

鋼材強度のばらつきが柱梁接合部の梁端歪に与える影響

正会員 ○ 佐藤 篤司*

同 吹田 啓一郎**

柱梁接合部 梁端歪 接合部耐力
梁ウェブ継手効率 鋼材強度

1. はじめに

繰返し塑性変形を経験する鋼構造梁部材の変形能力を把握しようとする場合、柱梁接合部での梁端における歪の大きさを把握しておくことは重要となる。

本研究では、梁端における歪の大きさが接合部の最大曲げ耐力、鋼材強度のばらつきによってどのように影響されるかを単調載荷解析の結果から考察する。

2. 梁端接合部の最大曲げ耐力と梁断面形状

鋼構造接合部設計指針^[1]（以下、接合指針）では梁の十分な塑性変形能力を確保するために、梁端接合部の必要曲げ耐力 jM_u を次式で規定している。

$$jM_u \geq \alpha \cdot {}_bM_p \quad (1)$$

ここで、 α は梁端の接合部係数、 ${}_bM_p$ は梁の全塑性モーメントである。梁端接合部の最大曲げ耐力 jM_u と梁の全塑性モーメント ${}_bM_p$ の比は次式で表現される^[1]。

$$\begin{aligned} \frac{jM_u}{{}_bM_p} &= \frac{jM_{fu} + jM_{wu}}{Z_p \cdot F_y} = \frac{Z_{fp} \cdot F_u + m_0 \cdot Z_{wp} \cdot F_y}{Z_p \cdot F_y} \\ &= \frac{F_u}{F_y} - \left(\frac{F_u}{F_y} - m_0 \right) \frac{Z_{wp}}{Z_p} \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 F_y 、 F_u は降伏強さ、引張強さ、 Z_{fp} 、 Z_{wp} は梁フランジ、ウェブの塑性断面係数（ $Z_p = Z_{fp} + Z_{wp}$ ）、 m_0 は梁ウェブの継手効率（ $m_0 \leq 1.0$ ）である。 m_0 は次式による^[2]。

$$m_0 = \frac{4}{k \cdot r^2} \sqrt{kr - 4\sqrt{kr^3 s^2 + 1}} + \frac{4}{kr} - \frac{2}{kr^3} - 4s \quad (3-a)$$

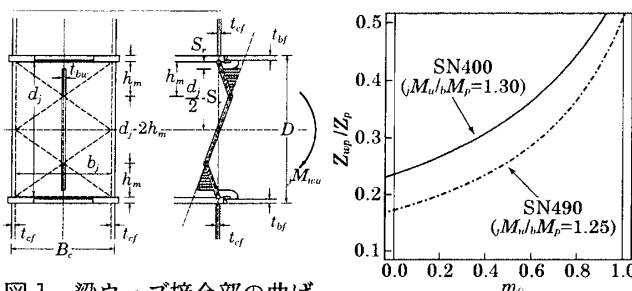
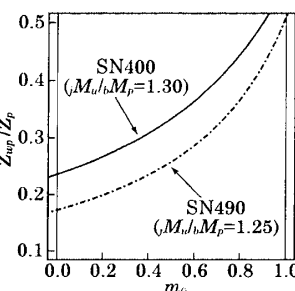
$$r = \frac{d_j}{b_j}, \quad s = \frac{S_r}{d_j}, \quad k = \left(\frac{b_j}{t_{cf}} \right)^2 \frac{t_{bw} F_{wy}}{d_j F_{cy}} \quad (3-b, c, d)$$

ここで、 F_{wy} は梁ウェブの降伏強さ、 F_{cy} は柱スキムプレートの降伏強さである。式中の記号は図1を参照。

(2)式より m_0 と Z_p/Z_{wp} の関係は次式となる。

$$m_0 = \frac{F_u}{F_y} - \left(\frac{F_u}{F_y} - \frac{jM_u}{{}_bM_p} \right) \frac{Z_p}{Z_{wp}} \quad (4)$$

接合指針では、 $jM_u/{}_bM_p$ をSN400材で1.30以上、

図1 梁ウェブ接合部の曲げによる崩壊機構^[2]図2 m_0 と Z_p/Z_{wp} の関係

SN490材で1.25以上としている。(4)式に $jM_u/{}_bM_p$ の最小値と鋼材規格値を代入することで図2を得る。図は同一の $jM_u/{}_bM_p$ に対して、梁の断面形状（ Z_{wp}/Z_p ）によって梁ウェブ伝達効率 m_0 の必要値が異なることを示している。

3. 数値解析

3.1 解析モデル

柱梁接合部の梁端歪の大きさを算定するためにCDC解析法^[3]を用いて数値計算を行う。梁断面はH-500×200×10×16を基準として、幅厚比（ $b/t_b=6.25$ 、 $d/t_{bw}=46.8$ ）が同一となるように寸法を変更したH形断面も対象とする。表1に解析に用いた断面寸法を示す。表中の m_0 は鋼種をSN490とし、図2に示す関係式より算定した値である。梁のせん断スパン比は $L/D=6.0$ とした。

柱鋼種をSN490、鋼管壁の崩壊機構の縦横比 $r=1.5$ （ $b_f=312\text{mm}$ ）、スカラップによる欠損 $S_r=0$ 、35mmと設定すると $jM_u/{}_bM_p=1.25$ を満足するために必要な柱鋼管板厚 t_{cf} と梁ウェブの応力を負担する有効長さ h_m はそれぞれ表2に示す値となる。有効長さ h_m は(5)式^[2]による。

$$h_m = \frac{\sqrt{kr^3 s^2 + 1}}{r\sqrt{kr - 4}} d_j \quad (5)$$

3.2 鋼材の応力歪度関係

梁ウェブの応力を負担する領域 h_m は(5)式が示すように、梁ウェブと柱の降伏強さに影響される。そこで、柱梁をSN490Bに設定し、鋼材強度のばらつきは文献[4]の統計値を用いて規格値を満足するように乱数発生させた（標本数 $n=200$ ）。梁の弾塑性挙動をより正確に再現できるように、部材要素の応力歪度関係は既報^[5]で提案した

表1 梁断面寸法、必要梁ウェブ伝達効率（ $jM_u/{}_bM_p=1.25$ ）

No.	D (mm)	B (mm)	t_{bw} (mm)	t_{bf} (mm)	Z_{wp}/Z_p	m_0
1	500	200	10	16	0.26	0.52
2	497	181	10	15	0.30	0.65
3	494	163	10	13	0.35	0.77
4	492	147	10	12	0.40	0.86

D: 梁せい、B: 梁幅（ $=2b$ ）、 t_{bw} : ウェブ板厚、 t_{bf} : フランジ板厚

表2 柱板厚 t_{cf} と梁ウェブ有効長さ h_m （ $jM_u/{}_bM_p=1.25$ ）

名称	梁	S_r (mm)	t_{cf} (mm)	h_m (mm)	名称	梁	S_r (mm)	t_{cf} (mm)	h_m (mm)
NS-1	1	0	9.6	57.0	S-1	1	35	13.8	97.6
NS-2	2		11.9	73.0	S-2	2		16.5	122
NS-3	3		14.0	90.0	S-3	3		19.1	149
NS-4	4		15.6	105	S-4	4		21.0	169

S_r : スカラップサイズ、 t_{cf} : 柱板厚、 h_m : 梁ウェブ有効長さ

Effect of Steel Strength Dispersion to the Strain Level of
Beam End at the Beam-to-Column Connection

SATO Atsushi
SUITA Keiichiro

表 3(a) NS シリーズ ($S_r=0\text{mm}$) の梁端フランジ歪

名称	NS-1	NS-2	NS-3	NS-4
平均値 (%)	5.04	5.01	4.81	4.75
標準偏差	0.83	0.83	0.80	0.82

表 3(b) S シリーズ ($S_r=35\text{mm}$) の梁端フランジ歪

名称	S-1	S-2	S-3	S-4
平均値 (%)	6.31	6.47	6.36	6.84
標準偏差	1.27	1.35	1.34	1.42

表 4 柱鋼管板厚を増厚させた解析モデル

名称	NS-1-2	S-1-2	NS-3-2	S-3-2
S_r (mm)	0	35	0	35
t_{cf} (mm)	20.7	14.4	20.9	24.8
$\mu M_u/\mu M_p$	1.32	1.33	1.36	1.29
平均値 (%)	4.10	4.81	3.37	5.38
標準偏差	0.58	0.81	0.37	1.05

構成則を用いた。図 3 は計算結果の一例である。図 3(a) に示すように、鋼材特性の影響は $\mu M_u/\mu M_p - \theta_b/\theta_p$ 関係に殆ど影響していない。一方で、梁端フランジ歪は部材変形が大きくなるほど鋼材特性の影響が現れている [図 3(b)]。

4. 接合形式と梁端フランジ歪

接合指針では、梁の最大塑性変形倍率 θ_b/θ_p を 5.0 程度確保できるように接合部係数 α を設定している。そこで、本研究では梁部材の塑性変形倍率が $\theta_b/\theta_p=5.0$ に到達したときの梁端部のフランジ歪値について考察する。

図 4 に NS シリーズ ($S_r=0\text{mm}$) と S シリーズ ($S_r=35\text{mm}$) の解析結果の一例を示す。表 3 は計算結果の平均値と標準偏差を纏めて示している。スカラップの有無が梁端フランジ歪の大きさ及びばらつきに与える影響は大きい。一方で、梁断面寸法の違いによる影響は小さい。解析モデルは全て $\mu M_u/\mu M_p=1.25$ を満足するように設定されているが、表 3 が示すように、スカラップの存在により梁端フランジ歪の平均値は 1.25~1.45 倍程度大きくなっている。また、そのばらつきも大きくなることも分かる。

5. 梁端接合部耐力と梁端フランジ歪

表 2 に示す NS-1, 3 と S-1, 3 の柱鋼管板厚 t_{cf} を 1.5 倍 (S-3 のみ 1.3 倍) することで、梁端接合部の最大曲げ耐力と梁の全塑性モーメントとの比 ($\mu M_u/\mu M_p$) は 1.29~1.36 となる。同様の数値解析から表 4 に示す結果が得られる。

図 5 が示すように、同一の梁断面に対して梁端接合部の耐力を大きくすることで、梁端での歪値を小さくでき、そのばらつきも抑えられる。その傾向は梁断面寸法に殆ど影響されないことが図からも分かる。

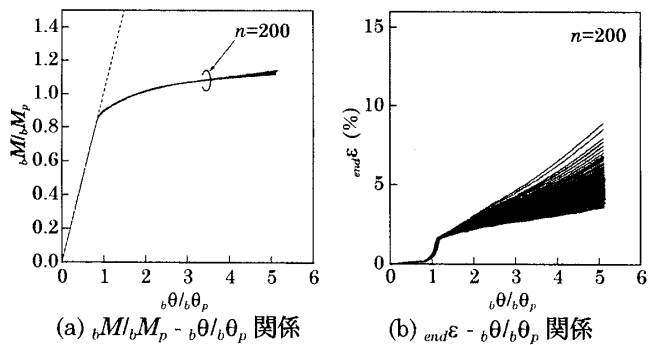
6. まとめ

本研究では単調荷の数値解析を用いて、鋼材強度のばらつきが柱梁接合部の梁端歪の大きさに与える影響を考察した。以下に得られた知見を示す。

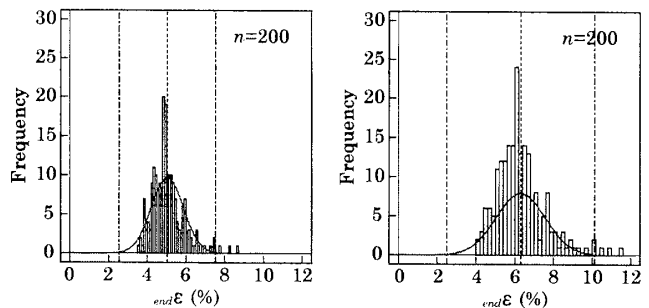
- スカラップの有無は、梁端接合部の最大曲げ耐力と梁の全塑性モーメントの比 ($\mu M_u/\mu M_p$) が同値であっても、鋼材強度のばらつきは梁端歪の大きさとばらつきに影響を与え、梁端の歪値とそのばらつきを大きくする。

* 名古屋工業大学大学院 准教授・博士 (工学)

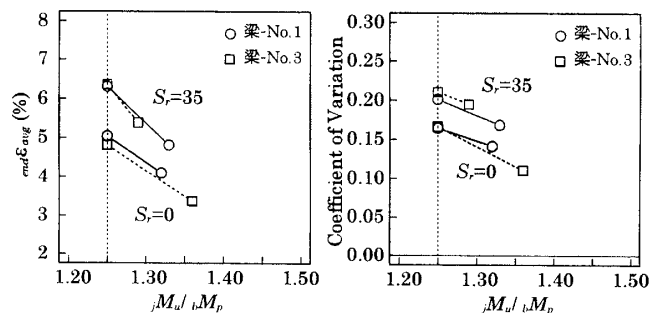
** 京都大学大学院工学研究科建築学専攻 教授・博士 (工学)



(a) $\mu M_u/\mu M_p - \theta_b/\theta_p$ 関係 (b) $\text{end}\epsilon - \theta_b/\theta_p$ 関係
図 3 解析結果 (NS-1, $L/D=6.0$)



(a) NS-1 ($S_r=0\text{mm}$) (b) S-1 ($S_r=35\text{mm}$)
図 4 梁端歪の分布 ($\theta_b/\theta_p=5.0$, $L/D=6.0$)



(a) $\text{end}\epsilon_{\text{avg}}$ vs. $\mu M_u/\mu M_p$ (b) CV vs. $\mu M_u/\mu M_p$
図 5 梁端歪の統計値と接合部耐力 ($\theta_b/\theta_p=5.0$, $L/D=6.0$)

- 同一の梁断面に対して梁端接合部の耐力を大きくすることは、梁端フランジ歪を小さくすることができる。また、鋼材強度のばらつきに伴う梁端フランジ歪のばらつきも小さくできる。

【参考文献】

- [1] 日本建築学会：鋼構造接合部設計指針，2006.3.
- [2] 吹田，田中：角形鋼管柱に接合される梁ウェブ接合部の曲げ耐力，鋼構造論文集，第 7 巻第 26 号，pp. 51-58, 1997.11.
- [2] 東，鈴木：角形鋼管柱に接合される H 形断面梁の塑性変形能力の評価法 その 1. 相対塑性回転角算定の基本式，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 805-806, 2001.9.
- [4] 志村他：SN 鋼の機械的性質に関する統計資料，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 535-536, 2003.9.
- [5] 小野，佐藤：金属系素材の応力 - 歪度関係の定式化，日本建築学会構造系論文集，第 532 号，pp. 177-184, 200.6.

* Assoc. Prof., Nagoya Institute of Technology, Dr. Eng.

** Prof., Dept. of Architecture and Architectural Eng., Kyoto Univ. Dr. Eng.