

金属材料の塑性変形に関する諸特性と中性子回折

高村 正人、池田 義雅、須長 秀行、大竹 淑恵

理化学研究所 光量子工学研究領域 光量子技術基盤開発グループ 中性子ビーム技術開発チーム

自動車車体軽量化のニーズが近年一層高まり、高張力鋼板やアルミ合金板の適用が急速に増加している。これらの材料は延性が乏しく、また特異な応力-ひずみ関係を示す等、従来多く使われていた軟鋼板とは大きく異なる性質があり、極めて高いレベルの加工技術、不具合予測が必要となっている。高張力鋼板に求められる強度レベルは年々上昇し、それとともに強度と成形性の高いレベルでの両立が必須となっている。筆者らはこれまで、弾塑性FEM (FEM=Finite Element Method、有限要素法)の開発、活用によりこの問題に対処してきた[1][2]。鋼板のせん断過程に適用した結果を図1に示す。

優れた高強度鋼板を得るためのマイクロ組織に関する研究は、X線回折やEBSD (Electron Back Scatter Diffraction)により盛んに行われている。一方で、金属に対する透過力に優れた中性子ビームにより、バルク平均での組織情報を得ようとする試みも行われている。理研においては、小型中性子源 (RANS) を機動的に活用することで、様々な材料が様々な塑性変形を受けた状態で、パルス中性子回折により集合組織に関する情報を得ようとする試みが進行中である (図2)。現在のところ、BCC鉄の典型的な回折プロファイル、及び塑性変形とともに集合組織が発展する様子の観察に成功している[3]が、結晶方位分布情報 (極点図等) を得るためのプロセス構築 (試験片の自動回転、測定時間の短縮等を含む) を課題として取り組み中である。

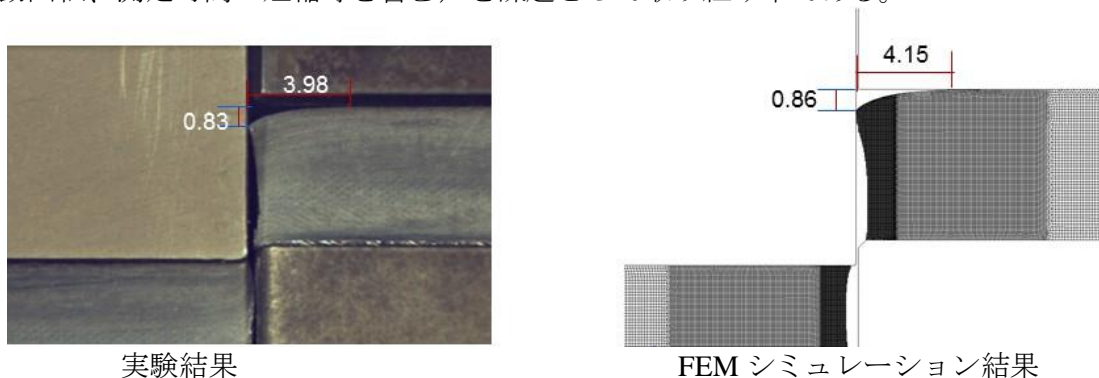


図1. クロム・モリブデン鋼のせん断過程のシミュレーション及び実験結果

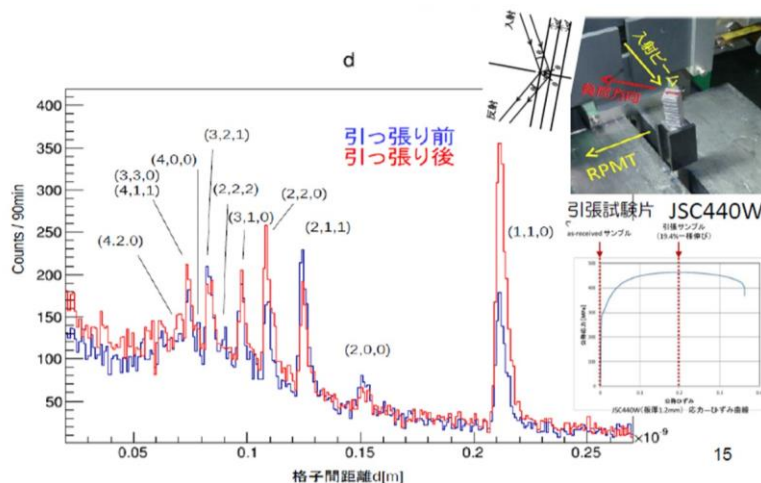


図2. RANSによって得られた鋼板引張変形前後の中性子回折プロファイル

他方、これまでのマクロスコピックな構成則に基づく塑性加工シミュレーションに代わり、すべり変形、双晶変形といった結晶レベルの素過程の変形抵抗モデルに基づいて集合組織（結晶方位の偏り）の発展を予測する「結晶塑性有限要素法」を用いた塑性変形挙動の研究が近年盛んである。浜らは、この手法を用いて、集合組織の予測だけでなく、様々な変形モード（反転負荷や非比例負荷等）に対するマクロな力学特性を、煩雑な材料試験を実施することなく予測する試みにおいて成果を上げている（図3）[4][5]。

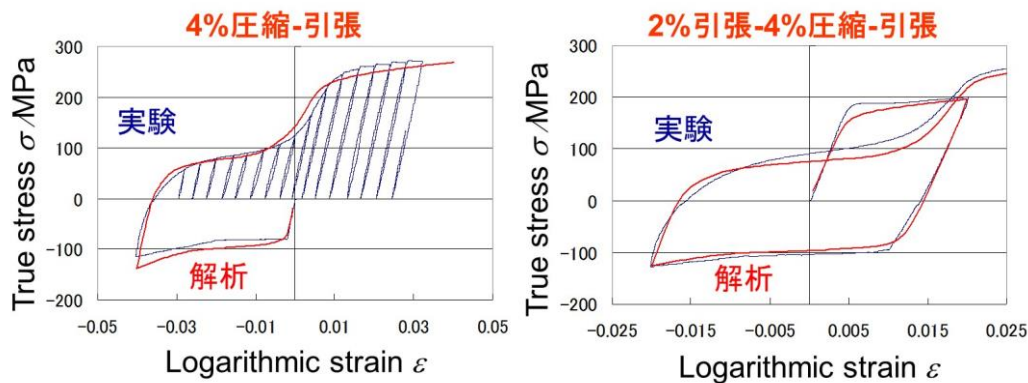


図3. マグネシウム合金板の繰り返し塑性変形における結晶塑性解析結果と実験結果の比較

しかし、結晶塑性有限要素法においては、単結晶レベルでの正確なすべり抵抗、転位密度や粒界による影響、ひずみ速度依存性など、これまで十分にモデル化されていない点が多く、特に高張力鋼板の主要な結晶構造である BCC（体心立方格子）に対しては未解明な部分が多い。したがって今後、より高度な解析技術に発展するための課題が大きく残されている。

そこで、筆者らは理研小型中性子源（RANS）を用いたパルス中性子回折やブラッグエッジイメージングを活用して、塑性変形中の鉄鋼材料マイクロ組織の変化を観察し、得られた情報を結晶塑性解析におけるすべり抵抗モデルあるいは転位密度モデルに反映させることを計画中である。結晶粒レベルのメゾスコピックな変形挙動からマクロな変形挙動を予測する結晶塑性シミュレーションと組み合わせる計測・観察手法としては、得られる情報が局所的となる EBSD よりは、マクロな領域に対する統計的な情報となる中性子ビーム計測の方が適していると考えられる。上記結晶塑性解析の高度化の過程で、マイクロ組織情報（バルク平均）計測結果とマクロな力学特性の関係性の理解が深まり、新たな知見につながるとともに、より高性能な新材料開発に向けての、理想的なマイクロ組織に関する指針を得ることを目指している。さらには、実用レベルのマクロスコピックな塑性加工シミュレーションの革新にも期待が持てる。

参考文献

- [1] Takamura, M., Ozaki, T., Miyoshi, Y., Sunaga, H., & Takahashi, S.: Proc. ICTP 2011, (2011), 591.
- [2] M. Takamura, S. Nishimura and H. Sunaga: Key Engineering Materials, Vols. 554-557 (2013), 1331-1337. doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.554-557.1331
- [3] 池田義雅, 高村正人, 鈴木裕士, 浜孝之, 大場洋次郎, 熊谷正芳: 鉄鋼協会第 169 回春季講演大会, (2015-3), 240.
- [4] Hama, T. & Takuda, H., Int. J. Plasticity, 27 (2011), 1072.
- [5] Hama, T., Kitamura, N. & Takuda, H., Mtaer. Sci. Engng., A 583 (2013), 232.