

論文 SRC 造内部柱梁接合部の剪断応力分担に関する考察

北野敦則*1・城 攻*2

要旨：柱梁接合部の応力伝達機構の解明を目的に、過去に筆者らが行ったSRC造内部柱梁接合部の実験時歪データを用いて、接合部構成要素の弾塑性応力分析を行った結果、鉄骨の剪断力負担構成要素を「接合部鉄骨ウェブ」、「枠効果」、「直交フランジ」の三つで概ね評価できることを明らかにした。接合部ウェブの負担剪断力はウェブ以外の要素形状の影響を受けず、SRC規準式で算出できるが、直交フランジは他の要素形状により負担剪断力が変化し、枠効果の負担剪断力に関しては、既往の算出法は過大評価していることが分かった。また現行のSRC規準式によるRC負担分は過小評価となり、算出法の再検討の必要性を示した。

キーワード：鉄骨鉄筋コンクリート造、柱梁接合部、剪断耐力、弾塑性応力分析、負担剪断力

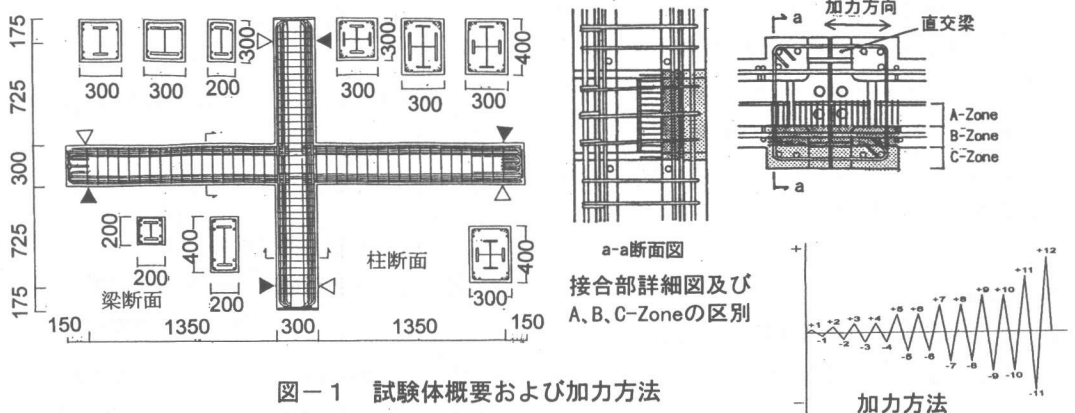
1. はじめに

近年、鋼とコンクリートによる新しい構造形式が提案されているが、柱梁接合部において、例えば柱RC梁S構造のように柱梁接合部が鉄骨と鉄筋コンクリートで構成される合成構造の設計法は、日本建築学会のSRC規準式¹⁾を用いることが多いのが現状である。しかし、筆者らは過去にSRC造内部柱梁接合部の実験的研究を行い、終局剪断耐力に関し現行のSRC規準式の不適性を指摘し、修正式の提案を行った³⁾。更に、合成構造柱梁接合部に関する実験データベースを作成して、柱梁接合部構成要素の剪断耐力に与える影響について検討してきた²⁾。

本論文では、柱梁接合部の応力伝達機構の解明を目的に、過去に筆者らが行ったSRC造内部柱梁接合部の実験データ³⁾を用いて、柱梁接合部の構成要素の剪断応力分担に関し検討を行った。

2. 検討方法

本研究では、SRC造の内部鉄骨の剪断力負担要素を、「柱梁接合部ウェブ」、柱梁鉄骨フランジによる「枠効果」、柱鉄骨がH形鋼を組み合わせたH形の場合に加力方向に並行に存在する「直交フランジ」の三つによるものと仮定し、各要素が負担している剪断力を、歪ゲージ実測値を用いて弾塑性応力歪分析により算出した。



*1 北海道大学助手 大学院工学研究科社会基盤工学専攻 工修 (正会員)

*2 北海道大学教授 大学院工学研究科社会基盤工学専攻 工博 (正会員)

表一 試験体諸元(※実験変数は試験体記号とその凡例で判読可能)

試験体	柱		梁		接合部			σ_B (MPa)	内部鉄骨 試験体	鋼材降伏点強度 σ_y (MPa)		
	b×D (mm)	鉄骨	b×D (mm)	鉄骨	pw (%)	鉄骨				PL-16	PL-9	PL-4.5
		加力		直交		加力	直交					
SRC-1-BW	300×300	① ③	200×300	①	0.19	① ③	31.6	S-1-BW	368	321	341	
SRC-1-BWH	300×300	① ③	200×300	①	0.19	① ③	52.8	S-1-BW	368	321	341	
SRC-1-W	300×300	① ③	200×300	①	0.19	① ③	34.4	S-1-BW	361	303	353	
SRC-1	300×300	① ③	200×300	①	0.19	① ③注)	36.7	S-1-BW	361	303	353	
SRC-2-BW	300×300	① ③	200×200	⑤	0.19	① ③	31.5	S-2-BW	368	321	341	
SRC-3-BW	300×300	① ③	200×400	⑥	0.19	① ③	31.0	S-3-BW	368	321	341	
SRC-4-W	400×300	② ④	300×300	②	0.14	② ④	38.6	S-4-W	361	303	353	
SRC-5-W	400×300	① ④	300×300	①	0.14	① ④	39.0	S-5-W	361	303	353	
SRC-6-W	400×300	① ③	200×300	①	0.14	① ③	35.8	S-1-BW	361	303	353	

備考)

試験体記号

SRC: 鉄骨鉄筋コンクリート

S: 純鉄骨

B: 直交梁付き

W: 直交ウェブあり

H: 高強度コンクリート

1: 基準試験体

2: 梁柱せい比2/3

3: 梁柱せい比4/3

4: A-zone幅2倍

5: B-zone幅2倍

6: C-zone幅2倍

使用鉄骨断面

① H-200×100×4.5×16

② H-200×200×4.5×16

③ H-200×100×4.5×9

④ H-300×100×4.5×9

⑤ H-130×100×4.5×16

⑥ H-270×100×4.5×16

注) ウェブ無し

凡例

b: 柱(梁)幅

D: 柱(梁)せい

pw: 剪断補強筋比

σ_B : コンクリート強度

σ_y : 鋼材降伏強度

2. 1 分析に用いた試験体概要³⁾

図一に試験体及び加力方法の概要を、表一に試験体諸元表³⁾を示す。試験体は平面十字形で実大の約1/2縮尺模型で、変位漸増正負繰返し加力を行った。SRC試験体は全て接合部剪断破壊した。また、SRC試験体の内部鉄骨と同型の純鉄骨試験体についても加力実験を行い、加力は接合部剪断変形角がSRC試験体のそれと同じになるよう繰返し加力を行った。表一に材料強度を併せて示す。

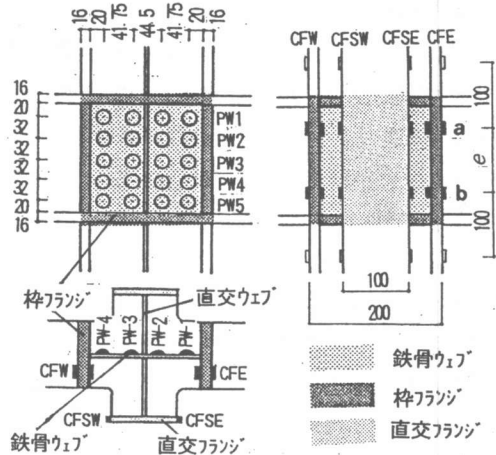
2. 2 分析方法

分析に用いた鉄骨部歪ゲージ³⁾の貼付位置を図一に示す。柱梁接合部鉄骨ウェブには直角型3軸ゲージを用いているので、有限要素解析により主歪度を求め後、von Misesの降伏条件を用いて主応力度を算出し剪断力に換算した。枠効果および直交フランジは歪ゲージより鋼板の曲率 ϕ を求め、bi-liner型のM- ϕ 曲線モデルよりモーメントを算出し、剪断力に変換した。

3. 考察

3. 1 純鉄骨試験体を用いた分析値の検証

純鉄骨試験体は接合部剪断力が計測されているので、この実測値と歪ゲージにより算出した三つの剪断力負担要素の分析値剪断力の合計値



剪断力分析値の算出法

$$r Q_j = \frac{(CFW M_a + CFW M_b + CFE M_a + CFE M_b)}{e}$$

$$f Q_j = 2 \cdot \left\{ \frac{(CFS M_a + CFS M_b)}{e} \right\}$$

$$w Q_j = \frac{A_w}{\kappa} \tau, \quad \text{ここで } \tau = (\sigma_1 - \sigma_2) \sin \theta \cos \theta$$

$$Q_j = r Q_j + f Q_j + w Q_j$$

CFM_Δ : CF□の歪みゲージで求めた Δ の位置のモーメント

κ : 形状係数 σ_1, σ_2 : 主応力度

その他の記号は後記の式記号と同じ

図一 接合部鉄骨部歪ゲージ位置

及び剪断力算出法

を比較して図一に示す。グラフは全て第1サイクル目のピーク時を結んだものであり、縦軸は接合部剪断力(Qj)、横軸は接合部剪断変形角(γ)であ

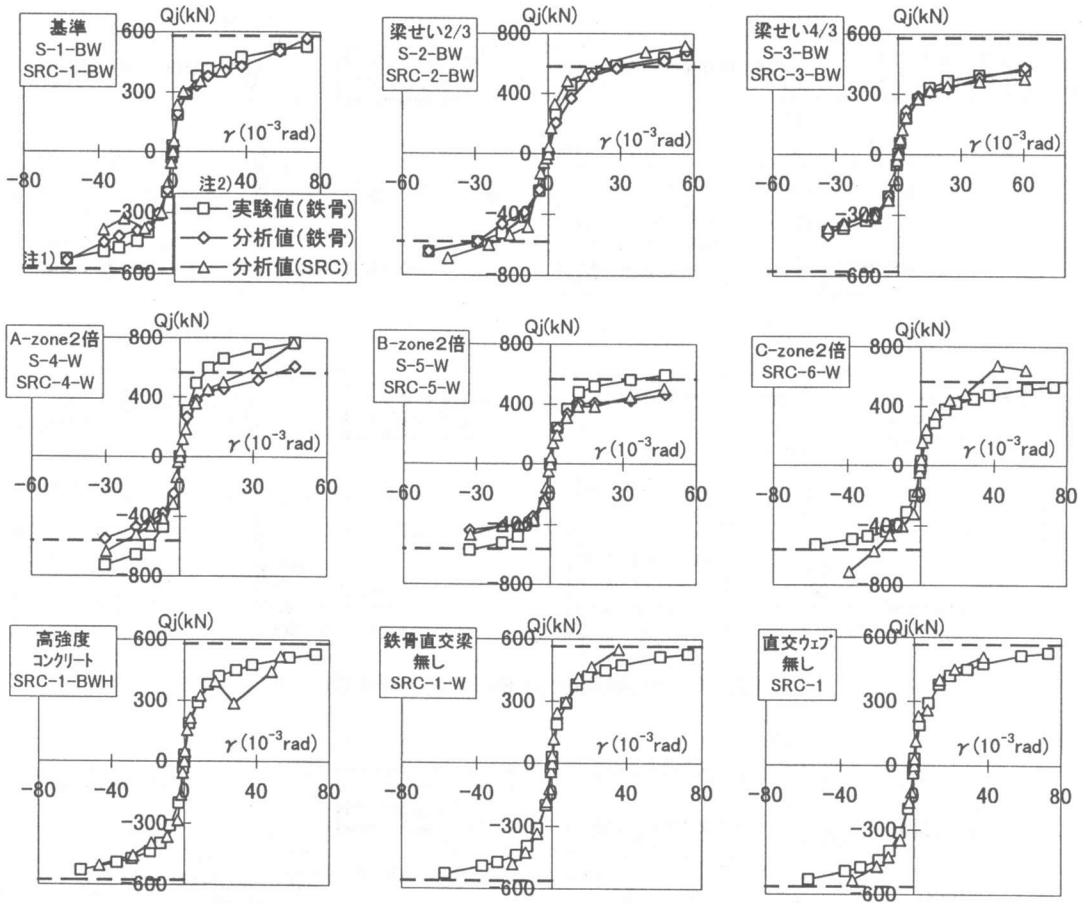


図-3 接合部鉄骨剪断力の比較

注1) 図中の破線は終局時計算値(2式)
注2) 凡例はすべてのグラフに共通

る。 γ は接合部対角線長さの変化量より算出した。基準試験体のS-1-BW、梁柱せい比を実験変数としたS-2-BWとS-3-BWは、分析値と実験値の推移がほぼ一致しており、鉄骨の剪断力負担要素をこの三つで評価できると考えられる。しかし、直交ウェブ幅が広いS-4-WとS-5-Wについては分析値が実験値の約8割程度であり、直交ウェブの影響について今後さらに検討が必要である。SRC-2-BW、SRC-3-BWとSRC-4-W以外の試験体は概ねSRC規準による計算値との対応がよい。

3.2 接合部構成要素の影響

a) 接合部鉄骨ウェブの負担剪断力

図-4に実験変数別の接合部鉄骨ウェブ負担剪断力の推移を示す。図中に示した計算値は後記の式(2)による。ほぼ全試験体において分析値は

計算値を若干上回る値を示している。SRC-2-BW以外の試験体はほぼ同様な推移をしている。SRC-2-BWは、大変形になるにつれて鉄骨ウェブパネルの負担剪断力が低下するが、純鉄骨試験体のS-2-BW試験体は大変形時においても接合部鉄骨ウェブの負担剪断力は維持されている。SRC全試験体についても若干ではあるが、大変形時にウェブパネルの負担剪断力が減少する傾向にある。これは、ウェブパネルに近いコンクリートが柱梁鉄骨フランジにより拘束されることにより大変形時においても耐力低下せず、鉄骨ウェブの剪断力が低減されるのではないかとと思われるが、今後さらに検討が必要である。

b) 柱梁フランジによる枠効果の負担剪断力

図-5に柱梁鉄骨フランジの枠効果負担剪断力の比較を示す。図中の計算値は後記の式(3)に

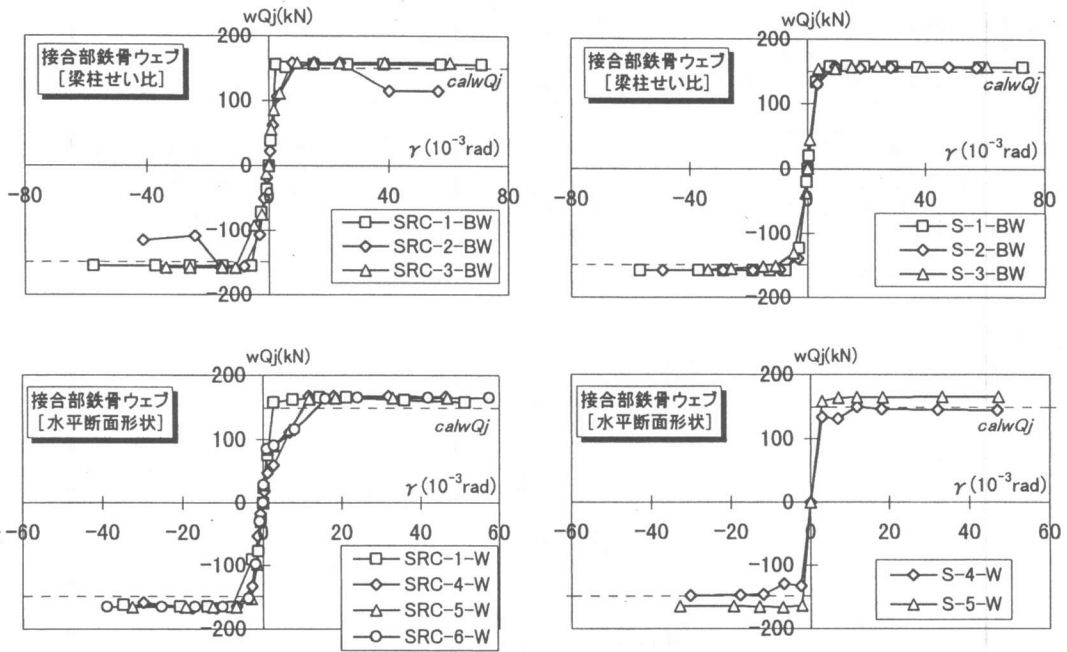


図-4 接合部鉄骨ウェブ負担剪断力分析値の比較

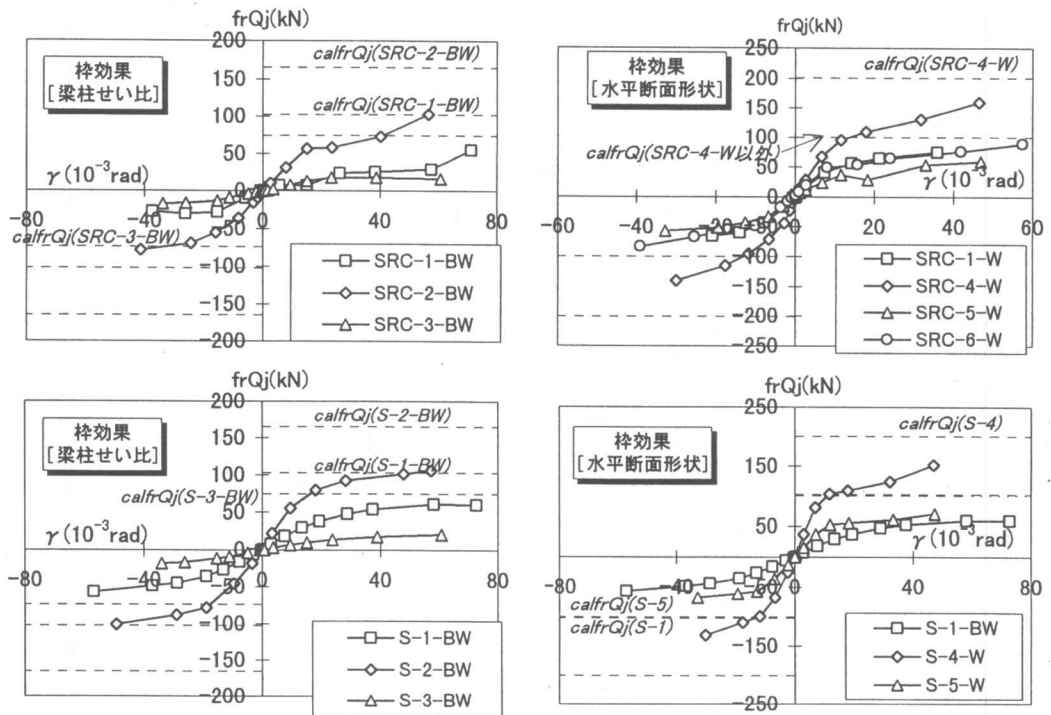


図-5 栓効果による負担剪断力の比較

よる。梁柱せい比の影響は、梁柱せい比の小さいほど栓効果の負担剪断力が大きいことがわかる。また、コンクリート強度や、直交方向ウェブの有無、

そして、C-zoneの影響は、明瞭には現れなかった。また、純鉄骨試験体について比較すると、SRC試験体と同様に梁柱せい比の小さい順に負

担剪断力が大きい。水平断面形状の影響は、A-zone幅が2倍の試験体は、SRC試験体と同様に基準鉄骨試験体に比べ倍以上の負担剪断力で推移している。しかし、B-zoneが2倍の試験体は基準試験体に比べ2割程度負担剪断力が大きく推移しているのに対し、SRC試験体(SRC-5-w)は、基準試験体よりも2割程度負担剪断力が小さく推移しており、純鉄骨試験体の場合と逆の傾向がみられる。また、SRC試験体において、枠効果の終局剪断耐力計算値に達した試験体はなく、梁柱せい比を変数としたシリーズは計算値の半分以下、水平断面形状を変数とした試験体は計算値の7,8割程度の剪断力しか負担していない。

c)直交フランジの負担剪断力

図-6に柱鉄骨直交フランジの負担剪断力の比較を示す。梁柱せい比の影響は梁柱せい比の小さい試験体SRC-2-BWが他の試験体の2倍近く剪断力を負担している。また若干ではあるが高強度コンクリートを用いたSRC-1-BWHは、大変形時において基準試験体よりも負担剪断力が大きい

傾向が見られる。計算値に対して、SRC-2-BWは約1.5倍の剪断力を負担しているが、その他の試験体は計算値の6,7割程度しか負担していない。次に水平断面形状を変数とした試験体は全ての試験体とも同様な推移を示したが、A-zoneが広いSRC-4-W、C-zoneが広いSRC-6-Wは計算値を上回る剪断力を負担している。逆に、B-zoneの広い試験体は他の試験体よりも負担剪断力が若干小さく推移している。これは純鉄骨試験体でも同様のことが言える。B-zoneの広い試験体は直交フランジが鉄骨梁位置から面外方向に大きく離れて接合部内梁フランジ面内剛性が小さいため、梁から入力される伝達剪断力が小さくなり他の試験体と比べ直交フランジの負担割合が小さくなっていると考えられる。

d)RC部分の負担剪断力

図-7にRC負担剪断力の比較を示す。ここでは、SRC試験体の実験値より鉄骨分析値を引くことにより、RC負担分を算出した。ただし、前述したように鉄骨分析値がA-zone、B-zoneの広い試験体は純鉄骨試験体の約8割しか評価で

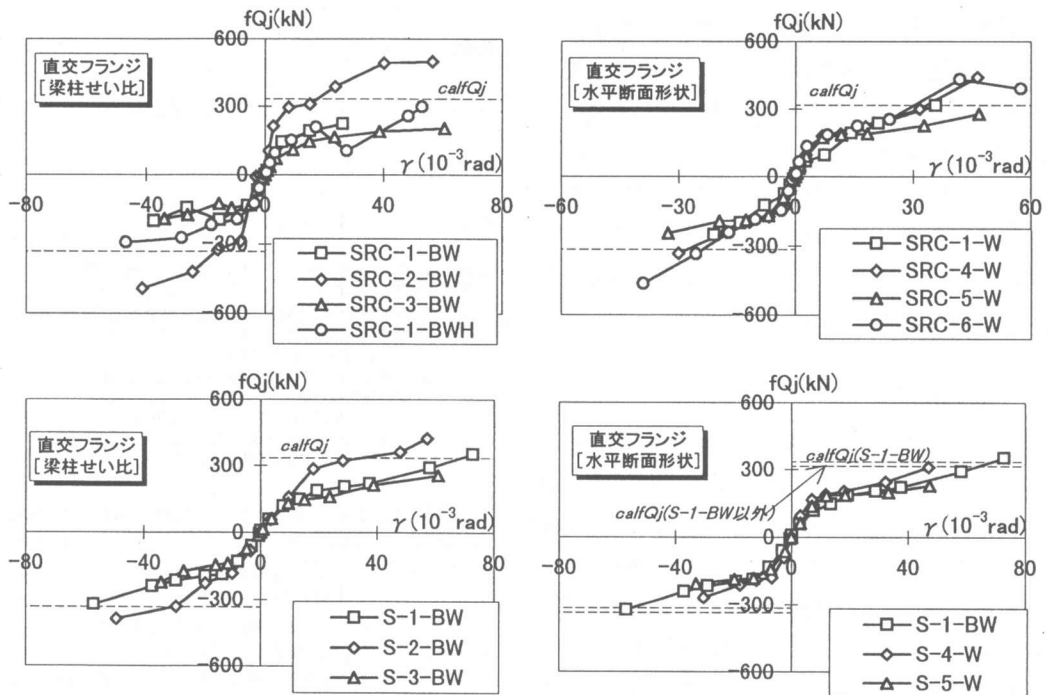


図-6 直交フランジによる負担剪断力の比較

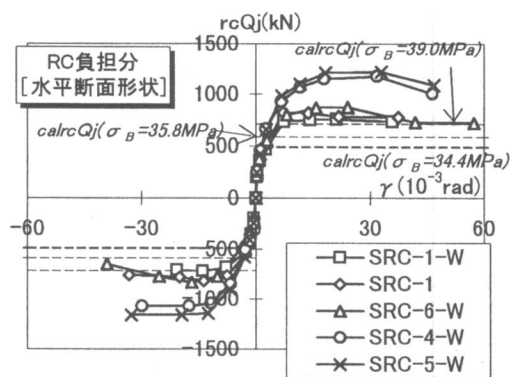
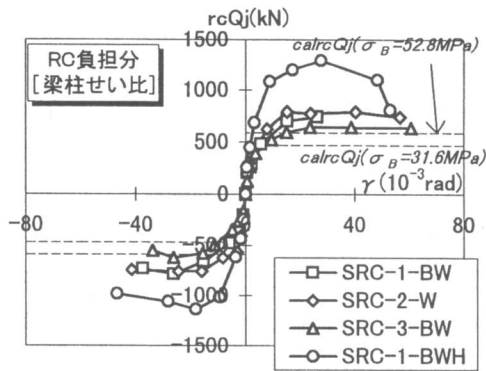


図-7 RC負担剪断力の比較

きないので、鉄骨分析値を0.8で除した値を鉄骨分析値とし、RC負担分を評価した。図中の計算値はSRC規準式のRC負担項[(5)式]で、全試験体とも計算値を上回っている。梁柱せい比の影響を見ると、梁柱せい比の小さい順にRC部の負担力が大きくなっている。高強度コンクリートを使用したSRC-1-BWHは最大耐力時に基準試験体の約1.7倍の値を示しており、コンクリート強度も約1.7倍であることから、一概には言えないがコンクリート強度30~60Mpaレベルでのコンクリート剪断強度はコンクリート強度と比例関係にあると思われる。水平断面形状については、直交ウェブの有無、C-zoneの影響は負担剪断力においてほとんど見られないが、C-zoneの広い試験体はRC部の耐力劣化が大きい傾向にある。また、A-zone、B-zoneの広い試験体は両者ともほぼ同じ様な推移をしているが、A-zoneの広い試験体の方が負担剪断力が大きく、鉄骨フランジによる拘束効果によるものだと考えられる。

4. まとめ

過去に筆者らが行ったSRC造内部柱梁接合部の実験結果を用いて、内部鉄骨の剪断力負担構成要素を三つに分け弾塑性応力分析を行った結果、以下のことが明らかにされた。SRC造内部柱梁接合部の剪断力分担が鉄骨部は鉄骨ウェブ、直交フランジ、枠効果の三つの構成要素によって概ね評価できる。接合部ウェブは他の構成要素の影響を受けずAIJ-SRC規準式で計算できる。

直交フランジは接合部ウェブと同等の評価式を用いたが、他の要素形状により負担剪断力が変化し、接合部ウェブと同等には計算できない。枠効果の負担剪断力に関しては、既往の算出法は過大評価している。RC負担剪断力に関しては、SRC規準式は過小に評価しており、今後さらにコンクリート剪断強度の評価法の検討が必要である。

【剪断力計算値】

SRC規準式柱梁接合部終局剪断耐力

$$rcQ_j = \left\{ cV_e \left(\int F_{s,j} \delta + w_p \sigma_y \right) + \frac{1.2 s_w V_s \sigma_y}{\sqrt{3}} \right\} / m_b d \quad (1)$$

$$cV_e = \frac{c \cdot b + b}{2} \cdot m_b d \cdot m_c d \quad s_w = \int t_w \cdot s_w d \cdot s_c d \quad F_s = \min(0.12 F_c, 18 + \frac{3.6 F_c}{100})$$

$$\text{鉄骨ウェブ} \quad wQ_j = \frac{s_w \sigma_y}{\sqrt{3}} \cdot A_w \quad (2)$$

$$\text{枠効果} \quad sQ_j = \left(\alpha \cdot b_r \cdot t_r^2 \cdot \sigma_y / 4 \right) / m_b d \quad \text{ここで } \alpha = 8 \quad (3)$$

$$\text{直交フランジ} \quad rQ_j = \frac{r \sigma_y}{\sqrt{3}} \cdot A_r \quad (4)$$

$$\text{RC部} \quad rcQ_j = cA \cdot \left(\int F_{s,j} \delta + w_p \sigma_y \right) \quad (5)$$

srcQ_j = SRC接合部剪断力 sQ_j = 鉄骨接合部剪断力
rcQ_j = RC接合部剪断力 δ = 形状係数(十字形=3)
wQ_j = 接合部鉄骨ウェブ剪断力 t_w = 接合部鉄骨ウェブ厚
sQ_j = 鉄骨枠効果剪断力 rQ_j = 直交フランジ剪断力
s_wσ_y = 接合部鉄骨ウェブ降伏応力度
b_r = 柱梁鉄骨フランジ幅 t_r = 柱梁鉄骨フランジ厚
s_rσ_y = 柱梁鉄骨フランジ降伏応力度
rσ_y = 直交フランジ降伏応力度 cA = RC部断面積
A_w = 接合部鉄骨ウェブ断面積 A_r = 直交フランジ断面積
その他の記号はSRC規準に準ずる

【参考文献】1) 日本建築学会、「鉄骨鉄筋コンクリート造計算規準・同解説」1987 2) 北野ほか、「SRC造および柱RC梁造柱梁接合部の終局剪断耐力に関する考察」、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.19、1997 3) 北野ほか、「SRC内部柱梁接合部の剪断抵抗性状に及ぼす接合部形状等の影響(その1、その2)」、日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)、1991、および、北野ほか、「SRC造内部柱梁接合部の剪断抵抗性状に及ぼす接合部水平断面形状の影響(その1、その2)」、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)、1993