

氏 名	井 上 彰 夫
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 62 年 9 月 9 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 47 年 3 月 東北大学大学院工学研究科機械工学第二専攻 修士課程修了
学 位 論 文 題 目	溶接継手の疲労強度評価と溶接設計に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 前川 一郎 東北大学教授 高橋 秀明 東北大学教授 島田 平八 東北大学助教授 沢木 洋三

論 文 内 容 要 旨

発電機、電動機、圧力容器などの種々の機械、構造物においては構造上、施工上および経済上の点から溶接構造が数多く用いられている。近年、これらの機器の使用条件は一段と苛酷になり、また省エネルギーの立場から高効率化、高性能化ならびに製造コストの低下が要求され、溶接構造の基本要素である溶接継手の疲労強度に対してこれまで以上に精度の高い評価を行うことが増々重要となってきている。

溶接継手の疲労強度は、溶接部にブローホールなどの溶接欠陥が無い限りにおいては、不溶着ルート部ないしは止端部のいずれか疲労強度の低い方で支配されるため、両者の疲労強度を同時に評価した上で溶接継手の設計を行なう必要がある。

一方、これまでの溶接継手の疲労強度に関する研究としては不溶着ルート部と止端部の両者に対してともに破壊力学あるいは応力集中に基づいた研究が多く報告されているが、広い視野に立った系統的な研究は少なく、実用性や信頼性の点から有効な評価手法は必ずしも得られておらず、広範かつ統合的な研究によって溶接継手の疲労強度を評価する合理的な手法の確立が工業上広く望まれている。

以上の観点から、本論文では、溶接継手の不溶着ルート部と止端部の疲労強度について破壊力学と応力集中に基づく解析ならびに実験的検討を行ない、疲労強度に及ぼす溶接継手各部の寸法ならびに溶接施工法の影響を明らかにし、得られた知見を基に信頼性の高い溶接継手の疲労強度設計

法を開発することを目的とした。

本論文の主な特色は次の4点である。

- (1) 従来確立されていなかったモードⅠおよびモードⅡの混合モード下での不溶着部を有する溶接継手の疲労強度評価法を確立するために、系統的な疲労試験を行うとともに、応力拡大係数(K値)解析を行ない、疲労強度に及ぼす溶接各部の寸法および荷重条件の影響を明確にして、不溶着ルート部の疲労強度の実用的な評価法を提案し、その有効性を示した。
- (2) 従来十分には明らかにされていなかった溶接継手止端部の疲労強度評価法を確立するために、溶接施工法による疲労強度の差を総合的に把握して、疲労強度に及ぼす止端部の応力集中係数の影響を明らかにした。
- (3) 溶接継手の疲労強度特に不溶着ルート部と止端部の疲労強度に及ぼす溶接残留応力の影響を明確に把握するために、H形拘束十字継手試験片を用いる新しい疲労試験法を提案し、この試験法が溶接残留応力を有する溶接継手の疲労強度評価に極めて有効であることを明らかにした。
- (4) 以上の成果と統計的安全率を基にして、信頼性と安全性の高い溶接継手の疲労強度設計法を開発した。

本論文は次の7章より構成されている。

第1章 緒 論

本研究の背景、意義を述べるとともに、従来の溶接継手の疲労強度に関する研究を展望し、本研究の目的を明らかにした。

第2章 溶接継手不溶着ルート部の応力拡大係数の評価

不溶着部を有する溶接継手に対し、不溶着部をき裂とみなして有限要素法により不溶着ルート部の応力拡大係数(K値)を解析し、モードⅠおよびモードⅡの混合モード下での破壊基準である最大周方向応力説に基づく最大主応力拡大係数 $K_{\theta_{max}}$ を評価した。

すなわち、引張りあるいは曲げ応力が作用した両側溶接十字継手と溶接軸のK(K_I , K_{II} , $K_{\theta_{max}}$)値に及ぼす溶接部の各部寸法(不溶着部長さ $2a$, 脚長 l など)の影響を明らかにした。また、従来解析例はないが実用上重要である引張り応力が作用した全周溶接十字継手についても解析した結果、不溶着部の各辺上では K_I , K_{II} , K_{III} が存在するが、 K_{III} 値は無視できる程小さく、モードⅠおよびモードⅡの混合モードとして取扱えるという新しい知見が得られた。

第3章 溶接継手不溶着ルート部の疲労強度の評価

CT試験片を用いてSM41の突合せ溶接継手の溶着金属と母材のモードⅠでの疲労き裂進展速度特性を求め、両者の間に大差がないことを示すとともに、SM41の中央斜めき裂板(CCP)試験片の引張り疲労試験を行ない、モードⅠおよびモードⅡの混合モード下での疲労限度評価基準として最大周方向応力説が有効であることを明らかにした。

次に、板厚ならびに溶接部寸法を系統的に変化させた不溶着部を有する溶接継手の疲労試験を行

なった。この疲労試験結果と第2章で得られたK値解析結果より、図1に示すように、引張りおよび4点曲げの両側溶接十字継手であるT-1~T-5およびB-1~B-3試験片ならびに引張りの全周溶接十字継手であるC-1、C-2試験片の不溶着ルート部の疲労限度に対応する最大主応力拡大係数範囲 $\Delta K_{\theta_{max}}^*$ は、溶着金属と母材のモードIでの疲労き裂進展の下限界応力拡大係数範囲 $\Delta K_{th(I)}$ とほぼ一致するという新しい知見を得た。このことは疲労限度評価基準として最大周方向応力説の普遍性を明らかにしたものとして意義がある。

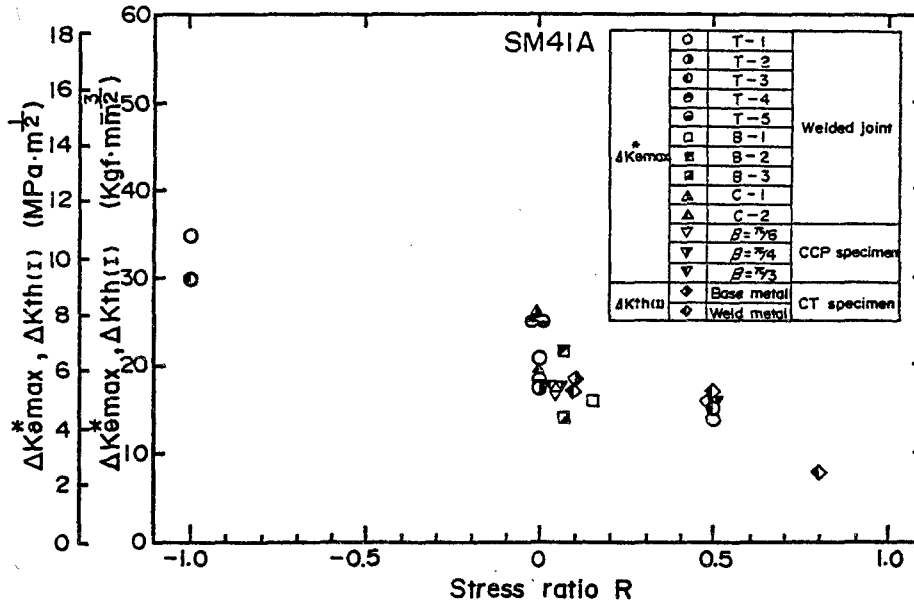


図1 両側溶接十字継手と全周溶接十字継手の不溶着ルート部の疲労限度に対応する $\Delta K_{\theta_{max}}^*$ と溶着金属、母材の $\Delta K_{th(I)}$ の比較

第4章 溶接継手止端部の疲労強度の評価

溶接継手止端部の疲労強度に対して最も影響の大きい因子は止端部の応力集中であるとの観点から、通常用いられる炭酸ガス半自動溶接法と止端部の応力集中係数を低下させるための止端部処理法として炭酸ガスソフトプラズマ溶接法、TIG溶接法およびグラインダ研磨をとり上げ、両側溶接十字継手止端部の疲労強度に及ぼす溶接施工法の影響を明らかにした。

両側溶接十字継手の止端半径とフランク角を測定し、その結果を統計的に処理するとともに、引張りおよび曲げに対する両側溶接十字継手止端部の弾性応力集中係数 K_t の平均値と分散を西田の近似式と第1次近似法を用いて解析した。また、両側溶接十字継手の広範な疲労試験を行ない、溶接施工法による止端部疲労強度の差を総合的に把握した。すなわち、炭酸ガス半自動溶接法の溶接継手に対する疲労限度の向上率は、HT60両側溶接十字継手の4点曲げの場合炭酸ガスソフトプラズマ溶接法、TIG溶接法、グラインダ研磨でそれぞれ1.8、1.4、1.2倍、SM41両側溶接十字継

手の引張りの場合炭酸ガスソフトプラズマ溶接法で1.6倍であった。この改善は、止端部処理によって止端半径を大きくし、弾性応力集中係数を低下させたことが原因であることを明らかにした。

また、図2に示すように、止端部形状の測定値に基づく止端部の弾性応力集中係数 K_t と止端部の疲労限度の切欠係数 K_f はほぼ一致し、止端部の疲労限度は K_t と母材の疲労限度より評価できることを明らかにした。

さらに、炭酸ガス半自動溶接法によるSM41の両側溶接十字継手について応力比を変化させた引張り疲労試験を行ない、止端部の疲労限度に及ぼす平均応力の影響は、疲労限度線図で平均応力の横軸上の母材の真破断応力 σ_T を通る直線関係によって表されることを明らかにした。

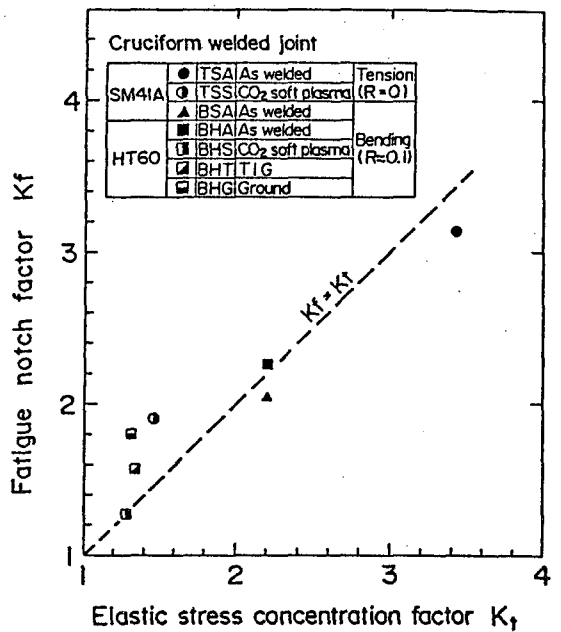


図2 両側溶接十字継手の K_t と K_f の関係

第5章 溶接継手の疲労強度に及ぼす溶接残留応力の影響

溶接継手の疲労強度に及ぼす溶接残留応力の影響を評価するために、H形拘束十字継手試験片を用いた疲労試験を提案した。H形拘束十字継手試験片は継手の両端を拘束した状態で溶接して継手に引張りの溶接残留応力を生じさせた試験片であり、この試験片と溶接残留応力を除去した継手の疲労試験結果を比較することにより、疲労強度に及ぼす溶接残留応力の影響を定量的に評価できる。

SM41の両側溶接十字継手を中央部材としたH形拘束十字継手試験片について、溶接残留応力の測定および引張り疲労試験を行なった結果、引張りの溶接残留応力は不溶着ルート部と止端部の疲労限度を低下させること、およびこれは疲労限度の平均応力依存性によって説明されることを示した。

第6章 溶接継手の疲労強度設計法

前章までの研究によって得られた成果を基に、溶接継手の実用性と信頼性を確保する新しい疲労強度設計法を開発した。

この設計法は、溶接継手の不溶着ルート部の疲労強度は破壊力学により、また止端部の疲労強度は止端部の応力集中係数に基づいて評価して、統計的安全率を求めた上で溶接継手各部の寸法を決定するという新しい考え方に基づくものである。

さらに、この溶接継手の疲労強度設計法の適用例として、電動機に用いられた溶接継手の設計検討結果を示し、この疲労強度設計法が信頼性の高い設計法であることを確認した。

第7章 結 論

本研究の主な結論をまとめて示した。

審 査 結 果 の 要 旨

機械製作に当り、溶接法を用いると施工上も経費の点からも効率的であるが、溶接部分の強度については十分な安全性の検討が必要である。本論文は、溶接継手の疲労強度に及ぼす溶着部分形状の影響を破壊力学的に評価すると共に溶接残留応力の影響を明らかにし、信頼性工学的見地から強度設計の手順をまとめたもので、全編7章よりなる。

第1章は緒論である。

第2章では、両側溶接十字継手の不溶着部をき裂と見なして、引張りまたは曲げをうける場合の応力拡大係数を数值的に解析し、溶接部寸法を系統的に変えて検討している。また全周溶接継手の場合にはモードⅢの応力拡大係数は小さく、モードⅠとⅡだけの混合モードとして取扱い得ることを明らかにしている。

第3章では、溶接構造用鋼と溶着金属の疲労き裂進展特性に大差がないことを確かめ、混合モードの荷重下でのき裂発生疲労限の評価には最大周方向応力によるのが適切であることを見出している。また、試験片板厚ならびに溶接部寸法を系統的に変えた溶接継手の疲労実験の結果から最大主応力拡大係数範囲はモードⅠの下での下限界応力拡大係数範囲とほぼ一致することを示し、き裂発生疲労限評価基準として最大周方向応力説の有効性を明らかにしている。

第4章では、溶接止端部の応力集中が疲労強度に及ぼす影響を明らかにし、止端部の処理により二種の実用鋼材に対し疲労限を1.6ないし1.8倍に向上させ得ることを示している。また、平均応力の影響が簡単に図式表示できることを示している。これらは実用上有用な成果である。

第5章では、溶接によって生じる引張り残留応力がき裂発生を早める効果は、平均応力の効果と同様に評価できることを示している。

第6章では、前章までの成果に基づき、疲労限と作用応力の変動係数とから統計的安全率を求めて溶接継手の強度判定に用いる設計手順を示し、信頼性の高い安全設計手法を与えている。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、溶接継手の疲労強度に及ぼす溶着部分の形状の影響を破壊力学を取入れて評価し、平均応力及び残留応力の影響を明示し、さらに統計的安全率により信頼性の高い設計法を新たに提示したもので機械工学の発展に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合格と認める。