



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	高力ボルト支圧接合法の研究
Author(s)	渡辺, 昇; Watanabe, Noboru; 佐藤, 浩一 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 118, 13-22
Issue Date	1984-02-07
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/41831
Type	departmental bulletin paper
File Information	118_13-22.pdf



高力ボルト支圧接合法の研究

渡 辺 昇 佐 藤 浩 一
林 川 俊 郎 及 川 昭 夫

(昭和58年9月30日受理)

Study on Bearing Connection Method of High-tensile Bolts

Noboru WATANABE, Koichi SATO, Toshiro HAYASHIKAWA
Akio OIKAWA

(Received September 30, 1983)

Abstract

High-tensile bolts dependent on friction between parent plates and splice plates have been used in field splicing of steel bridges, but recently the number of cases of damage, due to delayed fracture by hydrogen, of such friction bolts has increased remarkably. Such cases are the causes of steel bridges damage.

Therefore, in place of such friction bolts in field splice, the writers have developed a method using high-tensile bolts based on their bearing and shearing strength after various tests in laboratory. The study on the bearing and shearing connection method of high-tensile bolts has been developed to such an extent that it can be put to practical use. For example, the engineering team of Rumoi Development & Construction Division of Hokkaido Development Bureau has constructed the Futamata Bridge, in which the newly developed high-tensile bolts were tested in practice. The results of the experiment in field have been satisfactory.

Here a report of the state of affairs with regard to our study on the bearing and shearing connection method of high-tensile bolts, has been made.

1. ま え が き

高力ボルト摩擦接合がわが国で使用され始めたのは1954年頃からであるが、最近このボルトの遅れ破壊による欠落が目立ってきている。例えば、首都高速道路公団の高架橋に使用された高力ボルトの欠落がすでに130本を超えたと報告されている(土木学会第36回年次学術講演会講演概要集第1部I-102, 昭和56年10月)。高力ボルト摩擦接合には次のような欠点があることがわかってきている。

1) 高強度の高力ボルトほど遅れ破壊を起しやすい。2) 継手部の部材、添接板の板厚が厚くなると高力ボルトの長さが長くなり、高力ボルト自身の応力弛緩が大きい。3) 添接板の内面に防錆塗料などを塗ると摩擦力が低下するおそれがあり、また塗膜の厚さが厚くなるほど高力ボルト

ト自身の応力弛緩が大きい。

そこで、高力ボルト摩擦接合に代るものとして、高力ボルトの支圧耐力とせん断耐力に依存する高力ボルト支圧接合法を考え、各種の室内実験を行ない、昭和58年9月16日に北海道開発局留萌開発建設部の二股橋の実橋架設にこの接合法を適用して成功したので、ここに以上の経過を報告する。

2. 高力ボルト支圧接合法について

今回開発した高力ボルト支圧接合法は、従来すでにある「打込式支圧接合法」と異なる。高力ボルト支圧接合の場合、現場における橋の架設方法は次のようになる。

図1のような桁橋の場合、支保工の上で継手部に添接板をあて、ボルト孔のいくつかにドリフ

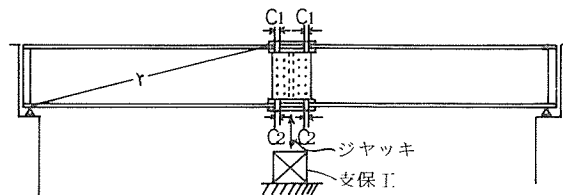


図1

トピンを打ちこんで橋桁の位置決めを行ない、次いですべてのボルト孔にボルトをセットしたら、ジャッキをゆるめて、ボルト軸表面とボルト孔内面とを接触させる（以降、メタルタッチという）。この時、上フランジ部では最大クリアランス C_1 だけ内側に、下フランジでは $C_2 (< C_1)$ だけ外側に水平移動を生じ、その結果継手部は鉛直に δ だけ沈降する。その後すべてのボルトをF6T程度の締付力で締めつけて架設が完了する。クリアランス C_1 が小さい程鉛直沈降量 δ は小さい。この δ を零にしたいときは、桁の継手部を δ だけ上げこした状態で上フランジ添接板のボルト孔の位置をきめて削孔しておけばよい。なお、図1において、 r と C_1 の寸法が与えられれば、幾何学的に δ は計算できる。

図2のようなアーチ橋の場合も、継手部のすべてのボルト孔にボルトをセットしたら、架設用ケーブルをゆるめることによってメタルタッチさせ、その後すべてのボルトを締めつけて架設が完了する。

高力ボルト支圧接合には、次のような利点がある。

1) F8TあるいはF10Tの高力ボルトを使用する場合でも、継手部はF6T程度の締付力で締めるので、ボルトの遅れ破壊の心配は殆んどない。2) 継手部の部材と添接板の板厚が厚くなり、高力ボルトの長さも長くなっても、継手耐力に影響がない。3) 添接板の内面に任意の防錆塗料を塗ることができる。4) 溶融亜鉛メッキ高力ボルト（F8Tクラス）を使用することができる。5) MGS（Mechanical Galvanizing System）処理亜鉛メッキ高力ボルト（F8T、F10Tクラス）を使用することができる。6) ステンレスボ

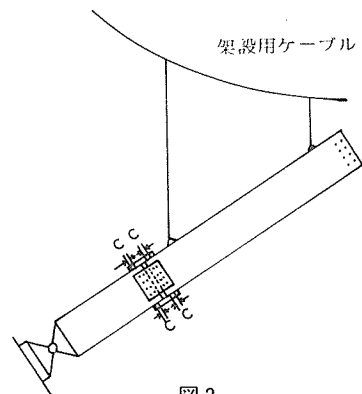


図2

ルトを使用することができる。7) 高力ボルト摩擦接合の場合には、22mm径高力ボルトの1本の1摩擦面当りの耐力は、F 8 Tで3900kg、F 10 Tで4800kg、F 11 Tで5100kgであるが、高力ボルト支圧接合の場合には、継手耐力がボルトのせん断できまる場合、22mm径高力ボルトの1本1せん断面当りのせん断耐力は、F 8 Tで5700kg、F 10 Tで7200kgである。

3. 高力ボルト支圧接合法の室内実験

高力ボルト支圧接合法の基礎的な実験は、昭和58年6月より北海道大学工学部開発科学実験所内で行なわれた(写真1)。

図3のように、ボルト孔径が $\phi 22.1$ 、 $\phi 23.0$ 、 $\phi 23.6$ 、 $\phi 25.0$ 、すなわち、ボルト孔径とボルト軸径との差(クリアランス)が $C=0.1\text{mm}$ 、 1.0mm 、 1.6mm 、 3.0mm の4種類の桁を作り、荷重 P を19tまでかけ、支間中央の鉛直たわみ δ 、 \overline{AB} のちぢみ f_u 、 \overline{CD} のひらき f_t を実測した。

(1) メタルタッチ後の実験結果
継手部をメタルタッチさせた後に、スパナで適当量ボルト締めして載荷すると、図4、図6のようになり、クリアランス

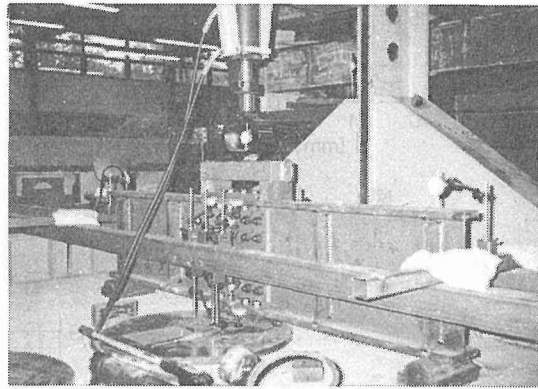


写真1 室内実験

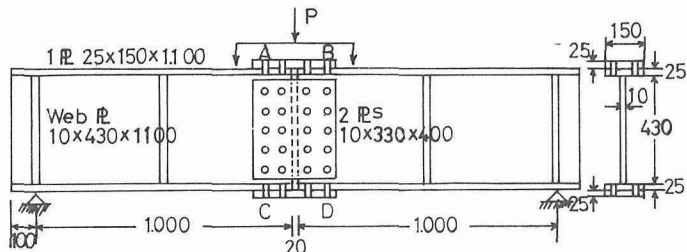


図3

の多少にかかわらず、除荷後も原点にもどり、継手部は完全弾性体の挙動を示した。このことは、橋の架設中の位置決めに問題が生じないことを示している。

(2) メタルタッチさせないときの実験結果
桁を水平にしてメタルタッチさせないで、スパナで適当量ボルト締めして載荷すると、図5、図7、図8、図9のようになり、クリアランスの多少の影響が δ 、 f_u 、 f_t にあらわれた。しかし除荷の時の勾配 $\tan\alpha$ 、 $\tan\beta$ は完全弾性体のものに等しかった。

4. 高力ボルト支圧接合の設計施工指針案

北海道土木技術会鋼道路橋研究委員会制定の「北海道における鋼道路橋の設計及び施工指針」(昭和58年改訂版)の中に、次のような「高力ボルト支圧接合設計施工指針案」が採択された。

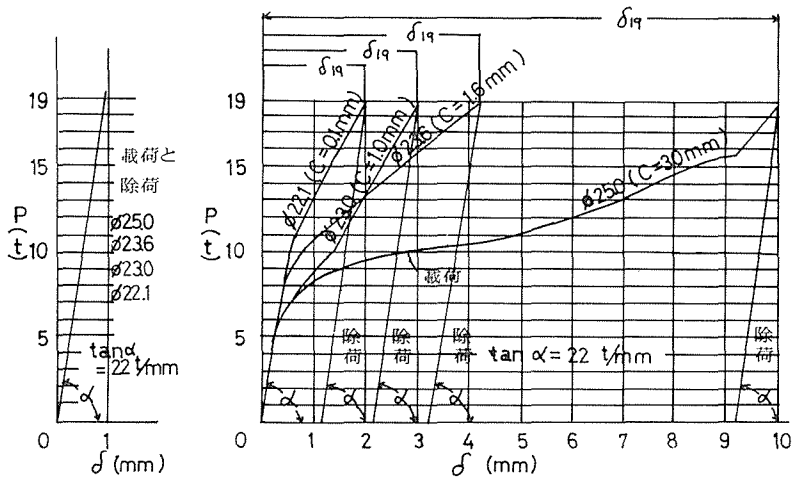


図 4

図 5

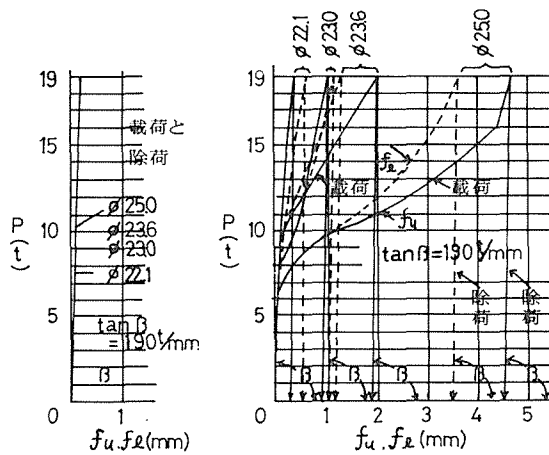


図 6

図 7

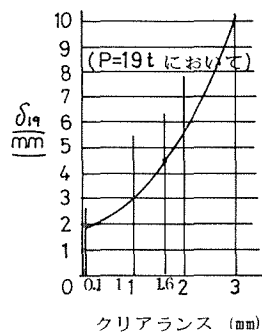


図 8

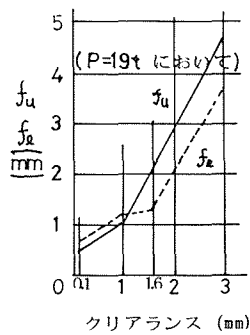


図 9

(1) 部材の現場継手に高力ボルト支圧接合を用いる場合には、高力ボルトは軸径22mmのものを標準とし、次の事項に留意するものとする。

- 1) 高力ボルトの軸径の基準寸法は22.0mm、許容差は±0.1mmとする。
- 2) 部材、添接板などのボルト孔径の基準寸法は22.9mmとし、削孔の許容差は±0.3mmとする。
- 3) ボルト孔のずれは0.5mm以下とする。

(2) 部材の現場継手に高力ボルト支圧接合を用いる場合の許容応力度は次のとおりとする。

- 1) 高力ボルト：(kg/cm²)

	F 8 T	F 10 T
せん断	1500	1900
支 圧	6400	9000

- 2) 鋼板：(kg/cm²)

	S S 41 S M 41 S M A 41	S M 50	S M 50 Y S M 53 S M A 50	S M 58 S M A 58
引 張	1400	1900	2100	2600
せん断	800	1100	1200	1500
支 圧	2100	2800	3100	3900

(3) 部材の現場継手に高力ボルト支圧接合を用いる場合、ボルトの締付力はF 6 T程度とし、ナット回転法によってよい。

(4) 死荷重にくらべて活荷重の占める割合が大きく、しかも繰返し応力や厳しい応力変動をうける一次部材の接合の場合、あるいは交番応力をうける二次部材の接合の場合には、F 8 T、M22を標準とする高力ボルト摩擦接合によるものとする。

[解説]

(1) 高力ボルト支圧接合の場合には、クリアランスをできるだけ小さくする必要がある。いまボルト軸径 $22.0 - 0.1 = 21.9$ mm、ボルト孔径 $22.9 + 0.3 = 23.2$ mmの場合は、クリアランスは1.3mmとなる。また、ボルト軸径 $22.0 + 0.1 = 22.1$ mm、ボルト孔 $22.9 - 0.3 = 22.6$ mmの場合は、クリアランスは0.5mmとなる。すなわち、本指針によればクリアランスは最小0.5mm、最大1.3mmである。したがって、最小0.5mmのクリアランスは、ボルト孔のずれ0.5mmを包含し、最大1.3mmのクリアランスはAISCの最大クリアランスの規定 $\frac{1}{16}$ inch (=1.6mm) 内に入り、ボルト孔径の許容差±0.3mmは道路橋示方書の打込式支圧ボルトの規定値であり、ボルト孔のずれ0.5mmは道路橋示方書のリベット孔のずれの規定値である。

(2) 一般に、鋼材の強さには次のような関係がある。

(引張強さ) × 0.8 ≒ 降伏点, (降伏点) × 0.6 ≒ 許容引張応力度, (許容引張応力度) / $\sqrt{3}$ ≒ 許容せん断応力度, 降伏点 ≒ 許容支圧応力度。

なお、日本建築学会では、許容支圧応力は降伏点の1.25倍、または、引張強さの0.7倍のうち

小さい方の値をとっている。高力ボルトのせん断強さを引張強さの $1/\sqrt{3}$ と考え、安全率を降伏点に対しては1.7, 引張強さに対して3.0と考えて計算すると次のようになる。

	降伏点 σ_y (kg/cm ²)	引張強さ σ_B (kg/cm ²)	$\frac{1}{1.7} \cdot \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}}$ (kg/cm ²)	$\frac{1}{3} \cdot \frac{\sigma_B}{\sqrt{3}}$ (kg/cm ²)
F 8 T	6400	8000~10000	2170	1540
F 10 T	9000	10000~12000	3050	1920

これらの値のうち低い方の値を本指針の許容せん断応力度の値として採用した。

次に、道路橋示方書Ⅱ鋼橋編では、許容支圧応力度 (kg/cm²) として次の値を用いている。

	S S 41 S M 41 S M A 41	S M 50	S M 50 Y S M 53 S M A 50	S M 58 S M A 58
打込式支圧接合用高力ボルト	2400	3200	3600	4600
鋼板と鋼板との平面接触 (許容引張応力度) × 1.5)	2100	2800	3100	3900
工場リベット	2400	3200		
現場リベット	2100	2800		
仕上ボルト	2100			
ピン	2100			

本指針では、鋼板と鋼板との平面接触、現場リベット、仕上ボルト、ピンなどの場合を参考にして、許容支圧応力度を定めた。

なお、継手部の強度計算については、リベット継手の場合と全く同様にして行なえばよい。リベット継手の強度計算では、「リベット値」という言葉が用いられているが、ボルト支圧継手の場合は「ボルト値」という言葉に置きかえるとよいだろう。したがって、純曲げを受ける部材の継手部においては、応力分布の中立軸附近のボルト値は、応力分布の最大値附近のボルト値より低減されることになる。また、応力分布の中立軸附近のボルトは、そのクリアランスのために遊びが生じているように思われるが、実際には F 6 T 程度のボルトの締付けが行なわれているので心配はなく、また、橋の架設中の位置決めにも問題は生じない。なお、あるボルト群のうち、一部のボルトのみが支圧状態になり、他のボルトがクリアランスのために遊びの状態になるのではないかと心配が考えられるが、リベット接合方式や支圧接合方式においては、許容支圧応力度は降伏点に等しいものとして規定しているように、継手の支圧面は塑性変形をするという前提条件が入っており、本指針の場合では、最大クリアランス1.3mmに相当する塑性変形が生じれば、すべてのボルトに遊びがなくなり、最終的には、すべてのボルトが応力伝達に寄与することになる。

(3) 高力ボルト摩擦接合では、現場での高力ボルトの締付けに当っては、高力ボルトに所定の締付軸力が導入されたかどうかを確認するための厳しい施工管理が必要となる。これに対して高力ボルト支圧接合では、継手の耐力は、鋼板の支圧とボルトのせん断に依存するため、ボルトの

締付けには、特に厳しい管理を必要としない。部材と添接板とをF 6 T程度の締付力でボルトを締めつければよい。(むしろ、あまり締めつけすぎてボルト自身の遅れ破壊を起すことのないようにした方がよい。例えば、F 10 Tのボルトを用いる場合でも、F 6 T程度の締めつけでよい)。ボルトの締付けは、道路橋示方書15.4.5に規定されている「回転法」によってよいものとした。この方法は、接触面の肌すきがなくなる程度にトルクレンチで締めた状態、あるいは組立用スパナで力いっぱい締めつけた状態から次に示す回転角を与えれば、F 6 T程度の締付力が得られる。

(イ) ボルト長が径の8倍または20cm以下：1/3回転(120度)

(ロ) ボルト長が径の8倍または20cm以上：1/2回転(180度)

(4) トラス橋の支間中央附近の腹材などのように死荷重に比べて活荷重の占める割合が大きくしかも繰返し応力や厳しい応力変動をうける一次部材の接合の場合、あるいは横構などのように架設中にメタルタッチの操作ができないような二次部材の接合の場合には、継手部のクリアランスのために、ボルト孔の中でボルトが遊ぶ恐れがあるので、高力ボルト摩擦接合によるものとした。この場合、遅れ破壊に対してF 10 Tより安全度の高いF 8 T、M22の高力ボルトを使用することを標準とした。

5. 高力ボルト支圧接合法による実橋の架設

北海道開発局留萌開発建設部管内一般道々上遠別霧立線羽幌町に“二股橋、が架設された。この橋は、図10のように、4本主桁で幅員8m、支間26m 80×2の2径間連続桁橋であり、五洋建設の製作架設である。鋼材は耐候性鋼材SMWを裸で使用し、高力ボルト支圧接合の高力ボルトは溶融亜鉛メッキ処理のF 8 Tである。この橋は、高力ボルト支圧接合法を用いた第1号の橋であり、その製作架設の概要は次のとおりである。

(写真2～写真13)。

1) 工場における橋桁の仮組立の時に、継手部のボルト孔を後孔で削孔した。後孔とは、部材の板と添接板とを一緒にしてドリルで削孔することである。

2) 製作した桁を現場に運搬し、支保工を用いて桁を架設した。この場合、支保工の上で継手部に添接板をあて、ボルト孔のいくつかにドリフトピンを打ちこんで桁の位置を決め、次いですべてのボルト孔にボルトをセットしたら(この時はドリフトピンはすべて抜いてある)、支保工と桁との間のジャッキをゆるめた。この時、継手部の上フランジおよび下フランジのすき間の変化Cをノギスで測定するとともに、継手部の鉛直沈降量 δ をレベルで測定した。この瞬間にメタルタッチが終了した。そこで、すべてのボルトをF 6 T程度締付けるのであるが、均一な締付力を確保するために、まず、すべてのボルトをトルクレンチを用いて1500kgcmで一次締付けを行ない、次いで、トルク回転法120度ということで、120度の目盛にセットしながら電動ナットランナ(芝浦製 TNR-12T 3 A)を用いて本締めを行なった。本締めの結果、最終的にどの位のトルク値であったかをトルクレンチで検定してみたところ、平均4000kgcm程度の値であったので、F 6 T程度の締付力が確保されたことを確認した。

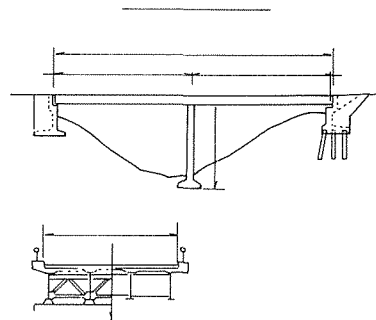


図10

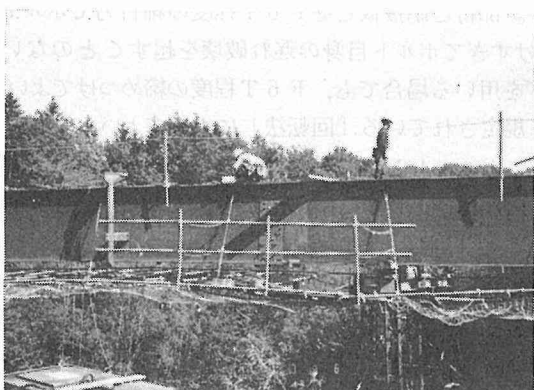


写真2 添接部ドリフトピンで架設中



写真3 ボルト孔径の測定

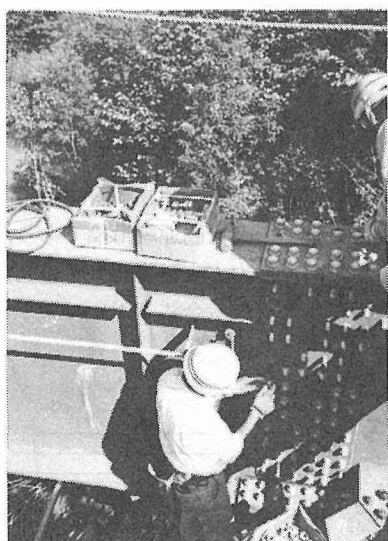


写真4 すべてのボルト孔に高力ボルトをセット

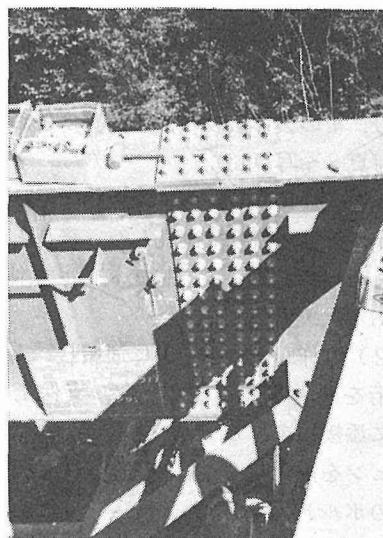


写真5 ジャッキダウン終了



写真6 継手部の鉛直沈降量をレベルで測定(1)

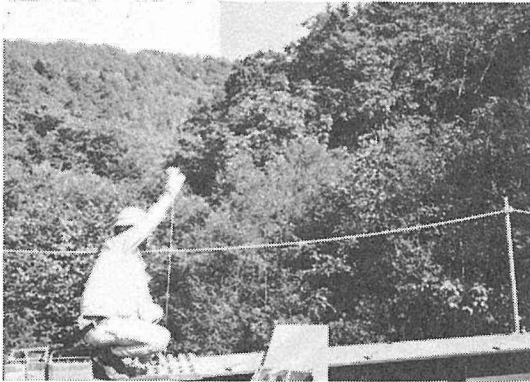


写真7 継手部の鉛直沈降量をレベルで測定(2)

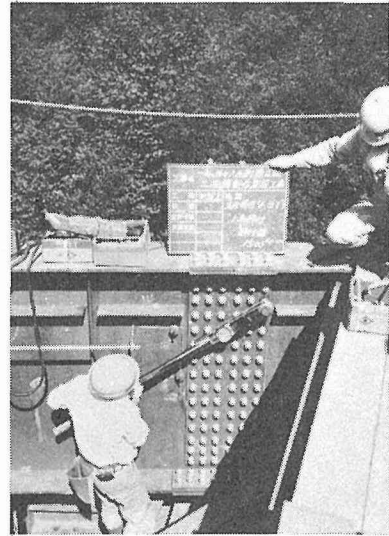


写真9 ボルトの1次締付け

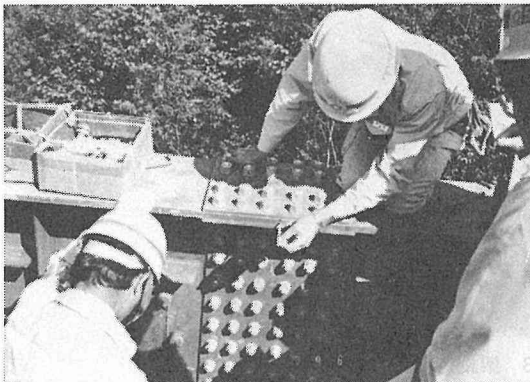


写真8 上フランジのすき間の変化量をケージで測定

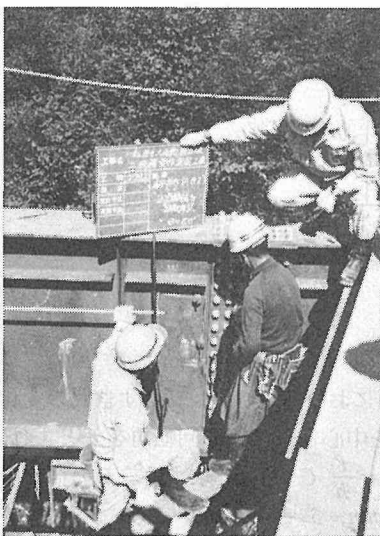


写真10 トルク回転法によりボルトの2次締付け(本締め)



写真11 本締めめのボルトのトルク値確認



写真12 架設完了(1)

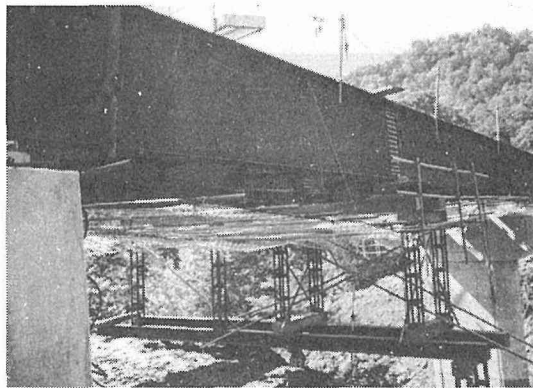


写真13 架設完了(2)

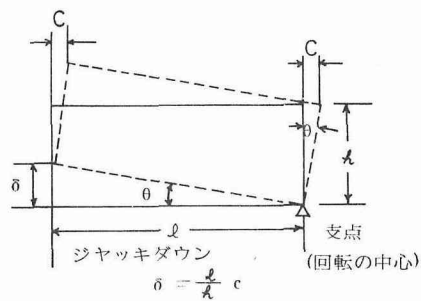


図11

3) 支保工のジャッキをゆるめてメタルタッチの瞬間における上フランジのすき間の変化 C と継手部の鉛直沈降量 δ との関係は、図11のように、支点を中心とした桁の回転角を θ とすれば、 $C = h \cdot \theta$ 、 $\delta = l \cdot \theta$ から θ を消去することにより、 $\delta = \frac{l}{h} C$ として求まる。この橋の場合 $h = 1500\text{mm}$ 、 $l = 9700\text{mm}$ において、実測では $C = 1.6\text{mm}$ 、 $\delta = 10.5\text{mm}$ であったので、大凡計算通りの値であった。