

# 梁偏心・梁段差を有する柱 RC 梁 S 混合構造の柱梁接合部の構造性能

## Strength and Behavior of RC Column - Steel Beam Joints with Beam Eccentricity or Beam Step

片岡 隆広\*1      原田 雅俊\*1      藤井 睦\*1  
 Takahiro Kataoka      Masatoshi Harada      Atsushi Fujii  
 伊藤 卓\*2      西内 晃二\*2  
 Suguru Ito      Koji Nishiuchi

### 要旨

柱 RC 梁 S 混合構造は、鉄筋コンクリート柱と鉄骨梁とで構成される混合構造である。当社では、2008 年に（一財）日本建築総合試験所の建築技術性能証明を取得し、中層大型倉庫を中心に適用実績を積み重ねてきた。今回、①梁偏心と②梁せいを超える梁段差の 2 点を許容する設計法の構築を目指し、十字形柱梁接合部の構造実験を実施した。本報告では、その実験概要および実験結果について報告する。

キーワード：柱 RC 梁 S 混合構造 柱梁接合部 梁偏心 梁段差 せん断耐力

### 1. はじめに

柱 RC 梁 S 混合構造は、鉄筋コンクリート柱（以下、RC 柱）と鉄骨梁（以下、S 梁）とで構成される混合構造である。当社は、柱梁接合部をふさぎ板で覆い、S 梁を柱梁接合部内に貫通させる梁貫通型の柱梁接合部構法（図 1）を開発し、2008 年に（一財）日本建築総合試験所の建築技術性能証明を取得し、中層大型倉庫を中心に適用実績を積み重ねてきた。今回、表 1 に示す適用範囲の拡張を目指し、十字形柱梁接合部の構造実験を実施した。本報告では、その実験概要および実験結果について報告する。

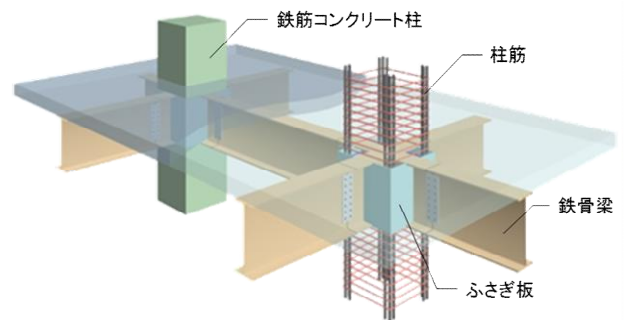


図 1 柱 RC 梁 S 混合構造

表 1 適用範囲の拡張項目

拡張項目	拡張前（現行）	拡張後
梁偏心	<p>梁心と柱心は同一（梁偏心を許容しない）</p>	<p>梁偏心を許容</p>
梁段差	<p>梁せり以下の段差を許容</p>	<p>梁せいを超える段差を許容</p>

## 2. 実験概要

### 2.1 試験体

表2に試験体概要、表3に試験体諸元、表4に使用材料一覧、図2に試験体形状図を示す。

試験体は、実大の約1/2~1/3縮尺の十字形柱梁接合部とし、総数5体を計画した。

主な変動要因は、想定する破壊モードと梁偏心の有無、梁段差の有無である。接合部せん断破壊型の試験体で梁偏心の無い基準試験体 No. 11 に対して、No. 13 は梁を偏心させた試験体である。また、支圧破壊型の試験体で梁偏心の無い基準試験体 No. 12 に対して、No. 14 は梁を偏心させた試験体である。そして、梁段差の無い基準試験体 No. 11 に対して、No. 15 は梁段差のある試験体とした。

RC 柱断面は  $c_b \times c_D = 400\text{mm} \times 360\text{mm}$ 、RC 柱の支点間距離は  $H = 2440\text{mm}$ 、S 梁断面は  $BH-300\text{mm} \times 80\text{mm}$ 、S 梁加力芯間距離は  $L = 3240\text{mm}$  であり、S 梁の板厚と材料強度およびコンクリート強度を変動させて、破壊モードをコントロールする計画とした。

表2 試験体概要

試験体名称	梁段差の有無	梁偏心の有無	想定破壊形式
No.11	なし	なし	接合部せん断破壊
No.12			接合部支圧破壊
No.13		あり	接合部せん断破壊
No.14			接合部支圧破壊
No.15	あり	なし	梁降伏

表3 試験体諸元

試験体名称	柱			梁					梁柱幅比 $b_b/c_b$	梁柱せい比 $b_D/c_D$	ふさぎ板	
	主筋	補強筋	コンクリート 目標圧縮強度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	断面 (mm)	ウェブ 鋼種	フランジ 鋼種	段差率 $d/b_D$	偏心率 $e/c_b$			板厚 (mm)	鋼種
No.11	12-D19 SD390 pg=2.38%	2-D10@50 (SD295A) pw=0.71%	42	BH-298×80×6×25	SS400	SM490	-	0.00	0.20	0.833	3.2	SS400
No.12			24	BH-300×80×16×25	SS400	SS400		0.00				
No.13			42	BH-298×80×6×25	SS400	SM490		0.25				
No.14			24	BH-300×80×16×25	SS400	SS400		0.25				
No.15			42	BH-298×80×6×25	SS400	SM490		1.80				

注) RC柱支点間距離:  $H=2440\text{mm}$ , S梁加力芯間距離:  $L=3240\text{mm}$ , 柱寸法:  $c_b \times c_D=400\text{mm} \times 360\text{mm}$ , 柱軸力:  $N=0.15 \times \sigma_B \cdot c_b \cdot c_D$   
 $e$ : 偏心量,  $d$ : 段差量(左右梁の軸心のずれ量),  $b_b$ : 梁幅,  $b_D$ : 梁せい,  $c_b$ : 柱幅,  $c_D$ : 柱せい

表4 使用材料一覧

試験体名称	コンクリート				鉄筋							
	柱				柱主筋				柱補強筋			
	$\sigma_B$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	$\epsilon_{cu}$ ( $\times 10^{-3}$ )	$E_C$ ( $\text{kN}/\text{mm}^2$ )	$c \cdot \sigma_t$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	径 鋼種	$m \cdot \sigma_y$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	$m \cdot \sigma_u$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	伸び (%)	径 鋼種	$\sigma_{wy}$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	$\sigma_{wu}$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	伸び (%)
No.11	47.3	2.44	31.7	2.75	D-19 SD390	404	664	16.8	D-10 SD295A	371	528	17.2
No.12	25.5	1.78	26.4	2.10								
No.13	48.0	2.49	32.0	3.07								
No.14	26.1	1.73	27.3	2.10								
No.15	49.1	2.52	32.8	3.09								

試験体名称	鋼板														
	ふさぎ板, 補強ウェブプレート(No.15)						ウェブ			フランジ					
	公称厚	鋼種	$f \cdot \sigma_y$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	$f \cdot \sigma_u$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	$f \cdot \epsilon_y$ ( $\times 10^{-3}$ )	公称厚	鋼種	$w \cdot \sigma_y$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	$w \cdot \sigma_u$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	$w \cdot \epsilon_y$ ( $\times 10^{-3}$ )	公称厚	鋼種	$f \cdot \sigma_y$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	$f \cdot \sigma_u$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	$f \cdot \epsilon_y$ ( $\times 10^{-3}$ )
No.11	PL-3.2	SS400	314	463	1.65	PL-6	SS400	309	439	1.50	PL-25	SM490	381	551	1.82
No.12						PL-16		285	450	1.43		SS400	268	449	1.28
No.13						PL-6		309	439	1.50		SM490	381	551	1.82
No.14						PL-16		285	450	1.43		SS400	268	449	1.28
No.15						PL-6		287	433	1.45		SM490	361	529	1.76

試験体名称	鋼板									
	直交梁ウェブ					直交梁フランジ				
	公称厚	鋼種	$t_w \cdot \sigma_y$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	$t_w \cdot \sigma_u$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	$t_w \cdot \epsilon_y$ ( $\times 10^{-3}$ )	公称厚	鋼種	$t_f \cdot \sigma_y$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	$t_f \cdot \sigma_u$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	$t_f \cdot \epsilon_y$ ( $\times 10^{-3}$ )
No.11	PL-6	SM490	397	544	2.01	PL-12	SM490	375	536	1.83
No.12								372	538	1.90
No.13										
No.14										
No.15										

・表中の試験値は、各試験の平均値。

- $\sigma_B$ : 圧縮強度
- $\epsilon_{cu}$ : 圧縮強度時ひずみ度
- $E_C$ : 弾性率
- $c \cdot \sigma_t$ : 割裂強度
- $m \cdot \sigma_y$ : 降伏応力度
- $m \cdot \sigma_u$ : 引張強度
- $w \cdot \epsilon_y$ : 降伏時ひずみ度

梁偏心・梁段差を有する柱 RC 梁 S 混合構造の柱梁接合部の構造性能

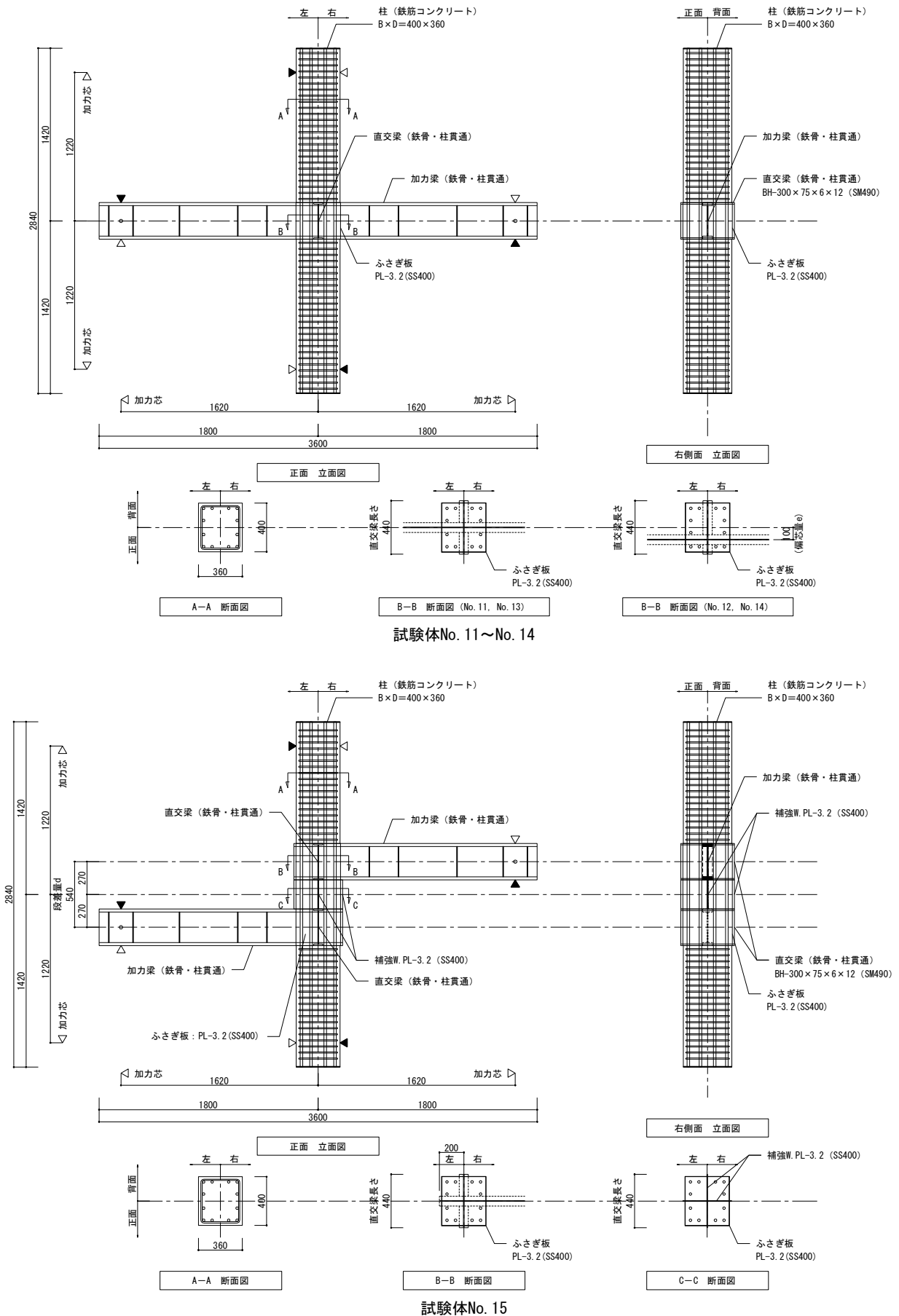


図2 試験体形状図

## 2.2 実験方法

写真1に荷重装置を示す。

上下端がピン支持されたRC柱に一定軸力を加えた状態で、S梁の加力点の変位量が逆対称になるように制御し、加力した。柱軸力は、軸力比  $N/(\sigma_B \times c_b \times c_d) = 0.15$  とした。ここで、 $\sigma_B$  は各試験体実験時の柱コンクリートの実圧縮強度である。

荷重は正負交番繰り返し荷重とし、層間変形角  $R = 5/1000, 10/1000, 20/1000, 30/1000, 40/1000, 50/1000$  rad. を各2サイクルずつ荷重した後、押し切り荷重とした。

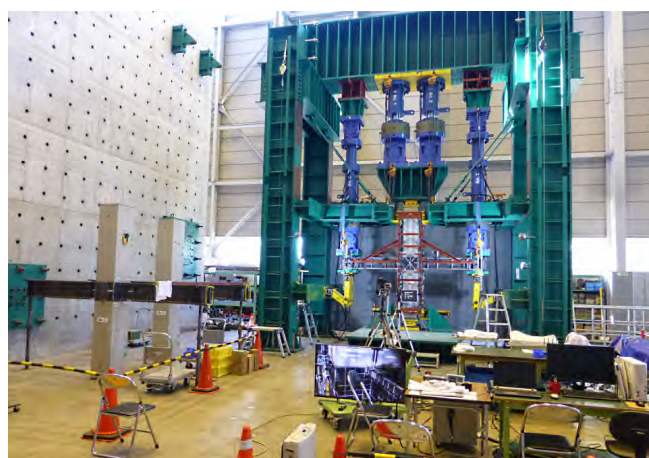
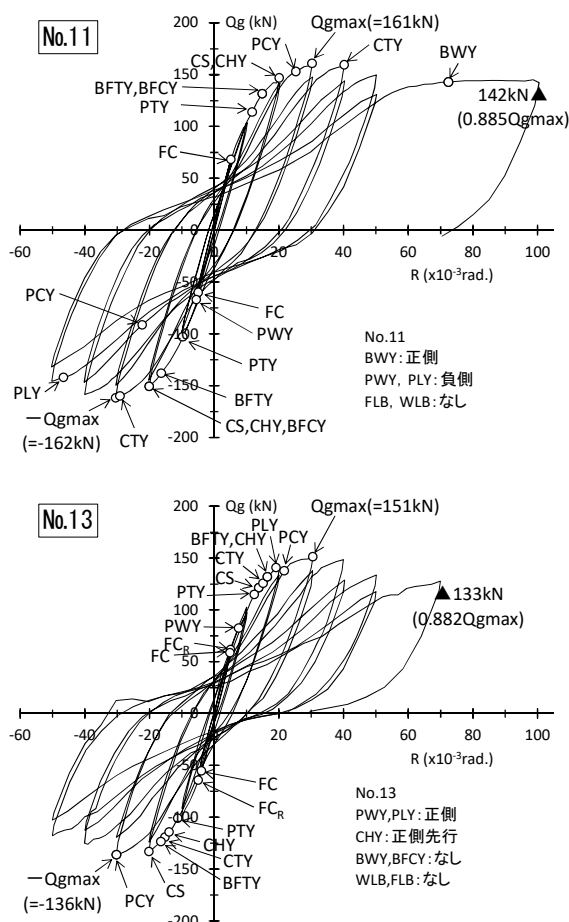


写真1 荷重装置

せた No. 14 は、梁偏心のない No. 12 と比較して、耐力低下が確認された。No. 12 および No. 14 とも、梁フランジによって支圧される柱の圧縮域において、かぶりコンクリート



【凡例】

柱梁接合部		柱	梁
PTY	フランジ引張降伏	FC	曲げひび割れ
PCY	フランジ圧縮降伏	FC <sub>R</sub>	曲げひび割れ (背面側)
PLY	ふさぎ板せん断降伏	CS	コンクリート圧壊
PWY	ウェブせん断降伏	CTY	主筋引張降伏
		CHY	HOOP筋引張降伏
		BFTY	フランジ引張降伏
		BFCY	フランジ圧縮降伏
		BWY	ウェブせん断降伏
		WLB	ウェブ局部座屈

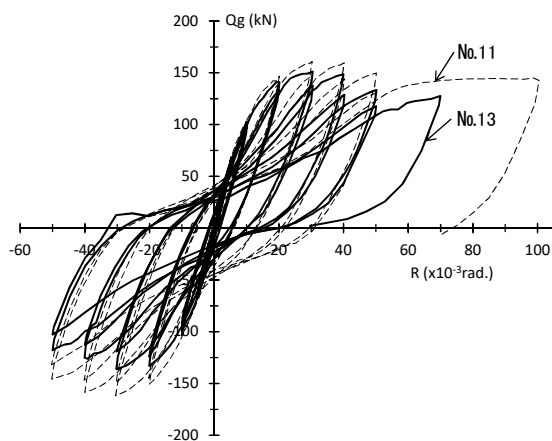


図3 Qg-R 関係 (接合部せん断破壊型)

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 破壊経過と荷重変形関係

#### 3.1.1 接合部せん断破壊型試験体 (No. 11・No. 13)

図3に接合部せん断破壊を想定した試験体 (No. 11・No. 13) の  $Q_g-R$  関係を示す。ここで、 $Q_g$  は梁のせん断力、 $R$  は層間変形角を示す。

No. 11 および No. 13 は、破壊経過と  $Q_g-R$  関係の履歴性状より、想定通り接合部せん断破壊したと判断した。梁偏心させた No. 13 は、梁偏心のない No. 11 と比較して、耐力低下が確認された。No. 11 および No. 13 とも、接合部内の梁ウェブは  $R=1/100$  rad. 程度でせん断降伏した。また、No. 13 のふさぎ板に関して、加力梁に近い正面側はせん断降伏したのに対し、加力梁から遠い背面側はせん断降伏に至らず、正面と背面で異なるひずみ性状を示した。

#### 3.1.2 接合部支圧破壊型試験体 (No. 12・No. 14)

図4に接合部支圧破壊を想定した試験体 (No. 12・No. 14) の  $Q_g-R$  関係を示す。

No. 12 および No. 14 は、破壊経過と  $Q_g-R$  関係の履歴性状より、想定通り接合部支圧破壊したと判断した。梁偏心さ

の圧壊が先行し、その後、接合部内の板材（ウェブ、フランジおよびふさぎ板）が降伏した。そして、コンクリートの圧壊が顕著になることで耐力が頭打ちとなった。

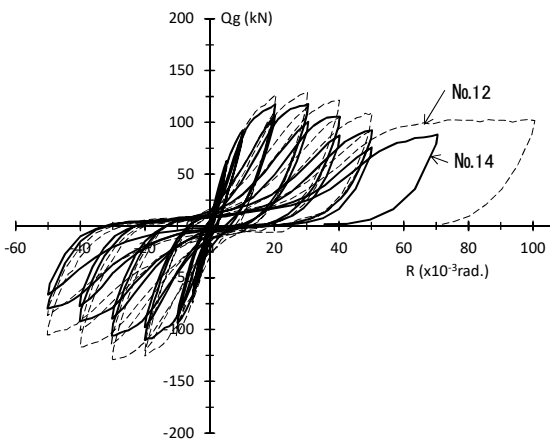
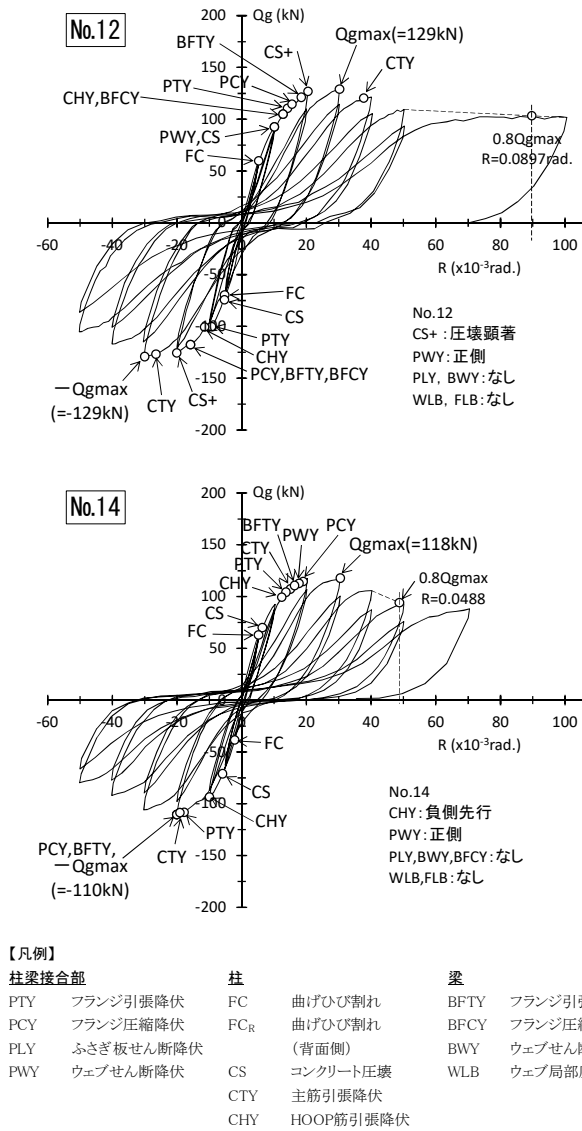
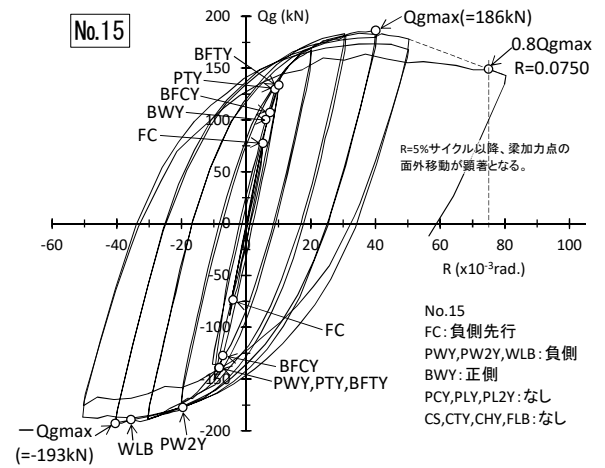


図4 Qg-R 関係 (接合部支圧破壊型)

### 3.1.3 梁段差試験体 (No. 15)

図5に梁段差試験体 (No. 15) の Qg-R 関係を示す。No. 15 は、十字形柱梁接合部として終局せん断耐力を評価した場合はせん断破壊し、ト字形柱梁接合部として終局せん断耐力を評価した場合は梁が曲げ降伏する試験体であった。図5より、明かな梁曲げ降伏型の履歴性状を示していることから、ト字形柱梁接合部として終局せん断耐力を評価することが適切であることが明らかになった。



**【凡例】**

柱梁接合部		柱	梁
PTY	フランジ引張降伏	FC	曲げひび割れ
PCY	フランジ圧縮降伏	CS	コンクリート圧壊
PLY	ふさぎ板パネル1せん断降伏	CTY	主筋引張降伏
PL2Y	ふさぎ板パネル2せん断降伏	CHY	HOOP筋引張降伏
PWY	ウェブせん断降伏		
PW2Y	補強WPLせん断降伏		
		BFTY	フランジ引張降伏
		BFCY	フランジ圧縮降伏
		BWY	ウェブせん断降伏
		WLB	ウェブ局部座屈

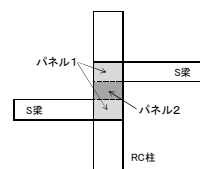


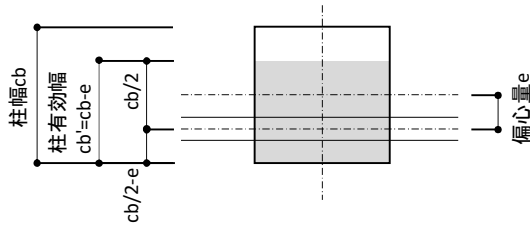
図5 Qg-R 関係 (梁段差試験体)

### 3.2 接合部の終局せん断耐力

3.1.1 項では、梁偏心によって接合部の最大耐力 (終局せん断耐力) が低下することを示した。ここでは、その耐力評価に関して検討する。

図6に柱の有効幅の考え方、表5にせん断破壊型試験体の最大耐力実験値と計算値の比較を示す。

図6に示す考え方で柱幅を評価し、cb を cb'に読み替えることで、表5に示すように、計算値は実験値を安全側に評価することができる。



柱の有効体積  $cV_e$  の算定に用いる柱幅  $cb$  を、  
下式の通り、柱の有効幅  $cb'=cb-e$  に読み替える。

$$cV_e = \frac{cb}{2} \cdot s_B d \cdot m_C d \quad \Rightarrow \quad cV_e = \frac{cb-e}{2} \cdot s_B d \cdot m_C d$$

$s_B d$ : 梁のフランジ芯間距離,  $m_C d$ : 最外柱主筋間距離

図 6 柱の有効幅の考え方

表 5 最大耐力実験値と計算値の比較

	実験値	計算値	実験値/計算値
No. 11	161	126	1.28
No. 13	151	111	1.36

単位: kN

※実験値および計算値は  $Q_g$  の数値を表記

※計算値は参考文献1)を参考に算定

### 3.3 梁段差の剛域評価

図 7 に剛域の考え方、図 8 に実験値と図 7 による計算値の比較を示す。

図 7 に示すように梁心間を剛としてモデル化した計算値と実験値の初期剛性を比較することにした。図 8 より、図 7 のようにモデル化することで、段差のある No. 15 を、段差のない No. 11 と同等に扱うことができる（剛性をおおむね評価できる）と考えられる。柱梁接合部の終局せん断耐力の検討は、前述の通り、ト字形柱梁接合部として検討する必要があるが、架構の応力解析においては、図 7 のような剛域を設定し、十字形柱梁接合部としてモデル化することができると考えられる。

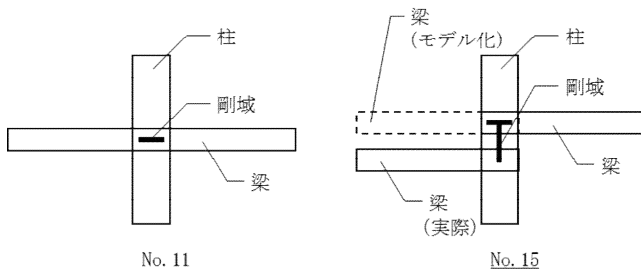


図 7 剛域の考え方

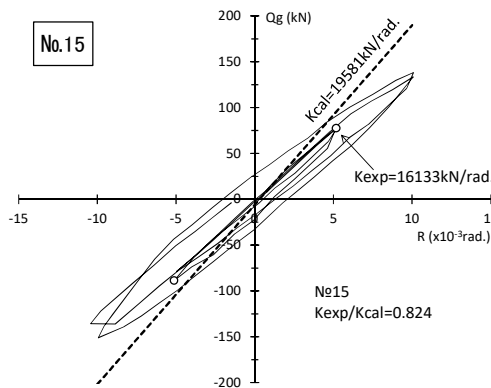
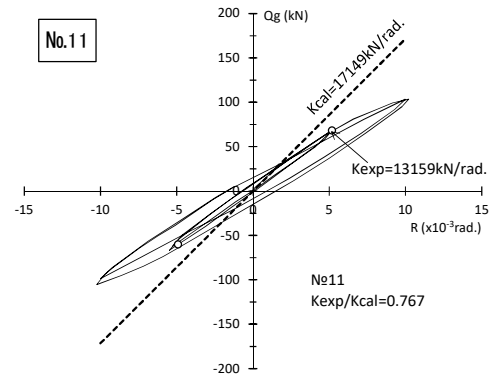


図 8 実験値と図 7 による計算値の比較（剛性評価）

## 4. まとめ

梁偏心および梁段差を有する柱 RC 梁 S 混合構造に関して、十字形柱梁接合部の構造実験を実施した結果、以下の知見が得られた。

- (1) 柱の有効幅の考え方を適用することで、接合部終局せん断耐力に与える梁偏心の影響を適切に評価することができる。
- (2) 梁段差を有する場合、柱梁接合部の終局せん断耐力はト字形柱梁接合部として評価することができる。また、架構の応力解析においては、剛域を適切に設定することで、十字形柱梁接合部としてモデル化することができる。

### 参考文献

- 1) 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、pp. 38-52、2001. 1
- 2) 柱 RC 梁 S 混合構造構造設計指針（案）の作成に向けて、2017 年度日本建築学会大会（中国）構造部門（SCCS）パネルディスカッション資料、2017. 8