

# 論文 鉄筋コンクリート造ト形柱梁接合部のせん断終局強度算定法に関する研究

北村 祐馬\*1・津田 和明\*2

**要旨:** 鉄筋コンクリート造ト形柱梁接合部のせん断終局強度は、せん断抵抗機構に基づいた理論的な算定法ではなく、実験結果の分析により導いた実験式が用いられることが多い。また、これら実験式の算定精度も明らかとなっていない。これは、ト形柱梁接合部のせん断破壊型の実験結果が少ないためである。そこで、筆者らが提案した十字形柱梁接合部のせん断終局強度算定法を準用し、ト形柱梁接合部の理論的なせん断終局強度算定法を検討した。この手法はまだ検討の余地はあるが、ト形柱梁接合部のせん断終局強度を理論的に算定できる可能性を示すことができた。

**キーワード:** ト形柱梁接合部, せん断終局強度, トラス理論, FEM 解析

## 1. はじめに

現在、鉄筋コンクリート造柱梁接合部のせん断終局強度は日本建築学会の「鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説」<sup>1)</sup>(以下、靱性指針式と称す)に示されている手法を用いて算定することが多い。しかし、これはせん断抵抗機構に基づいた理論的なものではなく、実験の分析により導いたせん断強度時平均せん断応力度に有効水平断面積を乗じて算定したものである。また、ト形柱梁接合部の場合、十字形柱梁接合部よりも一般的にせん断終局強度が小さいとされ、形状による低減係数が設けられている。しかし、この低減係数も理論的なものではない。そこで、せん断抵抗に基づいたト形柱梁接合部の理論的なせん断終局強度算定法を検討することにした。本研究は、塩原らの柱梁接合部の曲げ破壊型<sup>2)</sup>とは異なり、柱梁接合部のコンクリート圧縮ストラット破壊によるせん断破壊型を対象としている。本報では、現状の検討結果を報告する。

## 2. 既往のせん断終局強度算定法

### 2.1 靱性指針式

接合部のせん断終局強度算定法としてよく用いられているのは靱性指針式である。これを式(1)に示す。

$${}_j Q_u = 0.7 \cdot 0.85 (0.8 \sigma_B^{0.7}) b_j \cdot D_c \quad (1)$$

上式中の $\sigma_B$ はコンクリート圧縮強度(圧縮を正)、 $b_j$ は接合部有効幅、 $D_c$ は柱せいである。以下、式中の記号の単位は、SI単位系であり、力はN、距離はmmである。

### 2.2 寺岡式<sup>3)</sup>

ト形柱梁接合部のせん断終局強度算定式はさほど多くは提案されていない中で、寺岡は斜め圧縮ストラットは柱と梁の各断面応力中心間距離で構成される接合部パネ

ルの対角線方向に形成されると仮定し、多数の既往実験を整理、分析することにより、接合部せん断終局強度に与える各因子の影響を導き、接合部せん断終局強度を算定している。それを式(2)、(3)に示す。

$${}_j Q_u = \tau_u \cdot \ell_{do} \cdot \frac{b_b + b_c}{2} \quad (2)$$

$$\tau_u = 1.32 {}_b p_t^{0.66} \cdot 0.2853 \cdot \sigma_B^{0.46} \cdot \left( \frac{\ell_{dh}}{d_{bd}} \right)^{0.28} \cdot \alpha \quad (3)$$

$$+ 0.4 p_w \cdot \sigma_{wy} \quad \alpha = \frac{j_b + \ell_{do}}{\sqrt{j_b^2 + \ell_{do}^2}}$$

上式中の ${}_b p_t$ は梁の引張鉄筋比(%),  $\sigma_B$ はコンクリート圧縮強度(圧縮を正),  $j_b$ は梁断面応力中心間距離,  $\ell_{dh}$ は梁主筋の定着水平投影長さ,  $d_{bd}$ は梁主筋径,  $\ell_{do}$ は有効水平投影長さ,  $b_b$ は梁幅,  $b_c$ は柱幅,  $p_w$ は接合部せん断補強筋比,  $\sigma_{wy}$ は接合部せん断補強筋の降伏強度である。また、式(3)は工学単位系をSI単位系に変換したものである。

## 3. 検討手法

### 3.1 十字形の算定法の概要<sup>4)</sup>

十字形では、柱、梁の圧縮領域がそれぞれ接合部の圧縮領域と一致していることから、接合部の圧縮ストラットの幅、角度を定め、せん断終局強度を算定している。また、接合部中央領域で圧縮ストラット幅が大きくなる現象を反映させている。この時に、仮定した接合部せん断抵抗機構を図-1に、接合部の仮定応力度状態と柱、梁の仮定断面を図-2に示す。

### 3.2 ト形の算定法の概要

靱性指針式や寺岡式は計算精度の高い実験式ではあるが、接合部内部の抵抗機構を明示化したものではなく、

\*1 近畿大学 産業理工学部建築・デザイン学科 (学生会員)

\*2 近畿大学 産業理工学部建築・デザイン学科教授 博士(工学) (正会員)

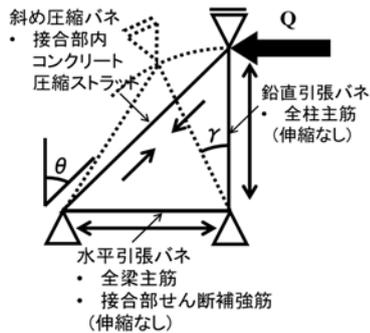


図-1 十字形接合部の  
仮定したトラス機構

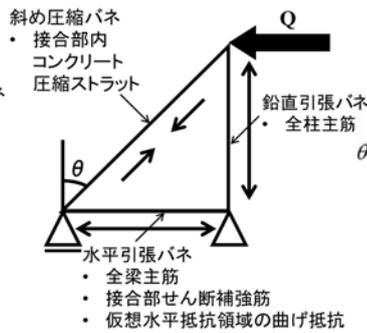


図-3 ト形接合部の  
仮定したトラス機構

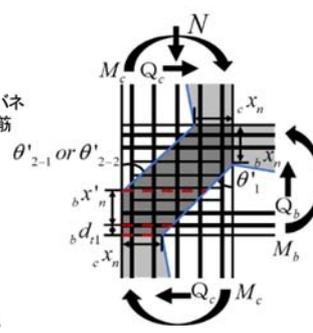


図-4 ト形接合部の  
仮定応力度状態

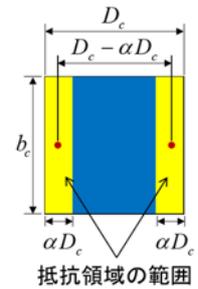


図-5 仮想水平  
抵抗領域

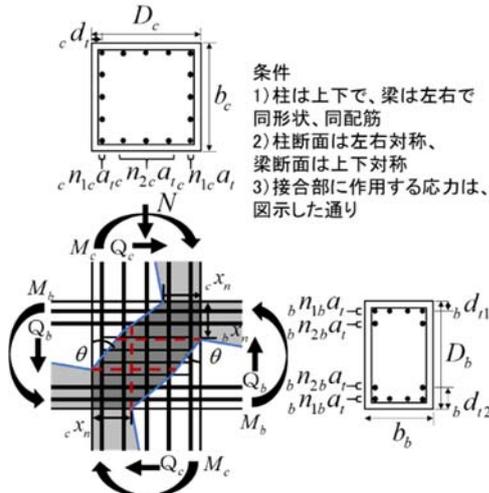


図-2 十字形接合部の仮定応力度状態と  
柱・梁の仮定断面

- 条件
- 1) 柱は上下で、梁は左右で同形状、同配筋
  - 2) 柱断面は左右対称、梁断面は上下対称
  - 3) 接合部に作用する応力は、図示した通り

その汎用性は明解ではない。したがって、本研究では接合部の内部抵抗機構に基づいた汎用性の高い算定式の提案が目標であり、ト形では、基本的に筆者らの研究<sup>4)</sup>を準用している。仮定した主な条件は同じであるが、十字形と違い梁の取り付けしていない方の圧縮領域を算定するにあたり、図-3に示すトラス機構を新たに仮定した。これは、柱主筋による鉛直バネ、梁主筋と接合部せん断補強筋と柱による曲げ抵抗バネによる水平バネ、そして、斜めのコンクリート圧縮ストラットによる圧縮バネによって構成されている。基本的に接合部全領域が同様なせん断抵抗状態であると、斜めコンクリートの圧縮応力度は、曲げモーメントの影響を受けて圧縮ストラットを形成していると仮定している。純せん断状態であれば、圧縮ストラットは部材全域となる。ここでは、鉛直バネに関しては、接合部と柱の界面に作用する曲げモーメントに支配されると考えている。また、梁との界面でも曲げモーメントは作用するが、接合部内せん断補強筋は主にせん断力に対して引張抵抗すると仮定しているので、斜めのコンクリート圧縮ストラットによる圧縮バネか水平バネのいずれかが強度に達したときをこの検討手法におけるせん断終局強度としている。現状では、全梁主筋もせん断力に対して引張抵抗するものとして考慮してい

るが、これに関しては今後検討したいと考えている。また、接合部中央領域で圧縮ストラット幅が大きくなる現象を反映させていない。新たに仮定した接合部の応力度状態を図-4に示す。同図において仮定した柱、梁の断面は図-2と同様である。図-2と図-4に示す赤点線は、水平及び鉛直方向の圧縮ストラット幅である。この検討手法は、筆者らが考案した手法<sup>6) 7)</sup>に基づいており、この検討手法におけるせん断終局強度を式(4)に示す。

$$Q_{su} = \min(Q_{cc}, Q_{wy}) \quad (4)$$

上式中の  $Q_{cc}$  はコンクリート斜め圧縮バネの強度で決定される場合の強度である。これを式(5)に示す。また、コンクリート有効圧縮強度係数  $v_j$  は筆者らの研究<sup>6) 7)</sup>と同様に、Nielsen の提案式と CEB 式を用いて、式(6)により求めた。

$$Q_{cc} = \frac{v_j \cdot j \cdot \sigma_B \sin 2\theta'}{2} X'_c \cdot b_c \quad (5)$$

$$v_j = \begin{cases} 0.7 - \frac{j \cdot \sigma_B}{200} & j \cdot \sigma_B \leq 45 \text{ N/mm}^2 \\ 1.698 j \cdot \sigma_B^{-0.333} & j \cdot \sigma_B > 45 \text{ N/mm}^2 \end{cases} \quad (6)$$

上式中の主圧縮方向角度  $\theta'$  と水平方向の圧縮ストラット幅  $X'_c$  については後述する。

次に、 $Q_{wy}$  について記す。 $Q_{wy}$  は、せん断補強筋が降伏する時のせん断終局強度である。これを式(7)に示す。

$$Q_{wy} = \frac{\sigma_{wy} \cdot K_x}{E_{ws} \cdot \tan \theta'} \cdot D_c \cdot b_c \quad (7)$$

上式は、せん断補強筋が降伏する場合はその時点を生せん断終局強度時としており、仮想水平抵抗領域の水平バネ剛性を考慮しているため、せん断補強筋の降伏ひずみ度 ( $\sigma_{wy}/E_{ws}$ ) に水平方向の単位面積当りの平均バネ剛性  $K_x$  を乗じた値に、せい、幅を乗じてせん断終局強度を算定している。

ここで、主圧縮方向角度  $\theta'$  について述べる。この検討手法における主圧縮方向角度  $\theta'$  は、以下に示す角度によって構成されている。

まずは、梁の取り付けしている方の圧縮ストラットと接

合部鉛直面とのなす角度  $\theta'_1$  である。これは、梁の中立軸位置（圧縮縁から中立軸位置までの距離： ${}_b x'_n$ ）と柱の中立軸位置（圧縮縁からの距離： ${}_c x_n$ ）によって定められる。この詳細については文献<sup>4)</sup>を参照願いたい。

次に、梁の取り付けしていない方の圧縮ストラットと接合部鉛直面とのなす角度  $\theta'_2$  を、仮定したトラス機構の水平方向と鉛直方向の剛性により求めることにした。それを式(8)に示す。

$$\left(\frac{1}{K_x} - \frac{1}{K_y}\right) \cos^4 \theta'_2 - 2 \left(\frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_x}\right) \cos^2 \theta'_2 + \frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_x} = 0 \quad (8)$$

式(8)は、最小ポテンシャルエネルギーの原理に従って主圧縮方向角度を求める式であり、この式より求められる角度の妥当性は、筆者らの研究<sup>6)</sup>で報告されている。また、上式中の  $K_x$  は、水平方向の単位面積当りの平均バネ剛性  $K_{x1}$  と、それに梁主筋比の影響も考慮したバネ剛性  $K_{x2}$  の二つの場合がある。 $K_{x1}$ 、 $K_{x2}$ 、鉛直方向の単位面積当りの平均バネ剛性  $K_y$  をそれぞれ式(9)～(12)に示す。

$$K_{x1} = K_f + {}_j p_w \cdot {}_j E_{ws} = \frac{720 {}_j E_c I_c (D_c - \alpha D_c)}{b_c \cdot D_b^4} + {}_j p_w \cdot {}_j E_{ws} \quad (9)$$

$$K_{x2} = K_f + {}_j p_w \cdot {}_j E_{ws} + {}_b p_g \cdot {}_b E_s = \frac{720 {}_j E_c I_c (D_c - \alpha D_c)}{b_c \cdot D_b^4} + {}_j p_w \cdot {}_j E_{ws} + {}_b p_g \cdot {}_b E_s \quad (10)$$

$$\alpha = 0.206 - 0.00372 \left(\frac{D_c}{D_b}\right) \quad (11)$$

$$K_y = {}_c p_g \cdot {}_c E_s \quad (12)$$

式(9)、(10)中の  $K_f$  は仮想水平抵抗領域の曲げ抵抗による水平抵抗バネ剛性である。この仮想水平抵抗領域には、接合部内に生じる水平方向応力度に接合部幅を乗じた力が等分布で作用すると仮定し、これによって生じる曲げモーメントに抵抗すると仮定している。仮想水平抵抗領域とは、水平方向の拘束効果を發揮する領域のことであり、その範囲を  $\alpha D_c$  とした。これを図-5に示す。 ${}_j E_c$  は接合部コンクリートのヤング係数、 $I_c$  は仮想水平抵抗領域の断面二次モーメント、 ${}_j p_w$  は接合部せん断補強筋比、 ${}_j E_{ws}$  は接合部せん断補強筋のヤング係数、 ${}_c p_g$  は柱主筋比、 ${}_c E_s$  は柱主筋のヤング係数、 ${}_b p_g$  は梁主筋比、 ${}_b E_s$  は梁主筋のヤング係数である。また、式(8)中の  $K_2$  は補正係数を乗じたコンクリートの斜め圧縮方向のバネ剛性であり、式(13)より算定する。これについても筆者らの研究<sup>6)</sup>によって、妥当性が報告されている。

$$K_2 = 0.168 {}_j \sigma_B^{0.38} \cdot {}_j E_c \frac{1}{0.01 {}_j \sigma_B + 0.8} \quad (13)$$

ここで、 $K_{x1}$  により求められた  $\theta'_2$  を  $\theta'_{2-1}$ 、 $K_{x2}$  により求められた  $\theta'_2$  を  $\theta'_{2-2}$  とした。

これらより、梁の取り付けしていない方の鉛直方向の圧縮領域（圧縮縁からの距離： ${}_b x'_n$ ）を算定した。これを(14)に示す。

$${}_b x'_n = D_b - \frac{D_c - {}_c x_n}{\tan(\theta'_{2-1} \text{ or } \theta'_{2-2})} \quad (14)$$

以上のことから、水平方向の圧縮ストラット幅  $X'_c$  を求めることができる。また、水平方向の圧縮ストラット幅  $X'_c$  を求めるにあたり、柱境界面位置、梁主筋位置、圧縮ストラット幅最大位置を算定位置として検討した。これを式(15)～(17)に示す。

柱境界面位置の場合、

$$X'_c = {}_c x_n \quad (15)$$

梁主筋位置の場合、

$$X'_c = {}_c x_n + {}_b d_{t1} \cdot \max\{\tan \theta'_1, \tan(\theta'_{2-1} \text{ or } \theta'_{2-2})\} \quad (16)$$

圧縮ストラット幅最大位置の場合、

$$\begin{aligned} &{}_b x_n + {}_b x'_n < D_b \text{ で、} \\ X'_c &= {}_c x_n + {}_b x_n \cdot \max\{\tan \theta'_1, \tan(\theta'_{2-1} \text{ or } \theta'_{2-2})\} \\ &{}_b x_n + {}_b x'_n \geq D_b \text{ で、} \\ X'_c &= D_c \end{aligned} \quad (17)$$

## 4. FEM 解析

### 4.1 シミュレーション解析

ト形柱梁接合部せん断終局強度算定法に関する既往研究が少ないため、十分な精度検証を行うことができない。そこで、FEM 解析を用い検証対象を増やすことにした。

まず、解析仮定の妥当性の把握をするために小川らの既往実験 (BUCS 試験体)<sup>8)</sup>結果を対象にシミュレーション解析を行った。FEM 解析に用いたプログラムは「FINAL」である。解析モデルを図-6に示す。解析対象モデルをハーフモデルとし、切断面全節点に対象条件を設定した。コンクリートは六面体要素、柱と梁の主筋は線材要素、せん断補強筋は埋め込み鉄筋でモデル化した。同図の赤色の要素はヤング係数を緑色の要素の 10 倍にしている。コンクリートの圧縮応力度～ひずみ度関係は修正 Ahmad モデル<sup>9)</sup>、圧縮強度到達後のひずみ軟化域曲線は修正 Ahmad モデル、ひび割れ後の圧縮強度低減は長沼の提案式により低減し、ひずみ度低減は低減なし、ひび割れ後のせん断伝達特性は Al-Mahaidi の提案<sup>10)</sup>、テンションスティフニング特性は出雲らのモデル<sup>11)</sup>( $C=1.0$ )、付着応力度～すべり関係は Elmersi らのモデル<sup>12)</sup>を用い、付着強度は靱性指針に示された式で定め、その時のすべり変位は FEM の既往研究論文<sup>13), 14)</sup>を見ると 1.0～2.0mm とすることが多いようですので、今回は 2.0mm とした。

FEM 解析結果より得られた梁せん断力～水平変位関係を実験結果と比較し、図-7に示す。FEM 解析結果は実験結果に比べ若干大きくなったが、耐力比 (FEM 最大

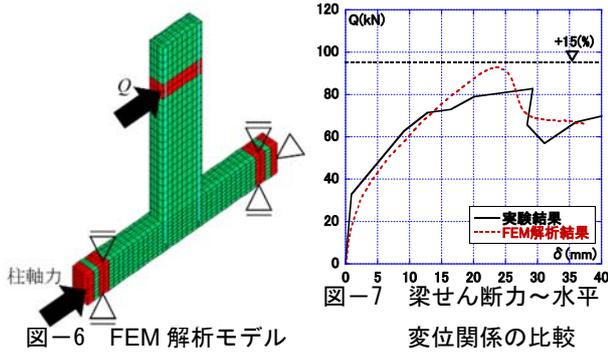


図-6 FEM 解析モデル

変位関係の比較

表-1 パラメトリック解析の共通諸元

柱断面 b×D (mm)	梁断面 b×D (mm)	柱主筋	柱せん断 補強筋	梁せん断 補強筋
300×300	260×400	12-D16	3-D13@100	2-D13@75

表-2 パラメトリック解析諸元

解析ケース	柱軸力比	梁主筋比 (%)	接合部せん断 補強筋比 (%)
1, 28, 55	0	0.765 (2-D16×2)	0.213 (2-D6@100)
2, 29, 56			0.427 (2-D6@50)
3, 30, 57			0.960 (2-D10@50)
4, 31, 58		1.531 (4-D16×2)	0.213 (2-D6@100)
5, 32, 59			0.427 (2-D6@50)
6, 33, 60			0.960 (2-D10@50)
7, 34, 61		2.23 (3-D22×2)	0.213 (2-D6@100)
8, 35, 62			0.427 (2-D6@50)
9, 36, 63			0.960 (2-D10@50)
10, 37, 64	0.1	0.765 (2-D16×2)	0.213 (2-D6@100)
11, 38, 65			0.427 (2-D6@50)
12, 39, 66			0.960 (2-D10@50)
13, 40, 67		1.531 (4-D16×2)	0.213 (2-D6@100)
14, 41, 68			0.427 (2-D6@50)
15, 42, 69			0.960 (2-D10@50)
16, 43, 70		2.23 (3-D22×2)	0.213 (2-D6@100)
17, 44, 71			0.427 (2-D6@50)
18, 45, 72			0.960 (2-D10@50)
19, 46, 73	0.2	0.765 (2-D16×2)	0.213 (2-D6@100)
20, 47, 74			0.427 (2-D6@50)
21, 48, 75			0.960 (2-D10@50)
22, 49, 76		1.531 (4-D16×2)	0.213 (2-D6@100)
23, 50, 77			0.427 (2-D6@50)
24, 51, 78			0.960 (2-D10@50)
25, 52, 79		2.23 (3-D22×2)	0.213 (2-D6@100)
26, 53, 80			0.427 (2-D6@50)
27, 54, 81			0.960 (2-D10@50)

※解析ケース 1~27 は接合部圧縮コンクリート強度=24.0 (N/mm<sup>2</sup>), 28~54 は 36.0 (N/mm<sup>2</sup>), 55~81 は 48.0 (N/mm<sup>2</sup>) である。

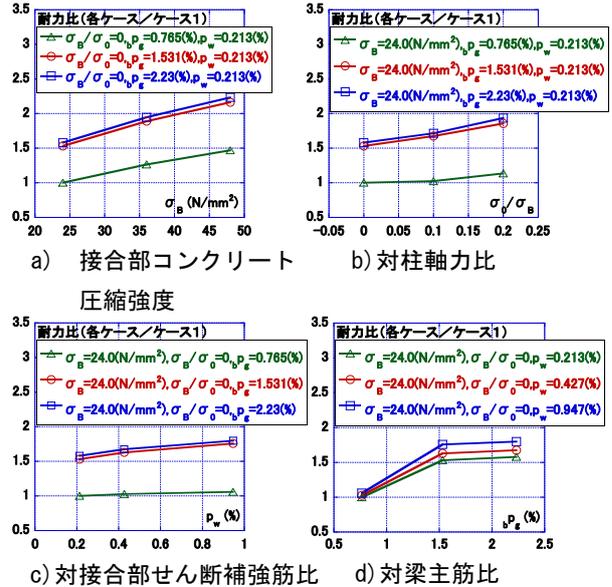


図-8 パラメトリック解析における最大耐力の変動傾向

耐力/実験最大耐力) は 1.120 であった。FEM 解析結果では、接合部のコンクリートの一部が先に圧縮軟化し、最大耐力近傍では実験と同様に接合部せん断補強筋が降伏している。これらより、解析仮定は妥当であると判断しパラメトリック解析を行うことにした。

#### 4.2 パラメトリック解析

パラメトリック解析の共通諸元を表-1 に、パラメトリック解析諸元を表-2 に示す。柱階高は 1940mm、梁スパンは 1800mm で、パラメータは接合部コンクリート圧縮強度、柱軸力比、梁主筋比、接合部せん断補強筋比とし、計 81 ケースの解析を行った。また、解析では曲げ破壊を防止するために柱と梁の主筋を弾性としている。

図-8 はパラメトリック解析における最大耐力の変動傾向を示したものである。縦軸は耐力比、横軸は接合部の各構成因子である。この時の耐力比は、パラメトリック解析結果の値を基準としたケース 1 の値で除したものである。接合部の各構成因子はそれぞれ、値が増加するにつれ最大耐力が増加するという傾向があり、梁主筋比が 0.765 (%) と 1.531 (%) の場合に、この傾向が顕著に表れることが分かった。現在、この要因を明確に把握していないが、梁主筋比増大に伴い、圧縮ストラットの角度、幅が変化したためではないかと推察される。また、解析を行った全 81 ケースで接合部がせん断破壊しており、最大耐力時に接合部せん断補強筋の降伏がみられた。

#### 5. 算定法の検証

検討手法の検証をするにあたり、まずは算定位置の検討を行った。算定位置に関する図は、紙面の都合上示していないが、算定位置は柱境界面位置の場合の計算結果が最も FEM 解析結果と最も対応が良く、ほかの算定位

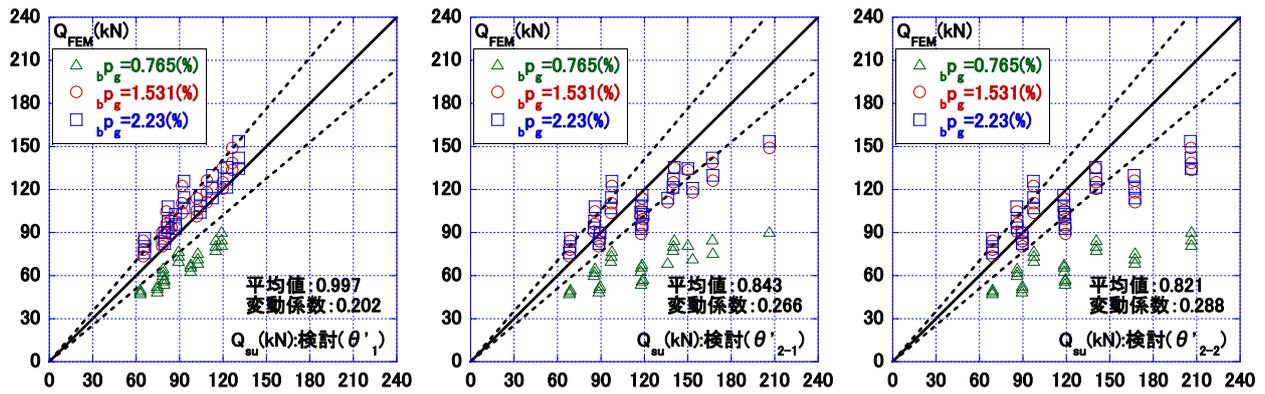


図-9 主圧縮方向角度  $\theta'$  の検討結果 (検討手法)

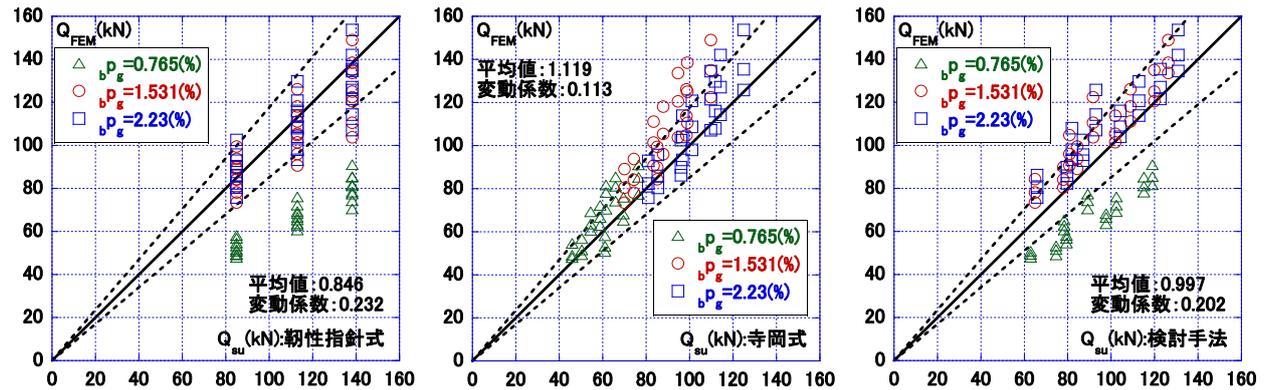


図-10 各算定式の精度検証

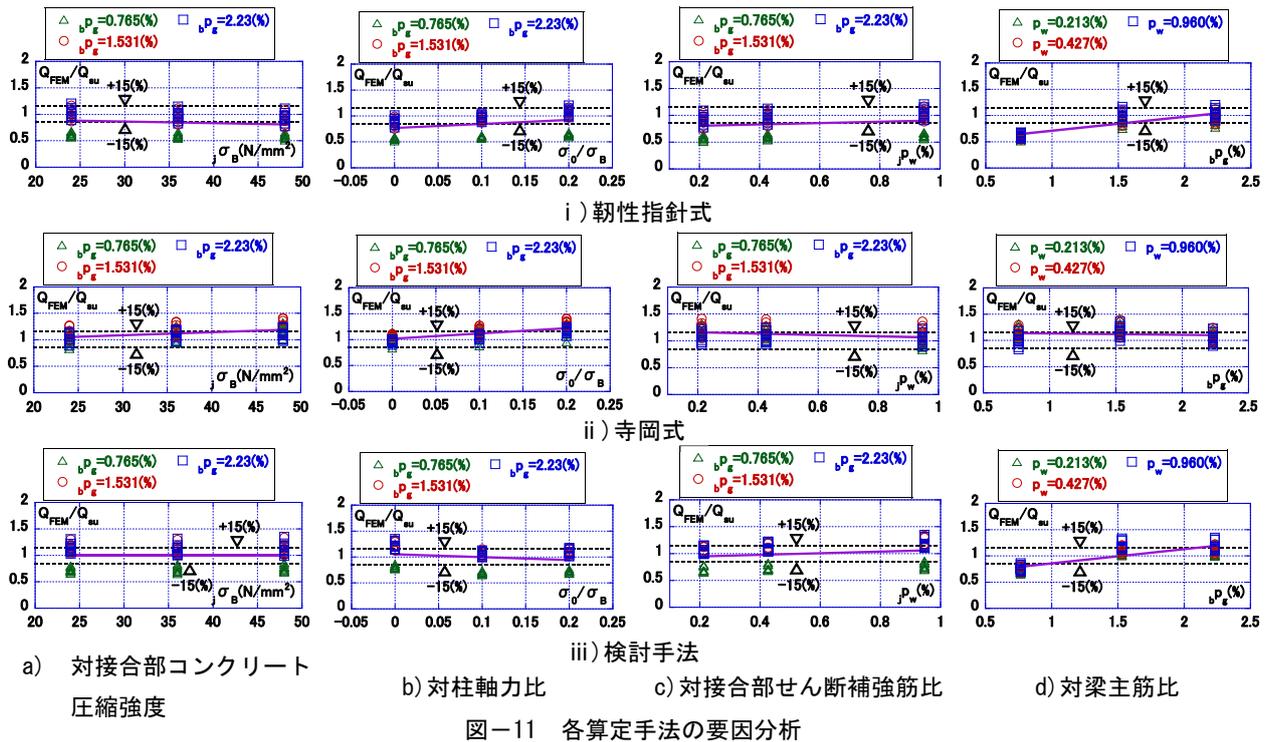


図-11 各算定手法の要因分析

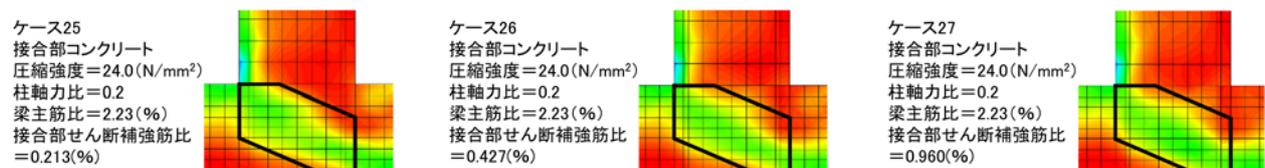


図-12 FEM 解析と検討手法の圧縮ストラット形状の比較

置では、算定結果が FEM 解析結果より大きく、危険側に判定した。この結果から、算定位置は柱境界面位置を採

用した。次に、主圧縮方向角度  $\theta'$  の検討を行った。その精度検証結果を図-9 に示す。  $\theta' = \theta'_1$  の時が最も対応が

良く、これを採用した。以下、 $\theta'=\theta_1$  の場合を示す。

パラメトリック解析結果を用いた各算定式の精度検証結果を図-10に、各算定手法を接合部の構成因子ごとに検討した結果を図-11に示す。図-9と図-10には、縦軸に関する値の平均値と変動係数を、点線で±15(%)を示している。また、図-11の縦軸は、パラメトリック解析結果の値を各算定手法の計算値で除したものである。同図には、強度比と各因子の関係を最小二乗法で回帰分析した直線を示した

検討手法では、梁主筋比=1.531(%)と2.23(%)の場合は、FEM解析結果との対応が良かった。しかし、梁主筋比=0.765(%)の場合は、FEM解析結果との対応は悪く、大きく危険側に判定した。また、回帰直線の傾きを見ると、寺岡式以外は梁主筋比に対して傾きが大きく、梁主筋比=0.765(%)とそれ以外で、精度が大きく変わっており、梁主筋比によって算定精度が大きく変動することが分かった。さらに、解析を行った全81ケースで、検討手法のせん断終局強度がせん断補強筋降伏によって決定する強度 $Q_{wy}$ ではなく、コンクリートの斜め圧縮パネによって決定する強度 $Q_{cc}$ で決定した。これらの理由はまだ判明しておらず、今後さらなる検討を行いたい。また、FEM解析より得られた最大耐力時の最小主応力度コンターと、検討手法による圧縮ストラット形状の比較を図-12に示す。検討手法による圧縮ストラット形状は、全般的にFEM解析結果よりも大きく算定している。以上のことから、検討手法はまだ検討の余地があることが分かる。また、検討手法が複雑にはなったが、内部抵抗機構に基づく算定法の方が汎用性が高いと考え、まずは内部抵抗機構に基づいた算定法を検討し、この構築後に算定法の簡便性についての検討を行いたい。

## 6. まとめ

鉄筋コンクリート造ト形柱梁接合部せん断終局強度算定法について検討した結果、以下の知見が得られた。

- 1) 接合部の因子別検証では、寺岡式以外で対梁主筋比において回帰直線の傾きが大きく、梁主筋比によって算定精度が大きく変動することが分かった。
- 2) 靱性指針式は、三手法の中で最もばらつきが大きく、梁主筋比=0.765(%)の場合は大きく危険側に判定していることが分かった。
- 3) 寺岡式は、三手法の中で最もばらつきが小さく、全体的にFEM解析結果とほぼ対応していた。
- 4) 検討手法は、梁主筋比=1.531(%)と2.23(%)の場合はFEM解析結果との対応は良いが、梁主筋比=0.765(%)の場合は対応が悪く、大きく危険側に判定してしまうことが分かった。

以上のことを踏まえて、今後は接合部の水平及び鉛直

方向ひずみ度などを詳細に検討したい。

## 参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説，pp.242-245，1999.8
- 2) 塩原等：鉄筋コンクリート柱梁接合部：見逃された破壊機構，日本建築学会構造系論文集，第73巻，第631号，pp.1641-1648，2008.9
- 3) 寺岡勝：高層骨組における柱・梁接合部の耐震設計法に関する研究，フジタ技術研究報告，増刊第5号，1997.
- 4) 津田和明：鉄筋コンクリート造十字形柱梁接合部のせん断強度算定法に関する研究，コンクリート工学論文集，第29巻，63-73，2018
- 5) 雨宮篤，野口博：超高強度鉄筋コンクリート部材の有限要素解析プログラムの開発（その1：コンクリートモデルの構築），日本建築学会大会学術講演梗概集，構造IV，pp.639-640，1990.10
- 6) 津田和明：鉄筋コンクリート造耐震壁のせん断強度算定法に関する研究，日本建築学会構造系論文集，第74巻，第645号，pp.2069-2075，2009.11
- 7) 中尾駿一，津田和明：鉄筋コンクリート造柱・梁のせん断終局強度算定法に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.37，No.2，pp.205-210，2015.7
- 8) 小川勤，ほか：動的積荷時における鉄筋コンクリート造ト形柱梁接合部の力学的性状に関する研究，日本建築学会構造系論文集，第600号，pp.155-162，2006.2
- 9) 長沼一洋：三軸圧縮下のコンクリートの応力～ひずみ関係，日本建築学会構造系論文集，第474号，pp.163-170，1995.8
- 10) Al-Mahaidi, R.S.H. : Nonlinear Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Deep Members, Report 79-1, Dep.of Structural Engineering, Cornell Univ., Jan.1979
- 11) 出雲淳一，島弘，岡村甫：面内力を受ける鉄筋コンクリート板要素の解析モデル，コンクリート工学論文，Vol.25，No.9，No87，9-1，pp107-120，1987.9
- 12) Elmorsi, et al. : Modeling bond-slip deformations in reinforced concrete beam-columnjoints, Canadian Journal of Civil Engineering, Vol.27, pp.490-505, 2000
- 13) 杉本訓祥，増田安彦：鉄筋コンクリート造柱梁接合部を含む部分架構のFEM解析，コンクリート工学年次論文集，Vol.36，No.2，pp.205-210，2014
- 14) 早坂香苗，田嶋和樹，長沼一洋：繰返し載荷を受けるRC造柱梁接合部の履歴性状の解析精度に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.39，No.2，pp.235-240，2017