

接触式高力ボルト支圧接合に関する模型試験

Model Tests of Metal Touch Bearing Type Connections
with High Tension Bolts

小玉 茂* 吉田 紘一** 川崎 誠司***

Shigeru KODAMA, Koichi YOSHIDA and Seiji KAWASAKI

鋼橋部材の現場での接合方法として、一般に高力ボルト摩擦接合が用いられている。しかし、最近ボルトの遅れ破壊の問題などにより、接触式支圧接合が提案されている。

この工法は、摩擦接合が力を添接板と部材間の摩擦力によって伝達するのに対し、ボルトの支圧とせん断力によって伝達するものである。

この工法による添接部に関して、模型げたによる静的載荷試験と疲労試験を行った結果
(イ) 応力範囲を実橋の3.3倍以上で疲労試験を行った結果、ボルトおよび添接部に異常は発生しない。

(ロ) この工法による疲労強度は摩擦接合より低いが、50キロ鋼のリベット接合同程度であった。

(ハ) 繰返し荷重によるナットの緩みは見られない。
などが得られた。

《接合；高力ボルト；鋼橋；模型試験》

Friction Type Connection for High Tension Bolts are mostly used in steel bridges.

However because of the occurrence of delayed fractures, Metal Touch Bearing Type Connections have recently been proposed.

Friction Type Connections utilize the friction between members and splice plates, while Bearing Type Connections utilize the bearing and Shearing Strength of Bolts.

The structures laboratory performed static loading tests and repeated loading fatigue tests on Metal Touch Bearing Type Connections, and the following results were obtained:

1) Bolt and splice positions appeared normal after repeated loading at 3.3 times the designed load of the bridge models.

2) The Fatigue Strength of Metal Touch Bearing Type Connections was lower than for the Friction Type, however, it was the same as that of 50 kgf/mm steel rivet connections.

3) Nuts did not become loose after repeated loadings.

Keywords: connection, high tension bolt, steel bridge, model test.

*構造研究室員 **同室長 ***同室副室長

まえがき

鋼橋の現場部材連結方法として、一般に高力ボルト摩擦接合が多く用いられているが、最近ボルトの遅れ破壊の問題などにより、支圧接合する方法が提案されている¹⁾。この工法は、摩擦接合が力を添接板と部材間の摩擦力によって伝達するのに対し、ボルトの支圧耐力とせん断耐力によって伝達するものである。しかし、この工法による実橋での使用例はまだ少ない。虹鱗橋²⁾は一般国道 276 号千歳市の支笏湖畔に架設された橋長 32.20 m、幅員 12.50 m (車道 9.50 m、歩道 3.00 m) の単純合成鉄橋であり、接触式高力ボルト支圧接合法を初めて全面採用した。

本報告は、この工法による添接部の安全性確認のため模型げたによる静的載荷試験と疲労試験を行い、その結果について述べるものである。

1. 試 験

この試験は、荷重による添接部のボルトの変化状況を調べることと、疲労試験のための予備データを得るための静的載荷試験と繰返し荷重による添接部の変化に関する疲労試験を油圧サーボ式疲労試験機により行った。

(1) 模型げた

模型げたは図-1に示すものを5体製作し、1体を静的載荷試験用、4体を疲労試験用とした。材質は実橋に使用された鋼材 (SM 53 B)、高力ボルト (F 8 T, M 22) を用い、ボルトの締付けはトルクレンチにより F 6 T 程度³⁾とした。また、添接部鋼板の防錆塗装も本橋と同じ A-1 塗装とした。

けたのクリアランス (ボルトと孔のすき間) によるけたたわみ δ_c と弾性変形によるたわみ δ_e の関係は、次のようになる。

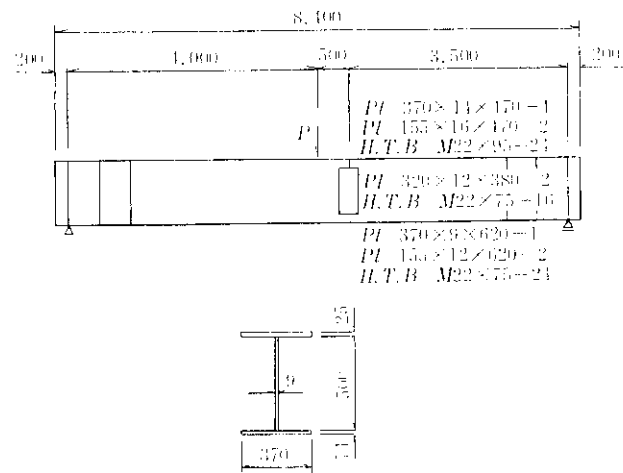


図-1 模型げた一般図 (単位: mm)

$$\delta_c = \delta_t - \delta_e \dots \dots \dots (1)$$

δ_t : 全体のたわみ

δ_e : 弾性変形によるたわみ (せん断変形によるたわみも考慮)

図-2において、添接板位置のクリアランス C とたわみ δ_c の関係は次のようになる。

l_1 側のすき間 $C_1 = C_{01} + C_{L1}$ であり、

$C_1 = \theta_1 \cdot h$, $\delta_c = \theta_1 \cdot l_1$ となる。この2式より θ_1 を消去すると $\delta_c = l_1 \cdot C_1 / h$

同様に l_2 側は $\delta_c = l_2 \cdot C_2 / h$ となる。

$C_1 + C_2 = C$ とすると、

$$C = h \cdot \delta_c / l_1 + h \cdot \delta_c / l_2$$

$$\delta_c = (C/h) \cdot (l_1 \cdot l_2) / (l_1 + l_2) \dots \dots \dots (2)$$

模型げた中央のクリアランスによるけたたわみは、

$h = 0.50$ m, $l_1 = 4.50$ m, $l_2 = 3.50$ m とすると、

$\delta_c = 3.50$ となる。

(2) 静的載荷試験

けた上下フランジのボルト各 48 本には、図-3に示す溝付きボルト⁴⁾を使用し、ひずみゲージ 2 枚を貼付した。ボルトの箇所を図-4, 5に示す。載荷荷重は 0 ton から 60 ton まで 2 ton ごとと 5 ton ごととし、各荷重ごとに測定した後、破壊箇所および破壊状況確認のため、荷重を増加した。

(3) 疲労試験

疲労試験は表-1に示す条件で行った。測定は各けた

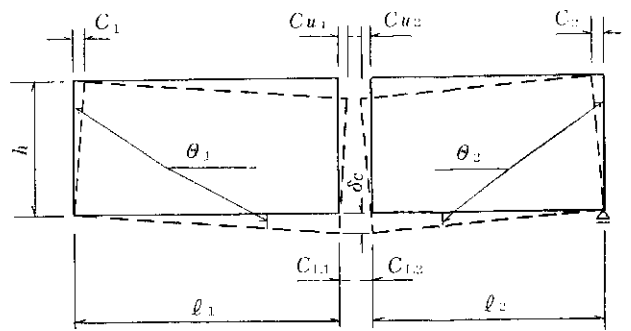


図-2 クリアランスによるけたたわみ

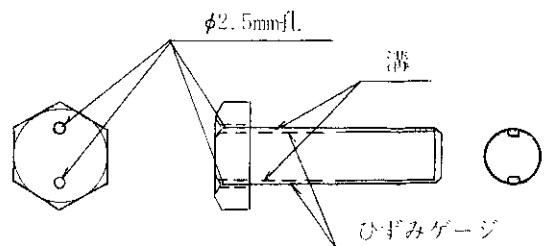


図-3 溝付きボルト

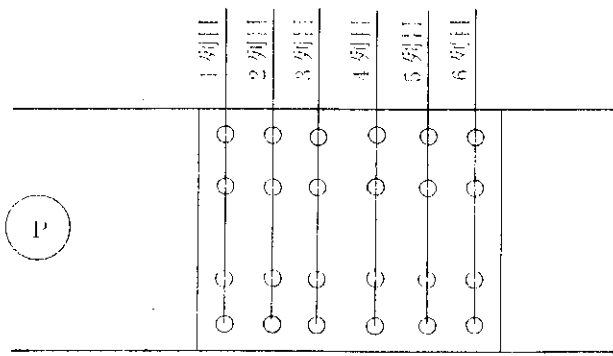


図-4 上フランジボルトひずみ測定箇所

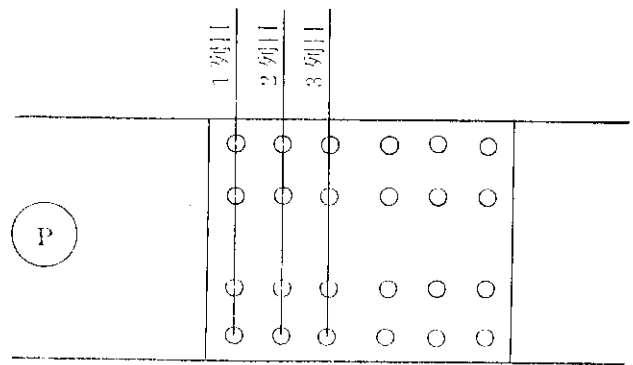


図-6 上フランジボルトひずみ測定箇所

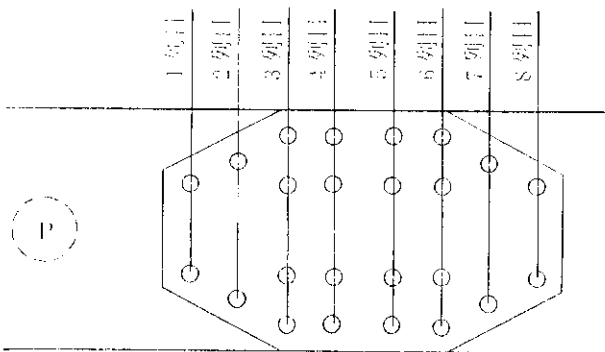


図-5 下フランジボルトひずみ測定箇所

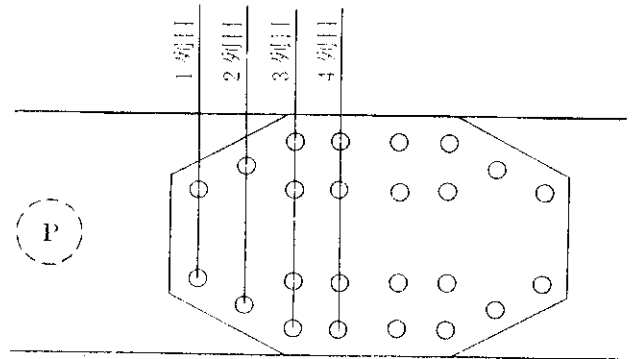


図-7 下フランジボルトひずみ測定箇所

表-1 模型げたの荷重条件

模型 げた	荷 重 (t)			載荷周期 (Hz)	疲労破壊までの 繰返し回数
	下限	上限	範囲		
A	20	40	20	1.5	500×10^4 回以上
B	10	50	40	1.0	9.9×10^4 回
C	15	45	30	1.0	22.7×10^4 回
D	18	42	24	1.0	48.9×10^4 回

たわみと上下フランジのけた間すき間の変化、ひずみの測定は、A げたでは上下フランジの載荷点側 24 本に溝付きボルトを使用し、B げたは上下フランジ添接板、C、D げたは上下フランジ添接板および下フランジ、腹板にひずみゲージを貼付し行った。溝付きボルト使用箇所およびひずみゲージ貼付位置を図-6~12 に示す。測定は繰返し数が 0, 100, 200, 500, 1000, 2000, 5000, 1 万, 2 万, 5 万, 10 万, 20 万, 50 万, 100 万, 100 万以降は 50 万増すごと 500 万まで (ただし、B~D げたは破壊前まで) とし、疲労後測定した。測定時の載荷荷重は 0 ton から 10 ton ごと上限荷重までとした。

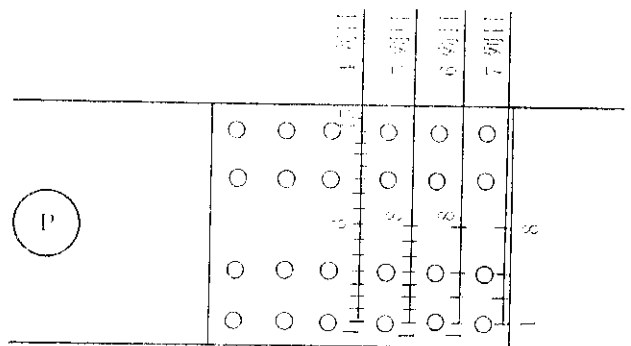


図-8 B げた上フランジ添接板ゲージ箇所

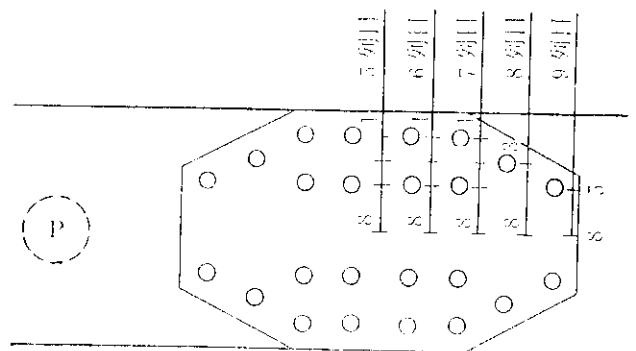


図-9 B げた下フランジ添接板ゲージ箇所

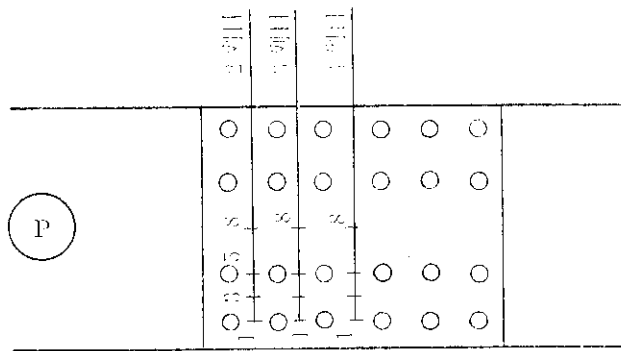


図-10 C, Dげた上フランジ添接板ゲージ箇所

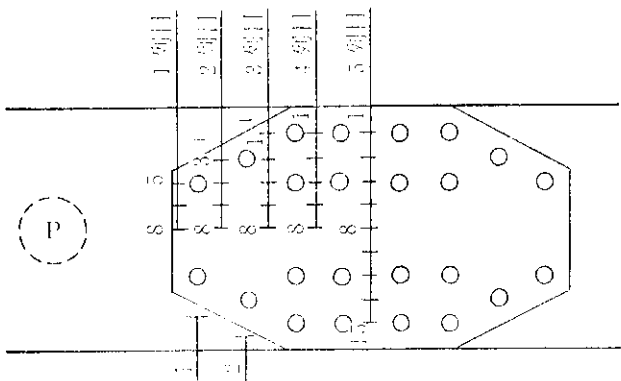


図-11 C, Dげた下フランジ, 添接板ゲージ箇所

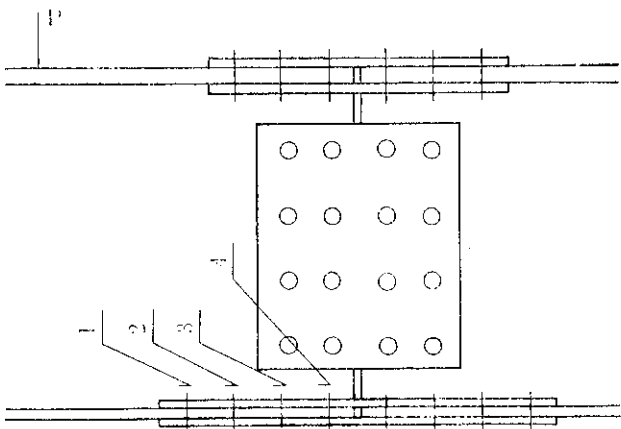


図-12 C, Dげた腹板ゲージ箇所

2. 試験結果

(1) 静的載荷試験結果

静的載荷時のボルトひずみを図-13, 14に示す。上フランジでは載荷点側1列目が一番ひずみが大きく、次いで支点側の6列目となった。また、下フランジでは全体的にほぼ一定となっているが、支点側8列目が最大となっている。これは、ボルト軸表面とボルト孔内面が接触するメタルタッチが完全でなく、ボルトに曲げの力が作用しているためや、添接部が摩擦接合状態になっているためと思われる。

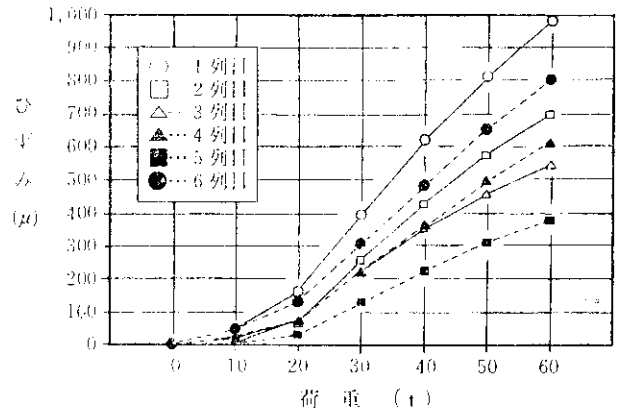


図-13 静的載荷時上フランジボルトひずみ

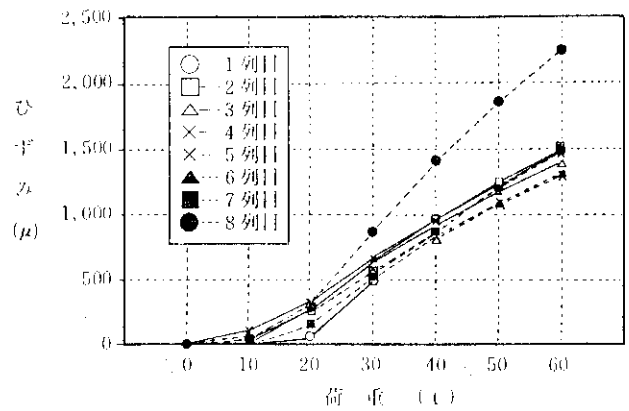


図-14 静的載荷時下フランジボルトひずみ

また、静的載荷試験げたと疲労試験げた4体のクリアランスによるけたたわみとけた間すき間の関係を、それぞれ図-15, 16に示す。クリアランスによるたわみは、全体のたわみの1割以下と小さいために誤差が大きくなるが、静的載荷試験げたと疲労試験げたのB, Dの実測値が計算値とほぼ同じとなった。

本試験で最終的な破断箇所、状況確認のため、90 tonまで載荷した。載荷後の状況を写真-1に示す。けたは載荷点位置で座屈を起し、ボルトの曲がりはいくらかあったが添接部に特に変化はなかった。

(2) 疲労試験結果

疲労試験の載荷荷重は表-1のとおりであり、Aげたは破断せず、B~Dげたはいずれも下フランジの載荷点側のボルト孔周辺から破断した。各けたの結果は次のとおりである。

(イ) A げた

けたは 500×10^4 回まで繰返し荷重をかけたが破断せず、疲労試験を中止した。疲労後のボルトひずみを図-17, 18に示す。上下フランジとも載荷点側の1列目が最大となり、次いで添接板中央となった。疲労後のひずみが小

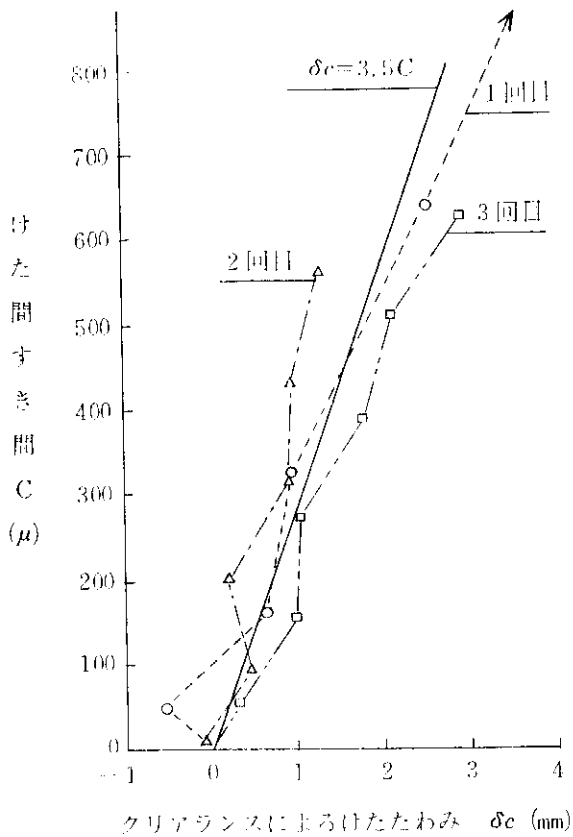


図-15 けたたわみとすき間

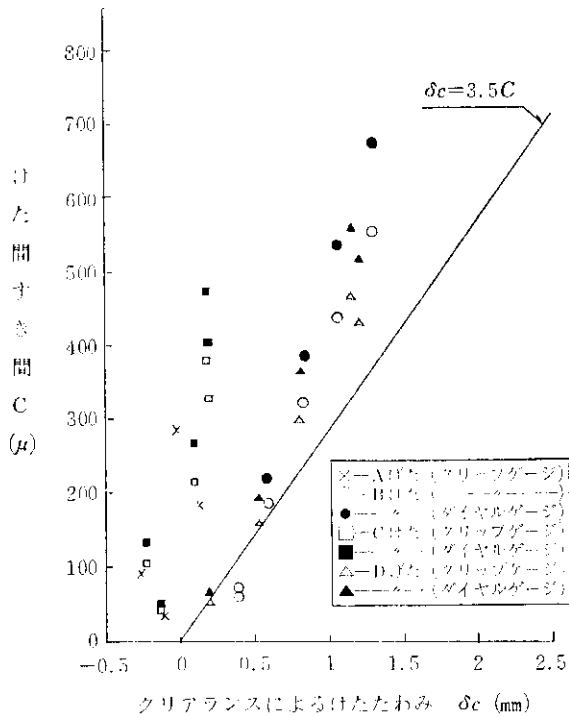


図-16 けたたわみとすき間

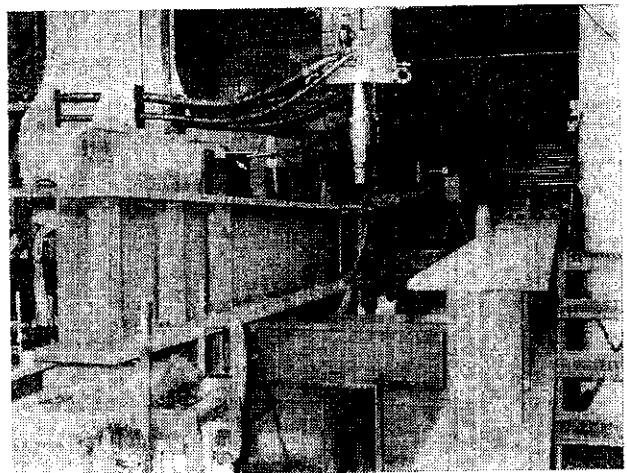


写真-1 静的载荷試験後状況

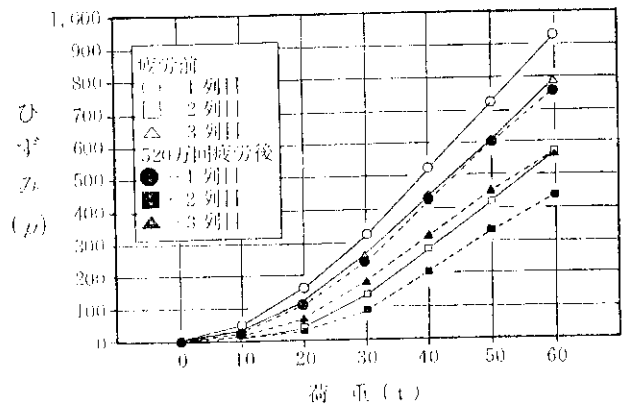


図-17 A げた上フランジボルトひずみ

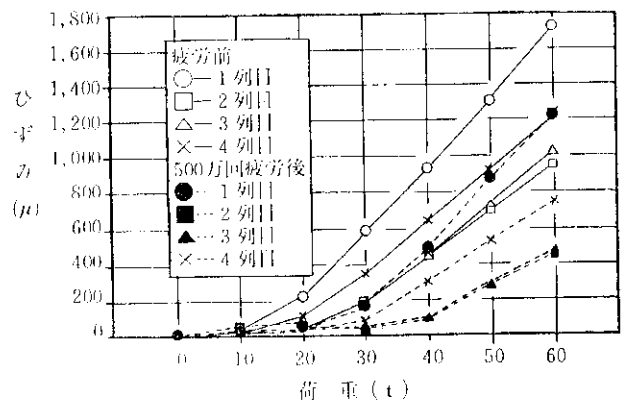


図-18 A げた下フランジボルトひずみ

さいのは、繰返し数が増加するとボルトと上下添接板とのメタルタッチが進行し、曲げ力が減少したと思われる。疲労後の上下フランジの内面を写真-2, 3に示す。ボルト孔は上フランジでは変化はないが、下フランジの载荷点側が多少支点側方向に変形し長円形になっている。また、ボルト孔周辺の防錆塗装がすり減り、地金がでてきているが、これは摩擦接合と異なり添接板と本体

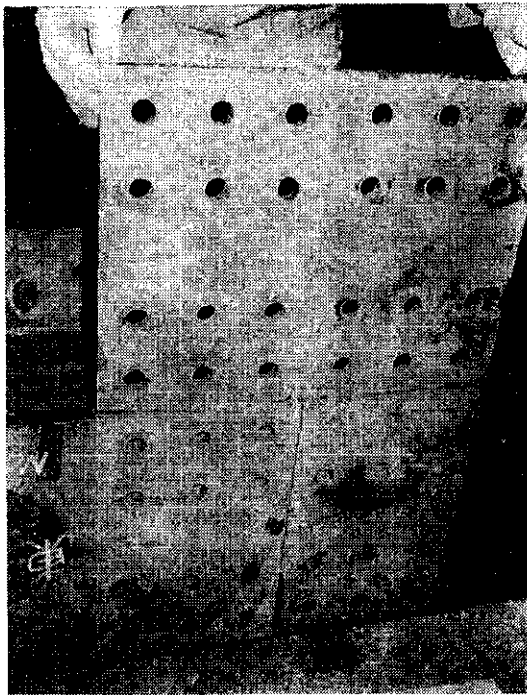


写真-2 A げた疲労後上フランジ内面

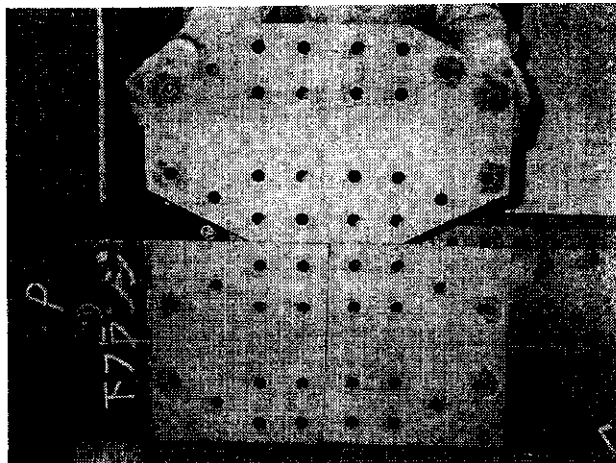


写真-3 A げた疲労後下フランジ内面

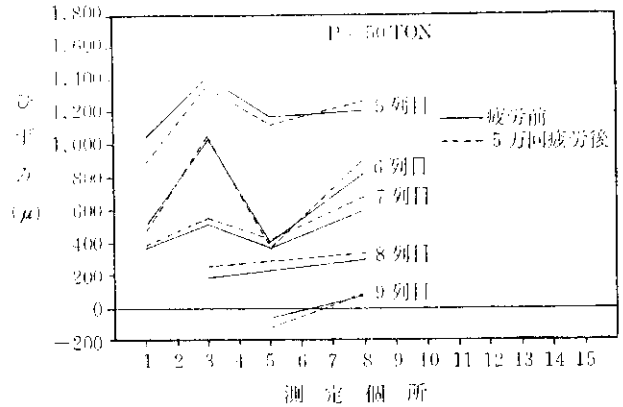


図-20 B げた下フランジ添接板ひずみ

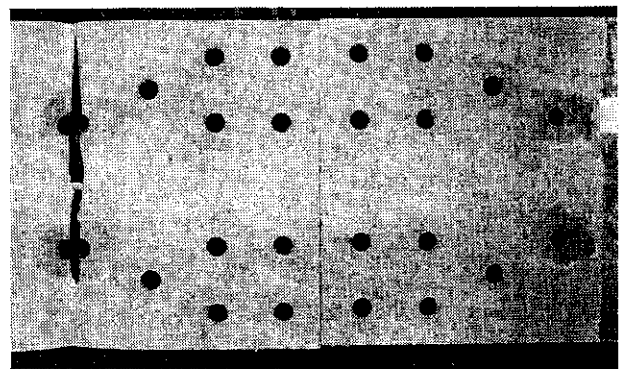


写真-4 B げた下フランジ添接板断状態

がすれているためである。

(ロ) B げた

B げたは 9.9×10^4 回で下フランジの荷点側 1 列目のボルト付近で破断した。添接板のひずみを図-19, 20 に示す。ひずみは添接板中央部が大きく、支点側に近づくほど小さくなっている。上フランジでは添接板中央のけた方向の圧縮が小さく、下フランジではボルトのないけた方向の引張りが大きい。疲労前後の差はほとんどない。破断箇所の状況を写真-4 に示すが、荷点は写真左側である。

(ハ) C, D げた

C げたは繰返し数が 22.7×10^4 回、D げたは 48.9×10^4 回で破断した。添接板のひずみを図-21~24 に示す。ひずみは添接板の中央部が大きく荷点側ほど小さくなっているが、B げた同様疲労前後に差は見受けられない。下フランジと腹板のひずみ変化を図-25, 26 に示す。ひずみは荷点側が大きく、破断前にひずみが上昇している。破断の状況を写真-5, 6 に示すが、破断箇所は B げた同様、下フランジの荷点側のボルト周辺であった。

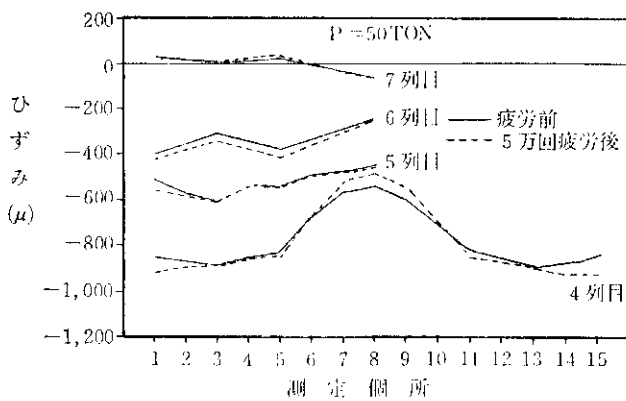


図-19 B げた上フランジ添接板ひずみ

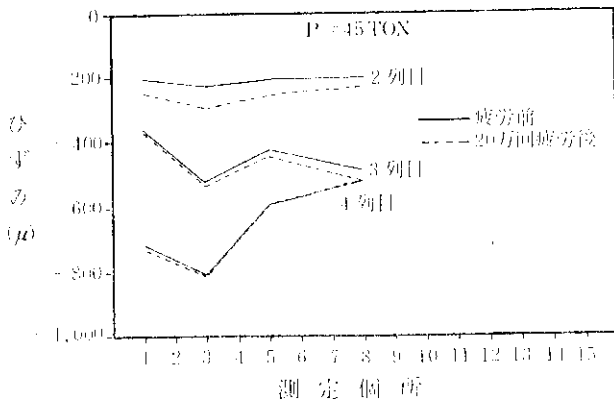


図-21 Cげた上フランジ添接板ひずみ

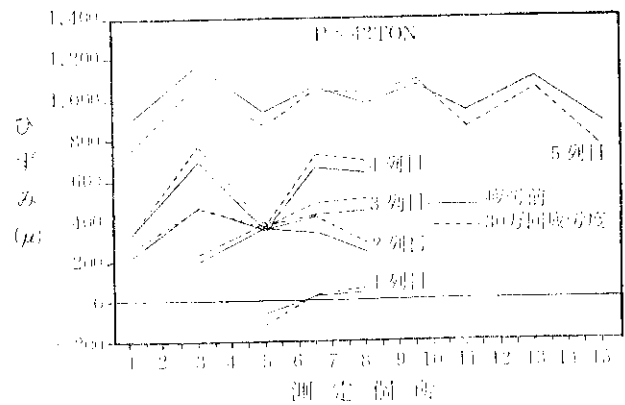


図-24 Dげた下フランジ添接板ひずみ

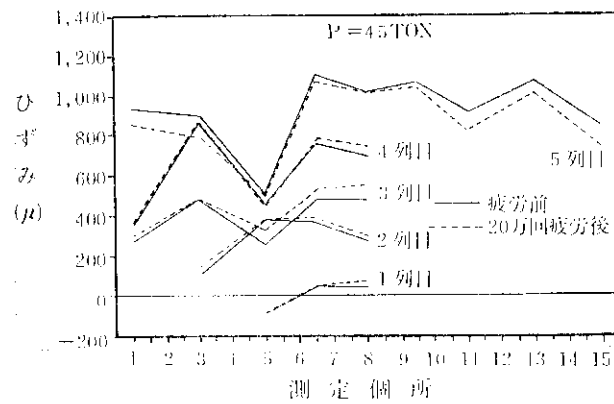


図-22 Cげた下フランジ添接板ひずみ

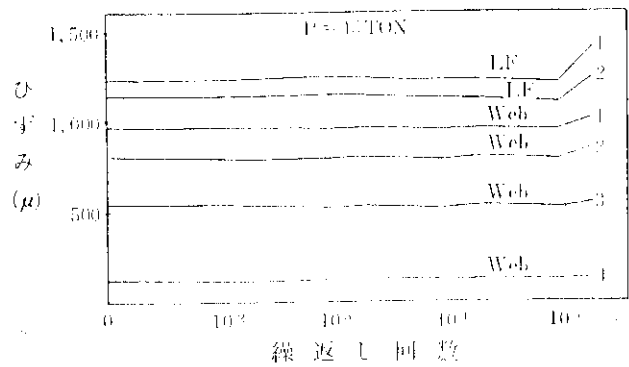


図-25 Cげたひずみ変化

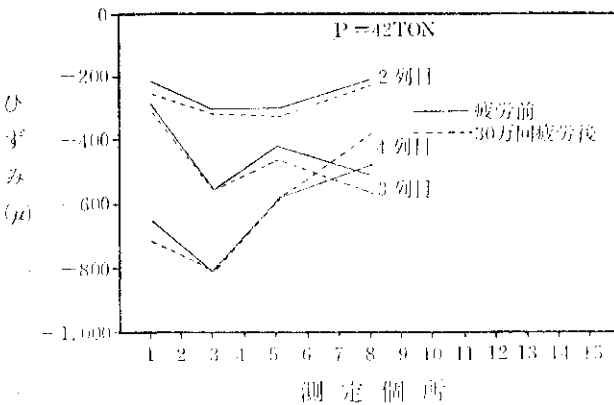


図-23 Dげた上フランジ添接板ひずみ

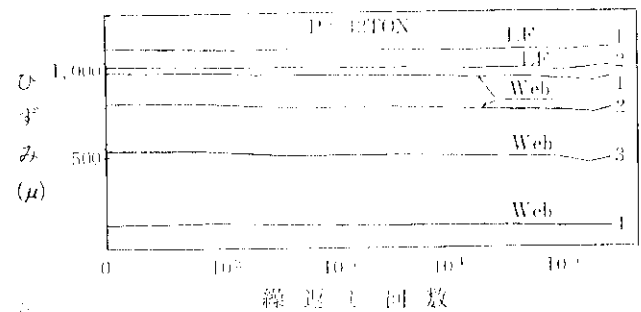


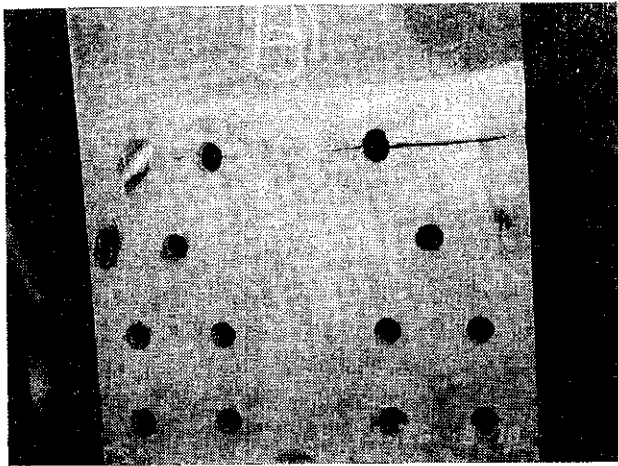
図-26 Dげたひずみ変化

3. 試験結果の考察

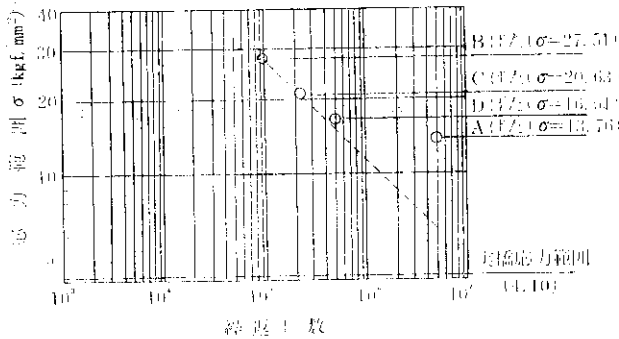
疲労強度は応力振幅のみに支配され、平均応力に影響されないという研究⁵⁾が発表されており、下フランジの破断箇所の応力範囲と繰返し数の関係は図-27のようになる。疲労試験げたの内、A げたが他に比べ繰返し数が非常に大きいのは、溝付きボルトを使用したためとボルト全体のメタルタッチがよかったためと思われる。この応力範囲と繰返し数の関係をテストピースによる試験の資



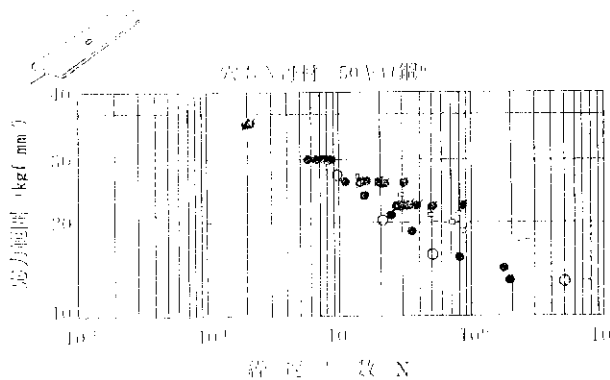
写真-5 Cげた下フランジ破断状況



写真—6 Dげた下フランジ破断状況



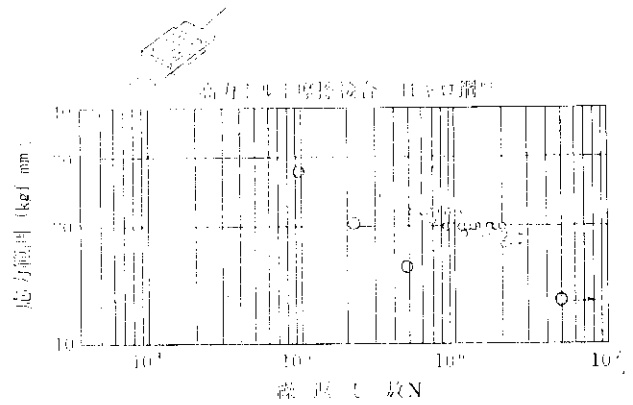
図—27 応力範囲と繰返し数



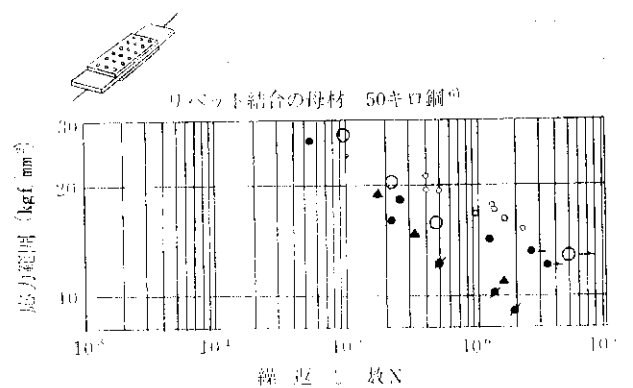
図—28 応力範囲と繰返し数

料⁹⁾と比較した。図-28の50キロ鋼の穴あき母材と比べ、繰返し数は下限値程度となり、図-29の41キロ鋼の高力ボルト摩擦接合よりかなり小さいが、図-30の50キロ鋼のリベット結合の母材に近く、この工法のけたは50キロ鋼のリベット結合の母材と同程度の疲労強度と思われる。実橋梁の下フランジ添接部にかかる荷重は、20.4 ton から 26.4 ton 程度で、応力範囲は 4.10 kgf/mm² となり、疲労に関しては問題はないと思われる。

また、試験後のボルトトルク値の測定結果を表-2に示す。添接箇所による差の傾向はみられないが、全体的



図—29 応力範囲と繰返し数



図—30 応力範囲と繰返し数

表—2 けた箇所別ボルトトルク値 (単位: kg·m)

模型 げた	上フランジ		腹 板		下フランジ		平 均	
	\bar{x}	σ_n	\bar{x}	σ_n	\bar{x}	σ_n	\bar{x}	σ_n
A	2,958	252	3,038	362	2,683	454	2,875	396
B	3,192	422	2,723	278	2,767	475	2,925	471
C	3,139	433	2,829	544	3,158	383	3,075	467
D	2,650	384	2,538	537	2,917	526	2,722	506
平均	2,983	437	2,783	486	2,881	496	2,897	478

に当初締付けトルク値の75%程度に減少していた。これは、ボルトの伸びおよび防錆塗装の減少に基因すると思われるが、試験前にボルトとナットにつけたマークにズレはなく、ナットの緩みは見受けられない。したがって、高力ボルトF8Tの締付けをF6T程度としても、繰返し荷重によるナットの緩みには影響はないと思われる。

あ と が き

今回の試験結果から次のことがわかった。

- (イ) 下フランジの応力範囲を3.3倍以上の荷重で疲労試験を行ったが、ボルトおよび添接板に特に変化はなかった。
- (ロ) 本工法による疲労強度は、50キロ鋼のリベット結合と同程度であった。
- (ハ) 高力ボルトF8TをF6T程度に締付けても、繰返し荷重によるナットの緩みは見られない。
- (ニ) 添接板接触面の防錆塗装は荷重周期が短く、荷重も大きかったために、ボルト周辺の塗装がすり減っていた。

今回のけたは自重が小さいために、けた組立時に自重によるけたの沈降が少なく、当初完全にメタルタッチしていない傾向にあったが、繰返し回数が増加するとメタルタッチが進行し、500万回を疲労の限度と仮定すると、疲労強度は最低でも6.2 kgf/mm²程度となり、本橋の設計活荷重に対して添接部の安全性が確認された。

最後に、本試験に際し模型製作に御協力いただいた札幌開発建設部札幌道路事務所および五洋建設(株)室蘭製作

所の各位、長時間にわたる試験に御尽力いただいた当研究室の関係者に対し、厚く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 渡辺 昇; 接触式高力ボルト支圧接合法, 横河橋梁(株)技報第14号, 1984. 11.
- 2) 七條牧生, 油谷公政, 高橋恒男; 接触式高力ボルト支圧接合法を用いた実橋梁架設(一般国道276号虹鱒橋の工事報告), 第29回北海道開発局技進研究発表会論文集, 昭和61年8月.
- 3) 日本道路協会; 道橋路土方書・同解説, 昭和55年2月.
- 4) 渡辺 昇, 佐藤浩一, 高橋 渡, 及川昭夫; 接触式高圧ボルト支圧接合法の研究(接合部の全強について), 昭和59年度 土木学会北海道支部論文報告集.
- 5) 土木学会; 構造物の安全性・信頼性, 昭和51年10月15日.
- 6) 土木学会; 国鉄建造物設計標準解説(鋼鉄道橋 鋼とコンクリートの合成鉄道橋), 昭和58年5月31日.

*

*

*

技

は
北
ン
VL
し
冬
い
似
使
イ
197
し
月

土