

曲げ荷重を受けるボルト接合継手の耐荷性能に関する解析的研究

九州大学大学院 学生会員 ○土屋 羊平
九州大学大学院 フェロー会員 園田 佳巨
九州大学大学院 正会員 玉井 宏樹

1. 緒言

橋梁や鉄骨建物および砂防堰堤などの鋼構造物において、部材間の接合方法としてボルト接合継手が広く用いられている。しかし、現行のボルト継手の設計は、道路橋示方書や建築鋼構造設計基準などそれぞれ対象構造で異なっており、破壊に対する安全率も異なるのが現状である。また、同じ構造物の中でも部材長によって継手部に働くせん断応力と曲げ応力の比が異なり、全強比（ボルト断面積が部材全断面に占める割合）の値が持つ力学的な意味は必ずしも同じではないと考えられる。そこで、本研究ではフランジ継手構造を有する片持ちばりの自由端に鉛直荷重を与えた時の継手位置の断面内応力分布やボルトの破断可能性について2種類の部材長（8.0mと1.2m）で検討し、耐荷性能と部材長の関係について解析的に調べた。また、ボルト本数を増やした場合の終局耐力を解析的に求め、ボルト本数の増加が耐力に与える影響と部材長の関係についても考察を行った。

2. 解析概要

本研究では汎用有限要素解析ソフト *MSC.Marc* を用いて弾塑性解析を行った。使用した有限要素は、8 節点を有する 3 次元ソリッド要素である。本研究では、図-1 に示すように部材長が長い場合と短い場合の2種類のモデルを作成し、両者の耐荷性能について比較することにした。

2.1 モデル寸法

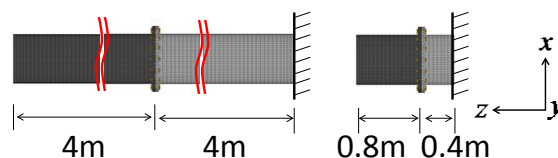
解析に用いたモデルの概略は図-1 に示す。鋼管の外径、内径、厚みはそれぞれ 609.6 mm、565.6 mm、22 mm とし、部材が長い場合の部材長は 4.0 m×4.0 m の 8.0 m とし、部材が短い場合の部材長は 0.8 m×0.4 m の 1.2 m と設定した。また、フランジプレートの外径および厚さはそれぞれ 800 mm、41 mm とした。

2.2 材料特性

鋼管(JIS-SM490)およびボルト(M22 等級-S10T)の材料特性は道路橋示方書を参考に表-1 のように設定した。鋼管とボルトの両者共に等方性を有する完全弾塑性体を仮定し、降伏条件には von Mises の条件に従うものとした。さらに、材料の破断を考慮するために鋼管、ボルト共に破断伸びを 14%と設定した。具体的には、要素内の 8 個の積分点における相当塑性ひずみ値の平均が閾値を超えた場合に要素を消去することで破断を表現した。

2.3 継手部のモデル化

ボルトのモデル化は、計算効率を考慮してボルトとナットを一体化したモデルとした。ボルトの締付け力は、道路橋示方書に示されている設計ボルト軸力を満足するように初期応力として軸方向の垂直応力成分に 850 MPa を入力した。フランジ継手部で応力の平衡状態が得られた時点ではボルトに入力した軸力が若干低下することが想定される。今回の解析ではボルトの締付け力として M22 ボルト S10T 等級の設計ボルト軸力 205 kN を設定しており、実際の解析において外荷重に対する解析を行う際に約 200 kN のボルト軸力が均等に作用していることを確認している。突き合わせた鋼管どうし、鋼管とボルトの間では実現象を忠実に再現するために、接触解析を行った。継手の締結部分を図-2 に示す。



(a)部材長が長いモデル (b)部材長が短いモデル

図-1 解析モデル概略図

表-1 材料特性

	E [GPa]	ν	σ_y [MPa]	破断伸び [%]
鋼管	200	0.3	315	14
ボルト	200	0.3	900	14

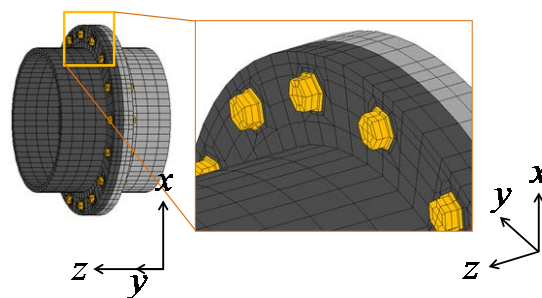


図-2 継手部のモデル化

2.4 境界条件および解析条件

本解析では片持ち梁を対象としているため、固定端部の節点において全自由度を拘束した。また、荷重は載荷点で鋼管の局所的な変形が生じないように、載荷面全ての節点に荷重を入力することとしたが、荷重の増分量は解析ソフトの自動計算機能を利用した可変増分で行うことで非線形性が強い大変形領域でも安定した解が得られるように配慮した。

3. 解析結果

3.1 変形状

部材長が長いモデルでの荷重の増加に伴う接触面積およびボルトの軸方向応力の推移を図-3 に示す。初期締付け時には各ボルトに引張応力が一様に作用しており、接触圧力も各ボルトの周辺領域に同じように作用している。荷重が増加すると、上縁の引張側で接合面が離反し始めるため接触圧力が減少し、それに伴い引張側のボルト軸方向応力が増加する傾向が部材長が長いモデル、短いモデル共に確認できた。しかし、同じ荷重が作用した際、図-4 に示すように先述の傾向の進行具合が異なることが確認された。これは部材長が長い場合には曲げ変形が支配的であり、部材長が短い場合にはせん断変形が影響を及ぼしていることが考えられる。また、図-5 に示すそれぞれの変形状況を比較すると、部材長が長いモデルでは一般的な梁の挙動を示していたが、部材長が短いモデルでは継手部で明らかな離反が生じボルトの破断も確認された。

3.2 ボルト本数の増加による耐荷性能への影響

部材長が長いモデルの荷重-変位曲線を図-6 に示す。母材(鋼管)のみの場合と比較して、継手部を有する場合であっても部材の耐荷力はほとんど変わらないことが確認された。これは、部材長が長い場合、曲げ変形が支配的であるため鋼管の塑性変形が先行して進展したためであると考えられる。つまり、部材長が長い場合は継手部の耐荷性能はボルトに依存しないことが確認された。

部材長が短いモデルの荷重-変位曲線を図-7 に示す。ボルトの本数を増やした場合、母材のみの強度に近づくことが確認された。また、ボルトを 16 本から 24 本に増やすと 16 本の場合と比較して耐荷力で約 30%、破壊までの終局変位は約 160% 向上した。このことから、部材長が短い場合は継手部の耐荷性能はボルトの耐力に依存することが確認された。

4. 結論

継手構造を有する片持ち梁の材料破断を考慮した弾塑性解析を行った結果、部材長が長い場合には母材の塑性変形が先行して進展するため、ボルト本数が部材耐力に与える影響は殆ど無いが、部材長が短い場合にはボルトの塑性変形が先行して進展するため、ボルト本数が部材耐力に大きな影響を与えることが確認できた。

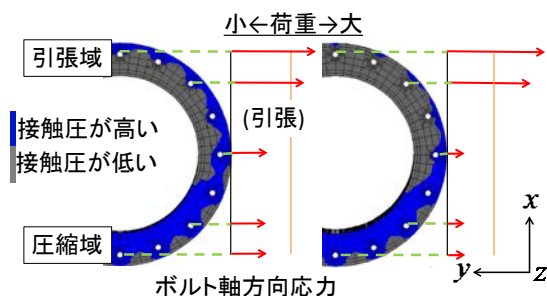


図-3 接触面積とボルト軸方向応力

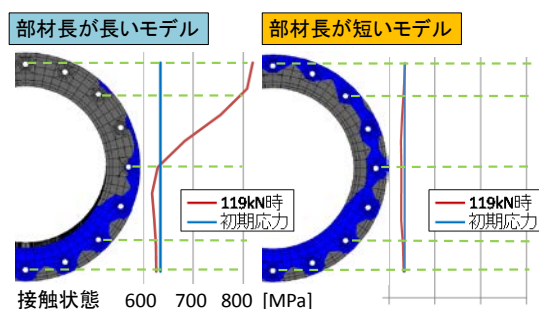


図-4 部材長による比較

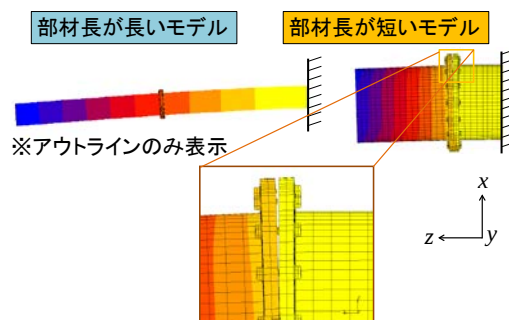


図-5 変形状況

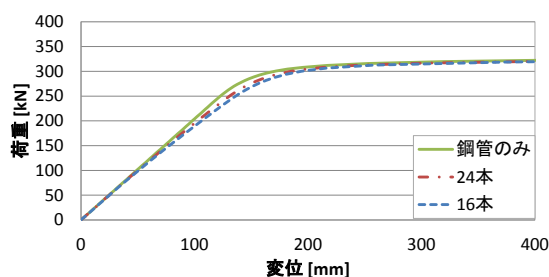


図-6 荷重-時間関係(長いケース)

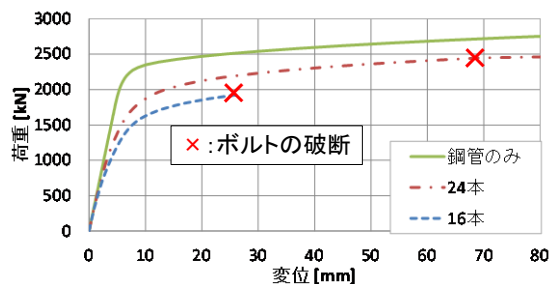


図-7 荷重-時間関係(短いケース)