

論文

[2063] アンダーカット型アンカーボルトの性状に関する研究

正会員○百瀬光広（長岡技術科学大学大学院）

正会員 丸山久一（長岡技術科学大学工学部）

清水敬二（長岡技術科学大学工学部）

1. はじめに

コンクリート構造物に種々の付属機器設備の取り付け、あるいは鋼板等による構造物の耐震補強を行う場合、適切な接合工法が必要である。接合工法の中でアンカーボルトを用いるものとしては、メカニカルアンカー工法やケミカルアンカー工法がある。あと施工のメカニカルアンカー工法の従来型は、主としてスリーブとコンクリートとの摩擦抵抗力に依存するもので、アンカー支持力の信頼性や適用範囲に問題を残している。この問題を解決する目的で、シリンダー穿孔の先端部をさらに円錐状に穿孔する工法（アンダーカット型）が開発されている¹⁾。

本研究は、アンダーカット型のメカニカルアンカーについて工法の特徴、ならびにコンクリート強度と疲労耐力との関連について検討することを目的としている。まず、静的引き抜き試験の結果から、コンクリート破壊によって引き抜けるアンカーボルトの静的引抜耐力とコンクリート圧縮強度の関連を検討した。さらに、適用範囲の検討ということで、構造上弱点となり易い隅角部、へりあき部における静的引抜耐力について従来型とアンダーカット型の比較を行った。また、アンダーカット型については、特に、ボルト及びコンクリートの疲労特性、ならびに破壊形態等の関連性及び疲労耐力の算定方法についても検討した。

2. 実験概要

(1) 施工方法

アンダーカット型の施工方法は従来型とは異なり、特殊な治具を用いて、ボルト先端部の周辺を円錐状に穿孔してある（図1参照）。

(2) アンカーボルト

本実験には、孔径12mm、14mm（鋼材径8mm、10mm）、埋込深さ40mmのメカニカルアンカーを用いた（図1参照）。アンカーボルトの材質は、電気亜鉛タイプ（ボルト強度区分8.8；引張強さ80kg/cm²）である。

(3) 静的引抜試験

図2に実験装置と供試体の概要を示す。供試体は300×300×250mmのコンクリートブロックである。荷重の検出は

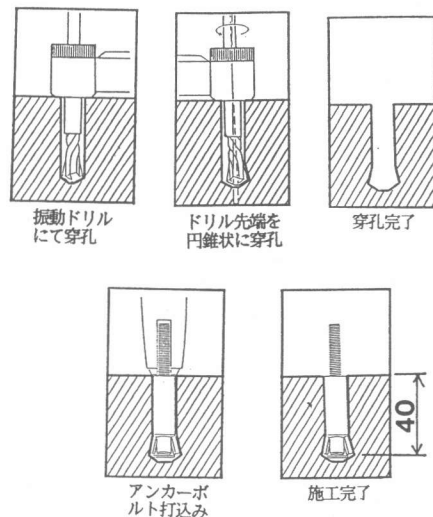


図1 施工方法

5 t o n センターホール型ロードセルで、また変位の検出はひずみ変換型変位計で行った。動ひずみ計、A/Dコンバーターを介してX-Yレコーダーに記録し、マイクロコンピュータにデータを収録した。载荷はセンターホールジャッキを用いて行った。また、コンクリート強度は $\phi 100 \times H 200$ mmの円柱供試体を用いて求めた。

隅角部、へりあき部の引抜試験については、図3(a)，(b)に示す様に深さ5 cmのスリットを設けたコンクリートブロックを用い、縁からの距離を変えて行った。

(4) 動的引抜試験

図4に実験装置の概要を示す。供試体は $300 \times 300 \times 220$ mmのコンクリートブロックである。载荷装置は、油圧サーボ型疲労試験機(5 t o n)を使用し、A/Dコンバーターを介してマイクロコンピュータにデータを収録した。

3. 実験結果及び考察

(1) 静的支持力

アンカーボルトの静的支持力は、コンクリート強度、ボルトの強度および埋込深さによって、コンクリートがコーン状に破壊する場合とボルトが破断する場合に分けられる。

コンクリート破壊の場合のアンカーボルトの静的支持力 P は、松崎らの研究によると有効水平投影面積 A_c に比例するとされている²⁾。(図5)

$$\text{静的支持力} : P = k_1 \cdot A_c \quad (1)$$

ただし、 k_1 はアンカーボルトのタイプ(ケミカル、メカニカル等)およびコンクリート圧縮強度により定まる係数である。ここで、コンクリート破壊は、コンクリートのせん断破壊であるとする、コンクリート圧縮強度の $1/2$ 乗³⁾とコーン状破壊面の面積に比例すると考えられる。

(1)式を展開すれば、コンクリート破壊する場合の耐力は次式によって求められる。

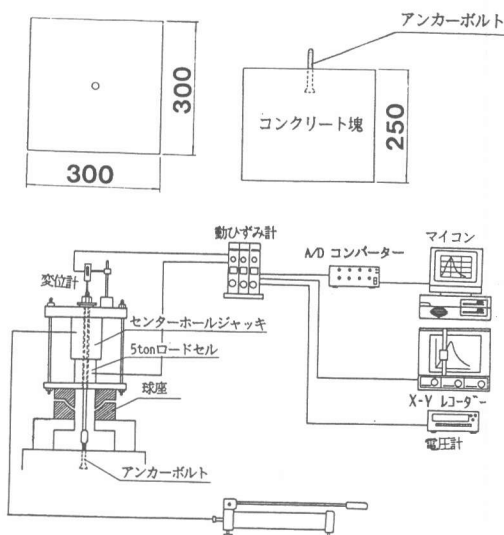


図2 静的载荷試験装置および供試体

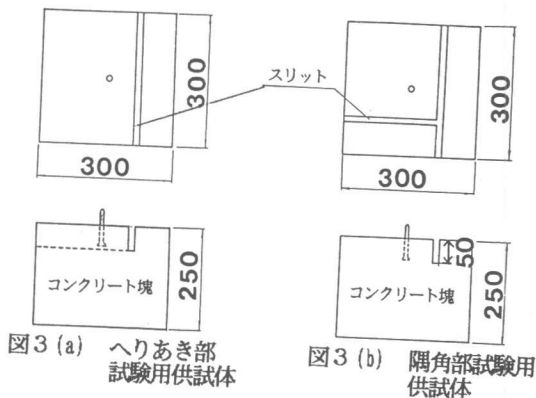


図3(a) へりあき部試験用供試体

図3(b) 隅角部試験用供試体

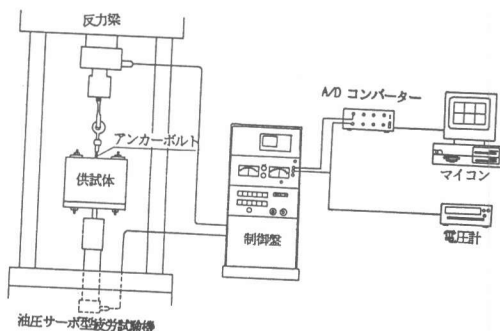


図4 動的载荷試験装置

$$P = K \cdot f c'^{1/2} \cdot Acs \quad (2)$$

K ; 係数

$f c'$; コンクリート圧縮強度 (kg/cm²)

Acs ; すべり面を 45° とした時のコーン状破壊面の面積 (cm²)

(図5参照)

従って、アンカーボルトの支持力は、
(2) 式で求められる値か、または、ボルトの破断耐力 $Ps = fu \cdot As$ の小さい方で決定されることになる。

(2) 静的引抜試験結果

図6にコンクリートの圧縮強度と係数Kの関係を示す。Kは式(2)より

$$K = \frac{P}{Acs \cdot f c'^{1/2}} \quad (3)$$

によって求められる。

図6に示したデータの平均値は1.50、
変動係数は10.7%である。K=1.50
とすれば、本研究の実験結果は式(4)で
まとめられる。

静的支持耐力：

$$P = 1.50 \cdot f c'^{1/2} \cdot Acs \text{ (kg)} \quad (4)$$

この式は、コーン状破壊耐力の算定式である。

(3) 隅角部、へりあき部の影響

隅角部、へりあき部において、縁から何cm離せばアンカーボルトの施工が可能かを調べた結果を表1に示す。

表1 隅角部、へりあき部における施工性(埋込深さ40mm)

縁からの 距離(cm)	拡張力無(14mm)		拡張力有(14mm)		拡張力無(12mm)	
	へりあき	隅角	へりあき	隅角	へりあき	隅角
2.0	●	●	●	●	◎	●
3.0	◎	●	△	●	◎	◎
4.0	◎	◎	◎	◎	◎	◎
$f c'$ (kg/cm ²)	241		241		324	

(◎: 施工可 ●: 施工不可 △: 穿孔可能だが打ち込み不可)

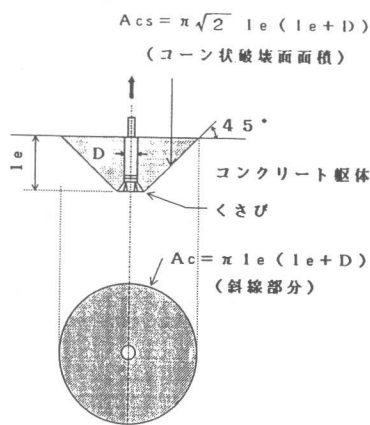


図5 メカニカルアンカーの有効水平投影面積(Ac)とコーン状破壊面面積(Acs)

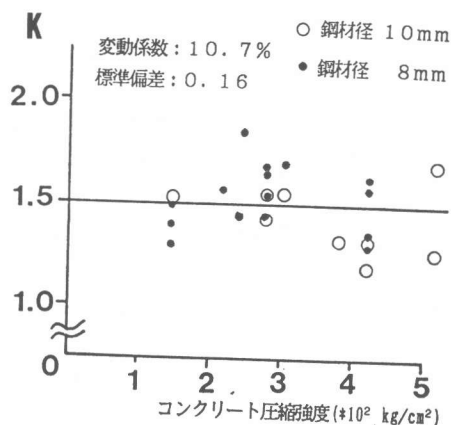


図6 圧縮強度と係数kの関係

孔径14mmの場合はアンダーカット型、従来型に関わらず、へりあき部は3cm以上離せば穿孔可能である。隅角部は4cm以上離せば穿孔可能である。孔径12mmの場合、へりあき部は2cm以上離せば穿孔可能である。隅角部は3cm以上離せば穿孔可能である。

また、アンカーボルト打ち込みでは、アンダーカット型アンカーボルトは穿孔可能なら打ち込み可能であるが、孔径14mmで拡張力の加わる従来型のアンカーボルトについては、へりあき、隅角部とも4cm以上離さなければ打ち込み可能とはならなかった。

図7に、へりあき部の縁からの距離と静的引抜耐力の関係を示す。これより、ボルト先端くさび部に拡張力の加わる従来型アンカーボルトは、拡張力の加わらないアンダーカット型アンカーボルトと比較し、静的引抜耐力が1割程度減少する。

図8に、隅角部の縁からの距離と静的引抜耐力の関係を示す。これより、従来型アンカーボルトは、アンダーカット型アンカーボルトと比較し、静的引抜耐力が2～3割程度減少する。隅角部の縁から4cmの所では、従来型アンカーボルトの引抜耐力低下が著しい。これは、アンカーボルトスリーブ打ち込み時に加わる拡張力によって、コンクリートに縮小ひびわれが発生し、それによって引抜耐力が低下したと考えられる。

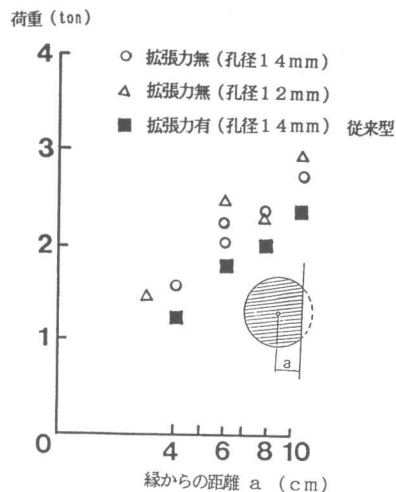


図7 へりあき部の縁からの距離と静的引抜耐力の関係

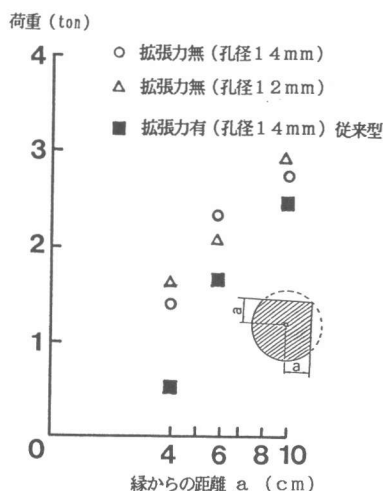


図8 隅角部の縁からの距離と静的引抜耐力の関係

(4) 動的引抜試験結果

図9にボルト破断した時の鋼材応力と繰返し回数の関係を示す。曲線は、式(5)に示すコンクリート標準示方書の算定式⁴⁾より求めたものであり、図中の●は疲労試験でボルト破断した結果をプロットしたものである。図10にはコンクリート破壊した時のコンクリートせん断応力と繰返し回数の関係を示す。直線は、式(6)に示すコンクリート標準示方書の算定式⁴⁾より求めたものであり、図中の○と●は、 $f_c' = 300 \text{ kg/cm}^2$ と 400 kg/cm^2 の供試体を用いた

ときにコンクリート破壊した結果をプロットしたものである。

$$f_{srd} = 1900 \frac{10^{\alpha}}{N^k} \left(1 - \frac{\sigma_{sp}}{f_{ud}}\right) \quad \text{---- (5)} \quad \log N = 17 \left(1 - \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{f_u - \sigma_{\min}}\right) \quad \text{---- (6)}$$

$$\alpha = 1.0 \quad (0.82 - 0.003 \phi)$$

$$k = 0.12$$

ϕ ; 鋼材の直径 (mm)

$\sigma_{\max}$; 作用最大応力

$\sigma_{\min}$; 作用最小応力

f_u ; 静的強度

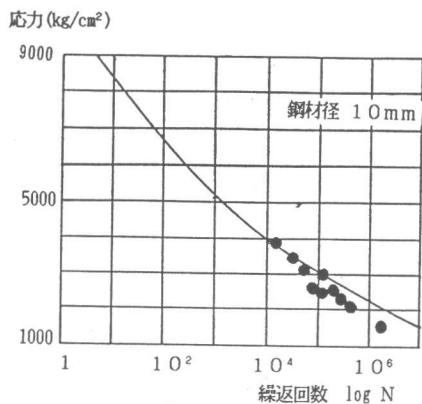


図9 鋼材応力と繰返し回数の関係(φ10mm)

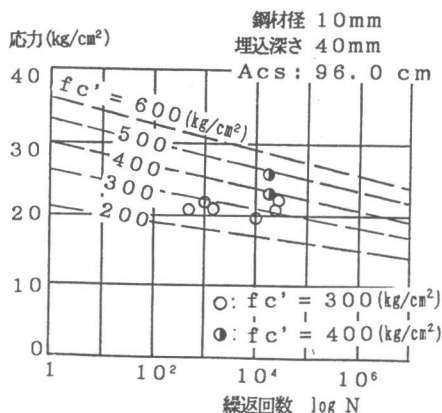


図10 コンクリートせん断応力と繰返し回数の関係(φ10mm)

図11, 12, 13にコンクリートおよびボルトの疲労耐力に関する作用最大荷重 ($P_{\max}$) と繰返し回数 (N) の関係を示す。これは、それぞれ図9, 図10の結果から荷重に換算して求めたものである。図11と図12は、鋼材径8mmと10mmのアンダーカット型アンカーボルトの疲労試験の結果を示し、図13は、図11と図12の疲労曲線を重ね合わせたものである。

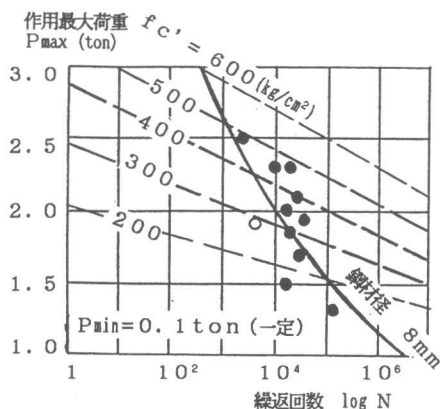


図11 コンクリートおよびボルト(φ8mm)の作用最大荷重と繰返し回数の関係

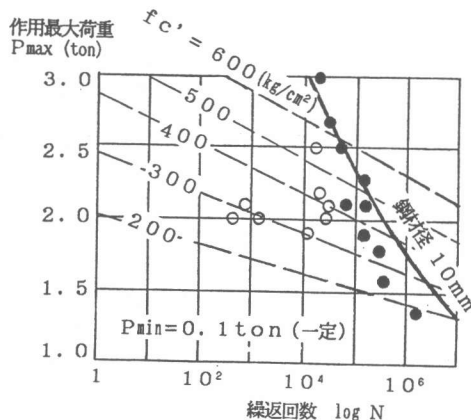


図12 コンクリートおよびボルト(φ10mm)の作用最大荷重と繰返し回数の関係

図13より、コンクリートとボルトでは傾きが異なることから両者の $P_{max} - N$ 曲線は交差する。これは、同じボルト、同強度のコンクリートでも荷重レベルが異なれば破壊形態が異なることを示している。

以上の結果から、ボルトの種類、埋込深さと耐力の関係が明らかになり、さらにコンクリート強度との関連により疲労耐力を考慮したアンカーボルトの設計が可能と考えられる。

4. 結論

アンカーボルトの静、動的引抜試験を実施した結果、以下のことが明らかになった。

- 1) コンクリート破壊により引き抜けるアンダーカット型アンカーボルトの静的引抜耐力は、コンクリート圧縮強度の $1/2$ 乗に比例すると考えてよい。
- 2) アンダーカット型アンカーボルトは従来型と比較し、より隅角部、へりあき部に近い所でも施工可能である。また、そこでの静的引抜耐力は従来法に比べて、 $1 \sim 3$ 割増加する。
- 3) コンクリートがコーン状にせん断破壊する場合の疲労耐力についても、圧縮応力下について求めた疲労耐力算定式が適用できると考えられる。従って、鋼材の種類、コンクリート強度が決定されれば、疲労耐力を考慮したアンカーボルトの設計が可能である。

謝辞

研究実施にあたり、ボッシュ株式会社には供試ボルト提供等御支援を頂いた。ここに感謝を表します。

参考文献

- 1) K. H. Lieberum and H. W. Reinhardt : Strength of Concrete on an Extremely Small Bearing Area , ACI Structural Journal , January-February 1989 , PP. 67~76
- 2) 松崎育弘 : コンクリート部材に定着したアンカーボルトの支持耐力, コンクリート工学, Vol. 22, No. 7, 1984, PP. 54~61
- 3) 日本建築学会 : 各種アンカーボルト設計指針, 合成構造設計指針, 昭和59年 1月
- 4) 土木学会 : (昭和61年制定) コンクリート標準示方書, PP. 19~20, PP. 29
- 5) 岡村 甫 : コンクリート構造の限界状態設計法, 共立出版株式会社, 1986, PP. 119~127

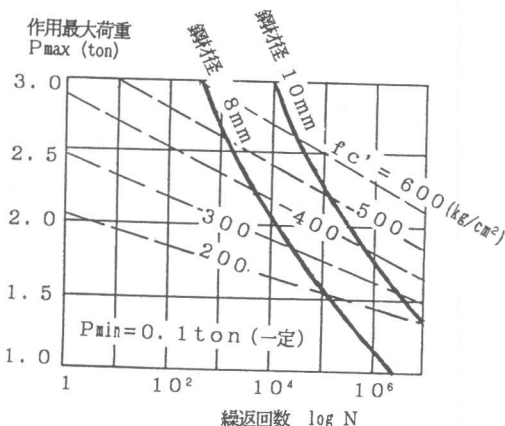


図13 コンクリートおよびボルトの作用最大荷重と繰返し回数の関係