

# T部材を用いたはり柱の接合部の 力学的性状に及ぼす継手面形状の影響

皆川 勝\*・広橋 渉\*\*・黒田充紀\*\*\*・  
西脇威夫\*\*\*\*

T接合については多くの実験的・解析的研究が行われ、各種の設計公式が提案されている。しかし、接合部の剛性について論じたものは少ない。本研究ではT継手をはりと柱の接合に用いたときの回転剛性に着目し、T部材の継手面形状の違いによって回転剛性・ボルト軸力などの力学的特性が異なることを示した。また、T部材を製作する際に生ずる種々の溶接変形がどのように接合部の剛性に影響するかも示した。

**Key Words :** tension-type connection, moment-rotation, contact surface condition

## 1. はじめに

高力ボルトの軸方向に力を伝達する接合部を引張接合という。引張接合のうち、最もよく使われるものにT形式があり、それを用いた接合はT接合と呼ばれる。この接合方法はT型断面のフランジ部を引張ボルトで接合するもので、建築骨組構造のはりと柱の接合部などによく使用されている。

一方、土木構造では、橋梁の塔基部アンカーフレーム・支承の取り付け部あるいはラーメン隅角部などにこの接合方法が用いられているが、まだ一般的な接合法として広く使用されるまでには至っていない。また、道路橋示方書（日本道路協会編、平成2年版）にも関連する規定が設けられていない。しかし、接合部の剛性が大きいこと、製作加工の省力化が計れること、施工期間が短縮できること等の有利な面が、この接合方法にはある。特に、既設構造物への添加物の取り付け等の補修工事などに利点を発揮できる優れた接合法として、土木分野において注目されている。

これまでは主として建築分野において、終局耐力などの力学的性状及び設計式に関する研究が行われてきた<sup>1)~14)</sup>。

文献1)では、T接合の挙動に影響を与える主な要因として、フランジ厚、フランジ幅、ボルトの配置を考慮し、T接合の各種設計公式がまとめられている。文献2)~5)では、はり柱の接合部にエンドプレート形式の接合やT接合を用いる場合を対象として、ボルトの本数及びボルト配置を種々変えて実験を行い、耐荷力や設計

式の検討を行っている。

文献6)では、エンドプレート形式のはりと柱の接合部の曲げ試験を行い、最大耐力の予測式を提案している。実験では、接合部が終局状態に至るまで加力し、接合部の曲げモーメントと部材角の関係から最大耐力を求めている。

これらの既存の研究のほとんどは、主に接合部の強度に着目し、接合部の耐力を求めて設計公式を提案しているものであり、接合部の剛性について論じているものは少ない。

土木分野においても、近年、長締め形式の引張接合を橋梁における実用的な接合形式の一つとして捉え、設計基準を整備する動きがみられている。さらに、それに関連する研究によって、T接合の継手面の状態がその力学的性状に影響を及ぼすことが数値解析的検討によって示された<sup>15)</sup>。黒田らは、建築構造に多用されているT接合の力学的挙動に及ぼす継手面状態の影響に関する研究が必ずしも十分でなかったことに注目して、実験的・数値解析的検討を行った。その結果、接合部を構成する部材の全体形状、寸法、材厚のみならず、継手面の状態によっても、T接合の力学的挙動が大きく影響を受けることが明らかとなった<sup>16)</sup>。この結果は、より実際の接合としての、T部材を用いたはり柱の接合部の力学的特性が、継手面の状態によって変化することを推定させる。しかし、現在のところ、これに関する研究は見あたらない。

以上のような点を考慮して、本研究では、T部材を用いたはり柱の接合部を設計、製作する場合の継手面の状態の取り扱い方法を確立することを目的として、継手面状態の異なるT部材を製作し、それらを用いたはり柱の接合部の準静的交番曲げ載荷実験を行い、接合部の回転剛性、ボルト付加軸力、継手面間の離間量などの力学的性状に与える、継手面形状の影響を検討する。

\* 正会員 工博 武蔵工業大学 助教授 工学部土木工学科  
(〒158 東京都世田谷区玉堤 1-28-1)

\*\* 正会員 修士 川崎重工業(株) 野田工場工作部  
<研究当時武蔵工大大学院修士課程>

\*\*\* 正会員 博士 足利工業大学講師 工学部土木工学科

\*\*\*\* 正会員 工博 武蔵工業大学教授 工学部土木工学科

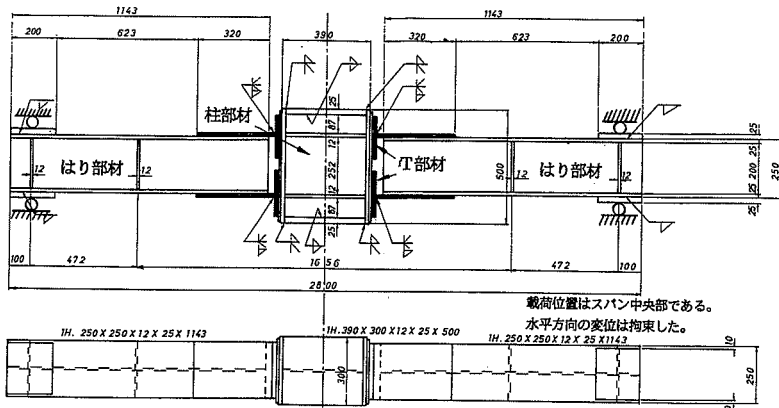


図-1 試験体の形状と寸法

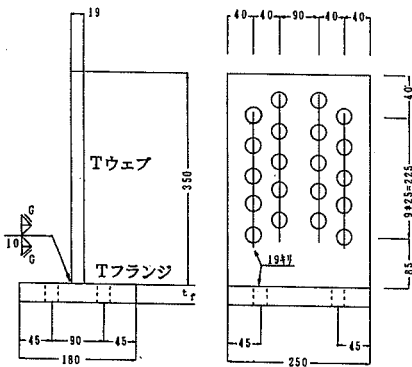


図-2 T部材の形状と寸法

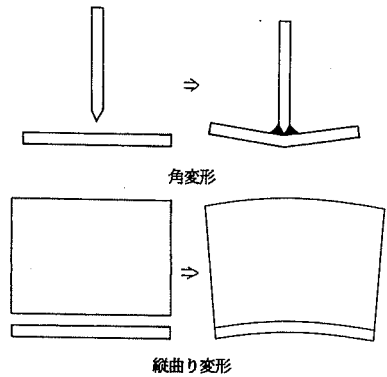


図-3 T部材の製作時に生じる溶接変形

## 2. 試験体の概要

図-1に示すように、用いた試験体は、2つのはり部材と柱に相当する1部材を4体のT部材で接合したものである。用いた鋼材はSM490である。図-2にT部材の形状・寸法を示す。

T部材は、フランジとウェブに相当する2枚の鋼材(以後、それぞれTフランジ、Tウェブと呼ぶ)を溶接することにより製作したが、この溶接によって、図-3に示すような角変形と縦曲がり変形が生じた。これらの溶接変形を継手の力学的挙動に及ぼす要因と考え、本研究では以下に示す4種類の試験体を用いた。

[M-type] Tフランジの継手面、柱部材継手面共に切削加工したものであり、通常概念からいえば理想的な継手面の状態をしているといえる。

[S-type] 溶接変形が残留するTフランジの継手面にショットブラストを施したT部材と、切削加工した柱部材とを組み合わせた試験体である。ただし、S-typeのT部材については、フランジに残留する角変形量に、図-4に示すような $0 \leq 2\delta \leq 1$  mmの条件を課して製作し、溶接後に加熱矯正を行ってこの条件を満足させた<sup>15)</sup>。

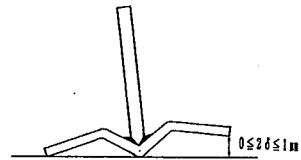


図-4 T部材の角変形に関する製作条件

また、縦曲がり変形量については条件を課していない。

[T-type] S-typeのTフランジに生じた縦曲がり変形を除去するために、Tウェブ直下位置でTフランジの継手面を切削したものである。図-7(後述)に切削した箇所の一例を示す。

[F-type] M-typeの試験体のTウェブ直下のTフランジの継手面に、図-5に示すフィラーを挿入したものである。

Tフランジの板厚 $t_f$ は14 mmまたは19 mmとした。前者についてはM-type、S-type及びT-typeを、後者についてはM-type、S-type及びF-typeを用意した。フランジ厚が14 mmのT部材を用いた試験体は、溶接変形の影響を調べることを、19 mmのそれは更にフィラー挿入の効果を調べることを主眼において用いられ

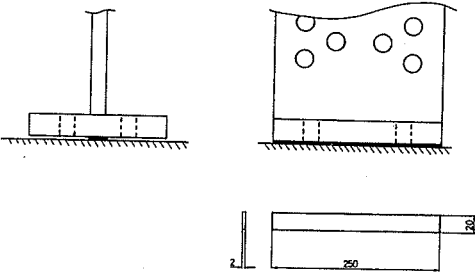


図-5 フィラー寸法とその挿入位置

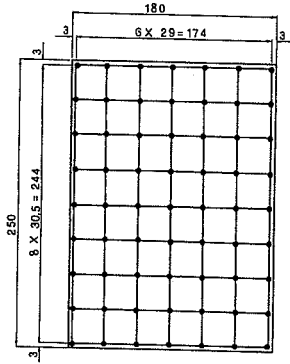


図-6 継手面の3次元座標測定箇所

た。すなわち、溶接角変形の影響については M-type と S-type の比較によって明らかとなるものであることから、板厚の影響も合わせて検討することになる。また、溶接による縦曲がり変形及びフィラー挿入の影響については、それぞれ T-type と S-type, M-type と F-type の比較によって明らかとなるものである。したがって、これらについては板厚の影響を関連させながら調べたものではなく、前者に対する結果はフランジ厚が 14 mm の場合についてのものであり、後者についてはそれが 19 mm の場合についてのものである。

使用した高力ボルトは、JIS-B 1186 に規定される F 10 T, M 16 である。また、道路橋示方書<sup>17)</sup>に示されている考え方にもとづいて設計ボルト軸力を求め、これの 10% 増しに相当する 114.2 KN (11 660 kgf) を初期導入ボルト軸力とした。

### 3. T 部材の継手面の形状

#### (1) 継手面形状の測定及び平面度の算定

T フランジの継手面上の図-6 に●印で示す 63 点の位置の 3 次元座標を測定し、JIS B 0621 に定められている平面度を求めた。

まず、3 次元座標測定器 (マイクロコード CHN 1008, 精度約 0.01 mm) により座標を測定した。次に、最小 2 乗法によって回帰平面を求め、これに対する面外方向へ

表-1 T フランジ継手面の平面度 (S-type 及び M-type,  $t_f=14$  mm) 単位: mm

S-type		M-type	
部材名	平面度	部材名	平面度
CS-NU	0.763	CM-NU	0.029
CS-ND	0.626	CM-ND	0.042
CS-SU	0.772	CM-SU	0.037
CS-SD	0.664	CM-SD	0.031

表-2 T フランジ継手面の縦曲がり変形除去のための切削前後における平面度の相違 (T-type,  $t_f=14$  mm) 単位: mm

部材名	平面度	
	切削前	切削後
CT-NU	0.763	0.528
CT-ND	0.618	0.578
CT-SU	0.657	0.541
CT-SD	0.724	0.697

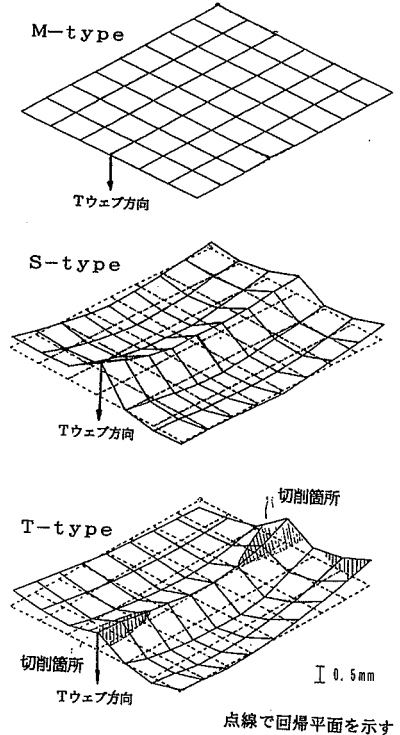
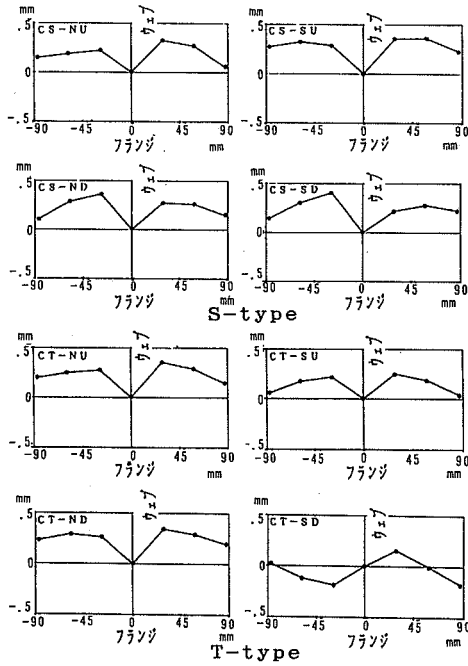


図-7 継手面の形状測定例 (回帰平面からの凸凹で示す)

のずれの最大値と最小値の差を計算し、これを平面度とした。

M-type と S-type の T フランジ厚が 14 mm の試験体の平面度を表-1 に示す。また、T-type の縦曲がり変形を除去するための切削を施す前と施した後の平面度を比較して表-2 に示す。なお、表-1~表-4 中の部材名



図—8 継手面の T フランジ巾方向の形状

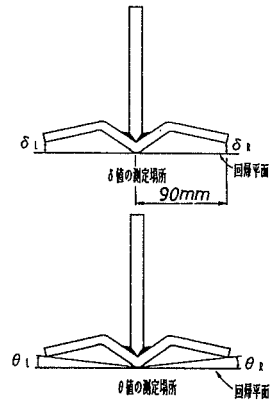
に用いられている記号 NU, ND, SU 及び SD は T 部材の取り付け位置を示しており, 1 文字目は柱部材の左側か右側かを示し, 2 文字目は上側か下側かを示す。

M-type, S-type 及び T-type の継手面の 3 次元座標を, 回帰平面から面外方向への凹凸に変換した結果の一例を図—7 に示す。また, 図—7 に示した S-type と T-type の凹凸を T フランジの長手方向に平均した結果を図—8 に示す。ただし, T ウェブ直下の測定点の平均値を基準に図化してある。

(2) 溶接による角変形量

前述のように, 溶接角変形を加熱矯正により戻すことによって, T フランジは図—7 及び図—8 に示したように変形する。ほとんどの場合, T フランジは図—4 に示したのとほぼ同様の形状をしているが, CT-SD 部材がやや異なる傾向を示している。これは, T フランジと T ウェブを溶接する際の両板の直角度の精度が若干おちていたことによるものである。ここで, 角変形の程度を評価する方法のひとつとして, 前述の 3 次元測定器による測定結果を用い, 溶接変形が残留する T 部材について角変形量を定義する。

図—9 に示すように, まず, T ウェブ直下位置での T フランジのフランジ面直角方向座標の平均値が, 最小 2 乗法によって求められた回帰平面内に存在するように全体座標をフランジ面直角方向に移動する。次に左右の T フランジ端部のフランジ面直角方向座標の平均値を求める。それらの回帰平面からの距離を  $\delta_L$  及び  $\delta_R$  とする。そして, 左右の角変形量  $\theta_L$  及び  $\theta_R$  の平均として,



図—9 角変形量を示すパラメータの定義

表—3 T 部材の角変形量 (S-type 及び T-type,  $t_f=14$  mm)

T-stub	$\delta$ and $\theta$					
	$\delta_R$ (mm)	$\delta_L$ (mm)	$2\delta$ (mm)	$\theta_R$ ( $\times 10^{-3}$ rad)	$\theta_L$ ( $\times 10^{-3}$ rad)	$2\theta$ ( $\times 10^{-3}$ rad)
CS-NU	0.055	0.144	0.199	0.61	1.60	2.21
CS-ND	0.101	0.147	0.248	1.12	1.63	2.75
CS-SU	0.273	0.228	0.501	3.03	2.53	5.56
CS-SD	0.144	0.218	0.362	1.60	2.42	4.02

T-stub	$\delta$ and $\theta$					
	$\delta_R$ (mm)	$\delta_L$ (mm)	$2\delta$ (mm)	$\theta_R$ ( $\times 10^{-3}$ rad)	$\theta_L$ ( $\times 10^{-3}$ rad)	$2\theta$ ( $\times 10^{-3}$ rad)
CT-NU	0.197	0.145	0.342	2.19	1.16	3.35
CT-ND	0.231	0.197	0.428	2.57	2.19	4.76
CT-SU	0.056	0.037	0.093	0.62	0.41	1.03
CT-SD	0.016	-0.176	-0.160	0.18	-1.96	-1.78

表—4 縦曲がり変形量 R (S-type 及び T-type,  $t_f=14$  mm)

S-type		T-type	
部材名	変形量	部材名	変形量
CS-NU	0.0014	CT-NU	0.0002
CS-ND	0.0009	CT-ND	0.0004
CS-SU	0.0012	CT-SU	0.0005
CS-SD	0.0009	CT-SD	0.0005

次式によって角変形量  $\theta$  を評価する。

$$\theta \approx \tan \theta = (\delta_L + \delta_R) / B_f \dots \dots \dots (1)$$

$B_f$ : T フランジ幅 (180 mm)

S-type と T-type の T フランジ厚が 14 mm の試験体の角変形量を表—3 に示す。

(3) 溶接による縦曲がり変形量

道路橋示方書に規定された, 橋梁の部材及び仮組み立ての精度<sup>18)</sup>をもとに, 以下のように縦曲がり変形量を定義する。

まず, T ウェブ直下位置での T フランジ長手方向の両端部と最大曲がり部との 3 次元測定器による座標測定値から, T フランジ両端部を結んだ直線から最大曲がり部までの垂線の長さ  $e$  を求める。これを用いて, 次式によって縦曲がり変形量  $R$  を定義する。

$$R = e / L_f \dots \dots \dots (2)$$

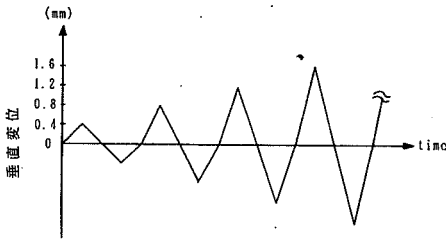


図-10 荷重パターン

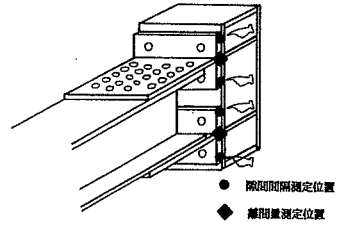


図-12 離間量及び隙間間隔の測定位置

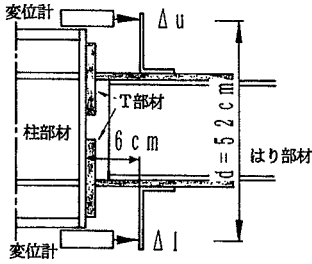


図-11 継手部の回転角の測定方法

$L_f$ : T フランジの長さ (250 mm)

なお、道路橋示方書に規定された許容差は 1/1 000 である。

縦曲がり変形を切削により除いた T-type と、切削していない S-type の、縦曲がり変形量を比較して表-4 に示す。T フランジ厚はいずれも 14 mm である。切削により、同規定の許容範囲内に縦曲がり変形量がおさまったことが分かる。

#### 4. 荷重実験の概要

##### (1) 荷重方法

用いた試験機は武蔵工業大学構造実験棟の容量 45 tonf のサーボパルサー型万能試験機 (高津製作所製) である。荷重方法は、柱下部の垂直変位の振幅を図-10 のように 0.4 mm ずつ漸増する変位制御の準静的交番曲げである。

##### (2) 測定項目及び測定方法

荷重点に取り付けたロードセルにより荷重を検出し、両支点に均等に反力が生じているものとして T 部材フランジと柱の接触面位置での曲げモーメント  $M$  を算出した。

接合部の回転角  $\theta$  は、柱の四隅に図-11 に示すように取り付けられた高感度変位計により測定された水平変位  $\Delta u$  及び  $\Delta l$  を用いて次式により求めた。なお、継手は 2 カ所あるが、5. 以下の実験結果は平均値で示す。

$$\theta \approx \tan \theta = (\Delta u - \Delta l) / d \dots \dots \dots (3)$$

$d$ : 水平変位の測定点間の距離 (520 mm)

回転剛性は、曲げモーメント  $M$  を回転角  $\theta$  に関して微分して求めた。具体的には、回転角  $\theta$  が不等間隔デー

タとして得られるため、区分的に 2 次関数を仮定して微分値を計算した。

ボルト軸力を求めるために、ボルト頭部に開けた孔に埋め込まれたひずみゲージ (通常、埋め込みゲージと呼ばれる) によりボルト軸部のひずみ値を検出し<sup>19)</sup>、これを軸力に換算してボルト軸力とした。

M-type、S-type 及び T-type の場合の継手面間の離間量ならびに、F-type の場合の接合面間の隙間間隔は、図-12 に示す位置に取り付けたクリップゲージによって検出した。

また、上下の T 部材のウェブが曲げモーメントをすべて負担するので、ボルト軸力と T 部材に働く外力の関係を求める際に、T 部材に作用する引張または圧縮力 ( $F$ ) が以下の式で与えられるものとし、これを等価外力と呼ぶ。

$$F = M / d_b \dots \dots \dots (4)$$

$d_b$ : 上下の T 部材のウェブ間距離

#### 5. 回転剛性

図-13 に T フランジ厚 14 mm の M-type、S-type および T-type の曲げモーメント-回転角関係を示す。また図-14 にこれらの測定結果から求められた回転剛性-回転角関係を示す。

M-type の剛性は、荷重の初期から徐々に減少しており、初期の剛性を示す範囲がほとんどない。また、除荷したときの剛性は、荷重の繰返しと共に次第に除荷直前の剛性と同程度に低下する傾向がある。S-type の場合、初期の剛性と同程度の剛性をもつ範囲が存在し、その範囲を越えると徐々に剛性は低下する。除荷の際の剛性と除荷前のそれとの差は M-type ほど大きくない。T-type の場合は、初期剛性は S-type よりやや大きく、初期剛性を保持する範囲も存在する。

このように、初期剛性は M-type が他の 2 タイプより大きいものの、その値を保持する範囲が極端にせまいといえる。これは、荷重のきわめて初期では継手面全体で力が伝達されるために、接触状態にある継手面が一部に限定されるものより剛性が大きくなるが、すぐに一部が離間することから、その初期剛性を保持する範囲が非常にせまくなるためである。また、除荷の際の剛性に関し

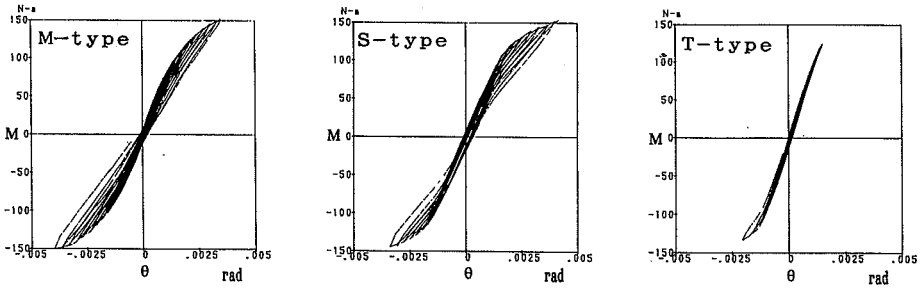


図-13 曲げモーメント—回転角関係 (T フランジ厚 14 mm の場合)

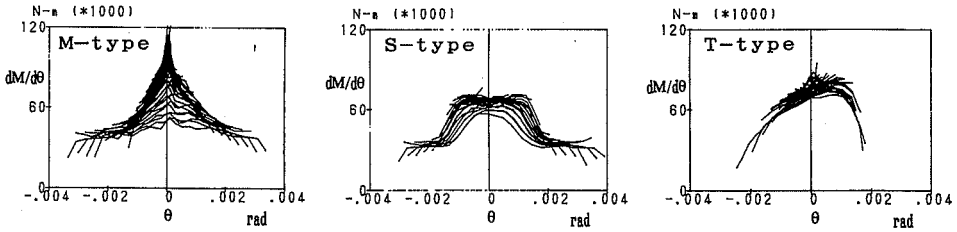


図-14 回転剛性—回転角関係 (T フランジ厚 14 mm の場合)

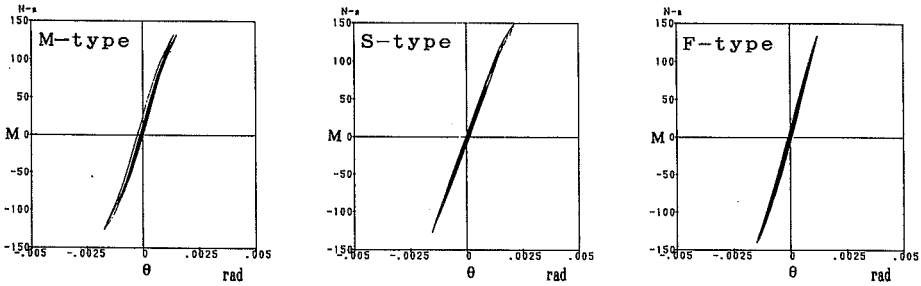


図-15 曲げモーメント—回転角関係 (T フランジ厚 19 mm の場合)

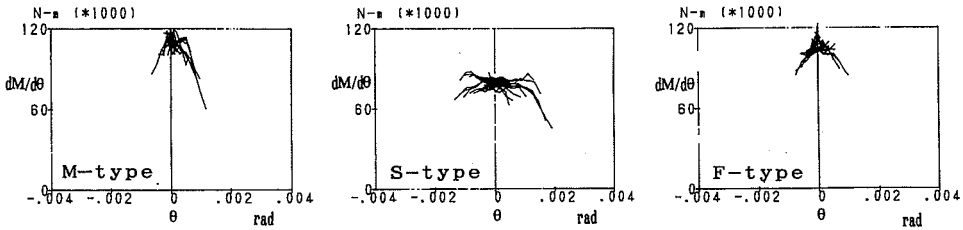


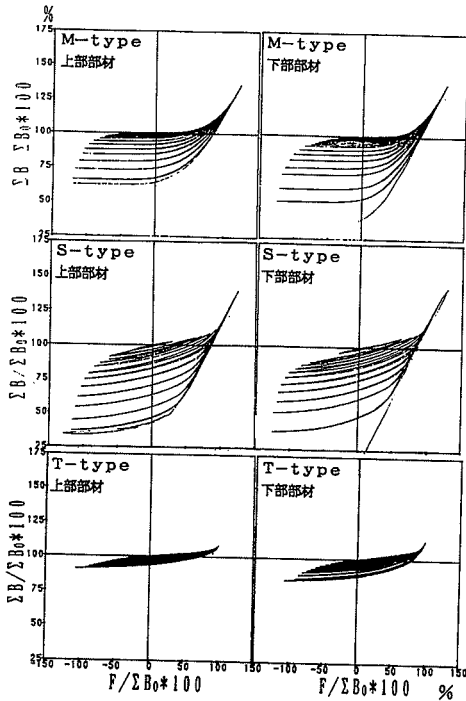
図-16 回転剛性—回転角関係 (T フランジ厚 19 mm の場合)

ては M-type が他の 2 タイプに比べて低く、繰返し荷重を受ける場合には大きなヒステリシスを描く。

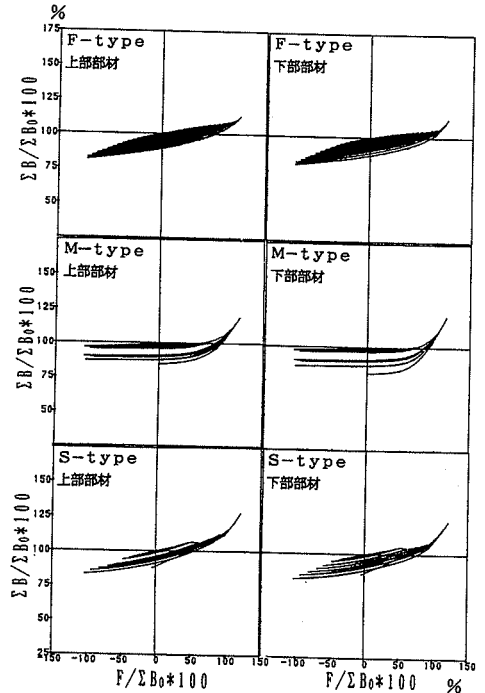
これらの結果から、継手面が理想的なもの (M-type に相当) と溶接変形が残留するもの (S-type に相当) とを比べると、荷重のきわめて初期を除けば、剛性は後者の方が大きく、溶接変形の縦曲がり変形を除くと (T-type に相当)、それを除かない場合 (S-type に相当) よりやや剛となることが分かった。すなわち、図-3 に示したような溶接角変形があった方が、それが無いより

剛性の面ではむしろ有利となること、及び、縦曲がり変形は除去したほうが剛性の面で望ましいことが分かる。溶接角変形があった方が剛性が高くなるのは、T 部材のウェブ直下に材間圧縮力が集中するからである<sup>16)</sup>。また、縦曲がり変形があった場合、T フランジの長手方向の両端部に材間圧縮力が生じることが剛性の低下につながるものと考えられる。

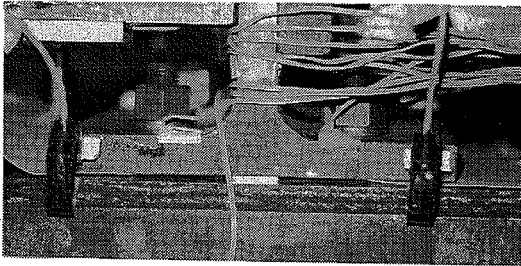
図-15 に T フランジ厚 19 mm の M-type, S-type 及び F-type の曲げモーメント—回転角関係を示す。また



図一七 無次元化ボルト軸力—無次元化等価外力関係 (Tフランジ厚 14 mm の場合)



図一八 無次元化ボルト軸力—無次元化等価外力関係 (Tフランジ厚 19 mm の場合)



写真一 フィラー挿入時の接合部接触面の様子

図一六にこれらの測定結果から求められた回転剛性—回転角関係を示す。

M-type と S-type を比較すると、上述の T フランジ厚が 14 mm の場合と同様に、初期剛性は M-type の方が大きい、初期剛性と同程度の剛性を示す範囲は S-type の方がひろい。また、F-type の場合には、初期剛性は M-type と同等で、S-type より大きく、ほぼ M-type と同様の剛性となった。F-type の回転剛性が大きい理由として次の 2 点が考えられる。

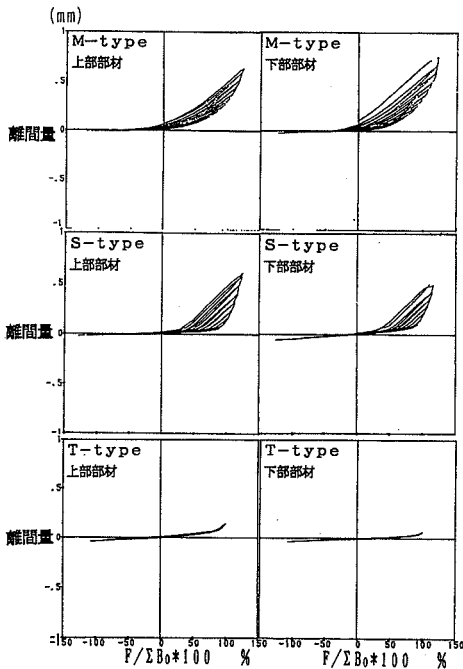
- ①高力ボルトを締め付けた後も、継手面は離間している状態であり (写真一)、生じる材間圧縮力がフィラーを介してのみ伝わるため、T ウェブ直下のフィラーの位置にだけ材間圧縮力が存在し、T ウェブ直下の継手面で離間が生じないこと。
- ②T フランジと柱の継手面との間に隙間があり、てこ

反力が生じないこと。

## 6. ボルト軸力

図一七に T フランジ厚 14 mm の M-type、S-type 及び T-type のボルト軸力—等価外力関係を無次元化して示す。縦軸については、上部および下部ともに左右の T 部材 2 体に用いている 8 本のボルトの軸力の総和を初期軸力の総和で無次元化して示した。また横軸は、式 (4) によって求められる等価外力  $F$  を、引張側の T 部材のボルト 8 本に導入した初期軸力の総和  $\Sigma B_0$  で割り無次元化等価外力  $F/\Sigma B_0$  とした。なお、初期軸力はボルトの降伏軸力のおよそ 82.5% に相当することから、無次元化ボルト軸力がおよそ 121% のときに、平均的にはボルトが降伏することになる。

M-type の場合、等価外力の増加に対して、ボルト軸力は曲線的に増加するのに対し、S-type のそれは直線的に増加し、ある点で急激な増加が始まる。また圧縮側の等価外力が作用した場合は、M-type のボルト軸力はほとんど変化しないのに対し、S-type のそれは減少傾向にある。これは、S-type の T 部材に溶接による縦曲がり変形が残留していることや、角変形量を  $0 \leq \delta \leq 1$  mm にとどめるための加熱矯正により、T フランジが折れ曲がっていることによって、ボルト孔付近や T ウェブ直下周辺に初期ボルト軸力導入後も隙間が生じている状態であるためと考えられる。また、S-type の方が、



図一19 離間量—無次元化等価外力関係 (T フランジ厚 14 mm の場合)

明らかに軸力の変動量が大きい。

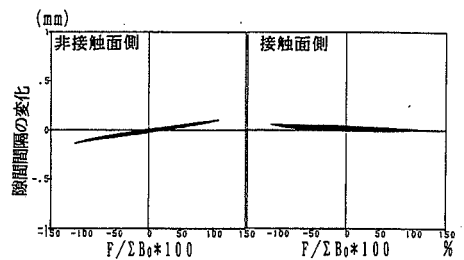
また、T-type のボルト軸力—等価外力関係は、傾向としては M-type より S-type に近い。しかし、等価外力の変化に対するボルト軸力の変化量が S-type に比べ小さくなっており、この傾向は特に T 部材に圧縮側の等価外力が作用した場合に顕著である。これは、T-type では縦曲がり変形を除くことによって、T ウェブ直下の部分が柱部材に密着した状態に、より近づいているためである。

図一18 に T フランジ厚 19 mm の F-type、M-type 及び S-type のボルト軸力—等価外力関係を無次元化して示す。

F-type は、T 部材に圧縮側の外力が作用するとボルト軸力が一定勾配で減少するという S-type と同様の挙動を示していることが分かる。また引張側の外力が作用した際に、载荷の初期から勾配を持ってボルト軸力が増加する点でも両者の挙動はよく似ている。これは、F-type では接合部の継手面間にフィラーが挿入されていることにより、写真—1 に示したように、ボルト孔付近は隙間が生じている状態に留まるため、ちょうど S-type における溶接角変形と類似した効果を示したものと考えられる。

## 7. 離 間 量

図一19 に T フランジ厚が 14 mm の場合の T ウェブ取り付け位置での離間量—無次元化等価外力関係を示す。



図—20 隙間間隔の変化—無次元化等価外力関係 (F-type の場合)

す。

離間量については、T ウェブ直下位置での離間を T 部材長手方向の両端の 2 ヶ所で測定し、それらを上部の T 部材 2 体と下部の T 部材 2 体でそれぞれ平均して示している。

M-type の離間量は、等価外力に対し曲線的に増加し、等価外力が約 80% に達すると履歴ループを描き始める。

S-type は等価外力が約 90% に達するまで離間量は直線的にゆるやかに増加し、その後急激な増加が始まる。この急激な増加が生じる点を過ぎてから履歴ループを描き始め、接合部の測定点で接触圧がなくなったことを示している<sup>16)</sup>。M-type の場合、履歴ループを描き始めるときの離間量は約 0.2 mm であるのに対し、S-type の場合は、それが 0.1 mm にも達していない。

M-type より S-type の方が離間が生じにくい理由は、S-type では T ウェブ直下の継手面に材間圧縮力が集中しているためである。離間量を測定した位置が縦方向の T フランジ端部であり、この位置では接触圧が集中している。しかし、S-type には図—7 に示したような縦曲がり変形が生じており、T ウェブの中心付近では、離間が生じていると考えられる。継手面の中央部での離間量を測定することはできないので測定結果として示すことはできないが、このことは、前述したボルト軸力—等価外力関係からも明らかである。

T-type の離間量に関しては、等価外力が約 90% に達するまで離間量は直線的にゆるやかに増加し、その後急激な増加が始まるという傾向が S-type の結果とほぼ同じである。これは、T ウェブ両端直下で離間量を測定したため、縦曲がり変形の有無による継手面全体の離間状況が測定結果に反映されていないことによる。

また、F-type の場合、初期ボルト軸力導入後も継手面間が離間している状態 (写真—1) であるため、この隙間間隔を T フランジ両端部で測定し、外力に対しどのように変化するかを検討した。図—20 に隙間間隔の変化—無次元化等価外力関係を示す。これは、4 体のうち 1 体の結果を示したものであるが他のものも同様の結果を示した。同図から、外力の作用に対する隙間間隔の



表一5 力学的特性の比較

継手面形状 比較項目	①切削して 平坦 M-type相当	②溶接変形 残留 S-type相当	③ファイラー 挿入 F-type相当	④縦曲がり 除去 T-type相当
はり柱の 回転剛性	小 ②より小	小 ①より大	大	大
力学的に有利な順番	3	2	1	1
解説	①は②に比べ初期段階では大きい。			
ボルト軸力	引張剛	大 ②に同等	大 ①に同等	小 小
	圧縮剛	小	大 ③より大	大 大
	変動量	小 ③④に同等	大	小 ①②に同等
力学的に有利な順番	1	4	1	1
解説	②, ③, ④は載荷初期からある勾配をもって増加する ①は最初で徐々に増加する			
ウェブ直下の離開量	大	小 ②に同等	—	小 ②に同等
力学的に有利な順番	3	1	—	1
解説	①は載荷の初期から離開する。②, ③は明らかに④より離開しにくい。			

変化はわずかであり、ファイラーを入れることで継手面に隙間が生じて、外力の変化に対して隙間間隔はほとんど変化せず、剛性を落とす原因にはならないことが分る。

### 9. む す び

本研究では、T部材をはりと柱に用いた接合部に関して、T部材の継手面の形状が接合部の回転剛性などの力学的挙動にどのような影響を与えるかを実験的に検討した。

継手面形状に及ぼす要因として考慮したものは、T部材を製作する場合の溶接によりTフランジに生じる角変形と縦曲がり変形である。また、継手面にファイラーを挿入する方法も検討した。

具体的には、

- ①継手面を切削して平坦にしたもの、
- ②溶接変形(角変形と縦曲がり変形)が残留するもの、
- ③切削し平坦にしたものにファイラーを挿入したもの、
- ④溶接による角変形は残留するが縦曲がり変形は切削によって除いたもの、

の4種類の試験体を製作し、実験を行った結果、表一5に示すような力学的特性の比較結果を得た。溶接角変形の影響についてはTフランジ厚が14mm及び19mmのいずれの場合についてもいえるものである。また、溶接縦曲がり変形の影響についてはTフランジ厚が14mmの場合について、ファイラーの効果についてはTフランジ厚が19mmの場合についてのみ実験によって確かめられたものである。しかし、溶接変形の存在及びファイラー挿入は、いずれも材間圧縮力の分布状態を決定する要因であり、これらが継手の剛性に影響を及ぼすことは本研究における実験の全体を通じて確認されたと考える。

得られた結論を以下に列記する。

- ①T部材の角変形はウェブに対して正側に反ったもの

であれば、はり柱の接合部回転剛性の面で不利にはならない。

②Tフランジに均等に材間圧縮力が生じているものよりも、Tウェブ直下位置に材間圧縮力が集中しているものの方が剛性が大きい。

③よって、少なくとも剛性の面からは、実際にT部材を溶接により製作する際には、継手面を平坦に切削する必要がなく、製作・コスト面でも有利になる。

④T部材の縦曲がり変形はないほうが剛性の面からは好ましい。

⑤継手面間にファイラーを挿入する方法については、本研究で用いたような幅2mmのファイラーを用いた場合、Tウェブ直下に材間圧縮力を生じさせる結果となり、力学的に不利な点は見られない。

謝 辞：有益なご助言を頂いた武蔵工業大学の増田陳紀教授に謝意を表します。また、(株)サクラダの鈴木康弘博士並びに利守尚久氏には、試験体製作及びその加工において、専門的なご助言並びにご協力を頂きました。厚くお礼申し上げます。

### 参 考 文 献

- 1) 日本鋼構造協会：鋼構造接合資料集成, pp. 549~642, 技報堂, 1977.
- 2) Zoetemeijer, Ir. P. : Summary of the research on bolted beam-to-column connections, Delft University of Technology, January 1990.
- 3) Zoetemeijer, Ir. P. : Bolted connections with flush endplates and haunched beams, Delft University of Technology, Report 6-81-15, June 1981.
- 4) Zoetemeijer, Ir. P. : Bolted beam to column knee connections with haunched beams, Delft University of Technology, Report 6-81-23, June 1981.
- 5) Munter, H. L. N. and Zoetemeijer, Ir. P. : Angles connected by bolts in one leg, Delft University of Technology, Report 6-81-21, November 1981.
- 6) 加藤勉・佐久間弘・向井昭義：高力ボルト引張接合による柱・はり接合部の最大耐力, 構造工学論文集, Vol. 35 B, pp. 391~398, 1989年3月.
- 7) 井上功一・伊藤直明・森田隆司・中島茂肇・鈴木豊朗：スプリット・ティーを用いた高力ボルト引張接合形式によるH形鋼柱・はり接合部の力学的性状に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol. 37 B, pp. 275~282, 1991年3月.
- 8) Kulak, G. L., Fisher, J. W. and Struik, J. H. A. : Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints (Second Edition), Wiley-Interscience Publication, pp. 289~322, 1987.
- 9) Chen, W. F. : Joint Flexibility in Steel Frames, Elsevier Applied Science, pp. 1~55, 1987.
- 10) 谷平勉・利守尚久・藤沢政夫・田井戸米好：十字スプリット・ティー形式の引張接合に関する基礎的実験と解

- 析, 構造工学論文集, Vol. 36 A, pp. 1073~1086, 1990年3月.
- 11) 橋本篤秀: 高力ボルト引張接合の設計式について, JSSC, Vol. 13, No. 141, pp. 28~32, 1977年7月.
  - 12) 加藤征宏・大竹章夫・千田 光・鶴飼邦夫・原 克己: 高力ボルト引張接合による梁柱接合部における添板とステフナで補強された柱フランジの耐力, 日本建築学会論文報告集, No. 430, pp. 69~77, 1991年12月.
  - 13) 益尾 潔・山田長美: スプリットティー引張接合による角形鋼管柱・H形鋼はり接合部終局耐力に関する実験的研究, 日本建築学会論文報告集, No. 424, pp. 91~103, 1991年6月.
  - 14) 加藤 勉・田中淳夫: Split teeを用いた鋼構造柱はり接合部の実験, 日本建築学会論文報告集, No. 121, pp. 19~27, 1966年3月.
  - 15) 黒田充紀・増田陳紀・皆川 勝・西脇威夫: 接触面平坦度を考慮したスプリット・ティー接合部挙動の解析的検討, 土木学会論文集, No. 416/I-13, pp. 365~374, 1990年4月.
  - 16) 黒田充紀・増田陳紀・利守尚久: スプリット・ティー接合の力学的挙動に及ぼす溶接角変形の影響, 土木学会論文集, No. 441/I-18, pp. 127~136, 1992年1月.
  - 17) 日本道路協会編: 道路橋示方書 (I 共通編・II 鋼橋編)・同解説, p. 130, pp. 404~405, 1990年2月.
  - 18) 日本道路協会編: 道路橋示方書 (I 共通編・II 鋼橋編)・同解説, pp. 392~397, 1990年2月.
  - 19) 黒田充紀・広橋 渉・増田陳紀: 2種類のボルト軸部ひずみ測定法の妥当性について, 土木学会論文集, No. 441/I-18, pp. 193~198, 1992年1月.
- (1992. 9. 22 受付)

## EFFECTS OF JOINT SURFACE CONDITIONS ON THE MECHANICAL BEHAVIOR OF BEAM-TO-COLUMN CONNECTIONS WITH T-STUBS

Masaru MINAGAWA, Wataru HIROHASHI, Mitsutoshi KURODA and Takeo NISHIWAKI

Investigated is the mechanical behavior of beam-to-column connections with bolted T-stubs. The objective of this study is to establish the design guide to beam-to-column connections with split-tee joints. Experiments of beam-to-column connections with various joint surface conditions are carried out, in order to obtain qualitative and quantitative effects of joint surface conditions on the mechanical behavior of the beam-to-column connections. It is revealed that the mechanical behavior is greatly influenced by the joint surface conditions, and that angular welding distortion and curve welding distortion work advantageously in the mechanical view point when the distortions are convex-wise.