

# 建築構造用アンカーボルトを用いた露出柱脚の大変形域挙動に関する実験的研究

## 1. はじめに

近年の地震工学の成果により、建築基準法の想定を超えるような超大地震が近い将来発生する可能性が指摘されており、その際、鋼構造露出柱脚においてはアンカーボルト（以下 A.Bt）が破断することが懸念される。建物の倒壊挙動を把握するためにはその破断限界を把握する必要があるが、著しく大きい回転角が柱脚に生じ、最大耐力を超えて A.Bt が破断に至るような実験例はない。文献 1) では、A.Bt 頂部付近の局所的なせん断曲げ変形が破断伸び性能に及ぼす影響に着目し、簡易な曲げ引き抜き試験に基づきその破断限界の評価方法を提案している。本論では柱脚形式の荷重実験を行い、その妥当性について検討する。

## 2. 実験計画

本実験に用いる試験体形状・荷重装置を図 1 に示す。試験体 1 の露出柱脚には ABR490 の A.Bt を 4 本使用し、試験体 2 で ABR400、ABM400 を正方向・負方向でそれぞれ曲げ引張側となるようそれぞれ 2 本ずつ用いる。

表 1 には材料試験から求めた A.Bt の素材試験結果、表 2 にコンクリートとグラウト材の素材試験結果を示す。

試験体には軸力比 0.1 の一定軸力をかけ、荷重には水平加力用オイルジャッキと鉛直加力用オイルジャッキを用いる。また横座屈防止のため横補剛治具を設けている。

表 1 鋼材の材料試験結果

鋼種	サイズ	降伏強さ $\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	引張強さ $\sigma_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	降伏強さ YR (%)	一様伸び $\epsilon_v$ (%)	破断伸び $\epsilon_f$ (%)
ABR400	M24	312	447	69.8	23.7	32.8
ABR490	M24	342	548	62.3	17.2	28
ABM400	M24	305	461	67.9	21.9	32.3

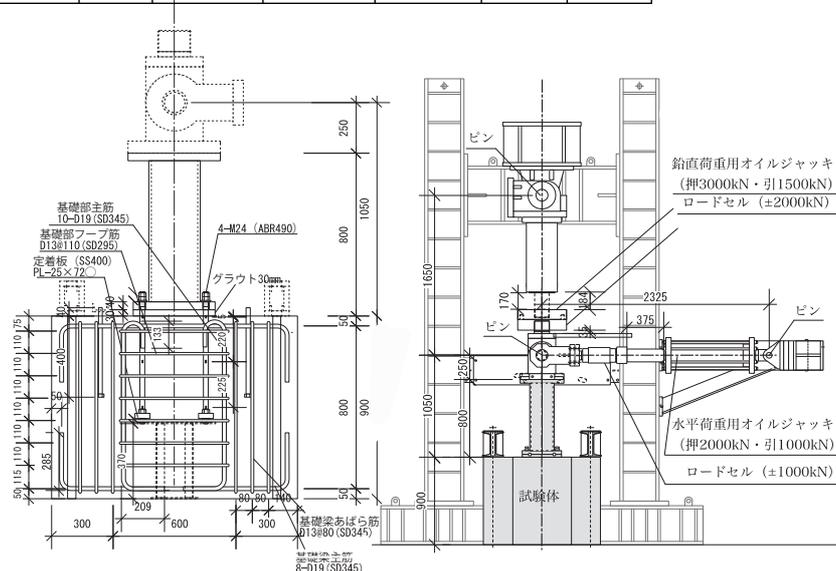


図 1 試験体形状・荷重装置

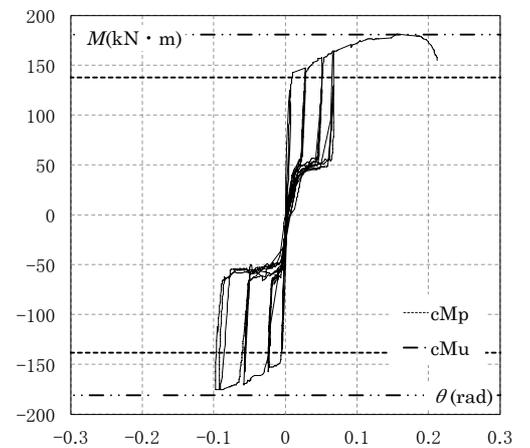
荷重履歴は 1 サイクル目に 0.5  $\theta_y$  の変形量を正負に与え、全塑性曲げ耐力計算値  $M_p$  に対応する部材角  $\theta_p$  に対して 2  $\theta_p$ 、4  $\theta_p$ 、6  $\theta_p$  の変形量をそれぞれ 2 サイクルずつ与えた後、A.Bt が破断に至るまで正側に単調荷重を行う。ABR400 の試験体については ABM400 の破断後に負側に単調荷重を行う。

## 3. 実験結果及び考察

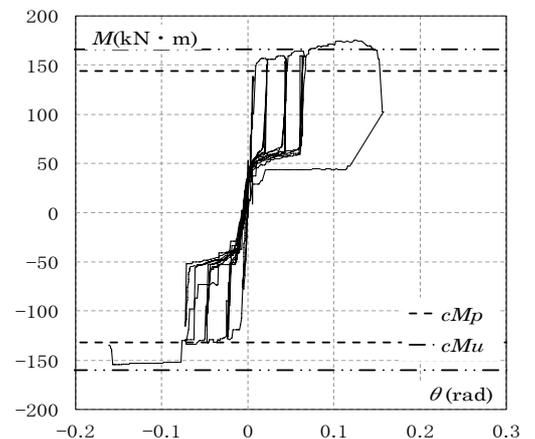
○荷重-変形関係：本章では本実験で得られた結果と、文献 1) の曲げ引抜き試験結果とを比較する。本実験で得られた各試験体の柱脚曲げモーメント  $M$ -柱脚回転角  $\theta$  関係を図 2 に示す。A.Bt の破断位置は曲げ引抜き試験同様、ABR シリーズの試験体は全て軸部で破断が生じ、ABM の試験体は全てが上ねじ部で破断が生じた。

表 2 コンクリート・グラウト材の材料試験結果

	圧縮強度 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 $E_c$ (N/mm <sup>2</sup> )
コンクリート	23.8	23400
グラウト材	54.4	23300



(a) 試験体 1



(b) 試験体 2

図 2  $M$ - $\theta$  関係

○中立軸の考察：試験終了後、試験体を確認したところ基礎コンクリートに変状は見られず、ベースモルタルのグラウト材にひび割れやベースプレートによって圧縮された痕が見られた。この痕を元に曲げ圧縮側から測定した中立軸長さを表3に示す。一般化累加強度式により最大耐力を算出する際に中立軸位置  $x_n$  が得られる。耐力算定時と同様にコンクリート圧縮強度  $c\sigma_B$  を用いて算出した  $x_n$  に加え、グラウト圧縮強度  $g\sigma_B$  に置き換えて算出した  $x_n$  の計算結果を表3に示す。中立軸位置はグラウト圧縮強度  $g\sigma_B$  で算出した  $x_n$  の計算結果が実験結果と良い対応を示したことがわかる。写真1に載荷後のグラウト材の状態を示す。

○最大耐力の考察：表4には本試験で得られた全塑性耐力と最大耐力の実験値と露出柱脚の一般累加強度式から導出した計算値との比較値を表す。全塑性曲げ耐力、実験値  $eMp$  および最大耐力、実験値  $eMmax$  は、それぞれの計算値  $cMp$ 、 $cMu$  と概ね良い対応を示している。曲げ引抜き試験で曲げが作用した時の A.Bt の最大耐力は純引張試験に比べ9割程度に性能が低下したが、今回の柱脚試験で算定した最大耐力は実験結果の終局曲げモーメントと良い対応を示していた。つまり、最大耐力算定時の応力中心距離が1割程度大きくなったと考えられる。このことは上述の通り、実験の破壊性状に則してグラウト圧縮強度  $g\sigma_B$  を用いて算出した  $x_n$  が、コンクリート圧縮強度  $c\sigma_B$  を用いた場合よりも40mm程度大きくなることと符合する。

○破断伸びの考察：破断が生じた時点での回転半径と、曲げ引抜き試験及び柱脚試験における破断伸び  $\delta_{ub}$  を純引張試験で得た破断伸び  $\delta_{ut}$  で除して無次元化した  $\delta_{ub}/\delta_{ut}$

$\delta_{ut}$  との関係性をプロットした図を図3に示す。本実験の回転半径  $Dr$  はグラウト材の圧縮強度による  $x_n$  に基づいた値を図示している。曲げ引抜き試験では回転半径  $Dr$  が  $10d$ 、 $20d$  となるよう制御して実験を行った

ABR490の伸び性能は曲げ引抜き試験の近似曲線<sup>1)</sup>に近い値が得られたことから想定通りの伸び性能が得られたと言える。ABR490の試験体は負側で  $\theta = -0.1\text{rad}$  の変形が与えられたが、荷重を除荷したところ正側で曲げ引張側となる A.Bt が概ね元の位置に戻ったことから負側での曲げせん断変形がほぼ弾性内であったと推察される。ABR400はABM400の破断後に単調載荷を行ったため、ABR400は正側に  $\theta = 0.16\text{rad}$  に相当する曲げの変形を与えられたことになる。ABR400の A.Bt が負側で破断する前には正側で A.Bt が曲げせん断変形し塑性化していたことから、大きく伸び性能が失われていたと考えられる。しかしながら、地震時には正負両方向にこのような大きな変形が生じるとは考えられず、現実的には問題にならないと考えられる。表5には A.Bt 破断時の柱脚回転角  $\theta_u$  を表す。

本論の柱脚試験と曲げ引抜き試験において、曲げ変形が作用することによる影響が最も大きいのはコンクリート上面付近の軸部であるが、ABM400の A.Bt ではねじ部で破断が生じたかことから、曲げの影響をほとんど受けないと考えられる。図3(b)からも  $\delta_{ub}/\delta_{ut}$  と  $Dr$  の相関性がないことがわかる。

#### 4. 結論

本論では露出柱脚の柱脚試験において A.Bt の破断限界を定量的に把握することを目的とし、昨年行われた曲げ引抜き試験と比較することで破断伸び性能に及ぼす影響について考察し、その性能を定量的に評価した。

#### 参考文献

- 1) 中田雄斗, 他 3 名: 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2) 日本建築学会大会概観集, C-1 分冊, PP. 1165-1166, 2016. 8

表3 中立軸位置

試験体名	曲げ引張側 アンカーボルト	中立軸長さ $x_n$ (mm)			
		$c\sigma_B$ 代入 計算値	$g\sigma_B$ 代入 計算値	実験値	
試験体1	正	ABR490	82	38	35
	負				
試験体2	正	ABM400	78	37	33
	負	ABR400	74	34	35

表4 柱脚曲げモーメント

試験体	曲げ引張側 アンカーボルト	計算値		実験値		実験値/計算値		
		$cMp$ (kN·m)	$cMu$ (kN·m)	$eMp$ (kN·m)	$eMmax$ (kN·m)	$\frac{eMp}{cMp}$	$\frac{eMmax}{cMu}$	
試験体1	正	ABR490	136	172	129	179	0.95	1.04
	負				150	181	1.10	1.05
試験体2	正	ABM400	142	164	156	176	1.10	1.07
	負	ABR400	130	153	118	154	0.91	1.00

表5 破断時の柱脚回転角

試験体	曲げ引張側 アンカーボルト	$\theta_u$ (rad)			
		$c\sigma_B$ 代入 計算値	$g\sigma_B$ 代入 計算値	実験値	
試験体1	正	ABR490	0.25	0.22	0.22
	負				
試験体2	正	ABM400	0.15	0.13	0.16
	負	ABR400	0.34	0.29	0.15

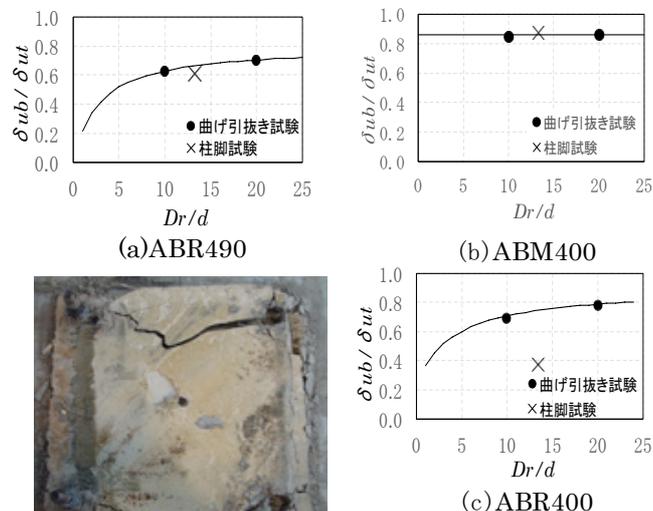


写真1 グラウト材破壊性状



図3  $\delta_{ub}/\delta_{ut}-Dr$  関係 (向出研究室)