

京都大学工学部

学生員 ○ 辛 浩

京都大学大学院工学研究科

正会員 鈴木 康夫

京都大学大学院工学研究科

正会員 杉浦 邦征

1. 研究背景および目的

既往の研究¹⁾では、高力ボルト摩擦接合と引張接合を併用した連結構造が提案されるなど、高力ボルト引張接合を橋梁主部材の連結法として積極的に利用する機運は高まりつつあるが、引張接合に関する明確な設計法はまだ確立されていない。本研究は、そのような背景を踏まえ、高力ボルト引張接合を用いた I 桁連結部の設計法を提案するための基礎的研究として、ボルト配置の違いが鋼 I 桁連結部の力学挙動に与える影響を有限要素解析により検討し、簡易的な強度算出法を提案する。

2. 部分モデルによる検討

本章では、フランジに引張接合を用いた鋼 I 桁連結部から、図 - 1 に示すような引張接合のみを取り出した部分モデルについて解析を行った。

2.1 解析ケースおよび解析モデル

本章で検討する解析ケースの一覧を表 - 1 に示す。ここでは、図 - 2 に示すフランジ表面 - ボルト中心間距離（以下、 a 寸法）とボルト中心 - エンドプレート先端間距離（以下、 b 寸法）をパラメータとした。なお、エンドプレート幅方向の縁端距離はすべてのケースにおいて 56 mm とした。

解析には汎用有限要素解析コード ABAQUS を用い、図 - 1 に示したフランジ（板厚 19mm）をシェル要素で、

表-1 部分モデル解析ケース

Case	a (mm)	b (mm)
Basic Model	56	56
b84	56	84
b112	56	112
b138	56	138
a84	84	56
a112	112	56
a138	138	56

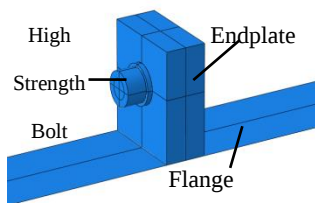


図-1 部分モデル

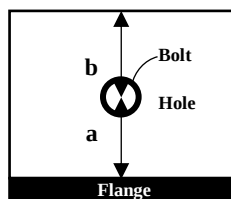


図-2 部分モデルボルト位置

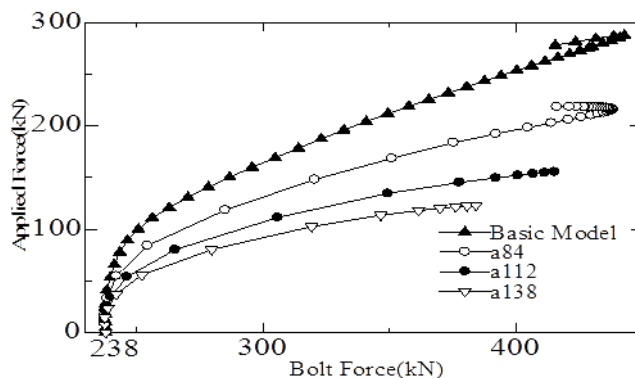
エンドプレート（板厚 25mm）および高力ボルト（M24）をソリッド要素で、ワッシャーを剛体ソリッド要素でそれぞれ分割した。なお、高力ボルトはねじ部の断面積を軸平行部の断面積に一致させた簡易モデル²⁾を採用した。エンドプレートおよびフランジは SM490 材を想定し、公称降伏応力を用いた完全弾塑性体とした。

すべての接触面では、摩擦係数を 0.4 とした有限すべりを定式化し、接触/非接触を考慮できるモデルとした。

本章の解析では、フランジ端部を完全固定し、他端に強制変位を与えて引張力を载荷した。なお、高力ボルトの初期軸力は設計軸力の 238 kN とし、ボルトのねじ部と軸平行部の境界面の全節点に導入した。

2.2 解析結果および考察

解析結果の一例として、荷重とボルト軸力との関係を図 - 3 に示す。解析の結果、エンドプレート縁端距離（ b 寸法）は T 接合の強度にほとんど影響を与えないのに対し、ボルト中心からフランジまでの距離（ a 寸法）は、基本モデル（ $a=56$ ）から a 寸法を 138 mm にすると、継手強度が半分以下まで低下することがわかった。これは、 a 寸法が増加すると、荷重の低い領域でボルト軸力が最大となり、てこ反力の増加に大きく寄与するためと考えられる。なお、 a 寸法が 84, 112, 138 mm であるモデルにおいて、ボルト孔付近のエンドプレートに塑性ヒンジが生じ、最大荷重を迎えた。

図-3 部分モデル a 寸法の荷重-ボルト軸力関係

3. 簡易全体モデルによる解析

本章では、図 - 4 に示す I 桁のフランジに引張接合を有した I 桁連結部を対象とし、高力ボルト配置位置の違いが I 桁連結部の曲げ挙動に与える影響を検討した。

3.1 解析ケースおよび解析モデル

解析ケースの一覧を表 - 2 に示す。表中の a 、 b 、 c 、および d は図 - 5 に示すボルト配置位置を表すパラメータである。なお、表には検討対象とするパラメータとその値のみを表示し、それ以外の寸法はすべて 56 mm とした。解析に用いた要素は、前章と同様とし、ウェブ（板厚 12 mm、SM490 材）には、4 節点低減積分シェル要素を用いた。部材間の接触は部分モデルと同様に設定した。

本章の解析では、桁端部に結合した剛体梁要素の桁高中心点に強制回転変位を与えて曲げモーメントを载荷した。

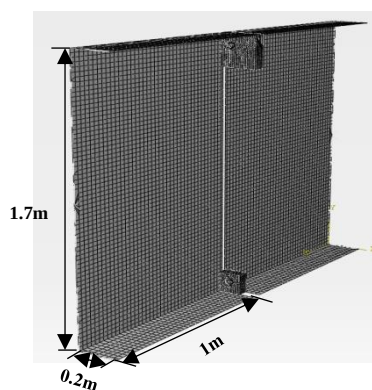


図-4 簡易全体モデル

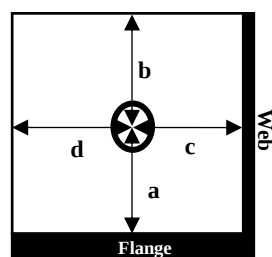


図-5 簡易全体モデルの
ボルト位置

表-2 解析ケースおよび解析結果一覧

Case	Parameter (mm)	Maximum Bending Moment (kN・m)
Basic Model	$a=b=c=d=56$	621.1
b84	$b=84$	658.4
b112	$b=112$	683.3
b138	$b=138$	693.0
d84	$d=84$	634.0
d112	$d=112$	638.0
d138	$d=138$	638.5
a84	$a=84$	585.5
a112	$a=112$	558.3
a138	$a=138$	539.3
c84	$c=84$	581.0
c112	$c=112$	550.2
c138	$c=138$	528.8

3.2 解析結果および考察

解析より得られた最大曲げモーメントを表 - 2 に示す。表より、T 接合におけるボルト中心から T ウェブまでの距離（部分モデルの a 寸法）に相当する a 寸法および c 寸法が増加すると、継手強度が著しく低下することがわかる。また、T 接合における T フランジ縁端距離（部分モデルの b 寸法）に相当する縁端距離（ b 、 d 寸法）については異なった傾向を示しており、エンドプレート幅方向の縁端距離（ d 寸法）は継手強度にほとんど影響を与えないのに対し、高さ方向の縁端距離（ b 寸法）は継手強度に影響を与えており、その影響は a 、 c 寸法とほとんど同程度であることがわかる。

4. 簡易全体モデルの強度算出法

本研究では、簡易全体モデルでのボルト位置 (a, b, c, d) を T 接合のボルト位置 (a, W) に変換することにより、加藤－田中式³⁾で簡易全体モデルの強度を算出することを試みた。

紙面の都合上、算出法の詳細および結果は発表当日に示すが、平面保持の仮定の下で、ウェブとフランジから伝達される応力による合力の作用点からボルト中心間の距離 a' を T 接合における T-web とボルト中心との間隔とし、エンドプレートの有効幅 W' を求め、得られた a' および W' を加藤－田中式に代入し、簡易全体モデルの強度を算出することが可能であることがわかった。

5. まとめ

- 1) 鋼 I 桁フランジに引張接合を用いる場合、ウェブから伝達される応力が継手強度に大きく影響する。
- 2) 検討した簡易全体モデルにおけるボルト位置を T 接合のボルト位置に変換することで、加藤－田中式により継手強度の算出が可能である。

参考文献

- 1) 岩崎伸一，郡 久人，鈴木康夫他：仮設鋼 I 桁橋の引張ボルト接合主桁連結構造に関する実大曲げ載荷実験，土木学会第 65 回年次学術講演会概要集，I-476，2010。
- 2) 藤谷健二，渡邊英一，杉浦邦征，山口隆司，葛西俊一郎：ねじ部を考慮した高力ボルトの有効応力－ひずみ関係に関する考察，鋼構造年次論文報告集，第 3 巻，日本鋼構造協会，pp.281-288，1995。
- 3) 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(その二 単純引張力を受ける接合部の性状)，日本建築学会論文報告集，Vol.147，日本建築学会，pp33-41，1968