

平成 13 年 1 月 16 日

機能材料 工学専攻	学籍番号	943513
申請者氏名	清水 悟史	

指導教官氏名	逆井 基次 小林 俊郎
--------	----------------

論文要旨 (博士)

論文題目	力学物性研究への圧子力学の構築と適用
------	--------------------

(要旨 1,200 字程度)

材料の力学的な特性評価として「硬度」というものが、金属材料からセラミックス材料に至るまで幅広く用いられている。この硬度の数値化は、一般的にも良く知られているモース硬度が 19 世紀前半に提案されて以来、20 世紀前半までに様々な手法が開発されてきた。その手法の 1 つにダイヤモンドでできた非常に硬い圧子を材料に押し込む圧子圧入試験がある。圧子圧入試験では非常に微小な試料においても硬度の測定が可能であること、通常の試験では考えられない非常に高応力負荷試験が可能であることなど、その有用性は非常に高い。圧子を押し込んだ後の試料表面に残ったくぼみ (圧痕) の観察から算出する「圧入硬度」はもちろんのこと、脆性材料においては経験的に圧痕近傍に発生した亀裂の長さから得られる「破壊靱性値」、圧子の圧入・除荷時に発生する荷重 (P) と圧入深さ (h) を測定する P - h 履歴曲線から求められる「弾性定数」などが現在実用化されている。「圧子力学」と呼称するこれらの圧子圧入試験における関する研究は、Hertz における球体接触の弾性解の導出以来、材料変形機構の違いによる個々の分野での発展に過ぎず、根本的な疑問である「硬さとは何なのか？」という科学的根拠は依然曖昧なままである。

本論文の目的は、これまで無秩序な発展をして来た圧子力学の本質を見抜くことにより、体系的な圧子力学という分野の構築を目的としている。その解決法として新規な考察に基づく理論的考察と新たに開発した試験装置による実験的検証を非時間依存型変形 (弾塑性変形) と時間依存型変形 (粘弾性変形) に大別し議論した。

非時間依存変形における理論的考察から、弾性論においては非常に複雑な計算を要する圧子力学の弾性解が、新たに定義した代表応力代表ひずみを用いることにより単純なフック則から得られることから、圧子力学の工学的な単純化に成功した。さらに、単純な弾塑性モデルを用いた理論構築から、圧子圧入試験による弾性変形と塑性変形の分離評価が可能となった。既存の圧子圧入試験機の問題点を克服した圧入荷重 (P) と圧入深さ (h) の測定できる試験機を新規に試作し、鋭角圧子では P と h の関係に単純な二乗則が成り立つことを示し、試験装置のたわみが試験結果に影響することも分かった。また、圧入硬度とは材料の弾性率や圧子形状に依存する機械特性値であることを明確にした。

時間依存型変形の圧子力学の理論構築では Boltzmann の重畳積分を適用することにより粘弾性構成方程式の一般解導出に成功し、粘弾性解析において重要となる緩和弾性率やクリープコンプライアンスが圧子圧入試験により求められることを見出した。室温近傍で圧入荷重と圧入深さの測定できる二種類の異なる試験装置を試作し、アモルファスセレン及び沃素変性ピッチにおける試験結果から理論的解析手法の確証を得た。高温 ($\sim 1200^{\circ}\text{C}$) での変形挙動観察への応用のため、新たに試作した試験装置を用いたソーダライムガラスにおける試験から装置の信頼性を確認し、各種無機ガラスにおける試験から圧子圧入試験による定量的粘弾性挙動解析が可能であることを示した。

弾塑性から粘弾性変形に至る圧子力学の構築及び適用を通じ、工学的な圧子力学における重要な知見が得られた。また、圧子圧入試験が材料の力学特性の全評価手法としての可能性が見出された。