

[101] 張力を導入したアンカーボルトの挙動

佐藤邦昭（鹿島建設建築設計本部）

佐伯俊夫（鹿島建設 技術研究所）

正会員 ○坂本光雄（鹿島建設建築設計本部）

前田祥三（鹿島建設建築設計本部）

1. 序

筆者らは、鋼構造露出型柱脚に以下に列記するような特徴をもつ固定度の高い柱脚工法（ハイベース工法、図-1参照）を開発し、一連の実験報告を行うとともに柱脚の弾性回転剛性の評価式を提案してきた。^{1)~2)}

- (1) ベースプレートに剛性と耐力の大きい鋳鋼製柱脚金物（以下、ハイベースと称す）を用いる。
- (2) アンカーボルトに導入張力（ $0.5\sigma_y$ 程度）を与える。
- (3) アンカーボルトをアンボンド形式とし、先端の定着部はアンカーフレームにて固定する。
- (4) ハイベース下モルタルを高強度無収縮モルタル後詰めとする。

本報告は、この工法の弾性回転剛性の再評価と終局耐力式の確立のために、それらの重要な要因である張力を導入したアンカーボルトの弾塑性挙動を実験で調べ実際の設計、施工への適用に必要な項目を評価したものである。

2. 実験計画

2-1 試験体 試験体一覧を表-1に、形状を図-2に示す。またアンカーボルトの形状の詳細を表-2に示す。ねじ部の全長に対する比は、余長を除いて20%である。試験体は実構造物で用いる条件を考慮して決めており、アンカーボルト径はM30とM42、長さはこの工法の標準である $20d$ （ d はアンカーボルト軸径）としている。コンクリート埋込部分はビニールシートを巻き付けてアンボンドとし、定着部のアンカプレートはプレストレストコンクリート設計施工規準の支圧強度の規定を参考に計算した必要面積とした。コンクリートの形状は幅をハイベースを用いた時のアンカーボルト間距離としている。これは実構造物でアンカーボルトの破断よりコンクリートのコーン状破壊が先行しないことを確認する必要がある、考えられる最小幅としたものである。コンクリート上端には、無収縮モルタル（ F_c ） $300\text{Kg}/\text{cm}^3$ ）5cm

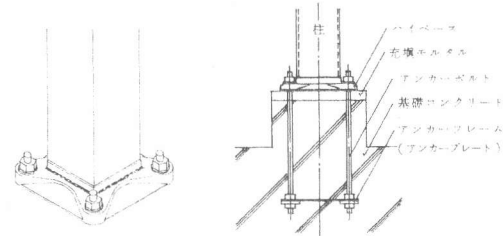


図-1 柱脚の構成（ハイベース工法）

表-1 試験体一覧表

試験体	条件	径	導入張力*	継ぎ目	アンカプレート
CB-3-5	コンクリート埋込	M30	$0.5\sigma_y$	大	900×16t
CBa-3-5			$0.5\sigma_y$	小	
CB-3-7			$0.75\sigma_y$	大	
CB-4-5	空中	M42	$0.5\sigma_y$	大	1200×22t
AB-3-0			—	—	
AB-4-0			—	—	

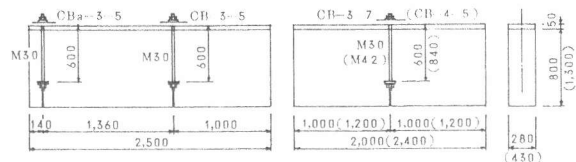
*ねじ部断面積に対して、素材試験による σ_y を基準に与える。

図-2 試験体の形状

表-2 アンカーボルトの形状

M30 (並)	M42 (並)
ねじ部長さ: 100, 580, 760, 100	ねじ部長さ: 110, 830, 1030, 140
※ねじ部	※ねじ部

表-3 素材試験結果(A. Bolt)

	σ_y (t/cm^2)	σ_u (t/cm^2)	σ_y/σ_u
M30	5.6	5.9	0.95
M42	5.7	6.1	0.93

*0.2寸 O11 s s t

表-4 コンクリート、モルタル試験結果

	コンクリート (kg/cm^2)	モルタル (kg/cm^2)
σ_c	25.0	50.9

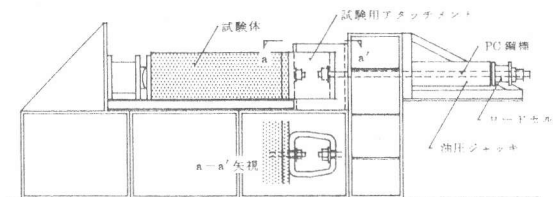


図-3 加力装置

を充填した。また比較のためコンクリートに埋込まないアンカーボルト単体の引張試験も行った。

実験に用いたアンカーボルト、コンクリート、無収縮モルタルの素材試験結果を表-3、4に示す。

2-2 実験方法 加力装置を図-3に示す。加力はハイベース位置に同じ厚さをもつ特殊なアタッチメントをセットし、PC鋼棒を介して100t油圧ジャッキにより一方向繰り返し荷重を与えた。加力サイクルを図-4に、測定方法を図-5に示す。

また、導入張力は、ナット回転法により与え、回転角の測定は約50cmのレンチで片手で一杯に締付けた点をOとし、その点からの回転量を計測した。なお、アンカーボルト単体の試験は、両側のナット部に図-3と同じアタッチメントをセットしPC鋼棒を介してアムスラー試験機により行った。加力は、単調及び繰り返し载荷とし、繰り返しの場合は図-4に示す各サイクルを1回づつとした。

3. 実験結果

3-1 アンカーボルト単体の引張試験 アンカーボルト単体の試験結果を表-5、図-6に示す。いずれもねじ部破断であり最大耐力の軸部の耐力($=Ab \cdot \sigma_u$)に対する比は、

M30の平均で0.79、M42の平均で0.83である。また弾性係数は、除荷時の値も含めて平均すると、素材($=2100 \text{ t/cm}^2$)に対しM30で0.93、M42で0.88であった。図-6には、最大耐力の平均値に素材の降伏比を乗じた降伏耐力を記入した。

3-2 荷重～変形曲線 実験結果の一覧を表-6に、荷重～変形曲線と包絡線を図-7、図-8に示す。いずれもねじ部破断であり、最大耐力は、アンカーボルト単体の結果より4～5%上回った程度でほぼ同じと言える。コンクリートの縁あきの少いCBa-3-5は最大耐力の90%程度の荷重でアンカープレート付近よりコーン状のひびわれが生じたが、その後最大耐力までひびわれの進展はみられなかった。

一方、弾性域での変形性状は、アンカーボルトの導入張力がねじ部断面に対し $0.5\sigma_y$ と $0.75\sigma_y$ の試験体(CB-3-5,7)とも、アンカーボルト離間までの剛性はほぼ同一であり、アンカーボルト素材の弾性剛性($E \cdot Ab/L$)の5～8倍である。アンカーボルトの離間荷重は、貼付したW.S.G.から算定すると導入張力値に対し0.84～1.26であった。離間荷重に達した後の剛性は、アンカーボルト単体の剛性を下回り、素材の剛性による直線とアンカーボルト降伏荷重の交点(図-7中のA)へ志向する傾向を示す。

3-3 アンカーボルト定着部の変形 アンカーボルト定着部の支圧による変形を図-9に示す。離間荷重までは、定着部の変形はみられないが離間荷重後徐々に増えはじめ、最終的には0.5～1.0mm程度となった。

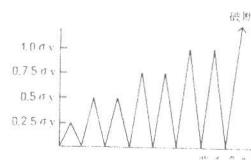


図-4 加力サイクル

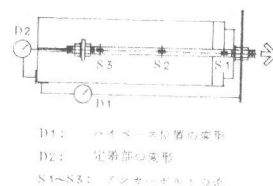


図-5 測定方法

表-5 アンカーボルト単体の試験結果

径	Tmax(t)		Tmax/Ab (t/cm ²)	Ty*	eE/E	有効断面積 Ac(cm ²)	Tpred(t)	Tmax/Tpred
	荷重値	平均						
M30	33.1	33.0	4.67	3.13	0.93	5.60.6	3.31	1.00
	32.2							
	33.6							
	70.3							
M42	67.9	69.9	5.05	6.53	0.88	1.12.1	6.64	1.02
	67.9							
	71.5							

* $T_y = T_{max} \times (\sigma_y / \sigma_u)$

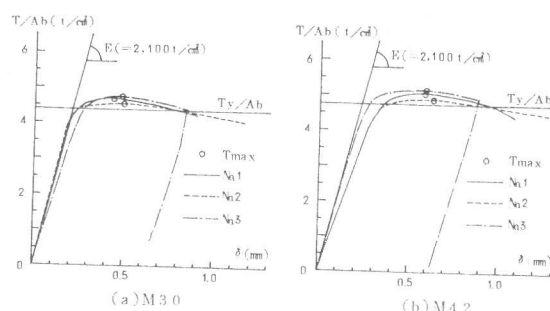


図-6 アンカーボルト単体の荷重～変形曲線

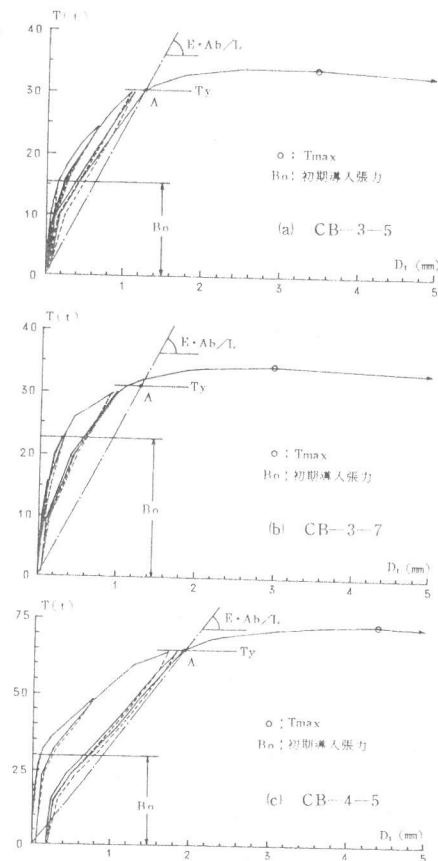


図-7 荷重～変形曲線

この値は全体の変形量の10~15%である。

3-4 荷重～アンカーボルト歪関係 荷重（外力）と

アンカーボルト歪の関係を図-10に示す。図中に素材の荷重～歪関係($E \cdot \Delta b$)を記入した。導入張力によりアンカーボルトに初期歪が生じるが、外力が離間荷重に達するまでは、初期歪の15~20%の歪増加である。また離間荷重に達した後は、それ以後の荷重の履歴により導入張力の弛緩が生じる。歪の低下量は、離間荷重後生ずる定着部の残留変形量(図-9参照)をアンカーボルト長さで除した歪量にほぼ相当している。

3-5 張力導入時のナット回転角 アンカーボルトに張力を導入した時のナット回転角と導入張力の関係を図-11に示す。導入張力が0.5 σ_y の場合で210°, 0.75 σ_y の場合で255°の回転量であり、導入張力はほぼナット回転角に比例して増加した。また導入張力が0.5 σ_y の場合について導入時から試験時までの張力のリラクゼーションを観測した。経過時間が約24時間の場合で導入時の9~11%にあたる1.5~2.0tの低下がみられたが、経過時間が1週間の場合は24時間以後の低下はみられなかった。

4. 考 察

4-1 最大耐力 表-5及び表-6にJISB1180に規定するねじ部断面積に素材の σ_u を乗じて計算した T_{pred} 及び実験結果との比を記入した。

アンカーボルト単体の場合で T_{max}/T_{pred} が1.00~1.02, コンクリートに埋込まれたアンカーボルトで1.03~1.06である。この結果からねじ部の有効断面積は、JISB1180に規定する値とすればよいことがわかる。また導入張力の有無は最大耐力に影響を及ぼさないことが確認された。

一方、アンカーボルト定着部の最大荷重時の支圧応力度を計算すると、M30の平均で606Kg/cm², M42で729Kg/cm²である。これはそれぞれ2.4 σ_c , 2.9 σ_c ($\sigma_c=250\text{Kg/cm}^2$)であり σ_c を大きく越えているが図-7の荷重～変形曲線には特に悪影響はみられない。従って定着部はPC規準を参考に算定した必要面積を確保すればよいと判断される。また最大荷重の90%程度でコーン状のクラックが生じたCBa-3-5の耐力を各種アンカーボルト設計指針(案)4.1.1により図-12に示す方法で算定すると32.6tである。これは実験値の30tに近い値であり、太径についても同規定が適用可能と思われる。従って絞あきが小さかったり、アンカーボルト強度が大きかったりする場合はこの規定によりコーン状破壊の検討を行っておく必要があるが、一般的には20dの定着長さがあればよいことが確認された。

4-2 弾性域での変形状 実験結果から導入張力を与えたアンカーボルトの弾性域での変形状を整理して以下に列記する。

- (1) 離間荷重はほぼ導入張力に等しい。
- (2) 離間荷重までの剛性は直線を示し、素材の剛性($E \cdot \Delta b / L$)の5~8倍である。これは外力が作用した時にボルトに生ずる付加張力を荷重とした時の剛性に相当する。

表-6 実験結果一覧表

試験体	導入張力 H_0 (t)	離間荷重 T_s (t)	T_{max} (t)	有効断面積 A_e (cm ²)	T_{pred} (t)	T_{max} T_{pred}	NOTE
CB-3-5	15.6	16~18	34.0			1.03	1) 破壊モードは 全てねじ部断 2) CBa-3-5は、 T=30tにてコーン 状クラックが発生
CBa-3-5	15.9	15~17	34.5	5.606	5.53	1.04	
CB-3-7	22.6	22~25	34.1			1.03	
CB-4-5	29.8	25~28	72.3	11.21	6.64	1.06	

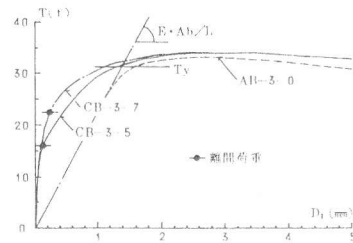


図-8 包絡線(M30)

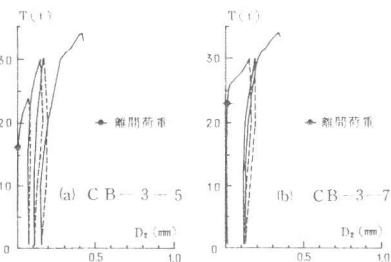


図-9 定着部の荷重～変形曲線

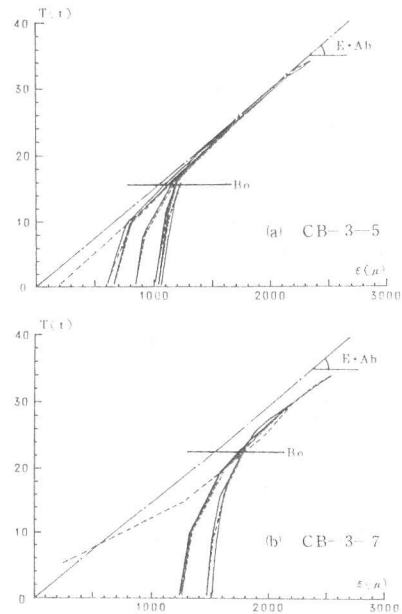


図-10 荷重～アンカーボルト歪曲線

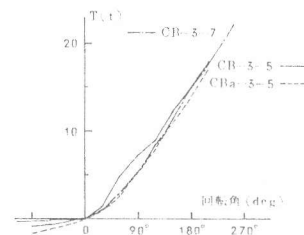


図-11 導入張力～ナット回転角関係

(3) 離間荷重での歪の増加量は初期歪の15~20%である。また離間荷重以下での繰返し載荷による歪の弛緩は認められず剛性の低下もない。

(4) 離間荷重に至るまでの定着部の変形はない。

(5) 離間荷重後、定着部の変形が徐々に増加する。

(6) 離間荷重を越えた繰返し荷重の履歴によりアンカーボルト導入

歪の弛緩が生じ、その後のサイクルにおける弾性剛性も低下する。図-12 コーン状破壊耐力 図-13 有効径(d_{co})

(7) 導入歪の低下量は、定着部の残留変形量をアンカーボルト長さで

除した値にほぼ相当している。

まず、離間荷重までの付加張力について考える。高力ボルト接合設計施工指針によれば、付加張力は(1)式で評価でき(1)式は(2)式に置換できる。(2)式中の A_c を求める

$$\Delta T = \frac{K_b}{K_b + K_c} \cdot T \dots (1) \quad \Delta T = \frac{1}{1 + \kappa} \cdot T, \quad \kappa = \frac{K_c}{K_b} = \frac{A_c}{n \cdot A_b} \dots (2)$$

ΔT : 付加張力

A_b : アンカーボルトの断面積

K_b : アンカーボルトのばね定数

A_c : コンクリートの有効断面積

K_c : コンクリートのばね定数

n : ヤング係数比

T : 引張力

ための有効径 d_{co} を図-13のように仮定し、ヤング係数 n を1.0とすると、(2)式よりM30で $\Delta T = 0.17T$, M42で $\Delta T = 0.11T$ が得られる。これらは実験値のM30で $\Delta T = (0.15 \sim 0.20)T$, M42で $\Delta T = 0.12T$ と近似する。従って A_c は、図-13に示す d_{co} を用いて求めることが可能と考えられる。そして離間荷重までの剛性は、付加張力を荷重とした時の剛性と評価できるので素材の剛性($E \cdot A_b / L$)の $(1 + \kappa)$ 倍とみなせる。(2)式をもとに上述と同じ仮定により $(1 + \kappa)$ を求めるとM30で5.94, M42で9.09であり、この値をもとに離間荷重までの剛性を直線で評価すると図-14中のO-Bとなる。一方、離間後の変形曲線は前述のように図-7に記入したA点へ向う傾向を示す。そこで離間後の荷重～変形関係をモデル化したものが図-14であり、図中の実験結果の包絡線と比較してもよい近似を示していると言える。

5. まとめ

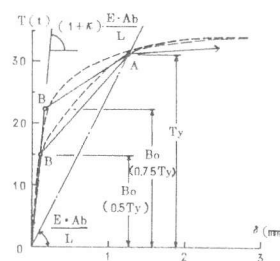
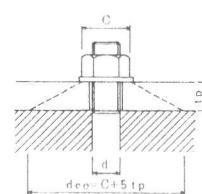
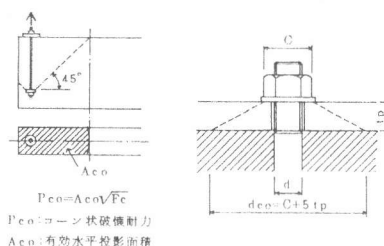
張力を導入し、アンボンド形式としたアンカーボルトについて、今回の実験より得られた結論を以下に示す。

- (1) アンカーボルトの最大耐力は導入張力の有無に左右されず、また有効断面積はJIS B1180に規定する値でよい。
- (2) アンカーボルトの長さは $20d$ でよい。ただし縁あきの小さい場合や強度の大きいアンカーボルトを用いる場合は、コンクリートのコーン状破壊の検討が必要である。
- (3) 弾性剛性は、離間荷重までと降伏荷重までの2種類の直線で評価できる。
- (4) 離間荷重と導入張力はほぼ等しく、離間荷重時の変形は付加張力から求めることができる。
- (5) 付加張力を得るためのコンクリートの有効径は、ナット最大径+5×ハイベース板厚として求めることができる。
- (6) 降伏荷重時の変形は、軸部の弾性剛性($E \cdot A_b / L$)で求めればよい。

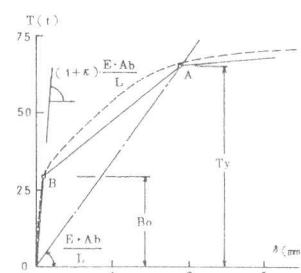
本実験に際し、御指導頂きました東京大学加藤勉教授に感謝いたします。また本研究は日立金属㈱との共同研究として行ったものであります。

参考文献

- 1) 佐藤、富田他; 鉄鋼製柱脚金物を用いた柱脚に関する研究(その1) A I J 大会, 昭53.9
- 2) 佐藤、坂本他; 全 上 (その2), (その3) A I J 大会, 昭56.9
- 3) 各種アンカーボルト設計指針(案), 建築雑誌Vol. 99, No. 1216, 1984.1
- 4) 高力ボルト接合設計施工指針(1972) 1.3 高力ボルト引張接合, 建築学会



(a) M30



(b) M42

図-14 荷重～変形関係のモデル化