

皿型高力ボルト継手におけるボルト破断強度に関する解析的検討

大阪市立大学大学院 学生員 ○中本 勇

大阪市立大学大学院 正会員 山口 隆司
大阪市立大学大学院 正会員 林 厳

1. 研究目的

ボルトヘッドの突出により継手部に凹凸が生じない皿型高力ボルトは、高力ボルト継手部での塗装の耐久性向上に大きく寄与するものと期待されている。これまで、比較的板厚が薄い皿型高力ボルト継手のすべり耐力および最大耐力に関する検討がなされてきた。また、既往の実験¹⁾で、母板厚 40mm、連結板厚 22mm の二面継手の場合に図-1 のように皿型高力ボルトのせん断破断が一面のみ生じるものの、その最大耐力はボルトの二面せん断耐力の 1.15 倍程度となることを確認した。しかし、それ以外の板厚構成のときにボルト破断が生じる場合の最大耐力および破断モードは明らかになっていないことから、解析により検討することとした。

2. 解析条件

解析には汎用有限解析コード Abaqus2020 を用い、弾塑性有限変位解析を実施した。部材形状を図-2 に示す。解析対象は 1 行 2 列の高力六角ボルト(M22F10T)および皿型高力ボルト(M22C10T)を用いた摩擦接合継手とした。解析モデルを図-3 に示す。要素は 8 節点低減積分ソリッド要素を用い、メッシュは 1 辺の大きさが母板および連結板 2.5mm、ボルトセット 1.5mm になるように分割した。すべりを考慮できる接触境界を定義し、接合面の静止摩擦係数は実験結果¹⁾より 0.64 とした。ボルトに設計軸力 205kN を導入した後、母板に強制変位を与えた。表-1 に解析に用いた材料特性を示す。

3. 解析ケース

解析ケースを表-2 に示す。パラメータは母板と連結板の板厚とした。ケース名は H：高力六角ボルト，C：皿型高力ボルトとし、数字は母板の板厚を示している。実験結果¹⁾より、皿型高力ボルトのせん断破断荷重は P_{bod} の 1.15 倍程度であったことから、確実にボルトのせん断破断が生じる母板厚 40mm を最大板厚とし、H ケースと C ケースそれぞれ 4 ケースの板厚構成をモデル化した。

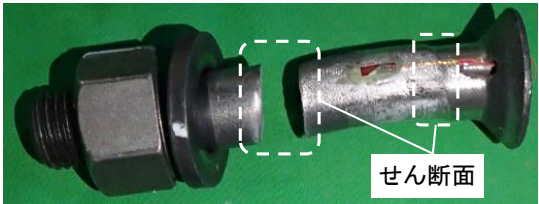


図-1 皿型高力ボルト破断状況(締付け総厚 84mm)

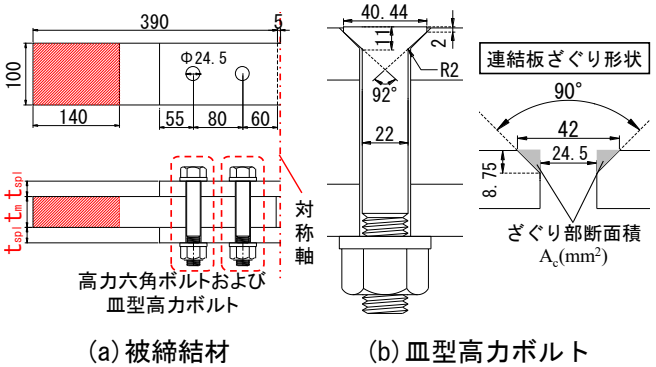


図-2 部材形状

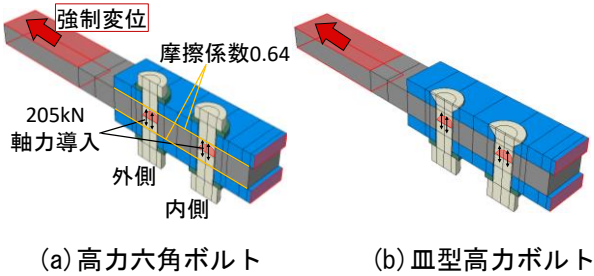


図-3 解析モデル

表-1 材料特性

部材	鋼種	弾性係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν	降伏点 σ_s (N/mm ²)	引張強度 σ_t (N/mm ²)	構成則
母板	SS400	200000	0.3	235	400	バイリニア型 E/100
連結板	F10T			900	1000	
ボルトセット	C10T					

表-2 解析ケースの内訳

ケース名	母板板厚 t_m (mm)	連結板板厚 t_{spl} (mm)	ボルトの二面せん断耐力 P_{bod} (kN)	母板純断面引張耐力 P_{md-m} (kN)	連結板純断面引張耐力 P_{md-s} (kN)	
					Hケース	Cケース
H28 / C28	28	16	877	846	966	936
H32 / C32	32	16	877	966	966	936
H36 / C36	36	19	877	1087	1148	1117
H40 / C40	40	22	877	1208	1329	1298

※黄色が最大耐力の設計値 P_{max-d}

キーワード 皿型高力ボルト，摩擦接合，せん断耐力

連絡先 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学 Tel&Fax 06-6605-2765

4. 解析結果

荷重と全体変位の関係を図-4 に、最大耐力時の外側ボルトの Mises 応力コンターを図-5 に示す。ここで、全体変位は母板縁端に作用させた強制変位である。最大耐力 P_{max} は、ボルトの軸部断面または被締結材の純断面において連続する全ての要素積分点の Mises 応力が引張強度に到達したときの荷重と仮定し、それぞれボルトのせん断破断、被締結材の純断面破断とした。ボルトのせん断破断は母板厚 36mm 以上で生じ、H ケースではヘッド側とナット側の両方で、C ケースではナット側のみで生じた。これは、C ケースではざぐり加工により連結板ボルト孔周辺の塑性変形が大きくなり、ヘッド側のせん断変形が進展しなかったためである。

最大耐力 P_{max} を表-2 に示した設計値 P_{max-d} で無次元化したものを図-6 に示す。ボルト破断が生じた母板厚 36mm 以上の P_{max}/P_{max-d} が、H ケースでは 1.2 以上、C ケースでは 1.1 以上となった。これは、ボルトがせん断抵抗だけではなく曲げ抵抗によっても引張荷重に抵抗したためと考えられる。片面のみせん断破断が生じた C ケースでも P_{max}/P_{max-d} が 1.1 以上となったのは、ヘッド側のせん断力が引張強度まで増加しなかったものの、曲げ抵抗の影響が高力六角ボルトのそれより大きかったためと考えられる。

H ケースに対する C ケースの最大耐力比を図-7 に示す。母板厚 40mm の最大耐力比は母板厚 36mm より大きかった。これは、連結板厚の大きい C40 の方がざぐり部の塑性変形が小さく、ヘッド側のせん断抵抗が大きくなったためと考えられる。皿型高力ボルトでは継手に適用される γ の範囲が限られており、連結板厚が母板厚より極端に大きいケースはないため、母板厚 36mm 以上では、皿型高力ボルトのせん断破断はナット側のみ生じると考えられる。

5. まとめ

本解析はボルト破断が生じる場合の最大耐力および破断モードを検討した。得られた結果を以下に示す。

- 1) ボルト破断が生じる皿型高力ボルト継手の最大耐力は、ボルトの曲げ抵抗の影響により設計値より 1 割以上大きい。
- 2) 皿型高力ボルトは、いずれの板厚においても連結板の塑性変形の影響でヘッド側のせん断力が増加せず、せん断破断はナット側のみ生じる。

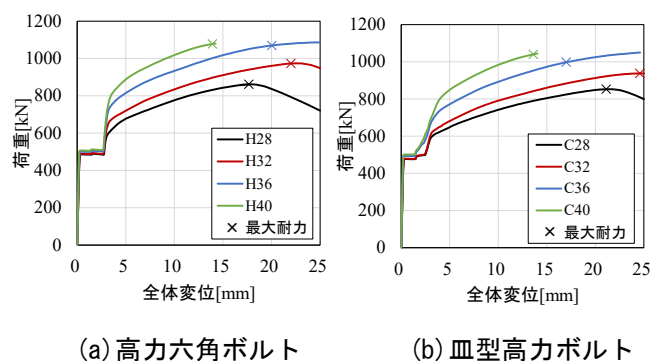
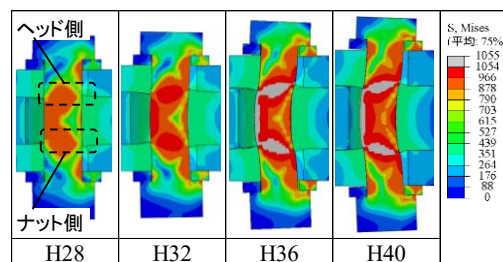
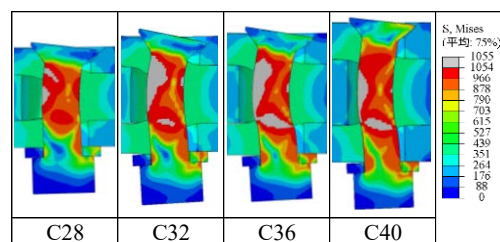


図-4 荷重と全体変位の関係



(a) 高力六角ボルト



(b) 皿型高力ボルト

図-5 最大荷重時の外側ボルト Mises 応力コンター

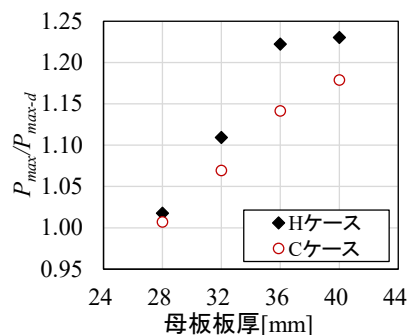


図-6 P_{max}/P_{max-d}

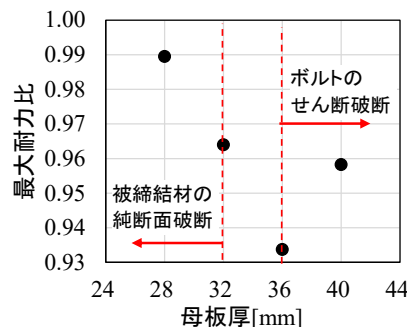


図-7 最大耐力比

<参考文献>

中本勇, 山口隆司, 堀岡良則, 澁谷敦: 長尺皿型高力ボルトを用いた摩擦接合継手の力学的挙動に関する実験的研究, 土木学会全国大会第 75 回年次学術講演会