

2-1 精密計測・超平面の創成に使われる超精密石材の微小変形メカニズムの解明とその制御法の開発

- 代表者 竹村貴人 (地球システム 専任講師)
- 分担者 小坂和夫 (地球システム 教授)
藁谷哲也 (地理 教授)
金丸龍夫 (地球システム 助手)
間中光雄 (産業技術総合研究所)
北村圭史 (株式会社関ヶ原製作所)

【研究の概要および結果】

【研究目的】

近年の精密工学の飛躍的な進歩に伴い、より高精度なレベルでの加工・計測の需要が産業技術分野で高まっている。従来から、このような加工・計測を行う際にその作業台(定盤)として石材が使われており、石定盤と呼ばれている。定盤に石材が使われる理由として金属製品に比べ、経年変化が微小、静電気の発生が微小、石自体に除振・防振機能が有り、熱膨張率が金属に比べ小さく平面精度が安定、傷がついてもカエリ(へこみに相当する盛り上がり)が出ないなどの特徴があり、石材は高精度が求められる定盤やXYステージなどのマシンベースなどに利用されている。特に近年、液晶サイズの大形化や液晶パネルの大量生産によるコスト圧縮に伴いガラス基板のサイズも大形化し、大型の作業台としての石定盤が求められている。例えば、液晶テレビの大形化に連動して、必要となるパネルも大形化し続けている。現在では、液晶パネルを取り出すガラス基板は第10世代であり、そのサイズは2880mm×3130mmと大形で、このガラス基板1枚から42型Wで15枚、65型Wで6枚の液晶パネルの切り出しが可能であり、液晶パネルの1枚当たりのコストを低下させることができる。ここで、大形化するガラス基板からパネルを切り出すということは、切り出されたパネルに必要な平面度をガラス基板も維持しなければならないことは明らかである。このようなガラス基板の製造には、その作業台として石定盤が使われており、そのサイズは、ただ単に大形化するのみならず、これまでと同様の高い平面精度の維持が求められている。ここで、石定盤の大形化により顕在化してきている問題のうち、特に石定盤の周辺環境の温湿度の変化により起こる微小変形が、平面度の不安定を引き起こすことがわかっている。この微小変形は変位量ではマイクロメートル領域であり、石材レベルでの歪み量はナノ・マイクロストレイン領域となる。また、微小変形は使われる石材の産地等で大きく異なる。

岩石・岩盤(石材)の変形挙動は、地質学、地盤力学や岩石力学では地震の発生やトンネルの変形などの大変形を研究対象としているため、このような微小歪み領域での研究は、ほとんど行われてこなかった。本研究では定盤の大形化に伴う問題点のうち、周辺環境および残留応力が原因となる変形のメカニズムの解明を行う。本研究課題では、湿度環境下でのハンレイ岩の表面の変位を高精度で測定し、水による変形のメカニズムを明らかにする。

【研究結果】

精密加工・計測に用いられるハンレイ岩で作られている石定盤のナノ・マイクロ領域の内部構造を定量的に示し、微小変形メカニズムを解明するため、産地の異なる3種類のハンレイ岩と比較のための真鍮試料を使った湿潤環境下での変形試験を行った。はじめに、それぞれの石材試料の基本物性を測定したが、力学的特性(ヤング率、強度等)に大きな違いは見られなかった。一方で、水銀圧入法による空隙径分布の結果はNo.3試料のみ、ナノオーダーの空隙半径多く持つという特徴があることが分かった。次に、湿潤環境下で高精度での変位の測定を行うため、新たな試験機を開発を行った。開発した試験機は、ナノオーダーでの安定性を持ち、装置内は±0.5%の湿度状態を維持できており、十分な精度を得られた。実験の結果、湿潤環境下に置かれた3種類のハンレイ岩の石材は、その種類により発生する変位量が異なることがわかった(図1)。ここで、もっとも大きく変位したNo.3試料は、表面を

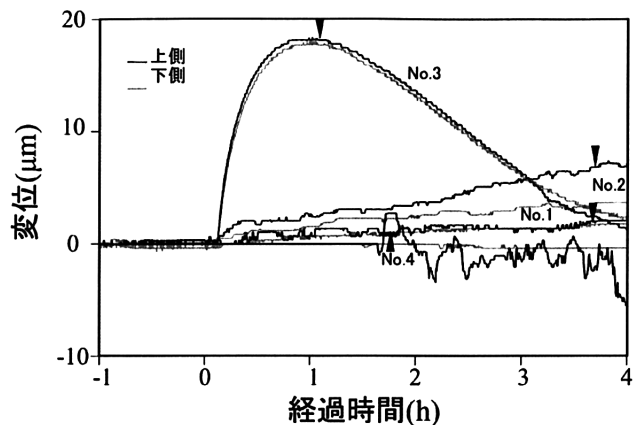


図1 No.1-3の石材試料および比較対象No.4の真鍮試料の変形試験の結果。それぞれの試料の黒線は供試体上面、灰色は下面の変位を示す。図中の黒三角は供試体上面の水が蒸発し試料表面の一部が離水し始めた時間を示す。

水で濡らしただけで $18\mu\text{m}$ も上に凸に変形していることがわかる。その原因として考えられるものとして、ハンレイ岩の主要構成鉱物である角閃石や輝石などの変質より生じた粘土鉱物の膨潤が考えられる。しかしながら、これらのハンレイ岩試料からは、X線回折分析(XRD)の結果、膨潤性の粘土鉱物とされるスメクタイトは検出されていない事と、3つのハンレイ岩のXRDスペクトルがほぼ同じであることより特定の粘土鉱物の膨潤によるものではないと考えられる。もう一つの考えられる原因として、表面張力の影響による変形が挙げられる。表面張力の影響は、石材表面が水で濡れることによって、表面にある間隙内に形成された液体架橋(メニスカス)が消失することによるものと考えられる。

【考 察】

実験の結果、水の関与した変形はナノ領域の間隙が多いハンレイ岩ほど、変形量が大きいという実験事実が示された。ここで、試料表面を水で濡らす前の間隙内に存在する水はLaplaceの式に基づいた液体架橋を形成しており、間隙の壁面には液体架橋による引張応力が作用していると考えられる。そこで、試料内の間隙の壁面に作用している引張応力により生じる歪みを連続体として、モデル化し、 10nm 以下の間隙にのみ液体架橋が形成されているとして計算すると、液体架橋により受け持たれている分の歪み量はNo.3試料の場合、それぞれ、 $21.8\mu\epsilon$ となる。さらに、実験の初期条件、境界条件を考慮した構成式を使って歪み量を変位量に換算すると、その変位量は試料上方向を正とした時、それぞれ、 $-22.73\mu\text{m}$ に相当する。この変位量は液体架橋により発生するものであるため、表面が水で濡れることで液体架橋の消失に伴い、変位量は0になり、相対的に上に $22.73\mu\text{m}$ だけ凸の変形が生じると考えられる。ここで、実験で得られた変位量が $18\mu\text{m}$ である実験結果と上で示したモデルから考えると、ナノオーダーの空隙量は表面を水で濡らした時に発生する変位量の最も重要パラメータとなり得ると考えられる。従って、表面を水で濡らした時に発生する変位量は、どのサイズの間隙が初期状態で液体架橋を形成しているかに依存していることから、間隙径の分布と初期状態での相対湿度が重要となってくる。しかしながら、水銀圧入法で測定した空隙分布が代表体積要素として扱える量であるかという点や、ナノ空隙内の水の存在状況などの問題が残っており、今後の課題としたい。また、本研究で扱った石定盤の微小変形は超精密加工を行う際に使われるベースの平面度をどの湿度状態で規定するのかという問題と、いかに変形量の小さな石材を探すかという問題であり、今後、

より精密な条件での実験的研究を行う必要があると考えられる。

【研究成果】

竹村貴人・北村圭史・高橋学（2009）超精密石材の創成のための岩石のナノ領域変形の発生メカニズム，平成21年度日本応用地質学会研究発表会，P33

竹村貴人・北村圭史・長田昌彦・高橋学（2010）「精密計測・超平面の創成に使われる精密石材の湿潤環境下での微小変形メカニズムの解明」，第38回岩盤力学シンポジウム論文集

竹村貴人・高橋学・長田昌彦・金丸龍夫・北村圭史（2010）超精密石材の岩石学的特徴と湿潤環境下での微小変形メカニズムの解明，応用地質，投稿中