

角形鋼管柱・H形鋼梁外ダイアフラム型仕口の復元力特性

X4. FEM	Y3. 柱梁仕口	Z1. 荷重・変形関係
---------	----------	-------------

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

1. 序 骨組解析を行う上で柱や梁部材などを線材に置換して解くことは巨視的にみて妥当な抽象化である。接合部が変形する骨組を考えると、簡便かつ有効な骨組解析を行うには接合部をも何らかの抽象化が必要である。本研究では柱に角形鋼管、梁にH形鋼をもつ外ダイアフラム型接合部の詳細な有限要素解析を行い、半剛接骨組解析プログラムに組み込み易い表現の接合部の復元力特性を得ることを目的とする。

2. 柱梁仕口の復元力特性

2.1 評価方法 図1に示す角形鋼管外ダイアフラム仕口のフランジ部-局部変形関係を骨組解析に組み込み易い表現に得る手段として、bi-linear 型を採用する。

2.2 初期剛性 ( $K_{l1}$ ) 著者らはすでに接合部を構成する板要素の寸法を系統的に変化させた線形有限要素解析結果から仕口の初期剛性推定式を導いた<sup>[1]</sup>。

2.3 2次剛性 ( $K_{l2}$ ) 初期剛性の評価において最も寄与の多かった鋼管の径厚比 ( $B/Tc$ ) に着目し、仕口の2次剛性を非線形有限要素解析から得る。一方、柱軸力も仕口の降伏後の局部変形挙動に影響すると考えられるので、柱材の圧縮軸力と降伏軸力との比 ( $n=N/Ny$ ) をも仕口の荷重-局部変形関係の2次剛性の評価に考慮した。

3. bi-linear 型復元力モデル 図2は仕口の局部変形挙動の bi-linear 置換模式図である。金谷等<sup>[2]</sup>は一連の実験から仕口の局部破壊耐力 ( $P_{cmax}$ ) 及び降伏耐力 ( $P_{cy}$ ) を誘導している。本研究における降伏耐力は溶接ビードの余盛りを無視した結果<sup>[3]</sup>  $1/2 \cdot P_{cmax}$  とした。一方、図2の  $\delta_{30}$  は骨組の柱梁材が剛であると仮定して層間変形が  $1/30$  に達する時に対応する仕口の局部変形である。骨組の柱梁部材、接合部パネルが剛であると仮定した場合の仕口の局部変形 ( $\delta_l$ ) と骨組の層間変形角 ( $R$ ) は図3から式(1)で与えられる。

$$R = \alpha = 2\delta_l / d \quad \dots (1)$$

例えば、鋼管柱の外径  $B=300\text{mm}$  の時、梁せい  $d=1.5 \cdot B=450\text{mm}$  で、 $\delta_{30}=7.5\text{mm}$  である。以上から柱梁仕口の2次剛性の評価は、 $1/2 \cdot P_{cmax}$  以上かつ  $\delta_{30}$  までの有限要素解析結果を直線近似して求めた。

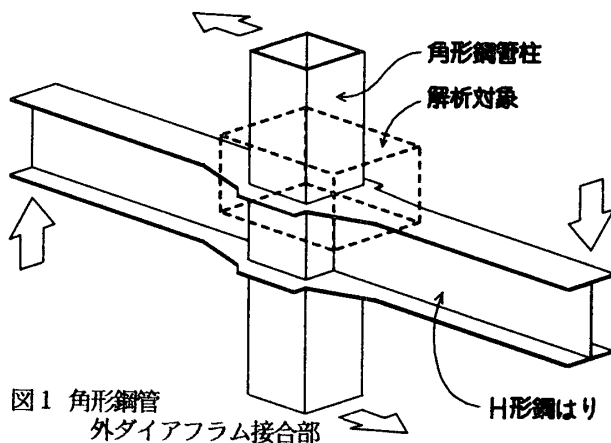


図1 角形鋼管外ダイアフラム接合部

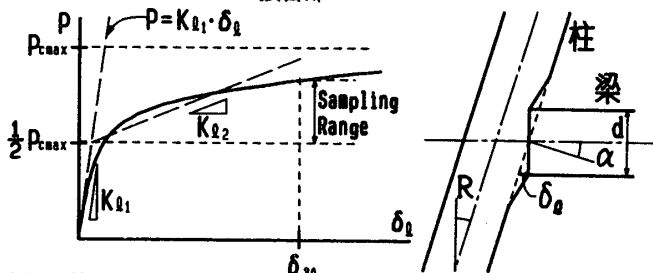


図2 仕口の復元力モデル

図3 R と  $\delta_l$  の関係

4. 評価式

4.1 有限解析及び解析結果 柱梁仕口の2次剛性を誘導するために、汎用有限要素解析プログラム MARC<sup>[4]</sup>を用いた。鋼管の自由端に圧縮の一定柱軸力を、ダイアフラム端部に漸増引張力をそれぞれ与えて解析した<sup>[5]</sup>。解析モデルの一覧と後述の方法で得られた解析結果を表1に示す。変動パラメータは鋼管の径厚比 ( $B/Tc$ ) 及び鋼管柱の軸力比 ( $n$ ) である。 $B$ ,  $Tc$  はそれぞれ鋼管の外径、管厚である。ダイアフラム厚 ( $T_D$ )、幅 ( $D_w$ )、補剛量 ( $H_D$ ) は一定値、 $\sigma_{sd}$  はダイアフラム引張強さである。解析結果より、フランジ部-局部変形関係の接線剛性が弾性剛性の  $1/3$  に達した点の三分の一剛性耐力 ( $1/3 P$ ) は鋼管軸力を増加させてもほぼ一定を保つことが解る。

4.2 鋼管径厚比の効果 軸力比 ( $n$ ) が0の場合で、鋼管径厚比を変化させた13個のモデルの解析結果から求めた仕口の2次剛性 ( $K_{l2}$ ) は式(2)で与えられる。

$$K_{l2} = 19.941 + \frac{3.228 \times 10^4}{(B/Tc - 2.0)^{2.902}} \quad \dots (2)$$

式(2)は、 $B/Tc=2.0$ で鋼管は中実となり局部変形剛性無限大となる。解析結果と推定値の比の変動係数は0.137である。

4.3 鋼管軸力比の効果 鋼管軸力比の仕口の2次剛性に与える効果を調べるために、径厚比と軸力比は互いに独立して仕口の2次剛性に影響すると仮定する。

すなわち、

$$K_{lz} = f(B/Tc, n) = g(B/Tc) \cdot h(n) \dots (3)$$

とおいて、さらに、

$$y = K_{lz} / g(B/Tc) = h(n) \dots (4)$$

とする。 $n=0$ の時  $y=1$  であることと軸力比が増すにつれて剛性低下率も増すことを考慮して、有限要素解析結果を基に最小二乗法で推定式を求めると、

$$y = 1 - n^{1.353} \dots (5)$$

図4が得られる。有限要素解析結果と推定値の比の変動係数は0.092である。図5に解析結果と推定曲線を示す。

5. 結論 外ダイアフラムをもつ角形鋼管柱・H形鋼梁仕口の複合非線形有限要素解析プログラムによる数値実験から仕口の局部変形挙動を表現する bi-linear モデルを得た。仕口の復元力特性を増分形で表現すると式(6)になる。

$$\Delta M = K_r \cdot \Delta \alpha \dots (6)$$

ただし、梁端モーメント ( $M$ )、仕口の回転角 ( $\alpha$ )、

$K_r = K_l \cdot d^2/2$ 、 $d$  は梁フランジ中心間距離である。

①弾性時 ( $0 \leq P \leq P_y$ )

$$K_l = 4.950 \left( \frac{B+H_w}{B} \right)^{4.603} \left( \frac{B+T_d}{B} \right)^{1.353} \left( \frac{B}{Tc} \right)^{2.371} \left( \frac{D_w}{B} \right)^{0.303} \frac{EI}{(B/2)^3}$$

表1 解析結果

名称	n	B	Tc	B/Tc	Tb	Hb	Dw	$\sigma_{ud}$	$P_{cmax}$	$1/3P$		$K_{e1}$	$K_{e2}$	FEM $K_{e2}$	FEM $K_{e2}/K_{e2}$	$K_{e2}/K_{e1}$
										tf	tf					
A206	0	0.6	33.3						64.23	22.07	1146.7	21.41	21.20	0.990	0.019	
A209	0									26.93		25.18	20.19	0.802	0.017	
B209	30	20	0.9	22.2	1.33				88.31	26.82	1479.8	20.24	16.74	0.827	0.013	
C209	50									27.48		15.32	10.79	0.704	0.010	
A212	0	1.2	16.7						111.57	32.61	1773.3	33.25	25.68	0.772	0.019	
A306	0									31.45		20.37	22.25	1.092	0.027	
B306	30	0.6	50.0						81.16	30.56	750.7	16.37	19.04	1.163	0.022	
C306	50									29.28		12.39	14.35	1.158	0.017	
A309	0	0.9	33.3						110.29	36.80	969.1	21.41	20.14	0.941	0.022	
A312	0									40.71		23.55	22.33	0.948	0.020	
B312	30	30	1.2	25.0	2.2	2.0	18	4.1	138.06	40.44	1161.3	18.93	18.20	0.961	0.016	
C312	50									40.96		14.33	11.44	0.798	0.012	
A315	0	1.5	20.0						165.06	51.55	1335.1	27.29	25.79	0.945	0.020	
A320	0									57.93		38.83	48.98	1.261	0.024	
B320	30	2.0	15.0						209.06	57.46	1600.9	31.21	40.68	1.303	0.019	
C320	50									57.17		23.63	27.65	1.170	0.015	
A330	0	3.0	10.0						295.10	96.21	2065.9	97.24	96.46	0.992	0.047	
A406	0	0.6	66.7						96.39	38.58	561.1	20.12	23.57	1.171	0.036	
A409	0									43.64		20.55	19.56	0.952	0.028	
B409	30	40	0.9	44.4	2.67				130.06	43.12	724.1	16.52	15.64	0.947	0.023	
C409	50									42.37		12.50	9.81	0.785	0.017	
A412	0									50.78		21.41	19.92	0.930	0.025	
B412	30	1.2	33.3						161.85	48.35	867.7	17.21	15.49	0.900	0.020	
C412	50									47.81		13.03	10.06	0.772	0.015	
A420	0	2.0	20.0						242.23	67.10	1196.6	27.29	32.98	1.209	0.023	

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

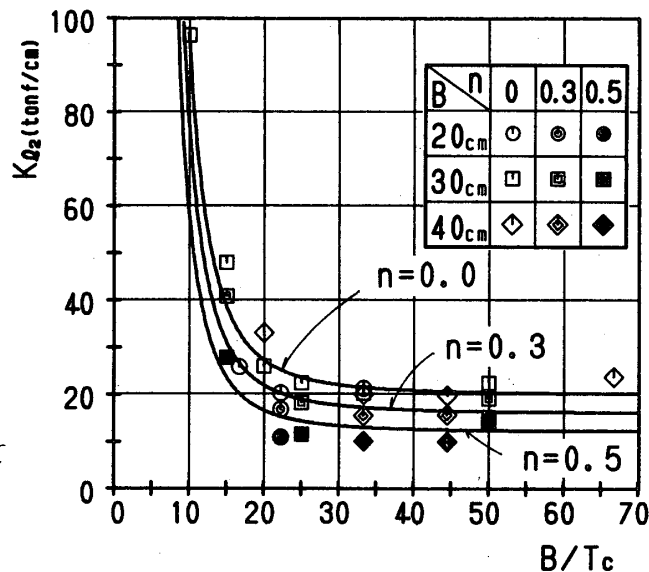


図5 軸力を考慮した仕口の二次剛性の解析値と推定値の比較

②降伏後 ( $P_y \leq P$ )

$$K_l = \left\{ 19.941 + \frac{3.228 \times 10^4}{(B/Tc - 2.0)^{2.902}} \right\} \left\{ 1.0 - \left( \frac{N}{N_y} \right)^{1.953} \right\}$$

$P_y = 1/2 \cdot P_{cmax}$ ,  $E$  は鋼管のヤング係数,  $I = Tc^3/12$

である。

参考文献 [1] 渡辺純仁, 山成實, 小川厚治, 黒羽啓明: 半剛接合鋼骨組の柱梁仕口の復元力特性に関する研究(角形鋼管柱・H形鋼梁仕口の回転剛性の評価式), 日本建築学会九州支部研究報告, 第32号, 1991年3月, pp. 209-212 [2] 田淵基嗣, 金谷弘, 上場輝康: 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-, 日本建築学会論文報告集, 第352号, 昭和60年6月, pp. 79-89 [3] 山田誠一郎, 山成實, 小川厚治, 黒羽啓明, 海原広幸: 角形鋼管柱・H形鋼梁をもつ外ダイアフラム型接合部の非線形有限要素解析, 第33号, 1992年3月, pp. 305-308 [4] S. S. Rao: The Finite Element Method in Engineering 2nd Ed., Pergamon Press, 1989 [5] 海原広幸, 山成實, 小川厚治, 黒羽啓明: 柱軸力を考慮した角形鋼管柱・H形鋼梁仕口の復元力特性, 第33号, 1992年3月, pp. 301-304

第33号, 1992年3月, pp. 301-304

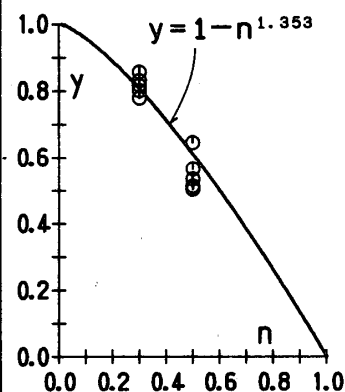


図4 仕口の二次剛性と鋼管軸力比の関係