

6. ブラケットの強度

河尻義正*, 大幢勝利*, 小川勝教*

6. Strength of Brackets for Temporary Beam

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

Abstract; Brackets are used as supports for beam-type shoring in concrete placing of bridge construction, as shown schematically in Fig. 1.

It is study one type of installed bracket using bolts in internal thread anchors embedded in concrete of bridge piers will be examined to clarify the strength of this type bracket.

The strength of anchors was already examined in the former studies.²⁾³⁾

This study aims at investigating the strength of brackets systematically.

In the experiments, push-out tests were performed against installed brackets using bolts to internal thread anchors embedded in concrete block model.

Result of tests are summarised as follows;

(1) Ultimate strength of brackets depend on the strength of concrete blocks are installed in and in case of non-reinforced concrete 104~131 tf for concrete design strength 240 kgf/cm², 123~140 tf for the same 300 kgf/cm² and in case of reinforced concrete 156~177 tf.

(2) Allowable load for brackets should be 40~60 tf according to the test results in this time.

(3) Measured axial forces in the top bolts are larger than the calculated values by conventional method in some cases.

Then another calculating method is proposed and verified good agreement with measured values.

Keywords; Anchor, Bolt, Bracket, Bridge construction, Beam-type shoring, Concrete placing, Temporary structure

6.1 はじめに

ブラケットは、Fig. 1のように橋梁工事のコンクリート打設工事などにおいて、既設の橋脚などを利用して主に梁式の型枠支保工の支持部材として使用されるものである。ブラケットには通常大きな荷重が作用するのでその設計・施工に際しては十分安全に留意する必要がある。

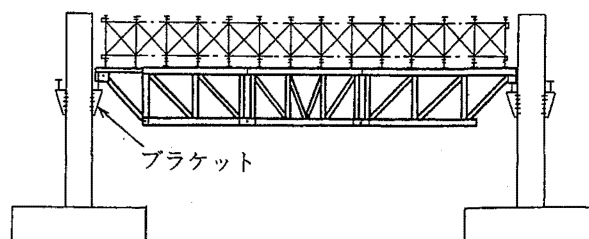


Fig. 1 Typical application of brackets
ブラケットの例

*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

設計基準強度 (kgf/cm ²)	単位量 (kgf/m ³)					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 (%)
	水	セメント	細骨材	粗骨材	混和材					
240	160	267	833	1060	2.78	25	14	4.6	60	44.6
300	160	309	796	1060	3.21	25	12	4.0	51.8	43.4

Table 2 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

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 ²)	引張 強さ (kgf/mm ²)	伸び (%)
SD35	D35	34.9	110	40~42	59~62	22~23

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 ²)	引張強さ (kgf/mm ²)	伸び (%)	引張 荷重 (tf)
F10T	M22	103	111	20	33

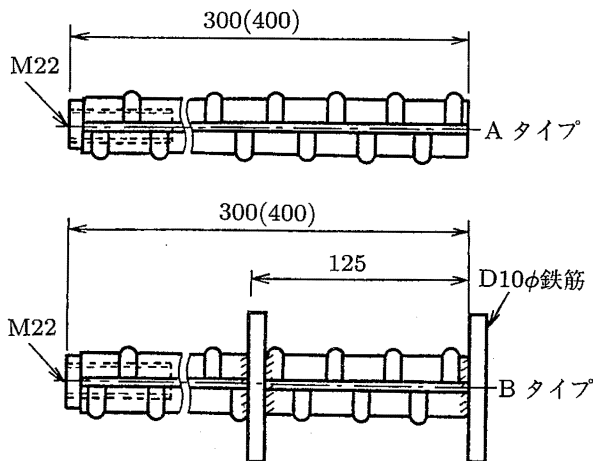


Fig. 2 Details of anchors
アンカーの形状

現在、ブラケットにはアンカーボルト方式とPC鋼棒締め付け方式のものが用いられているが、当研究で対象とするのは前者で、予めコンクリートにアンカーボルト（雌ネジを切った異形鉄筋）を埋め込んでおき、これにボルトを用いてブラケットを取り付ける構造のものである。この方式ではその強度を信頼性の劣るコンクリートに依存しているため、設計に際してはブラケット本体のみならずコンクリート、アンカーボルトを含めて総合的に検討する必要がある。これについては、いくつかの研究^{7~10)}があり、現行

の安全基準などに一応の基準が示されているが、アンカーボルトやコンクリートの作用力の算定方法などについてはデータも少なく不明な点も多い。

そこで、アンカーボルトについての研究^{2,3)}に続いて、本報はそれらを実際のブラケットに使用したときの強度について総合的に検討するため実験的研究を行ったものである。

6.2 実験方法

6.2.1 供試体

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製のブラケットを取り付けた実大模型で、詳細は以下の通りである。

なお以下では、アンカーボルトのうちコンクリートに埋め込まれた異形鉄筋部分をアンカー、取り付けに用いる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、ボルト
コンクリートブロックに用いたコンクリートはレ

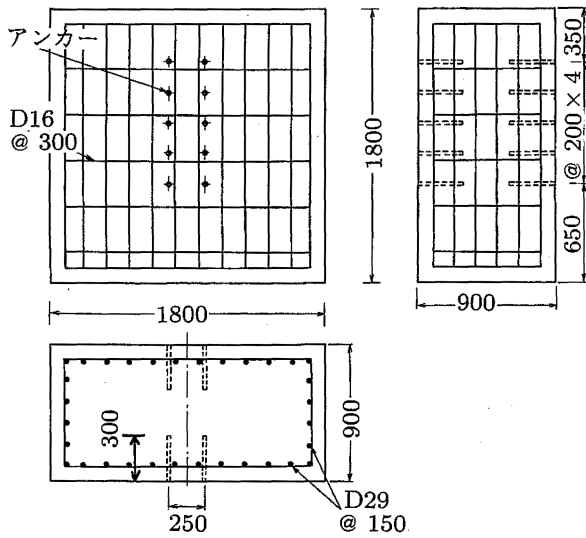


Fig. 3 Typical test concrete block and anchor arrangement
 コンクリートブロック (有筋)

ディミクストコンクリートで設計基準強度は、240 kgf/cm²と、300 kgf/cm²の2種類とした。Table 1にそれぞれの配合を、Table 2に圧縮強度を示す。また強度300 kgf/cm²のコンクリートを用いたブロックについては有筋と無筋の2種類とした。有筋ブロックの配筋は、実際の橋脚を模したものとした。

アンカー、ボルトは、文献^{2,3)}において扱ったものと同じもので Fig. 2 にアンカーの形状を、Table 3, Table 4 にそれぞれの機械的性質を示す。ブロックにはアンカーを背中合わせの2面に埋め込み、1面当りのアンカーの本数は、取り付けるブラケットのタイプに合わせて10本、12本の2種類とした。アンカーの埋め込み長さは、すべて300 mm、設置間隔は、垂直方向が200, 150 mmの2種類、水平方向は250, 200 mmの2種類とした (Fig. 3)。なおブロックの製作に際しコンクリートの打設は、重力の影響

(mm)

タイプ	a	b	H	t ₁	t ₂	t ₃	アンカー本数
A	200	250	1000	19	16	12	10本
B	〃	〃	〃	28	19	16	〃
C	〃	200	〃	19	16	12	〃
D	150	250	800	〃	〃	〃	〃
E	〃	200	〃	〃	〃	〃	〃
F	200	250	1200	〃	〃	〃	12本

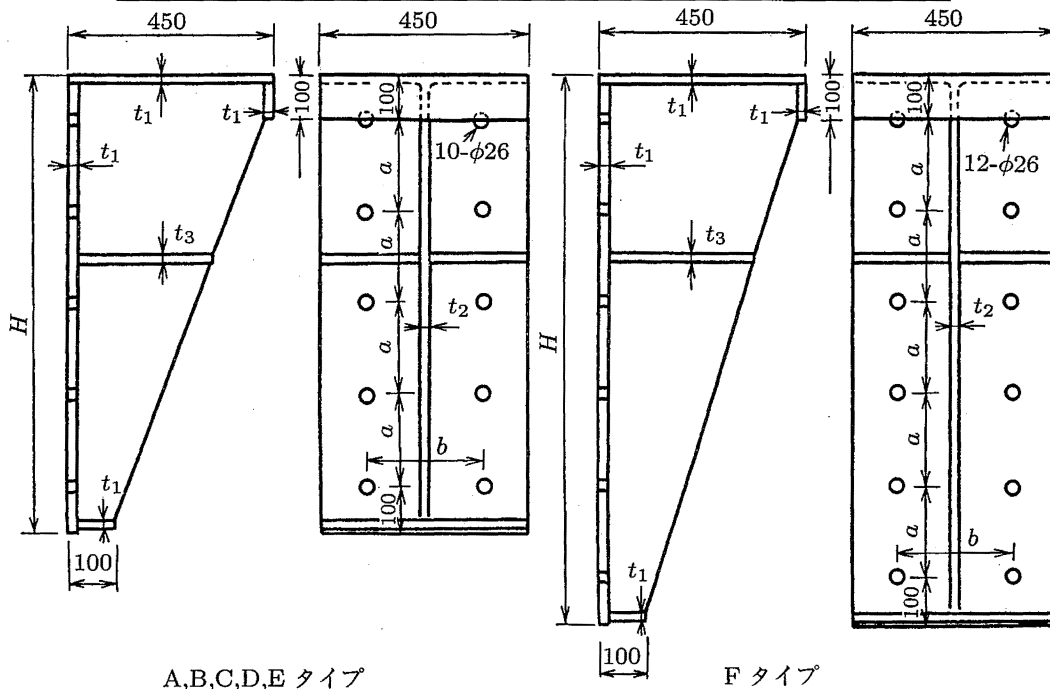


Fig. 4 Configuration and dimension of Bracket
 ブラケットの形状・寸法

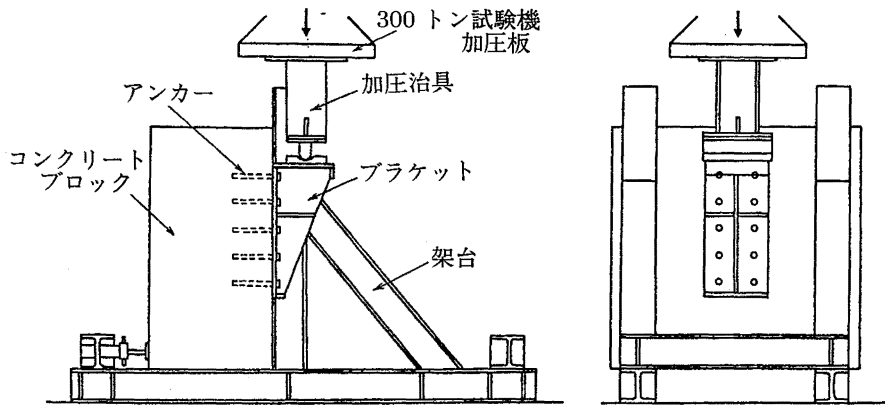


Fig. 5 Apparatus for push-out loading
載荷装置

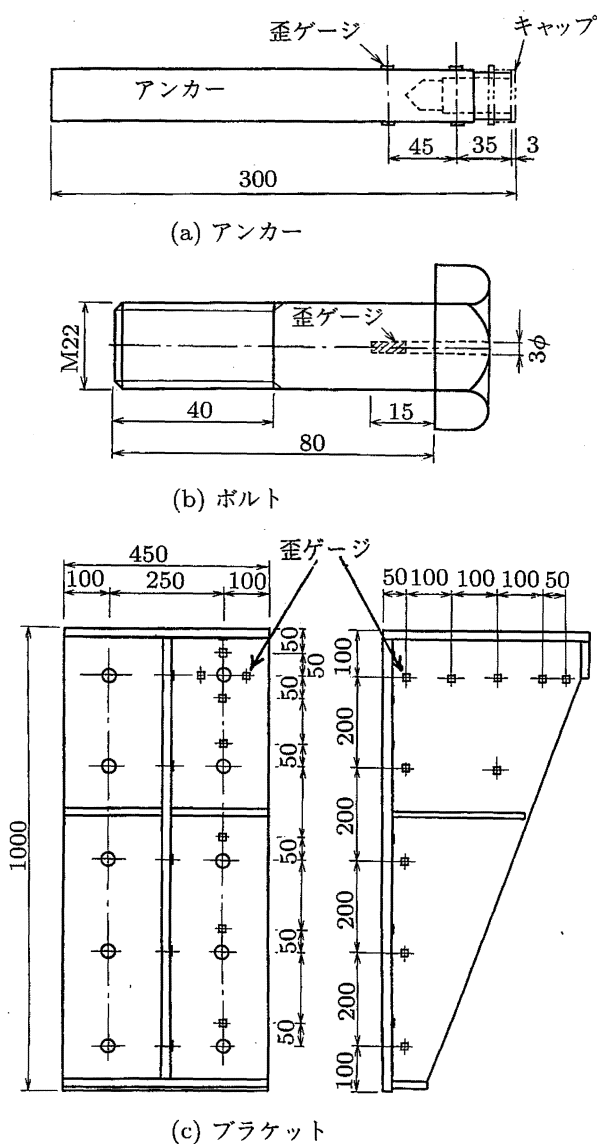


Fig. 6 Arrangement of wire strain gauges
歪ゲージの貼付位置

によるアンカー下方の隙間が載荷試験時の荷重方向と一致しないようブロックを横にした状態で行った。

2) ブラケット

ブラケットは、鋼板を溶接接合した構造で現場で実際に使用されているものを参考に Fig. 4 に示す 6 種類とした。ブラケット取付ボルト用の穴径は、取付ボルトの直径より 4 mm 大きい 26 mm とした。穴の位置はアンカー位置に正確に合わせた。

6.2.2 取付及び載荷方法

ブラケットをブロックに取り付けるときのボルトの締め付けは、トルクレンチにより締め緩めを繰り返しながら全ボルトの締め付けトルクがなるべく均等になるようにした。締め付けトルクは、文献³⁾の予備試験の結果からブラケットが落ちない程度に弱く締めることを想定した 500 kgf・cm にすることとし、一部比較のため力一杯締めることを想定した 3000kgf/cm または 2800kgf/cm とした。

供試体への載荷は、Fig. 5 に示すように架台上のブラケットを加圧治具を介して圧縮試験機により押し下げる方法によって行った。加圧治具の加圧点はコンクリート面から 25 cm の位置とし、ブラケットに対して線荷重となるよう円筒座とした。圧縮試験機は、300 トン垂直試験機（東京衡機製）を用い、荷重速度は約 10 tf / 分とした。

載荷時の加力パターンは、繰り返し荷重を与えた後破壊まで加力する、単調増加荷重により破壊まで加力する、繰り返し荷重のみを与える、加力位置を変えて繰り返し荷重を与えるの 4 種類とした。

実験は、コンクリートブロック、ブラケット、取り付けボルトの締め付けトルク及び載荷時の加力パターンの組み合わせを変えて合計 20 回行った。

Table 5 Test results
実験結果

実験名	コンクリートブロック		アンカー		アンカーの埋込み間隔		ブラケットのタイプ	ボルトの締付トルク (kgf·cm)	加力パターン (tf)	クラック発生荷重 (tf)	最大荷重 (tf)	破壊状況	
	鉄筋	コンクリート設計基準強度 (kgf/cm ²)	タイプ	本数	a (mm)	b (mm)							
B20A	無筋	240	B	10	200	250	A	500	0→30→0→60→0→破壊	—	126	ブロック破壊	
B22A	〃	〃	〃	〃	〃	〃	B	〃	0→30→0→破壊	100	116	〃	
B23A2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	0→破壊	90	131	〃	
B21B	〃	〃	〃	〃	〃	〃	A	3000	〃	70	128	〃	
B19B	〃	〃	〃	〃	〃	250	C	500	〃	—	110	〃	
B16B	〃	〃	〃	〃	150	200	D	〃	〃	90	105	〃	
B17B	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	70	104	〃	
B18A	〃	〃	〃	〃	150	200	E	〃	〃	—	110	〃	
B24A	有筋	300	A	〃	200	250	B	〃	〃	90	162	ブロック破壊 (圧壊)	
B24B	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	2800	〃	90	156	ブロック破壊	
B25A	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	500	〃	90	173	ブロック破壊及びボルト破断	
B25B	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	65	177	〃	
B26A	無筋	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	50	136	ブロック破壊	
B27A	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	80	140	〃	
B27B	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	—	123	〃	
B19A	〃	240	B	〃	〃	〃	A	3000	0→50→0→50→0→90→0	*加力位置移動			
B23B1	〃	〃	〃	12	〃	〃	F	500	0→10→0→70→0→70→0				
B23A1	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	0→50→0				
*B23B2	〃	〃	〃	10	〃	〃	A	〃	0→50→0→20→0→12.5→0				1 サイクル コンクリート面から 10 cm
*B20B	〃	〃	〃	〃	〃	200	C	〃	0→50→0→40→0→40→0				2 サイクル コンクリート面から 25 cm 3 サイクル コンクリート面から 40 cm

ブラケットの強度



上面 正面 側面

Photo 1 Configuration after test in non-reinforced concrete block B27B
ブロックの破壊状況 (無筋ブロック, B27B)

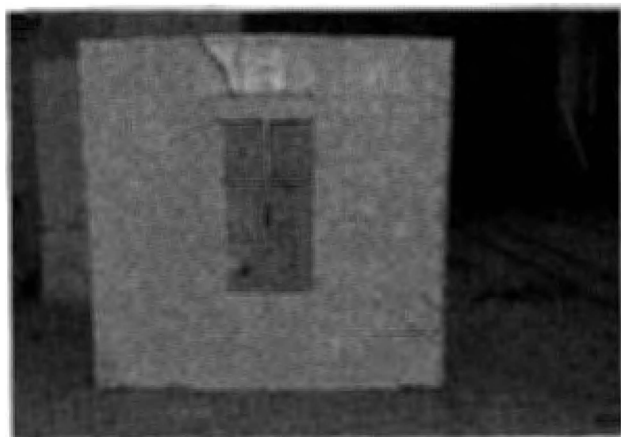


Photo 2 Configuration of block and braket after test in B20A
ブロック, ブラケットの破壊状況 (B20A)

6.2.3 測定

測定は、荷重、ブラケットの垂直・水平変位、アンカー、ブラケットの歪、ボルトの締め付けトルク及びボルト軸力について行った。各量の検出は、変位は歪ゲージ式の変位計により、歪及びボルト軸力は歪ゲージにより、トルクはトルク計により行い、アンプ、パソコンを介して荷重毎にディスクに収録すると同時に、最大荷重付近の動的現象をとらえるためサンプリング周波数 20c/s で AD 変換して MT に収録した。Fig. 6 にアンカー、ボルト、ブラケットの歪

ゲージ貼付け位置を示す。

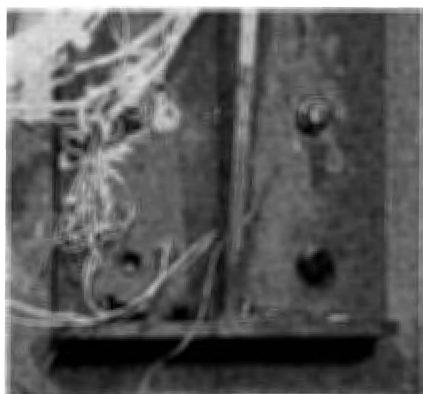
6.3 実験結果

実験結果を Table 5 に示す。

6.3.1 変形・破壊状況

加力により破壊にいたる過程を見ると、無筋コンクリートブロックの場合ほぼ共通しており、荷重 70 ~ 100 tf で最上段のアンカー付近から引き抜き力によると思われるひび割れが放射状に発生 (以下では、このときの荷重をクラック発生荷重と呼ぶ) し、それが加力とともに発展し、最後に最大荷重に達してブロック上部が破壊した (Photo 1)。破壊状況は、引き抜き試験後の状況に似ており、この場合の強度は主に最上段のアンカーボルトの引き抜き耐力に依存するものと思われる。一方ブラケットには大部分異常は認められなかったが、B20A においてのみ、ブロックの破壊と同時にブラケットの補強ウェブが座屈した (Photo 2)。

次に有筋コンクリートブロックの場合は、無筋の場合同様荷重 100 tf 以下で最上段のアンカー付近にひび割れが発生したが、その後は供試体により相違が見られた。すなわち B24A と B24B では、最上段のアンカー周辺のブロックのひび割れ破壊と最下段のアンカー下方のコンクリート部分の圧壊がほとんど同時に発生したのに対し、B25A と B25B では最下段のアンカーへの取り付けボルトが剪断破壊した



最下段ボルトの破断状況 (B25B)
Failure of bolt by shear

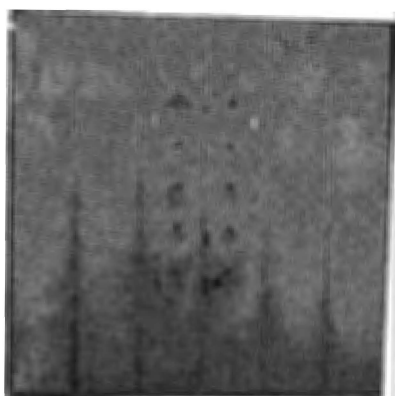


Photo 3 Configuration of reinforced concrete block after test
破壊状況 (有筋ブロック, B25B)

(Photo 3)。しかし前 2 者と後 2 者は、それぞれ同じブロックであり、この相違は個体のバラツキによるものと思われる。なお有筋の場合のブラケットはウェブの板厚を 28 mm と厚くしたためか、ブラケットにはほとんど異常は認められなかった。

6.3.2 クラック発生荷重, 最大荷重

Table 5 にクラック発生荷重と最大荷重を示す。また一部については、Fig. 7 に図示する。なお、ここでのクラック発生荷重は、最上段のアンカー周辺に発生したひび割れがプレートを出たところで確認したときの荷重である。ひび割れは実際にはこの荷重より低い荷重で発生していたと思われるが、実験では発生当初のひび割れはブラケットのプレートに隠れて見えないため、やむを得ずこの値をとったもので、あまり厳密な値ではない。

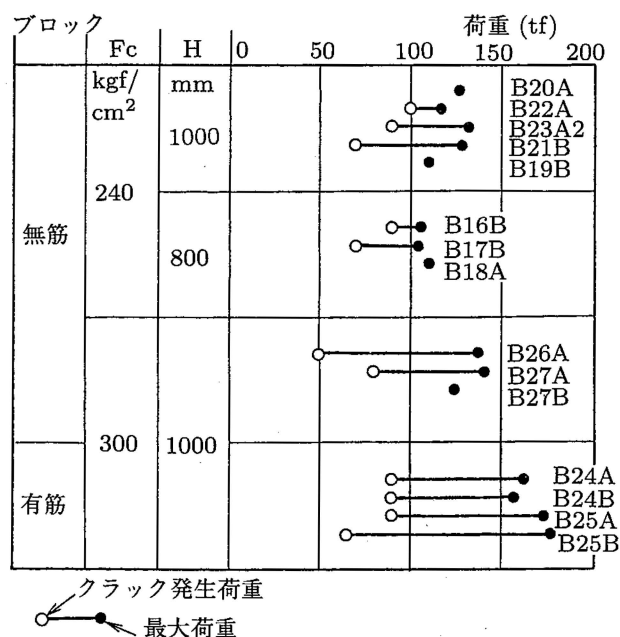


Fig. 7 Crack load and maximum load
クラック発生荷重と最大荷重

同図、表によれば、クラック発生荷重は 50 ~ 100 tf にあり、コンクリート強度、鉄筋の有無、取り付けボルトの締め付けトルク、及びブラケットのタイプとの相関はあまりないように見受けられる。

最大荷重は、無筋ブロックではコンクリート強度 240 kgf/cm² の場合、104 ~ 131 tf, 同 300 kgf/cm² の場合、123 ~ 140 tf で、後者が多少高い値を示している。有筋ブロックでは 156 ~ 177 tf で、同じコンクリート強度の無筋ブロック比べ 30 ~ 40 tf 高くなっている。

ブラケットのタイプによる比較では高さが低い B16B, B17B, B18A は、その他のコンクリート強度 240 kgf/cm² の無筋ブロックに比べ多少小さい値になっており、ブラケットの高さが最大荷重に影響を与えたものと思われる。

また最大荷重は、前節に述べた破壊状況と関連があり、コンクリートが無筋の場合は最上段のアンカーボルトのコンクリートに対する引き抜き強度により、有筋の場合は、取り付けボルトの剪断破壊強度によって決まるといえそうである。

このことは、文献²⁾に見られるブロックが無筋の場合のアンカーボルト 1 本当りの引張強度と本報の最大荷重のときの最上段のボルト軸力がともに 20 ~ 25 tf 前後であること及び文献³⁾に見られるアンカー

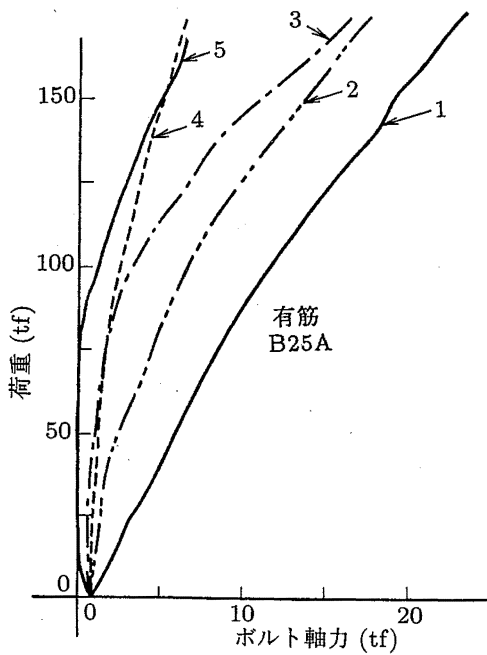


Fig. 8 Load-axial force curves in bolt (reinforced concrete block)
ボルト軸力と荷重 (有筋)

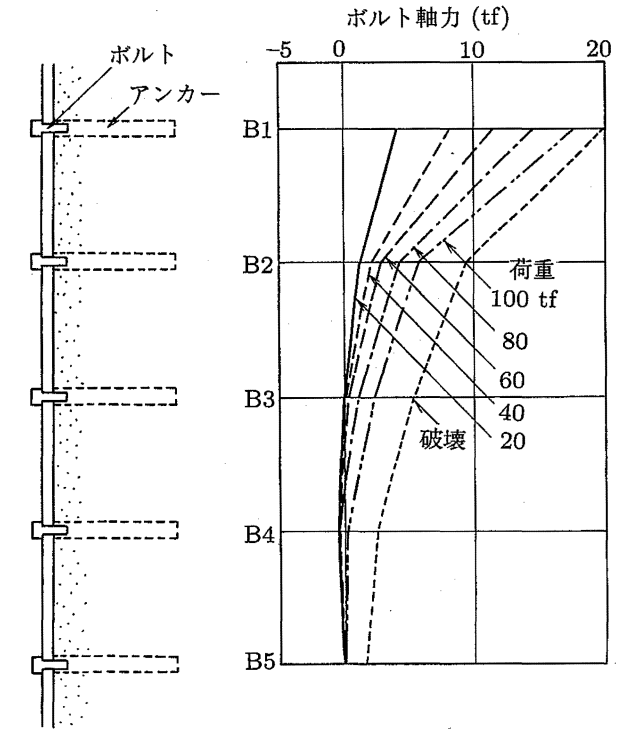


Fig. 10 Distribution of axial forces among bolts (B20A)
ボルト軸力の分布 (B20A)

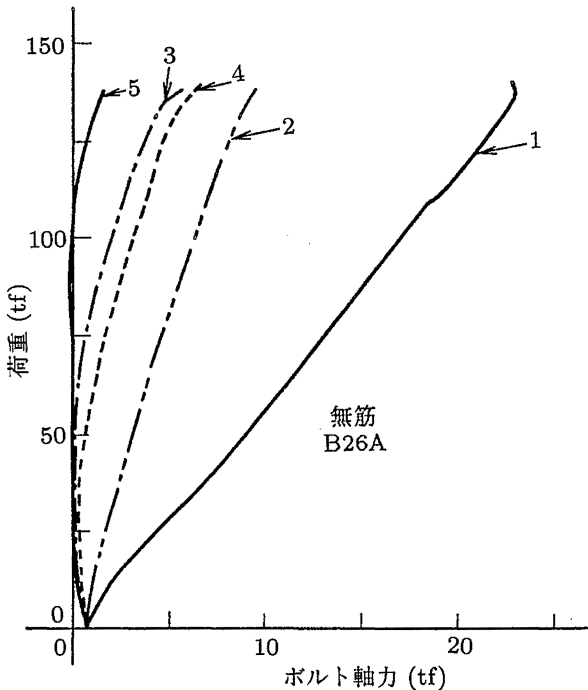


Fig. 9 Load-axial force curves in bolt (non-reinforced concrete block)
ボルト軸力と荷重 (無筋)

ボルト 10 本の剪断強度³⁾と本報の有筋の場合の最大強度がともに 180 tf 前後であることから間違いないさそうである。

6.3.3 ボルトの軸力

Fig. 8, Fig. 9 は、ブラケットの高さ方向における片側 5 本のボルト軸力と荷重との関係を締め付け前の状態を軸力 0 として見たものである。

これらによれば、ボルト軸力は、上段のボルトでは荷重の増加とともに初期の張力がさらに増加するが、下段のボルトでは逆に低下しており、ブラケットに曲げモーメントが作用していることがうかがえる。

次に、Fig. 10 は、B20A についてボルトの軸力分布を荷重毎にみたものであるが、軸力は、上段のボルトほど大きく下段にいくほど急激に減少すること、最上段が約 20 tf のときブロックが破壊すること、軸力が引張から圧縮に転ずる点は荷重の増加とともに下方に移動することなどが分かる。

さらに、コンクリートブロックの条件及びブラケットの高さと軸力の分布の関係を見るため、実測値を Table 6 に示す 5 つのグループに分けてその軸力プロフィールを Fig. 11 に示す。なお、同図はボルトの

Table 6 Classification in kinds of concrete block and height of brackets
 コンクリートブロックの種類, ブラケットの高さによるグループ分け

条件	グループ	I	II	III	IV	V
ブロックの有筋・無筋の別		無筋	無筋	有筋	無筋	無筋
コンクリートの設計基準強度 kgf/cm ²		240	300	300	240	240
ブラケットの高さ (mm)		1000	1000	1000	1200	800

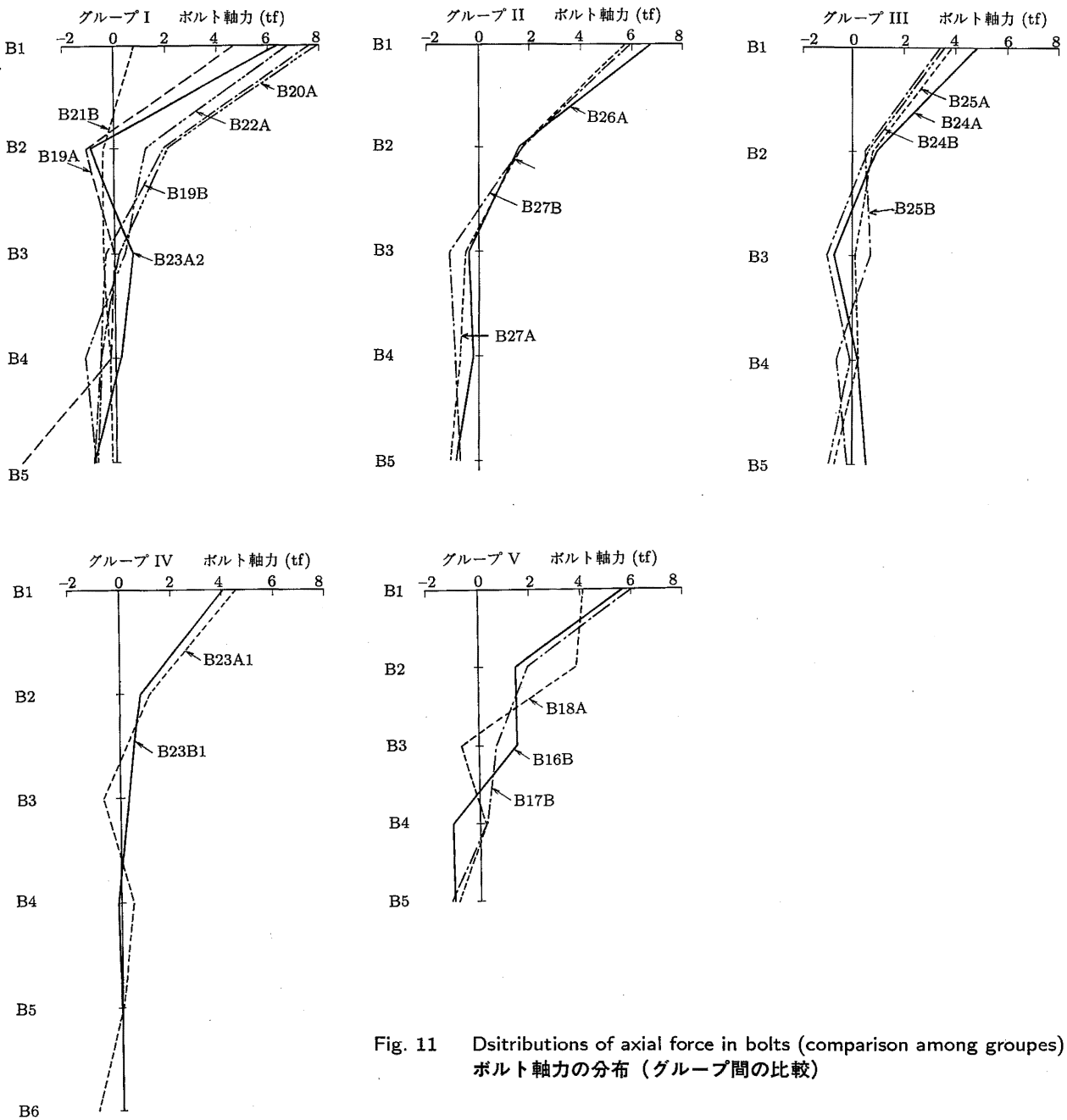


Fig. 11 Distributions of axial force in bolts (comparison among groups)
 ボルト軸力の分布 (グループ間の比較)

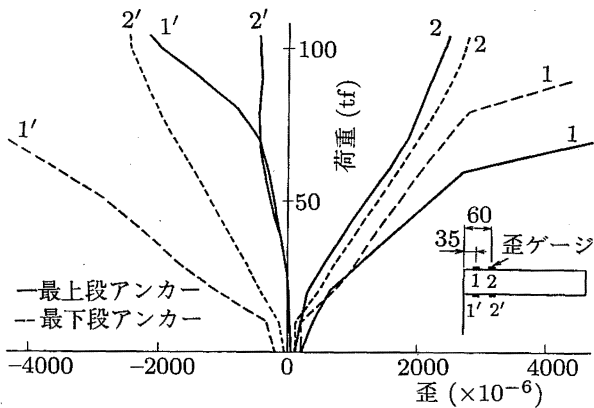


Fig. 12 Load-strain curves in anchors
アンカーの歪と荷重

クの剛性に関連があるものと思われるが、これについては、後で考察する。

6.3.4 アンカーの応力

Fig. 12 は、アンカーの歪と荷重との関係を見たものの一例である。

同図によれば、アンカーには、特に測点 1, 1' には低い荷重からかなり大きな歪が生じており、また測点 1, 2 で正の歪、測点 1', 2' で負の歪になっていることからアンカーに曲げが生じていることが分かる。

そこでアンカーの降伏歪を 2000×10^{-6} と仮定して、4 供試体について測点 1 及び 1' の応力が降伏点に達するときの荷重値を歪—荷重曲線から読み取り整理すると Fig. 13 のようになる。同図によればブラケットにより多少の相違はあるものの上段のアンカーでは下側（圧縮側）に比べ上側（引張側）が先に、下段のアンカーでは逆に圧縮側が先に降伏点に達する傾向が見受けられる。これはアンカーには剪断力のほかにブラケットに作用する曲げに伴う軸力が上段のアンカーでは引張力、下段では圧縮力として働いているためと思われる。また、アンカーによりバラツキが大きいのはアンカーとブラケットのボルト穴の位置のずれにより各アンカーの剪断力の分担が不均等になっているためと思われる。

従来アンカーの設計においては、剪断応力度と引張応力度について照査することにしており、曲げ応力度については特に照査は行っていないが、これについては、文献⁷⁾に検討されているので参照されたい。

6.3.5 ブラケットの変位

Fig. 14 ~ Fig. 16 は、荷重とブラケットの変位との関係の一例である。X₁, X₂, X₃ は、それぞれ上突き出し端の水平変位、上突き出し端の鉛直変位、下端の鉛直変位をブラケットの左右端で測ったものの平均値である。

それによれば、ブラケットの荷重 40 tf における X₁, X₂, X₃ は、それぞれ 1 ~ 2 mm, 2 ~ 6 mm, 2 ~ 5 mm である。供試体によるばらつきは、主にアンカーとブラケットの穴のずれにおけるばらつきと思われる。また取り付けボルトの初期締め付け力が高い B24B の場合、荷重が最大摩擦力以下では、締め付け力が小さい他のものより鉛直変位 X₂ や X₃ は小さいが、滑った後は、ほぼ同じ変位となる。なお変位計は、実験途中で外したため、各曲線の上端は単にその点を示しているにすぎない。

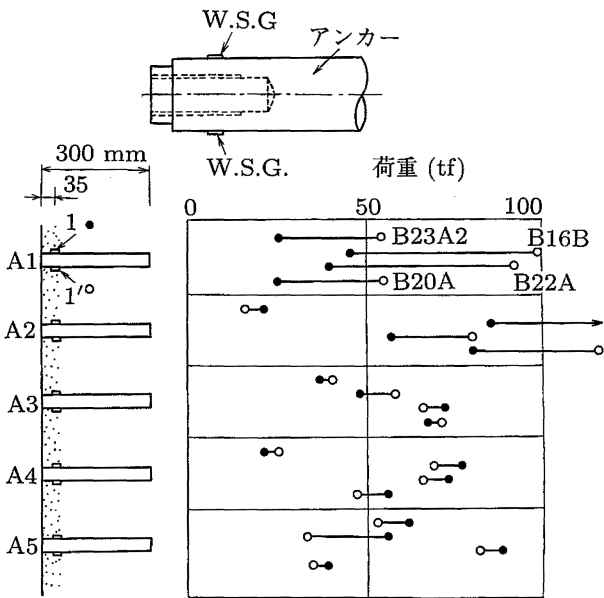


Fig. 13 Yielding loads of anchors
アンカーが降伏するときの荷重値

締め付け後を軸力 0 としたもので、実際には初期の締め付けによる軸力を加算したものが軸力として作用している。締め付けによる軸力は、締め付けたトルク 500 kgf-cm のもので 1 tf 前後、3000 kgf-cm のもので 7 tf 前後である。

Fig. 11 によれば、グループ I の締め付けトルクの大きい B21B, B19A 及び B23A2 を除いてそれぞれのグループ毎に似た分布形状を示している。また、最上段のボルト軸力についてもグループにより相違があるようである。

これらの相違は、ブラケットとコンクリートブロッ

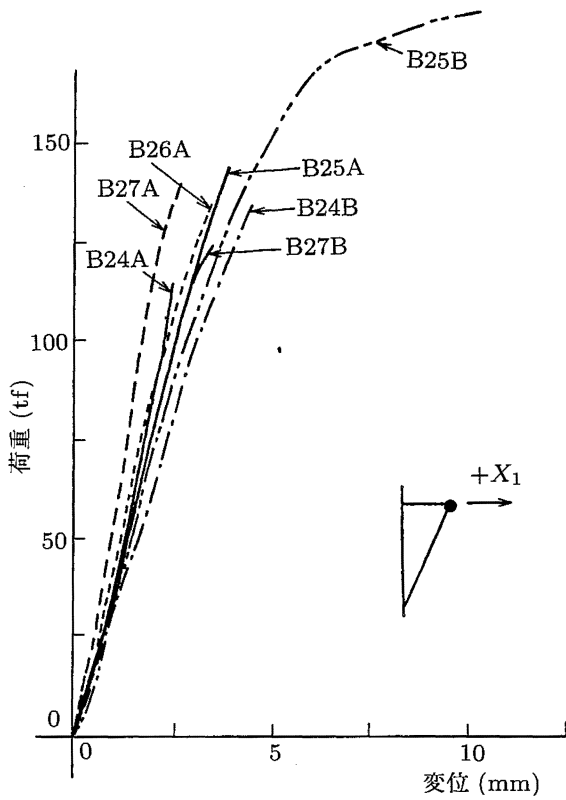


Fig. 14 Relation between load and displacement X_1
荷重と変位 X_1 の関係

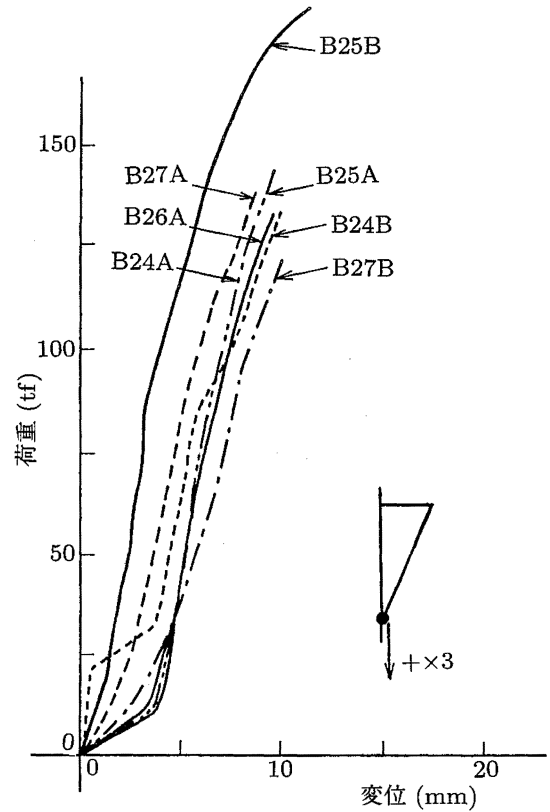


Fig. 16 Relation between load and displacement X_3
荷重と変位 X_3 との関係

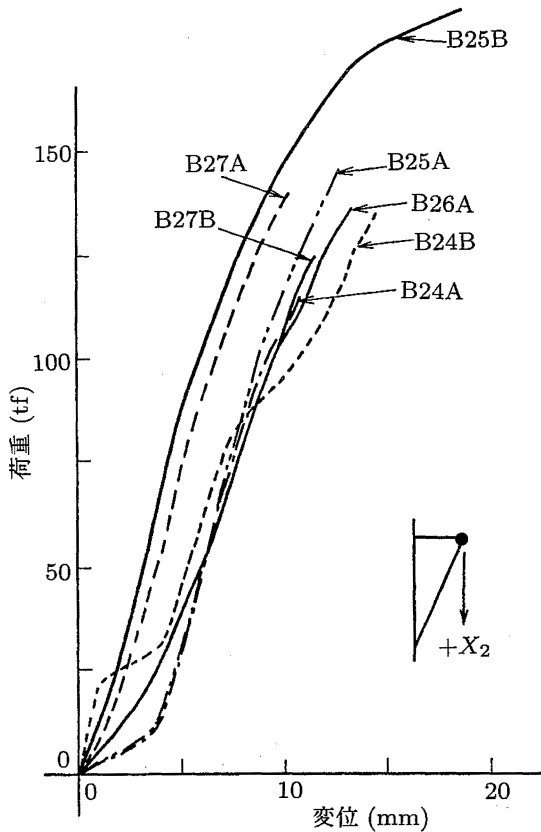


Fig. 15 Relation between load and displacement X_2
荷重と変位 X_2 との関係

6.3.6 ブラケットの歪

Fig. 17, Fig. 18 は、載荷時のブラケットの歪と荷重の関係の一例で、B22A について見たものである。Fig. 17 のプレート部分については、Y 方向では 2 と 3 で、Z 方向では 1 と 4 で比較的大きな圧縮歪が生じており、最上段の取り付けボルト周辺で大きな応力が生じていることがうかがえる。Fig. 18 に示すウェブ部分については、X 方向では、6, 7 などと比較的大きい引張歪が生じている。Y 方向では、ほとんどの点で圧縮歪となっており特に 7 や 12 で大きい値を示している。また Fig. 19 は、同じ供試体の荷重 60 tf 時の歪分布であるが、どの点も 1000μ 以下と小さく、60 tf 以下で使用する場合、B22A のブラケット本体は、強度的には全く問題ないものと思われる。

次に、Fig. 20 は、B20A についてウェブの歪と荷重との関係を見たものである。図中の数字は Fig. 18 と同じ位置を示している。同図を B22A の Fig. 18 と比較すると、11 を除いて両者ともよく似た傾向を示すが、全体的に Fig. 20 の方が大きい値を示すことがわかる。また Fig. 20 の (a), (b) とも 11 で荷重 60 tf

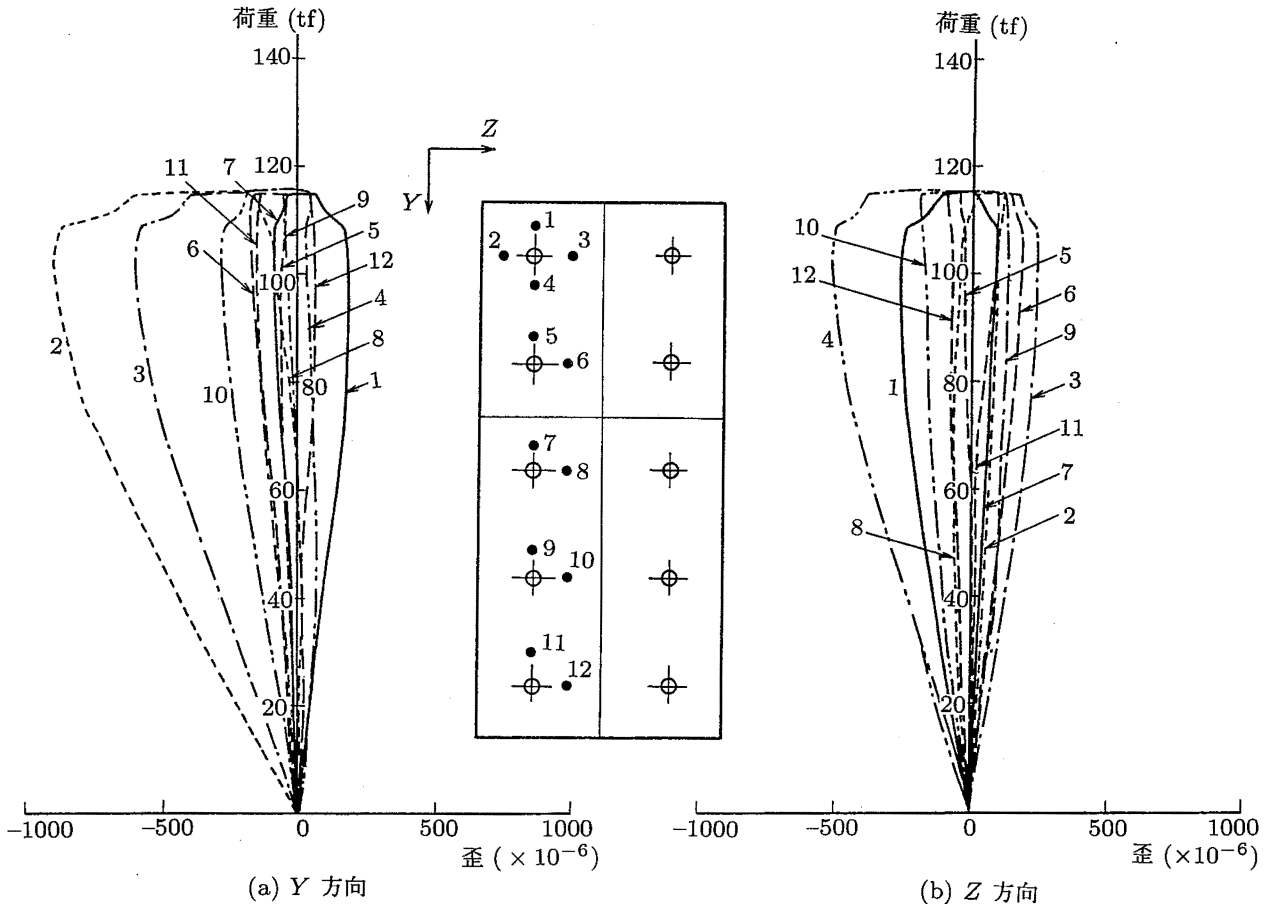


Fig. 17 Distribution of strain of plate (B22A)
プレート部分の歪

付近から圧縮歪の急激な増加が見られる。B20Aは、6.3.1で述べたように最終的にウェブが座屈したが、11に見られる急激な歪の増加は、座屈の前兆と思われる。

B20Aは、B22Aと同形状で板厚が薄いものであるが、以上よりB22A程度の板厚にする必要があるものと思われる。

また、ブラケットの高さ、取り付けボルトの締め付け力などがブラケットの歪に与える影響を調べたが、有意な結果は得られなかった

6.4 考察

6.4.1 ボルト軸力の計算値と実測値の比較

1) 慣用設計法によるボルト軸力

ボルトの軸力について、文献¹⁾などにみられる慣用設計法による計算値と今回の実測値を比較してみる。慣用法によればブラケットが曲げモーメントを受け

る場合のボルト軸力は、プレート形状を断面とする鉄筋コンクリート梁と考えて、以下のようにして求めている。

まず、Fig. 21のように諸元を与えると中立軸の位置 x は、中立軸周りの断面1次モーメントの釣合式より求められる。

$$G_c - \alpha G_s = 0 \quad (1)$$

ただし、

G_c : 中立軸より下方のコンクリート部分の中立軸周りの断面1次モーメント (cm^3)

$$G_c = \frac{Bx^2}{2}$$

G_s : 引張側アンカーボルトの中立軸周りの断面1次モーメント (cm^3)

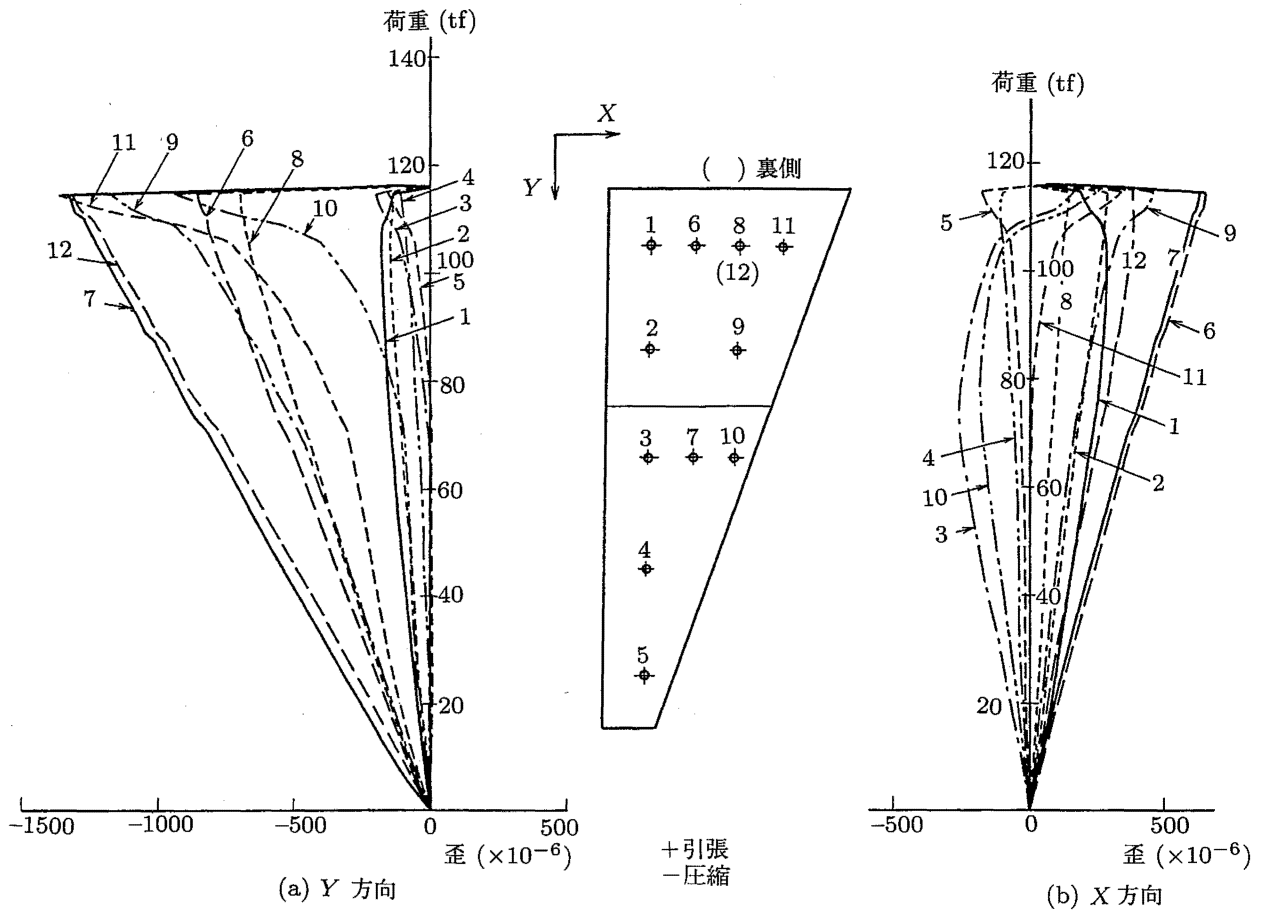


Fig. 18 Distribution of strain of web (B22A)
ウェブ部分の歪

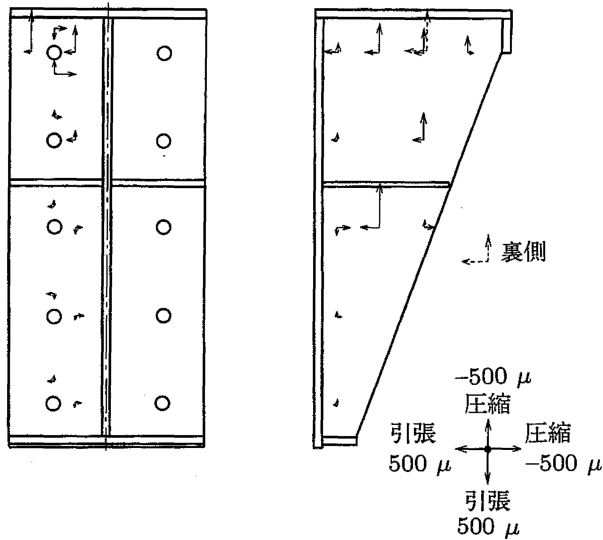


Fig. 19 An example of strains in bracket (B22A)
ブラケット各点の歪 (B22A)

$$G_s = m \cdot A \Sigma (y_i - x)$$

A : アンカーボルト 1 本の断面積 (cm²)

m : アンカーボルトの列数 (Fig. 22 の場合, m = 2)

α : ヤング係数比

$$\alpha = \frac{E_s}{E_c}$$

E_s : アンカーボルトのヤング係数 (kgf/cm²)

E_c : コンクリートのヤング係数 (kgf/cm²)

次に、曲げモーメント M を受けるときのアンカーボルトの軸力 R_i 及びコンクリートの圧縮応力度 σ_c は、上で求めた x を用いて下式により求められる。

$$R_i = A \cdot \alpha \cdot \frac{M}{I_0} (y_i - x) \quad (2)$$

$$\sigma_c = \frac{M}{I_0} x \quad (3)$$

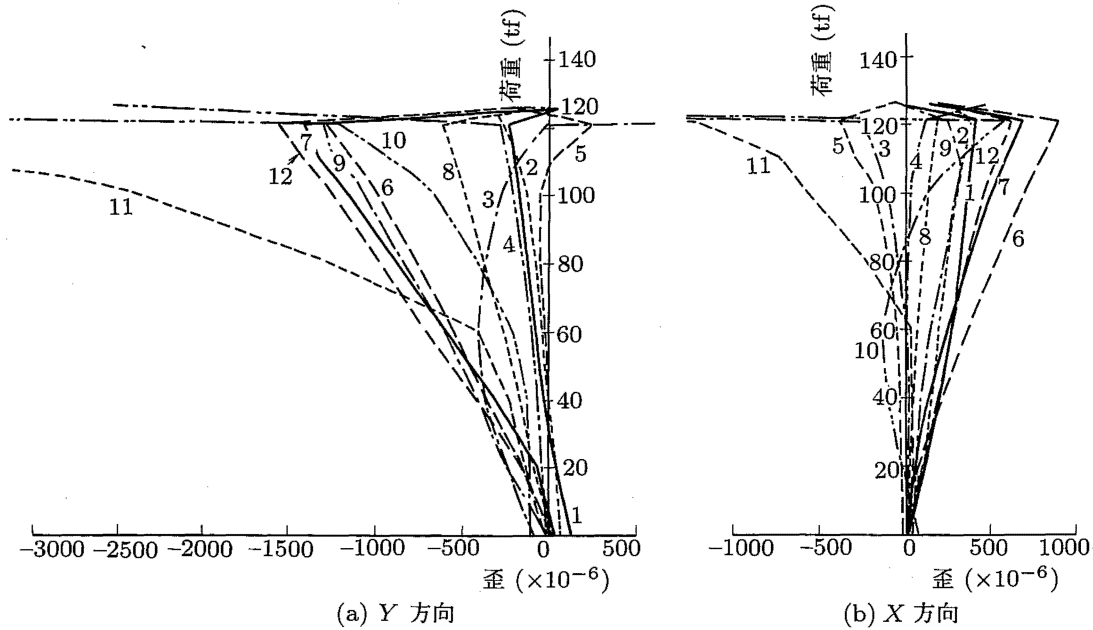
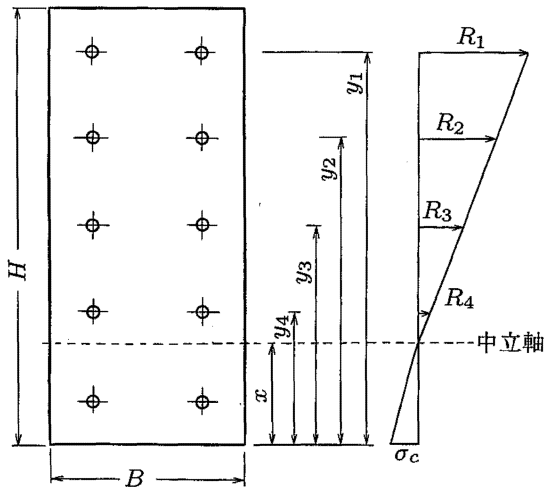


Fig. 20 Distribution of strain of web (B20A)
ウェブ部分の歪



- H: プレートの高さ
- B: プレートの幅
- x: プレートの下端から中立軸までの距離
- yi: プレートの下端から i 段目のボルトまでの距離
- Ri: i 段目のボルトの引張力
- σc: プレートの下端のコンクリートの圧縮応力度

Fig. 21 Schematic model of bracket
ブラケットの計算モデル

ただし,

M: 曲げモーメント (kgf·cm)

I₀: 換算断面 2 次モーメント (cm⁴)

$$I_0 = I_c + \alpha \cdot I_s$$

I_c: コンクリートの圧縮部分の中立軸に関する断面 2 次モーメント (cm⁴)

$$I_c = \frac{Bx^3}{3}$$

I_s: 引張り側アンカーボルトの中立軸に関する断面 2 次モーメント (cm⁴)

$$I_s = m \cdot A \sum (y_i - x)^2$$

そこで、上式により今回の供試ブラケットについて、中立軸の位置、ボルト軸力及びコンクリート圧縮応力度を計算する。

計算条件は、ブラケット寸法については、実験に用いた A, B, C タイプ, D, E タイプ及び F タイプの 3 種類に対応する寸法とし、断面積 A は、アンカーボルトの取付ボルト部分の有効断面積 (3.03 cm²) とアンカー部分の公称断面積 (9.566 cm²) の 2 種類、α は、10 とする。

また作用モーメントは、実験同様ブラケットの取り付け壁面から 25 cm に 40 tf の場合を想定し、

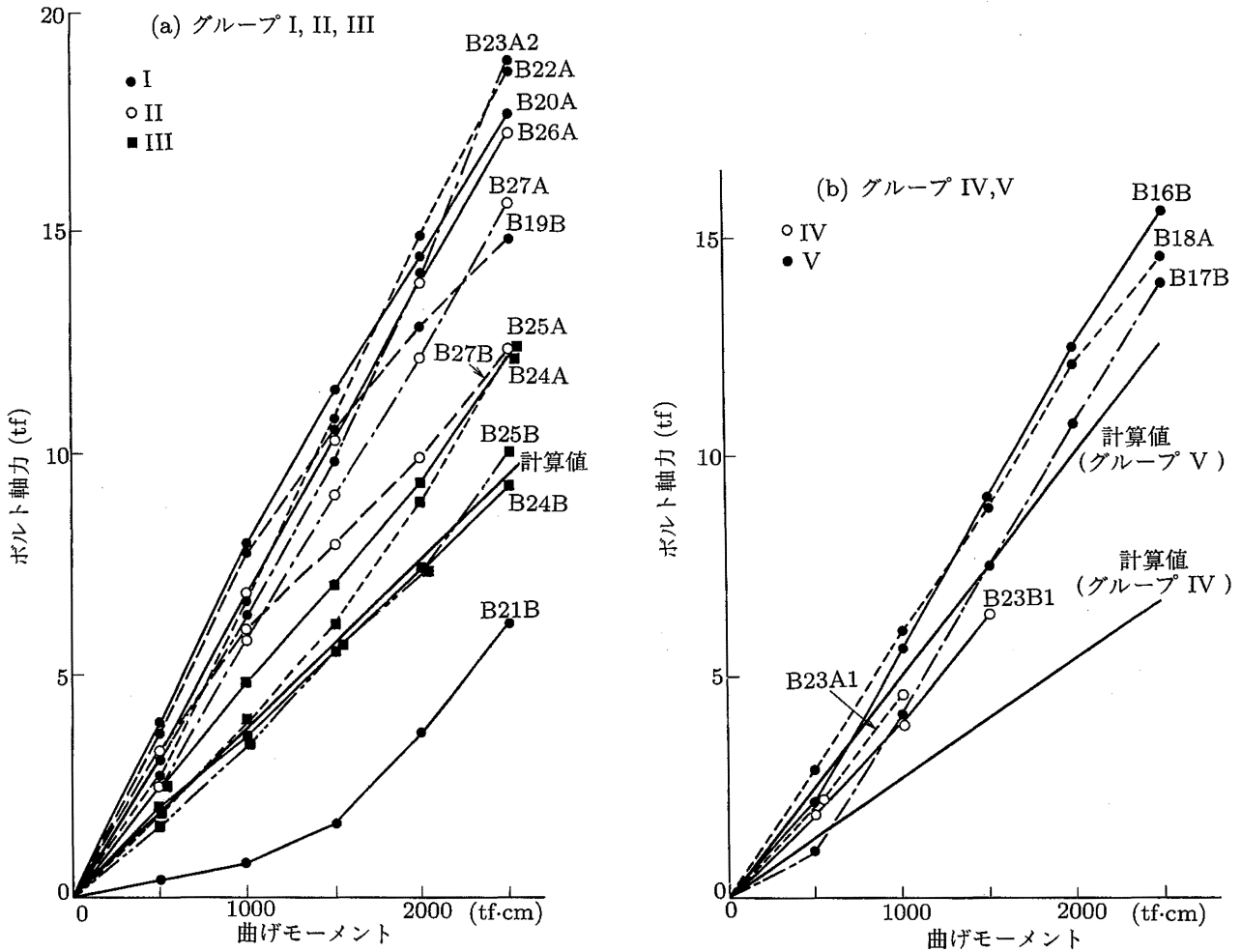


Fig. 22 Relations between bending moment and axial force in top bolt
作用モーメントと最上段ボルト軸力の関係

$M = 1000000 \text{ kgf-cm}$ とする。

以上の組み合わせによる計算結果を Table 7 に示す。それによれば、ボルト軸力、コンクリートの圧縮応力度は、D, E タイプ, A, B, C タイプ, F タイプの順に大きい値を示す。また A や α によってそれほど大きく変わらないことが分かる。

一方、同表には計算値に対応するボルト軸力の実測値を示した。実測値は、ボルトの締め付けトルクが 500 kgf-cm (ボルト軸力で 1 tf 前後) のものの最小値~最大値で、締め付け前を軸力 0 とした値と締め付け後を 0 とした値の両方を示した。同表によれば実測値は上から 2 段目以下ではほぼ計算値に近い値となるが、最上段では計算値を大きく上回ることがあるようである。

そこで最上段のボルト軸力に注目して、さらに分

析してみる。

Fig. 22 は最上段のボルト軸力と作用モーメントの実測値をプロットしたもので、(a) は $H = 100 \text{ cm}$ 、(b) は、 $H = 120$ と 80 cm のブラケットについて整理したものである。図には上で求めた $A = 9.566 \text{ cm}^2$ 、 $\alpha = 10$ とした場合の計算値を結んだ直線を併記している。(a) によれば、最上段ボルト軸力の実測値は、ボルトの締め付けトルクの大きい B21B を除いて各グループとも作用モーメントに比例してほぼ直線的に増加し、またグループ I, II, III の順で大きい値を示すことが分かる。さらに計算値との比較では、グループ III がほぼ計算値に一致するが、グループ I では計算値のほぼ 2 倍になることが分かる。次に (b) によれば、グループ V では実測値が計算値に近いが、グループ IV では計算値よりかなり高い値となる。

Table 7 Calculated values by practical equation and measurements
慣用設計式による計算値と実測値

ブラケット		A, B, C タイプ		D, E タイプ		F タイプ		
		計算値	実測値	計算値	実測値	計算値	実測値	
ボ ル ト 軸 力 (tf)	R ₁	3.28	3.3 ~ 7.9	4.22	4.1 ~ 6.0	2.32	4.1 ~ 4.6	
		3.48		4.51		2.47		
		3.70	4.4 ~ 9.7	4.82	4.8 ~ 7.1	2.62	5.1 ~ 5.4	
		4.02		5.28		2.87		
	R ₂	2.36	-0.9 ~ 2.1	3.04	1.4 ~ 3.8	1.79	0.8 ~ 1.2	
		2.43		3.13		1.86		
		2.49	0.3 ~ 2.9	3.22	2.4 ~ 4.8	1.92	1.6 ~ 1.9	
		2.53		3.27		2.01		
	R ₃	1.44	-1.1 ~ 0.7	1.86	-0.7 ~ 1.5	1.26	-0.7 ~ 0.4	
		1.37		1.76		1.25		
		1.27	-0.3 ~ 1.7	1.62	-0.1 ~ 2.5	1.22	0.4 ~ 1.1	
		1.04		1.26		1.15		
	R ₄	0.51	-1.2 ~ 0.2	0.68	-1.1 ~ 0.3	0.73	-0.1 ~ 0.5	
		0.31		0.39		0.64		
		0.06	-0.2 ~ 1.3	0.02	-0.1 ~ 1.4	0.52	1.1 ~ 1.4	
		—		—		0.29		
	R ₅	—	-1.1 ~ 0.5	—	-1.2 ~ -0.8	0.20	0 ~ 0.1	
		—		—		0.04		
		—	-0.4 ~ 1.3	—	-0.2 ~ -0.1	—	0.8 ~ 1.1	
		—		—		—		
	R ₆	—	—	—	—	—	-1.0 ~ 0	
		—	—	—	—	—	-0.1 ~ 1.1	
	コンクリート 圧縮応力度 σ_c (kgf/cm ²)		35.8	—	53.1	—	24.8	—
			28.0		41.9		19.3	
		23.0		34.7		16.0		
		18.7		28.5		13.0		
中立軸 x (cm)		18.8	—	16.4	—	22.6	—	
		24.1		20.8		28.8		
		29.0		24.8		35.0		
		36.1		30.6		43.3		

注)

計算値	実測値
A=3.03, $\alpha=8$	締め付け後を 0 としたときの
3.03, 15	最小~最大
9.566, 8	締め付け前を 0 としたときの
9.566, 15	最小~最大

このように実測値と計算値が一致しない理由はコンクリートブロックの強度及びブラケットの剛性の影響と思われる。すなわち、無筋の設計基準強度 240

kgf/cm²のグループ I, 同強度 300 kgf/cm²のグループ II, 有筋の 300 kgf/cm²のグループ III とコンクリートブロックの強度が高くなるにつれてボルト軸

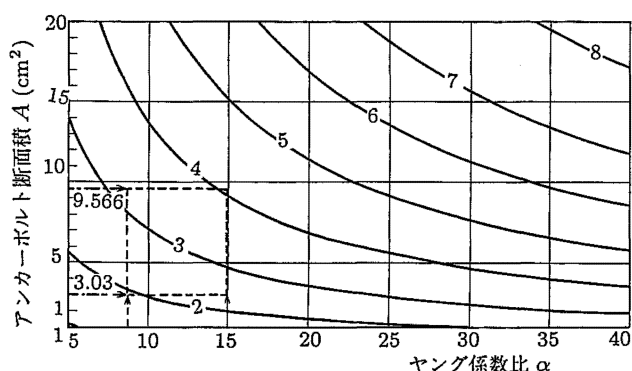


Fig. 23 Results of simulation by practical equations
慣用設計式によるシミュレーション結果

力値が小さくなっている。また、コンクリート強度はグループIと同じであるが、ブラケットの高さが大きく、相対的にブラケットの剛性が低いグループIVで軸力は小さく、高さが小さいグループVで大きくなっている。これよりコンクリートが有筋で強度が高くブラケットが十分補剛されている場合は、上記の計算式により求めた値をボルト軸力としてよいがそうでない場合は、コンクリート強度やブラケットの剛性に依りて軸力を割り増す必要があるものと思われる。なおブラケットの剛性には、いわゆるてこ作用¹²⁾によるボルトの軸力の増加も考えられるが、こ

れについては今回は検討しなかった。

ところで前記の慣用法による計算式において、アンカーボルトの断面積 A やヤング係数比 α をどのような値にするかが問題になるが、そこでこれらの値がボルト軸力やコンクリート圧縮力に与える影響を式の上でシミュレートしてみる。

シミュレートの条件は、実験に用いた A, B, C タイプのブラケットが曲げモーメント $M = 15000000$ kgf·cm を受けるとき、断面積 A を 1 ~ 20 cm, α を 5 ~ 40 と変えるものである。

シミュレートの結果を Fig. 23 に示す。図の曲線は、ボルト軸力及びコンクリート圧縮力などが Table 8 に示す値をとるときの A と α の点を結んだものである。同図によれば、 A や α が大きいほど最上段のボルト軸力は大きくなり、コンクリート圧縮力は、逆に小さくなる。 α については上記の計算値と実測値の比較でコンクリート強度が小さい方がまた有筋より無筋の方が最上段のボルト軸力が大きくなった事実とよく一致している。実際の設計では α は 8 ~ 15 程度、 A は、取付ボルトの有効断面積 3.03 cm^2 かアンカーの公称断面積 9.566 cm^2 のどちらかが用いられると思われるが、これらの値に対応する領域は Fig. 23 の点線で囲んだ部分であり、最上段のボルト軸力では $4.9 \sim 6.1 \text{ t}$ と、 A や α をかえても軸力は、それ

Table 8 Axial forces of bolts and others in Fig. 23
Fig. 23 の各曲線におけるボルト軸力等

曲線		1	2	3	4	5	6	7	8
ボルト軸力 (tf)	R_1	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
	R_2	3.37	3.56	3.72	3.79	3.82	3.80	3.75	3.42
	R_3	2.25	2.13	1.93	1.59	1.13	0.60	—	—
	R_4	1.13	0.70	0.16	—	—	—	—	—
	R_5	0.0	—	—	—	—	—	—	—
コンクリート圧縮応力度 (kgf/cm ²)		100	50	35.4	28.4	24.5	21.9	20.0	18.5
中立軸	x (cm)	10.0	20.3	28.4	35.6	41.6	46.3	50.0	55.1
	x/H	0.11	0.23	0.32	0.40	0.46	0.51	0.56	0.61

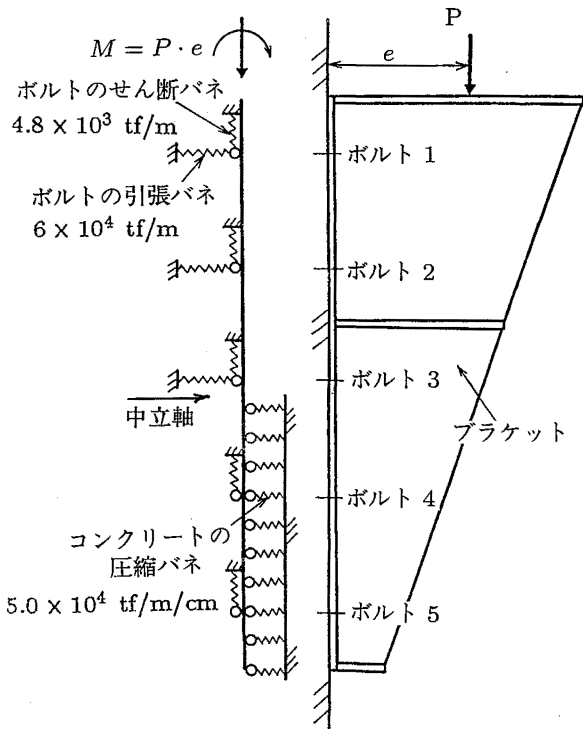


Fig. 24 Schematic model of braket when rigidity is considered
剛性を考慮したブラケットの計算モデル

ほど大きく変わらないことが分かる。

2) ブラケットの剛性を考慮した計算方法によるボルト軸力

前節で述べたようにボルト軸力はブラケットの剛性に影響を受けるようなので、ブラケットの剛性を考慮にいたれた別の計算方法によりボルト軸力を求めた。以下にその方法と結果の概略を述べる。この方法は、Fig. 24 のようにブラケットを弾性支持の連続梁と考えてその支点反力としてボルト軸力やコンクリート圧縮力を求めるもので、ボルトのバネ定数は、文献^{2,3)}の結果から図中に示す値とした。そこで A(C) タイプ、D(E) タイプ、F タイプのブラケットについて、 $P = 40 \text{ tf}$, $e = 25 \text{ cm}$ のとして計算した結果を Fig. 25 に示す。同図には、従来の慣用計算式による計算値及び実測値もプロットした。なお、実測値のうちコンクリートの圧縮応力度は、ボルトの初期締め付けによる軸力の減少量から推定した値である。Fig. 25 によれば A タイプの場合、実測値と当計算値はよく一致することが分かる。また、他のタイプの場合には 1 段目のボルトに関しては、当計算値は実測値より安

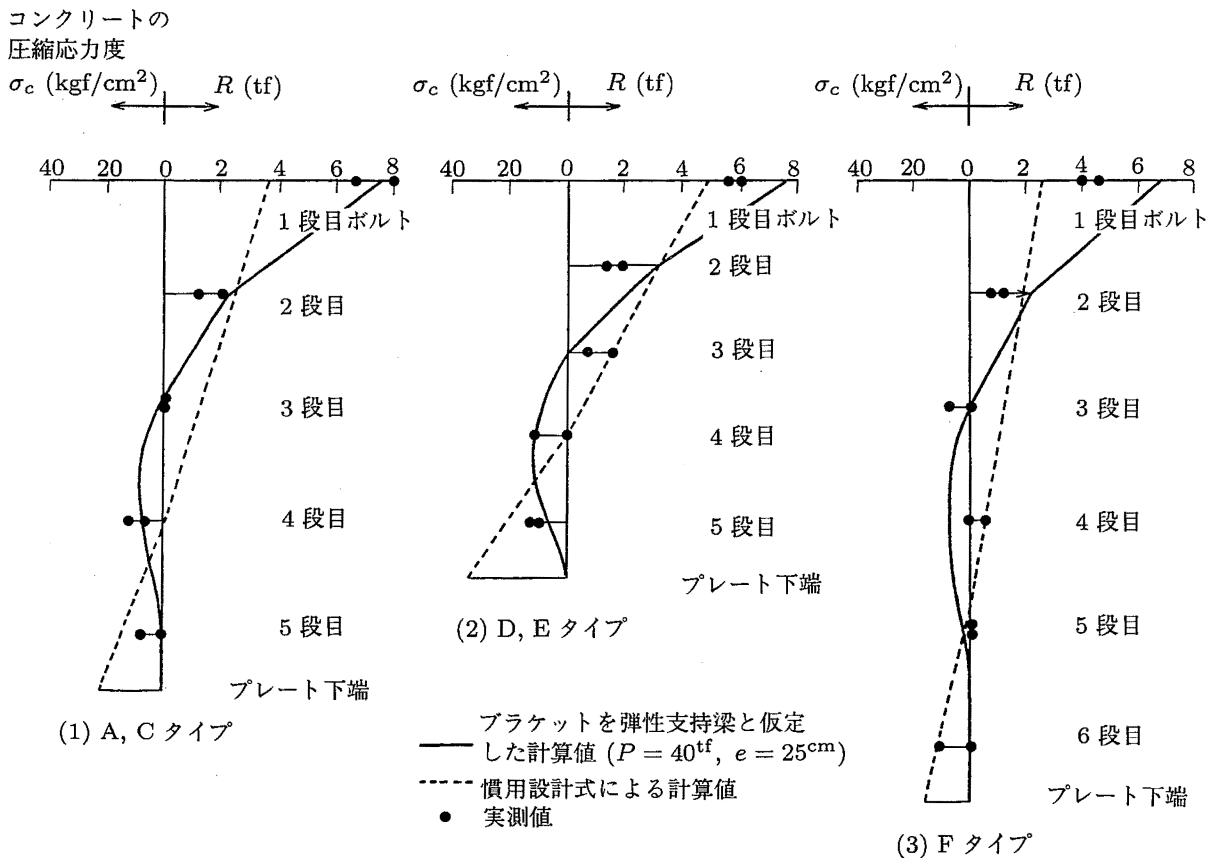


Fig. 25 Comparison of calculated values and measured values in axial forces of bolts and compressive stress of concrete
ボルト軸力、コンクリート圧縮応力の計算値と実測値の比較

全側となることが分かる。

3) 締め付け力のボルト軸力に対する影響

ブラケット取り付け時のボルト軸力が載荷時の軸力に与える影響については、今回データは少ないが一応2種類の締め付けトルクについて実験を行っているのでその結果について考察する。

それによれば高トルクの B21B においては載荷時の軸力の増加の割合が小さく、荷重が増加するにつれ低トルクのものより締め付け前からの軸力は小さくなる現象が見受けられた (Fig. 22(a)). これは摩擦接合用高力ボルトにおいて、ボルト接合部に外力として作用する引張力が初期張力の大きさに達するまで、ボルト軸力が増加しない現象¹²⁾に近いものと思われるが、もしこれが一般的にいえればアンカーボルトの設計に締め付け力を取り入れて軸力を減少させることも可能になる。しかし、今回のデータでも同じ高トルクの B24B では低トルクのものと同程度の軸力増加割合を示しているようなので現状では何ともいえないが、トルクの管理が可能ならばある程度の締め付けによる軸力の現象が期待できるものと思われる。これについては今後の研究を待ちたい。

そこで、現段階では、安全側に考えて、取り付け時の軸力と上で検討した載荷時の軸力を加算したものを設計軸力とすることを提案したい。なお具体的に締め付けトルクとしては 500 ~ 1500 kgf·cm 程度が妥当と思われる。

6.4.2 ブラケットの許容荷重について

今回のブラケットを用い、かつ偏心距離 25 cm に限定した場合の許容荷重について実験結果から考察する。

従来、足場や型枠支保工の仮設材の場合の許容支持力は、実験による最大荷重に対し 2 以上の安全率をとるように定めることにしているが、ブラケットの場合コンクリート部分を含むので多少高く 2.5 とすると、実験結果から許容支持力は、無筋ブロックでコンクリート強度 240 kgf/cm² の場合 41 ~ 52 tf, 同 300 kgf/cm² の場合 49 ~ 56 tf, 有筋ブロックの場合 62 ~ 70 tf となる。

また、実験ではかなり低い荷重から最上段のアンカーの周囲にクラックが発生したが、これに対しても安全を見るものとすればさらに許容支持力は低くなる。このクラック発生荷重を、鋼材の降伏点の荷重と同じように考えてこれに対し 1.5 の安全率をとるものとする、実験結果からはコンクリート強度や鉄

筋の有無に関係なく 33 ~ 66 tf, 有筋の場合について 43 ~ 60 tf となる。一方、文献³⁾で述べたようにアンカーボルトが剪断力を受ける場合、アンカー 1 本当たり 5 ~ 8 tf からアンカーボルト下方のコンクリートの支圧破壊が原因と見られる細かいクラックがアンカー下方のコンクリート表面に発生するが、このクラックに対しても安全を見るのであればさらに許容支持力は低くなる。このときの許容支持力は文献³⁾によれば、ブラケットのボルト穴とアンカー位置にずれがない場合、43 tf である。

以上を総轄すれば、今回の供試ブラケットの許容支持力は、40 ~ 60 tf 程度と考えられる。このうち何 tf にするかはアンカーの埋め込みやブラケットの穴あけ施工の程度、コンクリート強度、鉄筋の有無、取り付け時のボルトの締め付けトルクなどによるので一概にはいえないが、安全を見るならば 40 tf としておけば問題はないものと思われる。

6.4.3 アンカーボルトの作用力について

6.3.1 で述べた有筋ブロック B25A, B25B のボルトの破断は、いずれも最下段のボルトにおいて発生している。

従来の慣用設計法では今回のようなブラケットの場合、アンカーには剪断力と引張力が組み合わさって作用するものとして設計している。引張力は上段のボルトほど大きいので設計上は最上段ボルトが最も厳しい応力状態となり、最上段のボルトが破断するはずであるが上で述べたように実際には最下段のボルトが破断している。この理由は推定ではあるが、上段のボルトでは引張力によりブラケットとコンクリート面の間にできたわずかな隙間のためボルトは純粋に剪断されないで少し曲がった状態で抵抗するのに対し、最下段のボルトではブラケットがコンクリート面に押しつけられながら荷重を受けるため純粋な剪断に近い応力状態になっており、この結果、最下段のボルトの方が先に剪断破壊したものと思われる。

そこで本来ならば以上のような実状から慣用設計法自体について検討すべきと思われるが、今回の実験データのみでは十分とはいえないのでこれについては別の機会に究明することとし、ここでは従来の設計法においてアンカーボルトの強度の検討に用いる作用力について以下の提案をするにとどめる。

剪断応力度の照査に用いるアンカーボルト 1 本当りの剪断力は、ブラケットの取付用ボルト穴とアンカー位置のずれを考慮して、ブラケットに作用する全

剪断力を有効ボルト本数で割ったものとする。有効ボルト本数は、文献³⁾の結果より総ボルト数の85%とする。

また引張応力度の照査に用いるボルトの軸力は、ブラケットを取り付ける相手が橋脚のように有筋で、ブラケットの剛性が今回の供試体程度以上の場合には従来の慣用法により求めた引張力にブラケット取り付け時のボルト締め付けによる軸力を加えたものとする。なおブラケットを取り付ける相手が無筋コンクリートであったりブラケットの剛性が低い場合は、上記で求めた軸力の2倍を設計軸力とする。

6.5 まとめ

以下に主な結果をまとめる。

- (1) ブラケットの終局強度は、コンクリートの強度と鉄筋の有無に左右され、無筋でコンクリートの設計強度 240 kgf/cm^2 の場合、 $104 \sim 131 \text{ tf}$ 、同 300 kgf/cm^2 の場合、 $123 \sim 140 \text{ tf}$ 、有筋の場合 $156 \sim 177 \text{ tf}$ である。また終局強度は、コンクリートが無筋の場合、最上段のアンカーの引き抜き強度に、有筋の場合、ボルトの剪断強度に大きく依存する。
- (2) アンカーには、かなり小さい荷重でも大きな曲げ応力が生じているものがある。
- (3) ブラケット本体の応力は、全体的にあまり大きくないが、最上段のアンカーや加圧点近辺で局部的に大きい箇所がある。また一例であるが荷重 60 tf を超えてウェブの応力が急増し、最終的に座屈したものが見受けられたので、圧縮力を受けるウェブには十分な補強が必要である。
- (4) 最上段のボルト軸力の実測値は、従来の慣用法による計算値に比べると、コンクリートやブラケットの剛性が高い場合はほぼ同等の値となるが、剛性が低い場合は計算値に比べて大きく、中には計算値の2倍に達するものがある。またブラケットの剛性、ボルトやコンクリートの弾性係数を考慮して別の方法により計算した結果、実測値とほぼ一致するか安全側の値となった。これより、十分な鉄筋をもつコンクリートに十分に補剛されたブラケットを取り付ける場合は、従来の設計法によりボルト軸力を求めてよいが、そうでない場合は、剛性を考慮した別の計算法によるか、従来の計算法による値の2倍程度のボルト軸力が作用するものとして設計する必要

がある。

- (5) 今回の供試体に限定すれば、ブラケットの許容荷重は $40 \sim 60 \text{ tf}$ と考えられる。

6.6 おわりに

アンカーボルトタイプのブラケットに対する強度実験の結果、ブラケット本体、アンカーボルト、コンクリート各部の強度・変形特性について多くの知見を得ることができた。とくに、アンカーボルトの軸力特性については、コンクリートの強度やブラケットの剛性が大きく関わっていることが分かった。これらの結果は、同種のブラケットの設計に多少とも資することができるものと思っている。しかし同結果は、特定の条件下のものであり、今後、各種のコンクリート強度、ブラケットのタイプについても実験を行うとともに理論的説明も行いたいと考えている。

最後に、アンカーボルトタイプのブラケットについて一般的な留意点をあげれば以下の通りである。

設計に関しては、

- ・ ブラケット本体は、できるだけ補剛材を設けて強度や剛性を高くすること。
- ・ アンカーは、コンクリートに対する付着強度、支圧強度、アンカーの曲げ強度を増すためできるだけ埋め込み長さ、直径を大きくすること。

また施工に関しては、

- ・ アンカーの埋め込み、ブラケットのボルト取付用穴明けは、位置・間隔を正確に精度よく行い、両者にずれがないようにすること。
- さらに、ブラケットのコンクリートへの取り付けに関しては、
- ・ 有筋でコンクリート強度が大きく、十分な広さを有する場所とすること。
 - ・ 取り付けボルトの締め付けは、なるべく全ボルト均等に、また締め過ぎないように締め付けトルクは、 $500 \sim 1500 \text{ kgf}\cdot\text{cm}$ 程度とすること。

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) 財団法人 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, (1988), 71 ~ 74.
- 2) 小川勝教他, ブラケット取付用アンカーの引抜強度, 産業安全研究所特別研究報告書, RIIS-SRR-90, (1991).
- 3) 河尻義正他, ブラケット取付用アンカーの剪断強度, 産業安全研究所特別研究報告書, RIIS-SRR-90, (1991).
- 4) 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).
- 5) Patrick J.M, Roger G.S and John W.F, Headed Steel Anchor under Combined Loading, AISC ENGINEERING JOURNAL, SECOND QUARTER/1973, (1973).
- 6) 矢野明義, 菅家重夫, 松崎育弘, 阿部保彦, 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).
- 7) 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, その2), 戸田技術開発センター技術研究報告集, (1978, 1979).
- 8) 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).
- 9) 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, (1977).
- 10) 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, (1978).
- 11) 日建リース工業株式会社, コンクリート許容付着応力度算定用引張試験, (1985).
- 12) 高力ボルト接合設計施工指針, 日本建築学会, (1987).