

破碎機の破碎エネルギー測定

材料・化学系（応用化学科） 門脇 良一

1. まえがき

ジョウ・クラッシャは単純な原理構造を持ち、比較的強靱で処理量が多い等の特徴を持つため、1次、2次破碎機として岩石等の破碎に使用されている。一般に破碎機は耐久性や保守管理の面から、必要以上の強度が要求されて各部の重量が大きくなるため電力消費の増大や破碎効率の低下の原因となっている。本来、破碎機各部の材料強度は破碎機構と破碎荷重、破碎エネルギー等を考慮して設計されるべきものである¹⁾。従って、破碎機の供給物破碎過程を含めた運動機構の解明と、供給物破碎時に破碎機と供給物の破碎に費やされるエネルギー、すなわち破碎エネルギーを知ることは、破碎機の効率等を求めるために重要である。そこで、破碎エネルギーをを求めるために、1) 原動機と破碎機の間設置したトルクコンバータにより軸トルクから動力として求める方法、2) ロータリエンコーダの出力から角速度を求め、角運動エネルギーから求める方法を用いて実験を行った。角速度による破碎エネルギーの測定は軸トルクより求める方法に対して、設置場所、コストの面等で有利である。本報告では、2つの方法から求めた破碎エネルギーを比較検討した結果について報告する。

2. 実験

2. 1 実験装置

実験に使用した破碎機はブレイク型ジョウ・クラッシャで、図1はその断面図である。主軸①（偏心軸②）の偏心運動によりピットマン③が上下運動を行い、トッグル・プレート④を介して動歯板が駆動される。動歯板下端のトッグル・プレートは、本体に固定されたトッグル・ブロック⑤により支えられ、トッグル・プレートが回転中にはずれ落ちないようにテンション・ロッド⑥により張力をかけて固定されている。主軸の両側にはフライホイール⑦が取り付けられ、破碎時に急激な減速が起こらないようにフライホイールからエネルギーを放出することによって回転速度を一定にし、モーターに過負荷がかからないようになっている。供給岩石は動歯板⑧、固定歯板⑨上端の給鉱口（図中矢印）より投入され、両歯板間を通過する際動歯板の運動により破碎され、排出口の間隔以下の粒径となって排出される。

図2は実験装置の配置図で、ジョウ・クラッシャ、モータ、変速機、トルクコンバータ、ロータリエンコーダを主軸上に配置した。軸トルクの測定はトルクコンバータの出力をストレインアンプ、A/Dコンバータを介してパソコン1に記録した。角速

度はロータリエンコーダの出力を波形処理部，時間間隔測定部を介してパソコン2に記録した。

岩石破碎実験は，破碎機主軸の回転数を100, 150, 200rpmの3段階に設定して行った。岩石試料は登別産溶結凝灰岩で，粒径40~60mm程度の非整形試料を使用した。

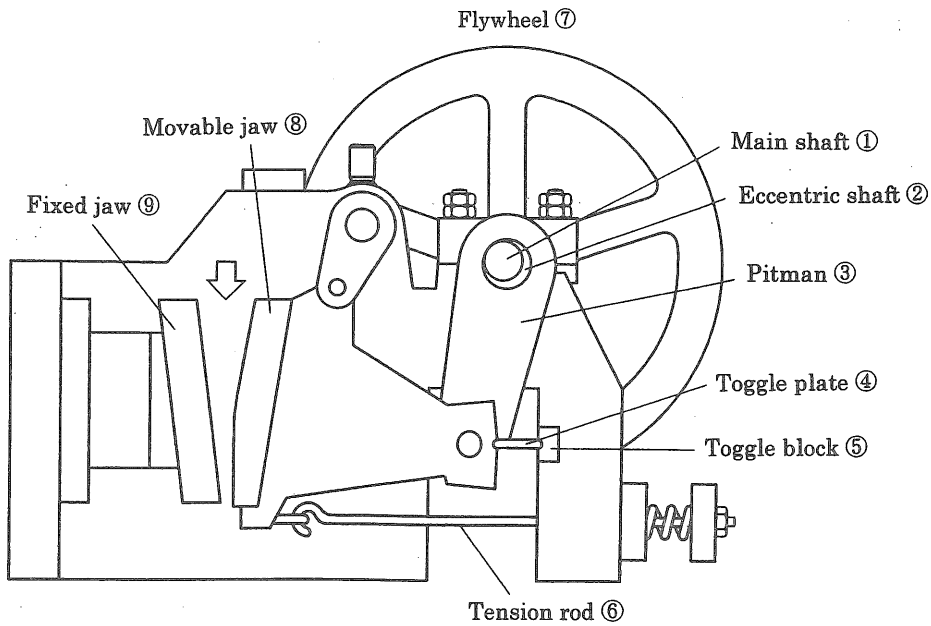


図1 ブレーク型ジョウ・クラッシャ

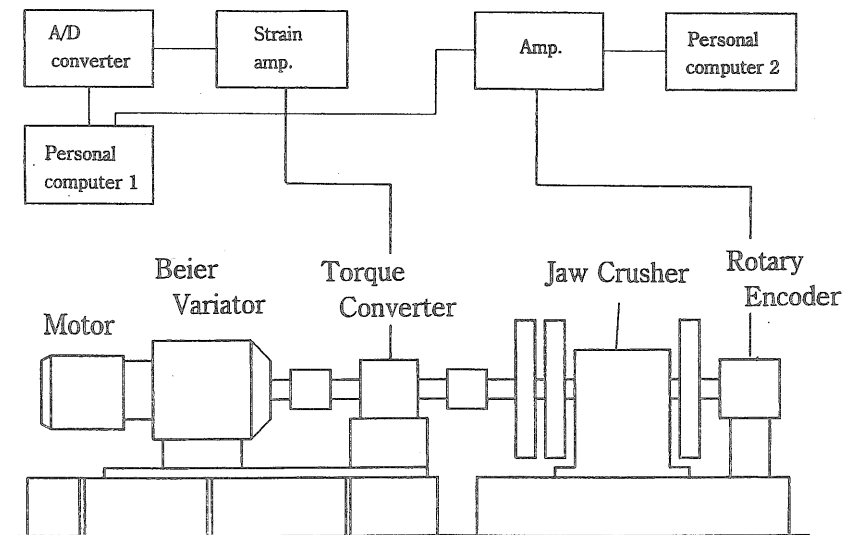


図2 実験装置

2. 2 主軸の角速度測定部

ロータリーエンコーダは回転軸に取り付けられたスリット円盤の分割された格子部

分が、発光ダイオードとフォトトランジスタの組み合わせにより光電的に検出される。格子間を通過する光はスリット円盤の回転により、輝度変調を生じ電気信号に変換される。本実験ではロータリーエンコーダの出力から角速度を求めるため、信号処理部、時間間隔測定部を作製した。使用したロータリーエンコーダは小野測器(株)製RP112AZ-CO-360-P/Rで、A、B、Zの3信号が出力される。図3はロータリーエンコーダの出力信号処理部の概要で、信号Bは信号Aの90°位相差出力である。信号A、Bはデューティ比50%の方形波で回転方向の弁別、位置決め等に用いられる。信号Zは信号Aの立ち上がり同期し、1回転に1パルス生じるゼロマーク出力である。IBは信号Bの反転パルス、dZはゼロマーク出力Zの微分パルス、CはIBとdZの論理和である。信号Cはパルスの立ち上がりから次の立ち上がりまでの時間間隔が、ゼロマーク出力付近で極端に短くなるので破砕機主軸の回転毎のゼロ点が検出できる。

図4は信号Cを入力信号とした時間間隔測定部である。クロックは2MHzでバイナリカウンタは常時これをカウントしている。パソコン側は入力信号Cの立ち上がりを検出するたびにバイナリカウンタのデータをホールドし、その値をメモリに格納する。スリット数が360個のロータリーエンコーダを使用しているので、メモリの値から1°ごとの時間間隔、角速度が求められる。

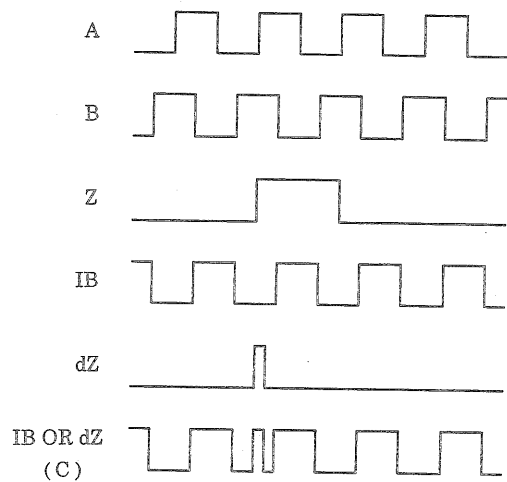


図3 - 波形処理部

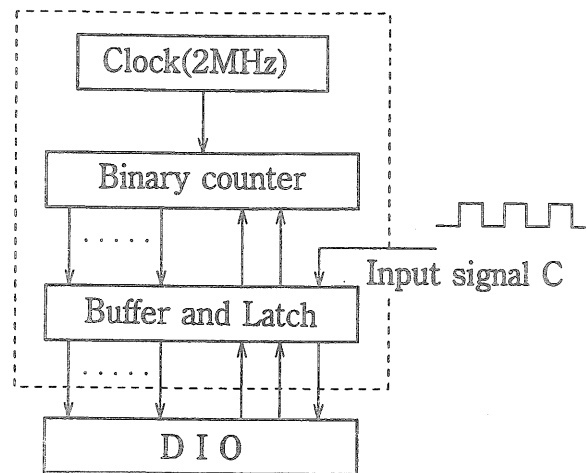


図4 - 時間間隔測定部

3. 実験結果および考察

図5は岩石試料を破砕した場合の軸トルクと角速度の測定例で、回転数は100rpmである。軸トルク T [N・m]を受けて、角速度 ω [rad/s]で回転している回転軸から時間 $t_1 \sim t_2$ までに伝達されるエネルギーは E_t [J]は

$$E_t = \int_{t_1}^{t_2} T_{(t)} \cdot \omega_{(t)} \cdot dt$$

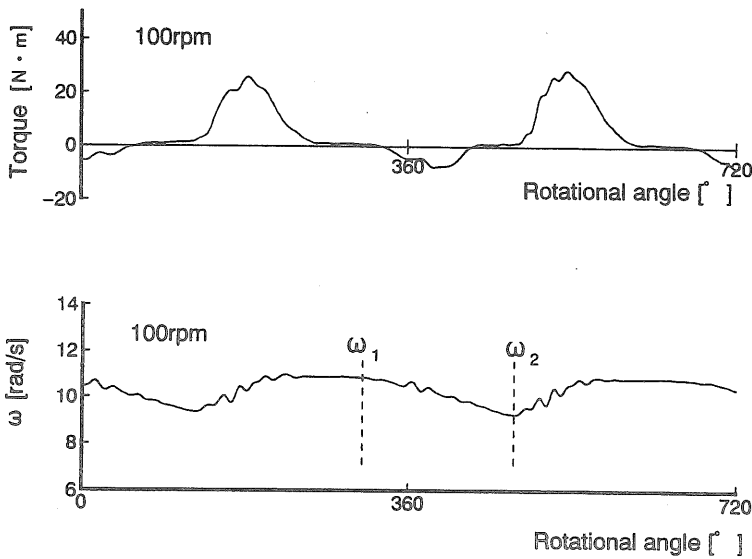


図5 試料破碎時の軸トルクと角速度

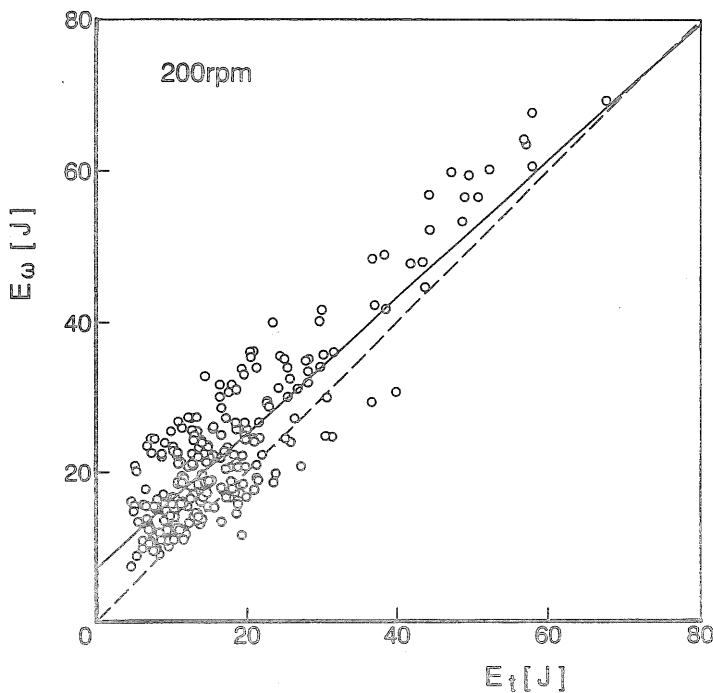


図6 E_t と E_ω の関係

..... (1)

となる²⁾。 E_t は偏心軸の下死点を 0° とし、この下死点に対応する時間を t_1 、さらに 360° 後の時間を t_2 として1回転分の破碎エネルギーとして求めた。

角速度から求める破碎エネルギー E_ω [J]は、破碎開始直前の角速度を ω_1 [rad/s]、破碎終了時の角速度を ω_2 [rad/s]として、角運動エネルギーの差から(2)式となる。

$$E_\omega = \frac{1}{2} I \cdot (\omega_1^2 - \omega_2^2)$$

..... (2)

ここで、 I はフライホイールの慣性モーメント [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$]である。破碎開始点 ω_1 、終了点 ω_2 は破碎機各部の運動から、動歯の水平、垂直方向の変位と速度を解析することにより破碎区間を求めて設定した。

図6は回転数200rpmにおける E_t と E_ω の関係を示したものである。図中の直線は回帰直線で相関係数は0.81である。軸トルクから求めた破碎エネルギー E_t は、主軸から伝達された機械エネル

ギーである。これに対して角速度から求めた破碎エネルギー E_w は軸トルクから求めた破碎エネルギーと大差のない結果が得られた。

角速度から破碎エネルギーを求めるにあたり、破碎機の慣性モーメントはフライホイール部で発生するとした。しかし、他の可動部分、特に動歯の動きのよう主軸の回転角に対して一定とならない部分の慣性モーメントについても、両者のエネルギーを比較する上で考慮する必要がある。さらに、図2に示したように軸トルクと角速度の測定部が離れているので、計測上の主軸の剛性や角速度の測定位置についても検討が必要と考えられる。

4. まとめ

本研究では、トルクコンバータとロータリーエンコーダを破碎機の主軸上に配置し、軸トルクと角速度から破碎エネルギーを求め両者の関係について検討した。角速度から求めた破碎エネルギーは軸トルクから求めた破碎エネルギー、すなわち主軸から伝達された機械エネルギーと大差がないという結果が得られた。このことからロータリーエンコーダを用いた方法がトルクコンバータを用いる方法に比べて設置が比較的容易であり、コストの面等を考えると破碎エネルギーを求め方法として有効であると考えられる。

引用文献

- 1) 柿木宣比古：資源と素材，Vol. 110, No. 13, p. 1043-1047, (1994)
- 2) 眞島正市：工業計測便覧，p. 664-665, (1964)コロナ社（東京）