

## まえがき

プラスチック材料は粘弾性という弾性的な性質と粘っこい粘性的な性質を有する素材であり、これらの性質は時間ならびに温度によっていずれかの挙動あるいは共存する挙動として現れることから取り扱いが困難である。軽量化と成形の容易性からプラスチック成形品の使用が進み、高信頼性が要求される箇所にも適用が拡大している。

一方で、成形時の不良や成形品の経時的な強度低下や変形が予想もしない事故を引き起こす危険性もあり、成形不良の要因を把握し素材の特性を考慮した強度、変形の長期予測手法の確立が求められている。

プラスチック成形品の強度低下、割れ、経時変形あるいは光学的ひずみ等の不良は、成形時に生ずる残留ひずみ、残留応力に起因するところが大きい。プラスチックの残留ひずみ、残留応力は成形過程における流動や不均一な冷却等と素材の結晶化、配向、硬化/固化、および熱収縮さらに力学的挙動の著しい時間および温度依存性等が複雑に影響し合うことにより生ずることから、その取り扱いはかなり困難である。

プラスチックの成形は、射出成形、押出成形、ブロー成形等の種々の方法で行われるが、いずれの成形方法でも加熱による熔融状態で流動により所定の形状が賦与された後、固化、冷却される。この固化、冷却の段階では、プラスチックは熔融状態から凝固あるいは硬化反応により固化した後、冷却による温度の低下あるいは硬化反応の進行に伴い軟らかいゴム状態から粘弾性そして硬いガラス状態へとその力学的挙動が大きく変化し、同時に凝固、硬化および冷却に伴う収縮を生じ、いわゆる熱粘弾性挙動を示す。そして固化、冷却の段階で外部からの冷却や内部での発熱が大きいとプラスチック内部には温度分布が生じ、場所により力学的挙動に差異を生じることにより、大きな残留ひずみ、残留応力が発生する。

また、近年、資源節約や環境問題が世界規模で重要視されている。資源節約

に関しては、廃棄物の再利用ならびに再生利用に関する取り組みが国内でも地域レベルで検討されている。また、環境問題としては、オゾン層破壊や地球温暖化を引き起こす有害ガスの使用禁止ならびに規制が強化されている。プラスチックの中に空気を入れたいいわゆる発泡プラスチックは、空気を導入することにより材料低減が図れて資源節約に寄与するが、気泡を導入する発泡剤がこれまでオゾン層の破壊を引き起こすクロロフルオロカーボン（CFCs：通称フロン）や有機系溶剤が使用され環境問題となっている。

発泡プラスチックは、軽量性、断熱性、緩衝性、浮揚性、そして電気的特性に優れているため、断熱材、梱包材料などとしてさまざまな分野で使用されている。発泡成形技術も種々に開発され実用に供している。しかしながら、従来の発泡体は内部に有する空隙により、軽量化等が可能であるが逆にそれが内部欠陥となり、強度の低下を免れないといった欠点を有している。近年、環境に優しい物理的発泡剤を用いて、発泡体の気泡を制御することで、軽量化とともに強度特性やその他諸特性の向上が望める各種発泡体の製造が可能になりつつあり、この種の研究・開発が鋭意行われている。

これらのプラスチック成形品の精度向上や発泡プラスチックの発泡制御は、素材の粘弾性特性を基準とすることで容易に行うことが可能である。しかしながら、プラスチックの粘弾性特性に関する専門書が少ないことから、プラスチック成形品の成形条件の特定や不良対策は未だに試行錯誤あるいは経験に頼って行われているのが現状である。

本書は、長年にわたって行ってきた著者の研究内容を基に、プラスチック関係に携わる若手技術者を対象に、粘弾性特性の取り扱いならびに粘弾性特性に基づくプラスチック成形品の不良対策や発泡プラスチックの制御方法について、具体例を多用し現場で役立つ解説書としてまとめたものである。

本書は、第1章 プラスチックの粘弾性特性、第2章 成形不良要因とその対策法、第3章 発泡成形プロセスと発泡制御法の3項目から構成した。

第1章では、素材の粘弾性挙動の概念を平易に記述するとともにその具体的な取り扱いについて記述した。次いで、経時的な挙動を定量的に把握することが可能な素材の力学的挙動に成立する時間と温度の等価性について記述した。

第2章では、プラスチック成形品の成形不良の要因となる残留ひずみ、残留

応力の発生メカニズムを素材の粘弾性挙動と関連づけて記述するとともに、それらが時間経過や温度上昇とともに解放する場合の予測手法を記述した。さらに、等価性つまり時間-温度換算則を基礎として、プラスチック成形品の経時的な強度低下や変形の長期予測を行う手法について記述した。

第3章では、発泡体の強度向上が図れる設計法、任意の気泡を有する発泡体の成形プロセスや成形条件の選定に関する基準ならびに発泡に必要な素材特性について記述した。プラスチック材料は、上述のように粘弾性という弾性的な性質と粘っこい粘性的な性質を有する素材であり、これらの性質は時間ならびに温度によっていずれかの挙動あるいは共存する挙動として現れることから取り扱いが困難である。しかしながら、粘弾性特性を示すがゆえに所望の気泡を有する発泡体の設計が可能となる。この素材の粘弾性特性を1つの基準とした発泡体の設計法について記述した。

ここで記述した内容は、初めてプラスチック材料を扱う技術者や、若手技術者、ならびに熟練した技術者にとっても、プラスチックの特異な特性をご理解頂き、この特性に基づいてプラスチック成形品の不良対策ならびに発泡プラスチックの成形プロセスの検討が容易に行えるものと確信している。

プラスチック成形品の成形条件や不良対策ならびに発泡プラスチックの成形プロセスや成形条件の決定は、上述のように勘や経験または試行錯誤的に行われているのが現状である。本書を参考にすることで、このように試行錯誤的に行われている事柄が、素材の粘弾性特性といった1つの基準を基に系統立てて扱えることをご理解頂けることを願っている。

終わりに、本書に記述した内容は多くの研究仲間、多くの企業のご支援、ご協力によって成し得たものであり、深く感謝の意を表したい。特に、プラスチックの成形不良に関する内容は、金沢工業大学在職中に機械工学科の宮野 靖博士のご指導の下で始めた研究成果をまとめたものであり、宮野博士ならびに在籍中の学生や研究協力者に心から感謝の意を表したい。

また、発泡プラスチックに関する内容は、マサチューセッツ工科大学に客員研究員として滞在した機会に機械工学科の N. P. Suh 博士のご指導の下で始めた研究成果をまとめたものであり、Suh 博士ならびに滞在中にお世話になった研究仲間ならびに在籍中の学生、研究協力者に厚く感謝の意を表したい。最

後に、出版に至るまで原稿構成等にご尽力を頂いた共立出版(株)の岩下孝男氏、瀬水勝良氏にお礼を申し上げます。

2013年6月

著 者