

破碎理論で工学博士号授与

1996年1月、ノードバーグ本社の研究員、ヤルモ・エロランタが、「破碎プロセスの変数要素が破碎された岩石の製品品質に与える影響」と題する研究論文で博士号を取得しました。これまで学会及び業界で岩石破碎に関する研究論文が発表されたことはなく、エロランタの破碎工学博士号取得は、世界初の快挙。またその内容も、ノードバーグでの破碎機器設計という業務に基づき、破碎プロセスについて今日判っているすべての事実を体系化した優れたもので、フィンランドの博士号取得システムの難関である公開討論審査でも、わずかにドイツ・アーヘン工科大学のハインツ・ホーバー教授とヘルシンキ工科大学のカリ・ヘイスカネン教授が反対質問を行っただけでした。ノードバーグ社のみならず、世界の破碎業界の財産ともいえるエロランタの論文の概要を、ここに紹介いたします。



ヤルモ・エロランタ博士 略歴
ノードバーグ社に勤務する23名の博士号取得者の一人。これまで6年間ノードバーグ社に勤務しており、当初はC型ジョークラッシャー及びG型コンククラッシャーの開発マネージャーを勤め、現在はこれらの製品全体に対する総責任者(プロダクトマネージャー)として勤務しています。現在42歳。



破碎プロセスの変数要素が岩石の製品品質に与える影響 (抜粋)

はじめに
コンククラッシャーの開発において、各種クラッシャーの変数要素が最終製品の品質に与える影響を知ることは、極めて重要です。というのも、さまざまな変数要素を知ることで、開発の鍵となるポイントを見出し、新製品のコンセプトを決定できるからなのです。このために、実際の破碎プラントを使って72回の実験を行い、その結果、完成した図面の解釈に汎用性を持たせられるよう、測定値から、説明に使用できるいくつかの値を算出しました。

1. 背景情報及び目標

現在世界で行われている岩石破碎については、それぞれの破碎プロセスがすべて異なるという点から、大変興味深いテーマといえます。すべての破碎プロセスが異なると言い切れる理由は、破碎には極めて多くの変数要素が関与しているからです。骨材市場の一般的な傾向は、製品の粒形をもっとも重要な基準とみなした上で、製品品質に関してより高度な要求をする方向にあります。また破碎プロセスに関

しては、品質の向上のみならず生産量の増大を追求することも大きな目的のひとつです。主な破碎プロセスは、使用する個々のクラッシャーによって生じる多くのサブプロセスに分類することができます。最終製品の品質改善に取り組むためには、個々のサブプロセスを最適化して、プロセス全体という見地から、それらが最大の影響を与えるようにする必要があります。この研究の目的は、さまざまな粒度の原石を投入する各種コンククラッシャーの運転変数要素が、製品の品質に与える影響を明らかにすることであり、運転変数要素とは、速度、ストローク、破碎室形状、出口セット値等をさします。

2. 製品粒形の必要性及び求められる基準

この研究で扱う骨材とは、おもに道路、住宅などの建設目的に使われる製品をさします。より優れた粒形に対する要求度は、道路建設及び住宅建設の業界で高まっていますが、この傾向は、将来に向けて全般的により高まっていくと推測されます。また粒形がなぜそれほど重要なのかについては、はっきりとした理由があるのです。建設業界で、立方体の、または球形の製品が求められる根本的な理由は、それがセメントの消費量に関係するからです。

セメント消費量は、立方体や球形の製品を使用すれば最少量にすることができ、ポンプ輸送特性でも立方体の製品の方が望まれます。このことは、コンクリートの流動性が高まり、また硬化後の圧縮強度がより高まる点から、きわめて重要です。道路建設業界が優れた粒形の製品(骨材)を求める理由は、主として、道路の表層材料の耐磨耗性が、劣悪な粒形の製品を使用した場合よりも、優れているという事実があるからです。粒形は、立方体に近づけようとするほど、球形に近くなります。しかしここで重要なことは、自然に立方体になった、あるいは球形になった石と、破碎の結果として立方体形状になった石の間には大きな差がある、ということなのです。つまり玉石の多い川の砂利は、破碎した骨材よりも滑りやすく、破碎しにくいということです。粒形に対する実験については、一般には標準化されておらず、国によって違いがありますが、この研究論文では、粒形はノードバーグ・ロコモ社の基準によっているので、ドイツのDIN規格に従って計測しています。DIN規格による粒形の良し悪しの主要基準は、特殊パスで計測したときの長さ対厚さの比(Elongation)が3:1以上の製品の含有率で、その割合が20%以下であれば、この製品の粒形

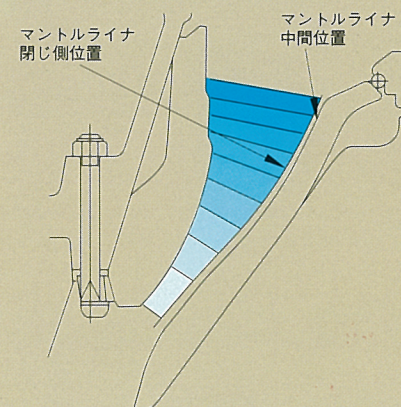
は優れていると認められます。実験用として選定したクラッシャーの種類は、ノードバーグ社の3次破碎用Gコーン、G12型(最大入力250kW)で、出口セット値の調整は、コーンヘッドシャフトの垂直位置を油圧機器で調整して行います。このクラッシャーには、その性能が最適になるようにするために、ノードバーグ社のロコモット自動化装置が接続されていましたが、消費電力と破碎力を連続して記録できる外部データ収集装置を接続することも可能です。

変更できる変数要素は次の通り。

- 破碎室形状：このクラッシャーの最小/最大の形状のものを使用。
- 速度：3速(通常/速い/最速)
- 供給原石の粒度
- 出口セット値

破碎室形状(図1参照)に関しては、G12用ミディアムロング(a)、G12用ミディアムショート(b)、およびG12用ファイン(c)の、3つの異なる形状が選定されました。この破碎室形状が長いほど破碎ゾーンが大きくなり、岩石がこの破碎室を通過する際に圧縮される回数が多くなります(図2参照)。また破碎室形状が長くなると、投入口開口も大きくなります。このプラントは、季節ごとの製品ニーズの変化にも対応して生産できる定置式プラントです。このプラントは、製品の変更に関して極

図2 G型コンククラッシャーの破碎ゾーン



めて融通性に優れ、さらに大きなサイロ設備を備えているので、必要に応じて各クラッシャーをそれぞれ単独で作動させることができるのが、重要な特長となっています。このサイロ設備とサイロ上の各スクリーンは、試験運転の計画と実施には欠かせない、重要な機器です。72のすべての実験を完了するのに要した期間は10日間でした。(P17図3参照)

3. 結論

製品粒形に影響を与えることが分かった変数要素のうち、最も重要なものは、徐々に変化する原石の供給量とクラッシャーのストロークです。残りの変数要素も影響を与えますが、この2つよりも影響は小さいものです。供給原石については、粒度分布によって、まったく逆の変化を及ぼすことが分かり、そのため、クラッシャーのストロークの影響は、粒度

図1 破碎室形状



分布の違いを念頭において評価しなければなりません。また、供給原石に細粒分が含まれていない場合に、他の変数要素で実験値を補正することは極めて困難だということも分かっています。別の観点からすると、破碎プロセスが適正な粒度の原石をクラッシャーへ供給する働きをするのであり、このことは、破碎プロセスの構成が極めて重要であることを意味しています。万一、クラッシャーの運転変数要素の一部を製品粒形に最適になるように設定できない場合は、原石の粒度を変化させることによって、その機能を補うことが可能です。ストロークの増大は、岩石に対する圧縮力の増加と衝撃速度の増大を意味します。供給原石中に、設定されている出口セット値より小さい細粒分が十分含まれているときは、ストロークが大きい場合でも、良好な粒形の製品を確保することが可能ですが、反対に供給原石中に、出口セット値より細かい細粒分が含まれていないときは、ストロークが小さいほど粒形の改善が見られます。供給原石に多くの細粒分が含まれる最初のケースでは、より大きなストロークが粒子間破碎に効果的な影響を生じさせ、これによって、粒形が劣っていたものが丸くなります。このように、より大きなストロークは、細粒分を作り出して、より効果的な粒子間破碎を促進するだけでなく、供給原石に含有する細粒分の粒形改善にも影響を及ぼします。後者のケースでは、供給原石に破碎を助ける細粒分が含まれていなかったために、ストロークが大きくなると粒子により「激しい」破碎作用を生じさせ、その結果、劣悪な粒形となってしまいます。このためストロークを小さくして実験した結果、破碎作用がより穏やかなものになり、これが、粒形を改善したのです。粒形をより優れたものにするためにストロークを大きくするケースでは、極めて重要な「副産物」が得られました。つまり、ストロークが大きいほど大きな破碎能力が発揮され、そのため、同等の処理能力を確保するのであればクラッシャーのサイズを小さくすること

が可能となり、これが大きな経済効果を生み出すということが分かったのです。この実験では、コーン速度の変化は粒形の変化に関して、はっきりした影響は示していません。もしストロークと速度を一緒に比較していれば、前述の両方のケースで、速度が岩石に与える衝撃速度が増えますが、ストロークをもっと大きく設定すると、作業ストロークもより大きくなります。つまり、衝撃速度自体はそれほど重要ではないが、圧縮距離が大きくなると、2つの相乗効果で粒形はグンと改善されるわけです。

出口セット値の設定は、破碎力だけでなく破碎比率にも影響します。すでに分かっているように、供給原石に細粒分が含まれていないときは、その影響はそれほど高いものでないのに、出口セット値を広げることによって、粒形にとって、より良い結果が期待できます。

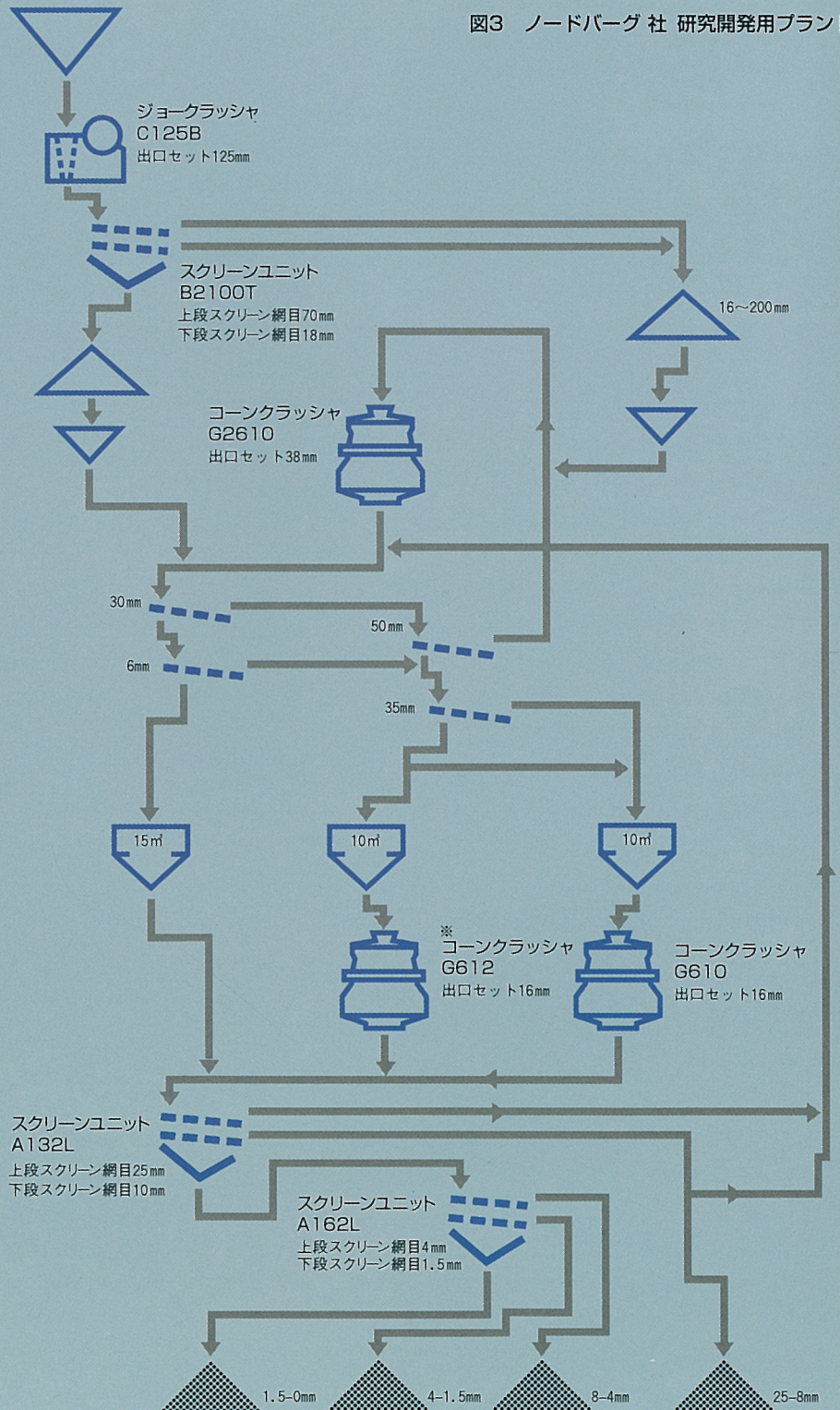
この度の実験では、供給原石に細粒分が含まれているときは、パッキングの危険性を避けるために、破碎室形状を短くしなければならないことを示す傾向が数例見られました。逆に、供給原石に細粒分が含まれないときは、破碎室形状が長い方が破碎ゾーンの数を増やすことになり、原料が下降するにつれて供給材料に含まれていない細粒分を作ることを助けます。

破碎比に関しては、破碎を促進する材料、すなわち細粒分が十分にあることを条件として、「破碎比が大きいときは粒形も優れている」ということが分かりました。これも効果的な細粒分が含まれなときは、より小さい力で破碎した方が、破碎作用が穏やかなので、粒形の改善を促します。もし供給原料に細粒分があるときは、結果は明らかに逆で、粒子が小さいほど破碎に必要なエネルギーは大きくな

り、効果的な粒子間破碎をするためにはより大きな力が必要となります。

まとめとして、「クラッシャの運転変数要素は、ある限界内で、製品粒形に影響を与えることがある」ということができ

ますが、製品粒形に決定的な影響を与える要因は、供給原石の状態であり、これは「それぞれの機器の性能よりも、むしろ破碎プロセスそのものを重視すべきである」という結論が導き出されたことを報告します。



※コーンクラッシャG612は、論文テーマの実験用に設置されたものです。