

氏 名	くま かい かず お 熊 谷 一 男
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 5 2 年 1 月 1 2 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭和 2 9 年 3 月 東北大学工学部機械工学科卒業
学 位 論 文 題 目	十字形継手の応力に関する実験的研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 萱場 孝雄 東北大学教授 玉手 統 東北大学教授 川崎 正 東北大学教授 島田 平八

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 総 論

車輛・船舶・航空機体などの機械構成要素として、また工作機械などの補強材として、十字形要素ないしは十字形継手は広く実用されているが、近年機械装置の性能向上が著しく、また設計技術の進歩によって、構成要素個個にかかる負荷が増大したことから、継手の疲労強度についての検討は、大形構造物や機械の破壊防止と安全性確保のために、きわめて重要な問題となってきた。この十字形継手の静的破損あるいは疲労破壊は応力の集中する箇所にも初生することから、その強度を検討するのに、継手の各部における応力集中係数を求めることが、もっとも直截的かつ有用なことである。

そして疲労強度の向上のために、すみ内部に大きな曲率半径をもたせることが推奨されておいて、このような形状の十字形継手の応力についての理論的ならびに実験的研究が 2, 3 報告され

ている。しかしこれらは普遍性に乏しく、また諸種の矛盾を含むものであって、広範かつ系統的な実験によって、十字形継手の応力を評価する合理的な基盤を得ることが急務と考えられた。

本論文は、このような現状を踏まえて、継手の強度に強く関与する応力集中係数について実験的な解析を行ない、応力集中係数に及ぼす継手の各部寸法の影響を明らかにして、継手の構成に力学的な設計指針を与えることを主たる目的としたものである。

第2章 引張りにおける応力集中係数ならびに応力分布

単一板あるいは溶接継手においても不溶着部をもたず、かつ均質とみなし得るへこみすみ肉溶接継手に引張り荷重を負荷したときの、すみ内部における応力集中係数 K_t について、二次元光弾性実験を行なった。

試験片形状ならびに各部の名称・記号・寸法は図1に示すとおりで、実験は $D/d = 0.5 \sim 3.5$ 、 $r/d = 0.15 \sim 1$ の範囲で行なった。

K_t は、すみ内部における最大応力と母板における平均応力との比と定義されるが、この K_t を求める実験式として、式(1)を提案した。

$$\left. \begin{aligned} K_t &= 1 + CQ_t^\alpha \\ Q_t &= \frac{D/d - 1}{2(2.8D/d - 2)} \cdot \frac{d}{r} = \frac{1}{2.8D/d - 2} \cdot \frac{h}{r} \\ C &= 1 - 0.48 e^{-0.74 L/d} \\ \alpha &= 0.65 - 0.1 e^{-0.63 L/d} \end{aligned} \right\} \dots\dots(1)$$

式(1)は、十字形継手の突出部の長さ L が大きくなったときの K_t は、段付板のそれに漸近することを示しており、この両者の関連について、十字形継手における K_t が段付板のそれよりも大きいとする従前の研究⁽¹⁾の矛盾を正するものである。

また、すみ内部曲率半径 r はもっとも強く K_t に影響する因子であり、また $L/d \geq 5$ あるいは $D/d \geq 5$ においては、 L および D の変化は、 K_t にほとんど影響を及ぼさないことがわかった。なお、 $L/d = 0.5$ の場合には、 $r/d = 0.75$ においても、継手中央の O 点に母板よりも高い応力の存在することを明らかにした。

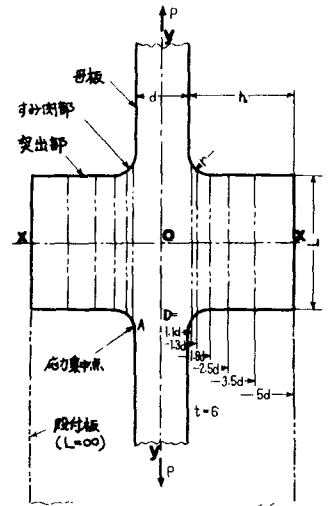


図1. 試験片の形状・寸法

第3章 純曲げにおける応力集中係数ならびに応力分布

図1の試験片の母板に純曲げモーメントを加えたときの、すみ内部における応力集中係数 K_b

を、 $D/d = 1.1 \sim 5$ ， $L/d = 0.5 \sim 3.5$ ， $r/d = 0.15 \sim 1.0$ の範囲で光弾性実験により求めて、これらの各部寸法と K_b との関係を示す実験式(2)を提案した。ここで K_b は、すみ肉部における最大応力と母板の表皮応力との比と定義した。

式(2)は、段付板と十字形継手との間の関連性をも示しており、 L/d が大になるにつれて K_b は段付板のそれに漸近することが明らかである。

$$\left. \begin{aligned}
 K_b &= 1 + C Q_b^\alpha \\
 Q_b &= \frac{D/d - 1}{2(5.37 D/d - 4.8)} \cdot \frac{d}{r} = \frac{1}{5.37 D/d - 4.8} \cdot \frac{h}{r} \\
 C &= 1 - 0.31 e^{-0.76 L/d} \\
 \alpha &= 0.85 - 0.14 e^{-1.02 L/d}
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

Hartman ら⁽²⁾は、 K_b についての L/D を因子とした実験式を示しているが、式(2)は L, D の K_b に及ぼす影響を個別に検討し得ること、また彼らの式のように、 D/d の変化に対して K_b が極大値をもつ矛盾もなく、より合理的なものとする。

なお実験の範囲では、 K_b と K_t との間には、式(1)、(2)をもとにして、近似的に式(3)の関係が存在し、これより、一方より他方を推量し得ることを示した。

$$\frac{K_b - 1}{K_t - 1} = 0.48 \left(\frac{d}{r} \right)^{0.2} \dots\dots\dots (3)$$

また、突出部に応力の及ぶ範囲 b' は、式(4)のようになる。

$$b'/d = 0.87 L/d + 0.91 r/d + 1 \dots\dots\dots (4)$$

第4章 逆対称曲げによる応力集中係数ならびに応力分布

試験片の形状ならびに逆対称曲げ荷重の負荷方法は図2に示すとおりで、 $r/d_b = 0.1 \sim 0.4$ ， $d_c/d_b = 0.4 \sim 1.0$ ， $l_c/l_b = 0.4 \sim 1.0$ ， $l_b/d_b = 5$ の範囲で実験を行なった。その結果、曲げによる軸力は、パネル部周辺にはほぼ三角形に分布すること、 $d_c/d_b = 0.6 \sim 1.0$ においてはパネル部中央において最大せん断応力 τ_{max} が最大となることを示し、その値 $(\tau_{max})_{max}$ は式(5)のように表わされることを示した。

すなわち、 $(\tau_{max})_{max}$ を求めるための $(\tau_{max})_{mean}$ の係数 C は 1.5 一定ではなく、 r/d などの関数であることを明らかにした。

またすみ肉部における τ_{max} は、パネル部における τ_{max} の 2～5 倍大きい値であるが、すみ肉部における応力集中係数 K_u を求める実験式として、式(6)を提案した。

Ku は、 $Ku = \sigma_{\max} / \sigma_0 = \sigma_{\max} / (P_c \cdot \frac{l_c - d_b}{2} / \frac{d_c^2 \cdot t}{6})$ と定義されたものである。

なお、式(5)は $l_c/d_b > 5$ 、 $l_c/l_b > 1$ に、また式(6)は $l_b/d_b > 5$ に拡張して適用することも可能である。

$$(\tau_{\max})_{\max} = C(\tau_{\max})_{\text{mean}}$$

$$= C(2Mb / \frac{2}{3} d_b - P_c) / d_c \cdot t$$

$$C = \alpha \left\{ 1.3 - 0.07 (d_c/d_b)^{-2.06} - \frac{d_c/d_b}{0.66 d_c/d_b + 0.2} \cdot \frac{r}{d_b} \right\}$$

$$\alpha = \frac{l_c/l_b}{l_c/l_b + (0.02 + 0.33 r/d_b)(1 - l_c/l_b)}$$

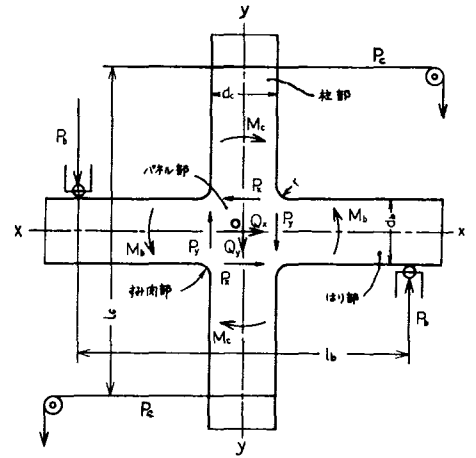


図2. 逆対称曲げ試験片形状と荷重方法

..... (5)

$$Ku = \left(1 + 2.4 \times 10^{-3.07 r/d_b} \right) \left\{ \frac{l_c/l_b}{1.23 l_c/l_b - 0.23} \right\} \left\{ 0.3 + 0.7 \times 10^{-\alpha_u (d_c/d_b - 1)} \right\} \times \left\{ (3.5 - 6 l_c/l_b) (r/d_b - 0.1) (d_c/d_b - 1) + 1 \right\}$$

$$\alpha_u = 0.65 + 5.82 \times 10^{-2.35 l_c/l_b}$$

..... (6)

第5章 不溶着部をもつ十字形継手の応力集中係数

長さ f の不溶着部を有する継手に、引張り・純曲げあるいは逆対称曲げを荷したときの各部の応力集中係数について検討し、以下の諸点を明らかにした。

(1) A形のリブ十字形継手のすみ肉部の引張りならびに純曲げにおける応力集中係数は、f によって影響されず、その値は式(1)(2)で表わされる。しかしB形では、fが増すとともに応力集中係数は増大する。

(2) 強度的には、A形では突出部の長さ L を小に、B形では L を大にするのが適切である。

このことは、A形前面すみ肉溶接継手の引張り疲労強度が、Lが大なるほど低下する実験事実(3)を定性的に説明するものである。

(3) ルート部の応力集中係数を低減するためには、r を大にしてのど厚 h を増すよりは、溶け込みを増して f を小にすることが効果的である。

した。

またすみ肉部の降伏は、その点における応力が1軸引張り降伏応力 σ_y になったときに生じることを示した。

そして、塑性域における K_σ 、 K_e の関係は、 $K_t = (K_\sigma \cdot K_e)^{\frac{1}{2}}$ なるNeuber則にほぼ従うことを明らかにした。

第2章において、パネル部中央に母板より大きな応力の存在することを指摘したが、本章において母板よりさきにパネル部中央に降伏の生じることが確認された。なお母板においても、パネル部におけると同様に、母板の平均応力よりも高い応力となる部分の存在することを指摘した。

第7章 純曲げモーメント負荷時の塑性域進行過程における応力ならびにひずみ集中係数の挙動

純曲げの場合の K_σ 、 K_e について、第6章におけると同様の検討を行なって、すみ肉部における応力集中点Aは、Aを横切る母板の断面係数が、母板のその約1.02倍のところに生じること、またA点における応力集中係数 K_σ は式(2)の値と一致することを示した。

そして、式(2)を $r/d=0.05$ まで拡張することの可能であること、またすみ肉部の降伏は、その点の応力が σ_y になったときに生じることを確認した。

さらに、塑性域における K_σ と K_e の間には、 $K_b = (K_\sigma \cdot K_e)^{\frac{1}{2}}$ の関係がほぼ成立することを示した。

この場合、引張りにおけると同様に、とくに実測の K_e は、Neuber則より算出される値よりもやや低い値となり、塑性域における $(K_\sigma \cdot K_e)^{\frac{1}{2}}$ の実測値は、 K_b に比して最大6%低くなるが、これは局部的な降伏域の、周辺の弾性域からの変形拘束によるものと思われる。

第8章 総括

機械あるいは構造物の構成要素としての、十字形へこみすみ肉継手にかかる各部の応力について実験的に検討して、各部の応力集中係数を求める実験式を提案し、また不溶着部の存在が応力集中係数に及ぼす影響を明らかにした。

そしてA形・B形の構成形式と強度上望ましい突出部長さとの関係を明らかにし、さらに強度上許容し得る不溶着部長を規定した。

また、すみ肉部の塑性域における応力集中係数ならびにひずみ集中係数の挙動を明らかにして、極限設計の際の基盤を与えた。

これらのことは、継手の構成ならびに各部寸法が与えられたときに、各部の応力集中係数を推算するための根拠を与えるものであり、応力集中係数を所定の値以下におさえるための各部寸法

を算定する基盤を与え、また継手の構成に設計上の指針を与えるものである。

さらに、本論文において提案された、すみ内部の応力集中係数を求める実験式によって、十字形板と段付板との間の関連が明確となり、かつ従来の研究の矛盾を正すことができた。

文 献

- (1) 野村, 機械学会論文集, 27-179 (昭36-7), 1036.
- (2) Hartman, J. B. and Leven, M. M., Proc. SESA, 9 (1951), 53.
- (3) Leiris, H. and Dutilleul, H., Weld. J., 31-2 (1952), 104S.
- (4) 佐藤, 瀬尾, 溶接学会誌, 41-4 (1972), 385.

審査結果の要旨

大形構造物、車両などの構成要素や船体、工作機械などの補強材として十字形継手が広く実用されているが、近年機械装置の性能向上、設計技術の進歩によって要素個々の負荷が増大したことから、その強度についての検討は構造物や機械の破壊の防止と安全性確保のために極めて重要な課題となってきた。そのために広範かつ系統的な実験によって、十字形継手の強度を評価する合理的な基盤を得ることが急務と考えられる。本論文はこの要求に答えるべく、各種荷重下の十字形継手における応力集中、応力分布等について系統的な実験解析を行ったもので、全編8章からなる。

第1章は総論であり、本研究の目的について述べられている。

第2章ないし第4章は単一板から成る十字形継手の光弾性実験に関するものであり、第2章では引張荷重負荷時のすみ肉部の応力集中係数 K_t 、応力分布、各種因子の K_t への影響等について吟味し、更に K_t に対する実験式を提案し、従来の研究の矛盾を正している。第3章では純曲げモーメントを加えた場合のすみ肉部の応力集中係数 K_b と各部寸法との関係を求め実験式を提案し、かつ従来の式に比しより合理的であることを示している。また K_t と K_b 間の新関係式をも誘導している。第4章は逆対称曲げ荷重を受けるものについての結果で、或る寸法条件では、パネル中央において最大せん断応力 τ_{max} が最大になることなど新事実を明らかにし、更に $(\tau_{max})_{max}$ をあらわす実験式を導いている。

第5章は不溶着部を持つ十字形継手における応力分布を実験的に詳細に調べたもので、応力集中係数に対する不溶着部、突出部の長さの影響を明らかにし、かつ強度上許容し得る不溶着部の長さを求めるなど溶接十字形継手の強度に関する基礎的な新しい知見を得ている。

第6章、第7章はそれぞれ引張荷重、純曲げモーメントを受ける高力アルミ合金板の十字形継手の弾性域および塑性域における応力集中係数 K_σ ならびにひずみ集中係数 K_e を、箔ひずみゲージおよび光弾性被膜法により測定し、光弾性実験結果と比較検討したものであり、両者がよく一致することを示している。更に塑性域における K_σ 、 K_e の関係はともに K_t （あるいは K_b ） $= (K_\sigma \cdot K_e)^{\frac{1}{2}}$ なるNeuber則にはほぼ従うことを確認している。

第8章は総括である。

以上要するに本論文は、十字形継手の各部における応力分布について実験的に研究し、設計に直接適用できる応力集中係数を求める実験式を提案し、継手各部の寸法算定の基盤を与え、かつ継手の構成に設計上の指針を与えるものであり、溶接設計工学ならびに機械工学の発展に寄与するところ少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。