

## 5. ブラケット取付用アンカーの剪断強度

河尻義正\*, 大嶋勝利\*, 小川勝教\*

## 5. Shear Strength of Anchors for Bracket

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

*Abstract*; Brackets are widely used as support of beam-type shorings for concrete placing in bridge construction and are the most important members of the support system to prevent their collapse accident.

Usually these brackets are installed using bolts in internal thread anchors embedded in concrete of bridge piers. The purpose of this study is to clear the shear strength of these anchors and bolts, with the emphasis on the followings.

- (1) Effect of bolt fastening on the shear strength.
- (2) Effect of clearance between bolts and their holes on the shear strength.

In experiments, plates installed to anchors embedded in concrete block model were pushed out by loading machine.

Result of tests are summarized as follows;

- (1) Crack load and ultimate load increase in proportion to fastening torque in bolts.
- (2) In case of plural bolts having clearances between bolts and their holes, shear strength decreases compared with that one with no clearance.
- (3) From the results in this time, crack load,  $P_{nc}$  (tf), and ultimate load,  $P_{nu}$  (tf), are given by equations below;

$$P_{nc} = n \cdot [0.64T_0 + \beta \cdot (5.76 \sim 3.76)], \quad P_{nu} = \alpha \cdot n \cdot (18.3 + 0.33T_0)$$

where n: number of bolt,  $\alpha$ : 0.85 ~ 1,  $\beta$ : 1/n ~ 1,  $T_0$ : bolt axial force(tf)

*Keywords*; Anchorbolt, Bracket, Bridge construction, Beam-type shoring, Concrete placing

### 5.1 はじめに

本報告は第4章で扱ったものと同じブラケット取付け用アンカーボルトの剪断強度に関するものである。

剪断力を受けるボルト接合部の設計には、剪断力がボルトに直接作用するものとして設計する考え方と、剪断力は接合部材間の摩擦力で伝え、ボルトには直接作用しないものとして設計する考え方がある。後者は、摩擦面の処理とボルト張力の管理を行

うことなどを条件に永久構造物の接合部に用いる摩擦接合用高力ボルトの設計<sup>8)</sup>に適用されている考え方で、それ以外の一般のボルトでは前者の考え方によっている。

当研究のアンカーボルトの場合、定着力をコンクリートとアンカー間の付着に依存しており、コンクリートのクリープやリラクゼーションにより初期の締め付け力の低下が懸念されること、また締め付け力にも限界があり大きな摩擦力は期待できないことなどから、現状では前者の考え方にそって設計するの

\*土木建築研究部 Construction Safety Research Division

Table 1 Mix design of concrete  
コンクリートの配合

単位量 (kgf/m <sup>3</sup> )				
水	セメント	細骨材	粗骨材	混和材
160	267	833	1060	2.78

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

Table 2 Compressive strength of Concrete  
コンクリートの圧縮強度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

	1 週	4 週	8 週	10 週
標準養生	198	279	—	—
現場養生	—	206	240	235

Table 3 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 <sup>2</sup> )	引張強さ (kgf/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)
SD35	D35	34.9	110	40 ~ 42	59 ~ 62	22 ~ 23

が安全と思われる。しかし、供用期間の限られた仮設材に過大に安全を見込むことには問題があり、多少でも摩擦力の効果が期待でき、設計に反映できるものであればさらに合理的で望ましいことと思われる。

一方、前者に基づいて剪断力の照査を行う場合、現行では剪断力を接合部の全ボルト本数で除したものをボルト 1 本当りの剪断力と考えて計算が行われている。しかし実際の施工においてはアンカーと接合部材のボルト穴の位置に多少の誤差は不可避でありこのためボルト穴を少し大きめに、いわゆるバカ穴にして取り付けを容易にすることが多い。その結果ボルトのボルトの穴への接触状況によっては剪断力が特定のボルトに集中し、設計に対し危険側になることも考えられる。この点について設計上の配慮が必要と思われるが現状ではこれらに関するデータはない。

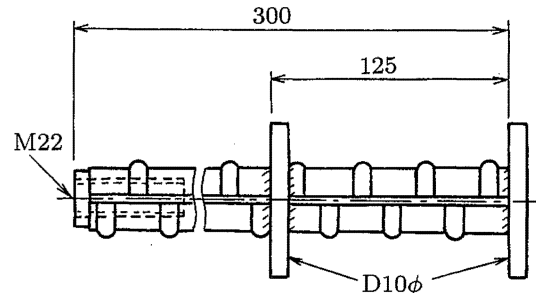


Fig. 1 Details of anchor  
アンカーの形状

そこで以上のような問題点を検討するため、剪断力を受けるアンカーボルト接合部について、締め付け力が摩擦力に与える影響を調べる摩擦実験と締め付け力やボルト穴の不整が剪断強度に与える影響を調べる剪断実験を行った。

## 5.2 実験方法

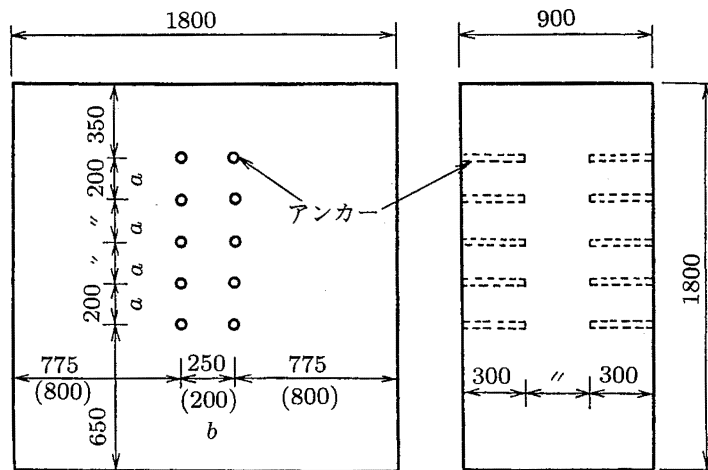
ボルト接合部の接合部材間の摩擦力や剪断強度に影響を与える要因には、接合部材やボルトの材質、寸法、本数、配置など供試体に関するもの、両者の接触状態や締め付けトルクなど取り付け方法に関するもの及び荷重速度など載荷方法によるものが考えられる。そこで実験方法は、供試体については次項により、その他については 5.2.2 項の予備実験の結果をもとに 5.2.3 項、5.2.4 項に述べる方法とした。

### 5.2.1 供試体

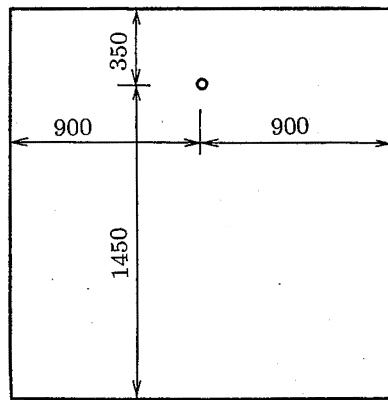
摩擦・剪断実験に用いた供試体は、アンカーボルトを埋め込んだコンクリートブロックに鋼板製のプレートを取り付けたものとし、過去の文献などを参考に以下のようにした。なお以下では、コンクリートに埋め込まれた異形鉄筋部分をアンカー、高力ボルトをボルト、両者を合わせてアンカーボルトと呼ぶことにする。

#### 1) コンクリートブロック、アンカー

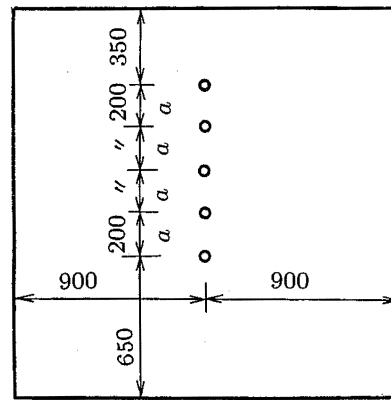
コンクリートブロックに使用したコンクリートは、設計基準強度 240 kgf/cm<sup>2</sup> のレディミクストコンクリートとした。Table 1 に配合を、Table 2 に圧縮強度を示す。アンカーは、Fig. 1 に形状を、Table 3 に機械的性質を示す。コンクリートブロックはアンカーを背中合わせの 2 面に埋め込んだもので、アンカーの本数は 1 面あたり 1, 5, 10 本の 3 種類とした (Fig. 2)。アンカーの設置間隔は、実状を考慮して



(10本用)



(1本用)



(mm)

(5本用)

Fig. 2 Typical test concrete block and arrangement of anchors  
コンクリートブロックの形状とアンカーの配置

垂直方向は 20 cm, 10 本の場合の水平方向は 20 と 25 cm の 2 種類とした。また、コンクリートブロックの鉄筋の有無が剪断強度に与える影響は小さいと思われたので無筋とした。

なお、ブロックの製作に際しコンクリートの打設は、載荷実験時の荷重方向が打設時に水平になるようブロックを横にした状態で行った。これは、重力の影響によりコンクリート硬化後に埋め込みアンカーの下方に隙間ができ、これが結果に影響を与えるものを防ぐためである。

ブロックは、打設後 1 週間で脱型し、4 週以降に実験に供した。

2) プレート, ボルト

プレートは加圧治具を兼ねており、厚さ 22 mm の鋼板にアンカーの位置に応じてボルトの直径より 4 mm 大きい 26 mm の穴をあけたもので、1, 5, 10 本用の 3 種類とした。Fig. 3 に 5 本用の形状・寸法を示す。また、剪断実験に用いる 5 本用のものについては取り付けたときに 1 本または 3 本のボルトだけが穴の縁に当たるよう (それぞれ 1 本ぎき用, 3 ぎき用と呼ぶ) 穴の位置をずらせたものと、5 本全部が当たるもの (5 本ぎき用と呼ぶ) を作製した (Fig. 4 参照)。

4 mm のクリアランスは、現場での最大値を想定してブラケットのメーカー、ユーザーにアンケートした結果によるものである。

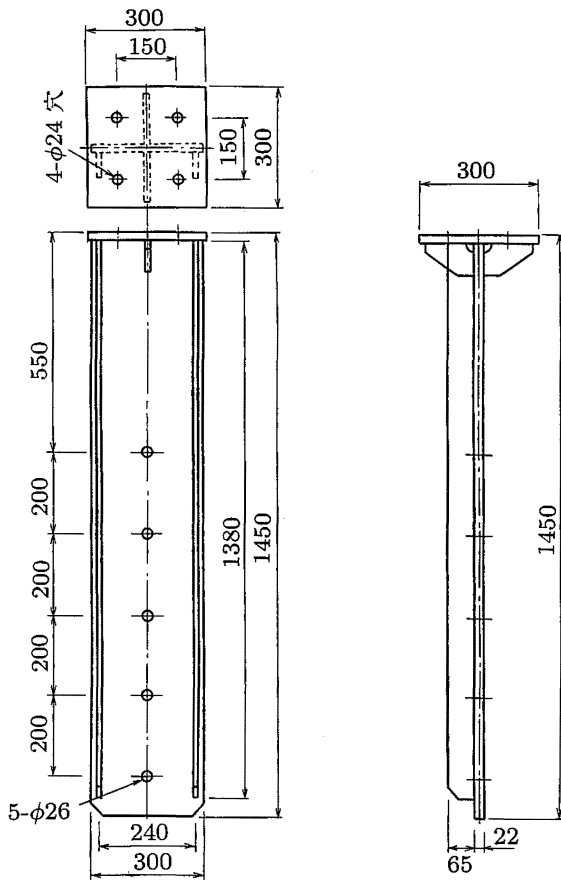


Fig. 3 Configurations and dimensions of plate (5 holes)  
プレート (5本用) の形状・寸法

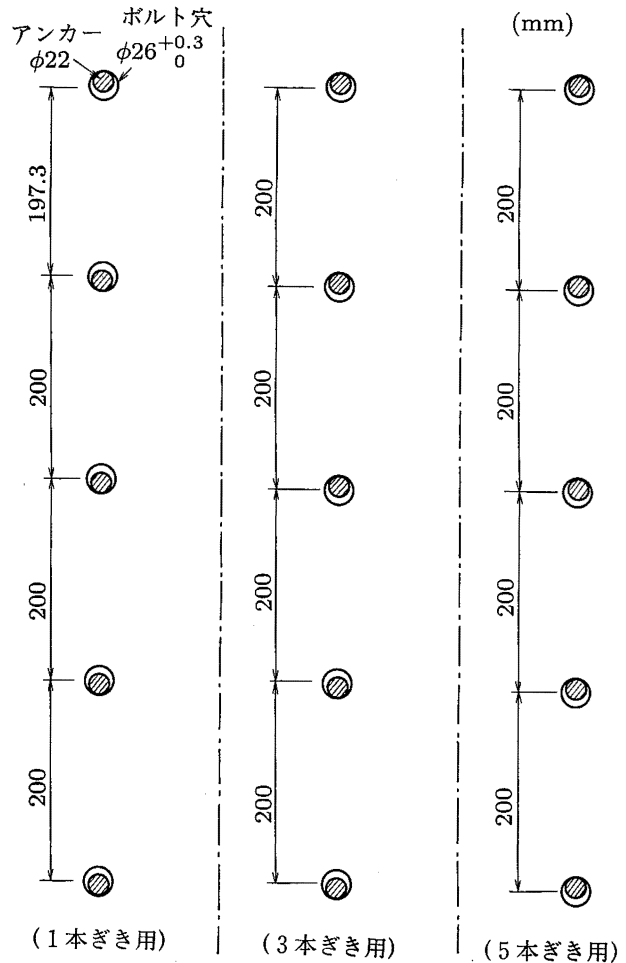


Fig. 4 Variation of arrangement of holes for plate  
プレート穴の配置の種類

Table 4 Mechanical properties of bolt  
ボルトの機械的性質

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

またプレートの取り付けに用いたボルトは、Table 4 の摩擦接合用高力ボルトとした。

### 5.2.2 予備実験

摩擦・剪断実験の条件設定のため、両実験に先立ち、以下の予備実験を行った。

#### 1) コンクリートブロックの表面の凹凸及びコンクリートとプレートの接触状況の測定

プレートを取り付けコンクリート表面の凹凸を定量化するため、6個の供試ブロックの10箇所につ

いて、寸法の測定を行った。測定方法は、厚さ 30 mm の平滑なアクリル板に縦横 10 cm 間隔に小穴をあけ、これにダイヤルゲージをいれてコンクリート面までの距離を測定した。

また、コンクリートとプレートとの接触面の当りぐあいを見るため、両者の間にカーボン紙と白紙をはさんで加圧した。

#### 2) ボルトの締めつけトルクに関する実験

##### (1) ボルトの軸力の測定

人がボルトを締め付けるときのボルトの軸力の大きさを調べるため、地上に置いたブロックの 1m の高さに水平に埋め込まれたアンカーにワッシャーを介してボルトを取り付け、これをラチェットレンチで締め付けた。ラチェットレンチは施工現場で一般に使用される長さ 40 cm のものとした。実験は被験者 26

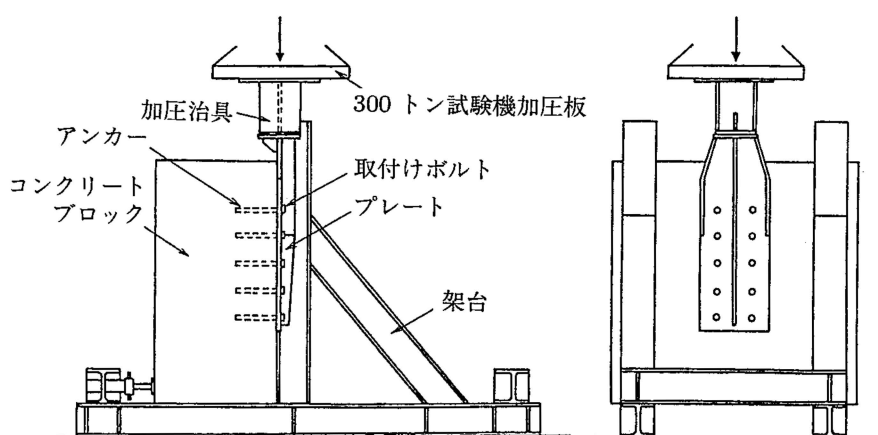


Fig. 5 Apparatus for push-out loading  
 載荷装置



Photo 1 Measurement of axial force in bolt  
 ボルト軸力の測定

名に対し 2 段階（普通，力一杯）の強さで締めてもらい，そのときのボルトの軸力を測定した。ボルト軸力の測定は文献<sup>7)</sup>で用いたものと同じゲージ付きボルトにより行った (Photo 1)。

(2) ボルト軸力と締め付けトルクとの関係を知るための測定

(1) と同じ供試体に対し，トルクレンチを用いてボルトを締め付けるときのボルト軸力を測定した。締め付けトルクは 500 kgf-cm 間隔で 5000 kgf-cm までとした。

(3) ボルト軸力の時間変化を知るための測定

締め付けたボルト軸力の時間変化を知るため，3 個の供試体についてボルト穴 1 個のプレートを用い

て張力 7 tf までボルトを締め付けた後約 1 カ月間放置した。

### 5.2.3 摩擦実験

Fig. 5 に示すように架台上に載せた供試体のプレートを圧縮試験機を用いて押し下げるときの荷重とプレートの滑りを測定することによって行った。実験は，ボルトの本数，ボルトの締め付け力の 7 つの組み合わせについて，ブロック及び供試面を変えて各 3 回ずつ行った。

プレートの取り付けに際しては，荷重が滑り限界に達したときにプレートの滑りを妨げないようにボルト穴の下方にクリアランスを残して取り付けた。取り付け時のボルトの締め付け力は軸力によりコントロールし，予備実験の結果から，普通に締めることを想定して 3.5 tf，力一杯締めることを想定して 7 tf の 2 段階とした。

軸力の調整はゲージ付きボルトを用いてその軸力をモニターしながら所定の値まで締めつける方法によった。ボルトが複数の場合には，締め，緩めを繰り返して全ての軸力がほぼ均等になるようにした。

供試体への載荷は，300 トン垂直試験機を用いて荷重レンジ 30 tf で行った。荷重速度は約 1 tf/分とし，1 tf 毎に載荷を止めて測定を行った。

測定したものはボルト軸力，荷重，プレート変位である。ボルト軸力の検出は歪ゲージを貼った特注の高力ボルト<sup>7)</sup>で予め引張試験により較正したものを用いた。プレート変位の検出は左右 2 個のダイヤルゲージにより行った。検出した量はアンプ，パソコンを介してディスクに収録した。

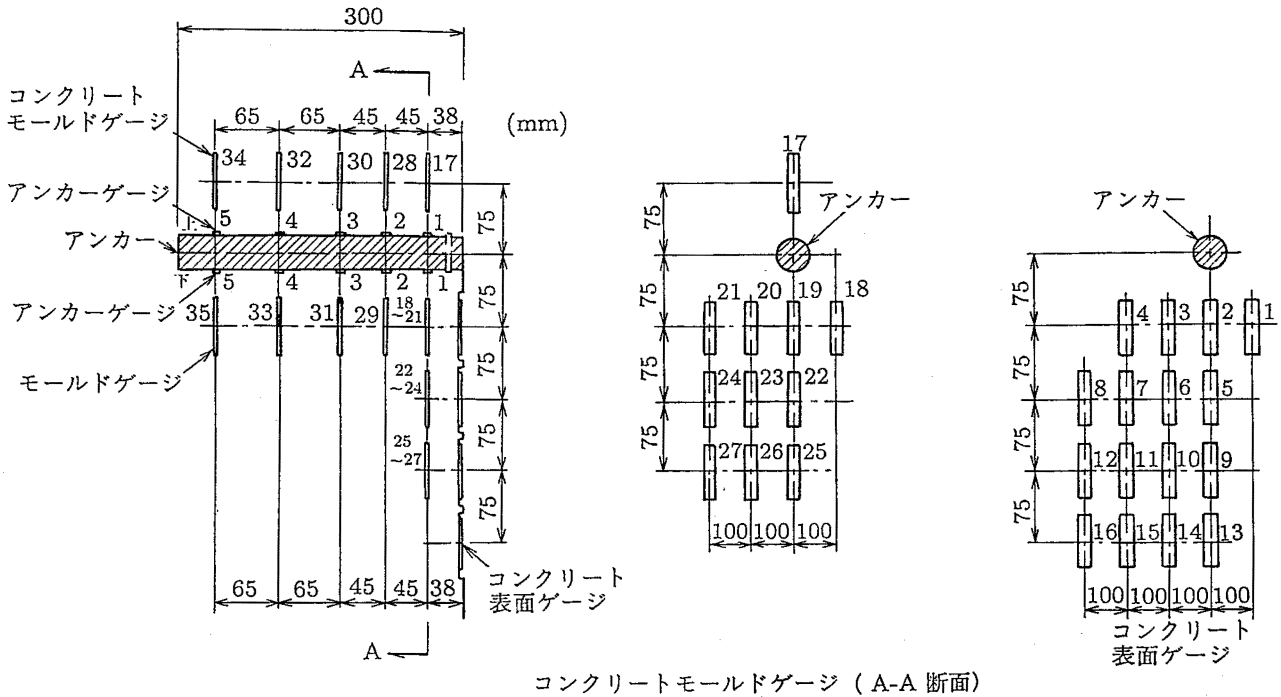


Fig. 6 Arrangement of wire strain gauges in anchor and concrete  
アンカーゲージ及びコンクリート歪ゲージの配置

5.2.4 剪断実験

摩擦実験と同様、実験架台に載せた供試体のプレートを試験機により押し下げるときの強度・変形特性を調べた。

実験ではボルト本数とそのボルト穴への接触条件及びボルトの締め付けトルク（またはボルト軸力）を変えて行い、その他の条件は実状を考慮して設定した。実験条件は Table 7 に示す通りである。

表中、グループ A, B, C は、破壊まで加力したグループであり、D は非破壊のグループである。このうち A は繰り返し加力の影響を見るもので、ボルト 1 本の供試体に一定の荷重まで繰り返し加力した後、破壊まで押し下げた。B は、ボルト 1 本の供試体に対し締め付け力の影響を調べるもので、破壊まで単調増加荷重とした。C は、複数のボルトをもつ供試体に対し締め付け力とボルト穴への接触条件の影響を調べるもので B と同様の荷重条件とした。また D は、一定の荷重まで加力した後、ひび割れの有無を観察した。これは破壊試験では途中で発生するひび割れなどがプレートに隠れて確認できないので、ひび割れが発生する付近まで荷重をかけた後、プレートを外して目視によりクラックの有無を確かめたも

のである。

ボルトの締め付け条件は、予備試験の結果を参考に弱中強の 3 段階に設定した。弱はプレートが落ちない程度に、中は普通に、強は力一杯締める場合を想定し、それぞれボルト軸力 1 tf（またはトルク 500 kgf-cm）、3.5 tf（1500 kgf-cm）、7 tf（3000 kgf-cm）とした。なおグループ B, D ではボルト軸力と同時にトルクも測定したが、このうち 3.5 tf の測定値（1900 ~ 2700 kgf-cm）は予備試験結果からの推定値（1500 kgf-cm）に比較してかなり大きくなっている。この理由については推測であるが、剪断試験ではプレートを介してボルトを締めたのに対し予備試験ではプレートの代わりにワッシャーを用いたことに起因しているとも考えられる。

供試体への加力は、300 トン垂直試験機を用い、推定される最大荷重の大きさに合わせて荷重レンジを設定した。荷重速度は荷重が低いところでは約 10 tf/分とし、最大荷重に近づいてからは約 1 tf/分とし、1 tf 毎に加力を止めて測定を行った

測定したものは荷重、ボルトの頭及びプレートの垂直変位、アンカー、プレート及びコンクリートの歪、ボルトの締め付け力をモニターするためのボル

ブロック	標準偏差 mm	最大値 mm	最小値 mm	ブロック	標準偏差 mm	最大値 mm	最小値 mm
B6A	0.58	1.23	-1.62	C21BR	0.52	1.18	-0.95
B6B	1.25	1.64	-7.87	C21BL	0.55	1.00	-1.06
B5A	1.25	1.75	-6.01	C22B	1.03	1.79	-5.80
B5B	1.08	1.74	-6.53	C3BR	0.63	1.42	-1.67
B4B	1.31	1.90	-7.39	C3BL	0.85	2.69	-1.43

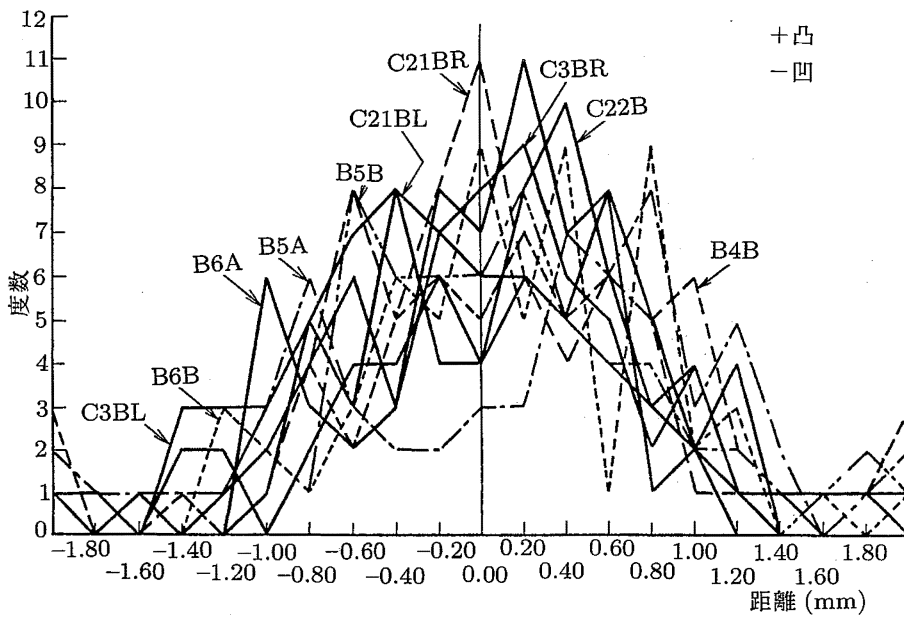


Fig. 7 Frequency distribution of length perpendiculars to approximate plane  
近似平面からの垂直距離の分布

ト軸力である。アンカーの歪の検出はアンカーの長さ方向の応力分布を求めるためのもので歪ゲージによった (Fig. 6)。コンクリートの歪は表面及び内部の応力分布を求めるためのものでアンカーが1本のブロックについて測定した。検出方法は表面は貼付歪ゲージにより、内部はモールド歪ゲージによった (Fig. 6)。またボルト軸力の検出は、5.2.3と同様の方法によった。検出量はアンプ、パソコンを介してディスクに収録した。

### 5.3 実験結果と考察

#### 5.3.1 予備実験

##### 1) ブロック面の凹凸

アクリル板からコンクリート表面までの距離の実測値 60 個をもとに最小自乗法により近似平面を求め、

次にこの平面から各点までの垂直距離を求めた。Fig. 7は測定した10個のブロック面について、それらの値の度数分布、平均値、最大値、最小値、標準偏差を求めたものである。これらによると、近似平面から各点までの距離はブロックによりバラツキがあるが、平均的にはほぼ±1.6 mmにあることが分かる。また最小値にかなり大きい値がみられるが、これは型枠の継目の段差やコンクリートの気泡による小穴の位置の特異なデータを拾ったためである。

##### 2) コンクリートブロックとプレートの接触状況

カーボン紙によって押し付けられ白紙上にできたカーボンの付着状況を調べた結果、両者の接触面積はかなり小さく、その接触は局部的で、また当たる位置もブロックにより異なることが分かった (Photo 2)。この接触状況が実際の現場の施工状況に比して

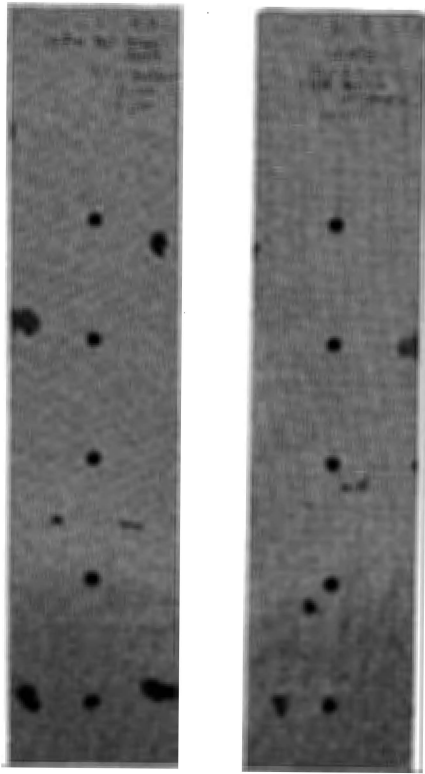


Photo 2 Contact patterns between plate and concrete  
プレートとコンクリートの接触状況の例

Table 5 Experimental value of axial force in bolt by fastening  
締め付け軸力の測定結果

記号	被験者		締め付け軸力 (tf)	
	体重 (kgf)	年齢	普通	力一杯
A	55	36	2.91	4.75
B	65	42	2.18	3.51
C	47	36	1.54	4.07
D	60	26	1.95	4.53
E	59	47	1.35	3.20
F	65	45	2.08	3.60
G	67	58	2.00	5.30
H	60	36	2.36	3.90
I	60	24	2.31	3.83
J*	83	24	3.92	7.17
K*	75	23	3.41	5.86
L	58	19	1.60	2.59
M	63	34	2.80	4.44
N*	65	37	3.44	4.66
O	54	51	3.24	3.30
P	58	33	3.14	4.13
Q	63	48	1.23	5.06
R	62	23	2.50	4.67
S	65	31	2.45	4.30
T*	90	23	2.65	5.65
U	65	47	2.89	4.51
V*	53	31	3.32	5.12
W	55	54	2.10	4.29
X*	73	33	3.13	4.51
Y	75	34	3.01	4.12
Z	56	21	2.71	5.08
平均			2.51	4.44

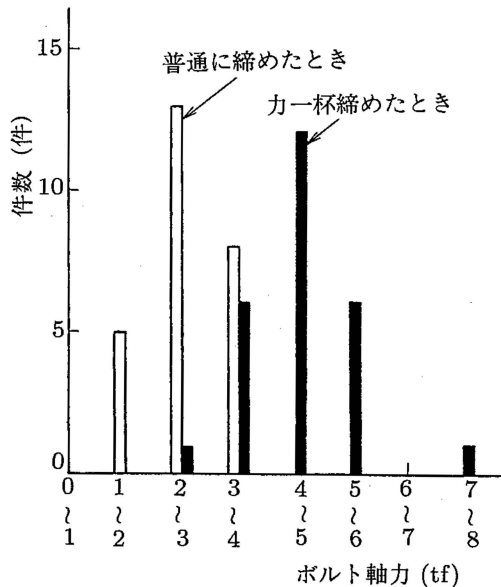


Fig. 8 Frequency distribution of axial force in bolt by fastening  
締め付けによるボルト軸力の度数分布

どうかは定量的には不明だが、目視では中程度の施工精度に相当するものと推測された。

3) トルク試験の結果

(1) 人の締め付けによるボルト軸力

Table 5 は締め付け軸力の測定結果、Fig. 8 はその度数分布である。表には被験者の体重と年齢を示したがこれらと締め付け軸力間にあまり相関はないようである。また\*印は日常的に現場作業に従事している被験者であるが、これらとその他の被験者の締め付け力に相違が認められ、前者に比べ後者で大きい。また変動係数は‘力一杯’に比べて‘普通’の場合に大きい、これはことばの解釈で後者の方が個人差が大きいことによるものと思われる。これらのデータから締め付け軸力は、‘普通’の場合、全被験者で平均 2.55 tf、現場作業員で平均 3.3 tf、‘力一杯’の場合、最大 7 tf 程度と考えられる。そこで



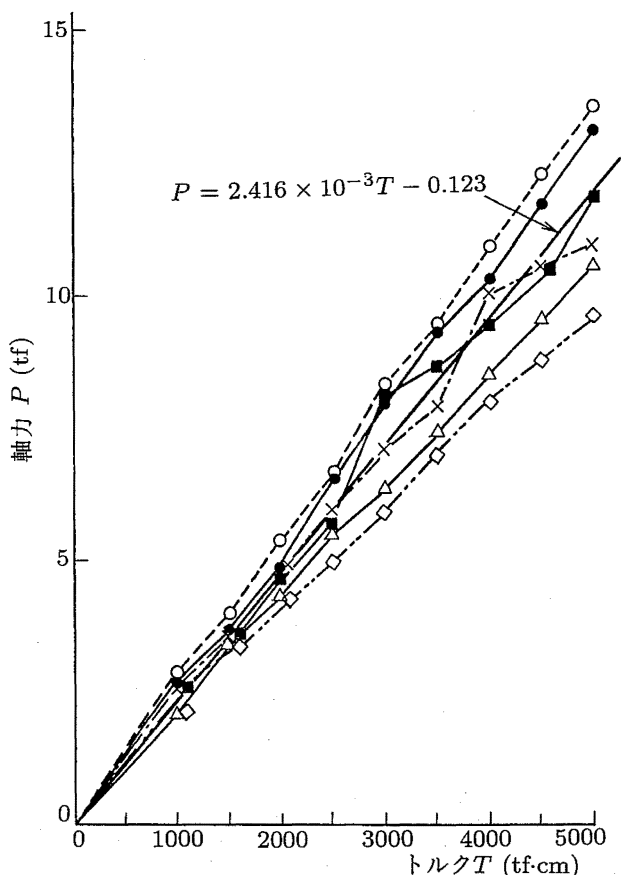


Fig. 9 Relation between fastening torque and axial force in bolt  
締め付けトルクとボルト軸力の関係

摩擦実験や剪断実験におけるボルト軸力は、現場作業者を対象として定めることとし、普通に締めることを想定した場合 3.5 tf, 力一杯締めることを想定した場合 7 tf とした。

一方、文献<sup>7)</sup>の引張実験の結果から判断すると、当アンカー 1 本当りの許容引張力は 8 tf 程度であるが、これと今回の‘力一杯’の値を比べるとほぼ同等以下であることから長さ 40 cm 程度以下のトルクレンチでボルトを締め付ける場合、通常の締め付けならば締め過ぎてアンカーの付着力に悪影響を与えるようなことはないものと思われる。

(2) ボルト軸力と締め付けトルクの関係

Fig. 9 は 6 回の実験による締め付けトルクとボルト軸力の測定値をプロットしたものである。それによれば、多少のバラツキはあるもののボルト軸力は締め付けトルクの増加とともにほぼ直線的に増加し、最小自乗法により近似直線を求めると図中の式にな

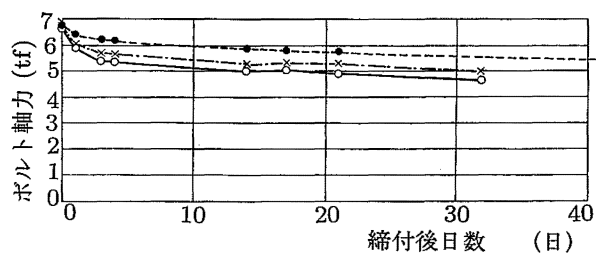


Fig. 10 Variation with time of axial force in bolt  
ボルト軸力の経時変化

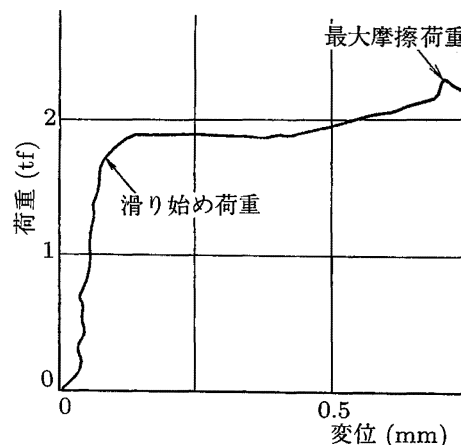


Fig. 11 Relation between plate displacement and load  
プレート変位と荷重の関係

る。また、同式によりボルト軸力から締め付けトルクを推定した場合、推定値の誤差は ± 16 ~ 17% である。なお上記 (1) で決定したボルト軸力に相当する締め付けトルクを推定すると 3.5 tf は約 1500 kgf-cm, 7 tf は約 3000 kgf-cm となる。

(3) 締め付け後のボルト軸力の時間変化

Fig. 10 は、ボルト軸力の時間変化を 3 個の供試体について調べたものである。それによるとボルト軸力は締め付け直後に急激に低下し、締め付け後 3 日で初期軸力の 80 ~ 90%, その後も緩やかに低下し、1 カ月で 70 ~ 80% になった。

今回の実験は限定した条件下でかつ観察期間も短いので決定的なことはいえないが、時間経過とともにボルト軸力の低下が見られることから、ブラケットの設置期間が長く、摩擦力の低下が問題になるような場合には、適宜締め付けトルクやボルト軸力を点検し、締め直すなどの管理が必要と思われる。

Table 6 Result of friction test  
摩擦実験結果

実験名	ボルト締め付け条件		滑り始め荷重 (tf)	最大荷重 (tf)
	本数	軸力 (tf)		
F19BR1	1	3.5	2.30	2.50
F19BL1	"	"	2.04	2.43
F21BR1	"	"	2.05	2.45
F19BR2	"	7.0	4.10	4.50
F19BL2	"	"	4.02	4.38
F21BR2	"	"	4.00	4.83
F21BL1	3	3.5	6.45	6.45
F20BL1	"	"	6.30	6.55
F20BR1	"	"	6.15	7.20
F15AL1	5	"	10.52	10.65
F15AR1	"	"	11.20	11.20
F15BL1	"	"	10.80	12.20
F15AR2	"	7.0	20.70	26.80
F15AL2	"	"	19.50	22.10
F15BL2	"	"	20.30	23.40
F13B1	10	3.5	25.80	26.30
F14A1	"	"	25.70	26.60
F14B1	"	"	21.70	23.60
F13B2	"	7.0	48.00	51.40
F14A2	"	"	46.80	48.90
F14B2	"	"	39.70	46.80

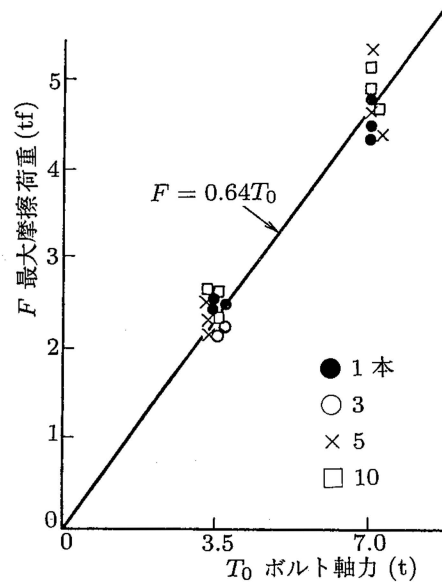


Fig. 12 Relation between axial force in bolt by fastening and maximum friction load  
ボルトの締め付け軸力と最大摩擦荷重の関係

### 5.3.2 摩擦実験

荷重-荷重方向のプレート変位の関係の一例を Fig. 11 に示す。それによると荷重が小さいうちは変位はほとんどないか、あってもわずかであるが、ある荷重（滑り始め荷重とよぶ）を超えると急激に滑りが増大する。その後も荷重はわずかに増大し、最大値（最大摩擦荷重とよぶ）に達した後完全な滑りが起こり荷重は急激に低下する。

Table 6 は滑り始め荷重と最大摩擦荷重について整理したものである。それによれば、滑り始め荷重は最大摩擦荷重の 80 ~ 100%程度であること、滑り始め荷重、最大摩擦荷重ともにボルトの軸力、本数に比例して増大すること、さらに両荷重に、接触状況の相違や同一面の繰り返し使用による影響はないことなどが分かった。

次に Fig. 12 は、ボルト 1 本当りの最大摩擦荷重についてボルト軸力との関係を見たものである。それによると 1 本当りの最大摩擦荷重は、軸力の増加に対し直線的に増加し、しかも増加の割合はボルトの本数に無関係であることが分かる。そこで両者の関係を原点を通る直線と仮定して最小自乗法により近似式を求めると次式となる。この式で直線の勾配

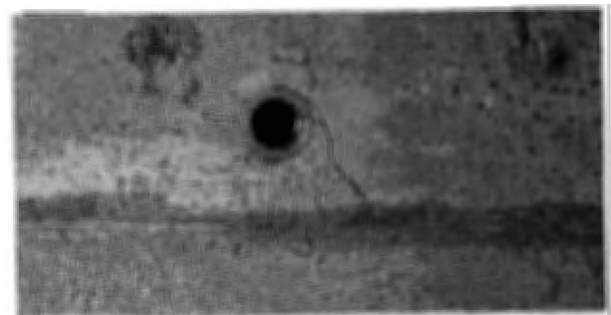


Photo 3 Hair crack caused by bearing pressure  
支圧によるクラック

0.64 は摩擦に関する実験係数を表わすが、この値は、文献<sup>5)</sup>にほぼ等しくなっている。

$$F = 0.64T_0 \quad (1)$$

ただし、 $F$ : ボルト 1 本当りの最大摩擦荷重 (tf)

$T_0$ : 初期締め付け時のボルト軸力 (tf)

### 5.3.3 剪断実験

#### 1) 変形・破壊状況の概要

破壊試験において、荷重を増していくときの変形・破壊状況は概ね以下のようなものである。

① 荷重が小さいうちはプレートとコンクリート間の摩擦のためプレートの変位は生じないが、荷重が摩擦

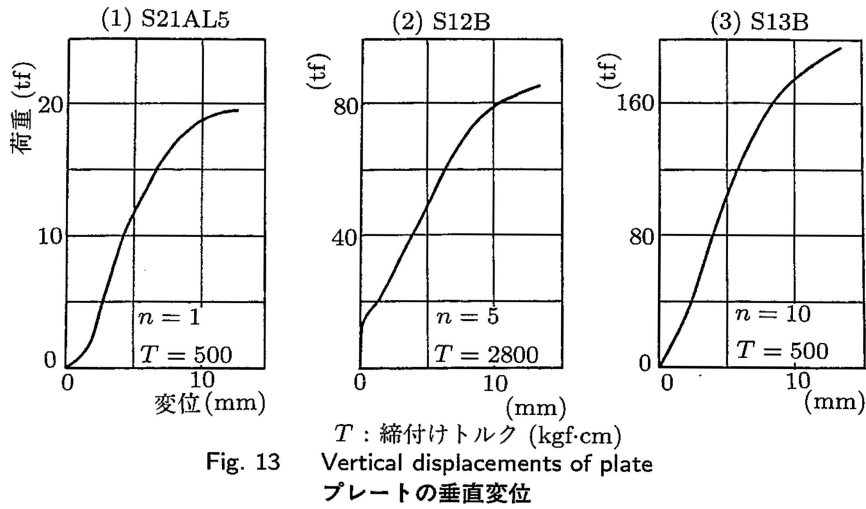
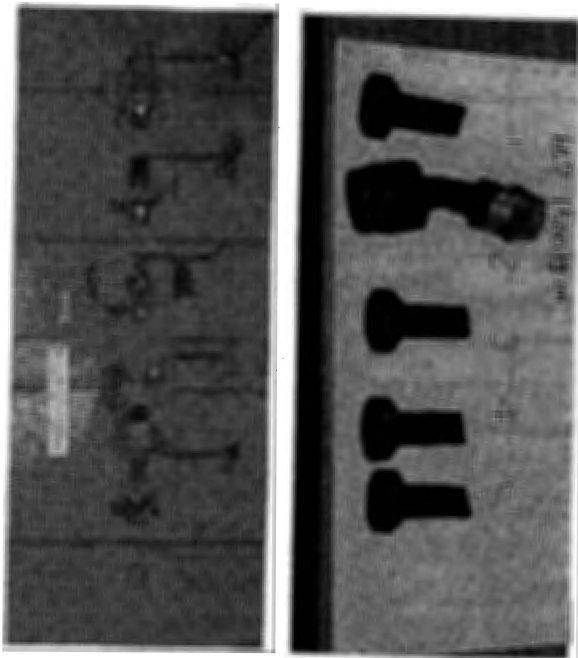


Fig. 13



1,3,4,5: ボルト破断, 2: アンカ破断  
Photo 4 State of rapture after test  
破壊状況例 (S11A)

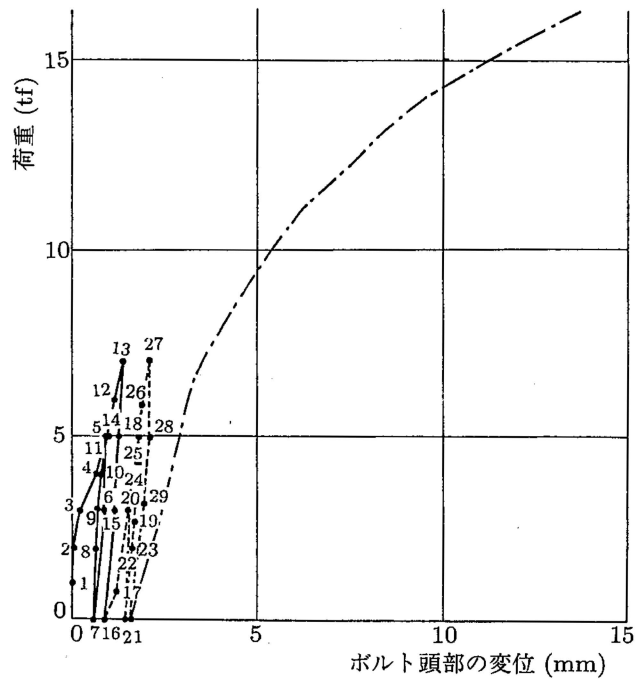


Fig. 14 Vertical displacement of bolt head (S9B)  
ボルト頭部の垂直変位 (S9B)

の限界荷重に達するとボルトとボルト穴にクリアランスがある場合には急にプレートが滑った後プレートはボルト穴に当たって一旦止まる。

② コンクリートの支圧破壊によるものと思われる細かいクラックがアンカー下方のコンクリート部分に放射状に発生する (Photo 3 参照) (以下ではこのとき目視によりクラックを確認できる最小の荷重をクラック発生荷重と呼ぶ)。

③ 上記クラックの長さ、幅ともに増大すると同時にアンカー頭部が下がって曲がり始める。

④ アンカー下側のコンクリートが正面から見て半月状、側面から見て漏斗状に支圧破壊する。

⑤ アンカー頭部の下降が増大し、最終的には最大荷重に達してアンカーまたはボルトが破断する (Photo 4 参照)。同写真で見える限り破断の形態はボルトでは、ねじ部分 (首下約 5 cm) の剪断破壊、アンカーで

Table 7 Result of shear test  
せん断実験結果

実験名		アンカー設置間隔*		ボルト締付け条件			最大荷重 (tf)	破壊状況
グループ	記号	a (mm)	b (mm)	本数	ボルト軸力 (tf)	締付けトルク (kgf·cm)		
A	S9A	—	—	1	—	500	18.60	アンカー破断
	S9B	—	—	〃	—	〃	16.55	ボルト破断
	S10A	—	—	〃	—	〃	19.80	〃
B	S21AL5	—	—	〃	1.0	(500)	19.50	〃
	S21AL4	—	—	〃	3.5	(2700)	19.60	〃
	S21AL3	—	—	〃	3.5	(3200)	19.50	〃
	S21AL2	—	—	〃	7.0	(3200)	20.40	〃
	S21AL1	—	—	〃	7.0	(3400)	20.80	〃
C	S11B	200	—	5本じめ1本ぎき	—	500	79.00	全ボルト破断
	S11A	〃	—	〃	—	1500	84.10	No.1,3,4,5 ボルト断 No.2 アンカー断
	S12A	〃	—	5本3本ぎき	—	500	80.30	No.2,3,4,5 ボルト断 No.1 アンカー断
	S12B	〃	—	〃	—	2800	87.20	〃
	S13A	〃	—	5	—	500	96.40	全ボルト破断
	S10B	〃	—	〃	—	1500	89.60	〃
	S14A	〃	200	10	—	500	173.70	ブロック破壊
	S13B	〃	〃	〃	—	〃	198.00	全ボルト破壊
	S15B	〃	250	〃	—	〃	187.00	〃
D	S21AR1	—	—	1	3.5	(2100)	荷重 12tf ひび割れ有り	
	S21AR2	—	—	〃	〃	(1900)	〃 10tf	〃
	S21AR3	—	—	〃	〃	〃	〃 8tf	〃
	S21AR4	—	—	〃	〃	〃	〃 6tf	ひび割れ無し
	S21AR5	—	—	〃	7.0	(2900)	〃 8tf	〃

\*Fig. 2 参照

は、雌ねじ部分（ボルト下端付近でコンクリート面から約 4.5 cm 位置）の曲げ引っ張り破壊と推察される。最大荷重、破壊状況を Table 7 に示す。

2) 荷重と各量の関係

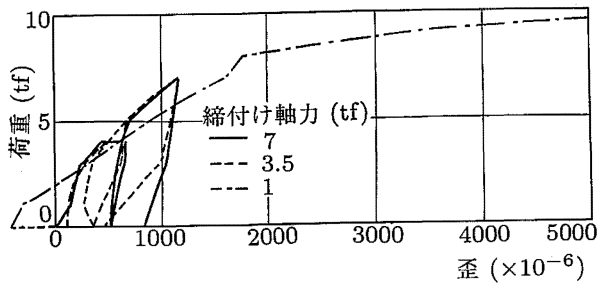
(1) プレートの変位について

Fig. 13 に荷重と、プレートの垂直方向の変位の関係の一例を示す。(1), (2), (3) はそれぞれボルト本数が 1 本, 5 本, 10 本の場合である。これによると最大荷重は当然ボルト本数により異なるが、最大荷重に達するときの変位は本数に関係なく 13 ~ 14mm

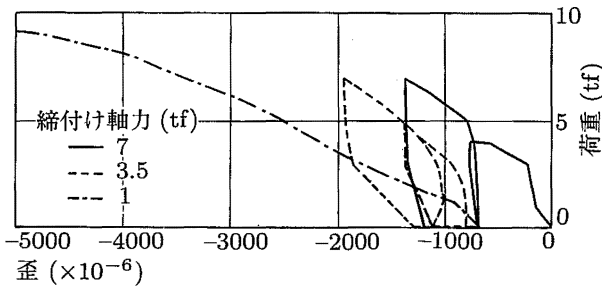
である。また摩擦実験の項で述べたように締め付けトルク  $T$  が大きいものほどプレートが滑り始める荷重は大きいことがこれらのデータからもわかる。

(2) ボルトの変位について

Fig. 14 は荷重とボルトの頭の垂直変位の関係の一例で繰り返し荷重を与えた S9B の結果である。同図によれば 5 tf 程度の低い荷重でも除荷後の残留変位が大きく、繰り返し加力により変位が累積されていくのが分かる。これは締め付け時のボルト軸力にあまり関係ないようである。また最終サイクルの破壊



(a) 点1 上側



(b) 点1 下側

Fig. 15 Load-strain curve in anchor (S10A)  
荷重—アンカー歪曲線 (S10A)

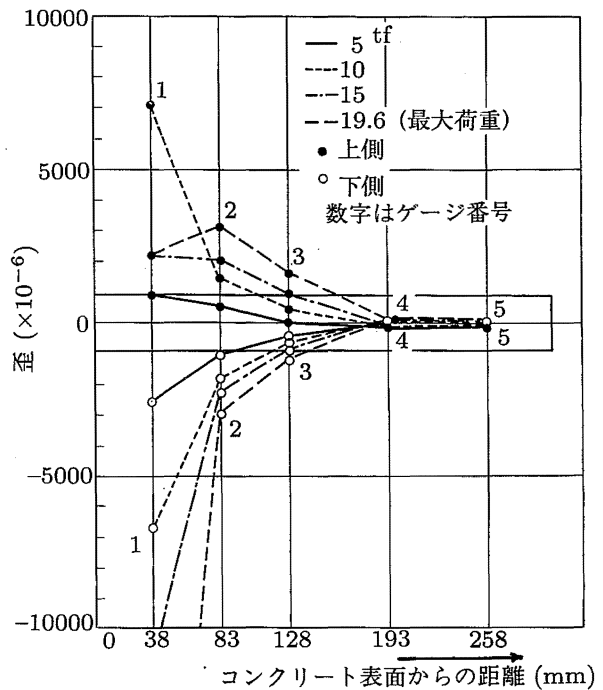


Fig. 16 Strain distribution in anchor (S10A)  
アンカーの歪分布 (S10A)

試験では荷重 6 ~ 7 tf を過ぎると変位が急増するようである。

(3) アンカーの歪について

Fig. 15 はグループ A の S10A のアンカーの歪をコンクリート表面から同距離の点 (Fig. 6 のアンカーゲージ 1) の上側, 下側で見たもので横軸の歪は, 初期締め付け時のボルト軸力 7 tf のときを 0 としている。同図によれば荷重に対する歪は, アンカーの上側と下側で正負ほぼ対照に出ており, アンカーに曲げが生じていることが分かる。また繰り返し加力によりかなりの歪が残ることが分かる。さらに最終サイクルの荷重 8 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これらの点の応力が降伏点に達したものと推定される。

次に Fig. 16 は, 同じ S10A の最終サイクルについてアンカーの長さ方向の歪の分布を見たものである。それによれば, アンカーの歪はコンクリートの表面に近いところでは大きいと深くなるほど急激に減少し 4, 5 ではほとんど 0 に近いことが分かる。

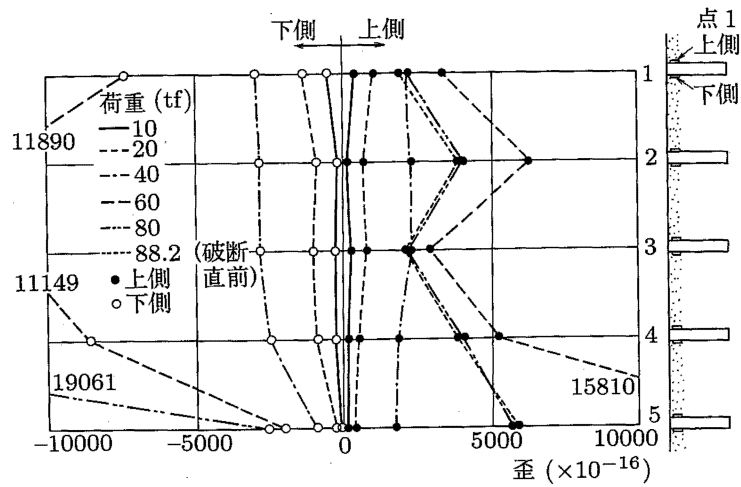
次に Fig. 17 は, グループ C の結果の一例で, Fig. 6 のアンカー歪 (点 1) の荷重毎の分布を見たもので, (a) は 5 本ぎき, (b) は 1 本ぎきの場合である。

また Fig. 18 は, Fig. 17 の (b) について荷重との関係を見たものである。それによれば, Fig. 17(a) では上下それぞれの荷重-歪関係は, 5 の下側を除いて各アンカーともよく一致しており, 剪断力が各アンカーにほぼ均等に作用していることが分かる。一方同図 (b) 及び Fig. 18 では, 荷重 10 tf 程度までは最初からきいているボルト 1 に剪断力が集中しており, かなり低い荷重から降伏歪 (2000 $\mu$ 程度と思われる。)を超えていることがわかる。

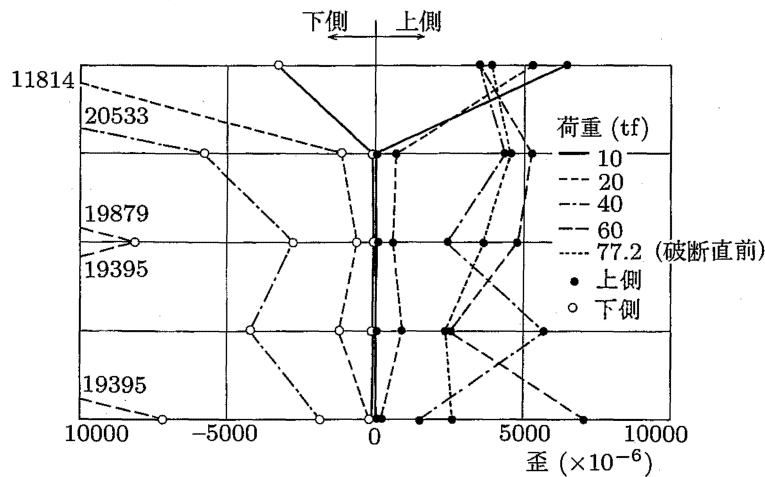
なお, 上で分析したようにアンカーにはかなり大きな曲げモーメントが作用しているが, 特に取付部の断面欠損部分付近に最大モーメントが生ずるのでアンカー強度を計算により検討する場合には, 従来の剪断力の照査のほかには曲げモーメントに対する照査も必要と思われる。<sup>5)</sup>

(4) コンクリートの歪について

グループ A におけるコンクリート歪についてみて見る。Fig. 19 はアンカー下方のコンクリート表面のゲージ 2 (Fig. 6) における荷重と歪の関係の一例であるが, アンカーの歪同様繰り返し加力により残留歪が累積されることが分かる。また 5 サイクル目の荷重 8 tf 付近で歪が戻っているのはクラック発生



(a) 5本ぎきの場合 (S10B)



(b) 1本ぎきの場合 (S11B)

Fig. 17 Distribution of strain among anchors  
アンカー間の歪分布

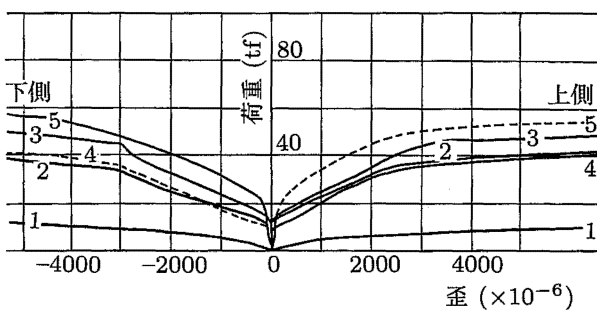


Fig. 18 Load-strain curves in point 1 of 5 anchors (S11B).  
5本のアンカーの点1における荷重—歪曲線

影響によるものと思われる。

次に Fig. 20 はアンカー周辺のコンクリート歪の分布をコンクリート表面と内部について見たものである。同図 (a) によれば垂直、水平方向ともにアンカー直下の2で大きい値を示すが、離れるにつれ急激に低下する。また (b) によればコンクリート表面近くでは大きいが高くなるほど急激に低下する。これらのデータからコンクリート表面のアンカーに接する部分には5 tf程度の荷重でもかなり大きな応力が生じているが、この部分から離れるにつれて急激に減少し、アンカーの周囲20 cm程度以上では破断荷重近くになってもわずかの応力しか生じていない

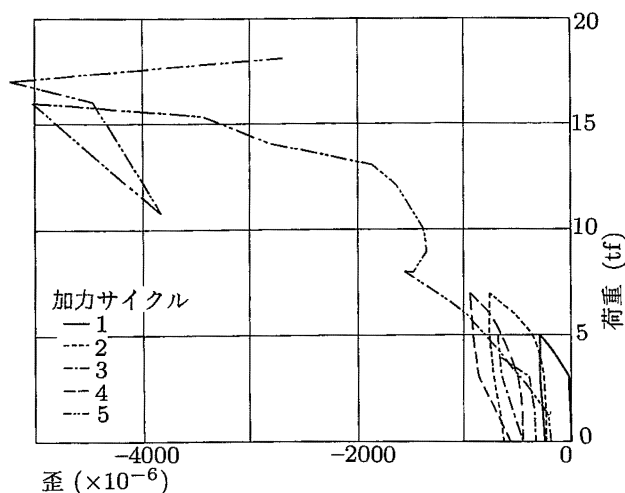


Fig. 19 An example of strain on concrete surface (S9A, point 2)  
コンクリート表面歪の例

ことが分かる。これよりアンカー間隔が 20 cm 以上であれば剪断強度において群ボルトの影響は考慮しなくてもよいものと思われる。また埋め込み深さも剪断力のみが作用する場合には、20 cm 以上あれば十分と思われる。

3) 最大荷重

Fig. 21 は、ボルトの締め付け軸力とボルト 1 本当りの最大荷重をプロットしたものである。このうち取り付けボルトが 1 本の場合のグループ A, B の結果 (●印) に注目すると最大荷重は締め付け時のボルトの軸力の増加につれ直線的に増加するようなので最小自乗法により近似直線を求めると次式になる。

$$P_u = 18.3 + 0.33T_0 \quad (2)$$

ただし、 $P_u$ : 最大荷重 (tf)

$T_0$ : (1) 式に同じ

上式で右辺第一項はボルトまたはアンカー自体の剪断強度を、第二項は、式の上では摩擦による剪断強度の増加分を表わすことになるが、後者は式 (1) の右辺のほぼ半分程度に等しく最大摩擦荷重の約半分が剪断強度の増加に寄与しているといえる。しかしデータ数が少なく (2) 式の信頼性が劣ることは否めない。また締め付けに比例して最大荷重が増加する理由は不明である。

次に、取り付けボルトが複数の場合の最大荷重とボルトの締め付け力やボルト穴の位置の不整との関係について考察する。

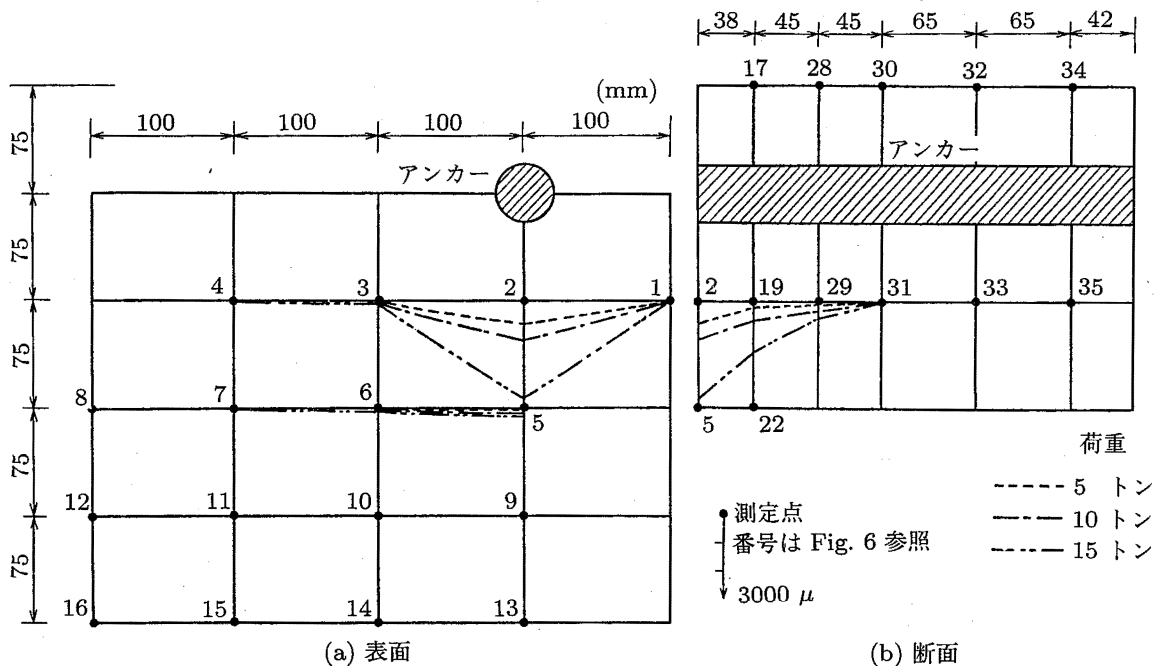


Fig. 20 Distribution of concrete strain on surface and inside  
コンクリートの表面及び内部における歪分布

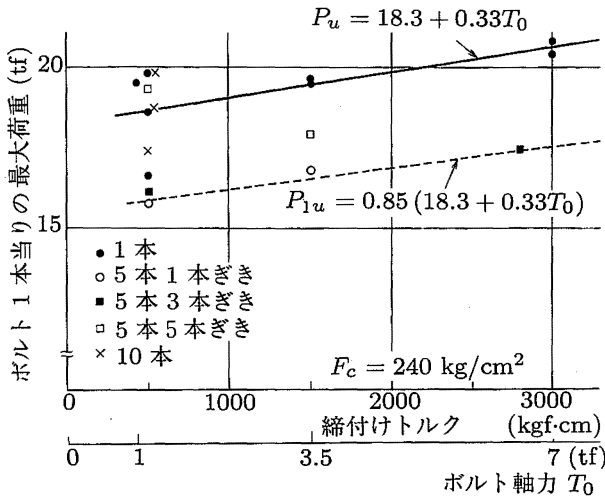


Fig. 21 Maximum load a bolt  
ボルト 1 本当りの最大荷重

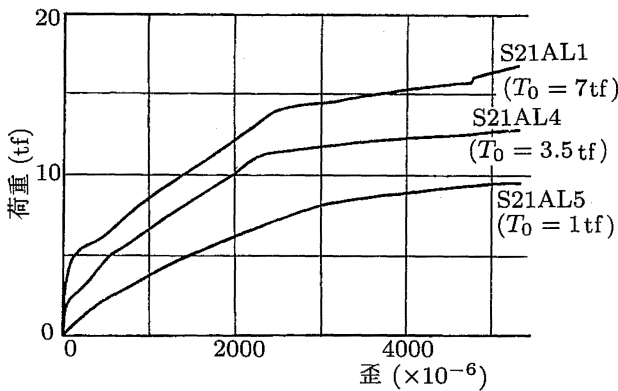


Fig. 22 Load-strain curves in anchor (point 1, upper side)  
荷重—アンカー歪曲線 (点 1, 上側)

このときの最大荷重は、(2) 式のボルト 1 本当りの最大荷重  $P_u$  を用いて次式で表わすことができる。

$$P_{nu} = \alpha \cdot n \cdot P_u \tag{3}$$

$$= \alpha \cdot n \cdot (18.3 + 0.33T_0)$$

ただし、 $P_{nu}$ : アンカーボルト  $n$  本ときの最大荷重 (tf)

$n$ : アンカーボルトの本数

$\alpha$ : ボルト穴の不整による強度の残存率

$T_0$ : (1) 式に同じ

ここで  $\alpha$  はボルト穴の不整による強度の残存率 (不整がない場合の強度を 1 としたときの比率) を表わすが、そこでグループ C の結果について、最大荷重を

Table 8 Remainder ratio  $\alpha$  in shear strength  
強度の残存率  $\alpha$

	締め付け軸力 (tf)	最大荷重 (tf)	$\alpha$
1 本 ぎき	1.0	79.0	0.85
	3.5	84.1	0.86
3 本 ぎき	1.0	80.3	0.86
	7.0	87.2	0.85
5 本 ぎき	1.0	96.4	1.03
	3.5	89.6	0.92

$P_{nu}$  に等しいとおいて上式により  $\alpha$  を求めると、Table 8 に示す値になる。 $\alpha$  は、5 本ぎきではほぼ 1、1 本ぎき、3 本ぎきともあまり変わらず約 0.85 ~ 0.86 であり、 $n = 5$  のときの  $\alpha$  の最小値は約 0.85 であることがわかる。

実際のブラケットのアンカーボルトは 10 本程度で使用されることが多いが、ボルトのクリアランスが一定の場合、一般に  $\alpha$  の最小値は  $n$  に比例して増加するものと思われるので、5 本ときの最小値 0.85 をとっておけば安全側になるものと思われる。また 5 本ぎきの  $\alpha$  がほぼ 1 であることや S13B, S15B の結果からボルト穴の位置に不整がなければ群としての強度の低下を考える必要はないといえる。このことは 5.3.3 の 2) の (4) で述べたコンクリート応力からの推論とも一致している。なお、Fig. 21 には (3) 式において  $\alpha = 0.85, n = 1$  とした直線も示したが、ほとんどの実測値は、同直線より上方にあり、同式が安全側にあることが分かる。

#### 4) クラック発生荷重

クラック発生荷重は、最大荷重に比べてかなり低く、発生した時点では安全上の問題はないと思われるが、美観上などから許容荷重設定の目安の 1 つになるものと思われるので以下に考察する。

まず Table 7 のグループ D の結果によれば、クラック発生荷重は締め付けボルトの軸力が 3.5 tf のとき 6 ~ 8 tf, 同 7 tf のとき 8 tf 以上と推定され、締め付け力に比例して大きくなるように見える。一方、クラックはアンカーによるコンクリート支圧破壊が原因で生ずるものであるからその発生とアンカーの歪間にはなんらかの比例係数があるものと思われる。

そこでグループ D と同じブロックの別のアンカー



について行ったグループ B の実験結果について、荷重とアンカーの歪の関係を見ることにする。Fig. 22 は、3 供試体についての上側 1 の歪であるが、歪はボルトの締め付け軸力が大きいときは摩擦のため荷重が摩擦力に達するまで生じない。しかし歪が生じ始めてからの荷重に対する歪の増加の割合は締め付け力にかかわらずほぼ一定のようである。これより歪と荷重及び摩擦力の関係は次式で表わすことができるものと思われる。

$$P_c = F + C \cdot \varepsilon \quad (4)$$

ただし、 $P_c$ : 荷重値 (tf)

$F$ : 摩擦力 (tf)

$\varepsilon$ : 歪

$C$ : 単位歪当りの荷重の増加量 (tf)

そこで、コンクリートに歪が一定値 $\varepsilon_0$ に達したときにクラックが発生するものとして、 $C' = C \cdot \varepsilon_0$ 、また  $F$  を (1) の最大摩擦荷重に等しいとおけば (4) 式は

$$P_c = 0.64T_0 + C' \quad (5)$$

となる。

ただし、 $T_0$ : (1) 式に同じ

なお上記については文献<sup>5)</sup>においても同様の記述が見られる。そこで、上式にグループ D の実測値のうちクラックが発生したと思われるときの値、 $T_0 = 3.5$  tf、 $P_c = 6 \sim 8$  tf を代入すると、 $C' = 5.76 \sim 3.76$  tf となり、式 (5) は

$$P_c = 0.64T_0 + (5.76 \sim 3.76) \quad (6)$$

となる。これが 1 本のアンカーに剪断力が作用する場合のクラック発生荷重の限界を表わす式である。

なお、クラックが発生すると思われるときのアンカーの歪はグループ D の結果とグループ B のアンカー歪のデータによれば、点 1 において  $2000\mu$  前後であるが、この近辺でアンカー材が降伏したものと思われる。

次に、複数のボルトで取り付けた場合の初期クラック発生荷重については、実験を行っていないが上記の結果から推測してみる。

まず、ボルトとボルト穴の位置の精度が高く荷重が各アンカーに均等に作用する場合のクラック発生荷重  $P_{nc}'$  は、(6) 式の  $P_c$  を用いて次式で表わすことができる。

$$\begin{aligned} P_{nc}' &= n \cdot P_c \\ &= n \cdot \{0.64T_0 + (5.76 \sim 3.76)\} \quad (7) \end{aligned}$$

ただし、 $n$ : ボルト本数

$T_0$ : (1) 式に同じ

一方プレートの穴とアンカーの位置にずれがあり、かつボルトの締め付け力が小さい場合にはかなり低い荷重でも特定のボルトに荷重が集中し、クラックが発生することが考えられる。しかしずれがある場合でもボルトの締め付け力が大きければ摩擦によりプレートの移動が止められるため、荷重が各ボルトの摩擦力の総和に達するまで特定のアンカーに荷重が集中することはないものと思われる。荷重が最大摩擦荷重に達した後、極端な場合 1 本のボルトのみが荷重を負担すると考えると、このときの初期クラック発生荷重  $P_{nc}''$  は、次式になるものと思われる。

$$P_{nc}'' = n \cdot 0.64T_0 + (5.76 \sim 3.76) \quad (8)$$

結局、複数のボルトで取り付けた場合の初期クラック発生荷重は、(7) 式を上限、(8) 式を下限とした次式の範囲にあるものと思われる。

$$P_{nc} = n \cdot \{0.64T_0 + \beta(5.76 \sim 3.76)\} \quad (9)$$

ただし、 $P_{nc}$ : ボルト  $n$  本のときの初期クラック発生荷重 (tf)

$T_0$ : (1) 式に同じ

$\beta$ : ボルト穴の加工精度による係数、

$$\beta = 1/n \sim 1$$

#### 5) 慣用計算式等との比較

アンカーボルトの剪断強度のうちコンクリートの支圧強度については、文献<sup>4,5)</sup>に慣用計算式として次の 2 式が紹介されている。

$$Q_{cr} = 1/4 D \cdot \ell \cdot \sigma_{cu} \quad (10)$$

$$Q_{cr} = 2D^2 \cdot \sigma_{cu} \quad (11)$$

ただし、 $Q_{cr}$ : 臨界荷重 (cm)

$D$ : アンカーの直径 (cm)

$\ell$ : アンカーの長さ (cm)

$\sigma_{cu}$ : コンクリートの圧縮強度 (tf/cm<sup>2</sup>)

また、文献<sup>6)</sup>にはクラック発生荷重として次式が提案されている。

$$Q_{cr} = 1.5\ell \cdot \sigma_{cu} \quad (12)$$

Table 9 Calculative values by practical equation  
慣用式による計算値 (tf)

	慣用式	今回の実験式
コンクリートの 支圧強度	(10)式 6.3	(6)式 4.4 ~ 10.2
	(11)式 5.8	
	(12)式 10.8	
ボルトの せん断強度	(13)式 19.4	(2)式 18.6 ~ 20.6
アンカーの せん断強度	(13)式 18.8	

そこで臨界荷重とクラック発生荷重が同じものとして、上記慣用式による計算値と今回の実験で得られたクラック発生荷重の推定式 (6) による計算値を Table 9 に示す。ただし、 $D = 3.49 \text{ cm}$ ,  $\ell = 30 \text{ cm}$ ,  $\sigma_{cu} = 0.24 \text{ tf/cm}^2$ ,  $T_0 = 1 \sim 7 \text{ tf}$  とする。

それによると、慣用式による試算値と今回の推定式はほぼ一致することが分かる。

次に、ボルトまたはアンカーの剪断強度に対して次式が用いられている。

$$Q_u = A_b \cdot \tau_{bu} \quad (13)$$

ただし、

$Q_u$ : ボルトまたはアンカーの終局強度 (tf)

$A_b$ : ボルトまたはアンカーの断面積 ( $\text{cm}^2$ )

$\tau_{bu}$ : ボルトまたはアンカーの剪断強度 ( $\text{tf/cm}^2$ )

そこで上式による計算値と今回の実験で得られた最大荷重の推定式 (2) による計算値とを Table 9 に示す。ただし、ボルトの場合、 $A_b = 3.03 \text{ cm}^2$  (ねじ部の有効断面積),  $\tau_{bu} = 6.41 \text{ tf/cm}^2$  (引張強度の  $1/\sqrt{3}$  倍と仮定), アンカーの場合、 $A_b = \pi/4 \times 3.3^2 - 3.03 = 5.53 \text{ cm}^2$  (雌ねじ部の有効断面積),  $\tau_{bu} = 3.41 \text{ tf/cm}^2$  (引張強度の  $1/\sqrt{3}$  倍と仮定) とし、 $T_0 = 1 \sim 7 \text{ tf}$  とする。

それによれば両計算値はほぼ一致していることが分かる。

そこで、上記の比較の結果、アンカーの直径、コンクリート強度が異なる場合のボルトまたはアンカーの終局強度の一般式として、(3) 式右辺の括弧内の第 1 項を (13) 式と置き換えた次式を提案したい。

$$P_{nu} = \alpha \cdot n \cdot (A_b \cdot \tau_{bu} + 0.33T_0) \quad (14)$$

ただし  $P_{nu}$ ,  $n$ ,  $\alpha$ ,  $T_0$ ,  $A_b$ ,  $\tau_{bu}$  は、(3) 式、(13) 式に同じとする

同様に、コンクリートの支圧強度の一般式として、(9) 式において、右辺小括弧内を (10) 式と考えた次式を提案したい。

$$P_{nc} = n \cdot (0.64T_0 + \beta \cdot \frac{D \cdot \ell}{4} \cdot \sigma_{cu}) \quad (15)$$

ただし  $P_{nc}$ ,  $n$ ,  $\beta$ ,  $T_0$ ,  $D$ ,  $\ell$ ,  $\sigma_{cu}$  は、(9) 式、(10) 式に同じとする。

上記の提案は、少し強引ではあるが、今回の実験条件に近い使用条件下ならば、実用的に差し支えないものと思われる。

### 6) 許容荷重

従来、鋼製仮設部材の許容荷重はその強度に対し 2 以上の安全率をとるように設定されている。当アンカーの接合部の場合、コンクリート部分を含むのもう少し高く 2.5 程度以上の安全率をとることが妥当と思われる。

そこで一般的には、上記で考察した最大荷重を 2.5 で割ったものを許容荷重として設計を行えばよい。しかし当アンカーボルトの場合、最大荷重に比較してクラック発生荷重がかなり低いため上記の許容荷重以下でもクラックが発生することが考えられる。そこで、独断的ではあるが以下の考え方に沿って許容荷重を設定することを提案する。

万一多少のクラックが生じても安全上問題がなければよい場合は (3) 式による最大荷重を 2.5 で除した値を許容荷重とする。

一方、施工後の仕上がりの品質を問題にする場合は (9) 式のクラック発生荷重に対し鋼材における降伏点に対するのと同程度の 1.5 の安全率をもつようにするのが妥当と思われる。しかし、クラック発生荷重はボルト穴の加工精度に大きく左右されるようなので精度に応じて次のようにすることを提案する。すなわちボルト穴の加工精度が良く各アンカーに均等に荷重が作用すると思われる場合は、式 (9) において  $\beta = 1$  として求めた値に対し 1.5 の安全率を持つようにする。その他の場合は、同じく  $\beta = 1/n$  として求めた値に対し 1.2 の安全率を持つようにする。安全率を下げたのは後者は最低値を表わしており、1.5 では厳しすぎると考えたからである。

以上の考え方に沿って例えば今回実験で取りあげたアンカーボルト 10 本の場合の許容荷重を計算すると Table 10 になる。

Table 10 Allowable loads  
許容荷重

(tf)

ボルトの 軸力 $T_0$ (tf)	(3) 式による ボルトのせん断強度		(3) 式による アンカーのせん断強度		(9) 式による コンクリート支圧強度	
	$\alpha=1$	$\alpha=0.85$	$\alpha=1$	$\alpha=0.85$	$\beta=1$	$\beta=0.1$
1	79	67	76	65	43	10
3.5	82	70	80	68	54	23
7	87	74	84	71	68	42

同表によれば、例えば作用剪断力 40 tf の場合、ボルトの締め付け軸力を 7 tf とすれば、ボルトの穴の精度に無関係に使用してよいことになる。また 60 tf の場合でもボルト穴のずれをなくして軸力を 7 tf とすれば使用してよいことになる。

#### 5.4 まとめ

以上、コンクリート面にアンカーボルトにより鋼板を取り付けた場合の剪断強度に関する一連の実験の結果、主な結果は以下の通りである。

鋼板とコンクリートの摩擦力については

- (1) 摩擦力は、ボルトの本数や締め付けトルクに比例して増加する。
- (2) 摩擦力は、コンクリートと鋼板の接触状況にはあまり関係しない。
- (3) ボルト 1 本当りの摩擦力は、ボルト本数に無関係に次式で近似できる。

$$F = 0.64T_0$$

ただし、 $F$  : ボルト 1 本当りの最大摩擦荷重 (tf)

$T_0$  : ボルト軸力 (tf)

剪断強度については

- (4) 最大荷重、クラック発生荷重ともに締め付けトルク、ボルト本数に比例して増大する。
- (5) 複数のボルトにより取り付ける場合、ボルト穴の位置に不整があると、不整がない場合に比べ最大荷重、クラック発生荷重ともに低下する。
- (6) 今回の供試体に限定すれば、最大荷重、クラック発生荷重は次式で近似できる。

最大荷重

$$P_{nu} = \alpha \cdot n \cdot (18.3 + 0.33T_0)$$

クラック発生荷重

$$P_{nc} = n \cdot [0.64T_0 + \beta \cdot (5.76 \sim 3.76)]$$

ただし、 $n$  : ボルト本数

$\alpha : 0.85 \sim 1, \beta : 1/n \sim 1$  はボルト穴の加工精度による係数

$T_0$  : ボルト軸力 (tf)

以上より、設計においては

- (7) ボルトの締め付け力を管理できれば締め付けによる摩擦力を設計に考慮してよい。
- (8) 複数のボルトで取り付ける場合には、剪断力に対しては、全ボルト数の 85% を有効ボルト数としてよい。

#### 5.5 おわりに

以上、ブラケットに用いられる支圧型のアンカーボルトの摩擦・剪断特性について実験を行いデータを検討した結果、冒頭に述べた問題点に対して一応の結論が得られたものと思う。しかし今回の実験は、特定のアンカーボルトについての限られた条件下のものであるので、さらに一般性のある結論を得るため、今後は他のタイプ・条件のものについても実験を行なうつもりである。

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) 森 宜制, 型枠支保工の設計, オーム社 (1968).
- 2) Jorgen G.O, Roger G.S and John W.F, Shear Strength of Stud Connectors in Lightweight and Normal-weight Concrete, AISC ENGINEERING JOURNAL, APRIL/1971, (1971).
- 3) 矢野明義, 菅谷重夫, 松崎育弘, 阿保保彦, 宇佐見滋, 機器配管用支持構造物 (埋込金物) の耐力に関する実験研究 (その1~その5), 日本建築学会大会学術講演梗概集, (1980).
- 4) 日景秀治, 熊谷成之, 岡村光政, 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), 戸田技術開発センター技術研究報告集, (1978).
- 5) 日景秀治, 熊谷成之, 岡村光政, 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), 戸田技術開発センター技術研究報告集, (1979).
- 6) 尾形素臣, 松山英雄, 床板けた式支保工の設計, 土木技術, 34-7, (1979).
- 7) 小川勝教他, ブラケット取付用アンカーの引張強度, 産業安全研究所特別研究報告, RIIS-SRR-90, (1991).
- 8) 高力ボルト接合設計施工指針, 日本建築学会, (1987).
- 9) 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, 高速道路技術センター, (1988).