

現場締め高力ボルト軸力のばらつきについて

ON THE SCATTERING OF CLAMPING FORCES OF HIGH-STRENGTH BOLTS IN ACTUAL STRUCTURAL JOINTS

西村 昭* ・田井戸 米好** ・瀬良 茂***
穂積 重臣**** ・三谷 哲夫*****

By Akira Nishimura, Yoneyoshi Taido, Shigeru Sera
Shigetomi Hozumi and Tetsuo Mitani

1. 緒 論

高力ボルト摩擦接合の耐力を左右する要因として、使用するボルト自身が同一条件にあるならば、つぎの3つをあげることができる：a) 摩擦接合面の状態；b) 継手の形状、寸法の精度；および c) ボルトの軸力（締付力）。このうち a) および b) の影響は、厳格な設計施工規準を定め、管理を徹底すれば、実用上無視しうる程度におさえることができるし、また別に施工実験を行なって目的値を満足するかどうかを確認する手段もある。これに対し c) については、それと継手耐力との関係など実験室的には種々研究されているが、軸力自身の現場でのばらつきの実態は、いまだ解明されていない。

また、その軸力の現場での検査は、トルク法、すなわち、トルクレンチを使用して締付トルク値からトルク係数を介して軸力を推定するか、あるいはナット回転法での回転角の確認など、間接的方法に依存しているのが現状である。

ボルト軸力は摩擦接合の性能を左右する重要な要因にもかかわらず、このようになお多くの問題点が残されている。

そこで本研究においては、工場仮組時の道路橋プレートガーダーを利用して、現在わが国で用いられている各種の方法でボルトを締付けてその軸力の全数測定を行ない、各ボルト締付方法を相互に比較し、軸力ばらつきの性状を知り、高力ボルト摩擦接合の設計・施工の合理化のための資料を得ようとするものである。

2. ボルト軸力測定方法

(1) 概 要

ナットの締付けにより生ずるボルト軸力の測定は、一般にボルト軸外周に電気抵抗線ひずみゲージ（以下ひずみゲージと呼ぶ）を貼付して行なっている。この方法では締付けによるねじれの影響の問題があり、またリード線の引出しがかなり制約され、現場での軸力測定を困難にする最大の原因である締付時のリード線の破損などの問題がある。この意味からこの方法は、現場測定には適当な方法とはいえない。本実験では、とくに現場測定に適する方法として、ボルト軸中心に頭部から穴をあけ、その内面にひずみゲージを貼付する方法を採用した¹⁾。このような軸力の測定方法は、今までに一、二の例²⁾があるようであるが、それに関する詳細な資料がないので、予備実験としてひずみゲージ、接着剤、穴径などを変化せしめて各場合につき比較検討し、最終的につぎに述べる方法を選んだ。

(2) 供試ボルトおよびひずみゲージ

実験に使用したボルト、ナットおよび座金の形状、寸

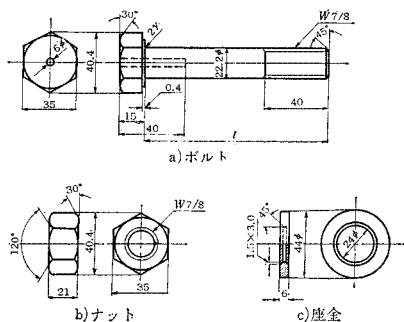


図-1 供試ボルトセット

* 正会員 工博 神戸大学教授 工学部土木工学教室
** 正会員 阪神高速道路公園工務部設計課長
*** 正会員 工博 (株)片山鉄工所常務取締役
**** 正会員 (株)片山鉄工所生産本部品質管理課長
***** 正会員 (株)神戸製鋼所鉄鋼事業部開発部次席
 研究員

法は図-1に示すとおりである。ひずみゲージ貼付用の穴は同図 a) に示すように直径 6 mm、深さ 40 mm で、リーマ仕上げとした。使用したひずみゲージはゲージ長さ 8 mm のペーパーゲージで、速乾性接着剤を用いて穴の内面にボルト軸と平行に 1 枚貼付し、60°C の恒温槽に 2 時間入れ、その後穴をシーリングワックスで埋めた。

(3) ボルト軸力検定

ひずみゲージを貼付したボルトについての軸力対ひずみ関係の検定は、引張試験機でボルトに引張力を加えて行なうのが普通であるが、実際には締付けによりボルトに軸方向引張力のほかにねじれも生ずることに注意する必要がある。そこで今回は、使用状態と同じ条件にするため、ならびに検定時間の短縮をはかるため、図-2 に示すようなトルク試験機を用いてボルトを締付けることとし、そのときの軸力とひずみ値との関係、すなわち検定曲線をすべてのボルトについて自記せしめた。

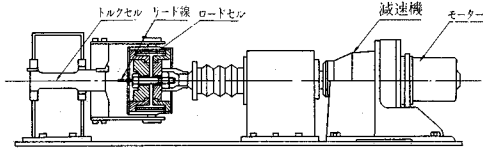


図-2 トルク試験機

3. 現場試験要領

(1) 供 試 桁

供試桁は阪神高速道路公団 1 号線、難波工区（支間 26 m）、ならびに浪速南工区（支間 26.4 m）に架設される単純合成桁で、工場仮組時を選んでその I 型断面鋼桁の現場接合部を用いて軸力測定を実施した。橋桁の配置は、前者では 4 主桁並列形式で、各鋼桁に G1, G2, G3, G4 と番号を付けた。後者は 5 主桁並列形式で、その端桁 G'1 を試験用とした。現場接合部は各鋼桁と

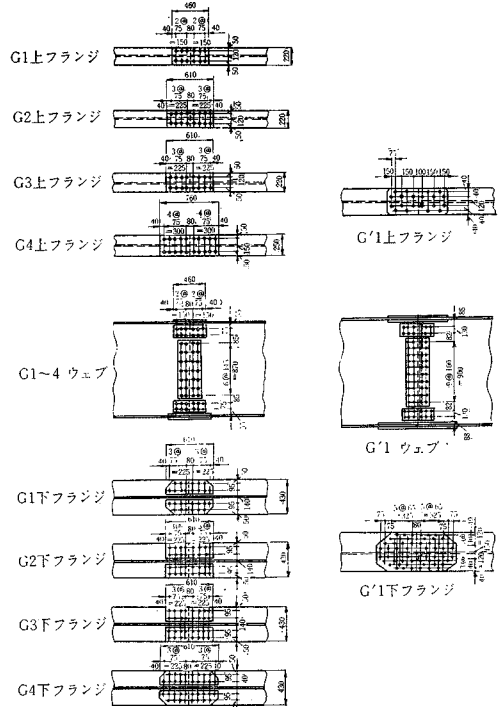


図-3 供試桁現場継手部詳細図

も 1 個所で、継手部の形状、ボルト配置は図-3のとおりである。また使用鋼板は桁 G'1 の下フランジ ($t=36$ mm) およびその添接板 ($t=26$ mm) が SM 50 B であるほかはすべて SM 50 A である。

(2) 供試ボルトセット

供試ボルトセットは F11 T, W 7/8 とし、首下長さは被締付材厚により 65 mm から 125 mm にわたる 8 種類で、すべて既述の要領で軸心部にひずみゲージを 1 枚貼付し、リード線を取付けた。

(3) 締付方法およびボルト本数

締付方法は表-1 に示す 5 方法を、G1~4, および G'1 桁のそれぞれに適用した。また、表-2 には、各桁

表-1 締付方法と使用機器

桁	締付方法	略称	締付機器		
			名称	製作所名	仕様
G1	トルクレンチによる締付け	トルクレンチ法	トルクレンチ	東日製作所(株)	測定範囲 0~80 kg-m 最小目盛 2 kg-m
G'1	六角座金を使用した油圧レンチによる締付け	油圧レンチ法	エスパーレンチ	理研精機(株)	トルク最大 120 kg-m
G2	トーションバー制御によるインパクトレンチによる締付け	インパクトレンチ(T)法	トルクコントロールインパクトレンチ	インガーソラランド社	形式 5340 TO 型 トルク範囲 20.7~76 kg-m
G3	エアーエネルギー制御によるインパクトレンチによる締付け	インパクトレンチ(A)法	インパクトレンチ K-N型 トルクコントローラ	油谷鉄工(株) 日本エアーブレーキ(株)	W-32 能力ボルト径 32 mm
G4	トルクレンチにて初期締め後ナットを所定の角度回転させる締付け	ナット回転法	トルクレンチ	東日製作所(株)	測定範囲 0~80 kg-m 最小目盛 2 kg-m

表-2 ボルトの使用内訳

桁	締付方法	位置*	板厚 (mm)	首下長さ l (mm) 別本数								
				65	70	75	80	85	95	100	125	
G1	トルクレンチ法	FU	8+13+8=29		12							
		MU	8+9+8=25	12								
		S	9+9+9=27	28								
		ML	12+9+12=33		12							
		FL	12+22+12=46					28				
G'1	油圧レンチ法	FU	10+19+12=41					20				
		MU*	9+9+9=27(+10)	10			2					
		S*	9+9+9=27(+10)	30			10					
		ML*	9+9+9=27(+10)	10			2					
		FL	22+36+26=84							56		
G2	インパクトレンチ(T)法	FU	9+16+9=34			16						
		MU	8+9+8=25	12								
		S	9+9+9=27	28								
		ML	12+9+12=33		12							
		FL	14+25+14=53						32			
G3	インパクトレンチ(A)法	FU	9+16+9=34			16						
		MU	8+9+8=25	12								
		S	9+9+9=27	28								
		ML	12+9+12=33		12							
		FL	14+25+14=53						32			
G4	ナット回転法	FU	12+19+12=43					20				
		MU	8+9+8=25	12								
		S	9+9+9=27	18								
		ML	12+9+12=33		12							
		FL	16+28+16=60							36		
本数				160	62	80	34	48	64	36	56	

* 図示のほかにアングルが取付けられる。

**

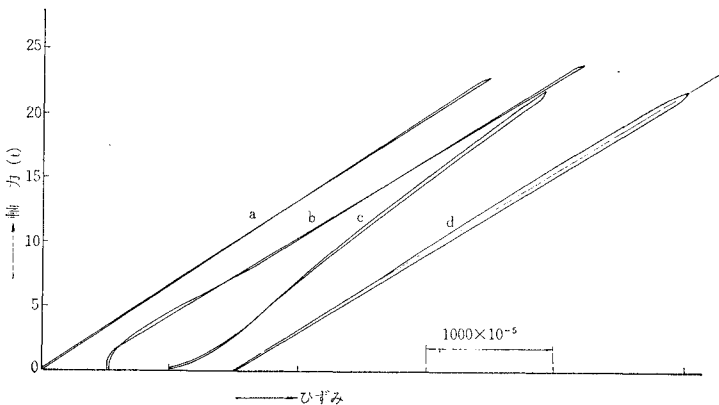
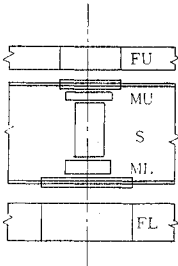


図-4 軸力-ひずみ間の検定曲線

継手に使用したボルトの首下長さ別の詳細，ならびに数量を示した。

(4) ボルト軸力の設定

目標ボルト軸力は 21.0 t とした。この値は日本道路協会：鋼道路橋高力ボルト摩擦接合設計施工指針（1966年7月）による F 11 T, W 7/8 に対する設計ボルト軸力である。

すなわち，設計ボルト軸力 N は次式で求められる。

$$N = \alpha \sigma_y A_e$$

ここに， α ：係数 (0.75)

σ_y ：ボルト耐力 (F 11 T に対し 95 kg/mm²)

A_e ：ねじ部有効断面積 (W 7/8 に対し 297.4 mm²)

一般には設計ボルト軸力の 10% 増の標準ボルト軸力を目標として締付けられるが，今回は同一ボルトにつきあらかじめ軸力の検定を行なう必要があり，その際，あまり大きい軸力を導入するとナットねじ部の局部降伏，ナット座面および座金の摩耗などによるトルク係数の変化などが考えられるので，このように目標ボルト軸力を 21.0 t におさえた。

締付機器の検定におけるボルト軸力の測定は，スキッドモアウイルヘルム社製軸力計（最小目盛 1000 lb）によった。

(5) ボルトの検定

トルク試験機によって得られたボルト軸力とひずみ値の検定曲線は，図-4 のような代表的な 4 つのタイプ a, b, c, d に分類することができる。この中で a, b, c は履歴曲線を描かず，往復ともほぼ同一線上をたどった。これらの中で b, c は小軸力範囲で直線性を欠くが，設計ボルト軸力近傍では良好な直線性を示す。これに対し d はループを描くので，ひずみから軸力への換算は，その中心に引いた直線を用いた。ただし，ループの大きいものは除外した。

したがって，これらの除外分，および貼付不良分をも考慮し，740 セットを準備して検定を行ない，それらの中から良好なもの 540 セットを選んで実験に使用した。

(6) セットのトルク係数値

首下長さ 70; 75; 85; 95; 100 mm について JIS B 1186 に基づき，軸力計とトルクレンチでセットのトルク係数値を求めた結果，トルク係数値の平均値 0.121; 標準偏差 0.007 を得た。ま

た、G'1桁締付用の首下長さ 70; 80; 125 mm のものに対しては、平均値 0.133; 標準偏差 0.005 を得た。

4. 現場試験の実施

(1) 概要

供試桁の現場継手は仮締ボルト、ドリフトピンで正常に仮締めしたのち、継手内の各群のボルトにつき、内から外への順序で締付けた。その際、2度締めの効果を究明するために、第1段階として目標軸力の 80% 締め（軸力 16.8 t）を行なった。ただし、ナット回転法では予備締めとして軸力 5 t を目標に締付けたのち、21.0 t の目標軸力まで一気に締付けた。

なお、ドリフトピンならびに仮締ボルトは、その位置のボルト締付けの順番がきたときに、順次供試ボルトと置換えた。

以上述べた点を含め、一つの桁の中での締付作業を要約すると、各群ごとにまず、① 手締め、その後 ② 80% 締め（ナット回転法では 5 t 予備締め）、③ 100% 締め、最後に ④ トルクチェックの順になる。これらの各段階においてひずみ計による導入軸力の測定と同時に、1本のボルトの締付けによる隣接ボルトの軸力変化など、ボルト施工に際しての問題解明に必要な資料を求めように留意した。

(2) G1桁の締付け（トルクレンチ法）

a) 締付トルクの設定

3.(6) のトルク係数値測定結果より 21.0 t (100%)、および 16.8 t (80%) に対するトルク値を次式により求め、その結果を表-3 に示した。

表-3 締付トルク

目標ボルト軸力 $N(t)$	トルク値 $T(kg-m)$
16.8 (80% 締め)	45.0
21.0 (100% 締め)	56.3

$$T = kdN$$

ここに、 T : 締付トルク (kg-m)

k : トルク係数 (=0.121)

d : 円筒部の基本寸法 (=22.22 mm)

N : ボルト軸力 (=21.0 t または 16.8 t)

b) 締付要領

ボルト締付順序およびドリフトピン、仮締ボルトの位置は 図-5 (a) に示すとおりである。

(3) G2桁の締付け（インパクトレンチ(T)法）

a) インパクトレンチの検定

ボルト3本についてトーションパーの調整を行ない、

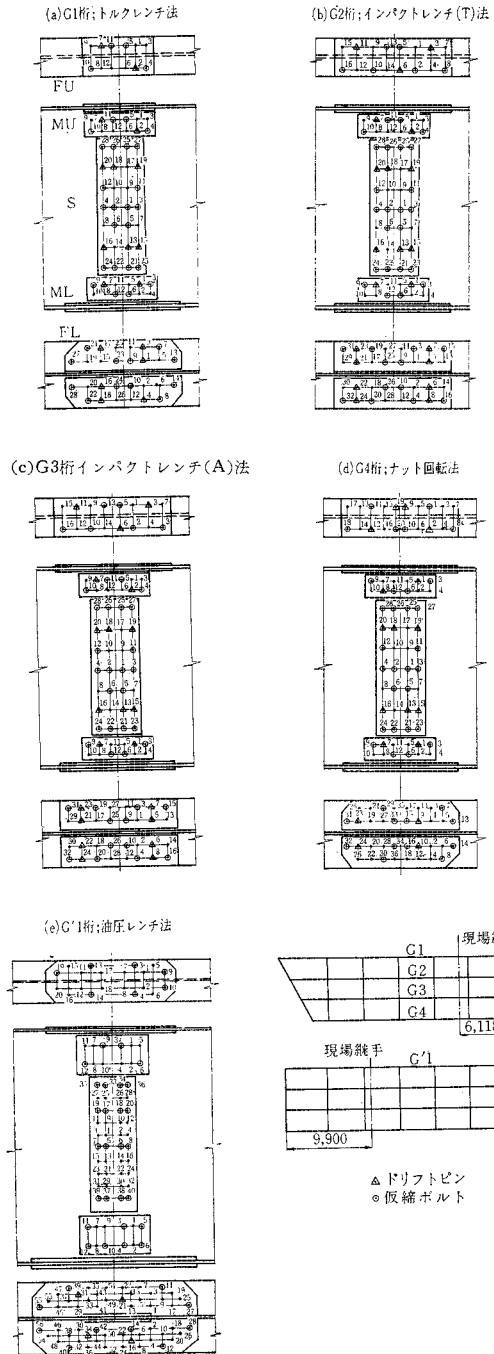


図-5 締付順序

その後ボルト(W 7/8×85) 10 本について軸力およびトルクのチェックを行なった。結果は表-4 のとおりである。

b) 締付要領

ボルト締付順序およびドリフトピン、仮締ボルトの位置を 図-5 (b) に示す。

表-4 締付機器の検定結果

締付機器	目標軸力 (t)		ボルト軸力 (t)		チェックトルク値 (締付時) (kg-m)
			ひずみゲージによる軸力	軸力計軸力	
インパクトレンチ (T)	16.8 (80% 締め)	平均値 15.9 標準偏差 1.17	16.6	1.22	34.0 0.24
	21.0 (100% 締め)	平均値 20.8 標準偏差 1.33	20.2	1.57	42.5 2.52
インパクトレンチ (A)	16.8 (80% 締め)	平均値 17.1 標準偏差 0.94	17.1	0.62	40.4 2.37
	21.0 (100% 締め)	平均値 21.2 標準偏差 1.22	21.2	0.41	52.6 3.61
油圧レンチ法	16.8 (80% 締め)	平均値 16.0 標準偏差 0.55	16.0	1.28	
	21.0 (100% 締め)	平均値 21.1 標準偏差 0.58	21.2	0.68	61.2 1.28

(4) G3 桁の締付け (インパクトレンチ (A) 法)

a) インパクトレンチの検定

目標軸力導入のためのトルクコントロール装置の条件は表-5のとおりで、ボルト3本の締付けで決定した。この条件によってインパクトレンチ (T) と同じくボルト (W 7/8×85) 10 本を軸力計に締付けた結果は表-4のとおりである。

表-5 インパクトレンチ (A) 締付条件

目標軸力 (t)	トルクコントロール装置の条件	
	圧力 (kg/cm ²)	時間 (sec)
16.8 (80% 締め)	3.75	5
21.0 (100% 締め)	4.5	5

b) 締付要領

ボルト締付順序およびドリフトピン、仮締ボルトの位置を図-5 (c) に示す。

(5) G4 桁の締付け (ナット回転法)

a) ナット回転角の決定

ナット回転法においては、ボルトの首下長さによって

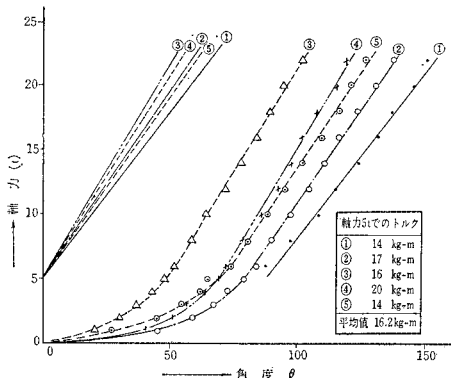


図-6 軸力-回転角線図 (その 1) 首下長さ 65 mm

同一軸力に対するナットの回転角が違ってくるので、首下長さ 65, 85, 100 mm のボルト各 5 本ずつを G4 桁の所定の締付位置にトルクレンチで締付け、軸力 1~6 t では 1 t ごと、また 6~22 t では 2 t ごとのナット回転角を測定し、検定曲線を利用して軸力対ナット回転角関係を求めた。その結果は図-6, 7 および 8 に示すように、軸力 5 t 以上がほぼ直線となっている。これを用い各首下長さのボルトについて 5 t から 21 t までのナット回転角を求めると表-6 のようになる。

なお、軸力 5 t まではトルクレンチで導入することとし、そのトルク値は、図-6~8 に併記したような上記の検定より得た測定値の平均値を用いることとした。それぞれの結果は表-6 に再掲されている。

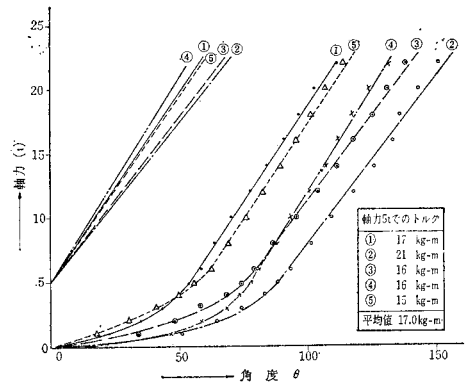


図-7 軸力-回転角線図 (その 2) 首下長さ 85 mm

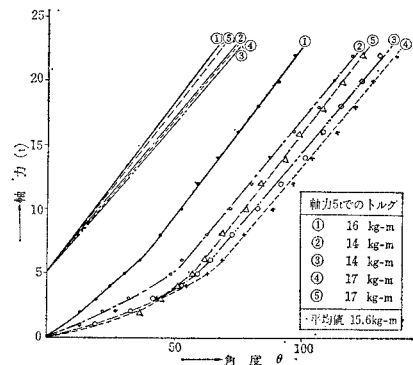


図-8 軸力-回転角線図 (その 3) 首下長さ 100 mm

表-6 ナット回転角, 5t 締トルク

ボルトサイズ	5t 締トルク (kg-m)	ナット回転角 (度)
W 7/8 × 65	16.0	54
W 7/8 × 85	17.0	57
W 7/8 × 100	15.6	64.8

b) 締付要領

ボルトの締付順序およびドリフトピン、仮締ボルトの位置を 図-5 (d) に示す。

(6) G'1 桁の締付け (油圧レンチ法)

a) 締付機器の検定

ボルト 10 本について油圧の調整を行ない、その後 W 7/8×70, W 7/8×80 各 5 本をスキッドモアキャリブレーターに締付け、軸力およびトルクのチェックを行なった。結果は 表-4 のとおりである。

b) 締付要領

ボルトの締付順序およびドリフトピン、仮締ボルトの位置を 図-5 (e) に示す。

5. 試験結果およびその考察

(1) 軸力のばらつき

軸力のばらつきの方向を知るために、正規確率紙に各締付グループごとに手締め, 80% 締め, および 100% 締め時の軸力をプロットしてみると, G 1-MU, G 2-ML, G 4-FU, G 4-ML などを除き, 大部分の場合, 点列は直線状となり, 軸力の分布は正規分布にしたがうことがわかる。図-9 は一例として G 2-FL の場合のプロットを示したものである。

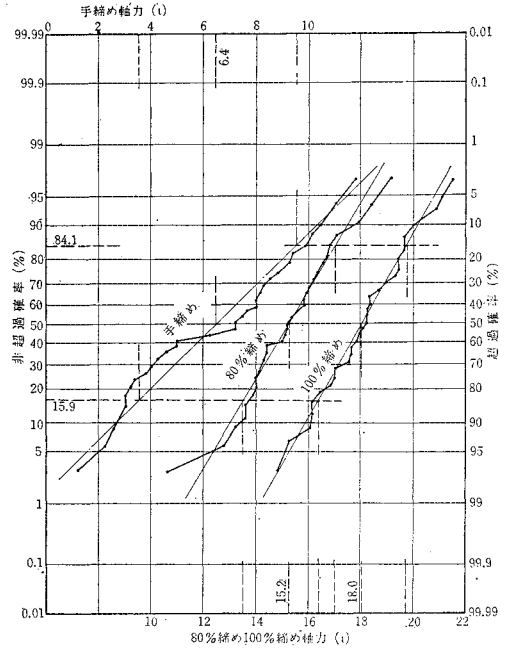


図-9 各種軸力の正規確率紙へのプロット (G 2-FL)

これらのプロットに直線をあてはめ, それによって各場合の軸力平均値, および標準偏差を求めると 表-7 のようになる。これらの標本値に基づき, 各桁の測定位置ごとでのばらつき程度の比較を容易にするため, 平均値

表-7 ボルト軸力とチェックトルク測定値

(単位: t; kg-m)

桁	締付方法	締付位置	ボルト数	手締め P_h		80% 締め $P_{0.8}$		100% 締め $P_{1.0}$		P_h と $P_{1.0}$ の相関係数	チェックトルク T_c		$P_{1.0}$ と T_c の相関係数
				平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差		平均値	標準偏差	
G1	トルクレンチ法	FU	12	8.5	2.9	14.8	1.4	20.1	1.8	0.323	56.9	3.2	0.021
		MU	12	7.5	1.6	16.0	1.7	21.2	2.0	0.847	57.2	1.6	0.188
		S	28	7.3	2.4	14.8	1.3	19.5	1.2	0.474	53.2	5.2	0.018
		ML	12	6.4	1.2	15.7	1.6	20.3	1.8	0.222	56.3	2.6	0.076
		FL	28	8.4	1.9	14.4	1.2	18.9	1.9	0.542	58.9	2.8	0.026
G'1	油圧レンチ法	FU	20	4.9	0.7	15.3	1.2	20.3	1.2	0.234	58.4	2.7	0.074
		MU	12	5.2	1.8	15.5	1.2	20.2	1.9	0.153	57.4	3.2	0.158
		S	40	5.3	1.4	15.1	1.4	19.1	1.6	0.272	62.7	2.7	0.067
		ML	12	6.8	1.4	14.8	2.0	19.7	1.5	0.323	63.9	1.3	0.450
		FL	56	5.2	1.4	15.5	0.9	20.3	1.1	0.076	60.2	4.4	0.017
G2	インパクトレンチ法	FU	16	7.9	1.5	15.0	1.9	18.1	1.7	0.031	44.6	2.2	0.231
		MU	12	6.0	1.0	12.8	1.6	17.1	1.6	0.240	47.8	2.9	0.238
		S	28	6.3	2.5	14.7	2.7	18.0	2.5	0.075	46.5	5.1	0.032
		ML	12	7.1	2.4	13.2	2.5	17.2	2.4	0.265	48.9	3.0	0.132
		FL	32	6.4	3.0	15.2	1.7	18.0	1.7	0.191	53.5	3.6	0.163
G3	インパクトレンチ法	FU	16	4.0	1.3	17.0	2.5	20.8	2.4	0.207	56.7	6.2	0.211
		MU	12	9.1	1.9	18.3	2.2	21.7	2.6	0.257	59.2	4.1	0.197
		S	28	8.6	2.1	17.0	2.1	20.8	2.2	0.569	59.3	2.7	0.661
		ML	12	7.3	1.6	18.5	1.6	21.7	1.3	0.098	59.8	3.8	0.201
		FL	32	6.1	1.7	16.7	1.1	19.6	1.2	0.142	63.1	4.5	0.083
G4	ナット回転法	FU	20	5.4	0.5			19.3	2.2	0.090	60.6	5.3	0.607
		MU	12	5.7	1.9			20.6	3.8	0.658	58.0	5.0	0.159
		S	18	5.5	2.0			19.9	2.8	0.361	53.5	7.8	0.836
		ML	12	5.3	0.9			19.8	2.5	0.632	55.8	6.2	0.853
		FL	36	4.7	1.0			19.9	2.6	0.434	58.6	4.0	0.203

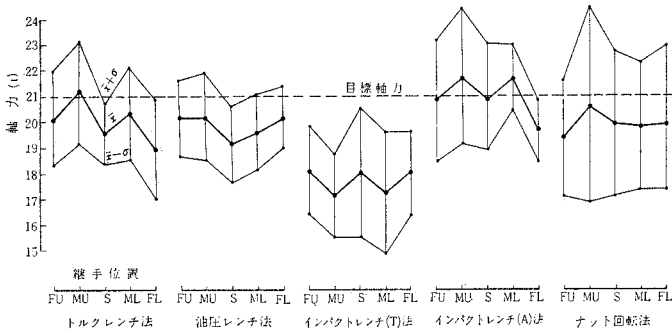


図-10 100% 締め軸力のばらつきの比較

とその上下に $1 \cdot \sigma$ をとって示すと 図-10 が得られる。

以上の結果によって、各締め方法での軸力のばらつきを比較するとつぎのようになる。

① インパクトレンチ (A) 法では、全般的に目標軸力に近い値を示している。

② 各締め位置間での平均値の変動が少ない締め方法はナット回転法であるが、標準偏差は大きい。これはボルト軸力が弾性域にあって、ナット回転法の特長が十分生かされなかったことによると考えられる。

③ 油圧レンチ法では平均値の変動が比較的少なく、また標準偏差も小さくかつ安定していることがわかる。

④ トルクレンチ法では標準偏差は比較的小さいが、平均値の変動が大きい。

⑤ インパクトレンチ (T) 法では、平均値は比較的安定しているが、全体的に目標軸力を下まわる結果を示している。これはトルクのコントロールが段階的であるため、目標値より多少低目に調整されていたことによるものと考えられる。

(2) 締めボルト位置および締め姿勢の影響

締め位置、すなわち FU, MU, S, ML, FL の 5 群間では、図-10 あるいは 表-7 からは、各締め方法間で軸力ばらつきに関する共通点を見出しえなかった。また、ボルト締め姿勢は FU, FL では下向きに、MU, S, ML では横向きになるが、姿勢による軸力の明確な差異も認められなかった。

(3) 各締め段階での軸力間の相関

手締め軸力 P_h , 80% 締め軸力 $P_{0.8}$, 100% 締め軸力 $P_{1.0}$ の 3 軸につき、 P_h と $P_{0.8}$; P_h と $P_{1.0}$;

$P_{0.8}$ と $P_{1.0}$ の 3 つの組合せについて散布図を描いた一例を 図-11~13 に示す。これらの図は、 P_h と $P_{0.8}$, あるいは P_h と $P_{1.0}$ との間には、いずれの締め方法による場合にも相関関係は認められないことを示すが、 $P_{0.8}$ と $P_{1.0}$ との間には、明らかに相関関係が認められる。なお、 P_h と $P_{1.0}$ との間の相関係数標本値を求め、その結果を表-7 に併記したが、その値からも上記のことが裏付けられている。

(4) 隣接ボルトの軸力変化

あるボルトの締め付けが、それに隣接する締め完了ボルトの軸力におよぼす影響を明らかにするための測定を、G1 の S と FU, G2 の S と FU, G3 の S と FU,

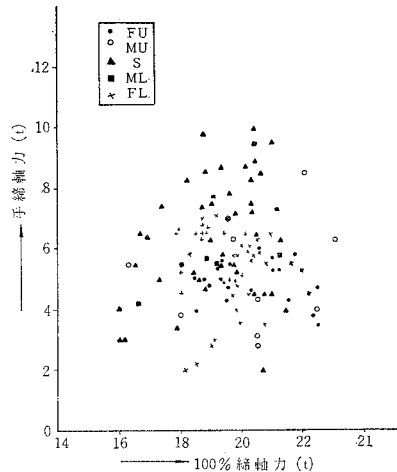


図-11 手締め軸力と 100% 締め軸力の相関図 (G'1 桁)

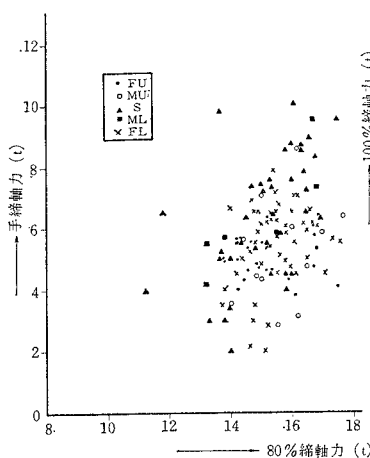


図-12 手締め軸力と 80% 締め軸力の相関図 (G'1 桁)

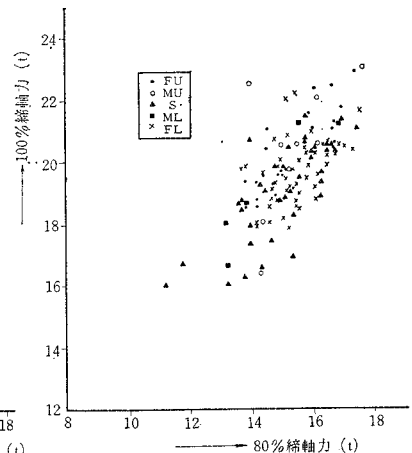


図-13 80% 締め軸力と 100% 締め軸力の相関図 (G'1 桁)

異なっていることがわかる。また、100% 締め軸力とチェックトルク間の標本相関係数を求めた結果は、表—7 最右欄のとおりであって、ナット回転法で締付けた G4 桁の場合、S、ML、FU の群でかなりの相関係数が認められるほかは、G3-SL で相関係数が 0.6 を超えるのみであった。この事実から、軸力チェックの方法としてのトルクチェックは、あまり効果がある方法とは考えられないといえよう。

6. 結 論

現場で各種の方法で締付けられた高力ボルトの軸力のばらつきを、電気抵抗線ひずみ計を利用して全数測定した結果、つぎのような結論が得られた。

1) インパクトレンチ (A) 法では、一般的に目標軸力に近い値を示した。

2) 上下フランジ、ウェブなどの位置ごとの平均値の変動はナット回転法が最も少なかったが、標準偏差は大きかった。これに対し油圧レンチ法では、平均値の変動も比較的少なく、標準偏差も小さく、かつ安定していた。

3) トルクレンチ法では標準偏差は比較的小さかったが、平均値の変動が大きかった。

4) インパクトレンチ (T) 法では、平均値は比較的小さかったが、これは軸力調整が段階的であることによると考えられる。

5) 締付姿勢が下向きか横向きかでは、軸力およびその変動に明確な差は見られなかった。

6) 手締め、80% 締め、100% 締めの各段階での各軸力間の相関係数は、80% 締めと 100% 締め間では認められるが、他の組合せでは何ら認められなかった。

7) 締付完了ボルト軸力の、隣接ボルト締付けにともなう変動は、今回の実験ではほとんど無視しうる程度であった。

8) 軸力とチェックトルクとの相関係数は、少数の群 (G4 桁の S、ML、FU と G3 桁の SL) で認められる程度で、ほかは認められなかった。これより、トルクチェックによる軸力検定法はあまり有効でないと考えられた。

謝 辞：本研究を実施するにあたってご協力いただいた各位、ことに神戸大学工学部土木工学科橋梁・材料研究室の学生諸君、片山鉄工所生産本部品質管理課の諸氏、神戸製鋼所西山幸代、下村弥の両氏に深く感謝の意を表したい。

付 記：本研究は土木学会第 22 回年次学術講演会 (昭和 42 年 5 月) にて発表後、最近開発され実用例の急増している油圧レンチ法を追加実験したものである。

参 考 文 献

- 1) 西村・田井戸・穂積・三谷：高力ボルト締付け力の測定方法について、土木学会第 22 回年次学術講演会概要集、I-183、昭和 42 年 5 月
- 2) 藤井太一・水馬克久：PC 鋼棒の力学的性質について、材料試験、第 8 巻、第 71 号、pp. 631~637、昭和 34 年 8 月

(1970. 1. 12・受付)