の終局せん断耐力  $Q_{pu}$  の計算は、「ハイブリッド構造に関する日米共同研究報告書」<sup>1)</sup>における耐力算定式 (以下、日米式) および梁ウェブによる耐力  $Q_w$  とコンクリートによる耐力  $Q_c$  を日本建築学会 SRC 規準式に準じ、SRC 規準には示されないふさぎ板の耐力については日米式のものに加えた式 (以下、本論提案式) の2つの式を用いて計算した。

$$Q_{pu} = Q_w + Q_c + Q_h + Q_f \quad (1)$$

ここで、

$Q_w$ : 接合部を貫通する梁鉄骨ウェブによる耐力 (N)

$Q_c$ : 柱梁接合部のコンクリートによる耐力 (N)

$Q_h$ : 柱梁接合部のせん断補強筋による耐力 (N)

$Q_f$ : ふさぎ板による耐力 (N)

(a) 日米式

$$Q_w = C_1 \cdot t_w \cdot D_c \cdot s \cdot \sigma_{wy} / \sqrt{3} \quad (2)$$

$$Q_c = 0.4C_2 \cdot C_3 \cdot b_c \cdot D_c \cdot 0.1\sigma_B \cdot j \cdot \delta \quad (3)$$

$$Q_h = 0.25 \cdot b_c \cdot m_c \cdot d \cdot P_w \cdot \sigma_{wy} \quad (4)$$

$$Q_f = 0.5 \cdot t_f \cdot D_c \cdot s \cdot \sigma_{fy} / \sqrt{3} \quad (5)$$

(b) 本論提案式

$$Q_w = \lambda \cdot t_w \cdot D_c \cdot s \cdot \sigma_{wy} / \sqrt{3} \quad (6)$$

$$Q_c = 0.5 \cdot b_c \cdot m_c \cdot d \cdot (1.8 + 3.6\sigma_B / 100) \cdot j \cdot \delta \quad (7)$$

$$Q_h = 0.25 \cdot b_c \cdot m_c \cdot d \cdot P_w \cdot \sigma_{wy} \quad (8)$$

$$Q_f = 0.5 \cdot t_f \cdot D_c \cdot s \cdot \sigma_{fy} / \sqrt{3} \quad (9)$$

ここで、

表-4 最大耐力実験値と終局耐力計算値の比較

試験体	最大耐力	終局耐力計算値				実験値と計算値の比較			
		柱曲げ 計算値	梁曲げ 計算値	接合部せん断 計算値(日)	接合部せん断 計算値(提)	日米式		本論提案式	
						計算値	実/計	計算値	実/計
No.11	368.8	397.3		282.3	238.2	282.3	1.31	238.2	1.55
No.12	414.2	447.0	390.4	327.2	283.0	327.2	1.27	283.0	1.46
No.13	316.2	397.3		261.4	217.3	261.4	1.21	217.3	1.46

最大耐力の実験値は、正負荷重時の最大値である。各値とも、柱せん断力を示す。(単位: kN)

$b_c, D_c$ : それぞれ柱幅および柱せい (mm)  
 $P_w$ : 柱梁接合部のせん断補強筋比  
 $t_w, t_f$ : 梁鉄骨ウェブおよびふさぎ板の厚さ(mm)  
 $\sigma_B$ : コンクリートの圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $s\sigma_{wy}$ : 梁鉄骨ウェブの降伏応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $s\sigma_{fy}$ : ふさぎ板の降伏応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $mc_d$ : 外側柱主筋の中心間距離 (mm)  
 $C_1, C_2$ : 係数で、それぞれふさぎ板がある場合 0.9, 1.0 とし、ふさぎ板がない場合は 0.8, 0.8 とする。  
 $C_3$ : 係数で、直交梁がある場合 1.0 とし、直交梁がない場合は 0.9 とする。  
 $\lambda$ : 鉄骨パネルの枠効果による係数で、1.2 とする  
 $j\delta$ : 柱梁接合部の形状による係数で、十字形では 3 とする

表より、本論提案式では日米式より接合部せん断耐力を約 15~20%程度小さく計算された。筆者らが同シリーズで行った実験<sup>2)</sup> (コンクリート強度  $F_c=45$  N/mm<sup>2</sup>) では、本論提案式は日米式より接合部耐力は約 5%程度高く評価されており、日米式はコンクリート強度の影響が大きく現れることがわかった。

試験体 No.11~No.13 の終局耐力は、いずれも柱梁接合部のせん断耐力で決まり、計算値に対する実験値の比(実/計)は、日米式で 1.21~1.31, 本論式で 1.46~1.55 となり、日米式のほうが実験結果との対応が良い結果であった。また、ふさぎ板が PL-2.3 の試験体 No.11 と PL-9 の試験体 No.12 の実/計を比較すると、両式とも No.12 のほうが小さくなっており、これは、試験体 No.12 は計算上は柱梁接合部のせん断耐力で決まっているが、実現象は梁曲げ耐力に近いものと思われ、接合部せん断耐力の計算値をもっと大きくする必要性が示唆される。

#### 4.2 既往の研究を用いた終局耐力の検討

既往の研究<sup>2)~9)</sup>を含めて終局耐力の検討を行った。試

ていない柱 RC 梁 S 十字形接合部の試験体である (本実験体はいずれもふさぎ板を有し、接合部に帯筋を配筋し 験 2 体, 既往試験体 23 体)。コンクリート強度 (23.0~67.1N/mm<sup>2</sup>), 柱断面 (340~550mm), ふさぎ板の板厚 (PL-2.3~PL-9) が試験体諸元の範囲となっている。

図-6 に終局耐力の実験値  $Q_{exp}$  と計算値  $Q_{cal}$  を比較して示す。ふさぎ板の無い試験体 No.13 はプロットしていない。図中の試験体 No.1~No.3 は筆者らが行った同シリーズの実験結果である<sup>2)</sup>。まず、梁曲げおよび柱曲げ試験体に関しては、各 1 体ずつ計算値が実験値より大きくなっているものの、そのばらつきは接合部せん断耐力と比べて小さい。

柱梁接合部終局せん断耐力に関して、日米式および本論提案式を比較すると、日米式の方がばらつきが小さい。

図-7 には、実/計の比  $Q_{exp}/Q_{cal}$  とふさぎ板の幅厚比に相当する  $b_c/t_f$  の関係および  $Q_{exp}/Q_{cal}$  とコンクリート強度  $\sigma_B$  の関係を示す。図より、柱梁接合部がせん断破壊した試験体のふさぎ板の  $b_c/t_f$  に関しては、本実験の試験体 No.12 により、 $b_c/t_f$  が 38.9 (既往は 77.8) までデータが確認されたことになる。同様に、 $\sigma_B$  に関しては、本実験により、86.2 N/mm<sup>2</sup> (既往は 65.5) までデータが確認されたことになる。

$Q_{exp}/Q_{cal}$  と  $b_c/t_f$  の関係および  $\sigma_B$  の関係ともに、日米式のプロットの方が横軸に平行であり、本論提案式より、計算精度は高いものと思われる。

#### 5. まとめ

ふさぎ板の有無および板厚を実験変数とする高強度コンクリート柱 RC 梁 S 接合部の実験を行った結果、以下のことがわかった。

- (1) ふさぎ板の無い試験体 No.13 は、柱梁接合部がせん断破壊し、最大耐力後の耐力低下が大きくなった。これに対して、ふさぎ板を設けた試験体 No.11 および

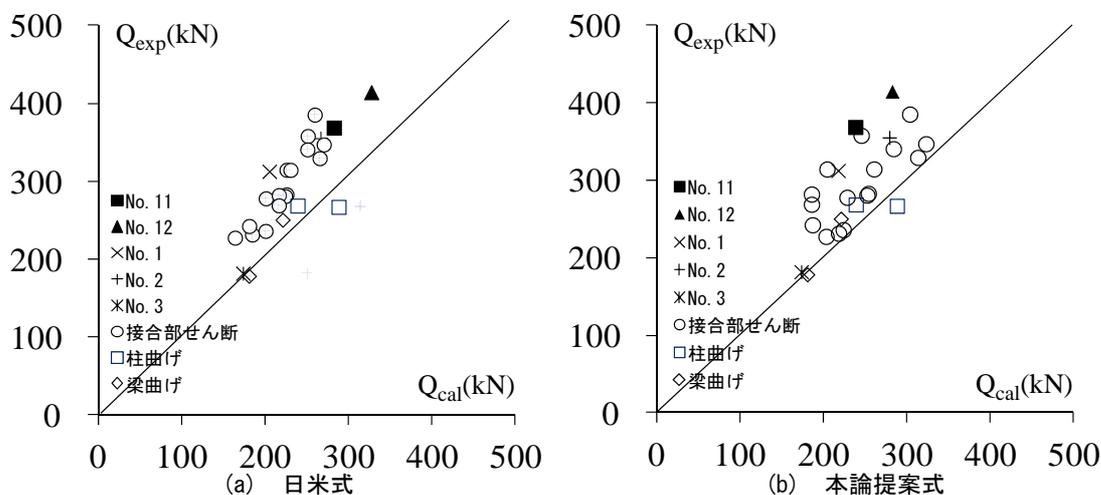


図-6 柱梁接合部の最大耐力実験値と終局耐力計算値の比較

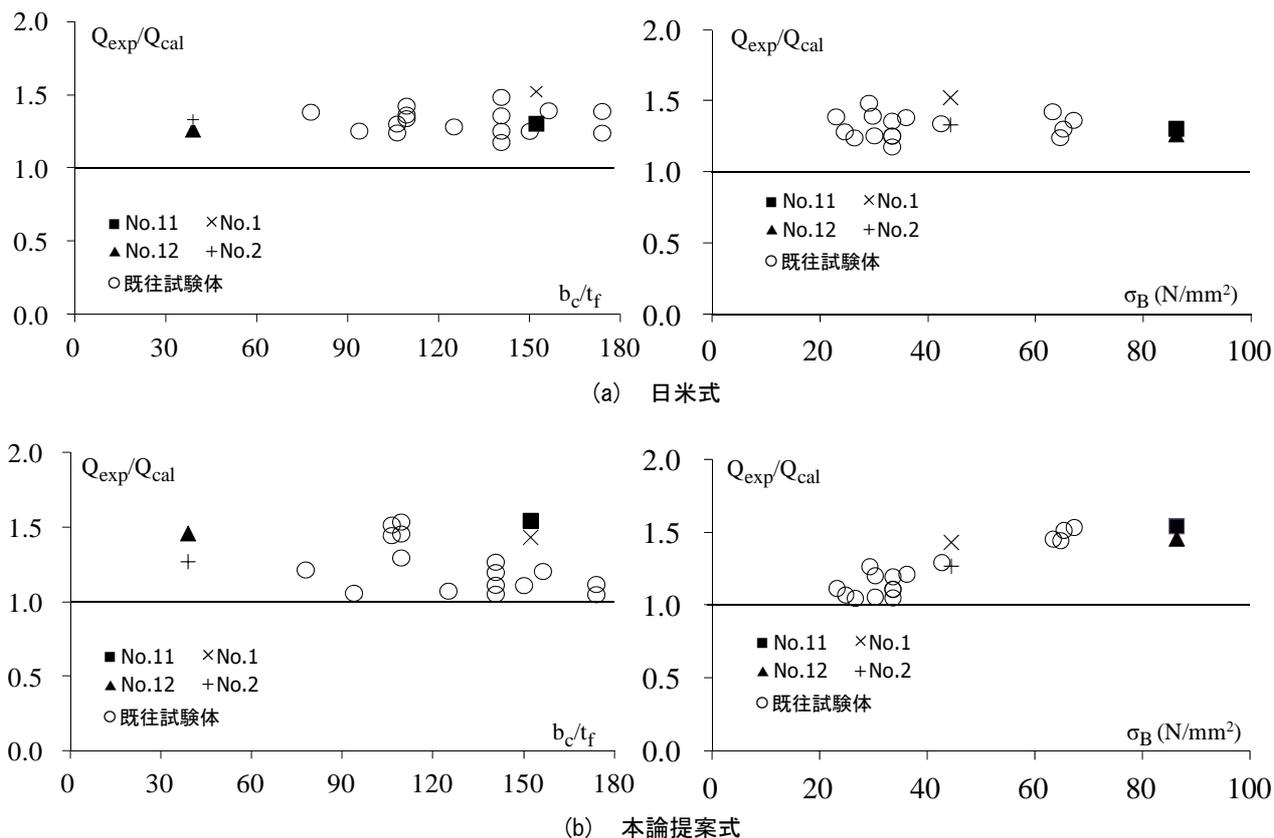


図-7  $Q_{exp}/Q_{cal}$  と  $b_c/t_f$  および  $\sigma_B$  の関係

No.12 は、柱梁接合部のせん断破壊は軽減され、最大耐力の増大および耐力低下の改善がみられた。この傾向は、ふさぎ板の板厚が厚くなるほど顕著であった。

- (2) 柱梁接合部の終局せん断耐力を日米式および本論提案式を用いて計算し、実験値と比較した結果、ふさぎ板の  $b_c/t_f$  ( $b_c$ : 柱幅,  $t_f$ : ふさぎ板の板厚) は 38.9~173.9 の範囲、コンクリートの圧縮強度  $\sigma_B$  は 23.0~86.2 N/mm<sup>2</sup> の範囲において、実験値を安全側に評価できることがわかった。

## 6. 謝辞

実験に際しては、村田京左、森木俊博の両氏ほか大阪工業大学学生(当時)のご協力を得た。ここに記して謝意を表す。

## 7. 参考文献

- 1) 建設省建築研究所: ハイブリッド構造に関する日米共同研究報告書, pp.(3.2-)18-21, 1998.8
- 2) 日本建築学会: 鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説—許容応力度設計と保有水平耐力—, p.38-39, 2014.1
- 3) 宮内靖昌, 西村泰志ほか: ふさぎ板を有する柱 RC 梁 S 接合部の構造性能に関する研究 (その 1) (その 2),

日本建築学会大会, 構造 C-1, pp.1337-1340, 2015.9

- 4) 志村知香, 吉田幹人, 西村泰志: 柱 RC 梁 S 構造柱梁接合部のせん断耐力に関する実験的研究, 日本建築学会大会, 構造 C-1, pp.1115-1118, 2009.8
- 5) 坂口昇: 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, pp.69-78, 1991.10
- 6) 吉松賢二, 坂尾恵司, 濱田真, 河口俊郎: 高強度コンクリートを用いた柱 RC 梁 S 混合構造の接合部に関する実験的研究 (その 2: 梁貫通ふさぎ板形式接合部), 日本建築学会大会, 構造 C-1, pp.1053-1054, 1996.9
- 7) 崎浜博史, 西原寛, 宮野洋一: 柱 RC 梁 S で構成される架構の実験的研究 (その 8: ふさぎ板の耐力負担割合を大きくした柱梁接合部の実験), 日本建築学会大会, 構造 C-1, pp.1235-1236, 1998.9
- 8) 秦雅史, 安倍勇, 早川邦夫ほか: 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, 構造 C-1, pp.1615-1616, 1991.9
- 9) 中江晃彦, 早川邦夫, 細矢博ほか: 柱 RC 梁 S から成る構造物の部分架構実験 (その 5), 日本建築学会大会, 構造 C-1, pp.1663-1664, 1994.9
- 10) 堀伸輔, 五十嵐直人, 荒金直樹, 足立将人: 柱 RC 梁 S 混合架構の性能 (その 1: 十字形接合部実験の概要), 日本建築学会大会, 構造 C-1, pp.1109-1110, 2009.8