

博士論文（要約）

大型鋼構造物の信頼性向上を可能とする鋼の組織制御と
特性向上に関する研究

津山 青史

本論文は、建築、船舶などの鋼構造物の信頼性向上のために鉄鋼材料の延性・靱性を目的として金属組織の最適化ならびにその熱加工プロセスによる実現を検討した結果を述べている。大径ラインパイプおよび高層建築構造物を対象とした高強度の鋼材開発においては、大型構造物の信頼性支配因子を考慮した鋼材の組織制御指針を明らかにし、世界で唯一のオンライン熱処理プロセスを駆使して新たなベイニティックフェライト+M-A (Martensite-Austenite constituent、島状マルテンサイト) というマイクロ組織制御を初めて考案した。そして、その鋼材の構造物特性を実規模大試験で評価し、高変形性能及び高耐震性を有することを検証した。また、大型船舶用厚鋼板においては、2つの冷却アクチュエーターを駆使したオンライン2段冷却プロセスによりベイナイトの積極的活用を狙ったフェライト+ベイナイト鋼の衝突安全性向上効果を数値シミュレーションにより検証した。

次に、耐脆性破壊に対しては、細粒化等によりシャルピー靱性値を向上させるとともに、集合組織を発達させることが有効であることを踏まえ、本研究ではこれらの考え方をさらに発展させ、脆性き裂の伝播停止性能を向上させる板厚方向で異なる集合組織を制御する新しい組織制御を考案した。そして、実船に相当する超広幅試験により、その有用性を検証した。

本論文はこれらをまとめた7章から成り、それぞれの要約は以下の通りである。

第1章では本研究の背景、大型鋼構造物の信頼性阻害要因と延性破壊および脆性破壊に対する鋼材の設計指針とこれらを可能とする新たに開発・実用化したオンライン製造プロセスと新しい組織制御について記述した。

第2章では、厚鋼板や鋼管の変形性能を支配する一様伸びと相関のあるYRに着眼し、600~800MPa級鋼における複相組織化に関し、従来のフェライト+マルテンサイトやフェライト+ベイナイトでなく、ベイニティックフェライト+M-A組織化により高強度化と低YR化の両立がオンライン製造プロセスで可能であることを示した。この組織鋼の組織制御の考え方と低YRに必要なM-A量を明らかにし、靱性に及ぼすM-A形態・量の影響についても考察し、オンライン加熱することが、M-Aの生成過程と粒界の多様性から靱性にも有利であることを明らかにした。

第3章では、上記の新組織鋼を有する高強度ラインパイプと建築構造物用厚鋼板の実機製造材に関して、変形性能・耐震性を実規模大試験により評価した。ラインパイプは実管曲げ試験、建築用厚鋼板は短柱圧縮試験により、優れた変形性能・耐震性を有することを示した。

第4章では、船舶用厚鋼板の衝突安全性向上に関する検討を実施した。船舶同士の衝突や座礁による環境汚染を防ぐため、船腹に高変形能鋼を適用すれば、破断までのエネルギー吸収能を高め、船舶の衝突安全性の向上が期待される。本研究では、圧延後に

2台の冷却アクチュエーター駆使によるオンライン2段冷却プロセスを初めて適用し、鋼材の組織を従来のフェライト+パーライトから第2相をベイナイト化することにより、とくに、高ひずみ速度下で高伸びを実現した。船腹にこの開発鋼を適用すれば、LNGC (Liquid Natural Gas Carrier) の衝突損傷がひずみ分散により低減可能であることを数値シミュレーションにより明らかにした。

第5章では、溶接欠陥などから発生したき裂が伝播して破断に至る脆性破壊に対し、材料側のアプローチとして、き裂伝播停止特性を考慮した組織制御を検討した。具体的には、き裂伝播停止特性向上に関して集合組織解析結果に基づき、その積極的活用を試みた。圧下配分を適正化した低温圧延により、板厚方向で集合組織を制御し、き裂伝播停止特性を向上させる新しいコンセプトの安全性向上方法を考案するとともに、実船模擬の超広幅試験でその有用性を検証した。

第6章では、本研究の工業的成果、特にベイニティックフェライト+M-A組織の高強度高変形ラインパイプの凍土・地震地帯での豊富な実績と本コンセプトを適用した建築用高強度鋼板の今後の耐震性要求の高まりと適用拡大の期待について述べた。また、船舶についても、鋼板の高変形能化による衝突安全性の向上と集合組織の板厚方向制御による脆性き裂伝播停止性能向上の適用実績と今後の展望について述べた。

第7章は以上を総括した。

以上のように本論文では、建築、船舶などの鋼構造物の信頼性向上のために鉄鋼材料の延性・靱性を目的として、金属組織の最適化、ならびに、その熱加工プロセスによる実現を工学的に検討した結果を述べるとともに、大型モデルやシミュレーションによる構造体としての検証ならびに工業的な体系化と展開を示したものである。