

鋼材の接合法

高力ボルト

川森泰一郎

(株) IHI インフラシステム

鋼構造基礎講座 「高力ボルトの施工と管理方法」

- 期日 2010年12月2日(木)14:10～15:10
- 主催 土木学会 鋼構造委員会
(鋼構造継続教育推進小委員会)
- 会場 土木学会 講堂

目次

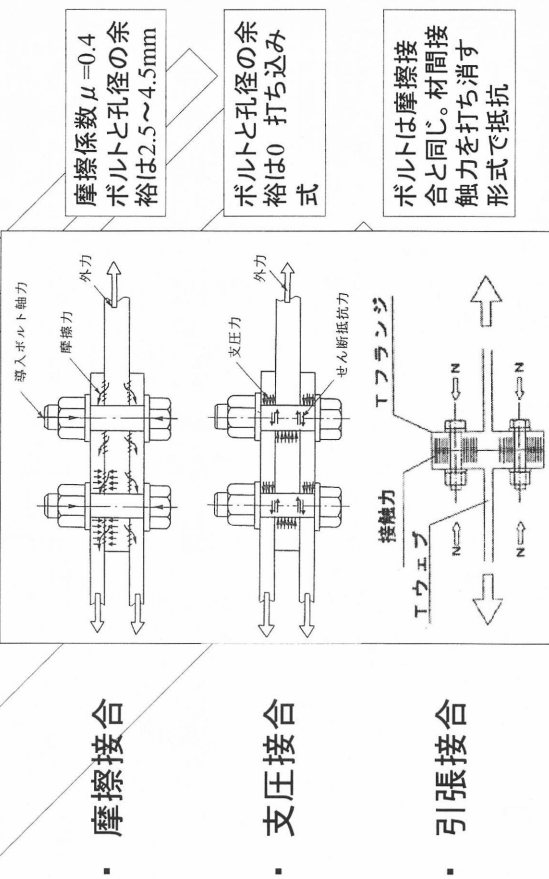
- 高力ボルトの接合方法と種類および設計
- 摩擦接合による施工方法の種類
- ボルトの締め付け工程／締付機器
- ボルト 製造工場での管理／検査
- 高力ボルトの現場保管
- 接合面の表面状態とすべり係数
- 現場予備試験
- 予備締め後のマーキング／検査
- ナット回転法での締付と管理
- 耐力点法での締付と管理
- まとめ

高力ボルトの接合方法と種類

1. 摩擦接合
部材の接触軸の生ずる摩擦力で力を伝える
高力六角ボルト
トルシア形高力ボルト
溶融亜鉛めっきボルト
耐候性ボルト
防錆ボルト
等
2. 支圧接合
部材の孔とボルト軸部との支圧により
ボルトのせん断抵抗力を介して力を伝える
支圧接合用打ち込み式高力ボルト
3. 引張接合
ボルト軸と同じ方向の力を伝える接合方式
高力六角ボルト
トルシア形高力ボルト
支圧接合用打ち込み式高力ボルト

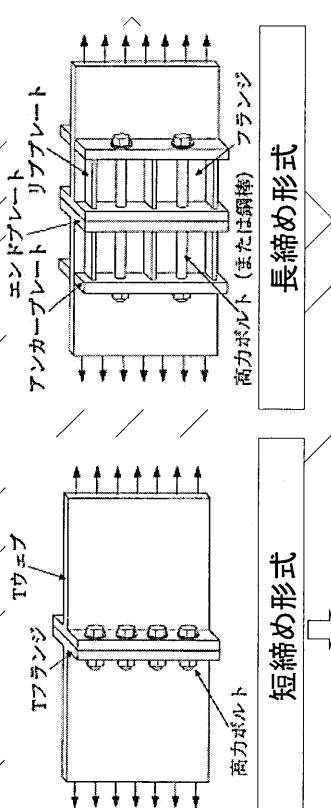


高力ボルトの接合方法と伝達機構

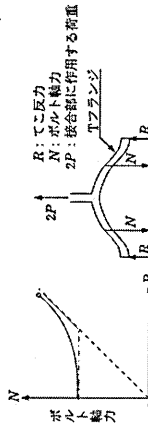


高カボルトの引張接合の種類と留意点

2つの形式

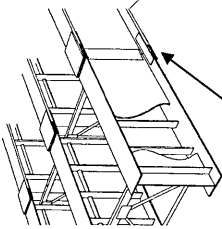


短縮め形式の場合はここに反力によるボルトの付加軸力を考慮する



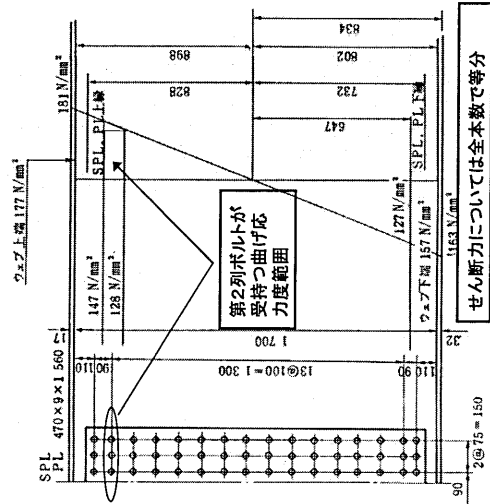
ガイドライン型の高カボルト継手の設計1

作用応力が小さい場合でも
→ 母材の全強の75%以上の強度で設計する



連結する母材の板厚差はフィラプレートで処理する。
肌スキは0になるようにするが、設計上0.5mm以下の板厚差が生じた場合は、第1ボルト間隔をすべて100mmとする。

腹板の連結設計



せん断力については全本数で等分

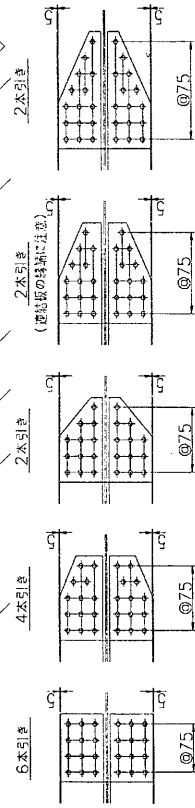
ガイドライン型の高カボルト継手の設計2

引張フランジの連結設計

設計法

引張フランジ
純断面 = (総幅 - 孔引き) × 板厚 × 1.1

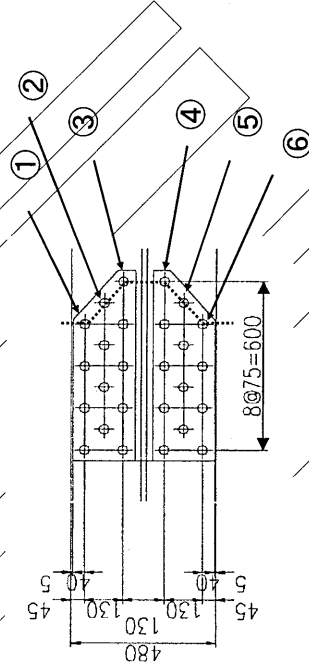
……道路橋示方書



応力度に余裕がある場合

ガイドライン型の高カボルト継手の設計3

引張フランジの孔引き純断面積の計算例



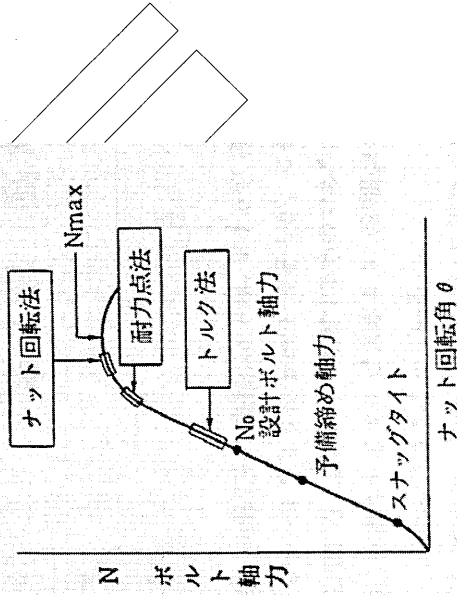
破断面を赤破線で検討した場合、

①、④は孔全幅(25mm)引き、②、③、⑤、⑥は千鳥の影響
 $w = d - p^2/4g = 25 - 75^2/(4 \times 65) = 3.37\text{mm}$ 引きを考慮する
 純断面幅 $Be = \{48 - (2 \times 2.5 + 4 \times 0.337)\} \times 1.1 = 45.8\text{cm}$
 断面欠損率 : $Be/B = 45.8/48 = 0.95$

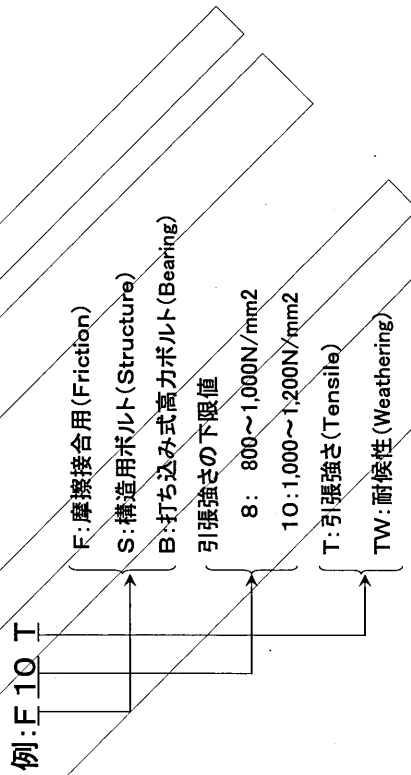
摩擦接合による施工方法の種類

- トルク法** : 一般的な締付方法
 高力六角ボルト
 トルシア形高力ボルト
 耐候性ボルト
 防錆ボルト
- あらかじめ、ナットを締め付けるトルクと導入軸力の関係を調べておき、そのトルクを管理し、所定のボルト軸力を得る方法
- ナット回転法** : ナットを一定角度だけ回転させてボルトの伸びにより導入軸力を得る方法
 溶融亜鉛めっきボルト
- 耐力点法** : ボルトの軸力が弾性域では比例関係であるが、これを超えるとその比が変化するので、これを電氣的に検出する専用締付機により施工する方法
 高力六角ボルト

摩擦接合による施工方法の分類図



ボルトの種類と名称



ボルト等級	トルシア	六角	溶融亜鉛	耐候性	防錆
	S10T	F10T	F8T	F10TW S10TW	F10T S10T
ナット等級	F10	F10	F10	F10W	F10
座金等級	F35	F35	F35	F35W	F35

高力ボルトの規格

規格	トルシア形ボルト	高力六角ボルト	溶融亜鉛めっきボルト	耐候性ボルト
	日本道路協会規格	日本道路協会規格がJISを補足限定して定める	日本道路協会規格がJISを補足限定して定める	日本道路協会規格がJISを補足限定して定める

JIS: JIS-B-1186 摩擦接合用高力六角ボルト・六角ナット・平座金のセット (1995)

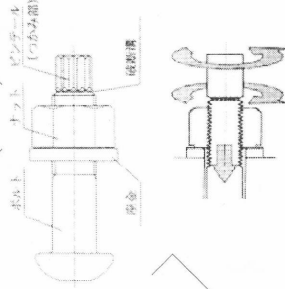
日本道路協会: 摩擦接合用トルシア形高力ボルト・六角ナット・平座金のセット、同解説 (1984)

鋼橋に使用されるボルトの呼び径

M20、M22、M24 (鋼橋の90%以上が、M22を使用)

トルシア形高力ボルトの締付けの特徴

- 鋼橋では、もっとも一般的な、ボルト接合方法
- ボルトのピンテールの破断により安定した締付けトルクを得る締付け軸力が導入される
- 締付けトルクの調整が必要ない。締付け作業が容易に出来るので締付け機や業者によるトルクの差が出ない
- 締付け完了後の検査は、ピンテールの破断とマーキングを視視で確認だけで良い
- 専用の締付け機が必要
- 破断したピンテールの回収が必要
- 取り外す必要がある時、共まわりすると頭部形状が丸形のため取り外しにくい



高力ボルト製造工場での検査

ボルト製品検査証明書の確認

- 製品抜き取り検査
 - ① 試験片引張試験(ボルト)
 - ② 製品引張試験(ボルト/ナット)
 - ③ 硬さ試験(ボルト/ナット/座金)
 - ④ ボルトナット座金のセットでの試験

- * 高力六角ボルトでは、トルク係数値試験
- * トルシア形高力ボルトでは、締付軸力試験
- 数量・サイズの確認
- 保管状態の確認

ボルト製造工場での管理

- 検査成績書(ミルシート、製品検査証明書等)
- 製造品質管理(X-R 管理図)
サンプル数 $n=2\sim 5$ 、ロット数=30組から平均値 \bar{X} 、範囲R(最大値と最小値の差)を管理図に表示し現在の製造工程が規格を満足する一定品質の製品を継続して生産できる安定した状態にあることを確認することができる。

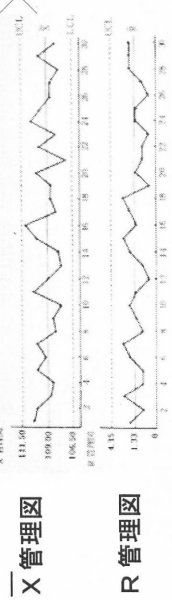
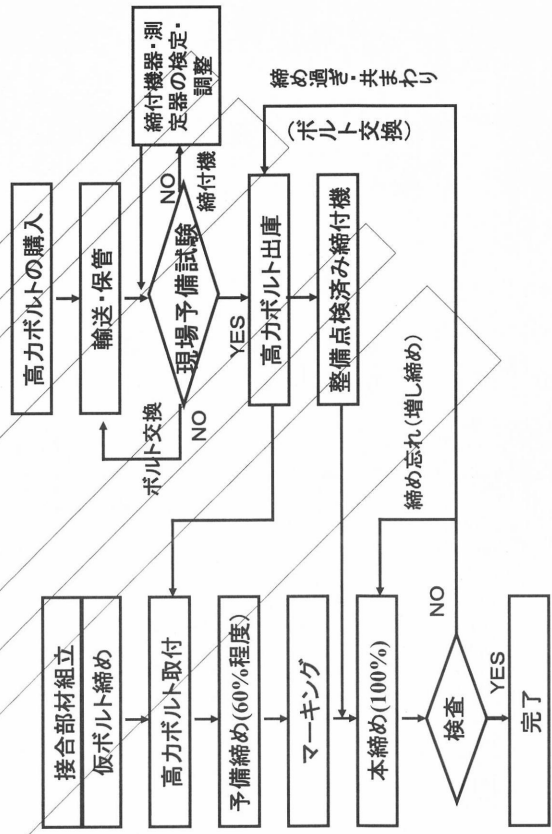


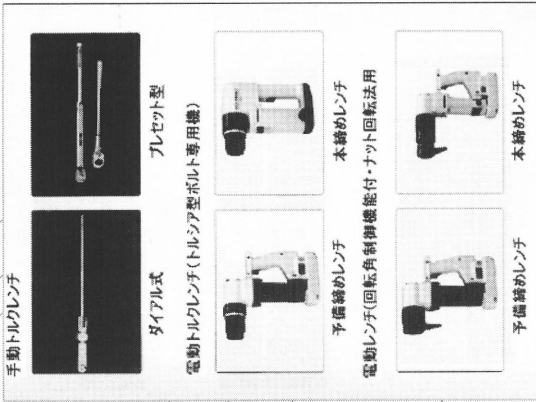
図2.4 引張の強さの \bar{X} -R管理図 (n=5)

ボルトの締付け工程(現地)



ボルト締付け機器

※手動トルクレンチ



※電動レンチトルシア形用
予備締め／本締め用

※回転制御機能付き電動レンチ
(ナット回転法用)
予備締め／本締め用

高力ボルトの現場での保管

- 工場出荷時の品質を保つため、現場保管期間をできるだけ短くするように出荷する
- 雨や夜露による濡れ、錆の発生、ほこりや砂などの付着を防ぐため、工場包装のまま保管庫に収納する。それが困難な場合はシート養生等を行う
- 包装は、出来るだけ使用直前に必要数量だけ解くようにし、品質に変化が生じないように配慮する
- 梱包を解いたボルトは出来るだけ早く使用し、長期間放置しない

接合面の表面状態

- 道路橋示方書によれば、接合面のすべり係数0.4以上が必要。

接合面表面状態	すべり係数(μ)
× 黒皮のまま	0.20～0.40
× 溶融亜鉛めつき面	0.10～0.30
◎ 浮き錆除去の錆肌	0.45～0.70
◎ ショットブラスト面	0.40～0.70
◎ 厚膜型無機シンクリッチ塗装面	0.40以上

現場予備試験(その1)

<目的>

- ① ボルト製造工場での十分な品質管理
→ 現場搬入後の品質保持の確認
- ② 締付け機器の整備・点検・調整

<内容>

1. 軸力計を用いてボルトの軸力を検定し、締付トルクを設定する
2. 締付作業のある日、毎日 締付作業前に実施する
3. 1つの製造ロットから無作為に5本抽出して予備試験を行う

一度 現地に納入されたボルトであれば、首下長さは検定機器に対応した長さのボルトを使用して良い

現場予備試験(その2)

- 外気温により、標準締付軸力が異なる

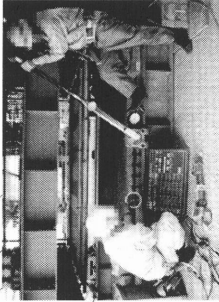
例：S10Tの場合

常温時(10℃～30℃) 単位:kN

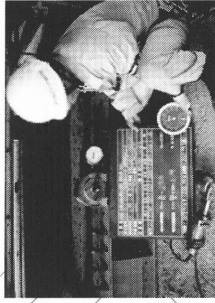
ねじの呼径	設計軸力	下限値	上限値
M20	165	172	202
M22	205	212	249
M24	238	247	290

常温以外(0℃～10℃、30℃～60℃) 単位:kN

ねじの呼径	設計軸力	下限値	上限値
M20	165	167	211
M22	205	207	261
M24	238	241	304

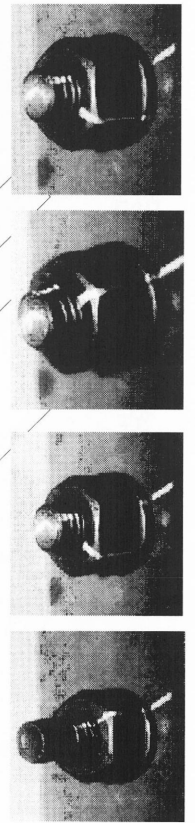
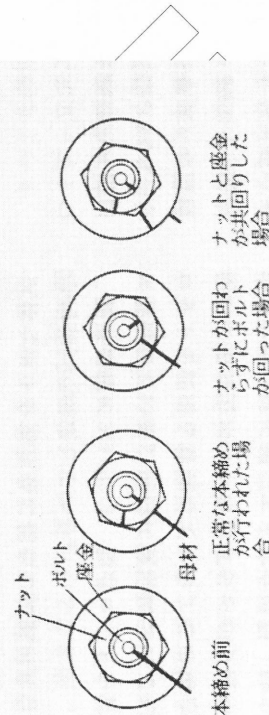


高力六角ボルト予備試験



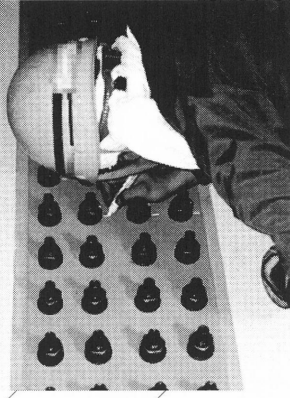
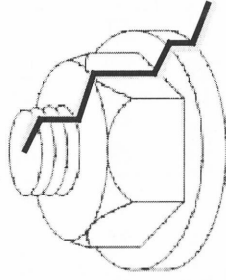
トルシア形高力ボルト予備試験

本締め後の検査／共まわり



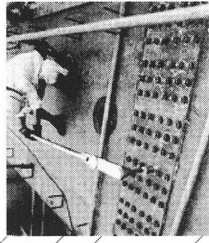
予備締め後のマーキング

締め忘れ、共まわりの異常を確認するために、マジックペンなどにより、ボルト・ナット・座金及び母材に直線をマーキングする



本締め後の検査/高力六角ボルト

1. マーキング確認
締め忘れや共まわりは、ないか？
2. ナット・座金の裏返しはないか？
3. 軸力確認



各ボルト群の10%のボルトを抜き取って、トルクレンチにより締付確認を行う。

→ 現場予備試験で設定した締付トルクの±10%範囲なら合格

→ 不合格のボルト群は、さらに倍数のボルトを抜き出して再検査。トルクが下回るボルトは規定のトルク値まで増し締め。10%を超えたボルトは、新しいセットに交換

書類検査/高力六角ボルト

■ 現場予備試験管理シートでの合否判定確認

工事名	施工業者名	
日 時	検 査 者	
天候・気温	締付け機名称・番号	
ボルトの等級・呼び	軸力計名称・番号	
工場の等級・呼び	標準締付け軸力	
トルク	X1	X2 X3 X4 X5 X _{AV} R
予備試験結果トルク係数値 K1 =	$X_{AV} \div d \times X_{AV, n}$	
本日締付け目標トルク	$T_0 = d \times K_1 \times N$	
合 否 判 定	下限値 (kN) $\leq X_{AV}$ (kN) \leq 上限値 (kN)	合・否

■ 本締め後の抜き取り検査でのトルク合否判定確認

T_0 : $\pm 10\%$ の範囲内

本締め後の検査/トルシア形高力ボルト

1. マーキング確認
締め忘れや共まわりは、ないか？
2. ナット・座金の裏返しはないか？
3. ピンテール切断を目視により、全数確認する

書類検査/トルシア形高力ボルト

■ 現場予備試験管理シートでの合否判定確認

工事名	検 査 者	
日 時	締付け機名	
天候・気温	軸力計番号	
ボルトの等級・呼び・首下長さ	締付け部位	
ボルトメーカー	ロット No	
軸力 (kN)	X1	X2 X3 X4 X5 平均値 X _{AV}
合 否 判 定	下限値 (kN) $\leq X_{AV}$ (kN) \leq 上限値 (kN)	合・否

■ 目視による検査結果記録

ナット回転法による締付け

(道路橋示方書では、F8Tのみに適用する)

部材の接触面の肌すきがなくなる程度にトルクレンチまたは、組立用スパナで締めた状態から、マーキングを行い、ナットを規定の角度まで回転させて所定のボルト軸力を導入する方法。

検査

1. マーキング確認
締め忘れや共まわりは、ないか？
2. ナット・座金の裏返しはないか？
3. 締付け回転角の合格範囲は、目標角度の $\pm 30^\circ$ 以内とする

(道路橋示方書では、ボルト長が径の5倍以下の場合は： $120^\circ \pm 30^\circ$ と規定している)

耐力点法による締付け

- ボルト軸力とトルクの関係は、弾性域では直線関係にあるが、耐力を超えるると飽和曲線となる。専用締付け機の電流値の上昇率も弾性域では一定であるが、飽和し始めると減少する。この減少し始めた時点に制御装置で検出し、電流を遮断することにより、耐力付近でボルトを締め付けることが出来る方法
- 専用の締付け機が必要
- ボルトの軸力が安定する
- 予備締めめの程度による最終軸力の影響を受けにくい

まとめ 締付け方法の比較表-1

		トルシア形高力ボルト (S10T)	高力六角ボルト (F10T)
		専用締付け機	電動締付け機
1	測定器具の検定	<ul style="list-style-type: none"> ○軸力計の検定 ○3ヶ月に1回 ○軸力計: 載荷試験機による誤差 3%以下 	<ul style="list-style-type: none"> ○トルクレンチの検定 ○トルクレンチ ○トルクレンチの検定 ○1ヶ月に1回 ○トルクレンチ: トルクテスターまたは重量試験による誤差 3%以下
2	締付け機の検定	<ul style="list-style-type: none"> ○整備点検のみ 	<ul style="list-style-type: none"> ○検定項目: 締付けトルク ○1ヶ月に1回 ○制御目盛を3段階に分けて行う ○各段階で10回行う ○変動係数 4%以下

まとめ 締付け方法の比較表-2

		トルシア形高力ボルト (S10T)	高力六角ボルト (F10T)																																																														
		専用締付け機	電動締付け機																																																														
3	現場予備試験	<ul style="list-style-type: none"> ○軸力 ○n=5セット ○施工ロットの軸力の平均値は下表以内とする 	<ul style="list-style-type: none"> ○軸力・トルク ○n=5セット ○ボルト検査成績書よりトルクを決定する 																																																														
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>ボルト等級</th> <th>社名の呼び名</th> <th>設計軸力</th> <th>下限値</th> <th>上限値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">S10T常温時</td> <td>M20</td> <td>165</td> <td>172</td> <td>202</td> </tr> <tr> <td>M22</td> <td>205</td> <td>212</td> <td>249</td> </tr> <tr> <td>M24</td> <td>238</td> <td>247</td> <td>290</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">S10T常温以外</td> <td>M20</td> <td>165</td> <td>167</td> <td>211</td> </tr> <tr> <td>M22</td> <td>205</td> <td>207</td> <td>261</td> </tr> <tr> <td>M24</td> <td>238</td> <td>241</td> <td>304</td> </tr> </tbody> </table>	ボルト等級	社名の呼び名	設計軸力	下限値	上限値	S10T常温時	M20	165	172	202	M22	205	212	249	M24	238	247	290	S10T常温以外	M20	165	167	211	M22	205	207	261	M24	238	241	304	<table border="1"> <thead> <tr> <th>ボルト等級</th> <th>社名の呼び名</th> <th>設計軸力</th> <th>下限値</th> <th>上限値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">F8T</td> <td>M20</td> <td>133</td> <td>146</td> <td>153</td> </tr> <tr> <td>M22</td> <td>165</td> <td>182</td> <td>191</td> </tr> <tr> <td>M24</td> <td>192</td> <td>211</td> <td>222</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">F10T</td> <td>M20</td> <td>165</td> <td>182</td> <td>191</td> </tr> <tr> <td>M22</td> <td>205</td> <td>226</td> <td>237</td> </tr> <tr> <td>M24</td> <td>238</td> <td>262</td> <td>275</td> </tr> </tbody> </table>	ボルト等級	社名の呼び名	設計軸力	下限値	上限値	F8T	M20	133	146	153	M22	165	182	191	M24	192	211	222	F10T	M20	165	182	191	M22	205	226	237	M24	238	262	275
ボルト等級	社名の呼び名	設計軸力	下限値	上限値																																																													
S10T常温時	M20	165	172	202																																																													
	M22	205	212	249																																																													
	M24	238	247	290																																																													
S10T常温以外	M20	165	167	211																																																													
	M22	205	207	261																																																													
	M24	238	241	304																																																													
ボルト等級	社名の呼び名	設計軸力	下限値	上限値																																																													
F8T	M20	133	146	153																																																													
	M22	165	182	191																																																													
	M24	192	211	222																																																													
F10T	M20	165	182	191																																																													
	M22	205	226	237																																																													
	M24	238	262	275																																																													
		<p>常温時 (10°C ~ 30°C) 常温以外 (0°C ~ 10°C、30°C ~ 60°C)</p>	<p>同一施工ロットとは、等級、径、締付け機器が同一で、出荷時のトルク係数値の差が5%以下の製造ロット</p>																																																														

まとめ 締付け方法の比較表-3

		トルシア形高力ボルト (S10T)	高力六角ボルト (F10T)
		専用締付け機	電動締付け機
4	現場締付け	<ul style="list-style-type: none"> ○取付け→予備締め (60%程度) →マーキング →本締め 	<ul style="list-style-type: none"> ○取付け→予備締め (60%程度) →マーキング →本締め
		<ul style="list-style-type: none"> ○ピンテールの切断→視により全数確認 ○検査はボルトの締付け後に行う 	<ul style="list-style-type: none"> ○トルクレンチによる検査→ボルト群の10%以上抜き取り ○検査はボルトの締付け後、速やかに行う
5	検査	<ul style="list-style-type: none"> ○ピンテールの切断確認 ○ナット底金の裏返し、共回り等が無いこと(全数) ○不合格処理 取り替え 	<ul style="list-style-type: none"> ○ボルト・ナット・底金の共回り、ナット・底金の裏返し等が無いこと(全数) ○目標トルクの±10%以内 ○不合格処理 増締め、または取り替え