

乾式砕砂生産システムの実績報告

Field Report of Crushed Sand Production by Dry System

畑中 治

Osamu Hatanaka

建設の主要材料である砂は、今まで天然砂が大半を占めていたが、良質な天然砂の枯渇化並びに環境保全の重要性により、さまざまな採取規制が行われている。このため、砕砂の需要が年々増加している。

砕砂生産の設備は湿式と乾式の2つに分類される。これからの砕砂生産は乾式砕砂増産の傾向にあり、当社では乾式による砕砂システムの開発を推し進めてきた。

システム主要機器の開発を行った結果、実機納入まで至ったので、本稿において報告する。

The sand used for main construction material has been almost natural sand, however recently various picking regulations have been laid because of exhaustion of the high-quality natural sand and the importance of the environmental preservation. Therefore, demand for crushed sand is on the increase, year by year.

Equipment for the sand production is classified into two, wet and dry, types. The dry type crushed sand production is on the tendency of increasing, and development of the crushed sand producing by dry system has been promoted in our company.

This paper reports development of system main apparatus and an actual result.

1. はじめに

従来、建設の主要材料である砂については、河川、海および山地から採取した天然砂といわれるものが大半を占めていた。ところが近年、良質な天然砂の枯渇に加え、自然環境保護のため、さまざまな採取規制が行われるようになってきている。このため、石を砕いてつくる砕砂の需要が増加しており、品質の良い砕砂を生産できる砕砂システムの確立が重要視されてきている。

前稿¹⁾ではシステムの概略について報告したが、本稿では追加説明に加え、実験機によるテストデータおよび実機納入後の実績データについて報告する。

2. 砕砂生産

2.1 湿式設備と乾式設備

砕砂生産の設備は湿式と乾式の2つに分類される。砕砂はJIS A 5004で粒度構成が規定されており、その分布範囲に収めるために分級して微粉を除去する必要がある。水を使用する方式を湿式といい、空気分級機などを利用して微粉を除去する方式を乾式という。このうち湿式の場合は、分級効果は高いが汚濁水の処理が必要となり、設備費・水処理費によるコスト高の問題や産業廃棄物扱いとなることが多い脱水ケーキの発生の問題がある。乾式の場合では、付着微粉の除去が不十分であるが、生産コストは低くなり、回収した微粉の再利用も可能である。このため、これからの砕砂生産は乾式砕砂増産の傾向にあり、当社では乾式による砕砂生産システムの開発を推し進めてきた。

2.2 砕砂の粒度構成

砕砂はJISで粒度構成範囲が規定されており、その範

* クリモトメック株式会社 機械技術部

囲内に収める必要がある。ただし近年はJISの範囲内に収めるだけでなく、ある特定の粒度構成をもつように要求されることが多い。一般的には、図1に示すようなJIS規定範囲の中心を通る粒度構成をもつ砕砂が求められており、その場合は粒度調整を行う必要がある。

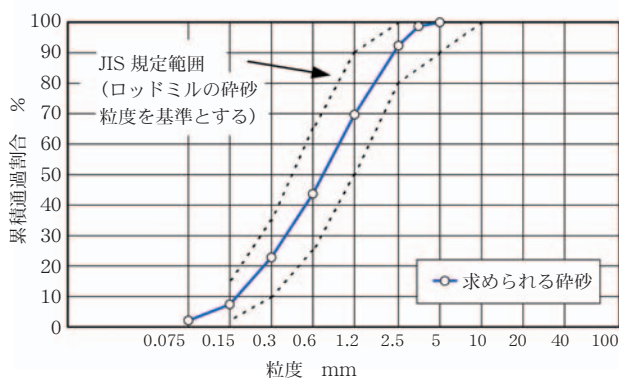


図1 砕砂粒度分布

Fig. 1 Size distribution of crushed sand

3. 乾式砕砂生産システム「クリモトチャンピオンシステム」

3.1 砕砂生産の問題点とシステムによる対応

砕砂生産については、天然砂と比較して粒形が角張っているためコンクリートの流動性が悪いという品質に関する問題点、生産設備のランニングコストが高価である、振動・騒音が大きいなどの設備に関する問題点がある。これらの問題点に対し、堅型ミル「オーロラミル(A-VXシリーズ)」²⁾を開発し、問題点の解決を図っている。各種製砂機のうち堅型ミルは、乾式方式で粒形の良い砕砂が生産でき、設置面積、振動・騒音および動力原単位が小さいなどの特長がある。

砕砂生産の品質に関する重要な項目として、上述の粒形以外に産物粒度(FM値)の調整がある。一般的に粒度

構成の調整はスクリーン(振動ふるい)で行うが、分級点を小さくすると目詰まりの問題が発生する。また、例えば0.3~0.6mmなどのある特定の粒度分布範囲の割合調整などはスクリーンでは困難である。本件の砕砂生産システムでは風力分級を採用し、容易な粒度構成の調整を可能にしている。

図2に品質に関する問題点への対応について示す。

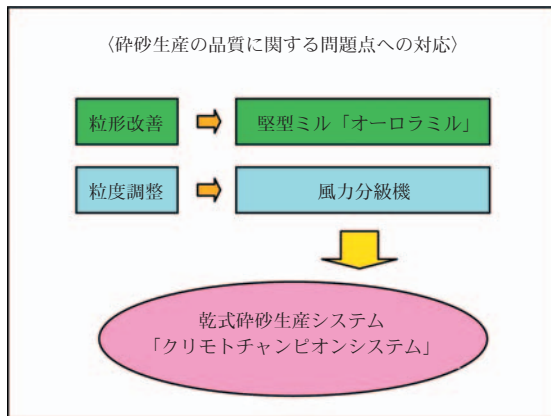


図2 問題点への対応
Fig. 2 The measure to problems

3.2 システムフロー

乾式砕砂生産システムのフローシートの一例を図3に示す。まずオーロラミルにて原石を破碎し、その破碎品の全量を風力分級機に投入する。風力分級機にて粗粒と細粒に分け、細粒から砕砂に不要な微粉をエアセパレータで取り除き、最終製品砂を生産する。

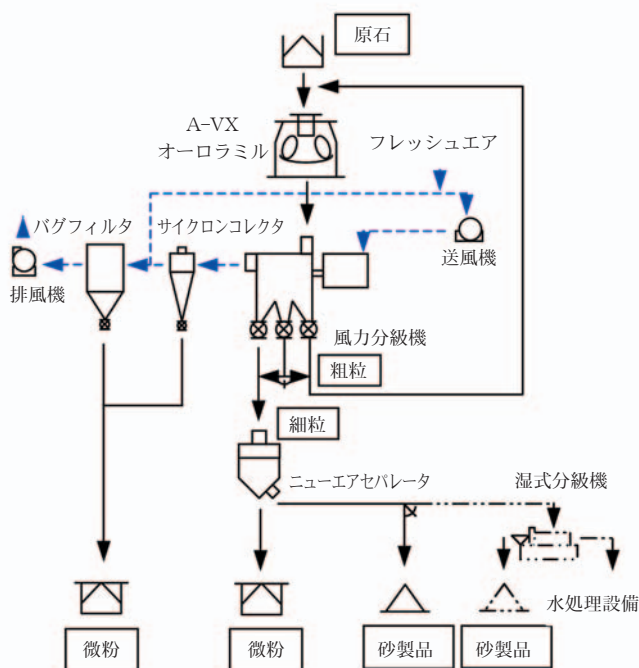


図3 乾式砕砂システムフローシート
Fig. 3 Flow sheet of The dry crushed sand system

この風力分級機を使用することにより、要求される砂の粒度構成によっては、エアセパレータが不要となる場合もあり、またスクリーンが必要となる場合もある。本システムによりさまざまな目的の粒度構成をもつ製品砂を生産することが可能となる。

4. システムを構成する主要機器

システムは「オーロラミル」「風力分級機」「エアセパレータ」「スクリーン」などにより構成される。このうちシステムの分級部の主機である「風力分級機」と今回改良を行った「エアセパレータ」について以下詳細説明する。

4.1 風力分級機

4.1.1 構造

図4に風力分級機の模式図を示す。まず幅広の薄い層に広げた原料をベルトコンベヤまたはロールフィーダから分級機上部に供給する。重力落下する原料は、前方水平方向から吹き込むエアにより、ある粒径グループごとに確率的に分離され、粗粒が手前の粗粒室に、細粒が遠方の細粒室に落下し、回収される。このとき、エアが均圧室を通過することにより、吹出し口が幅広でもエアの速度分布は均一化される。各室の粒度調整は可動式仕切板の角度、風量などを変えることにより対応する。分級機を通過した微粉を含むエアはサイクロンから集塵機に送られ、微粉の回収を行う。

各室の回収製品の配合比率を変えることにより最終製品砂の粒度調整を行う。

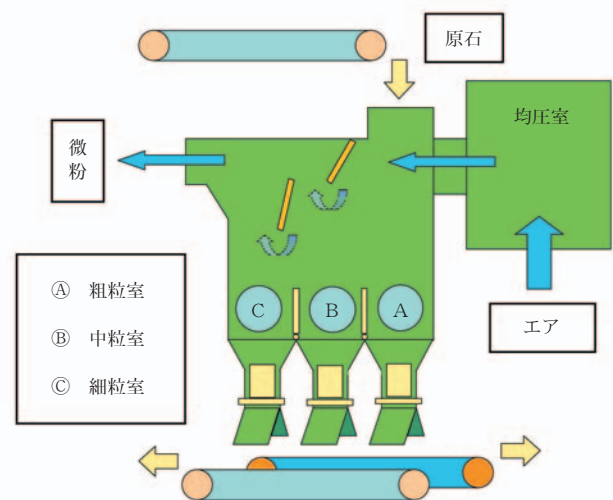


図4 風力分級機模式図
Fig. 4 Schema of Air classifier

4.1.2 特長

1) シンプルな構造

駆動部のないシンプルな構造のため、他の分級装置に比べ使いやすく、かつ安価である。

2) 産物粒度 (FM値) 調整が容易に可能

各室を分けている仕切板角度や風量の調整により、各室に回収される原料の粒度分布をコントロールできるようになっている。また、それぞれの室の中にも可動式仕切板が設けてあり、回収する製品の粒度を任意にコントロールできる。

3) 分級効率の向上

分級機内のエアの通り道に邪魔板を設けており、分級効率の向上を図っている。

4) 製品粒度の安定

分級機にエアを送り込む前に均圧室を通過させることにより、吹出し口が幅広でもエアの速度分布は均一化される。分級機の中央部でも端部でも製品粒度は同一となり、安定した製品を得ることができる。

4.1.3 諸計算式

ベルトフィーダにより原料供給することをベースとして諸計算を行う。

下記諸計算式により各粒径の原料の落下位置を算出し、風力分級機の寸法、ダンパ位置などを決定する。但し各式は理論式であり、実際の粒子は完全な球ではなく理論よりも気流の影響を受けるため、係数として実験結果から求める補正值を最終的に乗じる必要がある。

1) 粒子の落下速度

砂の分級ではmm単位の粒子群の挙動が関係してくるためAllen領域ではなくNewton領域での検討となる。d cmの落下粒子に働く空気の抵抗力はNewton領域では次の式とされる。

$$F = 0.055 \cdot \pi \cdot \rho_a \cdot d^2 \cdot v_s^2 \quad (1)$$

ρ_a : 空気の密度0.00113g/cm³

v_s : 気流の速度(m/s)

重力落下する粒子は上記抵抗力の分だけ速度が落ちる。別途計算では、1mm粒子で2m落下するとき約2割速度が低下する。

落下速度の式は $V = \sqrt{2gh} = 4.43 \cdot \sqrt{h}$ であるが、実機ベースでの計算においては約1~2割速度が低下することを考慮して、 $V = 4.0 \cdot \sqrt{h}$ とする。

2) 横から気流を当てた粒子の水平速度

上記抵抗力の式を左辺に、粒子がLcm横に飛ばされる間に気流から与えられるエネルギーを右辺とすると

$$0.055 \cdot \pi \cdot \rho_a \cdot d^2 \cdot u^2 = (1/2)(\pi/6) \cdot d^3 \cdot \rho_s \cdot v^2 / L \quad (2)$$

ρ_s : 粒子の密度2.7g/cm³

u : 落下粒子の速度(m/s)

v : 粒子の水平速度(m/s)

$$v = 0.017 \cdot u \cdot \sqrt{L} / \sqrt{d} \quad (3)$$

図5において垂直落下粒子が気流の厚みhを通り過ぎる時間は、平均垂直落下速度をVとすれば $t = h/V$

また横に飛ばされる距離Lは $L = (1/2) \cdot v \cdot t$

よって $L = (1/2) \cdot v \cdot h/V$

上記の粒子の水平速度の式に代入して

$$v = 0.000145 \cdot h \cdot u^2 / (V \cdot d) \quad (4)$$

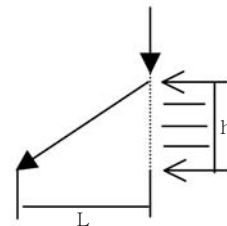


図5 粒子の運動
Fig. 5 Movement of a particle

3) 実験機の間連諸数値

(1) A点からの粒子軌跡

図6のようにベルト上の一定層厚の原料はプリー表面と約60°の傾斜A'点にて崩れ落ち、A点にてベルトから離れる。この点の落下速度は原料性状や粒度、落下状態にもよるが2割減速するとみて1.0m/sとし、これを60°傾斜速度に換算してベルト速度0.015m/s(テスト実測値)を加えるとA点における速度が求められる。

水平速度: 0.435m/s 垂直速度: 0.75m/s

ここで垂直落下速度0m/sの仮想レベルを $V = 4.4 \cdot \sqrt{h}$ より逆算で求めると29mmとなる。

B点の水平速度はA点と同じく0.435m/s、垂直速度は0レベルより467mm下であることから上記と同様 $V = 4.2 \cdot \sqrt{h}$ (誤差見込) で2.87m/sとなる。B点の水平位置は平均垂直速度を1.44m/sとし、A点より

$$(0.467/1.44) \cdot 0.435 - 0.029/\tan 60^\circ = 0.124m$$

(2) B点より下の粒子軌跡

通常の場合、粒子はB点に図6でいえば左上より右下方向に落下する。そして気流に当たって右への水平速度を失う。B点での右方向の水平速度を $v_h = 0.435m/s$ とすれば、2)項の式(4)が利用できる。

$$v_h = 0.000145 \cdot e \cdot u^2 / (V \cdot d) \quad (5)$$

$$e = 0.435 \cdot V \cdot d / (0.000145 \cdot u^2)$$

気流の出口の中心は0レベルより517mm下のため

$$V = 4.2 \cdot \sqrt{0.517} = 3.0m/s$$

粒子がeの距離を落下する時間は $t = e/3.0$

したがって $c = t \cdot v_h / 2 = 0.5 \cdot v_h \cdot e / V$ (6)

その粒子に改めて与えられる左方向への水平速度は

$$v = 0.000145 \cdot (h - e) \cdot u^2 / (V \cdot d) \quad (7)$$

上式で速度で左方向に飛ばされる距離は

$$a = (1/2) \cdot (h - e) \cdot v / V - c \quad (8)$$

aの位置よりさらに550mm(0レベルより約1,120mm)下の粒子の平均垂直速度と位置は

$$V_a = 4.2 \cdot (\sqrt{1.12} + \sqrt{0.55}) / 2 = 3.8 \text{m/s} \text{ (4.2は誤差見込)}$$

$$b = a + v \cdot 0.55 / 3.8 \text{ (水平速度は上記計算値と同じ)}$$

となる。

このようにして得られる理論値とテストによる実験値を比較し、不完全球体である砕砂の形状に関する補正値を求める。

4.1.4 実験機によるテストデータ

一例として実験機による粒度調整のテストデータを紹介する。

0.3~0.6mmを多く含んだ原料(0~5mm)の粒度調整を行い、JIS規定範囲の中心を通る粒度構成をもつ砂製品を生産することをテスト目的とした。

図7にテストフローを、図8にテスト原料と得られた砂製品の粒度分布を示す。テスト結果より、風力分級機により回収した「中粒」が目的の粒度分布をもつ砂製品となることを確認した。

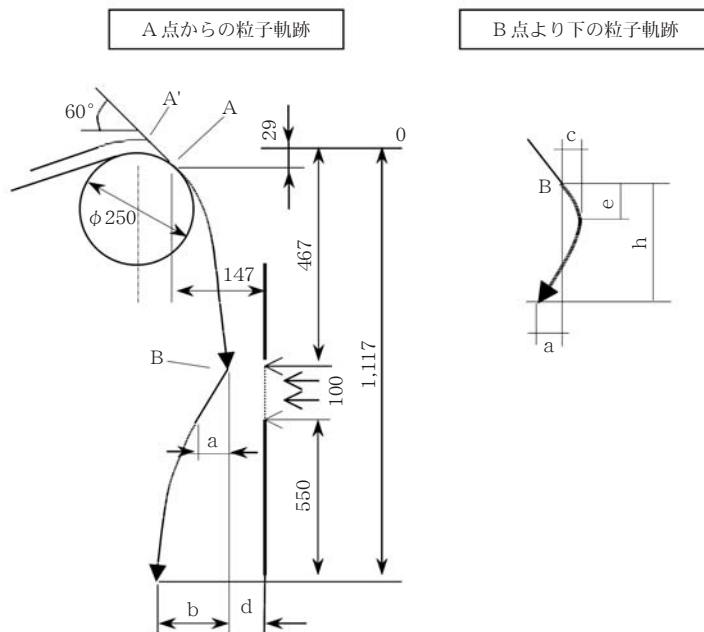


図6 粒子の軌跡
Fig. 6 The locus of a particle

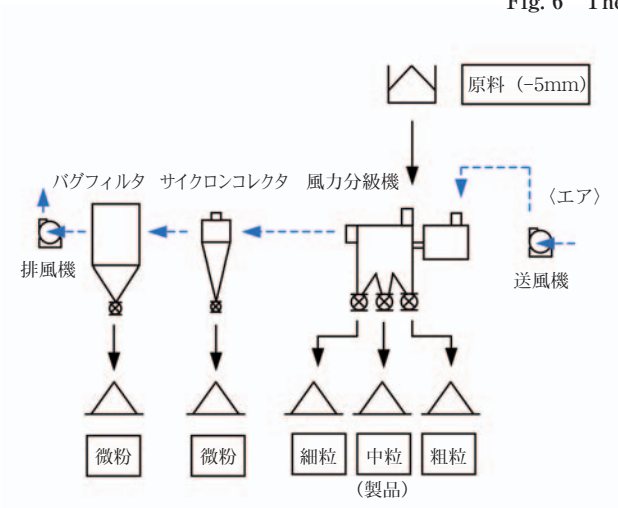


図7 テストフローシート
Fig. 7 Test flow sheet

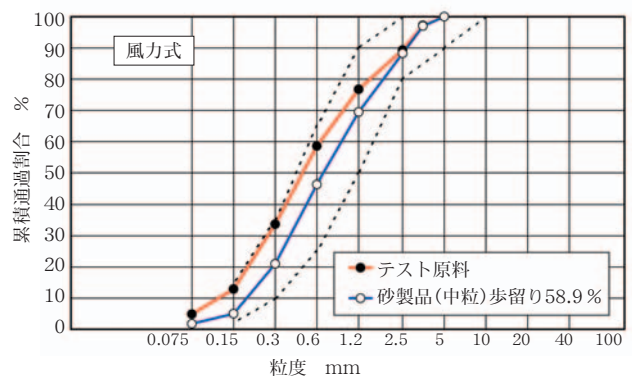


図8 砕砂粒度分布
Fig. 8 Size distribution of crushed sand

比較として図9に代表的なふるい分け機であるスクリーンを使用して調整した場合の砂製品の粒度分布(計算値)を示す。スクリーンで各粒度別にふるい分けを行い、必要分量のみ混ぜ合わせる方式である。表1に計算時の各粒度の配合比率を示す。ただしスクリーンで0.15mm、0.3mmなどの細粒を大量にふるい分けることはほぼ不可能であることから、実際の操業においてはスクリーン以外の設備を考える必要がある。

図8と図9を比較すると、粒度構成、原料に対する砂製品の歩留りが同程度であることから、風力分級機による粒度調整がスクリーンに代わる有効な手段であることが確認できる。

4.1.5 実機納入後の実績データ

現在、実機の1号機が中国地方で稼働中である。図10にプラントフローシート、図11に分級部の組立図、図12に外観、図13にシステムにより得られた砂製品の粒度分布をそれぞれ示す。

本システムによりミル破碎製品から粗粒と微粉を取り除き、最終製品である砂を生産している。

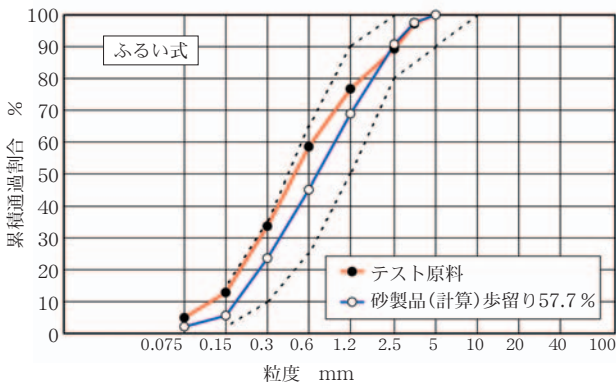
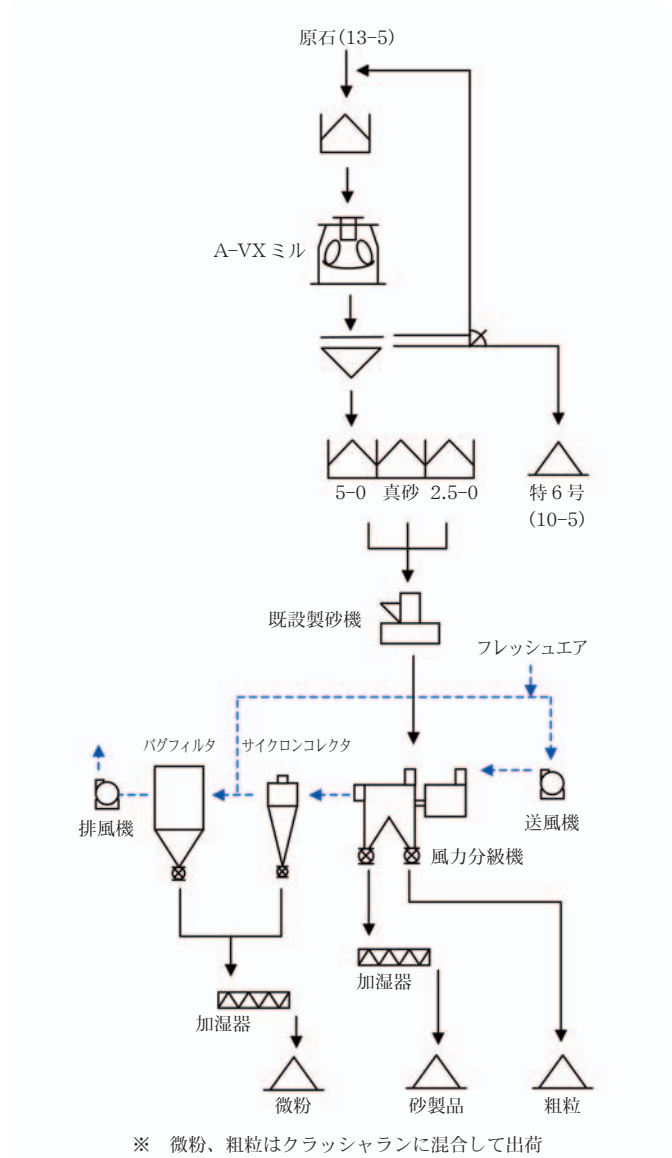


図9 砕砂粒度分布
Fig. 9 Size distribution of crushed sand



※ 微粉、粗粒はクラッシュランに混合して出荷

図10 プラントフローシート
Fig. 10 Plant flow sheet

表1 各粒度の配合比率
Table 1 The combination ratio of each particle size

| 粒 径 (mm) | テスト原料 (%) | 配分率 (%) | 砂製品 (%) | 砂製品 (%) (100% 換算) |
|--------------|-----------|---------|---------|----------------------|
| +5 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0.0 |
| 3.5 ~ 5 | 2.8 | 50 | 1.4 | 2.4 |
| 2.5 ~ 3.5 | 7.9 | 50 | 4.0 | 6.9 |
| 1.2 ~ 2.5 | 12.6 | 100 | 12.6 | 21.8 |
| 0.6 ~ 1.2 | 18.2 | 75 | 13.7 | 23.8 |
| 0.3 ~ 0.6 | 24.8 | 50 | 12.4 | 21.5 |
| 0.15 ~ 0.3 | 20.8 | 50 | 10.4 | 18.0 |
| 0.075 ~ 0.15 | 8.0 | 25 | 2.0 | 3.5 |
| - 0.075 | 4.9 | 25 | 1.2 | 2.1 |
| 合 計 | 100.0 | - | 57.7 | 100.0 |

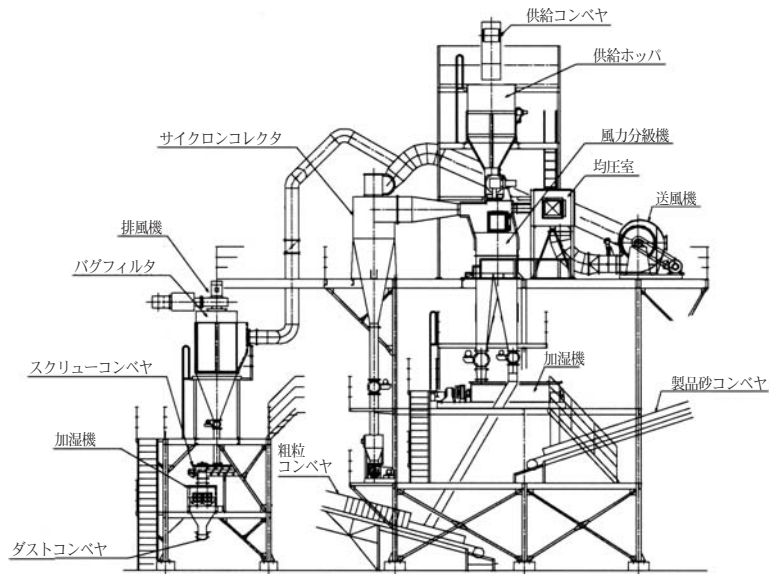


図11 組立図
Fig. 11 Assembly figure



図12 プラント外観
Fig. 12 View of the Plant

4.2 エアセパレータ

4.2.1 改良の経緯

エアセパレータはセメント工業などの諸工業で古くから用いられている分級機であり、砕石業でも砂に不要な微粉を除去するのに使用されてきた。しかし元の使用目的がセメント用であり、0.088mm以下99%の微粉を製品とする分級機のため、砂の分級用としては効率が低い、構造上微粉側に粗粒の飛び込み混入現象があるなどの問題があった。そのため投入量を少なくしたり、回転数を上げて対応してきたが、今回砂の分級用として構造の見直しを行い、改良を実施した。

4.2.2 改良点

図14に従来タイプと改良タイプの模式図を示す。

- 1) 分散板と主羽根との距離を大きくとることにより分級帯(H)を長くし、分級効率を上げる。
- 2) 補助羽根を取り去り、微粉除去率を上げる。
- 3) 内部円筒の形状を末広りにすることにより、粗粒が内部円筒の斜部に当り微粉側へ飛び込むことを防ぐ。

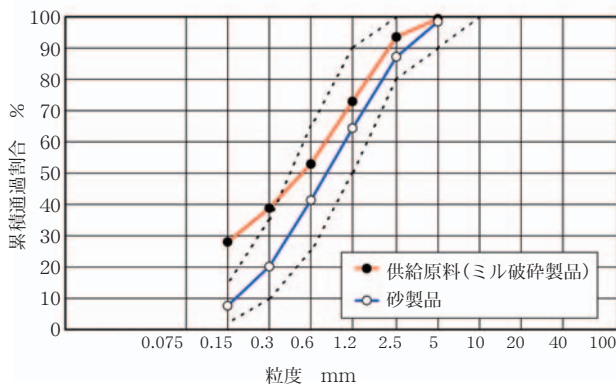


図13 砕砂粒度分布
Fig. 13 Size distribution of crushed sand

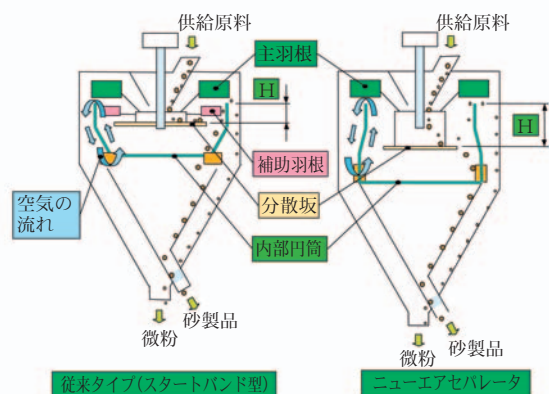


図14 エアセパレータ模式図
Fig. 14 Schema of Air separator

4.2.3 改良後の効果

実験機では、微粉側への粗粒の混入がなくなり、分級効率が上がっていることを確認した。また、当初の設計通りの投入量に対応可能であり、回転数を下げても十分分級可能であることを確認した。

テスト結果を基に今年3月改良タイプの実機納入を行った。図15は実機で得られた砂製品の粒度分布曲線を示す。砂に不要な0.075mm以下の微粉が10.6%から2.2%となり、非常に良好な結果が得られた。

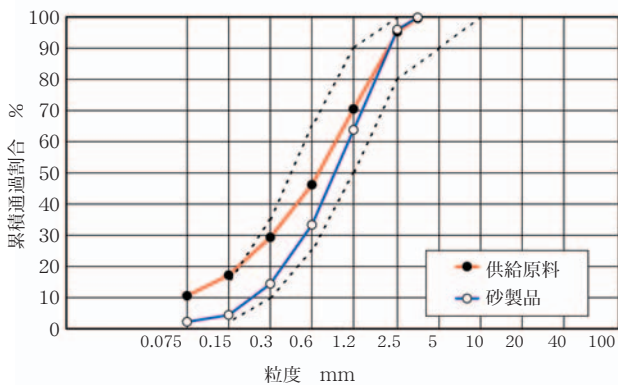


図15 碎砂粒度分布

Fig. 15 Size distribution of crushed sand

5. おわりに

今回、システムの概略および実験機によるテストデータ、風力分級機とエアセパレータの実機データについて報告した。安定供給ができる碎砂の需要は今後さらに高まっていくと考えられ、本システムの担う役割も大きくなると予測される。本システムの性能をより高めるため、今後も実験と改良を重ねていく所存である。

参考文献

- 1) 畑中 治：乾式碎砂生産システム、クリモト技報 No.46、2002.3、pp.40-43
- 2) 畑中 治：新型製砂ミル「オーロラミル」の開発、クリモト技報 No.44、2001.3、pp.2-5

執筆者

畑中 治

Osamu Hatanaka

平成9年入社

破碎機の設計に従事



栗本トピックス

東部地区拠点工場の完成（古河工場）

建材事業部東部地区の拠点工場として、2001年10月、茨城県に古河工場を建設し、操業を開始した。立地は、都心から60km圏内という条件に恵まれた場所で、関東平野のほぼ中央、茨城県の西部にあたる。工場の近辺には、東北本線、東北新幹線、国道4号バイパスが縦貫し、交通の利便性にも恵まれている。

2003年の春、増築により埼玉・松戸両工場の統合が完了し、建材事業部において、最大規模（月産1,300トン）の工場となった。この統合により、建築、空調、土木製品のほぼすべての生産が可能な複合工場となり、東部地区の需要に答えている。

併せて、クリモト・システム・トラス(K.S.T.)を使用した実験棟を建設した。また、新商品「トラスウォール」の製作もあり、ますます活気にあふれている工場である。

～古河工場の概要～

- ・所在地
茨城県猿島郡総和町
- ・敷地面積
50,968 m² (約 15,440 坪)
- ・延床面積
16,667 m² (約 5,050 坪)
- ・従業員
約180人



図1 古河工場全景



図2 K.S.T.実験棟



図3 トラスウォールでの施工