

ダブルロールクラッシャによる新たな砕砂製造システムの提案

UBE マシナリー株式会社
産機事業本部 大阪サービスセンター
サービスセンター長 古川 洋一

1. はじめに

弊社はグループ会社にセメント製造会社を有し、セメント製造用機械、骨材製造用機械及び同システムの開発、製造、販売、サービスに永年携わってきた。

日本のセメント業界では、セメント製造全体の電気エネルギーの 37%を消費するセメントの最終仕上げ粉碎の省電力化には、かねてより数多くの取り組みがなされてきた。代表的なものが予備粉碎機とボールミルを組み合わせたシステムである。セメントの仕上げ粉碎で使われるボールミルは、主に 100 μ m 未満の微粉碎に適しており、100 μ m 以上の粗粉碎域での粉碎効率は高くない。そのため、ボールミルへの投入原料を粗粉碎域で粉碎効率の良い高圧縮式の縦型ローラミルかダブルロールクラッシャ（ローラプレス）により予め粉碎し、投入粒径を小さくした後に、ボールミルへ投入することにより、トータルシステムとしての粉碎原単位を低減するものが予備粉碎機+ボールミルシステムである。

弊社でも自グループ会社のセメント工場をはじめ国内外のセメント工場に 10 基の予備粉碎機とボールミルを組み合わせた省電力化システムを導入している。セメント業界と同様に砕石業界でも省電力化のニーズが極めて高く、セメントの仕上げ粉碎の予備粉碎機とボールミルの省電力化の実績を砕砂製造用ボールミル用として適応する検討を重ねてきたので、その結果に関して報告する。

2. ボールミルの消費動力計算

① ボールミルの消費動力計算式（ボンドの式）

セメント、砕砂製造用で使用されるボールミルは大きさ、構造等は一部異なるが基本構造は同じと考えて良い。

ボールミルの処理量：Q (t/h) での消費動力 N (kw) は以下のボンドの式により計算され、計算結果と実機のデータは高い精度で一致することは良く知られている。

$$N=Wi*Q*(10/\sqrt{P}-10/\sqrt{F})$$

Wi：(kwh/ t) ワークインデックス、粉碎仕事指数

P：原料中（粉碎前）の粒度 80%通過分の粒径

F：製品中（粉碎後）の粒度 80%通過分の粒径

ボンドの式より Q (t/h) を一定にして、消費電力 N (kw) を低減させたい場合には、F：製品中（粉碎後）の粒度 80%通過粒径を粗くするか、P：原料中（粉碎前）の粒度 80%通過分粒径を小さくすれば良い。

F：製品粒度の変更は出来ないので P：原料粒度（投入原料粒度）を小さくする方法が採用される。

3. ダブルロールクラッシャによる予備粉碎

① セメント仕上げ粉碎用の予備粉碎機としては縦型ローラミル型かダブルロールクラッシャ型（ローラプレス）の 2 つが採用されているが、砕砂用としては構造が簡単でイニシャルコストが安価であるダブルロールクラッシャ型が良いと考えた。Metso 社/UBE が 2022 年度より販売を開始したダブルロールクラッシャ（HPGR）を例にとり検討してみた。

② 予備粉碎機（HPGR）とボールミルシステム砕砂製造用のボールミルはボールミル内部でボール（粉碎媒体）と原料、水を攪拌することで粉碎を進行させていく。ボールミル投入用原料としては通常 20 mm 以下の原石が一般的であるが、昨今最大 40 mm 以下の原石を投入するケースもある。原料サイズを大きくするとその分粉碎力をあげる必要があるため、ボールサイズを大きくかつボール投入量を多めに設定する必要があり、ボールミルの全体効率の観点からもあまり得策では無い様に感じる。

図1に通常のボールミルでの砕砂製造のフローを示す。

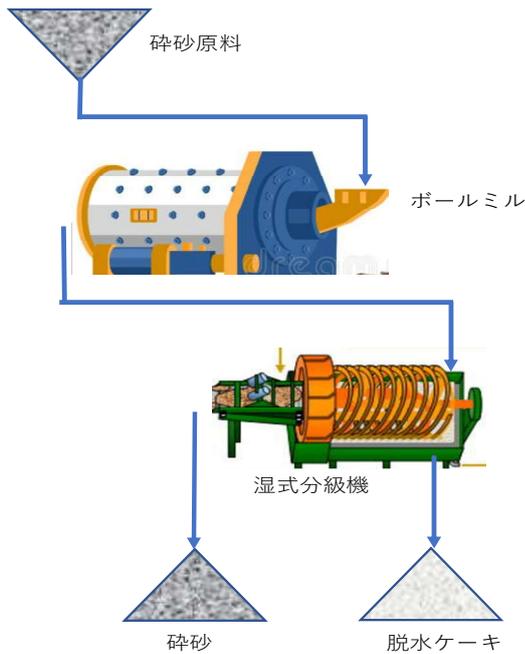


図1 ボールミルによる砕砂製造フロー

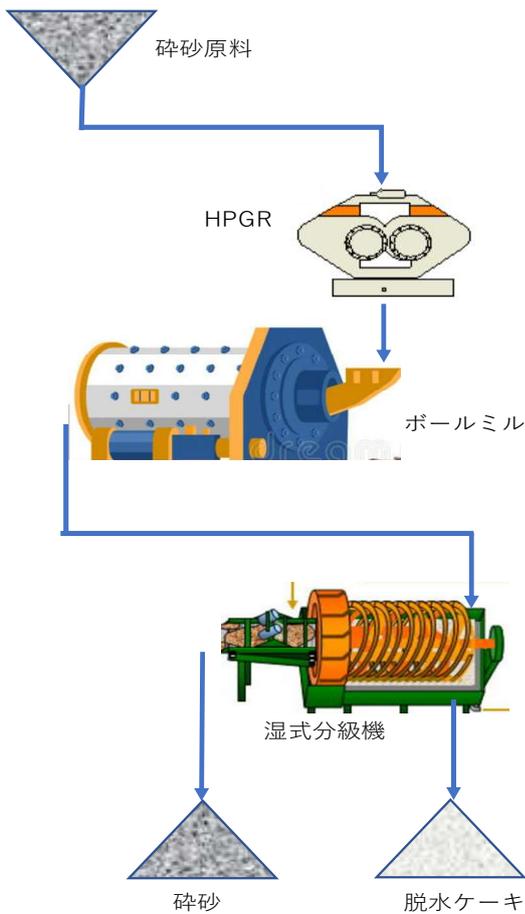


図2 予備粉碎機+ボールミルによる砕砂製造フロー (Case-1)

図2の予備粉碎機+ボールミルの砕砂製造フロー (Case-1) ではボールミル投入原料を前段で粗粉碎域での粉碎効率の良い HPGR で予備粉碎しボールミル原料の P80 を下げることでボールミルのボール径の小径化及びボール量の低減が図れ、ボールミル単体での破碎に比べて約 20-30%程度の電力の低減が可能である。逆に言えば下流の湿式分級機的能力に余裕があれば、砕砂の生産量を 20-30%増産することも可能となる。ボールミルで砕砂粒度の調整が行われるため、砕砂の粒度分布はボールミル単体で生産した場合とほとんど大差はない。また、過粉碎(過破碎)が発生しにくいいため、脱水ケーキの割合も低減でき、水処理設備の負荷も低減できる。

図3に予備粉碎機の下流に振動篩を設けて、ボールミル原料粒度を制御する方法を Case-2 として示す。

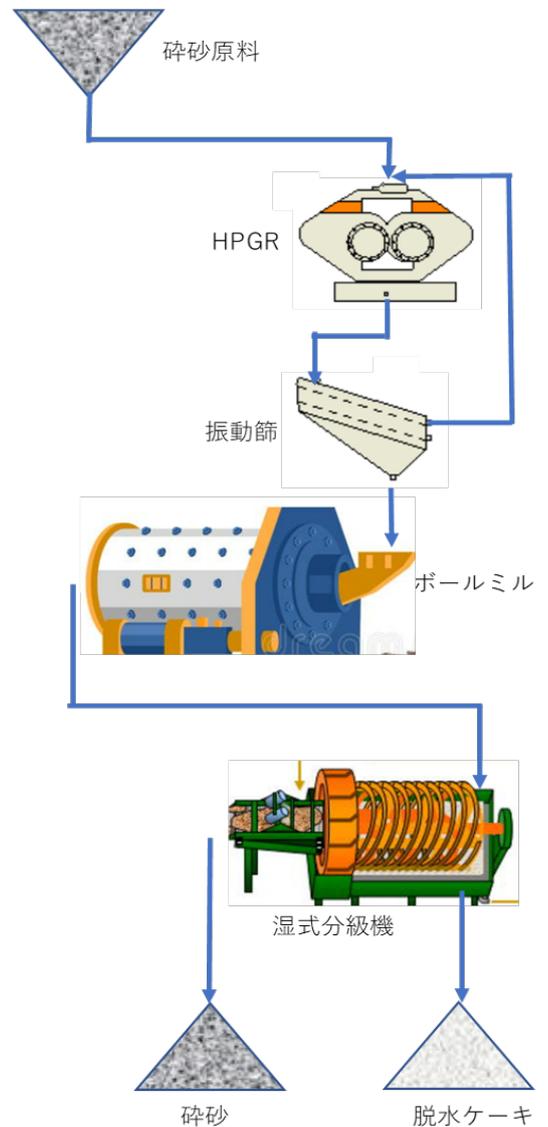


図3 予備粉碎機+ボールミルによる砕砂製造フロー

(Case-2)

Case-2 の場合、HPGR の破碎粒度を振動篩で制御できるのでボールミルの仕事量を HPGR でどの程度補うかを任意に決定できるため、Case-1 にくらべ更に省電力化が可能である。仮にボールミルへ投入する原料サイズを 5mm 程度まで破碎すれば、ボールミルは碎砂粒度を整えることに専念でき、ボールミル単体でのシステムに比べて 30-50% 程度の動力原単位の低減が期待できる。

4. 予備粉碎機としての HPGR の特徴

予備粉碎機としての HPGR の特徴について以下述べる。

① 投入した原料がすべてロール間を通過し、破碎されるため、原料が確実に細かく破碎される（コンクラッシャのように破碎室を通り抜ける原料が殆ど無い。）（図4）。

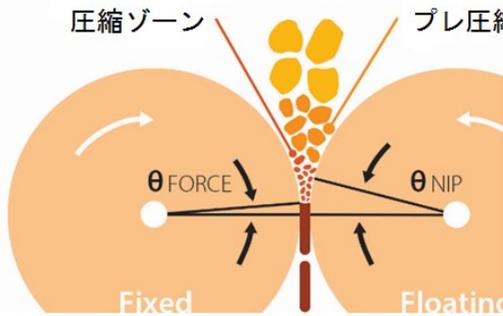


図4 ロール部構造説明図

② 原料に直接破碎力を作用させることができ、その破碎力は油圧シリンダーの圧力制御により遠隔より簡単に変更できる（図5）。

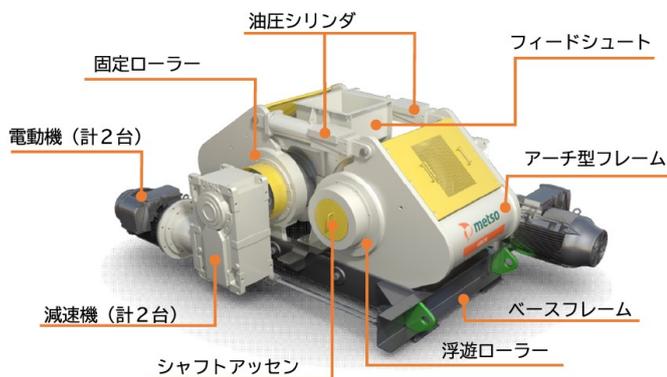


図5 HPGR 外観図

同一原料で破碎力を変化させた場合の HPGR 排出製品の粒度の違いを図 6 に示す。破碎力の調整により

HPGR 排出製品粒度が変化することが判る。

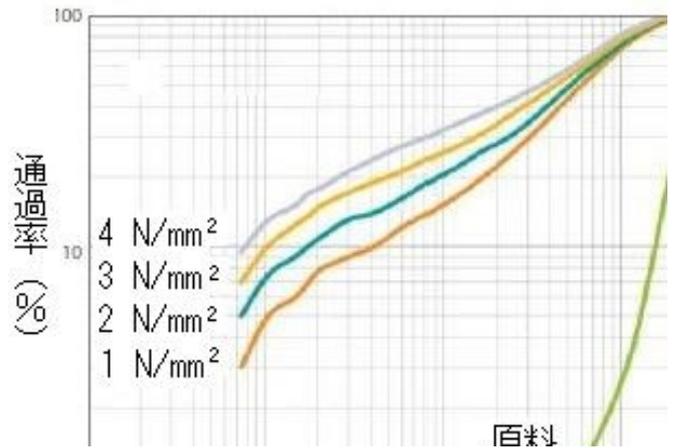


図6 破碎力と排出製品粒度の違い

③ 軽量コンパクト、優れた機動性

HPGR は非常に軽量コンパクトな設計がなされており写真1のようにトレーラーに搭載して現場内及び現場間を移動させる運用も可能である。複数の碎石場を所有するユーザの場合、碎砂の増産要請がある工場に HPGR を持ち込み、ボールミル前に設置してポータブルコンベヤで繋ぐことにより即碎砂製造ラインの省電力化または碎砂の増産が可能となる(トレーラー搭載型 HPGR についてはレンタル対応が出来ないかと提携トレーラー社と協議中である。)



写真1 HPGR トレーラー搭載型

4. おわりに

現在弊社では 2022 年より HPGR を碎砂製造用で販売を開始している。お陰様で、既に栃木県の試験機、東北地区で1号機が本格街稼働を開始し、年末には2号機が四国のユーザに導入される予定である。今回はHPGR単独での碎砂製造ではなくボールミルと組み合わせた碎砂製造システムを紹介させて頂いた。

今後とも弊社では顧客ニーズに合わせて独自の省電力化、合理化の提案ができるように研鑽に励む所存である。

以上