

(株) 神戸製鋼所 正員 兒玉 道正
 (株) 神戸製鋼所 島本 明
 (株) 神戸製鋼所 山村 正明

1. まえがき

最近、石炭、鉱物資源・穀物などの備蓄の重要性が新たな関心を呼んでいる。これに伴ない、この種の粒状物を貯蔵する方法のひとつとして、大型サイロの建設に対する要請が高まりつつある。

この種のサイロの設計に対しては、世界有数の地震発生国である我国の場合、耐震性に関する検討が必要であると考えられる。しかしながら、石炭のような粒状物を内蔵するサイロの振動時における挙動については不明確な部分が多く、既往の研究例も著者の知る限り、極めて少ない。

本報告は、超大型石炭貯蔵用サイロの振動特性を把握することを目的として行なった模型振動試験の結果について、記述したものである。

2. 実験の概要

2.1 模型サイロと石炭試料 実際のサイロとして、直径38m、高さ40m程度のもを想定し、縮尺約 $1/25$ の模型とした。模型サイロは、透明の硬質塩化ビニール製の円筒形容器であり、寸法を図1に示す。容器は、高さ200mmのはかま状の脚部補強台を介して、振動台とボルト結合した。硬質塩化ビニールはJIS 6745の1種3号に相当する材質である。

実験に用いた石炭は、5mmふるいを通過した粉末で、総重量は約22tあり、平均単位体積重量は約 $0.85 \frac{g}{cm^3}$ である。比重は1.45、含水率は9.7%であった。

2.2 実験方法 石炭を充てんした模型サイロを振動台に設置し、振動台加速度振幅を一定に保ちながら、周波数を5~40Hzの範囲で、漸増させ、水平方向の正弦波加振を行なった。加速度振幅レベルは、30, 50, 80, 100, 150, 200 gal の6段階である。地震波加振実験は、最大加速度を200 gal に規準化した地震波くエルセントロ(1940, NS), ハフ波(1968, EW) >を入力し、強制加振を数秒間行なって、サイロ本体とサイロ内石炭の振動を記録した。

2.3 計測・データ処理システムおよび振動試験装置 図1の測定点において、模型サイロのひずみと石炭内部の加速度を計測した。ひずみゲージは、サイロの軸方向ひずみを測定するためのもので、いずれも外面に貼付した。(S1~S6) 模型内の石炭の挙動を把握するため、図に示すように深さ方向3段、計6個(A2~A7)の加速度計を石炭内に埋込んだ。また模型サイロ頂部にも加速度計(A1)を取りつけている。側板のひずみ、加速度の測定諸量は、いずれも変換器を通してミニコンピュータ(YHP1000)で高速データ収録を行なった。振動制御とデータ分析は、YHP 545/cの機能を用いて行なった。使用した振動試験装置の性能諸元を、表1に示す。

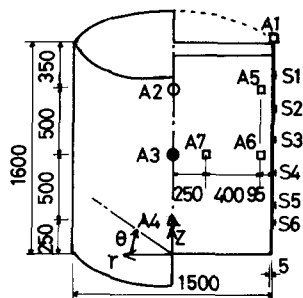


図1 模型サイロの寸法、計測位置

表1 振動試験装置の諸元

加振力	: max. ± 10 トン
振動台載荷面積	: $2m \times 3m$
搭載重量	: max. 20 トン
駆動方式	: 電気油圧サーボ
変位振幅	: max. ± 50 mm
速度	: max. ± 50 cm/sec
加速度	: max. 15 トン/載荷時 $\pm 0.5G$
加振方向	: 水平一軸
周波数範囲	: DC, 0.5 ~ 50 Hz
波形	: 基本波(正弦, 三角, 方形), 地震波

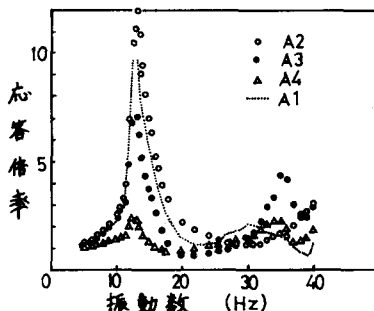


図2 加速度応答倍率線 (30gal)

3. 正弦波加振試験

振動台加速度振幅30, 150 gal に対する石炭内加速度計(A2~A4)およびサイロ頂部加速度計(A1)の応答加速度振幅の比をあらわす応答倍率曲線を図2,3に示す。図より、振動台加速度振幅のレベルが大きくなると、加速度応答倍率が低下し、共振ピークの山がなだらかになると同時に、共振周波数が減少していることがわかる。次に、内部石炭の挙動を調べるため、1次および2次共振周波数付近において得られた加速度モードの典型例(振動台加速度振幅 100gal の場合)を図4に示す。

図より、(i)共振周波数では、表面中央部付近の応答加速度が最大であり、サイロ壁付近に比較して中央に近い部分が大きき、(ii)石炭の中央軸上の応答加速度モードは、1,2次共振点において、それぞれ1,2次モードで振動している、ことがわかる。共振周波数における軸方向ひずみ振幅($\theta = 0^\circ$)の鉛直分布を、図5に示す。軸方向ひずみ振幅は、(i)入力レベルが増大するにつれて、徐々に大きくなる、(ii)サイロ上部から下部に向かうにつれて大きくなり、この傾向は入力レベルの増大に伴って激しくなっている。なお、周波数を40Hzから5Hzまで漸減させる方法により得られた共振曲線と図2,3とは、ほとんど差はなかった。

4. 地震波加振試験

模型サイロは、実大サイロの約 $1/25$ の縮尺としていたため、相似則に基づいて、地震波の時間軸を $1/11.2$ に圧縮した。ただし、本実験において用いた電気油圧式振動台は、周波数上限が50Hzであるため、原波形の4.5Hz以上の成分が無視されている。石炭内加速度計の最大値を時刻に関係なく抽出し、入力加速度で除した加速度応答倍率を図6に示す。

図より、いずれの部位の値もハチノ波の場合の方が大きく、石炭の上層に行くほどこの傾向が激しい。石炭内加速度計のうち、最上層(A2)の応答時刻歴をフーリエ分析すると、スペクトルのピークの周波数は、エルセントロ、ハチノ波について、それぞれ約13.2, 12.7 Hz である。この値は、正弦波加振試験により得られた1次共振周波数にはほぼ該当している。

模型サイロ壁の軸方向ひずみ($\theta = 0^\circ$)の最大値の鉛直分布を、図5に示す。いずれの位置の値もハチノ波の方が大きく、正弦波加振試験と比較すると、加速度振幅が150galの場合にはほぼ相当していることがわかる。

5. まとめ、および考察

石炭貯蔵用サイロの模型振動実験を実施することによって、明らかにした点は下記の通りである。

- (i) 正弦波加振試験において、入力加速度振幅のレベルの増大に伴ない、石炭の見掛けのせん断剛性が低下し、減衰性能が大きくなる。
- (ii) 石炭内に埋込んだ各々の加速度計の応答値から推測すると、石炭は、1次共振点において、中央部の上層が大きく振動する。
- (iii) サイロ壁の動ひずみは、下端部に近づくほど大きくなる。
- (iv) 地震波加振のとき、サイロは1次固有振動数付近で励振する。

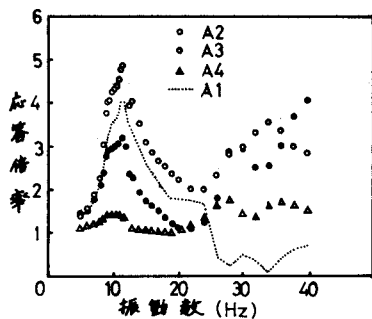


図3 加速度応答曲線 (150 gal)

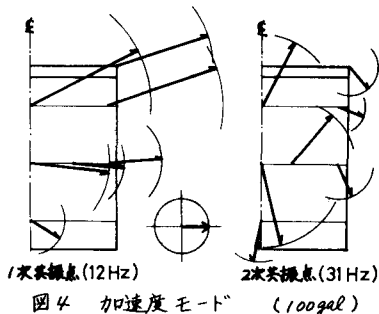


図4 加速度モード (100gal)

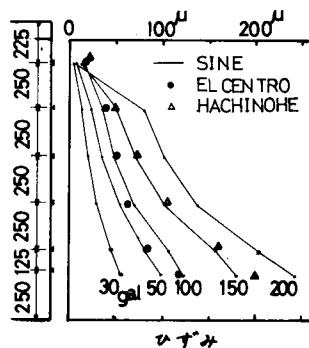


図5 軸方向ひずみの鉛直分布

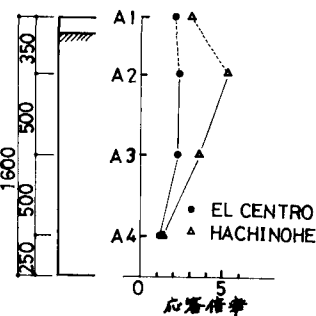


図6 最大加速度応答倍率

参考文献

- 1) 佐々木寿男 他1名「貯蔵用コンクリートスラブサイロの振動特性」第35回土木学会学術講演概要集 I PP572