

2方向から水平力を受ける立体部分骨組の弾塑性性状に関する研究 (その4 外ダイアフラム仕口の弾塑性性状評価式)

正会員 ○ 山成 實\*1  
同 隋 偉寧\*2

鋼管 接合部 有限要素解析

1. はじめに

本報告では、円形鋼管柱・H形鋼梁で構成される外ダイアフラム接合形式の立体部分骨組の弾塑性挙動を容易に追跡するために、一連の数値実験から柱梁仕口の力学的特性を表す評価式の誘導を行った結果を示す。

2. 立体部分骨組を用いた数値実験

本報告で注目する柱梁仕口の力学的特性を調べるには、骨組に作用する水平力の作用方向角は 0 deg で良く、これまでに行ってきた立体部分骨組 [1] の中で TX Frame を取り上げ、図 1 で示す諸寸法の値を変化させた数値実験を行った。数値解析は複合非線形有限要素解析プログラムで強制変位問題として行った。要素はすべて 1 次の四辺形シェル要素であり、シェル要素のレイヤー数は 11 である。要素の降伏条件は、von Mises の降伏条件とした [2]。

解析骨組は表 1 に示す計 32 体の立体部分骨組である。同表にある寸法値は、鋼管径が 216.3 mm を基準として無次元寸法パラメータが実用の範囲をカバーできるように変化している (表 2)。

3. 初期剛性

32 個の部分骨組の解析結果から文献 [3] の方法に従い、柱梁仕口部の初期剛性推定式を誘導した。数式のモデルは、仕口の初期剛性 (図 2) に強く影響を及ぼす無次元寸法パラメータを選択し、対数正規分布に従うと仮定した。柱梁仕口の初期剛性の推定式を式 (1) で得た。

$$\frac{C K_{L0} R^3}{EI} = 1.466 \times 10^3 \left(\frac{R}{t}\right)^{2.383} \left(\frac{2R + h_s}{2R}\right)^{2.835} \times \left(\frac{B_f}{D}\right)^{0.409} \left(\frac{t_d}{R}\right)^{0.692} \dots (1)$$

ただし、E はヤング係数、 $I = t^3 / 12$ 。

推定結果を図 3 に示す。

4. 降伏耐力

文献 [4] で定義した 3 分の 1 剛性耐力を柱梁仕口の降伏耐力とし、その推定式を 3. と同様の手順で導いた結果、式 (2) を得た。

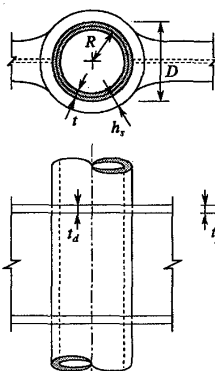


図 1 寸法記号

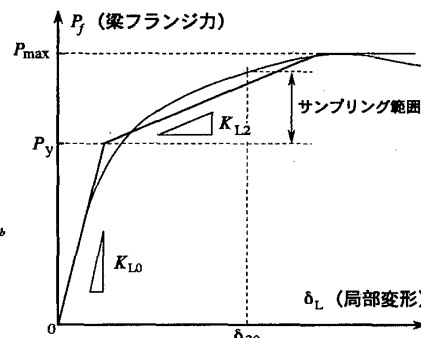


図 2 柱梁仕口の諸定義

$$C P_{Ly} = 3.042 \left(\frac{t}{R}\right)^{0.421} \left(\frac{t+h_s}{R}\right)^{0.434} \left(\frac{B_f}{D}\right)^{0.254} \times \left(\frac{t_d}{R}\right)^{0.695} R^2 \sigma_y \dots (2)$$

ただし、 $\delta_y$  はダイアフラムの降伏点。推定結果を図 4 に示す。

表 1 解析骨組と解析結果

名称	D	t	h <sub>s</sub>	B <sub>f</sub>	t <sub>f</sub>	t <sub>w</sub>	t <sub>d</sub>	h <sub>b</sub>	K <sub>L0</sub>	K <sub>L2</sub>	P <sub>Ly</sub>	P <sub>Lmax</sub>
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kN	kN	kN	kN
1-1	216.3	4.5	150	300	12	8	6	12	686.53	29.63	258.39	387.5
1-2		6							793.52	38.59	307.21	482.6
1-3		8							965.13	54.49	371.83	616.1
1-4		10							1132.42	73.19	428.28	747
1-5		12							1312.55	91.24	480.64	852.9
2-1		4.5							847.36	51.6	334.82	471
2-2		6							1005.81	62.59	385.1	583.6
2-3		8							1196.26	74.97	446.12	717.5
2-4		10							1370.16	88.56	498.8	836.6
2-5		12							1573.8	116.38	547.22	923.4
3-1		4.5							1053.83	—	407.76	538.1
3-2		6							1179.74	90.51	461.06	651.8
3-3		8							1349.46	82.02	529.53	778.1
3-4		10							1560.55	91.36	597.37	907.8
3-5		12							1768.47	—	648.63	—
2-3A1		1463.4							98.96	543.53	852.3	—
2-3A2		1103.2	67.29	418.41	661.8	—	—	—	—	—	—	—
2-3B1		976.34	63.81	402.91	653	—	—	—	—	—	—	—
2-3B2		1065.71	65.68	425.14	680.4	—	—	—	—	—	—	—
2-3B3		1264.83	77.16	452.77	725.8	—	—	—	—	—	—	—
4-1		1714.24	—	568.85	—	—	—	—	—	—	—	—
4-2		1842.29	—	593.38	—	—	—	—	—	—	—	—
4-3		2029.5	—	633.77	—	—	—	—	—	—	—	—
4-4		2137.2	—	651.66	—	—	—	—	—	—	—	—
4-3A		2401.98	—	801.31	1229.02	—	—	—	—	—	—	—
4-3B		1897.61	—	590.77	—	—	—	—	—	—	—	—
2-3B11		1029.55	—	412.67	676	—	—	—	—	—	—	—
2-3B12		997.8	69.95	413.73	662.7	—	—	—	—	—	—	—
2-3C1		1180.82	—	451.96	712.3	—	—	—	—	—	—	—
2-3C2		1173.14	65.45	464.08	701.5	—	—	—	—	—	—	—
2-3B31		1258.53	75.67	467.48	730.3	—	—	—	—	—	—	—
2-3B32		876.19	69.72	471.7	716.7	—	—	—	—	—	—	—

5. 2次剛性

図2に示す柱梁仕口の荷重-変形関係において、解析結果の曲線のサンプリングの範囲を直線近似し、その勾配を柱梁仕口の2次剛性とする。同図で $\delta_{30}$ は柱の部材角が1/30 radに達したときの仕口の局部変形を指す。表1で示されるように、上記の変形に達しなかった結果は除外して誘導した2次剛性推定式を式(3)で示す。

$$\frac{cK_{L2} R^3}{EI} = 1.117 \times 10^3 \left(\frac{R}{t}\right)^{2.330} \left(\frac{t+h_s}{R}\right)^{0.612} \times \left(\frac{B_f}{D}\right)^{1.225} \left(\frac{t_f}{B}\right)^{0.985} \dots (3)$$

推定結果を図5に示す。

6. 最大耐力

柱梁仕口の最大耐力は、主にダイアフラムの局部座屈に起因する。式(4)が推定結果である。

$$cP_{Lmax} = 3.934 \left(\frac{t}{R}\right)^{0.653} \left(\frac{t+h_s}{D}\right)^{0.297} \left(\frac{B_f}{D}\right)^{0.161} \times \left(\frac{t_d}{R}\right)^{0.443} R^2 \sigma_y \dots (4)$$

骨組中の仕口部以外の構造部材が先行降伏することによって仕口が最大耐力に達しない結果は、この推定から除外した。表1中のハイフンは、除外したことを示す。推定結果を図6に示す。

7. おわりに

円形鋼管柱・H形鋼梁を用いた外ダイアフラム柱梁接合部の仕口部分の力学特性を表す評価式の誘導を試みた。誘導した式は仕口部の初期剛性、降伏耐力、2次剛性および最大耐力の4つであり、これらは仕口部の基本的情報となり、仕口部の弾塑性挙動を簡単な多直線で表現するのに役立つ。

参考文献

- [1] 隋偉寧, 山成實: 軸圧縮力と2軸水平力を受ける立体部分骨組の弾塑性性状, 鋼構造年次論文報告集, 第13巻, pp. 229-234, 2005.11
- [2] 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, pp.475-484, 1992.3
- [3] 上場輝康, 金谷弘, 藤原勝義, 田淵基嗣, 鋼管柱H形梁接合部の耐力推定式 - 鋼管柱溶接接合部の研究 -, 日本建築学会論文報告集, 第325号, pp. 67-73, 1983.3
- [4] 隋偉寧, 山成實: 円形鋼管柱・H形鋼梁をもつ外ダイアフラム接合部の力学的特性評価, 日本建築学会九州支部研究報告集, 第45号, 構造系, pp. 473-476, 2006.3

表2 寸法パラメータ

寸法パラメータ	適用範囲	
	min	max
$R/t$	6.26	~ 23.53
$R/(t+h_s)$	1.79	~ 5.43
$D/B_f$	1.24	~ 2.16
$h_b/B_f$	1.7	~ 2.7
$R/t_d$	8.35	~ 13.02
$B_f/t_f$	11.11	~ 19.44

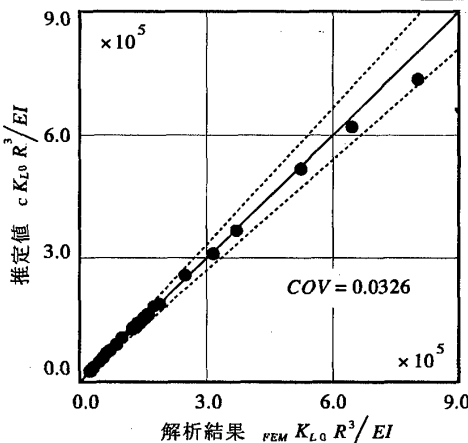


図3 初期剛性の推定

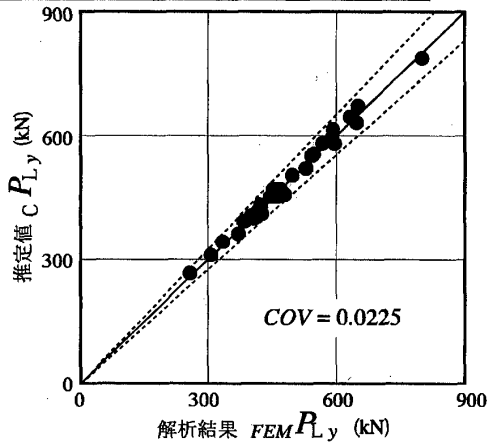


図4 降伏耐力の推定

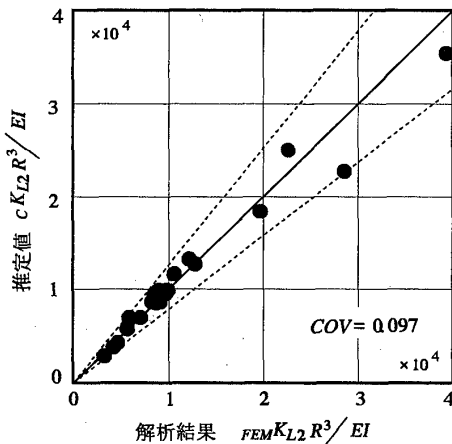


図5 2次剛性の推定

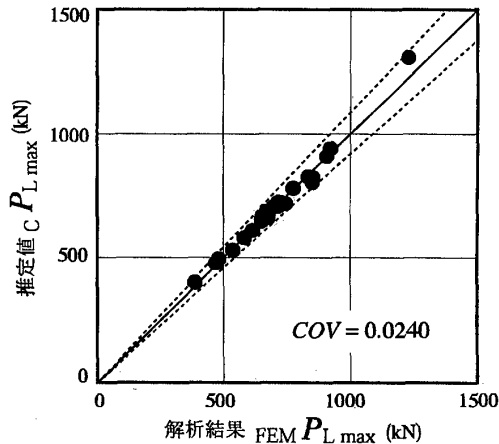


図6 最大耐力の推定

\*1 熊本大学大学院自然科学研究科 助教授・工博  
\*2 熊本大学大学院自然科学研究科 大学院生・工修

\*1 Assoc. Prof., Graduate School of Science and Technology, Kumamoto Univ., Dr. of Eng.  
\*2 Graduate Student, Graduate School of Science and Technology, Kumamoto Univ., M. of Eng.