

Br. 71-02



道路事業調査費
橋に関する試験調査
橋梁上部構造の調査・設計・施工
基準の作成に関する試験調査

4

土木研究所資料
第685号

○ 床組連結部の挙動に関する実験的研究

○
昭和46年6月

建設省土木研究所

目 次

1. ま え が き	1
2. 試 験 体	1
3. 載荷および測定	2
4. 高力ボルト摩擦接合継手の耐力	2
5. A型試験体の耐力	3
6. B型 〃	4
7. C型 〃	5
8. D型 〃	6
9. 結 論	7
10. あ と が き	7

〔要 旨〕

床組連結部の耐力について実験を行ない設計方法について検討を行なった。

4種類のディテイルについて実験を行なった結果ウェブだけの添接はヒンジとして働き、テンプレート形式、ニープレース形式のものはその断面特性に応じた曲げモーメント耐力のあることがわかった。

昭和46年6月

国 広 哲 男
井 上 啓 一
古 庄 通 隆
福 田 孝 男

〔1〕 ま え が き

縦げたを単純支持のけたとして設計した場合、床げたとの連結部はせん断力だけをとりせる構造とすればよいわけであるがこの部分の構造としては従来、縦げたのウェブと横げたのスティフナーとを、リベットや高力ボルト、中には溶接で結合した構造（溶接で連結した場合の連結部の設計に用いる断面力については溶接鋼道路橋示方書28条に示されている）が採用されてきた。これらは当然曲げモーメントも伝えるはずであり、この曲げモーメントが連結部に悪影響を及ぼさないかという問題がある。

また、荷重分配横げたはその機能上から主げたとの連結部で曲げモーメントを伝える構造としなければならない。一方、施工面からは主げたとの連結作業が現場において行なわれるという点を考慮してできるだけ作業性のよい構造としなければならない。現在用いられている連結構造がこれらの要求を満たしているかどうかを確認する必要がある。

以上のような疑問を明らかにし連結部の構造ディテールの設計法の合理化に資するのがこの研究の目的である。

この報告はこれらの目的にあうように設計した4種類の連結構造を対象にして行なった実験的研究に関するものである。

〔2〕 試 験 体

床組連結部耐力試験体を図-1に示す。

表-1に供試体に用いたH-346×176×6×9×14の形状、寸法、断面特性、等を示す。

以下においては試験体中のH-346を縦げた、H-500を横げたと呼ぶことにする。荷重分配横げたについて論じる場合には上記の縦げたが荷重分配横げたに、横げたが主げたに当ると考えていただきたい。

載荷実験に用いたこれらの試験体の連結には高力ボルト摩擦接合が用いられている。実験結果の解析にあたり今回用いた材料、器具の場合における摩擦接合部の耐力を知っておく必要があるので摩擦接合継手の耐力試験を行なった。試験体は図-2に示すような複せん断の継手である。

迂り係数は0.121、締めつけトルクは28 kg-mであった。

$$(T = 0.121 \times 19.05 \times 12.3 = 28 \text{ kg-m})$$

図-1の円内のディテールは以下に述べるものを用いた。

A型： 図-3、写真-1

縦げたを単純支持のけたとして設計した場合でせん断力のみを伝えるという考えのもとに縦げたのウェブを横げたのスティフナーに添接してある。

B型： 図-4，写真-2

縦げたが完全な連続げたとなるように，縦げたの上下両フランジともに連結させてある。すなわち，上フランジは添接板でつながれ，下フランジは横げたウェブに突合せ溶接してあるガセットに添接されている。

C型： 図-5，写真-3

縦げたの上フランジは，横げたのフランジに突合せ溶接してあり，下フランジはB型と同様である。

D型： 図-6，写真-4

上フランジはB型と同じ形で，下フランジは，ニーブレスのようにして，ウェブ添接のボルト数をふやしたものである。

〔3〕 載荷及び測定

載荷は，図-7に示すように，両端の横げたを支持し中央の横げたに載荷した。写真-5に載荷状態を示す。

実験に用いた試験体の数は，各形式とも2体ずつで，1体は連結部に正のモーメントが生じるよう正立させ，他は負のモーメントが生じるよう倒立させて実験を行なった。

載荷荷重は，高力ボルトの摩擦面がすべったり，フランジ部が局部座屈するなどの破壊が生ずるまでは，図-8のように載荷してゆき，1 ton 毎にひずみ，たわみを測定した。

図-7に示す6.67 ton，12.82 ton，16.92 tonはそれぞれ試験体が全長を通じて（連結部も含め）縦げたの断面（表-1参照）であるとしたときに，縦げたフランジに許容応力度，保障降伏応力度，ミルシートによる材料の降伏応力度（ 33 kg/cm^2 ）が生じる荷重である。

たわみの測定位置は図-9に，ひずみの測定位置は各型とも別冊付録に示す。ここでは一例としてA型のみを図-10に示す。

たわみは1/100 mm 目盛のダイヤルゲージで，ひずみは抵抗線ひずみゲージで測定した。

たわみ，ひずみの測定値は，別冊付録にのせてある。

〔4〕 高力ボルト摩擦接合継手の耐力

試験は200 tonのアムスラー型試験機を用いて行なった。

試験結果を表-2に示す。これから，この迂り係数をもとめると，

$$\mu = \frac{P}{N} = \frac{3.83}{12.3} = 0.31$$

となり， $P(=3.83) > Pa(=2.80)$ で許容以上の耐力はあるが，鋼道示で考えている迂り係数

(0.4)に比較するとかなり低かった。

このときの摩擦面のさび状態は写真-6のようであった。

5章以下で連結部継手の実験結果の解析を行なう場合にはここで得られたボルト1本1摩擦面あたりの耐力3.83 tonを用いた。

〔5〕 A型試験体の耐力

5-1 正立載荷

別冊付録図-1にたわみ図, 別冊付録図-2にウェブのひずみ分布図を示す。

荷重1.40 tonで, 高力ボルト摩擦面にすべりが生じた。さらに荷重を上げると1.50 ton, 1.55 ton, 1.95 tonとすべりが生じ高力ボルトの支圧がきいたと思われる状態になっても荷重は2.5ton程度までしか上がらなかった。

5-2 倒立載荷

別冊付録図-3にたわみ図, 別冊付録図-4にウェブのひずみ分布図を示す。

荷重1.45 tonで最初に高力ボルト摩擦面にすべりを生じ荷重を上げるに従い, 正立載荷の場合と同様にその後もすべりを生じた。この場合は, 最高荷重は3.25 tonまで上がった。

5-3 計算値との比較

高力ボルト1本当りの耐力は3.8 tonであり, 最外縁のボルトがこの耐力に達したときのモーメントは0.98 t-mとなる(図-11参照)。

一方, 高力ボルト摩擦面がすべったとき(1.40 ton)のモーメントは1.7 t-mであった。

このときのウェブのひずみ分布をみると平面保持が成り立っておらず, 引張側の2本のボルトはほぼ等しい力をうけており, 計算値より実験値の方が高い耐力をもつものと思われる。

このウェブの断面係数 W は 82.6 cm^3 で

$$1.7 \text{ t-m} / 82.6 \text{ cm}^3 = 2,058 \text{ kg/cm}^2$$

となる。一方, ひずみの測定値はこの時 $1,000 \times 10^{-6}$ 位で応力にすると, $2,100 \text{ kg/cm}^2$ 位になり計算値とはほぼ一致する。

5-4 連続げたの載荷試験

継手部のディテイルがA型の3径間連続げたについて載荷点を6カ所かえて, げたの連続性をみることを目的に実験を行なった。

負の反力の生ずる支点には, カウンターウェイトを置いて浮き上がりを防止した。

別冊付録図-5に各載荷位置についてのたわみ図を別冊付録図-6に上フランジ、下フランジのひずみ分布図を示す。

たわみ図、ひずみ図とも測定誤差や実験のまずさによると思われる変な値を含んでいる。

5-3で述べたと同様にA型のような連結部をもつ連続げたの供試体では、その連結部で曲げモーメントを伝えることができず、ヒンジ構造になっている。

5-5 考 察

以上によりA型の連結方法は、ウェブだけの断面特性しかない。よってウェブの高力ボルト摩擦接合がきいている間は連続げたとして、挙動するが、すべりが生じた後は単純支持と同じようになっている。

小さな荷重ですべりが生じるので実用上は単純支持と考えてよいと思われる。

〔6〕 B型試験体の耐力

6-1 正 立 載 荷

別冊付録図-7にたわみ図、別冊付録図-8にひずみ図を示す。

許容モーメント荷重までは、けたは、全く弾性的な挙動を示す。さらに、荷重を上げると、12.5 tonで引張側フランジの高力ボルト摩擦面がすべりを生じる。実験は14.4 tonまで荷重を上げたところで試験機のジャッキストロークが最大になり載荷を中止した。

6-2 倒 立 載 荷

別冊付録図-9にたわみ図、別冊付録図-10にひずみ図を示す。

許容モーメント荷重までは、正立載荷とほぼ同じ性状を示す。その後、荷重を上げていくと、正立載荷に比べわずかに大きい荷重、13.5 tonで初めて引張側のフランジがすべる。

実験は14.5 tonまで載荷して試験機のジャッキストロークが最大になり載荷を中止した。

6-3 計 算 値 と の 比 較

許容モーメント荷重以下では、正立、倒立のいずれもたわみは計算値とほぼ一致する。11 tonを過ぎたところから、徐々にたわみは計算値よりも大きくなっていく。

引張側フランジのひずみは許容モーメント荷重で 400×10^{-6} で弾性内であり、さらに荷重を上げることにより正立では8 ton、倒立では7 ton付近より直線からはずれだし、10 tonをこえると、完全塑性に近くなる。しかしながら、倒立と正立の場合を比べると、ひずみは倒立の方が低い荷重で塑性化し、ひずみ量も大きい。高力ボルトの摩擦面のすべりは正立の方が早くおこった。

フランジの高力ボルト摩擦面が1本あたり3.8 tonの耐力をもち平面保持の仮定が成り立つものとして、高力ボルト摩擦接合の耐力を計算すると79.49 ton-mとなる。これよりもはるかに小さい荷重で高力ボルトの摩擦面がすべるのは、上述の如く連結されるフランジと添接板が降伏し、ひずみとポアソン比の増大から、板厚が減少し、高力ボルトの軸力が減少するためと思われる。

これと同じことが7, 8で述べるC型, D型の連結についてもいえる。

〔7〕 C型試験体の耐力

7-1 正立 載 荷

別冊付録図-11にたわみ図, 別冊付録図-12にひずみ図を示す。

これもB型と同様に、許容モーメント荷重までは弾性的な挙動を示す。

さらに荷重を上げていくと9 tonぐらいから、たわみは直線関係からはずれ、12.3 tonでフランジのひずみは完全に塑性化する。

14.3 tonで引張側フランジの片側の高力ボルトの摩擦面がすべり、さらに荷重を上げると14 tonで、反対側の摩擦面もすべる。

14.5 tonで試験機のジャッキストロークが最大になり試験を中止した。

7-2 倒立 載 荷

別冊付録図-13にたわみ図, 別冊付録図-12にひずみ図を示す。

載荷に対して、たわみはほとんど正立の場合とかわらないが、引張側が溶接継手となっているので、高力ボルトの摩擦面のすべりは起らない。

12.65 tonで圧縮側のガセット(写真-7参照)が局部座屈し荷重は下がったが、垂直スティーフナーによって局部座屈の変形がおさえられ、13.8 tonまで荷重を上げることができた。

7-3 計算値との比較

たわみは、計算値や、B型の構造を持つものに比べわずかに大きめであるが、降伏は、ほぼB型と同じであった。

〔 8 〕 D型試験体の耐力

8-1 正立載荷

別冊付録図-15にたわみ図，別冊付録図-16にひずみ図を示す。

荷重を上げていくと，許容モーメント荷重6.67 tonに達する前に弾性挙動からはずれる。

まず，6 ton 付近から，たわみと荷重の関係が直線関係からはずれ出し 6.5 ton で，引張側のウェブの延長してある側の高力ボルトの摩擦面がすべる。許容モーメント荷重から 0 ton に荷重をもどしたときの残留たわみは，1.8mmであった。さらに荷重を上げると高力ボルトの摩擦面が数回すべった後に，高力ボルトが支圧でもちだし，荷重は上昇していく。

10.2ton まで荷重を上げたところで試験機のジャッキストロークが最大となり試験を終了した。試験終了後，ボルトをはずしてみると，写真-8のようにボルト穴は，楕円形に変形し，ウェブの下端には亀裂が生じていた。

8-2 倒立載荷

別冊付録図-17にたわみ図，別冊付録図-18にひずみ図を示す。

これも，正立載荷と同様に許容モーメント荷重前に 6 ton 位から弾性挙動をはずれてくる。

許容モーメント荷重までは，外見上の変化はみられなかったが，許容モーメント荷重から 0 ton まで荷重をもどすと 3.34mmの残留たわみが残った。

許容モーメント荷重以上に荷重を上げていくと 7.15 ton で縦げたウェブの圧縮側と，それがとりついている横げた垂直スティフナーが面外に座屈した。

8-3 計算値との比較

この継手部の断面二次モーメントは $9,541 \text{ cm}^4$ であり，一方，H-346 $\times$ 174 $\times$ 6 $\times$ 9 $\times$ 14 の断面二次モーメントは $11,100 \text{ cm}^4$ である。これから継手の断面二次モーメントは 86 % に減少しており，実験でもたわみが計算値よりわずかに大きくなることがわかる。

また，この継手部分の最外縁，すなわちウェブの先端が許容応力および降伏応力に達するモーメントはそれぞれ 4.08 t-m，7.85 t-m であった。7.85 t-m が生じる荷重は 6.28 ton であるから，正立載荷，倒立載荷とも降伏荷重は実験値と非常によく一致している。

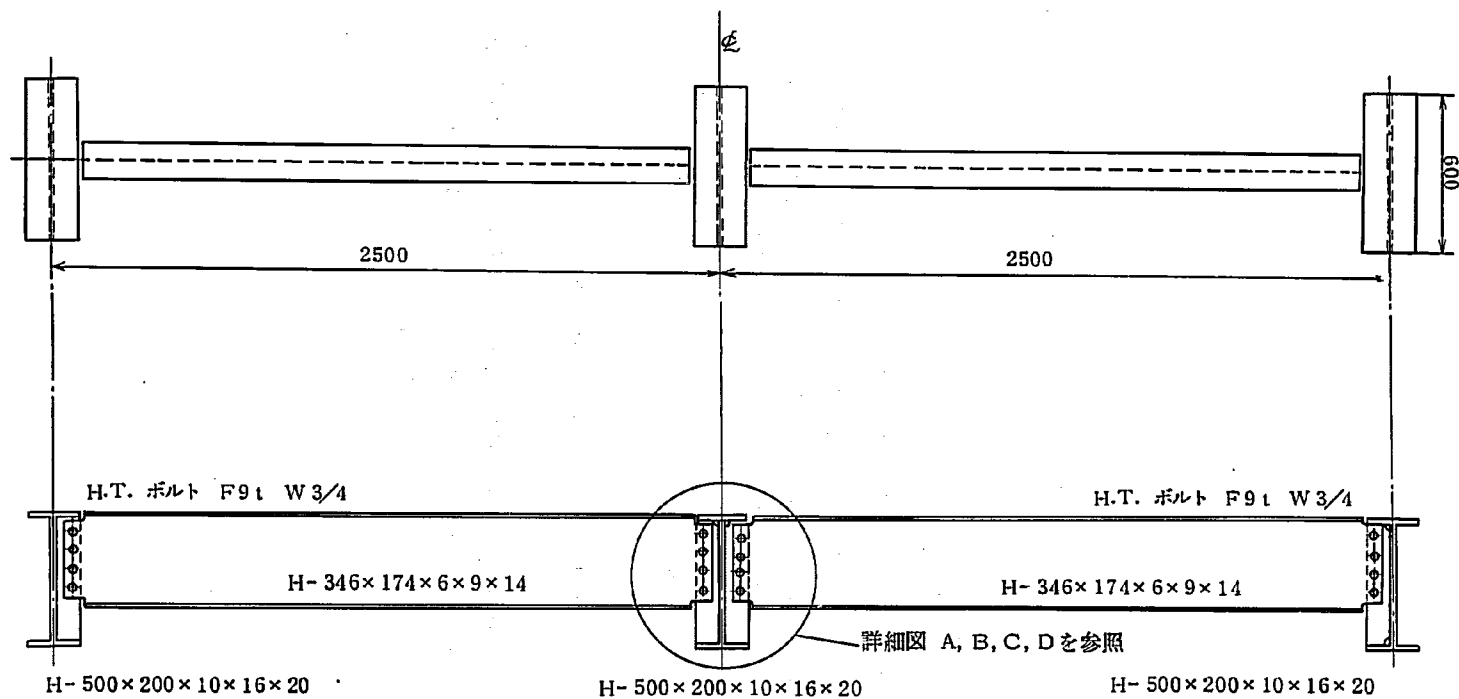
また，各型式の正立，倒立の載荷状態についてのたわみと荷重の関係は図-12 のようになり，総じて，各型式での計算による弾性限界は実験値とよく一致している。

〔9〕 結 論

1. 完全な横げたの断面二次モーメントを持つ継手を要求される場合には、B型またはC型のようなディテイルにする必要がある。
2. ウェブだけで継いだA型のディテイルは、いくらかのモーメントを伝えるが実用上は単純支持と考えてよい。
3. 連結部が弾性挙動からはずれるのはB型、C型、D型の場合は、連結部の材料の降伏によっておこる。
4. D型のような継手の実験値は、その継手部分のT形の断面の断面特性をもつものとして計算した耐力と非常によく一致する。
5. 各継手それぞれが弾性的な挙動からはずれる荷重は、正のモーメントを受ける場合でも負のモーメントを受ける場合でもほとんどかわらない。
6. 高力ボルト摩擦接合継手のすべりは、常に引張側で生じた。
7. 圧縮側の破壊は、C型でガセットの局部座屈、D型ではウェブの座屈により生じた。
8. 以上により、曲げ強度の面からはB型またはC型がすぐれているが、施工性を考えると、D型がすぐれている。ただし、D型では3で述べたようにT形の断面について応力計算を行ない少なくとも材料が降伏を起こさないように設計するのが望ましい。また、ウェブの座屈に対しては、添接の邪魔にならぬよう補剛材をつけることが必要である。

〔10〕 あ と が き

これらの実験は、現在改訂作業が進められている鋼道路橋の示方書ならびに土木研究所が作製する合成げたの標準設計の資料とするために行なわれたものである。このような部材の連結部は、強度、施工性の両面から、今後さらによいものを考えていく必要があろう。



注：端部はすべてA型とする。
ただし、片面は補剛材を除く。

図-1 床組連結部耐力試験体

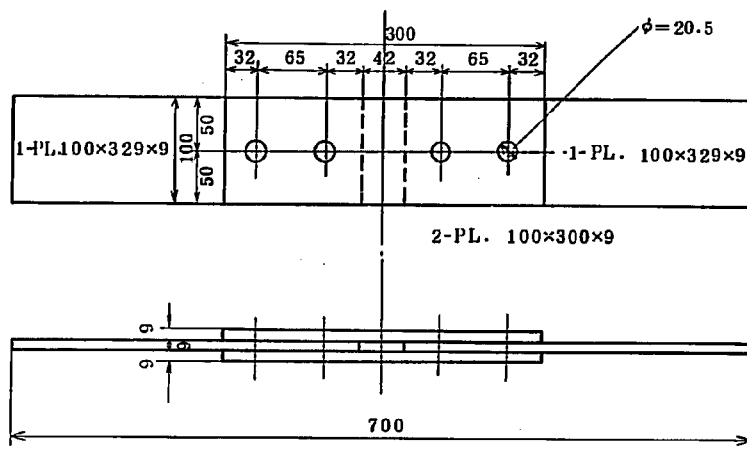
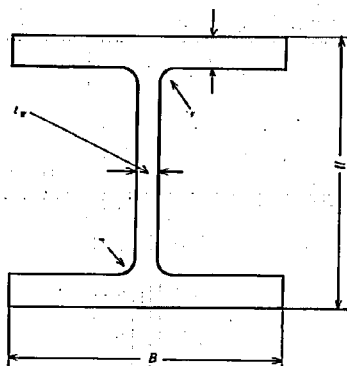


図-2 H.T ボルト継手耐力試験体

表-1 熱間圧延H形鋼 (JIS G 3192-1966) の形状、寸法、重量および断面特性



標準断面寸法 (mm)					断面積	単位重量
呼称寸法 (高さ×辺)	H × B	t _w	t	r	cm ²	kg/m
350 × 175	*346 × 174	6	9	14	52.68	41.4

断 面 特 性												
断面2次モーメント cm ⁴		断面2次半径 cm		断面係数 cm ³		塑性断面係数 cm ³		形状係数		幅 厚 比		フランジ/ウェブ面積比
I _x	I _y	i _x	i _y	Z _x	Z _y	Z _{px}	Z _{py}	f _x	f _y	B/t	d _w /t _w	A _f /A _w
11,100	792	14.5	3.88	641	91.0	716.18	140.22	1.117	1.541	19.33	54.67	1.59

注 *印付のフランジの幅厚比が制限値をとえるため塑性設計には使用できない。

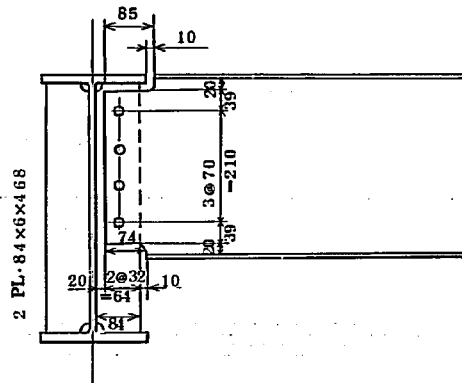
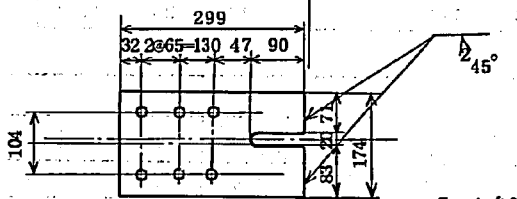
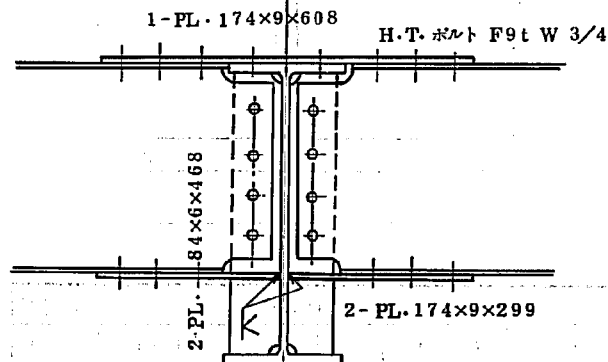
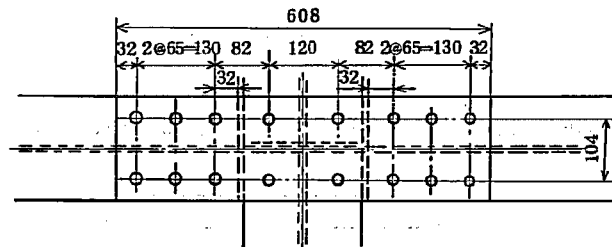


図-3 連結部 A 型



注 ウェブ連結はA型に同じ

S=1/10

図-4 連結部 B 型

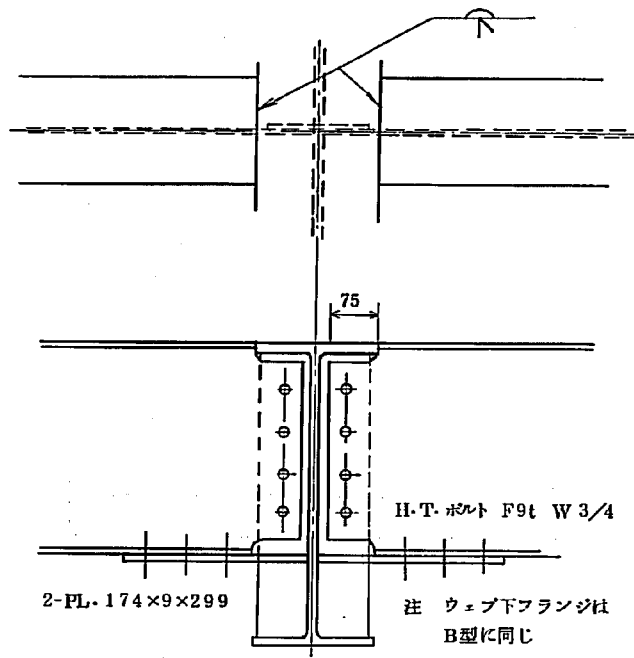


図-5 連 結 部 C 型

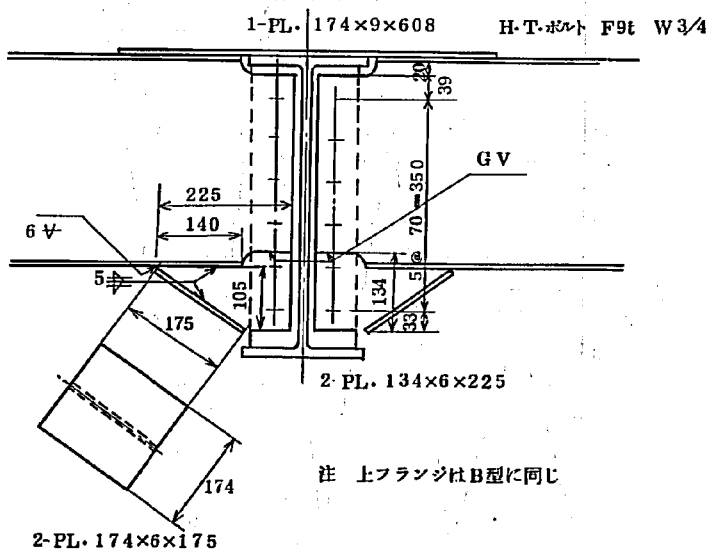
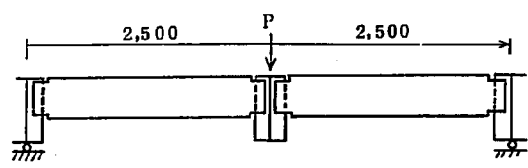
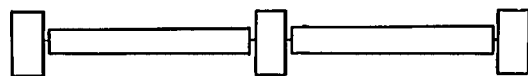
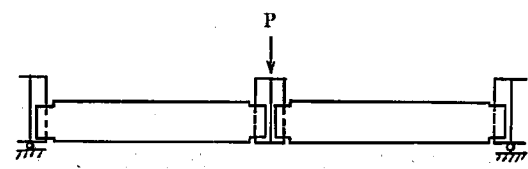


図-6 連 結 部 D 型



正立 載 荷



倒立 載 荷

図 - 7 載 荷 方 法

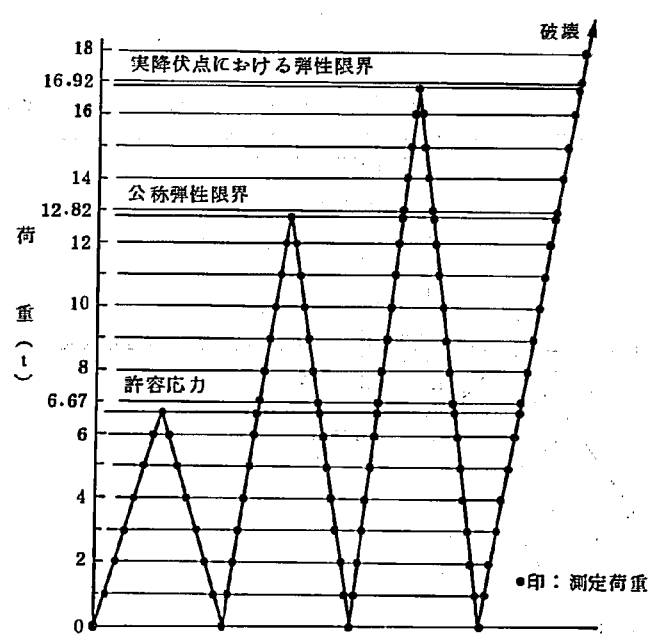


図 - 8 載 荷 荷 重

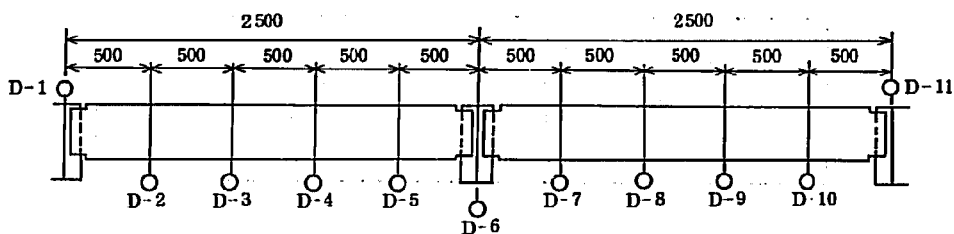


図-9 たわみ測定位置

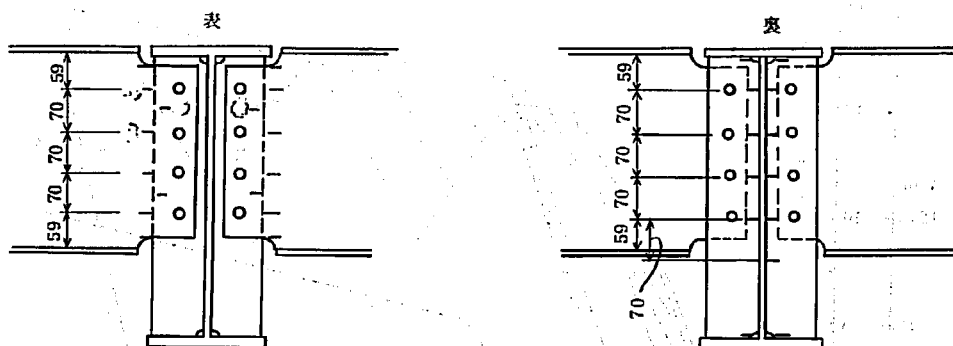


図-10 A型ひずみ測定位置

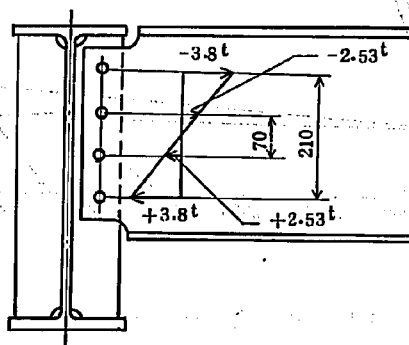


図-11 高力ボルトの耐力

表-2 高力ボルト摩擦接合継手耐力試験結果

供試体番号	最大荷重 (ton)	ボルト1本1摩擦面あたりの耐力 (ton)
1	29.8	3.73
2	31.4	3.93
平均	30.6	3.83

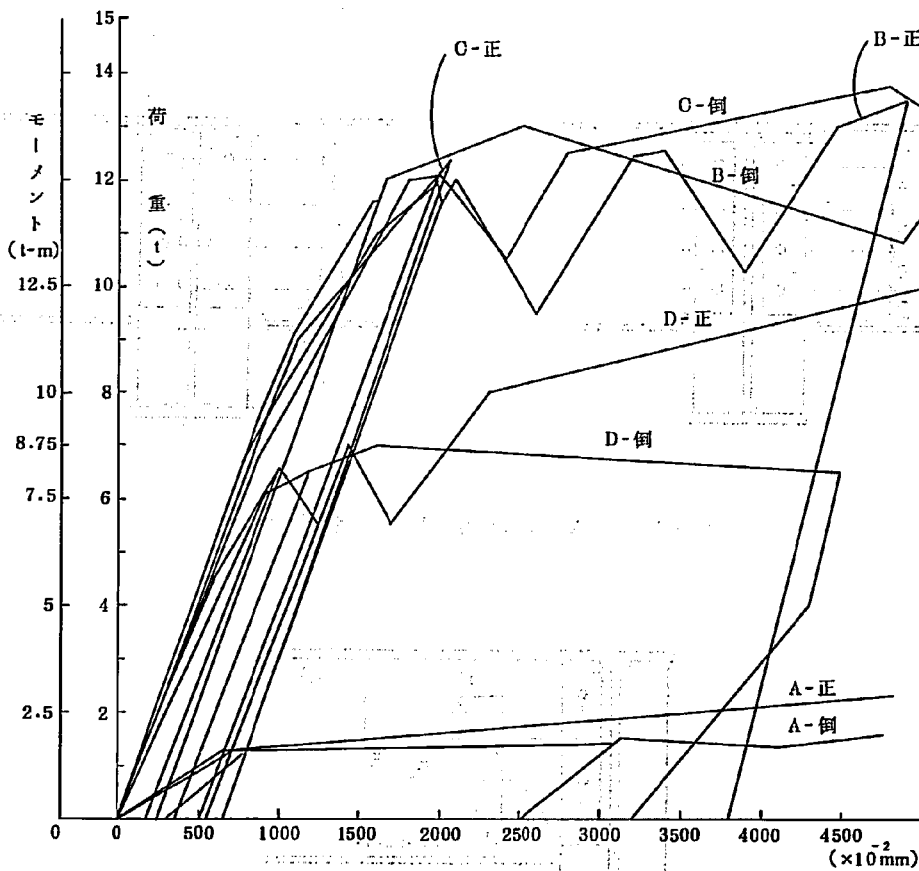


図-12 中央点のたわみ

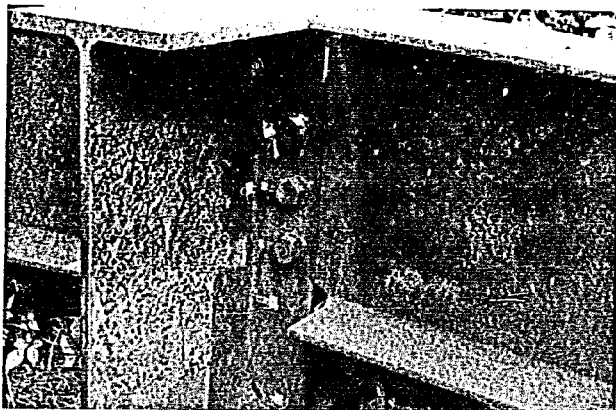


写真-1 A型試験体

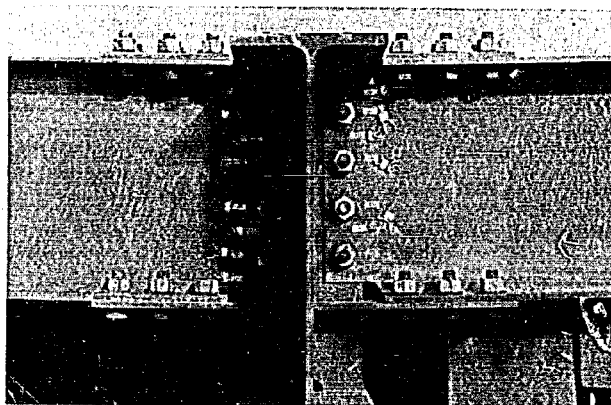


写真-2
B型試験体

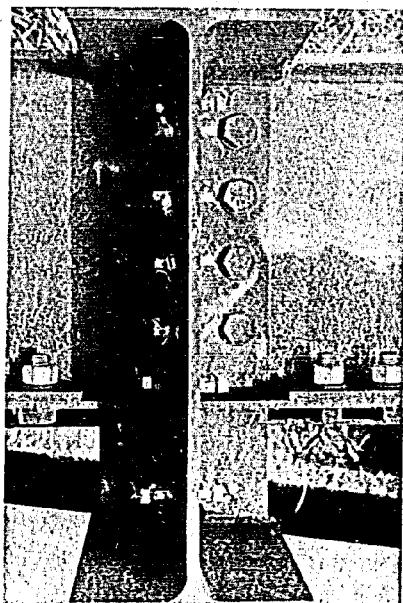


写真-3 C型試験体

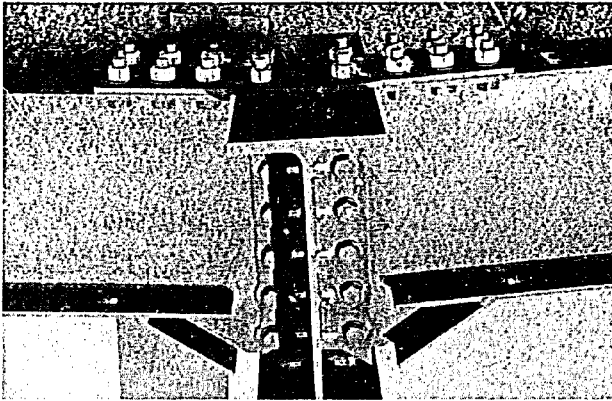


写真-4 D型試験体

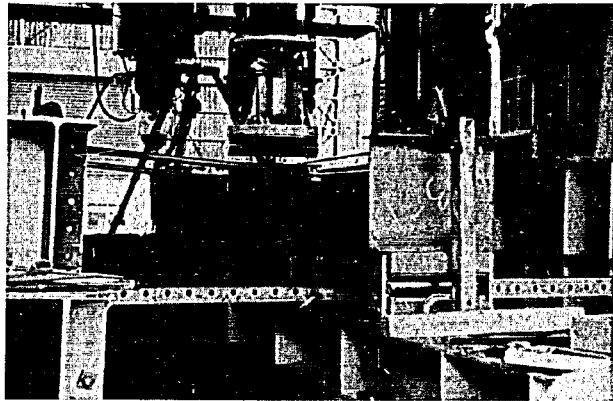


写真-5 載荷状態

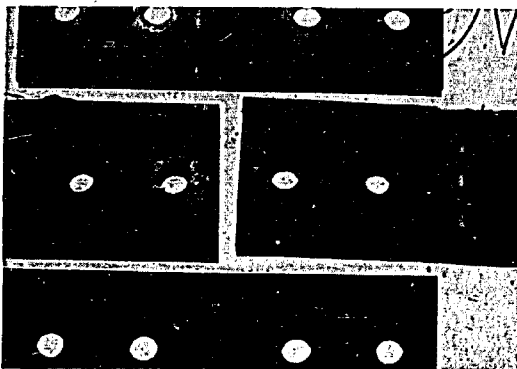


写真-6 摩擦面のさび状態

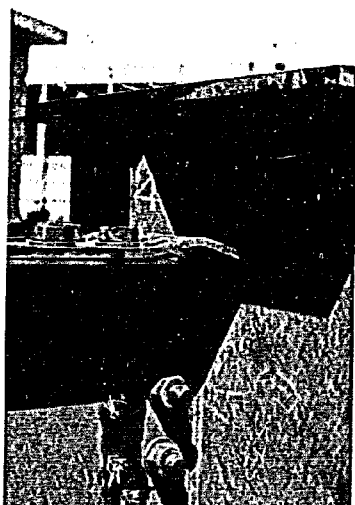


写真-7 圧縮側ガセットの局部座屈

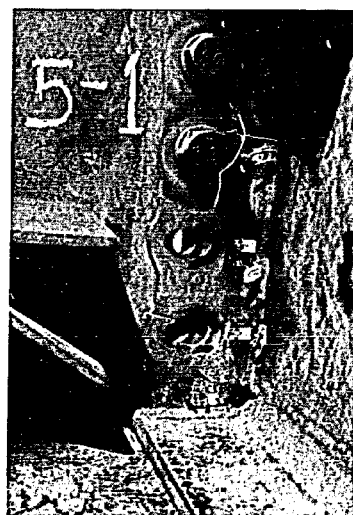
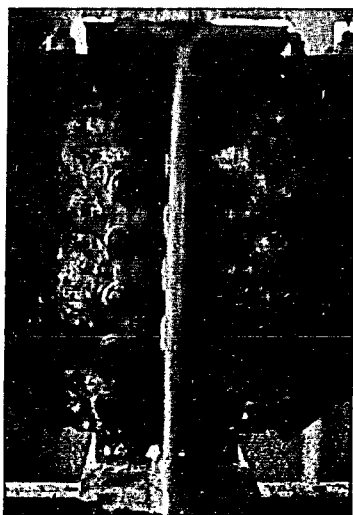


写真-8 ボルト穴の変形

床組連結部の挙動に関する実験的研究

国 広 哲 男 ・ 井 上 啓 一
古 庄 通 隆 ・ 福 田 孝 男

〔要 旨〕

床組連結部の耐力について実験を行ない設計方法について検討を行なった。

4 種類のディテイルについて実験を行なった結果ウェブだけの添接はヒンジとして働き、テンプレート形式、ニーブレース形式のものは、その断面特性に応じた曲げモーメント耐力のあることがわかった。

キイワード：鋼橋，床組，連結