

3.3.3 超微小硬さに及ぼす表面粗さの影響

図 3-15 から図 3-22 に、超微小硬さと表面粗さ（算術平均粗さ）との関係を示す。図 3-15 は押し込み荷重が 10mgf、図 3-16 は押し込み荷重が 50mgf、図 3-17 は押し込み荷重が 100mgf、図 3-18 は押し込み荷重が 500mgf、図 3-19 は押し込み荷重が 1gf、図 3-20 は押し込み荷重が 5gf、図 3-21 は押し込み荷重が 10gf の場合である。図 3-22 にはそれらの結果をまとめて示す。また、図 3-15 から図 3-21 は、測定データを変動幅で示してある。

これらの結果から、超微小硬さは圧子の押し込み荷重が概ね 1gf 以上の場合には、表面粗さが増加しても超微小硬さの値はほぼ一定の値を示す傾向を示すが、これに対して、圧子の押し込み荷重が 500mgf 以下の場合には、超微小硬さの値は表面粗さによって増減する（変動幅が大きくなる）傾向を示す。全体の傾向としては、押し込み荷重が大きいほど低い超微小硬さの値を、小さいほど高い超微小硬さの値を示すことが分かる。特に、押し込み荷重が 100mgf 以下の場合には、超微小硬さの値が表面粗さの増加とともに多少増減する傾向を示し、超微小硬さの値は一定の傾向を示さないことが分かる。このことは、低押し込み荷重（100mgf 以下）になるに従って表面粗さの影響を直接圧子が受けるために圧子表面が受ける軸方向の力が不安定となり、その結果として超微小硬さの値が一定値を示さなくなるものと考えられる。測定データの変動幅については、押し込み荷重が小さく表面粗さが大きいほど、測定データの変動幅は大きく、押し込み荷重が大きく表面粗さが小さくなるにつれて、その変動幅は小さくなる傾向を示す。これは、圧子と試料表面との接触状態によるものと考えられ、押し込み荷重が小さく表面粗さが大きい場合には、より圧子と試料表面との接触状態が不安定となるために、変動幅が大きくなるものと考えられる。

以上の結果を踏まえて、従来の研究の結果と比較検討すると、従来からの比較的高荷重領域においては、試料の表面粗さが硬さの値に影響を及ぼす結果を得ているのに対して、超微小荷重領域においては、ほとんど影響されない結果を得た。この点から、硬さ試験には、サイズによる効果が存在するということが明らかになった。

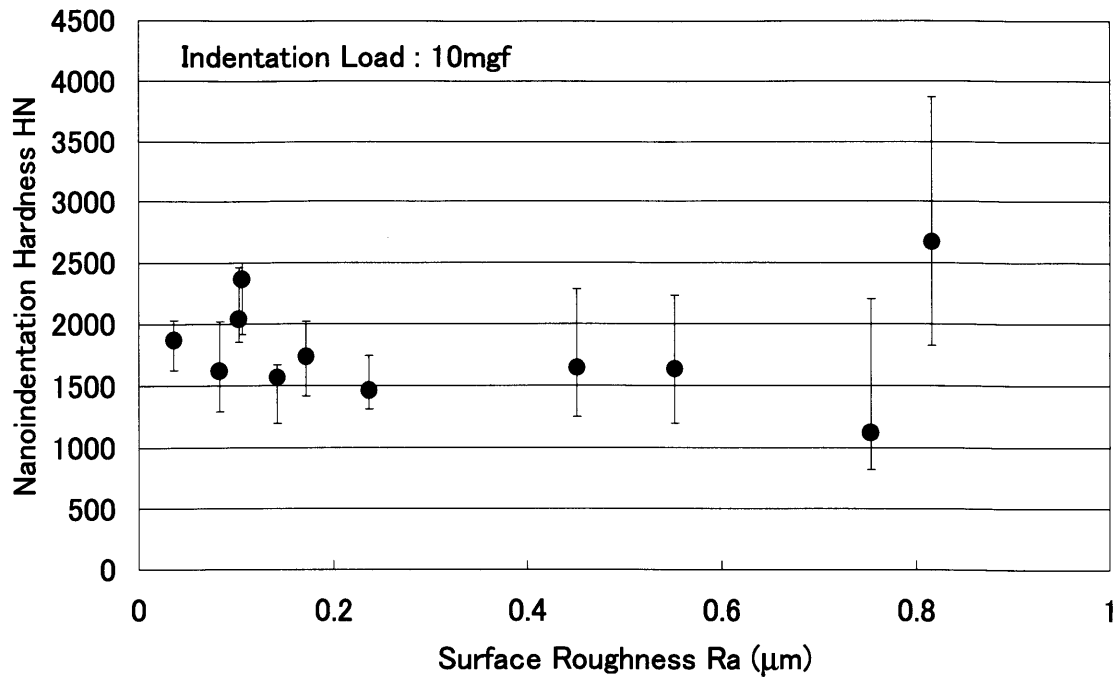


図 3-15 超微小硬さと算術平均粗さとの関係
(押し込み荷重 : 10mgf)

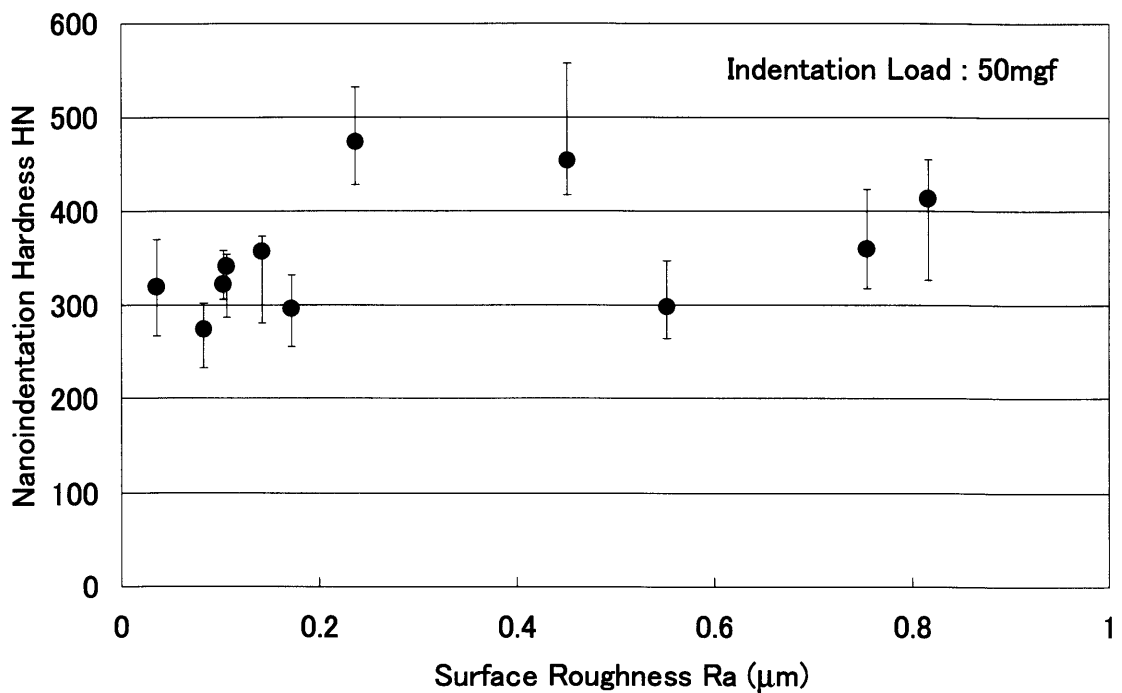


図 3-16 超微小硬さと算術平均粗さとの関係
(押し込み荷重 : 50mgf)

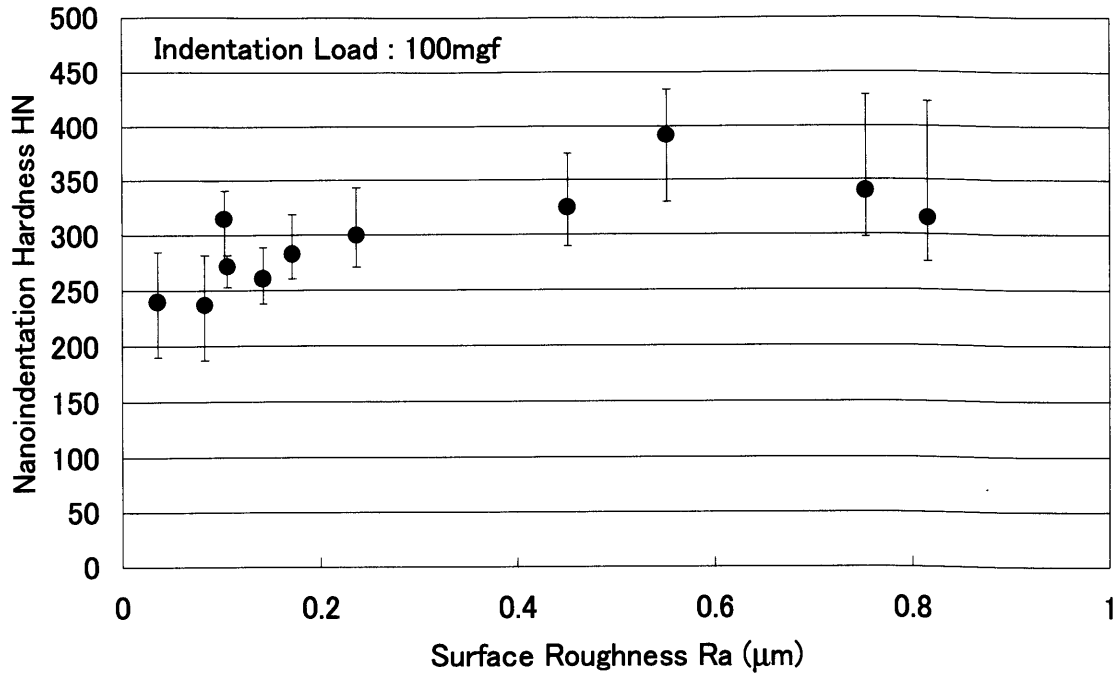


図 3-17 超微小硬さと算術平均粗さとの関係
(押し込み荷重 : 100mgf)

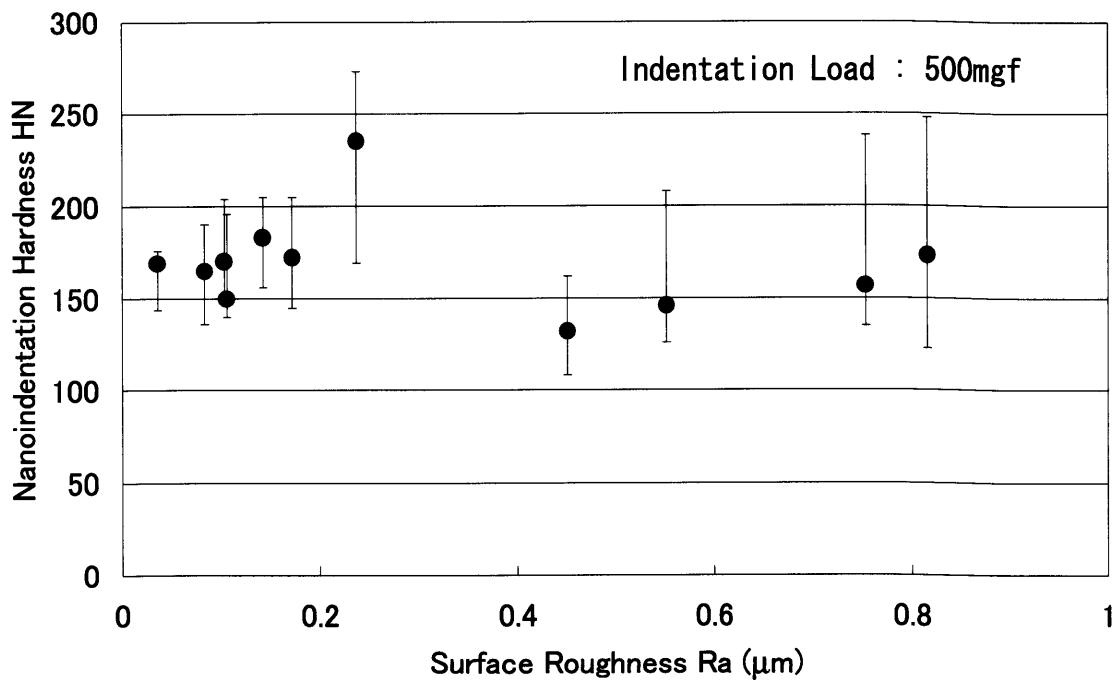


図 3-18 超微小硬さと算術平均粗さとの関係
(押し込み荷重 : 500mgf)

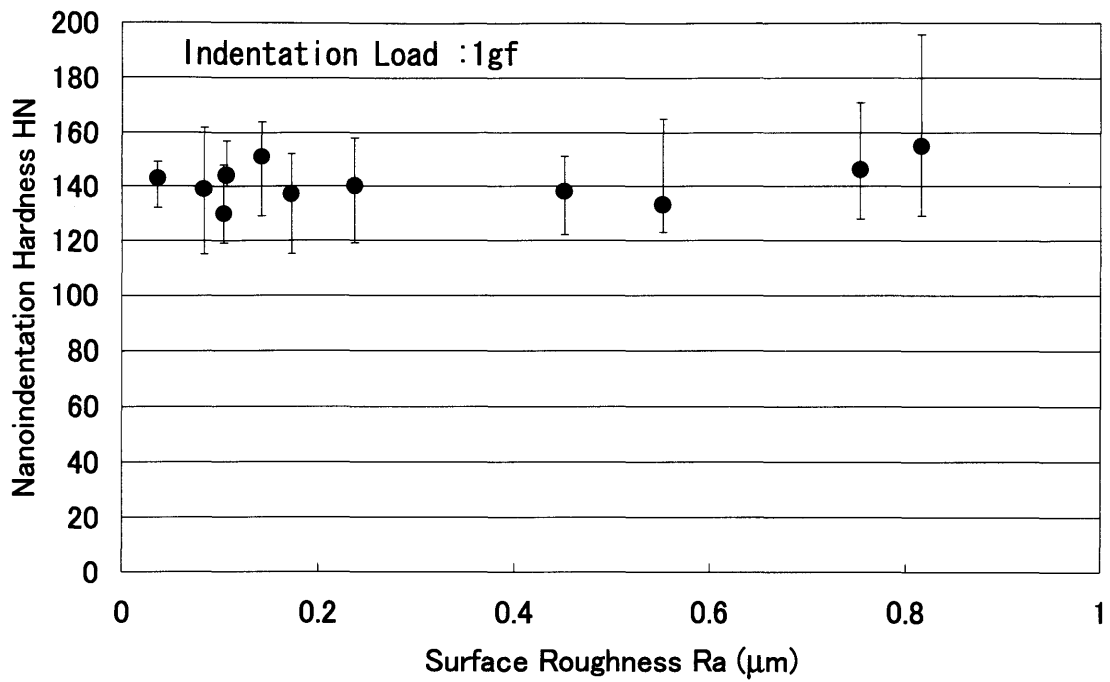


図 3-19 超微小硬さと算術平均粗さとの関係
(押し込み荷重 : 1gf)

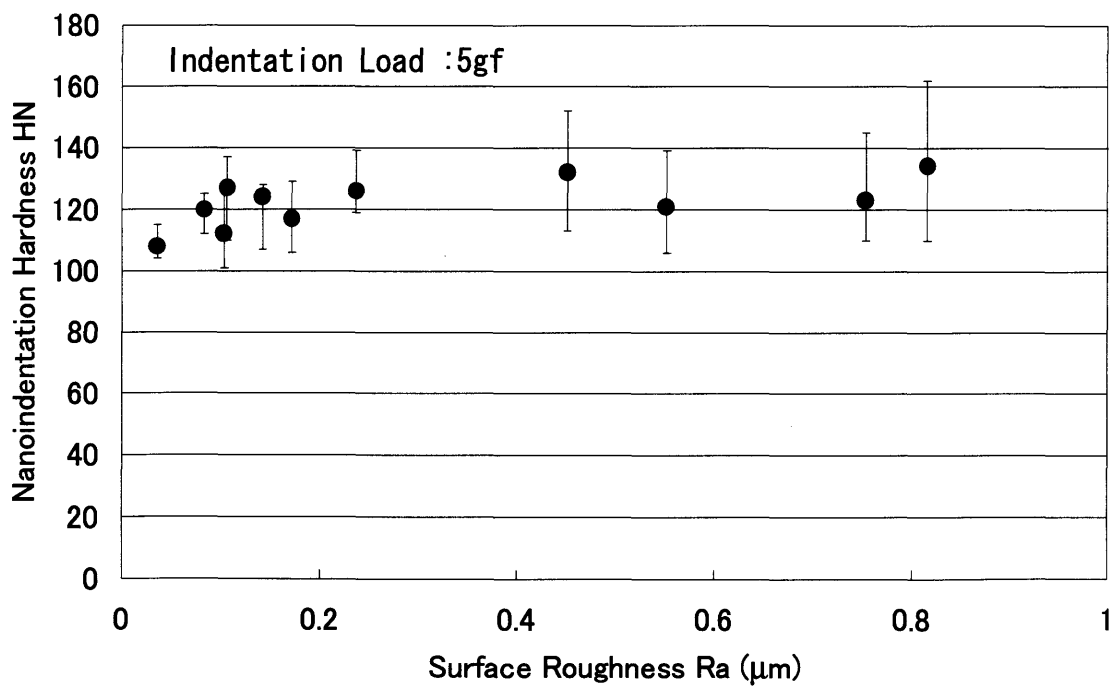


図 3-20 超微小硬さと算術平均粗さとの関係
(押し込み荷重 : 5gf)

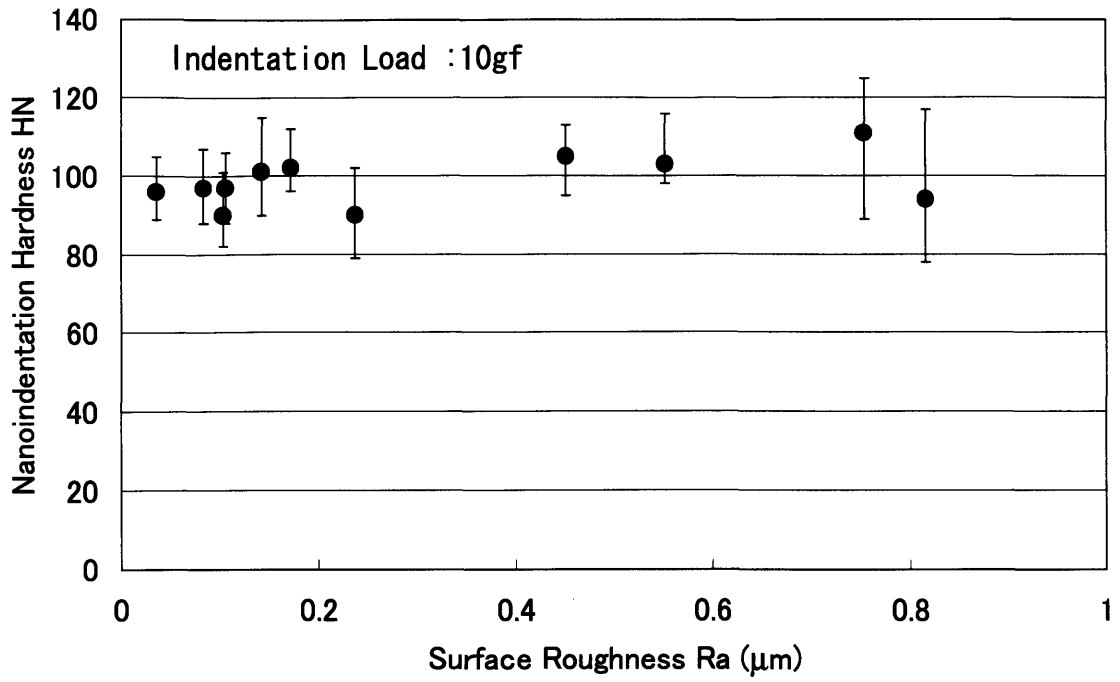


図 3-21 超微小硬さと算術平均粗さとの関係
(押し込み荷重 : 10gf)

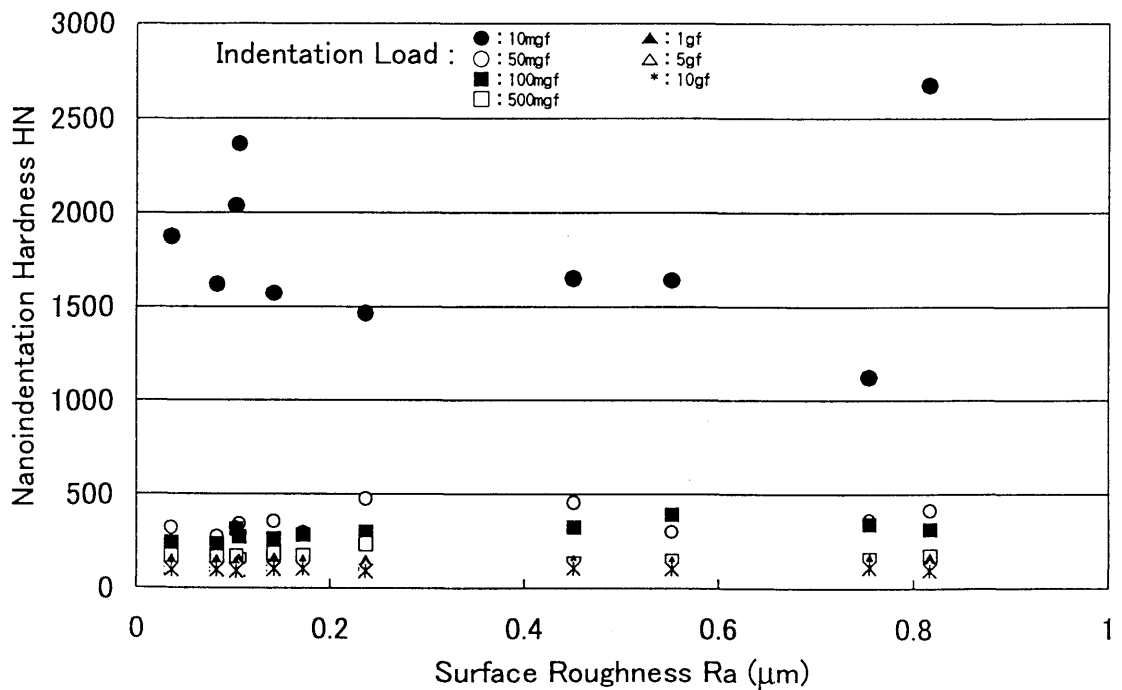


図 3-22 超微小硬さと算術平均粗さとの関係

3.3.4 SEMによるくぼみの観察

さて、超微小硬さ試験において、押し込み荷重と圧子の押し込み深さとの関係は基礎データとして重要であるが、それと併せて、くぼみの形状を観察することも硬さを評価する上で重要である。本項では、各条件におけるくぼみのSEM写真を示す。

図 3-23 から図 3-31 に、くぼみの SEM 写真を示す。図 3-23 は、算術平均粗さ R_a が $0.036 \mu\text{m}$ で、押し込み荷重が 2gf の場合である。図 3-24, 図 3-25 には、算術平均粗さ R_a が $0.083 \mu\text{m}$ で押し込み荷重が 1gf と 10gf の場合を、図 3-26 から図 3-29 には、算術平均粗さ R_a が $0.103 \mu\text{m}$ で押し込み荷重が 1gf , 2gf , 5gf , 10gf の場合のくぼみの SEM 写真を示す。また、図 3-30 には、算術平均粗さ R_a が $0.237 \mu\text{m}$ で押し込み荷重が 10gf の場合を、図 3-31 には、算術平均粗さ R_a が $0.806 \mu\text{m}$ で押し込み荷重が 10gf の場合のくぼみの SEM 写真を示す。これから、算術平均粗さ R_a が $0.036 \mu\text{m}$ (光沢面) の場合には、比較的くぼみは鮮明に観察されるが、算術平均粗さ R_a が増加するに伴って表面粗さの影響のために、くぼみの形状が次第に不鮮明になることが分かる。

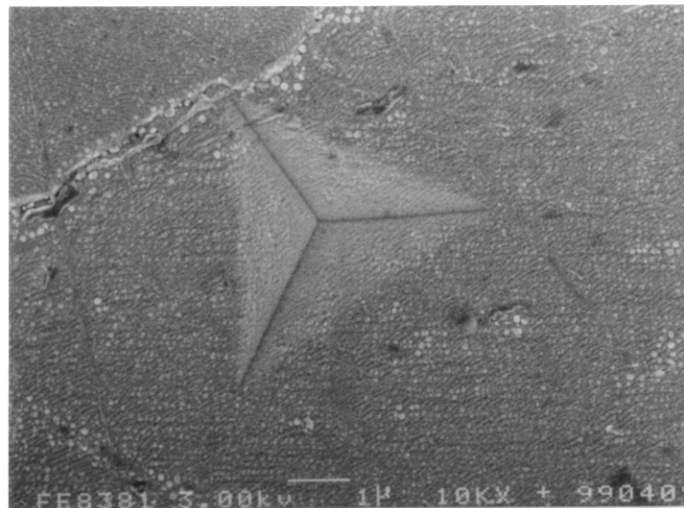


図 3-23 くぼみの SEM 写真

(算術平均粗さ R_a : $0.036 \mu\text{m}$, 押し込み荷重 : 2gf)

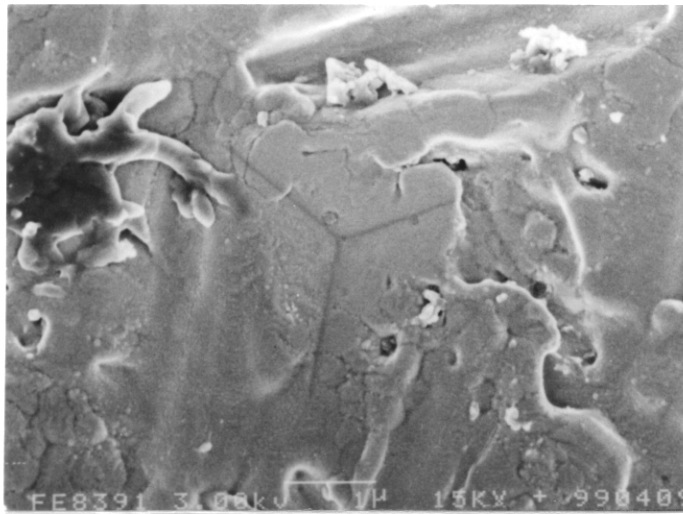


図 3-24 くぼみのSEM写真
(算術平均粗さ R_a : $0.083 \mu\text{m}$, 押し込み荷重 : 1gf)

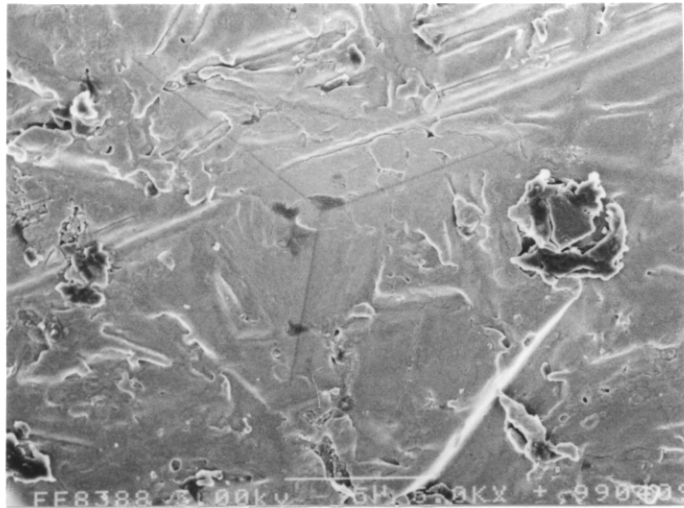


図 3-25 くぼみのSEM写真
(算術平均粗さ R_a : $0.083 \mu\text{m}$, 押し込み荷重 : 10gf)

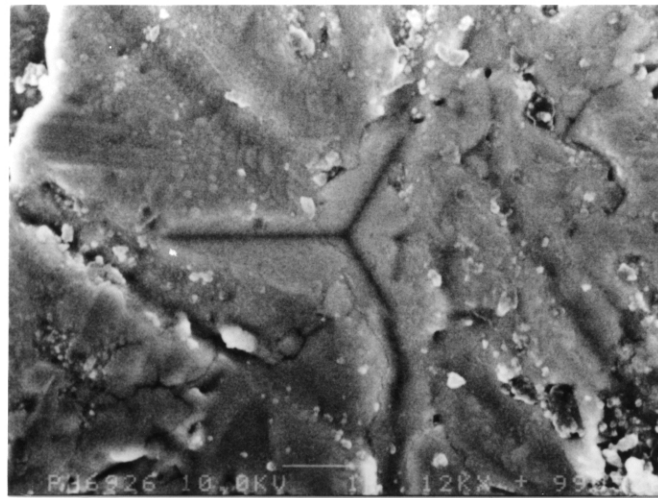


図 3-26 くぼみのSEM写真
(算術平均粗さ R_a : $0.103 \mu\text{m}$, 押込み荷重 : 1gf)

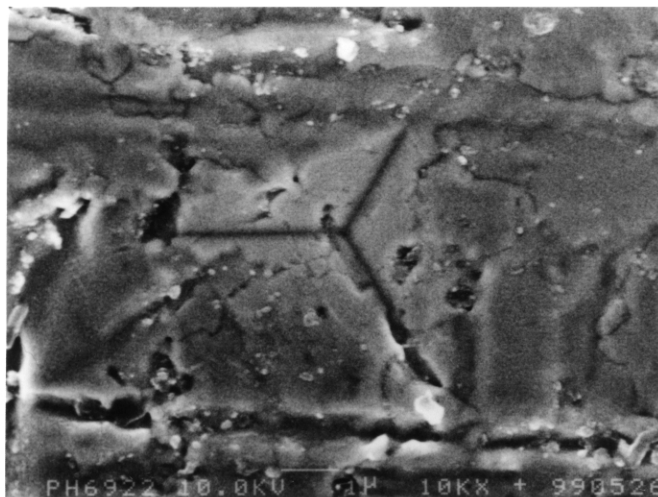


図 3-27 くぼみのSEM写真
(算術平均粗さ R_a : $0.103 \mu\text{m}$, 押込み荷重 : 2gf)

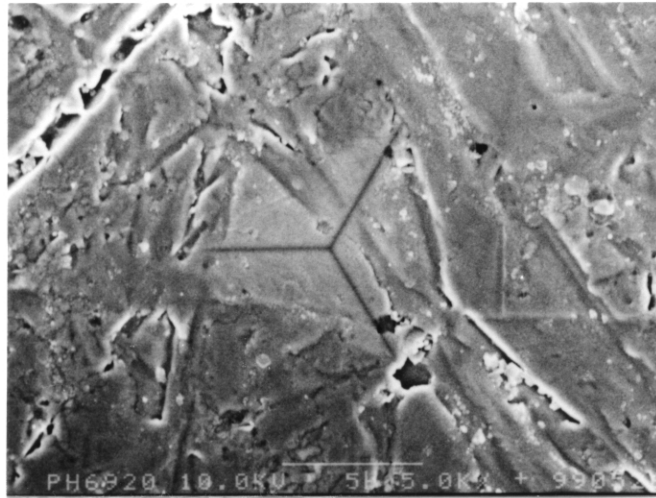


図 3-28 くぼみのSEM写真
(算術平均粗さ Ra : 0.103 μ m, 押込み荷重 : 5gf)



図 3-29 くぼみのSEM写真
(算術平均粗さ Ra : 0.103 μ m, 押込み荷重 : 10gf)

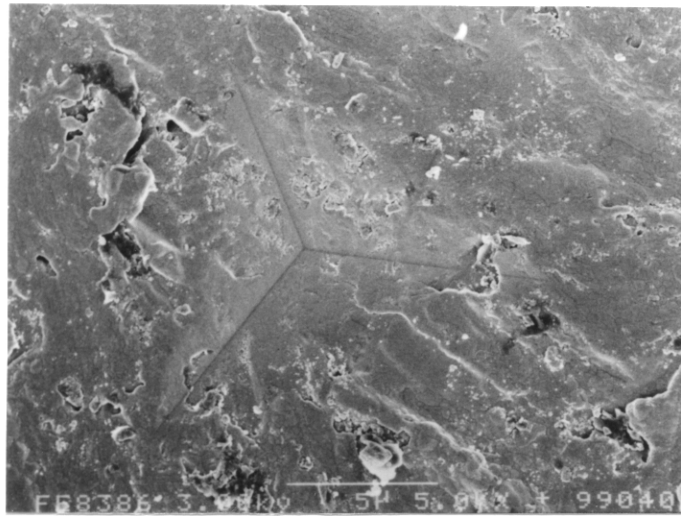


図 3-30 くぼみのSEM写真
(算術平均粗さ R_a : $0.237 \mu\text{m}$, 押込み荷重 : 10gf)

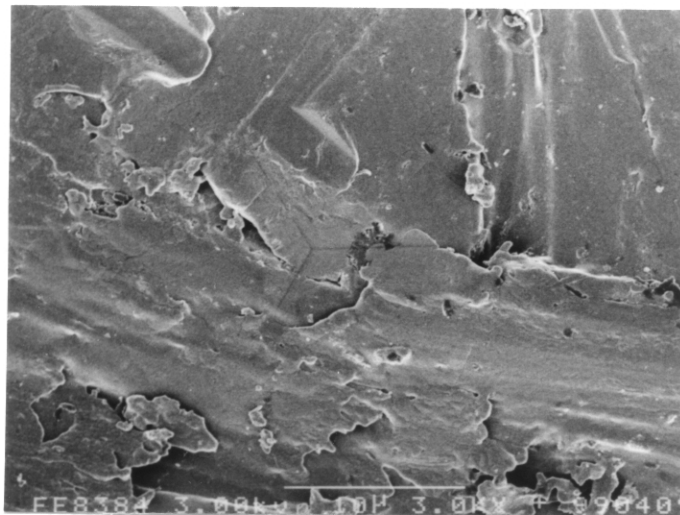


図 3-31 くぼみのSEM写真
(算術平均粗さ R_a : $0.806 \mu\text{m}$, 押込み荷重 : 10gf)

3.4 圧子先端の曲率半径を考慮した超微小硬さ特性⁽⁷⁾

本節では圧子の先端形状の違いが超微小硬さ値に及ぼす影響について説明することを目的に、ここでは第2章で示した圧子先端形状の異なった2種類の圧子、すなわち1)ほとんど使用していない圧子(理想的な圧子形状から考えると、圧子の中心軸方向に数nm摩耗したもの(図2-3参照)で、sharp tipと称している圧子: 図中sharp tipと示してある測定データ)と、2)かなりの頻度で使用した圧子(圧子の中心軸方向に約40nm摩耗したもの(図2-4参照)で、round tipと称している圧子: 図中round tipと示してある測定データ)の2種類の圧子を使用して、圧子先端の形状の違いが超微小硬さの値に及ぼす影響について検討を加える。なお、本実験においても測定終了後にSEMによりくぼみの観察を行ったが、sharp tipを使用した場合のくぼみの状態とほとんど差異が認められなかった。

3.4.1 押し込み荷重と圧子の押し込み深さとの関係

図3-32から図3-40に、押し込み荷重と圧子の押し込み深さとの関係を示す。まず、図3-32から図3-34には、算術平均粗さRaが $0.036\ \mu\text{m}$ の場合を、図3-35から図3-37には、算術平均粗さRaが $0.103\ \mu\text{m}$ の場合を、そして、図3-38から図3-40には、算術平均粗さRaが $0.816\ \mu\text{m}$ の場合について、各々押し込み荷重が100mgf, 1gf, 10gfの3種類を示す。また、図中には圧子先端形状が1)未使用の理想的な形状に近い圧子から考えると圧子の中心軸方向にほとんど摩耗していない場合(図中にはsharp tipとして示す)と2)かなりの頻度で使用した圧子で、圧子の中心軸方向に約40nm摩耗している場合(図中にはround tipとして示す)について示してある。これから、押し込み荷重の増加とともに圧子の押し込み深さも増加し、sharp tip, round tipともに同様の負荷-除荷特性線を示すことが分かる。押し込み深さについては、どの条件においてもsharp tipの方がround tipの場合よりも圧子が深く押し込まれていることが分かる。このことは、圧子先端がよりsharpであればある程、roundの場合と比較して圧子は、試料表面により押し込まれやすくなるということに起因するものと考えられる。

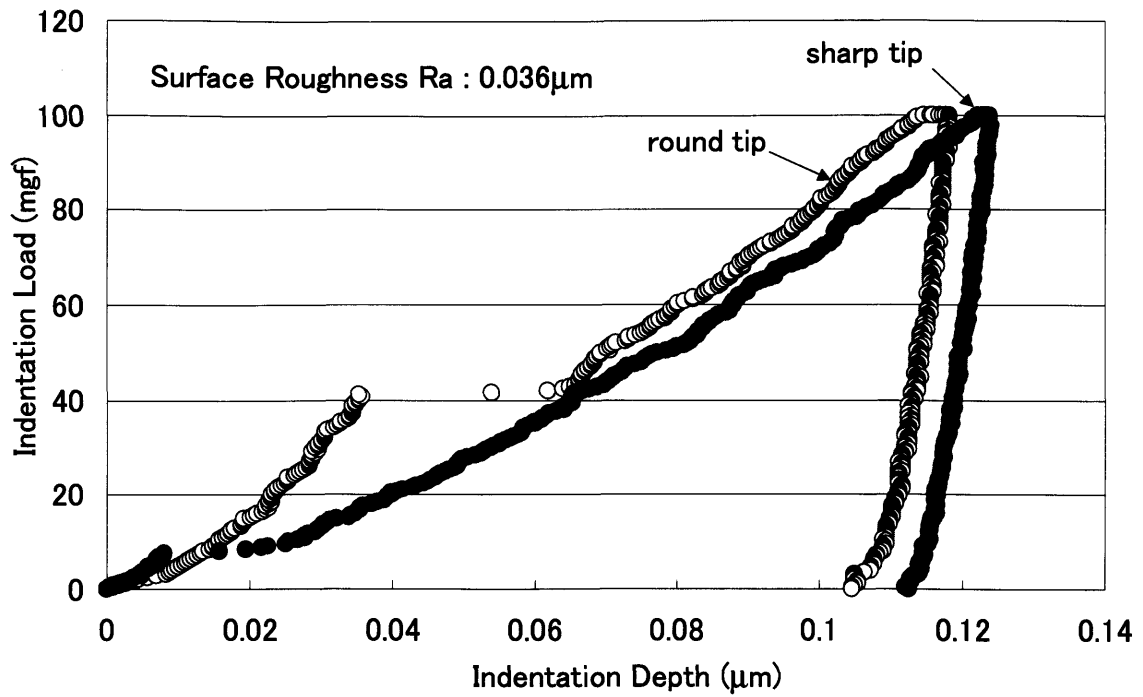


図 3-32 押し込み荷重と圧子の押し込み深さとの関係
(算術平均粗さ $R_a : 0.036\mu\text{m}$, 押し込み荷重 : 100mgf)

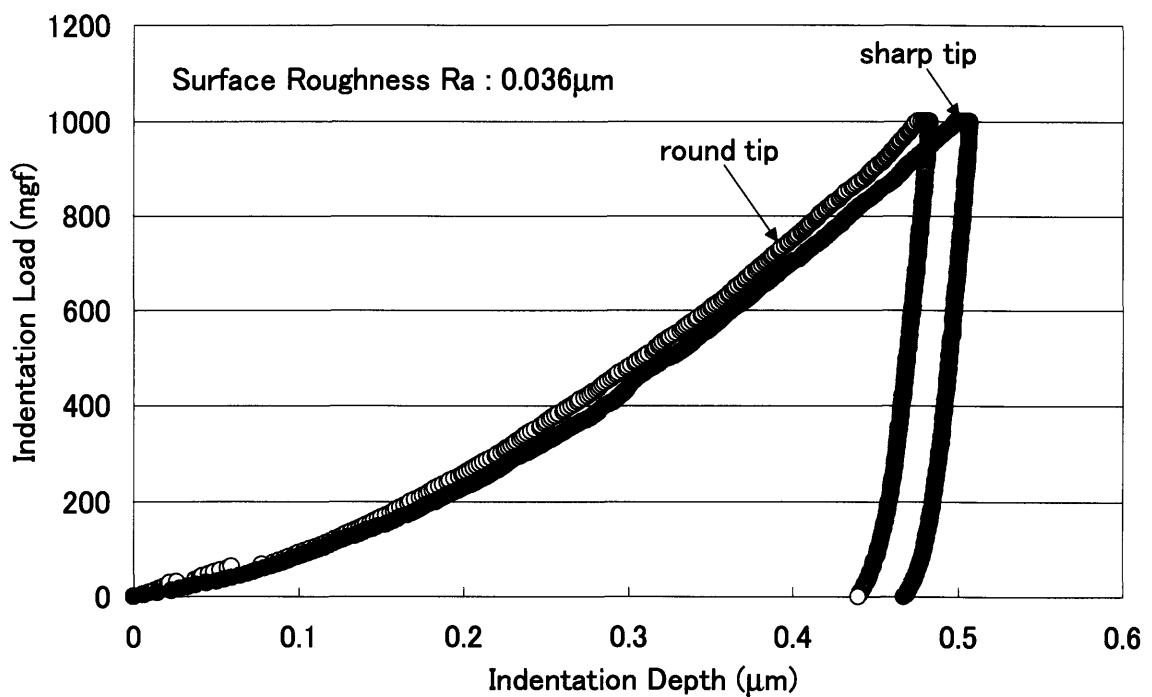


図 3-33 押し込み荷重と圧子の押し込み深さとの関係
(算術平均粗さ $R_a : 0.036\mu\text{m}$, 押し込み荷重 : 1gf)

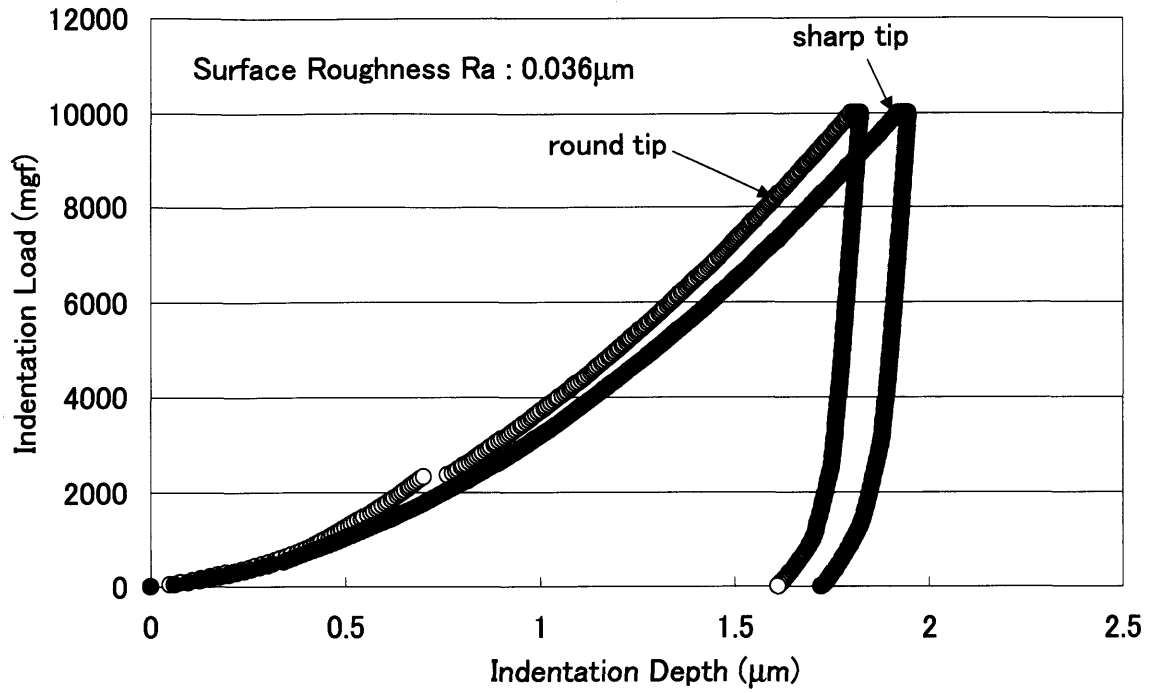


図 3-34 押し込み荷重と圧子の押し込み深さとの関係
(算術平均粗さ R_a : $0.036\mu\text{m}$, 押し込み荷重 : 10gf)

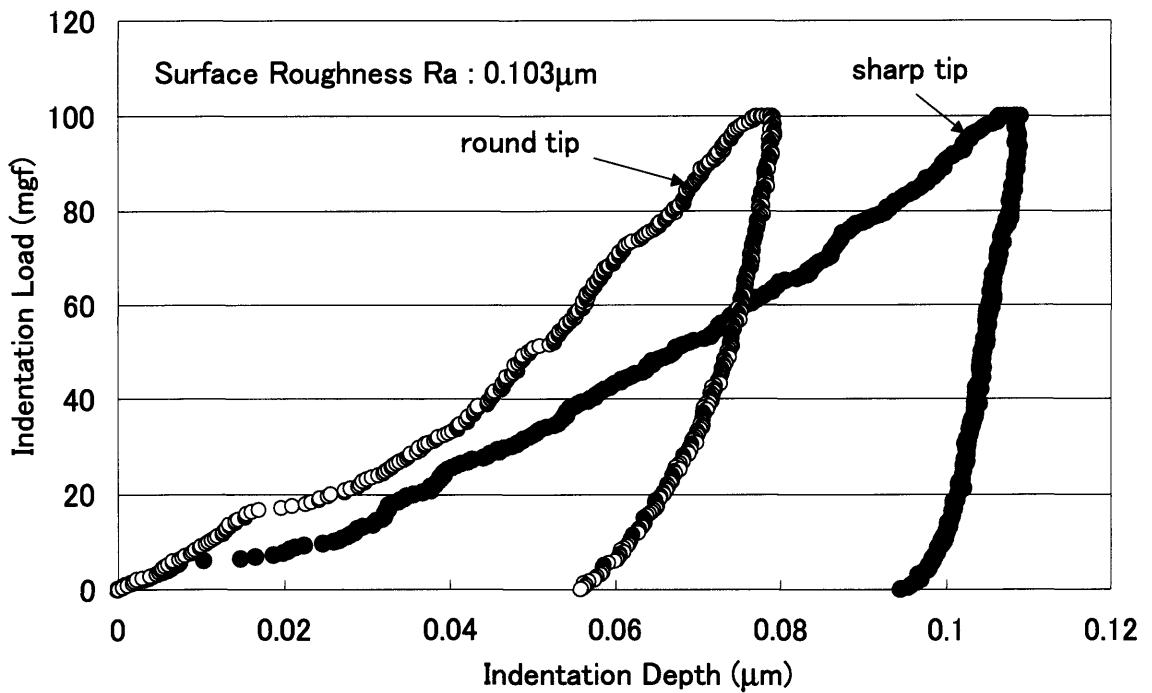


図 3-35 押し込み荷重と圧子の押し込み深さとの関係
(算術平均粗さ R_a : $0.103\mu\text{m}$, 押し込み荷重 : 100mgf)

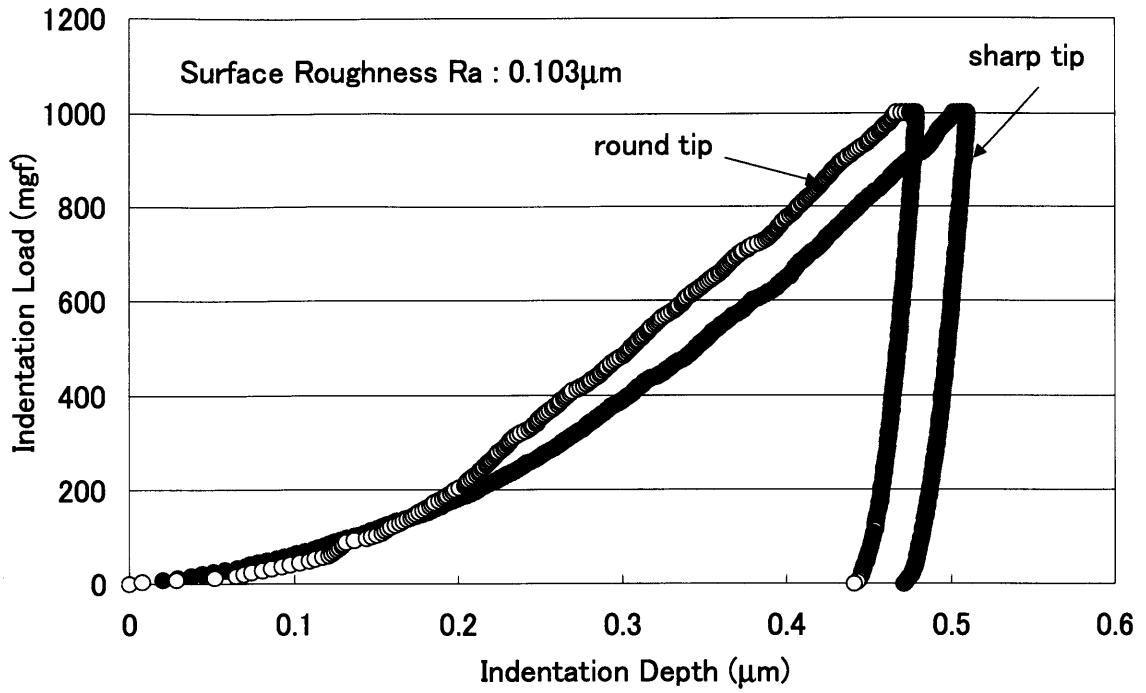


図 3-36 押し込み荷重と圧子の押し込み深さとの関係
(算術平均粗さ $R_a : 0.103 \mu\text{m}$, 押し込み荷重 : 1gf)

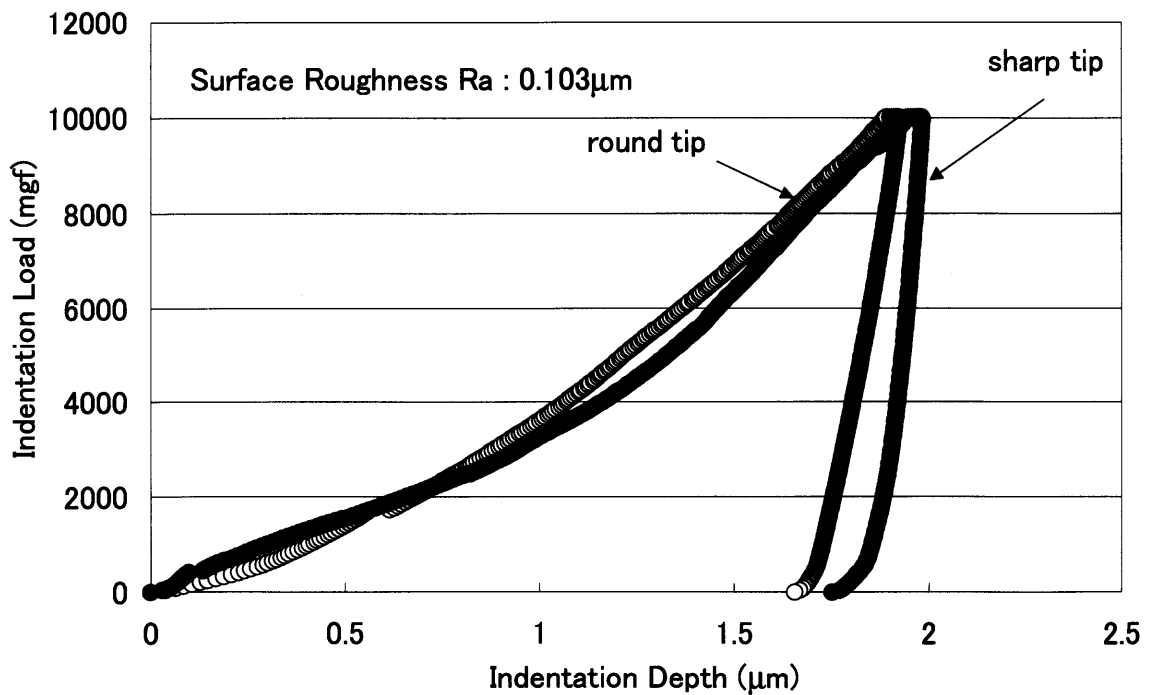


図 3-37 押し込み荷重と圧子の押し込み深さとの関係
(算術平均粗さ $R_a : 0.103 \mu\text{m}$, 押し込み荷重 : 10gf)

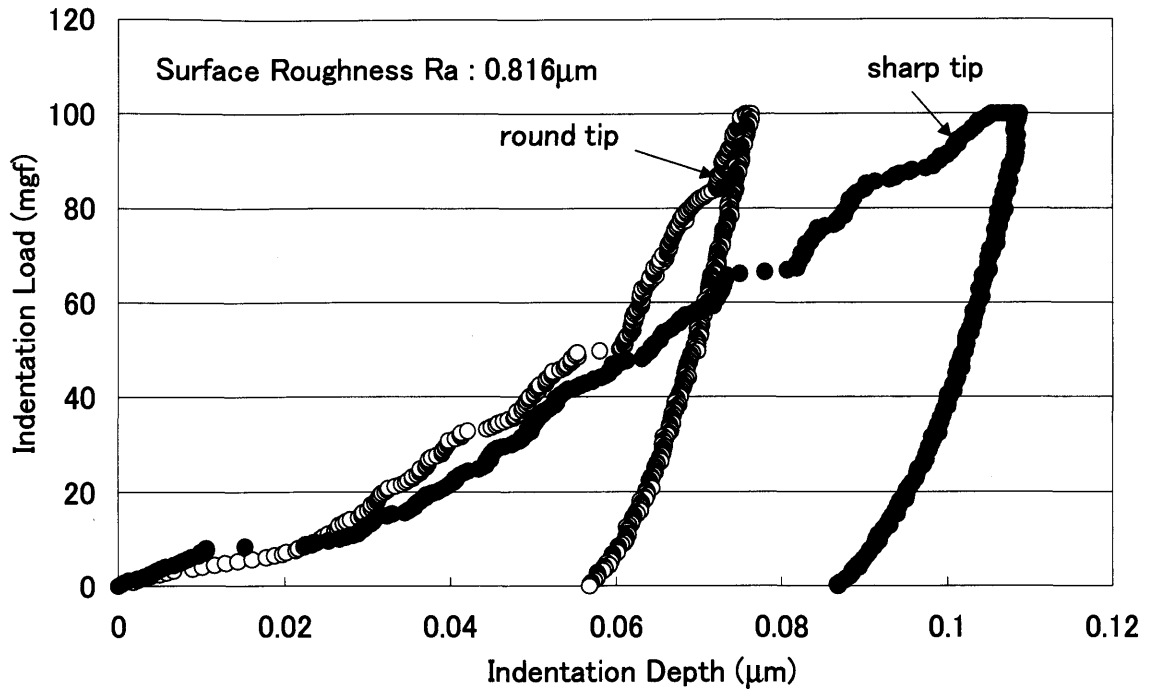


図 3-38 押し込み荷重と圧子の押し込み深さとの関係
(算術平均粗さ Ra : 0.816 μ m, 押し込み荷重 : 100mgf)

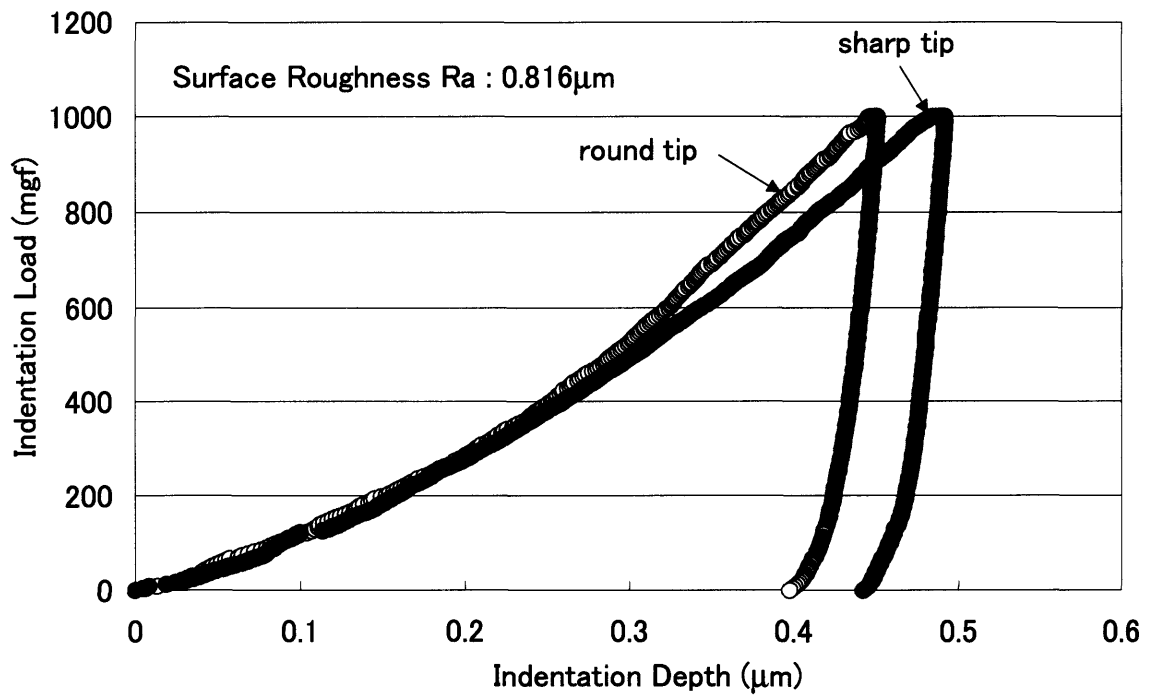


図 3-39 押し込み荷重と圧子の押し込み深さとの関係
(算術平均粗さ Ra : 0.816 μ m, 押し込み荷重 : 1gf)

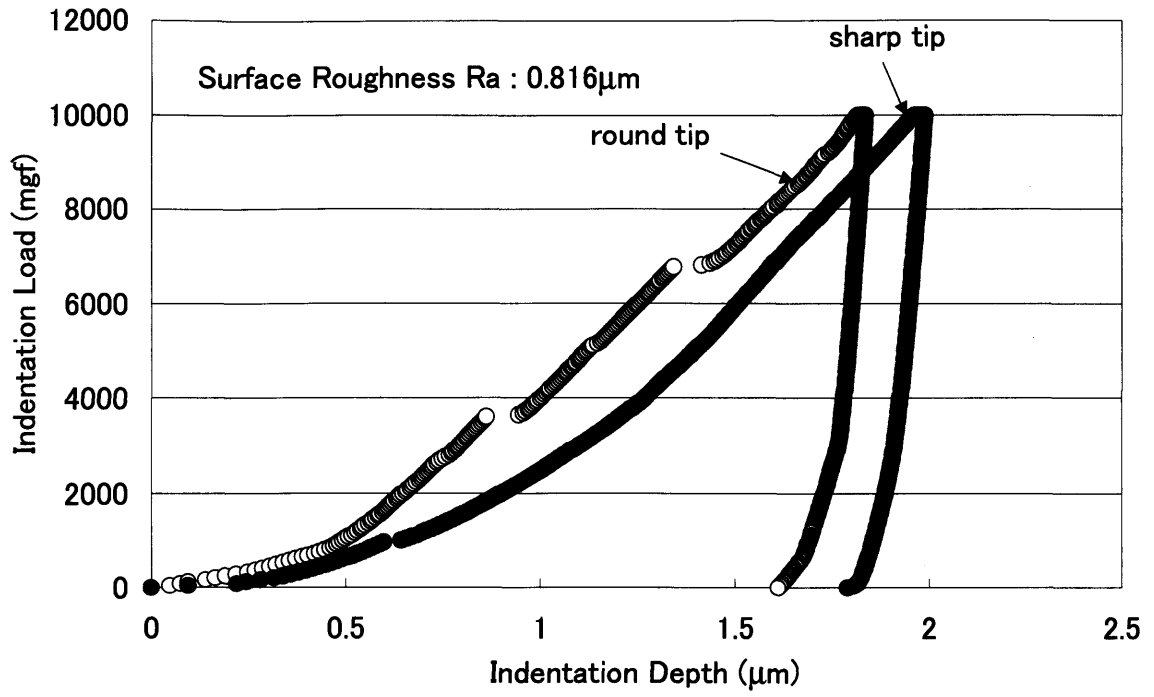


図 3-40 押し込み荷重と圧子の押し込み深さとの関係
 (算術平均粗さ Ra : 0.816 μ m, 押し込み荷重 : 10gf)