

高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工に関する国内外基準の調査と検討

法政大学 学生会員 ○杉谷 隆夫

法政大学 正会員 森 猛

大阪市立大学 正会員 山口 隆司

1. はじめに

近年、特に鋼橋建設の経済性・省力化が強く要求されるようになった。経済性を旨とした合理化桁の設計においては、従来構造と比較して、桁の少数化、厚肉省補剛化、一部材一断面化が指向されている。これに伴い、高力ボルト摩擦接合継手についても、実際の挙動を反映した合理的な設計法が求められている。本研究では、現行の道路橋示方書に記載されている高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工法を対象とし、国内外の基準と比較するとともに、摩擦接合継手に関する研究成果や実験結果などを参考として、設計・施工法の合理化に向けて改訂および追加が必要と思われる項目について検討した。比較に用いる基準および本文中の略称を表1に示す。

表1 比較に用いる基準類

設計基準	略称
日本道路協会:道路橋示方書・同解説、2002年	道示
鉄道総合研究所:鉄道構造物等設計標準・同解説、1992年	鉄道標準
日本建築学会:鋼構造設計標準、2002年	鋼規準
日本建築学会:鋼構造接合部設計指針、2001年	鋼接合指針
ISO:ISO 10721-1, Steel Structures - Part 1: Materials and Design, 1997.	ISO
AASHTO: AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 1998.	AASHTO
Eurocode 3 - Part 2: Steel Bridges and Plated Structures, 1995.	Eurocode
Ministry of Transportation: Ontario Highway Bridge Design Code, 3rd ed. 1991.	Ontario

2. 比較検討結果

高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力（ボルト1本1摩擦面当たり）は式(1)によって与えられる。

$$P_s = \frac{1}{\nu} \cdot \mu \cdot N \quad (1)$$

P_s : 継手のすべり耐力, ν : すべりに対する安全率, μ : すべり係数, N : 設計ボルト軸力
設計ボルト軸力は、道示を含む国内基準でボルトの降伏強度、海外基準では引張強度を基準として所定の比率を乗じることによって式(2)のように与えられている。

$$N = \alpha \cdot \sigma \cdot A_e \quad (2)$$

α : 係数（強度に対する比率）, A_e : ボルトねじ部の有効断面積
 σ : 強度（国内基準: 降伏強度, 海外基準: 引張強度）

比較のために係数 α を引張強度に対する比率に統一して表2に示す。この比は、各基準にお

表2 設計ボルト軸力における引張強度に対する比率

	道示	鉄道標準	鋼規準	鋼接合指針	ISO	AASHTO	Eurocode	Ontario
F8T相当	0.68	0.68	0.63	0.68	0.70	0.70	0.70	0.70
F10T相当	0.68	0.68	0.64	0.68	0.70	0.70	0.70	0.70

いてほぼ同じ値となっている。各基準で規定される安全率とすべり係数を表3と表4に示す。各基準で設計法が異なるので安全率を単純に比較することはできないが、許容応力度法に準拠する基準において比較しても、道示の値は大きい。また、道示ではすべり係数を接触面の状態にかかわらず一律の値としているのに対し、他の基準では接触面の状態に応じてすべり係数を変えているものが多い。

式(1)のパラメータの他に、鋼接合指針およびAASHTOでは孔形状、Ontarioでは接触面の処理状態およびボルトの種類に応じて軸力抜けのすべり耐力に対する影響を考慮している。それぞれの低減係数を表5と表6に示す。また、表7は継手の接触面に引張力が作用する場合のすべり耐力の求め方を示している。すべり耐力に関しては、定量的に影響因子を解明することで、合理的な安全率およびすべり係数の設定が可能になるとと思われる。

キーワード 高力ボルト摩擦接合継手 すべり耐力 すべり係数 設計ボルト軸力 有効断面積

連絡先 住所 〒184-8584 東京都小金井市梶野町3-7-2 法政大学工学部 電話番号 042-387-6279

表3 各基準のすべり耐力に対する安全率

	安全率	備考
道示	1.7	降伏強度と同じ安全率。
鉄道標準	1.05	その他の安全率を考慮すると、およそ1.10～1.30となる。
鋼規準	1.5	長期荷重に対して1.5。短期荷重に対して1.0。
鋼接合指針	1.00	—
ISO	不明	安全率は考慮するが、具体的な数値については不明。
AASHTO	1.00	—
Eurocode	1.10	使用限界状態の場合。
	1.25	終局限界状態の場合。
Ontario	1.32	使用限界の照査式より判断。

表5 孔形状によるすべり耐力の低減係数

ボルト孔の種類	低減係数	
	AASHTO	鋼接合指針
標準孔	1.00	1.00
拡大孔	0.85	0.85
短い長孔	0.85	—
応力方向と直角をなす長い長孔	0.70	
応力方向と平行の長い長孔	0.60	

表6 軸力抜けによるすべり耐力の低減係数

ボルトの接触面の状態	低減係数	
	ASTM A325	ASTM A490
清浄な黒皮表面、またはブラスト処理後Class A [*] のコーティング	0.82	0.78
ブラスト処理、またはブラスト処理後Class B [*] のコーティング	0.89	0.85
ワイヤーブラシクリーニングし、溶融亜鉛めっき処理	0.90	0.85

^{*}: Class AおよびClass Bのコーティングはすべり係数が少なくともそれぞれ0.33および0.50を確保できるコーティングである。

引張部材の耐力は式(3)によって与えられる。

$$P_t = \frac{1}{\nu} \cdot \sigma \cdot A_e \quad (3)$$

ν : 安全率, A_e : 有効断面積(表8参照), σ : 降伏強度または引張強度
国内基準では降伏強度または引張強度のどちらかで部材の耐力を決定しているが、海外基準では降伏強度および引張強度について検討し、そのうち小さいほうを部材耐力としている。引張強度を基準とする場合、いくつかの基準では式(3)のパラメータの他に表8の()内の係数を乗じて引張耐力を求めることとしている。降伏強度を基準とした道示および鋼接合指針では、摩擦によって応力の一部が伝達されることを考慮して、有効断面積を割増している。しかし、両者の割増率は異なるため、有効断面積の求め方についてはさらに検討が必要と思われる。

3. 今後の検討課題

ここでは、比較検討結果のうちの数例を示した。以上のことを含め、今後、検討が必要と思われる項目としては次のものがあげられる。(1)桁断面継手の設計法(ウェブとフランジの協働作用)(2)多列ボルト継手(ボルト列数、継手耐力に対する影響)(3)引張部材の設計法(千鳥ボルト配置の純断面積)(4)肌すき(肌すきの許容値、継手耐力に対する影響)(5)フィラーを有する継手(フィラーの詳細、継手耐力に対する影響)(6)併用継手(併用する継手の種類、継手耐力の考え方)

表4 各基準のすべり係数

	接触面の分類数	すべり係数の範囲
道示	2	0.4
鉄道標準	2	0.4
鋼規準	2	0.45
鋼接合指針	8	0.23～0.45
ISO	9	0.18～0.55
AASHTO	3	0.33～0.50
Eurocode	6	0.20～0.50
Ontario	3	0.33～0.50

表7 引張が作用する場合のすべり耐力

	すべり耐力
鉄道標準	$P_{st} = \left(1 - \frac{T}{N}\right) \cdot P_s$
鋼規準	鉄道標準に同じ
鋼接合指針	鉄道標準に同じ
ISO	$P_{st} = \left(1 - \frac{0.8T}{N}\right) \cdot P_s$
AASHTO	鉄道標準に同じ
Eurocode	ISOに同じ
Ontario	$P_{st} = \left(1 - \frac{1.33T}{n \cdot N}\right) \cdot P_s$

P_s : 継手のすべり耐力

P_{st} : 引張力を考慮した継手のすべり耐力

N : 設計ボルト軸力

T : 継手の接触面に作用する引張力

n : ボルト本数

表8 引張部材の有効断面積

	有効断面積	
	降伏強度を基準	引張強度を基準
道示	1.1×純断面積 ただし、総断面積以下	—
鉄道標準	—	純断面積
鋼規準	純断面積	—
鋼接合指針	総断面積、 $A_n + n_t \cdot P_s / 3\sigma_y$ の小さいほうの値	純断面積
ISO	総断面積	純断面積
AASHTO	総断面積	純断面積(×U)
Eurocode	総断面積	純断面積(×0.90)
Ontario	総断面積	純断面積(×0.85)

A_n : 純断面積

n_t : 想定破断線上のボルト

P_s : すべり耐力

σ_y : 部材の降伏強度

U : せん断遅れによる係数

(全断面有効: 1.0, 1列にボルト3本以上: 0.85)