

2025年度（第17回）免震構造・制振構造に関わる研究助成の成果報告

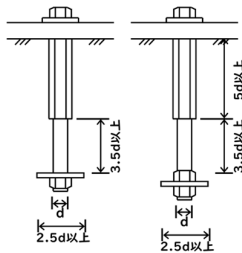
免震接合部における長ナットへのボルト螺合長さに関する要素実験

中塚光一（株式会社大林組） 中村吉秀（同） 三谷淳（同）

芋野匡俊（同） 中嶋拓（同） 檜田啓吾（同）

はじめに

2006 年の福岡県西方沖地震で鉛ダンパーの取付け部に不具合が起こり、免震接合部が注視されて以降、アンカーボルトの引抜き耐力に関する研究がおこなわれている¹⁾。長ナット・取付けボルトを使用してアンカーボルトに引張力を伝達する場合の推奨ディテールとして、図 1 が示されている。一方、長ナットとボルトの螺合長さは $1.5d$ が推奨³⁾されているが、免震接合部としての実験ではあまり確認されていない。

図 1 免震接合部の推奨ディテール²⁾

本研究では、免震接合部に用いられる長ナット・ボルト接合部を対象として要素実験を行い、螺合長さの違いが破壊形式および最大耐力に及ぼす影響を明らかにするとともに、既往指針に示されるねじ山破断耐力評価式の妥当性について検証することを目的とする。本論文では、ボルト呼び径を d 、ボルトの有効径を d_2 、長ナットとボルトの螺合長さを L 、面取り部を除いた有効螺合長さを L_e と定義する。

1. 試験体概要

試験体の形状を図 2 に、試験体の試験パラメータを表 1 に示す。試験体は長ナットとボルトを螺合させた形状とし、各 3 体とした。試験体 No. A-1～A-5 は、長ナットを SS400、ボルトを強度区分 6.8 とし、ボルト呼び径 d に対する螺合長さを $0.50d \sim 1.50d$ の範囲で $0.25d$ 刻みで設定した。

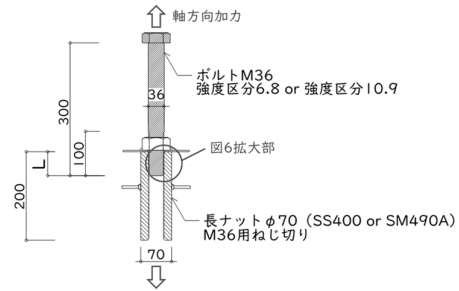


図 2 試験体形状

表 1 試験パラメータ

組合せ	No.	ボルト	長ナット	螺合長さ L
A	A-1	強度区分 6.8	SS400	$0.50d$
	A-2	強度区分 6.8	SS400	$0.75d$
	A-3	強度区分 6.8	SS400	$1.00d$
	A-4	強度区分 6.8	SS400	$1.25d$
	A-5	強度区分 6.8	SS400	$1.50d$
B	B-1	強度区分 10.9	SS400	$0.75d$
C	C-1	強度区分 6.8	SM490A	$0.75d$
	C-2	強度区分 6.8	SM490A	$1.00d$
D	D-1	強度区分 10.9	SM490A	$0.50d$
	D-2	強度区分 10.9	SM490A	$1.50d$

組合せ B は組合せ A からボルトの材質を強度区分 10.9 に変更したもの、組合せ C は長ナットの材質を SM490A に変更したもの、組合せ D はボルトの材質を強度区分 10.9 に、長ナットの材質を SM490A に変更したものである。なお、図 3 に示すようにボルトおよび長ナットにはねじ山ピッチ相当の面取り（各 4 mm）を設けており、ねじ山形状は JIS 規格準拠でオーバータップは行っていない。

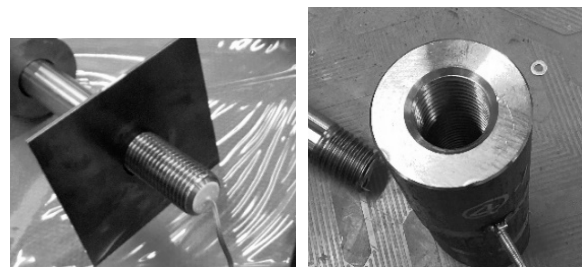


図 3 ボルトおよび長ナットの面取り部

2. 実験方法

載荷方法は、アムスラー型試験機を用いた単純引張試験とし、ロードセルによる荷重制御下で載荷を行った。引張試験結果から得られたボルトの材料強度及びミルシート記載の長ナットの材料強度を表 2 に示す。

表 2 材料強度 [N/mm²]

		降伏点 σ_y	引張強さ σ_u
ボルト	強度区分 6.8	480*	759
	強度区分 10.9	900*	1211
長ナット	SS400	331	448
	SM490A	376	551

※ボルトの降伏点は規格降伏値

3. 実験結果

試験で得られた最大荷重（各 3 体の平均）および破壊形式を表 3 に示す。破壊形式について組合せ A に着目すると、螺合長さ L が 1.00 d 以下は長ナットねじ山破断、1.25 d 以上はボルト軸破断となった。図 4、5 および 6 に試験後の試験体状況を示す。長ナットねじ山破断の試験体は、長ナット側のねじ抜けが生じており、長ナットの破断面は平滑であった。また、ボルト軸破断の試験体は、ボルトの首下破断であった。

表 3 最大荷重および破壊形式

No.	ボルト	長ナット	螺合長さ L	最大耐力 kN	破壊形式
A-1	強度区分 6.8	SS400	0.50d	250.4	長ナットねじ山破断
A-2	強度区分 6.8	SS400	0.75d	442.8	長ナットねじ山破断
A-3	強度区分 6.8	SS400	1.00d	613.8	長ナットねじ山破断
A-4	強度区分 6.8	SS400	1.25d	621.0	ボルト軸破断
A-5	強度区分 6.8	SS400	1.50d	625.4	ボルト軸破断
B-1	強度区分 10.9	SS400	0.75d	455.9	長ナットねじ山破断
C-1	強度区分 6.8	SM490A	0.75d	531.2	長ナットねじ山破断
C-2	強度区分 6.8	SM490A	1.00d	618.0	ボルト軸破断
D-1	強度区分 10.9	SM490A	0.50d	342.9	長ナットねじ山破断
D-2	強度区分 10.9	SM490A	1.50d	991.4	ボルト軸破断

※グレーハッチは破壊形式がボルト軸破断の試験体

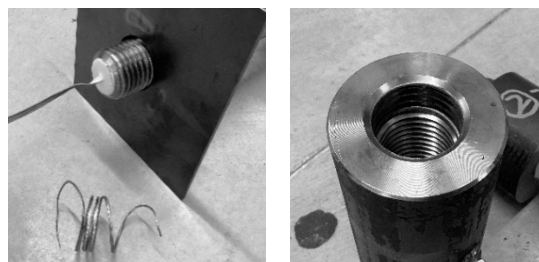


図 4 ねじ山破断試験体の試験後写真 (No. A-2)

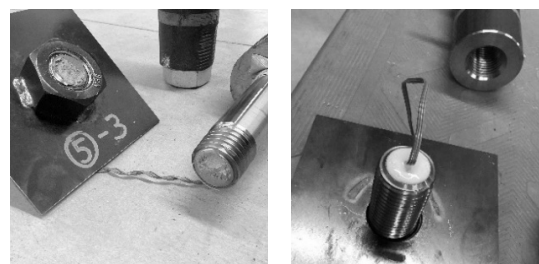


図 5 ボルト軸破断試験体の試験後写真 (No. A-5)

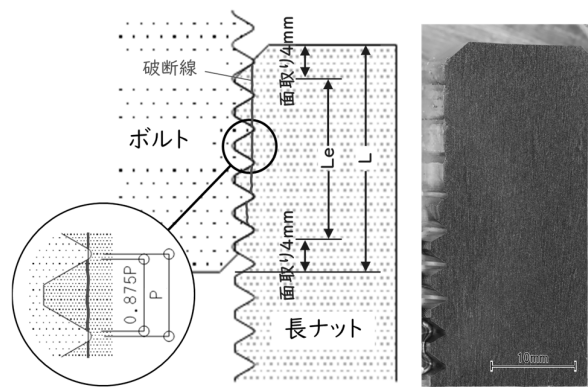


図 6 ねじ山破断試験体の試験後ねじ山形状 (No. A-2)

長ナットの材質ごとに、図 7 に組合せ A、B の 6 種、図 8 に組合せ C、D の 4 種の試験体について、螺合長さをパラメータとした最大耐力を示す。また、同グラフ上に指針³⁾によるボルトの抜けだし耐力式(1)、参考文献⁴⁾による耐力式(2)を重ねてプロットしている。なお計算に用いる螺合長さは、ボルト・長ナットの面取りの合計 8 mm を無効とした有効螺合長さ $L_e (=L-8)$ とした。

$$P = 0.69 \times \pi \times d_2 \times L_e \times \sigma_u / \sqrt{3} \quad (1)$$

$$P = 0.875 \times \pi \times d \times L_e \times \sigma_u / \sqrt{3} \quad (2)$$

d_2 はボルトの有効径 (=33.4 mm)、 d はボルト呼び径 (=36.0 mm) である。

無効部分を考慮して算出したねじ山の破断耐力評価式(1、2)と実験結果を比較すると、実験結果は、(1)式に対して+17～+49%、(2)式に対しては-14%～+9%となった。

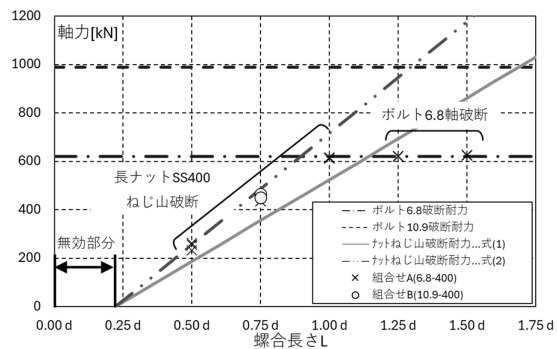


図7 螺合長さLと最大耐力の関係(長ナット SS400)

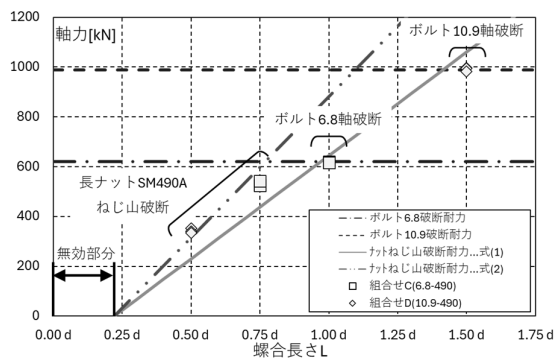


図8 螺合長さLと最大耐力の関係(長ナット SM490A)

4. まとめ

本研究では、免震接合部に用いられる長ナット・ボルト接合部を対象として要素実験を行い、螺合長さが破壊形式および最大耐力に及ぼす影響について検討した。

その結果、長ナットがSS400の場合、螺合長さ1.00 d以下では長ナットねじ山破断が支配的であり、1.25 d以上ではボルト軸破断に遷移することが確認された。また、長ナットをSM490Aとした場合には、比較的短い螺合長さにおいてもボルト軸破断が生じる傾向が見られた。

既往指針に示されるねじ山破断耐力評価式と実験結果を比較した結果、面取り部を考慮した有効螺合長さを用いることで、参考文献⁴⁾の耐力式は実験結果を概ね±10%程度の精度で評価できることが確認された。

参考文献

- 1) 中塚他：免震装置取付部のアンカーボルトの引抜耐力実験（その1～3），日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)，2025年9月
- 2) 日本建築センター：建築新技術レポート 性能評価・評定/審査証明 2000.6-2009.3 2010年6月
- 3) 日本免震構造協会：免震部材の接合部・取付け躯体の設計指針 第4版
- 4) 吉本成香他：機械設計—機械の要素とシステムの設計—（第2版），オーム社，2017年11月