

高力ボルト継手引張載荷実験の終局挙動の変動特性に関する 2, 3 の考察

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 学生員 舟山 耕平

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 学生員 村田 俊

1. 経緯・目的

著者らは、これまでに高力ボルト継手の終局挙動を明らかにするため引張載荷実験¹⁾を行ってきた。本検討では、終局強度や破断部位など実験で得られた結果についてそれらの変動を整理し、統計的な視点から考察を行った。

2. 実験概要

実験は、継手の標準すべり試験と同様に小型の継手試験体を万能試験機に設置し引張載荷を行った。終局挙動を把握するため継手が破断するまで載荷した。

試験体諸元の概要および試験体の概形を表 1 に示す。主な実験パラメータは、母板厚、連結板厚、縁端距離、導入ボルト軸力の有無、ボルト本数などである。接触面は、目標塗膜厚を 75 μm として無機ジンクリッチペイントを塗布している。

試験体数は、試験ケースごとに 2~3 体、合計で 130 体である。

3. 実験における上下破断位置の分布

母板厚が 19 mm, 22 mm, 28 mm の上下破断位置についてボルト本数別、板厚別などでまとめたものを表 2 に示す。なお、母板厚が 19 mm の 1 体のみ上下の接合面とも破断したケースがあり、このケースは上下とも 0.5 ずつ度数を計上している。

4. 上下破断位置の片寄り

載荷実験に用いる継手は、接合線を挟んで上下とも接合の条件を同じとしたため、接合線の上側および下側で破断が生じる確率は等しい。

期待度数は、実験度数の合計の 2 分の 1 ずつとなり、表 2 に示すように χ^2 値を計算すると、合計値はすべての場合で 0.54、その他の場合でも 0.07~1.50 となった。自由度が 1、危険率が 5% の χ_0^2 値は 3.84 であるから、 χ^2 値による適合度検定²⁾を行うと、いずれの合計値とも χ_0^2 値を下回った。本実験では破断位置が上側または下側への有意な片寄りが無いことを確認した。

表 1 試験体諸元の概要

	設定値
母板厚 (mm)	9 19 22 28
連結板厚 (mm)	9 11 12 16
縁端距離 e (mm)	40 50 60
板幅 B (mm)	120
ピッチ p (mm)	75
ボルト軸力	あり なし
ボルト本数 (本)	1 2

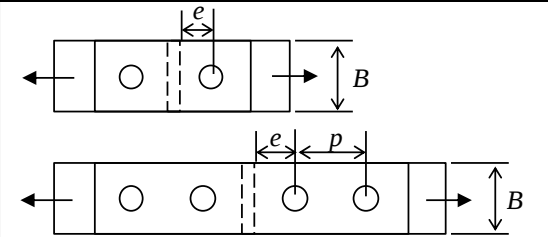


表 2 上下破断位置の発生度数

		破断部位		合計
		上側	下側	
すべて	実験度数	48.5	41.5	90
	期待度数	45	45	90
	χ^2 値	0.27	0.27	0.54
ボルト 1本	実験度数	25	22	47
	期待度数	23.5	23.5	47
	χ^2 値	0.10	0.10	0.19
ボルト 2本	実験度数	23.5	19.5	43
	期待度数	21.5	21.5	43
	χ^2 値	0.19	0.19	0.37
母板厚 19 mm	実験度数	17.5	12.5	30
	期待度数	15	15	30
	χ^2 値	0.42	0.42	0.83
母板厚 22 mm	実験度数	16	20	36
	期待度数	18	18	36
	χ^2 値	0.22	0.22	0.44
母板厚 28 mm	実験度数	15	9	24
	期待度数	12	12	24
	χ^2 値	0.75	0.75	1.50
万能試験機 (A)	実験度数	29	27	56
	期待度数	28	28	56
	χ^2 値	0.04	0.04	0.07
万能試験機 (C)	実験度数	19.5	14.5	34
	期待度数	17	17	34
	χ^2 値	0.37	0.37	0.74

キーワード 高力ボルト継手, 引張載荷実験, 終局挙動, 変動特性

連絡先 〒929-0392 石川県河北郡津幡町北中条 石川工業高等専門学校 環境都市工学科 Tel 076-288-8165

5. 終局強度および終局荷重の変動特性の条件式

異なる破断モードの終局強度(応力)の変動を正規分布と仮定し図1のように $N(\mu_1, \sigma_1)$, $N(\mu_2, \sigma_2)$ とすると、断面積を乗じれば図2の終局荷重の変動分布 $N(A_1\mu_1, A_1\sigma_1)$, $N(A_2\mu_2, A_2\sigma_2)$ となる。

両者の終局荷重が逆転する確率を約2.5%以下にするには分布の差をとり、 $\mu_{(1-2)} \geq 2\sigma_{(1-2)}$ となる必要がある。両者を独立と仮定すると平均、分散の加法性より、

$$A_1\mu_1 - A_2\mu_2 \geq 2\sqrt{A_1^2\sigma_1^2 + A_2^2\sigma_2^2} \quad (1)$$

と書ける。終局荷重を P_{u1} , P_{u2} とおき、変動係数は $cv_1 = A_1\sigma_1 / A_1\mu_1 = A_1\sigma_1 / P_{u1}$ であるから、

$$(P_{u1} - P_{u2})^2 \geq 4(P_{u1}^2 cv_1^2 + P_{u2}^2 cv_2^2) \quad (2)$$

より、

$$(1 - 4cv_1^2) \left(\frac{P_{u1}}{P_{u2}} \right)^2 - 2 \left(\frac{P_{u1}}{P_{u2}} \right) + (1 - 4cv_2^2) \geq 0 \quad (3)$$

を満たせばよいことになる。

すなわち、2次方程式の解を r_1 , r_2 (ただし、 $r_1 \leq r_2$) とするとき、 $1 - 4cv_1^2$ が正であれば、

$$\frac{P_{u1}}{P_{u2}} \leq r_1 \quad \text{または} \quad \frac{P_{u1}}{P_{u2}} \geq r_2 \quad (4)$$

となる必要がある。

6. 終局強度の変動特性

実験で得られた終局強度の変動特性を表3に示す。すべての母板厚の結果のうち、複数の破断モードとなっていないケースのみまとめている。

終局強度は実験の終局荷重を破断部位に応じた設計断面積で除して求めた。ボルト軸部および縁端部の破断の場合の設計断面積は、2面せん断とみなし、ボルト軸部の面積および縁端距離と板厚を乗じた断面積のそれぞれ2倍としている。純断面部の破断の場合は、板幅からボルト孔径を控除した純幅と板厚を乗じた純断面積としている。

表より、純断面引張強度はミルシート値よりも10%程度高めとなった。また、純断面引張強度と、縁端せん断強度の変動係数が4%前後であるのに対して、ボルトせん断強度が10%強と、変動がやや大きい結果となった。

7. 終局強度の変動を考慮した破断部位の予測

終局強度の分布特性から任意の2つの破断部位を組み合わせたときの式(3)の2次方程式の解を表4に示す。

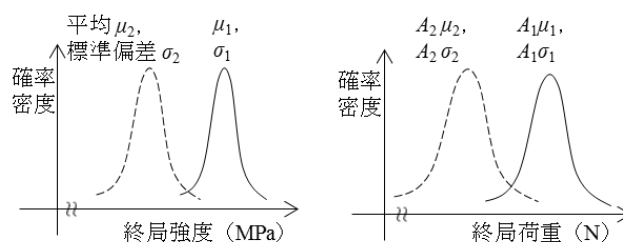


図1 終局強度の分布
(模式図)

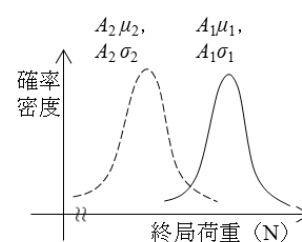


図2 終局荷重の分布
(模式図)

表3 終局強度の変動特性

	純断面 引張強度	縁端せん 断強度	ボルトせん 断強度
試験体数 (体)	26	46	53
平均※ (%)	112	54	59
標準偏差※ (%)	5.3	2.1	6.3
変動係数 (%)	4.7	3.9	10.8

※ ミルシートの引張強度で無次元化した値

表4 破断部位の組み合わせ別の変動

着目する 破断部位		個別の変動係 数 (%) ※1		式(3)の解	
1	2	cv_1	cv_2	r_1	r_2
純断面	縁端	4.7	3.9	0.89	1.13
純断面	ボルト	4.7	10.8	0.77	1.24
縁端	ボルト	3.9	10.8	0.78	1.24

(注) 純断面: 純断面で引張破断する場合

縁端: 縁端でせん断破断する場合

ボルト: ボルト軸部でせん断破断する場合

※1 表3参照

表より r_1 が0.77~0.89、また r_2 が1.13~1.24であるから、式(4)の条件によれば、複数の終局強度に20%強以上の差があれば2.5%の危険率で予測した破断部位の終局荷重が、もう一方の終局荷重と逆転しないといえる。すなわち、予測した破断部位と実験結果が一致すると考えられる。

参考文献

- 例えば、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
- 米谷 栄二, 定井 善明: 交通工学のための推計学, 初版, 国民科学社, 1966.4