

氏 名	前 川 一 郎 まえ かわ いち ろう
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	論 工 博 第 540 号
学位授与の日付	昭 和 47 年 9 月 25 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 題 目	切欠き強さの強度設計工学的研究

	(主 査)
論文調査委員	教 授 河 本 実 教 授 遠 藤 吉 郎 教 授 山 田 敏 郎

論 文 内 容 の 要 旨

本研究は、機械・構造物の安全確実にしてかつ合理的な設計を行なうための基礎的知見を得ることを目的として行ったものである。機械・構造物には普通、切欠きのような急激な形の変化のあるため、応力集中を生じるが、その強度設計工学上に及ぼす効果の重要性に着目し、理論および実験的に研究したもので次の7章よりなっている。

第1章は緒論で、本研究の意義と取りあつかう問題点について述べている。問題点の一つは任意の切欠き形状に対して弾性学的に応力分布を知ることである。そこで本研究ではその簡単な代表例としてV形切欠きをあつかうことにし、切欠きが傾いて非対称をもつときおよび対称性は高くても干渉効果をうけるときの応力集中に関する問題を明らかにしている。次の問題点として実際の工業材料の切欠き強さが熱処理、結晶粘度、試験片の形、温度とくに低温その他の影響をうける点について明らかにし、疲労破壊の機構についても著者の考察を加えている。

第2章では理論的・弾性学的に行った研究について述べている。まず、両側切欠きをもつ帯板が引張りを受ける場合、および片側に切欠きをもつ帯板が純曲げを受ける場合の応力分布を、だ円座標を用い、V形切欠きを等価だ円によって近似し、弾性学の基礎方程式を差分法し、コンピュータを利用して数値解析を行っている。この解析結果によれば、応力集中係数は切欠きの中心線の試験片の長手方向に対する傾き角度が 90° の直角切込みのとき最大であるが、その傾き角度が減少するにしたがって減少する。その減少する状態は横軸に切欠き角度を等分目盛でとれば初めゆるやかであるが、それが小さくすなわち段付状態に近づくほど急激に減少する。次に、二つ並んだ切欠きをもつ帯板が引張りをうける場合を解析した結果は、二つの切欠き間の距離が近いとき、本計算例では応力集中係数の値は単一切欠きの場合に比し、最大約20%減少して明らかな干渉効果がみられた。本解析法は以上のように数理解析の困難な複雑な切欠き形状に対して有効に適用できることを明らかにしている。

第3章では実用炭素鋼の丸棒試験片を用いて、静引張り、衝撃引張り、繰返し曲げ疲れの各実験を行な

い、それぞれの場合における切欠き係数の切欠き傾き角度による変化と前章に求めた理論的応力集中率の切欠き傾き角度による変化とを比較し、その傾向が定性的に合致していることを明らかにしている。このことから、前章で求めた応力解析法は強度設計に対する有用な目安を得る簡便な方法として活用されることがわかる。また以上の結果すなわち応力集中率および切欠き係数の値が切欠きの傾きが増して段付き状態付近になるとその値の変化が急になることから、フランジや段付き軸などのつばまたは段の軸心に対する直角度の仕上げ精度のいかんによっては急激に切欠き係数の値が大きくなるので、切欠き傾き角度は強度設計上また機械製作上重要な一因子として考慮すべきことを指摘している。ここに得た知見は材料内に含まれた微小なき裂の異方性効果を知るのにも応用できる。例えば圧延材のように方向性をもった欠陥を含む母材から効率よく機械部品を製作しようとするとき、いろいろの向きに採取された各部品の強度のばらつきを推定して、品質管理を行なう上にも役立つものであることを述べている。このように本研究において初めて指摘された切欠き傾き角度に関する知見は機械工学に少なからず貢献するものと考えられる。

第4章では実用低炭素鋼の平板試験片を用いて、静引張りならびに繰返し曲げ疲労実験を行ない、前章の丸棒試験片に対する結果と対比して考察している。平板試験片に対する応力集中係数と丸棒試験片に対する応力集中係数との間には古くから用いられている関係があるが、ここに行った静引張りおよび繰返し曲げ疲れ実験結果による切欠き係数の間には同様な関係は厳密には成立しないことを明らかにし、新しい実験式を示している。平板試験片は詳しい観測を行うのに適しているので、切欠き底に降伏の発生する段階から試験片の破断に至るまでの過程をリューダース帯を観察することによって、いくつかの特徴的段階のあることを指摘し、それらにつき詳細に考察し、切欠き底に降伏が発生するときの応力と理論的応力集中率との間に密接な関係があることを述べている。その他2列切欠きをもつ試験片の静引張りならびに繰返し曲げ疲労実験をも行ない、一般に丸棒のほうが同じプロファイルをもつ平板より強いが、切欠き効果も丸棒のほうが強くうけることなどについて論じ、これらの結果は強度設計の基礎資料として役立つことを述べている。

第5章では前章の結果にもとづき、平板試験片を用いて、切欠き傾き角度の影響と切欠き干渉効果について研究している。実験は静引張り、静曲げおよび繰返し曲げ疲労について行い、次のような結果を得ている。すなわち、静引張り実験の場合、切欠き底に降伏が発生するときの応力の切欠き傾き角度による変化は弾性学的な計算結果と定性的に合致した傾向を示すこと、また降伏塑性域が相対する切欠き間を連絡するときの静的引張り強さはほとんど切欠きの形によらず平滑試験片の下降伏点程度の強さと等しくなること、疲れ強さはばらつきが大きく、切欠き傾き角度の影響はほとんど認め難いこと、静曲げ試験において切欠き底に降伏の発生する応力は切欠き傾き角度に大きな影響をうけ、静引張りの場合よりも高いこと、二つ並んだ切欠きをもつ試験片の静曲げ実験によれば引張りの場合よりも明らかな干渉効果がみられることなどについて述べている。

第6章では結晶粒度の大きさあるいは板厚を変えた炭素鋼平板試験片の静引張り実験における切欠き強さを温度を変えて、とくに低温において実験し、考察している。結晶粒度の大きさの影響に関しては低温において粒度が小さくなるほど切欠き効果が大きくなること、また温度の低下するほど静切欠き係数が大となることを明らかにしている。また低温になるとリューダース帯は細く、その進行速度が遅くなること

を示している。板厚の影響については板厚が増すほど切欠き底に降伏の発生する応力に増大し、それは寸法効果および応力こう配の両者のかね合いによるものと述べている。切欠き強さの機構については従来いわゆる表面層の厚さを考えたり、切欠き感度定数の考え方などにより説明されているが、ここでは前者の考え方をとり表面層の厚さが低温になるほど小さくなることを実験的に求め示している。なお低温においては降伏後のひずみ硬化はほとんどみられず、伸びや絞りなどの変形特性も低温になると急激に低下する状態を明らかにしている。

第7章は結論で、本論文で得られた多数の事項が機械工学上に新知見を加えたのみならず、強度設計上重要な役割りを果すものと期待されることを述べている。

論文審査の結果の要旨

機械・構造物の設計に際し、その構成部分に切欠きのような急激な形状の変化があると、応力集中効果により応力が局部的に高まり、弾性が損なわれたり、破壊の危険も生ずることになるので、切欠き強さの研究は強度設計において重要な意義をもつことになる。そのため従来この方面に関し多くの研究が行われてきたが、さらに研究を進めるため著者は切欠き強さに関し種々の問題点を取りあげ、理論的ならびに実験的に研究を行なっている。

理論的研究としては、任意の切欠きに対して弾性学的に応力分布を知ることにある。そこで簡単な代表例として、V形切欠きの場合を対象とし切欠きが傾いて非対称性をもつとき、および対称性は高くてもいわゆる二重切欠きのため互に干渉効果を受けるときの応力集中の問題を明らかにしている。理論計算は平面問題とし、両側に切欠きをもつ平板が引張りを受ける場合、および片側に切欠きをもつ平板が純曲げを受ける場合の応力分布を、だ円座標を用い、弾性学の基礎方程式を差分化し、コンピュータを利用し、切欠き傾き角度、切欠き開き角度、二重切欠きにおける干渉効果などを、応力関数表示により、詳細に求めている。この解析の結果、応力集中係数に切欠きの中心線の試験片の長手方向に対する傾き角度が 90° の直角切り込みのとき最大であり、その傾き角度が減少するにしたがって減少すること、その減少の状態は横軸に切欠きの傾き角度を等分目盛でとれば初めゆるやかであるが、それが小さくすなわち段付き状態に近づくほど急激に減少すること、二つ並んだ切欠きをもつ帯板が引張りを受ける場合を解析した結果では、二つの切欠き間の距離が近いときは、著者の計算例では理論的応力集中係数の値は単一切欠きの場合に比し、最大20%減少し、明らかな切欠き干渉効果がみられている。著者のこの解析法はさらに数理解析の困難な複雑な切欠き形状に対しても有効に適用でき、この方面の研究に貢献しているものと考えられる。

実験的研究としては、まず実用炭素鋼丸棒試験片を用いて、静引張り、衝撃引張り、繰返し曲げの各実験を行い、それぞれの場合の切欠き係数の切欠き傾き角度による変化が理論的応力集中係数の切欠き傾き角度による変化と定性的に合致していることを明らかにし、これよりフランジや段付き軸などのつばまたは段の軸心に対する直角度の仕上げ精度のいかんによっては急激に切欠き係数の値が大きくなるので、切欠き傾き角度は強度設計上または機械製作上重要な一因子として考慮すべきことを指摘し、またこれらの知見は材料内部に含まれた微小なき裂の異方性効果を知るのにも応用でき、例えば圧延材のように方向性をもった欠陥を含む母材から効率よく機械部品を製作しようとするとき、いろいろの方向に採取された

各部品の強度のばらつきを推定して、品質管理を行う上にも役立つものと考えられ、機械工学上有効な成果であると思われる。

平板試験片は詳しい観測を行うのに適しているので、切欠き底に降伏の発生する段階から試験片の破断に至るまでの過程をリューダース帯を観察することによって、いくつかの特徴的段階のあることを指摘し、それらにつき詳細に考察し、切欠き底に降伏の発生するときの応力と応力集中率との間に密接な関係のあることを述べ、また丸棒と平板の場合の切欠き係数の関係を求めている。なお、平板試験片を用いて、切欠き傾き角度の影響ならびに切欠き干渉効果について、静引張り、静曲げならびに繰返し曲げ疲れ実験を行ない、切欠き底に降伏が発生するときの応力と切欠き傾き角度との関係、降伏塑性域が相対する切欠き間を連絡するときの応力と降伏点との関係、切欠き傾き角度と疲れ強さとの関係、静曲げにおいて切欠き傾き角の影響を大きく受けることなど、いろいろの事項について明らかにし、これらは強度設計の基礎資料として有用なものと考えられる。

切欠き強さは温度によっていちじるしい影響を受ける。したがって切欠き強さの温度効果について明らかにするため、炭素鋼につき主として低温の場合の切欠き係数の変化と結晶粒度との関係、切欠き試験片の低温における変形特性、リューダース帯の低温における特性、ならびに切欠き強さを考えるためのいわゆる表面層の厚さをとり、それが低温にて小となることなどを求め、種々の考察を加えている。

以上を要するに、本論文は強度設計工学上きわめて重要な切欠き強さに関し、新しい幾多の知見を加えたもので、学術上工業上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。