高力ボルト継手の終局挙動におけるボルト軸部のせん断強度に関する実験的研究

石川工業高等専門学校　学生会員　○舟山耕平
石川工業高等専門学校　正会員　高井俊和
石川工業高等専門学校　正会員　三ツ木幸子
三井住友建設株式会社　加古知也
大日本コンサルタント株式会社　寺本圭吾
株式会社髙田組　前田啓伸

1. 目的

本研究室では，高力ボルト継手のすべり後の終局挙動に着目して，その挙動を解明するため，1本ボルトと2本ボルトの試験体を用いて実験的に基礎的な検討を行っている．本研究では，継手の破断形態の一つであるボルトのせん断破断に着目し，過去に行った母板厚19mm[1]，28mm[2]の実験結果のうち，ボルトのせん断破断で終局に至ったデータを他の既往の研究[3]でボルトせん断強度に関する実験結果と比較し，ボルトがせん断破断する場合の終局挙動について検討を行った．

2. 実験概要

母材厚 19mm，28mm の試験体のパラメータおよび試験体数を**表 1** に，試験体の構造諸元を**表 2** に示す．試験体の主なパラメータは母板厚，縁端距離，ボルト本数，ボルト軸力を設定しており，試験は各 3 体ずつ行った．また，ボルトのせん断破断が生じた試験体を**表 1** 中で，網かけで示す．

表 1　試験体数とパラメータ

母板厚 t mm	ボルト本数 n 本	縁端距離 e mm	試験体数(体) ボルト軸力 有	無
19	1	40	3	3
	1	50	3	3
	1	60	3	3
	2	40	3	3
	2	60	3	3
28	1	40	3	3
	1	60	3	3
	2	40	3	3
	2	60	3	3

※網かけ:ボルト破断したケース

表 2　試験体構造諸元

母板厚　t (mm)	19	28
添接板厚 (mm)	11	16
板幅 (mm)	120	
鋼種	SS400	
無機ジンク膜厚 (μm)	75	
ボルト等級	F10T	
ボルト呼び径	M22	M20
ボルト孔径 (mm)	24.5	22.5

3. 建築分野における高力ボルトのせん断強度

日本建築学会の鋼構造接合部設計指針[4]では，高力ボルト摩擦接合部のボルト最大せん断耐力F_{bu}を式(1)で規定している．

$$F_{bu}= n\times q_{bu} \quad (1)$$

$$q_{bu}= 0.6m\times A_{bs}\times \sigma_{bolt\text{-}u} \quad (2)$$

ここで，

n: ボルト本数　（本）
q_{bu}: ボルト1本当たりの最大せん断耐力（N）
m: 摩擦面数　（面）
A_{bs}: ボルト軸部断面積　（N/mm²）

式(2)は既往の実験研究を参照しており，橋本ら[3]は高力ボルトの引張強さおよびボルトのせん断面位置に着目した実験を行い，ボルトのせん断面位置ごとの終局せん断強度の評価式を提案している．それらの評価式を以下に示す．

$$\tau_{AA}= (0.702\text{-}1.17\times10^{-2}\times \sigma_{bolt\text{-}u})\times \sigma_{bolt\text{-}u} \quad (3)$$

$$\tau_{AC}= (0.819\text{-}2.60\times10^{-2}\times \sigma_{bolt\text{-}u})\times \sigma_{bolt\text{-}u} \quad (4)$$

$$\tau_{CC}= (0.992\text{-}5.22\times10^{-2}\times \sigma_{bolt\text{-}u})\times \sigma_{bolt\text{-}u} \quad (5)$$

ただし，$4.0 \le \sigma_{bolt-u} \le 12.0\ (tf/cm^2)$

ここで，

$$\tau_{bolt} = \begin{Bmatrix} \tau_{AA}: \text{二せん断面が共に円筒部の場合} \\ \tau_{AC}: \text{せん断面が円筒部とねじ部の場合} \\ \tau_{CC}: \text{二せん断面が共にねじ部の場合} \end{Bmatrix}$$

4. 継手構造がボルトのせん断強度に及ぼす影響

母材厚 19mm，28mm の実験結果で，ボルトがせん断破断した試験体の，終局耐力（P_u），ボルトの終局せん断強度（τ_{bolt}）とボルトの引張強度（σ_{bolt-u}）の比（$\tau_{bolt}/\sigma_{bolt-u}$）を**表 3** に示す．また，実験結果を縦軸に$\tau_{bolt}/\sigma_{bolt-u}$を，横軸に$\sigma_{bolt-u}$をとり，まとめたものを**図 1** および**図 2** に示す．同図中にはせん断面およびボルト呼び径の条件が同一の結果と式(2)の提案式も合わせて示す．

図 1 より，母材厚 28mm の実験結果はボルト本数によらず[3]の結果と近い傾向となった．また，**図 1** の[3]の試験はボルト軸力を導入せず行われているが，今回

表 3　試験結果一覧

試験体	ボルト軸力	せん断面	終局耐力	実験結果		ミルシート		$\tau_{bolt}/\sigma_{bolt0}$	
				せん断強度		引張強度			
			P_u	τ_{bolt}		σ_{bolt-u}			
(t-e-n)	-	-	kN	N/mm^2				-	
28-40-1	有	AA	410	653	651	1069		0.61	0.61
			414	658				0.62	
			391	622				0.58	
28-40-1	無		416	661				0.62	
			416	661				0.62	
			407	648				0.61	
28-60-1	有		425	676	660			0.63	0.62
			408	649				0.61	
			418	665				0.62	
28-60-1	無		413	657				0.61	
			412	656				0.61	
			412	655				0.61	
28-40-2	有		808	643	638			0.60	0.60
			807	642				0.60	
			813	647				0.61	
28-40-2	無		788	627				0.59	
			796	633				0.59	
			797	634				0.59	
28-40-2	有		832	662	657			0.62	0.61
			832	662				0.62	
			826	657				0.61	
28-60-2	無		824	655				0.61	
			820	652				0.61	
			818	651				0.61	
19-60-1	有	AA	482	619	632	1075		0.58	0.59
			489	623				0.58	
			498	619				0.58	
19-60-1	無		471	634				0.59	
			474	643				0.60	
			471	654				0.61	
19-40-2	有		773	506	506			0.47	0.47
19-40-2	無		770	511				0.48	
			777	499				0.46	
			760	508				0.47	

(a)　28-40-1　　(b)　19-60-1

写真1　ボルトの破断状況

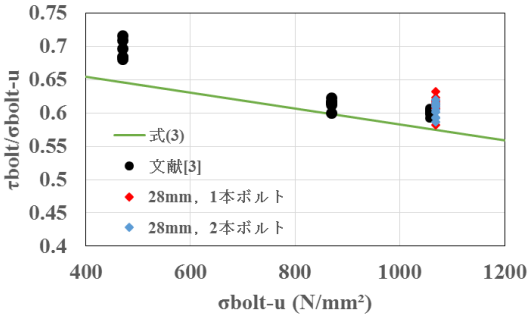

図1　28mm比較図

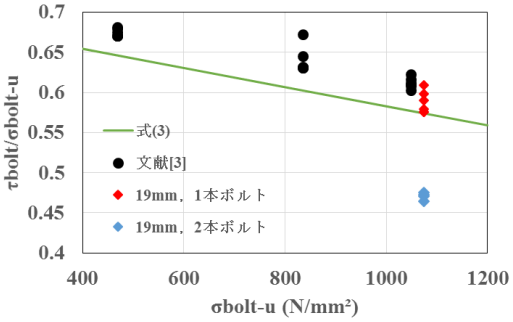

図2　19mm比較図

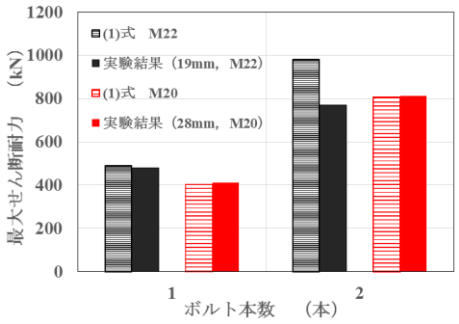

図3　ボルト本数とせん断耐力

の実験では,軸力有無とも結果に違いが見られず,ボルト軸力がせん断強度に及ぼす影響は確認されなかった.

図 2 に示す母材厚 19mm の 1 本ボルトの場合，**写真 1** に示すように，ボルトのせん断破断面が一部ねじ部にかかっているが，両方のせん断面とも円筒部とした場合の式(3)と同様の結果となった．しかし，2 本ボルトのデータは式(2)を大きく下回った．この理由としては，[1]に示されるボルトの分担力の不均等により，片方のボルトに過度の荷重が作用し，低い荷重段階でボルトが破断したことによるものと考えられる．

図3に母材厚とボルト本数ごとに平均をとり，まとめたせん断耐力を示す．なお，式(1)では，実験で用いた高力ボルト(M22，M20)の材料特性値を用いた．この結果，母材厚28mmの試験結果は式(1)で規定される耐力とほぼ同じ結果であるのに対して，母材厚19mm，ボルト本数が2本の場合，実験結果が式(1)の値より約20%低下する結果となった．このように，継手諸元によっては，荷重分担などにより，高力ボルトのせん断強度が低下する場合があるため，それらを考慮して評価する必要があると考えられる．

参考文献

[1]　舟山耕平，三ツ木幸子，前田啓伸：板厚 19mm の高力ボルト継手の終局挙動に関する実験的研究，土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集, I-488, pp. 975-976，2015.9

[2]　三ツ木幸子，舟山耕平，加古知也，寺本圭吾，前田啓伸：板厚 28mm の高力ボルト継手の終局挙動に関する実験的研究, 土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集，I-489，pp. 977-978，2015.9

[3]　橋本篤秀，山田丈富：高力ボルトの終局せん断強度，日本建築学会構造系論文報告集，第440号，pp.77-84，1992.10

[4]　日本建築学会：鋼構造接合部設計指針，第 3 版 2012.3