

外ダイアフラムをもつ鋼重層骨組の耐震設計に関する研究 (その1 静的構造解析から導かれる設計要件)

正会員 ○ 大塚智子*1
同 隋偉寧*1
同 山成實*2

鋼重層骨組 柱梁接合部 半剛接合
外ダイアフラム 静的解析

1. はじめに

本報告は、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を重層骨組のエネルギー吸収要素と捉え、その設計要件について静的骨組解析結果から得た知見を報告する。

2. 外ダイアフラム接合部の特質

この形式の接合部は柱梁仕口部に局部変形が生じる。日本では、半剛接合は耐震設計に適用し難く、剛な接合部設計が適用されている。しかし、剛接合に近い半剛接合は初期剛性も高く、降伏後の耐力上昇でエネルギー吸収要素として期待できる。また、通し柱が実現できるため、応力集中部における柱部材の破断を回避できる。

3. 柱梁仕口に関する設計パラメータ

柱梁仕口の設計には以下の4つのパラメータを用意した。パラメータの値は文献[1]で示した推定式により求められる。以下に定義を示す。

3.1 接合部係数

鋼構造の耐震規定^[2]で記される接合部係数 α は、柱梁仕口の最大耐力と梁部材の全塑性耐力 M_{pb} の比で与えられている。本研究では、 $M_{r\max}$ を変化させた、式(1)で表す r を用いる。

$$r = \frac{M_{r\max}}{M_{pb}} \quad \dots (1)$$

3.2 仕口梁降伏耐力比

半剛接合部の荷重-変形関係は、早期に降伏が起るなだらかな曲線を描くのが一般的である。仕口の降伏耐力 M_{ry} を無次元化した式(2)で表す r_y を用いる。

$$r_y = \frac{M_{ry}}{M_{pb}} \quad \dots (2)$$

3.3 仕口梁初期剛性比

仕口の初期剛性は骨組剛性に影響を及ぼすため、式(3)で表す k_0 を定義する。

$$k_0 = \frac{K_{r0}}{K_b} \quad \dots (3)$$

ただし、 $K_b = 6EI/l$ 、 E は鋼材のヤング係数、 I および l はそれぞれ梁部材の断面2次モーメントおよび実長である。

3.4 仕口の硬化係数

仕口の降伏後の耐力上昇により、梁部材の降伏が期待できる。硬化係数に相当する e_t を式(4)で定義する。

$$e_t = \frac{K_{r2}}{K_{r0}} \quad \dots (4)$$

4. 実在骨組への外ダイアフラム接合部の組込

川島等は12個の梁降伏型の実在鋼重層骨組について調査研究^[3]を行っている。H形鋼梁と角形鋼管柱を用いた剛接合ラーメン骨組であるため、柱部材を円形鋼管に置換え、外ダイアフラム形式接合に設計し直した新たな12個の骨組を用意した。骨組の柱梁耐力比および柱梁剛性比を表1に示す。

5. 骨組解析

外ダイアフラム柱梁仕口を図1に示す回転バネ要素にモデル化した。この復元力特性はトリリニア型で、鋼材は全てSS400クラスである。解析には小川が開発した解析プログラム club.f^[4]で一般化ヒンジ法を用いた。

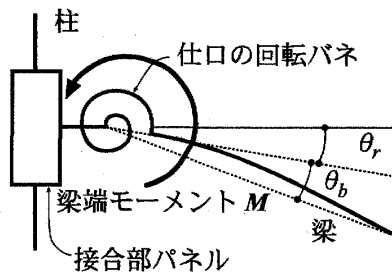


図1 仕口のモデル化

表1 外ダイアフラム接合形式の柱梁耐力比・剛性比

(a) 柱梁耐力比

(b) 柱梁剛性比

	層番号								
	9	8	7	6	5	4	3	2	1
A骨組							1.55	2.41	2.22
B骨組							1.27	1.18	1.46
C骨組							2.53	2.22	2.05
D骨組							1.03	1.53	1.54
E骨組							1.46	1.47	2.02
F骨組						1.42	2.49	1.52	1.80
G骨組						1.29	1.41	1.53	1.58
H骨組						1.17	1.16	1.64	2.57
I骨組				1.32	1.79	1.85	1.74	1.62	1.76
J骨組			1.51	2.62	2.26	2.10	1.86	1.72	1.82
K骨組	2.45	2.28	2.96	2.76	2.93	4.41	4.91	3.47	3.29
L骨組	1.35	2.31	1.93	2.45	2.66	3.13	3.35	2.90	2.48

	層番号									
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
A骨組								2.31	2.70	2.69
B骨組								2.36	1.75	1.94
C骨組								8.67	4.46	3.73
D骨組								1.25	2.09	2.23
E骨組								3.07	2.22	2.98
F骨組							3.00	5.05	2.41	3.02
G骨組							3.62	2.58	3.07	2.67
H骨組							2.02	1.96	2.45	3.34
I骨組					2.49	2.93	2.68	2.88	2.79	2.99
J骨組				3.06	4.50	3.65	3.39	3.16	2.87	2.62
K骨組	5.40	4.41	5.87	5.34	5.76	5.17	5.70	6.30	6.94	
L骨組	2.36	3.72	2.96	3.73	3.92	4.72	5.24	4.50	4.87	

Study on Aseismic Design of Multi-storied Steel Frames with External Diaphragms

Part 1. Design Requirements of External Diaphragm Connections through Static Analysis

OHTSUKA Tomoko, SUI Weining and YAMANARI Minoru

6. 層間変位角の制限

r を 0.9 から 1.6 まで変化させた各骨組に設計用地震力を作用させ、層間変位角をプロットした。骨組の 1 次設計の制限値 (1/200 rad) を上回るケースが多く見られたが、緩和規定の 1/120 rad を超えるのは限られており、柱梁仕口の剛性が過度に低下しない限り、骨組設計は可能であることが確認できる。

7. 柱梁仕口と梁部材の両方が降伏する条件

双方共に降伏し、バランスの良いエネルギー吸収が実現できる効率良い設計条件を得るため、骨組の頂部水平変位が高さの 1/50 に達するまでの検討を行った。

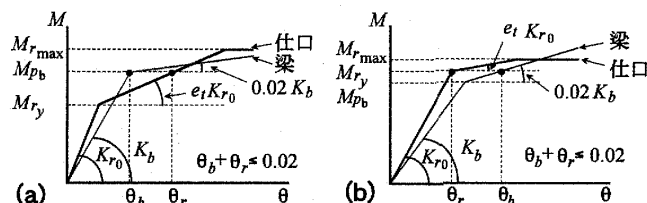


図2 仕口と梁部材の降伏順序のパターン

7.1 仕口降伏先行の場合 ($r_y \leq 1.0$)

図2(a)は、梁部材より先に仕口が降伏し、降伏後の耐力上昇で梁部材も降伏する様子を示している。上記の条件を満足する式は、式(5)で与えられる。

$$r_y \geq \frac{e_t}{1-e_t} \left(\frac{1}{e_t} + k_0 - 0.02 k_0 \frac{K_b}{M_{pb}} \right) \quad \dots \dots (5)$$

図3(a)は、ある設計された柱梁仕口に対する式(5)の境界面である。

7.2 梁降伏先行の場合 ($r_y > 1.0$)

図2(b)は、梁降伏が先行する場合の荷重変形関係である。本研究では梁部材の歪硬化係数 μ を 0.02 と定めた。

$$r_y \leq \frac{0.02 \frac{K_b}{M_{pb}} k_0 + \frac{1-\mu}{\mu} k_0}{\frac{k_0}{\mu} + 1} \quad \dots \dots (6)$$

図3(b)は、ある設計された柱梁仕口に対する式(6)の境界面である。

8. 実在骨組から導かれた柱梁仕口の設計要件

r を 1.3 とした場合、仕口と梁部材の両方が降伏するため下限値として図4が得られた。過度に低い値は、 e_t が高ければ有効であるという結果である。平均は約 85% であった。一方、推定式で求めた値に対して、領域内に含まれる接合部の r_y は図5のように表され、平均値として約 96% が得られた。図5は梁降伏先行も含む。

9. おわりに

実施設計された鋼重層平面骨組に外ダイアフラム柱梁仕口を適用し、仕口の強度と骨組の変形特性の関係を数値実験によって調べた。以下にその知見をまとめる。

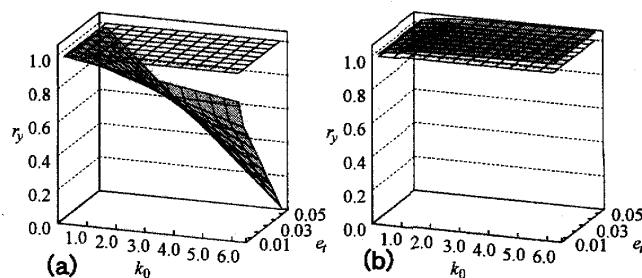


図3 仕口降伏の限界曲面

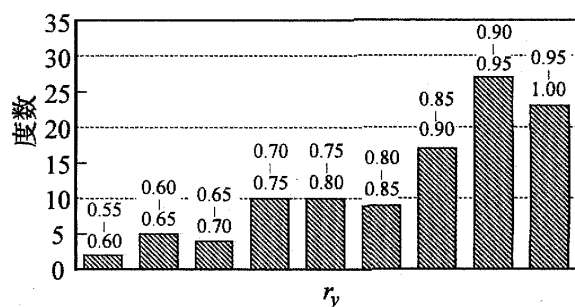


図4 設計された仕口の限界降伏比の度数分布

1) 適度の剛性をもつ外ダイアフラム接合部の骨組は、層間変位角の緩和規定を満足できる。

2) 梁、仕口の両者を降伏させる場合の仕口梁

降伏耐力比の下限値は、 r が 1.3 (保有耐力接合) のとき、12 個の骨組の平均値として約 85% が得られた。

3) r が 1.3 のときの骨組の設計された仕口の仕口梁降伏耐力比は概ね 96% であった。

謝辞

本研究は、(社) 日本鋼構造協会より平成 18 年度鋼構造研究助成および平成 19 年度熊本大学未来開拓支援事業より助成を受けた。ここに謝意を表す。

参考文献

- [1] 隋偉寧, 山成實: 軸圧縮力と水平力を受ける外ダイアフラム仕口の力学的特性評価, 鋼構造論文集, 第 54 号, pp. 17-25, 2007.6
- [2] 2007 年度版建築物の構造関係技術基準解説書, 国土交通省他監修, pp. 589-593, 2007.8
- [3] 川島敏夫, 友澤悟史, 小川厚治: 鋼構造骨組における柱梁耐力比及び柱梁剛性比の調査 (その 1 調査概要と柱梁剛性比の検討), (その 2 柱梁耐力比の検討), 日本建築学会九州支部研究報告, 第 45 号, pp. 485-488, 2007.3
- [4] 小川厚治: 梁降伏先行鋼構造ラーメン骨組の地震応答性状の解明に関する基礎的研究, 平成 17 年度~平成 18 年度科学研究費補助金 (基盤研究 (C)) 研究成果報告書, 2007.3

*1 熊本大学大学院院生

*2 熊本大学大学院 准教授・工博

*1 Graduate Student, Kumamoto University

*2 Assoc. Prof., Kumamoto University, Dr. Eng.