

大型石炭サイロの投入・払出し時圧力変動の実測に基づく評価

Overpressure Factor Based on a Measurement of a Large-scale Coal Silo during Filling and Discharge

内 藤 幸 雄 宮 住 勝 彦¹⁾
小 川 浄¹⁾ 中 井 庸 夫²⁾

I. はじめに

サイロ筒体の設計における荷重の評価として内容物の満載時圧力の他、投入や払出しによる変動を割増し係数として反映させる事が重要である。日本建築学会 (AIJ) の指針¹⁾ や ISO²⁾, ACI³⁾ においても、高さ/内径の比によりそれぞれ 1.5~2.0, 1.0~1.35 (他に面外曲げと関連する patch load の規定あり), 1.35~2.00 (Janssen 式の場合) の値が示されている。一方筒体にかかる投入・払出し時圧力の実測結果としては、Janssen 式、Rankine 式等の 3 倍程度の報告例が多いが、上記の指針等では最小必要値等のことわりがあるものの最大でも 2.0 と小さい。圧力の変動は局所的で、筒体の応力やひずみに影響する荷重としてはもう少し低い倍率で良いとの判断もあると思われる。こうした倍率の妥当性を中心とした検討のため、本論では、以下を特色とした測定を行った。

- 変化の早い衝撃的な現象が発生するかどうかを確認するため、静的計測 (毎分計測) の他、動的計測 (毎秒数ポイント以上) を行い時刻歴における変動状況を確認した。
- 払出し機の位置と石炭圧のひずみの相関の状況を分析した。
- 筒体内・外側ひずみの平均値、曲げ成分についても検討した。
- 土圧計での石炭圧測定の信頼性を確認する予備実験を行った。

II. 測定対象と測定方法

測定は 2000 年 3 月から 7 月にかけて行った。対象は、石炭火力である四国電力 (株) 橋湾発電所内の 7 万 ton 石炭サイロである。

Fig.1, 2, Table 1 にサイロの概要と測定点 (平面図上の位置、レベル、一覽), Fig.3 に鉄筋計を示す。筒体は内径 46m, 高さ GL+57.4m, 設計上の満載時レベルは GL+48m, ホッパー下部からの (高さ/内径) 比は約 1.1 である。また厚さ 0.5m~1.3m の鉄筋 (プレストレスト) コンクリート造で円周方向にはプレストレスがかかっている。払出し口は間隔 10m で 4 条の線状払出し口で、払出し機 (RDM) が最大毎分 1m の速度で移動する。また投入・払出しはそれぞれ 1 時間あたり 2500ton と 1100ton で行われた。

上記測定点による測定値の他、サイロ内石炭の総重量、積付けレベル (1 回の測定で 76 点) や払出し機の位置を時々刻々記録した。

III. 測定結果と提案評価式

測定結果の一例として筒体内側、外側の円周 (横) 方向ひずみ (20m レベル b 位置) と稼働中の払出し機位置を Fig.4 に示す。払出し機位置は図の上側に測定点からの平面図上の距離で表されている。こ

れらの結果から、払出し機が近い場合にひずみの変動が大きい事、内側、外側のひずみは逆方向に変動する場合の多い事が分かる。また横方向のひずみの全測定点に関して満載時の静的な値と払出し中の変動の最大値を比較し、Table 2 に示した。この比は上部の方が大きい事、設計時に仮定していた変動係数 1.5 より大きな数値が何カ所かで見られた事、等が分かった。また別途、ひずみ、石炭圧を通じ、変動は払出し時の方が投入時より大きい事も分かった。なお測定結果では引張りひずみは殆ど見られず、測定対象のサイロに関し耐力上の問題の無い事も分かった。

これらを踏まえ、払出し機が近づいた場合に変動係数が大きくなる提案式を考えた。石炭圧の測定結果と共に Fig.5 に示す。横軸はサイロ内の石炭総重量、縦軸は石炭圧で黒い線が実測値、赤い線が提案式による値である。提案式の下端を結んだ線が従来の学会指針に対応し、変動係数 1.5 の場合である。凸凹のある部分が提案式により変わった部分で、払出し機が近い位置にある状態であり、また上端を結んだ線は変動係数 2.0 に相当する。提案式よりなお大きい測定値も見られるが、従来に比較し相当改善されている。

変動係数 (Cd) の提案式は以下のとおりである。学会指針との差は d が内径でなく払出し機までの距離の 2 倍とした点である。

$$h_m/d \geq 3.0 \text{ の場合: } Cd=2.0 \quad (1)$$

$$3.0 > h_m/d > 1.5 \text{ の場合: } Cd=1.0+h_m/3d \quad (2)$$

$$1.5 \geq h_m/d \text{ の場合: } Cd=1.5 \quad (3)$$

ただし、 h_m : ホッパー下部から内容物上面までの高さ

d: 石炭圧を求める点から最も近い稼働中払出し口 (機) までの平面図上の距離の 2 倍

IV. まとめ

払出し中の石炭圧や筒体ひずみの測定、分析結果から、払出し時の石炭圧変動を評価する割増係数 Cd に、払出し機 (口) と壁面との距離を考慮することを提案した。

参考文献

- 1) 日本建築学会: 容器構造設計指針・同解説, 1996.
- 2) ISO 11697 (International organization for standardization): Bases for design of structures - Loads due to bulk materials, 1995.
- 3) ACI313-91 (American concrete institute): Standard practice for design and construction of concrete silos and stacking tubes for storing granular materials, 1996.

本報は、日本建築学会構造系論文集 554 号 (2002.4) pp.147-154 掲載論文の要約である。

- 1) 四国電力 (株) 建設部
- 2) A/E 構造設計部

キーワード: サイロ, 払出し, 投入, 圧力, 動的圧力係数

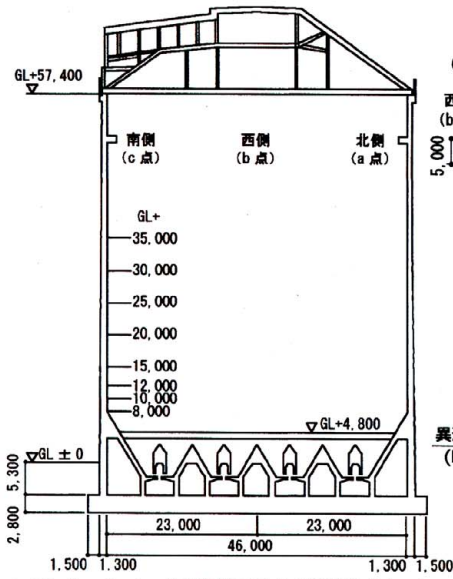


Fig.1 サイロ断面概要および測定点レベル
(Section and Measuring Level)

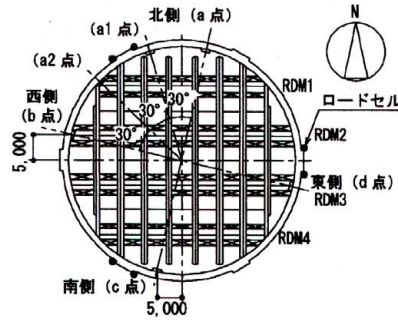


Fig.2 測定点位置
(Measuring Point)

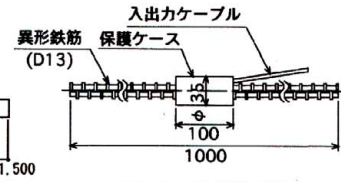


Fig.3 鉄筋計概要
(Rebar type Strain Gauge)

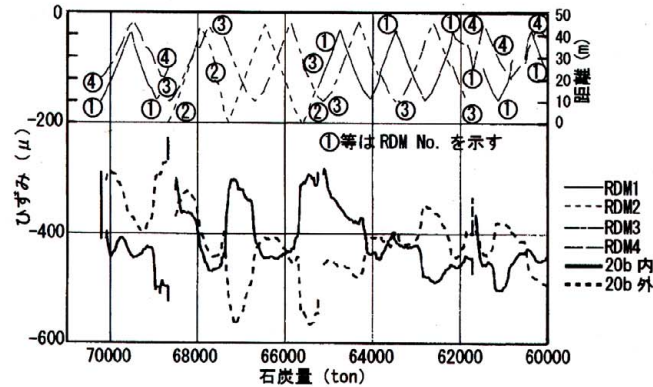


Fig.4 20b 点内側・外側横方向ひずみと払出し機 (RDM) 位置 (20b Strain and RDM Location)

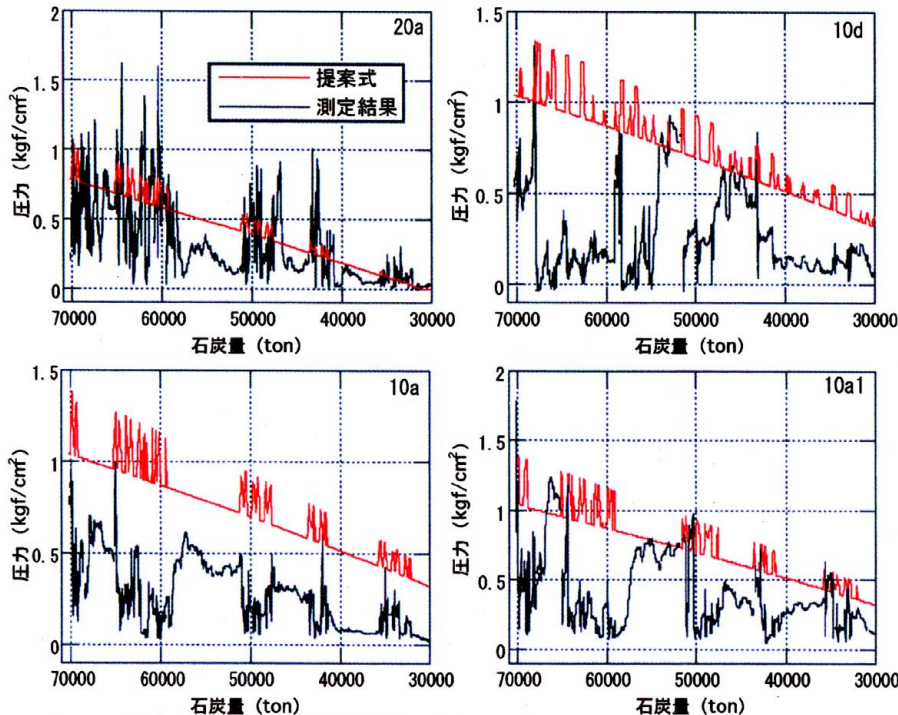


Fig.5 4月払出し時石炭圧測定結果と提案式の比較 (Measured and Estimated Pressures)

Table 1 測定点一覧 (Measuring Point)

計測項目	点数	位置		備考
		高さ (m, GL面より)	平面図上位置	
筒体部 石炭圧	14	5	b	土圧計は (株) 共和電業 製、他は (株) 東京測器 研究所製
		10	a, a1, a2, b, c, d	
		15	a	
		20	a, b	
		25	a	
		30	a, b	
筒体ひずみ (縦方向)	14	35	a	内側 外側
		8	a, b	
		10		
		12		
		15	a	
		20		
筒体ひずみ (横方向)	12	30		
		20	a, b	
		10		
PC鋼線 荷重	12	20	1/3周ずつ *	PC鋼線両端
		10		
温度	12	52.75	a	各5点
		1.5	a	サイロ内雰囲気
				外気温

* C点付近より時計まわり (図2参照) にc1、c2、c5、c6、c3、
c4(10m)、c7、c8、c11、c12、c9、c10(20m)

Table 2 払出し中の横方向ひずみの
最大値と満載時の比

(Max./Full Ratio of Horizontal Strains in Discharge)

位置		時期	ひずみ (μ)		比 (P/F)	高さ毎 平均	
			満載時 (F)	最大値 (P)			
10a	内	4月	591.8	824.3	1.39	1.32	
		6月	584.9	644.5	1.10		
	外	4月	223.2	292.9	1.31		
		6月	428.6	437.8	1.02		
10b	内	4月	141.8	202.7	1.43		
		6月	174.0	227.0	1.30		
	外	4月	177.3	273.5	1.54		
		6月	252.1	365.9	1.45		
20a	内	4月	226.3	247.6	1.09	1.71	
		6月	166.0	226.6	1.37		
	外	4月	129.2	270.4	2.09		
		6月	187.8	290.8	1.55		
20b	外	4月	136.5	257.4	1.89		
		6月	189.5	429.3	2.27		
30a	内	4月	117.8	160.3	1.36		2.36
		6月	102.0	225.8	2.21		
	外	4月	52.2	202.2	3.87		
		6月	122.6	211.7	1.73		
30b	内	4月	75.5	247.6	3.28		
		6月	117.4	124.9	1.06		
	外	4月	66.1	172.4	2.61		
		6月	124.4	347.2	2.79		
全体平均						1.80	

[表2注]

- 1) 20b点内側横方向ひずみには電気的な不安定現象が見られたため、これらの検討対象から除外した。
- 2) 全体平均の比は、高さ毎の平均の比の平均として求めた。