

環境配慮型高力ボルトセットのナット形状に関する実験的検討

大阪公立大学大学院 学生会員 ○ 鄒 瑩
宮地エンジニアリング (株) 正 会 員 吉元 大介

大阪公立大学大学院 正 会 員 山口 隆司
宮地エンジニアリング (株) 正 会 員 飯野 元

1. 研究背景と目的

ボルト製造工程での自然環境への負荷軽減および施工時の労働環境改善に目的として新しい高力ボルト（以下、環境配慮型高力ボルト：CEB）の開発が進められている。CEB の開発では、従来の高力六角ボルトおよびトルシアボルトと同等以上の力学性能を有したうえで、使用材料を削減することに特に重点が置かれている。そのため、高力ナット（以下、ナット）高さに着目した締付性能の検討を行う必要がある。

本研究では、既往研究¹⁾で提案した締緩機能を有する頭部形状の耐荷力性能および締結性能を確認・検証するため、この形状を再現したボルトおよびナットを用いた引張試験を実施する。

2. 試験方法とパラメータ

高力ボルトに使用されるナットは、ボルト呼び径 d と同じ高さ(1.0d)である。既往研究において、おねじとめねじの限界はめ合い長さは、引張強度が同等の鋼製ボルト・ナット締結であれば $0.6d$ 程度であると報告されており²⁾、普通ボルトの 1 種ナットには $0.8d$ 以上が用いられている。検討するナット高さはボルト呼び径 22 mm を標準値として、1/2 高さの 12mm まで低くした 5 タイプである。試験体形状を図-1 に、試験ケースと試験体数を表-1 にそれぞれ示す。

JIS B 1186 規格を満足するように高力ボルトの機械的性質を表-2 に示す。試験に用いたボルトおよびナットは高力六角ボルト(M22×85, F10T)を所定の頭部形状（ボルト平面：六角形，円直径：34 mm，レンチ接触面高：4 mm，斜側面：直線タイプの上面径 16 mm）およびナット高さとなるように機械切削して製作した。

引張試験は図-2 のように試験ボルトを専用治具に固定し、万能試験機でボルト軸部の軸方向に強制変位を加え、ボルト軸部に張力を導入する。万能試験機の荷重をボルト軸力とし、ボルトの終局状態（ボルト軸部破断もしくはねじ山せん断破断）まで載荷した。

3. 試験結果と考察

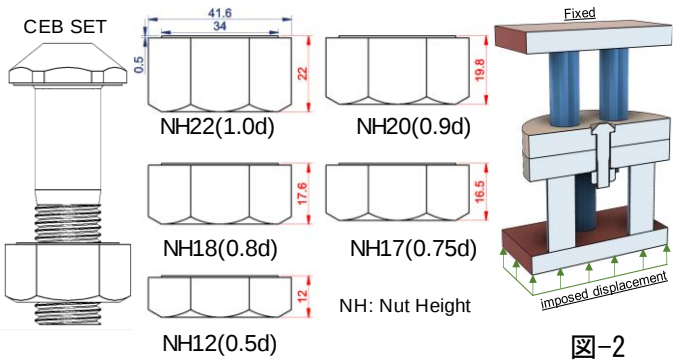


図-2

図-1 ボルトとナット寸法(単位：mm) 引張試験治具

表-1 試験ケース

CASE	Nominal diameter (d=22)	Height (mm)	Number of Threads (Approx.)	Number of Complete Threads (Approx.)	Number of bolts
NH22	1.0d	22	8.8	7.6	2
NH20	0.9d	19.8	7.9	-	3
NH18	0.8d	17.6	7	-	3
NH17	0.75d	16.5	6.6	-	1
NH12	0.5d	12	4.8	-	1

表-2 高力ボルトの機械的性質

Type	Grade of High-strength Bolt Set	Nominal diameter (mm)	Nominal Length of bolt (mm)	Thread Length (mm)	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Stress (N/mm ²)
CEB	F10T	22	85	50	1014	1084

表-3 試験結果(単位：kN)

Case	Ultimate Tensile Load	Avg. of Ultimate Tensile Load	Breaking Load	Final State
NH22	334.1	333.5	204.7	Fracture
	332.8		187.3	
NH20	340.9	340.6	248.0	Fracture
	342.1		223.9	
	339.0		215.6	
NH18	333.1	331.9	-	Thread Galling
	330.6		198.5	Fracture
	331.9		-	Thread Galling
NH17	322.7	322.7	-	Thread Galling
NH12	198.9	198.9	-	Thread Galling

試験結果を表-3 に示す。全てのケースにおいて CEB のボルト頭部で破壊することなく、ボルト軸部破断(NH22, NH20)もしくはねじ山せん断破断(NH18, NH17, NH12)で終局状態を迎えた。以後の考察では、前者を破断先行ボルト、後者をせん断破断先行ボルトと呼ぶ。NH18 では試験ボルト 3 本のうち 2 本でせん断破断により終局状態に至り、1 本がボルト破断により終局状態に至った。破断先行ボルトの引張荷重-変位の関係を図-3

に、せん断破壊先行ボルト各ケースの代表値の引張荷重－変位を図-5に示す。また、図-4、図-6に終局時の破壊性状をそれぞれ示す。

図-3より、破断先行ボルトは、最大荷重到達後、有効断面積が小さいボルトねじ部で塑性変形し、徐々に荷重低下して破断に至った。各ケースの最大荷重と破断荷重の平均値は、それぞれ NH22 では 333.5kN、196.0kN であり、NH20 では 340.5kN、235.6kN であった。設計引張荷重 303.0kN に対して、ともに高力ボルトとしての性能を満足していると判断できる。また、いずれも終局モードは、遊びねじ部で破断し、延性破壊が発生したが、NH20 は NH22 に比べて破断時のボルトの伸び量が小さく、変形性能は低下した。

図-5より、試験ボルトセットのうち、せん断破壊先行ボルト NH12～NH18 では、最大荷重到達後は大きく荷重低下していることがわかる。最大荷重は、NH18 では 332.5kN、NH17 では 322.7kN、NH12 では 198.9kN であった。NH12 は設計ボルト軸力(205.0 kN)に到達する前に、ねじ山のせん断破壊が徐々に進行しながら終局に至った。NH17 およびせん断破壊した NH18 は、設計引張荷重(303.0kN)を満足しているが、すべての試験ボルトで設計引張荷重を超えた後にねじ部の変形が発生し、ねじ部のせん断破壊によって最大荷重に至った。図-6より、終局モードは、試験後のボルトおよびナット両方ともにねじ山せん断破壊であり、締結性能が確保できないことが判明し、NH17 と NH12 が設計上と同様な終局状態になった。

既往研究¹⁾²⁾において、0.8d のナットは、設計上、破断先行として区分されていたが、本試験結果は異なった。一般に、ボルトねじ部の強度は製作時のねじ転造による加工硬化の影響を受けて高くなる。そのため、設計引張荷重を超えてもねじ部で引張破断せず、ねじ山せん断破壊が発生したと考えられる。

4. 結論

本研究で得られた結果を以下にまとめる。

- 1) 本研究で対象とした頭部形状を有する環境配慮型高力ボルト頭部は最大荷重まで頭部にて引張破断することはなかった。よって、提案した頭部形状は適用可能と考えられる。
- 2) 環境配慮型高力ボルトのボルトセットとして組み合わせるナットの終局状態は、NH22 と NH20 では

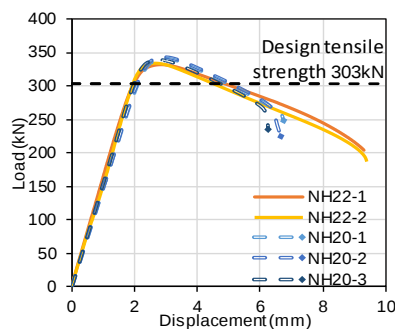


図-3 破断したボルト



図-4 破断ボルト

荷重と変位との関係

の終局状態

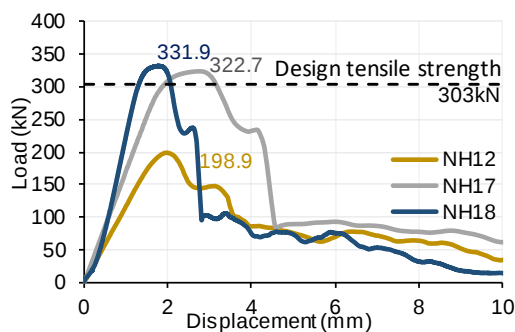


図-5 ねじ山せん断破壊先行ボルト 荷重と変位との関係



図-6 ねじ山せん断破壊発生したボルトおよびナット

ボルトの破断、NH18、NH17、NH12 ではねじ山せん断破壊となり、ナット高さに破壊形式が支配される。

- 3) NH20(0.9d)は高力ボルトとしての性能を満足し、標準である NH22 と同様の破壊形式を確認できたことから、ナット高さを NH20(0.9d)まで削減可能である。

本研究の試験体数は少なく、ナットは切削加工を行ったものでもあるため、今後、製造時のばらつきや使用状態に対する安全率等も考慮して、ナット高さに関する検討を実施する必要がある。

参考文献

- 1) 吉元大介, 山口隆司, 鄒瑩, 飯野元: 環境に配慮した新しい高力ボルトの開発, 構造工学論文集 Vol. 69A, 2023 年 3 月
- 2) 山中啓司, 菊池務: ボルト締付後のボルトねじ山の突出し長さについて, 圧力技術, 第 56 巻, 第 3 号, 2018.