

4. ブラケット取付用アンカーの引抜強度

小川勝教*, 河尻義正*, 大幢勝利*

4. Pulling-out Strength of Anchorbolts for Bracket

by Katsunori OGAWA*, Yoshimasa KAWAJIRI* and Katsutoshi OHDO*

Abstract; The bracket is used for the supporting point of beam-type shoring in RC high bridge-formation works. The anchor for this bracket-mounting application is embedded into bridge pier. This anchor plays an important role to support the brackets.

For this reason, we have performed a series of experiments on pulling-out strength, shear strength, etc. to clarify the dynamic properties of this bracket-mounting application.

In the pulling-out test, we have performed the experiments to pull out one or two anchors embedded into bridge pier at a certain interval simultaneously. For experiments two types of deformed-bar-type anchors having a bore diameter of 35 mm, whose embedding depth is 30 cm and 40 cm, respectively were prepared, so as to examine strength properties for the pulling-out resistance.

The result we have found are followings;

1) If the design strength of concrete is 300 kgf/cm^2 , the limitation embedding depth which is free from pulling out or reapture of anchorbolts is 30 cm.

2) If the design strength of concrete is 240 kgf/cm^2 , the minimum limitation embedding depth free from pulling out or reapture of anchorbolts is 40 cm.

3) If two or more anchors are applied, it is recommended to make their embedding interval should be larger than 20 cm or more in order to prevent intensive drop of the anchors.

4) The loads that generate crack were 12 tf and 17 tf when embedding depths were 30 cm and 40 cm, respectively.

5) It is effective way to mount small-piece steel bar to the anchor for pulling-out-proof measures.

6) In designing the allowable loads, it is recommend to assume the safety factor as of 1.5 for the crack load, 3.0 for pulling-out strength, or for rupture of anchor or bolt, 1.5 for the yield point of the material, and 2.0 for pulling-out strength, respectively.

7) The following expression can be used for calculating the pulling-out strength (P_{\max}) of anchor;

$$P_{\max} = n \cdot \phi \cdot \ell \cdot \alpha \cdot F_c$$

n : The numbers of anchors

ϕ : Peripheral length of anchor (cm)

ℓ : Embedding depth (cm)

α : Proportional constant on design strength of concrete

F_c : Design strength of concrete (kgf/cm²)

Keywords; Anchorbolt, Bracket, Temporary structure, Bridge construction

4.1 はじめに

橋梁工事において、通行確保、作業性等により、地上より支柱を組立てる方式の支柱式型枠支保工に代わり、ガーター等の梁を用いた梁式型枠支保工が使用される。

このガーター等の支持部材として、ブラケットが既存の橋脚に取付けられ使用される。このブラケットをコンクリート橋脚に接合する方法として、アンカーボルト方式と PC 鋼棒締付け方式があるが、一般にアンカーボルト方式が用いられる。このアンカーボルト方式は、橋脚に予め埋込まれている異形鉄筋製のアンカーにブラケットを高力ボルトを用いて取付ける接合方式である。このような場合の接合部の強度は、アンカーとコンクリート間の付着力に依存しているため、その設計、施工に関しては、十分な注意を払う必要がある。

アンカーには、引張力のみ又は剪断力のみが作用する場合と両者が同時に作用する場合があるが、上記、アンカーボルト方式のブラケット取付け用のアンカーには引張力と剪断力が同時に作用する。この、アンカーの設計にあたっては、アンカーの引張、剪断に対する性状を知る必要がある。現在、アンカーについては、頭付きアンカーボルト、先端がフック状になっている鉄筋アンカーボルト、メカニカルアンカーボルト等についての設計基準¹⁾がある。上記ブラケット取付け用のアンカーのように付着のみに期待するストレート型のアンカーボルトについては基準が定められていないため設計に当たって苦慮している。

ブラケット取付け用のアンカーに関しては、今までいくつかの研究^{2,3)}がなされ、一部の文献^{4,5)}には設計方式が示されているが、設計に当たって、データも少なく、汎用性、安全性に関しても不明な点も多い。

そこで、ブラケット設計時におけるアンカーの資料とするため、アンカーや取付けボルトの強度特性、コンクリートの応力状態等を調べるために、ブラケット取付け用アンカーに関する一連の実験を行った。ここでは、アンカーの引抜試験を行った結果について報告する。

Table 1 Mechanical properties of anchor
アンカーの機械的性質

材料	呼び	公称直径 (mm)	公称周長 (mm)	耐力 (kgf/mm ²)	引張強さ (kgf/mm ²)	伸び (%)
SD35	D35	34.9	110	40 ~ 42	59 ~ 62	22 ~ 23

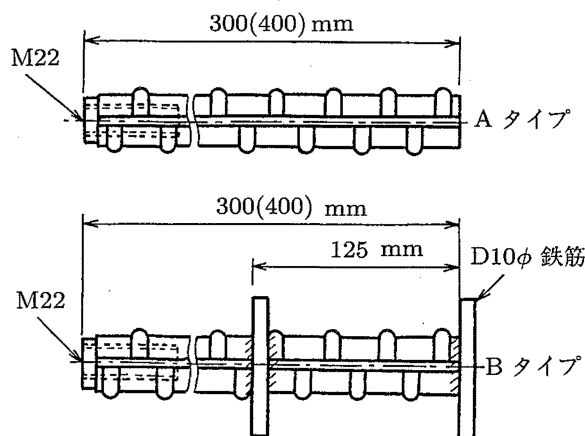


Fig. 1 Shape of anchor
アンカーの種類

4.2 供試体

アンカーの引抜試験に用いる供試体は、コンクリートに先付けされたブラケット取付け用アンカーを対象とし使用現況、過去の文献などを参考に以下の通りとした。

4.2.1 供試体アンカー

引抜試験に用いた供試アンカーは、JIS G 3122, 熱間圧延異形棒鋼 3 種 (SD35) D-35 の Table 1 に示す機械的性質の異形棒鋼を必要な埋込長に切断したもので、一端にブラケット取付け用の M22 のボルトをねじ込むためのネジ穴加工がしてあるものである。試験には異形棒鋼のフシの形状が横フシであるフシ間隔約 22 mm の埋込長 30 cm のものとフシ間隔約 12 mm で埋込長 40 cm の 2 種類のものを用いた。また、アンカーは、Fig. 1 に示すようにストレートの A タイプとアンカーの先端及び中間付近に径 10

Table 2 Mechanical properties of bolt
ボルトの機械的性質

種類	ネジの呼び	耐力 (kgf/mm ²)	引張強さ (kgf/mm ²)	伸び (%)	引張荷重 (tf)
F10T	M22	103	111	20	33

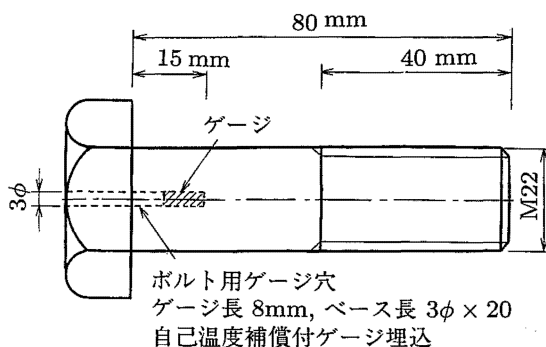


Fig. 2 Bolt for axial force measurement
軸力測定用ボルト

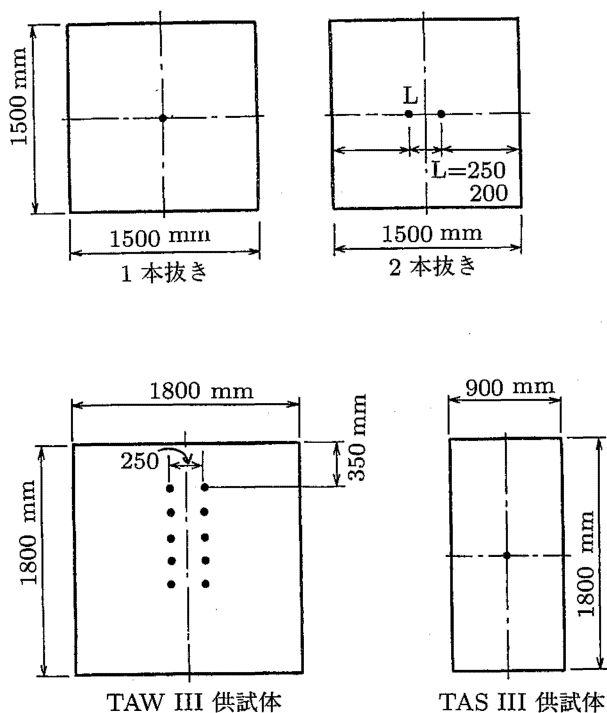


Fig. 3 Setting point of anchor
コンクリートブロックおよびアンカーの配置

mm の長さ約 7 cm の鉄筋がついた B タイプの 2 種類である。なお、B タイプのアンカーを実験に用いたのは、次の理由によるものである。

Table 3 Mix design of concrete
コンクリートの配合

設計基準強度 (kgf/cm ²)	単位量 (kgf/m ³)				
	水	セメント	細骨材	粗骨材	混和材
240	160	267	833	1060	2.78
300	160	309	796	1060	3.21

骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)
25	14	4.6	60	44.6
25	12	4.0	51.8	43.4

Table 4 Compressive strength of concrete
コンクリートの圧縮強度 (kgf/cm²)

設計基準強度		1 週	4 週	8 週	10 週
240 (kgf/cm ²)	標準養生	198	279	—	—
	現場養生	—	206	240	235
300 (kgf/cm ²)	標準養生	302	394	—	—
	現場養生	172	258	261	278

アンカーを埋込む場合、ブラケットの取付け穴の間隔に合致したアンカーの配置が要求される。そのため、アンカーの配置間隔を一定に保つために、径 10 mm の鉄筋を繫材として溶接等によりアンカーを一定間隔で繫いだ状態で埋込まれることがある。このような状態になっているアンカーは、単独で埋込まれたアンカーに比較し剪断強度はあまり変わらないものと思われるが、引抜強度がかなり大きくなることが予想される。今回、上記のようにアンカーを径 10 mm 鉄筋で繫いだものであったため、繫材による影響を無くすために、繫いである径 10 mm の鉄筋を切断し、7 cm 程度の鉄筋がついたアンカーとした。

4.2.2 ボルト

コンクリートブロックに埋込まれたアンカーを直接引張ることが出来ないために、アンカーにボルトを取付ける必要がある。

アンカーの引抜試験のボルトは、Table 2 に示す F10T, M22 の機械的性質の摩擦接合用高力ボルトを用いた。このボルトを用いたのは、一般にブラケット

Table 5 Experimental condition on pulling test
引抜試験における実験条件

供試体			コンクリートブロック		アンカー			引抜 本数
種類	番号	記号	設計強度 F_c (kgf/cm ²)	鉄筋	タイプ	埋込長 l (mm)	埋込間隔 L (mm)	
TAS I	1	○	240	無筋	A	300	—	1 本
	2							
	3							
TAS II	1	●	240	無筋	B	300	—	
	2							
TAS III	1	+	300	有筋	A	300	—	
	2	×		無筋				
TBS I	1	▽	240	無筋	A	400	—	
	2							
	3							
TAW I	1	△	240	無筋	B	300	200	2 本
2								
TAW II	1	▲	240	無筋	B	300	250	
TAW III	1	◇	240	無筋	B	300	250	
TBW I	1	□	240	無筋	B	400	200	
2								
TBW II	1	■	240	無筋	B	400	250	
2								

(注) TAS, TBW については T は引張を, A, B は埋込長, S, W は引抜本数を表示している。

取付けようとして、アンカーのネジ穴欠損部の引張破断強度に匹敵する上記ボルトが使用されているからである。同時に2本のアンカーの引抜試験では、ボルトに作用している引張力を調べるためにボルトゲージを埋め込んだ Fig. 2 に示す軸力測定用ボルトを用いた。軸力測定用ボルトは予め試験機にて引張荷重と歪の関係について較正したものである。

4.2.3 コンクリートブロック

アンカーを埋込むコンクリートブロックの寸法は、試験時にコンクリートがコーン状破壊することを妨げないよう、かつ、曲げ破壊しないように縦 150 cm, 横 150 cm, 高さ 150 cm とした。コンクリートの打設は、アンカーをコンクリートブロック側面型枠に Fig. 3 に示す配置で水平に設置し、上方よりコンクリートを流し込み、締め固めに棒状内部振動機を使用して行った。コンクリートブロックは打設後1週間で脱型し、実験開始まで室内に放置した。実験は

コンクリート打設時より 28 日経過後実施した。

コンクリートブロックは、設計強度 240 kgf/cm² の無筋コンクリートを実験対象とした。なお、コンクリート強度、有筋、無筋の違いによるアンカーの引抜強度を調べるため、第 6 章のブラケットの強度に用いた設計強度 300 kgf/cm² のコンクリートブロック 2 例も実験対象とした。Table 3 にコンクリートの配合を示す。コンクリートの圧縮試験用のテストピースは、コンクリートブロックと同一条件の養生の径 15 cm, 高さ 30 cm のものと、標準養生の径 10 cm, 高さ 20 cm の 2 種類とした。コンクリートの圧縮試験の結果を Table 4 に示す。

4.3 実験方法

4.3.1 実験条件

実験条件は、ブラケット取付け用として使用されているアンカーの埋込長、設置間隔等の実状を考慮

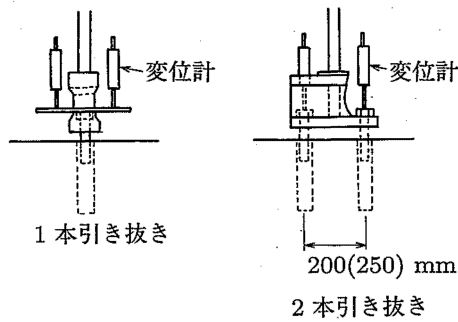
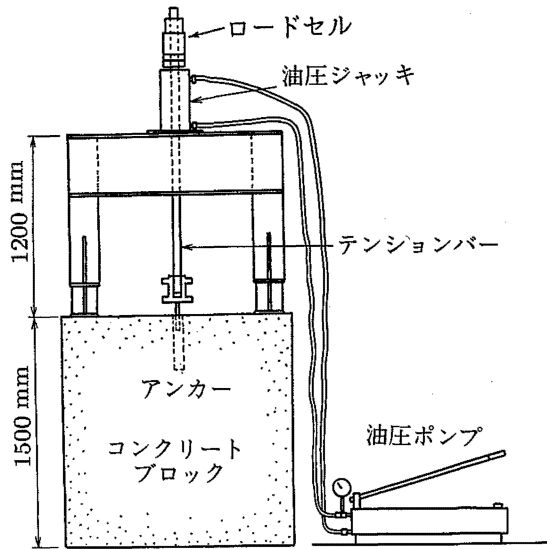


Fig. 4 Outline of pulling test
引抜試験概要図

して、Table 5 に示すように設定した。

また、载荷の条件として、実験 TAS I, TBS I は繰返しによる影響をみるために、TAS I は 5 tf, TBS I は 7 tf で 3 回、クラック発生荷重で 1 回繰返した後、破壊するまで引張ることとした。

複数ボルトによる群効果の影響を調べるために、同時に 2 本引抜く場合 (以後 2 本引と呼ぶ) を対象としたが、これはブラケットを取付けている最上段の 2 本のアンカーに大きな引張力が作用するため、下段のボルトが群効果による強度低下に影響を及ぼす以前に、上記 2 本のアンカーが引抜けるものと想定されるからである。

4.3.2 载荷及び測定の方法

引抜試験は、Fig. 4 に示すようにブロックに埋込まれたアンカーにボルトを取付け、同ボルトを門型の引抜試験装置のテンションロッド先端のチャックで

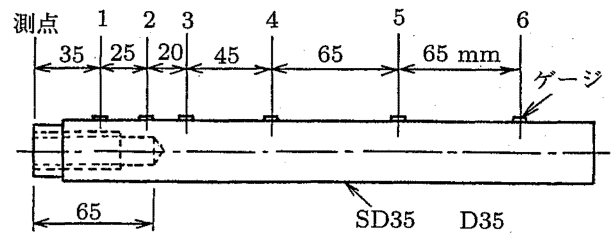


Fig. 5 Placement of wire strain gauges
歪ゲージの貼付位置

つかみ、手動式のセンターホールジャッキでボルトを軸方向に引張る方法とした。

門型の引抜試験装置の反力点とアンカーの最短距離は、コンクリートのコーン状破壊を妨げないようにアンカーの埋込長以上の 60 cm とした。アンカーの引張荷重は電気抵抗線式荷重計 (ロードセル) により測定した。

また、アンカーの引抜方向の変位はブロックの縁を基準として電気抵抗線式変位計により測定した。

クラックの測定は、白ペイントを薄く塗ったコンクリート表面を目視観察することで行い、表面にヘアクラックの発生が確認された時点のアンカーの引張荷重をクラック発生荷重とした。

アンカー応力の測定は、歪ゲージの貼付けの関係で鉄筋のフシ間隔の大きい埋込長 30 cm のアンカーを対象とし、Fig. 5 に示す位置に貼付けた歪ゲージにより測定した。歪ゲージを貼付けた部分は歪ゲージ保護のためコーティング剤塗布後、布製の粘着テープを巻き付けた。

なお、測定にあたって荷重、変位、歪量はデジタル静歪測定器により検出し、パーソナルコンピュータを介して磁気ディスクに収録した。

4.4 実験結果及び考察

4.4.1 破壊状況

引抜試験におけるアンカー及びコンクリートの変形・破壊状況についてみる。アンカーのタイプ、埋込長等によって異なるが、1 本の引抜きの場合 (以後 1 本引と呼ぶ) で埋込長 30 cm では、引張荷重が 10 tf 以上になると、Photo 1 に示すようにアンカー付近のコンクリートの一部分に細かいクラックが発生し、これが荷重の増加とともに放射状に進展する。最大荷重に達するとコンクリートの表面から深さ 10 cm 以内の部分のコンクリートがアンカーに固着し円錐

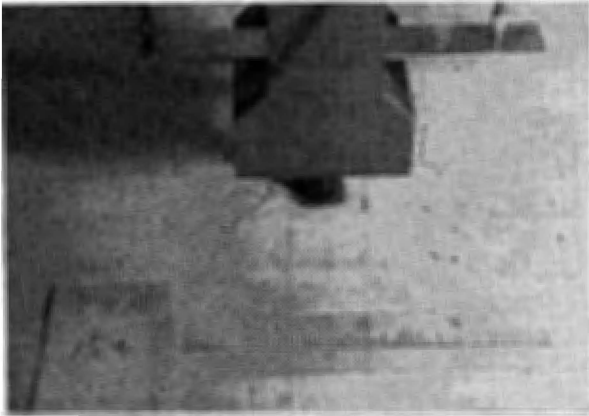


Photo 1 Hair Crack caused by pulling test
クラック発生状況の一例

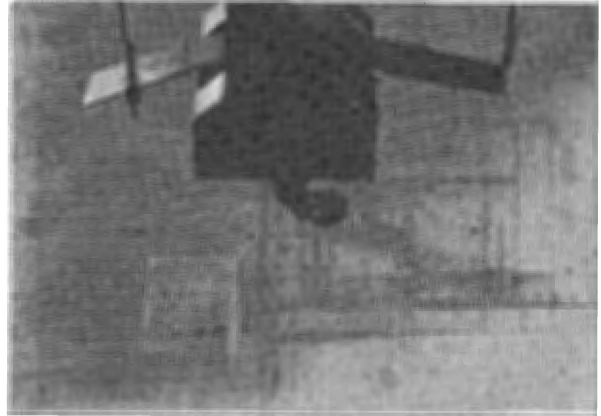


Photo 4 Broken bolt
ボルトの破断



Photo 2 Conical break
アンカーの引抜け状況

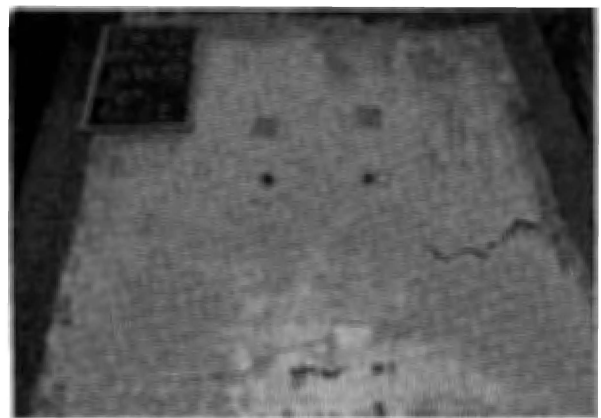


Photo 5 Surface break of concrete
表面部のコンクリート破壊



Photo 3 Broken anchor
アンカーの破断

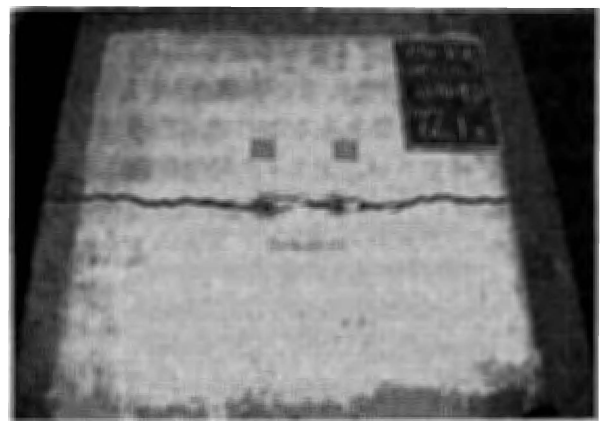


Photo 6 Split break of concrete
ブロックの割裂

状に剝離し引抜けるか (Photo 2), アンカーまたはボルトが破断する (Photo 3, 4). 2本の場合は, Photo 5 に示すように表面のコンクリート部分が破壊する

か, または, Photo 6 のように2本のアンカーの線上を貫くようにコンクリートブロックに割裂破壊が起きた。

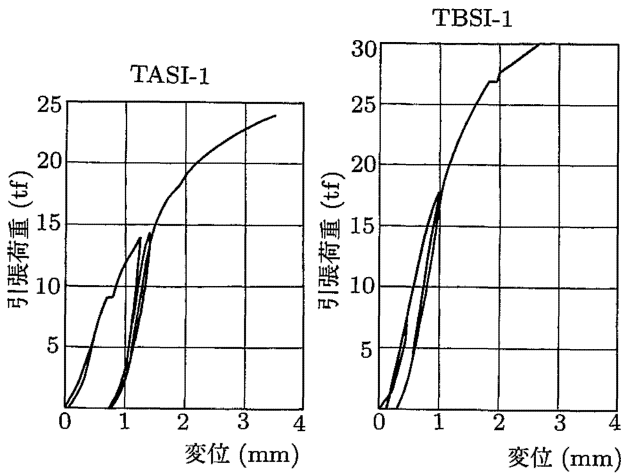
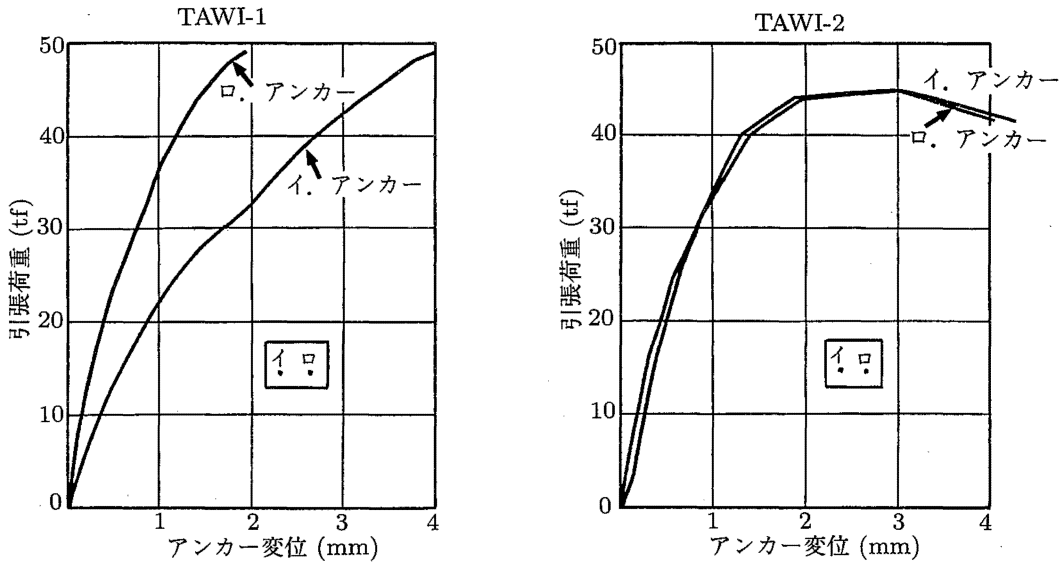


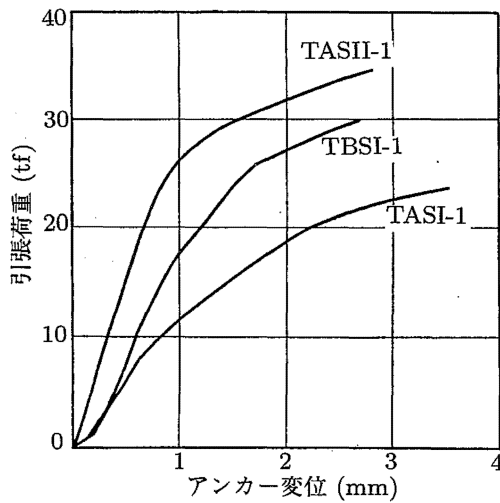
Fig. 6 Displacements of anchor at repeated load
繰返荷重によるアンカー変位

4.4.2 アンカーの変位

Fig. 6 は繰返荷重によるアンカーの変位の一例である。同図によれば1本引きの埋込長 30 cm の 5 tf, 40 cm の場合で 7 tf の引張荷重では、繰返し後の残留変位は極わずかで、この程度の荷重では繰返しの影響はあまり見られない。クラック発生荷重では、繰返荷重による残留変位が若干あるが、埋込長 40 cm の場合、その傾向が 30 cm に比べ少ないことが分かった。これは、埋込長が長いものほど引抜けに対する抵抗が大きいのことを表わしている。Fig. 7 は引抜試験における引張荷重とアンカーの変位の関係の一例である。30 cm 埋込長の場合、12 tf までは変位が 1 mm 以下と少ないが、それ以上の荷重になると変



(a) 2本引きの場合



(b) 1本引きの場合

Fig. 7 Relations between pulling load and displacement of anchor
引張荷重とアンカーの変位

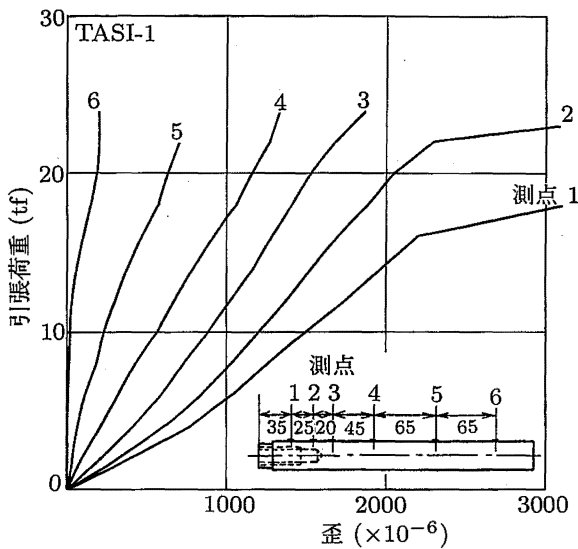


Fig. 8 Strains of anchor at each point
各位置におけるアンカーの歪

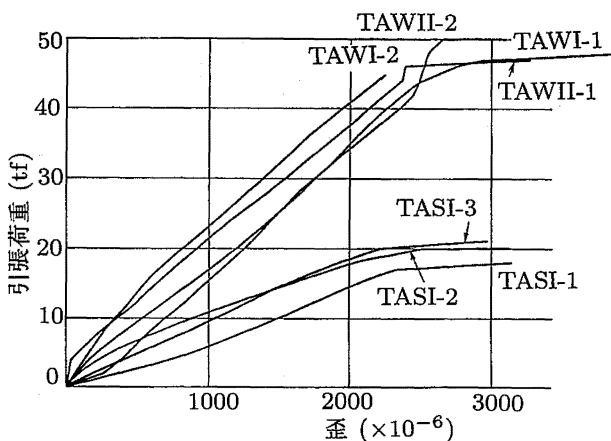


Fig. 9 Relations between pulling load and strain of anchor
引張荷重とアンカー歪 (測点 1)

位の増加の割合が大きくなり、20 tf を過ぎると特に変位が大きくなる。埋込長 40 cm では、17 ~ 24 tf で変位が 1 mm、それ以上の荷重になると 30 cm の埋込長のときと同様な傾向にある。また、同じ埋込長 30 cm でも、B タイプのアンカーの場合は、引張荷重 22 ~ 26 tf で変位 1 mm で、A タイプに比べ荷重に対する変位量は少なく、かつ、埋込長 40 cm の場合よりも小さい。これは、アンカーに付いている径 10 mm、長さ約 7 cm の鉄筋が引抜けにかなり抵抗しているものと思われる。

2本引きの場合、引張荷重に対し2本とも同じよう

Table 6 Maximum loads in pulling test
引抜試験の最大荷重

供試体		最大荷重 P_{max} tf	破壊状況
種類	No		
TAS I	1	24.8	アンカー引抜け
	2	26.7	"
	3	27.4	"
TAS II	1	36.5	ボルト破断
	2	35.6	アンカー破断
TAS III	1	31.4	"
	2	29.6	"
TBS I	1	32.8	アンカー引抜け
	2	35	"
	3	35.5	ボルト破断
TAW I	1	49.8	ブロック表面破壊
	2	45.2	"
TAW II	1	49.3	"
	2	53.8	"
TAW III	1	41.0	ブロック割裂
TBW I	1	66.1	"
	2	65.5	"
TBW II	1	67.3	ブロック表面破壊
	2	51.8	"

な変位であるものと、かなり差があるものがある。2本のうちいずれかのアンカーの変位量が 1 mm に達する時の 1本当たりの引張荷重は 1本引きの場合とあまり変わらない。

4.4.3 アンカー応力

Fig. 8 はアンカーの歪と引張荷重との関係を見た一例である。アンカーの歪は、コンクリートの表面に近い測点 1 にかかなり低い荷重から大きな歪が生じている。また、測点位置が深くなるほど急激に減少しており、引張荷重が小さい段階では測点 6 の歪はほとんど 0 に近い。Fig. 9 は、特に測点 1 についてアンカーの歪と引張荷重との関係を見た一例である。それによると 1本引きのとき 17 ~ 20 tf、2本引きのとき 40 ~ 45 tf 付近において曲線の傾きが変化しているが、この付近でアンカーのネジ穴断面欠損部が降伏点に達したものと推定される。このときの歪は 2000 ~ 2300 μ である。

4.4.4 最大荷重

引抜試験における最大荷重を Table 6 に示す。

Table 7 Load ratios in two anchors-pulling
2本引きにおける両アンカーの荷重比率

供試体種類	引張荷重	P=20tf時		P=40tf時	
		軸力測定 ボルト tf	分担 比率	軸力測定 ボルト tf	分担 比率
TAW I	1	10.43	0.52	20.83	0.52
	2	9.68	0.48	19.56	0.49
TAW II	1	9.43	0.47	19.82	0.5
	2	11.28	0.56	21.54	0.54
TBW I	1	9.3	0.47	19.1	0.48
	2	—	—	—	—
TBW II	1	10.19	0.51	21.37	0.53
	2	9.8	0.49	28.2	0.71

(1) 1本引きの場合

1本の引抜試験では、Aタイプの埋込長30cmのTAS Iは、全てアンカーがコンクリートブロックより引き抜けた。そのときの最大引張荷重は24.8～27.4tfで、平均26.3tfであった。また、埋込長40cmのTBS Iは、上記30cmのときと同様にアンカーが引抜ける場合とアンカーのネジ穴欠損部より破断するいずれかであった。その時の最大引張荷重は32.8～35.5tfで平均34.4tfであった。設計強度240kgf/cm²のコンクリートの場合は、アンカーの埋込長40cmがアンカーの引抜けかアンカーが破断するかの境界である。また、同じ埋込長30cmでもBタイプのアンカーのTAS IIの場合は、アンカー引張用のボルトの破断かアンカーのネジ穴欠損部の破断のいずれかであり、引張強度は平均36.1tfでAタイプの1.37倍であった。アンカーに取付けてある鉄筋の小片が引抜けに対して、かなり抵抗しており、40cmの埋込長と同程度の引張強度が期待できる。設計強度300kgf/cm²のコンクリートのTAS IIIの場合は、29.6tf、31.4tfでアンカーのネジ穴欠損部の破断であり、有筋、無筋コンクリートに関係なく、アンカーの引抜けよりもアンカーの破断が先行する。そのため300kgf/cm²のコンクリートの場合は埋込長が30cmあれば十分である。

(2) 2本引きの場合

2本同時に引抜きの場合、両ボルトを均等な荷重で引っ張っているかをチェックするために、一方のアンカーには軸力測定用ボルトを取付け、両アンカーに

各々作用している引張荷重を測定した。Table 7は、引張荷重が20tf、40tf時における各々1本のアンカーに作用している引張荷重と2本同時の引張荷重に対する比率を示したものである。その結果TBW II-2以外の引抜試験においては、その荷重比率が20tfのとき0.47～0.56、40tfで0.48～0.54であり、両アンカーともほぼ同等の引張荷重が作用していたものと考えられる。TBW II-2については、20tfまでは両アンカーとも同等の荷重が作用していたが40tfの引張荷重のとき、軸力を測定した側のアンカーに全引張荷重の71%の荷重が作用しており、アンバランスな荷重状態で引抜きが行われたものと思われる。そのため、軸力を測定した側のアンカーが引抜ける様な状態で荷重が最大となり、他の同試験条件のTBW II-1と比較し、最大荷重が30%弱低い値となったものと思われる。そのため設計にあたっては片ぎきによる強度低下を考慮する必要がある。そこで、2本引きの最大荷重について、TBW II-1を除いた結果により検討してみる。

a) 埋込長30cmの場合、最大荷重はアンカーの埋込間隔20cmのTAW Iで平均47.5tf、25cmのTAW IIで平均51.6tfであり、埋込間隔による強度差が若干ある。埋込間隔20cmの場合が間隔25cmに比べ約8%荷重が小さい。いま、上記最大荷重の1/2の荷重が、1本のアンカーに引張荷重として作用しているものとすれば、1本引きの試験結果と比較した場合、埋込間隔20cmのとき約10%の強度低下であり、埋込間隔25cmで約2%の強度低下である。埋込長30cmの場合は、埋込間隔25cm以上あれば群効果による強度低下をあまり考慮する必要はないものと思われる。なお、上記の比較は、Aタイプのアンカーに対するものであったが、アンカーのネジ穴欠損部で破断しているBタイプのアンカーに対して考えた場合、埋込間隔20cmの場合約33%の強度低下であり、埋込間隔25cmの場合約28%の強度低下である。Bタイプのアンカーの場合は群効果による強度低下が大きく群効果による強度低下を少なくするには、埋込間隔を25cmより大きくする必要がある。また、ブラケットの強度試験用の設計強度240kgf/cm²のコンクリートブロックを用いたTAW IIIの場合は、アンカーよりブロックの縁までの距離が35cmと少なかったため、TAW IIに比べ約20%低い荷重でPhoto 7のようにブロックが割裂破壊した。アンカーからの縁空きが上記のように小さい場合は、縁空き

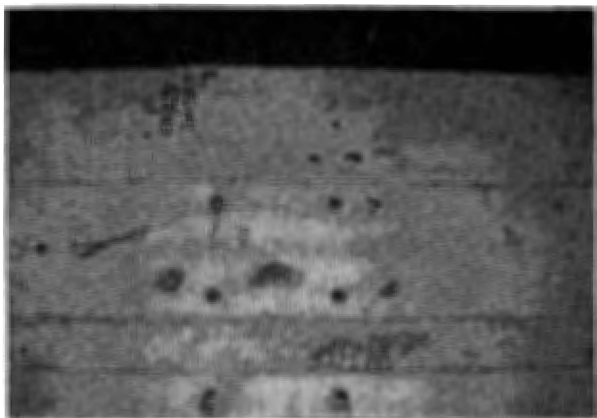


Photo 7 Breaks of concrete with no edge distance
縁空きの少ないブロックの割裂

によるアンカーの強度低下を考慮することが必要となる。以上のことより、第 6 章のブラケットの強度では、最上段のボルト 1 本に 20 tf 前後の引張力が作用するような荷重をブラケットに載荷すると、コンクリートブロックが破壊するものと思われる。

b) 埋込長 40 cm の場合、最大荷重は、アンカーの埋込長 40 cm, 埋込間隔 20 cm の TBW I で平均 65.8 tf, 25 cm の TBW II-1 で 67.3 tf であった。この荷重の 1/2 の荷重を 1 本のアンカーの引張荷重とすれば、アンカー 1 本のネジ穴欠損部の破断時の強度に対し前者が 94%, 後者が 97% である。埋込長 40 cm の場合は、間隔 20 cm のときと間隔 25 cm で 3% の強度差しかなく、また、1 本のアンカーに作用している引張荷重が 1 本引きの試験時の結果と差がないため、アンカーの埋込間隔が 20 cm 以上あると群効果による強度低下をあまり考慮する必要はないものと思われる。よって、埋込長 40 cm の場合、アンカーの埋込間隔が 20 cm 以上離れているときのアンカーの群強度は、アンカーのネジ穴欠損部の破断強度に群内のアンカーの本数を乗じた値と考えても差し支えないものと思われる。

4.4.5 クラック発生荷重

引張力を受けるアンカーのコンクリート表面には、荷重の増加につれて細かいクラックがアンカーの周辺より発生し、放射状に徐々に進展していく。このクラックの発生が目視で確認された時点のアンカーの引張荷重をクラック発生荷重とし、Table 8 に示す。クラックは、最大荷重の 40 ~ 90%, 平均 58% の荷重で発生している。クラックが安全上に影響を及ぼす

Table 8 Pulling loads, displacements and strains of anchor at cracked load
クラック発生時のアンカーの引張荷重, 変位, 歪

供試体		クラック発生荷重 $P_{cr tf}$	$\frac{P_{cr}}{P_{max}}$	アンカー	
種類	No			変位量 mm	歪 $\times 10^{-6}$
TAS I	1	14.3	0.58	1.28	1958
	2	12	0.45	0.81	1163
	3	12	0.44	0.89	1248
TAS II	1	29	0.79	1.28	—
	2	29	0.81	1.88	—
TBS I	1	18	0.55	1.02	—
	2	19	0.54	0.78	—
	3	17	0.48	0.74	—
TAW I	1	28	0.56	1.06	1501
	2	31	0.69	0.88	1302
TAW II	1	44.5	0.90	1.43	2316
	2	28.2	0.52	0.92	1514
TBW I	1	26.2	0.39	1.18	—
	2	45	0.69	1.06	—
TBW II	1	26.2	0.39	1.18	—
	2	26	0.50	0.96	—
平均			0.58	1.05	1572

ものか施工後の美観だけの問題に留まるものか、アンカーの引張りに対する許容荷重を設定する場合の一つの問題提起となるものと思われるので、クラック発生荷重について検討してみる。

同表の結果によれば、クラック発生荷重は、1 本引きの場合、埋込長 30 cm のとき、平均 12.8 tf, 埋込長 40 cm のとき平均 18 tf であり、埋込長 30 cm に比べ、埋込長 40 cm の場合が 1.4 倍大きい。埋込長が長くなるにつれてクラック発生荷重は大きくなるものと思われる。また、同埋込長でもアンカー表面に 10 mm 鉄筋の小片が付いている TAS I のアンカーのときは、クラック発生荷重が 29 tf と 2 倍以上の大きな荷重であり、鉄筋の小片があることで抜けにくくなったものと思われる。また、2 本引きのときは、26 ~ 45 tf の荷重でクラックが発生しており、1 本当りにすると 13 ~ 23 tf となり、1 本引きのときに比べ、クラック発生荷重が若干大きい。2 本引きにおいては、埋込長、埋込間隔による荷重差はあまりなかった。

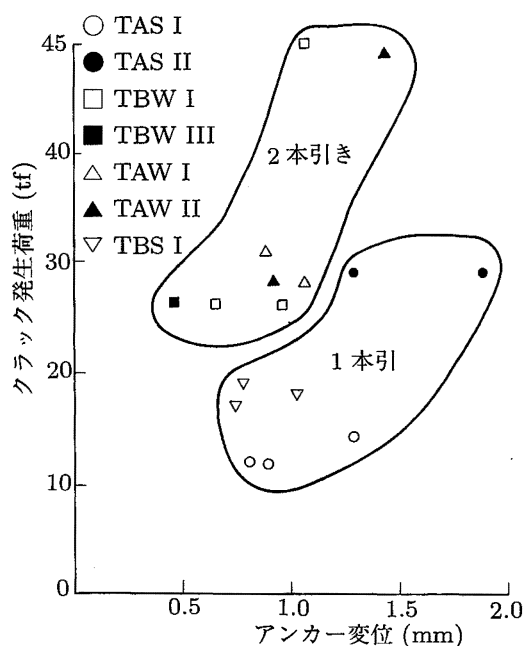


Fig. 10 Displacements of anchor at cracked load
クラック発生時のアンカー変位

今、クラック発生がアンカー表面のフシ部でコンクリートの支圧破壊が起こり、アンカーの微小な動きによりクラックが発生するものとすれば、クラック発生荷重とアンカーの変位量及びアンカーの歪の間にはなんらかの関係があるものと思われる。そこで実験データよりクラック発生荷重時の、アンカーの変位量、歪について求めたものを Table 8 に同時に示した。

クラック発生荷重とアンカーの歪についてみると歪は、A タイプのアンカーのネジ穴欠損部の測定結果で、2本引きについては、両方のアンカーの歪を平均したものである。それによると、クラック発生時に生じている歪は、1本引きでは最低 1163 μ 、平均 1456 μ であり、クラック発生荷重は 12.8 tf である。また、2本引きでは最低 1302 μ で平均 1658 μ であり、クラック発生荷重は 32.9 tf である。この歪は、発生荷重が大きいき、大きな歪が生じている傾向にあるが、割合は一定していないようである。今、アンカーの降伏点の歪を 2000 μ (Table 1 より) とし、クラック発生時のネジ穴欠損部の歪を比較してみると、1本引きでアンカー降伏点の 73%、2本引きで 83% である。

次にクラック発生時のアンカーの変位についてみる。1本引きの場合は、クラック発生時に、アンカーの変位は 0.74 ~ 1.88 mm の範囲であり、発生荷重

が大きいときは変位も大きい。A タイプのアンカーについてみると埋込長 30 cm の場合は、埋込長 40 cm に比べ発生荷重が小さいにも関わらず変位が大きくなっており、引抜けに対する抵抗が小さかったものと思われる。2本引きの場合、変位は、0.46 ~ 1.43 mm の範囲であり、1本引きに比べ小さい変位でクラックが発生している。また、1本引きとは逆に埋込長 30 cm の場合が、埋込長 40 cm に比べ同変位でも発生荷重が若干大きい。

また、Fig. 10 はクラック発生荷重とアンカーの変位の関係を示したものである。それによると、1本引きの場合、アンカーの変位 0.74 ~ 1.88mm、2本の場合、0.46 ~ 1.43 mm の範囲でクラック発生荷重はばらついており、クラック発生荷重とアンカーの変位の間には、あまり相関は無いようである。そのため、アンカーの変位からクラック発生荷重を推定することができない。よって、クラック発生時の許容荷重を設定する場合の尺度として、アンカーの変位を用いることには無理があるようである。

以上の結果より、クラック発生時の荷重からアンカーの許容荷重を算定する場合、設計強度が 240 kgf/cm² のコンクリートでは、クラック発生荷重を埋込長 30 cm で 12 tf、40 cm で 17 tf とする。また、2本引きの場合は、埋込長、埋込間隔に関係なく 26 tf とする。

4.4.6 アンカーの付着強度

引抜試験においてアンカーの引抜けがアンカーとコンクリート間の付着に依存しているものとして、ボルト及びアンカーが破断したものを除いた各アンカーについて、最大荷重時とクラック発生荷重時の付着応力を次式により求めた。

$$\tau = P / (n \cdot \phi \cdot \ell)$$

ただし、 τ : コンクリートの付着応力 (kgf/cm²)

P : アンカーの引張荷重 (kgf)

ϕ : アンカーの周長 (cm)

Table 1 より 11 cm

ℓ : アンカーの埋込長 (cm)

n : アンカーの本数

その結果を Table 9 に示す。最大荷重時の付着応力は 1本引きの場合、埋込長 30 cm のときが 40 cm のときに比較し若干大きい程度であるがあまり差はない。また、2本引きの場合は TBW II-2 を除くと、埋込長、埋込間隔による優位差があまりなく、また、1本引きのときに比べても若干小さいがあまり差はな

Table 9 Bond stresses and propotional ratios at maximum load and cracked load
コンクリートの付着応力及び比例係数

供試体		付着応力 (kgf/cm ²)		αの値 (kgf ^{1/2} /cm)	
種類	No	P _{cr} 時	P _{max} 時	P _{cr} 時	P _{max} 時
TAS I	1	43.3	75.2	2.80	4.85
	2	36.4	80.9	2.35	5.22
	3	36.4	83.0	2.35	5.36
TBS I	1	40.9	74.5	2.64	4.81
	2	43.2	79.5	2.79	5.13
	3	38.6	—	2.49	—
1本引き平均		39.8	78.4	2.57	5.06
TAW I	1	42.4	75.5	2.74	4.87
	2	47.0	68.5	3.03	4.42
TAW II	1	67.4*	74.7	4.35*	4.82
	2	42.7	81.5	2.76	5.26
TBW I	1	29.5	75.1	1.9	4.85
	2	51.1*	74.4	3.30*	4.80
TBW II	1	29.8	76.5	1.92	4.94
	2	29.5	58.9*	1.90	3.80*
2本引き平均		36.8	75.2	2.38	4.85
全平均		38.3	76.8	2.48	4.96

注：*印は、平均値の算定に考慮しなかったもの。

い。最大荷重時の付着応力 τ_{max} は平均 76.8 kgf/cm²となる。

また、クラック発生荷重時の付着応力についてみると、2本引きの場合、付着応力は 29.5 ~ 67.4 kgf/cm²とかなり大小の差が大きい。そこで、他の付着応力に比べ極端に大きいものを除外した付着応力の平均値は 36.8 kgf/cm²で、1本引きの場合より若干小さいがさほど差は無い。そこで両者の平均をとるとクラック発生荷重時の付着応力 τ_{cr} は 38.3 kgf/cm²となる。

今、コンクリートの付着応力 τ が、コンクリートの設計強度 F_c の平方根に比例するものとし、 $\tau = \alpha\sqrt{F_c}$ で表わし、比例係数 α の値を最大荷重時とクラック発生荷重時の付着応力について求めてみる。設計強度 240 kgf/cm²のコンクリートの場合、最大荷重のとき $\alpha = 4.96$ kgf^{1/2}/cm、クラック発生荷重のとき $\alpha = 2.48$ kgf^{1/2}/cmとなる。ここで、アンカーの最大荷重及びクラック発生荷重を次式の付着強度の式で表わすものとする。

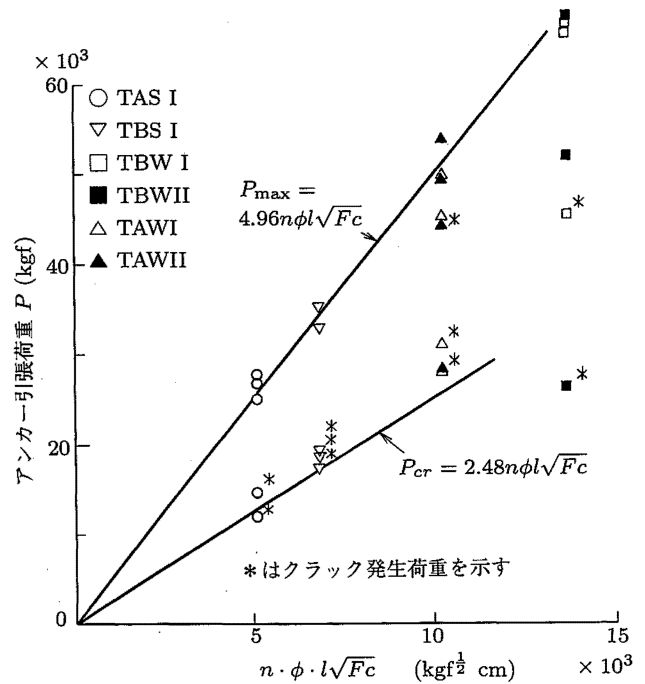


Fig. 11 Relations between pulling load and bond stress
アンカー引張荷重と付着強度の関係

$$P = n \cdot \phi \cdot l \cdot \alpha \sqrt{F_c} \quad (1)$$

Fig. 11 は (1) について α を 4.96, 2.48 kgf^{1/2}/cm とし $F_c = 240$ kgf/cm²のときの付着強度の計算値線上にアンカーの最大荷重及びクラック発生荷重の実験値をプロットしたものである。その結果、最大荷重については $\alpha = 4.96$ kgf^{1/2}/cm とした計算値とよく一致するが、クラック発生荷重については、最大荷重ほどは一致しない、特に 2本引きのとき実験値に比べ計算値がかなり下回るが、安全側にあるため、 $\alpha = 2.48$ kgf^{1/2}/cm とする。

以上の結果より、アンカーの設置間隔 20 cm 以上の群アンカーを含み、アンカーの引抜強度、クラック発生強度は、前記 (1) より次式で表わすものとする、アンカーの引抜強度 P_{max} は

$$P_{max} = n \cdot \phi \cdot l \cdot \alpha_1 \sqrt{F_c} \quad (2)$$

$\alpha_1 = 4.96$ kgf^{1/2}/cm ただし、 $F_c = 240$ kgf/cm²のとき、また、クラック発生強度 P_{cr} は

$$P_{cr} = n \cdot \phi \cdot l \cdot \alpha_2 \sqrt{F_c} \quad (3)$$

$\alpha_2 = 2.48$ kgf^{1/2}/cm ただし、 $F_c = 240$ kgf/cm²のときとする。

4.4.7 既存のデータとの比較

今回の実験について、既存の文献で紹介されている計算式により検討してみる。

a) クラック発生荷重

アンカーの引抜強度のうちコンクリートのクラック発生荷重として、文献⁴⁾に次式が提案されている。

$$P_{cr} = \phi \cdot l \cdot \tau_a \quad (4)$$

ただし、 P_{cr} : クラック発生荷重 (kgf)

ϕ : アンカーの周長 (cm)

l : アンカーの埋込長 (cm)

τ_a : コンクリートの付着応力 (kgf/cm²)

1/10 F_c かつ (13.5 + F_c)

以下とする。 F_c はコンクリートの設計強度 (kgf/cm²)

上式に、 $\phi = 10.96$ cm, $l = 30$ cm, $l = 40$ cm, $F_c = 240$ kgf/cm²を代入し求めると、 $l = 30$ cm のとき $P_{cr} = 7.6$ tf, $l = 40$ cm のとき $P_{cr} = 10.1$ tf となる。これと今回のクラック発生荷重の実験値について、1本引きの場合を比較すると、実験値と計算値は大きく異なり、実験値が計算値に比べ比率にして、平均 1.73 大きい。よって、クラック発生荷重の式として (3) 式を提案する。

b) 終局強度について

終局強度はアンカーの引抜け、アンカーまたはボルトの破断時の強度によって決まる。文献⁴⁾に、アンカーが引抜けるときの最大引抜強度について、次式が提案されている。

1 本のアンカーの場合

$$P_{max} = \phi \cdot l \cdot \tau_{max} \quad (5)$$

ただし、 P_{max} : アンカーの最大引抜強度 (kgf)

ϕ : アンカーの周長 (cm)

l : アンカーの埋込長 (cm)

τ_{max} : コンクリートの最大付着応力 (kgf/cm²), $6.7\sqrt{F_c}$ で F_c はコンクリートの設計強度 (kgf/cm²)

2 本のアンカーの場合

$$P_{max2} = (1 + L/S) \cdot P_{max} \quad (6)$$

ただし、 P_{max2} : 2本のアンカーの引抜強度 (kgf)

L : アンカー埋込間隔 (cm)

S : コンクリート強度によって

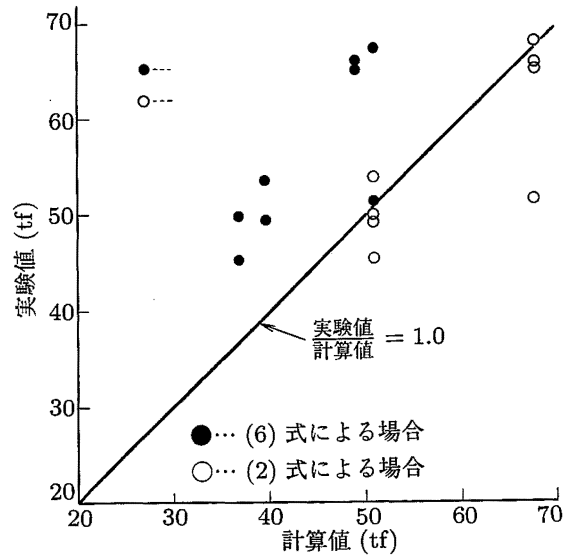


Fig. 12 Comparison between experimental value and calculated value
最大荷重に関する実験値と計算値の比較

定まる影響範囲

$$S = 40P_{max}/(\pi \cdot L \cdot F_c)$$

P_{max} : アンカーの最大引抜強度 (kgf)

今、上式 (5) より、 $F_c = 240$ kgf/cm²とし、最大引抜強度を求めてみる。埋込長 $l = 30$ cm のとき $P_{max} = 34.1$ tf, $l = 40$ cm のとき $P_{max} = 45.5$ tf となる。これと今回のアンカー引抜け時の実験値との比較をすると、実験値が計算値に比べ比率にして約 35% 小さく計算値とかなり異なる。これは (5) 式の計算では、式中の最大付着応力 $\tau_{max} = 6.7\sqrt{F_c}$ が (1) 式の $\alpha\sqrt{F_c}$ で $\alpha = 4.96$ kgf^{1/2}/cm の場合に比べ大きいことによるためである。

また、2本引きの場合について、(6) 式により、 $F_c = 240$ kgf/cm², 最大付着力を $4.96\sqrt{F_c}$ としたときの最大引抜強度 P_{max2} を求め、実験値と比較したものを Fig. 12 に示す。なお、同図には (2) 式により比較したのも示した。(6) 式の場合、実験値が計算値に比べかなり大きく、計算値と異なっている。(2) 式の計算値の場合は、実験値にほぼ一致している。

よって、アンカーが引抜けるときの最大引抜強度に関する算定式として、1本引き、2本引きの場合とも、今回の実験に限り式 (2) によることを提案する。

次に、アンカーまたはボルトの破断時の引張強度は、次式によっている。

$$P_{tmax} = A_b \cdot f_t \quad (7)$$

ただし、 $P_{t\max}$: アンカーまたはボルトの最大引張強度 (kgf)

A_b : アンカーまたはボルトのネジ部の断面積 (cm^2)

f_t : アンカーまたはボルトの引張強さ (kgf/cm^2)

(7) 式によれば、アンカーの場合、 $A_b = \pi/4 (3.49^2 - 2.2^2) = 5.76 \text{ cm}^2$, $f_t = 5900 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ (Table 1 より) とすると $P_{t\max} = 34.0 \text{ tf}$ となり、また、ボルトの場合、 $A_b = 3.03 \text{ cm}^2$ (ネジ部の有効断面積), $f_t = 11100 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ (Table 2 より) とすると $P_{t\max} = 33.6 \text{ tf}$ となる。これらと今回の実験値を比較するとほぼ一致する。

4.4.8 許容荷重の考え方

アンカーの許容荷重の設定にあたり、終局強度だけに対する安全性だけでよいか、クラックが発生するときも対象にするかは難しい問題である。今回のクラック発生荷重時のアンカーの変位が 1 mm 前後、アンカーの歪が降伏点歪の約 78% 生じていることを鑑み、クラック発生荷重に対する安全も考慮する必要があると思われる。

そこで、設計における許容引張荷重は、クラック発生荷重に対し 1.5、引張強度を基準にする場合、コンクリートが鋼材に比べ材質・強度に関する均一性に乏しいことを考慮し引張強度に対し 3、また、アンカーまたはボルトの破断に対しては、それらの材質の降伏点に対し 1.5、かつ、引張強さに対し 2 程度の安全率をもつように設定することが望ましいものと思われる。

以上のことから、コンクリートの設計強度が $240 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ の場合、埋込長 30, 40 cm のときのアンカーの許容荷重は、1 本の場合で埋込長 30 cm のとき 8 tf, 40 cm のとき 11 tf とすることを提案する。

4.5 まとめ

以上、コンクリートに埋込まれた異形鉄筋 (SD35, D-35) 製のブラケット取付け用アンカーの引張強度に関する実験の結果より、次のような結果が得られた。

(1) アンカー強度に関して次のことがいえる。

a. 埋込長 30 cm の場合アンカーがコンクリートから引抜け、その時の最大引張荷重は、平均 26.3 tf である。

b. 埋込長 40 cm は、アンカーの引抜けかアンカー破断の境界であり、アンカー破断時の強度は平均

34.4 tf である。

c. アンカーに小片の鉄筋を取付けることは引抜けに対してかなり有効である。

d. 設計強度 $300 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ のコンクリートでは、埋込長 30 cm がアンカーの引抜けかアンカー破断の境界である。

e. 埋込長 30 cm で埋込間隔 25 cm, 埋込長 40 cm で埋込間隔 20 cm 以上の場合、群効果による強度低下を考慮する必要はないものと思われる。

(2) コンクリートの設計強度が $240 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ の場合、クラック発生荷重は、埋込長 30 cm で 12 tf, 40 cm で 17 tf, 2 本の場合は埋込長、埋込間隔に関係なく 26 tf である。また、クラック発生時のアンカーには降伏点の 73 ~ 83% にあたる歪が生じている。

(3) アンカーの引張強度、クラック発生強度は、アンカーの設置間隔 20 cm 以上の群アンカーを含み、以下の付着強度に関する式で近似することができる。

アンカーの引張強度 P_{\max} は

$$P_{\max} = n \cdot \phi \cdot l \cdot \alpha_1 \sqrt{F_c}$$

ただし、 ϕ : アンカーの周長 (cm)

l : アンカー埋込長 (cm)

n : アンカーの埋込本数

F_c : コンクリートの設計強度 (kgf/cm^2)

α_1 : 比例常数, $F_c = 240 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ の時 $4.96 \text{ kgf}^{1/2}/\text{cm}$

クラック発生強度 P_{cr} は、

$$P_{cr} = n \cdot \phi \cdot l \cdot \alpha_2 \sqrt{F_c}$$

ただし、 α_2 : 比例常数, $F_c = 240 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ の時 $2.48 \text{ kgf}^{1/2}/\text{cm}$

(4) 設計における許容引張荷重は、クラック発生荷重に対し 1.5、引張強度に対し 3、また、アンカーまたはボルトの破断に対しては、それらの材質の降伏点に対し 1.5、かつ、引張強さに対し 2 程度の安全率をもつように設定することが望ましい。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、(社) 仮設工業会、住金鋼材工業株式会社、日建リース工業株式会社、日本ビティリース株式会社に多大なる協力をいただきました。また、岡部株式会社から多くの助言、貴重な資料を提供していただきました。ここに深く感謝の意を表わします。

(平成 4 年 2 月 1 日受理)

参考文献

- 1) 日本建築学会：各種合成構造設計指針同解説各種アンカーボルト設計指針・同解説編 (1985)。
- 2) 日景，熊谷，岡村：RC 高架橋工事に伴うブラケットの載荷試験について (その1)，戸田建設技術開発センター研究報告集 (昭和 53 年 4 月)。
- 3) 日景，熊谷，岡村：RC 高架橋工事に伴うブラケットの載荷試験について (その2)，戸田建設技術開発センター研究報告集 (1979 年 7 月)。
- 4) 尾形，松山：床板けた式支保工の設計，土木技術 Vol. 34, No. 7 (1979 年 7 月)。
- 5) 高速道路技術センター：コンクリート橋における特殊支保工の設計・施工に関する調査研究報告書 (昭和 63 年 3 月)。
- 6) 岡部株式会社技術部：フォームコネクター耐力実験報告書，岡部株式会社技術資料 (昭和 52 年 10 月)。
- 7) 岡部株式会社技術部：ハイブラケット・フォームコネクター耐力実験報告書，岡部株式会社技術資料 (昭和 53 年 8 月)。