

直交梁をもつ半剛接鋼骨組の研究  
(その2 考察)

正会員 ○ 山成 實<sup>1</sup> , 同 小川厚治<sup>2</sup> ,  
同 黒羽啓明<sup>3</sup> , 同 海原広幸<sup>4</sup>

1. はじめに ここでは本報告(その1)で述べた2つの試験体の実験結果について考察を加える。

2. 骨組の解析の準備

2.1 記号および名称 実験結果の検討を行う前に図1に示すように骨組試験体の各所の記号と名称をまとめておく。座標系は右手系とし、回転の正方向は右ねじの法則に従うものとする。その1で述べたように図中のP<sub>1</sub>およびP<sub>2</sub>は等しいので、骨組の構面は一定に保たれる。

2.2 仮定 骨組の挙動を解析にする際の以下のように仮定する。

- (1) 柱および梁部材は線材として扱い、変形後も断面は平面保持する。
- (2) 接合部パネルは柱および梁のフランジ厚中心間距離で囲まれた領域であるとし、変形はせん断変形のみを考慮する。
- (3) 柱梁仕口の変形は回転変形のみを考慮する。

3. 骨組の弾塑性挙動 その1で行った2体の骨組試験体の実験結果について検討する。まず、接合部の塑性化が大きくても繰返し加力に対して健全な履歴挙動を示した外ダイアフラム接合部骨組の弾塑性挙動を追跡できるように骨組構成部材の剛性を求める。これらを用いて骨組の荷重-変形関係を計算し実験結果と比較検討する。さらに、内ダイアフラム接合部骨組では無補剛の梁フラ

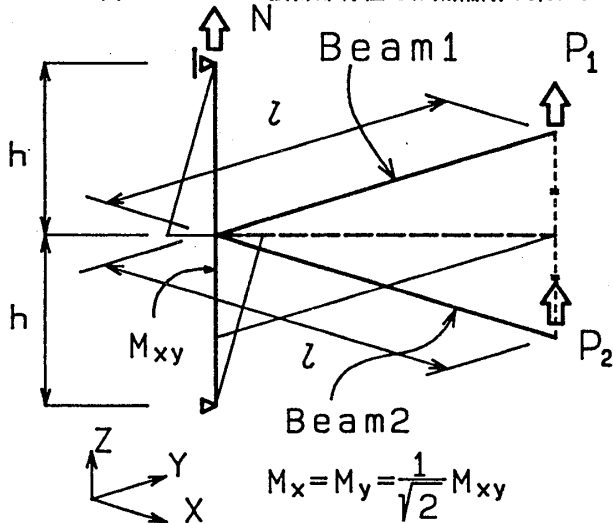


図1 記号および名称

ンジ接合部の降伏耐力について検討する。

3.1 CFRE骨組の構成部材の剛性

3.1.1 梁部材 梁部材のみが変形するときの梁自由端たわみ(δ<sub>B</sub>)は式(1)で与えられる。

$$\delta_B = \left( \frac{L^2}{3EI_B} + \frac{1}{GA_{WB}} \right) PL \dots \dots \dots (1)$$

ここに、L、I<sub>B</sub> およびA<sub>WB</sub> は、それぞれ梁部材の実長、断面2次モーメントおよびウェブ断面積である。Pは梁自由端に作用する横力である。

式(1)から梁部材が骨組の剛性に関与する剛性(K<sub>B</sub>)を求めると式(2)が得られる。EおよびGはそれぞれヤング係数およびせん断弾性係数である。

$$K_B = \frac{1}{L} \left( \frac{L^2}{3EI_B} + \frac{1}{GA_{WB}} \right)^{-1} \dots \dots \dots (2)$$

3.1.2 柱部材 梁部材と同様に外力によって柱部材のみが変形するときの梁自由端変位から柱部材が骨組の剛性に関与する剛性を求める。柱部材には梁自由端の横力および柱自由端に軸方向力が作用するので、それぞれの外力について考えると、各剛性K<sub>C</sub>、K<sub>N</sub>は式(3)および式(4)で表される。

$$K_C = \frac{2h^2}{l^2 H} \left( \frac{H^2}{2EI_C} + \frac{1}{GA_{WC}} \right)^{-1} \dots \dots \dots (3)$$

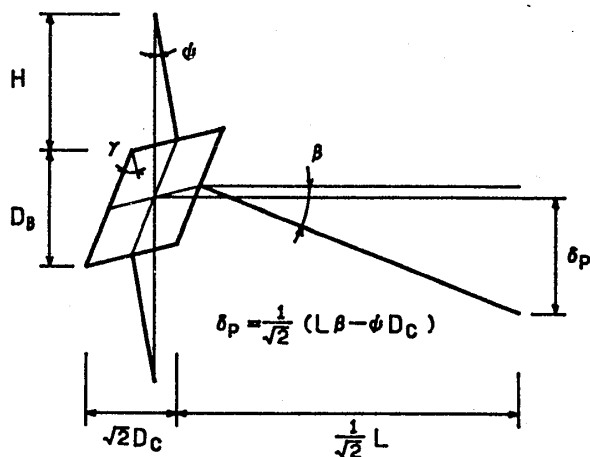


図2 接合部パネルの変形

1 熊本大学助手・工修, 2 同助教授・工博, 3 同教授・工博, 4 同大学院生

$$K_N = \frac{3EA_C}{16h} \dots\dots\dots (4)$$

ただし、 $H$ 、 $I_C$  および  $A_{WC}$  は柱部材の実長、断面2次モーメントおよびウェブ断面積である。

**3.1.3 接合部パネル** 図2に示されるように接合部パネルのみが変形するときの梁自由端変位 ( $\delta_P$ ) を求め、接合部パネルの変形が骨組の剛性に関与する剛性 ( $K_P$ ) は式(5) で与えられる。

$$K_P = \frac{1}{\kappa} G A_C \frac{2D_B h (2H + D_B)}{(2HL - D_B D_C)(2Lh - D_B l)} \dots (5)$$

ここに、 $\kappa$  は角形鋼管のせん断に関する形状係数である。 $D_B$ 、および  $D_C$  は図2を参照。

**3.1.4 柱梁仕口** 柱梁仕口の変形を回転変形として評価すると、仕口のみが変形したときの梁自由端の変位 ( $\delta_L$ ) を求めて、仕口が骨組に関与する剛性 ( $K_L$ ) は式(6) で与えられる。

$$K_L = \frac{K_r}{L^2} \dots\dots\dots (6)$$

ここに、 $K_r$  は文献[1]で示した外ダイアフラム仕口の回転剛性である。

**3.1.5 骨組の剛性** 上記で求めた骨組の構成部材剛性を用いて骨組の初期剛性を求めると、式(7) が得られる。

$$K = \left( \frac{1}{K_B} + \frac{1}{K_C} + \frac{1}{K_N} + \frac{1}{K_P} + \frac{1}{K_L} \right)^{-1} \dots (7)$$

**3.2 CFRE骨組の荷重-変形関係**

骨組の構成部材の降伏耐力を全塑性耐力として扱うこととし、それらを表1に示す。表中の仕口の降伏耐力は田淵らの降伏耐力推定式<sup>[2]</sup>から求めたものである。仕口

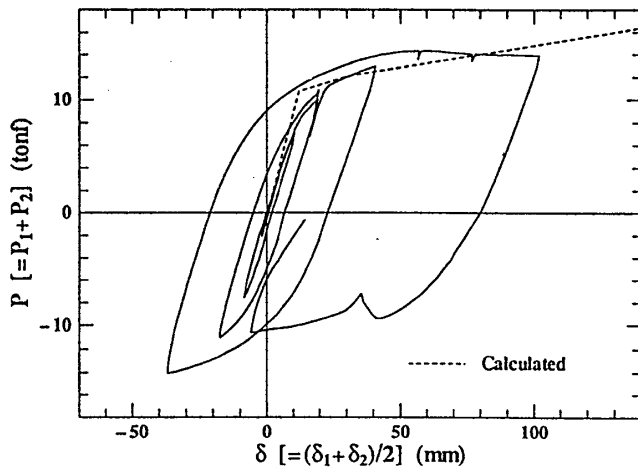


図3 CFRE骨組の荷重-変形関係

の降伏後の硬化係数は文献[1]によるものとし、他の部材の硬化係数は一律2.0%として骨組の荷重-変形を計算すると、図3の破線が描かれ、簡単な計算でありながら骨組の実挙動を良く追跡できている。同図の縦軸および横軸は、それぞれ2つの梁自由端外力の和および両端の変位の平均値である。この実験では2つの外力が常に等し保たれるので、構面は変化せずに柱の軸線と2つの梁自由端の midpoint を含む平面に留まる。

表1 部材の降伏耐力および骨組の耐力

降伏モード	部材耐力 (tf·cm)	梁自由端耐力 (tf)
柱の曲げ	940.5	10.680
梁の曲げ	1091.4	8.312
パネルのせん断	926.7	5.388
仕口の曲げ	797.2	6.066

**3.3 CFRI骨組の仕口の降伏耐力**

内ダイアフラム接合部骨組の梁フランジにダイアフラムを省いた場合、実験結果に示されたように、その部分でフランジ力による柱材の管壁面が面外変形する。仕口の変形の大部分はこれによるものであり、接合部は弾性状態から柔らかいのが特徴である。文献[3]に見られる接合部のクラス分けに照らし合わせると半剛接合の範疇に入る。

無補剛部分の降伏耐力の計算方法は文献[5]が挙げられる。これは降伏線理論に基づくものであり、この接合部には適したものであろう。接合部降伏時のフランジ力 ( $P_{Jy}$ ) は式(8) で与えられる。

$$P_{Jy} = 8M_p \sqrt{2 \frac{B_F - T_C}{D_m} + 4M_p \frac{T_F}{D_m}} \dots (8)$$

ただし、 $M_p = \frac{T_C^2}{4} \cdot \sigma_y$ 、 $D_m = \frac{D_C - B_F}{2}$  であり、式中

の記号は図4を参照。

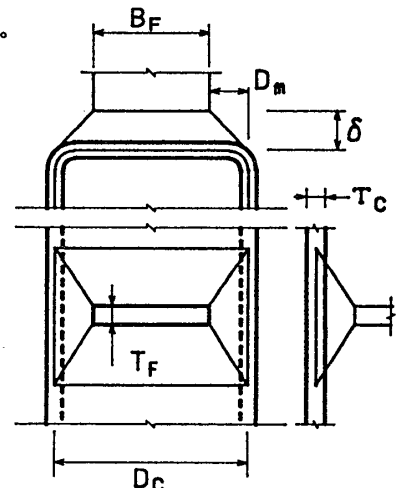


図4 無補剛仕口部の機構

その1で報告した実験結果と式(8)から求められる接合部降伏耐力を梁自由端外力に換算して図示すると、図5のようになり骨組の降伏荷重を良く表していることが分かる。

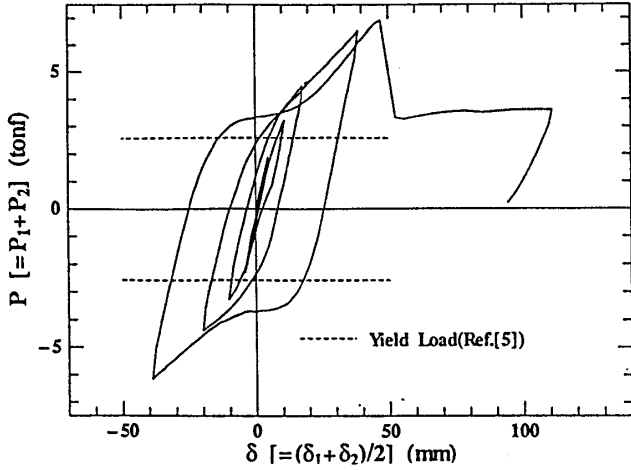


図5 CFRI骨組の荷重-変形関係

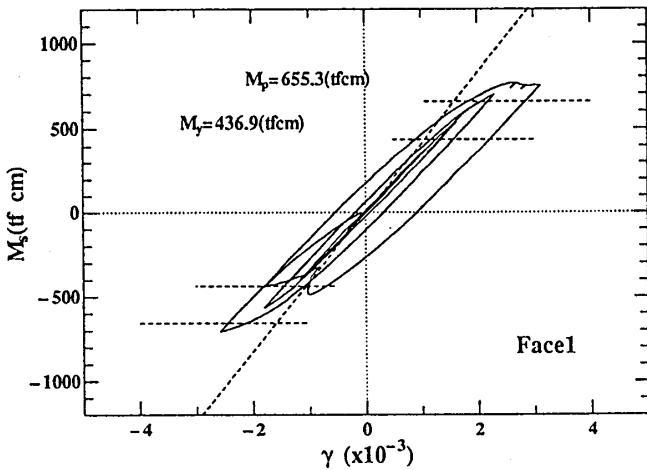
4. 接合部パネルの剛性と耐力 図6は接合部パネルの変形挙動の結果である。縦軸および横軸は梁と柱の材軸線を含む面のパネルモーメントおよびパネル外壁面中央に貼付したロゼットゲージの計測データから求めたせん断ひずみ度である。田口らの示した接合部パネルの初期降伏臨界曲線<sup>[6]</sup>で降伏モードを判定すると図7のようになりせん断降伏することが分かる。パネルの剛性および降伏耐力は文献[4]で述べているように、鋼管の基準軸が45度回転した場合であり、計算値は式(9)~(11)で求められる。

弾性剛性

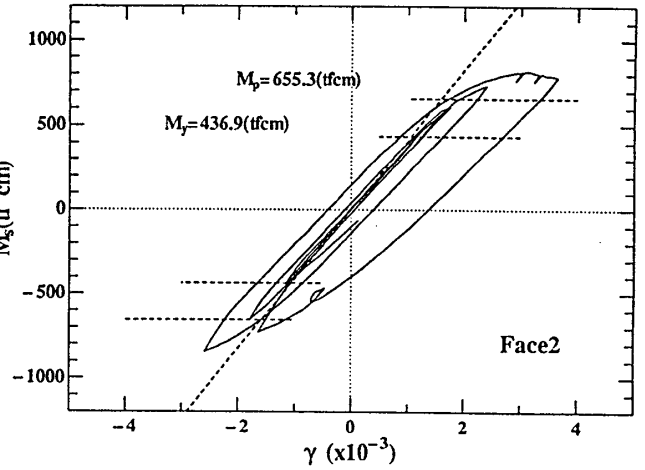
$$K_S = \frac{10}{3} G D_B D_C T_C \dots \dots \dots (9)$$

初期降伏耐力

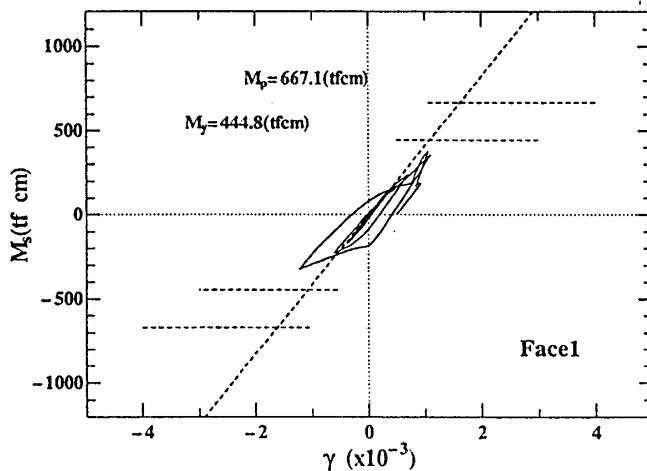
$$M_{Sy} = \frac{4}{3} \sqrt{2} D_C T_C \cdot \tau_y \dots \dots \dots (10)$$



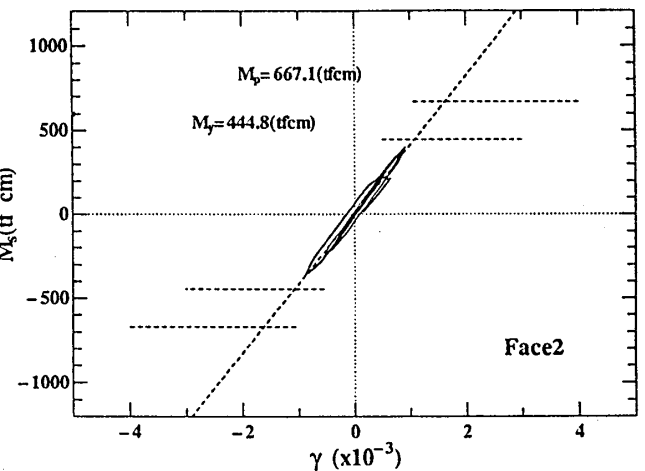
(a) CFRE骨組 Face 1



(b) CFRE骨組 Face 2



(c) CFRI骨組 Face 1



(d) CFRI骨組 Face 2

図6 接合部パネルの挙動

全塑性耐力

$$M_{Sp} = 2\sqrt{2} D_c T_c \cdot \tau_y \dots \dots \dots (11)$$

図6はこれらをパネルの2つの鋼管壁面に対応した物理量で表示したものである。降伏は鋼管断面の角部から始まり平板部中央部へと広がって行くためグラフでは塑性化が余り進んでいないように見えるが、実際はパネルは相当に塑性化している。

一方、図6(c)の内ダイアフラム骨組のパネルは、せい異なる梁部材の下フランジの位置に段差があることとフランジによって生じる鋼管壁の面外変形により、パネル中央面のひずみデータからはせん断ひずみを得ることができない。しかし、両フランジ位置に内ダイアフラムがあるパネル面2では履歴曲線はほぼ線形関係を保っている。この骨組では仕口のみが降伏し接合部パネルは降伏しないため、パネルモーメントは初期降伏モーメントにさえも達していない。

5. 接合の変形の骨組の挙動におよぼす影響

図8は第3節で述べた骨組の荷重-変形関係の計算方法を用いて、CFRE骨組の接合部変形が骨組変形に及ぼす影響を調べたものである。以下の場合分けて接合部の変形を考慮して解くことにする。

- Case1 全ての変形成分を考慮する場合
- Case2 仕口の変形成分を無視する場合
- Case3 接合部を剛と見なした場合

接合部変形が骨組全体の変形に占める割合は上記の計算結果から算出できる。弾性域では接合部パネルおよび仕口の変形の寄与分は、それぞれ 6.7% および 26.2% であり、接合部のみでおよそ3割の変形寄与があったことが分かる。接合部の降伏以後は更に寄与が増すことは図8を見ても理解できよう。

6. おわりに 2種類の半剛接接合部鋼骨組の実験結果を基に考察を加えた結果、以下のことを結論する。

- (1) 外ダイアフラム接合部骨組の弾塑性挙動をここで示した簡単な計算方法で良く追跡できることが分かった。
- (2) 無補剛の角形鋼管・H形鋼フランジの溶接接合部の降伏耐力は降伏線理論で精度良く予測できることを確認した。
- (3) 半剛接接合部の一例である無補強接合部の繰返し弾塑性変形挙動に対する予測は今後の課題である。

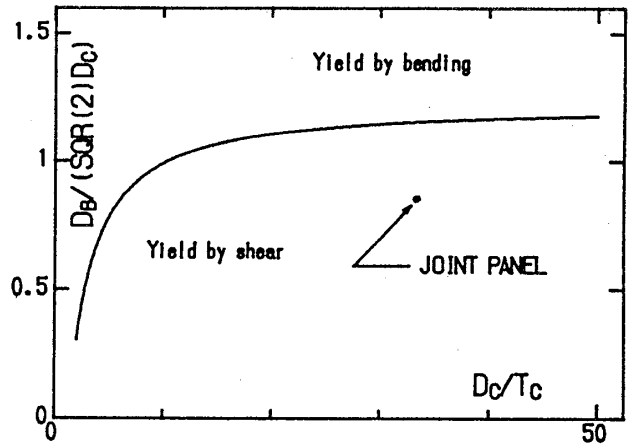


図7 接合部パネルの降伏モード

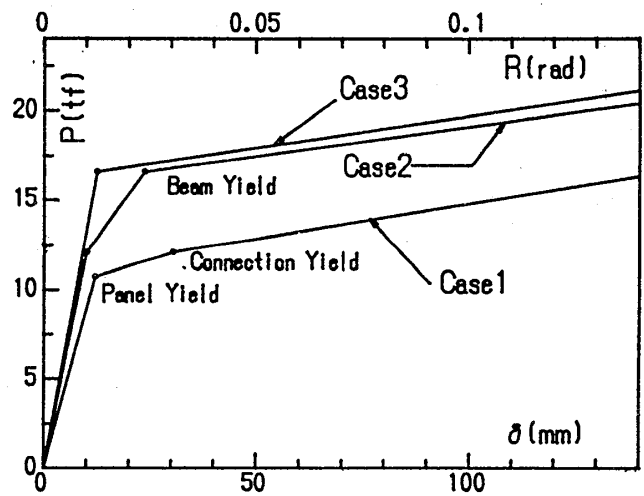


図8 接合部変形が骨組の変形に及ぼす影響

参考文献

- [1] 山成實, 小川厚治, 黒羽啓明, 海原広幸: 外ダイアフラム接合部の有限要素解析による剛性評価式(半剛接合部鋼骨組柱梁仕口の復元力特性に関する研究), 構造工学論文集, Vol. 38B, 1992年3月, pp. 475-484
- [2] 田淵基嗣, 金谷弘, 上場輝康: 角形鋼管柱・H形鋼はり接合部の局部耐力推定式-角形鋼管柱溶接接合部の実験的研究 2-, 日本建築学会論文報告集, 第352号, 昭和60年6月, pp. 79-89
- [3] Bjorhovde, R., Colson, A. and Brozzetti, A.: Classification System for Beam-to-column Connections, Proc. of ASCE, Jr. of St. Engng., Vol. 116, No. 11, Nov., 1990, pp. 3059-3075
- [4] 海原広幸, 山成實, 小川厚治, 黒羽啓明: 任意方向から曲げ・せん断力を受ける角形鋼管の弾塑性挙動に関する考察(実験および解析結果との比較), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C構造II, 1991年9月, pp. 1407-1408
- [5] 森田耕次, 江波戸和正, 渡辺仁, 山本昇, 安田博和, 里見孝之: 箱形断面柱-H形鋼面はり接合部のダイアフラム補強に関する研究-接合部降伏耐力の評価-, 日本建築学会構造系論文報告集, 第368号, 昭和63年6月, pp. 100-111
- [6] 田口武一, 笹川明: 鋼管柱・はり接合部の強度・剛性に関する研究(その2)-鋼管径厚比の変化による接合部の応力・変形の相違および接合部の降伏について-, 日本建築学会論文報告集, 第197号, 昭和47年7月, pp. 27-34