

I-12

トルシア形高力ボルト採用上の問題点

北海道開発局 開発土木研究所 正 員 中 野 修

同 同 小 野 裕 二

同 同 金 子 学

同 同 山 内 敏 夫

1. はじめに

鋼構造物の現場継手には、リベット・溶接・高力ボルト等による方法が挙げられるが、近年では施工・技術の容易さから高力ボルトが広く用いられている。

平成2年2月の「道路橋示方書・同解説」¹⁾（以下、示方書という）の改訂に伴い、トルシア形高力ボルトと呼ばれる一定の締付け力で破断溝からピンテールが切れる構造のボルトに関する規定が、示方書に追加された。このボルトを使用する場合、ボルト軸力の安定と締め忘れ防止、共回りが無い等の施工管理の容易さや電動レンチで締め付けるので、騒音が少なく熟練を要しないこと等の利点がある。しかし、示方書には0℃未満となる低温域の規定がないため、従来よりこのタイプのボルトには温度依存性の問題があると指摘されていたこともあり、この種のボルトを北海道のような寒冷地で使用するには、低温域でのボルトの温度依存性について調べる必要がある。

他方、ボルトに導入される軸力は、各ボルトメーカーの製品検査や現場での軸力計による試験で調べることになっているが、これらはボルト1本毎の試験であり、実橋の使用条件とは異なっている。また、施工後の軸力の経時変化について、これまで調査されていない。

構造研究室では、平成元年～2年度に、ボルトメーカーと共同で、低温時の温度依存性および時間依存性についての試験を室内および現場で実施しており、今回、これらの試験の結果およびその考察よりわかった採用上の問題等について報告する。

表-1 1 製造ロットのセットの締付け軸力

セット	呼び径	締付け軸力の平均値 (tf)		設計 軸力 (tf)
		10～30℃	0～10℃ 30～60℃	
S10T	M20	17.2～20.2	16.7～21.1	16.5
	M22	21.2～24.9	20.7～26.1	20.5
	M24	24.7～29.0	24.1～30.4	23.8

2. 実験目的

2-1 低温域の温度依存性

トルシア形高力ボルトの締付け軸力の規定値¹⁾を表-1に示すが、0℃以下となる低温域の規定はない。したがって、低温域での温度依存性を調べて寒冷地での使用条件を把握することを目的として実験を行った。

2-2 時間依存性

トルシア形高力ボルトの軸力は、各ボルトメーカーの製品検査や現場での軸力計による試験で確認することができるが、これらは単体の試験であり、実橋の使用条件とは異なる。そこで、ひずみゲージを取り付けたボルトで実橋の導入軸力およびその経時変化を調査し、導入軸力の時間依存性について検討を行った。

3. 実験方法

3-1 低温域の温度依存性

ボルトは、S10T・M22×80とし、表-2に示すような温度・供試体数で実験した。なお、常温でのロットの軸力のバラツキは、社内検査成績表や $\bar{x}$ -R管理図（表-3参照）を用いた。

実験方法は次のとおりである。

The Subjects on Application of Torque-Shear Type High Strength Bolts

by Osamu NAKANO, Yuji ONO, Manabu KANEKO and Toshio YAMAUCHI

(1) 代表ボルト2本の温度を接軸式温度計で計測した。

(2) ボルトを専用の電動レンチで軸力計に締めつけた。

(3) 軸力・トルクを軸力計・トルクレンチで測定し、軸力計から取り外した。

(4) (2), (3)の要領で5セットの軸力およびトルクを測定した。

(5) 各ボルトについて, (1)～(4)の要領で, ボルト温度および軸力・トルクを測定した。

(6) 各温度について(1)～(5)の要領で行った。

表-2 実験温度および供試体本数

項 目		低温域の軸力測定試験												ハナツチ測定用	合 計
ボルト		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	H	
温	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	20	80
度	-10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	20	80
(℃)	-20	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	20	80
計		15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	60	240

表-3 社内試験成績および $\bar{x}$ -R管理図の締付け軸力

ボ ル ト		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
社内試験成績	平均 値 (tf)	23.32	23.30	22.96	23.30	23.16	23.52	22.66	23.22	23.70	22.60	23.00	23.90
	標準偏差 (tf)	0.82	0.64	0.90	0.90	0.50	0.88	0.38	0.69	0.87	0.97	0.84	0.57
	変動係数 (%)	3.5	2.7	3.9	3.9	2.2	3.7	1.7	3.0	3.7	4.3	3.7	2.4
— $\bar{x}$ —R 管理図	平均 値 (tf)	23.71	23.49	23.24	23.13	22.88	22.76	23.13	22.98	22.87	23.09	22.85	22.94
	標準偏差 (tf)	0.72	0.63	0.86	0.85	0.81	0.88	0.85	0.69	0.86	0.65	0.84	0.57
	変動係数 (%)	3.0	2.7	3.7	3.7	3.5	3.9	3.7	3.0	3.8	2.8	3.7	2.5

3-2 時間依存性

表-4に, 試験橋梁の所在地・桁形式, ボルトのサイズ等を示す。ボルトの使用本数は, 軸力計で納入状態のボルト(以下, 納入ボルトという)と図-1のように加工したボルト(以下, 加工ボルトという)各5本, 実橋で加工ボルト10本の合計20本とした。実橋での軸力は, 2ゲージのアクティブ-ダミー法でひずみを測定して求めた。

現場での試験手順は以下の通りである。

- ① ボルトを電動締め付け機を用いて軸力計に締めつけ, 軸力を測定した。加工ボルトは, ひずみも測定した。
- ② トルクレンチでトルクを測定してから取り外した。
- ③ ①②の要領で, 納入・加工ボルト各5本ずつ測定し, 軸力が規定値にあるか検査した。
- ④ 実橋の添接部に加工ボルト10本と納入ボルト必要分を締めつけ, 加工ボルトのひずみを測定した。
- ⑤ トルクレンチで加工・納入ボルト各5本のトルクを測定した。このときひずみも同時に測定した。
- ⑥ 加工ボルトのひずみを30分間程度測定し, 短時間での軸力の低下を調べた。
- ⑦ A橋を除いて, 一晚経過後のひずみを測定した。C・E橋については約3ヶ月後にもひずみを測定した。

表-4 調査対象橋梁

略号	路 線 名	所在地	桁 形 式	サイズ
A	一般国道 12号	江 別 市	2 径間連続鋼箱桁	M22×90
B	一般国道393号	倶知安町	2 径間連続非合成桁	M22×85
C	日高自動車道	苫小牧市	3 径間連続非合成桁	M22×90
D	一般国道237号	平 取 町	4 径間連続非合成桁	M22×80
E	一般国道 12号	旭 川 市	3 径間連続鋼板桁	M22×90

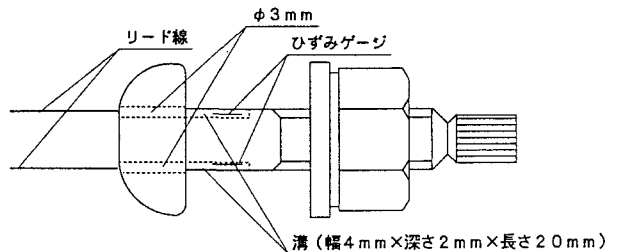


図-1 加工ボルト

4. 実験結果と考察

4-1 低温域の温度依存性

4-1-1 ボルト温度の測定結果

図-2 に、ボルト温度の測定結果を示す。低温恒温室内でボルト温度は、実測平均でそれぞれ+1.3、-8.9および-20.6℃となり、目標通りに保持されていたといえる。

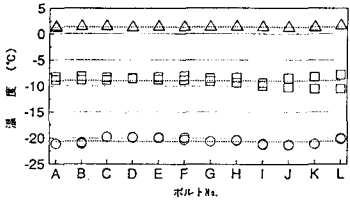


図-2 ボルト温度測定結果

4-1-2 ボルト軸力・トルクの測定結果

図-3 に、ボルトAの軸力・トルクの平均値ならびに変動係数を示す。軸力の変動係数は各温度で0.7～3.5％で、全温度域（0～-20℃）でも2.3～5.2％となった。また、バラツキ測定試験では、各温度で1.9～2.5％、全温度域でも2.6％と非常に小さかった。またトルクでは、低温になるにしたがってやや大きくなったが、変動係数は各温度域で1.2％以下、全温度域でも1.3～2.2％と小さな値となった。

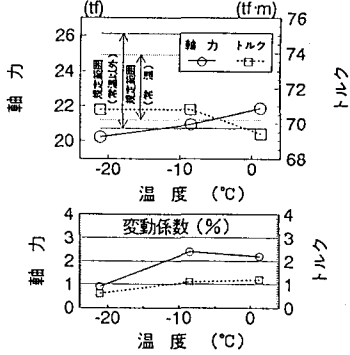


図-3 軸力・トルクの測定結果

軸力・トルクの変動係数が小さいことから、ボルトの性能に問題はないと考えられる。また、0℃の場合に示方書の規定値をすべて満足していたことや軸力の変動係数が社内試験結果（常温時）で1.7～4.3％だったこと等から、実験結果が妥当であるといえる。

図-4 に、常温時・低温時の軸力を示す。図において、実験結果とは-20～0℃の平均である。低温時には、常温時に比べて0.5～2.5tf程度低くなることが分かる。

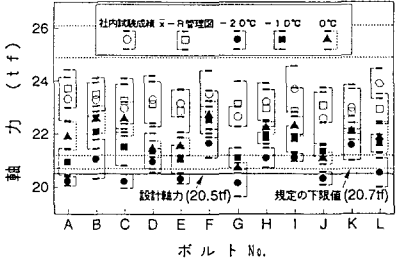


図-4 常温時・低温時の軸力

示方書に0℃未満の規定はなく、M22の設計軸力が20.5tfであることから、規定値を引き下げることはいできない。そこで、この規定値と実験結果とを比較すると、-10℃では20.94～22.54tfで、すべて規定値を満足した。しかし、-20℃の温度域では、20.22～21.66tfで、全体の42％にあたる5種のボルトについては設計軸力を、これらを含めて半数の6種のボルトが規定値を満足できなかった。したがって、-10～0℃の温度域では示方書の規定値をすべて満足しており、施工しても問題ないが、-10℃以下では規定値はおろか設計軸力をも十分に満足できないので、施工には不適当な条件であるといえる。

4-1-3 軸力の温度依存性

表-7 に、軸力の各温度域間の変化の度合（以下、変化率という）を示す。全体の平均を見ると、範囲①で0.075tf/℃、範囲②で0.041tf/℃となり、前者は後者と比べて2倍程度大きな値となった。

軸力の変化率のうち、最小と最大のものの比は、①では1/3.3、②では1/13.3と大きいこと、前項で軸力の変動係数が妥当であると判断できたこと等から、軸力の変化率はボルトの種類によって固有であると推測できる。ボルトは、それ自身の他に

表-7 軸力の温度変化率

範囲	①：-20～-10℃				②：-10～0℃			
	A	G	H	I	A	G	H	I
ボルト	A	0.067	G	0.079	A	0.121	G	0.038
	B	0.082	H	0.066	B	0.048	H	0.037
	C	0.114	I	0.061	C	0.106	I	0.044
	D	0.035	J	0.088	D	0.008	J	0.027
	E	0.065	K	0.044	E	0.049	K	0.000
	F	0.075	L	0.100	F	0.019	L	0.020
平均	0.075				0.041			

に妨錆や締付け時の摩擦軽減のための潤滑油が塗布されているだけであり、試験したボルトは、機械的性質の規定を満足していることと、トルクがあまり変化していないこと等を考慮すれば、トルシア形高力ボルトの温度依存の要因は潤滑油であると考えられる。

一般的に、潤滑油は低温になるほど粘性が増して抵抗が大きくなるので、その結果、締付けの際に余計なトルクを生じ、十分な軸力が得られないうちにピンテールが破断してしまうと考えられる。このとき、低温（-20～-10℃）で急激に粘性を増すものは、-20～-10℃での変化率と-10～0℃の変化率との差が大きくなる。このため、両者の軸力の変化率に差がでたと考えられる。これらの結果から、低温になるほど軸力の変化率が大きくなる、つまり軸力低下が次第に急激になると推測される。

4-2 時間依存性

4-2-1 ひずみ計測の妥当性

表-8 および図-5 に、軸力計による測定結果を示す。

図-5（a）から、納入ボルトの軸力は製品検査成績に比べて、ほぼ同一のB橋を除き、0.4～0.8tf程度小さくなったことが分かる。また、図-5（b）から納入ボルトのトルクが2～9 tf・m小さくなったことが分かるが、すべての軸力は示方書の規定値を満足しており、検査結果は合格となる。

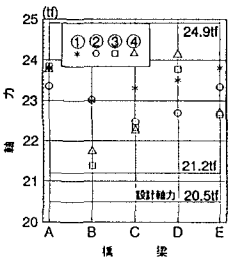
加工ボルトにおいて、D橋では1本が使用不可となったため、4本で実験した。また、A・D橋では各1本のボルトが示方書の規定値を上回り、逆にC橋では2本が規定値を下回っていたが、平均軸力は示方書の規定値を満足していた。また、軸力計の値とひずみから計算した軸力との比は1/0.984～1.004、納入ボルトと加工ボルトとの軸力比も、1/0.955～1.076となっており、どちらもほぼ同一の結果が得られた。

したがって、ひずみゲージによる軸力の計測方法は有効であるといえる。

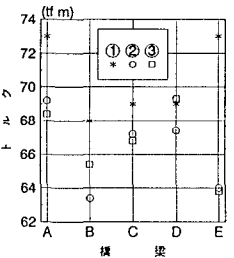
表-8 軸力計の測定結果

橋 梁		A	B	C	D	E	
実 施 日		H2.08.07	H2.10.02	H2.10.19	H2.10.30	H2.08.28	
製品検査成績	軸 力 ①	23.8	23.0	23.3	23.5	23.8	
	トルク ①	73	68	69	69	73	
納入	軸 力 ②	23.4	23.0	22.5	22.7	23.3	
	トルク ②	69.2	63.4	67.2	67.4	64.0	
合格本数		5／5	5／5	5／5	5／5	5／5	
加工ボルト	軸 力	③	23.84	21.39	22.33	23.77	22.66
		④	23.77	21.74	22.25	24.13	22.70
	比	③／④	1.003	0.984	1.004	0.985	0.998
		②／③	0.979	1.076	1.007	0.955	1.030
	トルク③		68.4	65.4	66.8	69.3	63.8
	合格本数		4／5	3／5	5／5	3／4	5／5
ボルト温度		28	14	14	18	27	

注) 軸力③は軸力計の値、④はひずみから算出した値



(a) 軸 力



(b) トルク

図-5 軸力計による試験の結果

4-2-2 実橋での試験結果

表-9 に実橋での測定結果を示す。また、図-6 に軸力計での試験結果との関係を示す。ここで、D・E橋は全ボルトが示方書の規定値を満足したが、A橋は2本が上回り、逆にB橋は2本、C橋は過半数の6本が下回った。特にC橋は、図-6 でも分かるように、軸力計の測定結果と比べても小さな値となった。

ボルトを加工した影響がほとんど見られないことやトルクが軸力計での結果とほぼ一致していること（図-6 参照）、施工日の状況等を考え合わせると、軸力低下の主な原因としては施工の状況が悪かったことが挙げられる。試験時の添接板表面は乾燥状態であったが、試験直前まで雨が降っており、その表面にはわずかながら錆が浮いていたこと、添接板とフランジの間に水が浸透している可能性があったことを考えると、ボ

ルトが添接部を完全に締めつける前に、余分な力がかかってピンテールが破断したと推測できる。その他、E橋で計測したトルクが製品検査成績に比べて小さいことが挙げられるが、計測結果は63~64tf・mで、導入軸力も22.7tf付近で安定しており、問題ないと考えられる。

4-2-3 軸力～トルク関係

図-7に、軸力～トルク関係を示す。ここで、B、C橋の明らかに外れているものを除けば、概ねA・E橋とB～D橋の2つのグループに分類できる。このうち、A・E橋のグループでは、トルクの変動に対して軸力の変動が小さいことから、トルシア形高力ボルト向きの性状をしていると考えている。トルクの変動に対して軸力の変動が小さいということは、は、実橋での軸力のバラツキも小さいことを示しているから、このようなボルトを使用することは望ましいことといえる。

4-2-4 軸力の経時変化

図-8に、C橋のボルト締め付け完了後の軸力の経時変化を示す。この図の300秒付近で見られる軸力上昇は、トルク測定のために追締めしたものである。このことを除けば、軸力が時間とともに明らかに減少していることが分かる。

表-10は、各橋梁での時間経過後の軸力の減少率が示されているが、この表から、約30分後で0.5～2.0％程度、約20時間後で2.5～4.0％程度軸力が減少し、さらに約3ヶ月後では、5％以上減少していたことがわかる。しかし、一日当りに換算すると約30分後では27～90％と、ややバラツキが大きいものの、約20時間後で2.5～3％程度、約3ヶ月後では0.04％以下と漸次小さくなっている。ただし、これは直線補間で求めたもので、実際にはより小さな値となるので、3ヶ月後には図-9のように軸力がほぼ安定していることも考えられるが、C、E橋では3ヶ月後には導入軸力の5％以下が抜けていた。

表-10 軸力の減少率

時間	0.5時間	20時間	3ヶ月
A	1.44％ [69.1％]	—	—
B	0.57％ [27.4％]	2.61％ [2.51％]	—
C	1.58％ [75.8％]	3.99％ [2.97％]	7.47％ [0.038％]
D	1.86％ [89.3％]	4.31％ [3.02％]	—
E	0.81％ [38.9％]	3.06％ [2.77％]	5.13％ [0.025％]

注) []内は一日当りの減少率

表-9 実橋の試験結果

橋	梁	A	B	C	D	E
納入ボルト	トルク④	—	65.4	66.4	66.0	64.0
加工ボルト	軸力⑤	23.42	21.87	20.80	23.25	22.75
	トルク⑤	66.5	65.7	67.1	68.4	63.1
	合格本数	8/10	8/10	4/10	10/10	10/10
ボルト温度		29	14	14	20	31

注) 網掛け部は不合格ボルトが規定値を越えたもの

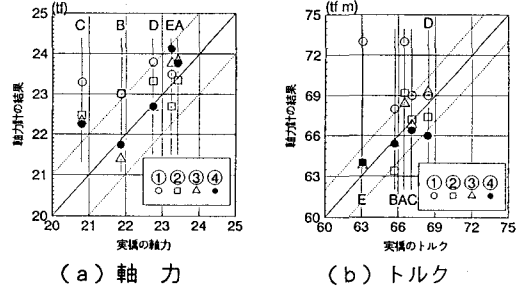


図-6 軸力計の結果との比較

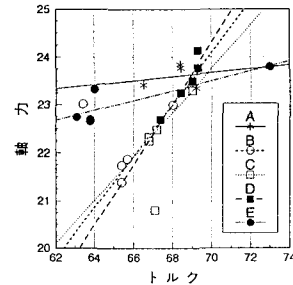


図-7 軸力～トルク関係

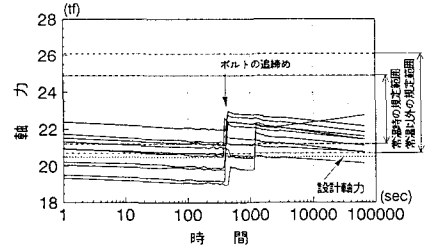


図-8 締め付け軸力の経時変化

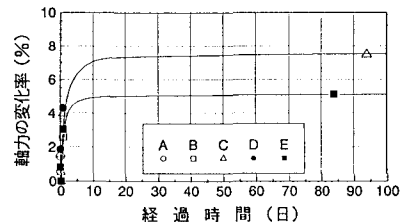


図-9 軸力の減少率の経時変化

5. まとめ

本試験の結果をまとめると以下ようになる。

5-1 温度依存性

- ①締付け軸力・トルクの変動係数が常温時と同程度だったことから、試験結果が妥当であると判断できる。
- ②予想したとおり、トルシア形高力ボルトには、締付け軸力に関する温度依存性がみられた。一般的に、温度が低下するとともに締付け軸力は小さくなり、低温になるほどその割合が増加する傾向にあった。また、その割合がボルトの製造メーカーで異なること等から、ボルトの潤滑油が主要因であると考えられる。
- ③低温時の締付け軸力は、常温時と比較して0.5～2.5tf程度低くなるが、-10℃では示方書の規定値を満足しており施工しても問題ないといえる。ところが、-20℃では、規定値はおろか設計軸力をも十分に満足できないので、ボルト温度が-10℃以下となる場合には注意を要する。また、この問題に関するボルトメーカーのトルシア形高力ボルトの品質改善努力が望まれる。

5-2 時間依存性

- ①導入軸力の測定に関し、2ゲージのアクティブ-ダミー法による計測方法は有効であった。
- ②現場施工されたトルシア形高力ボルトは、約20時間後で2.5～3%程度締付け軸力は低下しており、その後も漸減していた。最終的な減少量は、測定期間が短いこともあり、断定はできないが、軸力計で規定の下限値程度の軸力であれば、設計軸力を下回ることが予想される。
- ③現場での軸力計の計測で合格となったトルシア形高力ボルトでも、施工環境によっては、実橋での導入軸力、が規定値を満足しないケースも有り得る。

5-3 施工上の注意点

- ①表-8からもわかるように、細心の注意を払って処理した加工ボルトでも、若干ではあるが、その影響がボルト軸力にでている。このことは、ボルトに塗られてある潤滑油が取れると、ピンテールに余分な力がかかり、十分な軸力が得られないうちにピンテールが、破断してしまうからである。したがって、当然のことながら、今まで使用していた六角高力ボルト以上にトルシア形高力ボルトの場合には、ボルトの潤滑油は極力とれないようにして締め付け作業しなければならない。
- ②ボルトメーカーの製品検査や構造研究室での試験での結果は、最良の環境のもとでのものであることに留意すべきである。したがって、現場では、締め付け作業時にボルトに汚れや傷がつくと、上と同様のことが起きると考えられるので、ボルトの管理には十分注意しなければならない。
- ③発注者サイドとしては、このトルシア形高力ボルトでは、実際に締め付けたボルトの導入軸力を後から検査することが不可能であるので、上記の点を理解の上、受注者に施工管理させる必要がある。

<<参考文献>>

- 1) 社団法人日本道路橋会：道路橋示方書・同解説，平成2年2月
- 2) 北海道開発局開発土木研究所・社団法人日本橋梁建設協会北海道事務所：トルシア形高力ボルトの温度依存性に関する研究報告書（構造研究室資料第4号），平成元年8月
- 3) 北海道開発局開発土木研究所構造研究室：トルシア形高力ボルトの時間依存性に関する研究報告書，平成2年2月
- 4) 北海道開発局開発土木研究所構造研究室・社団法人日本橋梁建設協会北海道事務所：トルシア形高力ボルトの導入軸力に関する研究報告書，平成3年2月
- 5) 日本道路協会・橋梁委員会鋼橋示方書小委員会：トルシア形高力ボルト施工管理要領（案），昭和58年