

論文

[2135] 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（長野県）

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）

正会員 橋本親典（長岡技術科学大学工学部）

1. はじめに

著者らは先に、アンダーカット型のメカニカルアンカーボルトについて、工法の特徴、ならびに、コンクリート破壊によって引き抜ける場合の静的引抜耐力とコンクリート圧縮強度との関連性、および算定方法の検討を行った¹⁾。しかしながら、この研究は埋込深さ4cmのアンダーカット型アンカーボルトについてのみの検討であって、種々の埋込深さ、強度を有するアンカーボルトの耐荷機構、破壊メカニズムを考慮したものではなかった。

そこで本研究は、埋込深さを変えた4種類のアンダーカット型アンカーボルトについて静的引抜試験を行い、さらに、コンクリートブロック端部からボルト埋込位置までの距離（へりあき距離）をパラメータとした試験も行い、それらの結果と既往の研究等を総合して、コンクリートがコーン状に破壊する場合の一般的な耐荷機構、破壊のメカニズムを検討し、それに基づいて静的引抜耐力算定方法を提案するものである。

2. 実験概要

(1) アンカーボルト

本実験には、表-1および図-1に示す、孔径、埋込深さ、ボルト径の異なる4種類のアンダーカット型メカニカルアンカーを用いた。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/mm²）である。なお、アンカーボルトの定着を確かなものにするために、ボルトを埋め込んだ後に、表-1に示す締め付けトルクを与えた。締め付けトルクの値は、メーカーの推奨する値とした。

表-1 アンカーボルトおよび形状と締め付けトルク値

コンクリート ブロック a*b*c (mm)	アンカー ボルト d * l φ D	締め付け トルク (kgfcm)	備考	
			モルタル 使用	へりあき
500*500*220	14* 40 M10 18	240	◎	◎
600*600*300	14* 60 M10 18	360		◎
	18* 80 M12 24	690		◎
1200*600*300	22*100 M16 28	1200		

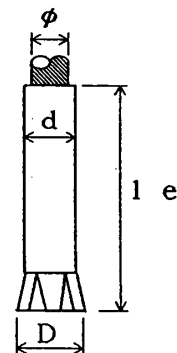


図-1 アンカーボルトの形状

(2) 静的引抜試験装置

載荷状況を図-2に示す。荷重の検出は、5tonもしくは20tonの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。載荷はセンターホ

ールジャッキを用いて行った。また、コンクリート強度は $\phi 10 \times 20$ cmの円柱供試体を用いて求めた。

3. 実験結果および考察

(1) 破壊性状

引抜試験後、破壊錐体について幾何学的断面形状を測定した。その際、ノギスを用いて、中心から10 cm以内の範囲までは1 cm間隔、10 cmから20 cmまでの範囲では2 cm間隔、それより離れたところは3 cmの間隔で深さを測定した。アンダーカット型について、その代表的な破壊断面を図-3に示す。

破壊断面の形状を総括すると、図-4に示すように、3直線からなる折れ線でモデル化できる。破壊面は、まず、くさび部で水平から角度 ϕ で発達し、次に、角度 θ で進行する。実測では、表-2に示すように角度 ϕ は $26^\circ \sim 50^\circ$ の範囲、角度 θ は $20^\circ \sim 40^\circ$ の範囲となっている。アンカーボルトの径や埋込深さ、および、コンクリート強度の違いによる差は特に認められなかった。そこで、全ての実測結果を算術平均してみると、 $\phi = 39^\circ$ 、 $\theta = 27^\circ$ となっている。ただし、くさび部に働く支圧等によって、くさび部分のコンクリートが著しく破壊している箇所については測定を行わなかった。 ϕ から θ へと角度が変わるのは、埋込深さやコンクリート強度に関係なく、くさび部からおよそ1 cmの所であった。

また、モルタルを用いて同様の実験を行い、その破壊錐体を測定した。破壊面の ϕ と θ の平均を表-2より求めると、 $\phi = 36.5^\circ$ 、 $\theta = 24.3^\circ$ となりコンクリートの場合とほぼ同じ結果が得られた。

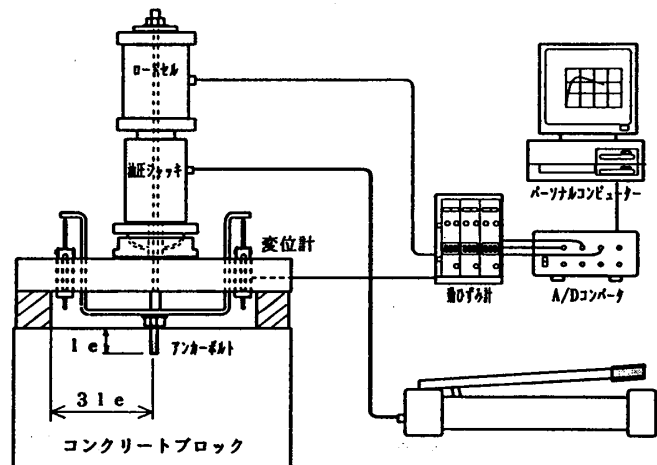


図-2 荷重状況

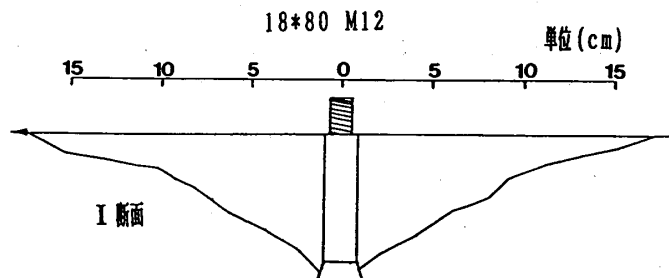


図-3 破壊断面の一例

表-2 破壊断面実測結果

アンカー ボルト	f c' kg/cm2	f t kg/cm2	φ (°)				θ (°)				Pmax ton
14×40 M10	196	17.9	41	34	48	—	28	20	48	25	2.11
			36	43	27	—	24	30	27	27	2.12
14×60 M10	395	29.0	—	—	—	—	26	20	27	45	4.50
			47	42	46	—	29	27	27	25	5.62
			37	45	48	35	15	18	21	25	3.92
18×80 M12	320	22.9	45	38	—	—	30	30	25	30	6.32
	395	29.0	29	32	53	45	24	35	21	29	6.70
	381	25.7	49	41	—	—	21	26	23	22	5.61
22×100 M16	381	25.7	37	26	41	30	37	28	24	38	9.24
			35	30	36	—	30	30	31	16	8.80
			38	54	—	—	34	32	—	—	11.10
◎ 14×40 M10	382	24.4	42	33	51	20	27	24	26	20	2.28
	平 均		39.2°				27.1°				
	標準偏差		8.2				6.5				
	変動係数		20.8%				24.0%				

◎印はモルタルを使用

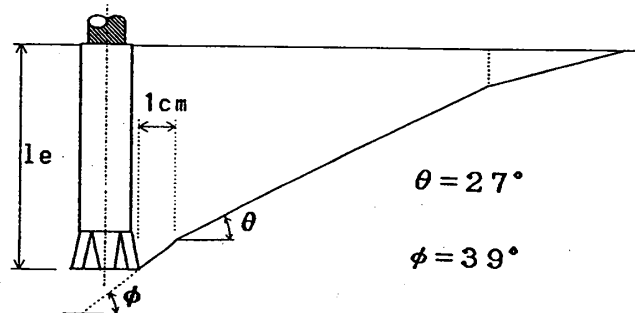


図-4 仮定した破壊断面

(2) ヘリあき部の影響

アンカーボルトは、構造体の中央部だけでなく、隅角部や縁端部にも使用される。そこで、縁端部からの距離（ヘリあき部）の耐力に及ぼす影響を検討することにした。ヘリあき部における引抜き試験は、埋込深さが4cm（ボルト径 $\phi 10$ mm）、6cm（ $\phi 10$ mm）、8cm（ $\phi 12$ mm）のアンダーカット型アンカーボルトを用いて行った。

これらの結果をまとめるために、横軸にはヘリあき部からの距離(x)と埋込深さ(le)の比(x/le)をとり、縦軸にはヘリあき部での引抜き耐力(P_x)とヘリあきから2.5 le 以上離れた所で引き抜いた時の耐力(P_0)の比(P_x/P_0)をとって表したものが図-5である。この図より、ヘリあきから埋込深さの1.7倍の距離以上になると耐力比はほぼ一定になっている。

図-6に、ヘリあき部から充分離れた位置での、一般的なアンダーカット型アンカーボルトの荷重変位曲線を示す（埋込深さ10cm）。引抜き試験中の観察より、最大耐力を過ぎて下降曲線になってから、コンクリートがコーン破壊となって抜けてくる。このことより、最大耐力を発祥している時点では、コーン破壊全面が引抜き耐力に抵抗しているのではなく、ある領域のコンクリートが引抜き耐力に抵抗していると考え事ができる。このことと、図-5の結果より、アンカーボルトの引き抜き力に抵抗しているのは、埋込深さの1.7倍を半径としたボルト近傍の領域のコンクリートであり、それより外の領域で起きるコンクリート破壊は、二次的な破壊であると考えられる。

4. 耐荷機構のモデル化と静的引抜き耐力算定式の提案

静的引抜き耐荷機構のモデル化に際し、まず参考とした既往の研究を略述する。ただし、既往の研究では使用したアンカーボルトが異なっているので、コンクリートの破壊状態が必ずしも同じではない。

六郷・小柳らのAEを用いた研究²⁾によると、図-7に示す荷重変位曲線（埋込深さ10cm）で、載荷開始後101事象目から最大荷重付近の200事象目までのAE破壊源位置は、アンカ

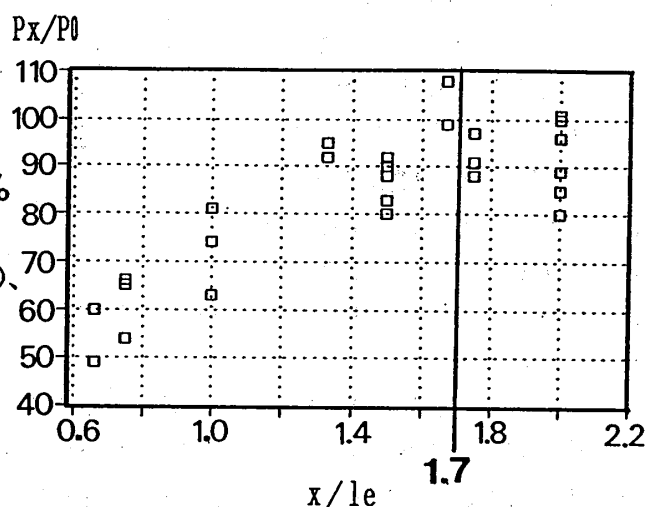


図-5 P_x/P_0 と x/le の関係図

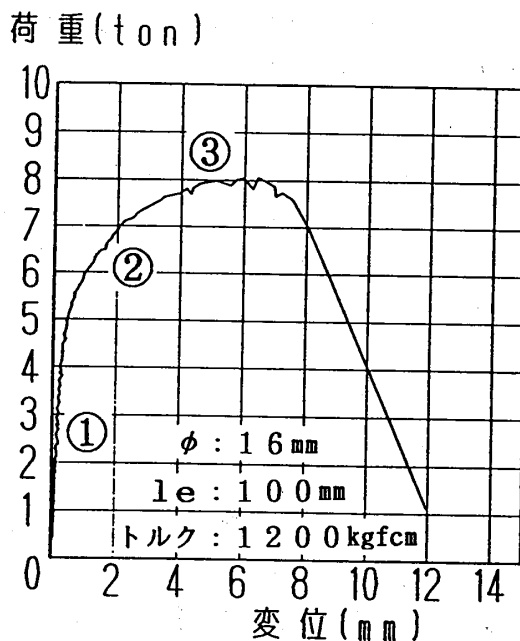


図-6 アンダーカット型アンカーボルトの荷重-変位曲線

一ボルトからの距離で示すと図-8のようになる。この図によると、最大荷重付近まではボルトを中心とした約16cmの半径(1.6le)の内側にAE発生位置が集中している。また、上村³⁾や小阪⁴⁾らの有限要素法を用いた解析によると、主引張り

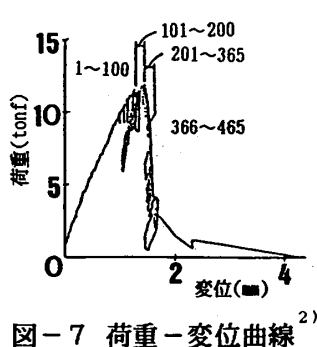


図-7 荷重-変位曲線²⁾

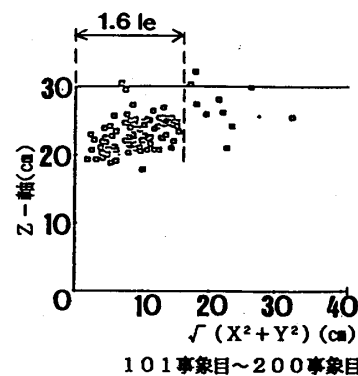


図-8 AE破壊源位置²⁾

応力はボルトから埋込深さの1.7~1.8倍離れた地点でゼロになることが確かめられている。一方、本研究のへりあき部での引抜き試験の結果より、へりあき部から埋込深さの1.7倍以上離れた所になると、引抜き耐力は一定になるということがわかっている。以上の結果を考慮し、アンカーボルトの静的引抜き耐荷機構を以下のようにモデル化し、それに基づき引抜き耐力を算定した。(図-9~11参照)

① ひびわれは、ひびわれ先端部で生じるせん断応力が割裂強度(f_{tx})に達したときに生じるものとする。

② ボルト近傍のコンクリートは多軸拘束状態になっているものと考え、コンクリートの割裂強度(f_{tx})は、ボルトからの距離(x)によって次のように変わるとした⁵⁾。

$$f_t \leq f_{tx} \leq 1.2 f_t$$

$$f_{tx} = f_t \{1 + 0.2 (1.7le - x) / (1.7le - \beta_0)\}$$

ここで、

f_t : シリンダー供試体による
コンクリートの割裂強度

③ ひびわれ先端部近傍で、健全なコンクリートは割裂に対する抵抗力を有し、一方、ひびの入っているコンクリート部でも変位が小さいので摩擦的な抵抗力を有すると考えて、応力分布の形は、割裂強度($f_{tx} / \cos^2 \theta$)を頂点とする底辺が $2a$ の二等辺三角形と仮定する。

④ 図-9や11のように、 β_0 もしくは $1.7le$ をはみ出る応力分布については、カットするものとする。

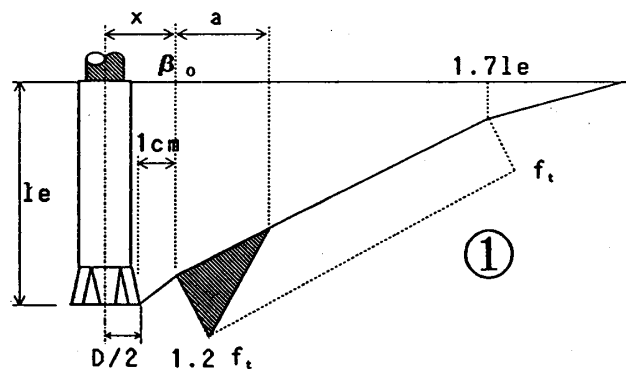


図-9 静的引抜き耐荷機構のモデル(その1)

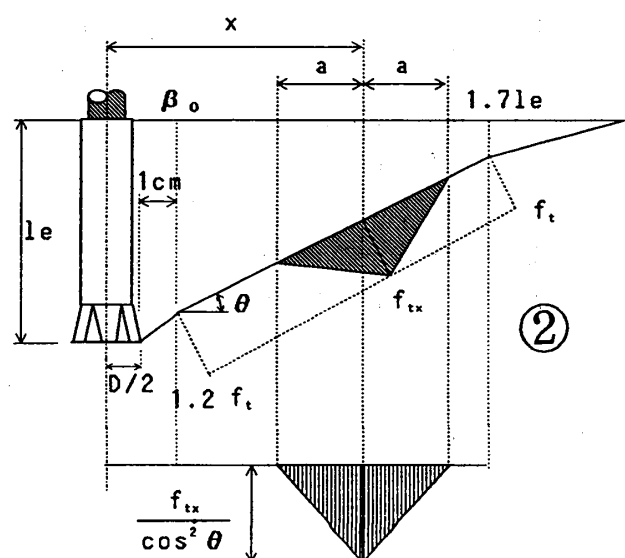


図-10 静的引抜き耐荷機構のモデル(その2)

これらの仮定のもとで、図-9~11の様に x を $\beta_0 \sim 1.7le$ まで変化させ、その時

の応力状態での荷重 P を求めるものとする。

P は以下の式によって求められる。

$$P = \frac{\pi f_{tx}}{\cos^2 \theta} \cdot 2ax - A$$

ここで、 A は β_0 もしくは $1.7le$ よりみでの部分の応力より求められる荷重である。このようにして求めた P の中で 1 番大きな値が、コンクリート破壊する時の推定荷重 P_{cal} となる。なお、図-9～11 の応力状態が、図-6 に示した荷重-変位曲線上で、およそ、どの位置に当たるかを同図中に番号で示した。①の段階では、変位の主成分はボルトの弾性変形と考えられるが、ひびわれの進展にともない、②から③の段階では、ひびわれ先端を支点としてボルトを囲んだ中央部のコンクリートの持ち上がりが変形の主体になっていると考えられる。

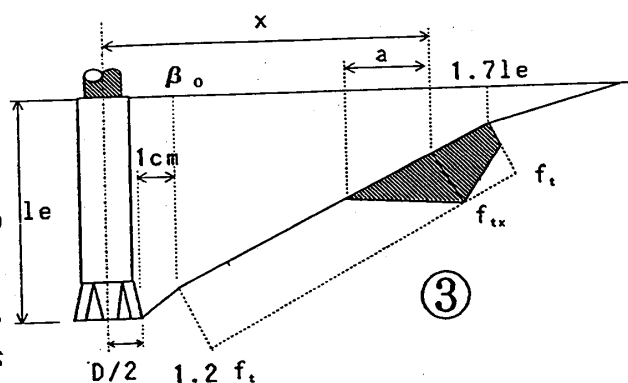


図-11 静的引抜耐荷機構のモデル (その3)

5. 実験結果と計算結果の比較

(1) 一般の場合

計算においては、破壊面の角度 θ および応力分布の幅 a を定める必要がある。まず、 θ は実験観測による平均値 27° を用いることとした。次に、 a の値については、 a の値をいろいろ変えて計算した結果、ボルトの種類とは関係なく $a=2.7\text{ cm}$ の時が実験値と最も適合性が良かった。そこで、 $a=2.7\text{ cm}$ として計算より求めた推定荷重 P_{cal} と実験値 P_{max} の関係を図-12 に示す。 P_{cal} と P_{max} はほぼ一致しており、 $P_{max}=P_{cal}$ の直線に対する相関係数は、97.5%と非常によい結果が得られた。

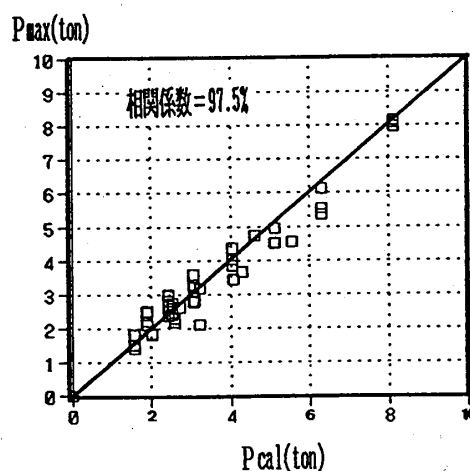


図-12 P_{max} と P_{cal} の関係図

(2) ヘリあき部

ヘリあき部の算定も先に述べた①～④の仮定を用いた。ただし、図-13 の様にヘリあき部からはみ出る応力分布についてはカットすることにした。以上の仮定をもとにして先程と同様に、ヘリあき部でコンクリート破壊する場合の推定荷重 P_{cal} と実験値 P_{max} との関係を図-14 に示す。 $P_{max}=P_{cal}$ の直線に対する相関係数は 91.9% であって、図-12 の相関係数 97.5% と比べれば若干低い。この理由として、ヘリあき部に近い所とヘリあき部の影響を受けない所では、コンクリートの拘束状態が違ふと考えられ、この影響を計算にいれなかったためと考えられる。また、ヘリあき部に近い所の破壊形状は図-15

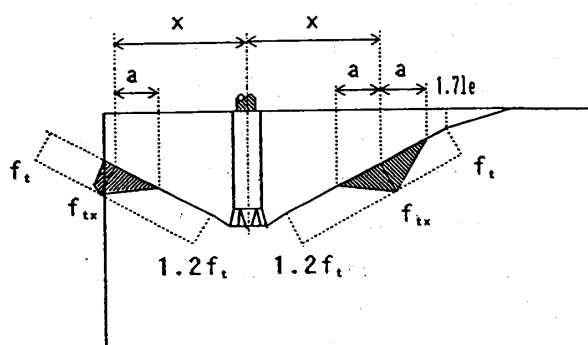


図-13 ヘリあき部での応力状況

のようになることがわかっており、破壊モードの違いも原因の1つであると考えられる。しかしながら、相関係数は91.9%と比較的良好な値を示していることを考えれば、へりあき部においても先に述べた仮定に基づいて、コンクリート破壊する場合の最大耐力を推定できるといえる。

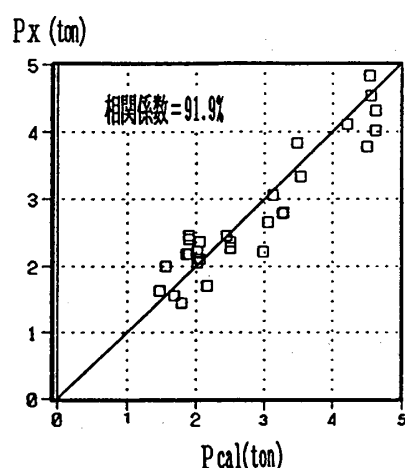


図-14 PxとPcalの関係図

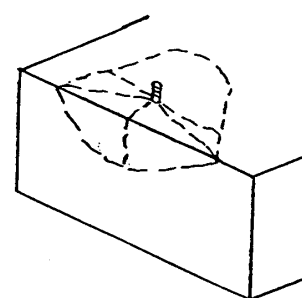


図-15 へりあき部での破壊形状

6. 結論

本研究で得られた結果をまとめると以下のようになる。

- 1) アンカーボルトの引き抜き力に抵抗しているのは、埋込深さの1.7倍を半径とした領域のコンクリートであると考えられる。
- 2) ひびわれの進展を考慮にいたれた破壊線の推定および応力分布解析より、メカニカルアンカーボルトの引抜き耐力を精度良く推定することが可能である。また、同様の方法でへりあき部における引抜き耐力も推定できる。

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等の御支援を頂いた。また、大学院生森山智明、技官の中村裕剛の両氏には実験の遂行、データ整理等において多大なご協力を頂いた。ここに記して感謝を表します。

参考文献

- 1) 百瀬光広、丸山久一、清水敬二：アンダーカット型アンカーボルトの性状に関する研究，第11回コンクリート工学年次論文報告集 No.2，pp.381～386，1989
- 2) 岩瀬裕之、六郷恵哲、小柳治、斎藤保則：アンカーボルトの引き抜き試験とAE破壊源探査，土木学会第43回年次学術講演会講演概要集，pp.418～419，昭和63年10月
- 3) 上村克郎、小西敏正、橘高義典、関和彦：メカニカルアンカーボルトの引抜き耐力に及ぼすコンクリート母材の性質，第8回コンクリート工学年次論文報告集，pp.405～408，1986
- 4) 小阪義夫、山田和夫、金英俊、谷川恭雄：ホールイン・アンカーの引抜き耐力に及ぼす各種要因の影響，セメント技術年報 No.36，pp.195～198，1989
- 5) 大谷恭弘、福本晴士、馬場真吾、福島真司：引張力を受けるスタッド・アンカーの破壊性状について，土木学会第43回年次学術講演会講演概要集第1部，pp.372～373，昭和63年10月