

Scattering of High-strength Bolt Pretension Clamped by Slope Detection Method -
Construction of Steel Scaffolds of the Great Buddha Hall, Todai-ji -

(Akira Nishimura) (Jun-ichi Morioka) (Masayoshi
Komori) (Shunso Kikukawa) (Tadashi Kawada)

:

F10T

1)F10T

2)

3)

4)

Synopsis :

In the steel scaffolds for the special repair of the Great Buddha Hall in the Todai-ji Temple, the field clamping of high-strength bolts, Kawasaki's F10T, was performed by a newly developed bolt clamping method, namely, a so-called "slope detection" method, in which the differential change of clamping electric current is detected to control the electric wrench automatically. In connection with this project such extensive experimental works as the field measurement of the bolt pretension and the experiments on the joint specimens were performed. Main conclusions are summarized as follows: (1) F10T bolt h[6llows: (1) F10Ta1in)50acia1ees: (1/1.as 3



耐力点検出法による高力ボルト軸力のばらつき

—国宝東大寺大仏殿須屋根新築工事—

by Slope Detection Method

— Construction of Steel Scaffolds of the Great
Buddha Hall, Todai-ji —

Akira Nishimura

Jun-ichi Morioka

小 森 正 義***

菊 川 春 三****

Masayoshi Komori

Shunso Kikukawa

川 田 忠 司*****

Tadashi Kawata

Synopsis:

In the steel scaffolds for the special repair of the Great Buddha Hall in the Todai-ji Temple, the field

機器の開発などがあって、高力ボルト摩擦接合に

る。

ところで、使用するボルトの規格が同一条件であれば、高力ボルト摩擦接合の耐力を左右する要因は、

2.1 耐力点検出法

高力ボルト締付け法として、わが国ではトルク

- (1) 摩擦接合面の状態
- (2) 継手の形状・寸法の精度

法が従来主として使用されてきたが、欧米特に米国において一般的なナット回転法が、わが国でも

Table 1 Specification of wrench and accessories

| Model | Mitsubishi electric | Wrench controller | Bolt tightening recorder |
|-------|---------------------|-------------------|--------------------------|
|-------|---------------------|-------------------|--------------------------|

Allowable voltage regulation

-15% ~ +10% of rated voltage

Bolt class & size

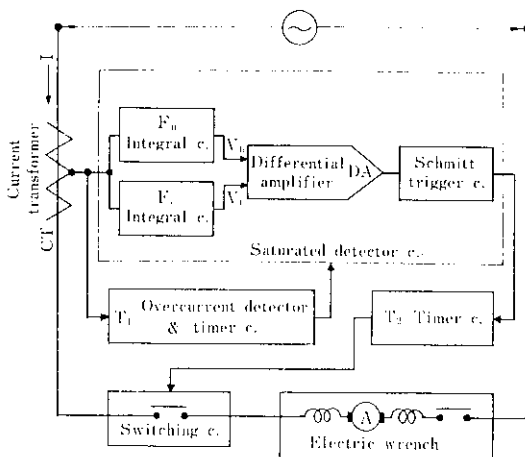
F8T, F10T; M16, M20, M22

Weight (kg)

10 (excl. cord)

12

9



のような高締付け力に対して、ボルト自体には次のような力学的諸特性が要求される。

- (1) 本法は耐力点付近の軸力を直接とらえるので、機械的性質のばらつきが少ないこと。
- (2) 安全性の面から、伸び特性が良好であること。
- (3) 耐遅れ破壊性がすぐれていること。

以上の諸要素を満足する高力ボルトの素材は当社水島製鉄所で開発され、一方、ボルトについては“川鉄ハイテンションボルト”として日本ファスナー工業㈱で製造されているが、このボルトは以下に述べる特性を有している。

| Bolt size | | Bolt (JIS Z 2201 No. 4 test piece) | | | | Bolt set | | Nut | Washer |
|-----------|---------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------|-----------|-------------------|--------|--------------|--------------|
| | | YP (kg/mm ²) | TS (kg/mm ²) | El (%) | RA (%) | P_{τ} (t) | k | H (HRC) | H (HRC) |
| M16 | X | 105.2 | 111.8 | 18.5 | 68.0 | 17.64 | 0.170 | 25.6 | 39.9 |
| | σ | 1.26 | 1.51 | 0.86 | 0.93 | 0.35 | 0.0039 | 1.14 | 0.99 |
| | $n=22$ v | 1.19 | 1.35 | 4.66 | 1.37 | 1.98 | 2.29 | 4.45 | 2.48 |
| M20 | σ | 1.28 | 1.14 | 0.71 | 0.95 | 0.39 | 0.0027 | 0.89 | 1.00 |
| | $n=62$ v | 1.27 | 1.22 | 0.82 | 1.12 | 1.17 | 0.01 | 2.52 | 2.47 |

工事名 国宝東大寺金堂（大仏殿）須屋
根新築工事

養生網張り
作業床 仕上げ用鋼製足場板

供試柱の継手詳細図を Fig. 4 に示す。図中●印は仮締めボルトの位置を、数字は締め付け順序を表わす。

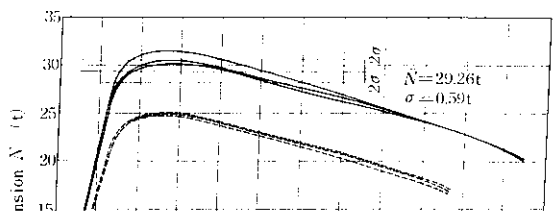
3.2 供試ボルト

供試ボルトは、F10T M22×80（柱主材継手用）208本と、F10T M20×55（柱ラチス材継手用）80本で、素材の化学成分、熱処理履歴、ボルトセットの寸法諸元を Table 3, 4, 5 に、機械的性質および純引張試験の結果を Table 6 に示すが、いずれも JIS B 1186 (1970) の規格値を十分満たしている。

3.2.1 ボルトの特性試験

よるボルト締め付け試験からえたボルトの特性を Table 6, Fig. 5 に示す。これらの諸数値は、すべて初期変形部分の影響を除去するため、弾性域での直線部分の延長線と横軸との交点を原点に

においても、ボルト試験機のロードセルのばね定数 ($K_1=1.01\text{t/deg}$) を補正することにより、被締め



け材が完全剛な場合のボルトの変形特性を求めたものである。なお、ボルトの純引張試験は JIS B 1186 (1970) に準じて行った。

好なもののみ 288 セットを現場実験に使用した。なお、現場実験で測定したひずみ値よりボルト軸力への換算は、すべてボルトごとの履歴特性曲線

現場実験での純引張試験と同様、ボルトのひずみ値より軸力へ換算した。

じ部で破断したが、最大軸力は純引張試験の結果

3.3 実験要領

させてボルトに軸力を導入するときに、ナット回転

供試料の現場線手は仮締めボルト、ドリフトド

時のひずみ値より軸力へ換算した。現場実験での純引張試験と同様、ボルトのひずみ値より軸力へ換算した。

ため、当該ボルトだけでなく、継手部1ブロックのボルト全数について同時に軸力を測定し、ボルト

ト回転角等の関係を Fig. 6 に例示する。本実験の範囲では用いたボルトの1次締めによるボルト

施工に際しての問題（隣接するボルトを締付けた

力の変動は無視しうる。また、ボルトには1次締

ことにより生ずる軸力のゆるみ、リラクゼイション

は軸力の十キヤット程度、1次締め時、十分な

ン等)の解明を図った。なお、仮締めボルトはそのブロックにおいて、それ以外の供試ボルトを1次締めしたのち、番号順に順次供試ボルトに取替えた。

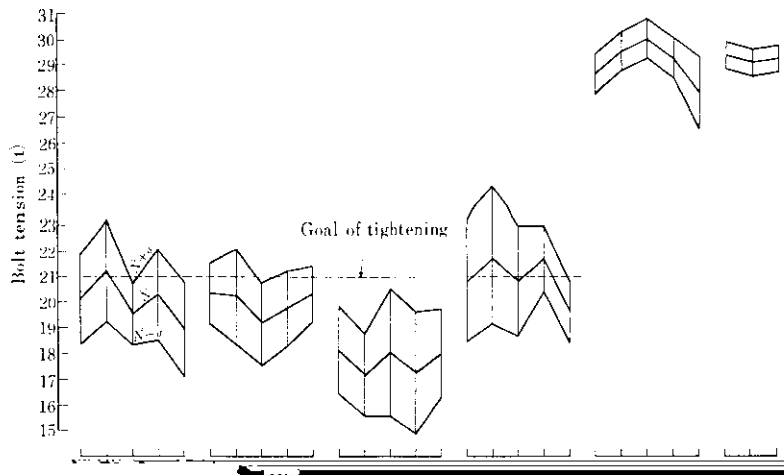
最終ボルト締付け時にほぼ一定の軸力が導入される。一方、1次締めから2次締めに至るナット回転角は、ほぼ100°であるが、これは Fig. 5 でも明らかとなっており、ボルトの耐力点(ボルトの滑り

99.9 | Column
Main member H-300×305×15×15
Lattice member H-150×150×7×10

ため作業安全性は高いが電圧降下の影響を受けやすいので、コードの太さに余裕を見込んでおく必

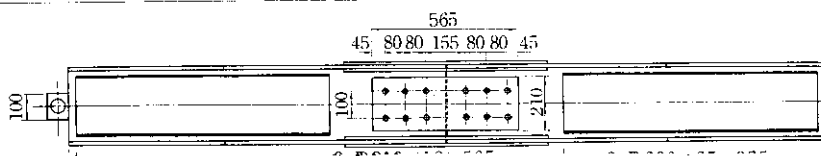
Table 9 Measured bolt tension obtained from field test

| Group | Member | Tightening equipment | Position | Bolt | | Number of pieces | Final tightening (t) | | |
|-------|--------------------------|-----------------------------|----------|-------------|-------------|------------------|----------------------|----------|-------|
| | | | | Designation | Length (mm) | | \bar{N} | σ | v_N |
| | | | UF | | 70 | 12 | 20.1 | 1.8 | 8.96 |
| | | | MU | | 65 | 12 | 21.2 | 2.0 | 9.43 |
| | | | S | F11T W7/8 | 65 | 28 | 19.5* | 1.2* | 6.15 |
| | | | ML | | 75 | 12 | 20.3 | 1.8 | 9.23 |
| | | | LF | | 85 | 28 | 18.9 | 1.9 | 10.01 |
| | | | UF | | 80 | 20 | 20.3 | 1.2 | 5.91 |
| | | | MU | | 70, 80 | 12 | 20.2 | 1.9 | 9.41 |
| | Girder G ₁ | Torque wrench (8 500DBE) | | | | | | | |



Torque wrench Hydraulic wrench Impact wrench Impact wrench Impact wrench Electric wrench

Fig. 8 Scattering of bolt tension by different tightening methods



2-R115 × 12 × 785

A. D. ガイブのすべり試験の報告 (2)

- (2) 継手のすべり荷重は、継手構成ボルトの軸
 力とに比例する。
- (3) 摩擦面のすべり係数は、1継手内では一定

($\times 10^{-3}$)

| |
|----|
| 80 |
| 60 |


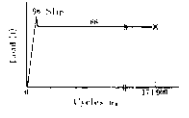
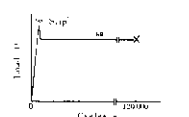
— $\nu = 1.5$
 --- $\nu = 1.0$ } $\alpha = 1.1$

($\times 10^{-3}$)

| |
|-----|
| 2.2 |
| 2.1 |

$\nu = 1.0$

Table 12 Fatigue test results of full-scale specimens

| Test specimen | Loading patterns | n_c | P_s (t) | δ_y (mm) | $\bar{\sigma}_y$ (t/cm ²) |
|---------------|---|---------|-----------|-----------------|---------------------------------------|
| B-1 |  | 184 900 | 110 | 0.45 | 3.8 |
| B-2 |  | 171 900 | 98 | 0.20 | 3.7 |
| B-3 |  | 120 000 | 98 | 0.22 | 3.7 |

 n_c : Number of cycles to failure δ_y : Displacement after slip P_s : Slip load of fatigue test $\bar{\sigma}_y$: Stress in splice plate after slip

業における安全性が卓越しており移動も容易である。また騒音レベルも低い。

(a) 縮めは能率約1,000㎡/台・日で従来の他

(b) 本法によって施工された継手は、すべりおよび破断に対して十分な安全性を有する。

(c) 建物の短期荷重に相当する縮みの繰返し荷

の1度縮めの方法と大差なかった。しかし、

重に対して、すべり発生後、継手は支圧接合

- 9 (1973) 87, 40~43; 10 (1974) 105, 34~36; 11 (1975) 120, 11~12
- 10) 佐々木徹, 峰公雄, 倉橋速生, 浅川貞夫: 高力ボルト用鋼 KF11T の材質について, 川崎製鉄技報, 7 (1975) 3, 47~59
- 11) 大野恭秀, 藤井博巳, 関野昌蔵: B の分布と水素の透過能, 鉄と鋼, 59 (1973) 4, 140

- 13) 内山茂樹, 中垣光弘: 橋梁工事における騒音・振動, 橋梁と基礎, 8 (1974) 4, 1~8
- 14) 日本建築学会: 高力ボルト接合・設計施工指針, (1972), [日本建築学会]