

部材長がボルト継手接合を有する部材の耐荷性能に与える影響

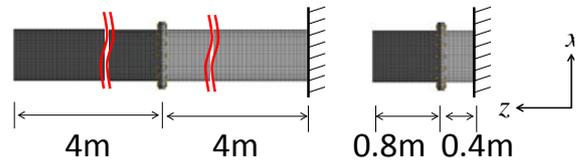
九州大学大学院 学生会員 ○土屋 羊平
 九州大学大学院 フェロー会員 園田 佳巨
 九州大学大学院 正会員 玉井 宏樹

1. 目的

橋梁や鉄骨構造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の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梁の自由端に鉛直荷重を与えた際のボルトの破断可能性について2種類の部材長(8.0 m と 1.2 m)で検討し、継手断面の強度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。



(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

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。

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

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。

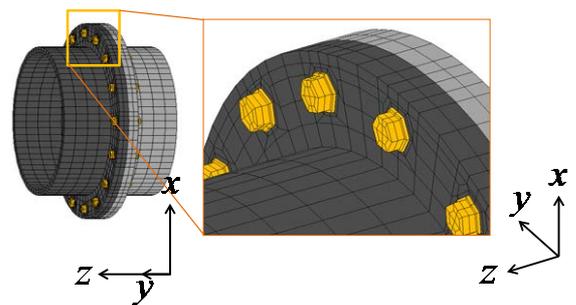


図-2 継手部のモデル化

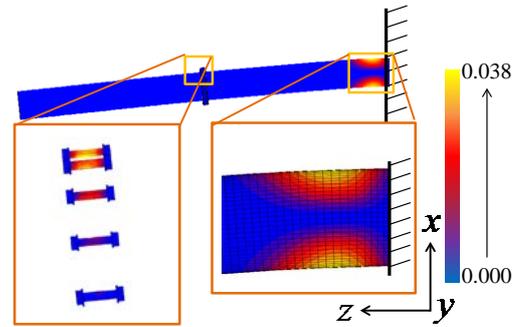
2.3 継手のモデル化

ボルト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¹⁾。ボルトの締付力は、道路橋示方書に示されている設計ボルト軸力²⁾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。本解析ではボルトの締付力として 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。(図-2)

キーワード ボルト接合継手, フランジ継手, 高力ボルト, 耐荷性能
 連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番地 TEL092-802-3370

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。

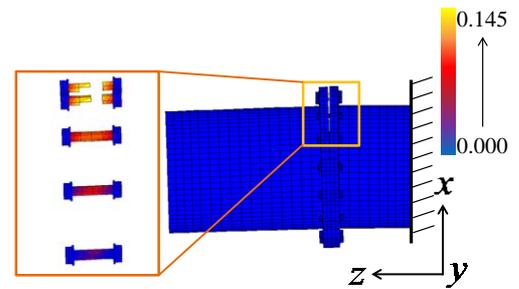


(a)部材長が長い場合(P=356kN)

3. 解析結果

3.1 相当塑性ひずみ分布

部材長が長い場合と短い場合の相当塑性ひずみの分布を図-3(a)および(b)にそれぞれに示す。部材長が長い場合、図-3(a)に示すようにボルトの引張側および部材の固定端近傍で塑性変形が確認された。固定端近傍に着目すると、断面全体で塑性変形が進展しているため部材長が長い場合はボルトの塑性変形と比較して固定端部の方が先行して進展する可能性があると考えられる。部材長が短い場合、図-3(b)に示すように鋼管自体は降伏に至っていないがボルトの塑性変形は進展し、引張側のボルトが破断に至った。このように、部材長が長い場合と短い場合で鋼管の塑性変形が先行して進展するモードとボルトの塑性変形が先行して進展する2つのモードが存在することが確認された。

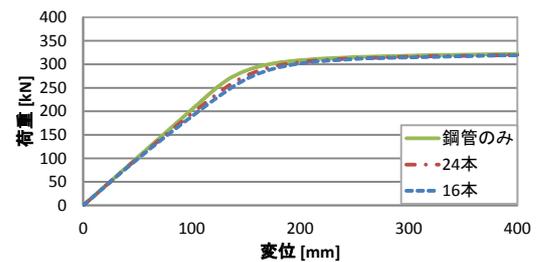


(b)部材長が短い場合(P=1932kN)

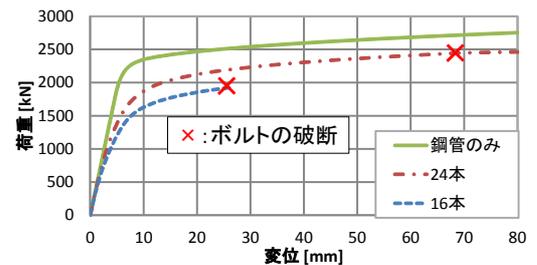
図-3 相当塑性ひずみコンター

3.2 全強比と部材の耐荷性能の関係

本検討では、全強比を56%から84%へと向上させた場合の部材の強度に関して部材長が長い場合と短い場合でそれぞれ検討を行った。ボルトの本数は16本から24本へと増加させている。部材長が長い場合の荷重-変位曲線を図-4(a)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。部材長が短い場合の荷重-変位曲線を図-4(b)に示す。全強比を向上させると母材のみの強度に近づくことが確認された。また、全強比56%と84%の場合を比較すると耐荷力で約30%、破壊までの終局変位は約160%向上した。これより、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。



(a)部材長が長い場合



(b)部材長が短い場合

図-4 荷重-時間関係

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、部材長に依存し、鋼管が破断もしくはボルトが破断する2つの破壊モードがある可能性が確認された。また、継手断面の強度の向上による部材の耐力への影響は部材長が短い場合には有効であることが確認された。

参考文献

- 1) 坂本智明, 萩原義人, 鈴木大介, 串田健一, 山田博之, 村松茂: ボルト締結体の構造解析精度向上に関する研究, 山梨県工業技術センター研究報告, No.26, 2012
- 2) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, I 共通編 II 鋼橋編, 丸善, pp.125-129, 141-149, 471-478