

## 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

正会員 ○ 隋偉寧<sup>\*1</sup>, 同 山成實<sup>\*2</sup>

## 2. 構造— 10. 鉄骨構造

鋼骨組, 柱梁接合部, 弾塑性, 有限要素解析

## 1. はじめに

本研究報告は, 円形鋼管柱・H形鋼梁をもつ外ダイアフラム接合部における仕口部の弾塑性特性を定式化する目的で, 立体部分骨組の有限要素法による弾塑性解析による数値実験から得られた結果に基づいて得られた知見を報告する。

## 2. 円形鋼管柱・H形鋼梁をもつ外ダイアフラム接合形式の立体部分骨組

図1は, 著者等が行ってきた円形鋼管柱・H形鋼梁をもつ外ダイアフラム形式の立体部分骨組の有限要素法を用いた数値実験のための解析モデルである<sup>[1,2,3]</sup>。接合部の仕口とは梁端部が柱に接合される部分を指し, 外ダイアフラム接合部では梁フランジ力に起因する仕口の局部変形が生じることで知られている。本来, 平面骨組によって本題の研究は遂行可能であるが, 本研究が一連の研究の中にあることから, 図1のような立体部分骨組中の一構造面(T字形平面骨組)

に水平力を作用させた骨組解析で行われた。素材の機械的性質および解析条件等は文献[1,2,3]と同じである。

## 3. 柱梁仕口に関する実験パラメータ

数値実験には表1に示す合計32個の解析骨組が準備された。同表の記号(表1の第2~第9列)は図2で表す寸法である。同図中の寸法記号は仕口の力学的性状を支配する主要な量であり, 既往の実験<sup>[4]</sup>でも実験パラメータに採用されている。実験パラメータは寸法比で表され, 代表的な5つの無次元化パラメータ(表1の第10~第14列)が用意された。これらはいずれも仕口の降伏耐力および初期及び2次剛性に影響を及ぼすものであり, 設計実用の範囲をカバーできるよう変化させた。

## 4. 部分骨組の解析結果

表1の第15~第17列は, 骨組の水平初期剛性, 降伏耐力および最大耐力をまとめたものである。

降伏耐力は後述べる3分の1剛性耐力と呼ぶ一種の General Yield Load である。

## 5. 仕口の降伏耐力

解析骨組の水平力-水平変位関係から降伏耐力を推定する式を誘導する。上場は, 円形鋼管と一枚の外ダイアフラムからなる単純模型の一連の引張り実験から仕口の局部破壊耐力およびそれを係数倍して得た仕口の降伏耐力の推定式(1)を導いた<sup>[4]</sup>。

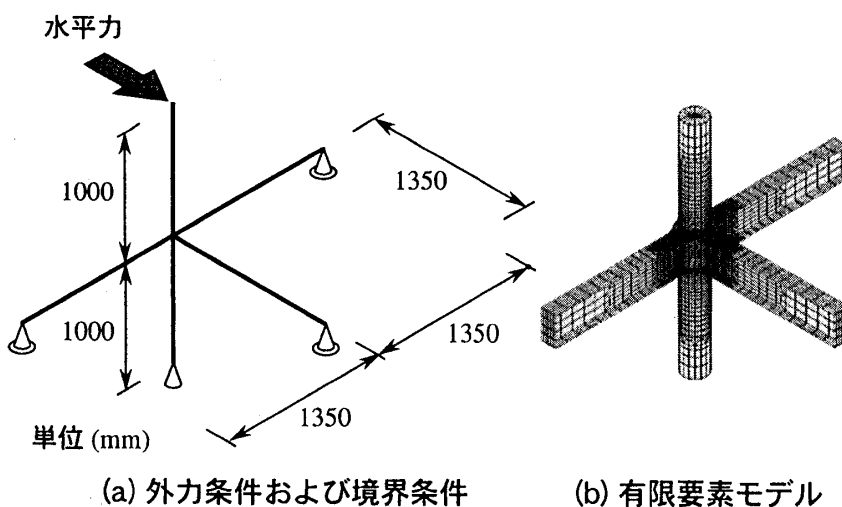


図1 立体部分骨組

Evaluation of Characteristics of External Diaphragm Connection  
with RHS Steel Column and Wide Flange Steel Beam

SUI Weining and YAMANARI Minoru

$$\frac{\kappa P_{cmax}}{\sigma_y R^2} = (3.81 \times \frac{B_f}{D} + 1.72) (\frac{t}{R})^{0.782} (\frac{t_d}{R})^{0.564} (\frac{t+h_s}{R})^{0.386} \quad (1)$$

$$\kappa P_y = 0.65 P_{cmax}$$

骨組の水平力は部材寸法を用いて仕口の耐力から換算できるので、解析結果と比較することができる。図3はその結果である。式(1)による結果と解析結果には一定の比を保った直線関係が認められ、解析結果は推定値の概ね2倍の値を取ることが分る。この差異を検討してみると、第一に図4で示されるように、降伏耐力の定義が異なっていることである。第二に解析モデルは理想化されたものであり、残留応力の無

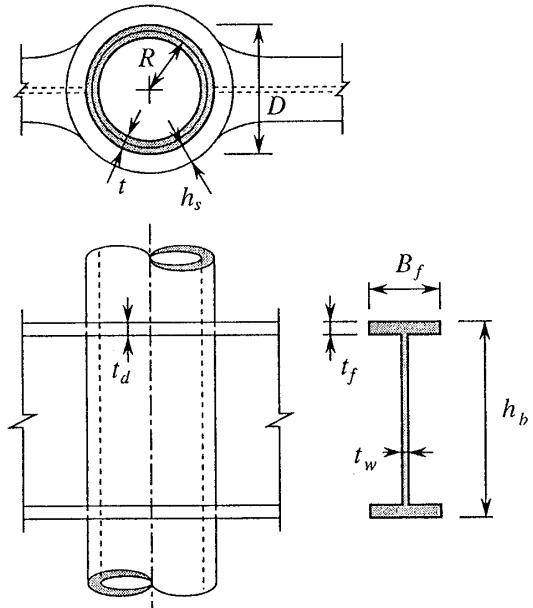


図2 仕口部の寸法記号

表1 解析骨組の実験パラメータと解析結果

名称	D	t	h <sub>b</sub>	B <sub>f</sub>	t <sub>f</sub>	t <sub>w</sub>	t <sub>d</sub>	h <sub>s</sub>	R/t	R/(t+h <sub>s</sub> )	D/B <sub>f</sub>	h <sub>b</sub> /B <sub>f</sub>	R/t <sub>d</sub>	K <sub>e</sub>	P <sub>y</sub>	P <sub>max</sub>				
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm						kN/mm	kN	kN				
1-1	216.3	4.5	300	150	9	6	9	15	23.53	5.43	1.44	2	11.77	2.33	42.71	61.20				
1-2		6							17.53	5.01			11.68	2.76	52.13	76.10				
1-3		8							13.02	4.53			11.57	3.24	66.27	97.10				
1-4		10							10.32	4.13			11.46	3.63	78.52	117.67				
1-5		12							8.51	3.78			11.35	3.97	91.62	133.68				
2-1		4.5							23.53	3.07			11.77	2.45	54.46	74.36				
2-2		6							17.53	2.92			11.68	2.92	65.63	92.09				
2-3		8							13.02	2.74			11.57	3.42	78.77	112.70				
2-4		10							10.32	2.57			11.46	3.81	89.30	131.80				
2-5		12							8.51	2.43			11.35	4.15	104.74	145.36				
3-1		4.5						23.53	2.14	11.77			2.57	58.80	85.08					
3-2		6						17.53	2.06	11.68			3.03	75.97	102.84					
3-3		8						13.02	1.97	11.57			3.52	86.73	122.53					
3-4		10						10.32	1.88	11.46			3.94	102.33	143.01					
3-5		12						8.51	1.79	11.35			4.27	113.42	157.92					
2-3A1		12						8.51	1.79	11.35			4.27	113.42	157.92					
2-3A2		8						10.32	1.88	11.46			3.94	102.33	143.01					
2-3B1		8						100	9	9			13.02	2.74	2.16	3	11.57	2.97	69.89	102.96
2-3B2		125						9	9	1.73			2.4	3.20	73.95	107.27				
2-3B3		175						9	9	1.24			1.7	3.58	79.95	114.44				
4-1	16	100	9	9	6.26	2.18	1.44	3	11.13	3.98	90.57	117.46								
4-2		125	9	9	2.16	2	4.34	104.50	130.58											
4-3		150	9	9	1.73	1.7	4.69	118.96	142.42											
4-4		175	9	9	1.44	2	4.95	128.88	160.87											
4-3A		150	12	12	1.44	2	8.35	144.63	191.16											
4-3B		8	8	8	1.24	2	12.52	109.88	130.00											
2-3B11		200	100	9	9	13.02	2.74	2.16	2	11.57	1.54	45.01	69.96							
2-3B12		250	100	9	9	2.16	2.5	2.23	60.19	86.53										
2-3C1		350	150	9	9	1.44	2.3	4.23	92.59	131.60										
2-3C2		400	150	9	9	1.44	2.7	5.06	108.47	149.09										
2-3B31	350	175	9	9	1.24	2	4.41	96.69	134.93											
2-3B32	400	175	9	9	1.24	2.3	5.23	110.39	151.82											

視、実験に伴う形状不整および推定式が水平荷重時の推定に対応していないこと等が考えられる。上述のように両者の間には明瞭な線形関係が存在するので、式(1)を係数倍することで仕口の降伏耐力を得ることにする。最小二乗法によりその係数を求めて得た結果を梁フランジ力として式(2)に示す。

$$\frac{FEM P_y}{\sigma_y R^2} = 1.32 \left( 3.81 \frac{B_f}{D} + 1.72 \right) \left( \frac{t}{R} \right)^{0.782} \left( \frac{t_d}{R} \right)^{0.564} \left( \frac{t+h_s}{R} \right)^{0.386} \quad (2)$$

### 6. 仕口の初期剛性

仕口の変形は梁端部の回転角として現れ骨組の水平剛性に影響する。仕口の初期剛性は梁端曲げモーメントと梁端回転角の関係を部分骨組の有限要素解析結果から求め、文献[5]の手順で仕口の初期剛性推定式を式(3)で得た。

$$\frac{c K_{L0} R^3}{EI} = 1.466 \times 10^3 \left( \frac{R}{t} \right)^{2.383} \left( \frac{R+0.5 h_s}{R} \right)^{2.835} \left( \frac{B_f}{D} \right)^{0.409} \left( \frac{t_d}{R} \right)^{0.692} \quad (3)$$

解析値と推定値を比較すると図5が得られる。図中の破線は推定値の95%信頼限界である。

### 7. 仕口の2次剛性

仕口の2次剛性を有限要素解析結果から求める方法として文献[5]に倣い式(4)を求めた。

$$\frac{c K_{L2} R^3}{EI} = 1.082 \times 10^3 \left( \frac{R}{t} \right)^{2.459} \left( \frac{B_f}{D} \right)^{1.267} \left( \frac{t_f}{B_f} \right)^{1.174} \left( \frac{t+h_s}{R} \right)^{0.783} \quad (4)$$

その方法とは、図6で示すように降伏耐力と骨組柱の部材角が 1/20 rad に達するときの耐力に挟まれる仕口の荷重-変形関係曲線を直線近似することで得られる直線の勾配を2次剛性とするものである。

解析値と推定値を比較すると図7が得られる。図中の破線は推定値の95%信頼限界である。

### 8. 検討

誘導した仕口の力学的諸情報の推定式を用いて部分骨組の水平荷重-水平変位関係を文献[2]]の部分骨組の有限要素解析結果と比較検討した図8を得た。この骨組は構成部材の中で仕口が最も弱い骨組である。同図で分るように仕口の降伏が先行し、続いて梁部材が降伏している。

### 9. おわりに

円形鋼管柱・H形鋼梁をもつ外ダイアフラム接合部における仕口部の弾塑性特性を有限要素解析による数値実験から以下の結論を得た。

1) 実用の範囲をカバーできる接合部の寸法パラメータで、円形鋼管柱・H形鋼梁をもつ外ダイアフラム接合部における仕口部の降伏耐力、初

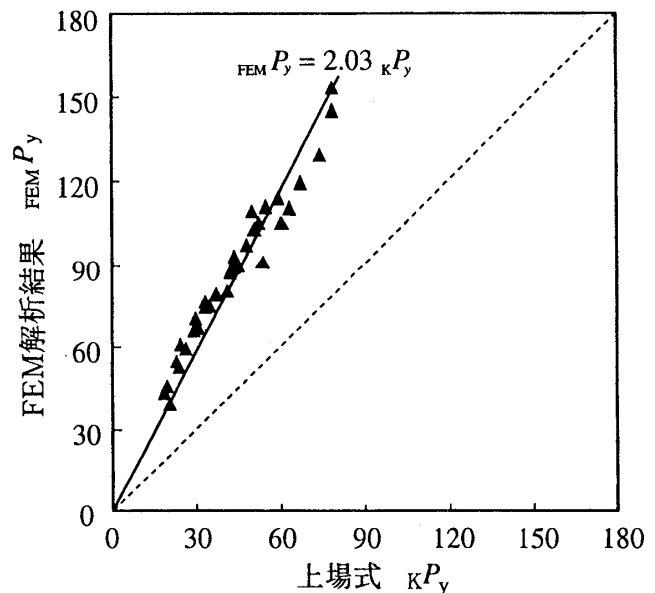


図3 降伏耐力の比較

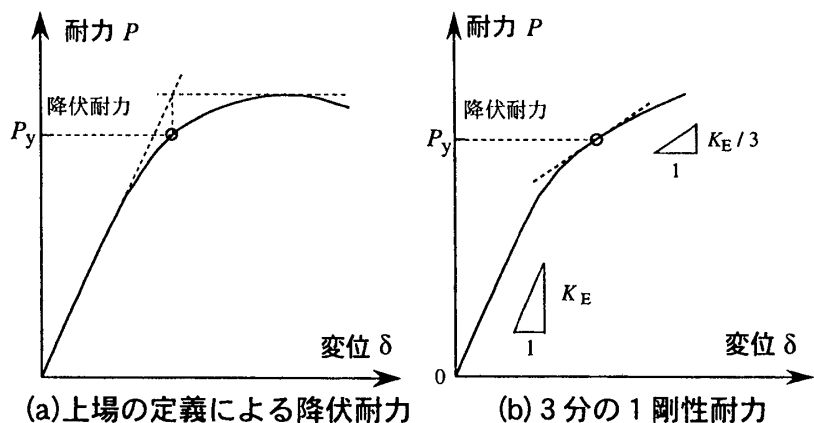


図4 仕口の降伏耐力の定義

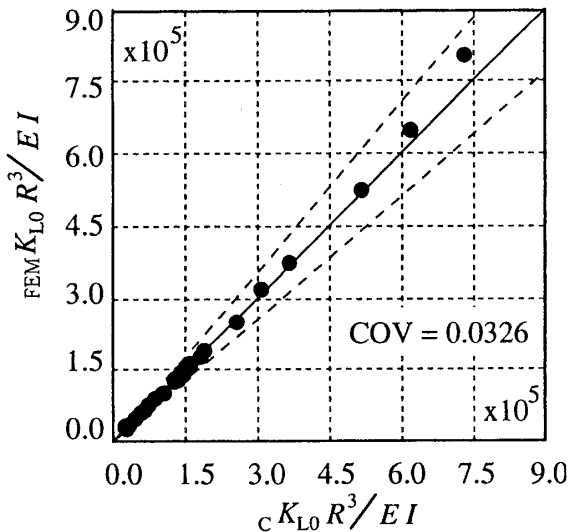


図5 仕口の初期剛性の推定

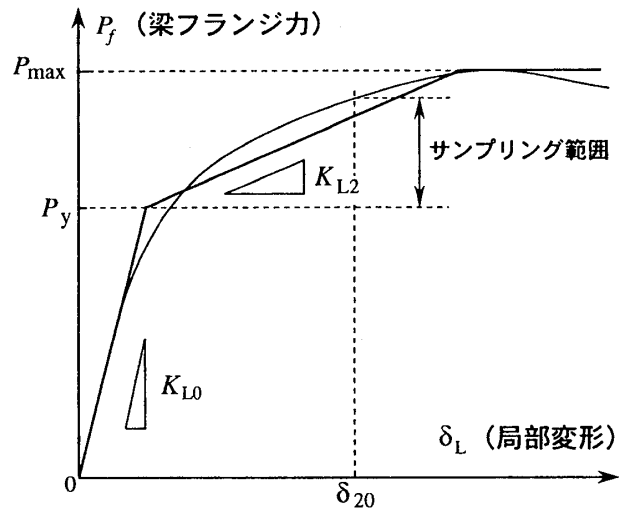


図6 仕口の2次剛性の定義

期剛性、および2次剛性を簡単な式で表現できた。

2) 接合部の力学的情報を用いることで半剛接骨組の挙動を容易に追跡できることを示せた。

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] 隋偉寧, 山成實, 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, 鋼構造年次論文報告集, 第12巻, pp.261-268, 2004.11
- 山成實, 小川厚治, 黒羽啓明, 半剛接合された角形鋼管柱・H形鋼梁骨組の弾塑性挙動, 構造工学論文集, Vol. 40B, pp. 475-484, 1994.3
- [3] W. Sui, M. Yamanari, Characteristics of 3-D Steel Subassemblages with External Diaphragm under Biaxial Lateral Force, Proc. of 3rd International Symposium on Steel Structures, Vol. 2, pp.983-994, 2005.3
- [4] 上場輝康, 金谷弘, 藤原勝義, 田淵基嗣, 鋼管柱・H形鋼はり接合部の耐力推定式 - 鋼管柱溶接接合部の研究 II -, 日本建築学会論文報告集, 第325号, pp.67-73, 1983.3
- [5] 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 (半剛接鋼管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

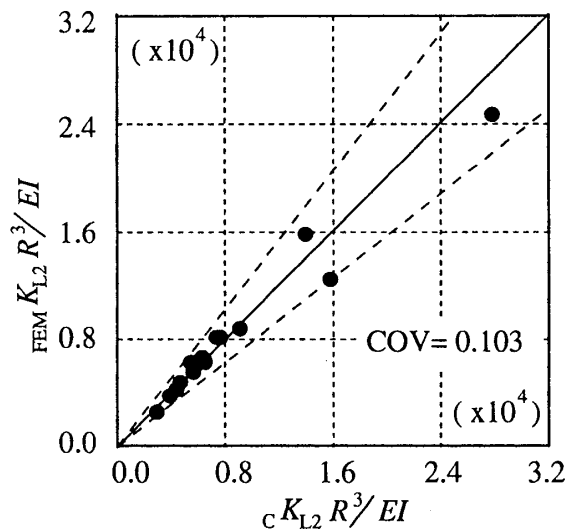


図7 仕口の2次剛性の推定

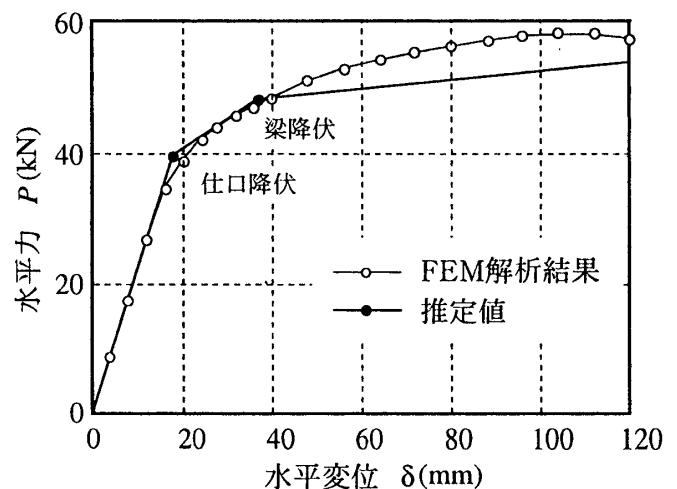


図8 推定式から求めた荷重-変形関係

\*1 熊本大学大学院 博士前期課程

\*2 熊本大学 助教授・工博

Graduate School, Kumamoto University  
Assoc. Prof., Kumamoto University, Dr. Eng.