

接合部降伏型の角形鋼管柱ラーメン骨組の弾塑性挙動に関する実験的研究

(その2 実験結果と考察)

正会員 ○ 山成 實^{*1} 同 小川厚治^{*2}同 黒羽啓明^{*3} 同 渡辺純仁^{*4}

1. はじめに

本報告では、外ダイアフラム型柱はり接合部をもつ接合部降伏型の角形鋼管柱ラーメン骨組の繰返し水平加力実験^[4]の実験結果を示し、それらを基に接合部変形が骨組全体の弾塑性挙動に及ぼす影響について報告する。

2. 柱はり接合部のパネルモーメント (pM) - せん断変形 (γ) 関係

水平力を受ける骨組の柱はり接合部パネルには柱およびはり部材力によりせん断変形 (γ) が生じる。γに対応する接合部パネルの部材力をパネルモーメント (pM) と呼ぶ。これらの関係を増分表示すると式(1)で表わされる。

$$\Delta pM = pK \cdot \Delta \gamma \quad \cdots \cdots (1)$$

ここに、 $\Delta pM = \Delta M_1 + \Delta M_2 - \frac{1}{2} (\Delta Q_3 + \Delta Q_4) D_c$ 、 M_1 、 M_2 はそれぞれ接合部上下部柱のフェイスモーメント、 Q_3 、 Q_4 はそれぞれ接合部左右のはりせん断力、 D_c は鋼管柱の板厚中心間距離である。

2体の試験体骨組FR1、FR2の加力実験から得られた柱はり接合部のpM-γ関係を図1に示す。縦軸は式(2)のパネルモーメントを降伏耐力^[5] (Mpy) で除した無次元量、横軸はγを弾性限せん断変形 (γ_y) で除した無次元量で表わす。

$$Mpy = \frac{8(1-\lambda)D_b D_c T \sigma_y \sqrt{1-(N/N_y)^2}}{9\sqrt{3}(1-\lambda-\mu)} \quad \cdots \cdots (2)$$

ここで、λははり反曲点間距離に対する柱せいの比、μは柱反曲点間距離に対するはりせいの比、Tは鋼管柱の板厚、 D_b 、 D_c はそれぞれはり、柱の板厚中心間せいで、 σ_y は鋼管の降伏点である。

田淵等は一連の実験から接合部パネルの破壊耐力が降伏力の1.33倍で表わされることを導いている^[6]。

$$M_{cu} = 1.33 \cdot Mpy \quad \cdots \cdots (3)$$

一方、文献[3]で与えられる降伏パネルモーメント (Ms) は、

$$M_s = 4D_b D_c T \sigma_y / 3 \quad \cdots \cdots (4)$$

図1中の1点鎖線は弾性論から求めた接合部パネルのpM-γ関係である。同図中に M_{cu}/Mpy 、 M_s/Mpy をそれぞれ破線と2点鎖線で示す。どの接合部も式(3)、(4)の値を超え降伏後の耐力上昇が見られる。ただし、外柱の接合部では局部変形が進展したため、接合部パネルの塑性変形能力が十分発揮されなかった。

水平荷重下の柱はり仕口の局部破壊耐力の推定値

M_{clu} は式(5)で与えられる^[6]。

$$M_{clu} = 3.0 \left(\frac{T}{B} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{t_b}{h_b + T} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{h_b + T}{B} \right) \sigma_{ub} B^2 D_b \quad \cdots \cdots (5)$$

ここに、B、Tは柱の外径、板厚、 h_b 、 t_b 、 σ_{ub} はそれぞれ外ダイアフラムのせい、板厚、引張強さである。

表1に実験値と式(2)、(5)との比較した結果を示す。

式(3)によれば接合部パネルの破壊耐力は降伏耐力の1.33倍である。本実験でのパネル板厚では、接合部パネルの破壊は起こらないため2倍以上の耐力上昇が見られた。

一方、柱はり仕口の局部破壊は外柱のパネル1と3で起こったが、本実験の外ダイアフラムは1枚の鋼板からアイトレーサで切出した一枚物であるため、式(5)の値を40%以上上回った。局部破壊耐力には、外ダイアフラム入隅部の詳細が影響することが推察される。

表1 接合部耐力の実験値と予想耐力との比較

試験体	接合部	$\frac{Kt}{Kc}$	pMmax (ton·cm)	Mpy (ton·cm)	$\frac{pMmax}{Mpy}$	Mb (ton·cm)	$\frac{M_{clu}}{Mb}$ (ton·cm)	$\frac{Mb}{M_{clu}}$
FR1	パネル1	1.07	933	555	1.68	1084	771	1.41
	パネル2	1.00	1951	880	2.22	1136 *	972	1.17
	パネル3	1.05	1013	555	1.83	1177	771	1.53
FR2	パネル1	1.03	1156	555	2.08	1363	907	1.50
	パネル2	1.15	2153	880	2.45	1271 *	1226	1.13
	パネル3	0.99	1394	555	2.51	1646	907	1.82

pMmax: 接合部パネルモーメントの実験値

Mpy: 式(2)による推定値

Kt: 実験による接合部パネルの剛性

Kc: 弾性理論による接合部パネルの剛性

Mb: 接合部はり端フェイスモーメント実験値

M_{clu} : 式(5)による推定値

*: パネル2では局部破壊が生じなかった。

*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

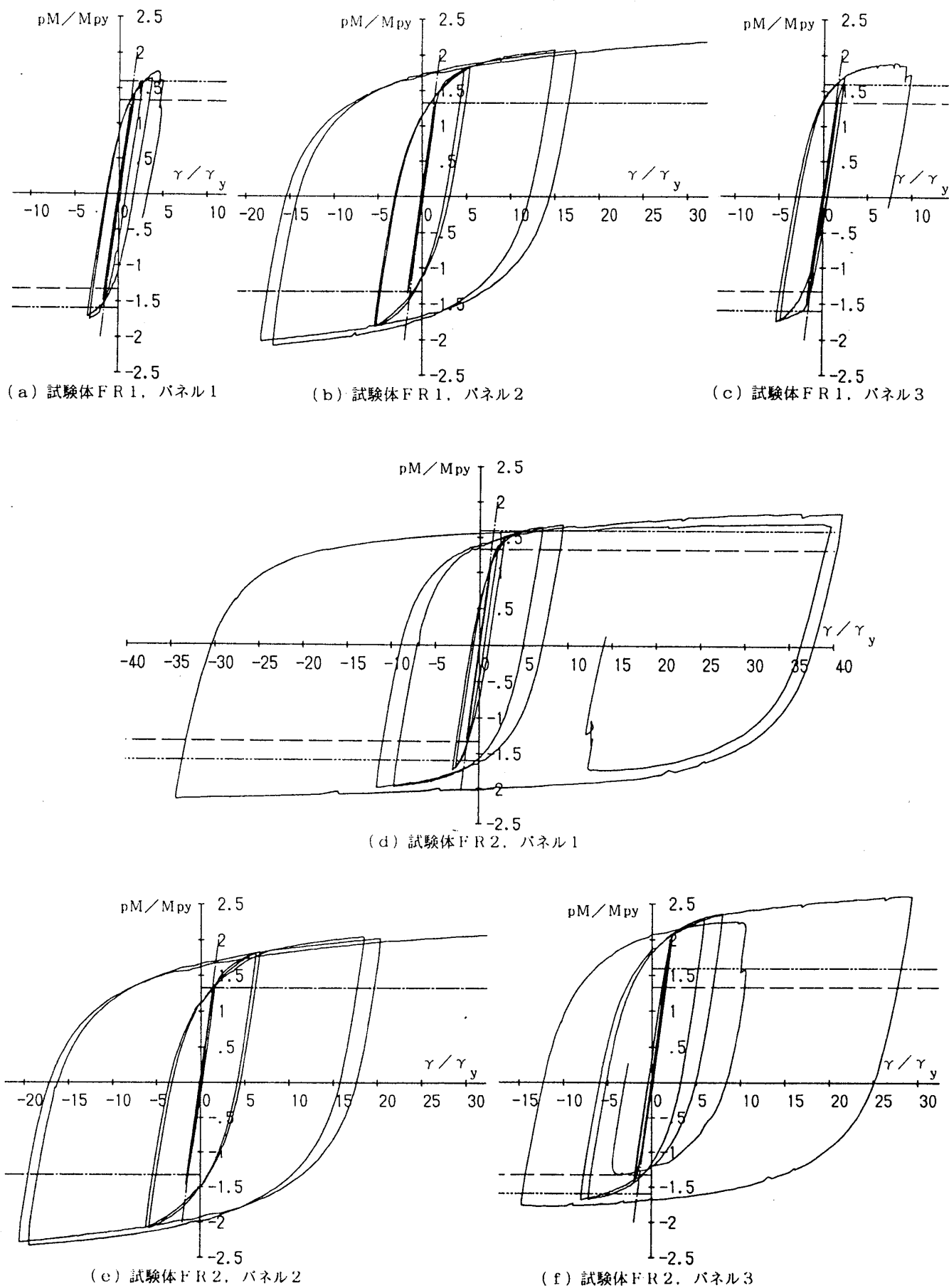


図1 柱はり接合部のパネルモーメントーせん断変形関係

3. 試験体骨組の吸収エネルギーの計算

試験体骨組全体の吸収エネルギーに対する柱はり接合部の寄与を調べるために、以下の計算を行った。まず、繰返し加力実験の荷重-変形関係から単調・方向の荷重-変形関係を図2に示す加藤・秋山¹⁷⁾の方法で求め、これより骨組全体の吸収エネルギーを求めた。また、各構造要素のひずみエネルギーを仮定を設けて計算した。

3. 1 骨格曲線と骨組の吸収エネルギー

図3は図2の手続きから得られた試験体骨組FR1とFR2の骨格曲線である。骨組全体が吸収したエネルギーを W_T とすると、

$$W_T = \int_0^{R_{max}} P(r) dr \quad \dots\dots\dots (5)$$

で求められる。

3. 2 柱、はりのひずみエネルギー

2体の試験体の柱、はり端部近傍に貼付したひずみゲージの値から、柱およびはり材は全塑性モーメントに達していないことより、柱、はりのひずみエネルギーは弾性ひずみエネルギーのみとする。

1本の柱のひずみエネルギー W_{c_i} は式(6)で与えられる。

$$W_{c_i} = Q_i^2 h_i^3 / 6EI_{c_i} \quad \dots\dots\dots (6)$$

ここに、 Q_i 、 h_i 、 I_{c_i} はそれぞれ柱 i のせん断力、材長。

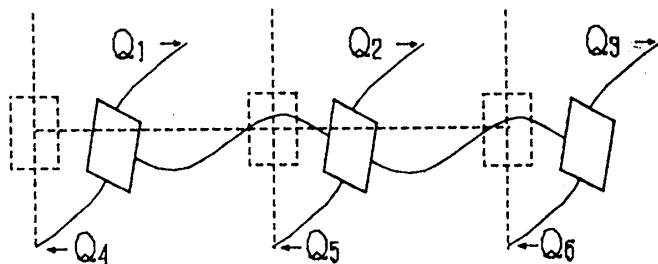


図4 骨組の変形

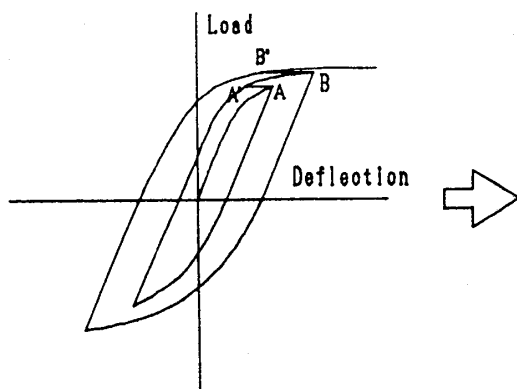


図2 骨格曲線

断面2次モーメントである。Eはヤング係数である。

また、1本のはりのひずみエネルギー W_{b_i} は式(7)で与えられる。

$$W_{b_i} = (M_{l_i}^2 + M_{r_i}^2) \ell_i / 6EI_{b_i} \quad \dots\dots\dots (7)$$

ここに、 M_{l_i} 、 M_{r_i} 、 ℓ_i 、 I_{b_i} は、それぞれはり i の左端、右端フェースモーメント、材長、断面2次モーメントである。

4. 接合部変形が及ぼす骨組全体の吸収エネルギーへの寄与

図4は水平力を受けて変形した試験体骨組の略図である。柱の上下端部に取付けたせん断力測定装置のデータから式(6)、(7)で求めた柱、はりのひずみエネルギーをそれぞれ W_c 、 W_b とする。装置のひずみエネルギーを無視すると、接合部のひずみエネルギー W_p は、

$$W_p = W_T - W_c - W_b \quad \dots\dots\dots (8)$$

で求められる。

図3の荷重-変形関係を用いて、各部材のエネルギー吸収量を計算すると図5が得られる。図5から接合部が降伏し始めると、加速度的に骨組の吸収エネルギーが増加する。

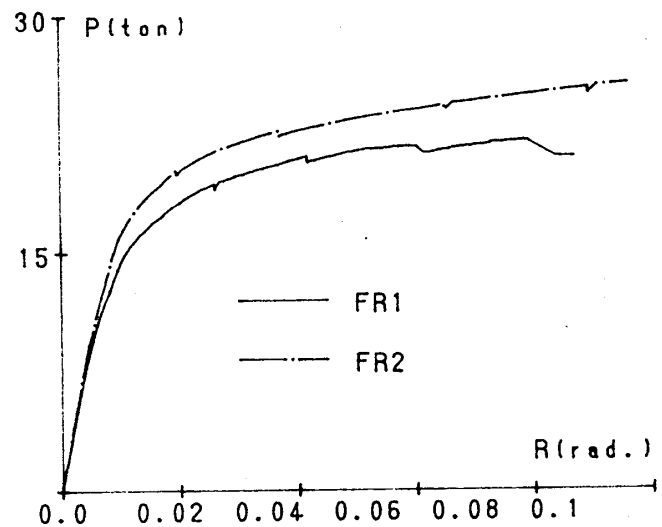
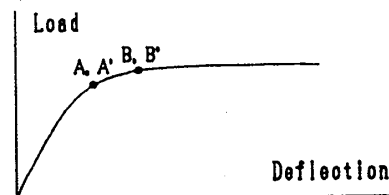


図3 試験体の骨格曲線



部材の骨組全体の吸収エネルギーに対する比を図示すると図5のようになる。弾性限内（変形角が0.01(Rad.)未満）での接合部の吸収エネルギー寄与分は、試験体FR1で約60%、FR2で約50%であった。FR1、FR2共に変形角が0.02(Rad.)には接合部の降伏がほぼ完了し、全吸収エネルギーの約80%に達した。更に変形が進むと90%を超えるまでに増加した。

5. 結論

2体の外ダイアフラム型柱はり接合部をもつ角形鋼管柱ラーメン骨組の繰返し加力実験から以下のことが結論付けられる。

- (1) 接合部耐力は溶接等による欠陥を排除すれば、より改善される。
- (2) 柱はり接合部降伏型の骨組でも繰返しによる接合部耐力の劣化が起こらなければ、接合部を耐震要素として捉えることができる。

参考文献

- [1] 上森博, 他4名: 鉄骨造ラーメン架構の弾塑性挙動に及ぼす接合部パネルの影響-その1 パネル降伏比の影響-,

日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), 1989年10月, PP. 1227-1228

- [2] 田淵基嗣, 他2名: 角形鋼管柱・H形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-, 日本建築学会構造系論文報告集, 第352号, 昭和60年6月, PP. 79-89

[3] 日本建築学会: 鋼構造塑性設計指針, 昭和50年11月

- [4] 渡辺純仁, 他3名: 接合部降伏型の角形鋼管柱ラーメン骨組の弾塑性挙動に関する実験的研究(その1 実験), 日本建築学会研究報告中国・九州支部, 第8号1, 構造系, 平成2年3月

[5] 田淵基嗣, 他1名: 角形鋼管柱・H形はり接合部パネルの耐力と変形能力に関する研究, 日本建築学会構造系論文報告集, 第367号, 昭和61年9月, PP. 69-79

- [6] 田淵基嗣: 角形鋼管接合部の耐力評価に関する実験的研究, 神戸大学学位論文, 昭和61年12月

[7] Ben KATO, "BEAM-TO-COLUMN CONNECTION RESEARCH IN JAPAN, Proc. of ASCE, Jr. of St. Div., Vol. 108, Feb., 1982, PP. 343-360

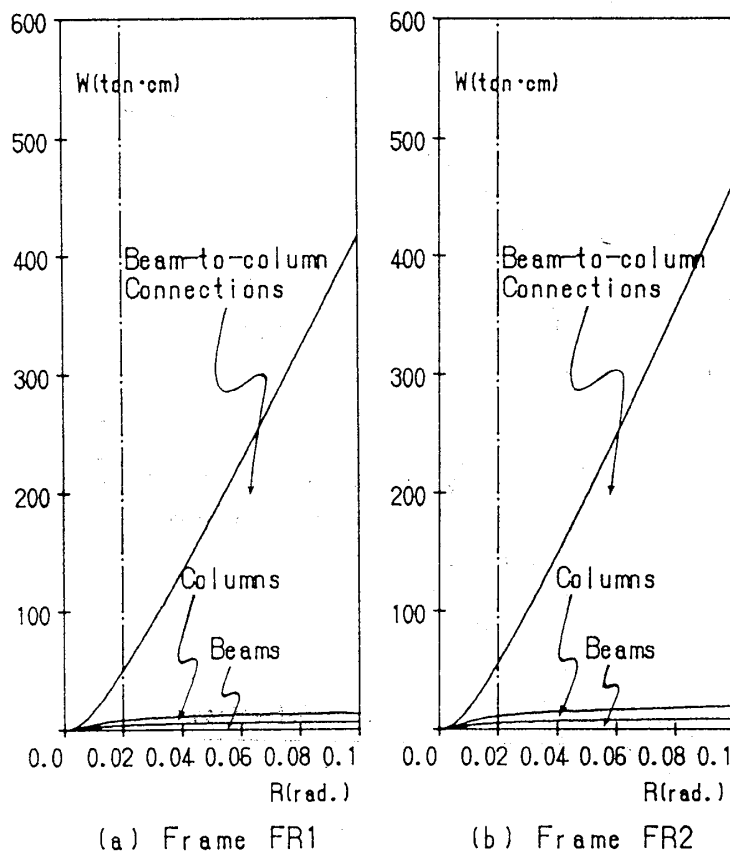


図5 骨組の吸収エネルギー

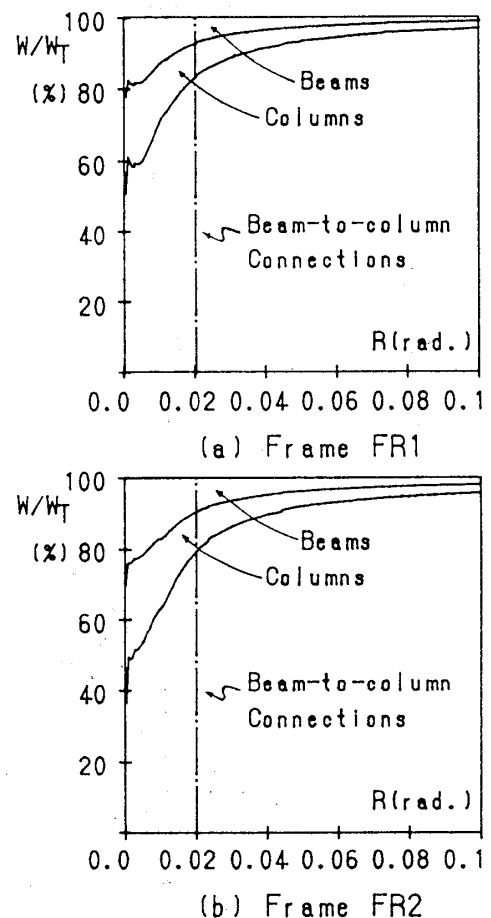


図6 部材のエネルギー負担率