

結晶粒形状に注目した強度特性評価による材質制御・材料保全法の検討

Investigation of Material Control and Material Maintenance Method by
Evaluation of Strength Properties Considering Grain Shape

大阪大学大学院工学研究科	原田 直樹	Naoki HARADA
大阪大学大学院工学研究科	勝山 仁哉	Jinya KATSUYAMA
大阪大学大学院工学研究科	樋口 良太	Ryota HIGUCHI
大阪大学大学院工学研究科	望月 正人	Masahito MOCHIZUKI
大阪大学大学院工学研究科	豊田 政男	Masao TOYODA
		Member
		Member

This study proposes a numerical analysis method for evaluation of strength properties related with material control and material maintenance. The method using generalized Voronoi diagram for modeling of heterogeneity of grain shape is proposed. Effect of grain shape on strength properties is analyzed by the finite element method.

Keywords: Material Control, Material Maintenance, Grain Shape, Strength Properties, Generalized Voronoi Diagram, FEM

1. 緒言

構造物の破損事例中、SCC や疲労に起因する事故は高い比率を占め[1]、これらの問題は、力学、材料、環境の諸因子が同時に働くことによって起こる。材料強度特性は組織形態と密接に関連することが知られており、材料保全の観点から組織形態と局所的な応力一歪場特性との関係を解明することは重要である。そこで上記の問題解決のための基礎的研究として、本研究では結晶粒形状に注目し、実際の結晶粒形状を反映させた数値解析モデルによって組織形態と強度特性との関係を検討した。

2. 結晶粒形状の定量化

結晶粒形状を定量的に評価するために、フェライト鋼を対象に結晶粒の粒径、アスペクト比、主軸角度をEBSP-OIM 法により測定した。結晶粒形状は結晶粒を橢円に近似することにより定量化した。結晶粒径は面積が等しい円と仮定した場合の直径、アスペクト比は橢円の‘短軸の長さ/長軸の長さ’、主軸角度は橢円の長軸と水平方向の角度と定義した。測定の結果、結晶粒径は対数正規分布、アスペクト比が正規分布に従い、主軸角度が不規則な分布を呈しているということが分かった。

連絡先: 望月正人、〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1、
大阪大学大学院工学研究科、電話: 06-6879-7560、
e-mail:mmochi@mapse.eng.osaka-u.ac.jp

3. 結晶粒形状のモデル化

結晶粒形状を数学的に表現する方法として一般図形ボロノイ図[2]を利用する方法を提案した。一般図形ボロノイ図とは Fig. 1 に示すように、平面上に生成元とよばれる図形(点線)を互いに共通部分をもたないよう配置したとき、平面上の点をどの生成元に最も近いかに従って分割した図(実線)である。生成元となる図形に結晶粒径、アスペクト比、主軸角度の分布を反映させた橢円を用いれば、分割後の図形は、橢円に比べ若干粒径は大きくなるものの、アスペクト比や主軸角度はほぼ等しくなり、実際の鋼材に近い結晶粒形状を得ることができる。

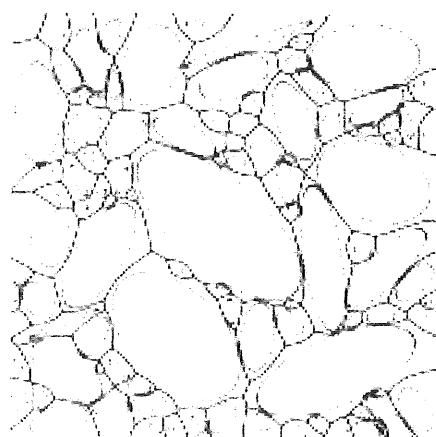


Fig. 1 Example of generalized Voronoi diagram.

4. 結晶粒形状と強度特性との関係の検討

結晶粒の粒径、アスペクト比、主軸角度の3つの因子が強度特性に及ぼす影響を検証するため汎用コードABAQUS ver6.4を使用して解析を実施した。Fig. 2に示すような30個の結晶粒の集合に、引張荷重を加えた場合の応力分布、伸びを調べた。各結晶粒の界面面ではすべりを考慮しているが、界面は剥離しないと仮定した。また、すべての結晶粒の応力-歪特性を均一とし、結晶粒形状因子の分布の影響を考慮するため、Table 1に示す結晶粒形態の条件で解析を行った。

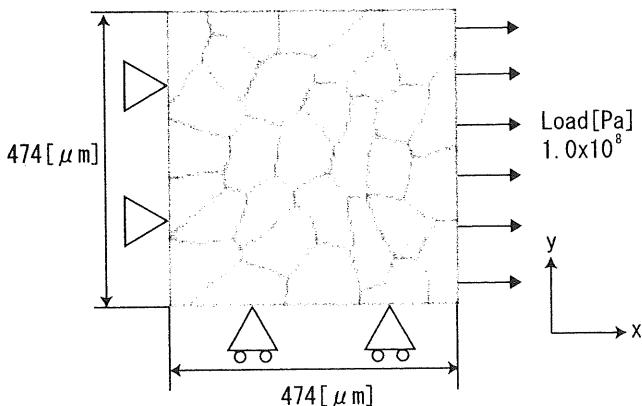


Fig. 2 Boundary condition for FE-analysis.

Table 1 Condition of grain shape for FE-analysis.

case	Distribution type		
	Grain diameter	Aspect ratio	Grain orientation
1	Lognormal		
2	Constant		
3			
4			
5	Lognormal	Constant (Mean value)	Random
6			
7			
		Normal	
			Constant (0°)
			Constant (90°)

各ケースにおける伸び、負荷方向の塑性域の割合をFig. 3に示す。結晶粒形状が異なると強度特性にも違いが生じることがわかる。結晶粒径が一定である場合の方が対数正規分布に従っている場合と比べて伸びが大きく、塑性域の割合は2倍以上の差が見られる。またアスペクト比が一定であるケースの方が正規分布に従っている場合と比べて伸び、塑性域共に1.5倍以上大きい。アスペクト比を一定にした場合では、結

晶粒が偏平になるに従って高応力領域、伸びとともに大きくなっている。主軸角度が引張方向の水平および垂直方向に揃うと主軸角度が揃っていない場合と比べて3重点において応力集中が起こる箇所が多くなることがわかった。また垂直方向に揃えた場合では引張方向と垂直な粒界で引張の応力集中が起こる箇所が多くなり、大きな伸びを示している。

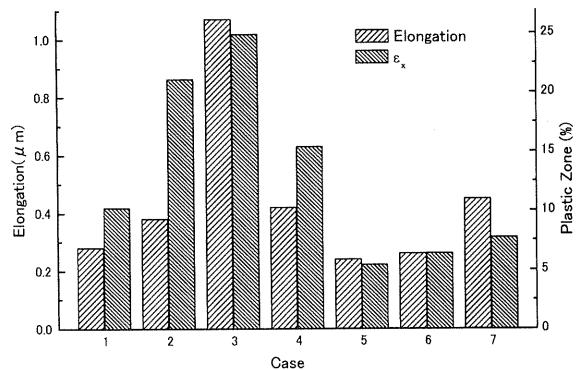


Fig. 3 Effect of grain shape on strength properties.

5. 結言

- フェライト鋼において結晶粒の粒径、アスペクト比、主軸角度を測定し、それぞれが特定の分布に従っていることを確かめた。
- 結晶粒形状の分布を考慮できる結晶粒形態モデル化手法として一般図形ボロノイ図を利用した方法を提案した。
- 提案したモデル化手法を用いて解析を実施し、結晶粒の粒径、アスペクト比、主軸角度の3つの因子が強度特性に及ぼす影響を検証した。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省21世紀COEプログラム「構造・材料先進材料デザイン拠点の形成(研究代表者：馬越佑吉大阪大学教授)」事業推進費補助金、ならびに科学研究費補助金・基盤研究(B)：課題番号17360418の補助を受けて実施したものである。

参考文献

- [1] T. G. “腐食事例”編著、応力腐食割れの事例の収集と解析、日本材料学会防食部門委員会編、1978、p.15.
- [2] 杉原 厚吉、“FORTRAN 計算幾何プログラミング”、岩波書店(1998).