

中性子ビーム計測と弾塑性 FEM による金属のメソスケール変形解析 Meso-scale Deformation Analysis for Metallic Materials by Using Neutron Beam Measurement and Elasto-plastic FEM

高村正人、池田義雅、竹谷篤、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要請が厳しさを増し、高張力鋼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。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 (図 1) [1]。しかしながら、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。

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変形を経た状態で、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が観察されているが、バックグラウンドの低減や波長分解能の改善の面で課題がある。

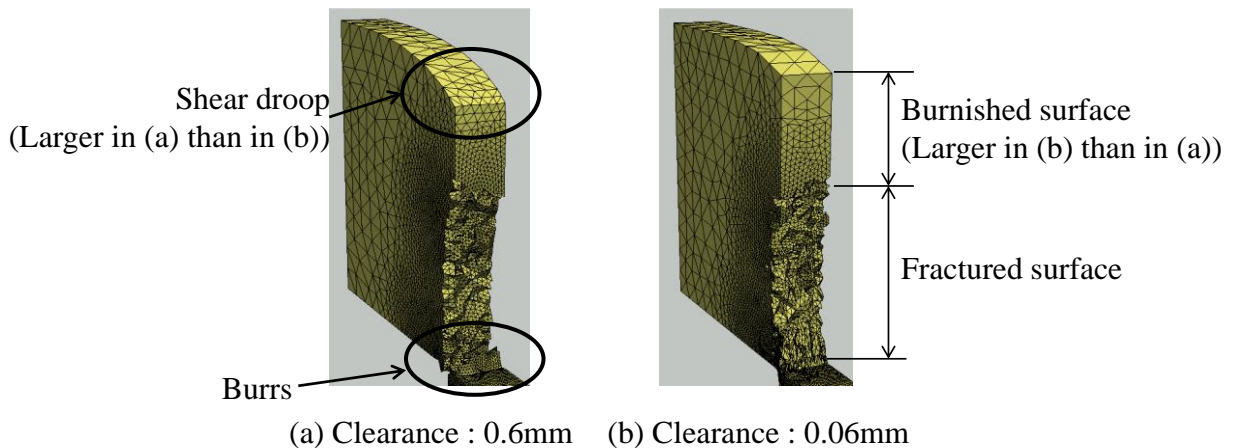
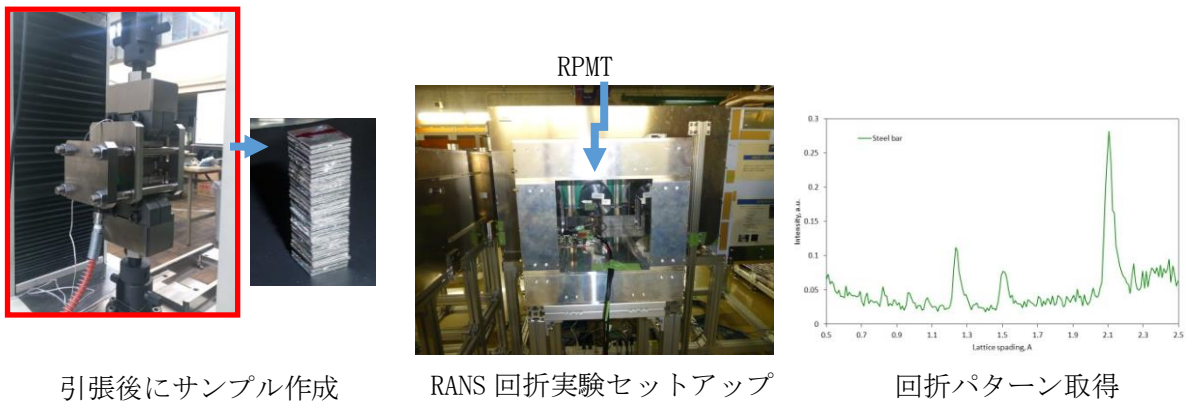


図 1. 板厚 6mm のクロム・モリブデン鋼のせん断過程のシミュレーション結果
(a) ダイ・パンチ間クリアランス 0.6mm、(b) ダイ・パンチ間クリアランス 0.06mm



引張後にサンプル作成

RANS 回折実験セットアップ

回折パターン取得

図 2. RANS における回折実験

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」の研究が近年盛んである。例えば浜らは、この手法を用いて、集合組織の予測だけでなく、単軸引張時の応力-ひずみ曲線や除荷時の非線形挙動などのマクロな力学挙動を予測することに成功した（図3）[2]。

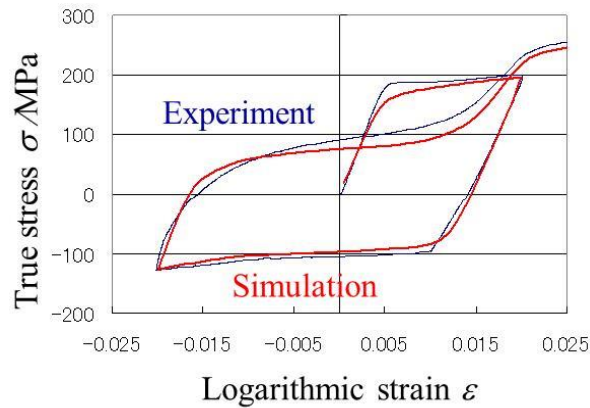


図3. マグネシウム合金板の繰り返し塑性変形における結晶塑性解析結果と実験結果の比較[2]

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や転位密度による影響など、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、メゾスコピックな変形メカニズムが十分に解明されていないため解析手法も未発達である。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等を活用して、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においては、対象とするメゾスケールが中性子測定で得られるスケールと同程度と考えられるため、中性子測定と結晶塑性シミュレーションは非常に親和性の高い技術であると考えられる。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] Hama, T. & Takuda, H., Int. J. Plasticity, 27 (2011), 1072.