

# 土木研究所資料

第 1871 号

高力ボルト摩擦接合継手に関する試験調査  
(I) 引張荷重を受ける継手のすべり耐力

昭和 57 年 9 月

建設省土木研究所  
構造橋梁部・橋梁研究室

## ま え が き

高力ボルトによる摩擦接合継手が、我が国において本格的に使用されるようになったのは、昭和30年代の後半のことであり、すでに20年が経過しようとしている。最初に制定された摩擦接合継手に関する設計基準は、昭和41年に制定された「鋼道路橋高力ボルト摩擦接合設計指針」（日本道路協会）であり、その後昭和48年に道路橋示方書に盛り込まれ、昭和55年に改訂を経て現在に至っている。

これらの設計基準の基礎となっている試験データは、最初の指針が制定される前後の時期に、土木研究所をはじめ、首都高速道路公団あるいは日本国有鉄道などにより集中的に実施された試験によるものがほとんどであり、その後は、特定の工事に伴って行われたものを除けば、試験の実施はほとんどみられない。

幸いなことに、ボルト継手の設計法に起因する事故例は、これまでに報告されておらず、現在までの設計法が安全なものであることが、経験的に証明されている。しかし、近年になって、構造物の長大化、多様化に伴い、高力ボルト継手に対するより以上の合理化や、新しく生じてきた諸問題についての解決が求められるようになってきている。

このようなことから、橋梁研究室では高力ボルト摩擦接合継手の設計法を全面的に見直し、指摘される問題点について集中的に試験を行って解決することを計画し、実行に移しているが、本報告は、引張荷重を受ける継手に関する試験結果をとりまとめたものである。

昭和57年9月

建設省土木研究所

橋梁研究室 室長 佐伯 彰 一

研究員 西川 和 廣

滝 沢 晃

## 目 次

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| まえがき                          |    |
| 1. 概 説                        | 1  |
| 2. 継手部材の有効断面積に関する検討           | 2  |
| 2.1 概 要                       | 2  |
| 2.2 供 試 体                     | 3  |
| 2.2.1 供試体の設計                  | 3  |
| 2.2.2 使用鋼材                    | 5  |
| 2.2.3 高力ボルトの締付け               | 5  |
| 2.2.4 接合面の処理                  | 6  |
| 2.3 載荷試験                      | 6  |
| 2.3.1 載荷装置                    | 6  |
| 2.3.2 測定項目                    | 6  |
| 2.4 試験結果と考察                   | 7  |
| 2.4.1 すべり耐力                   | 7  |
| 2.4.2 継手の破断                   | 10 |
| 2.5 純断面応力が許容引張応力度を超える継手の設計法   | 10 |
| 2.5.1 適用可能範囲                  | 10 |
| 2.5.2 純断面応力が許容引張応力度を超える継手の設計法 | 11 |
| 2.5.3 設計例                     | 11 |
| 2.6 まとめ                       | 12 |
| 3. 荷重方向ボルト列数の最大値に関する検討        | 26 |
| 3.1 概 要                       | 26 |
| 3.2 供 試 体                     | 26 |
| 3.2.1 供試体の設計                  | 26 |
| 3.2.2 使用鋼材                    | 27 |
| 3.2.3 高力ボルトの締付け               | 28 |
| 3.2.4 接合面の処理                  | 28 |
| 3.3 載荷試験                      | 28 |
| 3.3.1 載荷装置                    | 28 |
| 3.3.2 測定項目                    | 28 |
| 3.4 試験結果と考察                   | 28 |
| 3.4.1 すべり耐力                   | 28 |
| 3.4.2 継手のすべり挙動                | 29 |
| 3.4.3 継手長さの影響                 | 30 |
| 3.4.4 継手のひずみ分布                | 30 |

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 3.4.5 継手の破断 .....              | 31 |
| 3.5 ま と め .....                | 31 |
| 4. 荷重に偏心のある継手に関する検討 .....      | 45 |
| 4.1 概 要 .....                  | 45 |
| 4.2 供 試 体 .....                | 45 |
| 4.2.1 供試体の種類 .....             | 45 |
| 4.2.2 使用鋼材 .....               | 46 |
| 4.2.3 接合面の処理および高力ボルトの締付け ..... | 46 |
| 4.3 載荷試験 .....                 | 46 |
| 4.4 試験結果と考察 .....              | 46 |
| 4.5 ま と め .....                | 47 |
| 参考文献 .....                     | 51 |

## 1. 概 説

現行の設計法、すなわち昭和55年に改訂された道路橋示方書Ⅱ鋼橋編に示された設計法の見直し作業の結果、次のような問題点が指摘された。

(1) リベットの規定が準用されており、摩擦接合継手の設計法としては不合理と考えられる事項

- 1) ボルトの荷重方向列数の最大値
- 2) 引張荷重を受ける継手部材の純断面積の取扱い

(2) 規定には言及されていないが、実験による確認を必要とする事項

- 1) 摩擦面内外の偏心曲げを受ける継手のすべり耐力

(3) 設計法は示されているが、明確な確認試験は行われた例がないもの

- 1) 曲げを受ける継手の設計法

(4) 近年の橋梁建設事情から新たに規定を設ける必要があるもの

- 1) 摩擦面の防錆処理

以上の問題に対し、過去の実験例についても調査したが、それらの数は少なく、またあっても特定の工事に付随したもので、一般の継手に対しては十分な資料とはなり得ないものであった。そこで、上記すべての事項について集中的に試験を行うこととし、すでに(1)および(2)について終了した。

試験の結果を総体的にみると、摩擦接合継手といえども、接合された部材が全く一体になって働くということではなく、リベット継手ほどではないにしろややそれに類似した挙動を示すことが明らかになった。ただし、今回の試験では、過去における試験手法を参考にし、精度の向上を図った結果、諸現象をかなり定量的に把握することに成功している。具体的な成果を要約するとおおよ次の通りである。

(1) 引張荷重を受ける継手部材の設計を、ボルト孔による欠損を考慮した断面、いわゆる純断面に対して行うことについては、それ程不合理ではないことが明らかになった。しかし、純断面応力が許容応力度をわずかに超える程度であれば、ボルト本数を追加することにより、摩擦係数の低下分を補償し得ること、およびその場合の設計式を示した。

(2) 大形供試体による載荷試験の結果、荷重方向のボルト本数が10本の場合を境に、すべりから破断に至る性状が変化することを確認し、55年に改訂され、その根拠が不明確とされていた最大8本(旧示方書では6本)という規定が、妥当なものであることを証明した。

(3) 横構や対傾構の継手のように、摩擦面内外方向の偏心曲げを受ける場合において、(1)面外偏心は継手のすべり耐荷力を高める働きをすること、(2)面内偏心はすべり耐荷力をやや低下させる傾向があるが、実際に生じ得る偏心量に対しては、その程度はわずかであること、などについて確認した。

## 2. 継手部材の有効断面積に関する検討

### 2.1 概 要

道路橋示方書Ⅱ鋼橋編 4.3.6.連結板の設計では、「(1)引張力が作用する板の連結板は、4.3.7.に規定する純断面に生じる応力度が許容引張応力度以下となるように設計しなければならない。」とし、さらに4.3.7純断面積の計算において、「(1)引張材の純断面積は材片の純幅と板厚との積とする。この場合、材片の純幅はその総幅からボルト孔により失われる幅を除いたものとする。」と規定している。これは、引張力を受けた部材が板厚方向に「やせ」を生じ、それに伴ってボルト軸力が減少することによる見かけ上の摩擦係数の低下を避けることを意図したものである。この規程により、引張部材の添接部では、ボルト孔による純断面積の欠損分をカバーするため、その部分の板厚や板幅を増やす等の処置が必要となる場合が生じており、製作上の工数増加の原因となるとともに、完成後の美観に対しても難点となることがある。

また、この規定はリベット継手における連結板の設計法を、そのままの形で踏襲していることからリベット接合と接合原理の違う摩擦接合継手には不合理であり、何らかの緩和規定が必要ではないかとの意見も聞かれる。

従来の研究<sup>(1)</sup>によれば、すべり時における純断面応力が鋼材の降伏点を超えると、部材のやせに起因する摩擦係数の減少が顕著になるということは確認されているが、それがどの程度であるかという定量的な把握をするには至っていない。

そこで本試験では、部材のやせによる摩擦係数の減少を定量的に把握することができれば、継手の条件によってはボルト本数を割増しすることにより継手部材断面のボルト孔控除を省略できるものと考え、その可能性を確認するために、一般に使用されている4鋼種について、継手のすべり耐荷力試験を実施した。供試体の総数は72体である。

定量的に摩擦係数の減少について把握するためには、実験結果のばらつきや、対象としている要因以外の影響を極力抑えることが必要である。本試験では、過去に行われた同種の試験<sup>(1)~(4)</sup>を参考とし、供試体の設計、製作および載荷を通じ、以下に述べる点に留意して行った。

- (1) 同一条件の供試体を少なくとも3体以上試験し、偶然による特異な結果を排除する。
- (2) 機械的性質が同一な鋼材を使用する。
- (3) 荷重直角方向のボルト本数を2本以上とし、実際の継手における応力状態に近づけるとともに、ボルトの締付けを確実にする。
- (4) 接合面の状態を均一にする。
- (5) ボルトの締付け軸力のばらつきを小さくする。

## 2.2 供 試 体

### 2.2.1 供試体の設計

現在、一般の橋梁に使用されている S S 41, S M 50, S M 50 Y, S M 58 の 4 種の鋼材により、それぞれ 8 体、計 72 体の供試体を製作した。各鋼種とも、片側ボルト軸力の総和を変化させて 6 種の条件を設定し、同条件のものを 3 体ずつとした。

供試体の形状・寸法を図 2-1~4 に、諸条件を表 2-1~4 に示す。

表 2-1 供試体の設計条件 ( S S 41 )

|       | 片側ボルト本数<br>$n$ (本) | ボルト軸力<br>$N$ (ton) | $\Sigma N$<br>(ton) | $\alpha = \frac{2 \cdot \Sigma N \cdot \mu}{\sigma_y \cdot A_n}$ | $A_n$<br>(cm <sup>2</sup> ) | $A_g/A_n$ |
|-------|--------------------|--------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------|
| A-1~3 | 4                  | 18.0               | 72.0                | 0.84                                                             | 28.0                        | 1.50      |
| A-4~6 |                    | 22.0               | 88.0                | 1.03                                                             |                             |           |
| A-7~9 |                    | 27.0               | 108.0               | 1.26                                                             |                             |           |
| B-1~3 | 6                  | 18.0               | 108.0               | 1.26                                                             |                             |           |
| B-4~6 |                    | 22.0               | 132.0               | 1.54                                                             |                             |           |
| B-7~9 |                    | 27.0               | 162.0               | 1.89                                                             |                             |           |

表 2-2 供試体の設計条件 ( S M 50 )

|       | 片側ボルト本数<br>$n$ (本) | ボルト軸力<br>$N$ (ton) | $\Sigma N$<br>(ton) | $\alpha = \frac{2 \cdot \Sigma N \cdot \mu}{\sigma_y \cdot A_n}$ | $A_n$<br>(cm <sup>2</sup> ) | $A_g/A_n$ |
|-------|--------------------|--------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------|
| E-1~3 | 4                  | 17.1               | 68.6                | 0.82                                                             | 19.0                        | 1.50      |
| E-4~6 |                    | 21.4               | 85.5                | 1.02                                                             |                             |           |
| F-1~3 | 6                  | 17.1               | 102.6               | 1.23                                                             |                             |           |
| F-4~6 |                    | 19.95              | 119.7               | 1.43                                                             |                             |           |
| G-1~3 | 8                  | 18.2               | 145.4               | 1.74                                                             |                             |           |
| G-4~6 |                    | 21.4               | 171.0               | 2.05                                                             |                             |           |

表 2-3 供試体の設計条件 ( S M 50 Y )

|       | 片側ボルト本数<br>$n$ (本) | ボルト軸力<br>$N$ (ton) | $\Sigma N$<br>(ton) | $\alpha = \frac{2 \cdot \Sigma N \cdot \mu}{\sigma_y \cdot A_n}$ | $A_n$<br>(cm <sup>2</sup> ) | $A_g/A_n$ |
|-------|--------------------|--------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------|
| H-1~3 | 4                  | 16.4               | 65.6                | 0.83                                                             | 16.0                        | 1.50      |
| H-4~6 |                    | 20.5               | 82.0                | 1.04                                                             |                             |           |
| I-1~3 | 6                  | 16.4               | 98.4                | 1.25                                                             |                             |           |
| I-4~6 |                    | 19.1               | 114.6               | 1.45                                                             |                             |           |
| J-1~3 | 8                  | 16.4               | 131.2               | 1.66                                                             |                             |           |
| J-4~6 |                    | 18.45              | 147.6               | 1.87                                                             |                             |           |

表 2-4 供試体の設計条件 (SM 58)

|       | 片側ボルト本数<br>$n$ (本) | ボルト軸力<br>$N$ (ton) | $\Sigma N$<br>(ton) | $\alpha = \frac{2 \cdot N \Sigma \cdot \mu}{\sigma_y A_n}$ | $A_n$<br>(cm <sup>2</sup> ) | $A_g/A_n$ |
|-------|--------------------|--------------------|---------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------|
| C-1~3 | 4                  | 19.7               | 78.8                | 0.63                                                       | 16.0                        | 1.50      |
| C-4~6 |                    | 24.1               | 96.4                | 0.77                                                       |                             |           |
| C-7~9 |                    | 29.5               | 118.0               | 0.95                                                       |                             |           |
| D-1~3 | 6                  | 19.7               | 118.0               | 0.95                                                       |                             |           |
| D-4~6 |                    | 24.1               | 144.6               | 1.16                                                       |                             |           |
| D-7~9 |                    | 29.5               | 177.0               | 1.42                                                       |                             |           |

荷重直角方向のボルト本数は、部材の応力状態を実継手の状態に近づけ、部材の組立てをより確実に行うため、一列を避け 2 列とした。供試体の全幅およびボルト間隔は一定とし、ボルト孔の大きさは、設計上の仮定と合わせるため  $\phi 25$  mm とした。したがって、すべての供試体において、部材の総断面積  $A_g$  と純断積の比は 1.50 となる。

片側ボルト軸力の総和  $\Sigma N$  を変えるためにボルト本数を変えると、供試体の断面や平面形状が大幅に変わってしまい、それによる影響が無視できなくなるため、荷重方向ボルト本数を 2~4 本と小さく抑え、個々のボルト軸力を調整することと併用することにした。文献(1)によれば、この程度の変化による影響はほとんど無視し得るものである。

純断面応力を表現するパラメータとして  $\alpha$  という無次元量を導入した。 $\alpha$  は、設計上基準としている継手のすべり耐荷力  $P_s$  と純断面応力が降伏点に達する荷重  $P_y$  の比を表わす。 $P_s$ 、 $P_y$  および  $\alpha$  は次のように定義される。

$$P_s = n \cdot \mu \cdot \Sigma N \quad (2-1)$$

$n$  : 継手片側の摩擦面の数 (供試体では 2)

$\mu$  : 摩擦係数 (道路橋示方書では 0.4 を基準としている)

$\Sigma N$  : 片側ボルト軸力の総和 (kg)

$$P_y = \sigma_y \cdot A_n \quad (2-2)$$

$\sigma_y$  : 鋼材の降伏強さ (kg/cm<sup>2</sup>)

$A_n$  : 部材の純断面積 (cm<sup>2</sup>)

$$\alpha = \frac{P_s}{P_y} = \frac{n \cdot \mu \cdot \Sigma N}{\sigma_y \cdot A_n} = \frac{0.8 \Sigma N}{\sigma_y \cdot A_n} \quad (2-3)$$

道路橋示方書では、摩擦接合継手のすべり耐力について上記の  $P_s$  に対し 1.7 の安全率を考慮して許容値を定めているが、これは鋼材の許容引張応力度と降伏強さの比 (1.68~1.77) とほぼ等しい。したがって、 $\alpha$  を (2-4) 式のように、継手の許容すべり力  $P_{sa}$  と部材の許容引張荷重  $P_{ya}$  と置き換えることも可能である。

$$\alpha \div \frac{P_{sa}}{P_{ya}} \quad (2-4)$$

$$P_{sa} = n \cdot m \cdot \rho_a \quad (2-5)$$

$m$  : 片側ボルト本数

$\rho a$ : ボルト 1 本 1 摩擦面当りの許容力 (kg)

$$P_{ya} = \sigma_{ta} \cdot A_n \quad (2-6)$$

$\sigma_{ta}$ : 鋼材の許容引張応力度 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

示方書に従って設計する場合、 $P_{sa}$  と  $P_{ya}$  の 2 通りの制限があることから  $\alpha = 1$  とするのが最も合理的であることになるが、本試験では示方書規定緩和の可能性を検討することを目的としているため、 $\alpha \geq 1$  の範囲を中心に供試体を設計した。

すべての供試体において、2つの接合面で荷重方向のボルト間隔(ピッチ)をそれぞれ 66, 110mm と変え、その影響を調べることにした。

なお、使用した高力ボルトはすべて F10T, M22 である。

### 2.2.2 使用鋼材

各供試体の条件を均一にするため、同一シリーズの供試体については同一ロットにて製造された鋼材を使用し、機械的性質の均一化を図った。鋼材の降伏強さは、JIS による保証値の下限のものを使用するのが理想であり、そうなるように鋼材を発注したが、結果としては表 2-5 に示すように、かなり高めの値となっている。

表 2-5 素材の引張試験結果

| 鋼 種   | 板 厚<br>mm | 降 伏 強 さ<br>( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) | 引 張 強 さ<br>( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) |
|-------|-----------|----------------------------------------|----------------------------------------|
| SS41  | 28        | 2450                                   | 4300                                   |
|       | 16        | 2700                                   | 4660                                   |
| SM50  | 19        | 3520                                   | 5230                                   |
|       | 10        | 3530                                   | 5240                                   |
| SM50Y | 16        | 3940                                   | 5480                                   |
|       | 9         | 3830                                   | 5300                                   |
| SM58  | 16        | 6230                                   | 6600                                   |
|       | 9         | 5750                                   | 6480                                   |

### 2.2.3 高力ボルトの締付け

導入するボルト軸力の精度は、試験結果に大きな影響をおよぼす。そこで本試験では以下に述べる 2 通りの方法によりボルトの軸力管理を行い、導入軸力の精度の向上を図った。なお、(1)の方法は先行して行った SS41(A, B) および SM58(C, D) の供試体に、(2)の方法は SM50(E, F, G) および SM50Y(H, I, J) の供試体のボルト締付けに採用した。

(1) 図 2-5 に示すように、ボルト軸部に 2 枚のひずみゲージを貼付け、ボルト軸部の応力を直接計測しようとするものである。この方法は、軸応力を直接計測できるという利点があり、これまでよく使われてきた方法である。しかし、ボルト頭部にリード線引出し用の孔明けが必要であり、供試体へのボルトの挿入も慎重を要すること、また、ボルト頭部と座金との当たり具合やボルト軸部に作用するねじり力による誤差も考えられることなどの問題があるため、後半の実験では(2)の方法に変更した。

(2) ボルトに軸力が導入されると、ボルト頭部は軸に引張られて凹形に変形する。この変形により生じるボルト頭部の応力を計測し、軸力に換算しようとするのが第2の方法である。この方法は、実橋における継手のボルト軸力の計測法として最近用いられる機会が増えている。

ひずみゲージは、グラインダーにより商標を削り去った頭部の中央に貼付ける(図2-6)ので、作業は簡単である。また、2枚のゲージを直角に貼付けその平均値を使用することにより、座金の当り具合による誤差を消去することができる。今回は2軸ゲージを使用し、直列に配線することにより平均値を直読する方法によった。

ボルトの本締めめに先立ち、締付け精度を確認するため6本の供試ボルトによる確認試験を行った。図2-7に、油圧式軸力計にボルトを締付けた際の軸力計の読みとひずみ値との関係を示すが、かなり良い相関と直線性を有していることがわかる。計測値のばらつきは±5%程度に収まっており、この直線を校正曲線として用いることも可能と思われたが、本試験ではさらに正確を期すため、一本一本のボルトについて目標軸力に対するキャリブレーションを行い(写真2-1)、部材に締付けることにした(写真2-2)。

#### 2.2.4 接合面の処理

過去に行われたこの種の試験結果をみると、接合面の摩擦係数のばらつきが結果のばらつきの主原因となっている例が多い。本試験においても、前半(A~D供試体)の試験で、摩擦係数に起因すると思われるばらつきを生じている。

前半の試験では、接合面の状態を現実の橋梁と合わせるため、約1ヶ月間実験室内に接合面が空気に触れるように部材を放置し、発生した錆をワイヤブラシで落としてから供試体を組立てる方法とした。この場合、錆の状態がすべて一定というわけにはいかず、結果をばらつかせる原因となったものと予想される。

そこで後半の試験においては、工場で接合面のブラスト処理をした後、速かに部材を組立て、仮ボルトで固定し、試験時まで接合面が空気に触れないように配慮した。

### 2.3 載荷試験

#### 2.3.1 載荷装置

試験には、200/250トン万能疲労試験機を使用した。試験の状況を写真2-3に示す。

載荷は、荷重と上下チャック間の伸びを監視しながら、破断荷重(最大荷重)を確認するまで段階的に荷重を増加し、適宜ひずみ等のデータを採取するとともにすべりが生じた時点の荷重を読み取り記録した。途中段階での除荷はしていない。

#### 2.3.2 測定項目

すべり荷重の確認は、写真2-4~7に示すように、供試体側面のマーキングのずれを目視により観察することによった。ほとんどのすべり現象は、音を伴っていたため明確であった。2つの接合面が別々にすべった場合には、最初にすべった方の荷重を記録し、どちらが先にすべったかについても記録した。

継手の降伏荷重は不明確で測定できなかったが、破断荷重については記録した。

以上の他に、連結板にひずみゲージを貼り、各荷重段階における継手のひずみ分布を計測するとともに、締付け時に使用したひずみゲージを利用して、ボルト軸力の変化も計測した。

## 2.4 試験結果と考察

### 2.4.1 すべり耐力

すべての供試体において、音を伴う明確なすべり現象が観察された。

継手のすべりは、 $P = 66 \text{ mm}$ および $110 \text{ mm}$ とした2つの接合面に同時に生じる場合と、片側が先にすべる場合とがあった。継手全体としての降伏点は明確でないが、破断荷重（最大荷重）については一部を除いて記録することができた。結果を各鋼種ごとに表2-6～9にまとめて示す。

すべり荷重のばらつきは、先に行ったSS41およびSM58の場合で平均2.53%（標準偏差÷平均値×100）であったのに対し、試験方法に改良を加えたSM50およびSM50Yの場合には、平均1.38%と約半分とすることができた。

ボルトのピッチの影響に、 $P = 66 \text{ mm}$ 側が先にすべったものが27体、 $110 \text{ mm}$ 側が先にすべったものが13体、両方同時にすべったものが32体と、ピッチが小さい方が先にすべるケースがやや多かったが、明確な傾向とは言えない程のものである。したがって、通常の継手において、すべり耐力に対しボルトピッチの影響は無視して差しつかえないものと考えられる。

計測された摩擦係数 $\mu$ は、 $\alpha \leq 1$ の範囲の供試体において $\mu = 0.435 \sim 0.529$ 、平均0.477と0.4をかなり上まわっている。

表2-6 試験結果（SS41）

| 記 号  | すべり荷重<br>$P_s$ (ton) | す べ り 面           |        |     | 破断荷重<br>$P_B$ (ton) | 摩擦係数<br>$\mu$ | $\Sigma N$<br>(ton) | $\alpha$ |
|------|----------------------|-------------------|--------|-----|---------------------|---------------|---------------------|----------|
|      |                      | $P=66\text{mm}$ 側 | 110mm側 | 両 側 |                     |               |                     |          |
| A-1  | 71.85                |                   |        | ○   | —                   | 0.499         | 72.0                | 0.84     |
| 2    | 67.85                | ○                 |        |     | 140.45              | 0.471         |                     |          |
| 3    | 68.60                | ○                 |        |     | 143.00              | 0.476         |                     |          |
| Ave. | 69.43                |                   |        |     | 141.73              | 0.482         |                     |          |
| A-4  | 88.35                |                   |        | ○   | —                   | 0.474         | 88.0                | 1.03     |
| 5    | 78.85                | ○                 |        |     | —                   | 0.448         |                     |          |
| 6    | 79.45                | ○                 |        |     | —                   | 0.451         |                     |          |
| Ave. | 80.55                |                   |        |     | —                   | 0.458         |                     |          |
| A-7  | 88.30                |                   |        | ○   | 141.15              | 0.409         | 108.0               | 1.26     |
| 8    | 86.75                |                   |        | ○   | 143.15              | 0.402         |                     |          |
| 9    | 84.00                | ○                 |        |     | 141.75              | 0.389         |                     |          |
| Ave. | 86.35                |                   |        |     | 142.02              | 0.400         |                     |          |
| B-1  | 94.85                |                   |        | ○   | 143.35              | 0.439         | 108.0               | 1.26     |
| 2    | 92.20                |                   |        | ○   | 144.00              | 0.427         |                     |          |
| 3    | 91.40                | ○                 |        |     | 144.20              | 0.423         |                     |          |
| Ave. | 92.82                |                   |        |     | 143.85              | 0.430         |                     |          |
| B-4  | 102.65               |                   |        | ○   | —                   | 0.389         | 132.0               | 1.54     |
| 5    | 97.75                |                   | ○      |     | —                   | 0.370         |                     |          |
| 6    | 101.75               | ○                 |        |     | —                   | 0.385         |                     |          |
| Ave. | 100.72               |                   |        |     | —                   | 0.381         |                     |          |
| B-7  | 106.35               |                   |        | ○   | 143.10              | 0.328         | 162.0               | 1.89     |
| 8    | 104.55               |                   | ○      |     | 143.30              | 0.323         |                     |          |
| 9    | 101.75               |                   | ○      |     | 143.25              | 0.314         |                     |          |
| Ave. | 104.22               |                   |        |     | 143.22              | 0.322         |                     |          |

表2-7 試験結果 (SM50)

| 記 号  | すべり荷重<br>$P_s$ (ton) | す べ り 面 |        |     | 破断荷重<br>$P_B$ (ton) | 摩擦係数<br>$\mu$ | $\Sigma N$<br>(ton) | $\alpha$ |
|------|----------------------|---------|--------|-----|---------------------|---------------|---------------------|----------|
|      |                      | P=66mm側 | 110mm側 | 両 側 |                     |               |                     |          |
| E-1  | 82.75                |         |        | ○   | 115.30              | 0.484         | (85.5)              | 0.82     |
| 2    | 83.20                |         |        | ○   | 112.80              | 0.487         |                     |          |
| 3    | 80.50                |         |        | ○   | 113.10              | 0.471         |                     |          |
| Ave. | 82.15                |         |        |     | 114.77              | 0.481         |                     |          |
| E-4  | 84.00                |         |        | ○   | 113.75              | 0.491         | 85.5                | 1.02     |
| 5    | 83.85                |         |        | ○   | 113.30              | 0.490         |                     |          |
| 6    | 84.15                | ○       |        |     | 112.10              | 0.492         |                     |          |
| Ave. | 84.00                |         |        |     | 113.05              | 0.491         |                     |          |
| F-1  | 91.70                | ○       |        |     | 116.05              | 0.447         | 102.6               | 1.23     |
| 2    | 93.30                |         | ○      |     | 115.05              | 0.455         |                     |          |
| 3    | 90.80                |         | ○      |     | 114.15              | 0.442         |                     |          |
| Ave. | 91.93                |         |        |     | 115.08              | 0.448         |                     |          |
| F-4  | 93.70                |         | ○      |     | 115.90              | 0.391         | 119.7               | 1.43     |
| 5    | 93.10                | ○       |        |     | 114.35              | 0.389         |                     |          |
| 6    | 92.25                |         | ○      |     | 115.70              | 0.385         |                     |          |
| Ave. | 93.02                |         |        |     | 115.32              | 0.388         |                     |          |
| G-1  | 97.60                |         | ○      |     | 116.00              | 0.336         | 145.4               | 1.74     |
| 2    | 95.00                | ○       |        |     | 116.10              | 0.327         |                     |          |
| 3    | 100.05               |         |        | ○   | 115.15              | 0.344         |                     |          |
| Ave. | 97.55                |         |        |     | 115.75              | 0.336         |                     |          |
| G-4  | 102.35               | ○       |        |     | 116.45              | 0.299         | 171.0               | 2.05     |
| 5    | 103.10               | ○       |        |     | 115.85              | 0.339         |                     |          |
| 6    | 102.70               | ○       |        |     | 115.00              | 0.336         |                     |          |
| Ave. | 102.72               |         |        |     | 115.77              | 0.325         |                     |          |

表2-8 試験結果 (SM50Y)

| 記 号  | すべり荷重<br>$P_s$ (ton) | す べ り 面 |        |     | 破断荷重<br>$P_B$ (ton) | 摩擦係数<br>$\mu$ | $\Sigma N$<br>(ton) | $\alpha$ |
|------|----------------------|---------|--------|-----|---------------------|---------------|---------------------|----------|
|      |                      | =66mm側  | 110mm側 | 両 側 |                     |               |                     |          |
| H-1  | 60.00                | ○       |        |     | 100.80              | 0.457         | 65.6                | 0.83     |
| 2    | 65.25                | ○       |        |     | 101.15              | 0.497         |                     |          |
| 3    | 65.40                | ○       |        |     | 101.65              | 0.498         |                     |          |
| Ave. | 63.55                |         |        |     | 101.20              | 0.484         |                     |          |
| H-4  | 71.30                | ○       |        |     | 101.35              | 0.435         | 82.0                | 1.04     |
| 5    | 72.40                | ○       |        |     | 100.95              | 0.441         |                     |          |
| 6    | 72.50                |         | ○      |     | 101.15              | 0.442         |                     |          |
| Ave. | 72.07                |         |        |     | 101.15              | 0.439         |                     |          |
| I-1  | 76.70                | ○       |        |     | 102.35              | 0.390         | 98.4                | 1.25     |
| 2    | 80.30                |         | ○      |     | 103.50              | 0.408         |                     |          |
| 3    | 80.55                | ○       |        |     | 103.15              | 0.409         |                     |          |
| Ave. | 79.18                |         |        |     | 103.00              | 0.402         |                     |          |
| I-4  | 83.20                |         | ○      |     | 102.10              | 0.363         | 114.6               | 1.45     |
| 5    | 82.50                | ○       |        |     | 102.75              | 0.360         |                     |          |
| 6    | 84.20                | ○       |        |     | 102.10              | 0.367         |                     |          |
| Ave. | 83.30                |         |        |     | 102.31              | 0.363         |                     |          |
| J-1  | 88.55                | ○       |        |     | 102.20              | 0.337         | 131.2               | 1.66     |
| 2    | 91.00                | ○       |        |     | 102.60              | 0.347         |                     |          |
| 3    | 87.55                |         |        | ○   | 103.10              | 0.334         |                     |          |
| Ave. | 89.03                |         |        |     | 102.63              | 0.339         |                     |          |
| J-4  | 91.25                |         | ○      |     | 103.00              | 0.309         | 147.6               | 1.87     |
| 5    | 92.20                |         |        | ○   | 102.40              | 0.312         |                     |          |
| 6    | 94.60                |         |        | ○   | 102.70              | 0.320         |                     |          |
| Ave. | 92.68                |         |        |     | 102.70              | 0.314         |                     |          |

表2-9 試験結果 (SM58)

| 記 号  | すべり荷重<br>$P_s$ (ton) | す べ り 面 |        |     | 破断荷重<br>$P_B$ (ton) | 摩擦係数<br>$\mu$ | $\Sigma N$<br>(ton) | $\alpha$ |
|------|----------------------|---------|--------|-----|---------------------|---------------|---------------------|----------|
|      |                      | P=66mm側 | 110mm側 | 両 側 |                     |               |                     |          |
| C-1  | 80.40                |         |        | ○   | 122.40              | 0.510         | 78.8                | 0.63     |
| 2    | 77.40                |         |        | ○   | 120.70              | 0.491         |                     |          |
| 3    | 79.05                |         |        | ○   | 123.05              | 0.502         |                     |          |
| Ave. | 78.95                |         |        |     | 122.05              | 0.501         |                     |          |
| C-4  | 101.95               |         |        | ○   | 125.20              | 0.529         | 96.4                | 0.77     |
| 5    | 88.10                |         |        | ○   | 123.50              | 0.457         |                     |          |
| 6    | 99.45                |         |        | ○   | 123.45              | 0.516         |                     |          |
| Ave. | 96.50                |         |        |     | 124.05              | 0.501         |                     |          |
| C-7  | 114.50               |         |        | ○   | 122.05              | 0.485         | 118.0               | 0.95     |
| 8    | 103.45               | ○       |        |     | 124.10              | 0.438         |                     |          |
| 9    | 108.15               | ○       |        |     | 124.35              | 0.459         |                     |          |
| Ave. | 108.70               |         |        |     | 123.50              | 0.461         |                     |          |
| D-1  | 110.60               |         | ○      |     | 124.75              | 0.469         | 118.0               | 0.95     |
| 2    | 115.45               |         |        | ○   | 122.50              | 0.489         |                     |          |
| 3    | 111.00               |         |        | ○   | 122.45              | 0.470         |                     |          |
| Ave. | 112.35               |         |        |     | 123.23              | 0.476         |                     |          |
| D-4  | 124.35               |         |        | ○   | 124.35              | 0.430         | 144.6               | 1.16     |
| 5    | 120.00               |         |        | ○   | 124.45              | 0.415         |                     |          |
| 6    | 118.60               |         |        | ○   | 124.30              | 0.410         |                     |          |
| Ave. | 120.98               |         |        |     | 124.37              | 0.418         |                     |          |
| D-7  | 127.55               |         |        | ○   | 127.55              | 0.360         | 177.0               | 1.42     |
| 8    | 128.85               |         |        | ○   | 128.85              | 0.364         |                     |          |
| 9    | 123.70               |         |        | ○   | 125.45              | 0.349         |                     |          |
| Ave. | 126.70               |         |        |     | 127.28              | 0.358         |                     |          |

本試験の主目的である、純断面応力が降伏点を超える場合の継手のすべり耐力を、鋼種ごとに図2-8~11に示す。図中、縦軸は継手のすべり荷重(2つの接合面が別々にすべった場合は先にすべった方の荷重)および破断荷重を、横軸は片側ボルト軸力の総和を表わすと同時に $\alpha$ の値を示した。

図中に示した直線のうち、ABはボルト孔を控除した純断面積 $A_n$ と鋼材の降伏強さ $\sigma_f$ の積を、OAは摩擦係数 $\mu$ を0.4と仮定した場合の予想すべり荷重を示す。

測定されたすべり荷重は、 $\alpha \leq 1$ の範囲ですべてOAの上側に位置し、 $\mu$ が0.4以上であることを意味している。また、図2-11では、 $\alpha \leq 1$ においてボルト軸力とすべり荷重がほぼ比例関係にあることを確認することができる。

一方、 $\alpha$ が1を超える部分についても、すべり荷重とボルト軸力の関係はほぼ直線を示しているが、その傾きは $\alpha = 1$ を境にしてかなり小さくなっている。これは部材の「やせ」により、ボルト軸力が減少したことによる見かけの摩擦係数の減少を示すものである。この直線(SS41ではやや曲線を示しているが)の傾きを計算し、直線BCにより示したが、その値は摩擦係数に換算すると0.08~0.16となる。これは $\mu = 0.4$ に対して $1/5 \sim 1/2.5$ 、 $\alpha \leq 1$ における摩擦係数の測定値に対し $1/6 \sim 1/3$ に当たる。このことは、 $\alpha$ が1を超える分の高力ボルトは、通常の $1/6 \sim 1/3$ の働きをししていないことを意味する。

しかし、視点を変えてみると、効率良し悪しはともかく、ボルトを増やすことによりすべり荷重を上昇させることができることは確認できる。したがって、ボルト一本当たりの効率が、 $1/3 \sim 1/6$ となってもさらに有利な場合が存在すれば、継手純断面応力が許容引張応力度の超過を許す設計法も

有り得るものと考えられる。これについては、次節でさらに検討する。

#### 2.4.2 継手の破断

継手の破断は、写真2-8のようにすべて継手母材の、最端部のボルト孔を含む断面で生じた。したがって、継手の破断強度は継手の純断面積に支配されるものと考えられる。

図2-8~11に破断荷重とボルト軸力の関係を示すが、同一鋼種において、破断荷重はボルト軸力に関係なく一定であることがわかる。図中、破線は継手の純断面積  $A_n$  と鋼材の降伏強さ  $\sigma_y$  の積を示すが、破断荷重はこれよりも一様に15%程度高くなっている。これは破断荷重の増加分は、ボルト軸力に影響されないことから、主とし多軸応力状態が生じていることによるものと考えられる。SM58(図2-11)ですべり荷重が明確でないものがあるものがあるが、これはすべりと破断が同時に生じたものであり、これについても荷重は他の場合とほぼ同等である。

### 2.5 純断面応力が許容引張応力度を超える継手の設計法

#### 2.5.1 適用可能範囲

“純断面応力が許容引張応力度を超える”ということについては2通りの意味がある。すなわち、第一は摩擦接合継手のすべり耐荷力の限界を、 $A_n \times \sigma_y$  から圧縮継手と同じく  $A_g \times \sigma_y$  まで引き上げようという考え方であり、第二は純断面応力がわずかに許容引張応力度を超える場合の緩和措置というやや消極的な考え方である。いずれの場合においても、部材の“やせ”による摩擦係数の減少傾向を認めた上で、ボルト本数の割増しによりこれを補償しようという点については同様である。

試験の結果、ボルト本数を増やしても継手の破断強度は上昇せず、すべて純断面から破断すること、破断荷重は  $A_n$  と  $\sigma_B$  の積に近い値となることが明らかになった。これにより、すべり荷重を純断面の破断荷重より高くすることは不可能といえることができる。また、現行の継手部材の設計は、純断面の降伏強度を基準にしているから、すべり荷重を鋼材の引張強さと降伏強さの比  $\sigma_B/\sigma_y$  倍以上高くすることはできないといえることができる。因に各種鋼材のJIS保証下限値に対する  $\sigma_B/\sigma_y$  の値は次の通りである。

| 鋼 種   | $\sigma_B/\sigma_y$ |
|-------|---------------------|
| SS41  | $41/24 = 1.71$      |
| SM50  | $50/32 = 1.56$      |
| SM50Y | $50/36 = 1.39$      |
| SM58  | $58/46 = 1.26$      |

一方、継手部材の総断面積と純断面積の比  $A_g/A_n$  は、道路橋示方書の最大および最小ボルト間隔の規定により1.09~1.625(M22)、活荷重合成プレートガーダー橋の標準設計図集によれば、その引張フランジにおいて1.25~1.435の範囲である。後者を実橋における継手の  $A_g/A_n$  を代表するものと考え、 $\sigma_B/\sigma_y$  の値と比較すると、SS41およびSM50についてはほとんどの継手ですべり耐荷力を総断面の降伏強度まで上げることが可能であるが、SM50YおよびSM58では逆にほとんどが純断面の破断により制限されることがわかる。したがって、前述の第一の考え方を適用するには、鋼種を限定する必要がある。また、第二の考え方を適用し、1~2割の許容応力度超過を対象に

するならば、純断面の破断により制限を受けることはない。

### 2.5.2 純断面応力が許容引張応力度を超える継手の設計法

試験の結果、すべり荷重が純断面の降伏荷重より大きくなると、見かけ上の摩擦係数は減少し、 $\alpha = 1$  を超える分のボルトの効率は  $1/3 \sim 1/6$  に低下することが明らかになった。ここでボルト効率の低下を  $1/6$  と仮定すると、以下に示す3式を満足することにより継手を設計することができる。すべりに対し

$$m \geq \frac{A_n \cdot \sigma_{ta}}{n \cdot \rho_a} + \frac{P_D - A_n \cdot \sigma_{ta}}{n \cdot \rho_a / 6} \quad (2-7)$$

ここに

$m$  : 必要片側ボルト本数

$A_n$  : 継手の純断面積 ( $\text{cm}^2$ )

$\sigma_{ta}$  : 鋼材の許容引張応力度 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

$n$  : 摩擦面の数

$P_D$  : 設計荷重 ( $\text{kg}$ )

$\rho_a$  : ボルト1本1摩擦面当りの許容力 ( $\text{kg}$ )

総断面の降伏に対し

$$P_D \leq A_g \cdot \sigma_{ta} \quad (2-8)$$

ここに

$A_g$  : 継手の総断面積 ( $\text{cm}^2$ )

純断面の破断に対し

$$P_D \leq A_n \cdot \sigma_{ta} \cdot \sigma_B / \sigma_Y \quad (2-9)$$

ここに

$\sigma_B / \sigma_Y$  : 鋼材の引張強さと降伏強さの JIS による最低保証値の比

(2-7) 式において、右辺第一項は  $A_n \cdot \sigma_{ta}$  までの荷重は通常の許容力を有するボルトが受け持ち、これを超える分の荷重については  $1/6$  の許容力のボルトが受け持つことを意味している。

以上の設計において、すべりに対する安全率は現示方書と同等である。

### 2.5.3 設計例

以下の2つの設計例を示す。1つは総断面による設計を目標としたものであり、もう1つは純断面応力が許容応力度をやや超過した場合に対するものである。

その1例として、図2-12に示すような、引張荷重を受ける  $25 \times 160 \text{ mm}$  の板状の部材の添接を考える。ここに鋼種は SS41、高力ボルトは F10TM22 のものを2列として使用する。

図2-12に示すような、引張荷重を受ける  $25 \times 160 \text{ mm}$  の板状の部材の添接を考える。ここに鋼種は SS41、高力ボルトは F10TM22 のものを2列として使用する。

ここでは部材総断面の強度を100%活用するような設計とする。部材の総断面積  $A_g$  は、 $A_g = 25 \times 160 = 400 \text{ cm}^2$  であるから、これに対する許容部材力  $P_{ga}$  は、 $P_{ga} = 400 \times 1400 = 560,000 \text{ kg}$

となる。部材に 56 ton の引張力が作用するとして、(2-7) により計算すると、片側ボルト本数  $m$  は、

$$m \geq \frac{27.5 \times 1,400}{2 \times 4,800} + \frac{56,000 - 27.5 \times 1,400}{2 \times 4,800 / 6} \div 14.9 \therefore 15 \sim 6 \text{ 本}$$

となって、図 2-12(b) に示すように片側 15 ～ 6 本のボルトが必要となる。純断面の破断に対しては、(2-9) 式によれば、

$$56,000 \leq 27.5 \times 1,400 \times 1.71 = 47,025$$

となり安全である。

一方、従来の設計法によれば、必要ボルト本数  $m'$  は、

$$m' \geq \frac{56,000}{2 \times 4,800} \div 5.8 \therefore 6 \text{ 本}$$

となるが、そのかわり継手部分の板厚を図 2-12(c) に示すように  $A_g/A_n$  倍しなければならない。

したがって、本設計法によれば、部材厚を割増す代りにボルト数を 2.5 ～ 2.7 倍に増やすことになるが、ボルト本数の 2.5 倍というのは実用上かなり抵抗があるものと予想される。

その 2

ここでは、その 1 で使用した部材に、純断面に対する許容力を 10% 程度超過する荷重が作用する場合について設計する。純断面に対する許容力  $P_{na}$  は、

$$P_{na} = A_n \times \sigma_{ta} = 27.5 \times 1,400 = 38,500 \text{ kg}$$

となるが、この一割増しである 42,350 kg に対して (2-7) 式を適用すると、必要片側ボルト本数は、

$$m \geq \frac{27.5 \times 1,400}{2 \times 4,800} + \frac{42,350 - 27.5 \times 1,400}{2 \times 4,800 / 6} \div 6.4 \therefore 7 \sim 8 \text{ 本}$$

となる (図 2-13)。一方、従来の設計法による必要片側ボルト本数  $m'$  は、

$$m' \geq \frac{42,350}{2 \times 4,800} \div 4.4 \therefore 5 \sim 6 \text{ 本}$$

となり、図 2-13(b) に示すように継手部の板厚を 1 割増やすことになる。この場合ボルトは 1 列増加するだけであるから、本設計法によることのメリットはかなり大きなものと考えられる。

## 2.6 ま と め

試験の結果、すべり時の純断面応力が降伏点を超える摩擦接合継手の性状について、次の点を明らかにすることができた。

- (1) 部材の純断面応力が降伏点を超えると、見かけの摩擦係数は明らかに低下するが、現規定では余分となる分のボルトについても、1 本当り通常の  $1/3 \sim 1/6$  程度のすべり耐力を期待することができる。
  - (2) 継手の破断荷重は、ボルト本数 (軸力の総和) に関係なく一定であり、ボルトの増加により破断荷重を高めることは不可能である。また、破断荷重は部材の純断面積と鋼材の引張強さの比にほぼ等しく、多軸応力により 1 割程度高い値となる。
- また、以上の結果に基づき、純断面応力が許容応力度を超えることを許す場合の設計式 (2-7 ～

9)を示し、その適用例を2つの場合について示したが、その結果は次のようなものであった。

(1) 部材の総断面積を100%有効に活用するという意味で(2-7~9)式を適用すると、従来の設計法と比較してボルト数が飛躍的に増大し、連結板も大きくなるため、現実的にはメリットは見出せない。

(2) 部材の純断面積が、わずかに許容引張応力度を超過する継手に(2-7~9)式を適用すると、ボルト列を1列増やすだけで部材厚の変更を回避することができる。

したがって、引張荷重を受ける摩擦接合継手の設計において、部材断面のボルト孔控除を全く省略し、ボルト本数の割増しにより対処する方法については實際上無理があるが、示方書条文の緩和措置の一法としての(2-7~9)式の適用は有効であると考えられる。

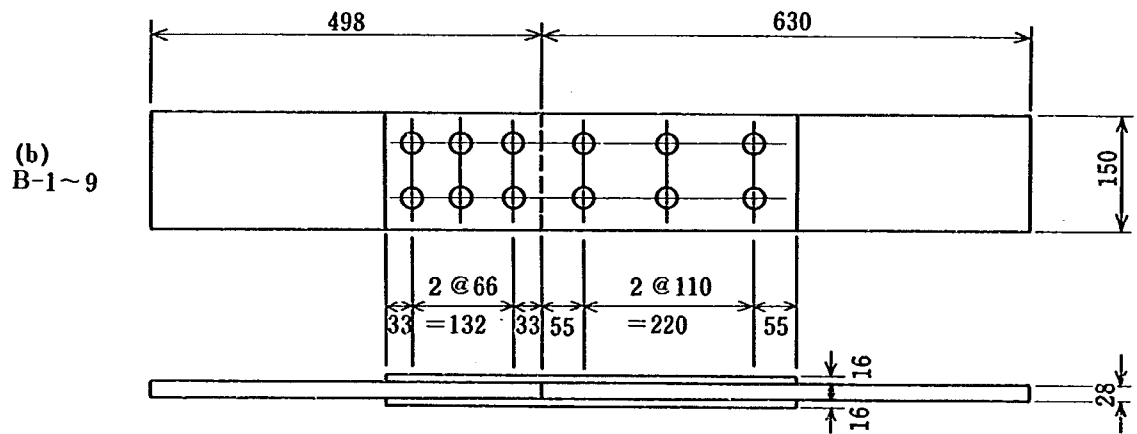
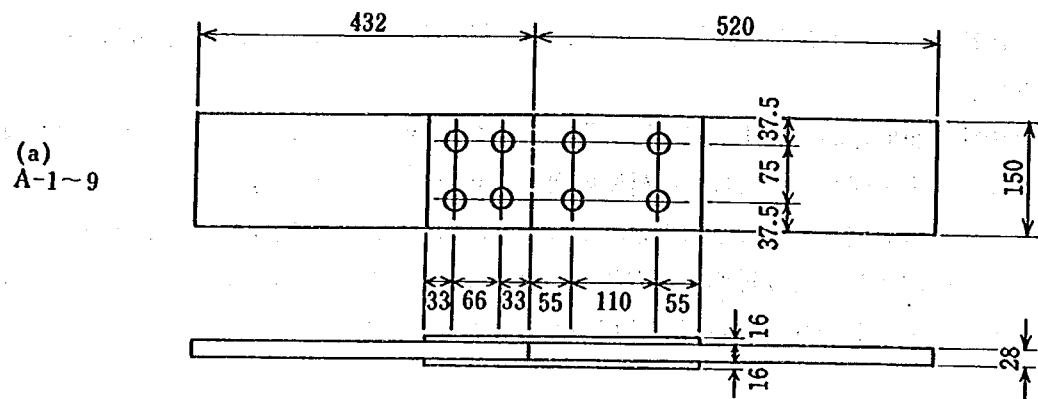
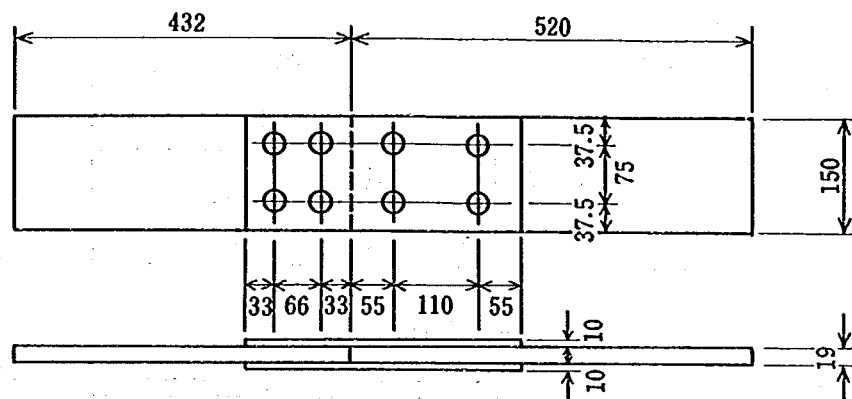
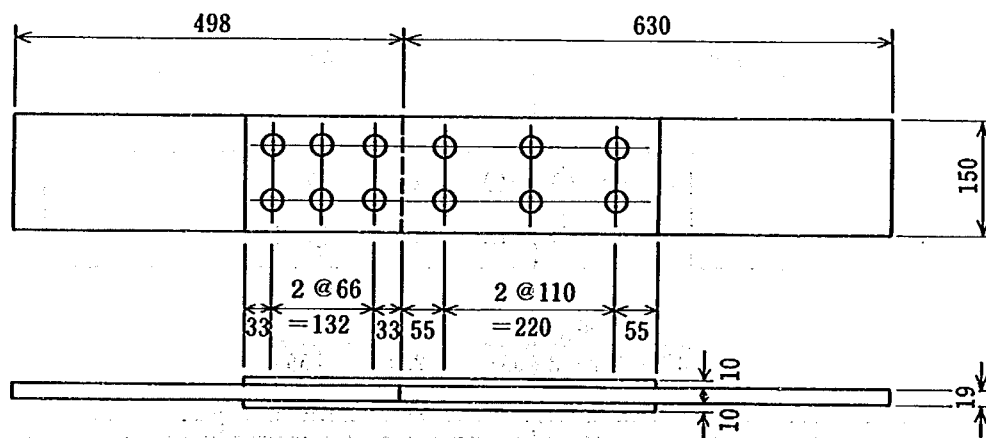


図 2 - 1 供試体形状・寸法 (SS41)

(a)  
E-1~6



(b)  
F-1~6



(c)  
G-1~6

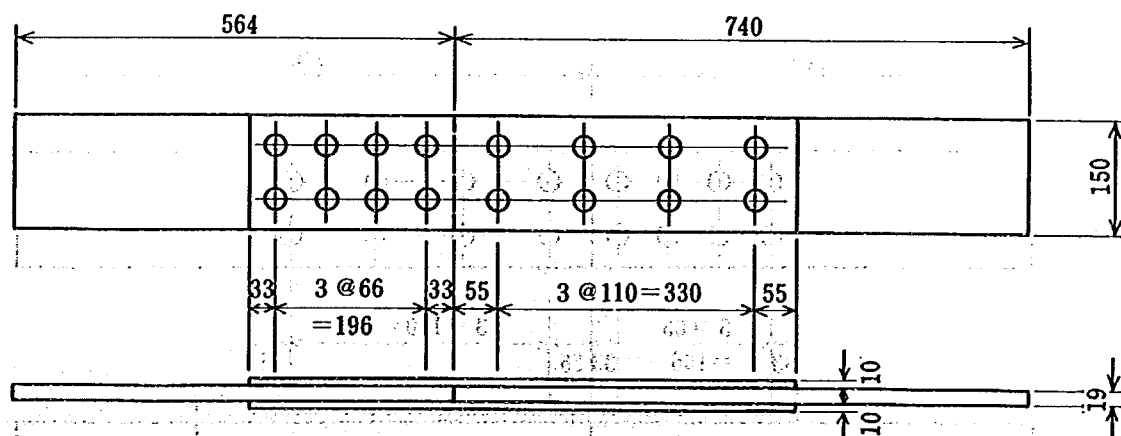
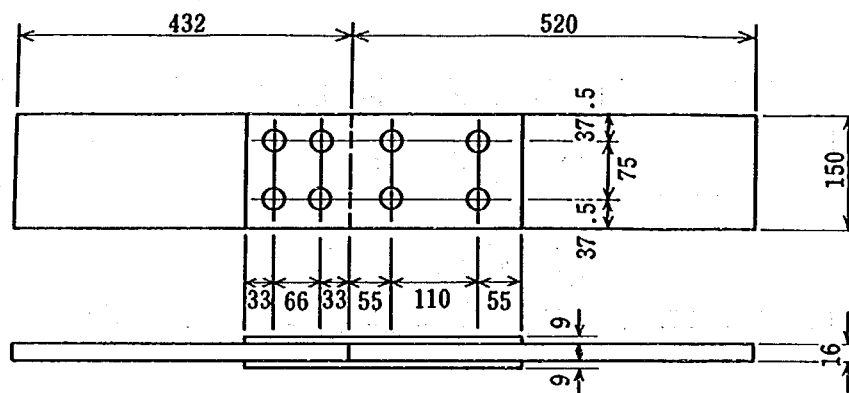


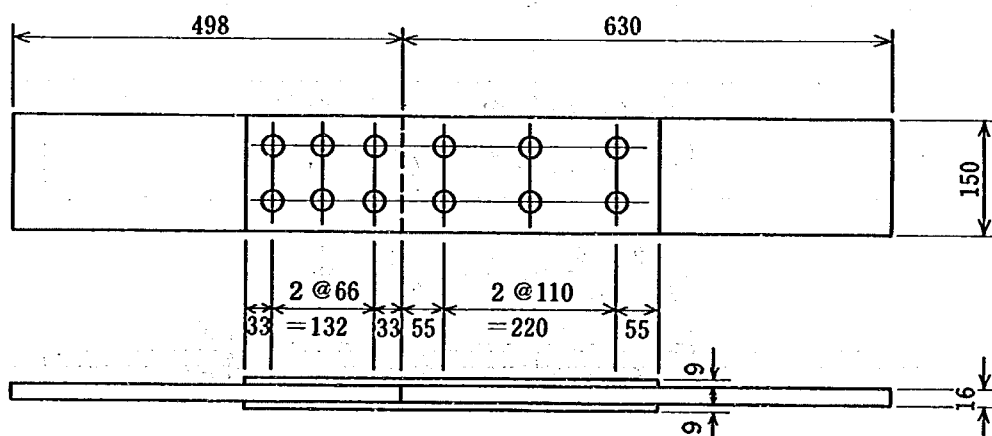
図 2-2 供試体形状・寸法 (SM50)

(700mm) 型・断面図 8-80

(a)  
H-1~6



(b)  
I-1~6



(c)  
J-1~6

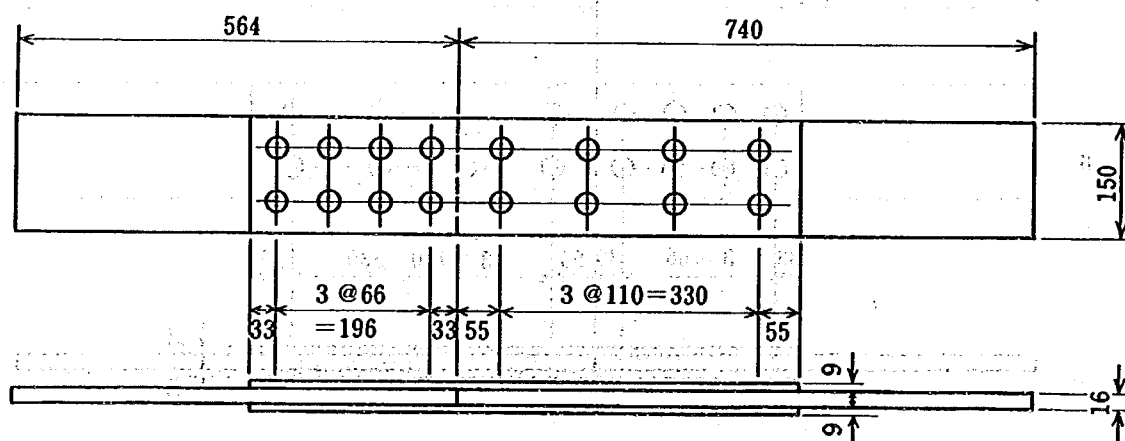


図 2-3 供試体形状・寸法 (SM50Y)

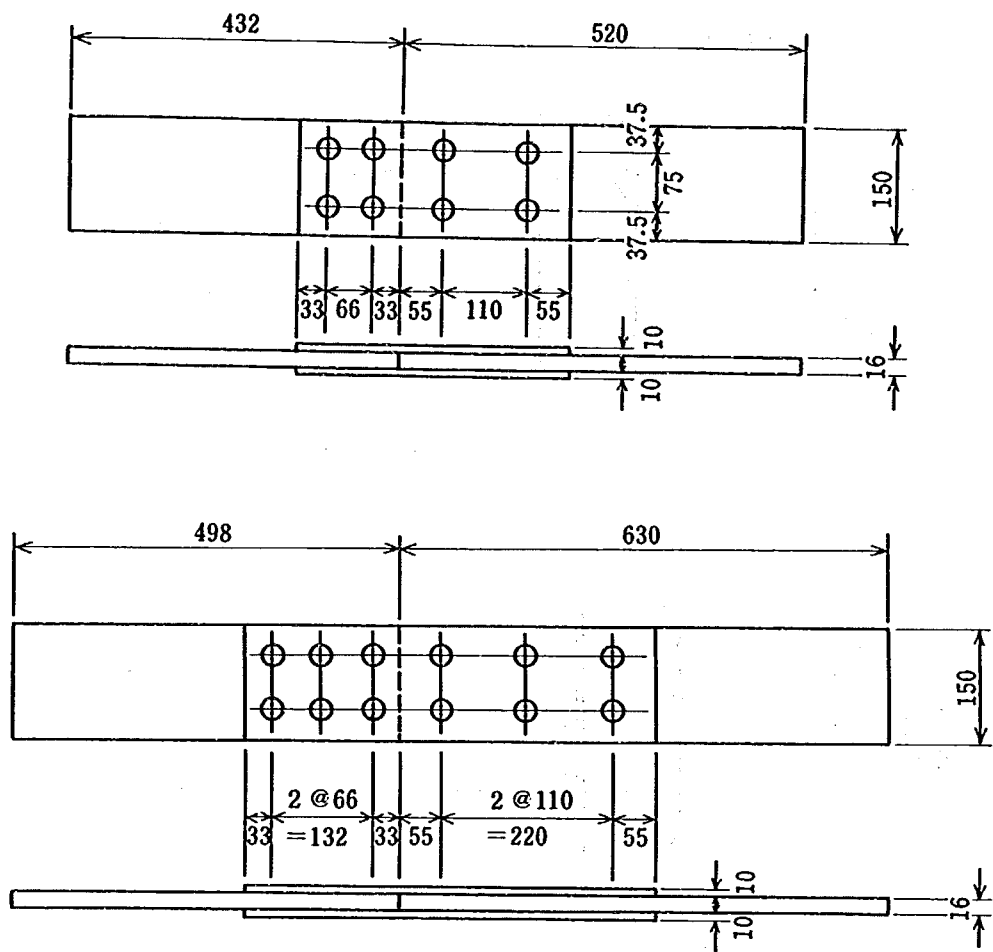


図 2 - 4 供試体形状・寸法 (SM58)

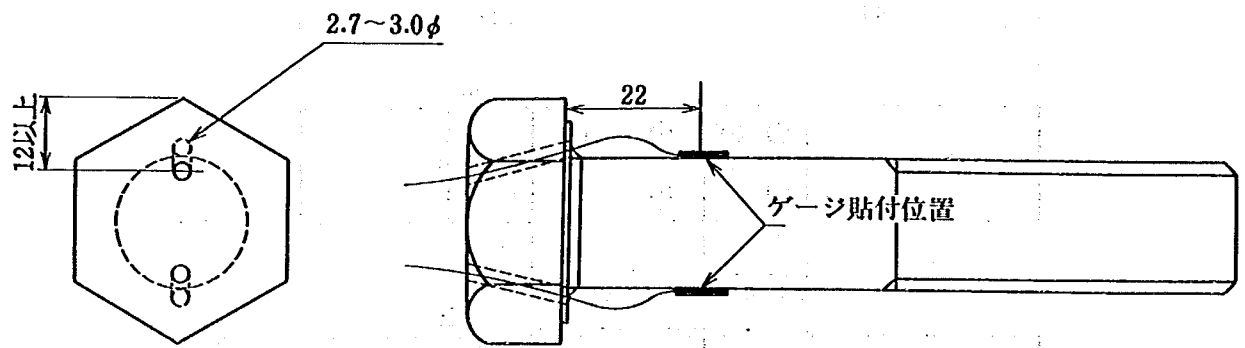


図 2 - 5 ボルト軸部のひずみ計測方法

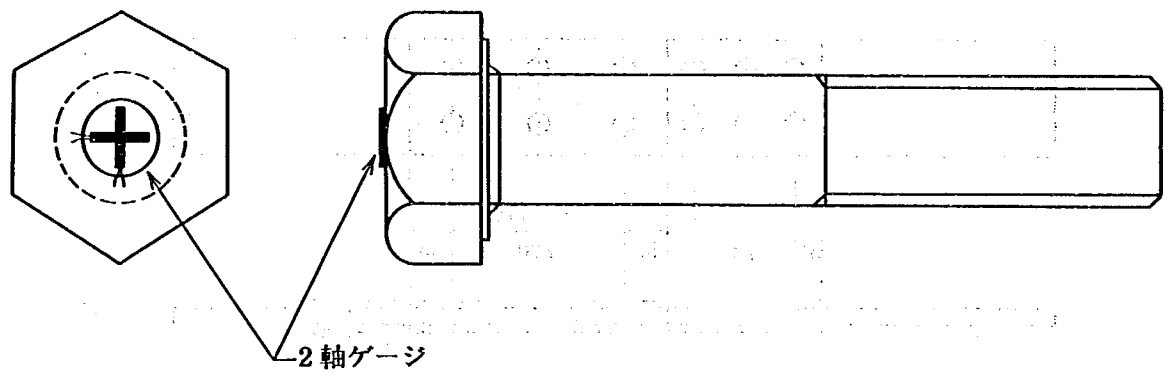


図 2 - 6 ボルト頭部のひずみ計測方法

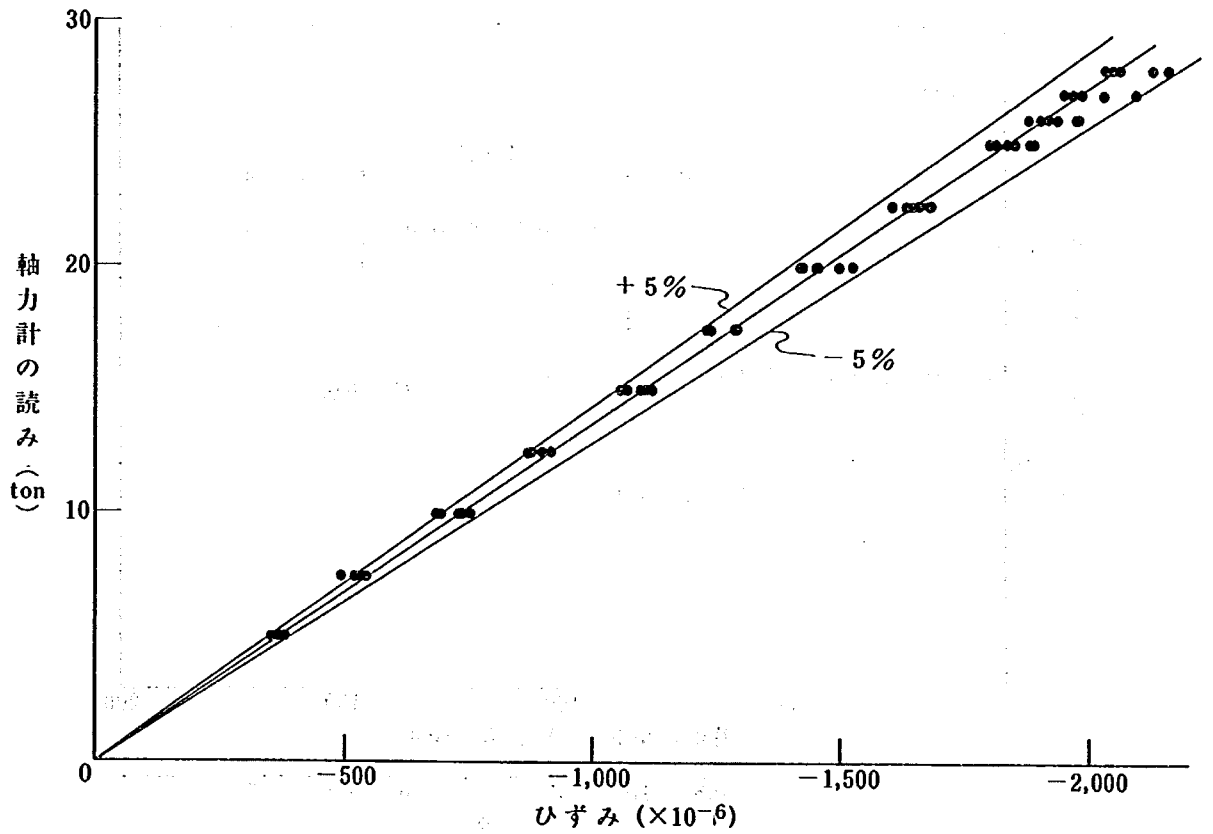


図 2-7 ボルト頭部のひずみと軸力の関係

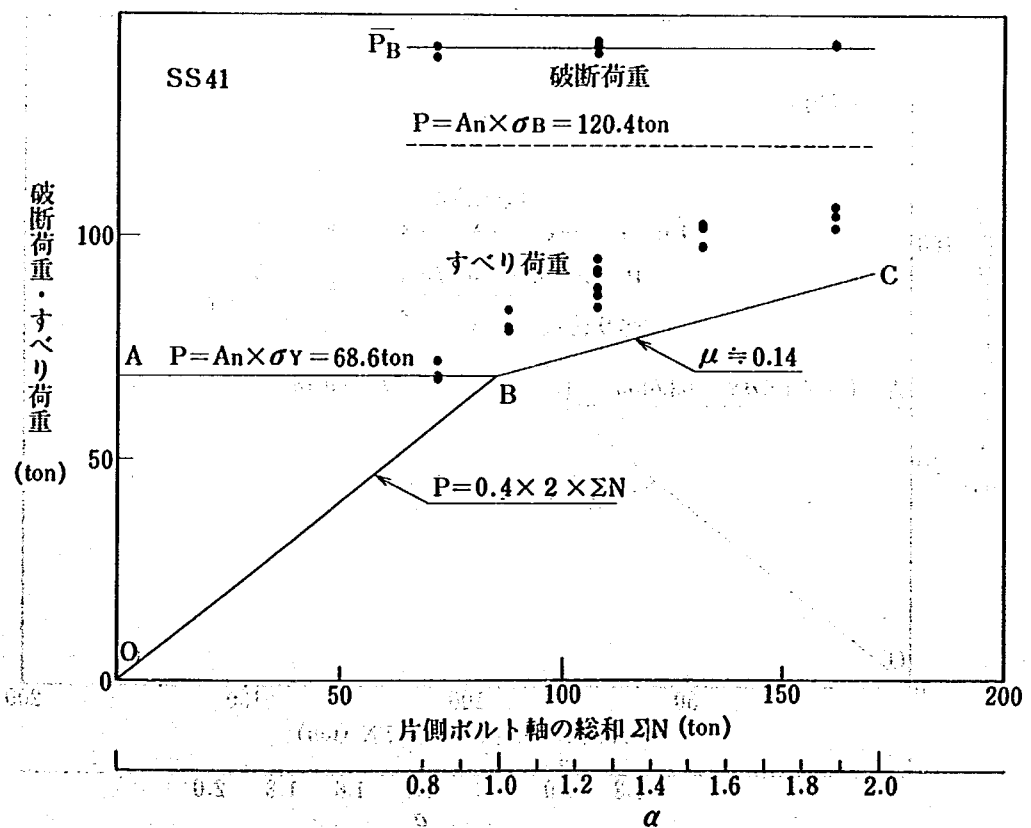


図 2-8 試験結果 (SS41)

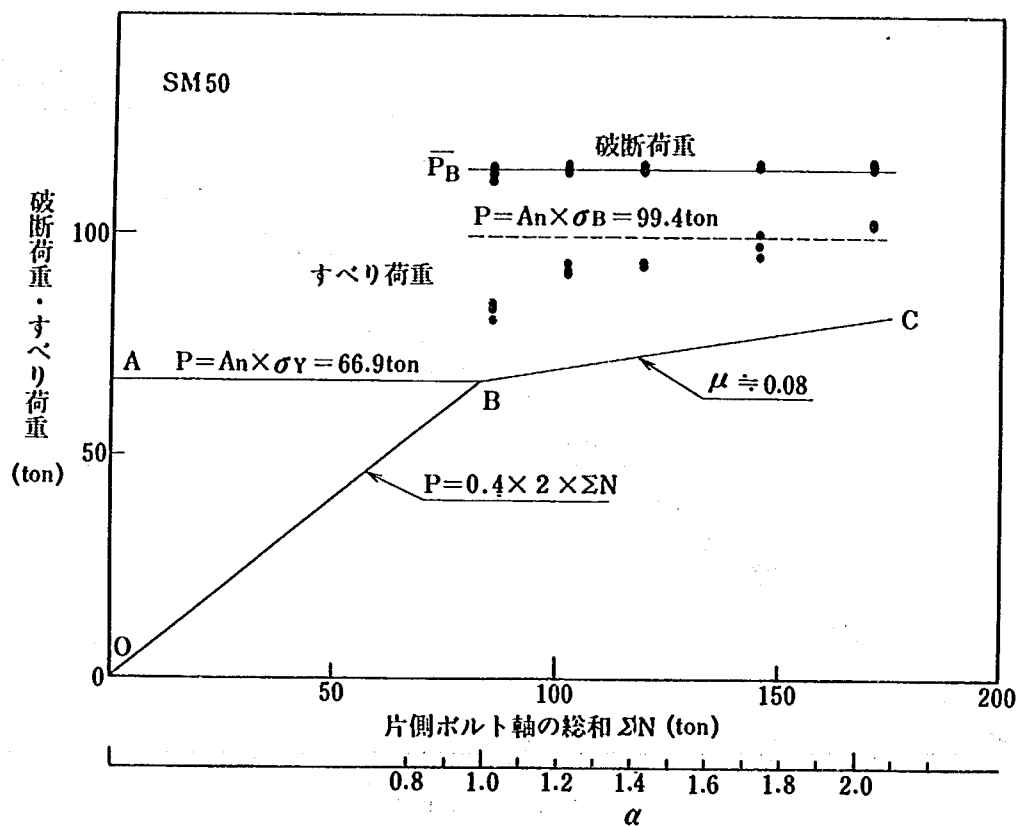


図 2-9 試験結果 (SM50)

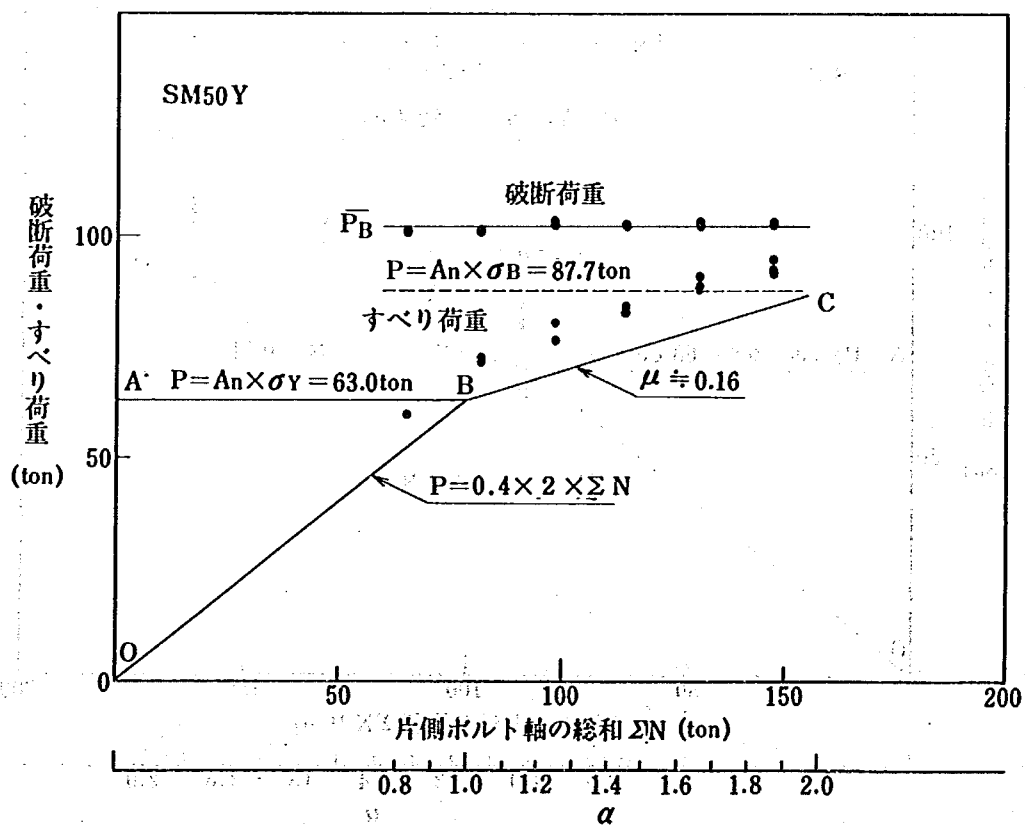


図 2-10 試験結果 (SM50Y)

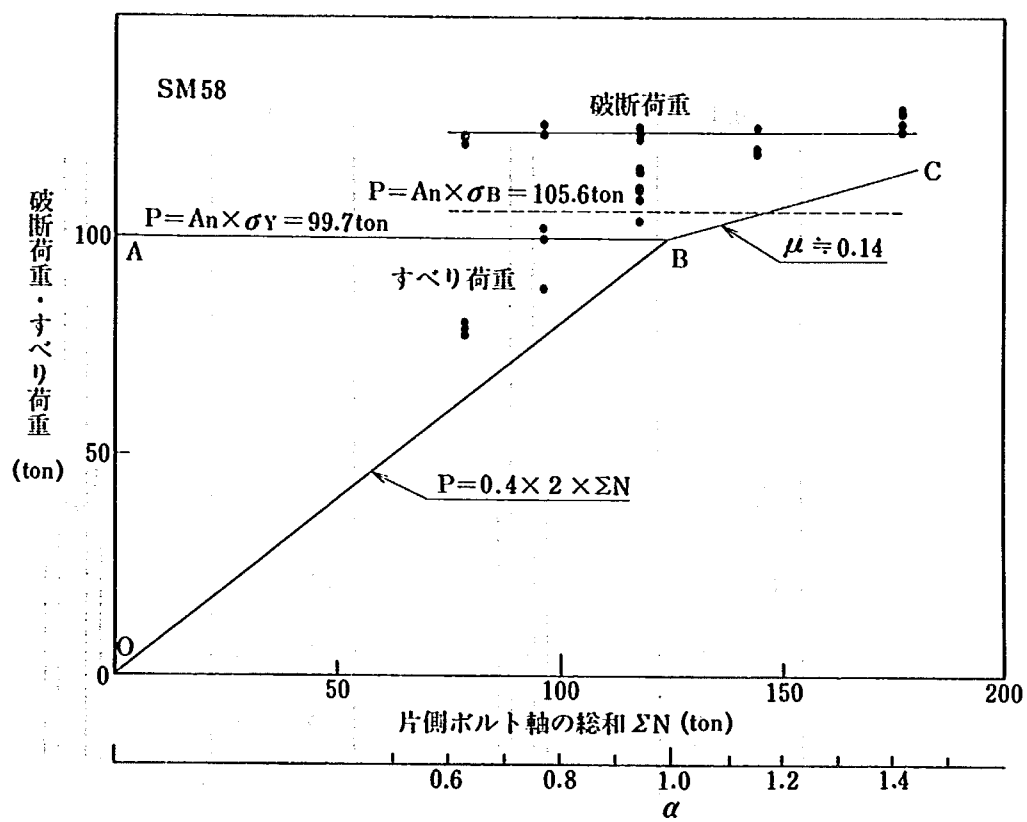


図 2-11 試験結果 (SM58)

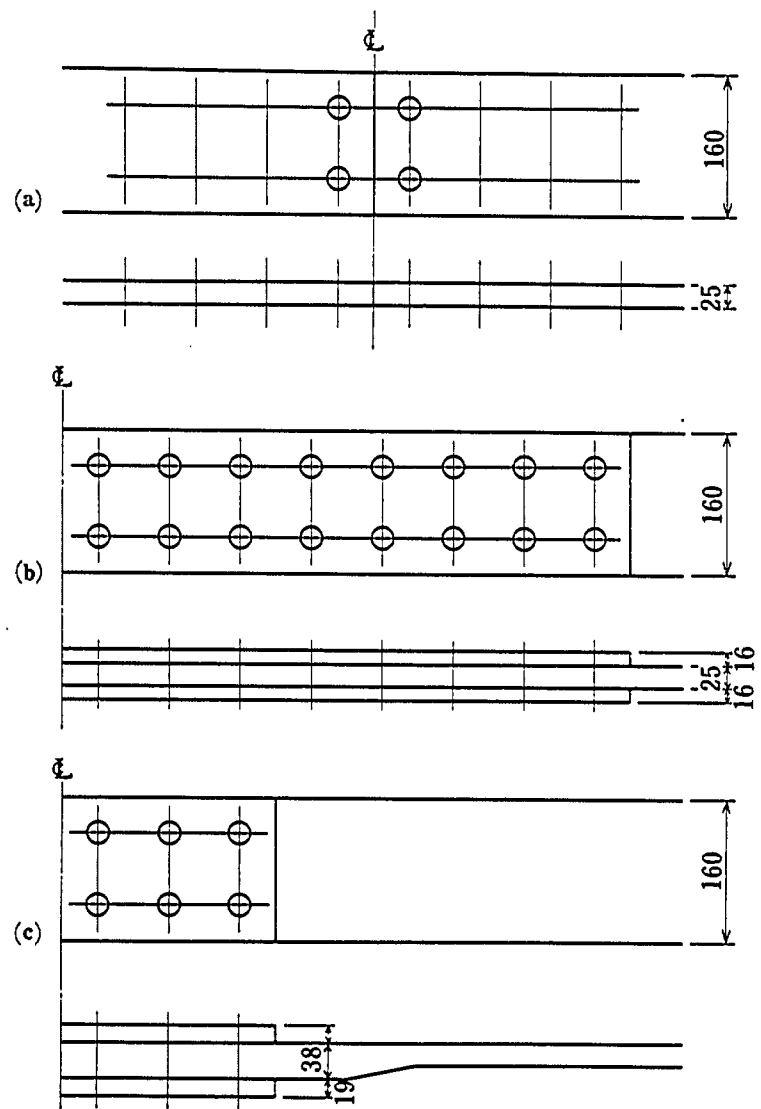


図 2-12 設計例その 1

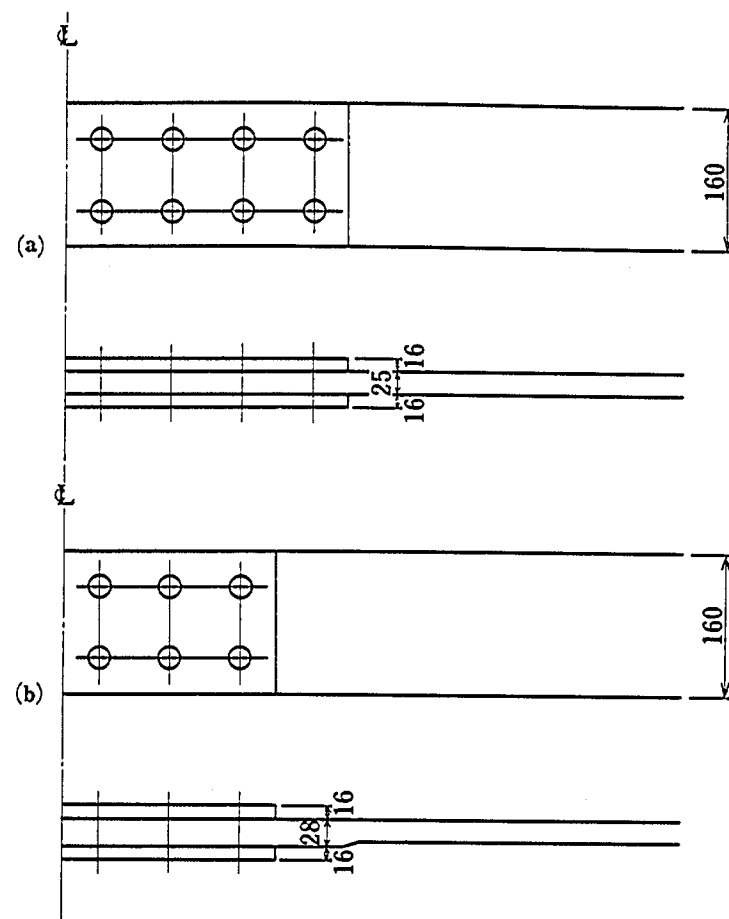


図 2-13 設計例その 2

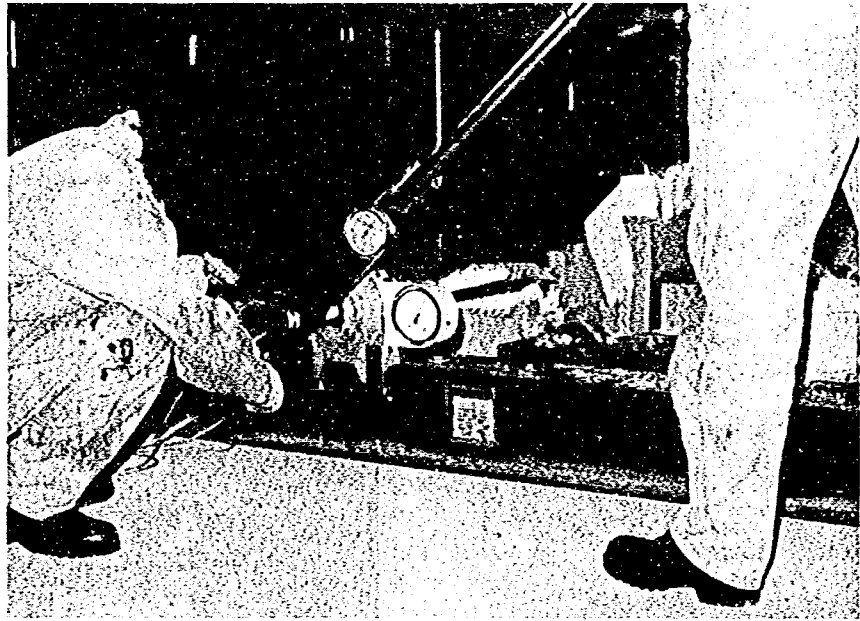


写真 2 - 1    ボルト軸力～ひずみ値の較正

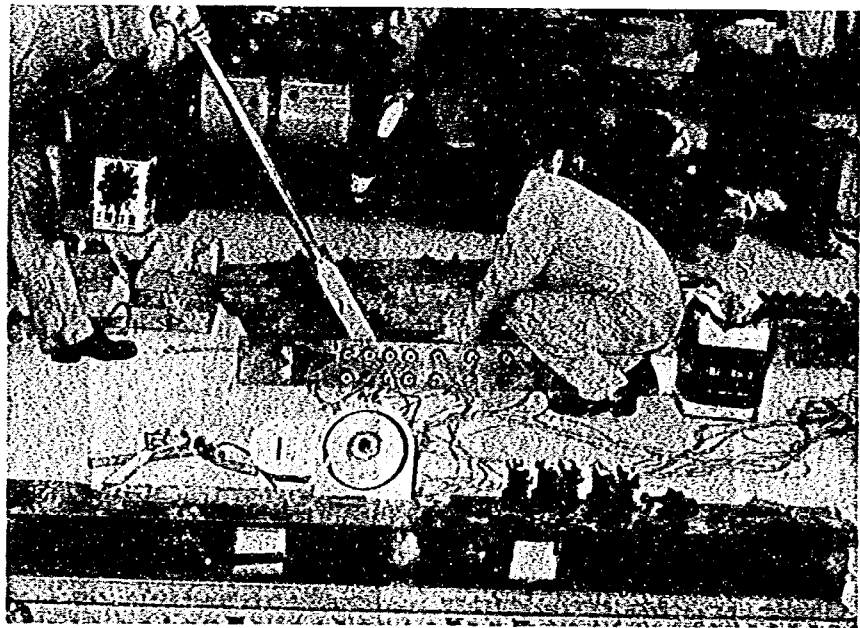


写真 2 - 2    ボルトの本締め

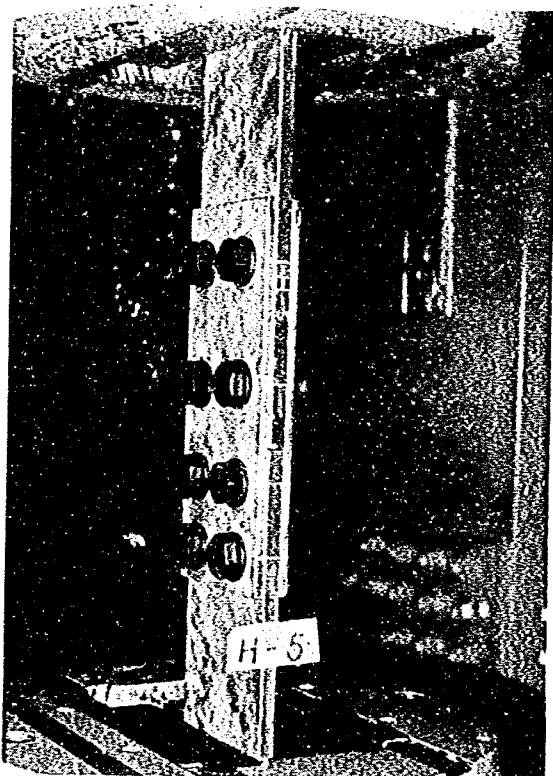


写真 2 - 3 载荷状態 (すべり前)

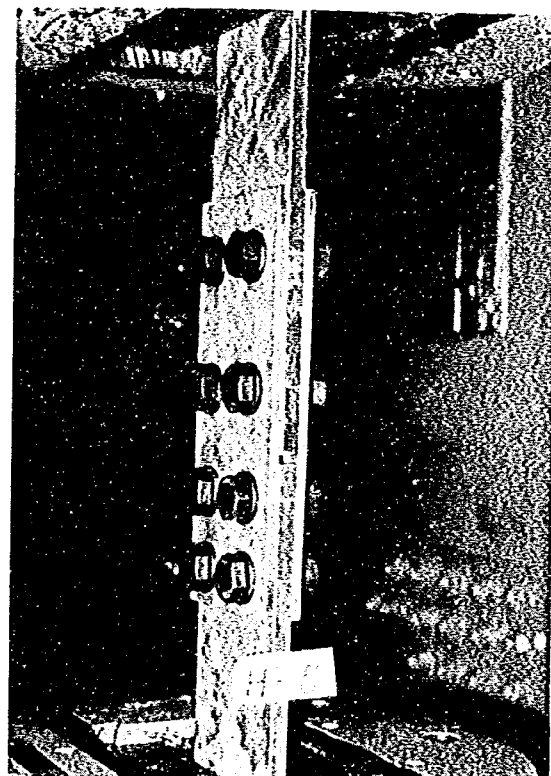


写真 2 - 4 载荷状態 (すべり後)

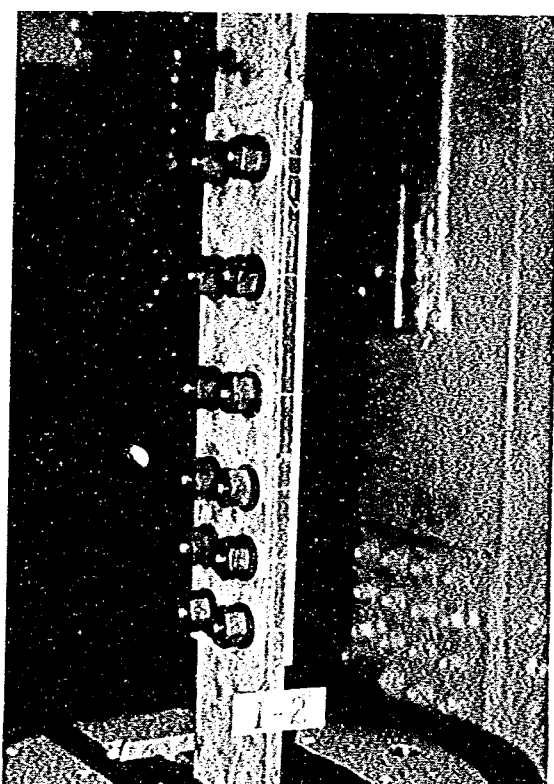


写真 2 - 5  $P = 110 \text{ mm}$  側のすべり

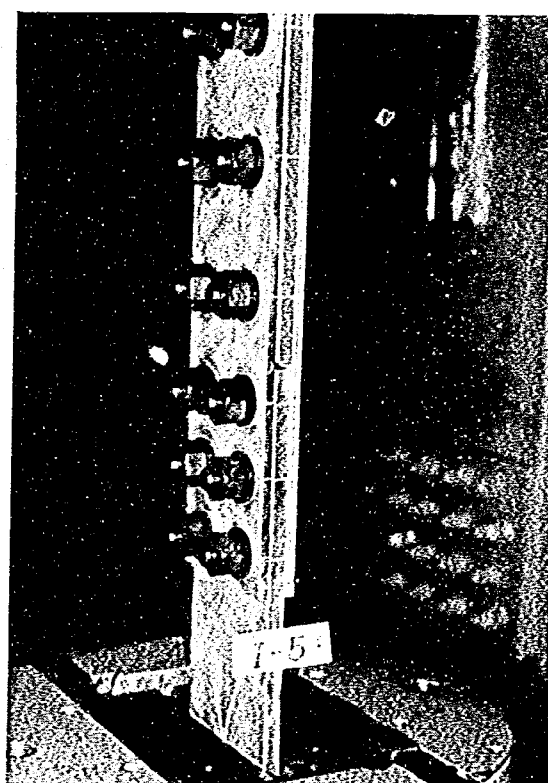


写真 2 - 6  $P = 66 \text{ mm}$  側のすべり

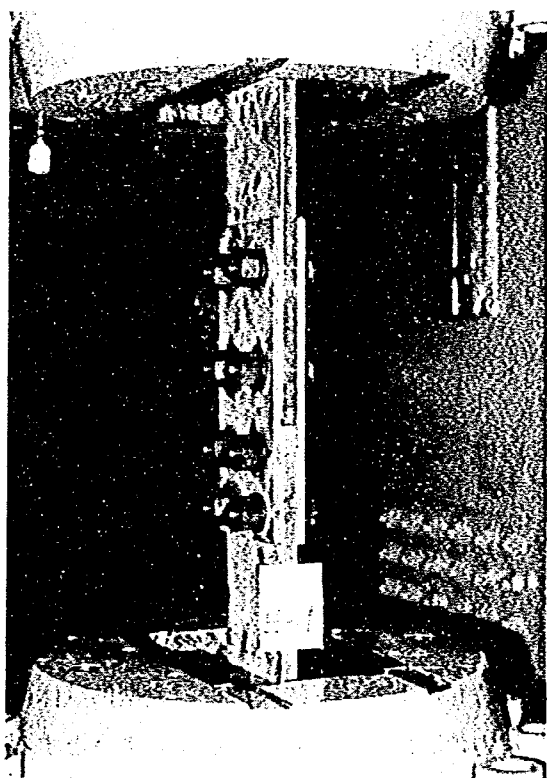


写真2-7 両側同時のすべり

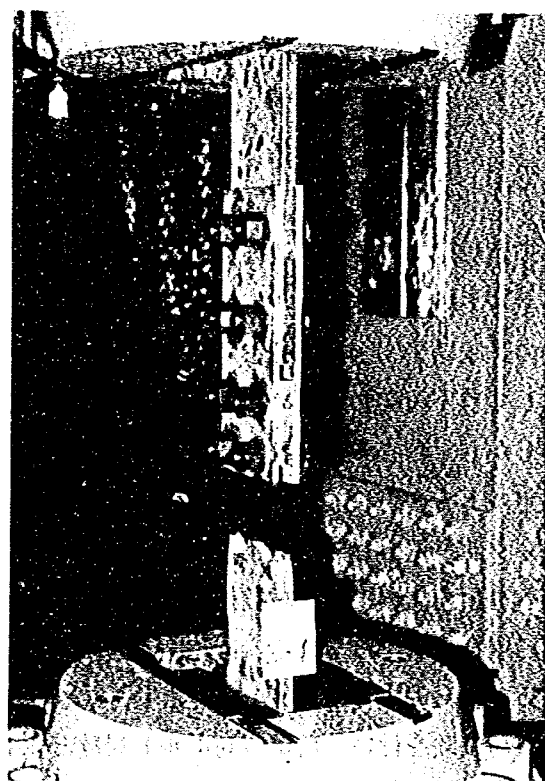


写真2-8 破断状況

### 3. 荷重方向ボルト列数の最大値に関する検討

#### 3.1 概 要

道路橋示方書では、連結長が大きい継手において荷重方向に不均等な力が作用することを考慮し、1ボルト線上に並ぶボルトの本数を8本以下にするのがよいとしている。この8本という数字は、過去の試験結果(1)(3)などを参考として、リベット継手に対する6本という規定を、接合原理の違いを考慮して若干緩和して定められたものである。

しかし、過去に行われた試験は、特定の橋梁の工事を対象としたもので、M24やM30といった太径ボルトを使用している点や、ボルト本数以外の要因による影響がみられることなど、示方書規定のバックデータとしては適当とはいえないものである。また、これらの試験を含めて、摩擦接合継手のすべり耐力試験では、試験技術上の問題から大きなばらつきを生じ、本来捉えるべき性状を見失っている場合も多くみられる。

そこで、過去の試験例を参考とし、試験方法を十分に吟味した上で、実物大に近い大型供試体による載荷試験を行い、荷重方向ボルト列数と継手のすべり耐力の関係について明らかにしようとするのが本試験の目的である。

本試験で特別に注意を払ったのは以下の通りである。

- (1) 接合面の状態をできる限り均一にする。
- (2) 部材材料の機械的性質を等しくする。
- (3) ボルトの締付け軸力のばらつきを小さくする。
- (4) 継手部材の純断面に生じる応力が、すべての供試体において同程度となるように供試体を設計する。
- (5) 実際の継手部材に生じる応力状態を再現し、さらにボルトの締付けを確実にするため、荷重と直角方向のボルト本数を少なくとも2本以上とする。
- (6) すべり荷重だけでなく、各荷重段階における継手部材相互間の相対変位についても観察する。
- (7) パラメータであるボルト本数を細かく、かつ数多く設定し、試験誤差による誤った判断をしないようにする。
- (8) 同一条件の供試体を少なくとも2体以上試験する。

検討の対象は主として矩形配置の継手としたが、‘1ボルト線上の’という言葉の解釈の仕方により、千鳥配置の継手では8列以上としている例も見られるので、これについても検討を試みることにした。

#### 3.2 供 試 体

##### 3.2.1 供試体の設計

供試体は、Nシリーズ（矩形配置）およびMシリーズ（千鳥配置）からなり、Nシリーズ5種類（ボルト列数4, 6, 8, 10, 12）、Mシリーズ3種類（同5, 9, 13）で各2体ずつ、計16体から成っている。供試体の寸法および形状を図3-1～2に示す。

同一シリーズの供試体には、材質の均一化を図るため、同一製造ロット、同一板厚の鋼材を用いた。このため、すべり時に部材に作用する純断面応力を一定とするため、板厚をそれぞれ変えて断面積を調整している。

継手の両側でボルト間隔（ピッチ）を変えているが、これはピッチの大きさがすべり耐力におよぼ影響を調べることに、継手の長さやボルトの本数のいずれがより支配的であるのかを確認することを目的としている。

各供試体の設計条件は表3-1および2に示す通りである。

表3-1 供試体の諸条件(1)矩形配置

| 記 号     | ボルト列数<br>(本) | 片側ボルト軸力の総和 $\Sigma N$<br>(ton) | (a)予想すべり耐力 $P_s'$<br>(ton) | (b)予想部材耐力 $P_y'$<br>(ton) | $\alpha = \frac{(a)}{(b)}$ | 部材純断面積 $A_n$<br>(cm <sup>2</sup> ) |
|---------|--------------|--------------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| 4N-1.2  | 4            | 164.0                          | 131.2                      | 131.3                     | 1.00                       | 38.5                               |
| 6N-1.2  | 6            | 246.0                          | 196.8                      | 202.9                     | 0.97                       | 59.5                               |
| 8N-1.2  | 8            | 328.0                          | 262.4                      | 262.6                     | 1.00                       | 77.0                               |
| 10N-1.2 | 10           | 410.0                          | 328.0                      | 322.2                     | 1.02                       | 94.5                               |
| 12N-1.2 | 12           | 492.0                          | 393.6                      | 393.9                     | 1.00                       | 115.5                              |

表3-2 供試体の諸条件(2)千鳥配置

| 記 号     | ボルト列数<br>(本) | 片側ボルト軸力の総和 $\Sigma N$<br>(ton) | (a)予想すべり耐力 $P_s'$<br>(ton) | (b)予想部材耐力 $P_y'$<br>(ton) | $\alpha = \frac{(a)}{(b)}$ | 部材純断面積 $A_n$<br>(cm <sup>2</sup> ) |
|---------|--------------|--------------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| 5M-1.2  | 5            | 164.0                          | 131.2                      | 138.9                     | 0.94                       | 39.47                              |
| 9M-1.2  | 9            | 287.0                          | 229.6                      | 240.2                     | 0.96                       | 68.25                              |
| 13M-1.2 | 13           | 410.0                          | 328.0                      | 341.2                     | 0.96                       | 96.92                              |

ボルトの締付軸力はすべて 20.5 ton とした。

表中の予想すべり荷重  $P_s'$  および予想部材耐力  $P_y'$  は次式のように定義される。

$$P_s' = \Sigma N \times \mu \times n \quad (3-1)$$

$\Sigma N$  : 片側ボルト軸力の総和 (ton)

$\mu$  : 摩擦係数 (0.4 を使用)

$n$  : 摩擦面数 (ここでは 2)

$$P_y' = \sigma_y \times A_n \quad (3-2)$$

$\sigma_y$  : 鋼材の降伏強さ (kg/cm<sup>2</sup>)

$A_n$  : 部材の純断面積 (cm<sup>2</sup>)

供試体部材の純断面積は、 $P_s'$  と  $P_y'$  の比  $\alpha$  (2章で定義したものと同一) が 1.0 前後となるように設計した。

### 3.2.2 使用鋼材

使用した鋼材はすべて SM 50 材で、板厚は母材で 35mm、連結板で 19mm とした。素材の引張試

験の結果を表3-3に示す。

なお、使用した高力ボルトは、すべてF10T, M22である。

表3-3 素材の引張試験結果

| 鋼 種     | 板 厚<br>(mm) | 降伏強さ<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 引張強さ<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
|---------|-------------|-------------------------------|-------------------------------|
| SM50(N) | 35          | 3,410                         | 5,210                         |
| SM50(M) | 35          | 3,520                         | 5,300                         |
| SM50    | 19          | 3,520                         | 5,230                         |

### 3.2.3 高力ボルトの締付け

高力ボルトの軸力管理は、2.2.3に述べた2つの方法のうち、ボルト頭部のひずみを計測する方法によった。

### 3.2.4 接合面の処理

接合面は、その均一化を図るため、全体試体を一時にブラスト処理した後、速やかに仮ボルトにより組立て、試験時まで空気にふれないよう配慮した。詳細については2.2.4を参照のこと。

## 3.3 載荷試験

### 3.3.1 載荷装置

4Nおよび5M供試体については、2章と同様200/250トン疲労試験機を用いて載荷したが、その他の供試体については3000トン大型構造部材万能試験機を使用した。同試験機では、引張用にピン式チャックを使用するため、図3-3に示すような治具を、突合せ溶接により各供試体に取り付けた。

載荷試験の状況を写真3-1～2に示す。破断したボルトの飛散を防ぐためのマットや、破断した供試体の転倒を防止するためのワイヤーロープを必要に応じて設置した。

### 3.3.2 測定項目

継手のすべりを生ずるまでは荷重制御、その後は変位制御により、途中で除荷することなしに載荷し、破断荷重（最大荷重）を確認した時点で載荷終了とした。

すべり荷重は、すべり時に生ずる音によるとともに、写真3-2および3に示すようにマーキングを施し、そのずれを目視により確認した。

また、同じ供試体のうち一体については、連結板表面にひずみゲージを貼付け、各荷重段階におけるひずみ分布を規定した。

## 3.4 試験結果および考察

### 3.4.1 すべり耐力

試験結果の総括表を表3-4および5に示す。また、ボルトの荷重方向本数と摩擦係数との関係を図3-4および5に示す。これらの図を見るかぎりでは、矩形配置では12列、千鳥配置では13列ま

で、摩擦係数の顕著な減少傾向は認められない。したがって、ここまでの結果は、文献(3)の結論と一致し、この程度の列数であれば何ら問題は生じないということになる。

しかし、本試験では、他の供試体で明確なすべり現象が生じたのに対し、10N供試体だけは、明確なすべりが生じないまま破断に至るという結果となった。同じ2体の供試体で同様の結果となったこと、他の試験においてもデータのばらつきがかなり小さく押えられたことなどから考えて、これは単なる偶然、あるいは試験上の手違いとは考えられない。そこで、以下は10N供試体にみられた挙動について詳しく検討することにする。

表3-4 試験結果総括表 (1)矩形配置

| 記号    | ボルト列数<br>$n$ (本) | すべり荷重<br>$P_s$ (ton) | すべり面        |            | 破断荷重<br>$P_b$ (ton) | 摩擦係数<br>$\mu$ | $\alpha$ | 備 考                |
|-------|------------------|----------------------|-------------|------------|---------------------|---------------|----------|--------------------|
|       |                  |                      | P=66mm<br>側 | 110mm<br>側 |                     |               |          |                    |
| 4N-1  | 4                | 153.95               |             | ○          | 232.70              | 0.469         | 1.00     |                    |
| 2     |                  | 151.90               |             | ○          | 233.90              | 0.463         |          |                    |
| Ave   |                  | 152.93               |             |            | 233.30              | 0.466         |          |                    |
| 6N-1  | 6                | 233.50               | ○           |            | 313.50              | 0.475         | 0.97     |                    |
| 2     |                  | 234.20               | ○           |            | 322.40              | 0.476         |          |                    |
| Ave   |                  | 233.85               |             |            | 317.95              | 0.476         |          |                    |
| 8N-1  | 8                | 302.20               | ○           |            | 448.80              | 0.461         | 1.00     |                    |
| 2     |                  | 293.00               |             | ○          | 449.40              | 0.447         |          |                    |
| Ave   |                  | 297.60               |             |            | 449.10              | 0.454         |          |                    |
| 10N-1 | 10               | —                    |             |            | 545.70              |               | 1.02     | 明確なすべり現象は観察されなかった。 |
| 2     |                  | —                    |             |            | 540.90              |               |          |                    |
| Ave   |                  | —                    |             |            | 543.30              |               |          |                    |
| 12N-1 | 12               | 459.80               | ○           |            | 655.20              | 0.467         | 1.00     | ボルトが破断した。          |
| 2     |                  | 466.20               |             | ○          | 652.60              | 0.474         |          |                    |
| Ave   |                  | 463.00               |             |            | 653.90              | 0.471         |          |                    |

### 3.4.2 継手のすべり挙動

前述したように、供試体側面には部材間にまたがってマーキングがしてある。図3-6は、今回の試験を通じて観察された3種類のマーキングの状態を表わしたものである。写真3-3に示す通常の供試体の場合は、図の①から③に変化しており、一般的な全体すべり現象が生じたことを示している。今回の試験においては、ほとんどの供試体で同様の挙動が観察された。

ところが、10N-1, 2供試体および12N-1, 2のみ若干異った挙動が観察された。10N供試体では、①から②の状態、すなわち継手端部において部分的なずれを生じて端ボルトが支圧状態になり、継手全体としてはすべりを生じないまま破断に至った。また、12N供試体では、10Nと同じように一旦②の状態になり、その後支圧状態となった両端のボルトにはさまれた部分にすべりを生じて③の状態になり、最終的にはボルトの破断により破壊した。

前に、12N供試体のみかけ上の摩擦係数は、8N以下の場合と変わらないと書いたが、これは本来の摩擦係数とは意味が異なるものであることはこれで明らかである。したがって、ボルト列数がすべり耐力にはほとんど影響をおよぼさないという過去の試験結果は、みかけの摩擦係数を対象とするものであり、実際の継手の挙動を正しく評価したことにはならない。また、12N供試体で最終的にボルト

が破断したが、さらに列数が大きくなると、さらに低い荷重においてボルトが破断すると予想される。このようなことから、10列を超える高力ボルト摩擦接合継手は用いないのが望ましいと考えられる。

従来、摩擦接合継手においては、長い継手において応力の集中はあるが、部分的なすべりは生じないものと考えられていたが、今回の試験で10列以上の継手では、部分的なすべりが生じ得ることを確認したことになる。

一方、千鳥配置の供試体については上記のような現象は観察されず、すべて通常の全体すべりを生じた。したがって、千鳥配置の場合にはこの程度の列数は問題とならないものと思われる。

### 3.4.3 継手長さの影響

それぞれの供試体には接合部が2つずつあり、それぞれボルト間隔（ピッチ）を変えてあることは前にも述べた通りである。表3-4および5では、共にすべりを生じた側に○印をつけて示したが、一定の傾向はみられず、ピッチの影響はないものと考えられる。また、これは同時に連結長の大きい継手において、継手の長さよりも、荷重方向ボルト列数の影響がその性状に対し支配的であることを示すものである。

表3-5 試験結果総括表 (2)千鳥配置

| 記 号    | ボルト列数<br>$n$ (本) | すべり荷重<br>$P_s$ (ton) | すべり 面             |       | 破断荷重<br>$P_b$ (ton) | 摩擦係数<br>$\mu$ | $\alpha$ |
|--------|------------------|----------------------|-------------------|-------|---------------------|---------------|----------|
|        |                  |                      | $P=50\text{mm}$ 側 | 80mm側 |                     |               |          |
| 5 M-1  | 5                | 157.80               |                   | ○     | 234.25              | 0.448         | 0.94     |
| 2      |                  | 159.30               | ○                 |       | 235.30              | 0.453         |          |
| Ave    |                  | 158.55               |                   |       | 234.78              | 0.451         |          |
| 9 M-1  | 9                | 275.00               | ○                 |       | 405.90              | 0.446         | 0.96     |
| 2      |                  | 267.50               | ○                 |       | 406.60              | 0.434         |          |
| Ave    |                  | 271.25               |                   |       | 406.25              | 0.440         |          |
| 13 M-1 | 13               | 400.60               | ○                 |       | 561.40              | 0.455         | 0.96     |
| 2      |                  | 394.20               | ○                 |       | 567.60              | 0.448         |          |
| Ave    |                  | 397.40               |                   |       | 564.50              | 0.452         |          |

継手端部におけるずれが、ボルト孔を含む最小断面における局部的な塑性ひずみの蓄積に起因するものだと仮定すれば、孔を含まない断面の弾性伸びはほとんど無視することができるので、継手長よりもボルトの列数が支配的であることの説明をすることができる。また、千鳥配置の場合には、ここで定義した列数（それぞれ5、9、13）は、純断面が表われる回数（それぞれ2、4、6）と異なるため、その影響が出なかったものと解釈される。したがって、示方書の「1ボルト線上のボルト本数」という表現は、文字通り解釈して差し支えないものと考えられる（図3-7）。

### 3.4.4 継手のひずみ分布

各荷重段階における、連結板のひずみ分布を図3-8～12に示す。ひずみの計測位置は、供試体中央線上、ボルト間隔の中央である（図3-13参照）。

各供試体で計測されたひずみ分布のパターンには、図3-13に示すように3種類あった。パターン④のひずみ分布は、接合面の摩擦により、母材から連結板への荷重の受け渡しが理想的に行われた

場合の理論値であり、実際にはこれと一致した分布は得られなかった。パターン⑧の分布は、継手両端部に荷重の受け渡しが集中し、中央付近の水平近い部分がほとんど関与していない様子を表わしている。このパターンは、程度の大小はあるものの、すべての供試体の比較的低い荷重段階で観察された。4～8列（図3-8～10）の場合には、荷重を上げるに従って⑧のパターンに近づいてゆくが、10、12列（図3-11、12）の場合には、逆に応力集中の度合が増す傾向がみられた。これは、すべりを生じる前の、端ボルトが支圧状態になったことを示しているものと考えられる。

すべりが生じた後のひずみ分布は、すべての供試体においてパターン⑨のような分布を示した。部材が降伏した部分を除けば⑧に近い分布形である。これは、全体すべりにより、すべてのボルトが支圧状態に移行したことを示すものと考えられる。すべりを生じない10N供試体についても⑨の分布形がみられるが、この時点ですべてのボルトが支圧状態になったかどうかについては明らかでない。

#### 3.4.5 継手の破断

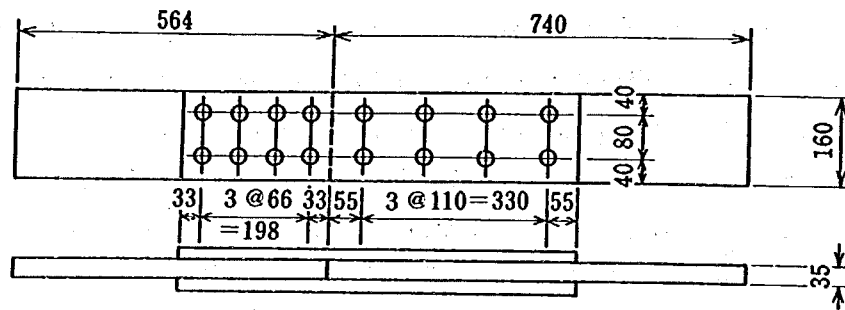
継手の破断は、12N供試体を除いて母材の最も外側のボルト孔を含む断面で生じた。破断荷重は、母材の純断面積と鋼材の引張強さの積よりも8～16%高くなっているが、これは切欠きを有する部材の破断荷重全般にみられる傾向で、応力の多軸性によるものである。

12N供試体では、端部から2列目までのボルトがせん断により破断し（写真3-3）、3列目のボルト孔を含む断面で破断した。

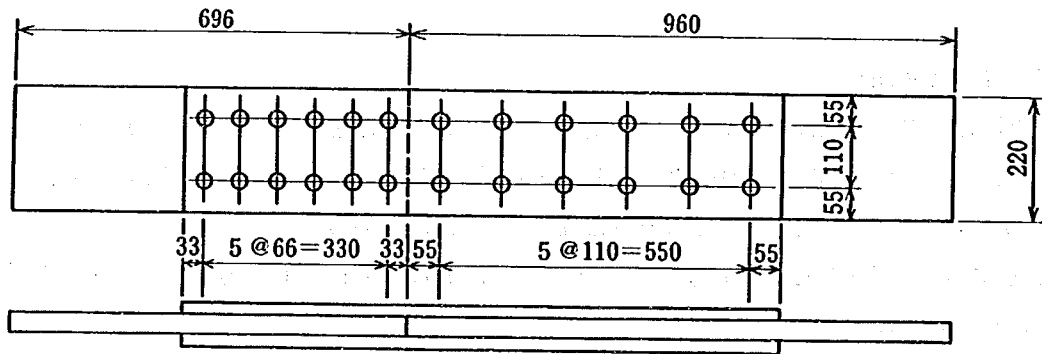
### 3.5 ま と め

試験の結果、以下に示す点が明らかになった。

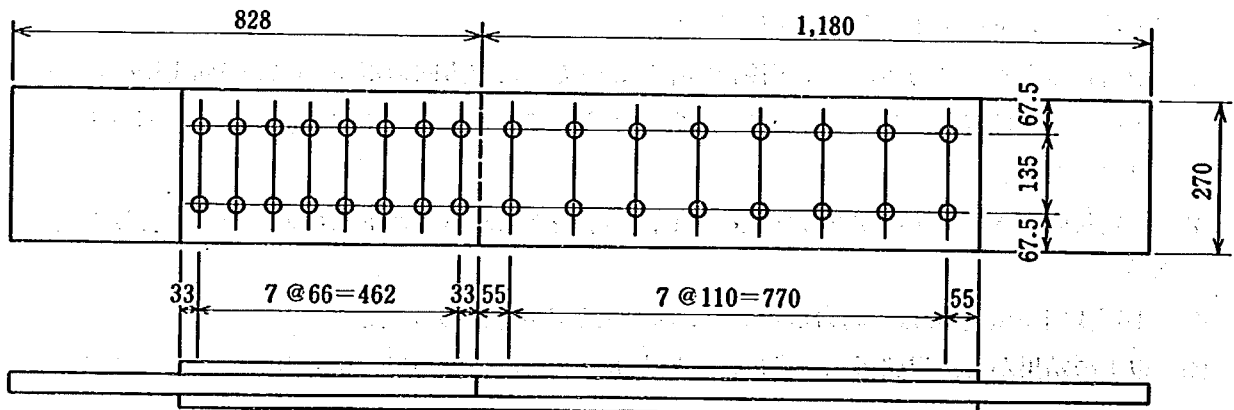
- (1) 連結長の大きい高力ボルト摩擦接合継手において、荷重方向のボルト列数10列を境にして継手のすべり性状は変化する。すなわち、通常考えられている継手のすべり現象は、10列以上の継手では生じない。
- (2) 連結長の大きい継手のすべり性状に対し、継手長さよりもボルト列数の影響が、より支配的である。
- (3) 10列以上の継手では、高力ボルトの破断が生じる可能性がある。
- (4) 以上の結果から、道路橋示方書による最大ボルト列数8本の規定が妥当であることは明らかである。
- (5) 千鳥配置の継手では、"1ボルト線上のボルト数"をボルト列数と考えて差しつかえない。



(a) 4N-1, 2

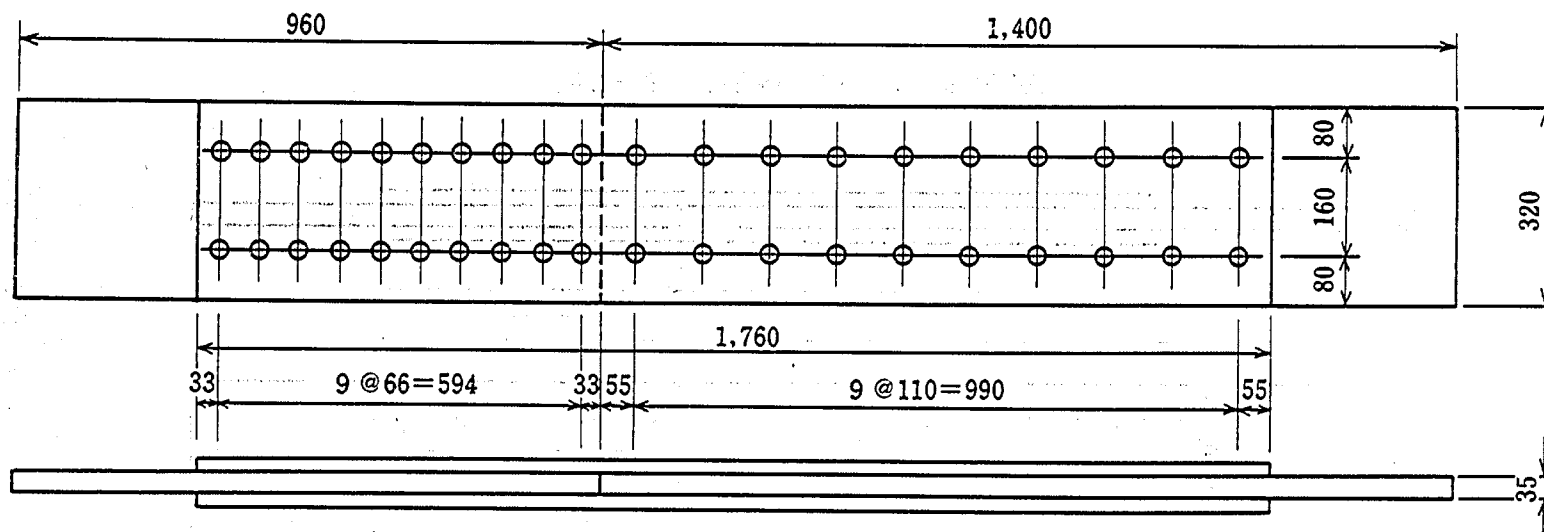


(b) 6N-1, 2

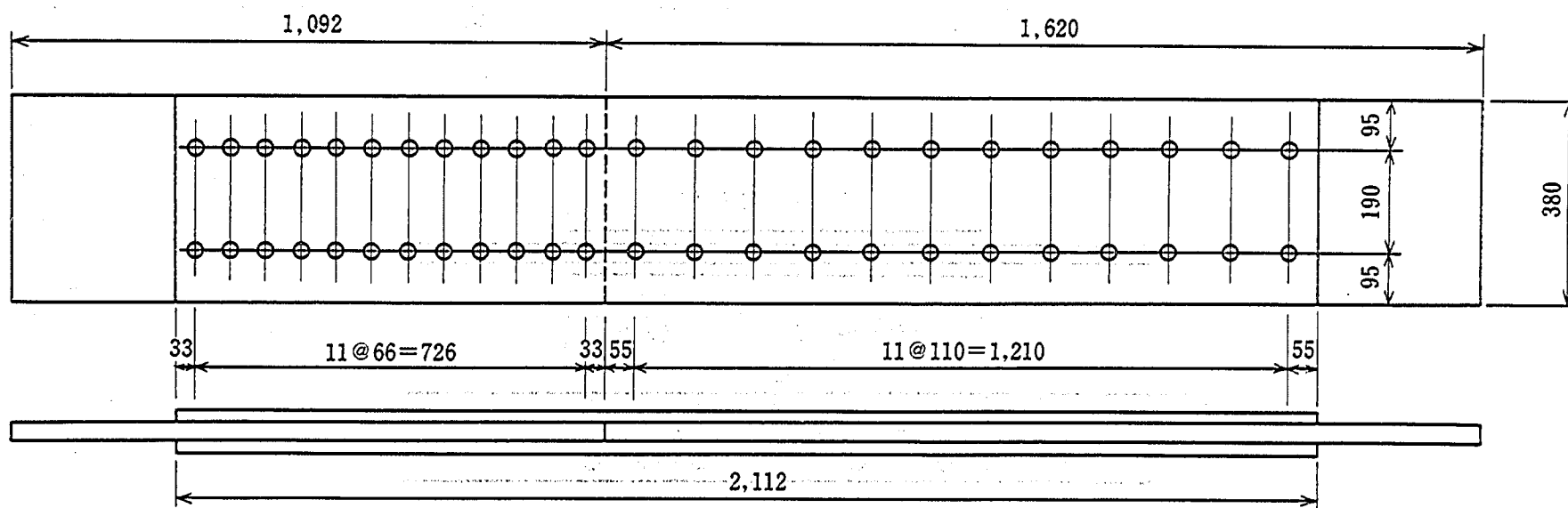


(c) 8N-1, 2

图 3-1 供試体形状・寸法 (1)矩形配置

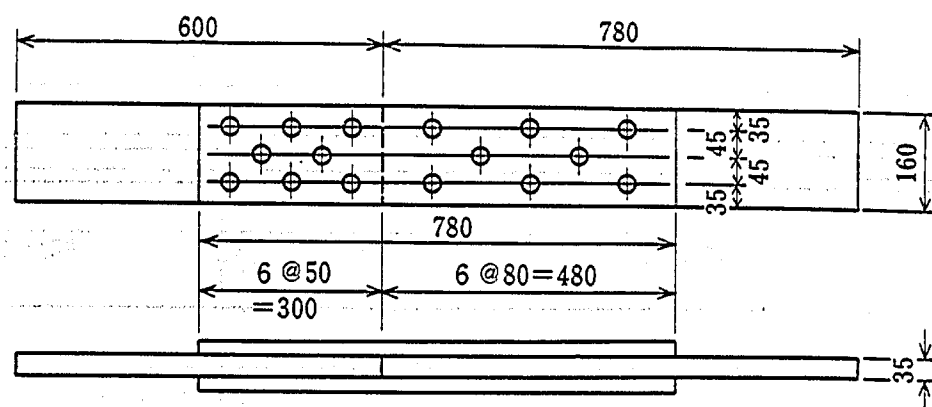


(d) 10N-1, 2

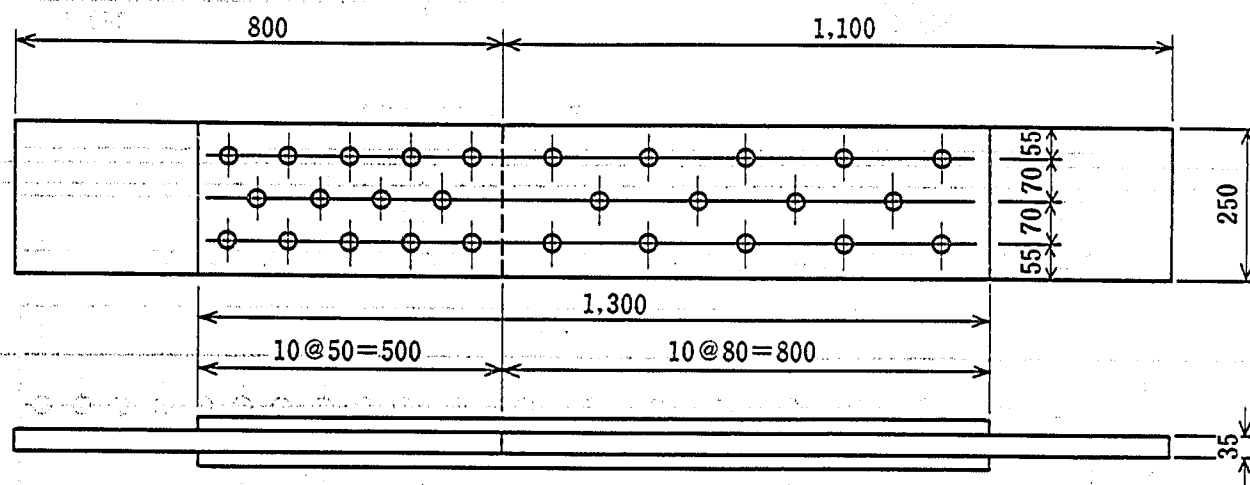


(e) 12N-1, 2

图 3-1 供試体形状・寸法 (1) 矩形配置

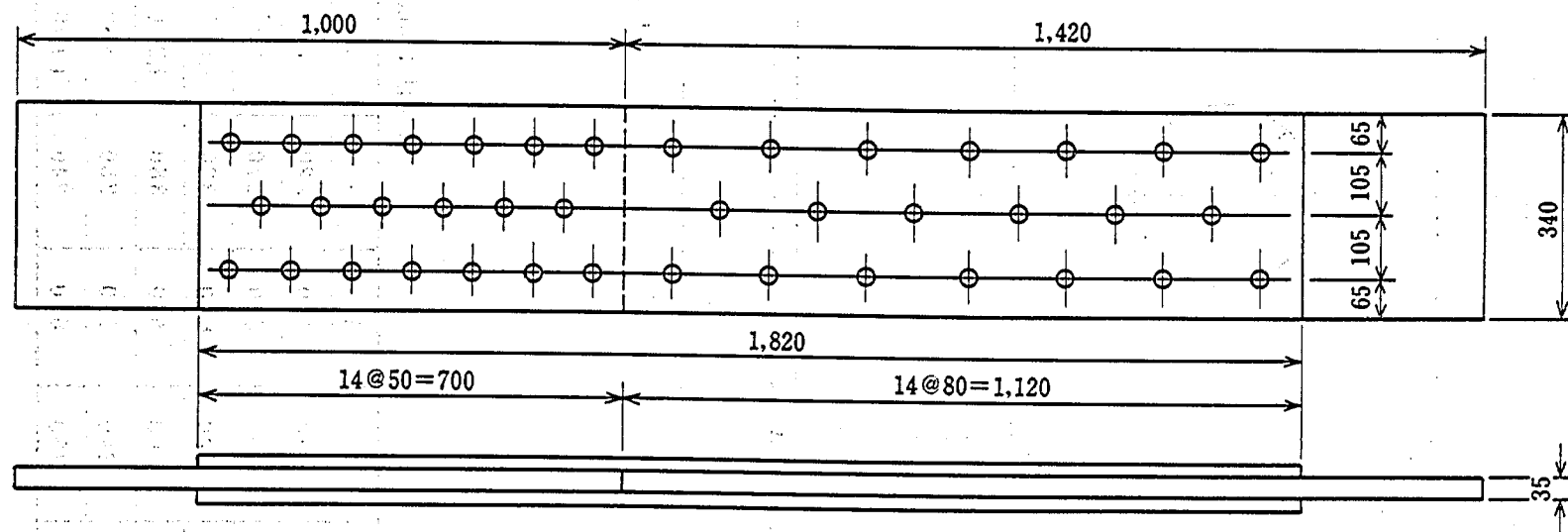


(a) 5M-1, 2



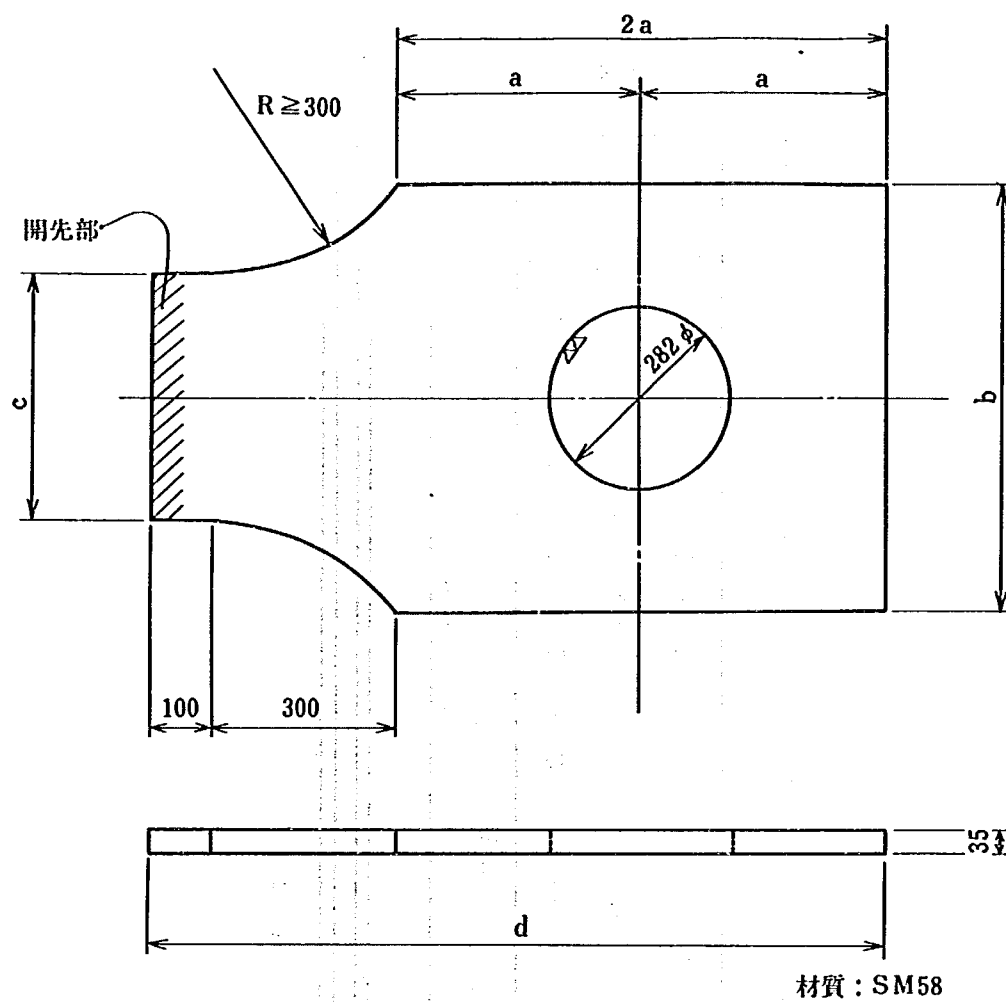
(b) 9M-1, 2

图 3-2 供試体形状・寸法 (2)千鳥配置



(c) 13M-1, 2

图 3-2 供試体形状・寸法 (2)千鳥配置



( 寸法：mm )

| 適用供試体 | a   | b   | c   | d     |
|-------|-----|-----|-----|-------|
| 6 N   | 200 | 480 | 220 | 800   |
| 8 N   | 260 | 540 | 270 | 920   |
| 10 N  | 320 | 600 | 320 | 1,040 |
| 12 N  | 400 | 680 | 380 | 1,200 |
| 9 M   | 240 | 520 | 250 | 880   |
| 13 M  | 350 | 630 | 340 | 1,100 |

図 3 - 3 ピンチャック取付け治具

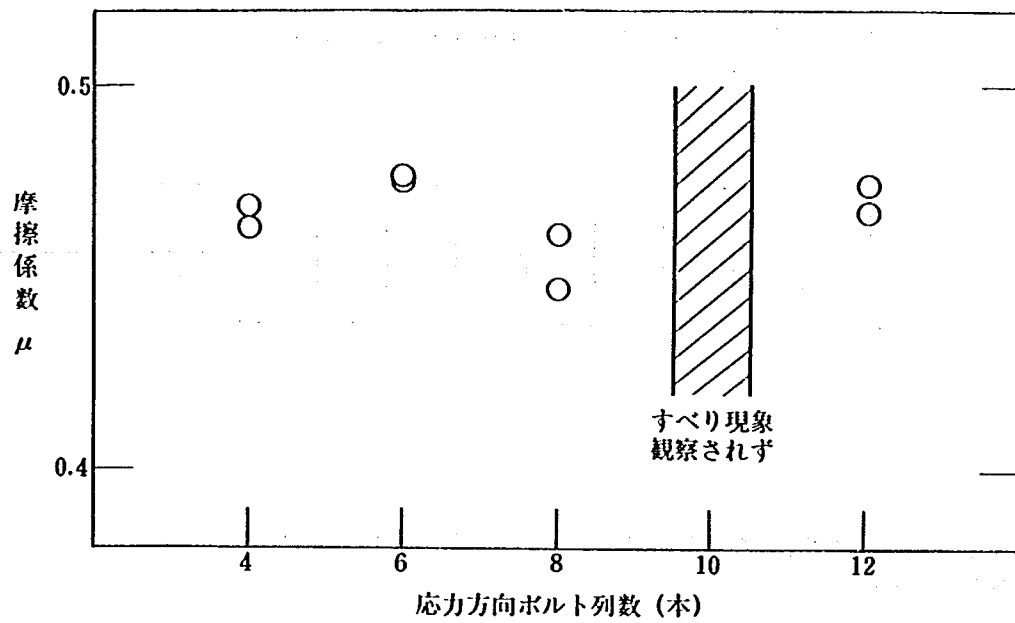


図 3 - 4 応力方向ボルト列数と摩擦係数の関係 (1)矩形配置

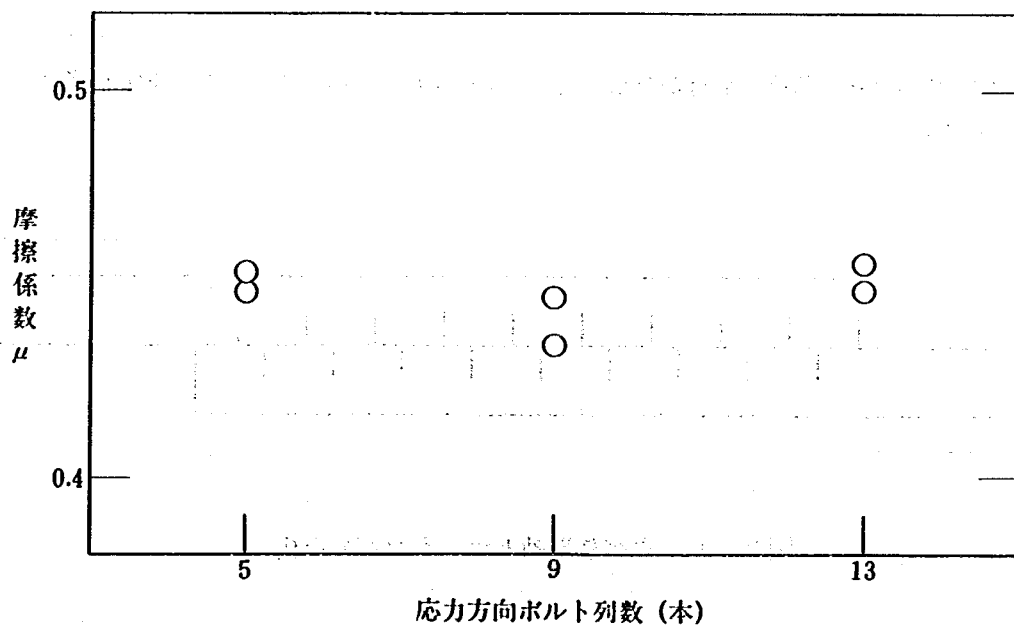
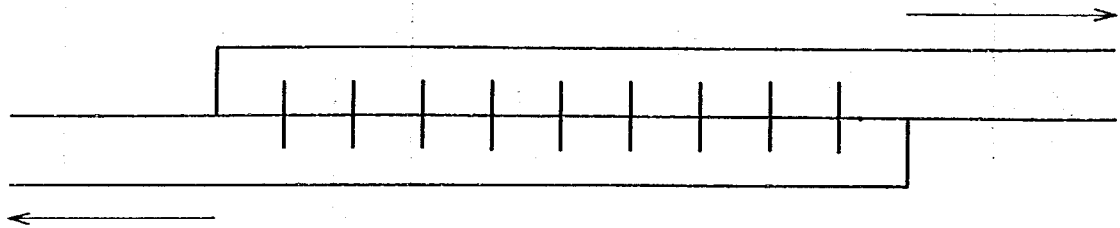
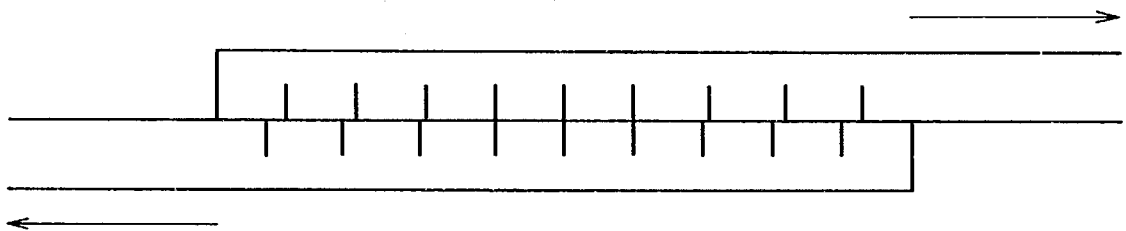


図 3 - 5 応力方向ボルト列数と摩擦係数の関係 (2)千鳥配置

① 2つの部材は摩擦により接合され、相対的なずれは生じていない。



② 継手中央部付近に変化はないが、端部ではずれを生じボルトは支圧状態になっている。  
(10N, 12N)



③ 全体的なすべり後の状態。部材が荷重方向に一様にずれ、すべてのボルトが支圧状態になっている。

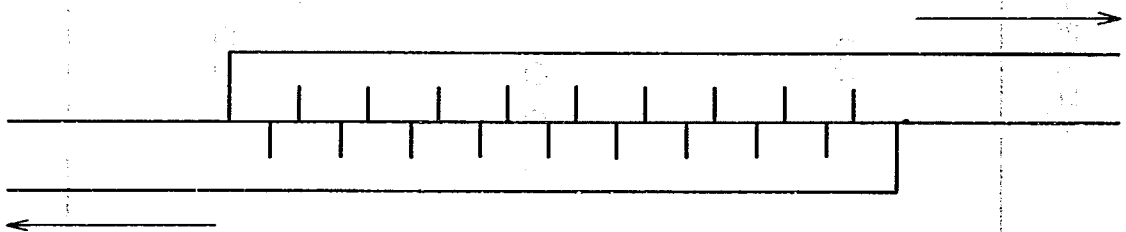


図3-6 すべり挙動とマーキングの変化

(注) 50N、100Nの荷重で試験した。

図3-6のすべり挙動とマーキングの変化は、図3-7のすべり挙動とマーキングの変化と一致した。

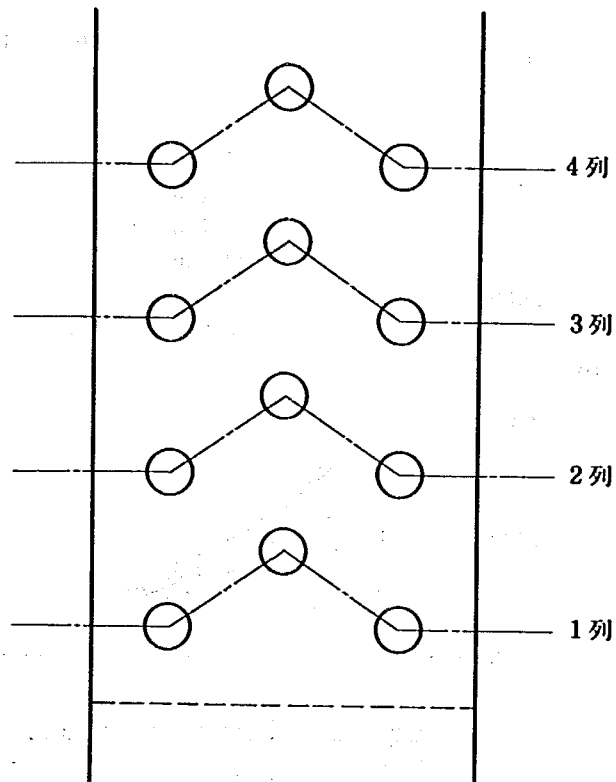


図 3-7 千鳥配置の場合のボルト列数

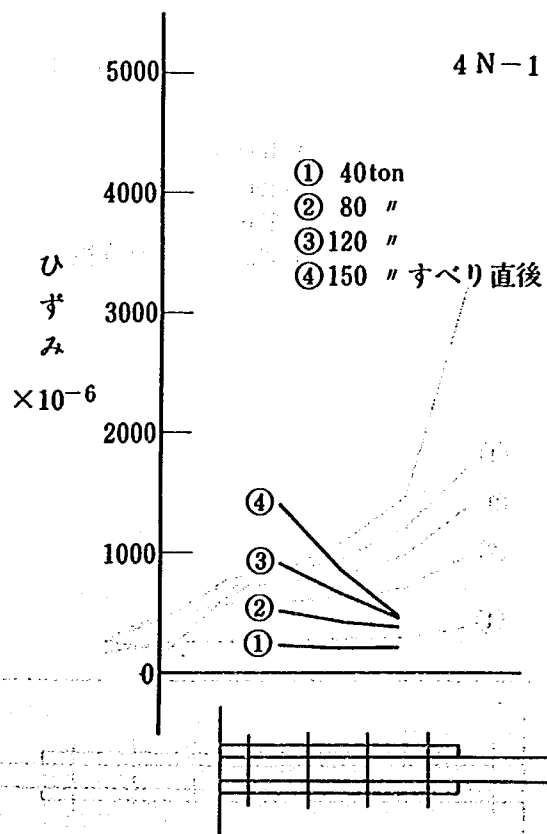


図 3-8 連結板のひずみ分布 (4列)

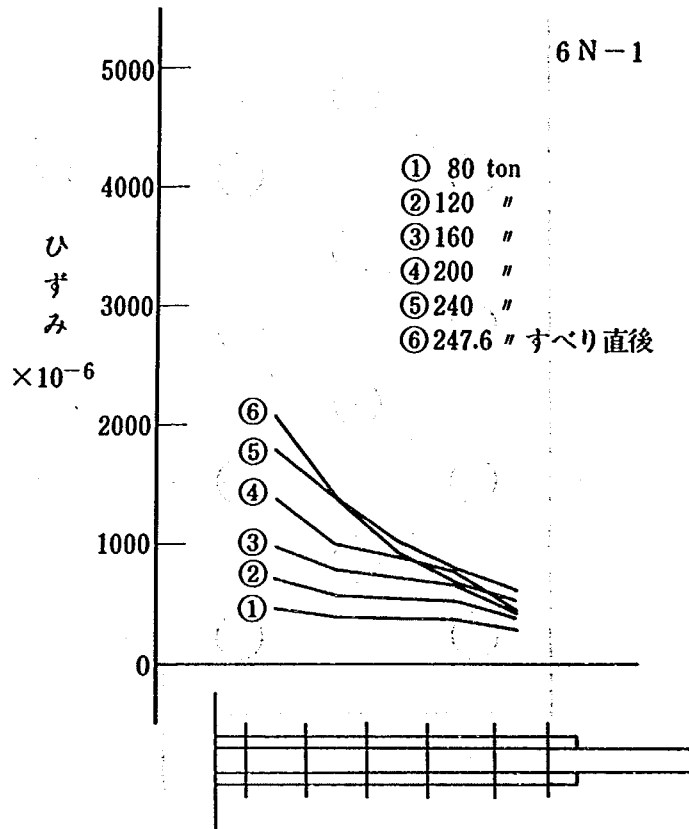


図 3-9 連結板のひずみ分布 (6 列)

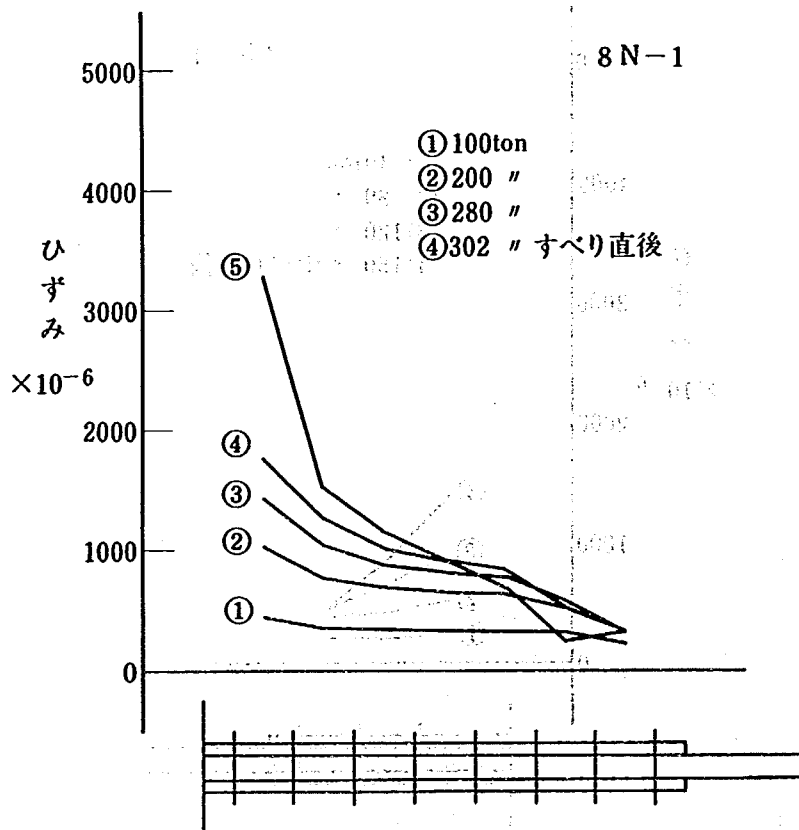


図 3-10 連結板のひずみ分布 (8 列)

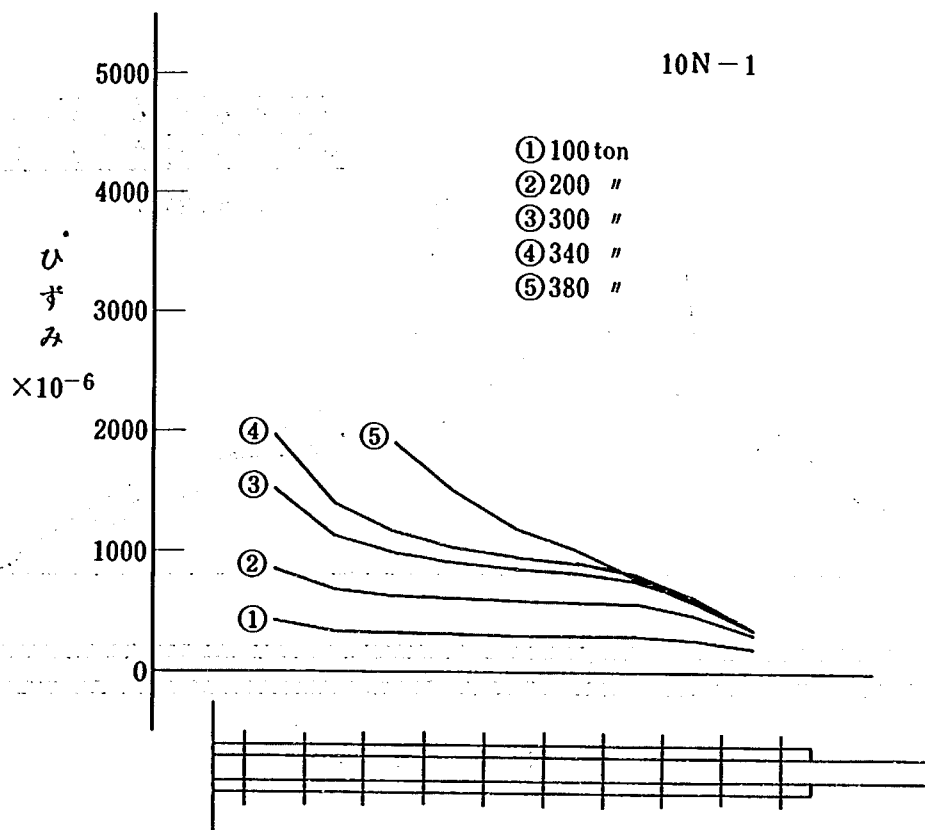


図 3 - 11 連結板のひずみ分布 (10 列)

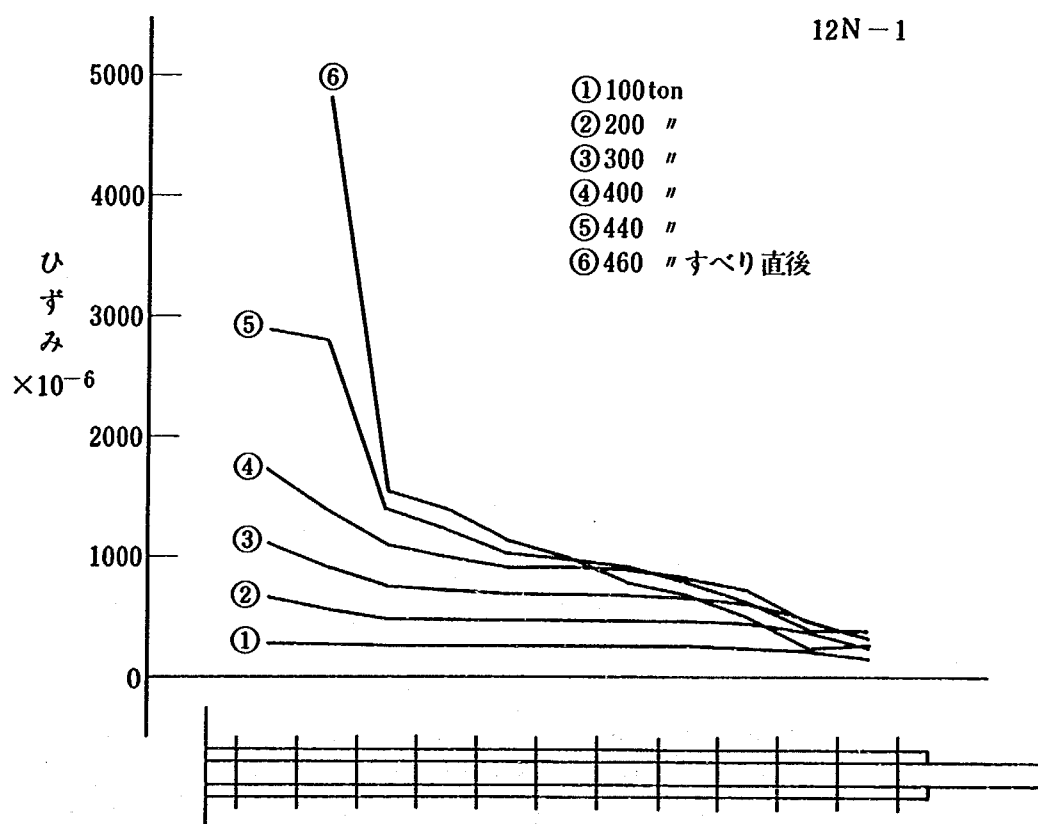


図 3 - 12 連結板のひずみ分布 (12 列)

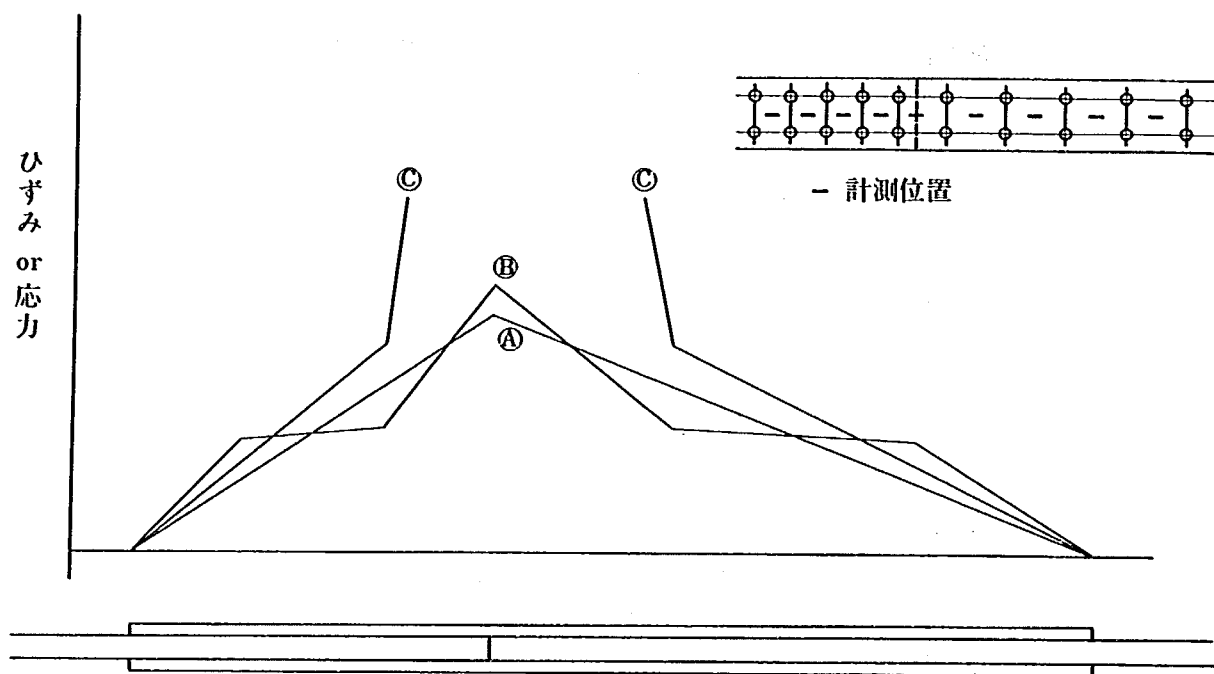


図 3-13 連結板のひずみ分布のパターン

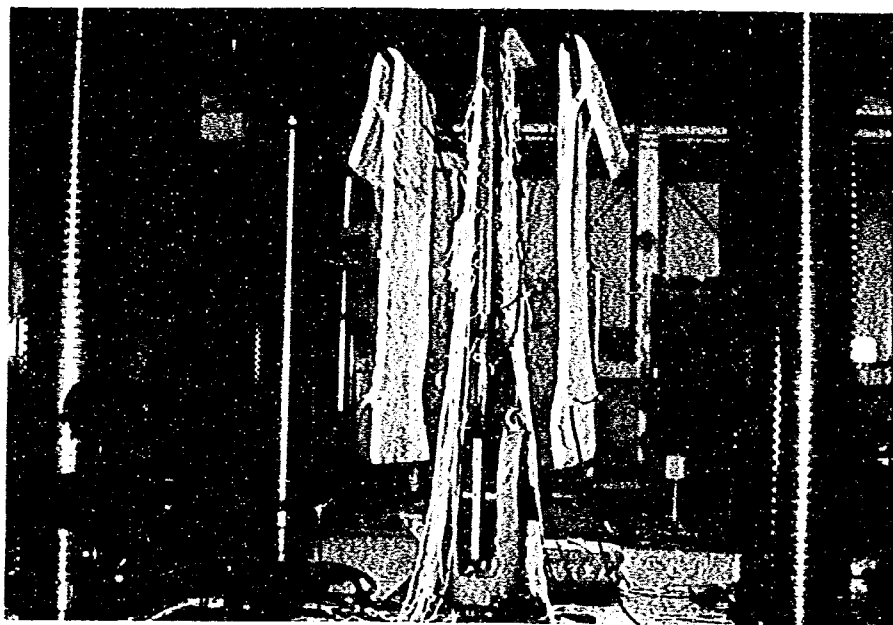


写真 3 - 1 載荷状況 (1)

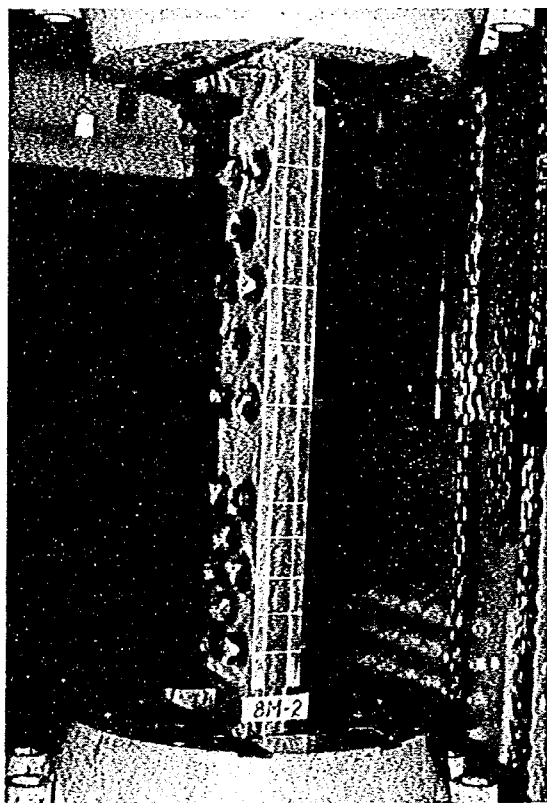


写真 3 - 2 載荷状況 (2)

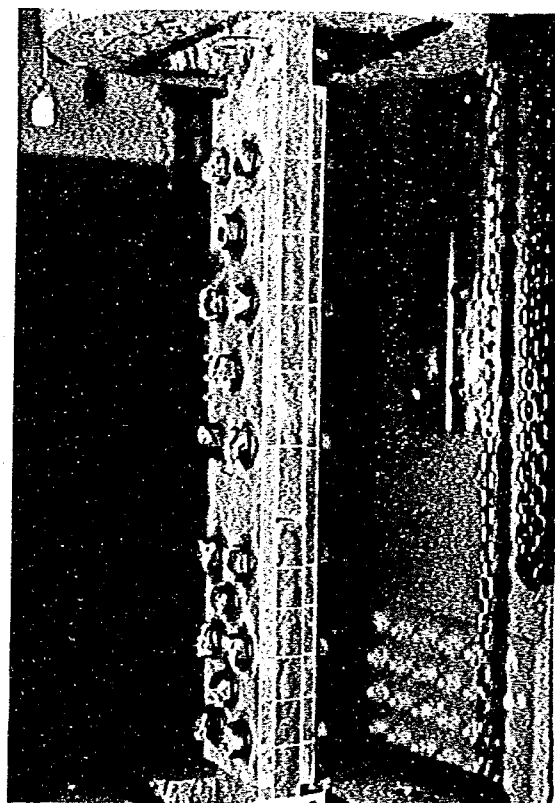


写真 3 - 3 すべり後の状態

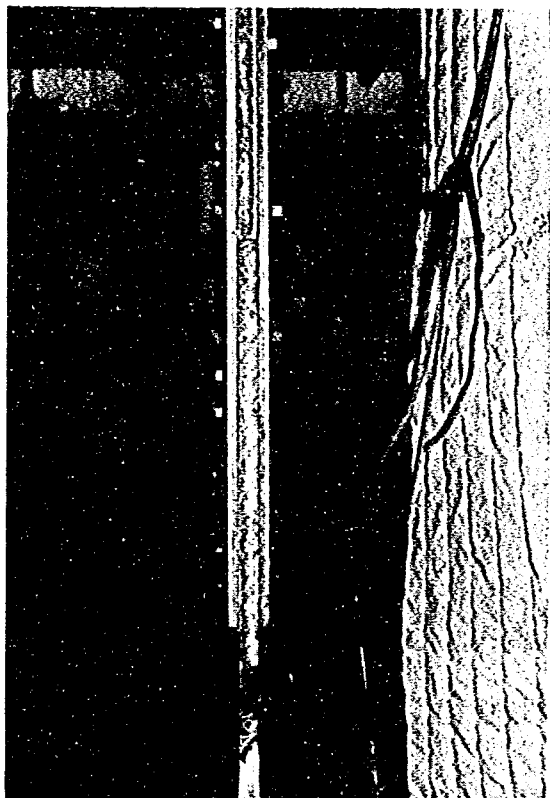


写真3-4 10N供試体 (すべり前)

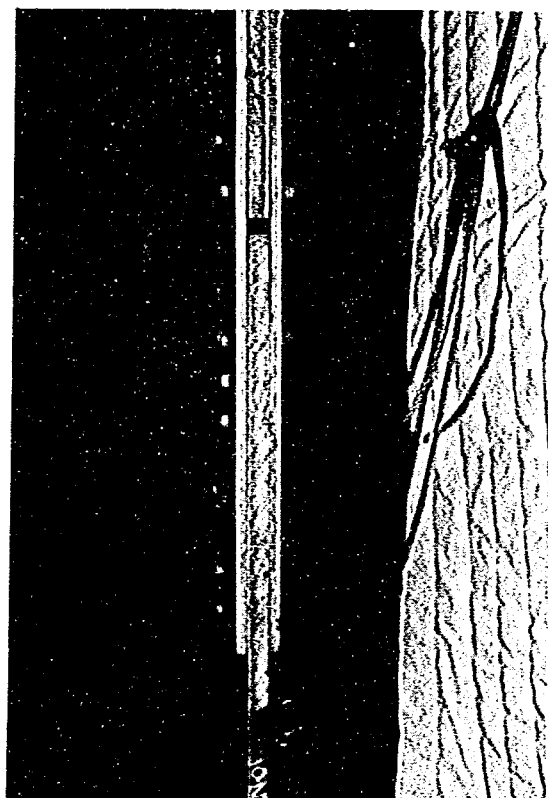


写真3-5 10N供試体 (部分すべり)

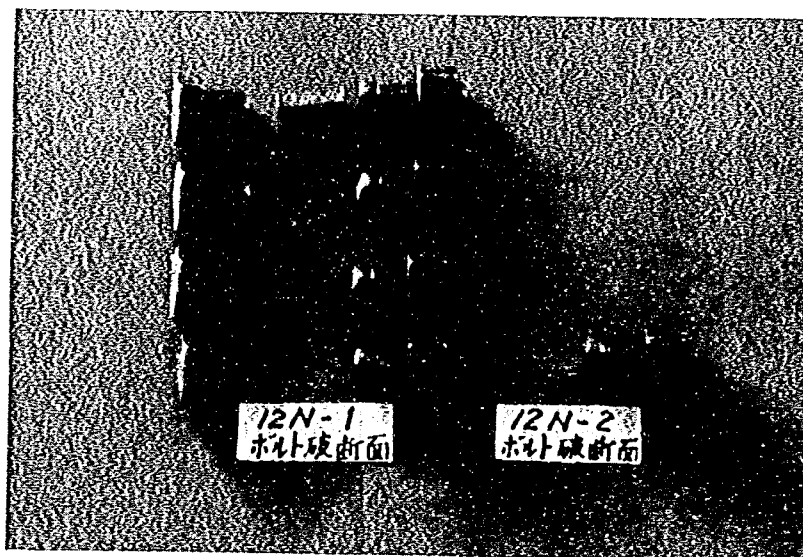


写真3-6 破断したボルト

## 4. 荷重に偏心のある継手に関する検討

### 4.1 概 要

橋梁主要部材の高力ボルト継手は、突合せ継手とするのが普通であり、重ね継手とすることは少ない。また、トラスのような骨組構造の継手においても、理論上の軸線と部材断面の重心を一致させるのが普通であるから、主要部材のボルト継手において、摩擦面内外の偏心曲げの影響を受けることは少ない。

しかし、横構や対傾構のように形鋼により構成される2次部材の場合には、摩擦面内外の偏心曲げの影響を避けることが難しいことが多く、また、対象が2次部材に限られることもあって、これに関する実験例は少ないのが実状である。

このようなことから、高力ボルト摩擦接合継手設計法見直しの一環として、摩擦面内外の偏心曲げの影響について検討することにした。試験は山形鋼を用いた5種10体の供試体により行ったが、その結果、摩擦面外の偏心曲げはすべり荷重を低下させないこと、摩擦面内の偏心はややすべり荷重を低下させる傾向があるが、その程度は実継手においてはわずかであることが明らかになった。

### 4.2 供 試 体

#### 4.2.1 供試体の種類

供試体の寸法および形状を図4-1(a)~(e)に示す。

供試体は、すべて $90 \times 90 \times 10$  mmの断面を有する等辺山形鋼と、ガセットプレートの役割を果たす厚さ19 mmの鋼板から構成されており、それぞれ次のような特徴を有している。

#### PおよびQ供試体

これらは、通常の山形鋼の使用状態を示すものである。摩擦面内の偏心を極小とするため、ボルト孔の位置を可能な限り山形鋼の鉛直部分に近づけている。しかし、この山形鋼断面の重心位置は、山形鋼背面からそれぞれ25.8 mmの位置にあるため、これらの供試体においても14.2 mmの面内偏心が残ることになる。また、面外についても25.8 mmの偏心を伴うことになる。

QとPの違いはボルト本数の違いだけである。引張山形鋼の有効断面積は、道路橋示方書Ⅱ、3.6に規定されているが、これにより算出した純断面積が、摩擦接合継手としても妥当であるかどうかを確認するため、P供試体では、3本のボルトによる許容力の和に対する山形鋼純断面の応力が、許容引張応力度と等しくなるように設計されている。これに対しQ供試体では山形鋼断面にかなりの余裕がある。したがって、有効断面の計算法が妥当であれば、PとQは本質的に違わないはずである。

以下の供試体は、すべてQ供試体を標準とし、部分的に寸法等を変更したものである。

#### R供試体

2本の山形鋼を背中合せに取付けたものであり、面外偏心の影響を取り除いたものである。

#### S供試体

ボルト孔位置を山形鋼の側方にずらし、面内偏心の影響が最も大きくなるようにした供試体である。偏心量はQ供試体の約2倍の29.2 mmである。

#### T供試体

偏心量が同じであっても、部材長さが短くなる程偏心曲げの影響が顕著に現われると考えられる。この供試体は山形鋼の長さを半分の1 mとしたものである。

供試体の数量は、上記5種それぞれ2体ずつ、合計10体である。

#### 4.2.2 使用鋼材

使用した鋼材は、山形鋼がSS 41、ガセットプレートがSM50である。引張試験の結果を表4-1に示す。高力ボルトはすべてF10T、M22である。

表4-1 素材の引張試験結果

| 鋼 種      | 板 厚<br>(mm) | 降伏強さ<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 引張強さ<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
|----------|-------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 山形鋼SS 41 | 10          | 3,030                         | 4,500                         |
| SM50     | 19          | 3,520                         | 5,230                         |

#### 4.2.3 接合面の処理および高力ボルトの締付け

接合面の処理および高力ボルトの軸力管理については、第3章のシリーズに準じて行い、試験精度の維持を図った。したがって、ここでは詳細については省略する。

#### 4.3 載荷試験

載荷試験には、200/250トン万能疲労試験機を使用した。試験の状況を写真4-1～3に示す。

載荷は、途中で除荷することなしに連続的に破断まで行い、すべりが生じた時点で荷重を一定に保ち、その値を記録した。

#### 4.4 試験結果と考察

試験の結果を表4-2にまとめて示す。

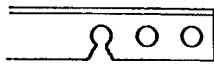
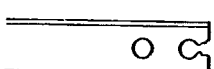
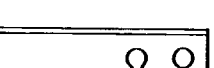
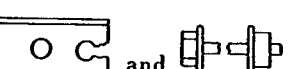
標準としたQ供試体のすべり荷重は、摩擦係数に換算すると平均0.562となり、道路橋示方書で基準としている0.4を大きく上回っている。したがって、本供試体に使用した程度の山形鋼の継手では実用上問題ないものと考えられる。

ボルト数を多くしたP供試体のすべり荷重は、摩擦係数にして平均0.569とQ供試体とほぼ等しい値となっており、山形鋼の有効断面積の算出法が妥当であることを示している。

一方、面外偏心曲げの影響が無いはずのR供試体において、摩擦係数が最も小さくなっているのが注目される。ただし、この値は偏心のない突合せ形式（2面摩擦）の継手において通常得られる数値であり、とくに小さいものではない。むしろ、面外方向の偏心曲げにより、すべり荷重が逆に高くなると考えた方がよさそうである。最も面外偏心の影響が大きいと予想されるT供試体において、摩擦係数が最も高くなっていることも、これを裏づけているものと考えられる。

摩擦面内の偏心曲げについては、摩擦係数がS供試体でQ供試体に比べて約5%低くなっていることから、ややすべり荷重を低下させる傾向があるものと考えられる。したがって、継手の設計におい

表4-2 試験結果総括表

| 記 号 | すべり荷重<br>(ton) | 摩擦係数<br>$\mu$ | 破断荷重<br>(ton) | $\alpha$ | 供試体の特徴             | 破 断 状 況                                                                             |
|-----|----------------|---------------|---------------|----------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| P-1 | 34.70          | 0.564         | 58.75         | 1.00     | ボルト数 1.5 倍         |  |
| 2   | 35.25          | 0.573         | 59.55         |          |                    |                                                                                     |
| Ave | 34.98          | 0.569         | 59.15         |          |                    |                                                                                     |
| Q-1 | 21.40          | 0.522         | 42.25         | 0.67     | 標準供試体              |  |
| 2   | 24.70          | 0.602         | 40.95         |          |                    |                                                                                     |
| Ave | 23.05          | 0.562         | 41.60         |          |                    |                                                                                     |
| R-1 | 38.50          | 0.470         | 76.15         | 0.24     | 面外曲げの影響なし          |  |
| 2   | 40.15          | 0.490         | 75.80         |          |                    |                                                                                     |
| Ave | 39.33          | 0.480         | 75.98         |          |                    |                                                                                     |
| S-1 | 22.00          | 0.537         | 34.85         | 0.67     | 面内曲げ大              |  |
| 2   | 21.40          | 0.522         | 36.00         |          |                    |                                                                                     |
| Ave | 21.70          | 0.530         | 35.43         |          |                    |                                                                                     |
| T-1 | 25.55          | 0.623         | 40.30         | 0.67     | 供試体長さが小さいので偏心の影響が大 |  |
| 2   | 24.45          | 0.596         | 40.65         |          |                    |                                                                                     |
| Ave | 25.00          | 0.610         | 40.48         |          |                    |                                                                                     |

て偏心に対する配慮はやはり必要である。しかし、この山形鋼についてはこれ以上の偏心はあり得ないことや、より大きい形鋼であれば、重心線上にボルト孔を設けたり、ボルトを2列にすることにより、面内偏心の影響を回避できることを考えれば、實際上問題となるような低下量ではないと考えられる。

T供試体では、面外偏心による摩擦係数の増加が顕著であったため、面内偏心曲げによる影響は見ることができなかった。

次に破断状況についてみることにする。

継手の破断性状には、表4-2に示したように3種類あった。それぞれについて写真4-4～6に示す。

破断に色々な形態がみられたのは、供試体によりボルトのせん断強度と継手強度のバランスが異っていたためと考えられる。継手が無駄なく設計されていれば、P供試体のように純断面で引張破壊するはずである。

引張破壊した2つの供試体では、P供試体の破断荷重が面外偏心の影響を受けながらも、継手の純断面積と鋼材の引張強さの積(46.125 ton)を上まわったのに対し(写真4-3)、面内偏心の大きいS供試体では大きく下まわっているのが注目される。したがって、破断についても、面内の偏心の影響が不利に作用することが明らかである。

#### 4.5 ま と め

試験の結果、次の点について確認することができた。

- (1) 摩擦面外方向の偏心曲げは、すべり荷重を高めるように働く。また、破断荷重に対しても悪い影響はない。
- (2) 摩擦面内方向の偏心曲げは、すべり荷重をやや低下させる傾向がある。しかし、その程度は大

きいものではなく、山形鋼程度の継手に生じる偏心の影響はわずかである。ただし、破断についてみると、強度をかなり低下させるので、やはり偏心量を最小に押える配慮は必要である。

(3) 山形鋼の有効断面積の算出法については、現行の示方書による規定で何ら不都合はない。

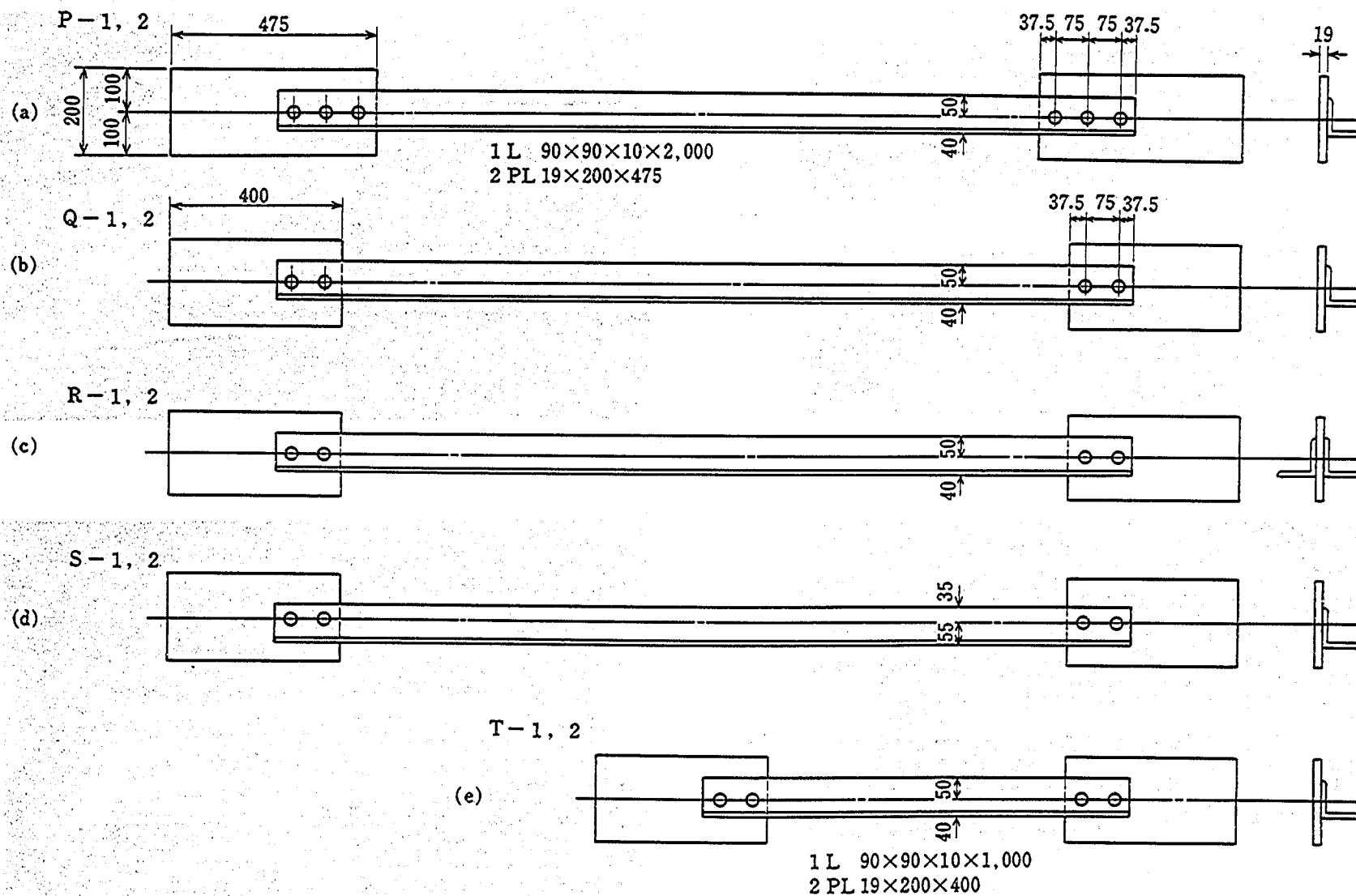


図 4 - 1 供試体の寸法・形状



写真4-1 試験状況

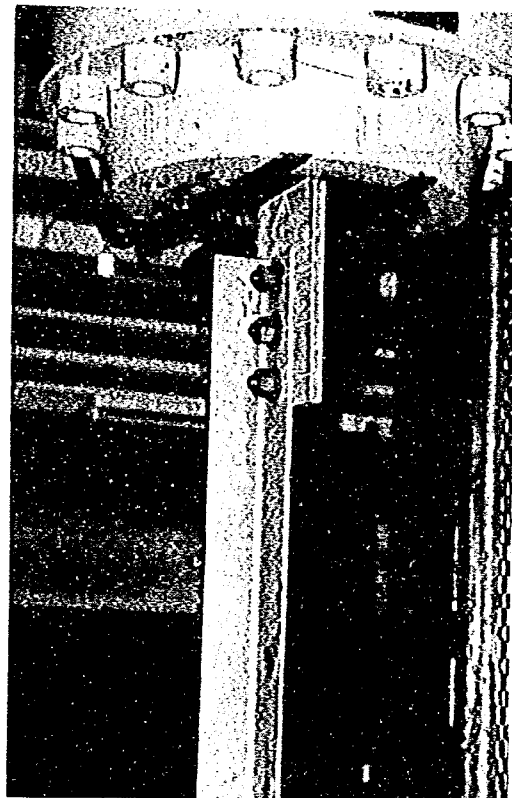


写真4-2 上側継手すべり

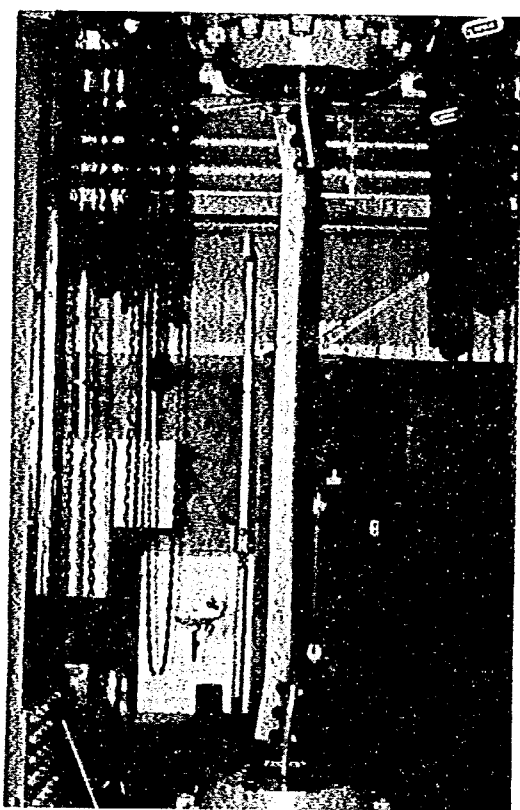


写真4-3 破断直前 (P-2 供試体)

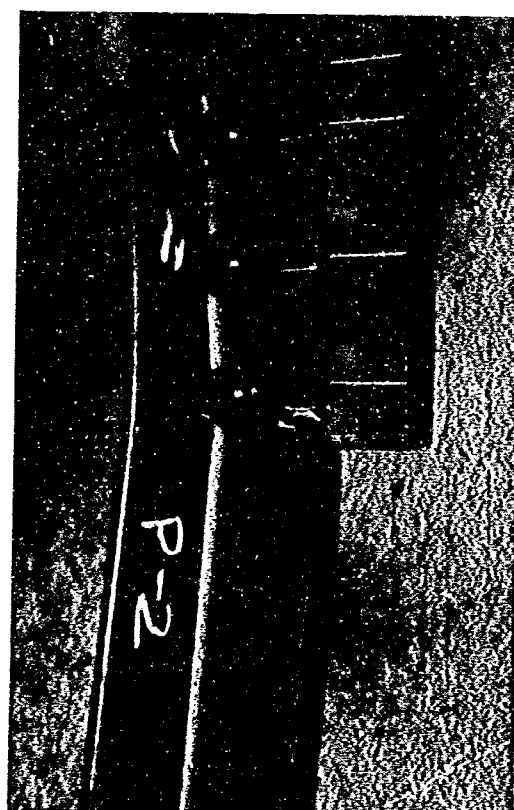


写真4-4 引張形破断例

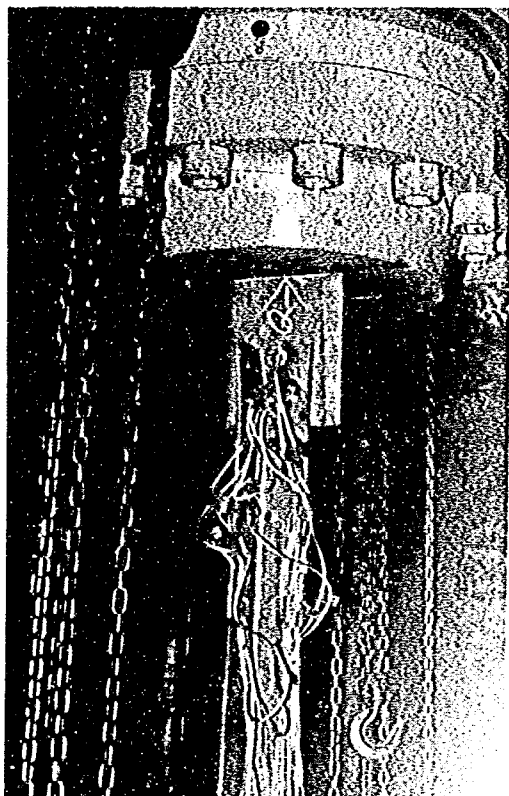


写真 4 - 5 はしぬけ形破断

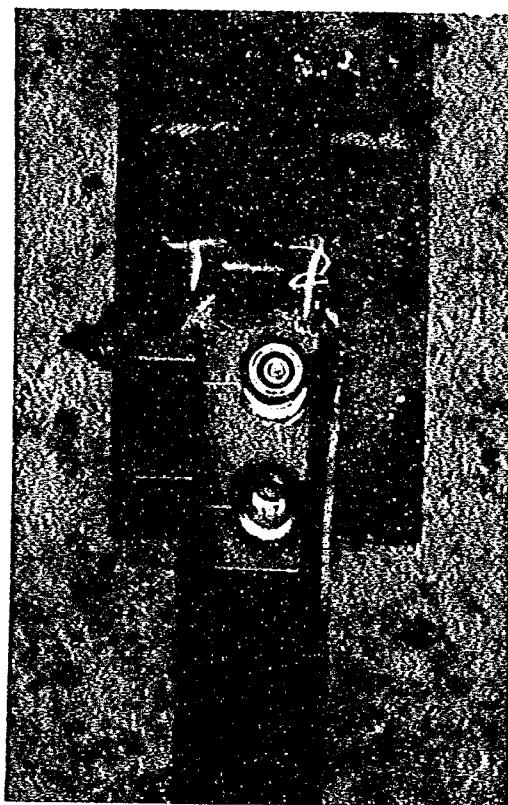


写真 4 - 6 ボルト破断

### 参 考 文 献

- (1) 田島二郎：高力ボルト摩擦接合概説，技報堂，1966
- (2) 日本鋼構造協会，(社)鋼材倶楽部：鋼構造接合資料集成，技報堂，1977
- (3) 阪神高速道路公団：港大橋工事誌，土木学会，1975
- (4) 建設省土木研究所：高力ボルト大型継手実験，土木研究所資料，第 316 号，建設省土木研究所，1967

高力ボルト摩擦接合継手に関する試験調査(I)引張荷重を受ける継手のすべり耐力

土木研究所資料第1871号  
昭和57年9月(1982年)

建設省土木研究所橋梁研究室  
佐伯彰一、西川和広、滝沢 晃

キーワード 高力ボルト摩擦接合継手、設計基準

現行の高力ボルト摩擦接合継手の設計基準を見直し、指摘された問題に対し、試験を行って検討した結果を報告したものである。



郵便はがき

四十円切手  
を貼って下さい

305-□□

建設省土木研究所構造橋梁部  
橋梁研究室 御中

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

No. 21

No. 21

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第1871号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印