

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

石川工業高等専門学校 正会員 ○三ツ木幸子  
 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 加古知也  
 石川工業高等専門学校 寺本圭吾  
 石川工業高等専門学校 前田啓伸

1. はじめに

我が国では高力ボルト継手のほとんどが摩擦接合で設計施工され、すべりを起こさないことが前提とされてきている。しかしながら、2011年に起こった東北大震災のような大震災では、設計荷重以上の力が作用してすべりを起こす可能性が考えられるが、すべり後に関する研究は少ない。

そこで本研究室では、設計で設定した以上の荷重が載荷された場合のすべり後の終局挙動に着目して、その挙動を実験的に検討している。今年度は、終局状態におけるボルト分担力の均等化について、2本ボルト継手の終局耐力が、1本ボルト継手の2倍になることを実験で示すことで証明することを試みたので、これについて報告する。

2. 試験方法

2.1 試験概要

図-1 と表-1 に示す母材板厚 28mm, 添接板厚 16mm, 板幅 120mm, 片側ボルト本数 1本と2本の高力ボルト継手を試験体として用いる。鋼板は SS400, 高力ボルトは M20 (F10T), 孔径は 22.5mm とし、縁端距離  $e$  は 40mm, 60mm の2タイプ, 軸力については有, 無の2タイプの試験体を用いる。上述の計8タイプの試験体について各3体の引張試験を破断するまで行った。

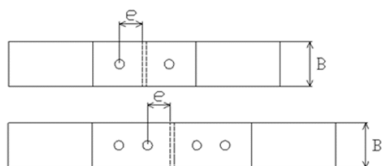


図-1 試験体図

軸力有の試験体の目標軸力は道路橋示方書の摩擦接合で定められている設計軸力 165kN とした。試験は、

軸力導入後 1 日以上おいて行った。軸力無の場合は手締めを行った。本試験で用いた鋼板および高力ボルトについて、降伏応力度  $\sigma_y$  と引張強さ  $\sigma_u$  をミルシートに従って表-1,2 に示す。

表-1 母材, 添接板の機械的性質

板厚(mm)	$\sigma_y(N/mm^2)$	$\sigma_u(N/mm^2)$
28	301	430
16	303	440

表-2 高力ボルトの機械的性質

	$\sigma_y(N/mm^2)$	$\sigma_u(N/mm^2)$
M20(F10T)	1033	1069

2.2 試験体の設計

本研究では、高力ボルトのせん断破断で最大荷重に達するように、母材の板厚を 28mm, ボルト径を 20mm とし設計を行った。

2.3 載荷方法と計測項目

文献 1)と同様に試験体を万能試験機に設置して引張試験を行う。各荷重段階で、基準線を用いてボルト部での母材と添接板の相対変位を、ひずみゲージを貼付してボルト頭部およびコバ面のひずみの計測を行った。試験終了後、試験体を解体し、変形状態を観察して写真を撮影し、母材及び添接板のボルト孔径をノギスで計測した。

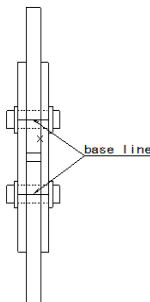


図-2 ボルト部での基準線

写真-1 試験写真

キーワード: 高力ボルト継手, 終局挙動, すべり後, 耐力, 変形性能  
 連絡先: 〒929-0392 石川県河北郡津幡町北中条タ1 石川工業高等専門学校 TEL:076-288-8163

### 3. 試験結果

各試験体の試験結果のうち、最大荷重、破断位置、未破断側ボルト孔径、すべり荷重およびすべり極小値について表-3に示す。試験体識別番号のFは軸力有を、Bは軸力無を示す。

表-3 各試験体における最大荷重

試験体識別番号 (軸力-e-本-No)	最大荷重 (kN)	破断位置	ボルト孔径(mm)				すべり荷重 (kN)	すべり極小値 (kN)
			1	2	3	4		
F-40-1-1	413.5	ボルト(上)	26.5	26.4			225	158
F-40-1-2	391	ボルト(上)	25.5	25.2			231	111
F-40-1-3	410	ボルト(上)	26	28.5			196.5	150
B-40-1-4	415.5	ボルト(上)	30.95	30.6				
B-40-1-5	415.5	ボルト(上)	26.75	26.95				
B-40-1-6	407	ボルト(上)	26.25	26.95				
F-60-1-1	424.5	ボルト(下)	24.65	24.45			237.5	169
F-60-1-2	408	ボルト(上)	24.1	24.55			206	150
F-60-1-3	418	ボルト(上)	24.2	24.4			237	130
B-60-1-4	412.5	ボルト(下)	24.9	24.7				
B-60-1-5	412	ボルト(上)	24.25	24.25				
B-60-1-6	411.5	ボルト(下)	25.45	25.15				
F-40-2-1	808	ボルト(上)	26.2	26.3	26.6	26.85	394.5	270
F-40-2-2	807	ボルト(下)	26.2	27.2	25.6	25.9	421	220
F-40-2-3	813	ボルト(下)	26.05	26.35	26.1	26	430	265
B-40-2-4	788	ボルト(下)	26.8	26	26.7	26		
B-40-2-5	796	ボルト(上)	25.9	26.45	26.8	26		
B-40-2-6	796.5	ボルト(下)	25.55	25.6	26	24.9		
F-60-2-1	832	ボルト(上)	25.6	24.45	26.6	25.9	448.5	260
F-60-2-2	832	ボルト(下)	26.7	26.45	24.4	25.8	420	275
F-60-2-3	826	ボルト(上)	26.25	24.7	24.4	25.6	393	240
B-60-2-4	823.5	ボルト(下)	26	27	24.85	25.8		
B-60-2-5	819.5	ボルト(上)	25.75	24.7	26.5	26		
B-60-2-6	818	ボルト(上)	24.4	25.55	24.8	25.4		

### 4. 考察

#### 4.1 最大荷重とボルトの分担力

試験結果から、縁端距離と軸力の有無が同じタイプの平均値を使って比較検討すると、2本ボルト継手の最大荷重は、1本ボルト継手の1.92から2.01倍となり、約2倍になっている。このことから、2本ボルトでは、各ボルトでほぼ同じ力を伝達し、双方のボルトのせん断強度を使い尽くし最大荷重に達していることがわかる。対象の試験体は、製作誤差1mmを許容した試験体で、この程度の製作誤差では、支圧部が塑性変形を起こして、ボルトの力の伝達が均等化されることが確認された。

なお、若干ではあるが、軸力無の縁端距離40mmの試験体では、2本ボルトの最大荷重は、1本ボルトの最大荷重の2倍よりも小さくなった。この原因として、縁端距離40mmでは、縁端のせん断の降伏が60mmの場合よりも早く始まり、外側のボルトの力の分担が徐々に内側ボルトより大きくなり、最大荷重が1本ボルトの2倍より若干小さくなったことが考えられる。

#### 4.2 ボルトのせん断強度

各試験体のボルトのせん断強度  $\tau_{u(bolt)}$  を次の式を用い

て算出した結果、各試験体の強度は622~676 N/mm<sup>2</sup>の範囲にばらつき、試験体タイプごとの平均値も、631~663 N/mm<sup>2</sup>にばらつき、タイプによる明確な差は認められなかった。

$$\tau_{u(bolt)} = Pu \times 1000 / (2 \times (\phi_b / 2)^2 \times \pi) \quad (1)$$

ここで、

$P_u$  : 実験で得られた最大荷重(kN)

$\phi_b$  : ボルト径(20mm)

せん断面は軸部にあり、ボルトの破断が軸部で起こっていたことから、式(1)は妥当と考えられる。これに対して、ミルシートに示される引張強度を用いてボルトの軸部のせん断強度を求めると618 N/mm<sup>2</sup>となり、5%ほど実験値の方が大きい結果となった。これは、高力ボルトによる母材と添接板の拘束により、せん断強度が大きくなったことが考えられる。

#### 4.3 ボルト孔の変形

1本ボルトの縁端が60mmのケースは、試験終了後のボルト孔径は、軸力の有無に係らず、24.1~25.15mmと、試験前の孔径22.5mmに対して、約2mm増大し、この変形は主として支圧変形によるものと考えられる。一方、縁端が40mmのボルト孔径は、軸力有のタイプでは25.2~28.5mm、軸力無のボルト孔径は26.25から30.95mmと、縁端が60mmのケースより大きく、また、軸力無のケースが大きい傾向を示した。

### 5. まとめ

母材板厚28mmの高力ボルト継手の引張試験から以下のことが分かった。

(1) 母材28mmの継手では、1mmの製作誤差であれば、2本ボルト継手の終局耐力(最大荷重)は、1本ボルト継手のほぼ2倍の耐力となり、最大荷重時の各ボルトによる伝達力は、ほぼ均等化され、高力ボルトの強度を使い尽くすことができる。

(2) ボルトのせん断強度は、ミルシートの材料強度より5%ほど大きくなった。この理由として、ボルトによる拘束の影響が考えられる。

### 6. 参考文献

- 1) 大河滉典, 舟山耕平, 山口隆司, 高井俊和, 三ツ木幸子: 高力ボルト継手の変形性能評価に関する研究, 鋼構造年次論文報告集, 2014