

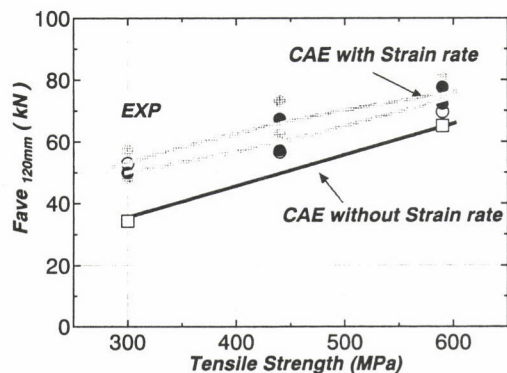


図4.14 圧縮崩壊試験時の平均崩壊荷重のと解析結果との比較

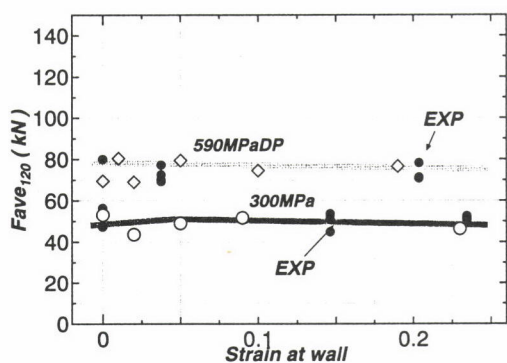


図4.15 連成解析結果と衝撃試験結果との比較

材内部で分布させ、加工ひずみレベル、板厚減少レベルにより材料特性を変化させながら解析するものである。図4.15はこのような連成解析により得られた結果と実験との比較を示した。実験と数値解析との間には極めて良い相関があり、連成解析により自動車部材の衝突特性を上手に推定することが可能である。実車の強度、衝撃挙動に関しても、こうした解析技術の駆使が精度向上と変形モードの予測に重要となると考えられる。

(4) 今後の展望

自動車の軽量化を主目的としたハイテン材料の使用の増加を背景に、ハイテン化による材料特性の劣化を補完する成形加工技術、ならびに成形限界や衝突時の変形挙動を予測する数値解析技術の最近の動向をトピック的に記述した。割愛したところも多いが、これらは自動車の新しい姿への進化とそれを支える主要材料としてのハイテン材の普及にとって、今後必要不可欠な技術と認識される。業界協同での生産技術の革新とそれを支援できるデジタル技術の研究開発はますます発展すると思われる。

4.3.2 溶接、接合技術

(1) 研究開発の動向

この10年間の溶接関連の進捗としては、阪神淡路大震災

を契機とした鉄骨建築物の溶接部の特性向上と、高強度化や大入熱化の要求に対応した溶接用鋼の開発が特筆される。前者は、震災後に建設省(現国土交通省)のプロジェクトを起点として広く取り組まれたもので、鉄骨柱梁溶接部の必要靱性の検討に基づき脆性破断防止のガイドラインが策定された。また都市の再生や再開発に向けて多様な構造や大スパンを有する高層ビルが計画・建設される中、耐震性のためには柱梁溶接部に加え柱材溶接部にも高靱性が求められ、大入熱溶接用の建築用鋼の開発が進められた。さらに建築物の耐火性向上に向けて耐火鋼の開発と溶接性の検討が行われ、実用化された。一方、後者に関しては、建築のSA440、橋梁のSM570や高性能YP500 MPa鋼、造船のEH390やEH460、海構のYP500 MPa鋼、ラインパイプのX80～100など、多くの分野で高強度鋼の適用や開発が進むとともに、溶接施工効率の向上や施工コスト改善の点から、既存溶接の大入熱化や、入熱50～100 kJ/mmに及ぶ大入熱のエレクトログラスアーク溶接(EGW)やエレクトロスラグ溶接の採用が増した。いずれの場合も、鋼の溶接性と溶接部の靱性の確保が実適用の鍵である。特に橋梁分野では溶接の予熱フリーの要求が強く、制御圧延、制御冷却を駆使した低炭素当量(Ceq.)の高強度鋼が開発された。他方、溶接構造物の高寿命化に向け、橋梁、造船、産業機械の分野を中心に、溶接部高疲労強度鋼の検討や低温変態溶接材料を用いた溶接部疲労強度の改善検討などが行われた。薄板の分野でも自動車ボディ軽量化に向けて鋼板の高強度化が進みつつあり、溶接性の検討が活発化してきた。

(2) 溶接法、および溶接部の課題

溶接法に関しては、様々な分野における溶接の自動化、多電極高速化、自動車用鋼板のテーラードブランクの製造に向けたレーザー溶接やマッシュシーム溶接の検討、超細粒鋼の溶接に向けたレーザー溶接や狭開先溶接の検討などが進められた。Al合金で既に実用化され、薄鋼板の溶接歪や超細粒鋼の熱影響が少ない接合法として期待される摩擦攪拌溶接(Friction Stir Welding)は、鋼用の高強度耐熱ツール(回転工具)の探索が進められ多結晶c-BNツールなどの有効性が提案されているが、未だ実用化途上である。

鋼の溶接においては、溶接部の靱性劣化と低温割れ等の溶接欠陥が常に懸念すべき課題であり、そのいずれもが鋼の高強度化で顕在化する。靱性の低下は、高強度化に伴って、溶接過程で粗大化したオーステナイト(γ)から上部ベイナイトなどの粗く低靱性のプレート状組織が発達しやすいためであり、ラス間の島状マルテンサイト(MA)の生成もこれを加速する。この改善に向け溶接部で採られる組織制御は、①粗大 γ 粒内に介在物を核とした微細粒内フェライトを生成さ

せる、あるいは、②介在物によって γ 粒成長をピン止めし粗大化を抑制する、の2つである。さらにこれに、③低C化や合金元素添加の組成制御が重畳される。

(3) 溶接金属

溶接金属では凝固 γ の粗大化抑制が難しいため、Ti-B系溶接材料を使って、①の粒内フェライト（アシキュラーフェライト）の活用により靱性を確保してきた。溶接金属では③の成分設計の自由度も比較的大きく、低C化、低O化、Ni添加、Ti-B-Nバランスなど、溶接法や要求特性ごとに最適化される。しかしながら、大入熱化に伴う母材の希釈率の増加、溶接欠陥や溶接作業性との両立、母材の高強度化に応じた溶接金属のオーバーマッチング強度の確保など、近年、溶接金属の高靱性化は条件的に厳しくなりつつあるのも事実である。Ti-B系溶接材料によるアシキュラーフェライトの実用化から四半世紀が過ぎ、次なる高靱性化技術が待たれる。また最近の高強度鋼の溶接では、母材の相対的な低Ceq.化に伴って低温割れ感受性は常に溶接金属が高く、併せて抜本的な改善が必要となっている。

(4) HAZ靱性

他方、鋼材のHAZ靱性では、①として従来のTi酸化物やMnSを核とする粒内フェライトに加え、BNを核とした粒内

フェライトの活用も増している。Bは、大入熱HAZにおいて、粗粒域の粗大な粒界フェライトの抑制、Nの固定、溶接金属から流入するBの活用など複数のメリットが考えられ、その利用が拡大しつつある。また、②のHAZ γ 粒の微細化に対しては、従来のTiNの活用に加え、大入熱溶接でも安定なMgやCaの微細酸化物や硫化物の活用が新たに実用化された。さらにこの10年では、橋梁用を中心に、制御圧延、制御冷却を駆使して、母材の低C化、低Ceq.化と強度を両立した鋼板が多く開発された。低C化および低Ceq.化は、MAの低減、HAZ組織のフェライト化など大入熱HAZ靱性に有効であり、また、溶接時の予熱の低減やフリー化にも有効である。したがって、これに、①ないし②のHAZ組織制御を重畳し、Bなどの活用も図るのが最近の非調質高強度大入熱溶接用鋼の流れである。ただし低Ceq.化に伴うHAZ軟化の影響は、なお検討が必要である。①②のHAZ組織制御技術については、粒内フェライトの生成機構の解明や微細介在物の分散技術などにおいて、この10年で大きな進歩を見たが、未だ完全に解明・確立されたわけではなく、次世代のHAZ組織制御の指針も今後の検討に負う部分が少なくない。さらに靱性に関しては、上記の①～③のどの組合せがエンジニアリング的に最も有効で、究極的にどこまで到達できるか、また、鋼材や溶接法も含め新しいブレークスルーはあるか、などは今後に残された大きな課題といえる。