単粒子破碎における破碎エネルギー

Fracture Energy in Single Particle Crushing

八嶋 三郎*

Saburō Yashima

神田 良照*

Yoshiteru Kanda

1. はじめに

今年の夏期シンポジウムにおいて、(1) ぜい性材料の力学的性質の荷重速度による変化、(2) 高速荷重下における単粒子の破碎、(3) 単粒子破碎における破碎エネルギーと破碎産物の比表面積の関係、(4) 単粒子破碎における音のエネルギー、破碎片の飛散速度、内部破壊の進行に伴う微振動の発生、破碎時における試験片の温度上昇につき報告したが、このうち(1)～(3)については近くまとめて報告の予定なので、以下には、(4)の項目について現在進めている研究の概略を速報として報告する。単粒子破碎の研究の方向の一つは破碎時にひずみエネルギーがどのように転換されてゆくかを知ることであって、これについては可能な限り測定を行なう予定であるが、どれもかなり困難な問題を含んでいてまだ予備実験の段階であり、具体的な数字を出すことはためらわれるが、一応の目安として、また研究が進んだあかつきにはより正確な結果を報告することがあるという前提のもとで以下に述べることにする。

2. 単粒子破碎における音のエネルギーについて

単一粒子が破碎するときには、材料によって異なるが

表1 音響出力の測定結果(予備実験)*

試験片の種類	公称径 [cm]	破壊荷重 P [Kg]	音響出力 E [joul/sec]
セキエイガラス球	2.0	1250 850	1.667×10^{-4} 2.767×10^{-4}
ホウケイ酸ガラス球	2.0	1410 1925 1815	1.355×10^{-4} 1.154×10^{-4} 1.828×10^{-4}

* 第7回夏期シンポジウム講演要旨集p.22第3表の結果は若干訂正を要することになるものと思される。ここには、音響出力のみを掲げる。

昭和46年11月24日受理

* 山形大学工学部化学工学科(〒992 米沢市城南4-3-16)

TEL 0238-22-5181

破壊音が発生する。感覚的にとらえるとセキエイガラス、ホウケイ酸ガラスのように非常に大きな音を生じて破壊するものからカッ石球のように非常に低い音で割れるものまで種種である。これはひずみエネルギーがいろいろなエネルギーに転換されてゆく割合が材料の性質によって異なることを意味するので、各種の試料につきその割合を求めておくことは大切なことである。しかし音のエネルギーの測定はかなりむずかしいもので可聴域、換言すればマイクロホンの特性でとらえうる音、以外の音までも測定しようとすればますます大がかりな装置を必要とすることになる。ここでは精密級の騒音計を用い、音源が自由空間に存在するものと仮定して求めた場合の結果を述べる。予備実験の段階の値ではあるがセキエイガラス球、ホウケイ酸ガラス球については表1のような結果がえられている。ただしマイクロホンと音源の距離を50cm、荷重速度を0.6ton/minとした場合であり、音響出力のみを掲げた。

3. 破碎片の飛散速度について

ガラス質試料の試験片ではかなりの速度で破碎片が飛散するのがみられるし、ケイ石球、チョウ石球、石灰石球でも破碎片が飛散する。ひずみエネルギーのうちどの程度が運動のエネルギーに転換されるかについてはすでに45%という測定結果がある¹⁾が、本研究室でも現在破碎片の飛散速度を測定している。前項で述べた音のエネルギーと同様に単粒子破碎におけるひずみエネルギーに占める破碎片の運動のエネルギーの割合は材料の性質によって異なるが、ガラス質試料ではかなり大きな割合を占めるものと思われる。図1はストロボの発光回数18000回/minで測定したもので○で囲んだものは14.7m/sec、△で囲んだものは14.3m/secである。3本の直線を左側に延長すると一点で交わるがそこが試験片の中心である。写真のスケールは1目盛1cmで、試験片は直径2cmのガラス球である。

破壊の瞬間を荷重を加える方向に、試験片の真上から

図1 ガラス球形試験片の破砕片の飛散

撮影すればよいのであるが、²⁾使用している材料試験機ではそれが困難なので試験片の中心から若干離れたところで撮影することになる。なおこの方法によると破砕片が自転しながら飛散してゆく様子がよくわかる。運動のエネルギーは破砕片の飛行のエネルギーと自転のエネルギーの和となる。細かい破砕片の飛散速度までを正確にとらえることは至難のわざである。高速度カメラ、あるいはストロボを使用する方法のどの方法による測定でも現在までの研究はすべて二次元的な測定である。三次元的な測定を行なおうとすればばう大な設備が必要となろう。

4. 内部破壊の進行に伴う微振動の発生について

ぜい性材料の試験片を圧縮する場合、荷重と変位とが比例するHookeの法則に従う範囲をこえと材料に不可逆的変形すなわち塑性的な流れを生じ、やがて破壊点に達する。このとき全体的な破壊点に達する前に試験片内部の局所的な破壊が開始する点があり、そのときの応力を破壊開始応力といって強度の70~80%と測定されている。³⁻⁵⁾これは試験片内に蓄積されたひずみエネルギーによってたとえば局部的にへき開面に沿ったいわゆるへき開破壊が生じることによるものであろう。この際ひずみエネルギーが解放されるので微振動が発生する。すでに測定された例もある⁶⁾が、この現象は内部表面の生成を意味するので破壊現象にとってはきわめて重要である。現在球形試験片に半導体ゲージをはり予備実験を行なっているが、シンクロスコープによりとらえた振動の一例を図2に掲げる。直径2cmのカッ石球の場合で破壊強度

図2 カッ石球における微振動の発生

の66%に相当する点から振動が発生した。瞬発的な現象であるからとらえにくいのが現在はVTRに記録している。写真はTVの画面を撮影したもので若干不鮮明である。パルス数はカウンタでとらえることができる。

5. 破砕時の試験片温度の上昇について

試験片が塑性変形をおこせばひずみエネルギーの一部は熱に変わるから若干の温度上昇があるものと思われる。試算を行なってみるとごく微少な温度上昇であっても全ひずみエネルギーに占める熱エネルギーの割合はかなり大である。このような材料の微小温度変化の測定については過般来東北大学大谷教授のご支援によりいろいろな角度から検討を進めているが、直径80 μ のアルメル・クロメル熱電対を用い、試験片の表面と試験片内部の温度を測定した。まだ確実な値とはいえないが、石灰石の円柱(直径2.0cm、高さ4.0cm)で約0.1°C(破壊荷重1210Kg)程度の温度上昇がみられ、またカッ石の球形試験片(直径2.0cm)を焼結アルミナの円板を加圧板として破壊実験を行なった場合、着点付近の温度上昇は0.8°C(破壊荷重60Kg)であった。

6. むすび

以上その後の結果を報告したが、そのほか単粒子破砕におけるふんい気の影響として、空气中、水中、真空中での破壊実験を行なっている。その測定結果については一部既に報告したが、なお高真空の装置を材料試験機にとりつけて実験を進めている。また試験片の表面の影響を調べる目的で金属を球形試験片の表面に蒸着させ、あるいは表面の仕上げの程度をかえた破壊実験も進めている。

引用文献

- 1) Bergstrom, B. H.: "Rock Mechanics", p.167, (1955)
- 2) 前出1), p.162
- 3) 宮村攝三: "地球化学講座第4編", p.312, (1968)
- 4) Bieniawski, Z. T., Denkhaus, H. G. and Vogler, V. W.: *Inst. J. Rock. Mech. Min. Sci.*, 6, 323, (1969)
- 5) 堀部富男, 小林良二, 牛田稔: 日本鉱業会昭和45年度秋季大会分科研究会資料K-9
- 6) 前郁夫, 中尾建二: 材料, 17, 908, (1968)