

## 塑性歪履歴を受ける鋼構造柱梁溶接接合部の変形能力 —その10 合成スラブが梁フランジの歪性状に及ぼす影響—

正会員 ○津嘉田 敬章<sup>1)</sup> 同 田中 剛<sup>2)</sup> 同 吹田 啓一郎<sup>3)</sup>  
同 朝倉 直毅<sup>1)</sup> 同 上田 遼<sup>1)</sup>

### 2. 構造-10. 鉄骨構造

柱梁接合部 塑性変形能力 合成梁 FEM 歪性状

#### 1. はじめに

本報では、(その9)に示した試験体について有限要素数値解析を行い、合成スラブの有無が梁フランジの歪性状に与える影響を検討する。また、極限解析を用いて合成梁試験体の梁端接合部の最大曲げ耐力を算定し、梁端の塑性変形能力との関係を検討する。

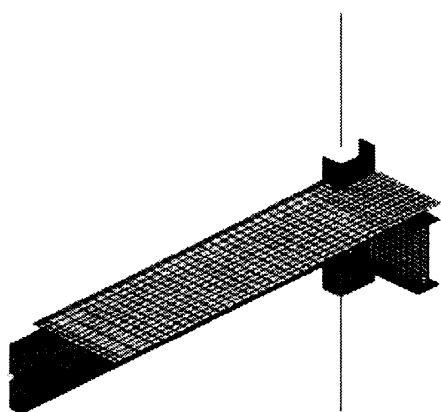


図1 解析モデル

### 2. 有限要素数値解析

#### 2.1 解析方法

図1に試験体に基づいて作成した解析モデルを示す。解析には汎用有限要素解析プログラム (ABAQUS Ver.6.4)を使用し、荷重方法は実験を模擬し、3サイクル目までの一定振幅繰返し荷重とした。

解析モデルは梁、床スラブおよび柱梁接合部近傍にはシェル要素を用い、その他の柱には線材要素を用いた1/2モデルである。鋼材の塑性域における構成方程式は von Mises の降伏条件および連合流れ則に基づく。梁フランジの材料特性には、等方硬化則と Ziegler の発展則を拡張させた非線形移動硬化則を組み合わせた混合硬化則を用いた。他の金属材料には等方硬化則を用いた。床スラブの材料特性には Drucker-Prager の基準を採用し、内部摩擦角を  $\phi=37^\circ$  とした。床スラブを水平ばねを介して上フランジと結合し、床スラブと柱は接触要素を介して圧縮

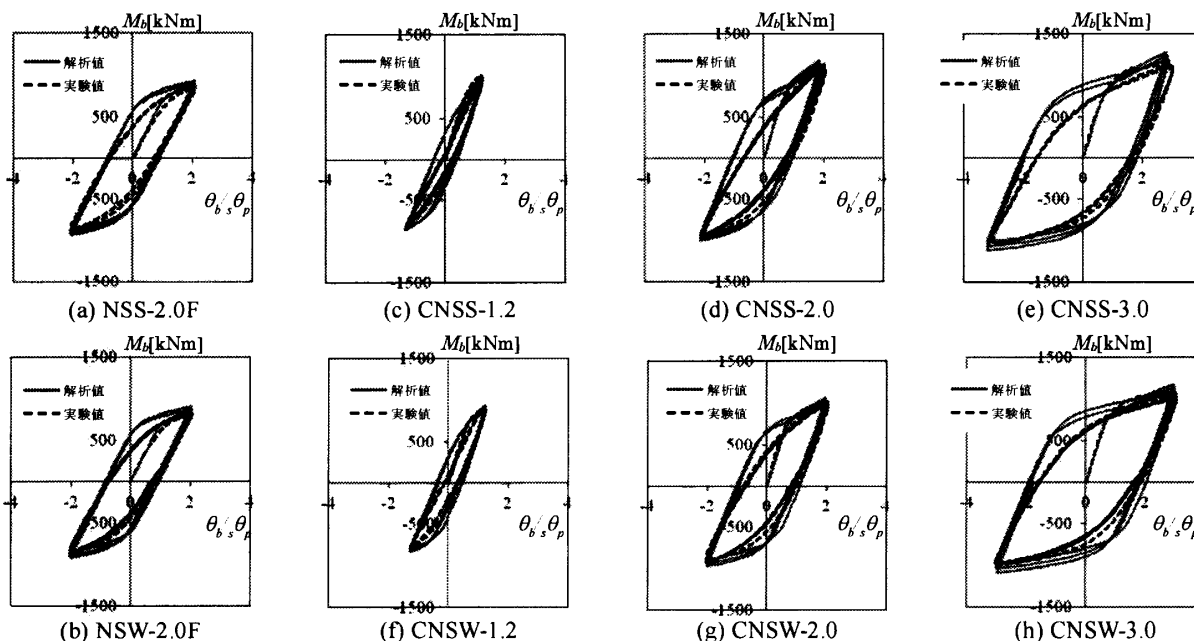


図2 荷重変形関係(3サイクル目まで)

Deformation Capacity Evaluation of Welded Beam to Column Connectin Subjected to Repeated Plastic Strain  
(Part10: Influence of Compositd Slab on Strain Distribution of Beam Flanges)

TSUKADA Takaaki, TANAKA Tsuyoshi, SUITA Keiichirou, ASAKURA Naoki and UETA Ryo

力のみを伝達するようにモデル化した。

## 2.2 解析結果

実験から得た履歴ループを解析結果と比較して図2に示す。バウジンガー部において解析値は実験値を上回るが、ピーク時付近については概ね良い対応を示す。

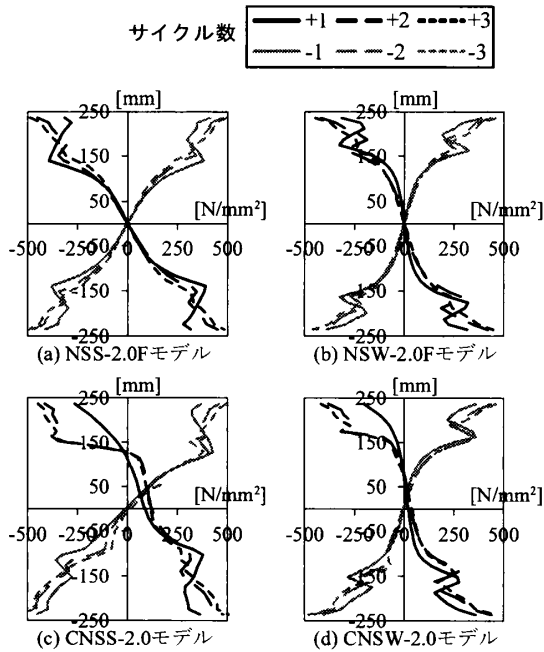


図3 梁ウェブの応力分布

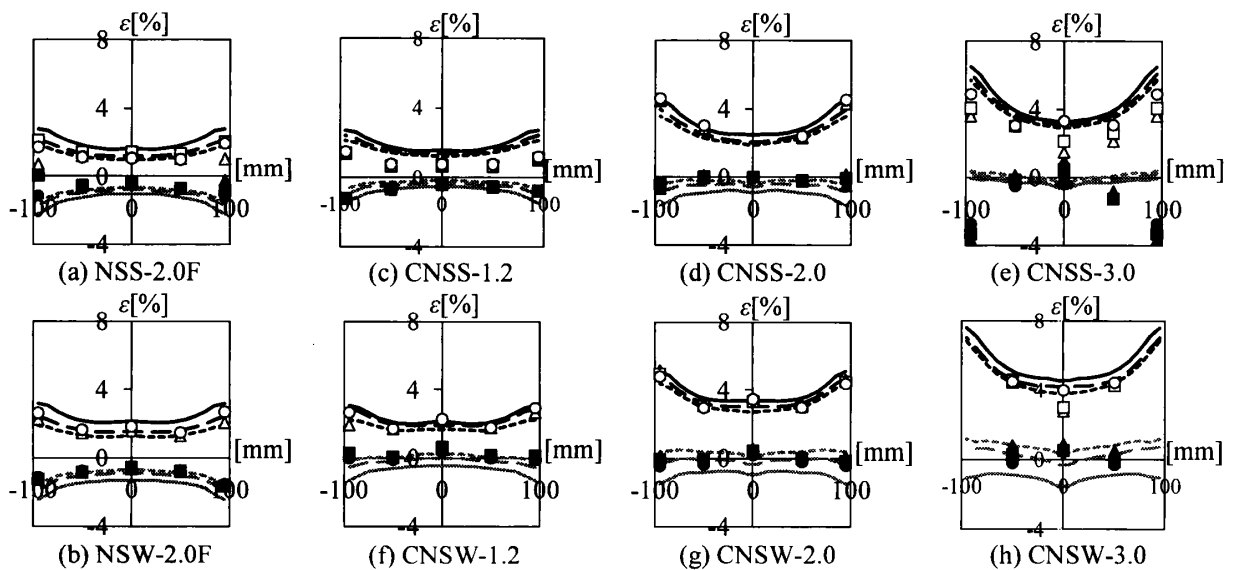
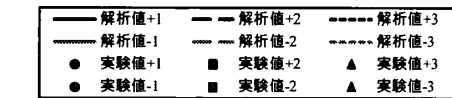


図4 梁下フランジの歪分布

図3に $\mu=2.0$ の純鉄骨梁および合成梁の数値解析より得た各サイクルピーク時における梁ウェブの材軸方向の応力分布を示す。純鉄骨梁のNSSとNSWを比較すると、接合部フランジ厚が梁ウェブの曲げモーメント伝達率に影響を及ぼすため、NSSの応力がNSWの応力を上回る。合成梁では、正側と負側で異なる応力分布を示す。負側の中立軸が図心位置にあるのに対して、正側の中立軸は上フランジ側に移動している。CNSSとCNSWを比較すると、CNSSでは、梁ウェブの広範囲に引張応力が分布するが、CNSWでは、梁ウェブ中央領域の応力が小さい。

図4に実験および数値解析より得た初期3サイクルピーク時における梁下フランジ材軸方向の歪分布を示す。純鉄骨梁では、梁ウェブの曲げモーメント伝達率の相違に起因して、NSWの歪がNSSの歪

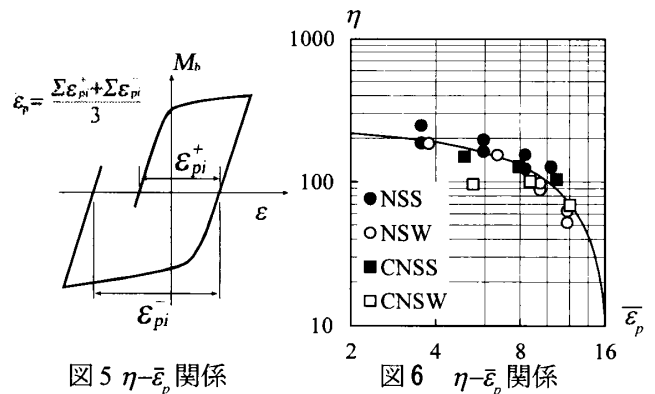


図5  $\eta$ - $\bar{\epsilon}_p$  関係

図6  $\eta$ - $\bar{\epsilon}_p$  関係

を上回る。合成梁では、歪が正側に移動した状態でループを描く。合成梁の歪振幅は、純鉄骨梁の歪振幅を上回る。CNSSシリーズとCNSWシリーズを比較すると、梁ウェブの応力伝達率の相違に起因して、CNSWの歪がCNSSの歪を上回る。

破壊の起点となる梁フランジ幅端部の要素の歪履歴を調べた。解析より得られた歪履歴より、図5に示す塑性歪 $\epsilon_{pi}$ を求め、3サイクル分の累積値をサイクル数で除した累積塑性歪 $\bar{\epsilon}_p$ を求めた。図6に実験より得られた $\eta$ と解析より得られた $\bar{\epsilon}_p$ の関係を両対数軸で示す。同図には、文献2)に報告したNSSシリーズおよびNSWシリーズの結果も併せて示す。歪集中点の累積塑性歪 $\bar{\epsilon}_p$ で整理すると合成梁試験体シリーズの $\bar{\epsilon}_p$ は純鉄骨試験体シリーズを上回り、CNSWおよびNSWシリーズの $\bar{\epsilon}_p$ は、それぞれCNSSおよびNSSの値を上回る。その結果、各試験体シリーズの違いによらず $\eta$ と $\bar{\epsilon}_p$ の関係は1つの曲線状に近づくような相関関係が見て取れる。

### 3. 最大曲げ耐力

合成スラブの有無および梁ウェブ接合部の応力伝

達率が梁の塑性変形能力を支配する要因となっている。本章では文献3)に示されている純鉄骨梁と角形鋼管柱からなる柱梁接合部における崩壊機構を参考に、合成梁と角形鋼管柱からなる柱梁接合部について、正曲げ時に生じる崩壊機構を提案し、本実験で用いた合成梁試験体の最大曲げ耐力と梁フランジ端部の累積塑性歪および梁の塑性変形能力との関係を検討する。

#### (1) 崩壊機構

仮定した崩壊機構を図7に示す。塑性中立軸が梁フランジ内にある場合を崩壊機構Ⅰ、梁ウェブ内にある場合を崩壊機構Ⅱとする。崩壊機構は、鋼管壁の面外降伏および梁ウェブの有効領域における軸降伏により形成される。

#### (2) 内力仕事

床スラブの圧縮降伏に伴う内力仕事 $W_{IN1}$ 、梁フランジの降伏に伴う内力仕事 $W_{IN2}$ 、梁ウェブ有効領域でなされる内力仕事 $W_{IN3}$ および柱フランジ降伏線によりなされる内力仕事 $W_{IN4}$ の算定式を表1に示す。

#### (3) 崩壊荷重

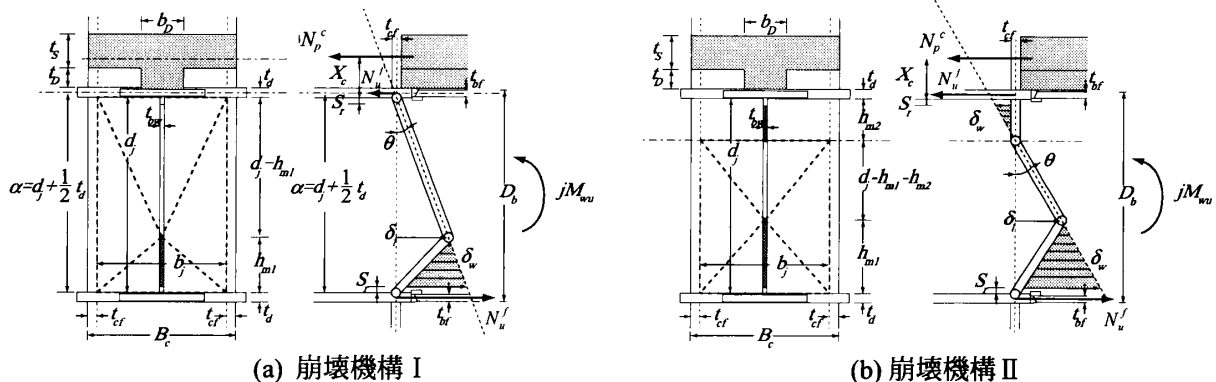


図7 仮定した崩壊機構

表1 各内力仕事の算定式

内部仕事	崩壊機構Ⅰ	崩壊機構Ⅱ
$W_{IN1}$	$N_p^c \cdot (X_c - \frac{1}{2}t_d) \cdot \theta$	$N_p^c (h_{m2} + X_c) \cdot \theta$
$W_{IN2}$	$N_u^f \cdot (d_j + t_{bf}) \cdot \theta$	$N_u^f (d_j + t_{bf}) \cdot \theta$
$W_{IN3}$	$\frac{N_{\sigma_y}^* \cdot d_j \cdot h_{m1}}{2} \cdot \theta$	$\frac{N_{\sigma_y}^* (d_j - h_{m2}) \cdot h_{m1}}{2} \cdot \theta$
$W_{IN4}$	$\frac{2 \cdot d_j \cdot M_o \cdot \theta}{b_j \cdot h_{m1}} (-4h_{m1}^2 + 4d_j \cdot h_{m1} + b_j^2)$	$\frac{2 \cdot (d_j - h_{m2}) \cdot M_o \cdot \theta}{b_j \cdot h_{m1}} \{ 4h_{m1}^2 + 4(d_j - h_{m2}) \cdot h_{m1} + b_j^2 \}$

スラブ圧縮抵抗力： $N_p^c = F_c \cdot (b_D \cdot t_D + B_c \cdot t_s)$

梁ウェブ単位長さ当たりの降伏軸力： $N_{\sigma_y}^* = F_{\sigma_y} \cdot t_{wv}$

柱フランジ降伏線の単位長さ当たりの全塑性モーメント： $M_o = \frac{F_{cy} \cdot t_{cf}^2}{4}$  梁フランジ軸方向力： $N_u^f = b_f \cdot \sigma_u \cdot S \cdot B \cdot t_{bf}$

梁端接合部の最大曲げ耐力 $M_u$ の上界は、外力仕事と内力仕事を等しいとおくことにより得られる。崩壊機構Ⅰにおける未知数は $h_{m1}$ であり、真の崩壊機構に最も近い上界は、 $\partial_{cj}M_u/\partial h_{m1}$ より得ることができる。崩壊機構Ⅱにおける未知数は $h_{m1}$ 、 $h_{m2}$ であり、真の崩壊機構に最も近い上界は、 $_{cj}M_u/\partial h_{m1}$ および $\partial_{cj}M_u/\partial h_{m1}$ により得ることができる。

(4) 算定結果

表2に純鉄骨梁と合成梁の最大曲げ耐力 $_{sj}M_u$ および $_{cj}M_u$ を、それぞれ純鉄骨梁の全塑性モーメント $_{sb}M_p$ および合成梁の全塑性モーメント $_{cb}M_p$ により除した $_{sj}M_u/_{sb}M_p$ および $_{cj}M_u/_{cb}M_p$ を示す。図8に実験より得られた骨格曲線および数値解析より得られた荷重変形関係を示す。最大曲げ耐力と全塑性モーメントの比 $_{sj}M_u/_{sb}M_p$ は、NSSが最も大きく、CNSWが最も小さい。また、CNSSとNSWがほとんど同程度の値となる。合成スラブが取り付くことにより、最大曲げ耐力と全塑性モーメントの比は小さくなり、梁ウェブの応力伝達率が小さいほど、低下の割合が大きい。

図9に数値解析より得られた累積塑性歪 $\bar{\epsilon}_p$ と極限解析より得られた $_{sj}M_u/_{sb}M_p$ の関係を示す。 $_{sj}M_u/_{sb}M_p$ が大きくなるに従い、同一振幅時における梁フランジ端部の累積塑性歪は小さくなる傾向がある。

図10に実験より得られた $\eta$ と $_{sj}M_u/_{sb}M_p$ の関係を示す。図6において $\eta$ と $\bar{\epsilon}_p$ に相関関係が見られた。また、 $\bar{\epsilon}_p$ と $_{sj}M_u/_{sb}M_p$ にも相関がある。したがって、 $\eta$ は

表2 接合部耐力算定値

$_{sj}M_u/_{sb}M_p$		$_{cj}M_u/_{cb}M_p$	
NSS	NSW	CNSS	CNSW
1.39	1.24	1.27	1.01

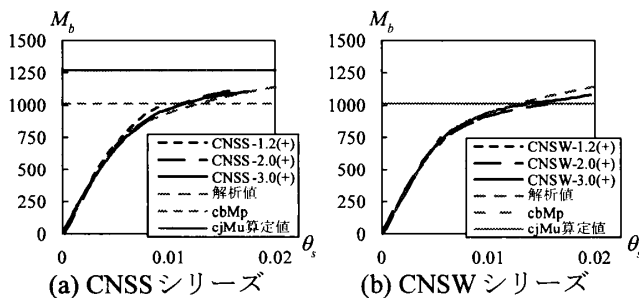


図8 実験値と接合部曲げ耐力算定値の比較

$_{sj}M_u/_{sb}M_p$ に比例して増加する傾向を示す。

6. まとめ

合成スラブの有無および接合部曲げ耐力の相違が、梁フランジの歪分布に及ぼす影響を検討した。合成梁試験体シリーズの累積塑性歪は純鉄骨試験体シリーズの値を上回り、また、接合部曲げ耐力が小さいほど累積塑性歪は大きくなる。梁フランジの累積塑性歪と梁の累積塑性変形倍率との間には、相関関係が見られ、各試験体シリーズの違いによらず $\eta$ と $\bar{\epsilon}_p$ の関係は1つの曲線状に近づく傾向が見られた。また、極限解析より最大曲げ耐力を算定した。 $\eta$ は、 $_{sj}M_u/_{sb}M_p$ に比例して増加する傾向を示した。

【謝辞】

本研究は日本学術振興会科学研究費・基盤研究(A)(No.21246087, 代表：吹田啓一郎)の助成を受けた。ここに記して感謝を表す。

【参考文献】

- 1) 山野辺宏治, 矢部喜堂, 和田章: 頭付きスタッドの弾塑性性状を考慮した合成梁架構の弾塑性平面骨組解析, 日本建築学会構造系論文集, 第502号, pp.135-140, 1997.12
- 2) 吹田啓一郎, 田中剛, 佐藤篤司, 真鍋義貴, 津嘉田敬章, 蘇鐘鈺: 梁端接合部の最大曲げ耐力が変形能力に及ぼす影響(塑性歪履歴を受ける鋼構造柱梁溶接接合部の変形能力その1), 日本建築学会構造系論文集, 第76巻, 第664号, pp.1135-1142, 2011.6
- 3) 吹田啓一郎, 田中剛: 角形鋼管柱に接合される梁ウェブ接合部の曲げ耐力, 日本建築学会構造系論文集, 第7巻, 第26号, pp. 51-58, 2000.6

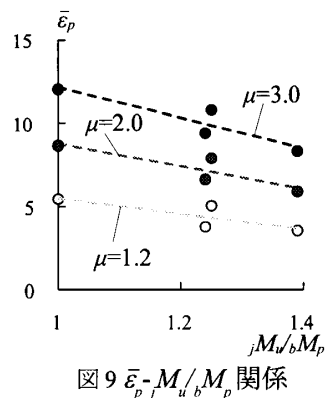


図9  $\bar{\epsilon}_p$ - $_{sj}M_u/_{sb}M_p$  関係

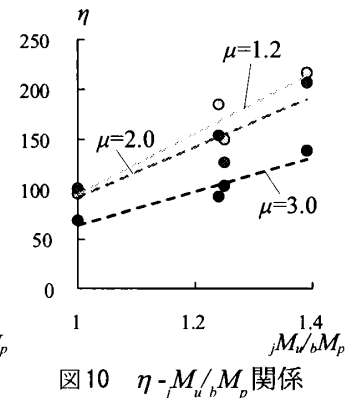


図10  $\eta$ - $_{sj}M_u/_{sb}M_p$  関係

\*1 神戸大学大学院工学研究科建築学専攻・修士課程  
 \*2 神戸大学大学院工学研究科建築学専攻・教授・博士(工)  
 \*3 京都大学大学院工学研究科建築学専攻・教授・博士(工)

Graduate Student, Dept.of Architecture, Kobe Univ.  
 Prof., Dept. of Architecture, Kobe Univ.,Dr. Eng  
 Prof.,Dept.of Architecture and Architectural Eng.,Kyoto Univ.,Dr.Eng