

大阪市立大学工学部 学生員 ○中野 貴史 大阪市立大学工学部 正会員 山口 隆司
大阪市立大学工学部 正会員 北田 俊行 大阪市立大学工学部 正会員 松村 政秀

1. 目的

高力ボルトに軸方向引張力が作用した場合、その終局状態では、応力がねじ部に集中し、ねじ部での塑性変形が期待できず、脆性的に破断する。そのため、荷重の作用方向とボルトの軸方向とが一致する高力ボルト引張接合において、この構造では、継手部の変形性能の観点から必ずしも有利な構造でない。したがって、継手部の変形性能を向上することができれば、脆性的な破断状態から延性的な破断状態へと移行し、部材の一接合法としての引張接合のニーズも高まると予想できる。

一方、近年の少数主桁橋などの合理化橋梁では、部材の大型化が進み、接合部の伝達すべき荷重も大きくなっている。したがって、従来の M22 や M24 を用いた設計では、必要なボルト本数が増大し、現実的な高力ボルト接合の設計が行えない場合もあると考えられる。特に引張接合においては、その傾向が顕著であると考えられる。

そこで、本研究では、代表的な太径ボルトである M30 に対して、軸平行部径を細くすることで、変形性能を改善した高変形能ボルト(図-1 参照)を対象とした。そして、軸平行部径をパラメータとして、高力ボルトの応力集中、変形性能、エネルギー吸収能などに着目し、その力学的性状を解析的に明らかにすることを試みた。

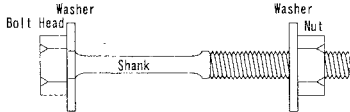


図-1 高変形能ボルトの概形

2. 解析モデルおよび支持条件

本解析では、高力ボルトの形状を考慮して、軸対称要素を用いた有限要素解析を行う。太径高変形能ボルトの形状寸法、要素分割の様子、荷重条件、そして境界条件を図-2 に示す。力学的性状は、締結長に占めるねじ山の数に影響を受けると考えられるが、ここでは最も標準的と考えられるねじ山数としている。軸平行部径は、30.0mm を基準に 20.0mm まで変化させた。また、モデルの要素数、および節点数を表-1 に示す。

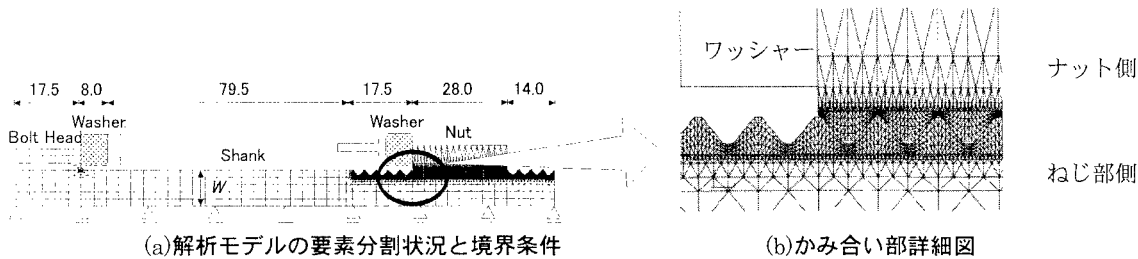


図-2 解析モデルの概要 (単位：mm)

- 主な解析条件を以下に要約する。
- 1) らせん形状に変化するねじ部の形状を、図-2 に示すように回転体にモデル化し、軸対称問題として扱う。
 - 2) 軸平行部およびボルトヘッドは 4 節点または 3 節点アイソパラメトリック要素を、ねじ部およびナットのかみ合い部は 6 節点または 8 節点アイソパラメトリック要素を用いる。
 - 3) 応力-ひずみ関係はひずみ硬化係数を 0.14 としたパイリニア一型とする。
 - 4) ワッシャーには、軸対称剛体要素を用い、ワッシャー自体の

表-1 モデルの要素数、および節点数

	要素数	節点数
太径高変形能ボルト	5,814	8,294
全ねじボルト	8,754	12,614

表-2 解析に用いた材料の機械的性質

ヤング率 (N/mm ²)	ポアソン比	降伏応力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	ひずみ硬化 係数
206,000	0.3	900	1,000	0.14

Takashi NAKANO, Takashi YAMAGUCHI, Toshiyuki KITADA, Masahide MATSUMURA

変形をなくし、ナットとの接触面に一様な軸力を与える。

5) 材料の等級は、F10T とする。設定した機械的性質を表-2 に示す。

3. 解析結果

軸平行部径 W を変化させた時の軸平行部径ごとの最大荷重、終局荷重、および高応力発生領域を表-3 に示す。ここで、最大荷重とは、荷重-ひずみ曲線の最大時の荷重とし、終局荷重とは、モデル内の一つの要素が引張強さに達した時の荷重と定義する。次に解析結果をもとに算出した終局荷重時までのエネルギー吸収能を図-4 に示す。なお、エネルギー吸収能は、終局荷重時までの応力-ひずみ曲線を、台形公式で積分した面積と定義している。

表-3 最大荷重、終局荷重、および高応力発生領域

太径高変形能ボルト																全ねじボルト
W(mm)	30	27.85	27.6	27.5	27.4	27.2	26.8	26	25.7	25	24	23	22	21	20	26.7
最大荷重(kN)	537.63	534.1	533	532.3	529.5	521.9	506.47	476.75	466.06	440.76	406.14	372.96	341.21	310.83	281.9	508.50
終局荷重(kN)	537.7	534.0	533	532.3	518.7	511.6	496.57	467.05	456.66	431.8	397.03	365.22	333.88	304.23	275.84	507.83
高応力発生領域	T	T	T	T	T and S	T and S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	

T: ねじ部, S: 軸平行部

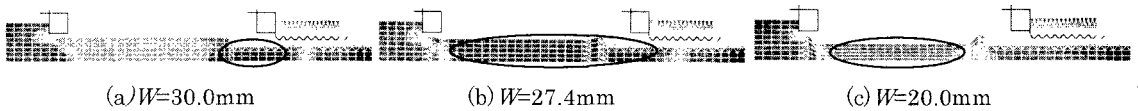


図-3 等価応力分布図 (○: 高応力発生領域)

4. 結論および今後の課題

本研究で得られた主な結論を以下に示す。

- 通常ボルトは、ねじ部での塑性化が卓越し、局所的な変形が生じるため、脆性的な挙動を示す。軸平行部径を小さくした太径高変形能ボルトは、軸平行部で塑性化が卓越するため、延性的な変形を示す。軸平行部径を $W=27.4\text{mm}$ まで小さくすると、ボルトの塑性変形は、ねじ部から軸平行部へと移行する。
- 通常ボルトは、脆性的な挙動を示すため、材料本来が持つエネルギー吸収能を十分に発揮していない。一方、高変形能ボルトは、延性的な挙動を示すため、エネルギー吸収能を十分に発揮できる。エネルギーが最も高くなる軸平行部の最適径は、 $W=27.4\text{mm}$ である。このとき、通常ボルトに比べてエネルギー吸収能は、約 10 倍に向上する。
- エネルギー吸収能の向上の手段として、全ねじボルトも考えられる。太径高変形能ボルト程の効果は得られないが、通常ボルトに比べてエネルギー吸収能は、約 4 倍に向上する。
- 多列に配置した引張継手の第 1 列目に高変形能ボルトを使用すると、従来、十分に荷重分配できず、その機能が半減していた多列配置引張継手の機能向上に大きく貢献できるものと考えられる。したがって、今後、太径高変形能ボルトの多列配置引張継手への適用性を解析・実験の両方面から検討する必要がある。

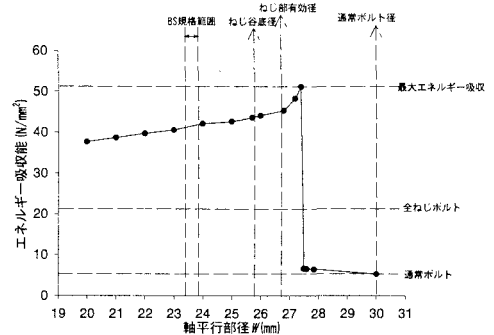


図-4 エネルギー吸収能

参考文献

- BS4395 : Part3. Higher grade bolts (waisted shank), nuts and general grade washers : Oct.1973
- 藤谷健二, 渡邊英一, 杉浦邦征, 山口隆司: 高変形能ボルトの提案とその引張継手への適用, 鋼構造年次論文報告集, 第 5 巻, pp.459-464, 1997.11