

鋼 I 桁の高力ボルト摩擦接合継手の曲げ強度に関する実験

秋山 寿行¹⁾

我が国において、鋼構造の設計書式が許容応力度設計法から限界状態設計法に移行せざるをえない時期が来るものと思われる。これに対し、鋼構造の一般的な継手である高力ボルト摩擦接合継手に関しても使用限界状態および終局限界状態についての評価法の確立が求められている。

本研究では、鋼 I 桁の高力ボルト摩擦接合継手を対象とした曲げ強度実験を行い、継手部の有効断面、すべり強度、終局強度などについて検討した。また、実験結果を継手の引張強度実験の結果および現行の設計規準と比較し、鋼 I 桁の高力ボルト摩擦接合継手の強度特性について考察を行った。

まえがき

近年、諸外国においては鋼構造設計法が限界状態設計法に移行してきている。我が国の土木分野における鋼構造設計法についても、現行の許容応力度設計法から限界状態設計法に移行せざるをえない時期が来るものと思われる。この移行に備えて、板要素、部材および構造システムなどの終局強度に関する研究が数多く行われ、力学規定の見直しも進められている。これに対し、鋼構造の一般的な継手である高力ボルト摩擦接合継手の終局強度に関する検討は不足しているように思われる。したがって、この継手に関する検討も十分に行い、高力ボルト摩擦接合継手に関する使用限界状態および終局限界状態についての系統的な見直しを行う必要があると考える。

鋼 I 桁の高力ボルト摩擦接合継手に関する既往の実験的研究では、摩擦面においてすべりが発生するとたわみ角の連続性が失われるため、すべり発生を終局状態と考えているものが多く、すべり発生後の継手部の挙動に着目した研究は少ない。しかし、継手部はすべり発生以降も大きな余剰耐力を有しており、すべり現象が構造物に対して必ずしも致命的な損傷であるとはいえない。したがって、継手の合理的な設計法の確立のためには、すべり発生以降の挙動にも着目した研究が必要である。また、曲げ応力場における継手のすべり強度の研究においては、平面内の曲げをうける腹板の継手部を対象としたものが多く、フランジと腹

板の組合せを考えた研究は少ない。

このような観点から、本研究では、まず高力ボルト摩擦接合継手の設計に関する規定について、我が国の現行設計規準¹⁾とすでに限界状態設計法に準拠している諸外国の鋼構造設計規準との比較を行った²⁾。そして、各設計規準の相違点に着目し、高力ボルト摩擦接合継手供試体を用いて引張試験を行い、摩擦接合継手の限界状態について考察を行った³⁾。今回は、これまでの研究成果を基に、鋼 I 桁の高力ボルト継手部を対象とした曲げ耐力実験を行い、高力ボルト摩擦接合継手の限界状態についての検討を行った。本文では、この曲げ耐力実験より得られた鋼 I 桁断面におけるすべり強度特性、ボルト孔を有する引張フランジの有効断面積、継手部の終局強度および継手部を含む鋼 I 桁の変形量について述べる⁴⁾。

1. 実験内容

(1) 供試体

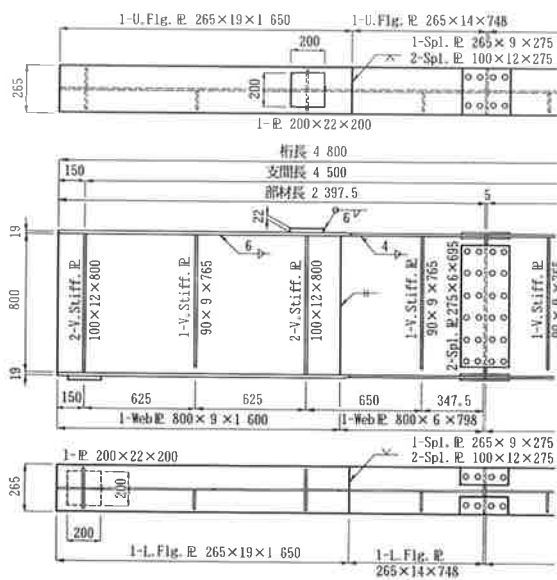
供試体の設計に際しては、桁断面の強度が少なくとも降伏強度以上を有するものとして、各板要素の幅厚比を決定した。そして、断面の局部座屈強度に達する前に、ボルト継手部においてすべりまたは引張フランジの降伏が生じるようにボルト本数およびボルト配置を決定した。すべりとフランジの降伏について、以下の2タイプとした。

①MBSタイプ：継手部において、引張フランジの降伏が発生する前にすべりが生じる。

1) 橋梁技術部技術課課長

②MFYタイプ：継手部において、すべりと引張フランジの降伏がほぼ同時に発生する。

MBSタイプはプレートガーダーの継手のすべり強度を調べることに着目したモデルである。また、MFYタイプは、実際の継手の設計においてすべり強度とフランジの降伏強度が等しくなる場合を想定して、これらの強度がほぼ等しくなるように設計したモデルである。それぞれのタイプについて2種類のボルト配置を考え、合計4体の供試体を製作した。供試体の一般形状、ボルト配置



注) 鋼板の材質はすべてSS400である。

図-1 供試体の一般形状(MBS 1)

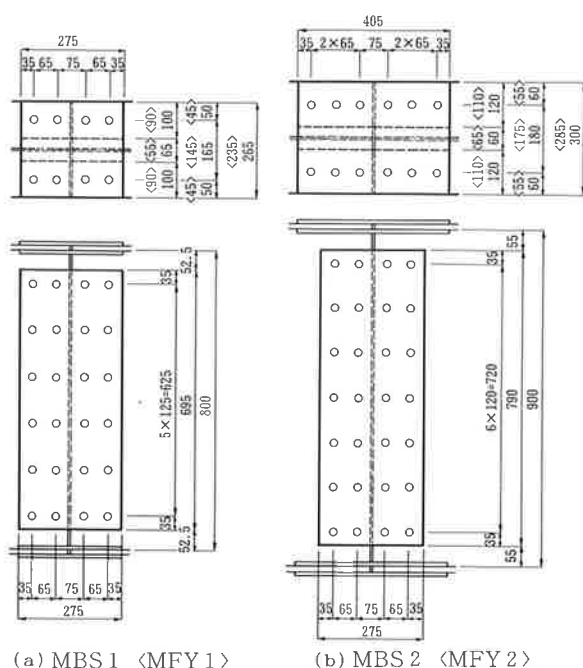


図-2 高力ボルトの配置

および供試体の諸元をそれぞれ図-1、図-2および表-1に示す。

供試体の設計および製作は道路橋示方書¹⁾の規定に準拠し、高力ボルトは等級F10T、サイズM20、鋼板は鋼種SS400を使用した。高力ボルトの初期導入軸力は18.2tf（設計軸力16.5tfの1割増し）とした。

表-1 供試体テストパネルの断面諸元

	MBSタイプ		MFYタイプ		
	MBS1	MBS2	MFY1	MFY2	
フランジボルト本数 (本/片側)	4	6	4	6	
腹板 高さ (mm)	800	900	800	900	
	板厚 (mm)	6	6	6	6
フランジ 幅 (mm)	265	300	235	285	
	板厚 (mm)	14	16	12	14
腹板とフランジの断面積比	1.29	1.13	1.70	1.35	
断面係数 (cm ³)	3587	5104	2878	4377	
腹板幅厚比	133.3	150.0	133.3	150.0	
フランジ自由突出幅厚比	9.3	9.2	9.5	10.0	
腹板高/フランジ幅	3.02	3.00	3.40	3.16	
フランジ有効断面積 (cm ²)	30.66	40.64	22.68	33.46	
フランジ許容引張力 (kgf) ①	42200	55920	31290	46140	
ボルト許容伝達力 (kgf) ②	31200	46800	31200	46800	
①/②	1.35	1.19	1.00	0.99	
曲げモーメント M _s (tf・m)	52.2	86.1	54.9	88.6	
	M _{v_g} (tf・m)	86.1	122.5	69.1	105.1
	M _{v_n} (tf・m)	71.1	103.7	55.5	88.1

M_s : すべり時の曲げモーメント (公称値)

M_{v_g} : フランジ総断面の降伏曲げモーメント (公称値)

M_{v_n} : フランジ純断面の降伏曲げモーメント (公称値)

(2) 荷重載荷および測定方法

荷重載荷方法は、図-3に示すように供試体を単純支持装置で支え、油圧ジャッキ (載荷能力200tf) により2点集中荷重を載荷し、着目する継手パネルを含む中央部分を等曲げ状態とした。そして、継手部のすべり発生後あるいは鋼板の降伏後も桁全体の耐力が低下するまで徐々に荷重を載荷した。また、供試体の横倒れを防止するため、着目パネルの垂直補剛材位置付近の2箇所面で外方向変位を拘束した。

測定項目は以下のとおりである。

- ①桁の鉛直変位
- ②高力ボルトの軸力 (試験開始から終了まで継続して測定)
- ③フランジ、腹板および添接板のひずみ
- ④フランジ継手の全伸び (すべりおよび鋼板の伸びを含む)
- ⑤すべり荷重および最大荷重

フランジ、腹板および添接板のひずみは表面に貼付したひずみゲージにより、また、桁の鉛直変位およびフランジ継手の伸びは変位計により測定

した。載荷荷重はジャッキと供試体の間にロードセルを挿入して測定した。高力ボルトの軸力は、ボルト軸部に貼付したひずみゲージで測定した。あらかじめ引張試験装置でボルト軸力のキャリブレーションを行い、ひずみ-軸力の校正曲線を作成した。そして、これを用いて、ボルトの初期導入軸力の管理および試験中の軸力測定を行った。

試験終了後、供試体を解体し摩擦面の状況やボルト孔の変形状況を観察した。

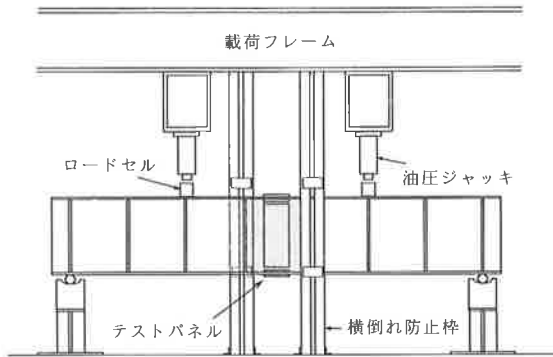


図-3 荷重載荷方法

2. 実験結果

各供試体の実験の結果、図-4に載荷荷重と桁中央鉛直変位の関係を、図-5に載荷荷重と引張フランジのボルト軸力の関係を示す。

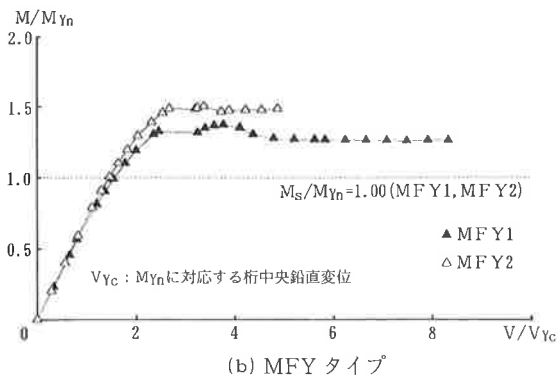
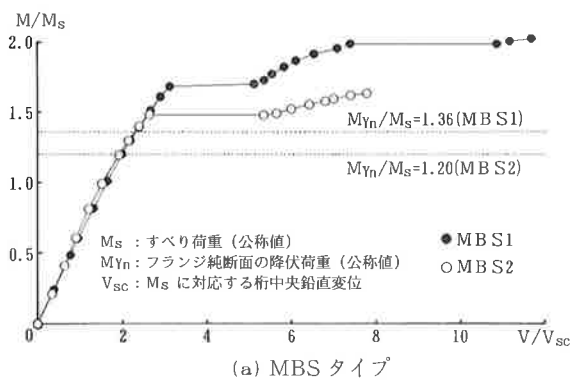


図-4 荷重(M)-桁中央鉛直変位(V)

(1) MBSタイプ

荷重の増加に伴う引張フランジの板厚減少の影響により、フランジの高力ボルトの軸力抜けが生じる。フランジのボルト孔の周辺において局部的に降伏が生じるとこの傾向が顕著となり、すべり抵抗が限界に達すると、大きな音とともに引張フランジの片方およびその近傍の腹板において主すべりを生じた。

図-6にMBS2の各荷重毎の腹板の面外方向変形モードを示す。すべりの発生と同時に腹板の面外方向変位が増大するが、ボルトが支圧状態に達すると荷重は再び増加し始める。なお、MBS2では最初に引張フランジの片方ですべりが生じ、それと同じ荷重レベルで、もう一方の引張フランジでもすべりが発生した。MBS1では引張フランジの両方のすべり荷重は異なっていた。終局状態は腹板の添接板がほぼ剛体的に回転する部材軸方向1波の局部座屈、およびこれにフランジが引きずられた連成座屈であった。

試験終了後、供試体を解体して観察した結果、MBS1, MBS2ともに引張フランジおよびその近傍の腹板のボルト孔周辺に主すべりを示す跡(すべり面が擦れ合ってできた金属光沢)が認められた。圧縮フランジには片方のボルト孔周辺にのみ主すべりを示す跡が認められた。また、引張フラ

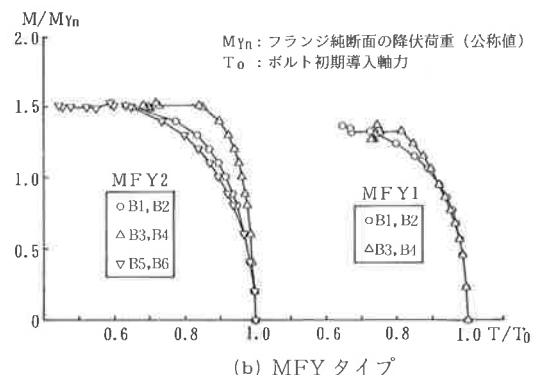
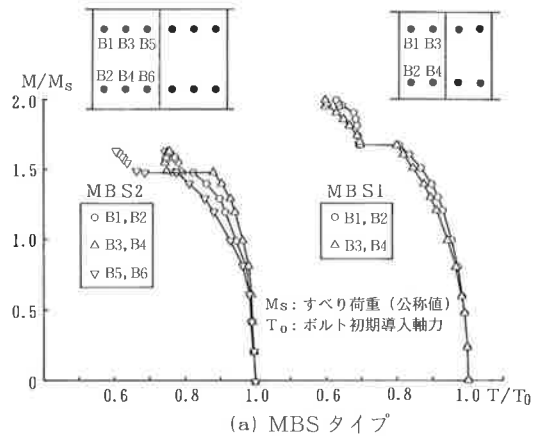


図-5 荷重(M)-引張フランジボルト軸力(T)

ンジおよびその近傍の腹板のボルト孔に塑性変形が認められた。

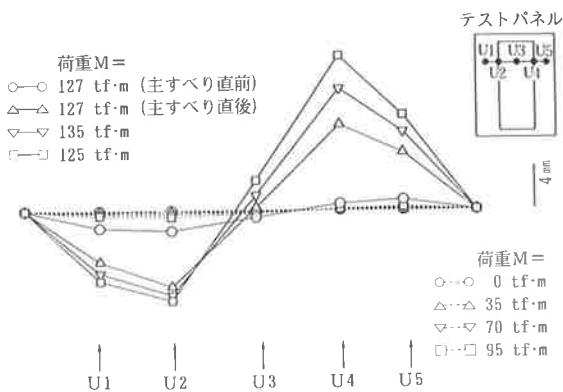


図-6 腹板の面外方向変形モード(MBS2)

(2) MFYタイプ

MFYタイプは継手部のすべり強度と引張フランジ純断面の降伏強度がほぼ等しくなるように設計したモデルである。MFY1およびMFY2のいずれにおいても、引張フランジの降伏がすべりに先行して現れた。そのため、試験開始時からすべりに至るまでのボルト軸力の減少率はMBSタイプよりも大きかった。MFYタイプでは引張フランジの片方およびその近傍の腹板にすべりが発生し、すべりによる桁の鉛直変位量はMBSタイプに比べて小さかった。また、ボルトが支圧状態になってから最大荷重に至るまでの荷重の増加はわずかであった。

MFY2は継手部において、MBSタイプと同様の崩壊モードで局部座屈を生じた。また、MFY1では継手パネルが終局状態に至る前に、隣接パネルにおいて局部座屈が生じた。

試験終了後、供試体を解体して観察した結果、MFY1およびMFY2のいずれにおいても、引張フランジおよびその近傍の腹板のボルト孔周辺では桁の片方のみならずすべりを示す跡が認められた。一方、圧縮フランジには主すべりを示す跡は認められなかった。また、フランジおよび腹板のボルト孔には塑性変形は認められなかった。

3. 限界状態に関する考察

実験より得られた各種限界状態荷重を表-2に、すべり係数を表-3に示す。また、各種限界状態荷重時のフランジに作用する軸方向引張力を表-4に示す。表-3および表-4における引張継手の値は、すでに行った高力ボルト摩擦接合継手の引張実験³⁾のうち、継手部の母材純断面の降伏強度とす

べり強度を設計上等しくした継手タイプの結果を表している。

(1) すべり強度

本実験におけるすべり荷重の実験値は、公称値を34%ないし68%上回っている。すべりがフランジ断面の降伏に先行するように計画したMBSタイプでも、すべり荷重に達する以前にフランジ断面が降伏している。また、MFYタイプではすべりに先行してフランジ断面の降伏が生じ、ボルトの軸力抜けが大きかったにもかかわらず、すべり荷重は公称値を34%ないし48%上回った。一方、継手の引張実験では、母材および添接板の一部がすべり以前に降伏に達しているものの、継手供試体の弾性限界はすべりによって決まっていた。そして、公称値に対する実験値の余裕は10%程度であった。

初期導入軸力の実測値で評価したすべり係数は引張継手で0.41、引張継手のタイプに相当するMFY2で0.55と差があった。また、初期導入軸力

表-2 各種限界状態荷重

		(単位：tf·m)			
		MBS1	MBS2	MFY1	MFY2
フランジ総断面の降伏荷重	計算値1	86.1	122.5	69.1	105.1
	計算値2	95.9	140.3	76.6	116.8
	実験値	82.6	117.4	66.2	102.6
フランジ純断面の降伏荷重	計算値1	71.1	103.7	55.5	88.1
	計算値2	79.5	118.8	62.4	97.3
	実験値	77.6	111.2	62.5	102.3
すべり荷重	計算値1	52.2	86.1	54.9	88.6
	実験値	87.6	127.4	73.6	130.9
最大荷重	実験値	105.5	140.4	76.1	132.5

計算値1：公称材料強度と設計断面による計算値
計算値2：材料試験強度と実測断面による計算値

表-3 すべり係数

	初期導入軸力 (実測値)で評価	すべり発生時軸力 (実測値)で評価
MBS1	0.629	0.784
MBS2	0.596	0.690
MFY1	0.476	0.620
MFY2	0.545	0.768
引張継手 ³⁾	0.412	0.472

表-4 フランジに作用する引張力

		(単位：tf)				
		MBS1	MBS2	MFY1	MFY2	引張継手 ³⁾
実験値	すべり荷重時①	90.6	119.8	72.1	119.3	88.4
	最大荷重時②	109.1	132.0	74.6	120.8	139.4
公称値	すべり荷重時③	52.8	79.2	52.8	79.2	79.2
	①/③	1.72	1.51	1.37	1.51	1.12
	純断面降伏荷重時④	73.6	97.5	54.4	80.3	79.2
	②/④	1.48	1.35	1.57	1.50	1.76

注) 実験値は各限界状態荷重の実測値からはり理論により算出した値である。

の実測値で評価したすべり係数とすべり発生時軸力の実測値で評価したすべり係数とを比較すると、引張継手よりも本実験の供試体の方が差が大きい。これは試験開始時からすべり発生までのボルトの軸力抜けが大きいということを表している。

継手の引張実験の結果、すべり強度は全体のボルト軸力和に支配されることが明らかとなっている。したがって、引張継手に比べてボルトの軸力抜けが大きかったプレートガーダーの継手の方がすべり強度が大きくなるということは、プレートガーダーの継手ではフランジ継手部のすべり抵抗が限界に達しても、直ちにすべりが生じるのではない。つまり、フランジおよび腹板のすべり抵抗がともに限界に達した時に、フランジと腹板が同時にすべるものと考えられる。したがって、I形断面におけるフランジと腹板の継手はすべりに対して協同的に働くと思われる。そこで、フランジと腹板のすべり強度を個別に評価するのではなく、これらが一体となって外力に抵抗するものと考えられる。つまり、引張側のフランジおよび腹板のボルト本数を合計し、すべり係数を0.4としてすべり強度を評価する。そして、このすべり強度に対応する載荷荷重を計算し、実験値との比較を表-5に示す。この表には、ボルト初期導入軸力として公称値16.5tf、およびこれを10%増しとした施工軸力18.2tfで評価した値を併記してある。表-5によると、すべり荷重の実験値は軸力18.2tfで評価したすべり荷重に概ね近い値となった。MFY1では実験値がやや小さな値を示したが、これは降伏によるボルトの軸力抜けが他のタイプに比べて大きかったためであると考えられる。道路橋示方書ではフランジと腹板のすべり強度を個別に設計しているが、プレートガーダーの継手においては、これらの組合せ効果を考えることによって、より合理的なすべり強度の評価を行うことができる。

(2) 引張フランジの有効断面積

高力ボルト摩擦接合継手では、引張部材においてボルト孔を通る母材断面が強度上の弱点になると考えられている。道路橋示方書においては、ボ

ルト孔を控除した純断面積を有効断面積として設計すると規定されている。しかし、高力ボルト摩擦接合継手の引張実験より、摩擦力による母材から添接板への応力の伝達が期待できるため、純断面積を有効断面積とした場合、降伏強度は安全側に評価されることが指摘されている。また、限界状態設計法に移行している諸外国の規準では、純断面積よりも大きい有効断面積、あるいは摩擦伝達力による母材作用力の低減を考慮している²⁾。

図-7に荷重とフランジコバ面のひずみの関係を示す。いずれの供試体においても、最外列のボルト孔横のひずみが最も大きく、内側列はひずみが小さくなっている。特に、フランジのボルト本数が片側6本のMBS2およびMFY2では、最内列のボルト孔横のひずみはすべり発生時までほとんど生じていない。これは、摩擦による母材から添接板への応力の伝達が有効であることを示すものである。また、MFYタイプでは、MBSタイプに比べてすべりに至るまでのボルトの軸力抜けが大きいので、すべり強度の減少が大きい。また、最外列のボルト孔横のひずみはMBSタイプよりも大きくなっている。しかし、表-2に示すフランジ純断面の降伏荷重の実験値は、道路橋示方書の規定に基づく降伏荷重(計算値1)を上回り、フランジ総断面の降伏荷重の実験値に近くなっている。本実験によっても、純断面積を有効断面積とした場合、降伏強度はかなり安全側に評価されることが明らかとなった。

(3) 終局強度

継手パネルの局部座屈強度が継手を含まない一般パネルの局部座屈強度とどのように異なるかを調べるため、継手を含まないと仮定した各タイプのパネルについて、溶接I形断面について計測された残留応力および初期たわみの平均値⁵⁾を考慮した弾塑性有限変位解析により終局強度 M_u^* を求めた^{6),7)}。

また、参考文献⁵⁾の曲げを受ける鋼I形断面の局部座屈強度と限界幅厚比に関する実験的研究では、フランジおよび腹板の幅厚比パラメータを任意に組み合わせた供試体について実験および解析を行っている。そして、局部座屈強度について図-8に示すような結果が得られている⁸⁾。

本実験の供試体は、桁断面の公称強度が少なくとも降伏強度を確保するように板要素の幅厚比を決定している。腹板については、桁断面の実測値および材料強度の試験値より評価した幅厚比パラ

表-5 フランジと腹板との組合せすべり強度

	(単位: tf・m)			
	MBS1	MBS2	MFY1	MFY2
ボルト軸力16.5tf①	78.9	115.4	73.7	109.8
ボルト軸力18.2tf②	87.1	127.3	81.3	121.1
すべり荷重実験値③	87.6	127.4	73.6	130.9
③/①	1.110	1.104	0.999	1.192
③/②	1.006	1.001	0.905	1.081

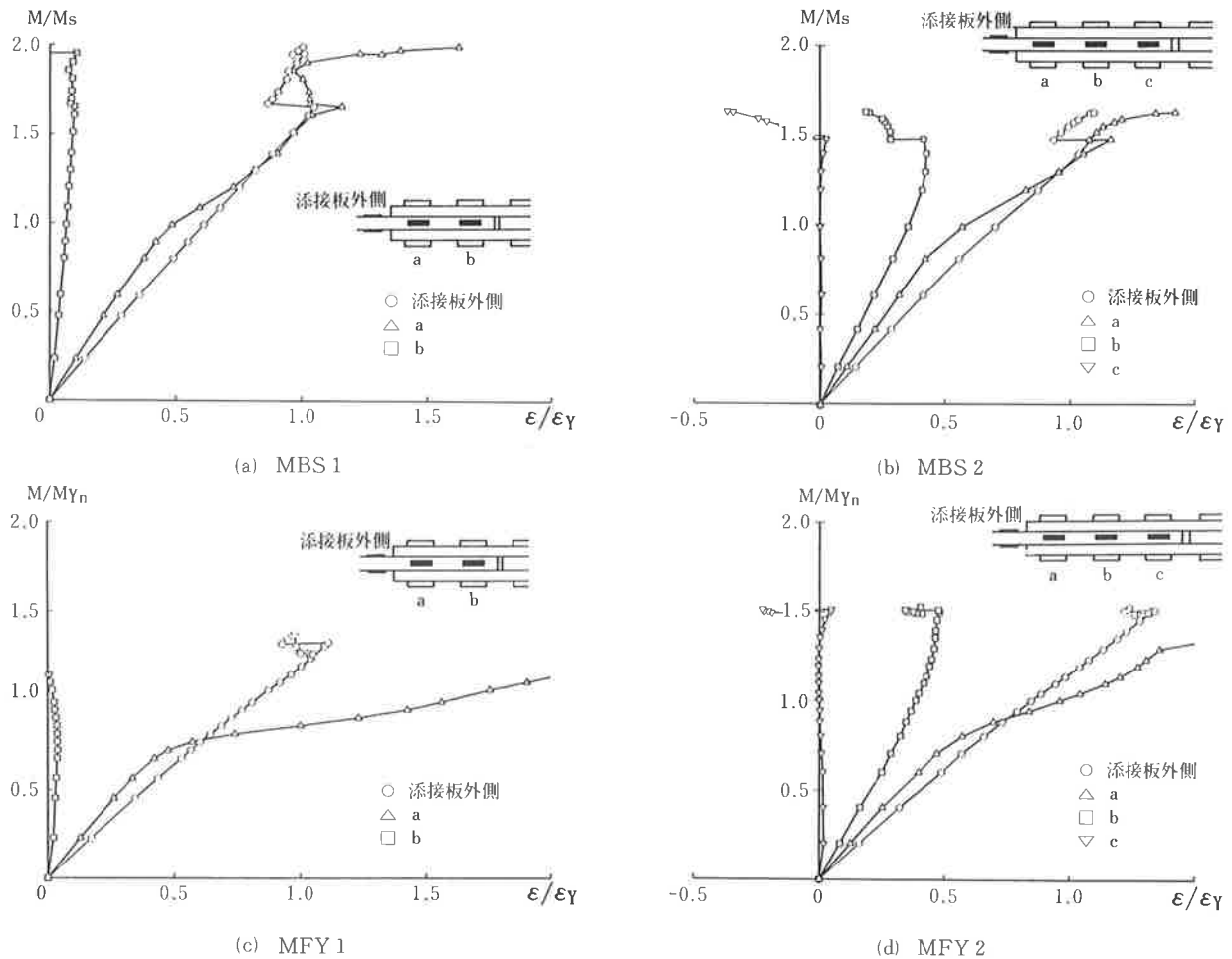


図-7 荷重(M)–フランジひずみ(ε)

メータが、図-8に示すように道路橋示方書の規定する限界幅厚比と材料強度より評価した幅厚比パラメータの限界値を上回っていた。これら供試体テストパネルの幅厚比パラメータについては表-6に示す。

本実験より得られた継手の終局強度の実験値 M_u 、断面の実測値と材料強度の試験値で評価したフランジ総断面の降伏強度 M_{Yg} および解析による一般パネルの終局強度 M_u^* を表-7に示す。一般パネルの終局強度 M_u^* は、フランジ総断面の

降伏強度 M_{Yg} とほぼ同等であった。これは本実験の供試体の腹板とフランジの断面積比 A_w/A_f が1.16から1.65であり、2.0より小さい範囲に分布しているためと思われる。ただし、継手パネルに隣接した一般パネルにおいて局部座屈が生じたMFY1の実験結果では、 $M_u/M_{Yg}=0.952$ となっ

表-6 供試体テストパネルの幅厚比パラメータ

	MBS1	MBS2	MFY1	MFY2
幅厚比パラメータ				
フランジ λ_{pf}	0.546	0.562	0.583	0.594
腹板 λ_{pw}	1.241	1.326	1.241	1.372
腹板高 h (mm)	800	900	800	900
腹板厚 t_w (mm)	5.6	5.9	5.6	5.7
フランジ幅 b (mm)	266	300	236	285
フランジ厚 t_f (mm)	13.8	15.4	11.6	13.6
継手パネル幅 a (mm)	700	700	700	700
降伏応力度 (kgf/cm ²)				
フランジ σ_{Yf}	2649	2758	2860	2649
腹板 σ_{Yw}	3275	3275	3275	3275

幅厚比パラメータ：

$$\text{フランジ } \lambda_{pf} = \frac{b'}{t_f} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)\sigma_Y}{k_f \cdot \pi^2 \cdot E}}$$

$$\text{腹板 } \lambda_{pw} = \frac{h}{t_w} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)\sigma_Y}{k_w \cdot \pi^2 \cdot E}}$$

ここに b' ：フランジ自由突出幅
 k_f ：フランジ座屈係数(=0.425)
 k_w ：腹板座屈係数(=23.9)

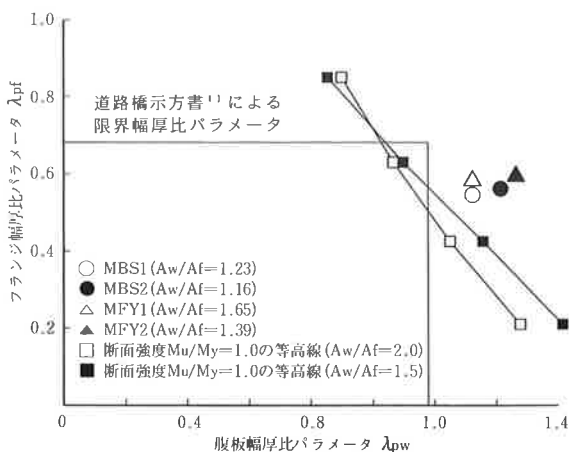


図-8 フランジおよび腹板の幅厚比パラメータ

表-7 終局強度

	(単位: tf・m)			
	MBS1	MBS2	MFY1	MFY2
フランジ降伏強度 M_{Yg}	94.7	138.4	79.9	113.8
一般部終局強度 M_u^*	96.2	138.7	80.7	113.7
終局強度実験値 M_u	105.5	140.4	76.1	132.5
M_u^*/M_{Yg}	1.016	1.002	1.010	0.999
M_u/M_{Yg}	1.114	1.014	0.952	1.164
M_u/M_u^*	1.097	1.012	0.943	1.165

ており、解析値はやや大きめの値を示している。これは初期不整が解析で仮定したものよりも大きかったためである。MFY1以外の供試体では、終局強度 M_u が桁断面の降伏強度 M_{Yg} を上回っている。つまり、腹板において道路橋示方書による幅厚比パラメータの限界値を上回っているにもかかわらず、降伏強度以上の終局強度が得られている。また一方で、一般パネルの終局強度 M_u^* と継手パネルの終局強度 M_u とを比較すると、継手パネルに隣接する一般パネルで局部座屈が生じたMFY1で M_u が M_u^* を下回った。しかし、その他のタイプでは M_u が M_u^* を上回り、特にMBS1およびMFY2では継手パネルの終局強度が一般パネルよりも10%程度大きく、添接板の存在により局部座屈強度が上昇しているものと思われる。

(4) 変形量

継手を含むプレートガーダーの変形量を考察するため、図-9に示すような継手を有するプレートガーダーを考える。継手パネルの挙動はMBS2およびMFY2の実験値を用い、一般パネルの挙動は溶接I形断面について計測された残留応力および初期たわみの平均値⁵⁾を考慮した弾塑性有限変位解析による値を用いる^(6,7)。一般パネルの断面形状および鋼種は継手パネルの母材断面と同じとする。

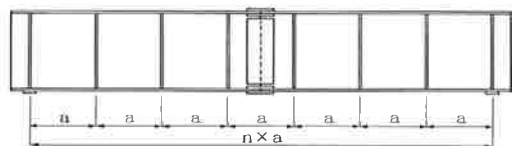


図-9 継手を有するプレートガーダー

図-10に継手パネルおよび一般パネルの荷重-曲率の関係を、図-11に継手パネルを含むプレートガーダーの荷重-曲率の関係を、また、表-8に最大荷重時の曲率を示す。

MBSタイプは、引張フランジの両方および圧縮フランジの片方ですべりが生じたので、すべり変形量が多い。しかも、継手パネル単独の変形

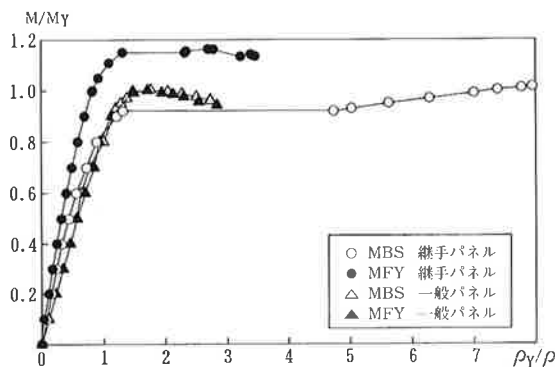
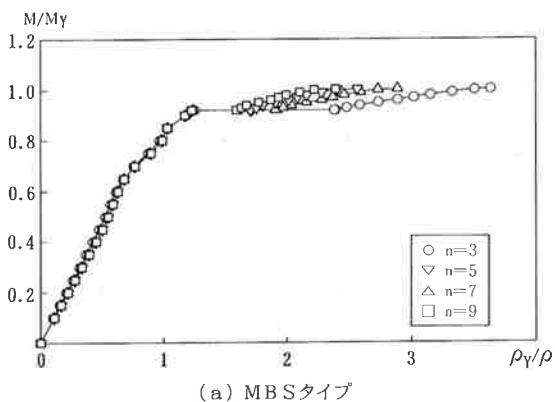
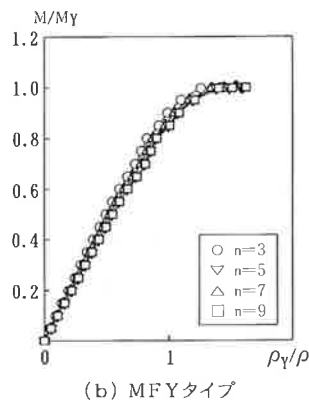


図-10 継手パネルおよび一般パネルの荷重(M)-曲率(1/ρ)



(a) MBSタイプ



(b) MFYタイプ

図-11 継手を有するプレートガーダーの荷重(M)-曲率(1/ρ)

表-8 継手を有するプレートガーダーの変形量

	M_{max}/M_Y	最大荷重時の曲率 $(1/\rho)_{max}$	$\frac{(1/\rho)_{max}}{(1/\rho)_Y}$	
MBS:	継手部	1.014	22,806	7,948
	一般部	1.002	5,061	1,764
	n=3	1.002	10.442	3.632
	n=5		8.290	2.889
	n=7		7.368	2.568
n=9	6.855		2.389	
MFY:	継手部	1.164	7,437	2,694
	一般部	0.999	4,735	1,715
	n=3	0.999	4,001	1,449
	n=5		4,295	1,556
	n=7		4,420	1,601
n=9	4,490		1,626	

注) 1. (M_{max}/M_Y) は(最大荷重の実験値/フランジ総断面降伏荷重)を示す。
 2. 曲率の単位は $10^{-6}/mm$ である。
 3. $(1/\rho)_Y$ は降伏荷重時の曲率を示す。

量は一般パネルの4倍程の大きさであった。しかし、すべり現象は局所的なものである。そのため、桁全体に占める継手パネルの割合が小さくなるにつれて、桁としての変形量は一般パネルの変形量に近づく。

MFYタイプは、引張フランジの片方でのみすべりが生じたので、MBSタイプに比べると継手パネル単独の変形量は小さかった。それでも一般パネルよりは大きかった。しかし、すべり強度が一般パネルの終局強度を上回っているため、すべりによる変形が生じる以前に桁の終局強度に達し、すべり変形は桁全体としての変形量に反映されない。さらに、継手パネルでは添接板によって断面の剛性が一般部よりも大きくなるため、桁全体に占める継手パネルの割合が大きくなるにつれて、桁としての変形量は小さくなる。

4. まとめ

本研究において、鋼I桁の高力ボルト摩擦接合継手部が純曲げを受ける場合を対象とした強度実験を行い、各種限界状態について考察した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- ①プレートガーダーの現行設計法では、高力ボルト摩擦接合継手部のすべり強度をフランジおよび腹板について個別に設計している。しかし、これらはすべりに対して一体的に抵抗しているため、フランジと腹板の協同作用を考慮することによって、より合理的に鋼I桁の継手部のすべり強度を評価できる。
- ②引張フランジのボルト孔を通る断面の有効断面積について、摩擦接合継手部では摩擦力によって母材から添接板への応力の伝達が期待できる。そのため、ボルト孔を控除した純断面積を有効断面積とした場合、継手部の降伏強度はかなり安全側に評価される。
- ③実験から得た継手パネルの終局強度と解析による一般パネルの終局強度との比較により、終局限界において局部座屈が支配的な断面では、添接板によってパネルの終局強度が上昇することがわかった。ただし、水平補剛材を有する腹板の幅厚比の大きいプレートガーダーでは注意を要する。
- ④継手を含む桁の変形量について、継手パネルの剛性が一般パネルに比べて大きいので、桁全体に占める継手部の割合が大きくなるほど桁の剛性は大きくなる。また、継手部のすべ

りによる変形は供試体では顕著であるが、実構造物では桁全体に占める継手部の割合が小さいため、すべりの影響は小さくなる。

あとがき

本研究は、高力ボルト摩擦接合継手の限界状態に関する研究の一環として行っているものである。今後はさらに、プレートガーダーの継手部の設計および製作の合理化・省力化について検討する必要がある。本実験の結果が、鋼構造を対象とした限界状態設計法の導入に際してのデータとして参考になれば幸いである。

最後に、終始懇切なご助言、ご指導をいただいた西村宣男 大阪大学教授をはじめ、お世話になった亀井義典 大阪大学助手、高木優任君（当時、大阪大学大学院生）、そして関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説（Ⅰ共通編，Ⅱ鋼橋編），1990.2.
- 2) 秋山寿行・播本章一：高力ボルト摩擦接合継手に関する設計規準の国際比較，駒井技報，Vol.11，1992.
- 3) 秋山寿行・播本章一：高力ボルト摩擦接合引張継手の強度に関する実験，駒井技報，Vol.12，1993.
- 4) 西村宣男・秋山寿行・亀井義典・高木優任：鋼I桁の高力ボルト摩擦接合曲げ継手部の限界状態に関する実験，鋼構造年次論文報告集，Vol.1，pp.23-30，1993.7.
- 5) 西村宣男・吉田信博：鋼H形断面柱部材の連成座屈強度特性と設計公式，土木学会論文集，No.398，pp.311-318，1988.
- 6) 西村宣男・大崎史淳・長谷川徹雄：曲げを受ける鋼I型断面の局部座屈強度と限界幅厚比に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol.37A，pp.135-144，1991.
- 7) 土木学会：座屈設計ガイドライン（福本晴士編），第3章 構造物の材料強度と初期不整，技報堂，1987.
- 8) 小松定夫・北田俊行・宮崎清司：残留応力と初期たわみを有する圧縮板の弾塑性解析，土木学会論文報告集，No.244，pp.1-14，1975.