

# 新しい高張力ボルトの生産管理及び施工管理について（富士銀行本店）

|   |   |   |
|---|---|---|
| 加 | 藤 | 勉 |
| 岡 | 田 | 啓 |
| 鈴 | 木 | 健 |
| 吉 | 本 | 昌 |
| 岡 | 松 | 真 |
|   |   | 之 |

\*  
\*\*  
\*\*\*  
\*\*\*\*  
\*\*\*\*\*

## 序

摩擦接合は一応の技術的解決をえて広く使用されるに至ったとはいえ、いまだ適用上の難点を有し、また不明確な点を残しており、その取扱いに関して詳細にわたる一般的な基準をえていない状況にある。そのため、ボルト製品の品質管理および締めつけ施工などにおいては、設計ならびに施工関係者の判断によって適宜処理されなければならない事項が多々あって、個々の場合の取扱いに統一をかくきらいがある。これは時として、混乱を来たしあるいは不合理な結果をまねく一因ともなっている。

従来の施工経験を概観すると、摩擦接合の技術的隘路はボルトの購入過程ならびに締めつけ方法に集約される。ボルト製品については、昨年ようやく JIS B 1186 が定められたけれどもまだその認定工場がない。また締めつけ器具等については、所要の精度を十分有するとは限らない一般の市販製品によらざるをえない状態である。以上のような状況にあって、摩擦接合を正當に適用することは必ずしも容易なことではないであろう。

筆者らは、たまたま摩擦接合を使用した大規模な工事を担当した機会に、改めて実状を見直しながら膨大な数にのぼるボルトの品質保証を合理的に行ない、施工を正しく行なうべく試みると同時に、今後の管理方法を見定めるための資料をうることにした。本報告はその一部で、トルク係数を主体とする製品の品質保証の過程について記述し、さらに現場締めつけの方法と実績について述べ、参考に供するものである。

## 1. 概 要

### 1.1 工事の概要

構造物の規模は地下4階、地上16階、地上高67m、延面積81000m<sup>2</sup>である。地下部分の構造は鉄骨鉄筋コンクリートで、地上部分は鉄骨構造、ただし柱にはコンクリート被覆を施している。鉄骨総重量約12000トン（地上部分）で材質は、柱がSM50A、大ばりがSM50A、SM41A、小ばりがSS41、（H形鋼）、SM41A（鋼板）である。柱一柱、柱より出したブラケット一はり、およびはり一はりの現場接合部はすべて高力ボルト摩擦接合によっている。使用する高力ボルトは2種、呼びW<sup>5</sup>/<sub>8</sub>、W<sup>3</sup>/<sub>4</sub>およびW<sup>7</sup>/<sub>8</sub>の3通りで総本数約90万本に達する。接合部1ヶ所に使用するボルトは多いところで片フランジ42本（柱一柱接合部）である。応力の方向に並ぶ1列のボルト数は最大7本である。

ボルトの最終締めつけはインガーソルランド社製インパクトレンチをキャリブレートして行ない、建築学会高力ボルト摩擦接合施工規準案に定める標準ボルト張力をうるようにした。なお、本構造物の接

合部許容力は $\mu = 0.46$  に対して算定しており、現場組立に際しては十分な摩擦面管理を行なうとともに、ファイラー板を挿入するなどして締めつけ部に $1\text{ mm}$ 以上の肌すきがないよう努めた。

## 1.2 ボルト製品の取扱い

ボルト、ナットおよび座金の品質保証水準は基本的にJIS B 1186に準ずることとした。そのため、ボルトの製造は所定の工程管理能力がある工場に依託し、製造工程の安定性を確認した上で検査を行なうことにした。従来、この種の品質管理方法が一般にほとんどとられていなかった実績不足を補なうために、工場における管理図、社内試験結果の提出を求めるとともに、初期の受け入れ検査ではJISに定める抜取り検査数を上まわる数量について試験を要求した。これは工場側だけでなく受け入れ側にとっても多大の労を必要とした。しかし、実績が蓄積され、品質保証に自信がもてる段階に達してからは、試験数を大巾に削減している。

品質保証の過程では、各製造工程の加工具取換えの時期ないしあるかも知れない条件の相異を考慮して、トルク係数のロットの扱いに関する調査を併行している。

## 1.3 ボルトの締めつけ

施工を正しく行なうには、まずトルク係数を変じさせない製品の慎重な取扱いが前提になり、つぎに締めつけ方法を適切に定めることが要求される。そこで、製品の保管ならびに持出しについてはあらかじめ指示書を作成して取扱いに注意を払い、また各接合部におけるボルトのさし込み方向を指定して必ずナットを回転させるようにするとともに、締めつけ器具の調整および締めつけ順序についても詳細な指示を行なっておいた。

前述したようにボルトに与える最終的な張力は標準ボルト張力を対象にしているのであるが、インパクトレンチの調節が連続的に行なえず、段階的に行なわれるので、必ずしも標準ボルト張力が丁度えられるように調整できるとは限らなかった。このような場合は、標準ボルト張力を若干上まわってもやむをえないとし、結局、全体としては所要値より大きい締めつけを与える結果になった。ボルトの機械的性質の余力が大きいことを考慮すると、この措置は許容力に対し安全側となり、妥当な余力をもたらししている。トルク係数のバラツキ等によりボルトが締めつけ破断する確率がそれだけ大きくなったはずであるが、実際の施工では全く破断例がなく、良好な結果をうることができた。

# 2. ボルト製品の製造管理および検査

## 2.1 ボルトの仕様および使用数量

この工事に使用するボルトは呼び $W^{5/8}$ 、 $W^{3/4}$ および $W^{7/8}$ の3種類でその機械的性質は、JIS B 1186 2種に準じ次のとおりとした。

ボルトの機械的性質

完成品の最小引張強度

|           |         |
|-----------|---------|
| $W^{5/8}$ | 13.0 トン |
| $W^{3/4}$ | 19.2 トン |

W 7/8 26.6 トン

かたさ H<sub>R</sub>C 26~35

4号試験片による引張試験

表 - 1

| 降伏点 $Kg/mm^2$ | 引張強さ $Kg/mm^2$ | 伸 び % | 紋 り % |
|---------------|----------------|-------|-------|
| 70 以上         | 90 以上          | 14 以上 | 35 以上 |

ナットの機械的性質

か た さ H<sub>R</sub>B 85~100

保 証 荷 重 ボルトの最小引張強度

座金のかたさ H<sub>R</sub>C 40~50

セットのトルク係数は表 2 のとおりとし、その品質保証は JIS B 1186 に準ずる。

表 - 2

| ボルト呼び       | W <sup>5</sup> / <sub>8</sub> , W <sup>3</sup> / <sub>4</sub> | W <sup>7</sup> / <sub>8</sub> |
|-------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| トルク係数値の平均値  | 0.14~0.18                                                     | 0.11~0.14                     |
| トルク係数値の標準偏差 | 0.013 以下                                                      | 0.010 以下                      |

ボルトの形状は当初 JIS B 1186 に従ったが、後にトルク係数をさらに安定させるため座金の形状を一部変更した。

使用ボルトの数量は総計約 90 万本であるが、10 月 25 日までに使用予定の本数は計約 65 万本で、その内訳を図 1 に示した。ここに報告するのは図 1 のボルトに対する検査および 9 月初旬までの約 61 万本に関する実績結果である。

## 2.2 ロットの取扱い

2.1 に示した品質を製品が保持しているかどうかの判定は、JIS の検査方式に準じて行なうこととした。そのためには、各製造工程において同質とみなせる範囲を確認し、工程全般を見渡した上で、ロットの区分を明確にすることが前提となる。

ボルト、ナットおよび座金の機械的性質は、当該の製造工場における従来の実績に基づけば各種の機械加工（鍛造、ねじ加工など）の変動による影響がきわめて小さい。また、この工場の熱処理は連続炉により行なっており、工程の

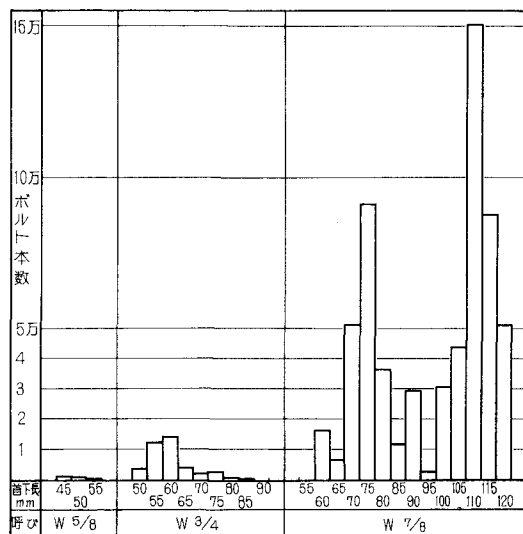
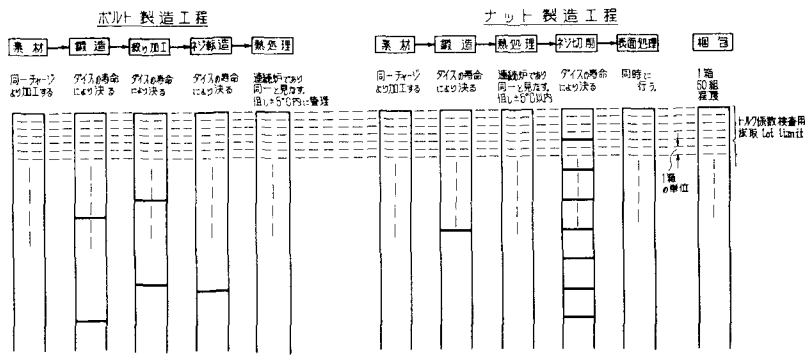


図 - 1 使用ボルトの内訳 (全量の<sup>2</sup>/<sub>3</sub>)

安定していることが確められている。したがって、寸法（ボルトの場合は呼びおよび首下長さ、ナット、座金の場合は呼び）および材料の チャージナンバー によってロットの区分が定まることになる。ただし、このようなロットが非常に大きくなる場合には、未だ J I S 認定工場がない実情も考慮し、1 ロットの最大数量を 10000 に定めた。

トルク係数は機械的性質と異り、各工程の条件変化に影響され易いと考えられるが、不明確な点が多い。そこで、トルク係数のロットの取扱いにあたっては、基礎的データをうる目的もあって、つぎのようにシビアな方法によった。すなわち、図 2 はトルク係数に関係があると考えられた各工程と、それぞれ同質とみなせる範囲を模式的に表わしたものであるが、ナットのねじ切削における区分をロットの単位とした。



図ー２ トルク係数管理のためのロットの考え方

製品の出荷に際しては、図 3 に例示したような工程区分を記入した明細表を添付し上記のロットが読みとれるようにした。

2.3 検査

初期の約 20 万組 (S40.3 まで) の製品については、工程が安定していることを確認した上で工場では社内試験を行ない、さらに受入れにあたって抜き取り検査を行なうことにした。検査数は表 3 のとおり多くして信頼度の向上をはかった。社内および受入れ検査の結果は比較的一致しており、かつすべてが 2.1 の性質に適合していた。また、呼びが同一のものではロット間に大きな相異が認められていない。図 4、図 5 に呼びが同一のボルトの検査結果を集計してヒストグラム表示した例を示したが、トルク係数に対しても全体の変動係数は 6 % 弱で、これから概して均質のものをえたことが分る。

2.2 で記述したように、トルク係数に対しては工程条件の変化を考慮し、結局ナットねじ切削のダイス変更による区分をロット単位としたが、以上のようにこの区分がトルク係数に大きな影響を与えるも

| 箱 No. | ボルト    |       | ナット    |       | 座金     |       | セットのトルク係数平均値 | 数量 (組) | サイズ        |
|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------------|--------|------------|
|       | 調番     | ロット区分 | 調番     | ロット区分 | 調番     | ロット区分 |              |        |            |
| 1     | H21634 | B-36  | H28388 | N1075 | H27229 | W75   | 0.159        | 100    | W 3/4 x 60 |
| 2     |        | 3E-1  |        | 13T-1 |        | S-4   |              | 100    |            |
| 3     |        | 3R-1  |        |       |        |       |              | 100    |            |
| 4     | H21634 | B-37  | H28388 | N1075 | H27229 | W75   | 0.159        | 100    | W 3/4 x 65 |
|       |        | 3E-1  |        | 13T-1 |        | S-4   |              |        |            |
|       |        | 3R-1  |        |       |        |       |              |        |            |
| 5     | H21634 | B-31  | H20578 | N-25  | H29435 | W67   | 0.136        | 90     | W 7/8      |
| 6     |        | 3E-1  |        | 3T-2  |        | S-3   |              | 90     |            |
| 7     |        | 3R-1  |        |       |        |       |              | 90     |            |
| 8     | H21634 | B-31  |        |       |        |       |              | 90     |            |

図ー３ 出荷明細対照表例

記号 B : ボルト区分, E : ボルト絞り工程区分  
R : ボルトねじ製造区分  
N : ナット製造区分, T : ナットねじ切削区分  
W : 座金製造区分, S : 表面処理区分

表-3 抜取検査数 (s 40. 3 まで)

( )内は受入れ検査数

| 試験<br>内容    | 機 械 的 性 質      |        |        |       |       | トルク係数                                      |
|-------------|----------------|--------|--------|-------|-------|--------------------------------------------|
|             | 1 ロット<br>の 数 量 | カタサ    | 保証 荷 重 | 試験片引張 | 完成品引張 |                                            |
| ボ<br>ル<br>ト | 1000 以下        | 20 (3) |        | 2 (0) | 3 (3) | セットロット<br>500組毎に<br>5 (5)                  |
|             | 1001~4000      | 25 (3) |        | 2 (0) | 3 (3) |                                            |
|             | 4001~7000      | 30 (3) |        | 2 (0) | 3 (3) |                                            |
|             | 7001~10000     | 35 (3) |        | 2 (0) | 3 (3) |                                            |
| ナ<br>ツ<br>ト | 1000 以下        | 10 (3) | 2 (2)  |       |       | -----<br>( s 40. 4以降)<br>2000組毎に<br>20 (0) |
|             | 1001~4000      | 15 (3) | 3 (3)  |       |       |                                            |
|             | 4001~7000      | 20 (3) | 3 (3)  |       |       |                                            |
|             | 7001~10000     | 25 (3) | 3 (3)  |       |       |                                            |
| 座<br>金      | 1000 以下        | 10 (3) |        |       |       |                                            |
|             | 1000~4000      | 15 (3) |        |       |       |                                            |
|             | 4001~7000      | 20 (3) |        |       |       |                                            |
|             | 7001~10000     | 25 (3) |        |       |       |                                            |

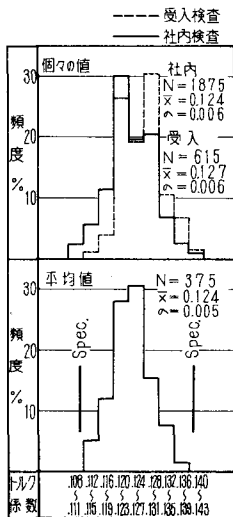


図-4 トルク係数試験の実績  
(s 40. 3まで)

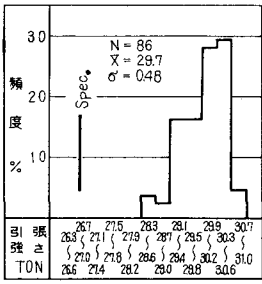


図-5 完成品引張強度試験の実績  
(社内検査 s 40.3まで)

のでないことが確認された。

上の実績にもとづき、4月以降は過大な数量について検査を行なう必要がないと判定され、トルク係数のロット区分およびその検査数を改め(表3参照)、受入れ検査を省略し、社内検査のみによることにした。その結果はそれまでの検査結果と同等とみなされ、工事も円滑に継続されている。

3. 現場における締めつけおよび検査

3.1 締めつけ準備

ボルトは使用する半月ないし1ヶ月前に現場倉庫に納めることを原則とした。使用に際しては、2日分毎の数量を指示し、倉庫で梱包をほどき、必要に応じてボルトの油をふきとる等の手入れを行ない、ボルト、ナット、座金を組合せ、締めつけ箇所毎に区分した。この場合、トルク係数のロットが、同一作業箇所においては同一になるようにした。

このようにして区分したボルトを、締めつけ前日に現場に搬入し、カバーをかけて保管に注意した。

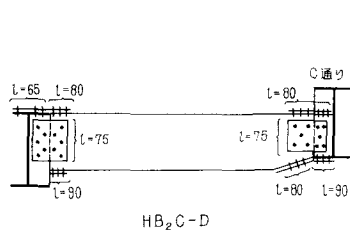


図-6 ボルト長さ指示図の例

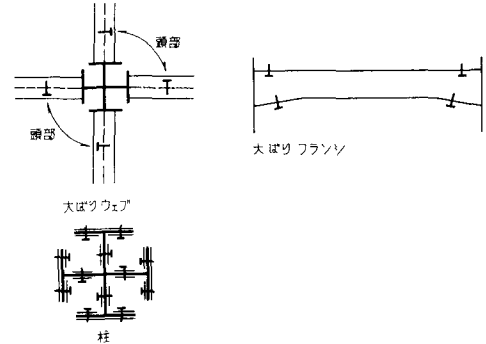


図-7 ボルト使用方向指示図の例

3.2 締めつけ器具の調整

現場におけるボルト締めつけは、はじめ電動レンチにより、標準ボルト張力の60～80%まで締めた後インガーソランド社製トルクコントロール・インパクトレンチを使用して行なった。

インパクトレンチの調整は、午前と午後各1回作業開始時に行なった。その方法は、スキッドモア軸力計を使用し、現場と同様にまず、電動レンチで60～80%の軸力を与え、つぎにインパクトレンチにより締めつけ、連続3組のボルト張力がよく一致すると確かめられ、かつその平均値が標準ボルト張力になるように調整した。ただし、インパクトレンチの調整は軸力に対し連続的に行なえず、1.4～2.7トン毎に段階的に行われるので、標準ボルト張力より高めの値にセットする場合が多く出た。そのため、本年4月から6月まで3ヶ月間締めた41万本あまりのボルトについての調整時軸力は図-8に示す分布となっている。同図より、実際に与えた張力が設計ボルト張力を十分保持している事がわかる。平均値は標準ボルト張力より約4%多い値になっているが、ボルト強度に余裕があるので、ボルト破断等の支障は起っていない。

なお、このインパクトレンチ調整時に、トルクレンチにより締めつけトルクを測定し、締めつけ検査のための資料をえた。これにより求められたトルク係数は、社内検査または受入れ検査時のトルク係数と若干の差を生じている。これは締

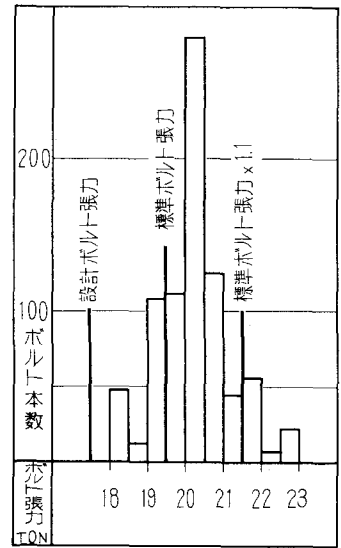


図-8 インパクトレンチ調整時のボルト張力の分布 (W7/8)

めつけ手段、測定誤差などに起因すると思われるが、取扱い上注意しなければならない問題ではある。

### 3.3 締めつけ検査

締めつけ検査は次の2点について締めつけを行なった日の内に行なった。

- (1) 締め忘れがあるかどうか。
- (2) 締めつけ力が不足しているかどうか。

(1)の「締め忘れ検査」のため、電動レンチによる締めつけが終った段階で全てのボルトのナットの側に、ナット、座金、母材にわたってチョークでマークをつけ、最終的な締めつけが終った後、そのズレの有無を簡単に確認できるようにした。もし1本でも締め忘れがあった場合は、そのボルトを含む一群のボルト全部を締め直した。

(2)の「締めつけ力の検査」はインパクトレンチ調整時に測定したトルク値を規準に行なう。すなわち、本締めの終ったボルトについて、一群のボルト数の10%以上についてトルクレンチでさらにナットを締めつけ、回転を始めた時のトルクを読みとる。この値が、上述の調整時に測定したトルク値の中で最低の値より大きければ合格とし、1本でもこの値に達せずに回転するものが出た場合には、その一群全部を締め直した。

昭和39年11月締めつけ開始より本年7月までに締めた約60万本のボルトについてトルク不足の生じた割合は非常に少なく次の通りである。

|   |   |   |                     |                          |
|---|---|---|---------------------|--------------------------|
| 大 | ば | り | 22                  | ヶ所                       |
| 小 | ば | り | 14                  | ヶ所                       |
|   | 柱 |   | (なし* <sup>1</sup> ) |                          |
| 合 | 計 |   | 36                  | ヶ所 (432本* <sup>2</sup> ) |

\*1 柱については検査不可能の箇所もあった。

\*2 不良本数は1ヶ所(一群:片フランジ)で1本でも締めつけ不足が発見されれば、その一群全部を不良として算出したものである。

ボルト総本数610381本において上の不良本数の割合は0.07%に過ぎない。したがって不良率はきわめて小さいと推定され、締めつけは良好に行なわれたと判定される。