

## 42. サイロ貯炭システムの開発

住友建設(株) 則 武 邦 具・鳥 生 晃 \*水 谷 淳

### 1. まえがき

この研究は、住友建設(株)、住友石炭鉱業(株)、住友重機械工業(株) 3社が共同して開発したサイロ貯炭システムに関するものである。石油情勢の悪化からエネルギーの多様化、特に石炭の利用がクローズアップされている。しかし、石炭はその性質が石油に比べて複雑であるため、輸送・貯蔵・ハンドリングなどの面で問題点が多い。今回開発したサイロ貯炭システムは、これらの問題点を解決し、安全で最適なサイロ貯炭を可能とした。

本システムは図-1に示すような構成となっている。システムの開発に際しては、石炭物性の室内実験、各種サイズのモデルによる流下実験を初めとし、容量800m<sup>3</sup>を擁する実証サイロ(写真-1)における払出し機の性能実験、払出し実験、長期静置実験などの各種の実験を行うことにより、内容物に応じた払出し機の開発や、防災及び設計に関する技術を確立した。



写真-1 実証プラント全景

更に、電子計算機を用いた流下解析により、従来、不可能であったサイロ内での流下状態の把握を可能とし、サイロ内石炭の流下挙動に関するノウハウを蓄積した。

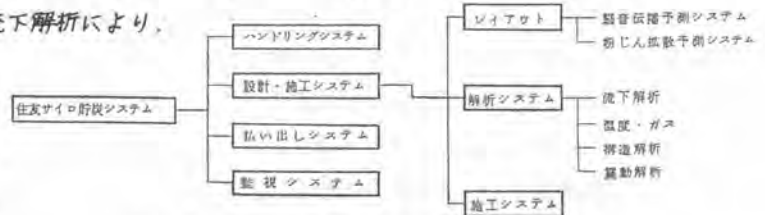


図-1 システムの構成

### 2. サイロ貯炭の問題点とその対策

サイロ方式による貯炭は多くの点で他の貯蔵方式よりも優れている。しかしその反面、サイロ式貯炭には多くの問題点を抱えており、これらの問題点を解決して初めてその有利性がいえる。サイロ貯炭に関する主な問題点としては次のようなものがある。

- ① 均一払出し ----- 流下パターン(マスフローとファネルフロー)
- ② 閉塞現象 ----- ラットホール、付着、ブリッジング
- ③ 長期貯炭 ----- 温度上昇、ガス爆発、炭じん爆発

サイロ式貯蔵の持つ利点に“先入れ先出し”がある。均一な払出しが阻害されたり、付着現象が生じたりすると、サイロとしての機能を失う。均一払出し及び閉塞現象の問題はサイロ貯蔵特有のものであり、本システムでは設計・施工システムの内の解析システム(流下解析)によって解析的に問題の解決を計ると同時に、安定した払出しを行うための新しい払出し機構の開発を行った。このような問題点を一つ一つ解決してゆくことによりサイロ貯炭システムを確立した。

### 3. サイロ内での石炭の流下状態の把握

サイロ内での流下現象には多くの要因が関係しており複雑である。サイロ内での粉粒体の基本的な流動型はマスフローとファンネルフローの2つに分けられる。写真-2は石炭を用いた流下実験における2つの流動型を写したものである。ファンネルフローの場合には付着現象が生じやすく、サイロの機能を阻害する恐れがある。



マスフロー

ファンネルフロー

写真-2 流下実験における2つの流動型

石炭サイロの設計において問題となるのは、サイロ構造に関する力学的な問題の他に、安全で経済的な石炭の払出しが期待できるサイロ形状を決定することである。サイロ形状を決定するためには、流下現象を把握する必要があるが、従来、流下現象を把握できないままに経験的な判断に依り、サイロの形状を決定していた。今回、このような問題を解決するために流下解析システムを開発し、サイロ内での流下現象のシミュレーションを行った。

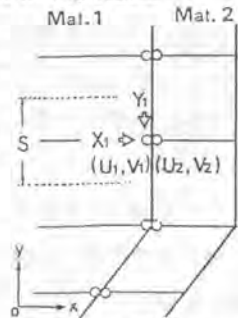


図-2 壁面での力等モデル

解析にはFEMによる数値解析的手法を用いた。FEMのような連続体としての解析法においては、サイロ壁面における貯蔵物のすべりをどのように評価するかが問題となる。ここでは図-2に示すように、壁面で同一の座標位置を持つ二つの節点を考え、相方の節点間での力の伝達のみによってすべりを表現する方法を用いた。図-3は壁面でのすべりを判定する手順を示したもので、 $\phi$ は壁面摩擦角、 $C_0$ は壁面での粘着力を表わす。

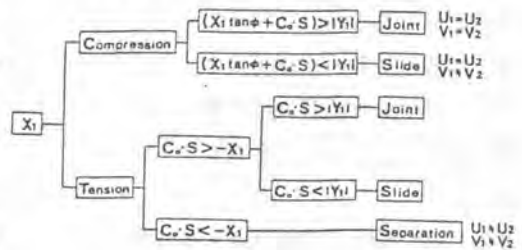


図-3 壁面でのすべり判定手順

図-4は、内径1.8m積付け高3.0mの三次元モデルを用いた石炭の流下状態観測結果で、ホッ

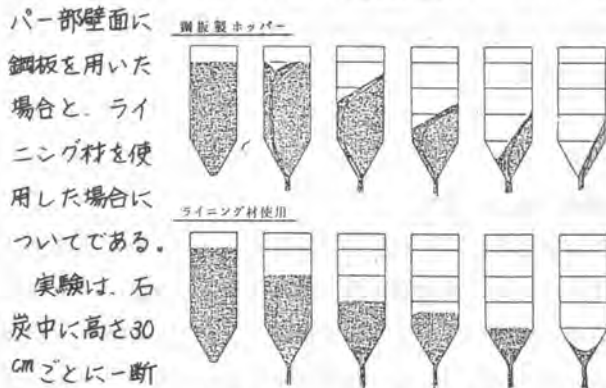


図-4 三次元流下実験

パー部壁面に鋼板を用いた場合と、ライニング材を使用した場合についてである。実験は、石炭中に高さ30cmごとに一断面9箇の、色

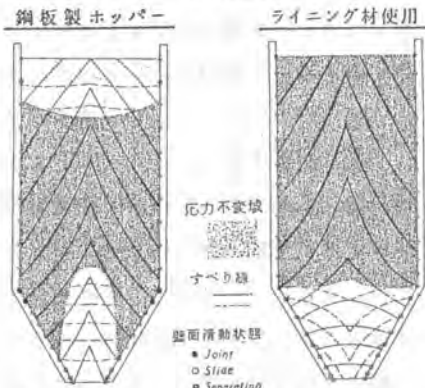


図-5 流下シミュレーション結果

別し番号を付けた小木片を配し、木片の排出を追いかけることにより、流下状況を観察した。ホッパー部に鋼板を用いた場合はファンネルフロー、ライニング材を用いた場合はマスフロー状態での流下が観察された。

図-5は、三次元流下実験と同じ条件で流下解析システムを用いて解析した流下シミュレーション結果である。流下状況は壁面での滑動状態、すべり線の発生具合、粉体の応力不変域の三つのファクターより総合的に判定する。実験結果と解析結果とはよく一致しており、流下解析はサイロ内の粉粒体の挙動を正しくシミュレートすることができる。

流下解析は、どのような形状のサイロへも適用することができる。図-6は、その一例を示したものである。

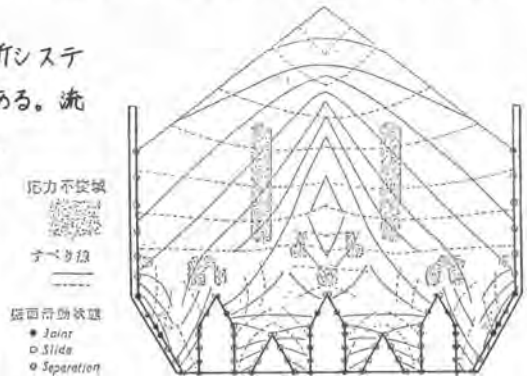


図-6 流下解析例

#### 4. 実証サイロにおける各種実証実験

##### (1) 長期静置実験

長期間にわたって、石炭をサイロ内に貯蔵する場合、石炭温度の上昇、発生ガス濃度の管理が問題となる。これらの問題に対処するために実証サイロにおいて、特に気温の高い6月～8月の3ヶ月間にわたって静置実験を行った。測定項目は次のようである。

〔温度〕----石炭温度、サイロ壁温度、サイロ上部空間温度

〔発生ガス〕---供試炭内ガス(CO)、サイロ上部空間ガス(CO、CH<sub>4</sub>、H<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>)

図-7は計測に用いたセンサーの配置状況を示したものである。石炭温度は熱電対をケーブルで所定の位置に吊り下げて計測した。発生ガスは主にガスクロマトグラフィー分析によって計測した。

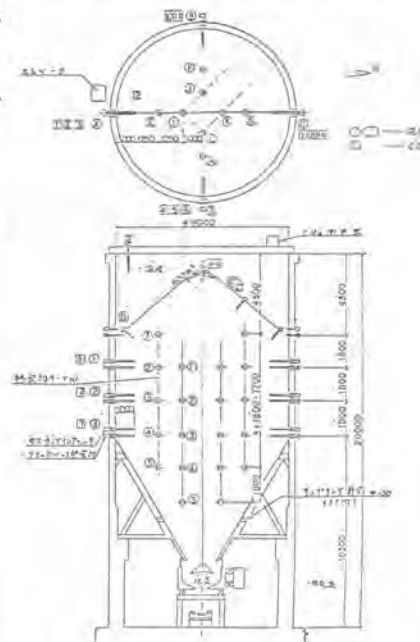


図-7 センサー配置図

サイロ内の石炭は自然通気により除々に酸化され温度が上昇する。周囲から酸化熱は放散されるが中央部では酸化熱はそのまま蓄熱される。この傾向は、温度が上昇するほど酸化速度が増すので放置期間が長くなるほど周囲との温度差は大きくなる。

図-8は静置実験での温度分布の一例を示したものである。

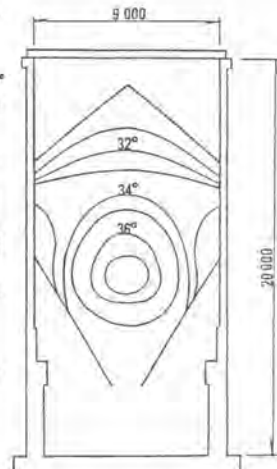


図-8 石炭温度分布

(2) サイロ内の内圧測定

サイロ構造物を設計する場合、サイロ壁体に作用する内圧をどう設定するかが問題となる。サイロ壁に作用する内圧に関する各国の設計基準値は国によりまちまちであり、どのような内圧値が妥当であるが不明確である。そこで、実証サイロで色々な状態での内圧値を測定した。図-9は、実証サイロでの実測内圧とFEM解析値及び各国設計基準値とを比較したものである。実測値と解析値とはほぼ一致している。

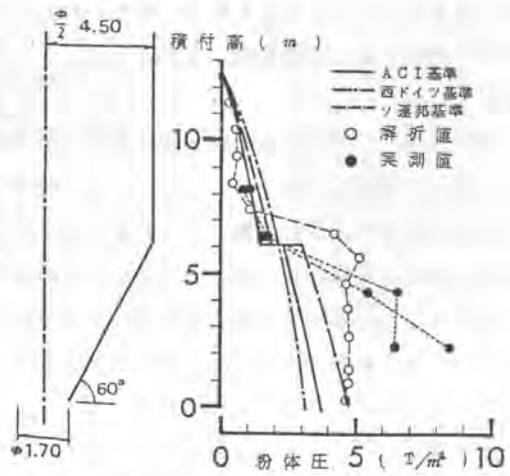


図-9 実測内圧と各国基準、解析値との比較

実証サイロにおいて、払出し実験、内圧測定、静置実験など、数多くの実験や測定を通じてサイロ貯炭に関する貴重なデータが得られた。

5. 新しい払出し機構の開発

サイロ貯炭システムにおいては均一な流下と同時に、偏りのない安定した払出し機能が要求される。本システムでは、図-10に示すようなサイロ底部形状に応じた3種類の払出し機構を開発した。コンカル式サイロにはアンコーラを用いる。この払出し機は払出し口にある石炭に振動を与えて払出し、払出し量の調整は振動の振幅を変えることにより連続的に行うことができる。フラット式サイロに対してはロープハローを用いる。これは、サイロ底部円周上に設けられたリングによりロープを低速で移動させ、ロープを用い鉛直圧により締め固ま、た石炭をほぐし、底部にあるフィーダ上に払出す方式である。スリット式サイロに対しては、ロータリープロフィーダを用いる。これは底部スリット上に安息角により静止している石炭をロータリープロフィーダで切出し、フィーダ下部に設けたコンベア上に払い出す方式である。これらの払出し機構は、サイロの構造形や内容物の性状に応じて選択されるものである。

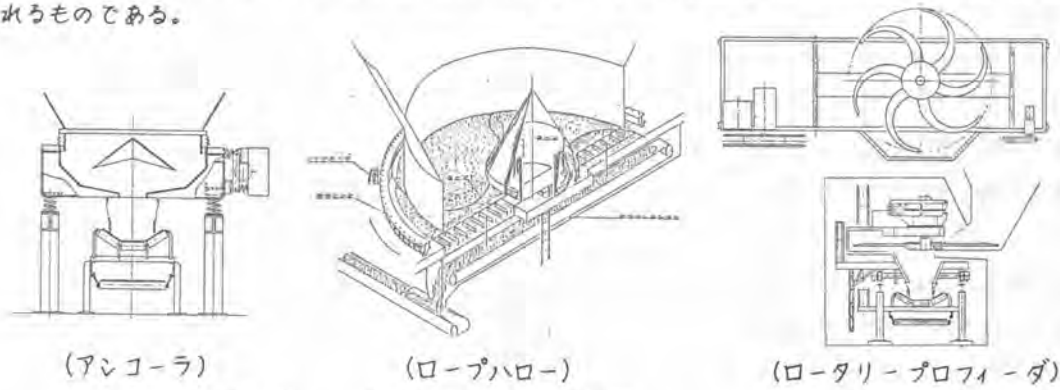


図-10 各種払出し機構の構造図

ら、おわりに 本システムは、サイロ貯炭に関する問題点を克服し、解析的な裏付けに基づいた、最適な材料の選択、最適なサイロ形状の決定を行うことができ、安全で経済的なサイロの設計を可能とした。本システムは、石炭以外の他の貯蔵物へも適用することができる。