

応急橋主桁の支圧およびピン接合継手試験

鳥越弘行*
清水切雄**

1. まえがき

数年来、建設省を初め、東京都・神奈川・静岡・埼玉県等の行政機関および公社・公団等においては、東海地震を想定した地震被害の予測と防災・復旧対策の検討が進められている。地震による構造物被害の中で、道路・鉄道を問わず、橋梁の被害の場合は長期間の交通止になり、交通・輸送体系に大きいダメージを与えることから、短期間に架設可能な災害時応急橋梁の必要性が高まっている。

現在、当社は、長年の鋼橋の経験を生かして開発した、使い易い汎用型の組立橋梁として、MT-Bridge²⁾(Miyaji Temporary Bridge)を保有し、交通切りまわし用の応急橋・工事用道路の仮橋・仮設用工事桁および災害時応急橋などとして使用実績も着実に増やしている。このMT-Bridgeの現場継手部をより簡素化し、災害時の応急橋として出来るかぎり短期間に、限られた人員・機材で架設可能な継手構造を有する簡易組立橋梁が必要となり、現場継手へ新しい簡易構造の適用を考えて、継手構造の試験を実施した。個々の継手は目新しいものでなく、圧縮フランジ部は支圧継手、ウェブはピンによるせん断キー継手または高力ボルトの引張接合継手、および引張フランジ部にはピン継手または添接板を用いた普通の高力ボルト継手を用いて、これらを有機的に組合せた桁の継手構造である。この各種継手方法を組合せた桁の継手は、従来の添接板・高力ボルトを用いた継手に比して、現場作業性は非常に良くなるが、継手部附近の局部応力集中、剛性の低下などが懸念される。これらを踏えて、この簡易継手を有する供試体を作成して載荷試験を実施し、桁継手としての性状を明確化し、実用化検討をおこなった。

2. 試験体

継手試験の試験体としては、圧縮部の上フランジは支圧継手、ウェブは添接せずにせん断力の伝達はせん断キー（ピン）による構造として、引張部の下フランジについては、高力ボルト継手とピン継手構造の2種類を製作した。前者を支圧・HTB継手、後者を支圧・ピン継手と称し、図-1に試験体図を示す。設計図の中で、材質を示してない鋼材はS S 41材である。

(1) 支圧・HTB継手

圧縮部の支圧継手部は、一般部上フランジ断面に支圧板を取り付け、支圧部の表面はエッジプレーナーによる機械仕上げをした。この支圧板中央部にせん断キーとして径30mmのピンを取り付けた。なおピン孔径は1mmの余裕とし径31mmとした。せん断キーの許容耐力は、ピンのせん断で決まり9.9tonである。この圧縮部は、圧縮力およびせん断力が集中するので、ウェブの補剛のため水平補剛材を取り付けている。

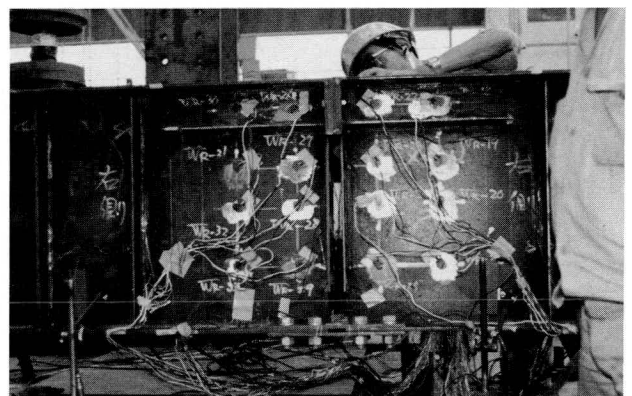


写真-1 支圧・HTB継手

* 技術本部技術開発部参事
** 技術本部技術開発部付課長

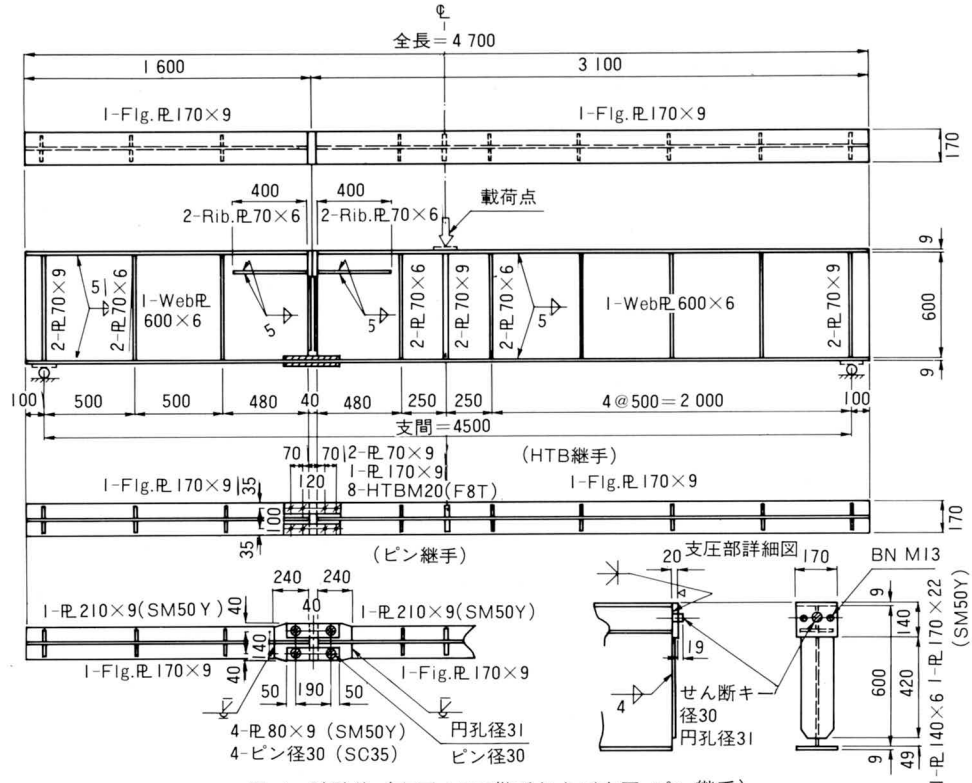


図-1 試験体（支圧・HTB継手および支圧・ピン継手）

ウェブの添接は行わず、開口のままとし、ウェブ端部には垂直補剛材を取り付けただけで、せん断力の伝達は上記せん断キイで伝達する構造としている。

引張フランジは、普通の高力ボルトによる添接とし、高力ボルトはM20 (F 8 T) 8本を使用し、締付けトルクは3750kg・cmで施工した。これは引張フランジの全強度で連結した事になっている。

(2) 支圧・ピン継手

圧縮部およびウェブの継手構造は、(1)の支圧・HTB継手と同構造とし、引張フランジの継手構造を高力ボルト継手のかわりに、ピン構造にしたものである。ピンの径は30mm、ピン孔径は作業性を考慮してピン径+1mmの31mmとして、ピン径30mm (S 35C) 4本を使用した。ピン継手部の許容耐力は下記の通りであり、引張フランジの全強度より低い強度としている。

$$N_a = 2t \cdot K_2 \left(\frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 - r_2} \right)$$

$$= 2 \times 0.9 \times 133 \times \left(\frac{1.55 \times 1.5}{1.55 - 1.5} \right) = 11,132 \text{kg} \doteq 11 \text{ton}$$

N_a 継手許容耐力（ヘルツによる許容支圧力）

K_2 ヘルツの許容荷重係数(133)

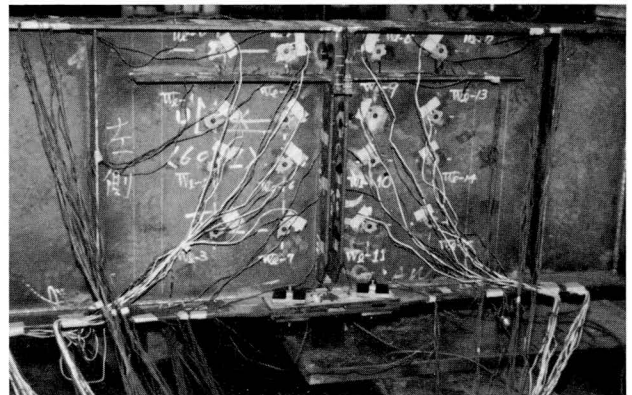


写真-2 支圧・ピン継手

(3) 試験体の材料強度

試験体に使用した鋼材の強度は、表-1に示す。

表-1 試験体の鋼材強度

材質	板厚 (mm)	引張試験			化学成分(%)				
		降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	×100			×1000	
					C	Si	Mn	P	S
SS4I	9	30	45	29	12	19	92	20	8
SS4I	6	31	45	29	15	21	44	23	18
SM50YA	9	44	58	23	16	37	131	21	3
SM50YB	22	49	61	21	17	37	144	18	4

3. 試験方法

載荷試験は、支圧・HTB継手および支圧・ピン継手共に同じ条件で実施した。写真-3に示す様に、門型フレームを使用し、ロードセルで荷重を測定しながら、油圧ジャッキで載荷を行なって、試験桁の各部のひずみおよびたわみを、取り付けたひずみゲージおよび変位計により計測した。各部変位計測の載荷重刻みは2.5tonとして、第1回目計測は載荷重12.5tonまで載荷した後0にもどす。第2回目の計測は15.0tonまで載荷した後0にもどし、第3回目の計測は、桁の破壊まで（載荷重増加が不能まで）載荷重を増加して実施した。試験体に取り付けたひずみゲージ位置、およびたわみ測定位置を図-2に示す。

なお主桁の横座屈防止のため写真-3および図-2に示すごとく、両端部と支間中央附近に座屈防止材を設けた。

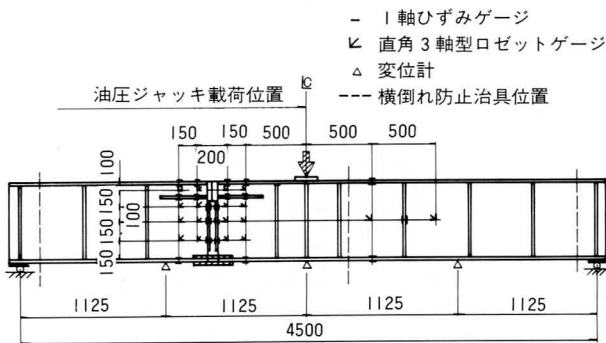


図-2 ひずみゲージおよび変位計取り付け位置

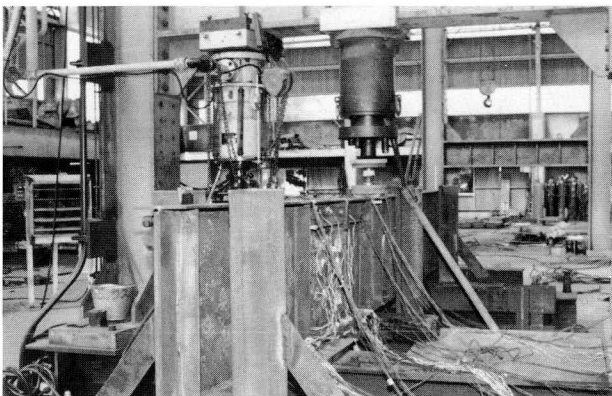


写真-3 載荷試験

4. 試験結果

試験桁の各部の測定結果は、原則として、計測ひずみを応力に換算して示す。

$$\sigma = \frac{2.0 \times E}{K} \times \epsilon = \frac{2.0 \times 2.1 \times 10^6}{2.07} \times \epsilon$$

$$\cong 2.029 \times \epsilon \times 10^6$$

σ 応力 kg/cm^2

ϵ 計測ひずみ

K ゲージ率 2.07

E 弾性係数 $2.1 \times 10^6 kg/cm^2$

試験結果については、3. で述べたように、サイクル載荷で試験を実施しているが、ここでは一部省略して示す。また、支圧・HTB継手試験、および支圧・ピン継手試験の結果については比較して示す。

(1) たわみおよびたわみ曲線

支間中央のたわみ、およびたわみ曲線は、図-3、4の通りである。

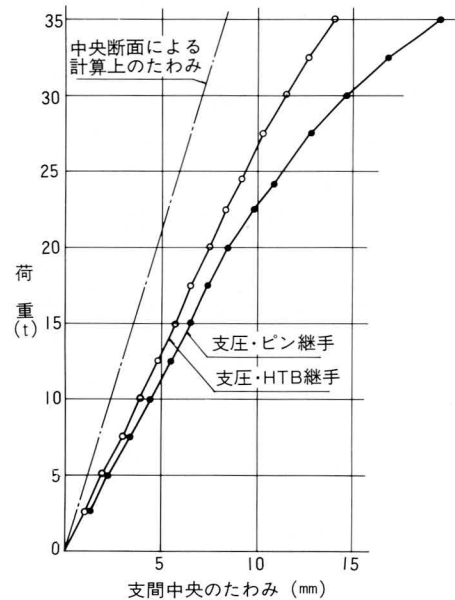


図-3 支間中央の荷重-たわみ図

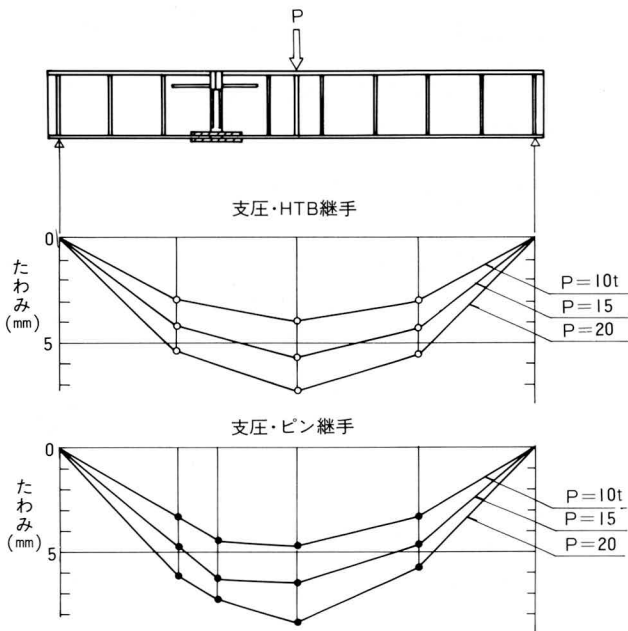


図-4 たわみ曲線

(2) 圧縮部の各部応力

上フランジの圧縮応力は、上フランジの上面および下面各2点の平均応力で、図-5(a)、(b)に示す。この図で点線で示した部分は、部分的に局部座屈が発生した箇所を含めた平均応力を示している。

水平補剛材の圧縮応力は図-6(a)、(b)に示す。

圧縮部のウェブ(上フランジと水平補剛材間)の応力は、主応力で表し図-7(a)、(b)に示す。

図-5(b)の④では、比較的早期に局部座屈が発生しているが、この点の局部座屈箇所のひずみを図-8に示す。

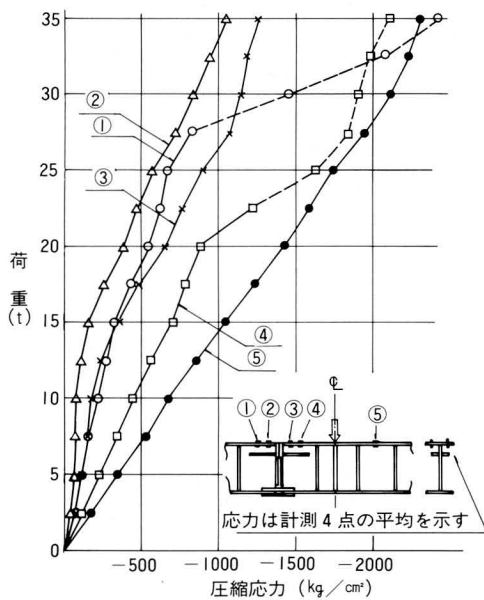


図-5(a) 上フランジ 荷重-応力図(支圧・HTB継手)

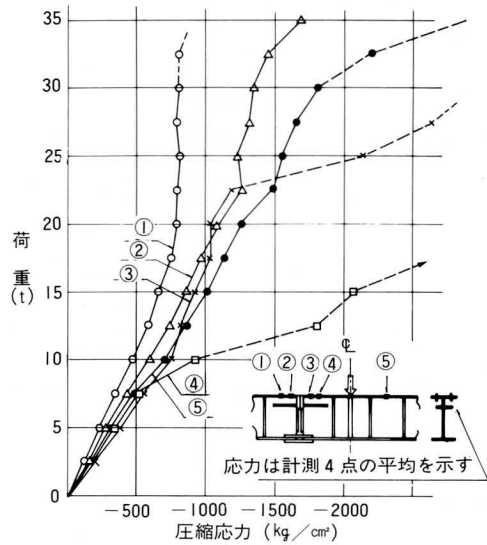


図-5(b) 上フランジ 荷重-応力図(支圧・ピン継手)

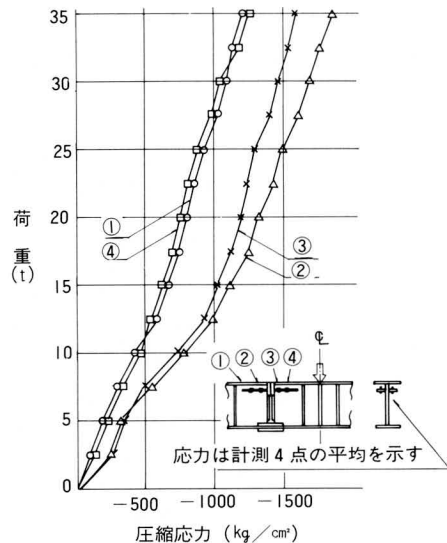


図-6(a) 水平補剛材応力図(支圧・HTB継手)

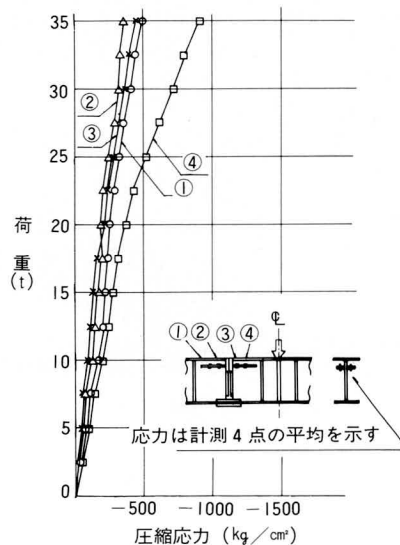


図-6(b) 水平補剛材応力図(支圧・ピン継手)

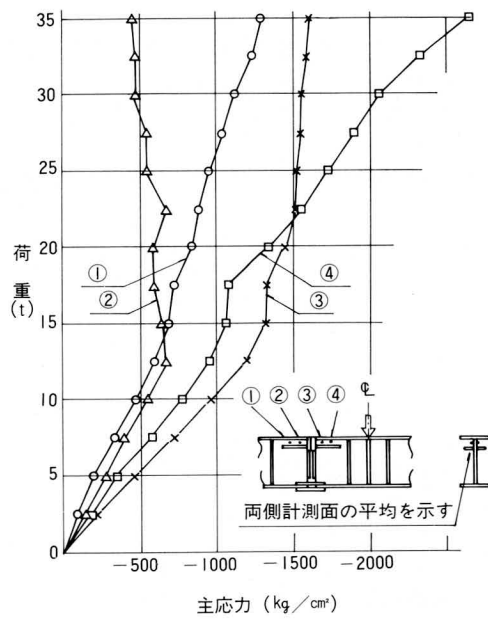


図-7(a) 圧縮部ウェブ主応力図 (支圧・HTB継手)

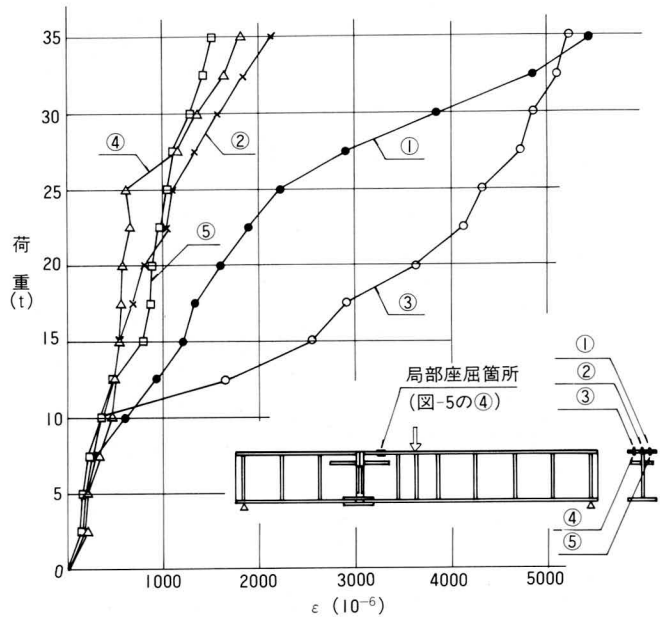


図-8 支圧・ピン継手 局部座屈箇所フランジひずみ

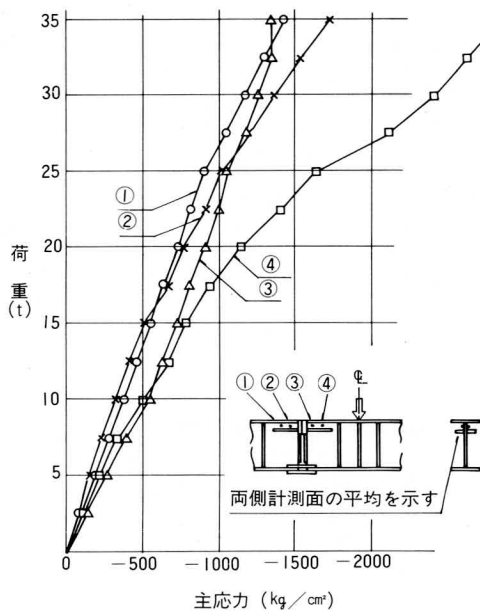


図-7(b) 圧縮部ウェブ主応力図 (支圧・ピン継手)

(3) 下フランジの応力

下フランジの引張応力は、図-9(a)、(b)に示す。

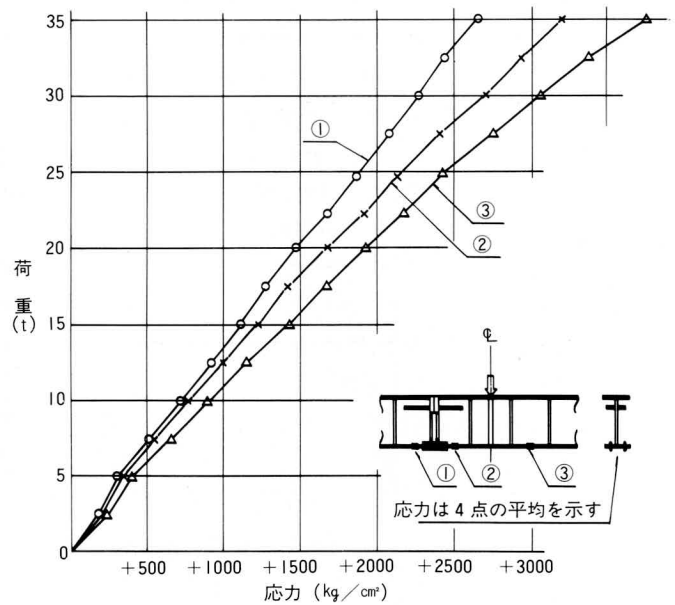


図-9(a) 下フランジ 荷重-応力図 (支圧・HTB継手)

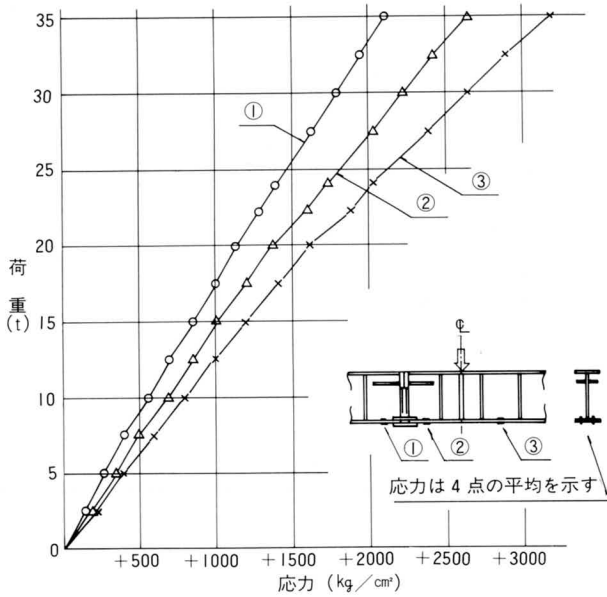


図-9(b) 下フランジ 荷重—応力図 (支圧・ピン継手)

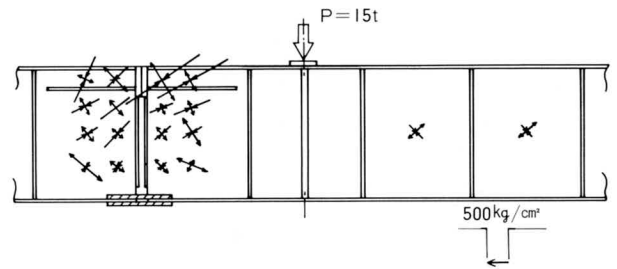


図-10 (a) ウェブ主応力図 (支圧・HTB継手)
荷重 = 15t の場合

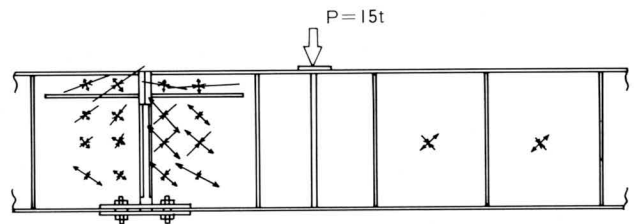
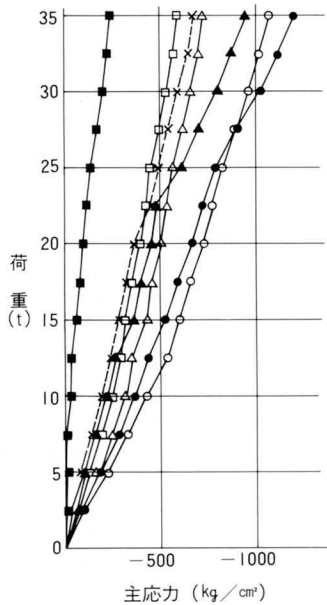


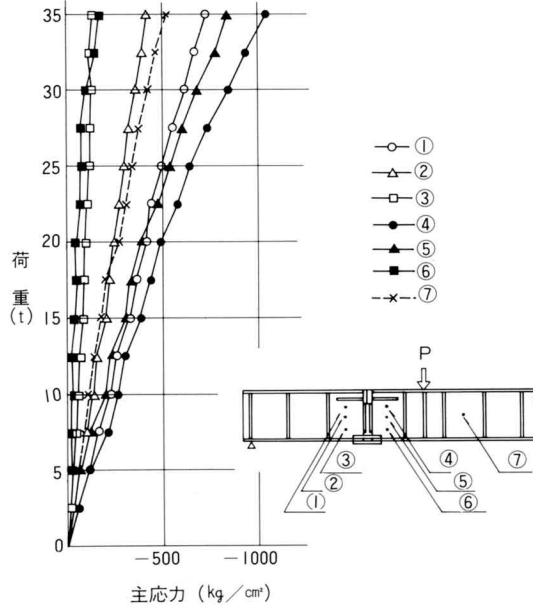
図-10 (b) ウェブ主応力図 (支圧・ピン継手)
荷重 = 15t の場合

(4) ウェブの主応力

ウェブの主応力 (圧縮) は、図-11(a)、(b)に示す。また、載荷重15tonの場合の主応力図は、図-10(a)、(b)に示す。



(a) 支圧・HTB継手



(b) 支圧・ピン継手

図-11 ウェブ主応力

(5) 垂直補剛材の応力

垂直補剛材の応力は、図-12(a)、(b)に示す。

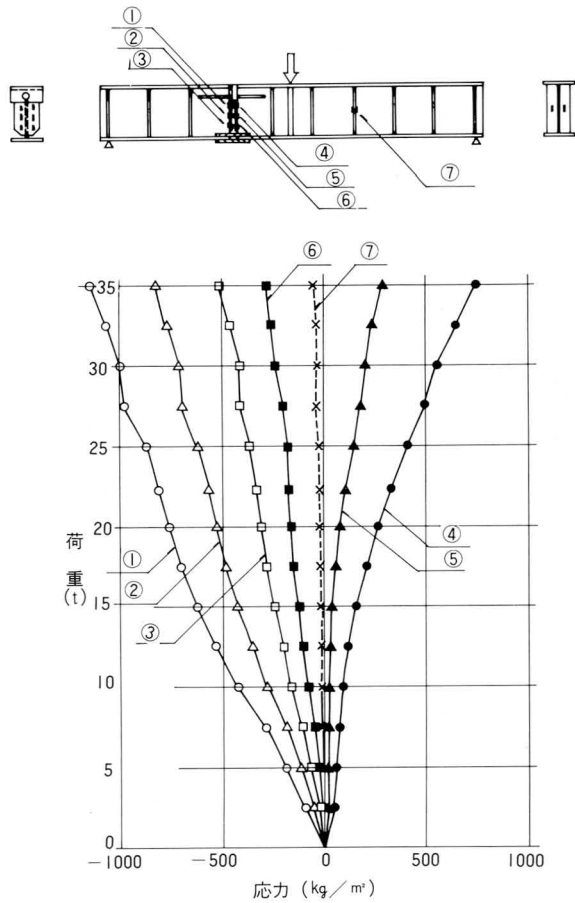


図-12(a) 補剛材応力 (支圧・HTB継手)

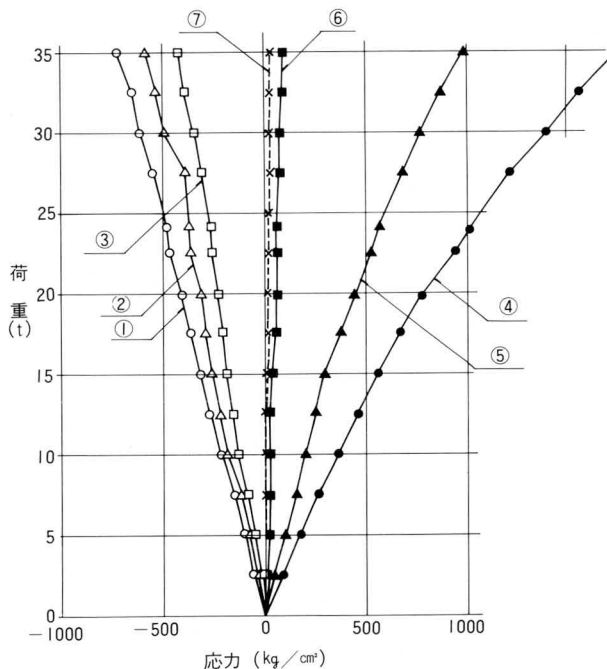


図-12(b) 補剛材応力 (支圧・ピン継手)

5. 考察

(1) 桁の剛性について

支圧・HTB継手および支圧・ピン継手の両試験体は、圧縮フランジ部は支圧継手とし、引張フランジ部はそれぞれHTB継手およびピン継手構造としており、ウェブは共に開口部となっている(せん断力の伝達は、圧縮部のせん断キーによる)。したがって、開口に伴う断面性能の低下のため桁のたわみ量が大きくなっている(図-3参照)。この場合のたわみ量は、上フランジおよび下フランジの断面だけの(ウェブ断面は全部を無視)の断面2次モーメントを用いた計算上のたわみとほぼ一致している。

したがって、この継手構造による剛性の低下を防ぐためには、継手部上下フランジの補強により剛性を向上さすか、または、継手部開口部のウェブを高力ボルトの引張接合継手で接合する必要があると思われる。

図-3における支圧・HTB継手と支圧・ピン継手の支間中央のたわみの差(約1mm)は、ピンとピン孔のなじみによるものである。また、この図における載荷20.0ton以上におけるたわみ差の拡大は、ピンとピン孔の支圧部の降伏による変位に起因するものである。(後述)

(2) 支圧部の考察

(a) 支圧・HTB継手

圧縮断手部の支圧板接触面については、最終載荷の約37tonまで、目視で分かる肌すきは現われず、ただ、せん断キーのピンとピン孔径の差により、ならし載荷時に、

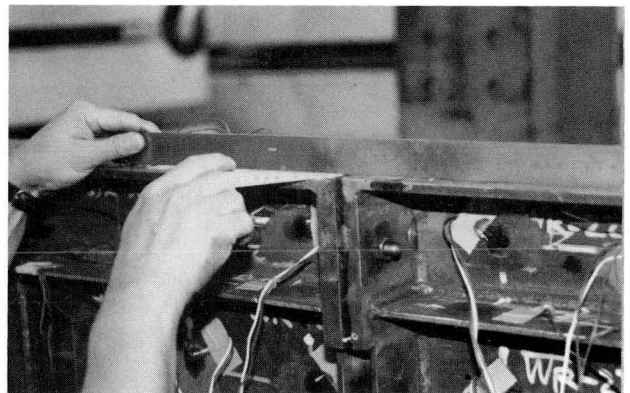


写真-4 支圧・HTB継手支圧部

上フランジ上面に約1mmの段差が生じただけである。支圧板の密着性が良いため、水平補剛材が圧縮フランジ補強材として働き、上フランジの応力は、一般部のI断面とした計算応力より小さい値となっている（図-5(a)、図-6(a)参照）。

支圧部ウェブでは、支圧部にせん断キーを取付けているため応力集中があるが、水平補剛材により補剛されて、ウェブの座屈は最終荷重まで生じない（図-7(a)、図-11(a)、図-10(a)参照）。

(b) 支圧・ピン継手

支圧・ピン継手については、支圧面の製作精度と引張フランジのピン継手の製作精度が、支圧部の強度に大きな影響を与える。試験体の製作では、支圧部接触面はエッジプレーナー削成し、ピン継手部の引張板のピン孔間寸法は誤差0.2mm以下と精度良く製作している。しかし、ピン径30mmとピン孔径31mmの差1mmのため、荷重試験開始前（ならし荷重の直後）において、支圧接触面に肌す

きを生じる。写真-5、6の中での右側の数値が、その時の肌すきをmmで示したものである。写真-5、6は、ピン継手許容設計耐力の約1.5倍に相当する荷重 $P=15.0$ tonの場合の、肌すき状態であり、左側の数値が肌すきをmmで示す。これから、支圧・ピン継手構造では、支圧部において、圧縮力が上フランジ近傍に集中する事が分かり、荷重試験の測定結果の、図-5(b)、図-6(b)、図-7(b)も同じ事を示している。

上フランジ応力の図-5(b)の中で、支圧部とそう入する垂直補剛材の中間点の④において、応力 $900\text{kg}/\text{cm}^2$ 附近から急に大きくなっている。この④点各部の計測ひずみは、図-8に示す通りであり、荷重12.5tonで局部座屈が生じているが、目視では最終荷重まで変形は認められず、局部座屈発生後も、試験桁の剛性および強度の急げきな低下は無かった。この局部座屈は、支圧部接触面の左右のアンバランス、および製作時の残留応力による等が考えられるが、いずれにしても支圧継手構造によるものであり、何らかの局部座屈防止の方策が必要である。

(3) 下フランジ部

下フランジ部の応力は、支圧・HTB継手および支圧・継手共に、理論計算値より少し大きめの値を示したが、特記するものは無く、通常な状態を示している（図-9(a)、(b)の③参照）。また、図-9(a)、(b)の中で、①および②の傾向の違いは、支圧・ピン継手では、①および②の計測点が、フランジ突合せ溶接箇所の近傍になった理由による。

(4) ウェブ

支圧・HTB継手および支圧・ピン継手共に、ウェブの圧縮部に応力が集中する（図-11(a)、(b)参照）。これは、支圧継手の構造によるもの（支圧部にせん断キーを付けている）であり、水平補剛材により十分補剛される範囲内の応力である（図-6(a)、(b)、図-7(a)、(b)参照）。ウェブの最大せん断応力については、主応力と同様に応力解析を行ない、検討を加えたが別に問題が無いので、ここでは数値については省略する。

(5) 垂直補剛材

せん断キーを使用した継手構造では、継手部の垂直補剛材は、ウェブに対する補剛材だけでなく、せん断力を伝達する力部材の作用もする（図-12(a)、(b)参照）。したがって、ウェブに取付けるスミ間溶接の脚長等は、支点上端補剛材と同様な配慮が必要である。



写真-5 支圧・ピン継手支圧部の肌すき (右)

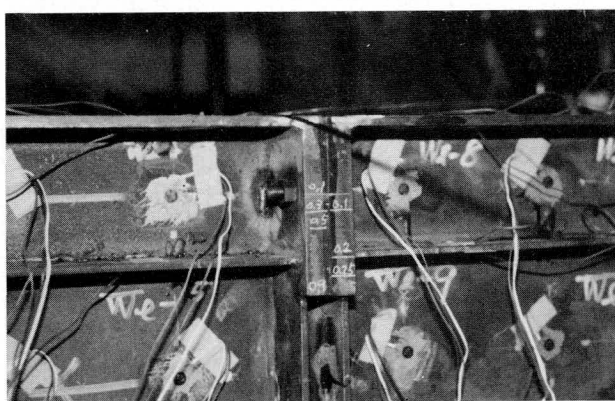


写真-6 支圧・ピン継手支圧部の肌すき (左)

(6) ピン継手部

ピン継手部では、ピンの材質はS C 35を使用し、フランジプレートと引張板の材質はS M 50 Yを使用したが、フランジの支圧部にはダブリング等による補強を行わず、許容支圧耐力は2.-(2)で示す。この $N_a=11.13\text{ ton}$ を試験の載荷荷重に換算すると、荷重=9.0 tonに相当する。(載荷荷重への換算では、支圧部の圧縮力は上フランジだけで受けると仮定した。)荷重=20.0 ton附近において、ヘルツ接触面では極限支圧応力状態になり、荷重20.0 ton以上では接触面付近全域で塑性変形を生じた。これは、図-3の支間中央の荷重一たわみ図において支圧・HTB継手と支圧・ピン継手のたわみ線形状の荷重20.0 ton以上における違いから分かる。このたわみの差は、ピン孔の塑性変形によるたわみと一致する。最終載荷(荷重約37 ton)後のピン継手部のピン孔附近の塑性変形は、ピン孔4箇所共に、フランジのピン孔で2 mm、ピンの同接触面が0.2 mmであり、引張継手板のピン孔には変形は認められない。

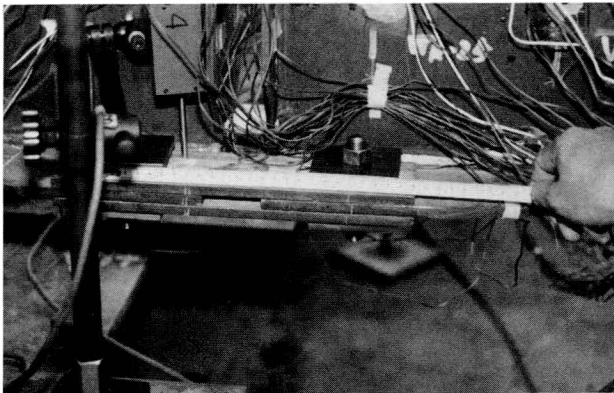


写真-7 支圧・ピン継手の塑性変形



写真-8 ピン孔の塑性変形

以上のことから、ピン継手のS 35 CとS M 50 Yとの組合せ使用においては、ダブリング等の補強により、道路橋示方書2.2.2のヘルツの許容支圧応力度を用いて設計すれば十分使用可能な事が分かった。

以上の(1)~(6)の考察により、応急桁の主桁継手として、添接部材および高力ボルト数が少なく現場組立作業性の良い構造としては、図-13 (a), (b)が考えられる。

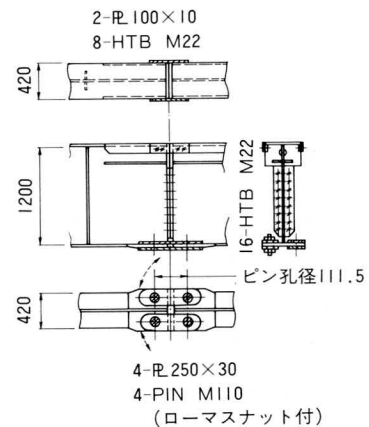


図-13 (a) 支圧HTB継手

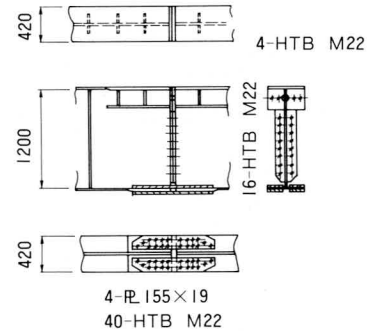


図-13 (b) 支圧・ピン継手

6. あとがき

災害時の応急橋梁用の簡易継手としての、支圧・HTB継手および支圧・ピン継手の基礎的な試験結果について、概要を述べた。本試験は基礎的な試験であり、今後実用的な試験として、一部の型式に対して疲労試験等の実施を予定している。

<参考文献>

- 1) 道路橋示方書・同解説 日本道路橋会 昭和55年2月
- 2) 清水; MT Bridgeの仕様と施工例、宮地技報No.3; 1987年1月