

せん断型高力ボルト継手の疲労強度の 等価応力による評価

名古屋大学 学生員 ○三ッ木幸子
名古屋大学 正 員 山田健太郎

1. はじめに

せん断型高力ボルト継手（高力ボルトの軸が荷重に対して垂直に配置された継手）は摩擦接合、支圧接合ならびにせん断支圧接合として設計される。我が国では摩擦接合として設計施工される場合が多いが、この場合、高力ボルトを高応力レベルで使用している。F10Tで施工時の10%増しを考慮すると、安全率が平均値で耐力に対し1.21、引張り強度に対し1.35しかない応力状態でボルトはつねに締め付けられていることになる。このため、遅れ破壊の可能性もでてくる。そこで、摩擦接合に対して軸力を低減した接合方法の開発が考えられるが、この場合、疲労強度の確認が必要となる。疲労強度は軸力を低減すると下がることは知られているが、一般的な定量的な把握はされていない。本報告では、この軸力を低減した継手の疲労強度を決定するための等価応力による評価方法について報告する。

2. 等価応力

二面せん断型高力ボルト継手でき裂が母材で発生する場合、従来の疲労試験では、Fig.1 に小さい黒丸で示したように、ほとんど、母材の一行目のボルトの孔辺（Fig.1 の点A）あるいは添接板から見て孔のさらに外側でき裂が発生している。そこで、点Aの荷重方向の応力（等価応力）を用いて hot spot stress 的な考え方をを用いて評価を行なう。ここでは、計算の簡単化を考え、等価応力を以下で導く式を用いて求める。まず、一行目のボルトの段階でつぎの3つの力の流れを考える。（Fig.2 参照）

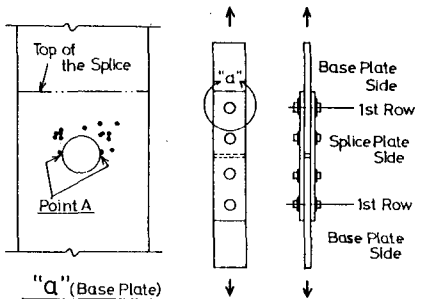


Fig.1 Crack Initiation Point

- ①ボルトの手前の板の摩擦抵抗で添接板に伝わる力：PF1
- ②ボルトのせん断支圧抵抗により添接板に伝わる力：PB1
- ③ボルトの段階では添接板に伝わらず母材に残る力：PR1

つぎに、継手全体を考え、全荷重PPのうち、摩擦によって伝わる力をPF、支圧によって伝わる力をPBとする。そして、PFをボルト本数 n 、軸力 N およびすべり係数 μ を用い、 $PF = \alpha \mu N 2n$ によって求める。ただし、 $PF > PP$ の時、 $PF = PP$ とし、 α はすべり係数の低減係数で、動的影響やすべりの影響を考慮する係数である。

PF1 および PB1 を求めるにあたって、ここでは、荷重方向に最大4本のボルトしか並んでいない継手を対象とし、簡単化のため伝達力PFおよびPBはそれぞれ全ボルトで均等に分担して伝えられると仮定する。したがって、PF1 は、ボルト1/2 本分の摩擦力が対象としているボルトの手前で添接板に伝わると仮定して、

$PF1 = 0.5 PF n' / n$ によって求める。ここで、 n' は一行目のボルト本数である。

②の力 PB1は、 $PB1 = PB n' / n = (PP - PF) n' / n$ によって求める。最後に、③の PR1は、 $PR1 = PP - PF1 - PB1$ によって求まる。点Aでの荷重方向の母材応力には主としてPB1とPR1が寄与するとする。PB1による応力 σ_b は、支圧投影面積に対する支圧応力($PB1 / (\text{母材板厚} \times \text{ボルト径} D)$)に係数 β を乗じて求める。すなわち、

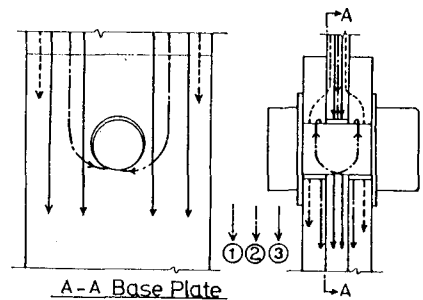


Fig.2 Three Flows of Force at the First Row of Bolts

$\sigma_b = \beta \text{ PBI} / n' / (tD) = \beta \text{ PB} / (ntD)$. 係数 β は、鋼板の孔に一つのピンがはめてある場合の応力集中係数を参考に $\beta=1$ とする。一方、PRIによる応力 σ_r は、円孔(ボルト孔)のあいた板に荷重PRIが働くものと考え、純断面積Anに関する平均応力に応力集中係数($\alpha=3$)を乗じて考慮する。すなわち、 $\sigma_r = 3 \text{ PRI} / \text{An}$. よって、点Aの応力 σ_A は次式によって求めることができる。

$$\sigma_A = \text{PB} / (ntD) + 3 (\text{PP} - 0.5 \text{ PF } n' / n - \text{PB } n' / n) / \text{An}$$

3. 実際の疲労試験のデータを用いた等価応力による疲労強度の評価

過去の実験結果について、上述の等価応力を用いてS-N線図を描き、最小二乗法を用いて標準偏差および相関係数を求め、等価応力によるデータの評価について考察を加える。ここで調査した文献²⁾は、Table 1に示す我が国の6つの文献およびアメリカの3つの文献(計316のデータ)からFig.3(a)に示すようなほぼ純断面($-30^\circ < \theta < 30^\circ$)にき裂が生じたデータ(71データ、Table 1のデータ数の欄の括弧内数値)を選び出し、これについて等価応力を求め、これを縦軸にとってS-N線図を描いたものがFig.4である。●は等価応力によって処理したデータを示す。これに対し、○は同じデータを総断面積Agに対する平均応力 $\sigma_g = \text{PP} / \text{Ag}$ で処理した結果を示す。また、図のなかにそれぞれの50%破壊確率線(破線)および2.3%破壊確率線(実線)を示す。さらに、純断面積Anに対する平均応力 $\sigma_n = \text{PP} / \text{An}$ で整理した場合についての上述の2本の破壊確率線を示す。等価応力によって処理した場合の標準偏差および相関係数は、0.2801および-0.8050となり、総断面で処理した場合(0.3911, -0.5603)ならびに純断面で処理した場合(0.3970, -0.5414)に対して、相関性がよくなっている。

4. まとめ

せん断型高力ボルト継手の疲労強度の評価方法として、等価応力の概念を新たに導入した。つぎに過去の様々な条件での疲労試験データの中から、き裂が孔辺から発生したデータを集め、このデータに対する等価応力を求めた。この等価応力を用いてS-N線図を描き、従来の総断面あるいは純断面の平均応力による評価方法と比較した結果、次のような結論が得られた。

(1) き裂が孔辺から発生したデータを評価する場合、等価応力によってS-N線図を描くと、従来の総断面あるいは純断面の平均応力による評価よりも分散が小さくなり、よい相関性が得られた。

(2) この評価法によると、軸力や接触表面状態などの違いを等価応力に換算し、一律に取り扱える傾向にあることがわかった。

[参考文献]

- 1) 西田正孝：応力集中，pp.285-287，1973，12.
- 2) 社団法人鋼材倶楽部・日本鋼構造協会接合委員会：鋼構造接合資料集成(リベット接合・高力ボルト接合)，pp.643-715，技報堂出版，1977.

Table 1 Literature and Number of Data

著者 (研究機関)	文献発表 年度	データ数
Hansen (U.S.Army)	1959	61
小松原ら (JNR)	1961	63 (34)
田島 (JNR)	1962	21 (17)
Birkmoer (Illinois)	1969	50
Birkmoer (Illinois)	1971	26 (2)
西村昭ら	1971	28 (12)
西村康ら	1972	21 (6)
西村昭ら	1972	30
桜井ら	1975	16 (16)

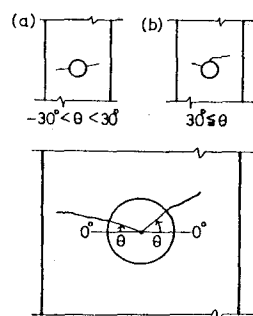


Fig.3 Crack Pattern

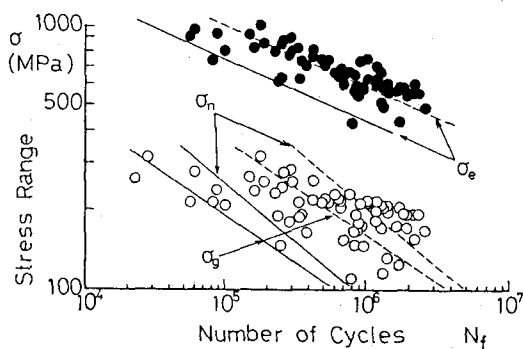


Fig.4 S-N Curve with σ_e, σ_g and σ_n