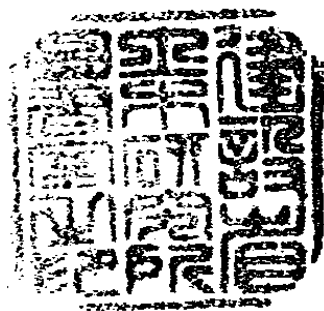


土 木 研 究 所 資 料

(第 3 1 6 号)

高力ボルト大型継手実験

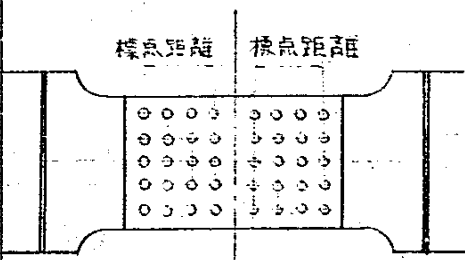
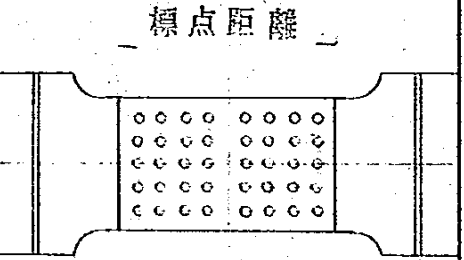
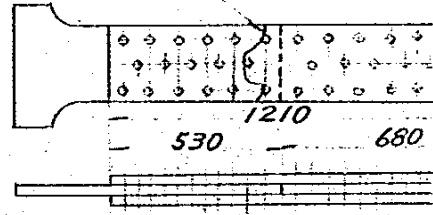
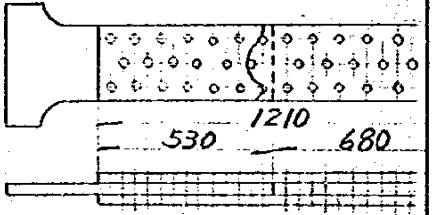
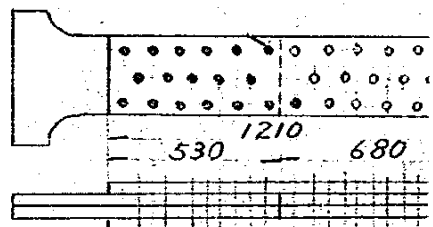
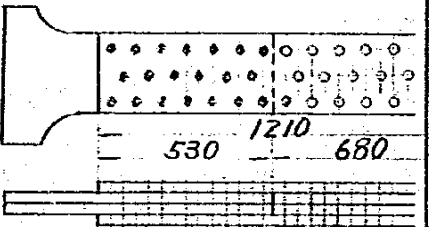


昭和 42 年 9 月

建 設 省 土 木 研 究 所

土木研究所資料 第 316 号

高力ボルト大型継手実験正誤表

頁	行	誤	正
11	上 6	LB - 2	LF - 1
21	表 - 5	すべり量 G.L. %	$\frac{\text{すべり量}}{\text{G.L.}} \times 100 \%$
26	図 - 3		
28	図 - 8 LF-1		
	図 - 8 LB-1		
33	LF-1	図 - 9 - i LF - 1 (p=37.5 側のボルト 17 本) 図中 285.6t(所要すべり耐力) 178.5t(許容すべり耐力)	上図に同じ (17 本を 20 本にする) 336t(所要すべり耐力) 210t(許容すべり耐力)
	LB-1	図 - 9 - j LB - 1 (p=37.5 側のボルト 17 本) 図中 285.6t(所要すべり耐力) 178.5t(許容すべり耐力)	上図に同じ (17 本を 20 本にする) 336t(所要すべり耐力) 210t(許容すべり耐力)

要

旨

この報告書は、高力ボルト接合の大型継手引張試験結果に関するものである。

実験の目的は、従来数多く行なわれた小試験体による実験結果によって得られた諸数値が、実際の大規模な大型継手に適用する設計資料として、どの程度妥当なものかを確認することにあった。

試験体は、ボルト配列の違いによる3種類（矩形、菱形、長い千鳥配列）および継手が、ボルトで破断する場合と鋼板で破断する場合の2種類の組合せにより構成され、その総数は10体である。

実験結果より得られた結論は、主につぎのようなものである。すなわち設計耐力は、従来から設計に用いられてきたすべり係数 $\mu = 0.4$ が、ほぼ妥当である。しかし、継手が、応力方向に長くなる場合は、慎重な施工が必要であること。純断面設計による現在の継手設計法では、有利になる菱形継手が、必ずしも、期待通りの破断強さを示さないこと。Unbuttoning現象は、継手の長さのみでなく、ボルト配列の影響が著しいことなどである。

Key Words ;

継手、大型継手、高力ボルト接合、摩擦接合、支圧接合、ボルト配列、設計耐力、すべり係数、矩形・菱形、千鳥、すべり変形量、Unbuttoning現象、

目 次

§ 1 は じ め に	1
§ 2 実 験 目 的	2
§ 3 供 試 体	2
3.1 試験体の構成および形状寸法	2
3.2 試験体用鋼板	3
3.3 試験体用ボルト	3
3.4 治具用鋼板	4
3.5 試験体と治具の連結	4
§ 4 実 験 の 概 要	4
4.1 載荷試験機	4
4.2 供試体の取付および載荷要領	5
4.3 測定方法	5
§ 5 結 果 と 考 察	6
5.1 すべり荷重およびすべり係数	6
5.2 破壊強度および破壊形式	8
5.3 すべり変位量	11
5.4 荷重変形曲線	11
5.5 ボルト軸力の変化	12
5.6 母材応力の変化	13
§ 6 結 論	13
§ 7 お わ り に	15
図表および写真	17
参 考 資 料	53

§ 1 は じ め に

高力ボルト継手とくに、摩擦接合による高力ボルト継手の橋梁への適用は、ボルト品質・性能を定めた、JISB1186および鋼道路橋の摩擦接合設計施工指針（日本道路協会）等の制定によって、一般橋梁への実用化が、行なわれ、その使用実例は、非常に多くなっている。

高力ボルトが、このように急速に注目され使用されるようになった理由は、種々あるが、なかでも従来のリベットに較べて、つぎのような優れた長所があることによるものであろう。

- (1) ボルトの品質が安定している。
- (2) 継手内の応力の偏りが少ない。
- (3) 施工に熟練工を必要としない。
- (4) 施工に要する装置が簡単化でき騒音も少ない。
- (5) 大きな力の伝達が可能である。
- (6) 疲労強度が大きい。
- (7) 継手の剛性が大きい。

これらの特徴は、高張力鋼からなる部材の接合、あるいは、長大橋梁にみられる大型継手などに対しても、かなり効果的に利用できることをも示している。

このような新しい継手形式としての高力ボルト接合に対して、我国でも、数多くの研究がされており、実験的な研究により、その力学的特性は、ほぼ明らかにされている。

しかしながら、これらの実験的研究の多くは、一般に、小試験体によるもので、大型継手の性状などは、あまり明らかにされないまま小試験体の実験結果をそのまま実際の大型継手に適用させているのが実情である。

当研究室は、本州四国連絡架橋調査の一環として、現在まで高力ボルト接合の調査を行ってきたが、ここで、摩擦接合の設計上の問題点の最終的な確認を行なう意味から、従来の実験結果をもとに、高力ボルト大型継手の実験用試験体を設計し、小試験体による諸資料の確認と平面的な広がりをもつボルト継手を対象として、とくにボルト配列に関する諸性質を調査することにしたもの

である。

以下に、これらの実験結果を報告する。

§ 2 実 験 目 的

この高力ボルト接合の大型継手引張試験は、つぎの事項を確認することを目的とした。

- 1) 大型継手のすべり耐力の確認。
- 2) " すべり変形量。
- 3) " ボルト配列、ボルト穴径とすべり耐力との関係。
- 4) " " 破断耐力との関係。
- 5) " Unbuttoning 現象。
- 6) その他。

§ 3 供 試 体

3.1 試験体の構成および形状寸法

実験に用いた大型継手の供試体は、10本で、これらの供試体は、摩擦接合のすべり耐力の比較が容易にできるように、試験体一体あたりに用いるボルト本数は、全て同じにしてある。すなわち、全試験体とも継手片側20本づつで、1試験体あたり40本となっている。

個々の試験体の形状は、図-1に示すように、平面的に見て次の3種とした。すなわち、ボルトの配列形状から矩形配列としたR型(図-1-(a)(b))、純断面積が前者に比べ大きくとれる配列の菱形配列のD型(図-1-(c)(d))、および千鳥の配列で応力方向に多くのボルトが並ぶ長継手配列L型(図-1-(e)(f))の3種である。

今回の実験では、とくに、R型とD型に重点を置いたので試験体数は、R型D型各4本、L型2本とした。試験体の板厚については、継手のすべり耐力が、板厚の違いによって変化することも考えられたので、R型、D型、L型ともつぎのように2種類を製作した。

板厚の小さいほうの試験体（記号Fを付している）は、摩擦接合として設計したもので継手のすべり耐力と板の破断強さをバランスするようにしており、板厚の大きいほうの試験体（記号Bを付している）は、ボルトのせん断破断荷重が板の破断荷重より若干小さくなるように設計されている。

ボルト配列のピッチの選定は、現在リベットの規準を準用しているのが普通であるので、ここではリベットの最小ピッチ75mmと100mmの2種類を対称として、同一試験体の左右の部分に75mmと100mmの2種のピッチで設計し、それらの違いを比較できるようにした。

またすべり変形量の大きさを検討するために、試験体のうち、R型D型については、ボルト孔径を $\phi 23.5$ mm、 $\phi 23.0$ mmの2種類を製作した。

なお、これらの大形継手の実験の補足試験として大形試験体と同一の板厚を用いた小形試験体（ボルト片側3本）を製作し、すべり耐力を測定して、大形継手の試験体との比較ができるようにした。

3.2 試験体用鋼板

試験体用鋼板は、80キロ鋼（富士製鉄製折出硬化形PZ-80）を用いた。使用した鋼板の機械的性質および化学成分は、表-1に示すとおりである。

試験体の鋼板の表面は、サンドブラスト後、赤錆を発錆させた。ただし、赤錆の発錆程度は、一面に褐色になるほどではなかった。

3.3 試験体用ボルト

実験は、F11TW 7/8 ボルトを使用した。ボルトの機械的性質および化学成分は、表1に示すとおりである。

材種にSAE1041を用いたのは、この実験の目的の1つとしてUnbuttoning現象を観察することに重点を置いたために、使用ボルトの伸びの規格14%に出来るだけ近い伸びの規格ぎりぎりのボルトを使用すること期待したからである。種々検討した結果、通常F9T材として使用されているSAE1041の熱処理条件を変えることにより、製作されたF11Tボルトを用いることにした。

しかし、実際に行なった材料試験の結果では、伸びが17%もあり、当初

目的とした14%近傍の値を得ることはできなかった。しかし、これは逆に考えれば、通常のボルトは伸びが大きくJIS規格の14%は、あまり意味を持たない規定であることを示したものであるということもできよう。

3.4 治具用鋼板

治具材について、実験上要求すべき条件としては破断強度が、試験体部より大きいことだけであるため治具材は80キロ鋼とせず、比較的入手し易かった60キロ鋼（FTW60）を用いた。

治具材として用いた60キロ鋼の機械的性質および化学成分は、表-1に示すとおりである。

3.5 試験体と治具の溶接接合

試験体の80キロ鋼と治具材の60キロ鋼の溶接接合は、図-1に示すように、各々板厚が大きいうえに2枚重ね合せ板どうしの接合が含まれるために、拘束治具を用いて慎重な施工を行なった。

この結果、実験中に試験体と治具材の接合部から破断するような供試体は、1体もなく、溶接施工が初期の目的を果すに充分良好であったことがわかった。

なお、参考資料として試験体と治具材の接合に関する溶接材料、開先形状、溶接条件を巻末に収録しておく。

§4 実験の概要

4.1 載荷試験機

載荷試験は、東京大学工学部大型構造物試験室の2000トン大型構造物試験機を使用して行なわれた。大型構造物試験機の概略は、図-2に示すとおりで主なる能力はつぎのとおりである。

。 負荷容量	引張および圧縮	max 2000t
。 容量変換	最小目盛	
2000t～	4t	
1000t～	2t	
500t～	1t	

なお補足試験には土木研究所の 200 t on アムスラー型万能試験機を用いた。

4.2 供試体の取付および载荷要領

供試体は $\phi 220$ mm のピンによって試験機に装着した。供試体両端部における取付の詳細は図 3 に示すとおりである。

载荷の速度は、約 1 t/sec とし、载荷間隔は下記を標準として行った。

(1) 弾性域での载荷間隔

区間 A 50 t

区間 B 100 t

(2) すべりの近傍での载荷間隔

区間 B' 10 t

(3) 支圧域での载荷間隔

区間 C 100 t

破断の近傍 10 t

4.3 測定方法

§ 2 で述べたような目的に基づいて、本試験において測定した事項は、下記のとおりである。

(1) 供試体の伸びおよび材片間のずれの測定

供試体の伸びおよび母材と添接板との材片間のずれの測定は、変位計によって測定したが、同時に供試体に貼付した標尺の変位をレベルを用いることによって、併せて測定を行った。レベルを利用する方法は、かならずしも、精度が高いとは云えなかったが、変位計を供試体が破断するかなり以前に破損防止のために取りはずす場合もあったので、それ以後の荷重変形曲線を得る方法として使用した。

材片間の変位の測定は、図 - 5 および写真 2 に示すような方法で行った。

変位計は 1/100 mm の精度を電氣的に読みとることができるもので継手がすべったときに生ずる、と思われる程度の衝撃では破損はしない計測器である。変位計は昭和測器製 T C L - 50 である。

(2) ボルト軸力の測定

載荷試験中におけるボルト軸力の変化は、ボルト頭部に挿入したロードセルによって測定したひずみから、校正曲線を介して求めた。

ロードセルの構造および設置の概要は、図-6および7に示すとおりで、各ロードセル毎に荷重・ひずみの校正曲線が作成されている。

ロードセルの配置は、各供試体ごと10点で図1の図中にそれぞれ○印で示してある。

(3) 母材のひずみの測定

母材の応力分布状態および鋼板の降伏を調査する目的で、母材の表面および側面に、Wire strain gageを貼付して、ひずみの測定を行った。測定に用いたWire strain gageは、東京測器製PL-10である。

ゲージの貼付位置の詳細は、図-1に示すとおりである。

(1)、(2)および(3)に述べた測定事項は、実験日程上の制約を受けたため、全部の供試体については、行なえなかった。各々の供試体ごとの測定は、表-2に示すとおりである。

§ 5 結 果 の 考 察

次の各項目について、継手の引張試験結果を比較検討した。

- 1) すべり荷重およびすべり係数
- 2) 破断強度および破断形式
- 3) すべり変位量
- 4) 荷重変形曲線
- 5) ボルト軸力の変化
- 6) 母材の応力分布

5.1 すべり荷重およびすべり係数

この実験の最大の目的は、ボルト継手のすべり耐力の大きさの確認と、ボルト配列による3種類の継手の特長をとくに耐力的に比較検討することにあるので小形試験体による補足試験結果も表-3に併記しすべり耐力の比較を

行なった。

表-3からつぎのようなことが云えよう。

- (1) L型試験片を除いては全て小形試験体の値より大形継手試験体のすべり係数は大きい。
- (2) 小形試験体では、板厚が大きくなるとすべり係数の低下が見られる。大型試験体でも、板厚の増加につれていくぶんすべり係数の低下がみられるようであるが、小型試験体におけるほどの低下はみられない。
- (3) R型、D型ともすべり係数の平均値は、0.496、0.434で設計の基準値0.4をほぼ満足している。
- (4) 3種類にボルトを配列した継手のすべり係数の大きさによる順序は、R型（矩形）では0.41~0.53の間にあり平均値0.496になる。D型（菱形）ではDB-2が0.324で0.4以下となっているが他のD型試験体の平均値は0.434である。

このことからすべり荷重としては矩形が菱形の継手より大きい値を示しているのも、もし、継手が摩擦継手として設計されるならば矩形配列のほうが合理的であることが分る。

- (5) L型（千鳥長継手）のすべり係数は、異常に小さく0.4を超えるものがない。この原因は、応力方向に13本のボルトが千鳥に並ぶために端部の母材力は、継手中央部付近に比べて大きいので、順次すべりが生じていくことも考えられる。しかし、ボルトを10本まで応力方向に並んだ継手の実験結果では、ほとんどすべり耐力が低下しないことが実験的に明らかにされているので、13本になると、突然、急激に小さくなるとは考えられない。なおすべりの生じた時の板に作用している応力は、LF-1で降伏点の48.9%、LB-1で17.5%にすぎないので板の降伏により板厚が薄くなり、鋼板間の圧着力が小さくなって、すべり抵抗が減少したとも考えられないのでこれらの理由の他にもまだ原因があると思われるが明らかではない。
- (6) ボルトピッチ75mmと100mmの違いを耐力的に比較した結果では、ピッチ100mmの方がすべり荷重が大きい傾向を示している。これは、ボル

トピッチが大きいほどスプライスプレートの面積が大きく、したがって摩擦力によって応力を伝達する摩擦面が大きいことを意味するものであろう。すなわち母材と添接面の密着が充分に行われている部分では、その部分の鋼板表面では掘起し力やむしれ力などによってすべりに対して抵抗していることがこれまでの試験よりも観察されており、この実験では板厚が比較的厚いので、板の面外方向の曲げに対する剛性が大きくなり、通常、座金によって局部的に鋼板間に与えられる鋼板間の圧着力も比較的均一に摩擦面全体に作用することができ鋼板どうしが広範囲にわたって効果的に圧着してすべり耐力を増加したためと考えられる。

5.2 破壊強度および破壊形式

大型試験体の破断状況は、ボルトのセン断破断と板の破断の2つに別けられる。ボルトのセン断破断からは、ボルト群の端部に生ずる unbuttoning 現象などを知ることができ、板の破断からは、断面の穴孔除に関する資料を得ることができる。

破断強度、破断状況からつぎのようなことが云える。

- (1) ボルトが破断する場合、板が破断する場合、ともに破断強度の実験結果は、バラツキの少ない安定した値を示している。一方、摩擦接合の基準となるすべり荷重は、非常にバラツキが大きくなっている。

摩擦接合は、通常少くとも約1割程度のすべり係数の標準偏差をもっているために実験で0.4を上まわる値が得られているとしても設計上とりうるすべり係数0.4を、実際の継手で、つねに確保することは、仲々難かしいことが判る。

とくに、本実験のように、継手が大きく、応力方向に並ぶボルトの数が増えた場合は、一層すべり係数の確保が困難になってくる。

こうしたことを考えると、継手の安全性・信頼性という点からは、従来のリベット接合のように、ボルト軸のセン断および板の支圧によって設計する高力ボルト支圧接合が、摩擦接合に比べ、より安定した合理的な接合であるということもできる。

- (2) 板で破断するF型の試験体の破断強度の大きさは、表-3に示すよう

に、R F (矩形) 継手が 664, 654 ton, D F (菱形) が 780, 788 ton, L F (長千鳥) 継手が 550 ton でそれぞれのボルト配列の方法によって 100 ton 程度の差が生じている。

ただしここで L F は、添接板が破断したので L F の値の破断荷重は、必ずしも明確ではないが、破断の順位は、大きい方から D F 型、R F 型 L F 型になっている。

D F 型と R F 型の破断荷重について、さらに破断荷重の大きさと断面積の大きさについて比較するとつぎのようなことが云えよう。

そもそもこの実験に用いた供試体のうち D F, R F, L F は、それぞれ総断面積が等しく鋼種も同じ 80 キロ鋼によって製作されているため母材が伝える荷重もほぼ同じ大きさになるようにしてある。このような条件のもとで D F 型は R F 型より純断面積が大きくとれるように、ボルト穴配列に工夫がしてあるので破断荷重は、純断面積が大きいほうが大きいことになる。

破断位置での純断面積を R F に対しての比で表わすと D F - 1 は、第 1 穴で破断しているので 1.5 1 となり、D F - 2 は第 2 穴で破断しているので 1.2 6 となる。

しかし、破断強さは、前述したように D F - 1, D F - 2 ともほとんど変わらず、R F の平均破断荷重と D F の平均破断荷重の比は、約 1.1 9 にすぎない。

つまり、破断荷重の大きさは、純断面積比によって考えられるほど大きくはなく、この実験の結果では、純断面積比と破断荷重の比との差は、7 ~ 3 2 % すなわち、純断面積の 3 割減になることもあることが示されたといえる。

これらのことから、一般に継手の破断位置は、ボルト配列のいかんにかかわらず継手端部の第 1 穴、第 2 穴にあり継手内での純断面積の大小にほとんど関係がない。これは、このような位置では、穴あきによる応力集中、継手端部の形状急変による応力集中が大きく、また継手端部では、添接板に比べ母材に働らく応力は著しく大きく母材が伸びるととも

に継手全体の伸びがずれとして端部に集中するため添接板と母板を結合しているボルトの軸が、母体の穴をさらに引き裂くように作用することになる。このような種々の原因が、合計されて継手端部の穴の周辺には、極めて大きな応力集中が起こりこれにともない局部的変形を生じさせやがて急速に破壊に到らしむることになる。しかもこの現象は、控除される穴の純断面積が、1穴であっても2穴であってもその程度の差は、問題としないほど大きいものであるということが、この実験では、第1穴で破断したDF-1が第2穴で破断したDF-2よりやや小さい破断強さを示していることから判る。

この結果、最近我国の橋梁用継手の設計によく見うけられるような純断面積のみに着目して行なわれる穴引き計算をもとにする設計方法では、破断荷重についていえば、純断面積で計算し、期待するほどの強さが必ずしも得られていないことを示すものである。

なお、DF-1が第2穴で破断したのは、第1穴のボルトが、板が破断する前にセン断破断したためであらう。

DB型、RB型、LB型継手の破壊は、全てボルトのセン断破断が、同時に発生し、unbuttoning現象は認められなかった。また、破断荷重も、ほぼ、同じようにどの型式の継手の場合も約1100tonでボルト配列と破断強さとの間には、あまり関係がないという結果が得られた。

ボルトのセン断破断は、どのボルトも2面セン断破壊を示し、破壊は瞬時に大音響をとめない、大きなエネルギーで四散した。

- (3) ボルト破断を目的としたB型の大型継手では、R型の応力方向が4本、D型が6本、L型が13本応力方向に並んでいるが、この程度のボルト数が応力方向に並ぶ継手では、ボルトの伸びが18%程度あれば、継手の長さが原因となるunbuttoning現象は、問題にならないようである。しかし、DF-2の第1ボルトが破断したことから、通常の継手では、むしろ、ボルトが応力方向に並ぶ数よりボルト配列による応力集中や変形の影響に注意する必要があると思われる。

写真3(4)にDF-2の第1ボルト穴が楕円形となり著しい塑性変形を

うけている状態を示す。

5.3 すべり変位量

各供試体の締付用ボルトは F 1 1 T W 7/8 でボルト軸径は 22.22mm である。これに対してボルト穴径は試験片により次のように 2 種類になっている。

$d = 23.0\text{mm}$ RF-1, RB-1, DF-1, DB-1, LB-1

$d = 23.5\text{mm}$ RF-2, RB-2, DF-2, DB-2, LB-2

各試験片のすべり変形量の大きさを測定した結果を表-5に示すがこの測定結果はすべり時に試験片が大きな衝撃をうけるために測定用ゲージ、治具等に変位を生じていることも考えられるので必ずしも正確とは云えないが一応の目安としての値を示してはいよう。RF-1とRF-2およびRB-1とRB-2の関係は0.8mm程度の差で穴径差0.5mmに近いすべり変位を示しているようである。DF-1、DF-2およびDB-1、DB-2では一応クリアランスの大きいほうがすべり量が大きいことを示している。

継手がすべった時のすべり変位量の大きさは表-5に示すようにせいぜい継手長さに対して1%以内であり、0.5%に近い値を示す場合が多い。

5.4 荷重変形曲線

継手の設計を摩擦接合と考えると、ほぼ設計荷重に相当する荷重まで繰返し載荷し、その荷重変形曲線を測定した結果では、荷重変形曲線の勾配（継手の剛性）の変化はRF-1を除けば、ほとんど見られなかった。

また、さらに荷重を増加し継手にすべりが生じた後除荷し、さらにすべり荷重近傍まで繰返し載荷した場合の継手の剛性は若干低下する程度である。

したがって、摩擦接合が、すべり荷重を超える外力（例えば地震など）をうけ、すべりが生じた場合でも構造物に生じる変形量が構造物の本来の機能を失わせるほど極端なものでない限り、すべりが生じた後の摩擦接合を支圧接合として考えることによって継手としての役割は充分果すことができよう。またこのような考え方ができるならば地震などの従荷重に対する設計上の取扱いは若干の変形を許すことによって比較的短時間に働らく大きな荷重によるエネルギーを吸収させるような設計方法も考えられるのではないだろうか。

5.5 ボルト軸力の変化

ボルト軸力はロードセルにより測定した歪を較正曲線によって軸力に換算したものである。

ボルト軸力は、荷重の増加にしたがって最大 2 ton 程度(ボルトに与えた軸力の約 10%) の減小を示した後すべりを生じている。

すべり荷重に到達するとボルトの軸力は、一様に 2~5 ton 減少する。すべった後除荷すると若干の軸力回復を見せるものもあるが、大部分の継手の軸力は、ほとんど回復しない。継手内でのボルト位置による軸力変動の傾向は、応力方向に並ぶボルトに対しては、ほとんどの場合継手端部、あるいは継手中央の軸力が大きく低下する。しかし RF-1 のように継手のボルト群の中央ボルト軸力が低下する場合もある。なお破断近くなるとボルト軸力は急激に低下しその低下の大きさは 10 ton 以上にもおよんでいる。

応力方向に直角に並ぶ継手端部のボルトはすべり前はほぼ平均して約 1 ton 程度の軸力減小があり、すべり時の軸力減小の傾向に若干の偏心を示す場合もあるが、とくにボルト位置によって一定した軸力変化の傾向は見られなかった。

図-10-(e)(g)(i)に示す D 型継手の添接板縁に沿ったボルトの軸力変化の状態は DF-1, DF-2 は同じように継手端部に行くに従って軸力の低下は大きくなるが、DB-1 では逆の傾向を示している。

しかしながら、一般にはボルトの軸力の低下状況は DF-1, DF-2 の傾向を示すものであろう。DB-1 は板が厚くボルト軸力の変化の様子を充分に示すような歪の大きさではなかったものであろう。

一般に通常の継手では母板と添接板との間ではボルトの締付けによる摩擦力あるいはボルトの軸によって互いにずれが生じないように拘束し合っているために継手の極く端の部分以外の部分では母材と添接板の拘束によって、一様な伸びが生じにくくなる。このために継手の端部の母板とくにボルト穴の附近にはボルト穴による応力集中や断面の急変などの影響による応力集中局部変形が生じやすくなる。したがって継手の端部の母板の変形は、荷重が降伏点を超えると急速に進み板厚も減小するものであろう。また継手の全体の伸び

の大きさも一様伸びよりむしろ継手端部の局所的な伸びによる変形が大きな要素になるとも言えよう。

5.6 母材応力の変化

母材応力の変化は、図 1 2 (a)～図 1 2 (q)に示す。

鋼板の中方向の応力は、ほぼ均一に生じており特に著しい偏心はないが、破断近い荷重になると応力が急速に偏り、応力分布状態が明瞭に測定できるようにになってくる。

応力分布状態を図 1 2 (a) R F - 1 と図 1 2 (c) D F - 1 について比較すると、R F - 1 が D F - 1 より応力分布は平均化していることがわかる。

D F - 1 および図 1 2 (e) の D F - 2 の分布からはゲージ位置①から⑥までは①②の急な応力増大からややなだらかな増大となって継手縁の方へ向っていく。しかし、⑦⑧⑨のゲージ位置では、側方に向けて減小の傾向となっており、①②③⑦附近に著しい応力の乱れがあり、破断位置との間の関係がうかがわれる。

載荷方向母材応力分布状態は、すでに多く報告されているように、応力が母材から添接板に順次移行する様子を示している。

図 1 2 (o)に示す L F - 1 については、ボルトの配列が千鳥にしてあるために、母材の純断面積は 1 穴引き、2 穴引きを交互に繰返している、したがって、測定結果はゲージ番号の偶数と奇数によって 2 つの曲線を引くことができるような応力状態となったものである。

§ 6 結 論

§ 5 に記した実験結果の検討から、つぎのような結論を得た。

- 1) すべり係数値は、大型継手でもほぼ設計で考えている 0.4 を上廻っている。しかし継手が長い場合、板厚が大きい場合は 0.4 を下廻る継手もあるので充分慎重な施工が必要であろう。
- 2) 摩擦接合のボルト配列は、菱形のボルト配列より、矩形ボルト配列の方がすべり耐力が大きい。
- 3) 板で破断する継手の破断荷重は、菱形ボルト配列継手が矩形ボルト配列

継手より純断面を大きくできるので破断荷重は大きくなる。しかし、実際の破断荷重の大きさは純断面積の違いほど破断荷重は増大せず、この実験のような菱形配列継手では、応力集中などによりかなり大巾な破断荷重の低下がある。

- 4) 破断荷重の値は非常に安定している。
- 5) 応力方向に並ぶボルト本数が、6本程度の継手でも菱形継手のようなボルト配列を行なうと端部ボルトに unbuttoning 現象が生ずる可能性がある。
- 6) すべりが生じたとき継手のすべり変形量は継手の長さの1%以内であり、一般には0.5%程度が多い。
- 7) 継手の剛性は設計荷重内での繰返し荷重に対しては勿論、すべりが生じた後もあまり大きな変化は見られない。
- 8) ボルト軸力の変化は、すべり荷重前ではほとんど変化せず、ボルトの位置による一定の傾向もない。すべり荷重に到ると一様に2~5 ton (約10%)の軸力が低下し、破断近くなると10 ton (約50%)以上低下する。この段階になるとボルトの位置により、低下の程度は異なり、例外はあるが、一般に継手端部のボルトほどその低下は著しい。
- 9) 継手の変形は、主として継手端部の母板の局部伸びが支配的であり、継手全体の一様伸びによる変形は添接板の拘束などがあるのであまり大きくない。

§ 7 お わ り に

この実験は、東京大学，奥村教授，西野講師，堀川講師をはじめ，奥村研究室，大型構造試験室の皆様，および川崎重工業，大宮部長，松崎技師，佐野技師および工場関係の皆様の御協力により行なうことができたものである。

ここに，関係された皆様に深い感謝の意を表わすものである。

担 当 橋 梁 研 究 室

国	広	哲	男
山	木	崇	史
仲	摩	高	人
小	山	博	司
武	藤	富	雄

表-1 供試材の機械的性質および化学成分

用途	鋼種名	板厚 mm	JIS T.P. No	引張試験			曲げ試験	衝撃値 2mm V- 15°C Kg·m	化学成分 %											
				降伏点 Kg/mm ²	引張強さ Kg/mm ²	伸び %			C ×100	Si ×100	Mn ×100	P ×1000	S ×1000	Mo ×1000	Nb ×1000	B ×1000	V ×1000	Cu ×100	Ni ×100	Cr ×100
治具材	FTW60	27	No 1	56.0	68.0	16.0	良好	21.3	16.0	24.0	126.0	14.0	8.0				70.0			
供試体用母材	PZ80	40	No 5	80.0	86.0	40.0	"	18.8	14.0	24.0	147.0	20.0	4.0	710.0	32.0	2.0				
		36	"	81.2	86.8	41.0	"	16.6	13.0	34.0	138.0	18.0	5.0	590.0	30.0	3.0				
		28	"	76.6	82.8	41.0	"	21.3	"	"	"	"	"	"	"	"				
		26	"	79.6	82.8	38.0	"	21.0	"	"	"	"	"	"	"	"				
		19	"	78.0	81.8	34.0	"	20.1	"	"	"	"	"	"	"	"				
ボルト	SAE 1041	W7/8	No 4	104.1	114.0	17.0			42.0	26.0	137.0	14.0	16.0					5.0	2.0	23.0

表 ー 2

測定事項 供試体	変位の測定		軸力 (ロードセル)	ひずみ (ストレインゲージ)
	変位計	レベル		
R F - 1	○	○	○	○
R F - 2	○	○	×	×
R B - 1	○	○	×	○
R B - 2	○	○	○	×
D F - 1	○	○	○	○
D F - 2	○	○	○	○
D B - 1	○	○	×	○
D B - 2	○	○	○	×
L F - 1	○	○	○	○
L B - 1	○	○	×	×

○ 測定を行ったもの

× 測定を行わなかったもの

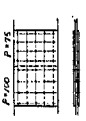
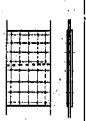
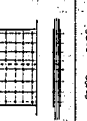
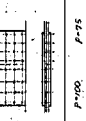
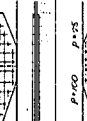
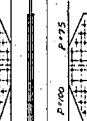
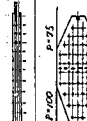
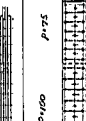
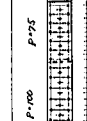
表—3 引張試験結果

供試体番号	小型試験 体による すべり係 数	引 張 試 験 結 果						破壊形式
		すべり 荷 重 t	σn * / σy	すべり 係 数	破 壊 荷 重 t	ボルトセ ン断応 力 Kg/mm^2	純断面 応 力 Kg/mm^2	
RF-1 { $P=75$ 100	0.385	430	0.78	0.512	664	(42.9)	96.4	p=75側の 母 材
RF-2 { 75 100	0.385	437	0.80	0.520	654	(42.2)	95.8	p=75側の 母 材
RB-1 { 75 100	0.327	348 375	0.31 0.34	0.414 0.447	1110	71.7	(80.6)	p=75側の ボルトセン断
RB-2 { 75 100	0.327	428 446	0.39 0.41	0.510 0.531	1116	72.1	(81.8)	p=100側の ボルトセン断
平 均	0.356			0.496				
DF-1 { $P=75$ 100	0.385	366 445	0.52 0.64	0.436 0.530	788	(51.2)	90.7	p=100側の 母 材
DF-2 { 75 100	0.385	346 394	0.50 0.57	0.412 0.469	780	(50.4)	90.1	p=100側の 母 材
DB-1 { 75 100	0.327	370 425	0.26 0.30	0.441 0.506	1110	71.7	(63.9)	p=100側の ボルトセン断
DB-2 { 75 100	0.327	272 —	0.20 —	0.324 —	1100	71.0	(63.5)	p=100側の ボルトセン断
平 均	0.356			0.434				
LF-1 { $P=75$ 100	0.386	294 294	0.53 0.53	0.350 0.350	500	(32.3)	72.7	p=75側の 添 接 板
LB-1 { 75 100	—	240 276	0.22 0.25	0.286 0.328	1096	70.8	(79.7)	p=75側の ボルトセン断
平 均				0.329				

注) : ()内は破断時にうけていたと思われる応力

* σn = すべり荷重 / 純断面積, σy = 鋼材の降伏点

表 4 試 験 体 一 覧

供試体番号	RF-1	RF-2	RB-1	RB-2	DF-1	DF-2	DB-1	DB-2	LF-1	LB-1
供試体の 形状形式										
	ボルト穴径 23.0φ	ボルト穴径 23.5φ	ボルト穴径 23.0φ	ボルト穴径 23.5φ	ボルト穴径 23.0φ	ボルト穴径 23.5φ	ボルト穴径 23.0φ	ボルト穴径 23.5φ	ボルト穴径 23.5φ	ボルト穴径 23.0φ
鋼 板 材 質	H.T. 70/80 (P=80 富士製鉄)									
降伏点 σ_s (kg/cm ²)	母-25% 降-10% 79.8 78.0	母-25 降-10 79.8 78.0	母-25 降-28 79.8 76.8	母-25 降-28 79.8 76.8	母-25 降-28 79.8 76.8	母-25 降-28 79.8 76.8	母-25 降-40 79.8 80.0	母-25 降-40 79.8 80.0	母-36 降-10 81.2 72.0	母-36 降-40 81.2 78.0
引張強さ σ_b (kg/cm ²)	82.0 81.8	82.9 81.8	82.0 82.8	82.0 82.8	82.0 82.8	82.0 82.8	82.9 86.0	82.9 86.0	86.8 81.8	86.8 81.8
伸 び ϵ (%)	38 34	38 34	38 41	38 41	38 41	38 41	38 40	38 40	41 34	41 34
ボルト数 F11T (W/6 ²)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
グーロ R (mm)	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
R/d	3.26	3.19	3.26	3.19	1.63	1.60	1.63	1.60	3.19	3.26
ピッチ p (mm)	75 100	75 100	75 100	75 100	75 100	75 100	75 100	75 100	37.5 50	37.5 50
p/d	3.26 4.35	3.19 4.26	3.26 4.35	3.19 4.26	3.26 4.35	3.19 4.26	3.26 4.35	3.19 4.26	1.60 2.13	1.63 2.17
公称断面積 A_g (cm ²)	98.80	98.80	197.60	197.60	98.80	98.80	197.60	197.60	90.4 ^{**}	171.36
公称断面積 A_n (cm ²)	68.90	68.25	137.80	136.50	68.84 [*]	66.58 [*]	173.16 [*]	173.16 [*]	60.08 ^{**}	114.91
A_n/A_g	0.697	0.691	0.697	0.691	0.679	0.677	0.879	0.877	0.664	0.671
ボルトせん断面積 (cm ²)	15.48	15.48	15.48	15.48	15.48	15.48	15.48	15.48	15.48	15.48
σ_s/τ	1.045	1.044	1.089	1.088	1.056	1.056	1.112	1.112	1.039	1.074
すべり荷重 (t)	430	437	348 375	428 446	366 445	346 394	370 425	272	294 294	240 276
ボルトせん断応力 (kg/cm ²)	27.8	28.2	22.5 24.2	27.6 28.8	23.6 28.7	22.4 25.3	23.9 27.5	17.6	19.0 19.0	15.5 17.8
断断面応力 σ_s (N)	624	640	25.3 27.2	31.4 32.7	42.1 51.2	40.0 45.5	21.3 24.5	15.7	48.9 48.9	17.5 20.1
σ_s/σ_t	0.78	0.80	0.31 0.34	0.39 0.41	0.52 0.64	0.50 0.57	0.26 0.30	0.29	0.63 0.63	0.22 0.25
平均ボルト耐力 (t)	17.6	—	—	19.7	10.1 19.0	19.0 19.7	19.8 19.2	—	19.3 19.0	—
初期締付力 (t)	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420
すべり係数 μ	0.512	0.520	0.414	0.510	0.436	0.412	0.440	0.324	0.250	0.286
破壊荷重 (t)	664	654	1110	1116	788	780	1110	1100	560	1096
ボルトせん断応力 τ (kg/cm ²)	429	422	71.7	72.1	51.2	50.4	71.7	71.0	32.3	70.8
断断面応力 σ_s (kg/cm ²)	96.4	95.8	80.6	81.8	90.7	90.1	63.9	63.5	83.2	79.7
破壊形式	p=75万母材	p=75万母材	p=75万ボルトせん断	p=100万ボルトせん断	p=100万母材	p=100万母材	p=100万ボルトせん断	p=100万ボルトせん断	p=75万断接板	p=75万ボルトせん断
σ_s/σ_s または τ/τ_s	$\sigma_s/\sigma_s=1.163$	$\sigma_s/\sigma_s=1.156$	$\tau/\tau_s=0.796$	$\tau/\tau_s=0.860$	$\sigma_s/\sigma_s=1.024$	$\sigma_s/\sigma_s=1.087$	$\tau/\tau_s=0.796$	$\tau/\tau_s=0.788$	$\sigma_s/\sigma_s=1.017$	$\tau/\tau_s=0.788$

表面処理 ショットブラスト

** (b, -2d) t

** 接接板の面積

= (b, -3d + p/2g) t

表-5 すべり変位量

	第1回すべり	第2回すべり	総すべり量	すべり量 G L %
DF-1	3.6	0.8	4.4	0.425
DF-2	5.4	4.2	9.6	0.926
DB-1	1.7	1.2	2.9	0.286
DB-2	4.0	—	4.0	0.386
RF-1	4.0	—	4.0	0.584
RF-2	4.8	—	4.8	0.702
RB-1	2.1	0.6	2.3	0.336
RB-2	3.5	—	3.5	0.512
LF-1	5.4	—	5.4	0.446
LB-1	1.6	—	1.6	0.132

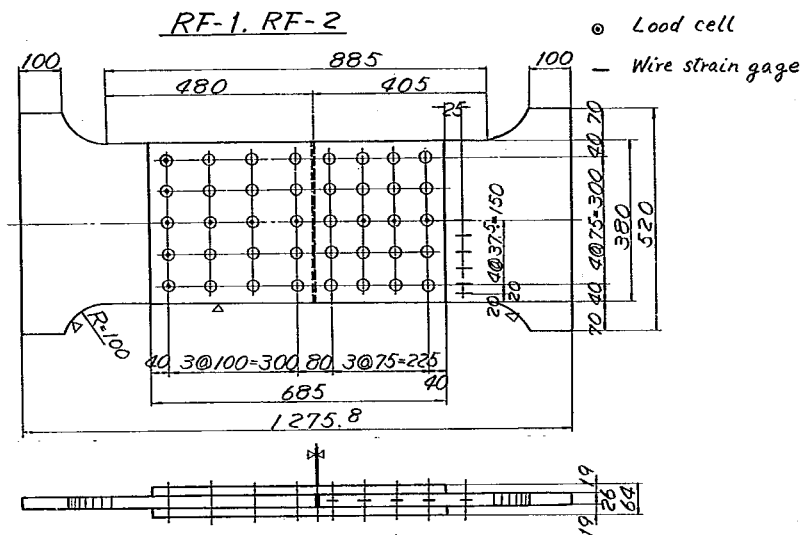


图 - 1 - (a) 試驗体形状寸法

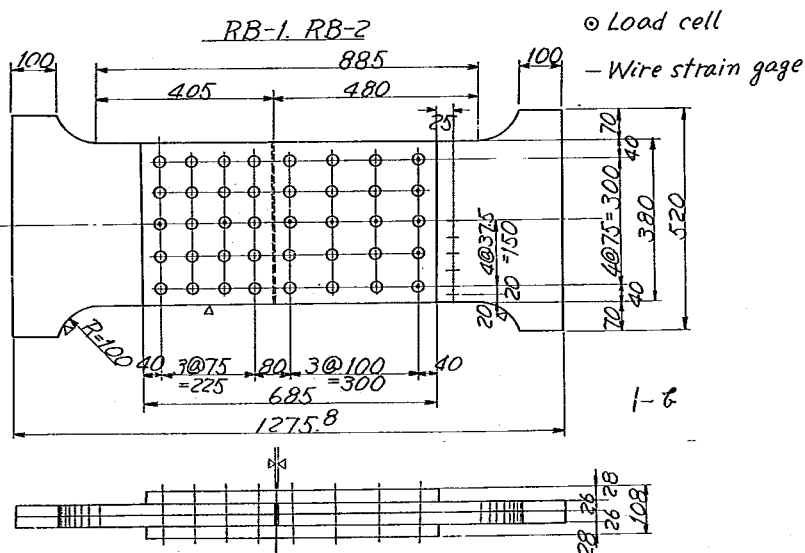


图 - 1 - (b) 試驗体形状寸法

DF-1, DF-2

○ Load cell

— Wire strain gage

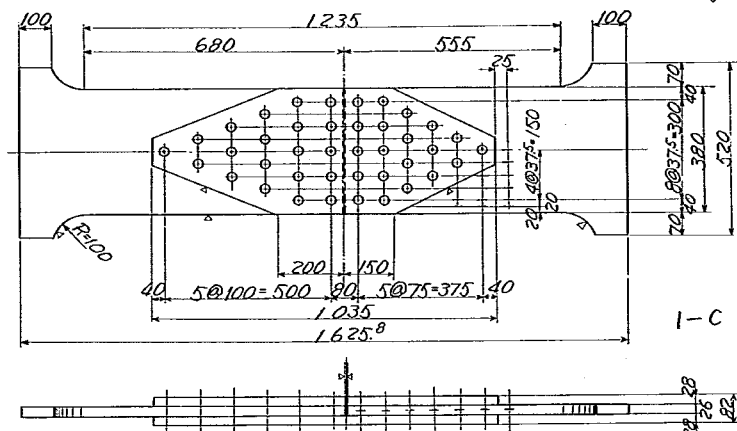


図-1 -(c) 試験体形状寸法

DB-1, DB-2

○ Load cell

— Wire strain gage

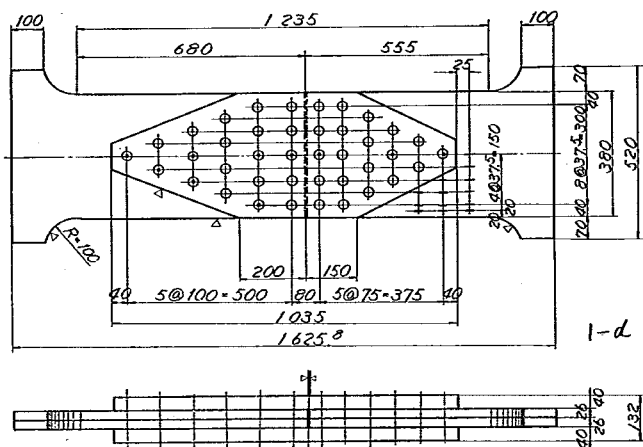


図-1 -(d) 試験体形状寸法

LF-1

⊙ Load cell
— Wire strain gage

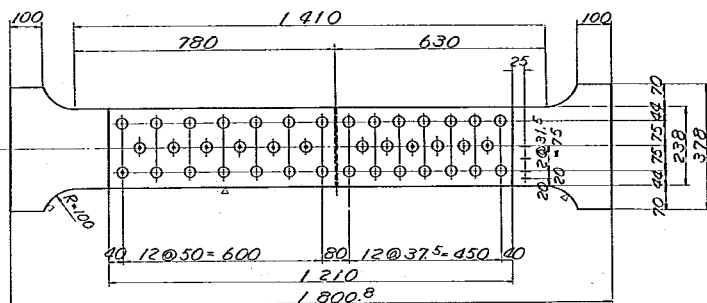


图-1-(e) 試驗体形状寸法

LB-1

⊙ Load cell
— Wire strain gage

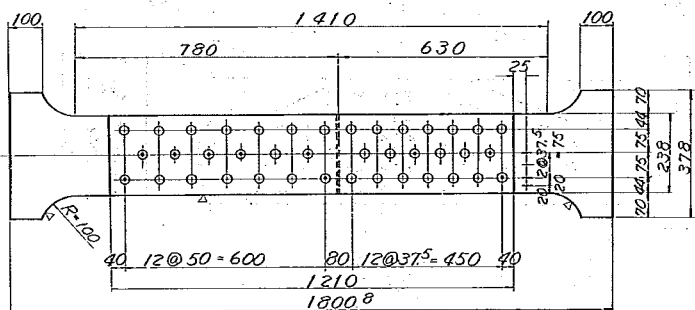


图-1-(f) 試驗体形状寸法

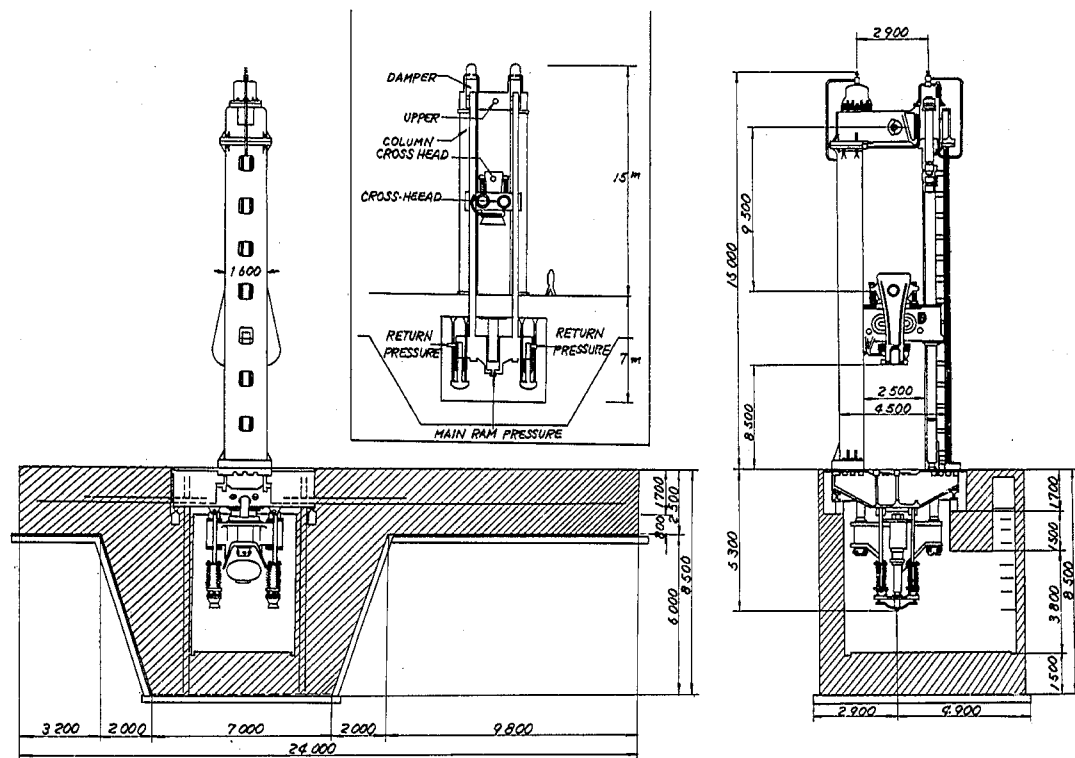
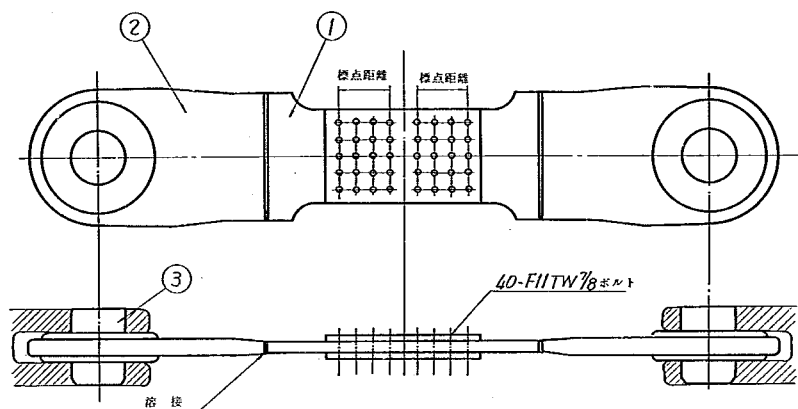


图 - 2 2000 t 引張試験機



- ① 試験体 (HT80)
- ② 治具材 (HT60)
- ③ $\phi 220$ mmピン (クロム鋼4種)

図-3 供試体と試験治具の取付

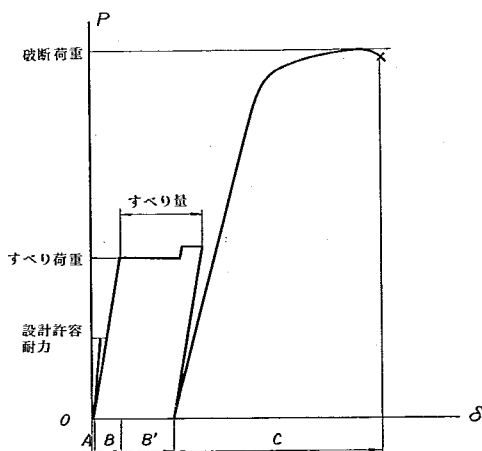


図-4 載荷方法



図-5 変形量測定概要

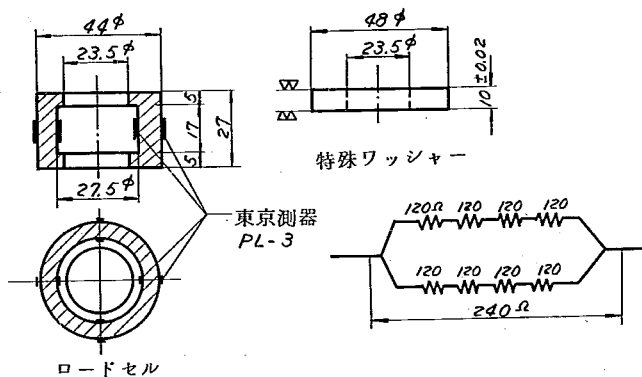


図 - 6

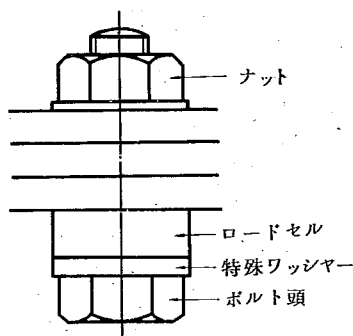


図 - 7

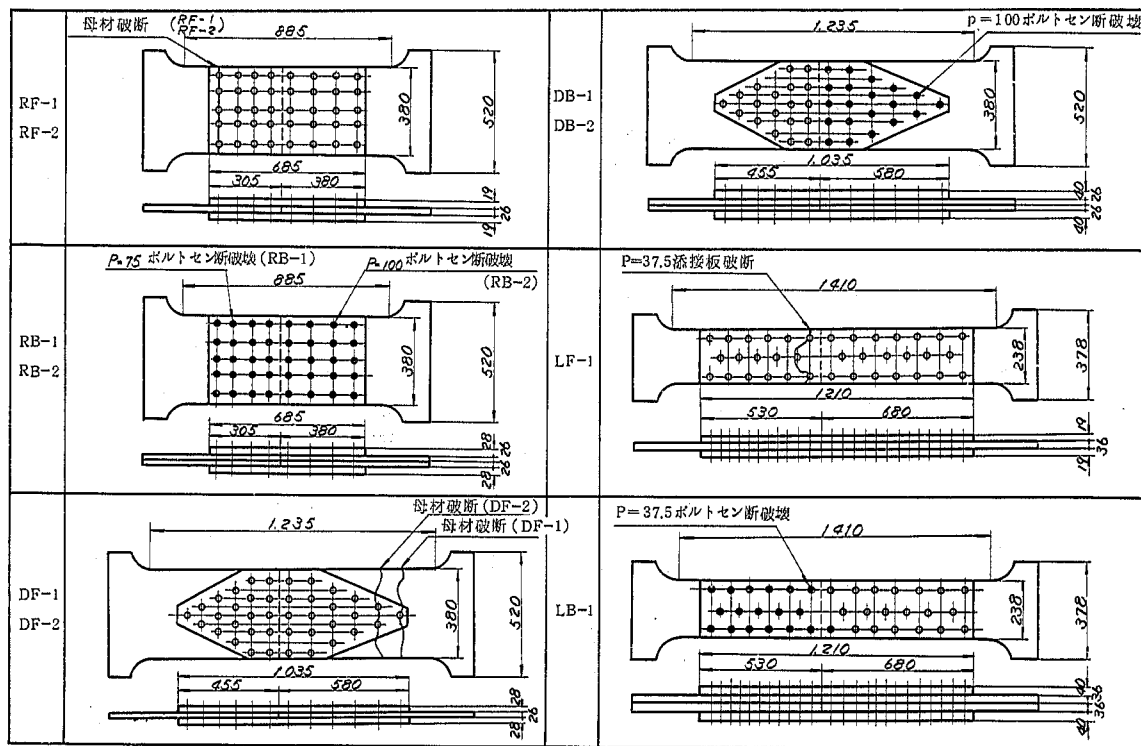


図 - 8 大型継手引張試験破断位置

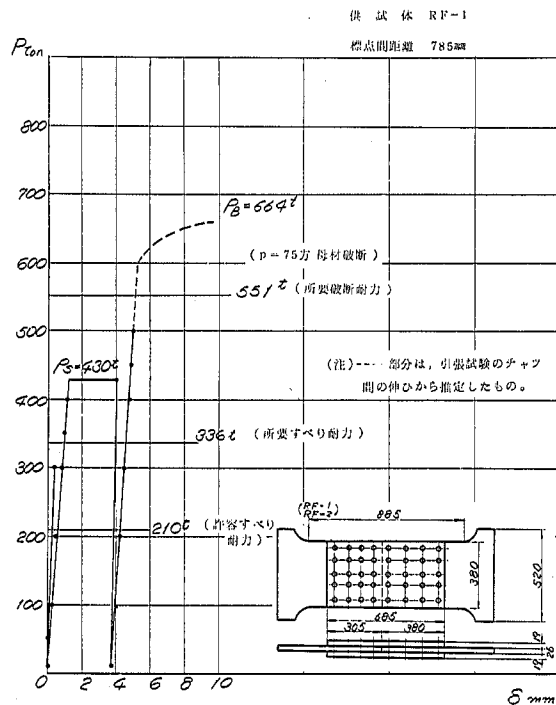


図-9-(a) 荷重変形曲線

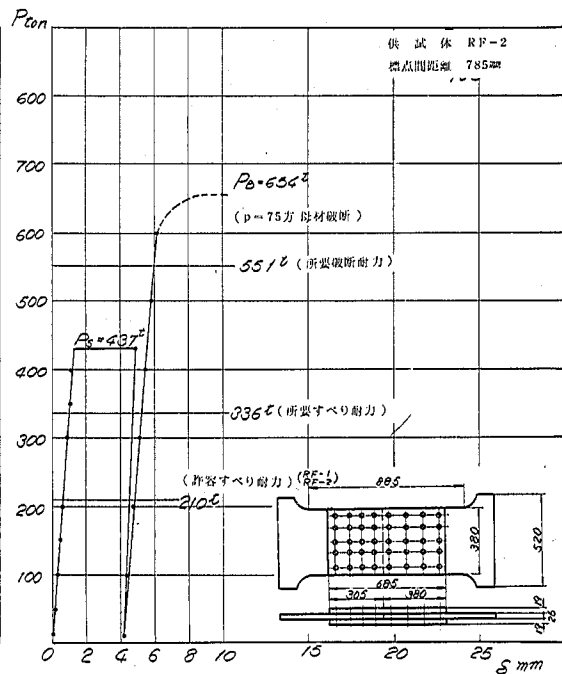
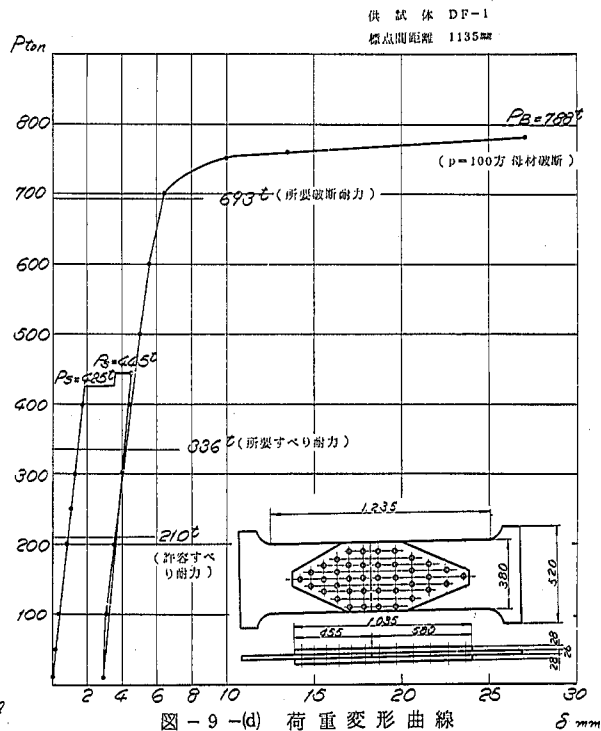
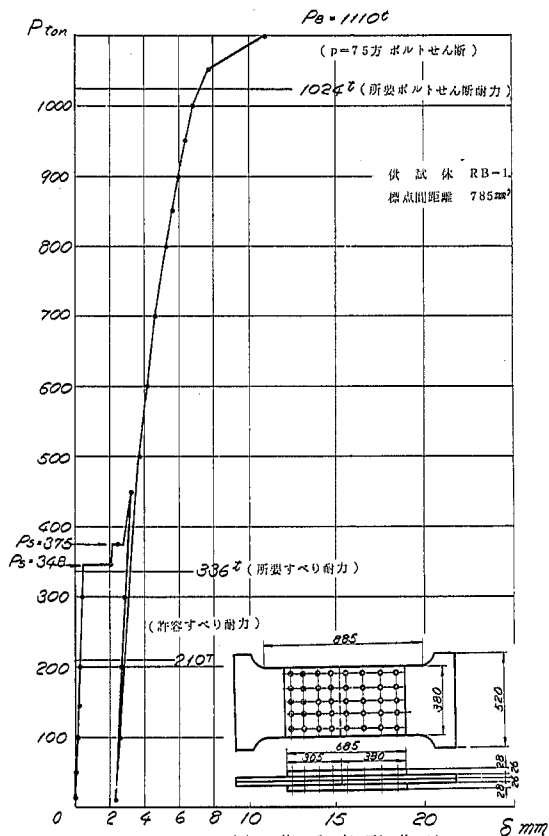
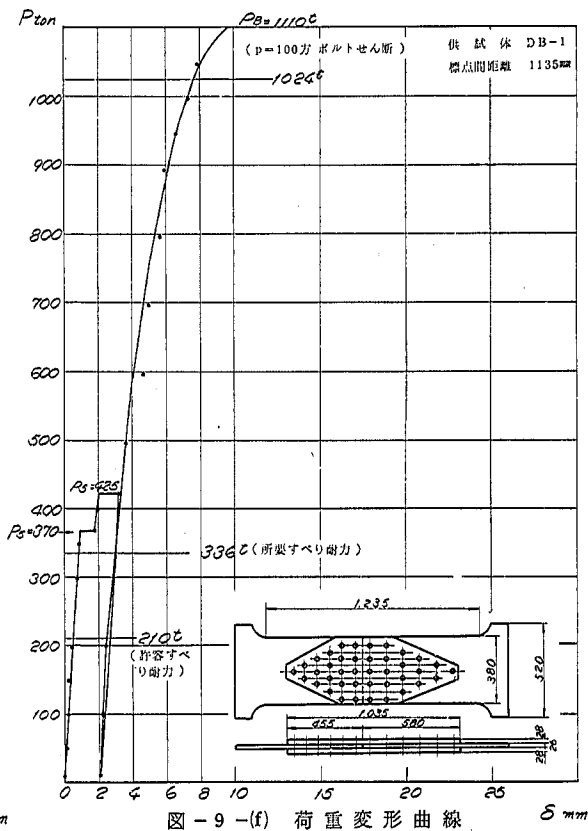
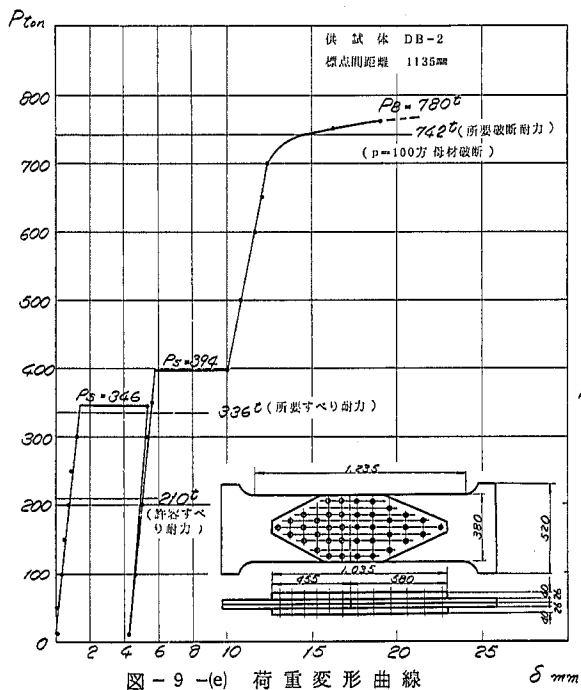


図-9-(b) 荷重変形曲線





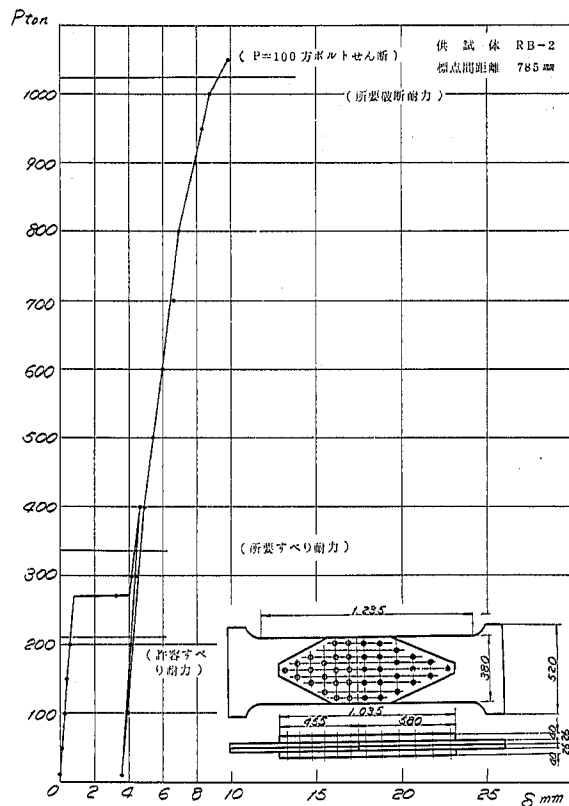


図-9-(g) 荷重変形曲線

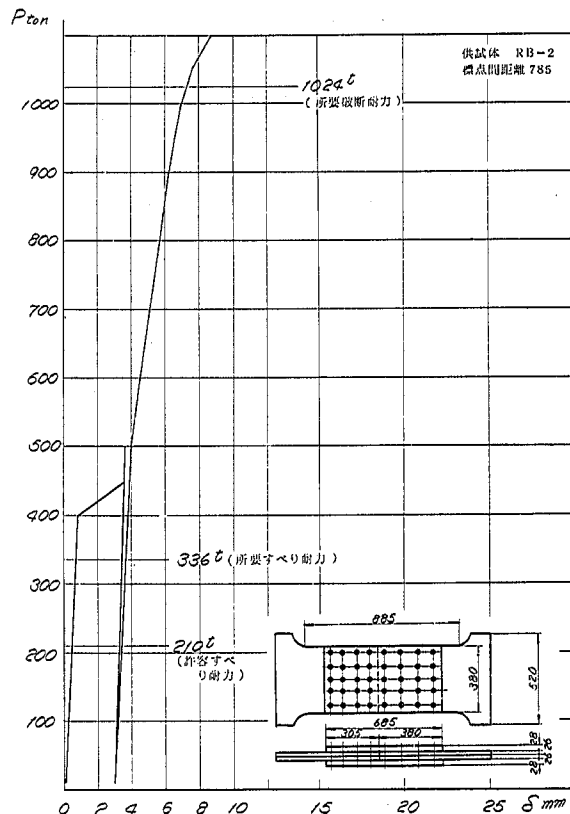
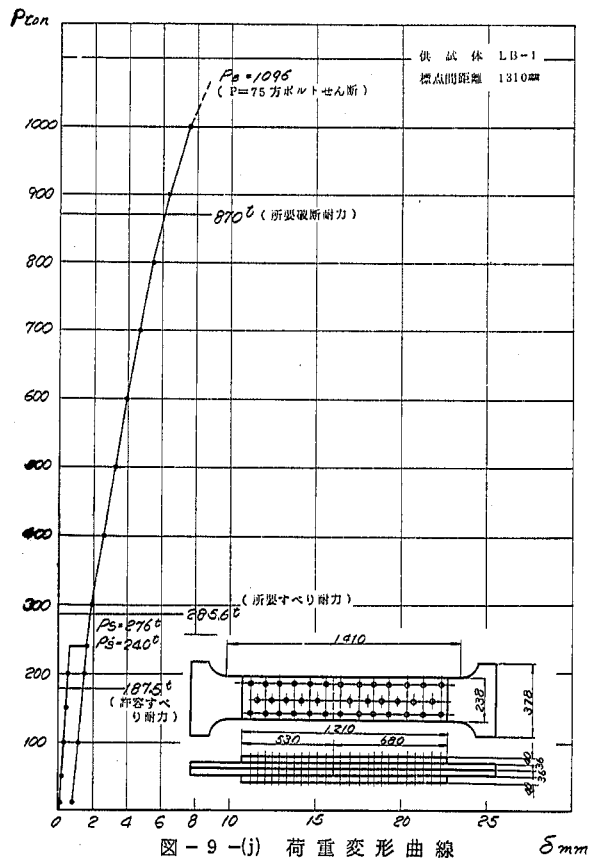
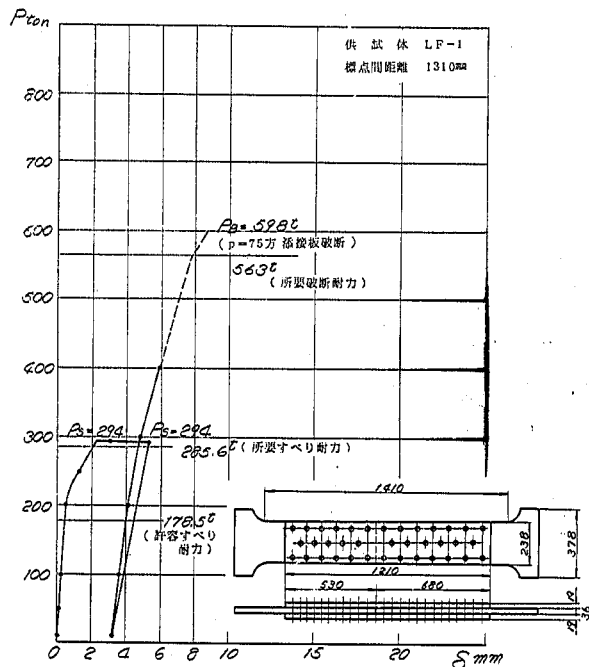


図-9-(h) 荷重変形曲線



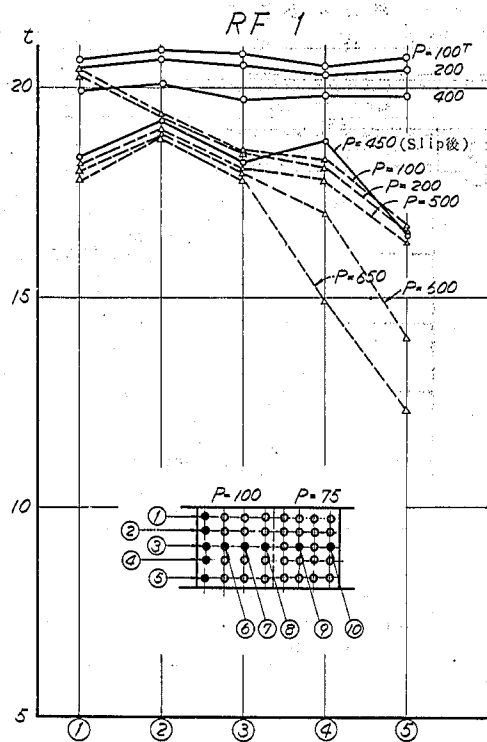


図-10 -(a) ボルト軸力の変化

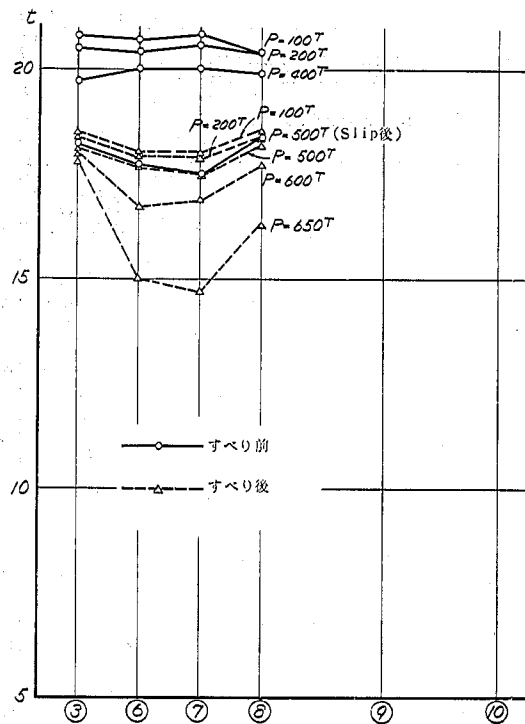


図-10 -(b) ボルト軸力の変化

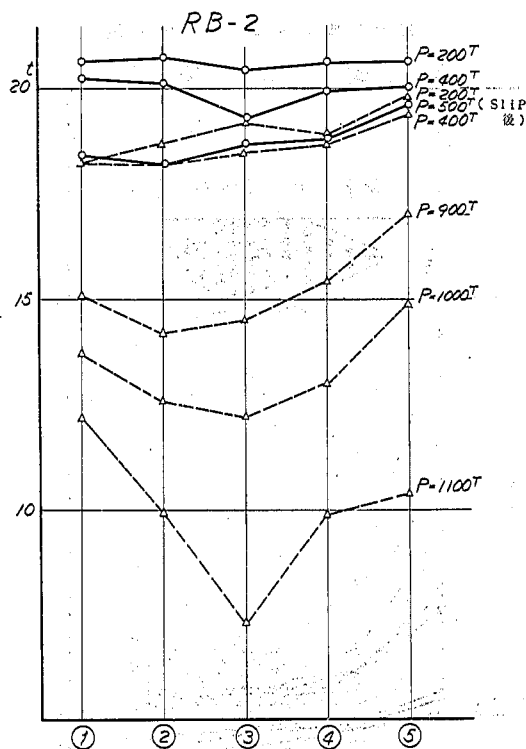


図-10-(c) ボルト軸力の変化

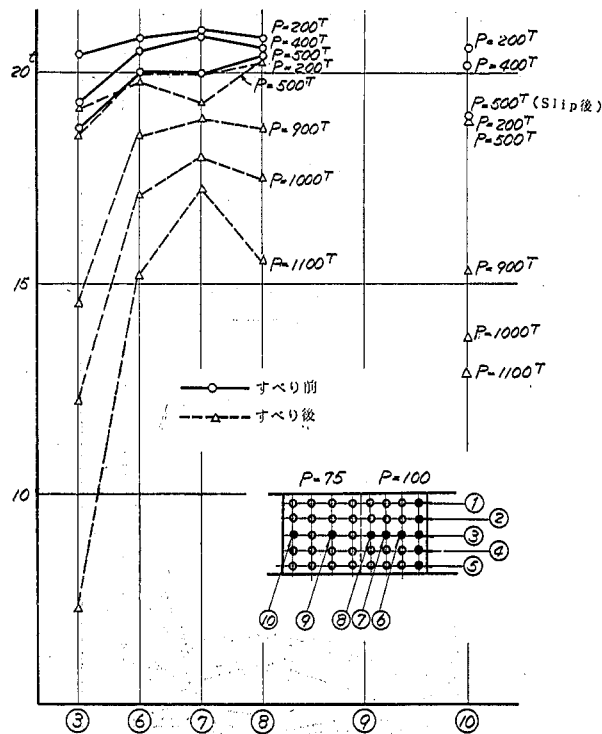


図-10-(d) ボルト軸力の変化

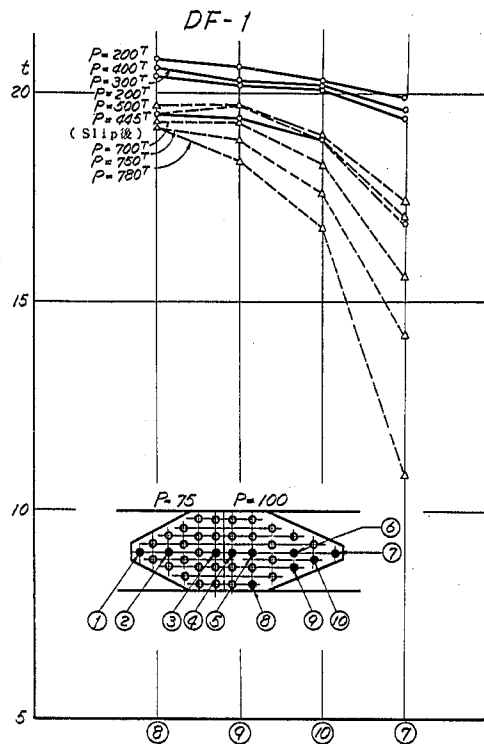


図-10-(e) ボルト軸力の変化

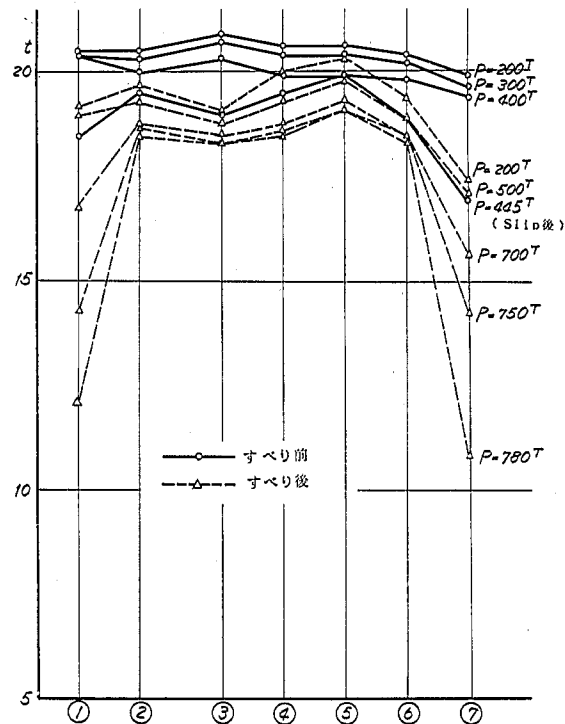


図-10-(f) ボルト軸力の変化

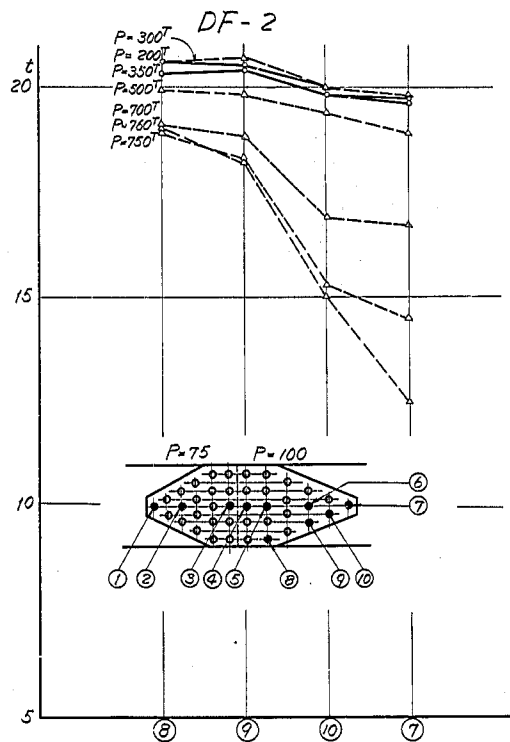


図-10 -(g) ボルト軸力の変化

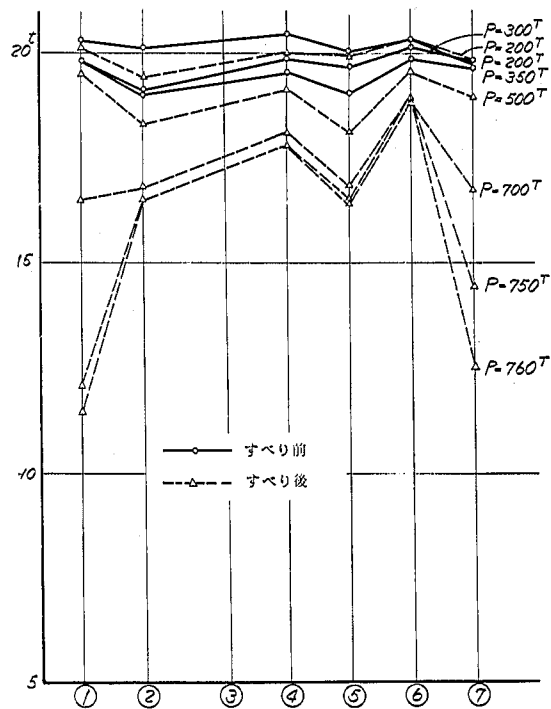


図-10 -(h) ボルト軸力の変化

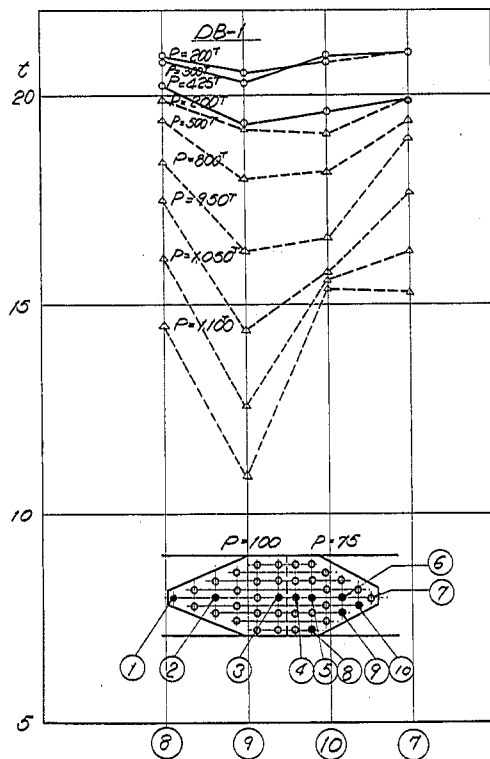


図-10-(i) ボルト軸力の変化

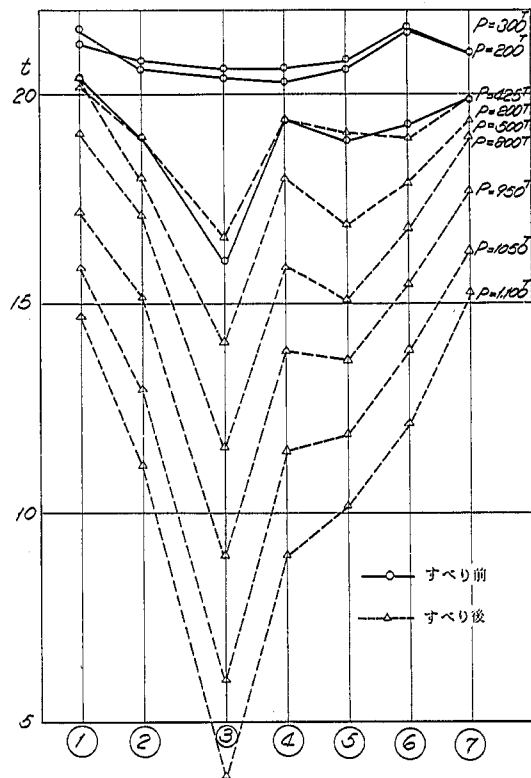
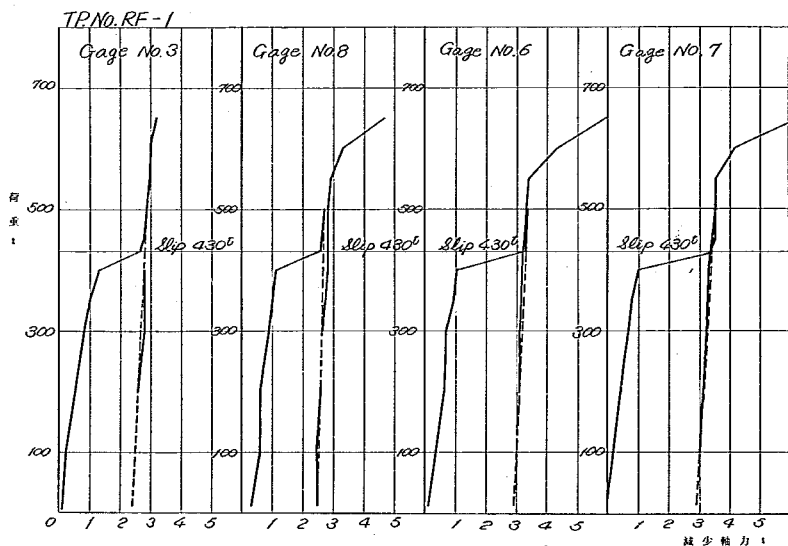
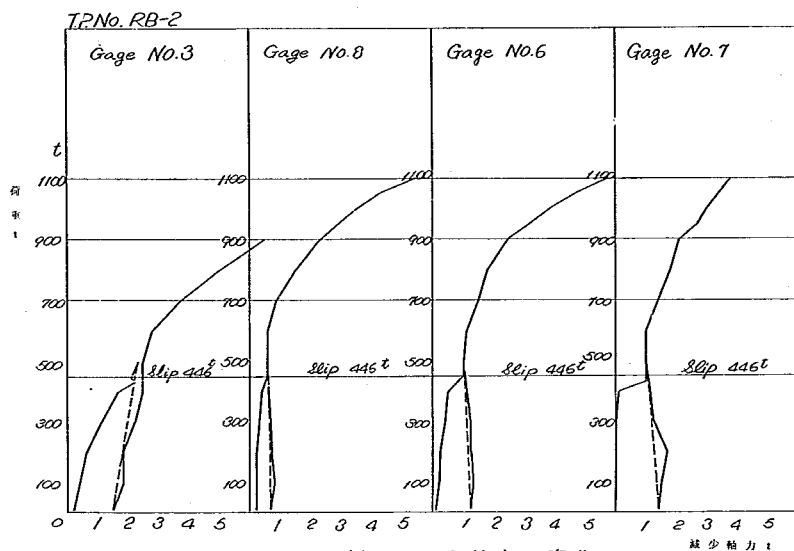


図-10-(j) ボルト軸力の変化



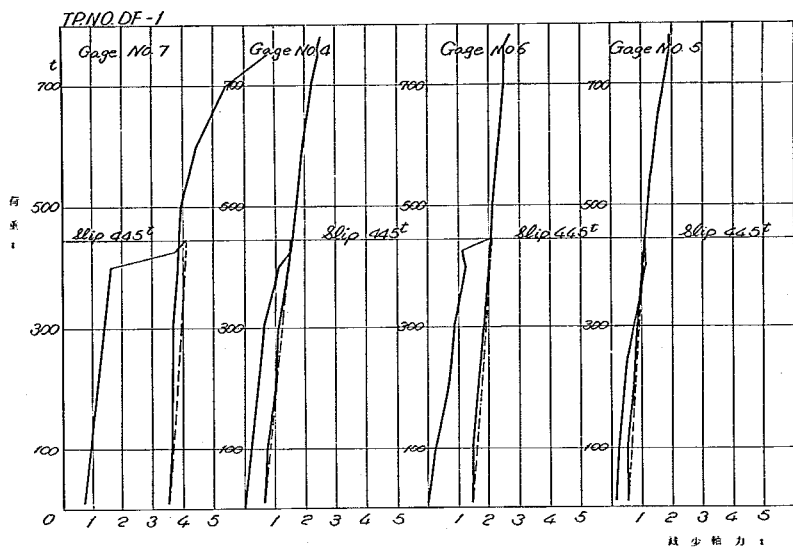


図-11-(c) ボルト軸力の変化

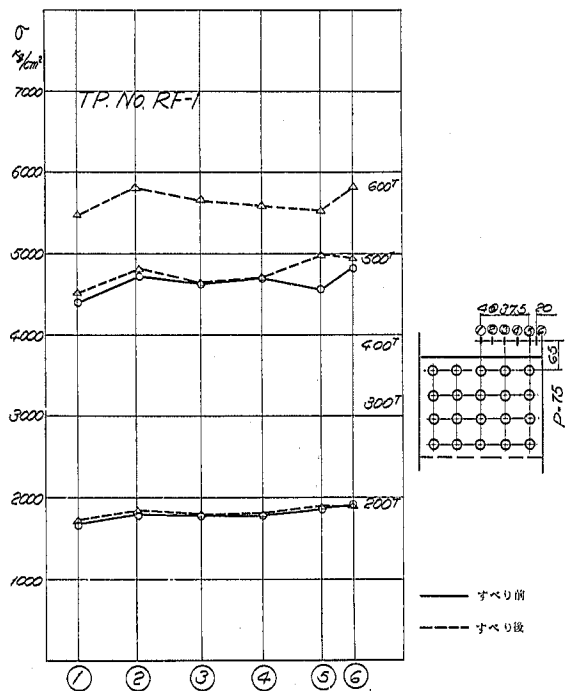


図-12-(a) 母材応力測定結果

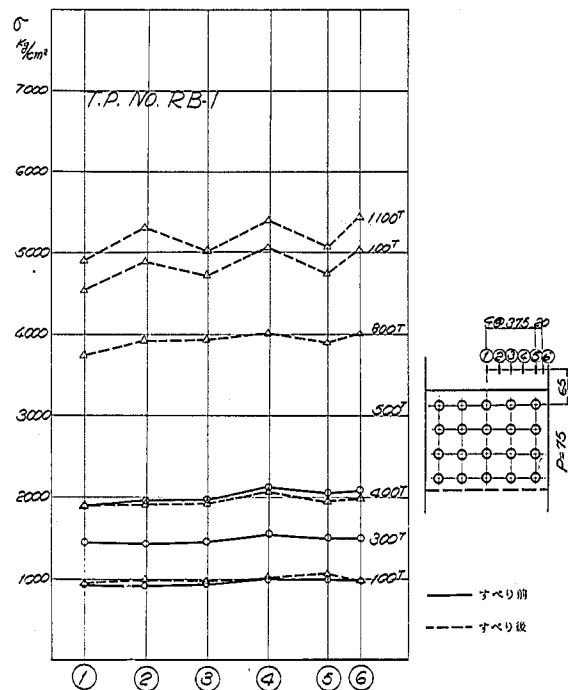


図-12-(b) 母材応力測定結果

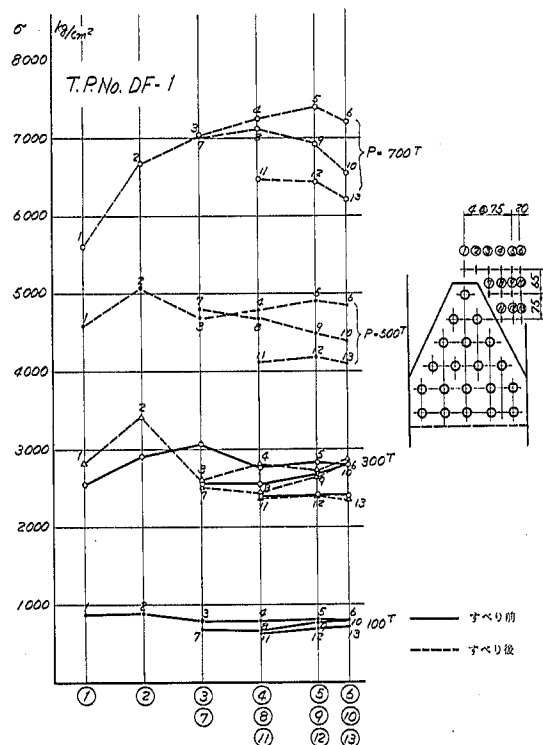


図-12-(c) 母材応力測定結果

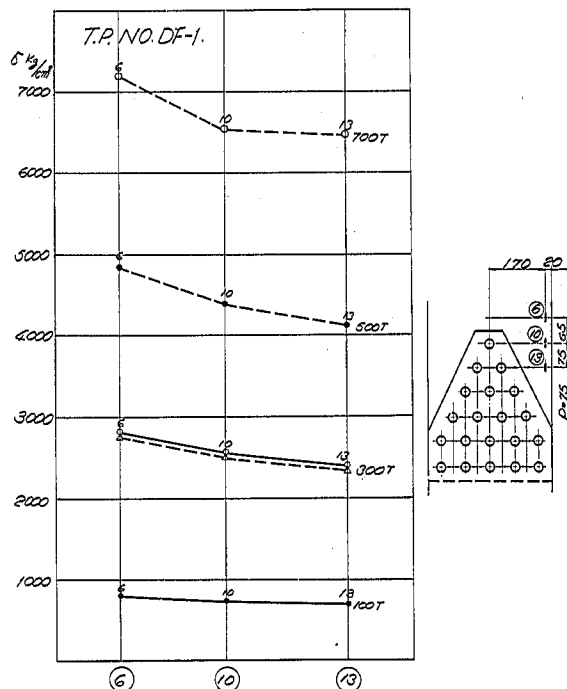


図-12-(d) 母材応力測定結果

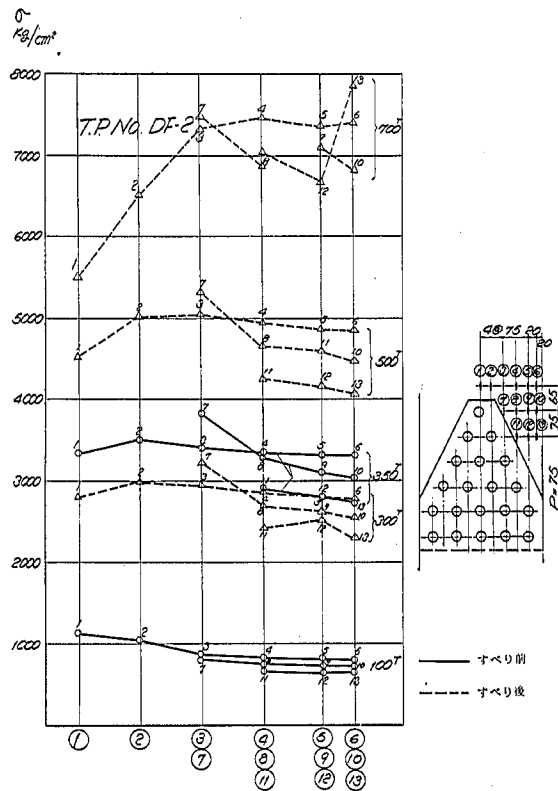


図-12 -(e) 母材応力測定結果

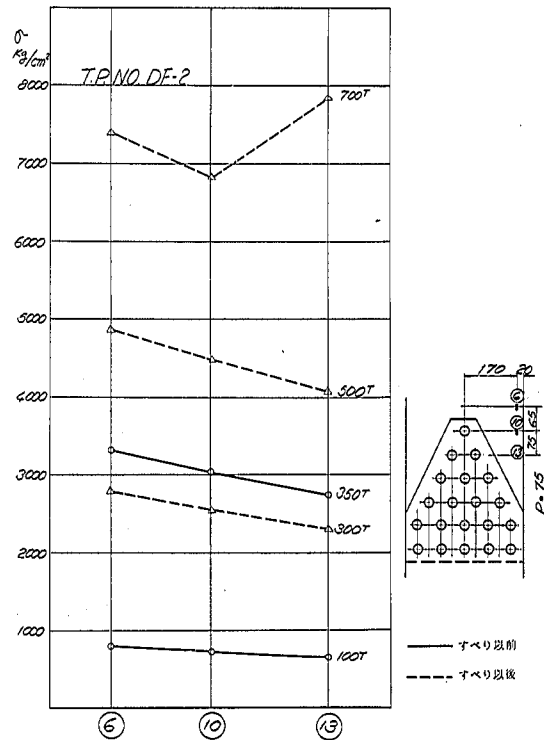


図-12 -(f) 母材応力測定結果

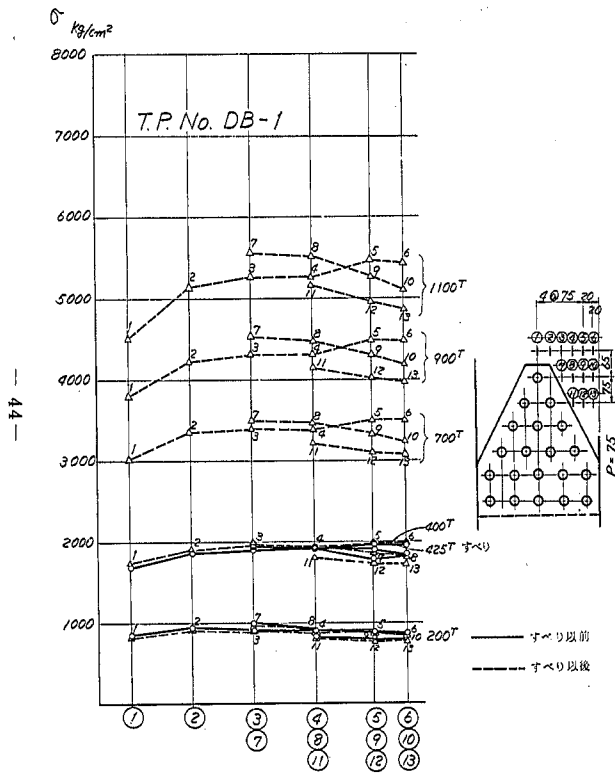


図-12-(g) 母材応力測定結果

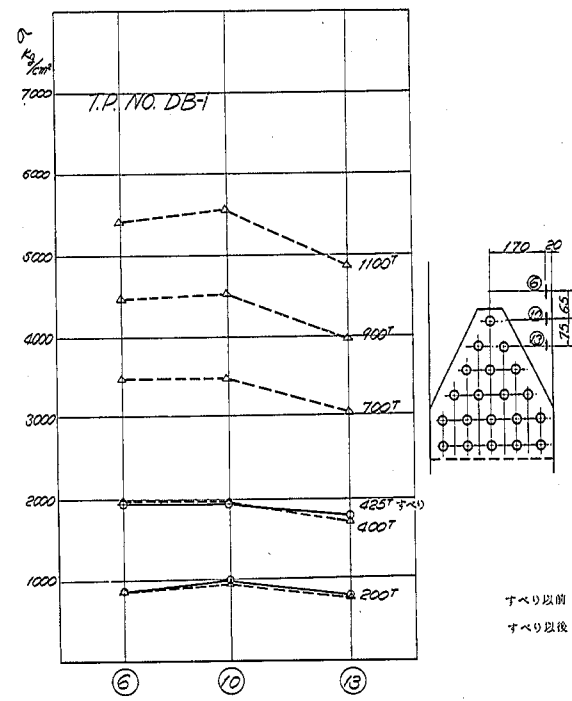


図-12-(h) 母材応力測定結果

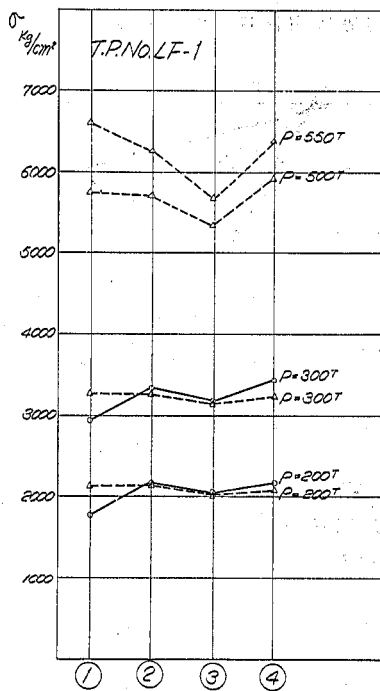


圖 - 12 -(i) 母材応力測定結果

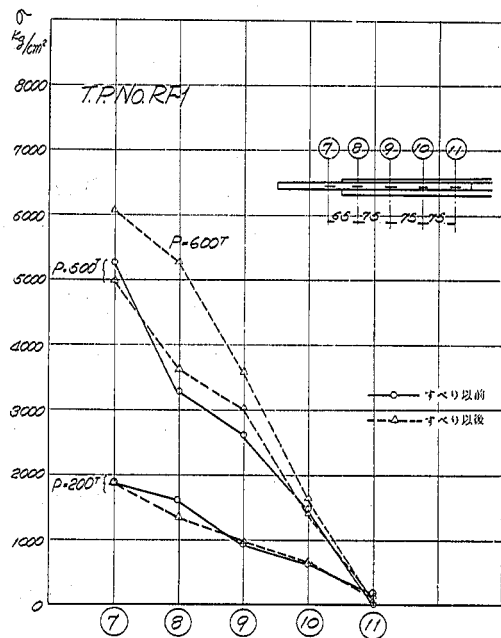
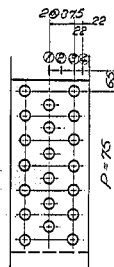


圖-12-(j) 母材応力測定結果

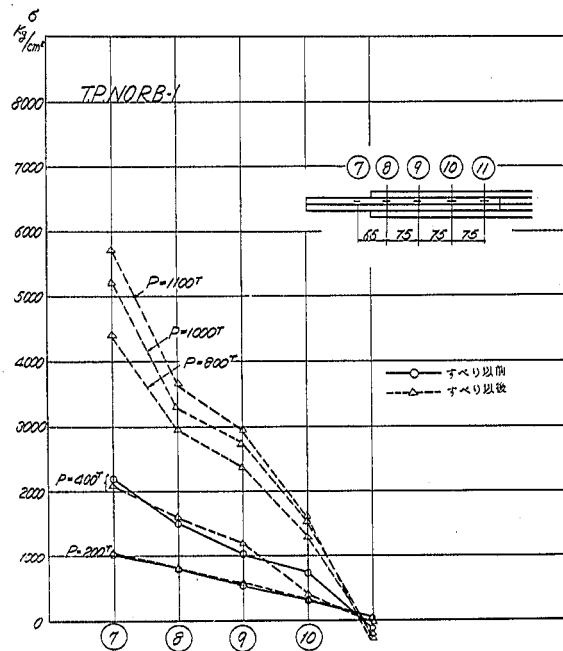


図-12-(k) 母材応力測定結果

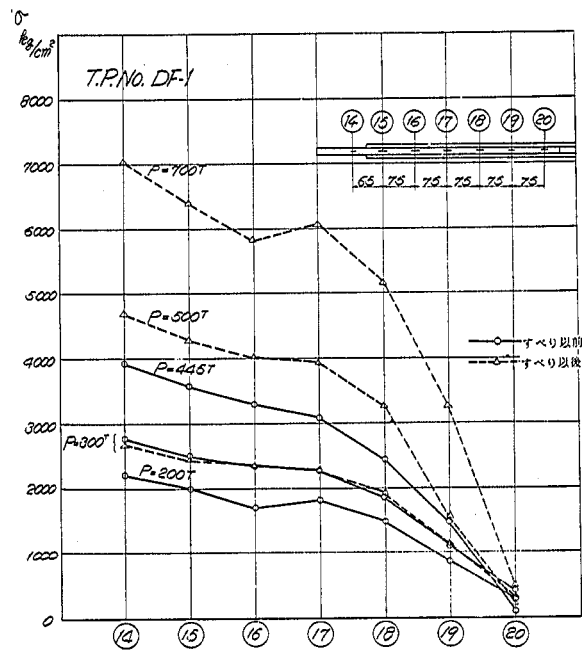


図-12-(l) 母材応力測定結果

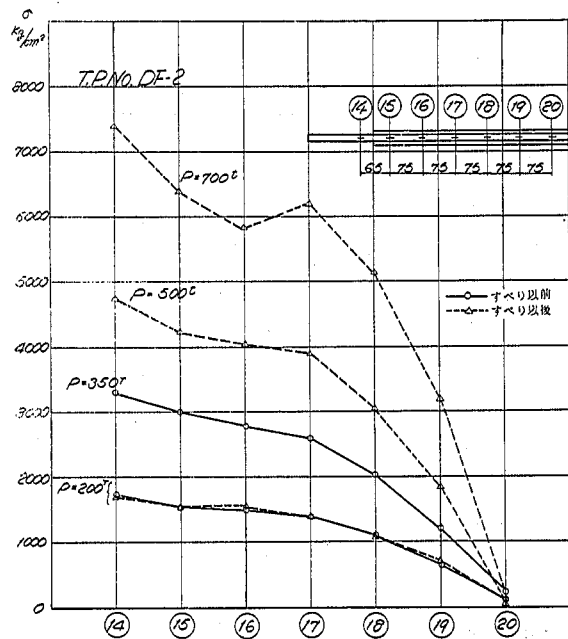


図-12-(m) 母材応力測定結果

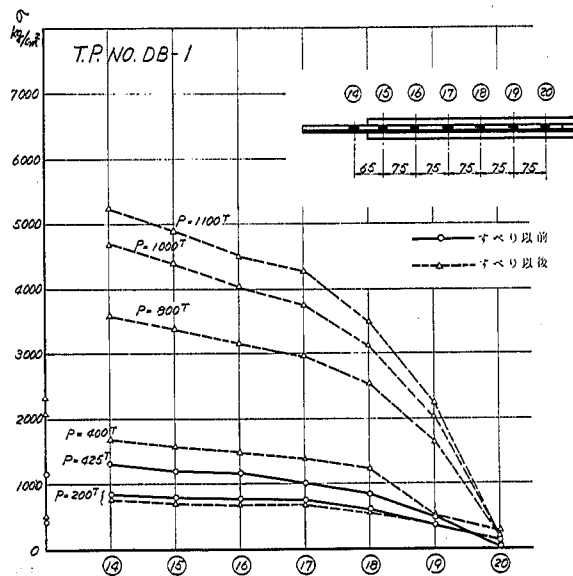


図-12-(n) 母材応力測定結果

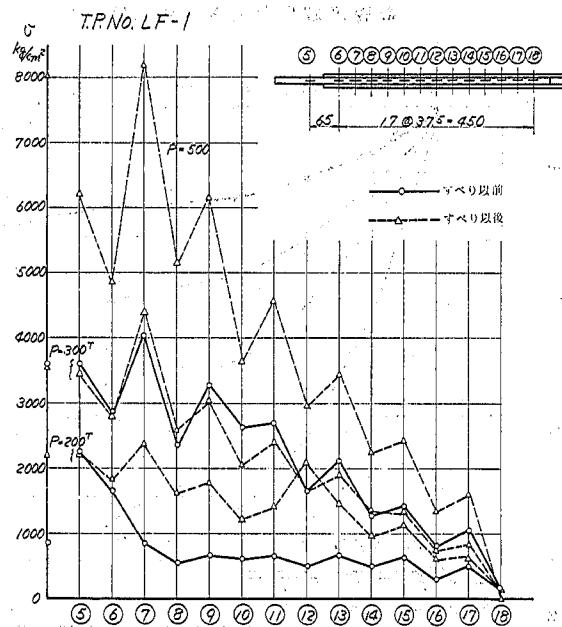


図-12-(a) 母材応力測定結果

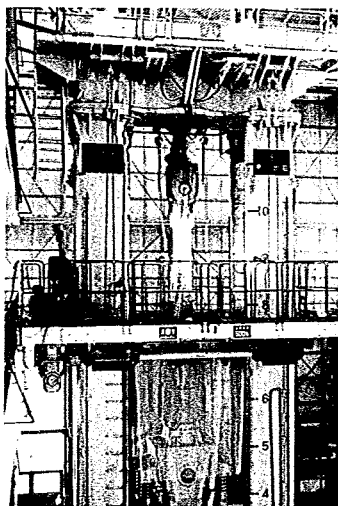


写真1 供試体の試験機装着方法

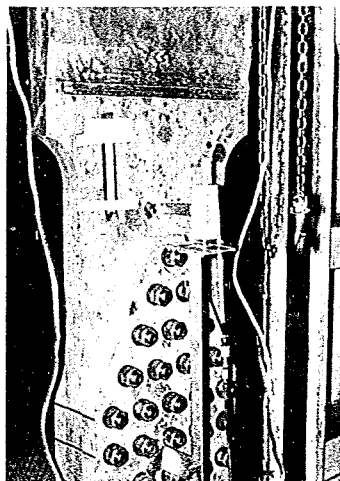


写真2 変位量測定機装着方法

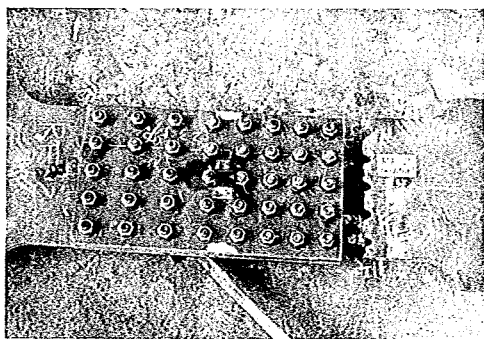


写真3(a) RF型破断状況

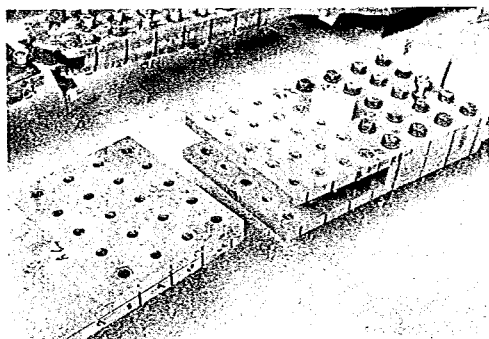


写真3 (b) RB型破断状況

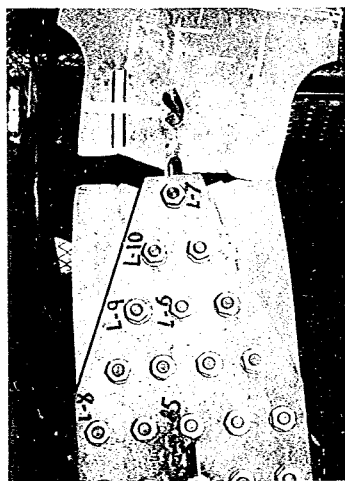


写真3 (c) DF-1破断状況



写真3 (d) DF-2破断状況

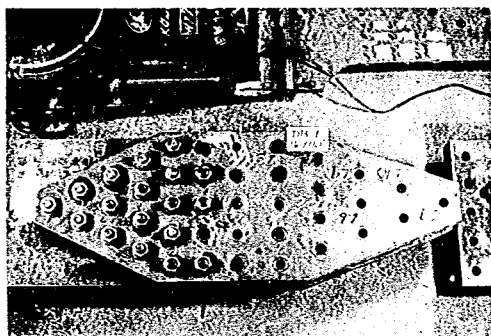


写真 3 (e) D B 型破断状況

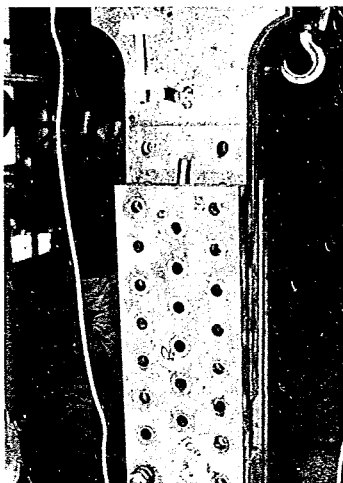


写真 3 (f) L B 型破断状況

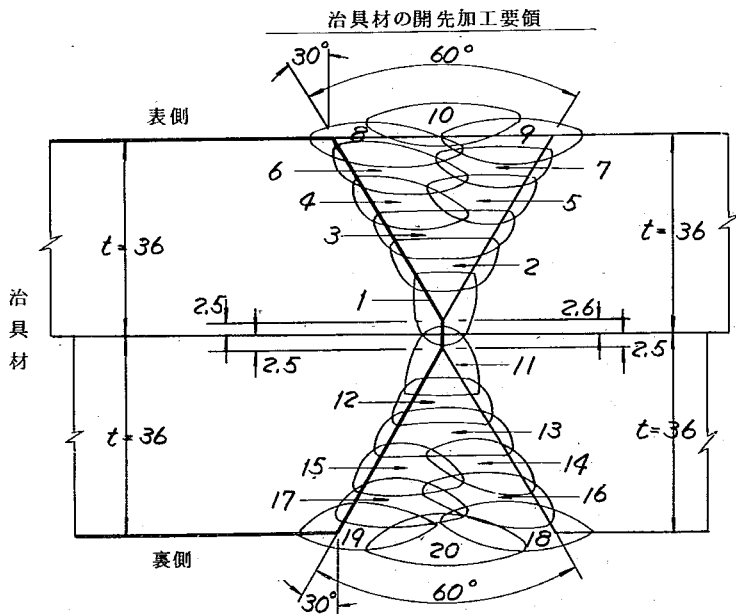
参考資料

試験体 (HT80) と治具体 (HT60) の自動溶接合に対する溶接材料、開先形状および溶接条件。

a) 溶接材料

芯線	フラックス
Y-DM (4.8mmφ) (八幡溶接棒製)	YF-15 (20×D) (八幡溶接棒製)

b) 治具材の開先形状



注) 表側溶接完了後、裏側よりアーク・エアー・ガウジングにてハツリを行ない、溶込み不良を防ぐものとする。

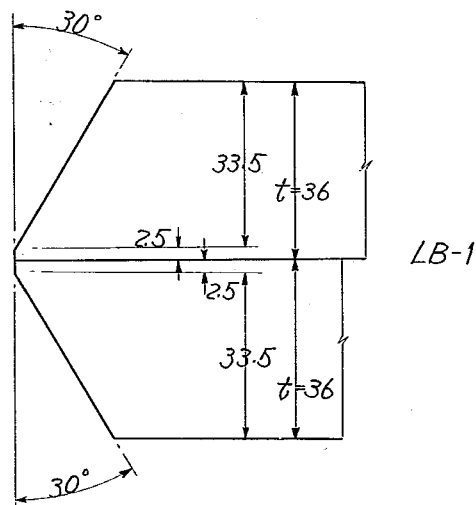
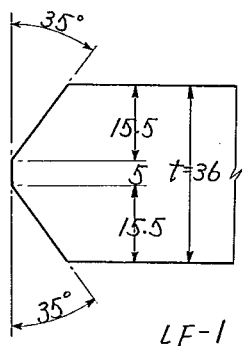
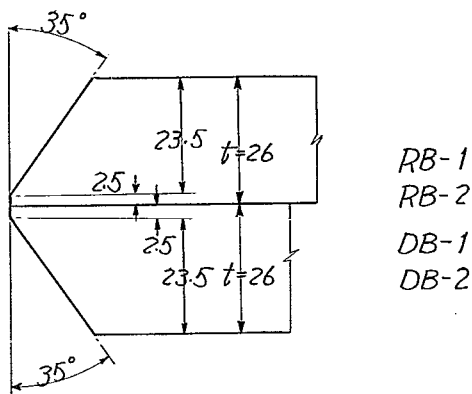
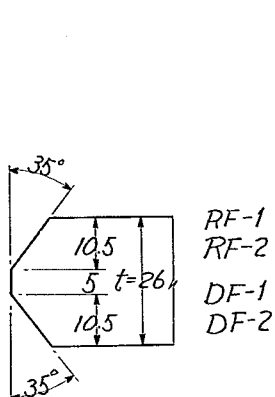
c) 溶 接 条 件

層 数		電 流 (A)	電 圧 (V)	速 度 (cm/min)
表 側	1	700	32	30
	2~6	1000	33	25
	7	1000	34	24
	8~10	1000	34	22
裏 側	11	950	32	30
	12	1000	33	20
	13	1000	33	25
	14~17	1000	32	25
	18~19	1000	33	20
	20	1000	34	21

d) 試験体と装着用治具の取合せ

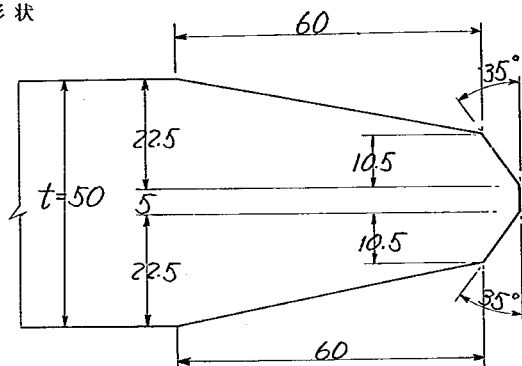
試験体番号	治具番号
RF-1	KG-C
RF-2	KG-C
RB-1	KG-A
RB-2	KG-A
DF-1	KG-D
DF-2	KG-C
DB-1	KG-B
DB-2	KG-B'
LF-1	KG-A'
LB-1	KG-B'

e) 供試体の開先形状

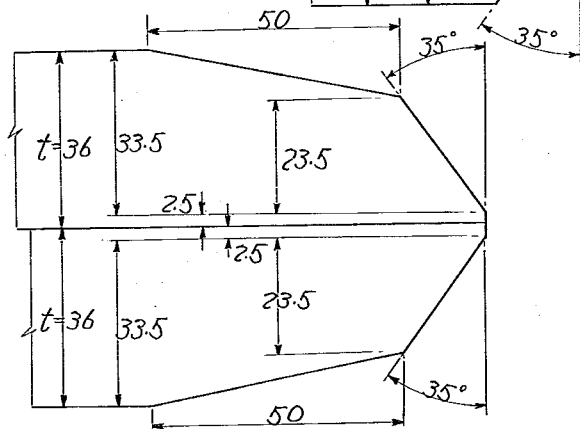
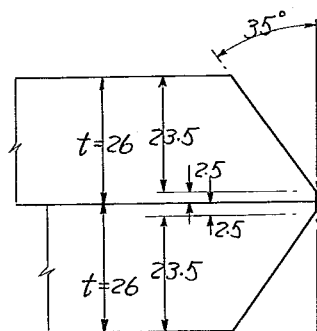


f) 治具の開先形状

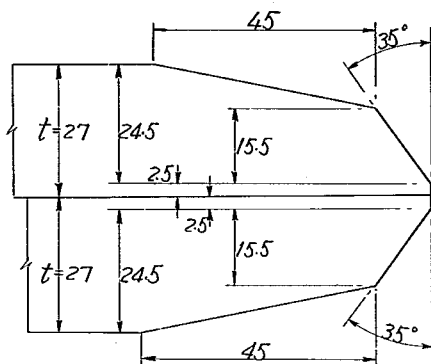
KG-C
KG-D



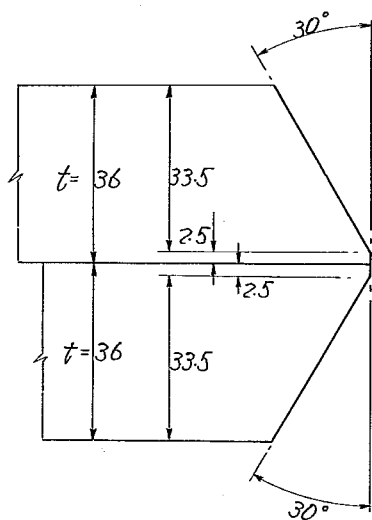
KG-A



KG-B
KG-B'



KG-A'



KG-B'