

建築構造用アンカーボルトの破断伸び性能に関する実験的研究 (その1 追加引張試験)

212-901 エフソノフ ファイザリ

1 序

大地震時の露出形式柱脚部の必要回転量は 0.03rad 程度とされている¹⁾。アンカーボルト(以下 A.Bt)の塑性変形によってこの回転量を確保するには、有効引張長さ L_e (ナット間長さ)が曲げ回転半径と等しい場合、3%程度の伸びに相当する塑性変形があれば良いことになる。現在 JIS で規格化されている構造用転造両ねじアンカーボルトセット(ABR)と構造用切削両ねじアンカーボルトセット(ABM)において、ABR では 10%程度の伸び性能、ABM では 3%程度の伸び性能が保証されているものの、その定量的な根拠は示されていない。以上の背景から、既往実験^{1), 2)}が行われている。この実験では、M36(ABM)のねじ山の加工精度が規格値を満足していなかった。本実験では、ねじ山の加工精度が破断位置や破断伸びに影響すると考えられるため、再製作したものを使用して追加試験を行い、切削ねじ(ABM)アンカーボルト(以下 A.Bt)の破断性状について検討する。

2 実験計画

本試験では破断伸び性能に影響を及ぼすと考えられる以下のパラメータを設定した。

- ・ 鋼種：ABM400, ABM490
- ・ ナット数：シングル, ダブル
- ・ 製造メーカー：A社, B社

本実験で用いた試験体の形状および寸法を図1に示し、使用する A.Bt(丸鋼)の材料試験結果を表1に併記する。A.Bt セット計 16 組(各 2 本)に表2に示すようなパラメータを設定する。同表には、ねじの実測寸法を併記している。規格の公差を満たさないものにハッチを掛けている。既往実験では A 社・B 社ともアンカーボルトが規格を満足せずに、再製作しているが、本実験では A 社が規格を満たす一方、B 社は再び規格を満たさなかった。

表1 丸鋼の材料試験結果

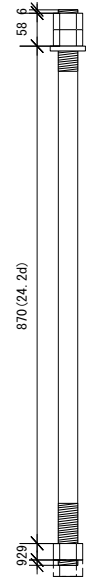
		降伏強さ σ_y (N/mm ²)	引張強さ σ_u (N/mm ²)	降伏比 YR (%)	一様伸び ϵ_u (%)	破断伸び ϵ_f (%)
ABM 400	M36(A社)	302.3	462.7	65.3	21.2	33.0
	M36(B社)	297.7	458.0	65.0	23.1	31.8
規格値		235~355	400~510	~80	-	22~
ABM 490	M36(A社)	340.0	546.0	62.3	17.4	32.9
	M36(B社)	345.7	534.3	64.7	18.4	28.7
規格値		325~445	490~610	~75	-	21~

3 実験結果と考察

3.1 実験結果

引張試験結果の一覧を表2に示し、実験より得られた

荷重 P -平均軸歪 ϵ_{ave} 関係を図2に示す。どの試験体も軸部降伏耐力前後で降伏していることが分かる。その後、シングルナットとした試験体は、ねじ部最大耐力を迎える前に耐力が急激に低下し、ねじ山せん断破壊が生じる。ダブルナットとした試験体は、ねじ部最大耐力を超え、緩やかに耐力が減少してからねじ部で破断が生じる。表2を見ると、シングルナットとした試験体ではいずれもねじ山でせん断破断が生じ、破断伸びは、ABM400 では 3.6~6.0%、ABM490 では 0.9~4.9%となった。一方、ダブルナットとした試験体ではいずれもねじ部で破断が生じており、破断伸びは、ABM400 では 8.7~10.3%、ABM490 では 6.6~8.6%となり、シングルナットと比べ約 1.7 倍となった。表2から、A社に比べ、B



M36

図1 A.Btの形状および寸法

社の破断伸びがやや低い傾向にある。これは、A社はねじ部有効径が規格値を満足しているのに対して、B社は規格値を下回っていたので、伸び性能が劣ったものと考えられる。どの試験体も軸部降伏耐力前後で降伏していることが分かる。その後、シングルナットとした試験体は、ねじ部最大耐力を迎える前に耐力が急激に低下し、ねじ山せん断破壊が生じる。ダブルナットとした試験体は、ねじ部最大耐力を超え、緩やかに耐力が減少してからねじ部で破断が生じる。

3.2 最大耐力の評価

軸部引張破断、ねじ部引張破断、ねじ山せん断破壊を表す耐力として、次式¹⁾を用いる。

$$P_{bu} = A_b \sigma_u \quad (\text{軸部最大引張耐力}) \quad (1)$$

$$P_{seu} = A_{se} \sigma_u \quad (\text{ねじ部最大引張耐力}) \quad (2)$$

$$P_{stu} = a \pi d_1 L_{ne} \tau_u \quad (\text{ねじ山せん断耐力}) \quad (3)$$

$$a = (0.75 - (|\Delta d_2| + \Delta D_1) / \sqrt{3P}) \quad (4)$$

ここに、

A_b : 軸部断面積, A_{se} : ねじ部断面積, σ_u : 鋼材の引張強度, τ_u : 鋼材の最大せん断強度 ($=\sigma_u/\sqrt{3}$), d_1 : おねじ谷の径の基準寸法, L_{ne} : ナットねじ部の有効高さ, Δd_2 : おねじ有効径の誤差, ΔD_1 : めねじ内径の誤差, P : ねじ山のピッチ

以上の式を用いてそれぞれの耐力を算定したものを表2に併記する。表2を見るとダブルナットの試験体では、

実験値 eP_{max} と耐力計算値の最小値が概ね一致しており、破断位置も対応しているが、シングルナットの試験体では、 P_{stu} が最小値となっており、ねじ部での破断が予測されたが、本試験ではすべての試験体でねじ山せん断耐破壊が生じた。

本節においては、ねじ山せん断破壊に影響すると考えられる式(4)で表されるかかり率 a について考察する。おねじとめねじのねじ山かかり長さの有効率をかかり率 a と呼ぶ。基準ねじ山形の時を $a=1$ とし、公称寸法時を $a=0.75$ と定めている。公称寸法時のねじ山高さは、基準ねじ山高さ H から $1/4H$ 減じた値となるからである。しかし、ねじの製造においてねじ山に誤差が生じることを考慮すると、かかり率はより小さくなる

図2にシングルナットとした試験体を対象としたABM400・ABM490(M36)における、 $a \cdot eP_{max}/P_{stu}$ 関係のグラフを示す。 eP_{max} は引張試験実験値の最大値である。2016年度実施の試験体は、ねじ山が規格寸法値を満たしていなかったのかかり率は小さくなっており、おおよそ $a=0.5$ の値となっており、 eP_{max}/P_{stu} は1.0前後の値となっている。一方2017年度では、ねじ製造の精度を高め、かかり率を大きくしたことにより、おおよそ $a=0.7$

の値となっているが、 eP_{max}/P_{stu} は0.75程度となり、実験値が計算値を大きく下回る結果となった。この要因として、ねじ山に作用する引張応力とせん断応力が関係していると考えられる。ねじ山の先端側に比べ谷側に近い方が引張応力が大きくなる。よって、 a が大きくなると、より小さいせん断応力で破壊し想定した計算値より実験値が小さくなったと推察される。以上の傾向を計算値に反映するために、次式の係数 b を P_{stu} に乗じたねじ山せん断耐力 P'_{stu} を新たに提案する。

$$b = -a + 1.5 \quad (\text{ただし, } b \leq 1) \quad (5)$$

この P'_{stu} は、 eP_{max} の概ね対応することが表2からわかる。

4 結

規格を満足するよう再製作されたアンカーボルトの追加引張試験を実施した。ダブルナットの場合は、ほぼ同様の性能が発揮されたが、シングルナットの場合は、より高い最大耐力が得られた。ただし、耐力計算値より低い傾向が見られたため、評価式を修正する方法を提案した。

参考文献

- 1) 中田雄斗, 向出静司, 村岡良亮, 多田元英: 建築構造用アンカーボルトの破断伸び性能に関する実験的研究

(その1 アンカーボルトセットの引張試験), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-I, pp. 1165-1166, 2016. 8
 2) 中田雄斗, 向出静司, 村岡良亮, 多田元英: 建築構造用アンカーボルトの破断伸び性能に関する実験的研究 (その3 アンカーボルトセットの追加引張試験), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-I, pp. 953-954, 2017. 8

表2 試験体一覧と試験および考察結果

種類	呼び径	ナット数		A.Bt		製造メーカー	ねじ部有効径計測値(mm)	ねじ部内径計測値(mm)	破断伸び(%)	破断位置	計算値			実験値		
		上	下	全長	ねじ長さ						P_{bu} (KN)	P_{seu} (KN)	P_{stu} (KN)	eP_{max} (KN)	P_{stu} (KN)	eP_{max}/P'_{stu}
ABM 400	M36	2	1	27d	3d,3d	A	33.98	32.88	5.5	下ねじ山	478	399	509	379	401	0.95
							33.95	32.83	6.0	下ねじ山	478	398	512	384	401	0.96
						B	33.64	32.85	5.0	下ねじ山	469	394	506	369	397	0.93
							33.63	32.93	5.2	下ねじ山	471	394	495	374	396	0.94
		2	A	33.97	32.90	9.7	下ねじ部	476	390	591	397	507	0.78			
				33.97	33.00	9.5	下ねじ部	478	390	573	397	503	0.79			
			B	33.64	32.85	8.7	下ねじ部	468	386	589	394	503	0.78			
				33.63	32.93	8.7	下ねじ部	469	386	592	392	503	0.78			
ABM 490	M36	2	1	27d	3d,3d	A	33.84	32.88	4.9	下ねじ山	563	466	576	455	470	0.97
							33.80	32.80	4.7	下ねじ山	564	465	576	455	470	0.97
						B	33.61	32.93	3.9	下ねじ山	546	454	545	427	458	0.93
							33.64	32.95	3.7	下ねじ山	548	455	546	421	458	0.92
		2	A	33.76	32.85	7.6	下ねじ部	559	459	701	468	599	0.78			
				33.79	32.85	7.7	下ねじ部	560	460	709	477	601	0.79			
			B	33.62	33.10	7.5	下ねじ部	547	450	637	457	574	0.80			
				33.64	32.90	7.4	下ねじ部	547	451	683	458	586	0.78			

注①d: おねじの呼び径 ② P_u は P_{bu}, P_{seu}, P_{stu} の最小 ③ ねじ部有効径を満足していないものはハッチングをしている

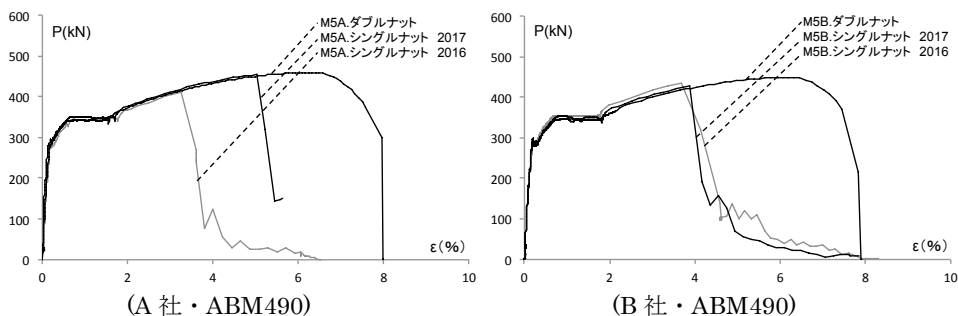


図2 荷重一歪関係

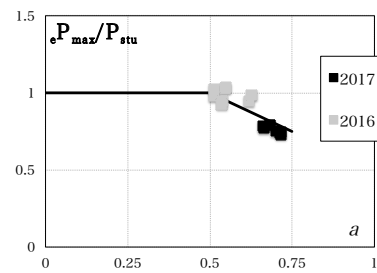


図3 eP_{max}/P_{stu} とかかり率 a の関係

(向出研究室)