

# 高力ボルト引張接合を用いガセットプレートをなくした

## トラス橋格点部の合理化に関する研究

橋梁工学分野 橋本国太郎

### 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いる。本研究では、合理化トラス橋の一提案として、図-1に示すような引張接合を用いガセットプレートをなくしたトラス橋の格点部を提案し、その開発を目的とする。

本研究では、まず、高力ボルト引張接合によって構成された格点部が不利な状態になるように曲げモーメントを載荷して、異種部材(鋼、コンクリート、コンクリート充填鋼管)を使用した格点部の曲げ強度、曲げ剛性などの曲げ挙動について比較検討した。次に、そこで得られた結果から、最適な部材を選定し、より実際に近い格点部構造および載荷条件で実験を行った。さらに、実際のトラス橋断面での提案した格点部の挙動を明確にするためFEM解析を行った。

### 2. 曲げモーメント載荷実験

本実験では、格点部を構成する部材の材料を選定する

ことを目的としている。また、引張接合を用いた接合構造では、過去の実験から、軸力に対しては、力学的挙動は明確であるが、曲げモーメントに対しては、力学的挙動が不明確である。その曲げモーメントに対する挙動を明確化することも目的の一つである。

供試体の種類および概要図を表-1および図-2に示す。表-1に示すように、格点部にコンクリート充填鋼管を使用したM-1、コンクリートを使用したM-2、鋼管を使用したM-4、さらに比較のため格点部のないM-3の計4体の供試体を使用した。実験は、ボルトに初期軸力を導入した後、載荷梁を使用して実験供試体に純曲げが作用するように載荷を行った。

実験結果として、曲げモーメント - 曲率関係および曲げモーメント - ボルト軸力関係を図-3および図-4に示す。曲率は、供試体中央部および端部の鉛直変位量から算出した。また、ボルト軸力は、ボルトとナットの間にロードセルを設置し、そのひずみの変化量から換算した。

図-3より、M-1およびM-4が大きな曲げ剛性を示している。また、最大曲げモーメントは、格点部のないM-3が一番大きな値となっている。このことは、図-4のボルト軸力の変化から説明できる。図-4より、M-3の引張側ボルトの軸力変化は、どの供試体もほぼ同じように増加しているが、圧縮側ボルトの軸力は、M-3では

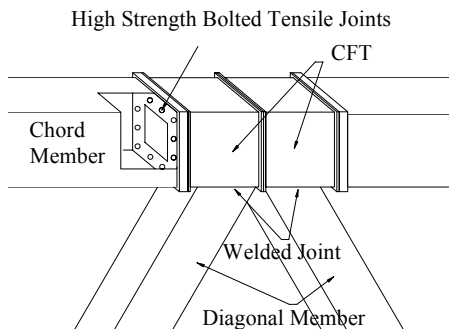
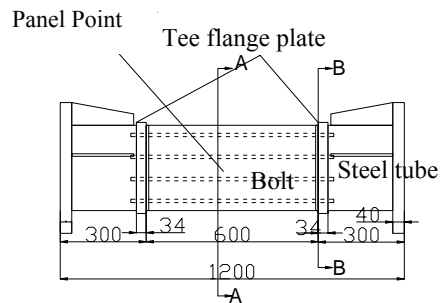


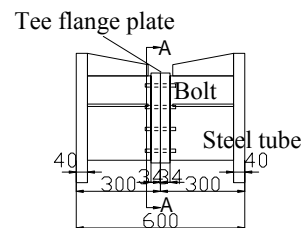
図-1 提案した新しい格点部構造の概要

表-1 曲げモーメント載荷実験供試体の種類

供試体名	格点部の材質	引張接合の形式
M-1	コンクリート充填鋼管	長締め形式
M-2	コンクリート	長締め形式
M-3	なし	短締め形式
M-4	鋼管	長締め形式



(a) M-1, M-2, M-4



(b) M-3

図-2 曲げモーメント載荷実験供試体

ほとんど変化していないのに比べて、M-1 および M-4 では、軸力が減少していることがわかる。また、M-2 は大きく軸力が減少している。これは、格点部が曲げ変形することで、圧縮側はボルト軸力が減少する。曲げ変形量の差が最大曲げモーメントに影響を及ぼしていると考えられる。

以上の結果から、曲げ剛性および曲げ強度という点では、M-1 および M-4 が有利な構造である。ただし、実際の構造となるとボルト径やボルト本数が大きくなると考えられる。そのため、初期導入ボルト軸力による鋼管の塑性変形を抑えるためにも、コンクリート充填鋼管が望ましい構造であると考えられる。

### 3. 曲げモーメント、せん断力および軸力載荷実験

本実験は、曲げモーメント載荷実験により選定されたコンクリート充填鋼管によって構成された格点部の供試体に斜材を接合し、より実際のトラス橋に近い実験供

試体とした。さらに実際に近い荷重条件として曲げモーメント、せん断および軸力を載荷することによって、提案した格点部の挙動を明確にすることを目的としている。

供試体の種類および概要図を表-2 および図-5 に示す。表-2 に示すように、格点部と斜材との接合法に違いがある3つの供試体と偏心曲げを考慮した供試体の計4体用意した。MS-1 および MS-2 は格点部と斜材が溶接で接合されている。M-2 は部材軸心をずらして偏心曲げによる影響を考慮している。M-3 は、格点部と斜材との接合に、斜材に穴あき鋼板ジベル（独語：Perfo-Bond Leisten, 以下「PBL」と表記）を用い接合している。M-4 は、圧縮側斜材と格点部とはPBLによる接合であるが、引張側斜材は2本用意し、格点部を挟み込んで摩擦接合している。図-6 に示すように、実験は鉛直方向2機のアクチュエータにより格点部に曲げモーメントお

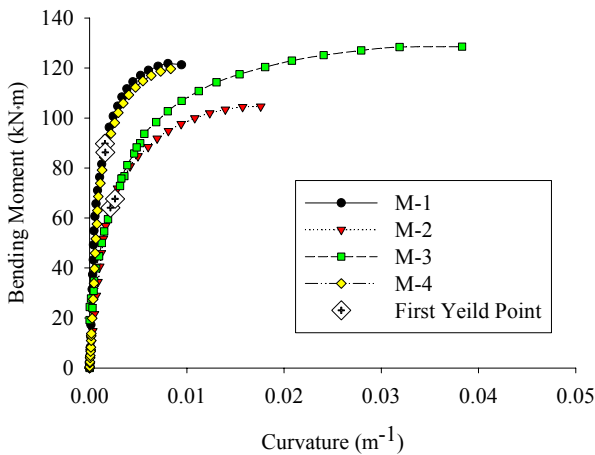


図-3 曲げモーメント - 曲率関係

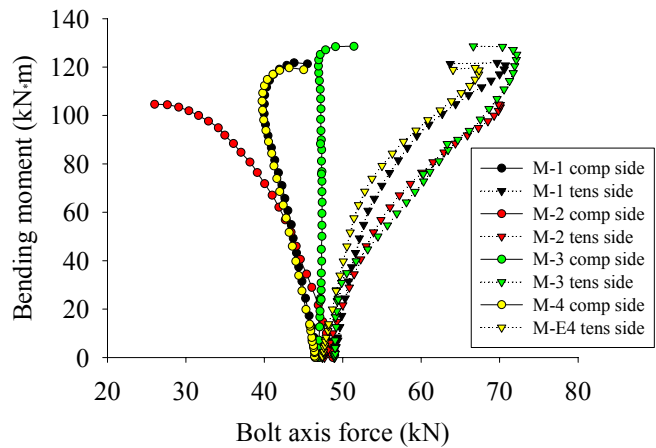


図-4 曲げモーメント - ボルト軸力関係

表-2 曲げモーメント、せん断力および軸力載荷実験供試体の種類

供試体名	斜材と格点部の接合法	偏心の有無
MS-1	溶接	無
MS-2	溶接	有
MS-3	PBL	有
MS-4	圧縮側斜材：PBL， 引張側斜材：2本で摩擦接合	有

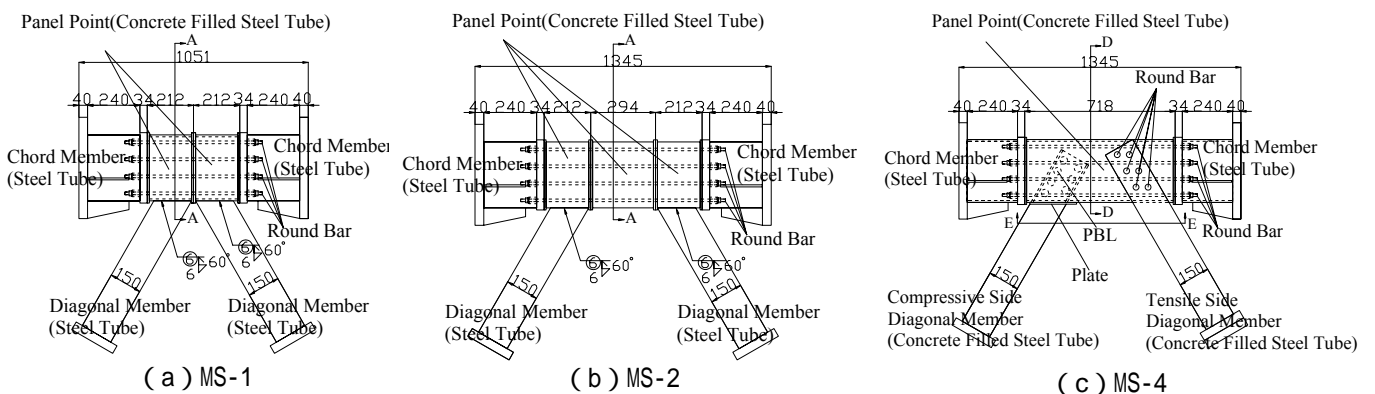


図-5 曲げモーメント、せん断力および軸力載荷実験供試体の概要

よびせん断力を载荷した後、水平方向1機のアクチュエータにより軸力を与えた。

実験結果として、供試体の終局状態、水平荷重-水平変位関係、水平荷重-すべり量関係、曲率の変化を図-7、図-8、図-9および図-10に示す。すべり変位量は、接合面の相対的な鉛直変位量である。また、曲率は格点部間の上下の水平変位量を計測し算定したものである。ボルト軸力は曲げモーメント载荷実験と同様に測定した。

図-8および図-9より、MS-1およびMS-2ですべりが190kN付近で発生していることがわかり、その付近から軸方向剛性が大きく変化していることがわかる。また、

M-3ではすべりはほとんど発生していないが190kN付近で軸方向剛性が変化している。これは、斜材端部のピンを取り付けている板を止めるためのボルトが緩んでおり、それにより取り付け板がずれていたことを実験後確認している。

図-10より曲げモーメント载荷時における曲率の変化は弾性域で推移しているが、軸力载荷時には、MS-1およびMS-2で曲率が大きく変化していることがわかる。これも、接合面のすべりによるものと判断できる。

以上のことから、格点部と斜材との接合にPBLを用いたMS-3が、軸方向剛性、曲率および接合面でのすべ

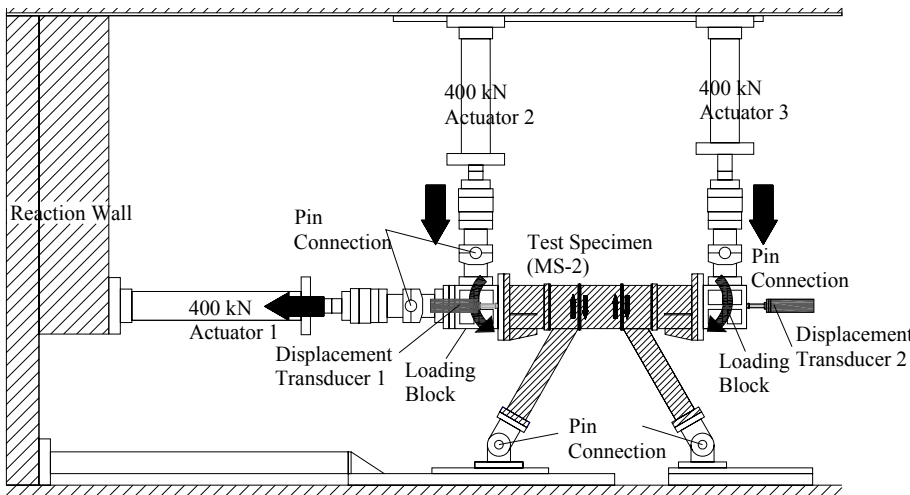


図-6 曲げモーメント、せん断力および軸力载荷実験の概要



図-7 終局状態 (MS-1の引張接合面)

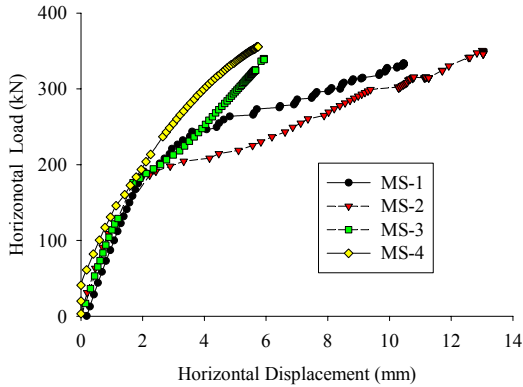


図-8 水平荷重-水平変位関係

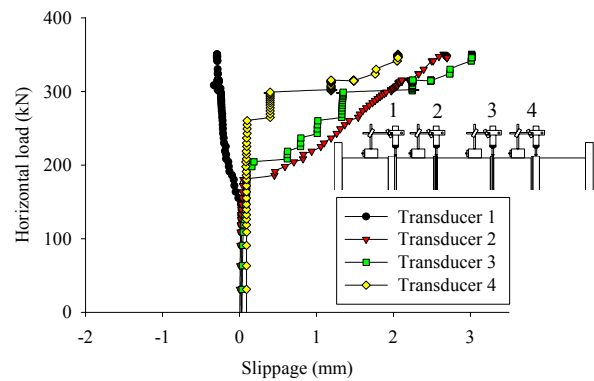
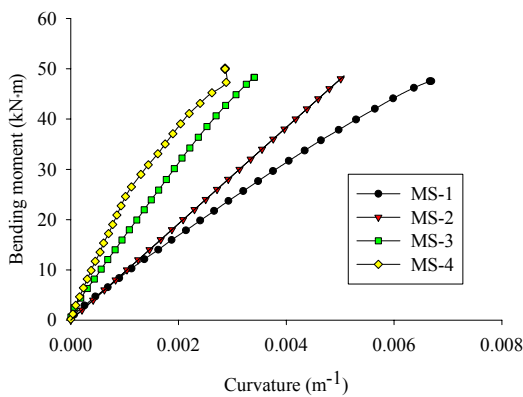
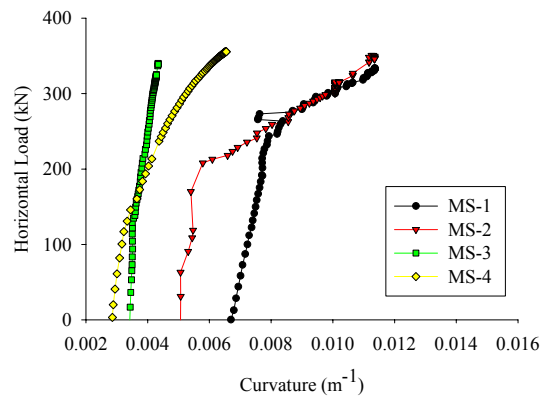


図-9 水平荷重-すべり量関係 (MS-2)



(a) 曲げモーメント载荷時



(b) 水平荷重载荷時

図-10 曲率の変化

りに関しては有利な構造である。しかし、施工性および製作性に関してはMS-1 および MS-2 が有利な構造である。

#### 4. 接触問題を考慮した FEM 解析による検討

FEM 解析を行い、実験結果を比較することにより、提案した格点部の FEM 解析モデルの妥当性を検討する。

FEM 解析モデルの概要を図-11 に示す。解析対象モデルは、曲げモーメント、せん断力および軸力载荷実験の MS-1 である。解析は、汎用解析コード ABAQUS を用い、引張接合面やボルトとプレートなどの接触面には、幾何学的非線形性を考慮した接触条件を導入している。この接触面に導入した摩擦係数は、実験結果をもとに、0.3 とした。

解析結果として、水平荷重 - 水平変位関係、水平荷重 - すべり量関係および水平荷重載荷時の曲率の変化量を図-12、図-13 および図-14 に示す。

図-12 より、実験結果と解析結果は、同じ傾向を示すものの、一致しているとは言い難い。これは、実験結果の水平変位量は、実験供試体を設置しているピン等の治具の水平変位量なども含まれるため、解析より大きい変位量を示していると考えられる。

図-13 より、接合面でのすべり量は、実験結果と解析結果が同じ傾向を示す結果となった。実験では、すべりの発生する荷重が接合面によって違いがある。これは、

すべり面ごとですべり面の状態が違い、摩擦係数の違うためである。しかし、解析では、摩擦係数を全ての面で同じにしたため、同じ荷重(190kN 付近)ですべりが発生している。

また、図-14 より、水平荷重載荷時の曲率の変化は、実験結果と解析結果が同じ傾向を示す結果となった。このことから、実験供試体自体の変位などは、FEM 解析によって実験を追えていると判断できる。

以上の結果から、実験における格点部の挙動は、FEM 解析によって、ほぼ再現できたとと言える。

#### 5. 結論

本研究で得られた結果と今後の課題を以下に記す。

- 1) 曲げモーメント载荷実験の結果より、格点部はコンクリート充填鋼管を使用した方がよい。
- 2) 曲げモーメント、せん断力および軸力载荷実験の結果より、格点部と斜材の接合には、PBL を用いた構造が良い結果となったが、施工性と製作性を考慮すると、溶接による接合の構造が望ましい。
- 3) FEM 解析により、実験における格点部の挙動はほぼ再現できた。
- 4) 今後、提案した格点部の実橋レベルでの挙動を FEM 解析により検討する必要がある。
- 5) また、横桁や鉛直材を考慮した格点部モデルを検討する必要がある。

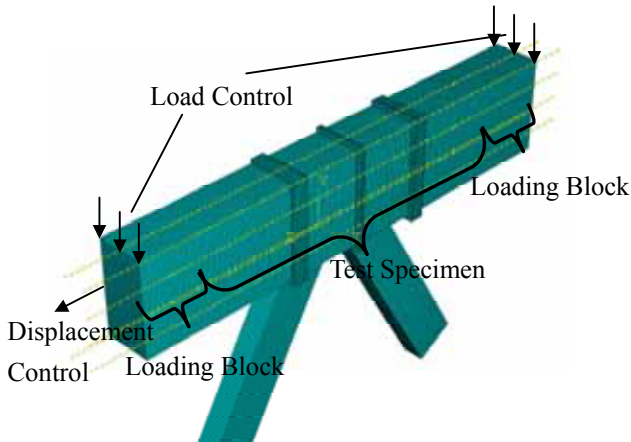


図-11 FEM 解析モデルの概要

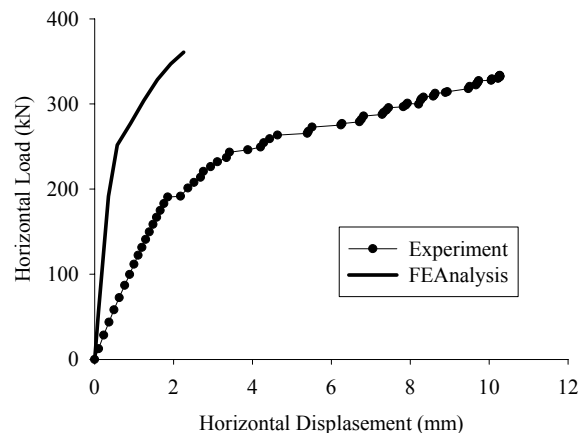


図-12 水平荷重-水平変位関係

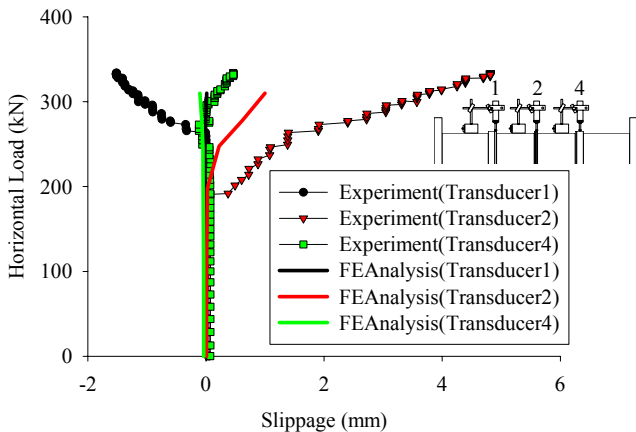


図-13 水平荷重 - すべり量関係

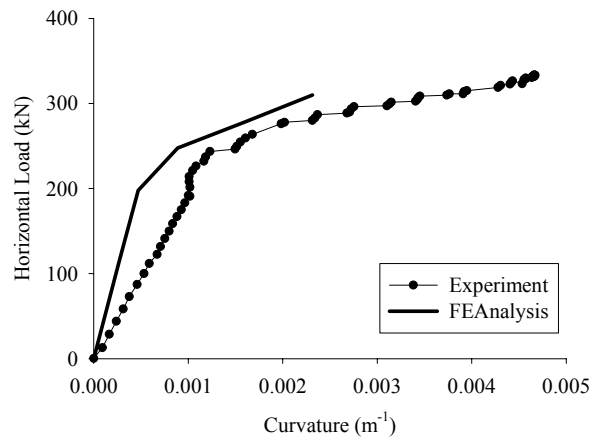


図-14 水平荷重載荷時の曲率の変化量