

## 論 文

## [2209] 遠心成型プレキャスト RC 柱と鉄骨梁との接合部の曲げモーメントの伝達機構

平出 亨<sup>\*1</sup>・東端泰夫<sup>\*2</sup>・小南勝義<sup>\*2</sup>・村田耕司<sup>\*2</sup>

## 1. はじめに

遠心成型により製作されたプレキャスト R C 柱と H 型鋼の梁からなる十字形架構が逆対称曲げモーメントを受ける場合の接合部の力学性状に関する実験を実施した。本論では、始めに提案した応力伝達モデルを用いて接合部の伝達モーメントに関わる応力伝達機構上の応力レベルを把握する。次いで接合部のコンクリートの圧縮ストラットの  $\cot \phi$  ( $\phi$ : 圧縮ストラットの軸と柱軸とのなす角) の値を考察する。最後に接合部の終局伝達モーメントを評価する。

## 2. 実験概要

## 2. 1 試験体

図-1、2 に試験体形状を示す。設計用モーメントに対して S R C 規準を準用して接合部の形状を決定した。柱と梁の曲げ耐力に関しては接合部耐力 = 梁全塑性降伏耐力 << 柱全塑性終局耐力、となるように計画した。接合部の鋼板部分を柱の配筋に組み込み、コンクリート打設後、柱型枠を柱軸回りに回転させ、遠心力によりコンクリートを締め固めた。形成された R C 柱の中空部に中詰めのコンクリートを注入した後、接合部に S 梁を溶接した。

表-1、2 に材料試験結果を示す。

表-1 コンクリートの材料試験結果

圧縮強度 $\sigma_b$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	割裂強度 $\sigma_t$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	弾性係数 $E_s$ (x10 <sup>6</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )	弾性係数 $E_c$ (x10 <sup>5</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )	部位
810	-	1.893	3.92	外周
602	43.3	1.804	3.54	中込

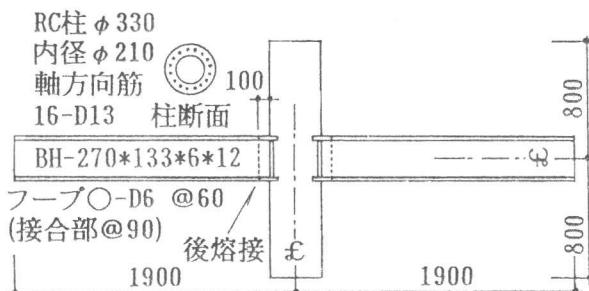


図-1 試験体全体形状

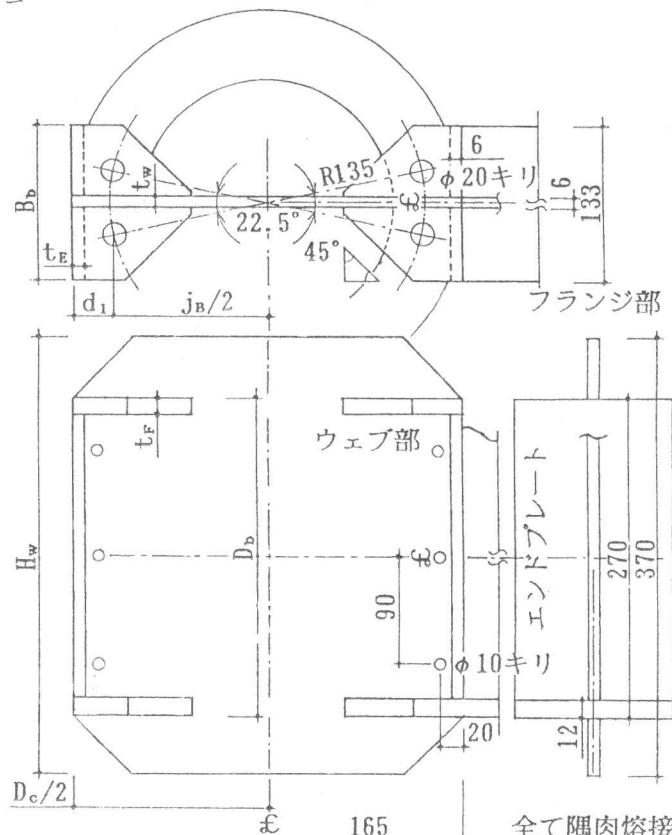


図-2 試験体の接合部の鋼板の形状

表-2 鋼材の材料試験結果

種別	弾性係数 $E_s$ (x10 <sup>6</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )	ボアソン比 $\nu$	降伏強度 $\sigma_y$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	引張強度 $\sigma_u$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	伸び (%)	部位
D13	1.893	-	3853	5683	18.5	軸方向筋
D6	1.804	-	3130	5442	18.7	フープ筋
PL12	2.116	0.2801	3980	5405	36.5	フランジ
PL6	2.188	0.2891	3921	5350	32.5	その他

\* 1 (財) 原子力発電技術機構 (正会員) \* 2 (株) 竹中工務店

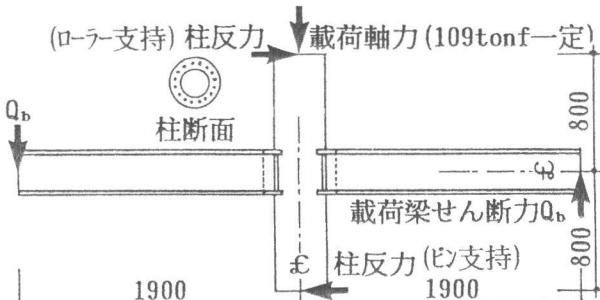


図-3 加力方法

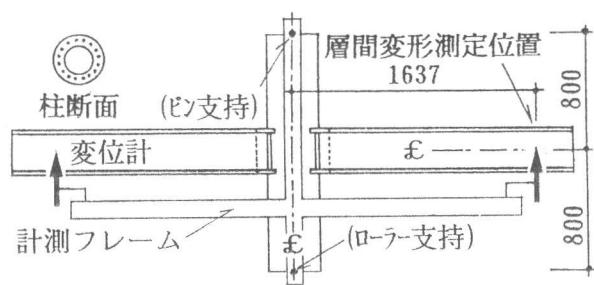


図-4 層間変形角の計測方法

## 2.2 加力計測方法

図-3 に加力方法を示す。層間変形角  $0.25, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5 \times 1/100$  每に各2回、十字型試験体の正負交番繰返逆対称漸増加力をを行い、梁のせん断力を計測した。梁のせん断スパン比は試設計架構の地震力作用時の梁のせん断スパン比と一致している。

図-4、5 に変位測定方法を示す。梁端の鉛直変位、及び接合部近傍の変形を測定した。

図-6 に鋼板の応力測定位置を示す。鋼板の表裏に多軸ゲージを貼付し、ロゼット解析により多軸応力を求めた。多軸応力値はミーゼスの降伏曲面上を移動できるが越えないと仮定した。

## 3. 実験結果及び考察

### 3.1 荷重-変形関係及び破壊経過

図-7、8 に荷重-変形関係、及びひび割れパターンを示す。接合部では急激な耐力低下は生じず、層間変形角  $\pm 5/100$  まで降伏耐力はおおむね維持され、接合部の韌性は優れている。降伏以降の履歴ループの形状は紡錘形であり、接合部のエネルギー吸収能力も優れている。

中立軸位置  $x_{n1F}$  の求め方 ( $R_f$  が正の時)

$$D_c x_{n1F} = \delta_2 (D_c + 2\ell) / (\delta_1 - \delta_2) - \ell$$

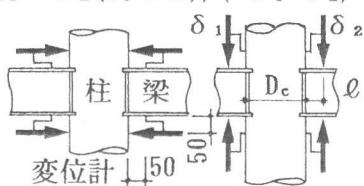


図-5 中立軸位置の計測方法

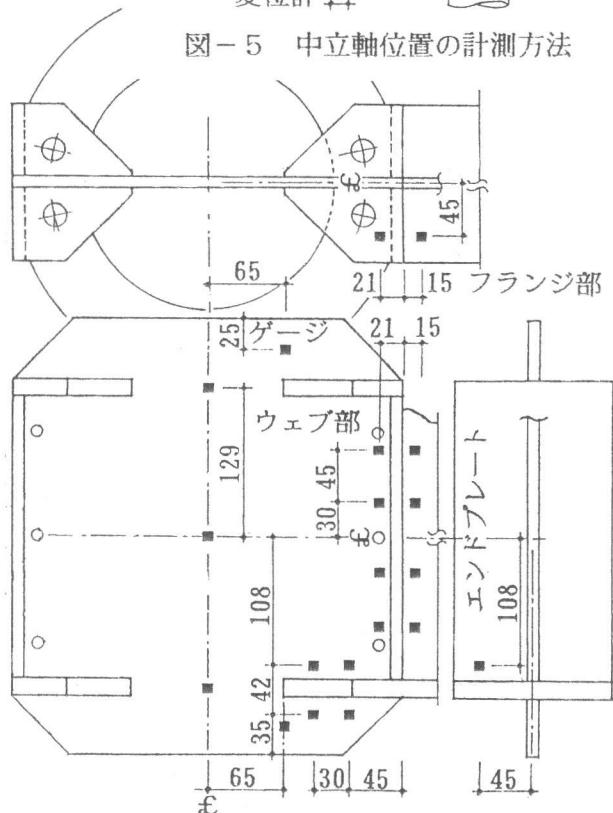


図-6 鋼板の応力測定位置

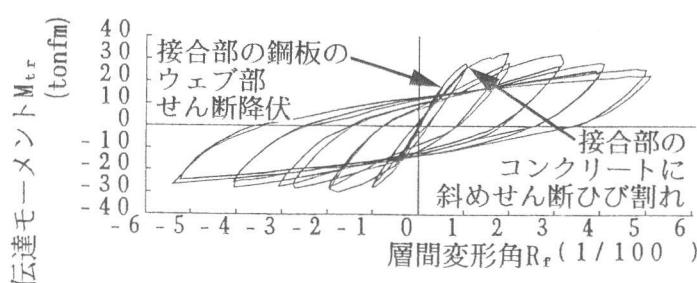


図-7 伝達モーメント-層間変形角関係

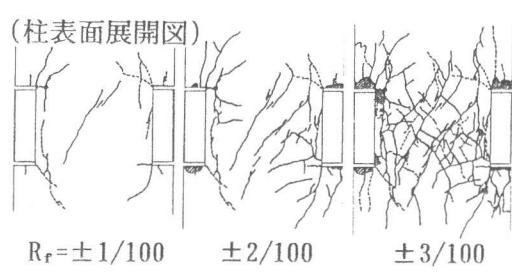


図-8 接合部のひび割れパターン

### 3.2 接合部の応力伝達モデル

図-9に筆者等が提案する接合部の応力伝達モデルを示す。鉛直力、水平力、及び接合部の中心回りのモーメントに関し、組み立てられた鋼板全体の左半分の釣合から次式が得られる。

$$-Q_b + C_B + C_F - C_s \cos \phi - Q_w = 0 \quad (\text{上方向正}) \quad (1)$$

$$-C_s \sin \phi - \mu C_F + T_w = 0 \quad (\text{右方向正}) \quad (2)$$

$$-Q_b L_o / 2 - Q_b D_c / 2 + C_B j_B / 2 + \mu C_F D_c / 2 + C_F D_c (1/2 - k_2 x_{n1F}) + \mu C_w H_w = 0 \quad (\text{右回り正}) \quad (3)$$

ここで、

$B_b$  : フランジ幅

$C_B$  : 接合部内コンクリートからフランジ内面に作用する鉛直方向圧縮合力

$C_F$  : 柱のコンクリートからフランジ外面上に作用する鉛直方向圧縮合力

$C_s$  : 接合部の圧縮ストラットの軸力

$C_w$  : 柱のコンクリートからウェブ上下端の水平木口面に作用する鉛直方向圧縮合力

$D_b, D_c$  : 各々梁、及び柱せい

$d_1$  : 柱表面から柱の軸方向筋芯までの距離

$H_w$  : 接合部のウェブのせい

$j_B$  :  $C_B$ に関する応力中心間距離

$k_2$  :  $C_F$ に関する応力プロック係数

$L_o$  : 梁の内のりスパン

$Q_b$  : 梁のせん断力

$Q_w$  : ウェブの中央の鉛直断面に作用する鉛直方向せん断合力

$T_w$  : ウェブの中央の鉛直断面に作用する水平方向引張合力

$t_w, t_E$  : 各々ウェブ、及びエンドプレート厚

$x_{n1E}$  : エンドプレート内面における水平方向圧縮力  $C_s \sin \phi$ に関する中立軸比

$x_{n1F}$  : フランジ内外面における中立軸比

$\mu$  : 鋼板とコンクリートとの境界面における垂直圧縮応力に対するせん断応力の比

$\phi$  : 圧縮ストラットと柱軸とのなす角度

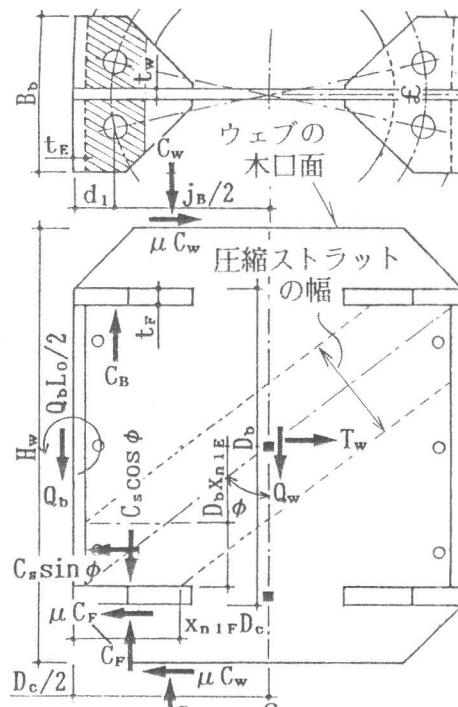


図-9 接合部の応力伝達モデル

これらの応力伝達モデルにおける各要素力を実測値より推定する。

図-10に鋼板の応力計測値から得た $Q_w, T_w, C_w$ 、及び $C_B$ を示す。なお、 $C_B$ は柱の軸方向筋の張力が接合部内で付着力としてコンクリートに伝達されフランジ内面に圧縮力として作用した

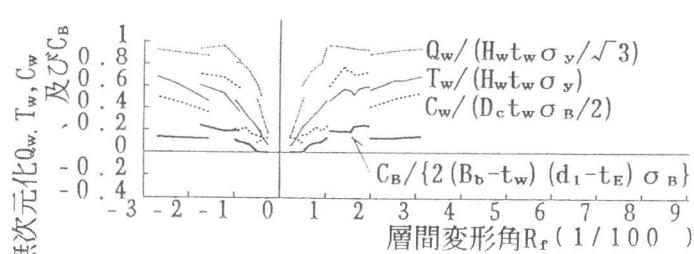


図-10 無次元化 $Q_w, T_w, C_w$ 、及び $C_B - R_f$ 関係

ものと考えられ、式(1)より  $Q_b - C_F + C_s \cos \phi + Q_w$  と釣り合う。

図-11に  $C_w$ に対応する位置の鋼板の応力計測値を示す。鉛直方向応力には正負加力時における差異が見られないためウェブの上下木口面に等しい鉛直圧縮力が作用すると仮定し、上下木口面における平均値を  $C_w$ とした。

応力伝達機構上の応力レベルを実験値を基に把握するために接合部のコンクリートの圧縮ストラット軸と柱軸とのなす角  $\phi$  を次式により仮定する。

$$\cot \phi = D_b / D_c \quad (4)$$

図-12に圧縮ストラットの軸力  $C_s$ 、圧縮ストラットがフランジ内面と接する領域  $D_c x_{n1E}$  及び圧縮ストラットがエンドプレート内面と接する領域  $D_b x_{n1E}$  を示す。 $C_s$ に関しては  $C_s \sin \phi$  が鋼板の応力計測値をもとに得られた値である。中立軸  $x_n$  の評価は文献[1]と同じ手法によった。図-5にその評価法を示す。

$C_s \cos \phi$  の平均圧縮応力度レベルは接合部の終局耐力時において  $0.3 \sigma_B$  程度である。 $\cot \phi$  の値が  $D_b / D_c$  より増加する場合は  $\phi$  が減少するため、 $C_s \cos \phi$  の値は増加し、 $\cot \phi$  の値が  $D_b / D_c$  より減少する場合は  $C_s \cos \phi$  の値も減少する関係がある。

式(1)、及び式(2)より、柱のコンクリートから接合部のフランジ外面に作用する鉛直方向圧縮合力  $C_F$ 、及び水平方向せん断合力  $\mu C_F$  の応力比  $\mu$  は各々次式で与えられる。

$$C_F = Q_w + Q_b + C_s \cos \phi - C_B \quad (5)$$

$$\mu = (T_w - C_s \sin \phi) / C_F \quad (6)$$

図-13に式(5)、及び式(6)より求めた  $C_F$ 、及び  $\mu$  を示す。接合部の終局耐力時において  $C_F$  の平均応力度は  $0.9 \sim 1.0 \sigma_B$ 、 $\mu$  は  $0.3 \sim 0.4$  程度である。 $\cot \phi$  の値が  $D_b / D_c$  より増加する場合は、 $C_s \cos \phi$  が増加するため、式(5)、及び式(6)より  $C_F$ 、及び  $\mu$  の値は共に増加し、 $\cot \phi$  の値が  $D_b / D_c$  より小さい場合は  $C_F$ 、及び  $\mu$  の値も共に減少する関係がある。

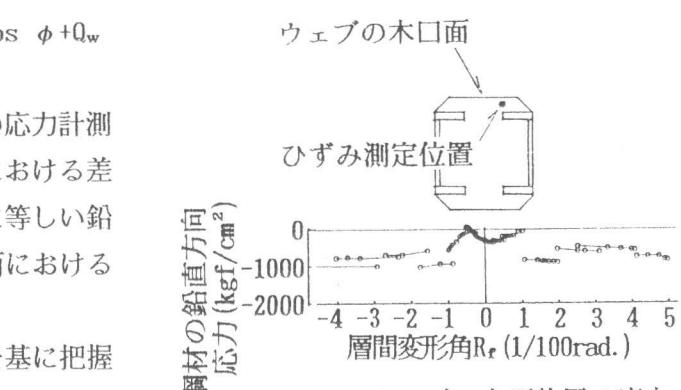


図-11 ウェブの上下位置の応力

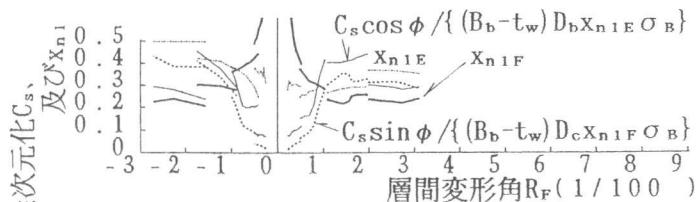


図-12 無次元化  $C_s$ 、及び  $x_{n1}$  -  $R_f$  関係

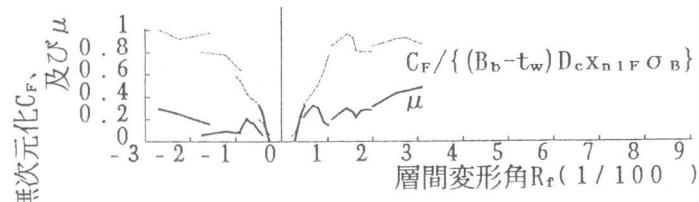


図-13 無次元化  $C_F$ 、及び  $\mu$  -  $R_f$  関係

#### 4. 圧縮ストラットの傾き ( $\cot \phi$ ) の値の評価

前節で得られた  $C_F$ 、及び  $\mu$  は組み立てられた接合部の鋼板の左半分の釣合い式 (1)、及び式 (2) を満たすが、一般には式 (3) を満たさない。式 (3) が満たされたためには、式 (4)において  $\cot \phi$  の値を変化させ収束計算を行う方法が考えられる。そこで本論では次に、その収束の可能性を検討する。式 (3) を伝達モーメントについて解いた次式、

$$\text{式 (3)} \Leftrightarrow Q_b L_0 + Q_b D_c = C_F D_c (1 - 2k_2 x_{n1F}) + \mu C_F D_b + 2\mu C_w H_w + C_B j_B \quad (7)$$

の左辺  $Q_b L_0 + Q_b D_c$  は真の伝達モーメント値を与え、右辺は本論の応力伝達モデルによる伝達モーメント値を与える。右辺中の  $C_B$ ,  $C_F$ 、及び  $C_w$  を次式、

$$C_B = k_{3B} \sigma_B \{2(d_1 - t_E)(B_b - t_w)\} \quad (8)$$

$$C_F = k_1 k_{3F} \sigma_B D_c x_{n1F} (B_b - t_w) \quad (9)$$

$$C_w = k_{3w} \sigma_B (D_c / 2) t_w \quad (10)$$

ここで、

$k_1, k_2$  :  $C_F$  に関する応力ブロック係数で、 $k_1 = 1/2, k_2 = 1/3$

$k_{3F}, k_{3B}, k_{3w}$ : 各々  $C_F, C_B, C_w$  に関する応力ブロック係数

で定義し、式 (7) の左辺と比較する。

なお、接合部内のコンクリートにひび割れが発生した場合、圧縮力  $C_B$  が作用する領域はフランジ内面の台形面積から、接合部内の柱の軸方向筋近傍に移行すると考えられる。 $C_B$  の作用領域をフランジ内面の台形面積全面とすると、式 (8) において  $k_{3B}$  を過小評価する可能性が考えられるため、図-9 に示すフランジの斜線部分の面積を近似した  $2(d_1 - t_E)(B_b - t_w)$  により  $k_{3B}$  を評価した。

また、本論で対象とした接合部ではコンクリートの圧壊以前に接合部ウェブの鋼材のせん断降伏により終局耐力が決まっている。 $k_1$ 、及び  $k_2$  の評価に関しては終局耐力時の  $C_F$  の応力レベルが平均値で  $1.0 \sigma_B$  程度とコンクリートの支圧破壊応力レベルと比較して低いため、 $C_F$  に関して文献 [1] と同じ手法により得られる  $\sigma - \epsilon$  関係から  $k_1$ 、及び  $k_2$  を厳密に求める必要はない。

図-14 に式 (7) の左辺の値と右辺による値との比較を示す。 $\cot \phi = D_b / D_c$  と仮定した右辺による値は、層間変形角  $R_f$  が  $2/100 < |R_f| \leq 3/100$  の範囲では、左辺の伝達モーメント実験値とほぼ一致する。従って、終局耐力時では  $\cot \phi = D_b / D_c$  である。 $\cot \phi$  の値を増加させれば、 $C_F$ 、及び  $\mu$  の値は共に増加するため、式 (7) 右辺の伝達モーメント値も増加する。従って、実験によれば、 $\cot \phi$  の値は層間変形角  $|R_f| \leq 2/100$  では  $D_b / D_c$  よりも大きく、 $2/100 < |R_f| \leq 3/100$  では、ほぼ  $D_b / D_c$  となり  $3/100 < |R_f|$  では、再び増加する。

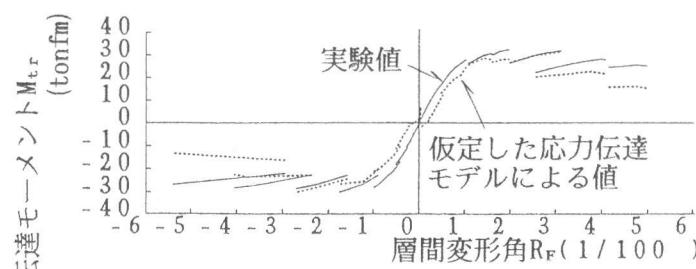


図-14 伝達モーメント-層間変形角関係

## 5.まとめ

提案モデルに実測値による定数を採用した終局伝達モーメントは式(7)の右辺により得られる。式中の変数は式(8)～式(10)、 $\cot \phi$ は式(4)により与えられる。

表-3 に主な実験条件と式(7)

～式(10)に用いる係数を示す。計算値は実験結果(耐力)を良く評価しており、提案モデルは応力伝達機構を良く捕らえているものと考えられる。

参考文献 1) 平出亨、岡本晴彦、大島基義、高橋賢司、柱を鋼管コンクリートとしたRCフラットスラブの曲げモーメントの伝達機構、コンクリート工学年次論文報告集、vol.15, No.2, pp.1037～1042, 1993.

表-3 実験条件、及び評価式の係数

主な実験条件		評価式の係数**		
M/Qd (梁)	6.43	R_f	0.031	-0.027
柱軸力比	0.176	X_n1F	0.239	0.225
D_b/D_c	0.818	X_n1E	0.351	0.496
t_E/t_F	0.500	k_1	1/2	1/2
t_w/t_F	0.500	k_2	1/3	1/3
$\sigma_B$	810 kgf/cm <sup>2</sup>	k_3F	1.736	2.020
$\sigma_y$	3921 kgf/cm <sup>2</sup>	k_3W	0.542	0.505
鋼板表面	黒皮状態	k_3s*	0.264	0.308
降伏モード	ウェブの降伏	k_3B	0.147	0.137
釣合条件式	式(1), 式(2)	$\mu$	0.487	0.293

\* )  $k_{3s} = C_s / \{ (D_c X_{n1F} \cos \phi + D_b X_{n1E} \sin \phi) (B_b - t_w) \sigma_B \}$   
は接合部の圧縮ストラットの圧縮応力レベルを示す。  
\*\* ) 左右の欄は各々正、負加力時の係数を示す。