

I-383 耐力点締付法の締付実態調査報告

本州四国連絡橋公団 正会員 藤井裕司
 本州四国連絡橋公団 ○正会員 山口和範
 (社)日本橋梁建設協会 正会員 菅原昌一
 (株)宮地鐵工所 正会員 清水功雄

1. まえがき

本州四国連絡橋の高力ボルトの締付方法としては、大三島橋から大鳴門橋まではほぼトルク法が用いられてきたが、厚膜型無機ジンクリッチ塗装や施工性の関係並びに導入軸力の変動が少ない等の理由で瀬戸大橋では全面的に耐力点締付法が用いられるようになった。この方法による導入軸力は、耐力を目標としており、従来のトルク法に比べて約20%上昇する。本四公団「鋼橋等製作基準」では現場予備試験における締付機の動作軸力の平均値 \bar{N} の範囲は下記のように設定されている。

トルク係数値 A種 $\sigma_y \times A_o \times 0.8 < \bar{N} < \sigma_y \times A_o \times 0.95$

トルク係数値 S種 $\sigma_y \times A_o \times 0.85 < \bar{N} < \sigma_y \times A_o \times 1.0$

区 分	トルク係数値によるセットの種類	
	A	S
1製造ロットのトルク係数値の平均値	0.110~0.150	0.080~0.120
1製造ロットのトルク係数値の標準偏差	0.010以下	0.007以下

σ_y : J I S 4号試験片によるボルトの耐力
 A_o : ねじの有効断面積

ボルトを締付けて得られる締付力は単純引張による耐力に比較してA種で約10%, S種で約5%低下する。締付基準の上限値を上記のようにすると、ボルトに導入される軸力は締付耐力を超えることになり、ボルトの締付最大軸力に近づくことになるので締付機の動作軸力の平均値 \bar{N} を以下の式まで下げることが可能かどうか検討を行った。

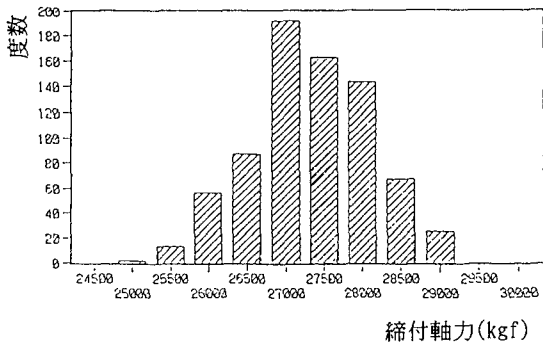
トルク係数値 A種 $\sigma_y \times A_o \times 0.8 < \bar{N} < \sigma_y \times A_o \times 0.9$

トルク係数値 S種 $\sigma_y \times A_o \times 0.85 < \bar{N} < \sigma_y \times A_o \times 0.95$

上限値を下げるためにはボルトの締付に付随する(1)締付機による軸力のバラツキ, (2)ボルトの耐力のバラツキ等の不確定な要素のバラツキを把握する必要がある, 生口橋の施工例等を調査して実際の導入軸力の状況や締付機の設定軸力の動作点の調査実験を行った。本論文は調査実験の結果の概要を述べるものである。

2. 生口橋の耐力点締付による現場予備試験データ

現場予備試験は、施工中毎日行うことになっており、検査ボルト本数はn=5本である。管理は管理シートによることになっている。データ収集にあたっては、施工会社から提出された管理シートから締付機の制御動作軸力を無作為に抽出した。集計結果を図-1に示す。



生口橋施工会社別集計

	塔2A社	塔1B社	主桁C社	主桁D社	小計
データ数	70	70	300	310	750
平均値	27353	26711	27257	27396	27186
最大値	28500	28700	29100	29600	29100
最小値	26000	25000	25500	25200	25000
標準偏差	567.38	745.87	740.89	799.73	738.27
変動係数	2.07	2.58	2.72	2.90	2.72

生口橋ボルト会社別集計

	塔2C社	塔1桁A社	主桁F社	小計
データ数	70	370	310	750
平均値	27353	27154	27596	27186
最大値	28500	29100	29600	29100
最小値	26000	25000	25200	25000
標準偏差	567.38	732.31	799.73	738.27
変動係数	2.07	2.81	2.90	2.72

図-1 生口橋(M22)HTB現場予備試験データ

ボルトメーカーごとのX-R管理図による耐力の特性値, および実測による耐力の最小値, 平均値, 最大値を表一に示す。

表一 生口橋(M22)実測値とX-R管理図による計算値との対比

単位(kgf)

ボルトメーカー	$(\sigma_y - 3\sigma)A_0 \times 0.8$	$\sigma_y A_0 \times 0.8$	$(\sigma_y - 3\sigma)A_0 \times (0.8 + 0.95)/2$	$\sigma_y A_0 \times (0.8 + 0.95)/2$	$(\sigma_y + 3\sigma)A_0 \times (0.8 + 0.95)/2$	$\sigma_y A_0 \times 0.95$	$(\sigma_y + 3\sigma)A_0 \times 0.95$
A	23,452	(25,000) 24,288	25,656	(27,154) 26,566	27,480	(29,100) 28,843	29,836
C	24,427	(26,000) 24,870	26,717	(27,353) 27,202	27,687	(28,500) 29,533	30,060
F	23,670	(25,200) 24,870	25,889	(27,596) 27,202	28,514	(29,600) 29,533	39,958

() 内は実測値左から最小値, 平均値, 最大値

3. 締付機の設定レベルと締付軸力の調査

締付機の設定レベルを制御器の作動時間とし, この作動時間と締付軸力の関係を調査した。F10T(M22)の制御器作動時間と締付軸力について1次締め後を起点とした本締め終了までのナット回転角の関係について整理したものを図-2に示し, あわせて予め測定したN-θ曲線も記入した。また, 表-2には締付機動作点の設定レベルと締付軸力の確率特性の関係を示す。

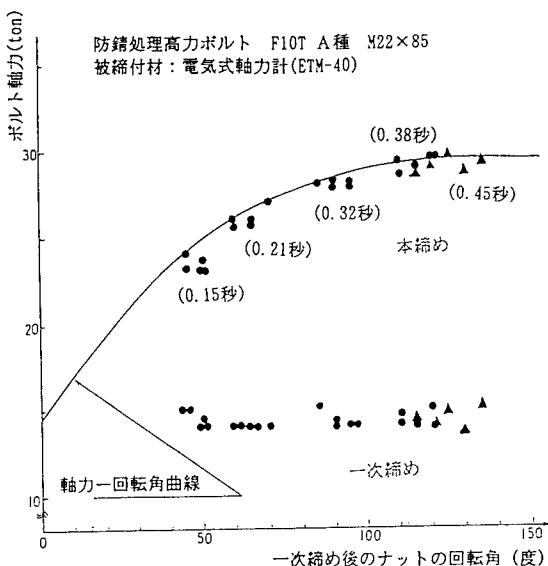


図-2 締付け機の設定目盛と締付軸力
(ナット回転角と軸力)

表-2 締付機動作点の設定レベルと
締付け軸力の確率特性

設定条件	制御機作動時間(sec)		一次締め軸力(ton)	本締め軸力(ton)
1	0.15	平均値	14.5	23.5
		標準偏差	0.45	0.33
		変動係数	3.1	1.4
2	0.21	平均値	14.0	26.0
		標準偏差	0.0	0.52
		変動係数	0.0	2.0
3	0.32	平均値	14.2	27.9
		標準偏差	0.39	0.08
		変動係数	2.7	0.3
4	0.38	平均値	14.3	29.2
		標準偏差	0.40	0.38
		変動係数	2.8	1.3
5	0.45	平均値	14.3	29.0
		標準偏差	0.53	0.37
		変動係数	3.7	1.3

n = 5本

(防錆処理高力ボルト F10T A種 M22×85)

4. まとめ

生口橋の耐力点締付データによると各施工会社別および各ボルトメーカー別の実績では導入軸力は(0.8~0.95) $\sigma_y A_0$ のほぼ中央値と一致し, 平均値を中心値としてバラツキの変動係数は最大3%内外であるので, 非常に正確に締付けられていることが裏付けられた。また, 締付機動作点の設定条件別の軸力の変動係数はいずれのケースでも1~2%と非常に小さいので, 締付け機の設定レベルを現行の目標値より下側に設定しても, 締付軸力は安定して導入できることが判明した。

締付軸力の設定点を移動してもばらつきが小さく, 正確に締め付けられているので, 締付耐力の点まで上限を下方修正しても締付軸力は正確に導入されると判断される。