

建設後26年経過した実橋から採取した現場継手部の高力ボルトのX線による応力測定

瀧上工業(株) 正会員 ○松村 寿男 正会員 櫻井 勇太
 パルステック工業(株) 非会員 内山 宗久 非会員 藤井 通之
 関西大学 正会員 石川 敏之

1. はじめに

鋼橋が火災や衝突による損傷を受けた際、早期復旧に向けて早急に安全性を評価する必要がある¹⁾。特に部材の連結部に用いられる高力ボルトは、損傷に伴う機械的性質の劣化や軸力低下により落橋や脱落などの重大な事故につながる重要な部材であるため、早急かつ適切な診断が重要である。このような背景から、筆者らはこれまでに現場で使用可能なポータブル型X線残留応力測定装置を用いた高力ボルト頭部の応力測定による非破壊でのボルト軸力の評価を試みている²⁾。筆者らは、既往の研究で小型試験体を用いた締め付け段階ごとのX線回折法による応力測定の結果、高力ボルト頭部の測定応力とボルト軸力は相関性を有しており、実橋で使用される高力ボルトにおいてもFEM解析結果と比較して妥当な測定結果を得られることを示している。ただし、既往の研究で採取した実橋の計測データは、箱桁内の六角高力ボルト3本に限られており、計測の信頼性を高めるためには、より多くの高力ボルトから測定データを収集する必要がある。本研究では建設後26年経過した実橋の現場継手部の高力ボルト32本をX線回折法による応力測定した結果について述べる。

2. 測定対象

本研究で測定する高力ボルトを写真-1に示す。計測対象の高力ボルトは、1991年に完成し供用していたが、2018年にタンカーの衝突事故により撤去された鋼床版箱桁橋の現場継手部とした。具体的には、損傷の影響を受けていない横桁張り出しブラケットウェブの現場継手部の添接板に使用されていた六角高力ボルトF10T M22(防錆処理ボルト)である。撤去されたブラケットウェブ部材から締め付けられた高力ボルトに切断の熱による影響の無い範囲となるよう、100 mm以上の切断代を確保した状態が母材をガス切断されている。添接板は2面摩擦接合である。

3. 計測概要

本研究における高力ボルト頭部の測定状況を写真-2, 3に示す。応力測定は既往の研究に倣い、 $\cos\alpha$ 法³⁾を用いたポータブル型X線残留応力測定装置(パルステック工業(株)社製)を使用し、添接板の高力ボルトの頭部中央にX線を照射することで回折したデバイ環と無応力試料のデバイ環との差から求められる残留応力を測定した。X線回折装置の設定条件として、X線照射径2.0 mm,

キーワード X線回折法, 高力ボルト, ボルト軸力, 応力測定, 非破壊検査

連絡先 〒475-0826 愛知県半田市神明町一丁目1番地 瀧上工業(株)技術委開発G TEL 0569-89-2103



写真-1 対象とする六角高力ボルト



写真-2 屋外での測定状況



写真-3 屋内での測定状況

コリメータ径 1.0 mm, 入射角度 45 deg, 露光時間 30 sec, X線管電圧・電流は 30 kV, 1.0 mA とした. X線照射前にボルト頭部の塗膜除去のためベルトサンダーによる研磨を施した上で, X線を照射する頭部中央の表面の平滑化のため円形($\phi 8\text{mm}$)に深さ 100 μm 程度の電解研磨を施した.

4. 測定結果および考察

図-1 に対象とした高力ボルト 32 本の応力測定結果（屋内）を示す。図中上段は対象としたブラケット現場継手部の添接板の左上から右下に付した高力ボルト No.1～32 番号であり、下段はボルト頭部中央およびその上下 1mm 位置の 3 箇所を測定した平均値を示す。図から分かるように、添接板内のボルトの位置による測定された応力値の明確な相関性は確認できなかった。これより、今回採取したブラケットウェブの継手部の六角高力ボルト頭部の測定応力は、輪荷重などの外力により生じる添接板の応力分布の影響は小さいと推定できる。また、応力測定結果のうち、最大値は No.12 の 452 MPa、最小値は No.16 の -291 MPa であり、全体の標準偏差は 42.1 MPa(平均-374.6MPa)となった。既往の研究²⁾において、小型試験体を用いた六角高力ボルト頭部の応力測定値の標準偏差は 51.0MPa(平均-398.3MPa)であり、本計測の値は既往の研究の $\pm 2\sigma$ (標準偏差)内であった。図-2 に本研究で対象とした 32 本の高力ボルトの

	No.1	No.2	(MPa)
	-393	-319	
No.3		No.4	
-435		-334	
No.5	No.6	No.7	No.8
-430	-350	-430	-369
No.9	No.10	No.11	No.12
-427	-359	-392	-452
No.13	No.14	No.15	No.16
-370	-346	-300	-291
No.17	No.18	No.19	No.20
-344	-364	-423	-420
No.21	No.22	No.23	No.24
-378	-420	-401	-397
No.25	No.26	No.27	No.28
-325	-349	-339	-399
No.29	No.30	No.31	No.32
-319	-371	-400	-341

図-1 屋内での応力測定結果

うち、添接板上面から中央付近までの 12 本を抜粋し、屋外と屋内の 2 種類での条件下の応力測定結果を示す。屋外と屋内の測定結果は概ね同傾向であり、最大で 34 MPa 差であった。標準偏差は屋外測定で 40.5MPa、屋内測定で 42.4MPa であった。これらより、屋外および屋内の測定条件に関わらず、ある程度信頼のある精度で高力ボルト頭部の応力測定が可能である。

5. まとめ

本研究では、X線回折法により実橋の現場継手部から採取した添接板のF10T六角高力ボルト頭部の応力測定をした。本測定結果では添接板の応力分布による高力ボルト応力への影響は見られず、屋外・屋内に関わらず、ある程度信頼のある精度で測定が可能であることを確認した。ただし、屋外での測定誤差を少なくする、直射日光の遮光および装置の揺れを防止する風よけなどの対策は必要と考える。

謝辞：計測対象とした現場添接部は、西日本高速道路株式会社からご提供いただいた。また、試験体の採取にあたり株式会社 **THI** インフラシステムここにご尽力いただいた。ここに記して謝意を示す。

参考文献

- 1) 高樋由美子ら：火災を受けた橋梁の安全性評価，土木学会第 59 回年次学術講演会，1-009，pp.17-18，2004.
- 2) 櫻井勇太，藤井通之，松村寿男，内山宗久，石川敏之：高力ボルト頭部の残留応力計測による軸力抜けの評価に関する研究，鋼構造年次論文報告集，第 26 巻，pp.425-431，2018.
- 3) 平 修二ら：細束 X 線応力測定の一方法とその疲労き裂伝ば問題への応用，*Journal of the Society of Materials Science, Japan*, Vol.27, No.294, pp.251-256, 1978.

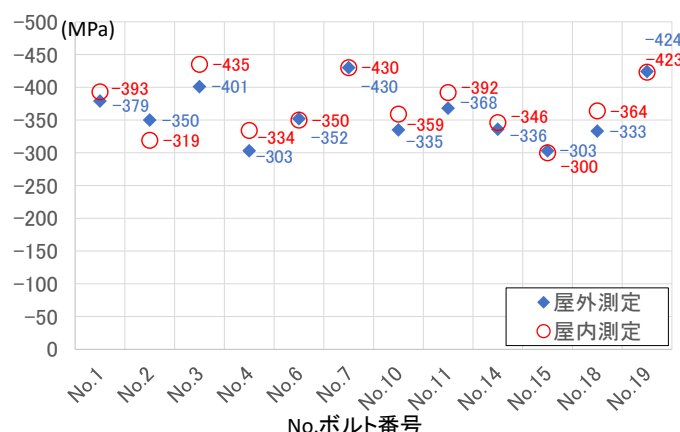


図-2 屋外・屋内での応力測定結果の比較