

多様な視点から粉砕を解明

米国のボンドが中間領域を確立

〈前ページから続く〉

リッティンガー則は、数百個の粒子を数個にする粉砕に、キック則は数個を数個にする粉砕に適する。ではその間の数個から数百個まではどうなるのか。微粉域と粗粉域のエネルギー式が百年以上も前に提案されたのに対し、中間領域の粉砕エネルギー式は、リッティンガー則もキック則に比べれば最近の一九五三年に米国のボンドによって提案された。ボンドの考え方は、粉砕の初期をキック則で考え終期をリッティンガー則で考えるもので、つまり外力によって粒子に蓄えられた弾性エネルギーが、粒子内部に微小なクラックを生じさせる粉砕初期はキック則に従い、クラックが進展して新たな表面を生成する段階

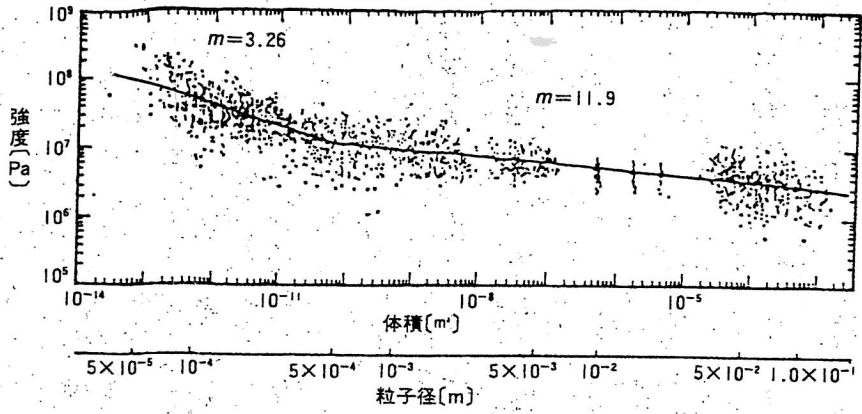


図1 強度と試験片体積(粒子径)の関係 (石灰石, m =Weibullの均一性係数)
 (八嶋, 斎藤: 粉体工学会誌, 16, 714[1979])

では、リッティンガー則に従うというものである。いわばリッティンガー則とキック則の折衷案のようなものであるが、豊富なデータベースから導いた使用しやすい粉砕消費動力推算式も併せて提案されたため、日本工業規格(JIS)でも規定されるなど広く用いられている。

材料内のキズに着目 砕かれる過程など推算

ボンド則が提案されてから既に半世紀近くたつが、現在の粉砕の研究はどのようなところから進んでいるのだろうか。

人間すねに傷を持つような弱いものであるが、材料にたいしても同じである。もし材料からキズを完全になくすことができれば、強度は今の百倍から千倍上がると思われる。私が子供のころは、ガラスのコップに熱湯を入れてはいけない、と言われていた。急激な熱膨張により引張応力が働いて、ガラスが割れるからというのがある理由である。実際厚いコップに熱湯を注ぐと割れることがあった。ところが現在我々が使っているコップでは、多少肉厚でも割れることはまずない。風が出てみると昔のコップには気泡が入っていたり、多くのキズがついていたりしたが、現在では気泡の入ったコップを探すと、ほとんど見当たらない。一番大きなキズは存在しない

キズに着目するところから進んでいる。同じキズでも材料表面にあるキズは大敵である。なせなら、材料が壊れるときは表面に最も強く引張力が働くため、表面にキズがあるとそこから亀裂が進展し破壊に至る。したがって、手取り早く材料強度を上げるには、表面を磨けばよいことになる。表面をきれいにするには、うわべを磨くだけでなく、実質的な意味があるといえる。

キズの有無で強度が二桁も三桁も変わるのだから、粉砕においても材料内のキズに着目することは、必然的な流れである。いろいろな大きさのキズを持つ材料に力を加えていくと、まず一番大きなキズから破壊が起き、小片に砕かれるので、砕かれた小片内には、最初に破壊起源となった一番大きなキズは存在しない

これは材料強度の寸法効果と呼ばれ、八嶋三郎先生(現東北大学名誉教授)の研究グループの膨大な綿密な実験により実証されている(図1)。このことから材料強度は、キズのない材料の強度と、壊される材料の大きさ、材料の中のキズの分布によって記述できることが分かる。キズのない材料の強度はヤング率(伸び弾性率)などから求められるし、材料の大きさは物差しを当てればよいから、材料強度の実測値から逆に材料内のキズの分布状況を推定することができる。

キズの分布が、破壊力学や信頼性工学でよく用いられるワイブル分布によって表されるとすると、分布は分布の広がりを示す均一性係数 m で代表させることができる。図1中にある m はこの均一性係数で、その値が大きいほど分布は狭く均一性が増す。現在材料中のキズの分布を実測する手段はないが、もし実測できれば強度を推算できるだけでなく、砕かれる過程や砕かれた後の小片の大きさとその分布まで推算されるものと思われる。

