

高力ボルト耐力点工法の施工 (番の州高架トラス)

有安輝夫*
西垣 登**

1. まえがき

番の州高架橋トラスは、本州四国連絡橋の児島～坂出ルート（Dルート）に属し、四国側高架橋の延長約3kmの最端部で、南備讃瀬戸大橋7Aアンカレイジの海上部を起点とし番の州工業地帯の陸上部分に位置する、橋長483mの3径間連続ワーレントラス橋でダブルデッキ構造の道路・鉄道併用橋である（一般図は本誌P59参照）。

本橋に於ける現場添接部の高力ボルトは、総本数が23万本以上になり、しかもすべて防錆高力ボルト仕様であることから、締付軸力の管理の信頼性と作業能率の向上が架設作業上きわめて重要な要素となる。これらのことから、検討の結果、従来からの締付け方法である「トルクコントロール法」にかえて、「耐力点検出法」を採用して工事を行った。

耐力点検出法による高力ボルトの締付け方法は、本四公団では工事実績が数多くあるが、その他の工事では、まだまだあまり採用されていないのが実状である。

本文では、施工現場の立場から、施工および管理の実際と、技術上の問題点などについて報告する。

2. 耐力点検出法の採用理由

今まで一般的に使われていたトルク法と耐力点検出法の特徴を簡単な比較表にまとめたものを表-1に示す。

トルク法については、施工上指摘する程の問題点のないことは、比較表からも判断できるが、あえて耐力点検出法を採用した理由を掲げると、

- 1) トルク係数値の変動にほとんど左右されない。
- 2) 作業が単純化され能率が良い。
- 3) 施工が確実に締付け軸力のばらつきが少ない。

表-1 トルク法と耐力点検出法の比較

比較項目	トルク法	耐力点検出法																						
(1)締付け原理概要	ボルトのトルク係数値を確認し、締付けトルクを制御して所定のボルト軸力を導入する。	ボルトの締付けトルクは耐力点を越えるとトルクの一定変化率が急変する。その特性を電氣的に捕えて導入軸力を制御する。																						
(2)ボルト導入軸力及び制御域	<table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td></td> <td>下限値</td> <td>上限値</td> </tr> <tr> <td>M22</td> <td>21.5t</td> <td>23.7t</td> </tr> <tr> <td>M24</td> <td>24.9</td> <td>27.5</td> </tr> </table> (弾性域) $T = k \times d \times N$ ※kは各ボルトにより変り、従って、トルク値(T)も変動する。		下限値	上限値	M22	21.5t	23.7t	M24	24.9	27.5	<table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td></td> <td>下限値</td> <td>上限値</td> <td rowspan="4">$\sigma_T = 102 \text{ kg/mm}^2$ とした場合の軸力。</td> </tr> <tr> <td>M22</td> <td>24.7t</td> <td>29.4t</td> </tr> <tr> <td>M24</td> <td>28.8</td> <td>34.3</td> </tr> <tr> <td colspan="3">(耐力点近傍) A種の場合、$\sigma_T \times A \times 0.8 \leq \sigma_T \times A \leq \sigma_T \times A \times 0.95$ ※σ_Tは各ロット毎に変り軸力も変動する。</td> </tr> </table>		下限値	上限値	$\sigma_T = 102 \text{ kg/mm}^2$ とした場合の軸力。	M22	24.7t	29.4t	M24	28.8	34.3	(耐力点近傍) A種の場合、 $\sigma_T \times A \times 0.8 \leq \sigma_T \times A \leq \sigma_T \times A \times 0.95$ ※ σ_T は各ロット毎に変り軸力も変動する。		
	下限値	上限値																						
M22	21.5t	23.7t																						
M24	24.9	27.5																						
	下限値	上限値	$\sigma_T = 102 \text{ kg/mm}^2$ とした場合の軸力。																					
M22	24.7t	29.4t																						
M24	28.8	34.3																						
(耐力点近傍) A種の場合、 $\sigma_T \times A \times 0.8 \leq \sigma_T \times A \leq \sigma_T \times A \times 0.95$ ※ σ_T は各ロット毎に変り軸力も変動する。																								
(3)現場条件による影響	外気温、雨水等の現場条件によりトルク係数が左右され締付け軸力が変動する。締付け軸力のばらつき変動係数は7%程度となっている。	ボルト材質の特性を利用して締付け管理をしているので現場の諸条件に左右されずに軸力導入ができる。軸力のばらつき変動係数は2%前後と低い。																						
(4)現場予備試験	5本以上の供試ボルトの平均が(2)項の範囲に入る様、トルク係数及び締付けトルクを算出し使用機械の調整を行う。	5本以上の供試ボルトを使って締付け機械の軸力制御動作を確認する。																						
(5)現場締付け手順	ボルト挿入 → 1次締め → マーキング → 本締め (所定軸力の80%) (所定軸力の100%)	ボルト挿入 → 1次締め → マーキング → 本締め (所定軸力の60%) (100%軸力導入)																						
(6)締付け後検査	ボルト全数について締忘れ・共廻り・ナットの裏返し等について目視検査し、更に各ボルト群の10%については、トルクレンチを用いて締付けトルク値の抜取り検査を行う。記録計を用いる場合は、記録紙によりボルト全数を検査対象とする。	ボルト全数について締忘れ・共廻り・ナットの裏返し等について確認し、現場締付け回転角（マーキングのずれ）が予備試験時の平均回転角に対して $\pm 30^\circ$ 以内に収まっているか否か目視検査する。 記録紙で検査する場合は現場予備試験時の電流波形と各ボルトの波形を対比し検査する。																						

* 千葉工場工事部工事課

** 宮地建設工業(株)本四プロジェクト室

4) 締付け後の検査は目視で狭い場所でも容易に行うことができる。

などの点において、トルク法よりすぐれていると評価することができる。しかし締付け軸力は図-1に示すように耐力点近傍（永久のびで0.2%となる点）であるため、トルク法よりはるかに高く遅れ破壊に対する不安が残ったが、鋼構造協会接合小委員会などの実験報告¹⁾に記されているとおり、使用ボルトの鋼種に関係なくボルトの引張強さで、耐遅れ破壊性能が支配されることが明らかにされた。したがってF10Tまでのボルトに対しては、耐力点検出法を適用しても遅れ破壊の点で問題は無いと判断されている。また締付けレンチは、ボルトメーカーとレンチメーカーのタイアップにより、自動制御システムが改良され、現段階に於いては高い締付け精度が得られている。前述の内容を総合的に判断して耐力点検出法の採用に踏切った。

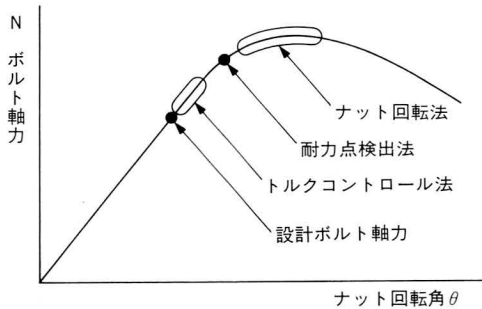


図-1 締付け工法による軸力導入域

表-2 使用高力ボルト数量表
(全て防錆処理ボルト)

			重量(kg)	数量(本)
トラス本体	主 構	M24 F10T	71,756	81,408
		M22 F10T	5,022	8,064
	対 傾 構	M22 F10T*	5,349	9,024
		M22 F10T	47,783	79,500
	横 構	M22 F10T	8,310	14,052
	下路床組プレーキトラス	M22 F10T	2,235	4,024
補助縦桁・トラス本体付き材料	M22 F10T	2,147	3,128	
	M20 F8T	205	518	
鋼床版床組		M22 F10T	17,332	31,117
下路組	3P側緩衝装置縦桁	M22 F10T	950	1,778
		M22 F8T	54	104
合 計			161,143	232,717

* 工場施工ボルト

3. 現場締付け管理要領

現場添接部の高力ボルト数量を表-2に、使用締付け機器の性能等を表-3に示す。当現場の主構本締め作業は昭和60年7月から始まり、翌年3月に終了した。主構実作業日数は128日である。現場締付け管理の手順は図-2に示すフローチャートに従って行った。

表-3 締付け機器

	形 式	電源電圧	能力	使用台数	自重	備 考
電 動 レ ン チ	NR-7T	単相交流 200/220V	M20 M22	5 台	kg/台 6.0	(株)芝浦製作所
	TW-24T	"	M22 M24	2	12.0	滋賀ボルト(株) コーナーレンチ
	NR-12T3A	"	"	3	9.5	(株)芝浦製作所
制 御 器	WC-24T	"	M22 M24	1	12	滋賀ボルト(株)
	YNRC-30T	"	M22 M30	1	1.5	(株)芝浦製作所
記 録 計	WR-24T	"	M22 M24	1	9.0	滋賀ボルト(株)
	R-12/30T	"	M22 M30	1	14.6	(株)芝浦製作所
軸 力 計	ETM-40A	"	4 ~ 40t	1	50.0	"

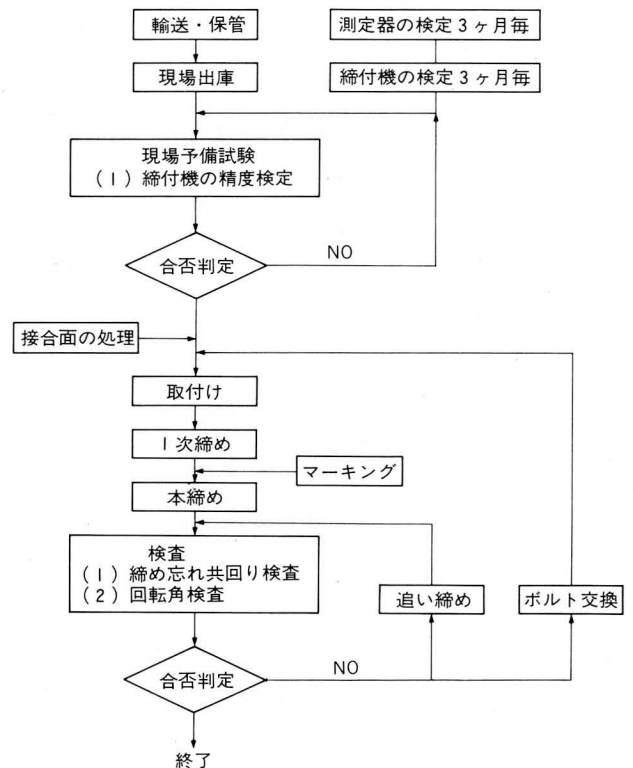


図-2 現場管理フローチャート

(1) 現場予備試験 (キャリブレーション)

高力ボルトの締付け機器が耐力点近傍で正常に作動し、制御動作軸力及び回転角を求め制御動作が正常かどうかについての確認を行う(写真-1)。現場予備試験は、

- 1) 制御器の電圧計を確認する (210V)
- 2) ボルト・ナット・ワッシャーを軸力計に装着し、標準軸力の約60%を、手締めスパナ又は電動レンチにて導入する。
- 3) 電動レンチでナットを締めて制御動作軸力及び回転角等を測定する。この時、記録計により電流波形を検出し異常波形の有無を調べる。

上記の試験を5本のボルトについて行い制御動作軸力の平均値(\bar{X})が、A種の場合で $P_{Y Ae} \cdot 0.80 \leq \bar{X} \leq P_{Y Ae} \cdot 0.95$ 、変動係数値(cv)が5%以下の範囲にあれば正常動作と判定する。また電流波形を目視で検査し、カウンターが正常に作動しているか否か確認する。電流記録波形の例を図-3に示す。



写真-1 現場予備試験 (狭部用コーナーレンチ)

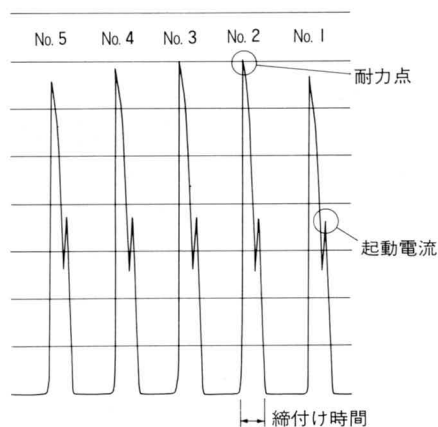


図-3 現場予備試験電流記録波形 (供試ボルト5本分)

(2) 1次締め

1次締めは電動トルクレンチを用いて、標準軸力の約60%(M22-14t, M24-16t)にあらかじめ調整して作業を行った。現場によっては、インパクトレンチで締付けを実施しているところもあるが、本締め完了時に回転角のばらつきが大きい事もあるので注意を要す。

(3) マーキング

ボルトの締忘れ・共廻り・ワッシャーの裏返し等を防止し、本締め後の回転角検査を行う目的で、1次締め完了後全ボルトにマーキングをする。尚マーク方向はボルト群毎に統一し、本締め後の目視検査をしやすいようにする(写真-2)。

(4) 本締め (写真-3)

現場予備試験で制御動作を確認した電動レンチを使用して本締め作業を行った。1ボルト群に於ける締付け順序は、ボルトに不均一な張力及び添接部に内部応力が残



写真-2 1次締め完了後のマーキング状況



写真-3 本締め作業状況

留する事のないよう、中央部より外側へ向けて締付けた。
電動レンチの使用にあたって注意事項を以下に記す。

(a) 電動レンチのスイッチ操作は、インチングはやめて一気に締める。インチング操作をすると制御開始点が、瞬間的に狂う事がある。

(b) 電動レンチ本体と制御器の間のコードは10m以下にして、電圧降下による検出精度の低下を防止する。

(c) 架設用大型電動機械と併用して電源をとっている場合は、一時的に大きな負荷が働き電圧が変動し制御動作に悪影響を及ぼすため、電源と制御器の間に定電圧装置をセットする。

以上の点に留意して本締め作業を行った。

(5) 締付け後検査

1次締め完了時に設けたマークのずれを目視検査し、締め忘れ・共廻り等を検査する。それに伴い回転角についても測定し、許容回転角範囲 $\bar{\theta} = \theta \pm 30^\circ$ に収まっているか否か確認する。

$$\bar{\theta} < \theta - 30^\circ \dots \dots \text{角度不足}$$

$$\bar{\theta} > \theta + 30^\circ \dots \dots \text{角度過大}$$

$\bar{\theta}$ は現場予備試験時の供試ボルト5本の平均回転角で、本締め完了検査ボルトの回転角を θ とした。角度不足の場合は増し締めし、角度過大の場合はボルトを取り替える。尚、今回は記録計による電流波形は検出せず全て目視検査を実施した。

4. N- θ 曲線の作図要領

現場予備試験または締付け作業中に、万が一制御動作に異常が発見された場合は、現場でN- θ 曲線(軸力-ナット回転角曲線)を作図し確認を行う。図-4のN- θ 曲線を参考に作図要領を記す。

- 1) 供試ボルトを軸力計にセットする。
- 2) 仮締め軸力としてスパナで約5t位締付ける。
- 3) 電動レンチで10~15度ごとに回転角度とその時の導入軸力を読み取り、グラフにプロットする。この測定を回転角度250度前後まで行う。

以上1)~3)までの手順で、供試ボルト3本に対して行う。

- 4) 供試ボルト3本のプロット平均点を求めN- θ 曲線を作図する。(耐力点近傍での測定を少し密にした方が正確な曲線が得られる。)
- 5) 次に供試ボルトのネジ切り終端からナット側座金上面までの、遊びネジ山数を測定する。

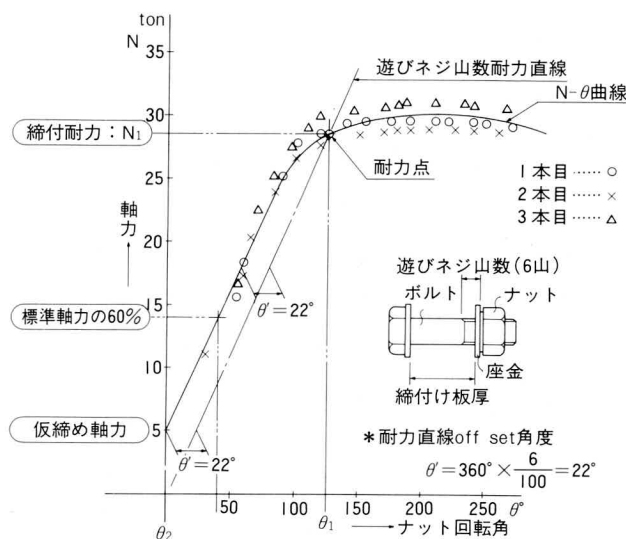


図-4 N- θ 曲線作図要領図
(供試ボルト3本使用)

6) 遊びネジ山数の1%をoff setし、N- θ 曲線の直線勾配線に対し平行に耐力線を記す。

$$(\text{off set角度 } \theta = 360^\circ \times \frac{x \text{ 山}}{100})$$

7) N- θ 曲線と6)の耐力線が交差した点で、この締付け電動レンチが制御動作した耐力点となる。

8) 耐力点がわかったらその締付け軸力(N)と、ナットの回転角度(θ_1)を読み取る。

9) 1次締め(標準軸力の60%程度)の時の、ナット回転角度(θ_2)を読み取り耐力点検出時のナット回転角 θ ($\theta_1 - \theta_2$)を算出する。

以上の要領で使用電動レンチの制御動作チェックを実施し、毎日行う現場予備試験のデータと比較し異常の有無を調べる。もし仮に異常が見受けられた場合は、すみやかにレンチメーカーの指示をおおぐものとする。

5. 耐力点検出法の改良点と留意点

(a) 電動レンチによる締付け不能部の締付け方法についてはまだ統一された施工方法はないようで、ある現場ではそのような箇所はトルク法に変えて行っている例もある。しかし導入軸力の相違もあり良い施工方法とは言いがたい。本橋に於いてもそのような箇所が数多くあった為、次のような策を講じた。

- 1) 狭部用の特殊コーナーレンチを新規に開発・製造して行った。それでも隙間は330mm前後は必要であった。
- 2) ボルトの挿入方向を変更した。
- 3) 現場予備試験時のデータを利用して、1次締めをトルクレンチで確実にやりマーキングをする。次

の本締めも予備試験時の回転角に合致させるべく、手締レンチで締付けた。

以上の方法で狭部の締付け作業を行ったが、3)の方法だとボルトサイズM22までは可能であるが、それ以上のサイズになると困難である。

(b) 電動レンチの定期検査(3ヶ月に1回)は、レンチメーカーにて行う事を原則としており、その間の予備台数を確保する必要があるが高価な機械であるだけに経済性の面で問題が残る。

(c) 電動レンチ使用台数が多く長期にわたる現場の場合は、毎日の現場予備試験(5本/台)と定期検査用(20本/台)の供試ボルト本数が増え、予め購入数量に含んでおく必要がある。

(d) コーナー電動レンチの小型・軽量化について改良する必要がある。

6. あとがき

番の州高架橋トラス架設工事に於ける防錆高力ボルトの、締付け施工について報告をした。施工にあたっては本四公団のご理解とご指導をたまり、順調に作業が遂行できたことを感謝致します。まだ1年あまりの工期を残し道路桁等の高力ボルト約40,000本程が未施工であるが、前述の施工要領を遵守して確実に行う。また今後耐力点検法が一般的に認知され、品質の向上と管理の簡素化が計られる事を期待する次第である。

＜参考文献＞

- 1) 日本鋼構造協会接合小委員会 ボルト強度班：高力ボルトの遅れ破壊、JSSC、15(1979)158。

グラビア写真説明

KE44工区(その2)KE45工区高架橋

KEとは、首都高速葛飾江戸川線の略称である。東京の北部を走る、高速6号線2期の四ッ木を起点として、高速湾岸線の葛西地区荒川放水路橋迄を結び、将来首都高速中央環状線を形成する。首都圏高速道路網の重要な路線である。昭和62年秋東北道と直結する高速葛飾川口線と同時に開業する予定である。これにより、既に開業している、常盤自動車道と結ぶ足立三郷線と伴に、都心を通過する事なく、湾岸線を通り高速一号線への流れが出来上った。

本路線は主に、荒川放水路と中川放水路の背割堤内に位置しているため、堤体に傷をつけないように脚に緩衝装置を設置した。又対岸からの景観を重視して上部工は逆台形構造の連続箱桁、脚は二本柱構造としている。

本工区は、KE線の最も標準的な工区である。(若松)

ムカワ 鶴川大橋

本橋は、室蘭、苫小牧の道央ベルト地帯と、日高、道東を結ぶ主要路線として、太平洋に面した鶴川町に位置し、架橋地点の鶴川はアイヌ語「ムカツベツ」から転訛したもので、川尻が絶えず移動する所と云う意味です。

本橋では鋼床版箱桁内面の鋼床版裏面の熱影響部塗装について、ジンクリッチプライマー(有機)仕様塗装の外に、工場にて3ブロックに各3種類の試験塗装を行ない、追跡調査を行なっております。各塗装仕様は次の通りです。

	E 1	E 2	E 3
前処理	製品ブラスト	清浄度1種素地調整 ジンクリッチプライマー (無機系)	製品ブラスト
下塗	厚膜型無機 ジンクリッチプライマー ミストコート 厚膜型エポキシ樹脂系塗料	ノンブリード型 タールエポキシ樹脂塗料	錆転換型特殊顔料 プライマー (2回)
中塗	厚膜型エポキシ樹脂系塗料	同 上	エポキシ樹脂系塗料 (ラストップハード)
上塗	同 上	同 上	同 上

(川村)