

I-52

高力ボルト摩擦接合引張継手の強度実験と設計法に関する考察

駒井鉄工(株) 正会員 秋山寿行 大阪大学工学部 正会員 西村宣男
 駒井鉄工(株) 正会員 播本章一 大阪大学工学部 正会員 亀井義典
 大阪大学大学院 学生員 高木優任

1. はじめに

近年、諸外国においては鋼構造設計法が限界状態設計法に移行してきている。我が国においても、鋼構造設計に対する限界状態設計法の導入に備え、高力ボルト摩擦接合継手に関しても各種限界状態について強度などの系統的な見直しが必要であると思われる。

高力ボルト摩擦接合継手に関し、我が国の設計規準¹⁾は、すでに限界状態設計法に移行している諸外国の鋼構造設計規準に比べ、より高い安全性を有しているように思われる²⁾。本報告は、高力ボルト摩擦接合継手の各種限界状態を系統的に計画した継手試験体を用いて実験を行い、継手部の終局強度について諸外国の設計規準と比較し、考察を行うものである。

2. 実験供試体

高力ボルト摩擦接合引張継手において、ボルト孔による断面控除の影響および終局強度などに着目し、実験供試体は次の3タイプを考える。①Aタイプ：摩擦面のすべり係数およびボルトの破断強度を調べる。②Bタイプ：継手部の有効断面を調べる(母材に着目したものをBfタイプ、添接板に着目したものをBsタイプ)。③Cタイプ：継手部の母材強度と摩擦面のすべり強度を設計上等しくして調べる。

高力ボルトはF10T、サイズM20を使用する。供試体の摩擦面はショットブラストによって黒皮を除去した後、赤錆を発生させたものとする。実験供試体の概要を表-1に示す。

表-1 実験供試体の概要

タイプ	継手形式	母材	添接板	ボルト本数	供試体数
A 4		SM58	SM50Y	一次すべり側 4本	3体
		板厚42mm	板厚22mm	二次すべり側 6本	
A 6		Ag=75.6cm ²	Ag=79.2cm ²	一次すべり側 6本	3体
		An=56.3cm ²	An=59.0cm ²	二次すべり側 8本	
B f 4	突き合わせ	SS41 板厚10mm		4本/片側	3体
B f 6	2面せん断	Ag=13.5cm ² An= 8.9cm ²	SS41 板厚10mm	6本/片側	3体
B s 4	ボルト	SM50Y 板厚25mm		4本/片側	3体
B s 6		Ag=33.8cm ² An=22.3cm ²		6本/片側	3体
C 6		SM50Y 板厚10mm	SM50Y 板厚11mm	6本/片側	3体
		Ag=32.1cm ² An=22.0cm ²	Ag=32.1cm ² An=22.0cm ²		

3. 継手引張試験結果

実験により、各タイプは次のような結果がみられた。

①Aタイプ：摩擦面の主すべりが発生し、ボルトが支圧状態に達した後、ボルトが破断する。②Bfタイプ：ボルト最外列においてのみ母材の降伏に伴いすべりが発生し、全体的なすべりは見られない。②' Bsタイプ：内側ボルト列より添接板が降伏し、それに伴う板厚減少によるボルト軸力抜けが起り、全体のすべりに至る。③Cタイプ：母材の板厚減少によるボルト軸力抜けの影響ですべりが先行する。

実験結果より、各供試体の降伏強度とすべり限界の相関を図-1に示す。ここに、 N_{PL} は弾性限界荷重(実験値)、 N_{SL} は道路橋示方書¹⁾(以下、道示と

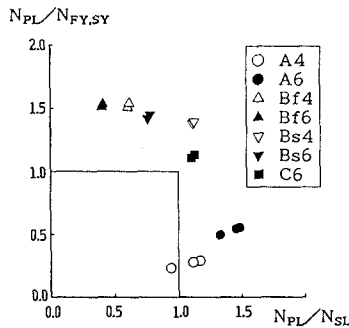


図-1 母材または添接板の降伏強度とすべり限界の相関

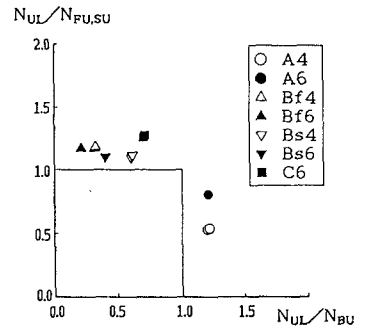


図-2 母材または添接板の破断強度とボルト破断強度の相関

いう)に基づくすべり荷重(公称値)、 $N_{Fy,sv}$ は母材または添接板についてボルト孔を控除した純断面積で評価した降伏強度(公称値)である。一方、母材または添接板の破断強度とボルトの破断強度の相関を図-2に示す。ここに、 N_{UL} は継手部の終局強度(実験値)、 N_{BU} はボルトの破断強度(公称値)、 $N_{Fu,sv}$ は母材または添接板についてボルト孔を控除した純断面積で評価した破断強度(公称値)である。

図-1において、Bタイプの結果より継手部の降伏強度は、道示にある純断面積で評価した母材または添接板の降伏強度よりも40~50%の余裕がある。つまり、ボルト孔を控除した純断面積を有効断面とした場合、継手部の降伏強度はかなり安全側に評価されていると思われる。また、図-2においてBタイプおよびCタイプの結果より継手部の終局強度は、純断面積で評価した破断強度を10~20%上回っている。

4. 強度に関する諸外国の規準との比較

鋼構造設計に対して限界状態設計法を導入している諸外国の規準による軸引張部材の終局強度の設計フォーマットは、表-2のようになっている。我が国の道示では $An \cdot \sigma_y$ を基準にして設計強度を規定しているが、諸外国の規準では $Ag \cdot \sigma_y$ または $An \cdot \sigma_u$ を基準にしている。つまり、ボルト孔位置の純断面に対して、道示では降伏強度により設計強度を規定しているが、諸外国では引張強度により規定している点で異なっている。このことに着目して、実験結果による終局強度の比較を表-3に示す。B fタイプでは終局強度は $An \cdot \sigma_u$ より18%ほど、また、B sタイプでは11%ほどの余裕である。たとえば、 σ_u として材料強度(試験値)を適用する場合、 $An \cdot \sigma_u$ は危険側に評価される可能性もある。したがって、終局強度を規定する場合、強度低減係数 ϕ あるいは抵抗係数 γ の値について、十分検討する必要があると思われる。

5. おわりに

本報告で、高力ボルト摩擦接合引張継手の強度実験について述べ、終局強度に関する諸外国の規準との比較を行った。その結果、ボルト孔を控除した純断面積を有効断面とした場合、継手部の降伏強度はかなり安全側に評価されることを示した。また、ボルト孔位置の純断面に対する終局強度の設計フォーマットに関して、道示と諸外国の設計規準との違いを示した。そして、限界状態設計法を導入する際、各種係数 ϕ 、 γ について十分検討する必要があることを述べた。

表-3 終局強度の比較

タイプ	B f 4	B f 6	B s 4	B s 6	C 6	
弾性限荷重(tf) ①	32.64	32.55	59.27	61.10	88.11	
終局荷重(tf) ②	42.79	42.78	81.01	80.56	139.40	
②/①	1.32	1.31	1.37	1.32	1.58	
N_y	③	21.36	21.36	42.72	42.72	79.20
$(An \cdot \sigma_y)$	①/③	1.53	1.52	1.39	1.43	1.11
③(tf)	②/③	2.01	2.00	1.90	1.89	1.76
N_{u1}	④	32.40	32.40	64.80	64.80	115.63
$(Ag \cdot \sigma_y)$	①/④	1.01	1.00	0.91	0.94	0.76
④(tf)	②/④	1.33	1.32	1.25	1.24	1.21
N_{u2}	⑤	36.49	36.49	72.98	72.98	110.00
$(An \cdot \sigma_u)$	①/⑤	0.89	0.89	0.81	0.84	0.80
⑤(tf)	②/⑤	1.18	1.17	1.11	1.10	1.27
N_{u3}	⑥	32.84	32.84	65.68	65.68	99.00
$(0.9An \cdot \sigma_u)$	①/⑥	0.99	0.99	0.90	0.93	0.89
⑥(tf)	②/⑥	1.31	1.30	1.23	1.23	1.41
N_{u4}	⑦	25.63	25.63	51.26	51.26	87.12
$(1.0\alpha An \cdot \sigma_y)$	①/⑦	1.27	1.27	1.16	1.19	1.01
⑦(tf)	②/⑦	1.68	1.67	1.58	1.57	1.60

*SS400の場合 $\alpha = 1.2$, SM490Yの場合 $\alpha = 1.1$

表-2 軸引張部材の終局強度

設計規準	終局強度	備考
米国 AASHTO (DRAFT 1991)	$N_y = Ag \cdot \sigma_y \cdot \phi_g$ $N_u = An \cdot \sigma_u \cdot \phi_n$	N_y : 部材の降伏に対する強度 N_u : 部材の破断に対する強度
スイス SIA 161(1979)	$N_y = Ag \cdot \sigma_y$ $N_u = An \cdot \sigma_u \cdot \phi_n$	Ag : 部材の全断面積 An : 部材の純断面積
英国 BS 5400(1982)	$N_y = (1.0 \cdot \alpha \cdot An) \cdot \sigma_y$ $\quad \cdot (1/\gamma_m \cdot \gamma f3)$	ϕ_g : 部材の全断面に対する強度低減係数 ϕ_n : 部材の純断面に対する強度低減係数
ISO/TC 167/SC	$N_y = Ag \cdot \sigma_y \cdot (1/\gamma_y)$ $N_u = An \cdot \sigma_u \cdot (1/\gamma_u)$	α : 材質による係数 γ_m : 部分安全係数
EUROCODE3 (1987)	$N_y = Ag \cdot \sigma_y \cdot (1/\gamma_y)$ $N_u = 0.9 \cdot An \cdot \sigma_u \cdot (1/\gamma_u)$	$\gamma f3$: 限界状態に対する係数 γ_y : 降伏に関する抵抗係数 γ_u : 破断に関する抵抗係数
日本 道示(1990)	$N_y = An \cdot \sigma_y / 1.7$	

参考文献 1)日本道路協会:道路橋示方書・同解説、1990.2. 2)秋山他:高力ボルト摩擦接合継手に関する設計規準の国際比較、第46回土木学会年次学術講演会概要集、1-270、1991.9. 3)西村他:高力ボルト摩擦接合引張継手の強度に関する実験、平成4年度土木学会関西支部年次学術講演会概要集、1-90、1992.5.