

引張ボルト接合によるラーメン 隅角部に関する実験的研究

田島二郎*・阿部英彦*
大宮克己**・三木三省**
熱田稔雄**

1. はしがき

鋼ラーメンの隅角部は、部材工作上も、応力状態の上からも複雑であって、設計に当たっているといろいろと工夫を要する部分である。単体として作られた柱とはりを、引張ボルト継手方式によって結合し、部材の製作上も、架設の点からもより容易なラーメン構造とすることが考えられる。使用中の鉄道線路をまたぐ立体交差や、線路直上高架などでは、重量が比較的小さい鋼ばりを扱おうことは、施工の安全、簡易さにおいて有利であり、高強度のボルトの能力を十分に発揮させ得る引張ボルト方式は、現場施工ボルト数を減らすことができ、より短期間で容易な施工に適すると考えられる。なお、この方法は、線路直上というような場合に限らず、種々の場合に適用して有利な方式であろう。

ここに、引張ボルト継手方式のうち長締め形式(図一1・右)を用いたラーメン隅角部の、静的強度および疲労強度に関する資料を得るために行なった模型実験について報告する。

引張ボルト接合では、ボルトにあらかじめ相当の軸力を導入しておくので、外力の変動の大きさの割合に、ボルトの軸力の変化は小さく、そのために高い疲労強度をもつものと予想される。

実験の結果、静的にはラーメン隅角部は弱点にならな

* 正会員 国鉄構造物設計事務所
** 正会員 川崎重工業(株)鉄構事業部

いことがわかった。くり返し荷重に対しても相当の耐力を示したが、構造細部になお若干、改善の余地があると思われる。

なおラーメン隅角部の実験に先立って、局所的な性状を知り、構造各部の適当な形状寸法を決める参考とするために、あわせていく種類かの部分実験を行なった。

今回行なった全体実験、および部分実験の種類を表一1に示す。

2. 部分実験

(1) パイプ圧縮試験

従来、引張ボルト接合部に引張荷重を載荷した場合の

表一1 引張ボルト接合ラーメン隅角部実験一覧表

| 実験名 | 試験体図 | 荷重 | 記号 | 数量 | 目的 | 備考 | |
|------------------|-----------|--------------|------|----|----------------------|-----------------------------|------|
| 部 分 実 験 | パイプ圧縮 | 静的圧縮 | c-1 | 1 | ボルトおよびパイプ軸力の変化 | ボルト初張力 5 ton | |
| | | | c-2 | 1 | | 20 ton | |
| | リブ圧縮 | 静的圧縮 | a-1 | 1 | 端板のたわみ剛性 | 板厚=12 | |
| | | | a-2 | 1 | | 12+22 | |
| | | | a-3 | 1 | | 22 | |
| | | | a-4 | 1 | | 25 | |
| | リブ引張 | 静的引張および繰返し引張 | b-1 | 2 | 応力分布および疲労強度に与えるリブの影響 | 平板にリブをつけたもの | |
| | | | b-2 | 3 | | リブに端板をつけたもの 1体はグラインダー仕上げ | |
| | | | b-3 | 4 | | 引張ボルト接合したものの。2体はグラインダー仕上げ | |
| | ラーメン隅角部実験 | 繰返し荷重 | 静的引張 | A | 1 | 応力分布 | 弾性範囲 |
| B | | | | 1 | | | |
| 静的圧縮 | | | A | 1 | 応力分布および静的強度 | 破壊実験 | |
| | | | B | 1 | | | |
| | | | | | 繰返し荷重 | 疲労強度 | — |

ボルト軸力については、計算および実験がいくつか行なわれているが、接合部そのものがかなり複雑な形をしているので、実験結果を計算値と比較するのにいろいろむずかしい問題がある。

また、ラーメン隅角部においてボルトによってあらかじめ圧縮を受けているリブがさらに外力で圧縮を受ける場合があるが、この場合のボルト軸力の変化とリブ応力の変化の関係もつかんでおく必要がある。ここでは計算方法の妥当性を確認するために、リブとしては最も単純な形をしたパイプを用い、圧縮試験を行なって、ボルト軸力およびパイプ軸力の変化について調べた。試験体は図-2に示すように、鋼管(STK 41, 89.1φ×4.0)を端板(25mm)を介して高力ボルト(F 11 T, W 7/8)で締付けた構造よりなる。試験結果を図-3に示す。横座標に外力を表わし、縦座標にはボルト軸力およびパイプ軸力を表わしている。ここに、ボルト軸力およびパイプ軸力は、それぞれに貼布したワイヤーストレインゲージの読みの平均値、外力は試験機の示した値による。●印はボルト初張力が21.4tでかなり大きい場合で、ボ

図-2 パイプ圧縮試験体

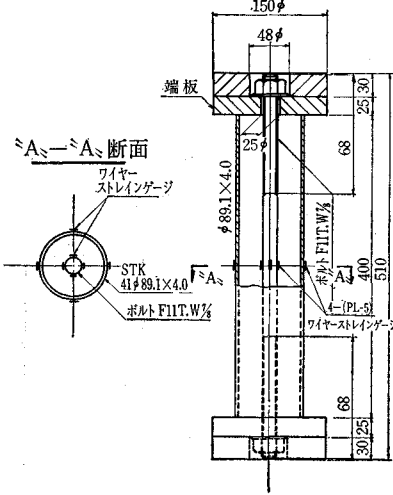
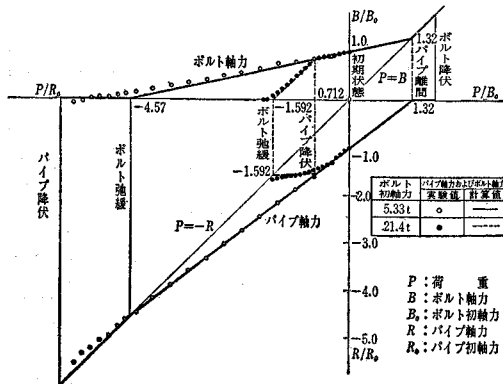


図-3 パイプ軸力およびボルト軸力



行した。実験値が計算値と異なるのは端板の変形が主な原因と思われる。

(2) リブ圧縮試験

パイプ圧縮試験においても認められたように、端板の変形は引張ボルト接合の挙動に影響を与える。すなわち、剛度においてボルトの断面が減少したのと同じ効果を与える。ここでは、ラーメン隅角部実験に用いたリブおよび端板と同形式の板について、図-4に示すような圧縮試験を行ない、端板のたわみを求めた。なお、端板厚は、12mm, 22mm, 25mm および 12+22mm (2枚)の4種類である。結果も同図に示す。このグラフの直線部の傾斜より、各端板のたわみ剛性が求められる。これを式(1)を用いて計算したボルトの断面修正係数 γ を示すと図-5のようになる。ただし式(1)は弾性範囲内で適用される。

$$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{EA_B \cdot \delta}{L_B \cdot P}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

E: ヤング率 2.1×10^5 (t/cm²)

A_B: ボルト断面積 (cm²)

L_B: ボルト締付長 (cm)

P: 外力 (t)

δ : 端板のたわみ (cm)

これによりボルトが長い場合には、端板の変形の影響

図-4 リブ圧縮試験体および試験結果

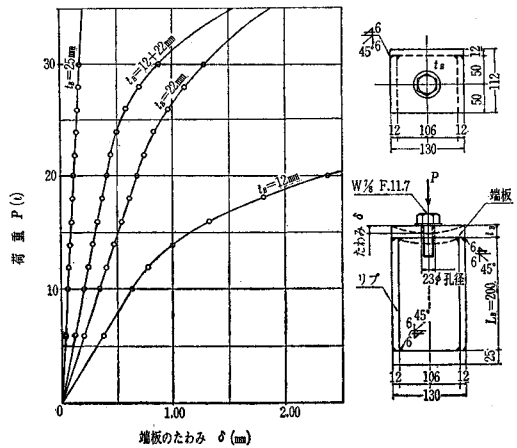
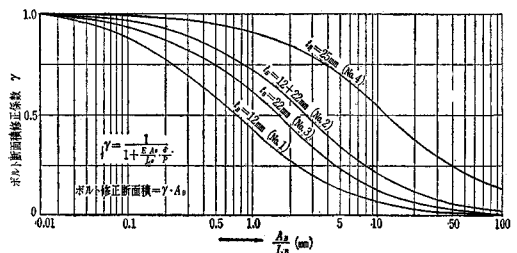


図-5 端板の変形によるボルト断面修正係数 γ

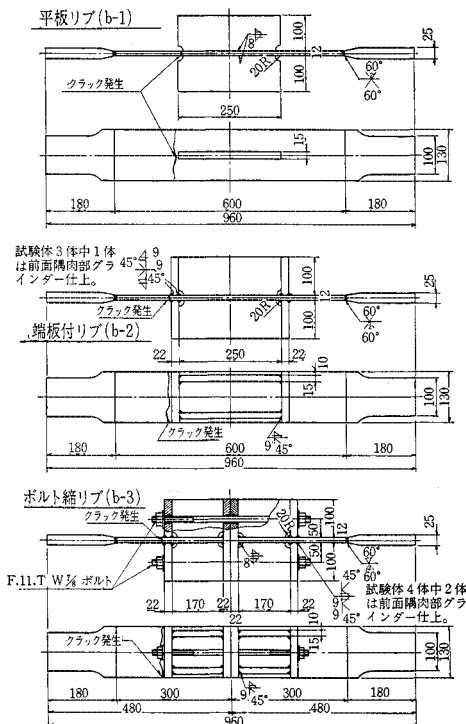


が小さいことがわかる。ラーメン本体実験に用いたのと同じ端板 12+22 mm については、たわみ剛性として、 $P/\delta=490 \text{ t/cm}$ が得られるので、 $L_B=25.0+1.2+2.2=28.4 \text{ cm}$ 、 $A_B=3.88 \times 0.995=3.86 \text{ cm}^2$ (ねじ部の存在を考えたボルト平均断面)として $r=0.637$ が得られる。すなわちラーメン本体の場合、端板の変形により、剛性に関してボルト断面積が約63%に減少したのと等価となる。実際の場合には、リップは板フランジに接合されており、端板もボルト2本分が連続となっているので、もっと剛であると思われる。

(3) リップ疲労試験

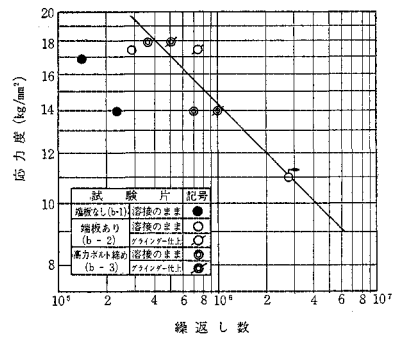
ラーメン隅角部本体のボルト締めリップの部分を取り出したものについて、片振りくり返し引張試験を行なった。試験体の形状寸法は図-6に示すように b-1, b-2, b-3 の3種類である。b-1 はリッププレートだけを母板にすみ肉で溶接したもの、b-2 はリッププレートに端板を付けたもので、b-1 と比べることにより、端板の影響を見ることができる。b-3 はボルトにより接合したもので、b-2 と比較することによりボルト締め付けによる影響がわかる。b-3 は隅角部模型のリップ部分と構造が似ている。くり返し試験の前、各形式の1本ずつについて弾性範囲の静的引張試験を行ない、応力分布を求めた。疲労試験は b-1 形式2体、b-2 形式3体、b-3 形式4体について行なった。そのうち b-2 の1体と b-3 の2体は端

図-6 リップ引張疲労試験体および破断状況図



板脚部の溶接ビードをグラインダーで仕上げた。試験機は Rosen-Hausen 型疲労試験機で、荷重範囲は下限をほぼ0とする片振り引張

図-7 リップつき板疲労試験結果 (片振り)



で、くり返し速度は 500 回/分である。S-N 線図を 図-7 に示す。図中、応力度としては母板の平均応力度を用いた。結果をまとめると

(1) きれつは b-1 ではリップ端部、b-2 および b-3 では端板の前面すみ肉溶接部の母板縁から生じた (図-6)。

(2) b-1 では破断時において、他方のリップ端部にもきれつが認められた。

(3) S-N 線図上で、b-2 と b-3 の疲労強度は、b-1 に比べてかなり高く、応力集中の軽減に対する端板の効果が認められる。

(4) b-2 と b-3 間の差はほとんど認められなかった。すなわちボルト張力により端板のすみ肉溶接部に局部的な曲げが加わって疲労強度を低下させる効果はほとんどないと考えられる。

(5) b-2 および b-3 で溶接部をグラインダー仕上げたものと、溶接のままのものとの差は、それほど大きくはなかった。この原因はこの部分のすみ肉の仕上げが必ずしも十分ではなかったことにあったようであるが、実際の製作でも仕上げは困難なことが多く、この点注意が必要である。

3. ラーメン隅角部実験

図-8 に示すように、H 型断面および箱型断面の柱梁よりなる接合部を各4体製作し、各1体については、静的引張試験および静的圧縮試験を行ない、残り各3体については疲労試験を行なった。

供試体に用いた材料は主に SM 41 A であり、高力ボルト、ナット、座金は F 11 TW 7/8 のセットを用いた。なお初期締め付け軸力はすべて、20 t である。

(1) 静的試験

2種類の試験体 A-1, B-1 に対して 図-9 の要領で静的引張および圧縮試験を行なった。まず弾性範囲内で静的引張試験を行ない、つぎに同一試験体に対して圧縮荷

図-8 隅角部試験体

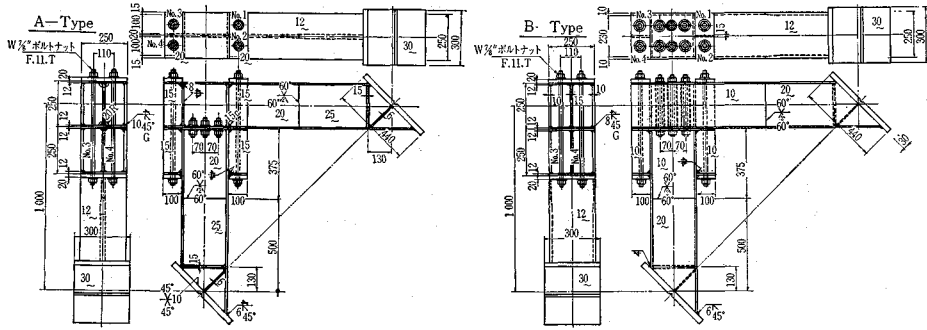


図-9 隅角部模型載荷要領

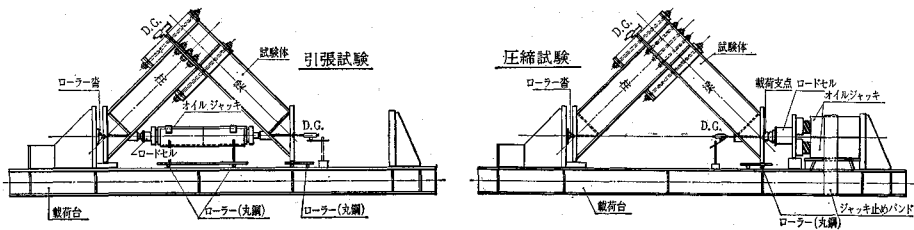
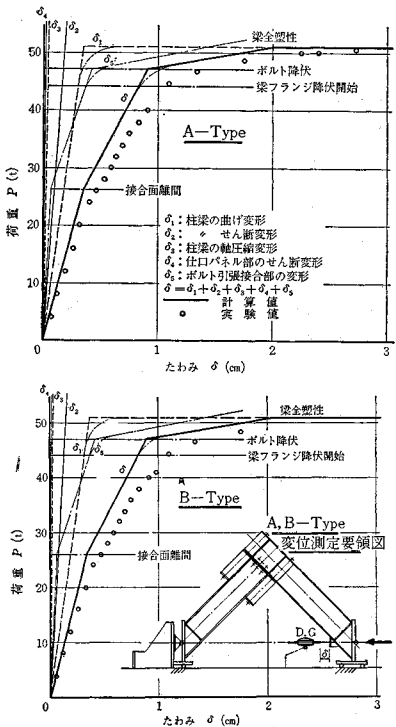


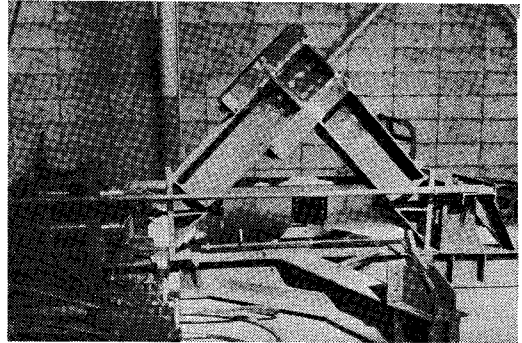
図-10 隅角部模型荷重-変位図



重を載荷して破壊に至らしめた。ひずみおよびたわみ計測は、電気抵抗線ひずみ計（ゲージ長さ5mm），およびダイヤルゲージ（ストローク50mm）を用いて行ない、荷重は30tオイルジャッキで与えた。荷重測定には50tおよび100tロードセルを用いた。

A-Type および B-Type の荷重変位曲線を図-10 に

写真-1 A-Type の静的試験



示す。ここに、実線は計算値であり、つぎに記す5つの変形を加え合わせた値である。

- ① 柱およびはりの曲げ変形— δ_1

$$\delta_1 = \left(\frac{l_C^3}{6EI_C} + \frac{l_B^3}{6EI_B} \right) P$$

EI_C, EI_B : 柱およびはりの曲げ剛性

l_C, l_B : 柱およびはりのアームの長さ

- ② 柱およびはりのせん断変形— δ_2

$$\delta_2 = \left(\frac{\alpha l_C}{2GA_C} + \frac{\alpha l_B}{2GA_B} \right) P$$

A_C, A_B : 柱およびはりの平均断面積

G : せん断弾性係数

α : 2.5 と仮定する

- ③ 柱およびはりの軸圧縮変形— δ_3

$$\delta_3 = \left(\frac{l_C}{2EA_C} + \frac{l_B}{2EA_B} \right) P$$

A_C, A_B : ② に同じ

E : ヤング係数

④ 仕口パネルのせん断変形 δ_4

$$\delta_4 = \frac{1}{\sqrt{2}} r(l-d) = \frac{1}{2tG} \left(\frac{l}{d} - 1 \right) \left(\frac{l}{d} - \frac{1}{2} \right) P$$

r : パネルのせん断ひずみ

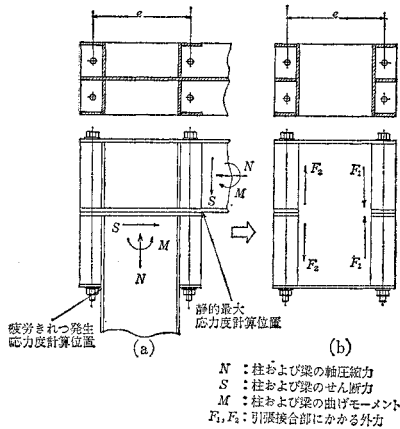
l : アーム長さ

d : 柱およびはり断面の長さ

⑤ 引張ボルト接合部の変形 δ_3

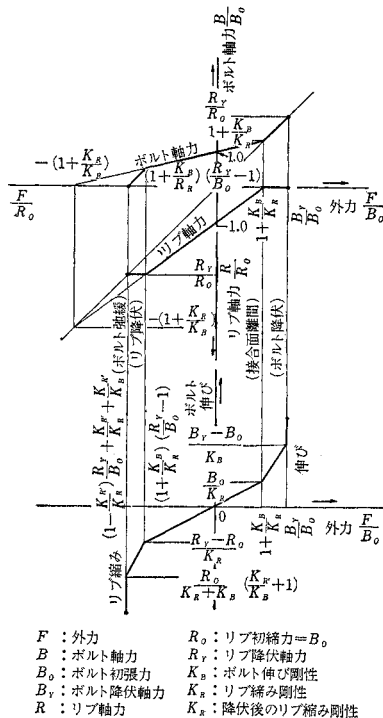
接合面において、引張または圧縮に抵抗する部分は図-11(a) のようであるが、近似的に図-11(b) のようにボルト近辺(斜線部分)のみであると考えて計算する。引張ボルト接合部にかかる荷重 F_1, F_2 (ボルト1本

図-11 接合部の近似計算仮定



N : 柱および梁の軸圧縮力
 S : 柱および梁のせん断力
 M : 柱および梁の曲げモーメント
 F_1, F_2 : 引張接合部にかかる外力

図-12 引張りボルト接合におけるボルト軸力、リブ軸力および荷重と伸びの関係



F : 外力
 B : ボルト軸力
 B_0 : ボルト初張力
 B_Y : ボルト降伏軸力
 R : リブ軸力
 R_0 : リブ初縮力 $=B_0$
 R_Y : リブ降伏軸力
 K_B : ボルト伸び剛性
 K_R : リブ縮み剛性
 K_B' : 降伏後のリブ縮み剛性

あたり) と外力 P の関係は次式となる。

$$F_1 = \frac{M}{e} + N = -\frac{1}{2\sqrt{2}} \left(\frac{l}{e} + 1 \right) P$$

$$F_2 = \frac{M}{e} - N = \frac{1}{2\sqrt{2}} \left(\frac{l}{e} - 1 \right) P$$

引張ボルト接合部に荷重 F がなかったときに生ずる伸び(または縮み) Δ は、図-12 のようになるので、この変形により、載荷点に生ずる変位 δ_3 は 図-13 を用いて、

$$\delta_3 = \frac{1}{2} (A_2 - A_1) \frac{l}{e} - \frac{1}{4} (A_1 + A_2)$$

として求められる。図-12 には、引張ボルト接合におけるボルト軸力 (B)、リブ軸力 (R) の変化も同時に描いてある。

これらの変形の中では、引張ボルト接合部の変形が最も大きく、ついで柱およびはりの曲げ変形が大きな割合を占める。実験結果は計算値に割合に近い値を示し、引

図-13 接合部の変形によるたわみ量

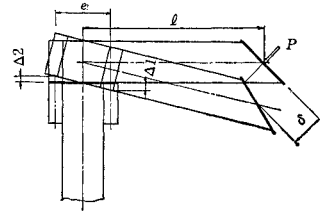
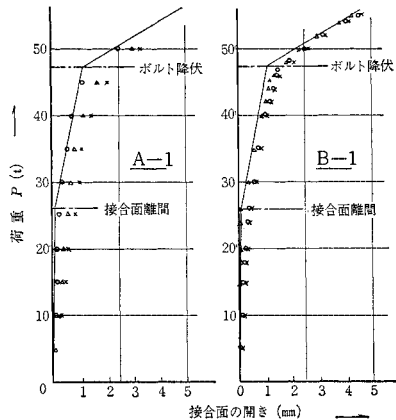
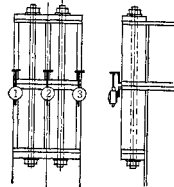


図-14 接合面開き量



○ 1
 △ 2
 × 3
 実測値
 — 計算値

ボルト降伏後はひずみ硬化を考慮した。



張側接合面の離間、ボルト降伏、はりの全塑性等が生ずるときの荷重はよく合っているようである。

図-14 に、引張側接合面の開き量と荷重の関係を示す。実線は計算値で 図-12 より求めたものである。

この結果は、計算値との差が認められる。この理由は接合面の平面度の不整、および回転の中心位置の相違などによるものと考えられる。

ボルト軸ひずみおよびリブの軸ひずみの変位は図-15, 16 に示す。計算値は 図-12 により求めたものである。

これらの実験結果は、パイプ圧縮試験(図-3)で見られたような接合面離間、ボルト降伏等の特徴ある挙動を明瞭には示さない。

このことより、本試験体のような構造の接合部の場合には、その応力分布が複雑で単純な引張ボルト接合の計算では解析できないようである。

また、各ボルトとも、初張力は等しく 20 t であるが、載荷後に付加される軸力は、各ボ

ルトにより異なる。これは柱とはりの接合面を一様に接触させることが困難であること、端板その他多少の製作上の差などのためと思われる。

静的圧縮試験における最高荷重は、A-Type, B-Type ともに約 58 t であり、最大曲げ応力度の生ずるはり断面 (図-11 参照) が全塑性状態になる荷重 50 t よりかなり大きい。これはひずみ硬化などの影響と思われる。なお全塑性状態となる荷重 P_p は次式により求めた。

$$\frac{M}{M_p} = 1 - \frac{A^2}{4wZ_p} \left(\frac{N}{N_p} \right)^2$$

図-15 隅角部圧縮実験ボルト軸ひずみ

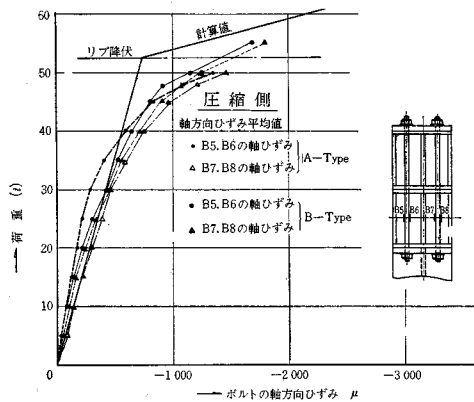
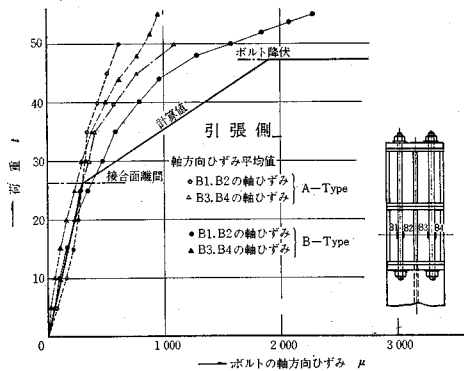
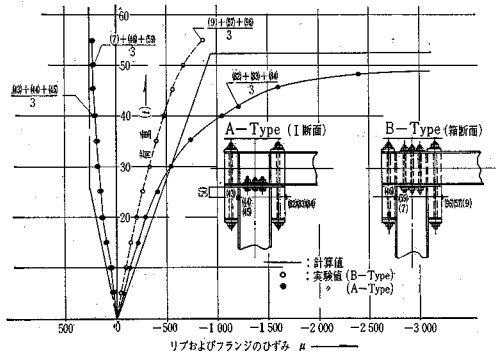


図-16 隅角部圧縮実験リブプレートのひずみ



$$M: \text{曲げモーメント} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times 77.5 P_p$$

$$M_p: \text{全塑性モーメント} = \sigma_y \cdot Z = 2.9 \times 972 \text{ t-cm}$$

$$N: \text{軸圧縮力} = \frac{1}{\sqrt{2}} P_p$$

$$N_p: \text{降伏圧縮力} = \sigma_y \cdot A = 2.9 \times 105.2 \text{ t}$$

$$w: \text{ウェブプレートの板厚} = 2.0 \text{ cm}$$

$$A: \text{断面積} = 105.2 \text{ cm}^2$$

$$Z_p: \text{塑性断面係数} = 972 \text{ cm}^3$$

終局の変状としては、はりの圧縮フランジの隅角部に隣接した部分に局部的な屈曲が認められたが、隅角部はほとんど異状なく、ボルトはいずれも破断しなかった。 $\sigma_B = 12000 \text{ kg/cm}^2$ として計算したボルトが破断するときのラーメンに対する荷重は 57.2 t である。

(2) 疲労試験

A-Type と B-Type の各 3 体について、圧縮疲労試験を行なった。荷重は下限を 2 t とする部分片振りで、荷重速度は 250 回/分である。試験結果をまとめて表-2 に示す。柱の引張フランジに生ずる最大応力度と、本体に明瞭なきれつを認めるまでの荷重くり返し数との関係を 図-17 に示す。本体の疲労による異状の発生状況は一定ではないが、図-17 と 図-7 示すリブ付きの部分試験体の疲労強度によく似ていることは興味深い。

本試験体の場合、単純な計算による最大引張応力は、はりフランジのボルト孔近辺に生ずるにもかかわらず、ほとんどのきれつは 図-18 に示すように、A-Type、

図-17 ラーメン隅角部本体 S-N 線図

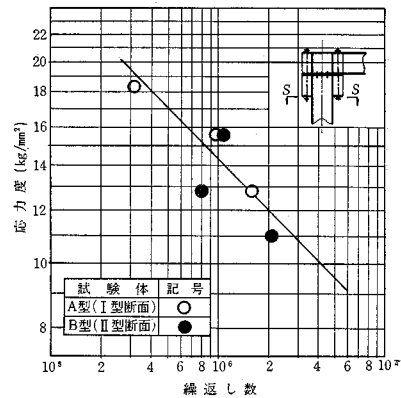
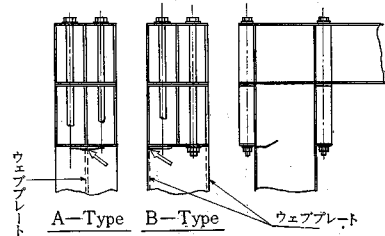


図-18 隅角部疲労きれつ発生位置

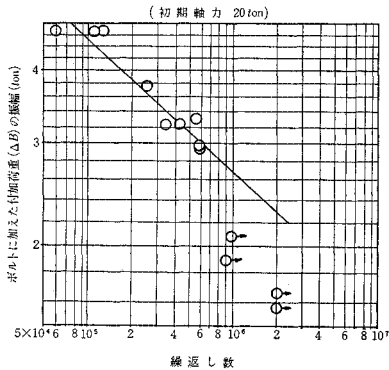


B-Type とともに柱の引張フランジの端板取り付け部の下側に沿って現われ、しかもその始点はフランジを介して腹板と交わる部分である。これは応力集中を考えれば、はりフランジのボルト孔は単なるノッチ効果を持つにすぎないが、柱フランジのリップ端板脚部には大きいノッチ効果のほかにリッププレートが応力が急激に流れ込んで、大きな応力集中の生ずることが考えられる。きれつ発

生後も剛性は低下することなく、さらに多くのくり返し荷重に耐え、最終状態は一般にきれつがウェブプレートに進展することにより起こる。

荷重が大でボルト軸力の振幅が大きい場合には、ボルトも破断する。ボルトにはあらかじめ 20 t の初張力が導入されているので、引張側の接合部だけでなく圧縮側のボルトにも部分片振りの引張り繰り返し、荷重が作用する。このためボルトの破断は引張側、圧縮側ともに生じた。破断したボルトは新しいものと取り替えて疲労試験を継続し、隅角部にきれつが生ずるまで載荷した。くり返し荷重 1 万回ごとにボルトおよび柱フランジのひずみ

図一十九 高力ボルト疲労強度 (W 7/8, F 11 T)



注) ボルトの付加荷重は、少しずつ変動するが、破断までの半分の回数における値を取った。

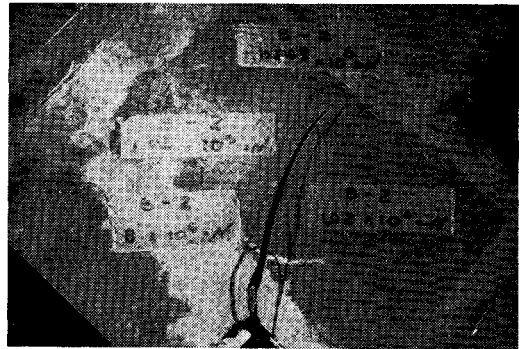
表一 表二 ラーメン隅角部疲労試験破壊状況

| A-Type | | 本 体 | 高力ボルトの破断 | B-Type | | 本 体 | 高力ボルトの破断 |
|--------------|-------------------------------------|-----|--|--------------|-------------------------------------|-----|--|
| 記 号 | A-2 | | 圧縮側ボルト No.1: 異状なし No.2: 一ヶ所 引張側ボルト No.3: 異状なし No.4: 134~158 ×10 ⁴ | 記 号 | B-2 | | 異状なし |
| 荷 重 | 16t~2t | | | 荷 重 | 19t~2t | | |
| 柱フランジ 応力度 | 14.6~1.8 =12.8kg/cm ² | | | 柱フランジ 応力度 | 17.4~1.8 =15.6kg/cm ² | | |
| 繰返数 | 159.12×10 ⁴ | | | 繰返数 | 105.48×10 ⁴ | | |
| 記 号 | A-3 | | 異状なし | 記 号 | B-3 | | 圧縮側 No.1: 44.2, 78.77, 58.17×10 ⁴ No.2: 異状なし 引張側 No.3: 58.17, 70.25, 78.77, 79.25 ×10 ⁴ No.4: 58.17, 79.25 ×10 ⁴ |
| 荷 重 | 19t~2t | | | 荷 重 | 16t~2t | | |
| 柱フランジ 応力度 | 17.4~1.8 =15.6kg/cm ² | | | 柱フランジ 応力度 | 14.6~1.8 =12.8kg/cm ² | | |
| 繰返数 | 95.14×10 ⁴ | | | 繰返数 | 79.25×10 ⁴ | | |
| 記 号 | A-4 | | 圧縮側ボルト No.1: 異状なし No.2: 25.4×10 ⁴ 引張側ボルト No.3: 13.14, 19.11, 31.67×10 ⁴ No.4: 異状なし | 記 号 | B-4 | | 異状なし |
| 荷 重 | 22t~2t | | | 荷 重 | 14t~2t | | |
| 柱フランジ 応力度 | 20.1~1.8 =18.3kg/cm ² | | | 柱フランジ 応力度 | 12.8~1.8 =11.0kg/cm ² | | |
| 繰返数 | 31.67×10 ⁴ | | | 繰返数 | 216.5×10 ⁴ | | |

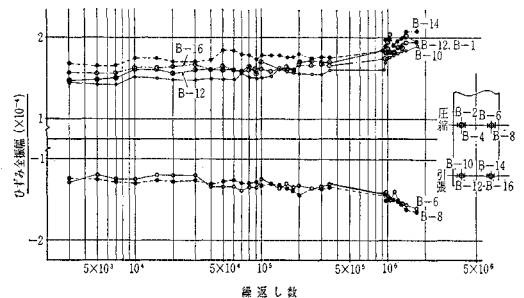
注) ボルトが破断した場合は、新しいボルトを挿入し締付けて試験を続けた。同じ番号のボルトが 2 回以上破断しているときの繰返し数は始めからの回数であり、そのボルトの受けた繰返し数ではない。

を電磁オッシロ グラフで計測した。ボルトに生ずる荷重振幅の平均値とボルト破断までのくり返し数の関係を示すと 図一十九 の S-N 線図となる。これより、本試験体

写真一 B-Type の疲労きれつ



図一二十 荷重くり返し中におけるボルトひずみ振幅の一例 (B-4)



に用いたボルトの200万回疲労限は、ボルト初張力20tの場合約2.3tとなり、それ以下の荷重振幅ではボルト破断は生じなかった。ボルトに作用するひずみ振幅は図-20に示されるように、くり返し数が増すにしたがって大きくなる傾向にあった。

なお、圧縮側の柱フランジにきれつが生じたことについては、溶接による残留応力、ボルト締付けによる局所的な引張応力、または接触面の不整に帰因して生ずる引張応力などいろいろの理由が考えられるが、不明の点が多いので現在検討中であり、確認のため圧縮疲労部分試験を行なっている。

4. ま と め

引張ボルト接合によるラーメン隅角部の模型実験、およびその部分実験を行なって得られた結果を以下にまとめる。

(1) 部分実験

(1) パイプ圧縮試験によれば、長締め形式の接合部の静的挙動は比較的単純で、パイプのように形状が単純な場合には計算により、かなりくわしく解析することができる。

(2) 上記の実験でボルト初張力の高いものと低いものと比較したが、挙動が非常に異なる。それゆえ、実際の設計に当っては、ボルトとその初張力の決定には十分な検討を要する。

(3) リブ圧縮試験によれば、引張ボルト接合部においては、端板の変形により、見かけ上のボルト伸び剛性は大きく低下する。この影響はボルト締付け長さが大きいほど小さくなる。

(4) リブ付板の疲労試験によれば、データは少ないが、端板無しの試験体の疲労強度は低く200万回疲労限は、7kg/mm²程度、これに対し、端板付きの試験体の200万回疲労限は、10~11kg/mm²程度と推測される。

(5) 上記試験で端板をボルトで締めつけたものは、(4)の場合と同等の疲労強度であると思われる。

(2) 本体静的実験

(1) ラーメン隅角部に用いられた引張ボルト接合部の挙動はかなり複雑で、接合面離間、ボルト降伏などの段階を明瞭には示さない。その理由としては、

㊦ 引張ボルト接合の挙動はボルト、リブプレート、端板の寸法およびボルト初張力など、多くの要因により影響を受けること

㊧ リブプレートの有効断面積が明確に定まらないこと

㊨ 柱とはりの接触面の不整を完全にとり除くことはできないこと。また、この部分の回転中心が変化すること

㊩ ボルトの本数が多いため、各ボルトが等しい挙動を示さないこと

などが考えられる。しかし各部の性状を個々に検討することにより、隅角部に生ずる応力および変形を、ある程度計算により推察することができる。

(2) 接合面離間後も剛性が急激に低下することはない、終局状態ははり断面の降伏により達せられた。

(3) 本体疲労実験

(1) ボルトで静的強度の割には疲労強度が大きいので、変動荷重を受ける構造物に引張ボルト接合を用いる場合、常時くり返される荷重では接合面離間荷重に対して適度の余裕をもつ必要がある。また疲労に強いボルトの形状を開発する必要がある。

(2) くり返し荷重により破断するボルトは、引張側の接合部だけに限らず圧縮側のボルトも破断することがある。

(3) 疲労によるきれつは、はりにはほとんど生じないで柱フランジの端板前面すみ肉溶接部に生じた。これよりこの部分の応力集中が大きいことがわかる。

(4) きれつは、柱の引張側フランジに限らず圧縮側フランジにも生ずる。

(5) 疲労試験中、ボルトに導入される応力振幅は、くり返し数が増すにしたがって、わずかに増加する。しかし、ナットのゆるみは認められなかった。

5. あとがき

引張ボルト接合によるラーメン隅角部の資料を得るために実験を行なった。接合部としては比較的解析しやすい長締め形式を用いたので、静的な性状はかなり明らかとなったが、疲労強度については不明な点が残っている。

それらの点について、今後、さらに実験を進めて、究明したいと思っている。

応力変動が大きく、くり返し数の特に多い構造物でないならば、今回の模型に用いたような形式で実用化できるものと考えられる。

終りに今回の実験にご協力下さった国鉄本社土木課、大阪工事局土木課および川崎重工の関係者の方々に謝意を表す。