

Ⅲ-229 サイロホッパー部の壁面圧特性について

三井建設㈱ 土木技術部 正会員 山田武正
三井建設㈱ 技術研究所 正会員 土師秀人

1. はじめに

石炭、石灰石など粒状物を貯蔵する容器としては、それら貯蔵物を頂部から投入し、底部から排出するサイロが一般的である。通常、サイロの上部は円筒壁、下部はホッパーと称される円錐あるいはスリット状の傾斜壁となっている。このようなサイロの設計では、構造上の安全性と共に排出口の閉塞に対する安全性を確保することが重要となり、そのためにはサイロ内での壁面圧特性を正しく把握する必要がある。

最近、この分野でもFEM解析が行われるようになり^{1), 2)}、良い結果を得ているようである。筆者らは、模型ホッパー及び実大規模の実験サイロで壁面圧等を測定し、FEM解析との比較からサイロホッパー部の壁面圧特性について考察したのでここに報告する。

2. 実験概要

(1) **模型ホッパー** 実験では、最大粒径50mm、付着水分13~15%の石炭を用いた。模型ホッパーは鋼製で、図-1に示すように石炭貯蔵スペースで幅20cm~110cm、高さ156cm、長さ200cmである。妻壁は鉛直であり、それに直交した相対する壁はそれぞれ鉛直及び鉛直面から30°傾斜しており、土圧計と摩擦計が設置されている。また、頂部には蓋板があり、石炭表面と蓋板の間にエアバックを入れることにより載荷重(1.0kgf/cm²)が掛けられるようになっている。

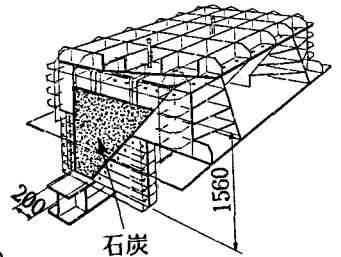


図-1 模型ホッパー

(2) **実験サイロ** 実験では、模型ホッパーと同様最大粒径50mm、付着水分13~15%の石炭を用いた。実験サイロはRC製で図-2に示すように、上部が内径6mの円筒壁、下部がスリット状のホッパーとなっており、中央に石炭排出用の機械が走行するためのハウジングがある。ハウジングの上部は鉛直面から35°傾斜しており、下部は鉛直壁である。また、ハウジングに向かい合ったホッパー壁は鉛直面から30°傾斜している。土圧計はハウジング頂部、傾斜部、鉛直部及びホッパー壁に設置されている。

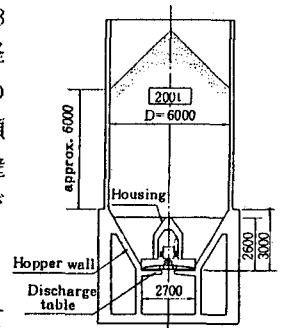


図-2 実験サイロ

3. 実験結果及び考察

模型ホッパーでの壁面圧を投入完了時、載荷重作用時、載荷重除荷時についてそれぞれ図-3(a)、(b)、(c)に示す。実験値はかなりのばらつきを示すが、傾斜壁の方が鉛直壁に比べて圧力が

表-1 解析に用いた諸定数

石炭 (平面ひずみ要素)	ヤング率: 200kgf/cm ² , ポアソン比: 0.42 内部摩擦角: 35°, 粘着力: 0.05kgf/cm ² 単位体積重量: 0.00087kgf/cm ²
壁面境界 (ジョイント要素)	垂直剛性: 1x10 ⁵ kgf/cm ² , せん断剛性: 20kgf/cm ² 壁面摩擦角: 16.5° (鋼製), 22° (コンクリート)

全体に大きいこと、投入完了時ではある深さまでは深くなるにしたがい圧力は増加し、それ以後で減少する傾向にあること、載荷重作用時には深さと共に一様に減少すること、並びに載荷重除荷時には投入完了時に似通った圧力分布を示すが圧力値はその2倍程度の値となることなどが判る。FEM解析では、石炭をDrucker-Pragerの降伏条件に従う完全弾塑性材料の平面ひずみ要素、石炭と壁との境界は摩擦型のジョイント要素でモデル化した。また、壁面圧特性に石炭の積付過程が影響すると考えられるため、石炭要素を下層から順に導入するステップ解析を行った。解析に用いた諸定数は表-1に示すとおりであるが、これらの値は大型の三軸圧縮試験及び一面せん断試験から得られたものである。図-3より、解析値は特に(b)で実験値より大きい、解析では平面問題としたが、実際には妻壁の摩

擦による圧力減少があることが主たる要因と考えられる。また、エアバックで所定の荷重が得られたか否かについても若干の疑問が残るところである。

図-4に投入完了時におけるFEMの主応力図を示す。この図より、壁面近傍で主応力は壁面に対して一定の傾きを有す

と言う傾向が伺える。図-5に一例として荷重作用時における下から4段目の要素列での応力状態をモル円表示する。図より、石炭は弾性域であり、応力円は壁面の破壊崩壊線に接するかのようになっていることが判る。以上のことから、ホッパー部の壁面圧特性には壁面の傾斜角及び壁面の摩擦特性が影響するものと推定される。

図-6に実験サイロの壁面圧を示す。当該サイロの構造は複雑であり、正確にモデル化するためには解析領域及びそれに伴う自由度の飛躍的な増加が予想される。ここでは、解析目的をサイロ下部の各部位での圧力分担傾向を知ることにとどめ、模型ホッパー同様平面ひずみ問題と考え、サイロ下部のホッパー部のみを解析領域とした。円筒壁部の石炭の影響は、解析領域の上端に等分布荷重を作用させる境界条件により評価した。なお、荷重は積付高さを6mとしたJanssen式により 0.372kgf/cm^2 とした。図より、模型ホッパー同様解析値は実験値よりも大きい、ハウジング頂部及び傾斜部への応力の集中傾向がよく再現されていると言える。

4. おわりに

今回の実験及び解析より、得られたことをまとめると以下のようである。

- ① 今回の実験での状態では、サイロホッパー内の粒状体は弾性域にあり壁面圧特性は壁面の傾斜角、壁面の摩擦角に影響されると考えられる。
- ② ホッパー内のハウジングには応力が集中するが、FEM解析はこのような状態をも傾向的にはよく再現することができる。

なお、今回の報告は壁面圧特性のみに限ったが、解析を発展させることにより、排出口の閉塞問題についても適用できるものと考えている。

参考文献

- 1) Askari, A.H. and Elwi, A.E. (1988): Numerical Prediction of Hopper-Bin Pressures, J. Engrg. Mech., ASCE, 114(2), pp. 342-352
- 2) 高橋邦夫, 春日井康夫, 他(1987): 傾斜壁を有するハイブリッドケーソンの中詰砂の土圧特性, 土木学会第42回年次学術講演概要集, 第3部, pp754-755

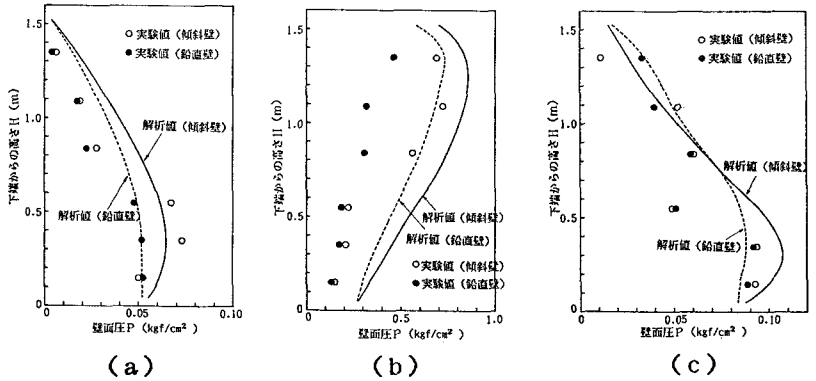


図-3 模型ホッパーの壁面圧

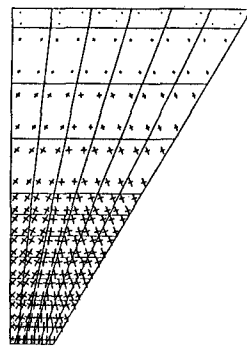


図-4 主応力図

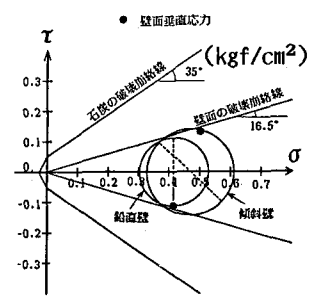


図-5 壁面での応力状態

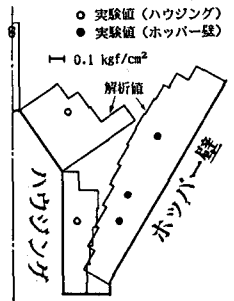


図-6 実験サイロの壁面圧