

I - A209

高変形能ボルトの開発とその引張継手への適用

NKK 正会員 藤谷健二
京都大学工学研究科 正会員 杉浦邦征

京都大学工学研究科 フェロー 渡邊英一
京都大学工学研究科 正会員 山口隆司

1. 研究目的

高力ボルト継手は施工性や維持管理の点で優れている。しかし、高力ボルトは形状の異なる軸平行部とネジ部からなっており、その終局状態において塑性変形はネジ部にのみ集中する。したがって、変形能の観点から高力ボルト引張継合は有利な構造とは言えない。

本研究では、英国規格¹⁾に規定されているような小さい軸平行部径を有する高変形能ボルトの力学特性を検討した。また、高変形能ボルトを引張継手に適用し、その有効性を明らかにした。

2. 研究手法

汎用有限要素解析プログラム ABAQUS により解析を行うが、局所的な応力・ひずみと構造全体の挙動を関連づけて検討する。本解析では、ボルト局所ひずみ終局ひずみに達するときボルトが破壊するものと仮定する。

まず、様々な軸平行部径を有するボルトの軸対称解析によって軸方向荷重載荷下における高性能ボルトの力学特性を検討する。その結果に基づき、ボルトネジ部の等価応力-ひずみ関係を構築し、高性能ボルトを適用した引張継手に対して3次元解析を行い、その有効性を確認する。

3. 高変形能ボルトの軸対称有限要素解析

解析モデルの概要を Table 1 および Fig. 1 に示す。本解析では軸平行部径 w (mm) を有する高変形能ボルトを Ww と呼ぶことにする。解析から得られた有効応力-平均ひずみを Fig. 2 に示す。図において、有効応力 σ_0 は、高変形能ボルトの最小断面における軸方向平均応力で定義する。すなわち、Fig. 1 の記号を参照して、

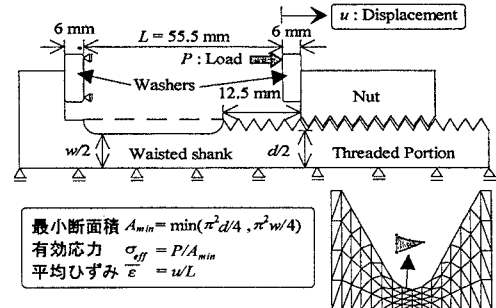
$$\sigma_{eff} = P/A_{min} \quad (A_{min} = \min(\pi w^2/4, \pi d^2/4)) \quad (1)$$

また、平均ひずみは締め付け部にあたる部分の伸び u (mm) を締め付け部長 L (mm) で除した。通常ボルトのように w が大きいモデルに対する曲線形状はネジ部の変形性状が顕著に現れる。すなわち、ネジ底の応力集中部から徐々に塑性化が進展していくにつれて、剛性が低下している。一方、軸平行部径の小さいモデルでは、材料本来の応力-ひずみ曲線に近い形状となる。

次に、有効応力-平均ひずみ曲線に基づき、終局状態に至るまでに吸収するエネルギーを軸平行部径に対して比較した結果を Fig. 3 に示す。最大の吸収エネルギーが得られる軸平行部径は、 $17.1 < w < 17.6$ で

Table 1 高変形能ボルトの材料特性²⁾

Young's modulus (GPa)	Poisson's ratio	Yielding stress (MPa)	Hardening modulus (GPa)	Ultimate stress (MPa)	Ultimate strain
206	0.3	882	2.06	1,176	0.14



ネジ部要素分割詳細

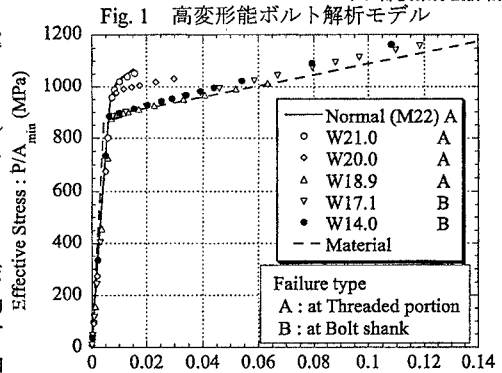
Average Axial Strain : u/L (mm/mm)

Fig. 2 有効応力-平均ひずみ関係

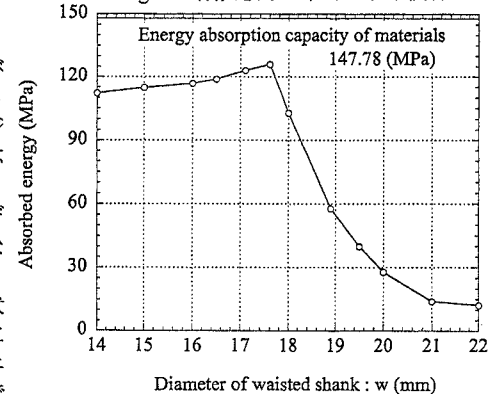


Fig. 3 エネルギー吸収能

Key Word 有限要素解析, 応力, ひずみ, 変形能, 引張継手

〒606-01 京都市左京区吉田本町, Tel 075-753-5079, Fax 075-753-5130

あり、これは BS 4395 : Part3 に示された範囲と一致する。また、 $w < 17.6$ において、 w の増分が吸収エネルギーの減少に与える影響は小さい。

4. 高変形能ボルトの引張継手への適用

解析対象を Fig. 4 (a) に示す。また解析モデルを Fig. 4 (b), (c) に示す。ここでネジ部の材料特性は軸方向荷重に対する挙動が軸対称解析結果と一致するように設定した (Fig. 5 参照)。また、ボルト降伏荷重の 75% を初期ボルト軸力とし、熱収縮を利用してボルトに導入した。得られた無次元化荷重-離間関係を Fig. 6~7 に示す。モデル間の比較のために作用荷重をボルト耐力 B_u で、ウェブ直下の離間量 D を B_u に対する弾性離間量 D_e で無次元化した。

厚いフランジ板の継手において、継手の変形性状はボルトの変形性状に大きく依存するため、ボルトの変形能向上の効果が顕著に見られ、靱性率 7 倍以上の耐震上優れた変形性能を有している。

薄いフランジ板の継手においては、ボルトに曲げが作用するため、ネジ部における破断が生じやすくなっている。また、ボルト軸平行部径を十分小さくしなければ、ボルトの変形能の向上はフランジ板の変形に吸収される程小さい。軸平行部径が十分小さいボルトにおいては、継手部の靱性率および耐力とも向上している。耐力が向上する理由は、ボルトに作用する曲げに対して、ボルト全体で変形するためであると考えられる。

5. 結果および結論

軸平行部径を小さくすることでボルトのエネルギー吸収能が大きく向上した。また、高変形能ボルトを引張継手に適用すれば、特にフランジ板の厚い形式においては大きく変形能が向上し、優れた変形能を有する接合形式であることを確認した。フランジ板の薄い形式に対しては、変形能向上のためには軸平行部径の十分小さいボルトを用いることが望ましい。

6. 参考文献

- 1) BS 4395 : Part3 : 1973
- 2) JIS 1183, 日本規格協会, 1979

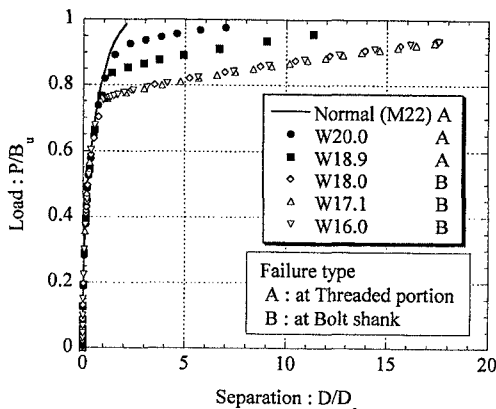


Fig. 6 フランジ厚の厚い継手の荷重-離間曲線

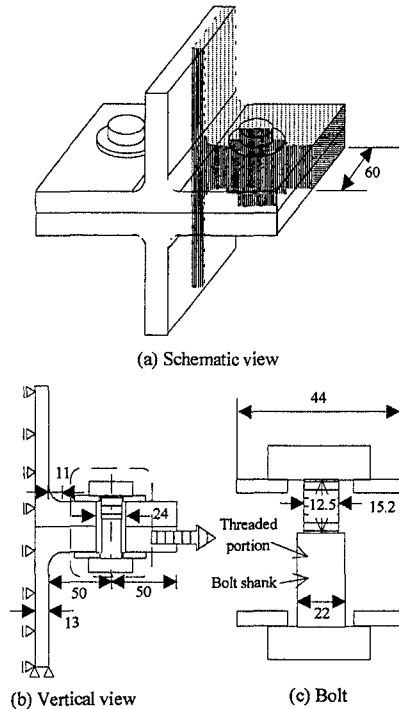


Fig. 4 引張継手の解析モデル (unit : mm)

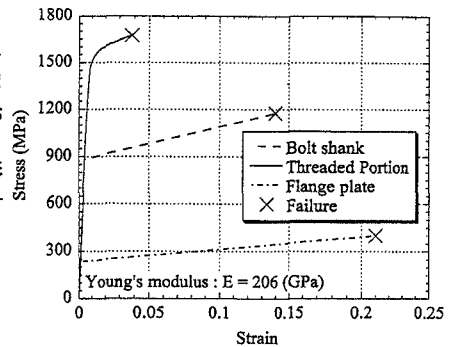


Fig. 5 継手部解析モデルの材料特性

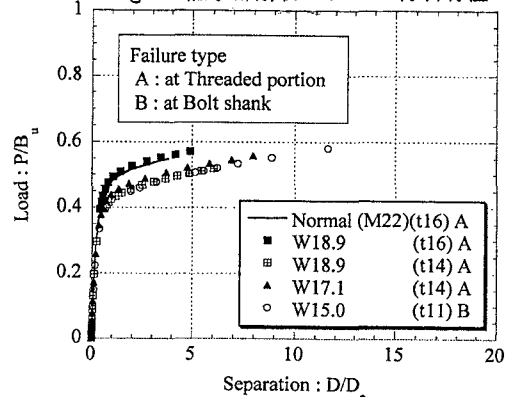


Fig. 7 フランジ厚の薄い継手の荷重-離間曲線