

京都大学工学部 正員 畠 昭治郎
 京都大学大学院 学生員 ○井宮 秀雄

1. まえがき

骨材生産過程は、原石の採掘、破碎、粉砕、篩分、運搬、貯蔵等に分類される。左記の過程の内、破碎、粉砕が骨材生産の中心である。現在の骨材生産現場では、クラッシングプラント内の諸機械の破碎方式、磨耗による刃の取り替え等の問題は現場監督者の経験に依りて定められている。筆者等は、これらの問題に対して数学的定式化を行なう一考察として、ダイナミックプログラミングの手法により解析を行なった。

2. 破碎工程の概略

搬入された原石を破碎可能な大きさに選別し、一次破碎を行ない一部は粗骨材の貯蔵所に送り、他は二次破碎機に給鉱する。一次破碎機には、ジョークラッシャー、ジャイレートリークラッシャーがある。つぎに、一次破碎より得られた製品を更に細破碎し、二次破碎を行ない、また場合により三次破碎を行なう。二次破碎機には、小型ジャイレートリークラッシャー、ハイドロコーンクラッシャー、インパクトクラッシャー、三次破碎機にはインパクトクラッシャー、ハンマクラッシャーがある。

3. 破碎方式の決定

採掘された原石を各台のクラッシャーにより、所要の製品粒度に破碎する最も経済的な各クラッシャーの破碎比を定める。最小損失関数を $f_n(F)$ とすると、次式で与えられる。

$$f_n(F) = \min \{ g_n(R) + Q_n + f_{n+1}(P) \} \quad \text{----- (1)}$$

$$g_n(R) = g_{n1}(R) + g_{n2}(R)$$

F: 給鉱の80%通過寸法

P: 製品の80%通過寸法

R: 破碎比 (F/P)

$g_{n1}(R)$: 刃の磨耗による損失

$g_{n2}(R)$: 破碎動力費 Q_n : 設備償却費

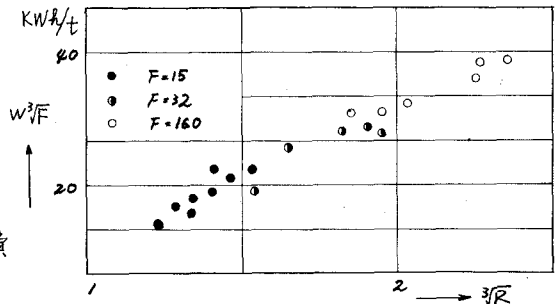


図1にインパクトクラッシャーのW(破碎動力量)

とF, Rの関係を示した。他の破碎機について 図1 インパクトクラッシャーのWとFの関係¹⁾も同じ傾向が見られるので g_{n1}, g_{n2} の関係は次式となる。

$$g_{n1}(R) = \left(\alpha_n \cdot \frac{\sqrt[3]{R}}{\sqrt[3]{F}} + \frac{\beta_n}{\sqrt[3]{F}} \right) \cdot k_1 \quad \text{----- (2)}$$

$$g_{n2}(R) = \left(\alpha_n \cdot \frac{\sqrt[3]{R}}{\sqrt[3]{F}} + \frac{\beta_n}{\sqrt[3]{F}} \right) \cdot k_2 \quad \text{----- (3)}$$

講演時には、(1)(2)(3)式を詳述するとともに、ケーススタディーを採用しその計算結果を報告する。

4. 刃の取り替え問題

破砕機械の磨耗は、磨耗による性能劣化、磨耗費が組み合わさり、刃の取り替え時期は重要な問題となる。

定められた N_0 個の構成品が繰返して検定され、時間 t 後の検定で N_s 個の構成品が残存し、 N_f 個の構成品が破損するとする。

検定中の任意の時間 t における残存確率は

$$R(t) = \frac{N_s}{N_0} = 1 - \frac{N_f}{N_0}$$

両辺を時間 t で微分して整理すると構成品が破損する割合が求まる。

$$\frac{dN_f}{dt} = -N_0 \cdot \frac{dR}{dt}$$

よって、破損率 λ は

$$\lambda = \frac{1}{N_s} \cdot \frac{dN_f}{dt} = -\frac{N_0}{N_s} \cdot \frac{dR}{dt} = -\frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dt}$$

破損が時間 t について、指数的に発生する場合 λ は一定となる。

$$\lambda \cdot dt = -\frac{dR}{R}$$

$$\int_0^t \lambda \cdot dt = -\int_1^R \frac{dR}{R} = -\log R$$

$$\therefore R(t) = e^{-\lambda t} \quad \text{----- (4)}$$

時間 t と破砕量 m は比例関係にある故、(4)式の t を m と置換され得る。したがって、破砕量 m と残存確率、すなわち信頼度の関係は次式となる。

$$R(m) = e^{-\lambda m}$$

新品の刃により m まで破砕した際の利益関数を $F_m(0)$ とすると

$$F_m(0) = a \cdot \int_0^m R(m) \cdot dm = \frac{a}{\lambda} (1 - e^{-\lambda m}) \quad (a, \lambda : \text{定数})$$

したがって、 m まで破砕した後、更に m まで破砕した場合の期待費用の最大値 $f_m(m)$ は次式で与えられる。

$$f_m(m) = \max \{ f_{m+1}(m+1) + f_1(m), F_m(0) - C \} \quad \text{----- (5)}$$

$$f_1(m) = F_{m+1}(0) - F_m(0) = \frac{a}{\lambda} (1 - e^{-\lambda}) e^{-\lambda m}$$

C : 刃の取り替え費用

講演時には、インパクトクラッシャーの打撃刃の取り替え問題を実測データに基づき、報告する予定である。

参考文献 1) 骨材の生産 日本建設機械化協会
信頼性の理論と応用 日刊工業新聞社