

梁端上フランジを基点としたせん断伝達機構に関する実験

SHEAR-TRANSFER-MECHANISM BASED ON
CONNECTION ELEMENTS AT THE TOP FLANGE OF BEAM-ENDS吉敷 祥一^{*1}, 山田 哲^{*2}, 鈴木 一弁^{*3}, 竹内 徹^{*4}, 和田 章^{*5}

Shoichi KISHIKI, Satoshi YAMADA, Kazuaki SUZUKI,

Toru TAKEUCHI and Akira WADA

New beam-end connections, designed to limit seismic damage to specific connection elements placed at the bottom flange of beam-ends, was proposed in the previous paper. This paper addresses the effects of shear-transfer-mechanism at the beam-end, specially the connection elements at the top flange. Four cyclic loading tests were carried out to investigate the shear-transfer-mechanism. It was found that the shear-transfer from beam-web to connection element was eased by the presence of rib-plate on the connection element at the top flange. On the other hand, shear-transfer was concentrated on the beam-end due to the absence of rib-plate. The concentration of shear-transfer caused out-of-plane deformation of top beam-flange and the decrease of plastic deformation of the specific connection element.

Keywords : shear transfer, beam-to-column connection, bolted connection, hysteretic damper, damage-controlled-structure

せん断伝達, 柱梁接合部, ボルト接合, 履歴型ダンパー, 損傷制御構造

1. 序

鋼構造建物の梁端接合部に優れた塑性変形能力と補修の容易さ(補修性)を付与するため, 梁をスプリットティ形式で高力ボルト接合するとともに地震時の損傷を梁下の塑性化スプリットティに集約する構造システムを提案した¹⁾. 主架構の梁端部で高い補修性が確保できれば, 塑性化スプリットティの軸降伏によって生成される塑性ヒンジ部分を取り換え可能な履歴型ダンパーとして扱い(以後, 梁下ダンパー), ラーメン架構部分においても損傷制御を意図した耐震設計²⁾が可能となる. 梁下ダンパーに変形を集中させて効率的な応答低減効果を得るためには梁そのものの剛性を大きくする必要があり, 短スパン架構に適用したり, 梁せいを高くするなど, 梁下ダンパーを設置する梁のせん断スパン比を小さくする工夫が必要となる³⁾.

近年, 上述したような梁の下フランジ側のみに塑性化を許容した接合部が提案されており^{4)~9)}など, いずれも図1.に示すようにせん断力の伝達を梁の上フランジ部分に期待している. RC構造では梁端下端筋の付着を除去した構造システムが提案され⁴⁾, せん断力の伝達のために特別な配筋が必要となることを指摘している¹⁰⁾. 一方, 鋼構造では梁上フランジとウェブの一部分を残したり⁵⁾, 梁上フランジにピン治具⁶⁾や, スプリットティなどの接合要素^{1), 7)~9)}を設置することでせん断力の伝達を試みている

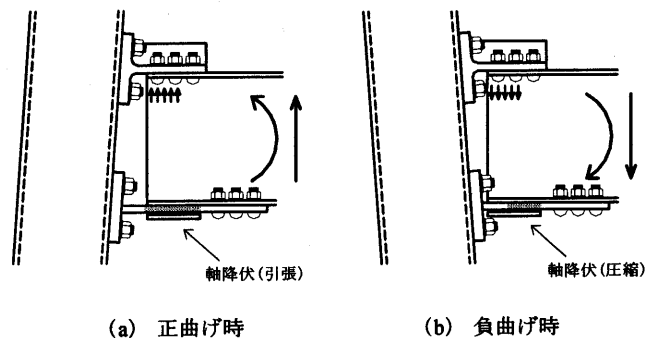


図1. 接合部におけるせん断力の伝達機構

が, 接合部におけるせん断力の伝達方法に着目した実験は行われていない. 梁下ダンパーに地震時のエネルギー吸収を期待するためには接合部のせん断耐力を評価しておくとともに, せん断力の伝達方法が全体挙動や梁下ダンパーの挙動に及ぼす影響を明らかにする必要がある.

本研究ではせん断力の伝達を期待する梁端上フランジ側のスプリットティのせん断耐力と載荷開始方向をパラメータとした実験を行い, 接合部近傍でのせん断力の伝達機構を把握するとともに, 上端スプリットティのせん断耐力が全体挙動や梁下ダンパーの挙動に及ぼす影響を考察する.

^{*1} 東京工業大学建築物理研究センター
日本学術振興会特別研究員・博士(工学)

^{*2} 東京工業大学統合研究院 助教授・博士(工学)

^{*3} 新日本製鐵建築事業部 マネージャー・修士(工学)

^{*4} 東京工業大学大学院理工学研究科建築学専攻
助教授・博士(工学)

^{*5} 東京工業大学統合研究院 教授・工博

JSPS Research Fellow, Structural Engineering Research Center, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

Assoc. Prof., Integrated Research Institute, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

Building Construction Division, Nippon Steel Corporation, M. Eng.

Assoc. Prof., Dept. of Architecture and Building Engineering, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

Prof., Integrated Research Institute, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

2. 実験計画

本研究では梁の下フランジ側に塑性化スプリットティを設置した接合部近傍におけるせん断力の伝達機構を把握するため、上端スプリットティのティウェブせん断耐力と載荷開始方向をパラメータとした梁の繰返し曲げせん断実験を実施した。

2.1. 載荷装置と試験体

実験は柱、梁からなるト字形試験体を用い、90°回転させて設置した図2.に示す載荷装置にて行った。試験体は柱、梁、および図3.に示す2種類のスプリットティから構成される。本実験では柱を治具として扱い、柱にはスチフナ補強を施した溶接組立H形鋼：BH-250x250x16x25 (SM490)を用いた。また、梁と塑性化スプリットティの形状は全試験体で共通とし、梁にはウェブ幅厚比が $d/t=71$ と大きい溶接組立H形鋼：BH-450x150x6x12 (SS400)を用いた。塑性化スプリットティは梁フランジと同一ロットの鋼材から製作し、梁フランジのボルト孔欠損を無視し

た原断面の60%に相当する塑性化部を有する。塑性化部の長さは、梁端部の回転変形で $1/100\text{rad}$.に相当する軸変形に対して塑性化部のひずみが5%程度となるように決定した。塑性化部には図4.に示すように1mm厚のアンボンド材を塗布し、アンボンド材がはらみ出さない程度に座屈補剛材を取り付けた。試験体を使用した主な鋼材のJIS-1A号引張試験片による素材試験結果を表1.にまとめる。

実験パラメータは上端スプリットティのティウェブせん断耐力と載荷開始方向であり、これらを組み合わせた計4体の試験体を用意した。試験体一覧を表2.に示す。上端スプリットティは補剛リブの有無によってティウェブせん断耐力を変化させている。設計上はせん断力によって生じる二次曲げモーメントを第1摩擦ボルトからティウェブ端部までの区間で図5.のように仮定し^{(11), (12)}、二次曲げ区間の両端がティウェブの全塑性モーメントに達したときをティウェブせん断耐力と定義した。塑性化スプ

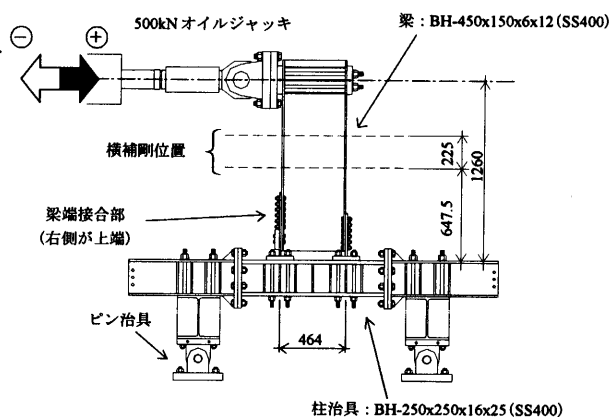


図2. 試験体セットアップ

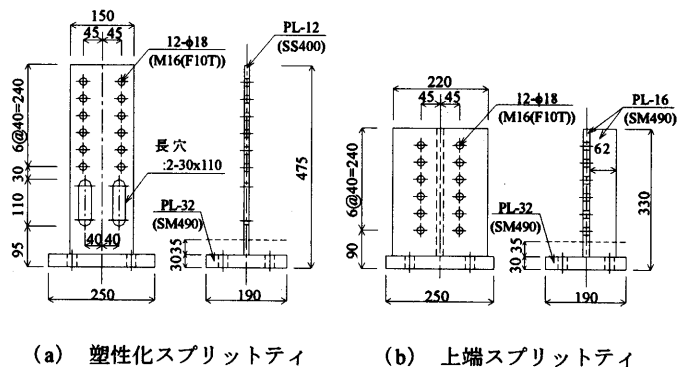


図3. スプリットティの詳細

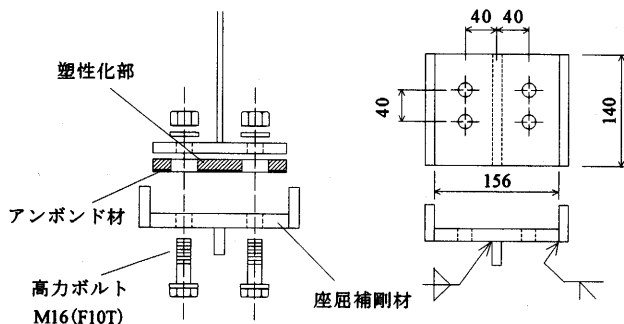


図4. 塑性化スプリットティの座屈補剛

		鋼材種	降伏点 [N/mm ²]	引張強さ [N/mm ²]	降伏比 [%]	一様伸び [%]
溶接組立H形鋼 (BH-450x150x6x12)	Web	SS400(6mm)	270	422	64	19
	Flange	SS400(12mm)	269	437	62	19
塑性化スプリットティ						
上端スプリットティ (補剛リブも同様)		SM490(16mm)	401	542	74	27

表2. 試験体一覧

試験体名	上端スプリットティの 補剛リブの有無	載荷履歴
NO.1	なし	正側開始
NO.2	あり	
NO.3	なし	負側開始
NO.4	あり	

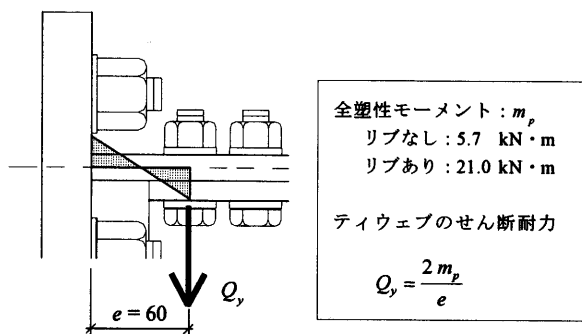


図5. ティウェブせん断耐力^{(11), (12)}

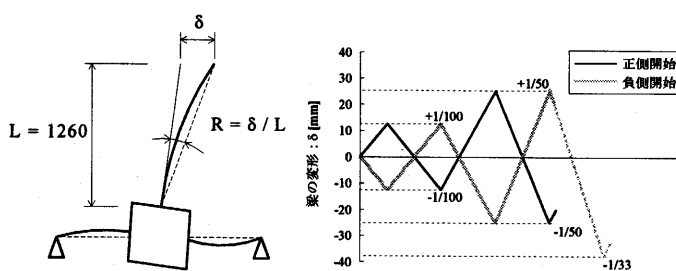
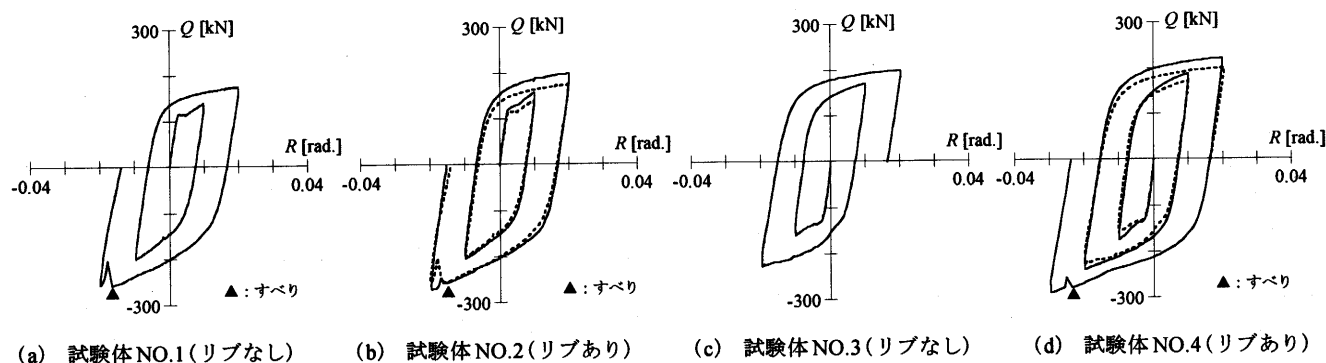
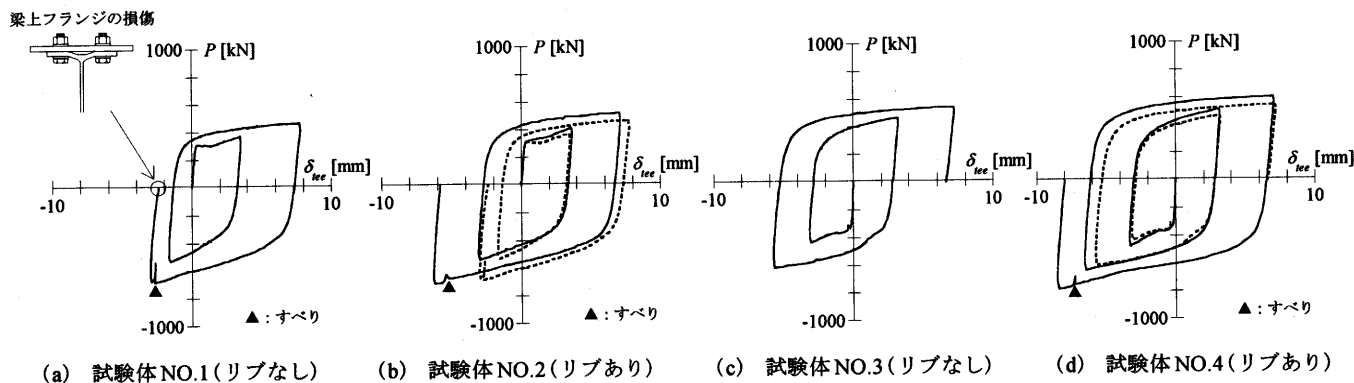


図6. 載荷履歴

図 7. 部材としての挙動(せん断力(Q)—部材角(R) 関係)図 8. 塑性化スプリットティの挙動(換算軸力(P)—軸変形(δ_{ee}) 関係)

リットティが軸降伏した際に接合部に作用するせん断力は120kN程度であるのに対し、上端スプリットティは補剛リブのない場合で190kN、補剛リブを設けた場合で690kNのせん断耐力を有する。なお、本実験では軸力によるせん断耐力の低下は10%程度であり、本論文の検討では軸力の影響を無視している。その他、各接合要素の耐力については附録Aにまとめた。

2. 2. 荷重方法

荷重は柱の両端部をピン支持し、梁の自由端に接続したオイルジャッキにより強制変位を与えることで行った。荷重中、梁には図2.中の破線位置で横補剛を施している。荷重履歴は梁の変形をせん断スパンで除した部材角で $\pm 1/100$ 、 $\pm 1/50$ rad.とし、目標変形に到達した後は荷重を除荷して終了した。梁の変形は梁先端の変位から柱フェイス位置での並進・回転による変形成分を除いた値であり、塑性化スプリットティが引張となるときを正としている。荷重履歴は図6.に示すように正側から荷重を開始した場合と、負側から開始した場合の2種類を用意した。

3. 部材としての挙動、塑性化スプリットティの挙動

部材としての挙動をせん断力—部材角関係として図7.に示し、塑性化スプリットティの挙動を換算軸力—軸変形関係として図8.に示す。せん断力はオイルジャッキに取り付けたロードセルの計測値であり、部材角と同様に塑性化スプリットティが引張となる時を正としている。換算軸力はせん断力に荷重点からティウェブ端部までの距離を乗じて求めた曲げモーメントを、上下スプリットティの図心間距離で除した値である。換算軸力は上下スプリットティに作用する軸力とほぼ等しいが、ティ

ウェブにおける二次曲げモーメントの寄与分を含む値となっている。軸変形は第1摩擦ボルトとティフランジ間で計測した相対変位である。図中、補剛リブを設けたNO.2、NO.4の履歴曲線には、それぞれ補剛リブのないNO.1、NO.3の履歴曲線を破線で示した(以後、両タイプをリブあり試験体、リブなし試験体)。

まず部材としての挙動を見ると、梁にウェブ幅厚比の大きな断面を用いたにも関わらず、梁ウェブに局部座屈などは見られず、いずれも目標変形まで安定した履歴挙動を示している。負荷荷重下での変形量が多いNO.1、NO.3、NO.4では上端スプリットティの摩擦接合部ですべりが生じたが(▲)、すべり発生時のせん断力はほぼ等しく、すべり耐力に補剛リブの有無や荷重履歴の違いによる影響は見られない。履歴挙動全体を補剛リブの有無について比較しても、リブあり試験体の正側耐力がリブなし試験体に比べてわずかに大きい程度の差しか見られず、補剛リブの影響はほとんど現れていない。

塑性化スプリットティはすべり発生後に変形が小さくなっているが、それ以前の挙動を見ると、リブあり試験体では圧縮・引張でほぼ均等に塑性変形が生じているのに対して、リブなし試験体では引張側に対して圧縮側の塑性変形量が小さくなる傾向にある。特に正側から荷重を開始したNO.1ではその傾向が顕著に現れている。実験後に梁の損傷状態を観察すると、補剛リブがなく、負側荷重で実験を終了したNO.1では梁上フランジにY字状の面外変形が見られた(図8.(a)左上に図示)。正側荷重で実験を終了したNO.3ではこのような残留変形は見られず、また、リブあり試験体では目標変形より大きい $-1/33$ rad.まで荷重を行ったNO.4においても残留変形は見られなかった。したがって、

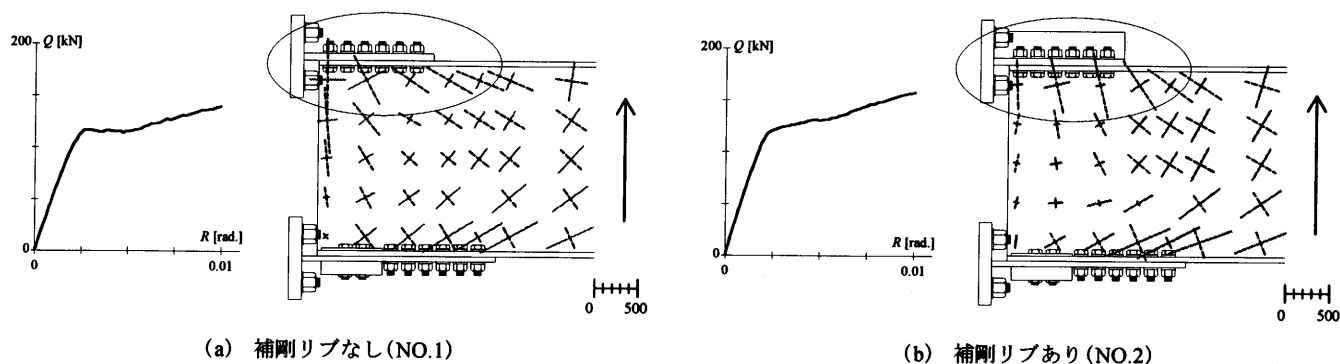


図9. 梁ウェブの主ひずみ分布(+1/100[rad.] 到達時)

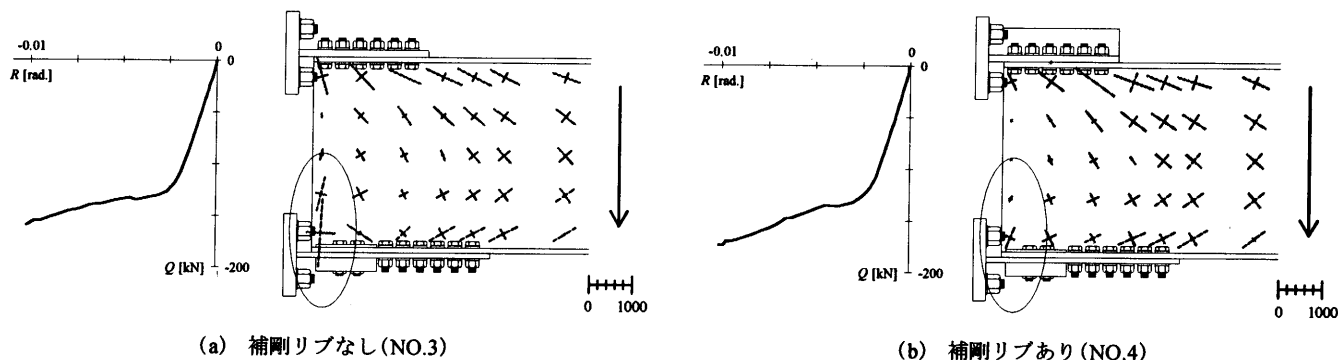


図10. 梁ウェブの主ひずみ分布(-1/100[rad.] 到達時)

上端スプリットティに補剛リブのない試験体で塑性化スプリットティの圧縮側の塑性変形量が引張側に比べて小さくなったのは、負側（鉛直下向き）のせん断力を伝達する際に梁上フランジが面外に変形し、柱-梁間でのせん断ずれが生じたことが原因であると考えられる。

4. 梁端接合部近傍におけるせん断力の伝達機構

4.1. 梁ウェブの主ひずみ分布

ここでは梁端接合部とその周辺部に貼付したひずみゲージからせん断力の伝達機構を考察する。まず、梁ウェブに貼付した三軸ひずみゲージの計測値から主ひずみとその方向を算出し、初期目標変形($\pm 1/100\text{rad.}$)に到達した時点での梁ウェブの主ひずみ分布を、正負それぞれについて図9., 図10. に示す。

正側載荷下での主ひずみ分布を見ると、補剛リブの有無に関わらず上端スプリットティを介してせん断力を伝達していることが分かる。リブなし試験体では載荷初期から目標変形に至るまで、図9.(a)に示すように従来型のスプリットティ接合部^{13), 14)}と同様に梁端から集中的にせん断力が伝達している。一方、リブあり試験体の主ひずみ分布は弾性域ではリブなし試験体とさほど大きな違いは見られなかったが、塑性化スプリットティの軸降伏後は図10.(b)に示すように第5-6摩擦ボルト付近の主ひずみが大きくなり、せん断力の伝達機構に変化が見られる。

負側載荷下での主ひずみ分布を見ると、正側載荷時と同様に弾性域では補剛リブの有無による違いは見られず、せん断力が梁端から集中的に上端スプリットティへと伝達していた。しかしながら、リブなし試験体では変形が進むにつれて塑性化スプリットティにせん断力が伝達し始め、目標変形到達時には図10.(a)に示すように上端スプリットティ側よりも塑性化スプリットティ側の梁端に大きな主ひずみが発生している。リブあり試験体においても正側載荷時に比べると塑性化スプリットティにせん断が伝達しているが、リブなし試験体に比べて発生している主ひずみは小さい。上端スプリットティ側の主ひずみの傾きの変化も正側載荷時に比べて小さいが、塑性化スプリットティの軸降伏後は図10.(b)に示すように第5-6摩擦ボルト付近の主ひずみが大きくなり、せん断力の伝達機構に変化が見られる。

4.2. ティウェブの二次曲げモーメント

次いで上端スプリットティにおけるティウェブの二次曲げモーメントに着目する。ひずみゲージの貼付位置を図11. に示し、ティウェブの二次曲げモーメントを部材角との関係として図12., 図13. に示す。二次曲げモーメントはティウェブで平面保持を仮定し、ひずみゲージによる計測値を素材試験の応力-ひずみ関係に基づいて応力に変換して求めたものである。なお、貼付したひずみゲージについては同様に求められるティウェブの軸力と換算軸力を比較し、その計測精度を確認している。詳細については附録Bを参照されたい。

ティウェブに生じている二次曲げモーメントは、リブあり試験体の方がリブなし試験体より大きく、 $\pm 1/100\text{rad.}$ 到達時の両者の比はおおよそ1:4程度となっている。リブなし試験体では

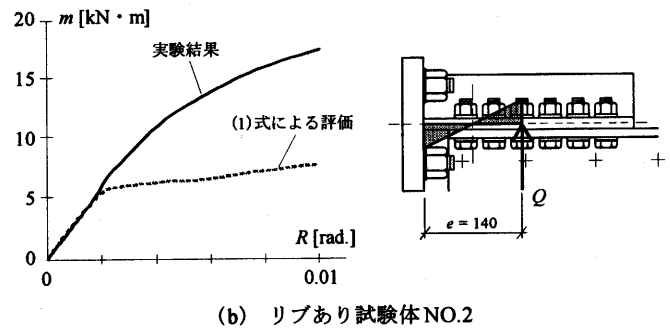
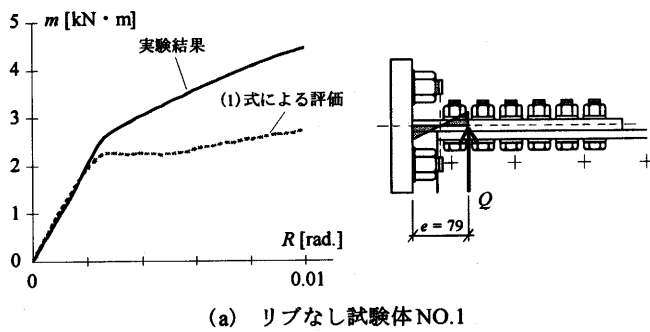


図 12. ゲージ貼付位置におけるティウェブの二次曲げモーメント (正側載荷時)

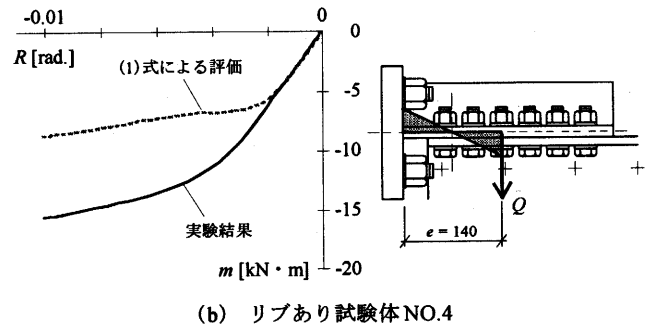
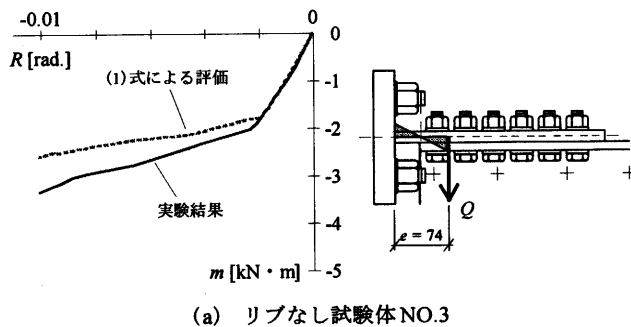


図 13. ゲージ貼付位置におけるティウェブの二次曲げモーメント (負側載荷時)

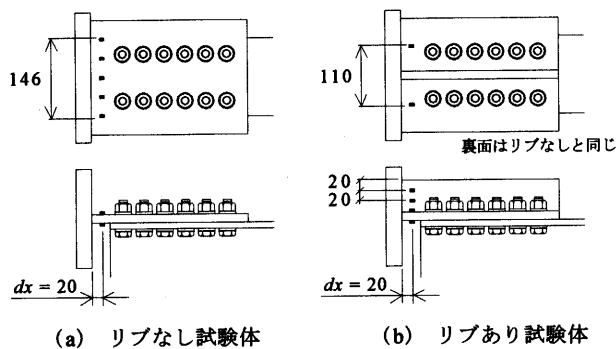


図 11. ティウェブのひずみゲージ貼付位置

正側に比べて負側載荷時の二次曲げモーメントの増大が小さいが、これは梁ウェブの主ひずみ分布にも現れていたようにせん断力の一部が塑性化スプリットティに伝達されたためである。一方、リブあり試験体では正負載荷時の二次曲げモーメントはほぼ対称に増大しており、せん断力の方向が上端スプリットティの二次曲げモーメントに及ぼす影響は小さい。

設計時と同様に上端スプリットティに梁からのせん断力がすべて伝達され、ティウェブには逆対称の二次曲げモーメントが生じると仮定し、既往の設計方法^{11), 12), 15)}との対応や、塑性化スプリットティが軸降伏した後の二次曲げモーメントの変動を考察する。ひずみゲージの貼付位置 (dx) における二次曲げモーメント m は、せん断力 Q 、二次曲げ区間 e を用いて次式で表せる。

$$m = Q \cdot \left(\frac{e}{2} - dx \right) \quad \dots (1)$$

実験結果と(1)式の評価値が弾性域で等しくなるように二次曲げ区間を設定し、得られた二次曲げ区間と(1)式による評価値を図12., 図13.に示す。弾性域での二次曲げ区間は正側載荷と負側載荷でほぼ等しく、リブあり試験体の二次曲げ区間はリブなし試験体のおおよそ2倍となっている。また、得られた二次曲げ区間は既往の設計方法^{11), 12), 15)}で想定しているものより大きく、上端スプリットティのティウェブには設計時より大きな二次曲げモーメントが生じている。例えばリブなし試験体において設計指針¹⁵⁾と同様のせん断力の伝達位置を考えれば、その応力分布はむしろ片持ち梁に近く、おおよそ2倍の二次曲げモーメントが生じている。

これに加え、塑性化スプリットティの軸降伏後は弾性域で設定した二次曲げ区間による評価値と実験結果との対応が悪くなり、実験結果を過小評価している。これは(1)式における Q を載荷初期から全せん断力と仮定したこと、素材試験結果に基づいてひずみゲージの計測値を応力に置換したことが影響している。しかしながら、せん断力のほとんどが上端スプリットティを介して伝達すると考えられる正側載荷時 (+1/100rad.) においても実験結果は評価値の1.6~2.2倍にまで増大している。したがって、上端スプリットティ近傍の主ひずみ分布が変化したことと併せて、塑性化スプリットティの軸降伏後にはせん断力の伝達機構が変化し、ティウェブに生じる二次曲げモーメントが増大したと考えられる。なお、塑性化スプリットティの軸降伏後も二次曲げモーメントの分布を設計時と同様の逆対称曲げと仮定すれば、せん断力の伝達機構の変化は二次曲げ区間の拡大として解釈することができる。

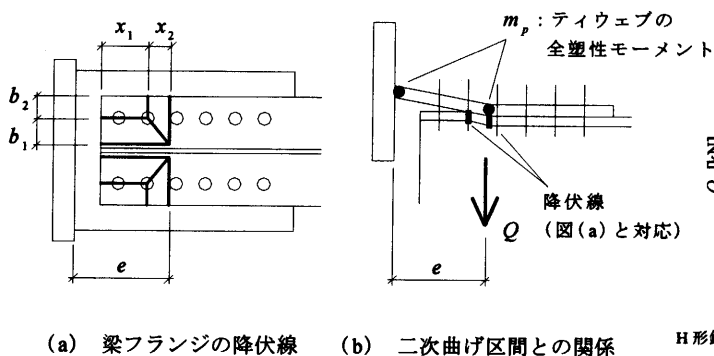


図 14. 梁上フランジの面外曲げ耐力

設計上は部材角 $+1/100\text{rad}$. 到達時のせん断力に対してもリブなし試験体のティウウェブは弾性範囲に留まるが、上述したように弾性域の二次曲げモーメントは設計時に想定していたものより大きく、塑性化スプリットティの軸降伏後はさらに増大する傾向が見られたため、ティウウェブの端部は全塑性モーメントに達している。しかしながら、図 7.、図 8. の $+1/100\text{rad}$. 到達時には部材としての挙動や塑性化スプリットティの挙動に補剛リブの有無による影響は見られず、正側載荷下においてはティウウェブの局所降伏が全体挙動や梁下ダンパーの挙動に及ぼす影響は小さい。これは正負のせん断力がともに曲げ圧縮側のスプリットティから伝達される従来型のスプリットティ接合部において、ティウウェブの局所降伏が全体挙動に及ぼす影響は小さいという既往の知見^{(12), (16)}と符合するものである。

5. 梁端接合部におけるせん断耐力の評価

5.1. ティウウェブせん断耐力と梁フランジの面外曲げ耐力

負側（鉛直下向き）載荷時に補剛リブのない場合は梁上フランジの面外変形が生じ、塑性化スプリットティが圧縮側で十分に機能しない結果を得た。ここではティウウェブせん断耐力と梁上フランジの面外曲げ耐力をそれぞれ独立した耐荷機構として与え、梁端接合部におけるせん断耐力を簡略的に評価する。

ティウウェブせん断耐力については、既往の設計方法^{(11), (12), (15)}を拡張し、逆対称曲げの応力分布を仮定した二次曲げ区間の両端が全塑性モーメントに達したときを上端スプリットティのティウウェブせん断耐力と定義する。すなわち、

$$Q_{y1} = \frac{2m_p}{e} \quad \dots (2)$$

ここで、ティウウェブの全塑性モーメント $(:m_p)$

梁上フランジの面外曲げ耐力については、図 14. (a) に示すような降伏線を仮定し^{(13), (17)}、次式で表す。

$$Q_{y2} = 4 \cdot m_0 \cdot \left(\frac{b_1 + b_2}{x_2} + \frac{x_1 + x_2}{b_2} \right) \quad \dots (3)$$

$$\text{ここで、} x_2 = \sqrt{\frac{(b_1 + b_2) \cdot b_2}{2}}, \quad m_0 = \frac{t_f^2}{4} \cdot \sigma_y$$

梁フランジの板厚 $(:t_f)$ 、降伏応力 $(:\sigma_y)$

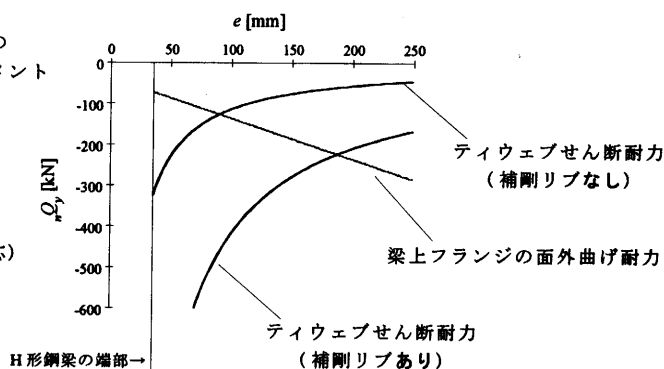
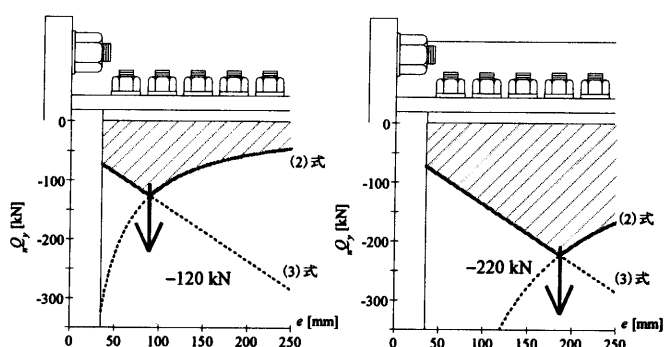
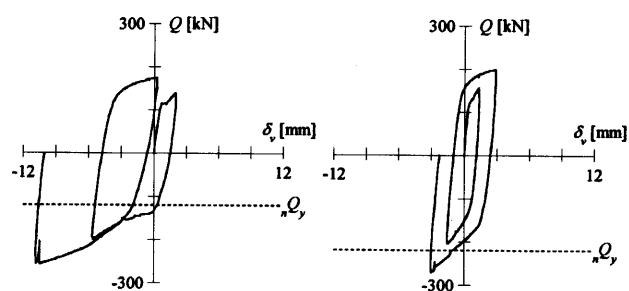


図 15. ティウウェブせん断耐力と梁上フランジの面外曲げ耐力



(a) リブなし試験体 (b) リブあり試験体

図 16. 梁端接合部におけるせん断耐力



(a) リブなし試験体 (b) リブあり試験体

図 17. 負側せん断耐力（柱—梁間の鉛直ずれとの対応）

上端スプリットティのティウウェブせん断耐力と梁上フランジの面外曲げ耐力はそれぞれ独立した耐荷機構として与えるが、面外変形を生じさせる面外力は梁端からもっとも離れた降伏線位置に作用するとし、(2) 式、(3) 式において二次曲げ区間 e を共通変数として与える。ティウウェブせん断耐力と梁上フランジの面外曲げ耐力、それぞれを二次曲げ区間 e に対する変動として図 15. に示す。二次曲げ区間に対してティウウェブせん断耐力は反比例、面外曲げ耐力は比例関係にある。実験では塑性化スプリットティが軸降伏した後にせん断力の伝達位置が梁端から離れ、梁上フランジが大きな面外曲げ耐力を発揮する傾向にあった。しかしながら、せん断力の伝達位置が梁端から離れるほどティウウェブで伝達できるせん断力は小さくなるため、梁上フランジの面外曲げ耐力はティウウェブせん断耐力によって限界付けられ

ることになる。したがって、負側のせん断力を受ける際の梁端接合部のせん断耐力は(2)式と(3)式の交点として表すことができると言えよう。リブなし試験体、リブあり試験体の梁端接合部のせん断耐力を図16.に示す。補剛リブを設置してティウェブせん断耐力を大きくすることで梁上フランジで発揮できる面外曲げ耐力は大きくなり、リブなし試験体よりもリブあり試験体の梁端接合部のせん断耐力は大きくなっている。この関係は簡略的に導いたものではあるが、ティウェブせん断耐力が小さいと梁上フランジの面外曲げ耐力を十分に発揮できないことを表しており、リブなし試験体の梁上フランジで面外変形が生じ、塑性化スプリットティが圧縮側で十分に機能しなかった実験結果を説明できるものとなっている。

5.2. 実験結果との比較

柱-梁間のせん断ずれをせん断力との関係として表し、梁端接合部のせん断耐力と併せて図17.に示す。柱-梁間のせん断ずれは塑性化スプリットティの第1摩擦ボルト位置で計測しており、正負がそれぞれ梁の上下方向のずれを表している。リブなし試験体ではせん断耐力に達した後に柱-梁間で鉛直下向きのずれが急激に増大しているが、リブあり試験体では $-1/50\text{rad}$. 載荷時にせん断耐力に達しても柱-梁間で急激なせん断ずれは生じておらず、接合部の回転変形に追従するように安定した履歴曲線を描いている。柱-梁間で急激なせん断ずれを生じさせないためのせん断耐力を、塑性化スプリットティを安定的に機能させるために必要な梁端接合部のせん断耐力であるとすれば、簡略的な評価方法であるが、本実験の範囲では(2)式、(3)式の交点として算出したせん断耐力を用いることで梁端接合部を安全側に設計できる。

なお、ここではティウェブせん断耐力と梁フランジの面外曲げ耐力の関係を大局的に把握するため、変形の適合条件については考慮していない。本実験のリブなし試験体では特に問題ないものと考えられるが、リブあり試験体や例えば図14.(b)の状態ではティウェブの変形状態に影響を及ぼす高力ボルト接合部の拘束効果、ならびに高力ボルトの離間を考慮する必要がある。これらの影響を含めた梁端接合部のせん断耐力の評価は今後の課題としたい。

6. 結

本研究では梁の下フランジ側に塑性化スプリットティを設置した接合部を対象とし、接合部におけるせん断力の伝達方法が全体挙動や塑性化スプリットティの挙動に及ぼす影響を把握するため、上端スプリットティのティウェブせん断耐力と載荷開始方向をパラメータとした梁の繰返し曲げせん断実験を行った。以下に得られた結果・知見をまとめる。

- 1) 上端スプリットティに補剛リブがなく、ティウェブせん断耐力が小さい試験体では負側(鉛直下向き)のせん断力を伝達する際に梁上フランジの面外曲げ変形が生じ、柱-梁間でのせん断ずれが顕著となったため、塑性化スプリットティが圧縮側で十分に機能しない結果を得た。したがって、塑性化スプリット

ティを圧縮・引張で安定的に機能させるためには上端スプリットティに補剛リブを設置して十分なティウェブせん断耐力を確保する必要がある。

- 2) リブなし試験体ではせん断力が梁端部から集中的に伝達していたが、リブあり試験体では補剛リブに沿って広い範囲からせん断力が伝達しており、補剛リブの有無によってせん断力の伝達機構に違いが見られた。この現象は特に塑性化スプリットティが軸降伏した後に顕著に現れている。

- 3) 上端スプリットティのティウェブに生じる二次曲げモーメントは設計指針¹⁵⁾や既往の研究^{11), 12)}で想定しているよりも大きく、補剛リブを設置した場合にはさらに大きくなった。また、弾性域では載荷方向によらず二次曲げ区間はほぼ等しいが、塑性化スプリットティの軸降伏後はせん断力の伝達機構が変化し、二次曲げモーメントはさらに大きくなった。

- 4) 梁から上端スプリットティへのせん断力の伝達位置を二次曲げ区間の長さとして簡略的に表すと、二次曲げ区間の長さに対してティウェブせん断耐力は反比例、梁上フランジの面外曲げ耐力は比例関係にある。したがって、上端スプリットティに補剛リブを設置してティウェブせん断耐力を確保することにより梁上フランジは大きな面外曲げ耐力を発揮する。

- 5) 柱-梁間で急激なせん断ずれを生じさせないためのせん断耐力を、塑性化スプリットティを安定的に機能させるために必要な梁端接合部のせん断耐力とすれば、簡略的な評価方法はあるが、本実験の範囲ではティウェブせん断耐力と梁上フランジの面外曲げ耐力から算出したせん断耐力により接合部を安全側に設計できる。

【謝辞】

本研究での実験を行うに当たって東京工業大学大学院生 鄭景洙氏、元大学院生 上原大輔氏、小林和子嬢、渋谷麻理嬢の協力を得ました。本研究をまとめる際には新日本製鐵建築事業部 佐伯英一郎博士に貴重なご助言をいただきました。本論文の第一著者は日本学術振興会の特別研究員であり、科学研究費補助金による助成を受けています。ここに記して感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 吉敷祥一, 山田 哲, 竹内 徹, 鈴木一弁, 岡田 健, 和田 章: 損傷を梁端下フランジの接合要素に限定する新しい鋼構造骨組 その1 ウェブ塑性化スプリットティを用いた柱梁接合部の実験, 日本建築学会構造系論文集, 第575号, pp.113-120, 2004.1.
- 2) 和田 章, 岩田 衛, 清水敬三, 安部重孝, 川合廣樹: 建築物の損傷制御設計, 丸善, 1998.
- 3) 竹内 徹, 津曲 敬, 鈴木一弁, 佐伯英一郎, 山田 哲, 和田 章: 梁端部に弾塑性ダンパーを有する制振構造の設計及び性能, 日本建築学会技術報告集, 第20号, pp.125-130, 2004.12.
- 4) 大久保全陸ほか: 梁端下端エネルギー消費型RC ラーメン構造に関する研究(その1, 2), 日本建築学会中国・九州支部研究報告, 第10号, pp.405-412, 1996.3.
- 5) 吉岡智和, 大久保全陸: 梁端下端フランジに高力ボルト摩擦すべりダンパーを設置したH形鋼梁の曲げせん断実験, 日本建築学会構造系論文集, 第573号, pp.177-184, 2003.11.

- 6) 甲津功夫, 木時亮, 水谷聡志, 吹田啓一郎: 鉛ダンパー組込み梁継手を有する鋼構造架構の動的応答性状に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, 第584号, pp.161-167, 2004.10.
- 7) 髙橋裕治, 吹田啓一郎, 張シシユン, 安藤正和, 宇野暢芳: H形鋼柱弱軸方向と梁の高力ボルト接合に関する研究, 鋼構造年次論文報告集, 第12巻, pp.641-648, 2003.11.
- 8) 松尾真太郎, 髙橋裕治, 井上一朗: 座屈拘束型ダンパーを下フランジ側に設置した梁の弾塑性挙動, 鋼構造年次論文報告集, 第12巻, pp.231-238, 2004.11.
- 9) 吉敷祥一, 上原大輔, 山田 哲, 鈴木一弁, 佐伯英一郎, 和田 章: 下フランジにエネルギー吸収要素を設置した梁継手, 日本建築学会構造系論文集, 第597号, pp.135-143, 2005.11.
- 10) Masamichi OHKUBO, Tadao MATSUOKA, Tomokazu YOSHIOKA, Donald L. ANDERSON: Shear Transfer Mechanism of Reinforced Concrete Beams with a Slot at the Beam-end, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.3, pp.523-528, 1999.
- 11) 赤藤元玄, 森川勝浩, 井上功一, 福田 章: スプリットティーを用いた高力ボルト引張接合によるH形鋼柱・はり接合部の力学的性状に関する実験的研究 その6, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東) C分冊, pp.1431-1432, 1993.9.
- 12) 日本鋼構造協会接合小委員会編: 鋼構造接合部資料集成ーリベット接合・高力ボルト接合ー, 技報堂出版, pp.568-572, 1977.3.
- 13) 千田 光, 福田浩司, 加藤征宏, 鶴飼邦夫: スプリットティー形式による柱梁接合部のせん断耐力に関する研究 その1. 実験および降伏耐力の評価, 日本建築学会構造系論文集, 第463号, pp.105-114, 1994.9.
- 14) 千田 光: スプリットティー形式による鋼構造柱梁接合部の力学特性に関する研究, 東京工業大学 学位論文, 1995.
- 15) 日本建築学会: 鋼構造接合部設計指針, 2002.
- 16) 加藤 勉, 田中淳夫: 高力ボルト引張接合に関する実験的研究ー(その三) 柱はり接合部としての性状ー, 日本建築学会構造系論文集, 第151号, pp.31-38, 1968.9.
- 17) 福智康之, 齊藤善宏, 増田浩志: スプリットティーを用いた半剛接合部に関する実験的研究ーその3 柱の面外曲げ挙動に関する検討 単純引張試験ー, 日本建築学会大会学術講演(関東) C-1分冊, pp.829-830, 2001.9.

【附録A: 接合要素の耐力】

本実験で用いたスプリットティ接合部の各要素(塑性化スプリットティ, 上端スプリットティ, 梁フランジ, 摩擦接合部)の軸耐力, 曲げ耐力, せん断耐力を表A-1.にまとめる. 軸耐力は断面積に素材試験結果より得られた降伏点応力を乗じて求めた

表A-1. 接合要素の耐力

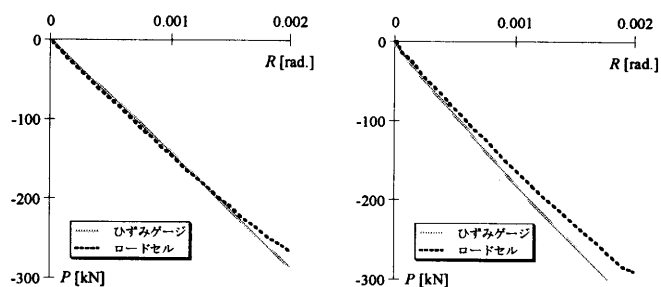
		軸耐力 [kN]	曲げ耐力 [kN・m]	せん断耐力 [kN]
塑性化スプリットティ		290	140	110
上端スプリットティ	リブなし	1400	650	530
	リブあり	1800	840	680
梁フランジ	原断面	480	210	170
	孔欠損考慮	370	160	130
摩擦接合部(すべり耐力)		530	230	190

ものである. 曲げ耐力は軸耐力に上下スプリットティの図心間距離もしくは梁せいを乗じたものであり, せん断耐力は曲げ耐力をせん断スパンで除したものである.

【附録B: ティウェブに貼付したひずみゲージの計測精度】

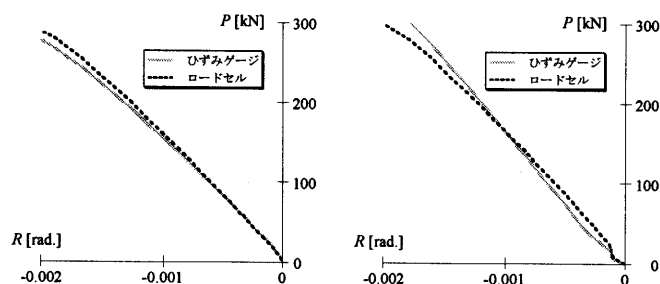
従来型のスプリットティ接合部を対象としてティウェブに生じる二次曲げモーメントを計測した実験¹¹⁾では, ひずみゲージによる計測値にばらつきが多く, この箇所での計測が難しいことを示している. 本研究ではティウェブの二次曲げモーメントを考察するに当たって, まず, 貼付したひずみゲージの計測精度を確認した.

ひずみゲージの計測精度の検討は, 1) ひずみゲージの計測値, 2) ロードセルの計測値, それぞれから上端スプリットティに作用する軸力を求め, 両者を比較することで行った. まず, 1) はティウェブで平面保持を仮定してひずみゲージの計測値から軸ひずみを求め, この軸ひずみを素材試験結果に基づいて軸応力に換算し, さらに断面積を乗じて求めた値である. 2) は, 本文中の第3章で用いた換算軸力とした. すなわち, ロードセルの計測値であるせん断力に載荷点からティウェブ端部までの距離を乗じて求めた曲げモーメントを, 上下スプリットティの図心間距離で除した値である. ひずみゲージとロードセルからそれぞれ求めた上端スプリットティに作用する軸力の比較を図B-1.に示す. 図に示す弾性範囲では両者の対応は良好であり, ここではひずみ計測の精度は十分であると判断した.



(a) 試験体NO.1(リブなし)

(b) 試験体NO.2(リブあり)



(c) 試験体NO.3(リブなし)

(d) 試験体NO.4(リブあり)

図B-1. ひずみゲージとロードセルから求めた軸力の比較

(2005年9月9日原稿受理, 2006年1月16日採用決定)