

高力ボルト摩擦接合継手の信頼性評価

大阪大学大学院 正会員 亀井義典
 和歌山県 正会員 今田滋則
 大阪大学大学院 フェロー 西村宣男

1. まえがき

高力ボルト摩擦接合継手の限界強度にはばらつきがあることが知られており，その変動にはさまざまな要因が考えられる．既往の研究において，西村¹⁾は初期導入ボルト軸力に着目して，継手のすべり強度は個々のボルト軸力のばらつきに関係なく初期導入ボルト軸力の総和に比例することを実験的に立証し，高力ボルト摩擦接合継手のすべり強度について統計学的な観点から考察を行っている．また鋼材の降伏応力度が異なれば継手の降伏耐力に影響することは容易に想像がつく．

そこで本報告では，継手の限界強度の変動要因として 初期導入ボルト軸力， 鋼材の降伏応力度， 母材 - 連結板間のボルト孔の位置関係の 3 つの要因を考える．特に， については既往の研究は報告されておらず，また，ボルト孔の位置関係が継手の限界強度に与える影響について実験的に検討することは困難であると考えられるため，解析的な検討が必要となる．

本報告では，初期導入ボルト軸力・鋼材の降伏応力度・母材 - 連結板間のボルト孔の位置関係のばらつきを考慮してモンテカルロシミュレーションを実施し 継手の限界強度のばらつきを解析的に評価した．また，シミュレーションから得られた限界強度の分布を現行の設計法および秋山らの提案式と比較検討した．

2. モンテカルロシミュレーション

表 - 1 に本シミュレーションで対象としたモデルの諸元を示す．高力ボルトには F10T, M22, 母材および連結板の鋼種は SM490Y を用い，片側 1 行 3 ~ 5 列の 2 面せん断継手とする．ボルト中心間隔および縁端距離は道路橋示方書に従い，それぞれ 75mm, 50mm とする．継手のパラメータとなる 値および 値は $\mu = 0.6 \sim 1.4$, $\beta = 1.0, 1.2$ と設定し，母材厚 t_1 はすべり先行型継手では 30mm, 降伏先行型継手では 20mm で一定とする．本シミュレーションで確率量として扱う初期導入ボルト軸力，鋼材の降伏応力度，ボルト孔のずれ量の分布形については，以下のように仮定する．

初期導入ボルト軸力については，締付け方法によってもばらつきが異なることから，文献 1) を参考に設計軸力の 1 割り増し 225.5kN に対して上限値 237kN, 下限値 215kN を仮定し，一様分布に従うものとする．

鋼材の降伏応力度 σ_y は文献 2) を参考とし，保証降伏点 F_Y に対する比 σ_y / F_Y が平均 1.15, 標準偏差 0.135 の正規分布に従うものとし，下限値を保証降伏点 F_Y とする．

ボルト孔のずれ量は，文献 3) を参考とし，平均 0.0mm, 標準偏差 0.5mm の正規分布に従うものとする．

表 - 1 モデル諸元

(a) すべり先行型継手

高力ボルト			母材		連結板		N_{SL} / N_{FYN}	N_{SYN} / N_{FYN}					
本数 (片側)	ボルト間隔 (mm)	縁端距離 (mm)	幅 (mm)	板厚 (mm)	幅 (mm)	板厚 (mm)							
3	75	50	108	30	108	15	0.60	1.00					
			87		87		0.80						
			75		75		1.00						
			108		18	108	0.60						
			87			87	0.80						
			75			75	1.00						
			4		75	50	136		30	136	15	0.60	1.00
							108			108		0.80	
							91			91		1.00	
136	18	136		0.60									
108		108		0.80									
91		91		1.00									
5	75	50		150			30	150		15	0.67	1.00	
				129				129			0.80		
				108				108			1.00		
			150	18	150	0.67							
			129		129	0.80							
			108		108	1.00							

(b) 降伏先行型継手

高力ボルト			母材		連結板		N_{SL} / N_{FYN}	N_{SYN} / N_{FYN}					
本数 (片側)	ボルト間隔 (mm)	縁端距離 (mm)	幅 (mm)	板厚 (mm)	幅 (mm)	板厚 (mm)							
3	75	50	87	20	87	10	1.20	1.00					
			78		78		1.40						
			87		87		1.20						
			78		12	78	1.40						
			108			108	1.20						
			96			96	1.40						
			4		75	50	108		20	108	10	1.20	1.00
							96			96		1.40	
							108			108		1.20	
96	12	96		1.40									
129		129		1.20									
114		114		1.40									
5	75	50		129			20	129		10	1.40	1.00	
				114				114			1.20		
				129				129			1.40		
			114	12	114	1.20							
			129		129	1.40							
			114		114	1.40							

キーワード：高力ボルト摩擦接合，限界強度，信頼性評価，有限要素解析，モンテカルロシミュレーション
 連絡先：〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 TEL：06-6879-7598 FAX：06-6879-7601

表 - 2 すべり係数の平均，標準偏差

1行3列	平均	標準偏差	1行4列	平均	標準偏差	1行5列	平均	標準偏差
=0.6, =1.0	0.530	0.0149	=0.6, =1.0	0.523	0.0144	=0.67, =1.0	0.508	0.0148
=0.8, =1.0	0.475	0.0112	=0.8, =1.0	0.473	0.0133	=0.8, =1.0	0.477	0.0139
=1.0, =1.0	0.446	0.0132	=1.0, =1.0	0.441	0.0122	=1.0, =1.0	0.436	0.0135
=0.6, =1.2	0.549	0.0154	=0.6, =1.2	0.539	0.0150	=0.67, =1.2	0.526	0.0146
=0.8, =1.2	0.493	0.0140	=0.8, =1.2	0.492	0.0135	=0.8, =1.2	0.490	0.0142
=1.0, =1.2	0.455	0.0135	=1.0, =1.2	0.453	0.0124	=1.0, =1.2	0.456	0.0131

表 - 3 降伏強度の平均，標準偏差

1行3列	平均	標準偏差	1行4列	平均	標準偏差	1行5列	平均	標準偏差
=1.2, =1.0	1.374	0.132	=1.2, =1.0	1.347	0.129	=1.2, =1.0	1.312	0.126
=1.4, =1.0	1.398	0.134	=1.4, =1.0	1.363	0.131	=1.4, =1.0	1.318	0.126
=1.2, =1.2	1.466	0.141	=1.2, =1.2	1.373	0.132	=1.2, =1.2	1.337	0.128
=1.4, =1.2	1.509	0.145	=1.4, =1.2	1.404	0.135	=1.4, =1.2	1.360	0.130

シミュレーション回数は 500 回とした。なお =1.0, 1.2 のモデルでは初期導入軸力と鋼材の降伏応力度のばらつきによっては限界状態がすべりから降伏, または降伏からすべりへと移行する可能性が考えられるが, 本研究では =1.0 の場合はすべり先行型継手, >1.0 の場合は降伏先行型継手と仮定した。

3. シミュレーション結果

図 - 1 にシミュレーションの結果得られた継手のすべり係数を正規分布にあてはめた図（1 行 5 列）を示す。図の縦軸は、モンテカルロシミュレーションから得た継手のすべり強度と設計軸力の 1 割り増しから求めたすべり係数を、横軸は初期導入軸力、鋼材の降伏応力度ともに公称値から求めた値を示す。表 - 2 にはすべり係数の平均値および標準偏差を示している。

すべり係数の平均値を見ると、=1.2 の全てのモデルで、設計に用いられるすべり係数 0.4 および秋山らの提案式⁴⁾を上回っている。しかし、=1.0 のモデルの平均値は 0.4 を上回っているが、秋山らの提案式に対しては、1%程度下回る結果となった。またすべり係数の分布の下限値は =1.0, =1.0 のモデルで設計に用いられるすべり係数 0.4 を若干下回っている。しかし、本報告ではすべり係数の評価に設計軸力の 1 割り増しを用いており、設計軸力で評価した場合、分布の下限値でも設計強度は上回る結果となる。

図 - 2 に降伏耐力（1 行 5 列）を正規分布にあてはめた結果を示す。図の縦軸は継手の降伏耐力 P_{Yn} と母材純断面降伏強度の公称値 N_{FYn} との比 P_{Yn} / N_{FYn} を、図の横軸は初期導入軸力、鋼材の降伏応力度ともに公称値から求めた値を示す。表 - 3 にはモンテカルロシミュレーションから得られた各モデルの降伏耐力の平均値および標準偏差を示している。

継手の降伏耐力の平均値は、全てのモデルで設計強度を大きく上回っている。しかし、降伏耐力の分布の下限値は全てのモデルにおいて設計強度を下回っており、その超過確率は最大で 4%程度である。これは文献²⁾より得られる鋼材の降伏応力度のばらつきが非常に大きく、降伏応力度の公称値を大きく下回る鋼材が存在するためである。しかし、実施工を考えた場合には鋼材の降伏応力度は保証降伏点を確保していると考えられるため、設計強度を下回ることはない。

【参考文献】1)西村・田井戸・瀬良・穂積・三谷：現場締め高力ボルト軸力のばらつきについて，土木学会論文報告集，No.180，1970.8. 2)土木学会：座屈設計ガイドライン，1987.10. 3)阪神高速道路公団：土木工事共通仕様書，関係基準編，2000.10. 4)秋山・西村・亀井・池端：高力ボルト摩擦接合引張継手の限界強度の区分，鋼構造年次論文報告集，Vol.3，1995.11.

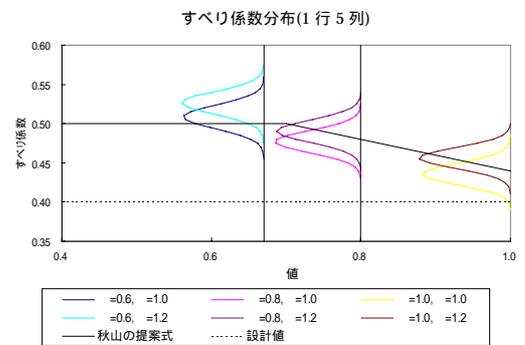


図 - 1 すべり係数分布（1 行 5 列）

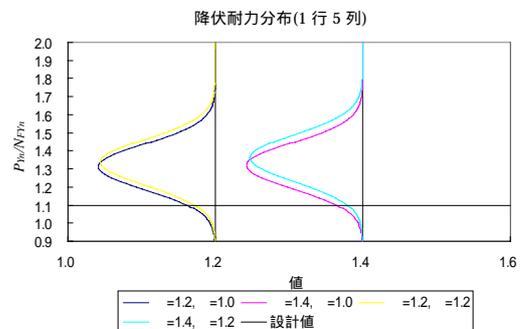


図 - 2 降伏耐力分布（1 行 5 列）