第2回“粉体の貯蔵と流動に関するシンポジウム”に出席して

杉田 稔*
Minoru Sugita

昨年の9月14日に、小雨降りしきる羽田空港を飛び立ちまして、約4週間程アメリカ各地を訪問する機会を得ました。初めての海外旅行の興奮と不安を心に秘めて、サンフランシスコ空港に第一歩を踏出したのでした。

この旅行のまず第1の目的は、9月17日～20日までの4日間にわたりまして、シカゴ市の中心街 North Michigan Ave. に面した Chicago-Sheraton Hotel にて開催されました、「第2回 粉体の貯蔵と流動に関するシンポジウム」とでも訳せましょうか、“Second Symposium on Storage and Flow of Solids” に出席することでありました。

このシンポジウムは、アメリカの機械学会(A.S.M.E.)、土木学会(A.S.C.E.)、化工学会(A.I.Ch.E.)、鉱山学会(A.I.M.E.)の4学会の共催で開催されました。主として A.S.M.E. が中心となって運営され、A.S.M.E. と A.I.Ch.E. の代表である、Dr. A.W. Jenike が本シンポジウムの委員長でありました。

すでに4年前、ボストンにて第1回のシンポジウムが開催されております。この時には北大の田中達夫教授らが発表なさっております。そして、このレポートが A.S.

M.E. Journal of Eng. for Industry, Vol. 91, May 1969, に特集号として報告されています。

今回は、主催国アメリカのほか、イギリス、ドイツ、日本など8カ国から、34編の論文が提出され、2会場で10のセッションに分れて発表と討論が行なわれました。日本からの発表論文は私の1編のみでして、出席者も私と現在アメリカにおられます。以前神興電気(株)の技師長をしておられました牧野氏の二人であったようです。

発表されました論文の内訳は、

1. Bin Loads	10編
2. Testing & Analysis	7編
3. Segregation & Blending	3編
4. Slurries	3編
5. Feeders & Flow Aids	11編

各論文の題目と著者名のリストを以下に示します。

Session I “BIN LOADS I”

Cause and prevention of Dust Explosions in Grain Elevators and Flour Mills

O.F.Theimer MH-25

Bin Loads II, Concepts

A.W.Jenike J.R.Johanson J.W.Carson MH-1
Flow Patterns and Wall Stresses in a Mass-Flow Bunker

P.M.Blair-Fish P.L.Bransby MH-6
Tests Dealing with Loading of Tie Bars in Silo Cells

K.Pieper D.Kroll

Session III “BIN LOADS II”

Pressures in Bunkers

K.Clague H.Wright MH-31

Bin Loads III, Mass-Flow Bins

A.W.Jenike J.R.Johanson J.W.Carson MH-2
Flow and Pressures of Noncohesive Granular

写真1 Chairman の A.W. Jenike

昭和48年3月13日受理

* 清水建設(株)研究所 (〒135 東京都江東区越中島3-4-17)
TEL 03-643-4311

Materials in Funnel-Flow Bins	
M.Sugita	MH-20
Wear-Resistant Materials for Steelworks Plant Handling Coke and Sinter	
H.Hocke	
Session V "BIN LOADS III"	
Lateral Pressures of Granular Materials in Silos	
A.G.Homes	MH-30
Bin Loads IV, Funnel-Flow Bins	
A.W.Jenike J.R.Johanson J.W.Carson	MH-3
Session II "TESTING & ANALYSIS I"	
Stress-Velocity Relationships for Particulate Solids	
J.Bridgwater	MH-21
Measurement of Powder Properties for Hopper Design	
J.Schwedes	MH-8
Application of Pseudo-Random Test Signals and Cross Correlation to the Identification of Bulk Handling Plant Dynamic Characteristics	
A.W.Roberts W.H.Charlton	MH-15
Simulation by Computer-Graphics Display of Solid flow in Storage Bins	
W.T.Kao G.L.Downey Y.C.Pao	MH-22
Session IV "TESTING & ANALYSIS II"	
Gravity Flow of Granular Materials: Analysis of Particle Transit Time	
W.H.Charlton A.W.Roberts	MH-33
Gravity Flow Bin Design for Lunar Soil	
W.G.Pariseau D.E.Nicholson	MH-24
An Evaluation of the Jenike Bunker Design Method	
H.Wright	MH-7
Session VIII	
"SEGREGATION AND BLENDING"	
Minimizing Segregation in Bunkers	
K.Clague H.Wright	MH-16
A Geometric Study of In-Bin Blending	
D.F.Bagster	MH-17
Preliminary Estimate of Mixing Effect of Non-Segregating Materials in a Plug-Flow Bin	
A.Wlodarski	MH-13
Session VI "SLURRIES"	
Slurry Flow in Pipes and Pumps	
J.J.Vocadlo M.S.Sagoo	MH-10
Flow Behavior of Hematite Slurries	
H.Y.Jennings	MH-12
Storage Aspects of Long Distance Slurry Pipelines	
E.J.Wasp T.L.Thompson	MH-32
Session VII "FEEDERS & FLOW AIDS I"	
Aeration Apparatus Converts Bin from Funnel-Flow to Mass-Flow Characteristics	
R.B.Emery	MH-5
Bin Activators-Key to Practical Storage and Flow of Solids	
E.A.Wahl	MH-29
Improving the Flow of Lead-zinc Ore	
P.Larson	MH-23
Georgia Kaolin Compny Solves Calciner Feed Problems	
S.E.Valji C.L.Wilkinson	MH-26
The Design of a Linear "Out-of-Phase" Vibratory Conveyor	
R.E.Schofield	MH-4
Session IX "FEEDERS AND FLOW AIDS II"	
The Bougainville 975 TPH Feeder	
W.A.Winkler	MH-14
Feeding Calcine Dust with a Belt Feeder at Falconbridge	
G.B.Reed J.R.Johanson	MH-11
Session X "FEEDERS AND FLOW AIDS III"	
Flow Studies of Dense-Phase Gas/Solid Suspensions with a Positive Expulsion Fluidization Tank	
H.D.Fricke K.Berman M.Sobieniak	MH-19
Flow of Particles in a Bistable Fluid Device	
G.H.Hogland P.I.Chen	MH-28
Designs of a Bistable Fluid Device for Transporting Solid Particles	
P.I.Chen G.H.Hogland	MH-27
Automated Device for Dispensing Precise Amounts of Powder	
J.M.Osborne H.R.Mcgraw C.F.Draut	MH-18

このほか、パネルディスカッションが、Bin Loads と Feeders の2部門にて行なわれました。

参加者は1会場だいたい60~80人くらいでしたでしょうか、かなり広い、East Room と Tally Ho Room の2会場で平行して開催されました。

この会議のプログラムが日本出発のやっと1週間前に届き、また、論文は会場に行ってから手に入るといった具合で、会議の開催前までは一体どうなることかと心配しましたが、開催されてからは一応スムーズな運営であったと思います。

ただ、会の運営費の方はかなり苦しいらしく、たとえばパーティなども、飲物は各1ドルで買い求めて飲むようなわけで、論文も1編につき1ドルで買い求めさせられ、自分のPaperも1ドルで買わないと手に入らない状態でした。

日本の学会の雰囲気と大きく異なっていた点は、各国のコンサルタント・エンジニアの活躍がたいへん注目されたことであります。研究発表や会議の運営においても、質議討論にても、大学などの研究者以上の活発な活躍をしていました。彼らは事務所を持って、設計業務やその他各種のコンサルタントをしておりまして、この種の会議を彼らの絶好の仕事場として、昼食や夕食時ならびにパーティなどを利用しているようでした。

発表の日は、朝7時30分から、発表者、座長、パネリストなどの打合せが朝食を取りながら行なわれました。そこで発表者同志の紹介や、発表時間、スライド使用などの発表方法などの打合せ、発表者の紹介書の確認が行なわれました。そして、9時になりますとそのまま全員会場に行きまして発表が行なわれるのです。私の場合、どうした手違いか、日本から送っておいた自己紹介文が届いていまして、その場で書かされて、朝食を落着いて取るどころではありませんでした。

研究発表にはスライド、黒板、オーバーヘッドプロジェクターとが用意されており、それぞれを使い分けて行なわれました。

ここで、私が主として聞いてまいりましたのが、“Bin Loads” 関係ですので、このセッションでの二三の論文について述べてみたいと思います。

このセッションでは、本会議の委員長と副委員長を勤めた、Dr. Jenike と Dr. Johanson とで作っている Jenike & Johanson Inc. からの論文に触れないわけにはいきません。“Bin Loads II. III. IV.” と3編の論文が発表されました。まず、Dr. Jenike が概論を述べ、私の親友

であります、Dr. Carson が“Mass-Flow Bins” について、最後に Dr. Johanson が“Funnel-Flow Bins” について発表しました。この一連の発表は、Proc. A.S.C.E., Apr. 1968 ST. 4 に発表した“Bin Loads” のシリーズものとして、さらに研究を進めたものとして提出されたものです。

Initial Pressure (投入、静置時の圧力) は、広く用いられている Janssen 値で十分であるが、排出時の Flow Pressure は、歪エネルギー理論から導かれた圧力包絡線内におさまる。この関係を、砂を用いたモデルビンによる圧力測定結果を示して論じていました。

Jenike チームは、Dr. Jenike を先頭に、発表、質問、討議、運営にと縦横の活躍をして会議を盛り上げておりました。

イギリス、ケンブリッジ大学の Dr. Bransby らは、断面が150×150mm、高さ450mmのモデルビンに、60℃と70℃の角度を持つホッパーを用い、材料に砂を用いて排出させた時の流動粉体中の密度の違いを、X線撮映により研究し、その壁面に取り付けた Load Cell により粉体圧を測定した結果について発表しておりました。材料の砂の中に同径の鋼球を配して流れのパターンや歪量などを測定したところ、密度の少ない部分がホッパーの上端からアーチ状に形成され、この部分に高い Wall Pressure が測定された興味ある発表を行なったのでした。この発表に先だったパーティで、初対面の私にわざわざ挨拶に来られ、私のいう“崩壊面”と同じ現象がイギリスでも観測された自分の撮映したX線写真を示して話してくれまして、今後の情報の交換を約束してきたいです。

西ドイツから参加された、有名なサイロ研究家、Dr. O. F. Theimer は粉じん爆発の防止について、個々の事故例を示しながら発表されました。彼は数少ない夫人同伴者でして、私に、日本での事故例を送ってほしいと依頼してきました。

そのほか、かなり興味ある内容の発表がなされておりましたが紙面の都合上省略します。なお、先のリストの論文はすべて私の手元にありますので、興味があり御希望の方は御連絡下さい。

この旅行の第2の目的は、先のシンポジウムに先立ちまして、同じシカゴで開かれましたアメリカコンクリート学会(A.C.I.)の第313委員会に出席することでした。この委員会は「コンクリート製サイロとビンの設計と施工規準」を検討している委員会です。この委員会より、日本からも委員を送るように日本コンクリート会議に要

請がありまして、たまたま私がその推薦を得まして ACI の委員会の委員に加えさせていただきたいです。

会議は朝 9 時から夜中の 12 時まで、昼と夜の食事を取った 3 時間程を休憩しただけで、ぶっつづけの討議でした。初めての海外旅行であり、まだ時差の影響の抜けなかった私にとりましては、たいへんきつい一日でした。また、彼らのタフネスぶりを眼のあたりにした思いでした。

この会議におきましては、すでに 1965 年、ACI 学会誌にて発表された「コンクリート製サイロの設計および施工規準」の改訂と補足の作業を行なっておりました。

この委員会の下部組織である 6 つの小委員会から提出された素案に、一つ一つ検討が加えられていきました。日本におけるサイロ設計と施工の現状について、ダブル配筋での最小壁厚はいくらにしているかとか、粉体圧の算定式は何を用いているかなど、いろいろと意見を求められました。

アメリカでの規準は、世界各国の規準として用いられるという、アメリカ人らしい自負心があり、できるだけ各国の現状をふまえて規準を提案したいと、本委員会の

Safarian 委員長は抱負を述べておりました。そのため、日本からの私のほか、ドイツの Theimer 氏、フランスからも委員が参加しておりました。

まだ、設計規準を持たない日本においてはたいへん参考になる点が多く、資料として配布された規準案など、今後大いに検討し参考に生かしてゆきたいと考えています。

シカゴからイリノイ州の南部にあるアーバナ市のイリノイ大学を訪問に行く途中、たまたま知人の車で Interstate 57 号線をドライブする機会がありました。この沿道は有名な穀倉地帯で、両側一面かぎりなくメイヅ畑と大豆畑がつづいておりまして、所々の農家には、大きなコンクリート製や鉄板製の穀物サイロが見られました。たいていの農家は一軒に 2~3 個の家畜用サイロを持っており、大きな日本の製粉工場にあるような穀物サイロと並んで対照的でありました。

それだけアメリカではより身近な問題として、粉体圧とか貯槽の設計などが真剣に考えられているのだと思いたったのでした。

〔ニュース〕

西ドイツにおける最近の大型穀物サイロの崩壊例

西ドイツの著名な粉体貯槽研究家であり、現在コンサルタントエンジニアとして世界的に活躍しておられる O. F. Theimer 博士が最近知らせて下さった、西ドイツでの大型穀物サイロの崩壊例を紹介しよう。

昨年の 11 月 8 日、北ドイツの Weser 河のほとりにある Brake 市の J. Müller Co. で鉄筋コンクリート製大型独立サイロの一つが完全に崩壊した。このサイロは昨年完成したばかりの五つの大型円形独立サイロの一つであった。サイロの規模は直径が 11.50m、高さ 75.50m、ホッパー底部に二つの排出口があり、排出口よりホッパー上端まで約 6.0m の高さである。ホッパー上端部に排出時アーチ防止用の大きな insert beam (高さ 5.20m、幅 2.30m) が設置されている。貯槽壁厚は 22.0cm で上部まで同一厚である。おそらくスライディングフォーム工法で施されたものと思われる。地震国の日本ではちょっと想像できない程の大きなサイロである。

これらのサイロは西ドイツ基準 DIN 1055, Bl. 6 にもとづいて設計され、サイロ下部での設計側圧値は 7.0 t/m^2 であるという。

*崩壊時にはカナダから輸入されたメイヅ (トウモロコ

シ) 嵩比重 0.74 t/m^3 が約 4500 t 程が貯蔵されていた。

崩壊した前日、貯蔵されていたメイヅが貯槽内で約 45°C に温度上昇したので、メイヅを空気にふれさせて冷却するためサイロより排出をはじめたところ、サイロの下部 1/3 の部分にクラックが発生した。最初クラック幅は 8~10mm 程であった。そして翌日の朝、11 月 8 日朝、に貯槽の下部が崩壊し、その上部は倒壊した。貯蔵されていた 4500 t のメイヅが崩壊したサイロとともにあたり一面に散乱した。

幸いにも一人の死者もけが人も出なかったが、物質的損害とトウモロコシの損失と再建の費用とで約 100 万ドルの損害であった。

この崩壊時の状況から考えて、排出開始時にホッパーとの接合部近傍の垂直壁に作用した dynamic over pressure の発生がその主たる原因と考えられる。また流動調整用の水平梁が大きな影響を与えているものと思う。

現在詳細な検討が Theimer 博士のもとで行なわれているようなので、この事故をもとに貯槽粉体圧の研究がまたさらに一段と進展されるものと期待される。

(杉田)