

神戸大学工学部 正員 西村 昭
 川崎製鉄(株) 正員 ○盛岡 純一
 川崎製鉄(株) 正員 石渡 正夫

1. まえがき

高力ボルト摩擦接合の耐力を左右する要因は、使用するボルト材料を同一条件にすれば、a) 摩擦接合面の状態、b) 継手の形状、寸法の精度、およびc) ボルト軸力(締付け力)の3つである。このうち、ボルト軸力は摩擦接合の性能を左右するもつとも重要な要因であるため、多数の室内における実験的研究がなされ、一方、わずかであるがボルト導入軸力の現場でのばらつきの実態もまた報告されている。^{1) 2)}

ところで、軸力の現場での検査は、トルクレンチを使用して締付けトルク値からトルク係数を介して軸力を推定する(トルクコントロール法)か、あるいはナット回転角の確認(ナット回転法)などの間接的方法に依存しているのが現状であるが、上記以外にも、信頼性の高い継手を得るべく、ボルト導入軸力のばらつきを小さくすると同時に施工が確実でしかも簡単なボルト締付け法が種々考案され、これらにもなった特殊ボルト、特殊レンチが多く実用化されて来た。それらに加えて、最近、新しい軸力制御法としてボルトの耐力点以降ではナット回転に要するトルクの変化率が急変するといったボルトの一般的な性質を利用し、トルク変化に対応する電気レンチの電流変化率の急変を捉えて、ボルトの耐力点附近でレンチを自動的に停止させる新しい方法(以下耐力点検出法と仮称す)が開発された。³⁾本法によれば、ボルトの耐力点を電氣的に検出させるため、ボルト締付けの初期条件にかかわらずほぼ一定の軸力がボルトに導入されることが室内実験により確認されている。また、電気レンチの電流波形を自記記録することによりボルトの施工管理が確実かつ容易に行なえることが予想されたので、東大寺大仏殿昭和大修理の須屋根架設工事において、鉄骨部材現場継手の高力ボルト(重量約200t、本数約33万本)を対象として本法による締付けが行なわれた。その際、一部のボルトについて軸力を測定し、ボルト導入軸力とそのばらつき、ならびに1次締付け力との相関などを求め、他の締付け法とも比較検討を行なった。その結果、本法によるボルト導入軸力のばらつきはきわめて少なく、かつ施工性にも富むことを立証したのでここに報告する。

2. 供試材と実験方法

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、その機械的性質、純引張試験結果ならびにトルク試験機による振り試験結果をTable1, Fig.1に示す。供試柱は50kg/mm²級耐候性H形鋼を主材とした2鉸式山形架構剛接トラス構造で、現地地組時その柱主材および柱ラチス材の現場継手各々4箇所を選んで、摩擦接合面の状態、継手の形状、寸法精度、およびボルト軸力の測定を実施した。継手部の形状、ボルト配置はFig.2のとおりである。

ボルト軸力は軸部に対称に貼付した2枚のひずみゲージの平均値から算出することとし、あらかじめ供試ボルトセット全数の単純引張試験によってボルト軸力とひずみ値の検定曲線を求め、良好な直線性を示すもののみ採用し、履歴特性不良のボルトは除外した。締付けは接合部中心から周辺へFig.2に示す順序で行ない、1次締めはすべてアーム長さ30

Table 1 Mechanical Properties of Materials & Test Results of Bolt Sets by Bolt Testing Machine

Bolt	Y. P. (kg/mm ²)	T. S. (kg/mm ²)	E. L. (%)	R. A. (%)	H (HRC)	k	L ₁ (mm)	P ₁ (ton)	P _{max} (ton)	θ _{max} (degree)	P _{max} /P ₁ (%)
F 10 T M 22x80	105.5	112.0	17.1	64.2	32.0	0.137	45	32.8	30.9	239	94.2
F 10 T M 20x55	102.9	119.6	19.0	68.0	32.5	0.125	29	27.9	24.9	245	89.2

where:
 Y.P. = yield point (0.2% offset strength) k = torque coefficient
 T.S. = tensile strength L₁ = grip length
 E.L. = elongation P₁ = bolt max. strength under direct tension
 R.A. = reduction of area P_{max} = bolt max. strength under nut rotation
 H = hardness θ_{max} = angle of nut rotation at P_{max}.

cmのスパッドレンチを使い、締付け完了後本レンチにより2次締めを行なった。したがって、ボルト軸力の測定順序もまた上記ボルトの締付け順序のとおりとし、特に、2次締め時には隣接ボルトの軸力変動量を把握するため、当該ボルトだけでなく、接合部1ブロックのボルト全数について同時に軸力を測定した。

3 実験結果と考察

ボルト導入軸力の測定結果をTable 2に示すが、これより本法による締付けを行なえば、明らかに締付け位置すなわち締付け姿勢が2次締め軸力に与える影響は皆無と結論づけられる。また、1次締め軸力のばらつきが大きい(例えばM22で30.44%)にもかかわらず、2次締め軸力のそれがきわめて小さくなる(同2.02%)ことから、本法は1次締めの条件にも関係しない締付け法であることがわかるが、この結果は室内実験より得られた結果およびまえがきで述べた本法の特徴を十分裏付けるものであるといえる。次に既往の締付け法と比較するため、Table 3に種々の締付け法、締付け機器による測定の結果を示したが、グループIはいわゆるトルクコントロール法、IIはナット回転法、IIIは本法を指すものである。なお、II、IIIはボルトの耐力点を越えた締付けとなるため、遅れ破壊に対して安全なF10Tを締付け対象として選び、その他はすべてF11Tを使用している。

上記の各種締付け法によるボルトの導入軸力の分布はほぼ正規分布に従うことを正規確率紙へのプロット等によって確認しているため、それぞれの締付け法の精度は変動係数 U_μ を比較することで相対的に評価できることになる。ただし、この場合グループごとに締付け継手詳細、ボルトの首下長さ等が異なることによる導入軸力分布への影響は無視している。グループIは締付け機器の違いはあるものの、いずれも目標軸力21.0 tonに対して U_μ は6~14%の範囲のばらつきを示した。一方、IIでは3~5%、IIIに至ってはわずか2%のばらつきしか示さず、締付け精度は本法、ナット回転法、トルクコントロール法の順となることが明らかである。以上のことをさらに視覚的に表わせればFig.3のようになる。図中に示した軸力の範囲は平均軸力±標準偏差である。なお、本法による最終締付け位置を示せば、

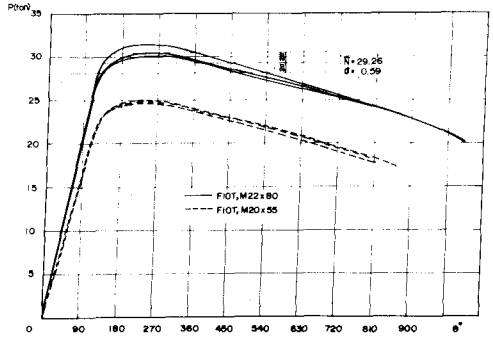


Fig. 1 Bolt Tension vs. Nut Rotation Curves

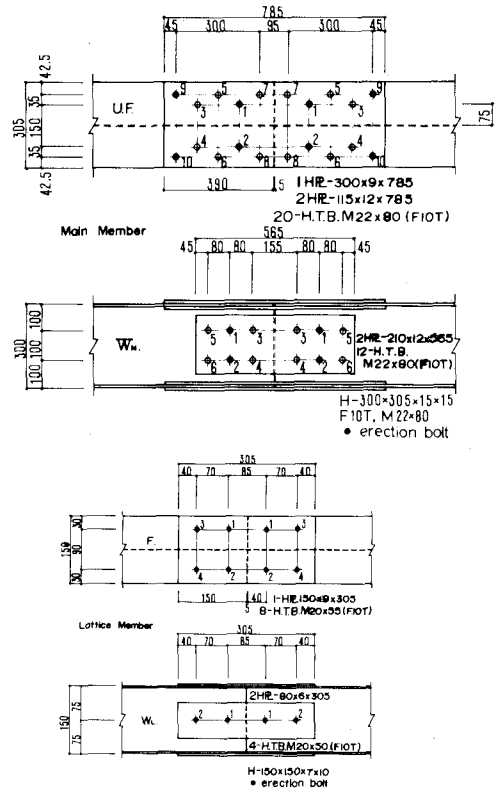


Fig. 2 Details of Tested Joints

Table 2 Bolt Tension obtained from Field Test (ton)

Bolt	Site	First Tightening			Second Tightening			Piece
		\bar{N}	σ	U_μ	\bar{N}	σ	U_μ	
F10T M22x80	U.F	9.25	1.92	20.75	29.38	0.58	1.97	70
	L.F	9.13	1.67	18.29	29.26	0.57	1.95	59
	Ww	5.02	0.92	18.32	29.09	0.59	2.03	47
	Total	8.08	2.46	30.44	29.26	0.59	2.02	176
F10T M20x55	F	8.55	1.72	20.11	23.39	0.84	3.59	44
	Ww	6.27	1.46	23.32	23.60	0.71	3.01	12
	Total	8.06	1.91	23.69	23.44	0.82	3.50	56

Where:

U.F. = upper flange \bar{N} = mean value of bolt tension
L.F. = lower flange σ = standard deviation of bolt tension
F. = flange U_μ = coefficient of variation (%)
Ww, L. = web of main member, lattice member

Fig.1のごとく, Snugtight positionからナット回転角にしてほぼ120°の位置となる。

4. あとがき

現場での高力ボルト導入軸力を測定した結果, 本法(耐力点検法)が他の一般的な方法(トルクコントロール法およびナット回転法)と比べて優れた締付け精度を示すことを確認しえた。また本法の特徴は1次締め軸力の大小にかかわらず, 最終的に一定の導入軸力が得られることにある。したがって1次締め軸力を高くして施工すれば, ナット回転法のように比較的1次締め軸力が低いために部材の肌すきを十分吸収できず, ボルトに共回り, ゆるみを生ずるなどの危険性をなくすることができるので, 良好な施工性を期待できると考えられる。

謝辞

本研究を進めるにあたり, 京都大学工学部 金多潔教授には, 種々ご指導を賜わつた。また, 清水建設(株)・(株)片

山鉄工所・三菱電機(株)・日本ファスナー工業(株)の関係各位には, 実験の際多くのご協力をいただいた。ここに記して深く感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 西村昭・田井戸米好・瀬良茂・穂積重臣・三谷哲夫: 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 第180号・1970年8月
- 2) 盛岡純一・石渡正夫: ナット回転法による高力ボルト軸力のばらつきについて 第21回構造工学シンポジウム 1974年11月
- 3) 西村昭・秋吉俊男・灰川昭三: 安定した軸力をうる高力ボルト締付け機器について 土木学会第29回年次学術講演概要集 I-98 昭和49年10月

Table 3 Measured Bolt Tension Obtained from Field Test

Group	Member	Tightening Equipment	Position of Tested Member	Bolt Size (mm)			Bolt Tension (ton)		C _v Coefficient of Variation (%)
				Class, Diameter	Bolt Length	Piece	Mean value	Standard Deviation σ	
I ¹⁾	Girder G ₁	Torque Wrench	UF	FIIT W7/8	70	12	20.1	1.8	8.96
			MU		65	12	21.2	2.0	9.43
			S		75	28	19.5	1.2	6.15
			ML		75	12	20.3	1.8	9.23
	Girder G ₂	Hydraulic Wrench (Ace-Power)	UF	FIIT W7/8	80	20	20.3	1.2	5.91
			MU		70, 80	12	20.2	1.9	9.41
			S		70, 80	40	19.1	1.6	8.38
			ML		70, 80	12	19.7	1.5	7.61
	Girder G ₃	Impact Wrench (Ingersoll-Rand)	UF	FIIT W7/8	125	56	20.3	1.1	5.42
			MU		75	16	18.1	1.7	9.39
			S		65	12	17.1	1.6	9.36
			ML		65	28	18.0	2.5	13.89
Girder G ₄	Impact Wrench (K-N type)	UF	FIIT W7/8	75	12	17.2	2.4	13.95	
		MU		95	32	18.0	1.7	9.44	
		S		75	16	20.8	2.4	11.54	
		ML		65	12	21.7	2.6	11.98	
Girder G ₅	Impact Wrench (TN-25P)	UF	FIOT M22	80	12	20.8	2.2	10.58	
		MU		75	12	21.7	1.3	5.99	
		S		95	32	19.6	1.2	6.12	
		ML		145	82	28.6	0.80	2.80	
Girder G ₆	Impact Wrench (TN-25P)	UF	FIOT M22	80	12	29.5	0.81	2.75	
		MU		75	71	30.0	0.86	2.87	
		S		80	12	29.2	0.83	2.84	
		ML		135	66	27.9	1.39	4.98	
Column G ₁	Electric Wrench (Mitsubishi E. Corp)	UF	FIOT M22	80	70	29.38	0.58	1.97	
		MU		80	47	29.09	0.59	2.03	
		LF		80	59	29.26	0.57	1.95	

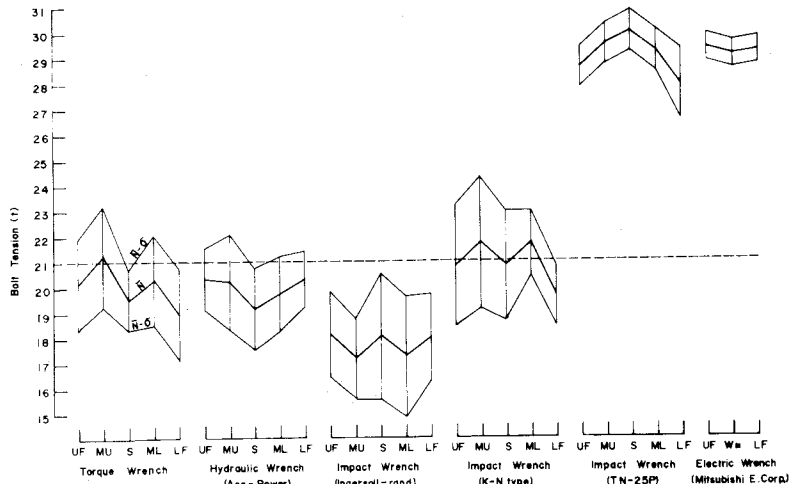


Fig. 3 Scattering of Bolt Tension by Different Tightening Methods