

第1章 強度と応力

1-1 破損が生じるメカニズムとは？

■ モノはなぜ壊れるか

「モノはなぜ壊れるか？」

のっけからこんな設問が出てきた事に訝っている人がいるかも知れない。が、まずはこの問題を取り上げたい。

強度評価の技法を示す前提として、破損の根本メカニズムを押さえておく必要があるからだ。同時に、強度問題ということになると、小難しい理論や技法に取り組む前に、本来、まずは素朴な疑問として、この疑問が浮かんでくるはず、と思ったからだ。

ここで挙げた「モノ」とは製品の素材である金属のことである。もっと限定して言えば、機械物や構造建築物などの材料として使われている鉄鋼を指す。

従って、まずは鉄鋼一般の破損のメカニズムをざっくりと説明しておこう。

とは言え、実は筆者にとって、この限られた紙面の範囲でその真のメカニズムを説明する事をとても難儀に感じる。読者に理解して頂く自信もない。事前に白旗を上げているようなもので情けない限りだが、ともあれ、概説を試みることにする。

筆者から観て要点となる部分を綴っていくが、疑問・不足とを感じる部分が在れば読者自身で調べて補って頂きたい。

前置きと言いつつが多くなってしまったので、結論的に言ってしまう。

現在、破損(塑性変形、疲労破壊)のメカニズムとして、その解釈を転位論に置いている。塑性変形や疲労の世界で観れば、壊れる初期の兆候として転位という現象を重視している。つまり、転位という現象が破損に対する妥当な解釈と観られていることになる。

それでは転位とは何なのか。次にそこへ言及したい。

■ 起因は結晶のすべり

図1.1の写真(拡大写真)は金属材料として代表的なS15Cの断面の様子である。結晶の粒で構成されている事が分かる。

粒の大きさは、製造法によって変わってくるが、ふつう製品として提供されるものは大体20 μm とか30 μm 程度である。

実は、その1つの結晶は更にたくさんの原子によって構成されている。その構造として、規則正しく並んだ結晶格子になっており、原子間引力で釣り合っている。

原子の大きさは0.3 nm、結晶は平均30 μm 。この大きさを身近な物との比較で直感してみよう。

例えば、米粒(約3mm)との比較。結晶は平均30 μm なので2桁違う。長さで言えば、米粒は100倍結晶より大きいことになる。これを体積で考えると、100 \times 100 \times 100で10の6乗倍となる。つまり、米粒は100万個の結晶からできていることになる。

同様に、結晶と原子の長さの比は10の5乗。従って、その3乗で10の15乗、つまり、結晶1つは10000兆個の原子から出来ていることになる。

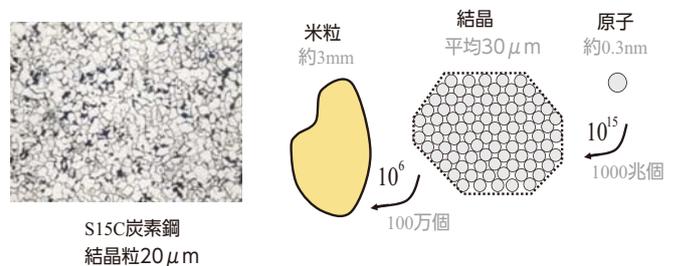


図1.1 金属結晶¹⁾

この結晶に着目してほしい。過剰な力が負荷された場合、その動きはどうなるか。結晶面のどこかで分離すると想像しがちだが、実は、いきなり分離はせずに或る面ですべる。これが破損の形態である。

因みに、この面をすべり面といい、このすべり面の傾斜は大体45度になるそうだ。(図1.2)

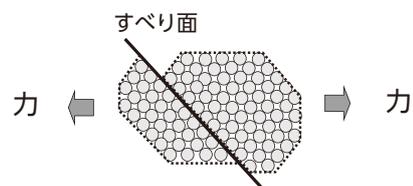


図1.2 すべり面¹⁾

引用文献

1) 西島敏、金属疲労のおはなし、日本規格協会、2007

■ 転位とは空洞が移転すること

そして、ここからが興味深いのだが、そのすべりの形態は、全体にズルっとすべるわけでないらしいのだ。

どうしてそういうことが分かったか？ 世の中には探究心が旺盛の方がいるもので、こういうのを計算し考察した人がいた。

その人によれば、実は、全体ですべてと考えた場合の負荷荷重より、実際は遥かに小さい荷重ですべてしまう、ということのようだ。

それでは、全体ですべての小荷重ですべるメカニズムは何なのだ？という事になり、そして、ここを更に究明して行って浮かび上がった来たのが、転位(Dislocation)という現象である。この現象ならば、「小さい荷重でもすべる」、という事を説明できることになる。

それでは転位とはどういうものか。

簡単に言ってしまうと、転位とは**空洞(すきま)**の位置が移転することだ。

前述したように、結晶は原子が規則正しく並んだ結晶格子になってはいるが、実際は**格子欠陥**と言って、そこかしこに不純物な原子や不規則な並び方などにより、原子の空洞が存在している。(図1.3)

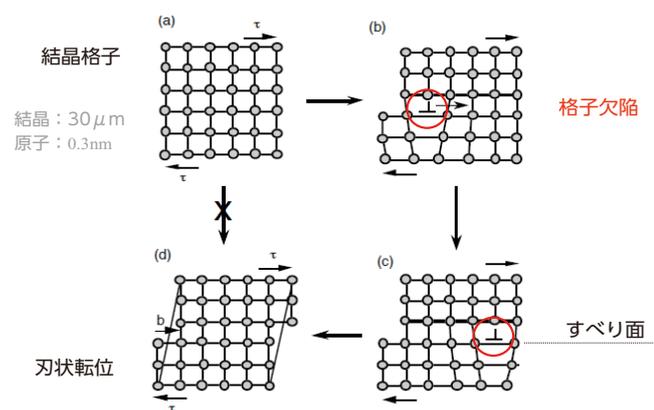


図1.3 転位(Dislocation)

この原子の空洞が特殊な動きの起因になる。具体的には、その空洞を隣の原子が埋め、移動した原子の処は新たな空洞となり、又、そこに隣の原子が動き、.....というふうに徐々に移動する。そして、結果的に総てが動きすべったようになる。

図で言えば、(a)→(d)とはならず、(a)→(b)→(c)→(d)となる。つまり、すべり面を境に総ての格子が一斉にすべるワケではない。格子欠陥を埋めるように徐々に個々の格子が移動し、最期、結果的に総ての格子がずれたようになる(刃状転位)。これが転位である。

転位が、塑性変形や更に発展したマイクロ割れ、クラック、そして破壊へと発展していくのである。

■ ドミノ倒しと絨毯のしわ直しは一種の転位

物事の理解の仕方の1つとして、アナロジー(類推)という方

法がある。本質が似ている別ものを取り上げ、それから類推して直観的に理解する。言ってみれば、比喩の活用だ。

転位に関して理解不能だった読者の為に、このアナロジーを使って補足説明しておこう。

転位を日常のモノで例えるなら、1つは「ドミノ倒し」が挙げられようか。ドミノの牌を空洞に見立てる。その牌(空洞)が倒れて行きながら徐々に移動していく。転位のイメージとして把握し易いかも知れない。(図1.4)

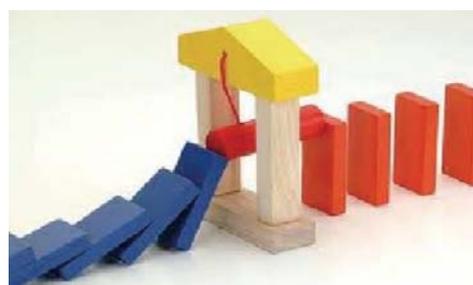


図1.4 ドミノ倒し

もう少し本質を捉えた例として、「絨毯のしわ」を取り上げたい。(図1.5)



図1.5 絨毯の皺(しわ)

絨毯全体を少し移動したい時、端を持って全体を引きずり動かそうとしても動かない。動かせたとしても、すこぶる大きな力を必要とする。

しかし、絨毯に1列の「しわ」を作り、そのしわを手で押さえながら徐々にずらしていけば、最終的には絨毯全体を所望の位置に移動することができよう。しかも、力をそれほどかけずに済む。

転位との類推で言えば、絨毯のしわは空洞である。

しわ(空洞)が徐々に移動していく点、及び、大きな力を要しない点が本質的な部分である。この点を考慮すると、絨毯のしわは転位の比喩として最適と思える。