

高力ボルト引張接合を用いた トラス橋ガセットレス複合構造格点部の開発に関する実験的研究

Experimental Study on Development of Composite Gusset-less Truss Panel Points Using High Strength Bolted Tensile Joints

山口隆司*, 橋本国太郎**, 鈴木康夫***, 北田俊行****, 杉浦邦征*****

Takashi Yamaguchi, Kunitaro Hashimoto, Yasuo Suzuki, Toshiyuki Kitada and Kunitomo Sugiura

*博士(工学) 大阪市立大学大学院助教授 工学研究科都市系専攻 (〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138)

**大阪市立大学大学院 工学研究科都市系専攻 前期博士課程 1 年 (〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138)

***大阪市立大学大学院 工学研究科都市系専攻 後期博士課程 2 年 (〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138)

****工博 大阪市立大学大学院教授 工学研究科都市系専攻 (〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138)

*****Ph.D 京都大学大学院助教授 工学研究科都市環境工学専攻 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

The objective of this study is to obtain the fundamental data for developing a new and rational panel point structure of truss bridges from mechanical and economical rationality points of view. Then, the new panel point structure without the gusset plates is proposed in this study. The proposed panel point is a composite structure made of concrete and steel tube connected with high strength bolts. A loading test subjected to bending moment and shear force is carried out in order to examine the mechanical behavior of the proposed panel point. 3 specimens are prepared paying attention to difference of the panel point structure. From the experimental results, slippage behavior and bending behavior of the panel point, the behavior of the bolt axial force and separation of the joint section are discussed.

Key Words: high strength bolted tensile joints, panel point of truss bridges, CFT

キーワード: 高力ボルト引張接合, トラス橋格点部, コンクリート充填鋼管

1. はじめに

近年, 我が国では, 経済活動の停滞が長期化する中, 公共事業のコスト縮減が強く求められている。高速道路の建設に対しても同様であり, コスト縮減を目指して官民学一体となって様々な試みがなされている。こうした背景の中, 構造的合理性はもちろんのこと, 経済的合理性を追求した構造や新しい橋梁形式の提案が盛んに行われている。

特に合理化少数主桁橋の適用支間長に比較してより長支間に適用可能なトラス橋が注目されており, 様々な研究がなされている¹⁾。本研究では, 合理化トラス橋の一提案としての複合構造トラス橋格点部を提案し, その開発のための基礎的資料の提供を目的とする。

一般にトラス橋の格点部は, 斜材と弦材とが, ガセットプレートを通じて多数の高力ボルトによって接合されており, 製作性や施工性の面から, 高力ボルト本数の低減や, 添接板の小型化などに代表されるような, 構造の簡素化やプレファブ化が強く求められている。このようなことから本研究では, 図-1 に示すような, ガセットプレートを省略し, より少ないボルト本数で格点部が構成可能な, 高力ボルト引張接合により結合した複合構造格点部を提案し,

そのプレファブ化された格点部構造の力学的挙動を載荷実験により検討する。格点部には引張接合による鋼管壁の座屈防止を主な目的としてコンクリートを充填し複合構造としている。提案する格点部構造は, 新形式橋梁の 1 つである, 鋼・コンクリート複合トラス橋の接合部にも適用可能である。

過去に行われた, 高力ボルト引張接合に関する実験や解析の結果から, 高力ボルト引張接合の有用性はかなり高いことが既に示されており²⁾, トラス橋格点部への適用可能性を検討することは, 高力ボルト引張接合の 1 次部材への適用範囲の拡大という意味からも重要である。

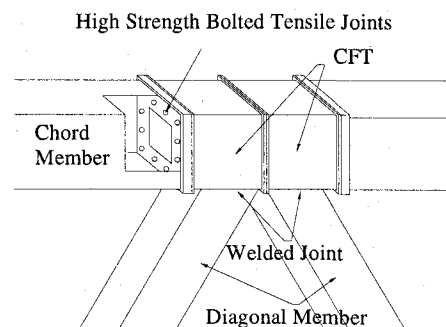


図-1 提案するガセットレストラス橋格点部の例

2. 実験供試体と実験方法

2.1 実験供試体

実験に用いた供試体は、斜材を含めた格点部を対象に3体製作した。供試体の形状を図-2に、供試体の特徴を表-1にそれぞれ示す。TYPE 1 供試体とTYPE 2 供試体は、コンクリート充填鋼管の格点部に斜材が溶接で接合されたものを1ユニットとし、この斜材付き格点部と弦材とが鋼棒で長締め引張接合されている形式である。この格点部と斜材との溶接は、図-2に示すように斜材鋼管にレ形の開先をとり、部分溶け込み溶接とした。TYPE 1 供試体とTYPE 2 供試体との違いは、2本の斜材の部材軸線が、弦材の軸線上で交わるか交わらないかの違いである。この違いにより、軸線のずれによる偏心曲げの影響を調べることができる。また、TYPE 1 およびTYPE 2 供試体とTYPE 3 供試体との違いは、斜材の接合方法である。前者では、格点部と斜材とが溶接によって接合されているのに対し、後者では、斜材鋼管の格点部挿入部分に穴を開け、格点部の鋼管に充填されたコンクリートと一体化させる孔あき鋼板ジベル構造(PBL)を使用している。PBLの孔径は、鋼板の板厚、コンクリートの圧縮強度、および孔径を考慮した算定式を参考に35mmと決定した³⁾。決定にあたって、載荷試験機の性能を考慮し、最大加力時にPBL部分ですべり等の破壊が起きないように設計した。また、図-2(d)に示すように、斜材に鋼板を襟巻き状に溶接し、これをガイドに格点部の内側に斜材を入れ込む形とし、同時に引張力に抵抗する構造としている。引張接合のための長締め用ボルトが斜材のPBL部分と重なる部分が出てくるが、図-2(d)の断面C-Cのようにボルトが斜材にあたらないようPBLの孔を配置している。この形式では、斜材、格点部がばらばらの状態から、全て組みあがった後、現場でコンクリートを打設する。一方、TYPE 1、TYPE 2 供試体の場合では、コンクリート打設までを工場内で行い、現場では架設のみという製作工程を想定している。

供試体の形状等の設定にあたっては、著者らが行った高力ボルト引張接合を用いた箱形断面継手の一連の研究を参考にした^{2), 4)}。弦材および格点部に使用した角形鋼管は300×300mmのSTK400(肉厚9mm)であり、斜材に使用した角形鋼管は150×150mmのSTK400(肉厚9mm)である。弦材の端面は、角形鋼管にフランジ板(SS400材)を溶接し、これを端面とした。また、載荷試験機の性能を考慮し、弦材と格点部の締結には、両端部をねじ切りしたS45C 鋼棒(径12mm)を長締め形式の締結材として使用

した。用いた鋼棒の本数は、圧縮側に4本、引張側に4本、両腹板側に2本の計12本である。これまでの研究を参考⁴⁾にして、接合面は特に処理を行わず、黒皮を残した状態とした。

コンクリート充填鋼管部については、その端面に9mmの鋼板を溶接して隔壁とし、コンクリート打設時には、締結用鋼棒とコンクリートが付着しないように、ビニル製のパイプ管(径14mm)をシース管としてあらかじめ所定の位置に設置し、コンクリートを充填した。なおシース管には、アンボンドとしてグリスを挿入した。

実験供試体に用いた鋼材およびコンクリートの材料試験から得られた材料特性を表-2に示す。コンクリートについては、設計基準強度を40MPaとして配合設計している。

2.2 実験方法

トラス橋弦材に作用する主な断面力は軸方向力であるが、この軸方向力に対しては、提案する格点部の力学的挙動は、過去の高力ボルト引張接合の実験²⁾などから概ね解明されている。しかしながら、このような格点部構造の場合、各部材からの部材力が集中し、実際には、軸方向力が作用するだけでなく、2次応力として曲げモーメントやせん断力が作用し複雑な応力状態になることが予想される。

したがって本研究では、引張接合によって構成された格点部が最も不利な状態となるように、斜材を有する格点部に引張力と曲げモーメント、さらには接合面のすべりに最も関係深いせん断力⁵⁾が作用するよう荷重を載荷することとし、格点部の曲げ挙動およびすべり挙動について検討を行った。

実験の概要を図-3に示す。図-3に示すように、鉛直方向2機および水平方向1機の計3機のアクチュエーターを用い、格点部に曲げモーメント、引張力およびせん断力とを作用させた。載荷は、図-4に示すように、まず鉛直方向のアクチュエーターを荷重制御し、曲げモーメントを作用させる(第1段階)。この時、曲げモーメントの大きさは、使用限界状態を想定し長締めボルトが降伏に到る時の曲げモーメントを安全率1.7で除した許容曲げモーメントとしている。次に水平方向のアクチュエーターを変位制御により低速で動かし、格点部に引張力およびせん断力を作用させる(第2段階)。なお、格点部の降伏曲げモーメントは、著者らが行った格点部の曲げ挙動実験⁴⁾の結果を参照し、第1段階での作用曲げモーメントは、その1/1.7倍の50kN・mである。

表-1 実験供試体の特徴

供試体名	格点部の構造	斜材と格点部の接合方法	部材軸心の一致
TYPE 1	コンクリート充填鋼管	溶接	一致
TYPE 2	コンクリート充填鋼管	溶接	一致せず
TYPE 3	コンクリート充填鋼管	PBL	一致せず

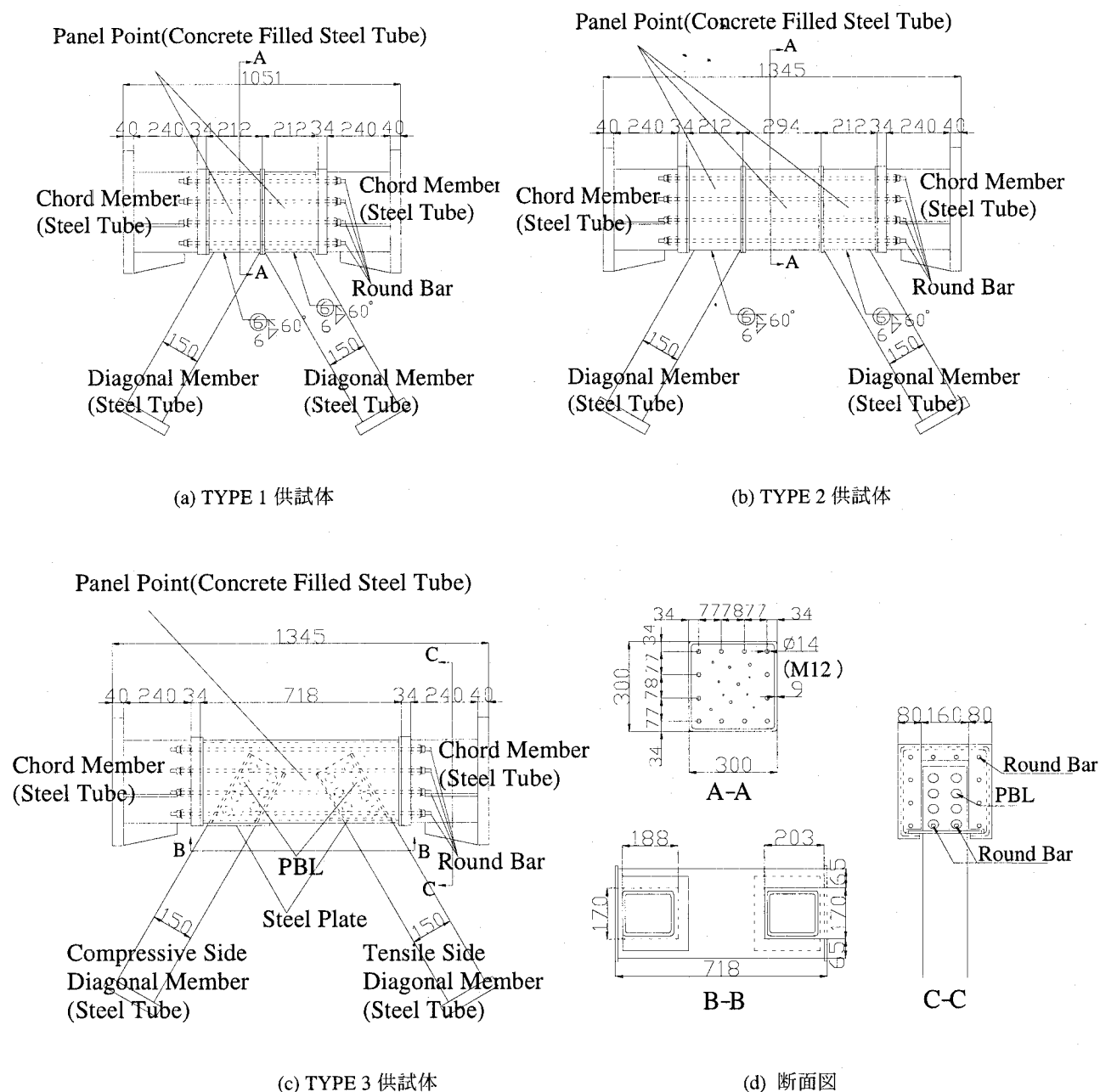


図-2 実験供試体の形状 (単位 mm)

表-2 鋼材およびコンクリートの材料特性

使用材料	降伏点 σ_y (MPa)	最大耐力 σ_u (MPa)	ヤング係数 E (GPa)	ポアソン比 ν
STK400 鋼管 (300×300×9)	373.6	494.5	200.1	0.29
STK400 鋼管 (150×150×9)	385.7	443.5	198.2	0.30
S45C 鋼棒 (12φ)	620.6	829.4	190.0	—
コンクリート	—	40.75 (28 日強度)	26.87	0.18

主な計測項目は、載荷荷重、供試体の水平変位量、鋼棒の軸方向力、接合面の離間量、格点部の曲率、接合面のすべり量、および斜材のひずみである。格点部の曲率は、格点部の圧縮側と引張側との水平方向の変位を測定し算定した。鋼棒の軸方向力については軸力測定用ロードセルを

製作し、あらかじめキャリブレーションを行い、その結果を利用した。キャリブレーション結果の一例を図-5 に示す。使用したロードセルの写真を図-5 中に示す。

締結用の鋼棒に導入した軸方向力、橋梁用高力ボルト引張接合指針設計 (案)⁶⁾ に従い、鋼棒の材料試験結果よ

り算出した鋼棒の降伏軸方向力の 75%に軸方向力の抜
けを考慮して 1.1 倍した値である 43.1kN とした。導入軸方
向力は軸方向力測定用ロードセルの出力値を参照しなが
らトルクレンチで導入・管理した。

3. 実験結果

3.1 終局状態

全ての供試体において、水平方向のアクチュエーターの
載荷可能最大荷重である 400kN 付近に達した時点で載荷
を終了した。載荷後、全ての供試体を観察したが鋼管壁の
局部座屈やコンクリートの顕著なひび割れ等は見られな
かった。また、締結用の鋼棒にも残留曲げ変形などの変化
は見られなかった。

TYPE 1, TYPE 2 供試体では水平荷重が 190kN 付近で接
合面で初めてすべりが生じ、その後載荷を終了するまでの
間数回すべりが生じた。載荷後の TYPE 1, TYPE 2 供試体
接合面を写真-1 に示す。また、実験結果を表-3 にまとめる。
TYPE 2 供試体の初期曲げ剛性は変位計の一時的な動作の

不備を補正したものであり参考値として示している。なお、
初期曲げ剛性は曲げモーメント載荷時のボルトが降伏軸
力に達した時を降伏とみなし、そのボルト降伏時の曲げモ
ーメントを降伏曲げモーメントとして、その値の 1/1.7 倍
の値に達するまでの曲げモーメントー曲率曲線の傾きを
曲げ剛性と定義した。具体的には 50kN・m までの曲線の傾
きのことである。

3.2 水平荷重とすべり量および水平変位との関係

水平荷重と水平変位との関係を図-6 に示す。(a)図は図-3
中に示す、水平方向アクチュエーター (Actuator 1) 側の
載荷ブロックのエンドプレートに設置した変位計
(Transducer 1) の出力であり、(b)図は、もう一方の載荷
ブロックに設置した変位計 (Transducer 2) の出力値であ
る。また、水平荷重と接合面におけるすべり量の関係を図
-7 に示す。すべり量については、図-7 中に示したように供
試体継手部のエンドプレートに変位計の測定部分を設置
し、隣の部材で固定して各部材間の相対鉛直変位量を計測
した。変位計取り付け位置を基準に下側に滑った場合を正
としている。

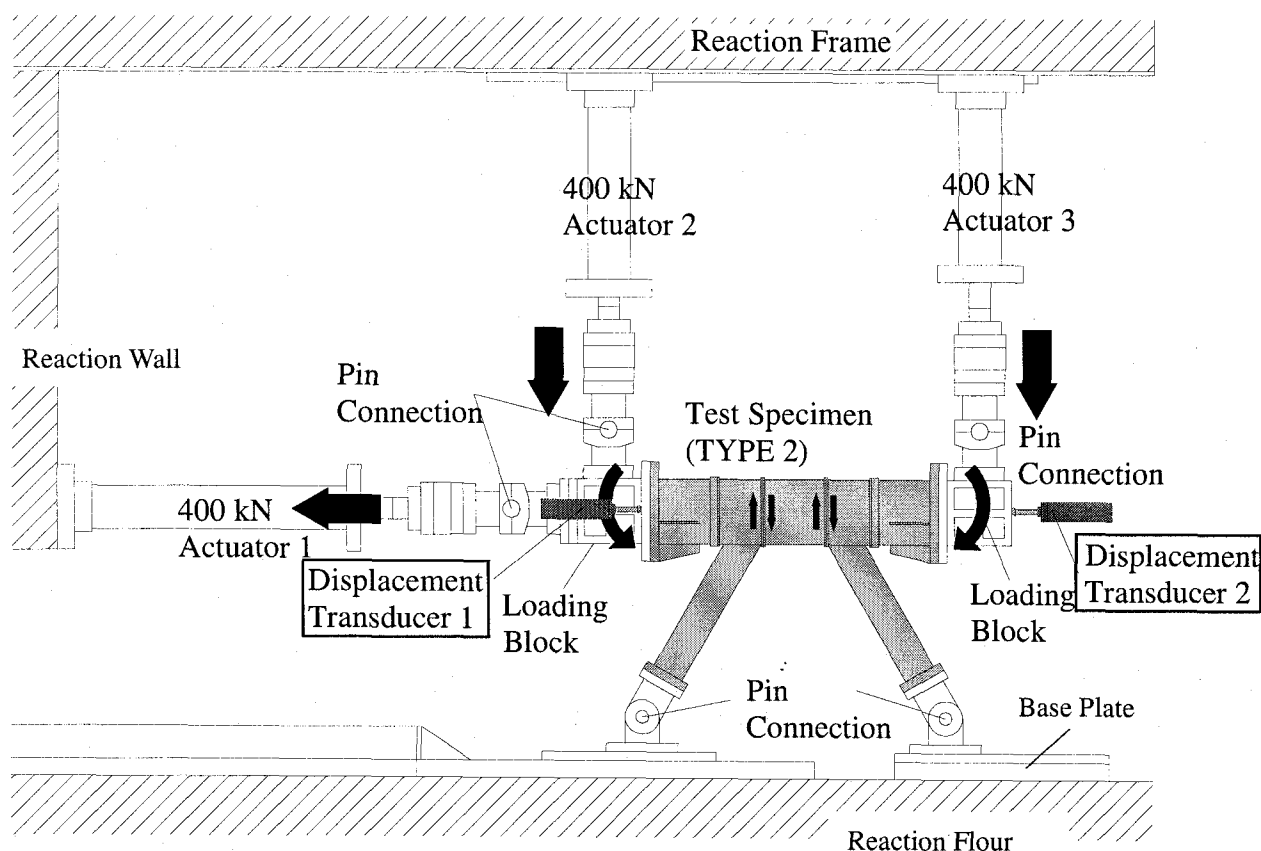


図-3 実験概要図 (TYPE 2 供試体設置時)

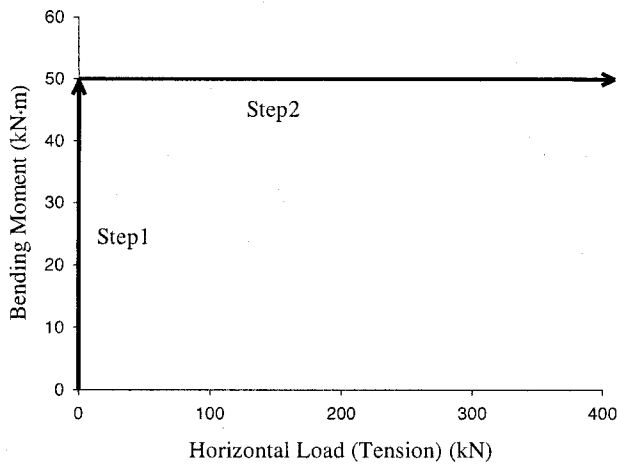


図-4 荷重経路

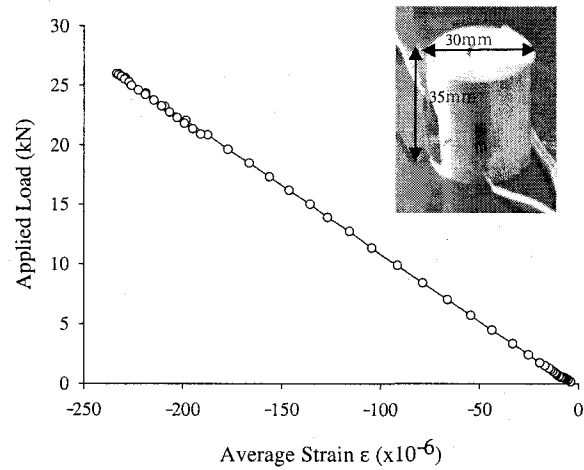
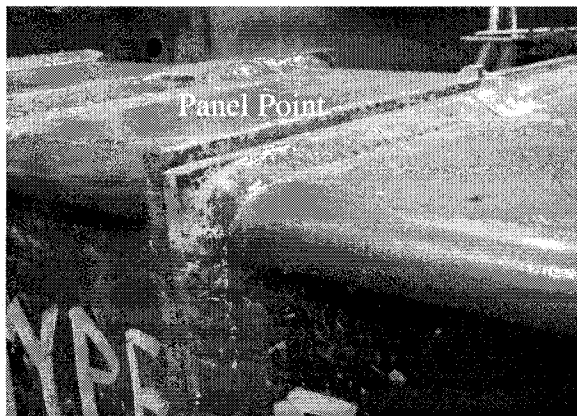


図-5 ロードセルのキャリブレーション結果の一例

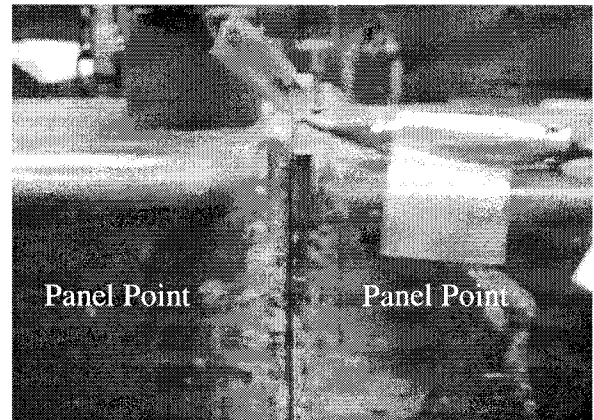
表-3 実験結果のまとめ

供試体名	最大水平変位 (mm)	初期すべり時水平荷重 (kN)	すべり係数	初期曲げ剛性 (kN・m ²)
TYPE 1	10.46	191.5	0.33	7.066×10^3
TYPE 2	16.88	186.6	0.30	$*9.580 \times 10^3$
TYPE 3	8.92	—	—	1.408×10^4

[Note]*参考値



(a) TYPE 1



(b) TYPE 2

写真-1 載荷後の実験供試体

図-6 に示すように、120kN 付近まで各供試体ともに、ほぼ同じ軸方向剛性を示しているが、120kN を超えると TYPE 2、TYPE 3 供試体で軸方向剛性が低下した。一方、TYPE 1 供試体では水平変位にギャップが見られる 190kN を越えるあたりから軸方向剛性が低下した。さらに図-6(a) からわかるように TYPE 2 供試体では、水平変位にギャップが見られる 190kN あたりでさらに軸方向剛性が低下し、この荷重以降は、TYPE 1 供試体と TYPE 2 供試体ではほぼ同じ軸方向剛性を示していることがわかる。

この水平変位のギャップは、図-7 (a), (b)において、格

点部同士の接合面で初めてすべりが生じた荷重レベルと一致しており、接合面でのすべりにより、水平変位が大きく変化したためと考えられる。なお、この接合面において初めてすべりが発生した荷重を初期すべり荷重とし、その値を表-3 にまとめて示す。

すべりの発生順序であるが、基本的には内側の接合面からすべり、その後、外側の接合面がすべるという順序になっている。ただし、TYPE 3 供試体では図-7(c)より、すべりは生じていない。

次に、接合面でのすべり荷重をもとに式(1)からすべり係

数を求めた。その結果を表-3に示す。なお、式中の接合面に作用するせん断力は水平荷重から斜材軸力を算定し、その斜材軸力の鉛直方向成分とした。

$$\mu = \frac{S}{B} \quad (1)$$

ここに、 μ : すべり係数

S : 初期すべり時の継手部に作用するせん断力

B : 初期すべり時のボルト軸方向力の合計値

TYPE 1 および TYPE 2 供試体ともにすべり係数は約 0.3 であり、部材軸心のずれによる付加曲げの影響などに起因するすべり係数の違いはみられなかった。また、一般的な摩擦継手に用いられるすべり係数(設計値)は 0.4 であるが、その値と比較するとやや小さくなっている。これは、既に 2.1 で述べたが、本実験における供試体の摩擦面はショットブラスト等の処理を行っておらず、黒皮を残した状態としている。この摩擦面の処理方法の違いによる影響と考えられる。なお、接合面の密着性には問題のないこと確認している。

図-6(a)で見られる TYPE 2, TYPE 3 供試体における 120kN あたりでの軸方向剛性の変化については、図-8 に示

す水平荷重-斜材平均ひずみ曲線の関係 (TYPE 3) から、120kN 以降において斜材軸力の分担が変化していると考えられ、この荷重レベルで、斜材固定用ピンを取り付けているベースプレートと反力床との間にすべりが発生したためと考えられる。なお、TYPE 2 供試体についても斜材に発生するひずみの計測は行っていないが同様の原因が考えられる。取り付け用ベースプレートと反力床はアンカーボルトで締め付けることになっているがその軸力不足が原因と考えられる。

さらに図-6 における TYPE 2, TYPE 3 供試体の比較で、TYPE 3 供試体の軸方向剛性が 190kN あたりから上昇している。これは、斜材の弦材への定着構造の違いによるものと考えられる。すなわち、TYPE 2 供試体では斜材は溶接により弦材に定着されているが、TYPE 3 供試体では孔あき鋼板ジベルを介して格点部にコンクリートによって定着され、さらに圧縮側では支圧鋼板が、引張側では引き抜き防止鋼板が施工時の位置決めも考慮して配置されている。したがって、TYPE 3 供試体における剛性の変化については、すべり面の存在、支圧鋼板や引き抜き防止鋼板の存在が影響していると考えられる。

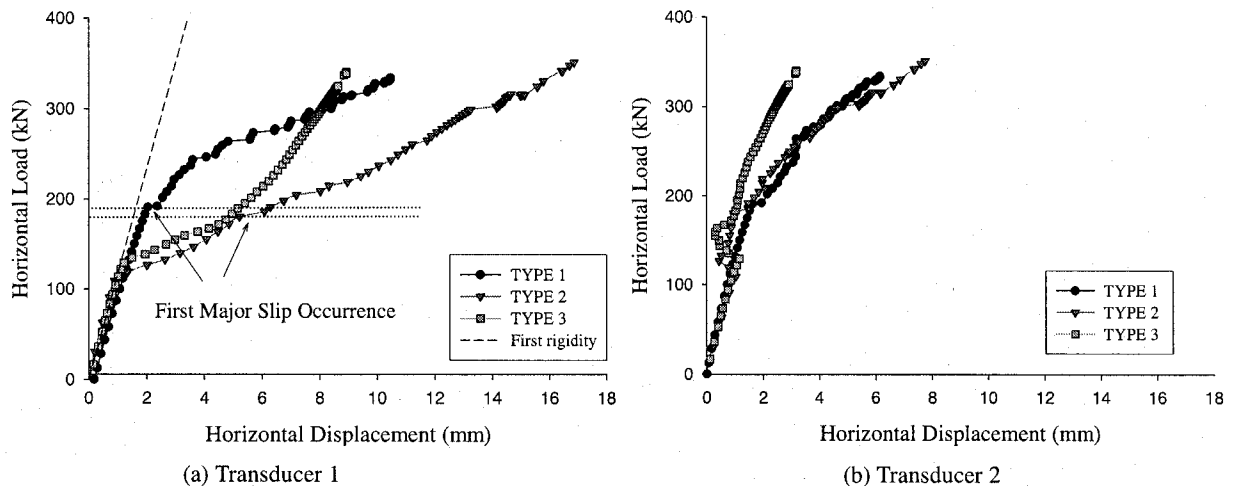


図-6 水平荷重-水平変位関係

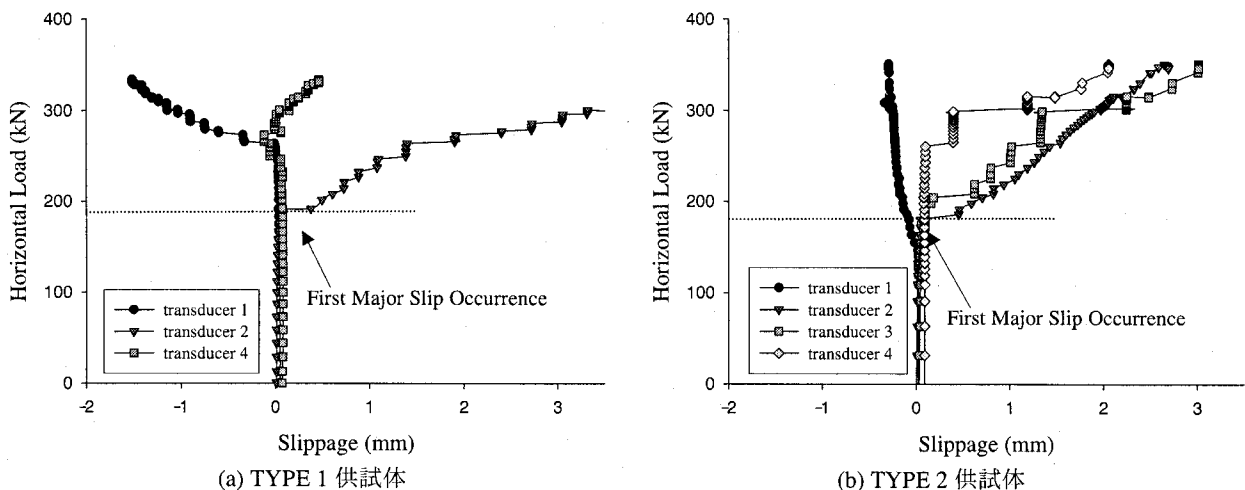
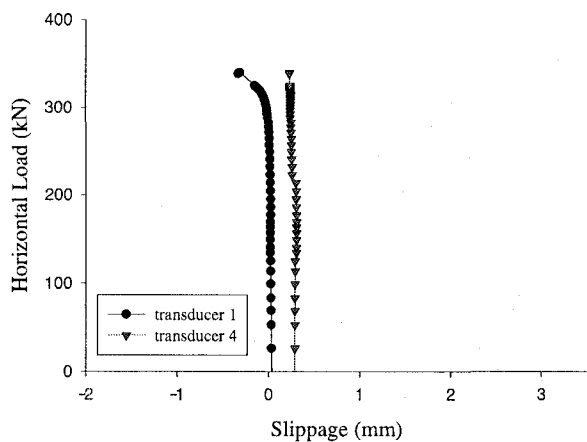
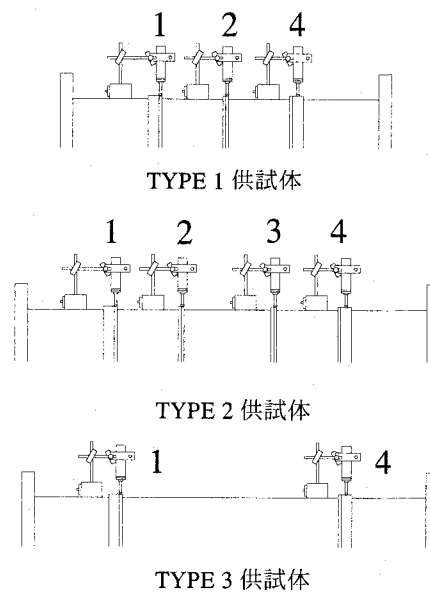


図-7 水平荷重-すべり量関係と測定位置

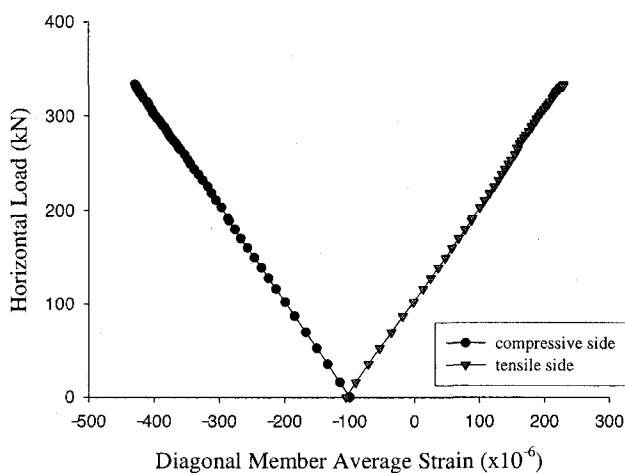


(c) TYPE 3 供試体

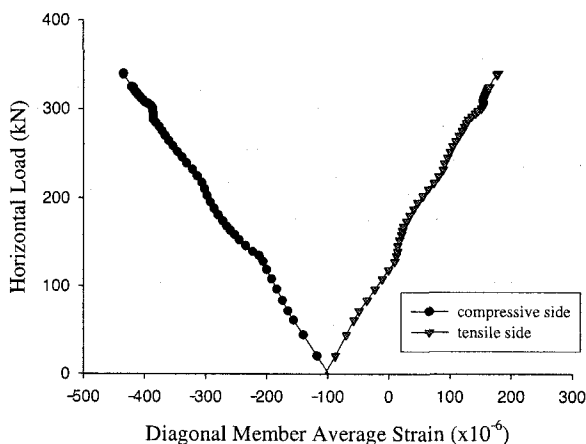


(d) 変位計取り付け位置詳細図

図-7 水平荷重－すべり量関係と測定位置（続き）



(a) TYPE 1 供試体



(b) TYPE 3 供試体

図-8 水平荷重－斜材平均ひずみ関係

3.3 曲率の変化

曲げモーメントと曲率との関係（曲げモーメント荷重段階）および水平荷重と曲率との関係（水平荷重荷重段階）を図-9、図-10にそれぞれ示す。曲率は、図-11に示すように各供試体の格点部の引張側（上フランジ側）および圧縮側（下フランジ側）で水平変位を測定し、供試体の平均曲率として式(2)で算定した。

$$\phi = \frac{d_t - d_c}{D \cdot L} \quad (2)$$

ここに、 ϕ : 格点部の曲率

d_c : 格点部の圧縮側変位量

d_t : 格点部の引張側変位量

D : 計測区間の垂直距離

L : 計測区間の水平距離

図-9 から各供試体で曲げ荷重荷重段階での曲げ剛性に差異が見られ、TYPE 2、TYPE 3、TYPE 1の順で小さくなっている。

特に、TYPE 2 供試体は最も初期の曲げ剛性が高く、曲げモーメントが 40kN・m あたりから剛性が低下している。ただし、これは、曲げモーメントが 40kN・m のあたりまで圧縮側の変位計が動作しておらず、その結果、剛性が高く

なっていると考えられる。圧縮側の変位計が動作し始めた以降では、剛性が低下しており、他の供試体と同様な結果が得られている。なお、圧縮側の変位計の動作不良は実験データから確認している。したがって、40kN・m以降は正しく計測できているものと考え、線形関係と仮定し、補正して参考値 (correction) として示した。

図-9より、曲げモーメント載荷時の曲げ剛性は、供試体に接合面を有さない TYPE 3 供試体が最も高く、接合面を有する TYPE 2, TYPE 1 供試体は低くなっている。この違いは接合面の有無によるものであり、接合面を有する場合は、接合面における載荷初期の段階からの離間によってこのような結果が得られたと考えられる。なお、ボルトプレストレスの存在により、ボルト周辺部での離間はほとんど見られないが、鋼管壁部分では、ボルトプレストレスによる接触力があまり存在せず、曲げモーメント載荷段階から離間が発生していると考えられる。

次に、水平荷重載荷段階における曲率の変化については、図-10より、TYPE 1 および TYPE 2 供試体で、ある荷重レベルにおいて曲率が大きく変化している。特に TYPE 1 については、図-6における2番目のすべりが発生した荷重レベルの約 250kN あたりから、曲率が大きく変化しており、その挙動に接合面でのすべりが大きく影響している。一方、接合面のない TYPE 3 供試体では、曲率の大きな変化は見られない。ただし、前にも述べたが、TYPE 2 供試体については、斜材固定用ピンを取り付けているベースプレートと反力床との間ですべりが発生したと考えられる荷重レベルで曲率が大きく変化している。仮にすべりが発生しなかったとすれば、TYPE 1 供試体と同様に接合面でのすべりが進行した荷重レベルで曲率が大きく変化すると考えられる。

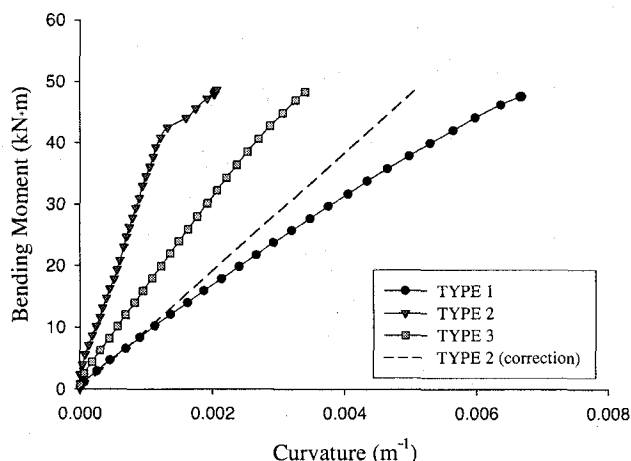


図-9 曲げモーメントー曲率関係

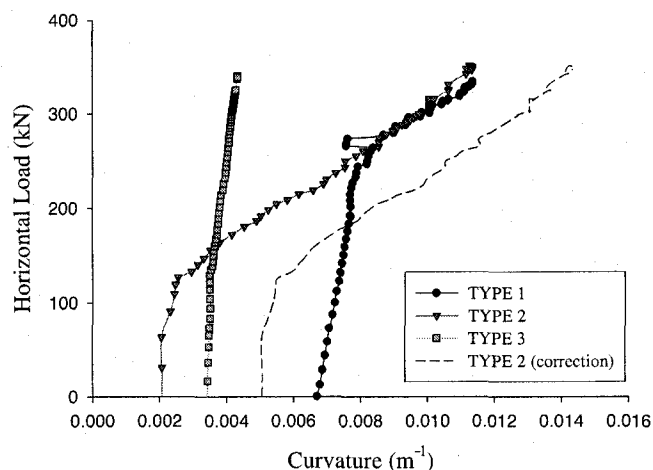


図-10 水平荷重ー曲率関係

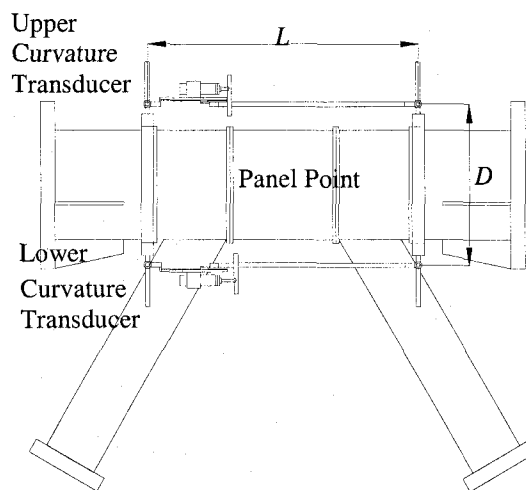
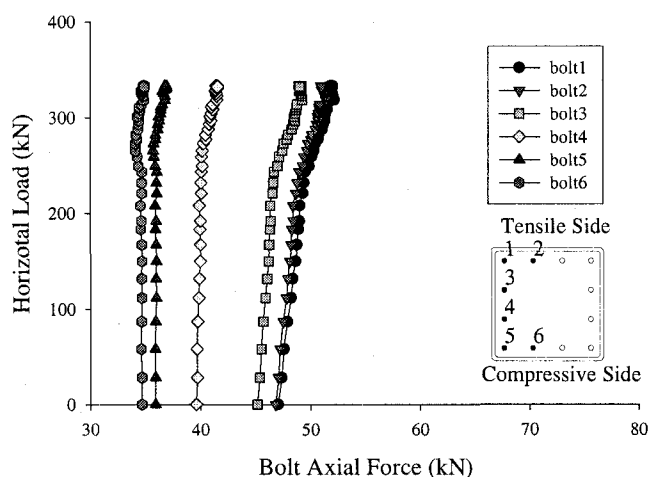


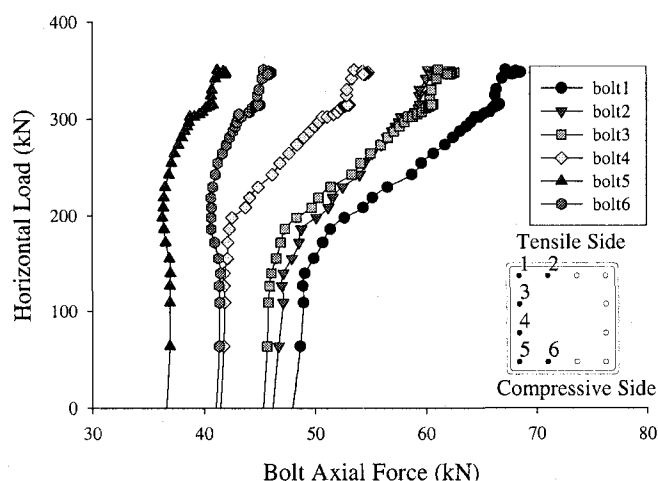
図-11 曲率の測定位置

3.4 水平荷重ーボルト軸方向力関係

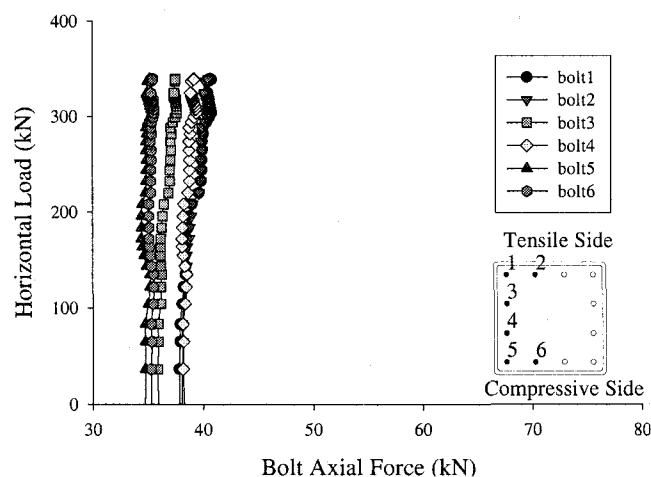
水平荷重載荷時 (せん断力作用時) の水平荷重とボルト軸方向力との関係を図-12に示す。bolt1, bolt2 が引張側に配置されたボルト, bolt3, bolt4 が腹板側に配置されたボルト, bolt5, bolt6 が圧縮側に配置されたボルトである。なお、対称性を考慮して、ボルト軸力のデータは断面の半分のみプロットした。図-12 からわかるように、TYPE 3 供試体ではほとんどボルト軸方向力に変化は見られない。TYPE 1 供試体では、接合面でのすべりが進行した荷重レベル以降、すなわち水平荷重が約 250kN 付近のあたりから、軸方向力の増加が見られる。TYPE 2 供試体では、斜材固定用ピンを取り付けているベースプレートにおいてすべりが発生したと考えられる水平荷重が約 120kN 付近から引張側のボルト軸方向力が増加し始め、供試体接合面においてすべりが発生した 190kN 付近でさらに急増している。また、この時圧縮側ボルトでは引張側ボルトほどの変化は見られないが軸方向力は増加している。このような引張側ボルトと圧縮側ボルトとの差は、TYPE 2 のような供試体の場合、部材軸線が一致しておらず偏心曲げが作用



(a) TYPE 1 供試体



(b) TYPE 2 供試体



(c) TYPE 3 供試体

図-12 水平荷重—ボルト軸方向力関係

し、さらにその曲げ作用で接合面において離間が発生し、引張側ボルトの軸力が増加したと考えられる。TYPE 1 で

は偏心曲げが作用しないこと、また TYPE 3 では偏心曲げは作用するが、接合面がないことで離間が発生しない。また、圧縮側のボルトは、離間が発生しないため接合面では応力の伝達がほとんどない。このため、引張側と圧縮側のボルト軸力に差が生じたと考えられる。このように、接合面における接触力の減少と関連した接合面でのすべりの発生と進行とが、ボルト軸方向力の増加を引き起こしていると考えられる。

4. まとめ

本研究では、高力ボルト引張接合およびコンクリート充填鋼管を用いたトラス橋ガセットレス格点部を新たに提案し、曲げモーメントおよびせん断力作用下での力学的挙動を載荷実験により検討した。本研究により得られた成果を以下にまとめる。

- 1) 曲げモーメント載荷時における格点部の曲げ剛性は、接合面の有無により差異が見られ、接合面のない TYPE 3 供試体が最も高い曲げ剛性を示した。したがって、曲げモーメントに対する格点部の挙動という点では接合面を有さず PBL を用いた TYPE 3 供試体が有利である。
- 2) 水平荷重載荷時（せん断力作用時）には、接合面を有する TYPE 1 および TYPE 2 供試体では、水平荷重の増大に伴い、接合面ですべりが発生し、すべり発生後から軸方向剛性が低下した。水平載荷時の曲率については、すべりが進行した段階で大きく低下した。一方、接合面のない TYPE 3 供試体では、曲率の大きな低下は見られなかった。軸方向剛性についても TYPE 3 供試体はその低下は見られなかった。したがって、引張力作用時の軸方向剛性に対する格点部の挙動という点においても接合面のない TYPE 3 供試体は有利である。
- 3) 格点部の製作性という点では TYPE 1, 2 供試体は、工場ではほとんどの部分が製作でき、現場では組み立てのみとなり TYPE 3 供試体より優れていると考えられる。一方、施工性という面から考えると TYPE 3 供試体の場合は斜材を挿入してから現場で誤差の調節が可能であり、TYPE 3 供試体が優れていると考えられる。
- 4) 今後は、ボルト軸方向力と格点部作用断面力との関係、格点部における離間量と格点部作用断面力との関係、さらには格点部での力の流れなどについて、載荷実験および数値解析手法によって明らかにし、提案構造の設計のための基礎的な資料を収集する必要がある。
- 5) 提案した格点部構造の実構造物への適用にあたっては、架設方法（手順、ボルトの締め付け方法、軸力管理）について検討するとともに、維持管理を考慮して防錆等の問題を考慮する必要がある。

謝辞

本研究は平成 14～15 年度科学研究費補助金・若手研究 (B)(課題番号: 14750405)の一部として実施されたものである。

載荷装置治具製作および供試体設計にあたって JFE エンジニアリング株式会社 高尾道明氏には大変お世話になりました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 例えば, 保坂鐵矢, 増田陳紀, 磯江暁: トラス格点合理化構造の強度に関する一検討, 構造工学論文集, Vol.47A, 土木学会, pp.1177-1184, 2001.3.
- 2) 山口隆司, 鈴木康夫, 北田俊行, 杉浦邦征, 秋山寿行: 高力ボルト引張継手を用いた箱形断面接合部の組合せ荷重下における力学的挙動, 構造工学論文集, Vol.47A, 土木学会, pp.103-112, 2001.3.

- 3) 保坂鐵矢, 光木 香, 平城弘一, 牛島祥貴, 橘 吉宏, 渡辺滉: 孔あき鋼板ジベルのせん断特性に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.46A, 土木学会, pp.1593-1604, 2000.3.
- 4) 山口隆司, 杉浦邦征, 高尾道明, 鈴木康夫, 馬田智也: 引張接合を用いたコンクリート充填トラス格点部のすべり挙動, 鋼構造年次論文報告集, 第 10 巻, 日本鋼構造協会, pp.269-274, 2002.11.
- 5) 山口隆司, 鈴木康夫, 北田俊行, 杉浦邦征, 秋山寿行: 引張力およびせん断力が高力ボルト引張継手の曲げ強度・剛性に与える影響, 土木学会論文集, No710, 土木学会, I-60, pp.439-447, 2002.7.
- 6) (社) 日本鋼構造協会: 橋梁用高力ボルト引張接合設計指針 (案), 1994.3.

(2003 年 9 月 12 日受付)