

■ 技術報告 ■

発電所用石炭サイロの圧力と流動性状

— 四国電力西条発電所貯炭設備 —

Measurements of Pressure and Flowability of Coal Storage Silo for
Power Generation Plant at Saijo in Japan井上 芳樹*・木原 和彦**・末兼 正純***・表 佑太郎****
Yoshiki Inoue Kazuhiko Kihara Masazumi Suekane Yutaro Omote

1. 序

この技術報告は、本誌1982年Vol. 3, No.5に掲載された「発電所用石炭サイロの開発¹⁾」の続編で、同報告で紹介した四国電力西条発電所に建設された大型貯炭サイロについて、その完成後に実施した諸試験結果のうち特にサイロ内での石炭の流れの挙動を圧力測定結果と関連づけて報告するものである。

2. サイロの概要

既報でも述べたように、このサイロは四国電力西条発電所1・2号機(総出力40.6万kW/hr)の石油から石炭焚への転換工事に伴って建設された我国初の本格的な実用設備で、13,000t×3基の貯炭能力をもつ鉄筋コンクリート製石炭サイロである。サイロの建設工期は昭和56年11月に着工し、昭和58年3月に工事完了、その後約3ヶ月の試運転期間を経て同年7月に営業運転を開始した。図-1に完成後の全景写真を、図-2に構

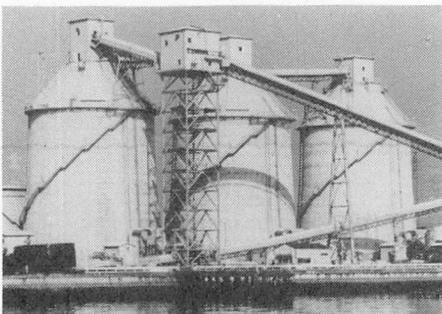


図-1 サイロの全景

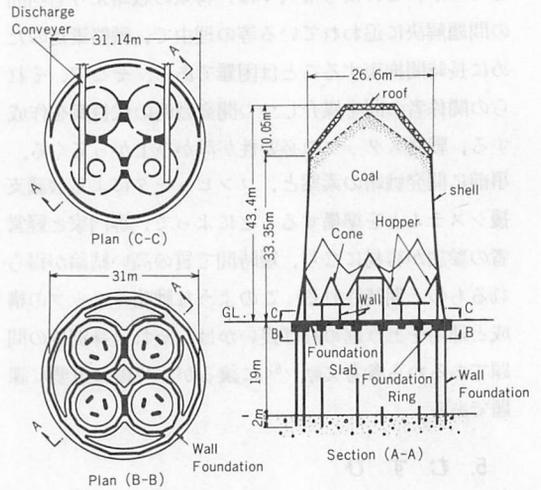


図-2 サイロの概要

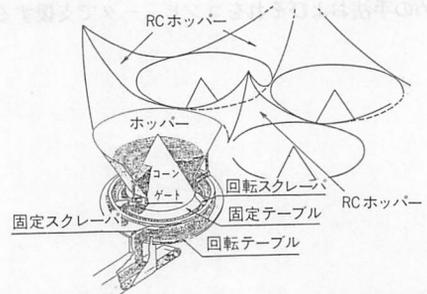


図-3 ダブルコニカル払出装置

造概要を示す。石炭の払い出しは㈱日立製作所と㈱大林組とが共同開発したダブルコニカル式払出装置を図-3に示すようにサイロ1基に4個設置し、対角の2個を1組として運転する。最大払出能力は500t/hrである。サイロ内への石炭の投入はサイロ頂上よりの一点投入で、最大積付能力は1,000t/hrである。その他の設備概要と設計要旨については既報に述べられている

* 四国電力 総合技術開発研究所 土木研究所 主席研究員

** ㈱日立製作所 笠戸工場運搬機設計部 副技師長

*** ㈱大林組 東京本社エンジニアリング事業部 課長

**** ㈱大林組 技術研究所構造第二研究室 主任研究員

〒204 東京都清瀬市下清戸4-640

本報告はエネルギー・資源 Vol. 3, No. 5, 1982
「発電所用石炭サイロの開発」の続編です。

ので本報では省略する。

3. 試験概要

本サイロは、過去の知見、模型実験による確認、各種基準との対応などを種々検討すると共に、榎大林組が技術提携している米国のサイロコンサルティング会社である、Fling & Partners社のチェックも受けて設計・施工されたものであるが、この経験を更に将来的にも役立つものとする為には、完成されたサイロでの実測検証が非常に大切なことである。そこで、試運転期間中に於る設備機器等の諸試験に並行して、サイロの構造特性に関する諸試験を工事の進捗状況に応じて随時実施し、設計の検証と将来的なデータの蓄積とを意図した。

実施した試験項目は、(1)圧力・応力測定と流動性状の観察、(2)起振機によるサイロ構造体の振動実験、(3)サイロの沈下量と杭応力の測定、(4)石炭の静的、動的な物性試験である。本報告ではこの内、特にサイロ内石炭の払い出し時における流動性状を圧力測定結果と関連づけながら述べることにする。

4. 圧力の測定方法

圧力測定は機械設備の試運転期間中である昭和58年3月29日～5月3日に、図-1中の中央サイロで実施し

た。

圧力測定で使用した土圧計はロードセル型（共和電業製）の受圧面をステンレス(SUS)ライニングしたもので、壁面には容量3 kg/cm²、ホッパー部には容量4kg/cm²又は5 kg/cm²のものを施工時に埋設し、測定開始直前に零点調節を行った。図-4に土圧計の配置図と記号とを示す。土圧計の総数は壁面16ヶ所、ホッパー部29ヶ所である。

また、以上の土圧計の他に、東京大学畑村助教授の研究室で開発された2方向壁面応力計²⁾(圧力と摩擦力の同時測定)を壁面とホッパー部に各1ヶ所ずつ設置し、土圧計による測定結果と比較、検討することによってデータの信頼性を確認した。

5. 圧力測定結果と考察

ここでは特に従来あまり解明されていなかったホッパー部に於る石炭の流動時圧力について、既応の計算式による算定結果と比較しながら考察する。

計算に用いた石炭の諸定数は、試験時石炭（豪州産ワンボ炭）の物性試験結果を参考にして以下の諸数値を採用したが、この内対壁摩擦角については、先に述べた壁面応力計による測定結果ともほぼ一致している。

単位体積重量=0.95t/m³、石炭内部摩擦角=35°
対RC壁摩擦角=35°、 対SUS摩擦角 =13°

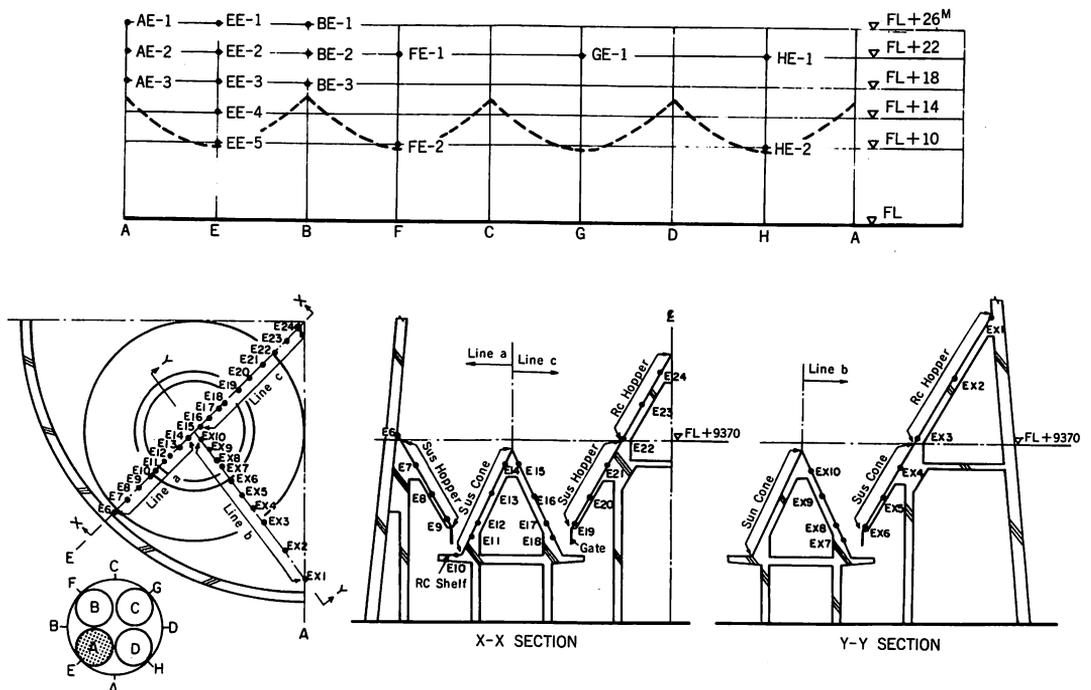


図-4 土圧計の配置図

尚、満杯時のサイロ内での石炭の安息角は屋上からのレベル検尺により約40°と推定される。また、全投入量とサイロ容積とから計算される平均かさ密度は約0.95~0.98t/m³である。

5.1 石炭流動時の圧力変動

過去の模型実験等でも、石炭の払い出しに伴う流動時の壁面とホッパー部に作用する圧力は、部分的なアーチの形成、崩壊、摩擦などの影響によりかなり変動し、その最大値は静置時圧力を上まわることが報告されているが、実機サイロによる今回の測定からも同様な傾向が認められた。

今回の測定では払い出し時の圧力変化を連続的に記録する為に、土圧計からの出力を動歪測定器を介して、熱ペン型レコーダーでアナログ記録した。図-5はホッパー部での記録の一例である。払い出し口付近(EX6~EX8)ではスクレーパーの動きに対応した周期的な圧力の増減が認められるのに対して、ホッパー上部では複雑な圧力変化を示している。このように、石炭の流動時には圧力が時々刻々に変化し、構造体各部に作用する圧力の最大値は必ずしも同時刻に起るもので

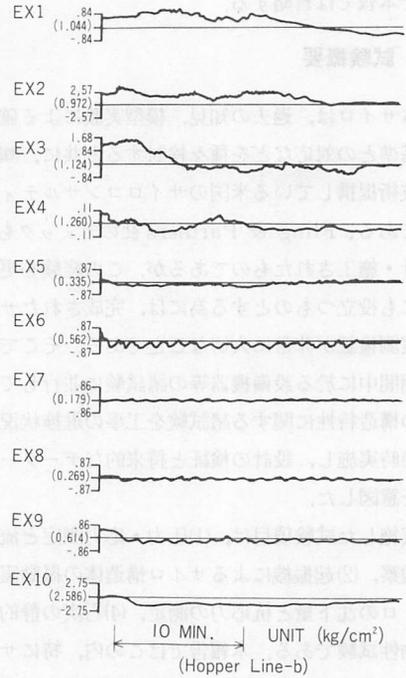
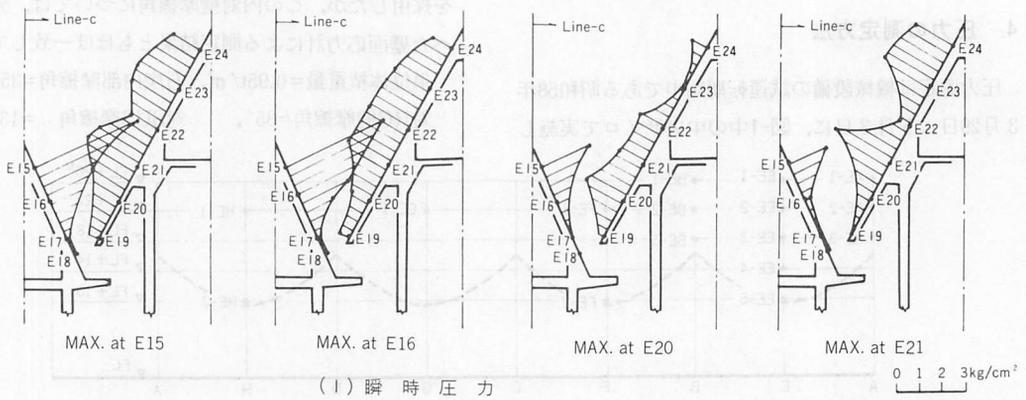
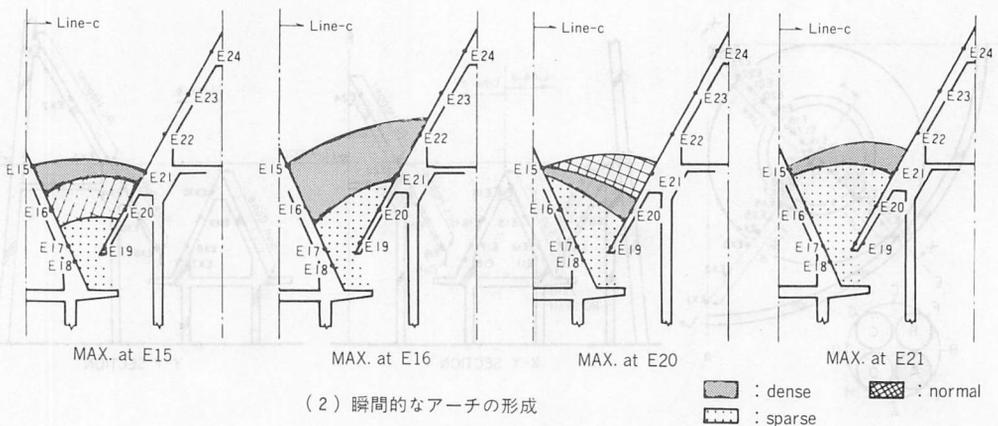


図-5 動的測定記録の例



(1) 瞬時圧力



(2) 瞬間的なアーチの形成

図-6 ホッパー部の圧力分布とアーチの変化

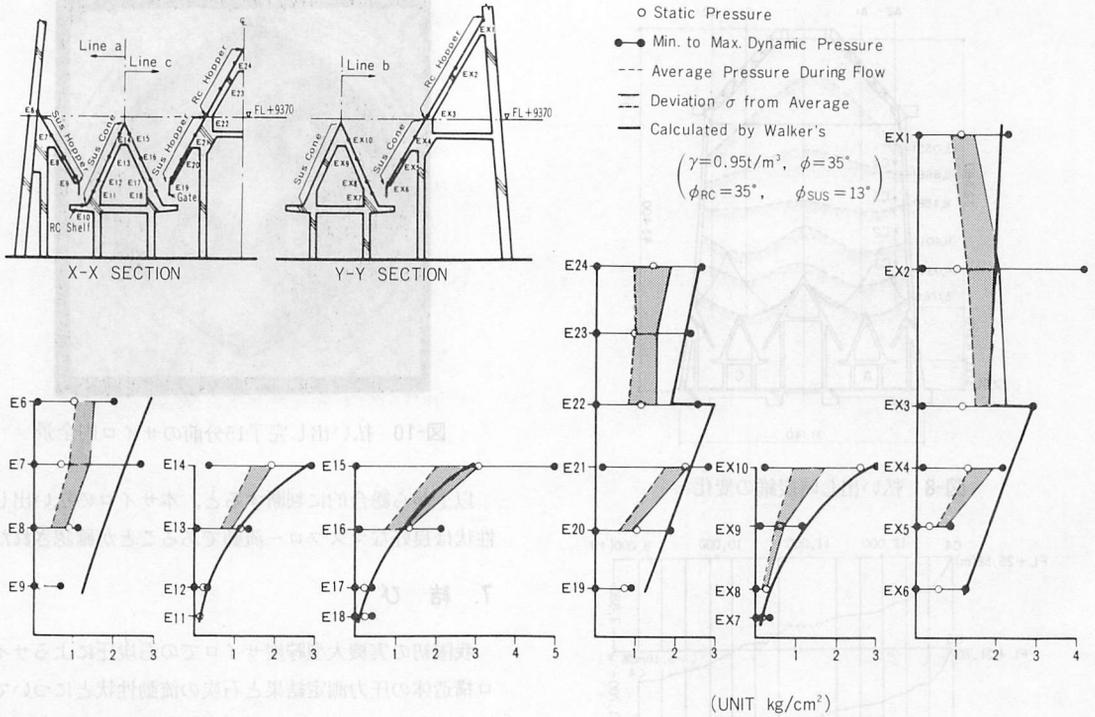


図-7 ホッパー部圧力の測定値と計算値

はない。そこでホッパー部を対象として、ある測定点（例えばE15）が測定期間中に最大値となる同時刻での周辺圧力をプロットした例を図-6(1)に示し、この圧力分布から推定される石炭応力の粗密状態を図-6(2)に示す。同図から石炭の払い出し中にはホッパー内部で部分的に、また瞬間的にアーチの形成、崩壊を繰り返しながら石炭が流れていると考えられる。

5.2 流動時圧力の考察

石炭の流動時には圧力が大きく変動することを既に述べたが、払い出し測定期間中のホッパー部での最大値と最小値との変動巾をプロットしたものが図-7中の黒丸実線である。尚、図中の白丸は払い出し開始前の静置時圧力を示す。同図より、流動時最大圧力は払い出し口付近を除いては静置時圧を上まわることがわかる。

一方、最大圧力は瞬間的に発生し、その頻度も少ないので、最大圧力だけに注目して構造設計を考えるのはやや経済的でないと思われる。そこで、満杯(13,000t)から約半分(6,500t)の石炭が払い出される期間中での圧力記録より平均圧力を計算し、更に任意のサンプリング時間中での最大圧力の発生頻度から圧力に関する確率密度分布を計算して、先の平均圧力に対して標準偏差で one-sigma (σ) の範囲を示したのが図-7中

の薄墨をほどこした部分である。流動時圧力の測定結果を構造設計上の常時荷重と考える場合には、大むねこの範囲が妥当ではないかと考える。

次に、ホッパーでの流動時圧力の理論的な算定式としては、ウォーカー式、ウォルター式、綱川式等が一般に良く知られているが、ここでは先に示した石炭物性値を用いてウォーカー式³⁾で流動時圧力を計算した。その結果が同じく図-7中に太実線で示されている。計算による曲線がホッパー上部と下部とで不連続になっているのは、図-3に見られるようにライニングの違いによるものである。同図より、計算値は、部分的に測定結果の最大圧力よりも下まわる所もあるが、確率分布を考慮した圧力分布に対してはほぼ満足していると考えられよう。

6. 石炭の流動性状

払い出しに伴ってサイロ内の石炭がどのように流れているかを知ることは、払出装置の設計や在庫管理の面からも重要なことである。本サイロでは謂ゆる先入れ、先出し型のマスフロー流動を確認する為に種々の方法により流動性の観察を行った。図-8はサイロ頂部に常設されている4ヶ所の自動式サウンングレベル計と、屋上点検口4ヶ所からのロープによる手検尺に

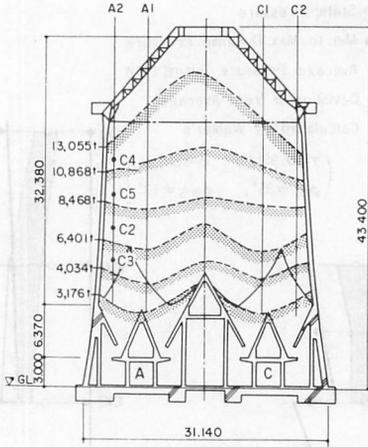


図-8 払い出し時炭錐の変化

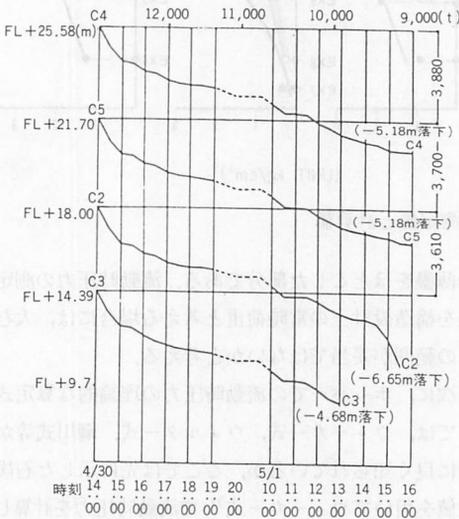


図-9 石炭内埋設カプセルの流動落下状況

よる結果とから推定した払い出し時の炭錐変化の例を示したものである。払い出しの進行に伴って炭錐形状が平坦化し、一様に沈降していく様子がわかる。又、図-8中にC2~C4の記号で示したものは、併行して実施した振動実験⁴⁾に石炭内加速度を測定する為に埋設した加速度計収納用の鋼製カプセル(φ120×h50mm)の位置である。払い出し時のカプセル回収に伴ない、このカプセルに付属する延長ケーブルの沈降長さを測定して払い出し初期に於る沈降追跡調査を行った結果が図-9に示されている。

この他にも屋上サイロ内に据付けたビデオカメラによる映像をモニター・T.Vで観察した。図-10は払い出しが完了する約15分前のサイロ内の状況で、残炭、付着炭が全くないことが認められよう。

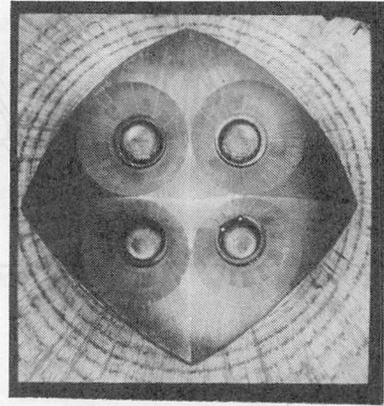


図-10 払い出し完了15分前のサイロ内全景

以上から総合的に判断すると、本サイロの払い出し性状は良好なマスフロー流動であることが確認された。

7. 結 び

我国初の実機大型貯炭サイロでの石炭圧によるサイロ構造体の圧力測定結果と石炭の流動性状とについて概略を報告した。ここで得られた貴重なデータが、将来のより大型な貯炭サイロの設計に生かされることを期待する。

謝 辞

試験の計画・実施にあたり御指導いただいた(財)電力中央研究所の関係各位に深く感謝いたします。

また、試験全般に亘り御協力いただいた四国電力㈱建設技術部、同西条石炭転換建設所の各位、㈱日立製作所及び㈱大林組の関係各位にも厚く御礼申し上げます。更に、圧力測定の一部は東京大学工学部産業機械工学科畑村助教授、竹内助手、岡本助手との共同研究によるものであり、御指導、御助言に感謝いたします。

引 用 文 献

- 1) 末兼正純;「発電所用石炭サイロの開発」エネルギー・資源 Vol. 3, No.5, 1982
- 2) 竹内, 千々岩, 畑村, 内崎;「建設機械が土から受ける応力の検出器の開発」日本機械学会論文集第381号, 1978
- 3) D. M. Walker; "An Approximate Theory for Pressure and Arching in Hoppers" Engineering Science, 1966 Vol. 21 pp 975~997
- 4) 此上, 鈴木, 渡辺, 中川;「大型貯炭サイロの構造特性に関する実験的研究(その2)——振動実験と解析——」大林組技術研究所報 No. 28, 1984