

神戸大学工学部

正員 ○ 西村 昭

三菱電機福岡製作所

正員 秋吉 俊男

(株)寺内製作所

灰川 昭三

1. 緒言

高力ボルト摩擦接合の耐荷力は、同じ幾何学的形状の継手では、ボルト軸力 N と鋼板摩擦面のすべり係数 μ によって左右される。これら N 、 μ の値を実部材において直接測定する方法はまだまだなく、現在用いられているボルト軸力の現場検査法は、トルク法でボルトを締付ける場合は増し締め時のトルク；回転法による場合はナットの回転角によるが、いずれも間接的に軸力を知る方法であり、ことにトルクによるチェック法は、チェックトルクと軸力向の相関性が弱く¹⁾、充分な方法ではない。また、直径30mmを超えるような太径ボルトにおいては、トルクレンチを用いてトルクでチェックすること自身が困難である。本報告はこのような現状に鑑み、別報²⁾のボルト締付方法を用いて、既締付けボルトの軸力推定法を提案し、同法の現場での適用例を述べる。

2. 軸力推定法の概要

図-1は高力ボルトを部材に締付ける場合のナット回転角 θ とボルト軸力 N との関係で、点Sがいわゆるsnug positionで、その近傍から板間の隙間が消滅し、 $N-\theta$ 間に直線関係が始まる。点Yに至るとボルトのねじ部断面に局部降伏が生じ、 $N-\theta$ 関係は上に凸になり、点Mで軸力は最大値を示し、ボルトねじ部にはneckingが始まる。トルク法で

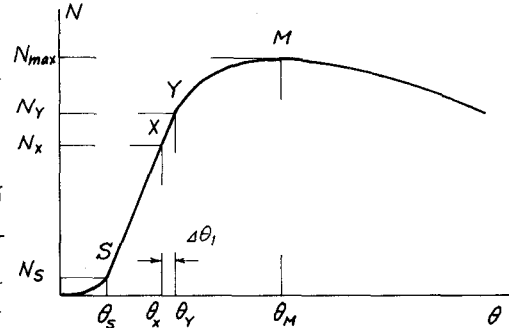


図-1 $N-\theta$ 関係

締付ける場合は、点Yの手前の点Xが最終締付目標となる。そのときの軸力の降伏軸力に対する割合 N_x/N_y は、示力書では0.935 (F8T)；0.825 (F10T；F11T)である。

ここで注目を要するのは、点Yは各ボルトに固有の点で、その N_y の値は同一ロットのボルトについては極めて安定した値を示すことである。ここに提案する軸力測定法はこの点Yを利用しようとするもので、すでに締付けられているナットを更に締付けて点Yに至るまでのナット回転角 $\Delta\theta_1 = \theta_y - \theta_x$ を測定し、同一ロットのボルトについての $N-\theta$ 線上に $\Delta\theta_1$ をとり、点Xすなわち N_x なる初期軸力を推定しようとするものである。

このように提案法では点Yの検出が基本となるが、そのためには別報²⁾の制御回路付き電動レンチを利用する。

図-2 (a) のように初期位置 θ_x からナットを何回も締めて行く場合の回転角の増加(差角)を $\Delta\theta_1$ 、 $\Delta\theta_2$ ……とすると、締付け回と差角との関係は、初期軸力 $N_x \leq N_y$ と $N_x \geq N_y$ と大差関係により、図-2 (b)、(c) のようになる。これは制御回路がボルトの状態変化後、一定時間して作動する特性による。このような図示により、初期軸力が降伏軸力の上にある

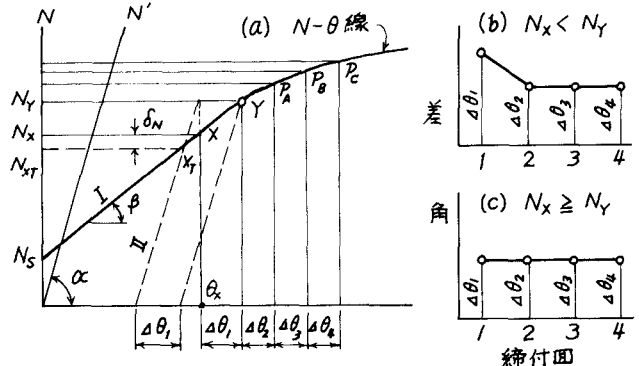


図-2

るか下にあるかの判定ができ、降伏軸力以下の場合には、前述のようにして初期軸力が推定され、一方、降伏軸力以上の場合は、軸力の定量的推定はできない。

以上は $N-\theta$ 関係を直交座標系でプロットした場合であるが、使用する軸力計のばね定数と締付けのそれとが相違する場合には、その影響を補正しなければならない。一般には軸力計のばね定数の方が小さく、それに対しては図-2 (a) のように、両ばね定数の差に応じて N 軸を傾斜せしめた斜交座標によって $N-\theta$ 関係を表わす方法をとる。図示のように差角 $\Delta\theta$ を用いて得られる初期軸力推定値は、直交座標系での N_x に対して斜交座標系では N_{xt} となり、 $\delta_N = N_x - N_{xt}$ だけ N_x を補正する必要がある。斜交軸の交角を α 、 $N-\theta$ 関係直線部の傾斜を β とすると、補正後の軸力は次のようになる。

$$N_{xt} = N_x - \frac{\tan\alpha \tan\beta}{\tan\alpha - \tan\beta} \Delta\theta$$

表-1 屋内試験結果

試験シリーズ	初期軸力(t)	試験数	初期軸力推定値(t)	
			平均値	標準偏差
L-1	31.5 (N_k)	10	—	—
L-2	27	10	—	—
L-3-1	23	10	21.2	0.64
-2		10	23.5	1.45
L-4	19	10	19.4	1.14

3. 軸力測定屋内試験

Skidmore 軸力計 (Model M) に高力ボルトを締付けておいて、そのときの軸力計の読みと、提案法による軸力推定値との誤差を求めた。まず、供試ボルト F11T-M22×75 mm 3本を用いて $N-\theta$ 関係を求め、さらに3本のボルトにより制御回路動作点を定める。そのときの軸力を N_k とし、表-1 のような4段階の初期軸力について試験を行なった。このうち試験シリーズ L-3-2 では、一旦ナットを軸力 0 まで緩めてから締め直し、差角を読みに行くもので、他のシリーズはすべてナットを緩めることなく増し締めして差角を読み取った。

試験結果は図-3、軸力推定値の統計量は表-1 のようになる。

4. 軸力測定現場試験

締付け後4年目の3構造物 A, B, C での実測例を示す。使用ボルトは表-2 のようにすべて F11T-W7/8×75 mm であるが、それらと同一ロットに属する未使用ボルトが得られなかったため、材質的に同等と見做される表-2 のような同類ボルトを用いて $N-\theta$ 関係を求め、各構造物地点での電源条件のもとに制御回路動作点の確認試験を行なった。

3構造物はいずれも海岸に近く、塗装は外観上健全であったが、ボルトを抜取って検査したところ、場所によ、てはかなりの差蝕が認められた。そのため軸力試験に際しては、マーキングを行なった後、ボルトを一旦抜取り、注油してナットのすべりをよくしてから締付けを実施した。軸力試験数は各構造物につきそれぞれ20本とした。

得られた軸力測定値も正規確率紙にプロットすると図-4 のようになり、ばらつきは正規分布に従うとしてよく、それらの統計量と表-2 に併記した。なお、F11T-W7/8 の標準軸力は 23.1 t である。

これらの試験結果が示すように、初期軸力のばらつきは少なく、良好な締付管理がなされていたと言える。なお、締付けはトルクレンチを用いたトルク法によ、て行なわれたものである。

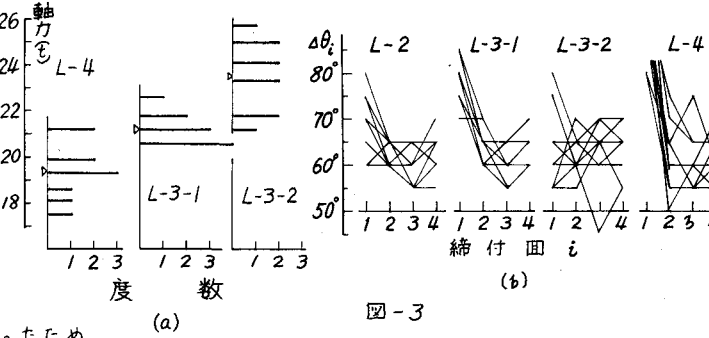


表-2 現場試験要項と結果

構造物	A	B	C
現在	F11T-W7/8×75		
メーカー	M	T	M
検査	F11T-M22×75		
同類ボルト	F11T-M22×75	F11T-W7/8×75	F11T-M22×75
メーカー	M	T	M
検査本数	20	20	20
推定	22.82		
軸力(t)	23.71	24.11	
標準偏差	1.37	1.36	1.21

5. 結語

すでに締付けられている高力ボルトの軸力測定法を紹介したが、今回の屋内および現場での実施経験からすると、使用ボルトのN-θ関係があらかじめ求められておれば、かなりの精度のもとに初期軸力の推定ができるものと言えよう。ことに締付け後塗装がなされるまでの状態であれば、軸力試験の実施は極めて容易である。

前述のように、この軸力測定法はボルト自身の降伏点に基礎を置くものであるから、外的環境変化に左右されることがないという、検査法にとって極めて好適な特徴を有する。高力ボルト軸力の現場検査法の確立という従来から提起されている問題の解決に、ここに提案する方法が役立てば幸である。

本研究の実施に当り協力していただいた各位に、深く感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) 西村・田井戸・瀬良・穂積・三谷：
現場締め高力ボルト軸力のばらつきについて，土木学会論文報告集，No.180，pp.1～9，1970年8月。
- 2) 西村・秋吉・灰川：安定した軸力をもつ高力ボルト締付け装置について，土木学会第29回年次学術講演会，1974年10月。

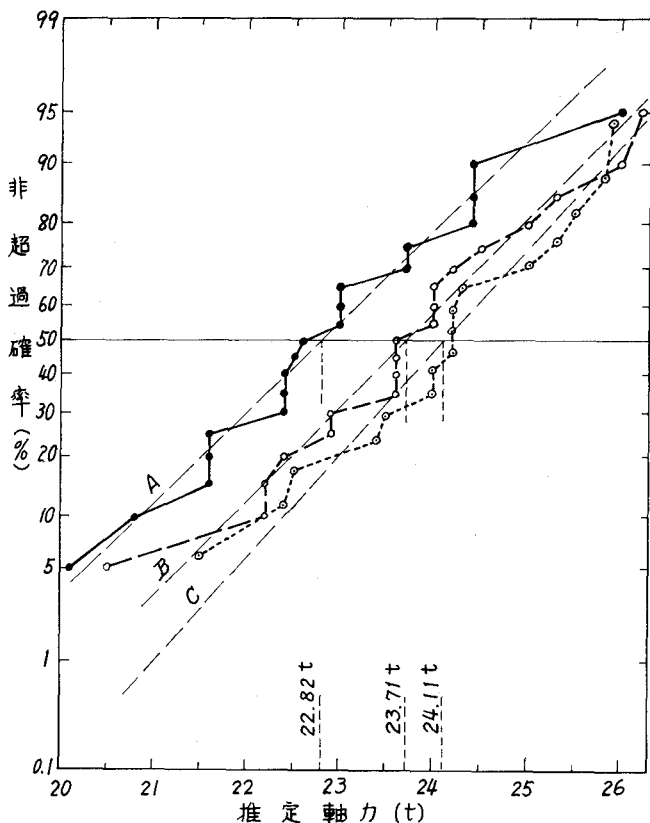


図 - 4