

(67) スティフ・サイロ(外壁の組積式コンクリート・サイロ)の

動揺挙動に関する模型実験について

北海道大学工学部

正会員

茅 村 仁

北海道大学工学部

正会員

○佐々木 康孝

1. まえがき

近年、穀物・飼料貯蔵のため、鋼製サイロ、鉄筋コンクリートサイロおよびスティフ・サイロなどの大型サイロが多く建設されている。ここで、「スティフ・サイロ」とは、コンクリート・パネル(スティフ)を積上り外壁を鉄筋(ロッド)で締付けけた円筒構造物である。

このスティフ・サイロは他種のサイロと比べて、経済性・施工性に優れているため、アメリカでは50年来の使用実績を積み、サイロ全体の約7割を占めていると言われる。しかし、このサイロは、組積式という不連続な壁体構造であるため、複雑な挙動を示すと予測されるが、その地震時挙動は殆ど不明である。

本研究は、スティフ・サイロの耐震安全性の検討を目的とし、スティフ・サイロ模型による振動実験を行なったものである。正弦波・地震波に対するサイロ壁体の加速度・ひずみ、締付け用ロッドのひずみ、動壁圧の応答特性など、この種のサイロの地震時挙動および内容物の影響について検討を加えた。

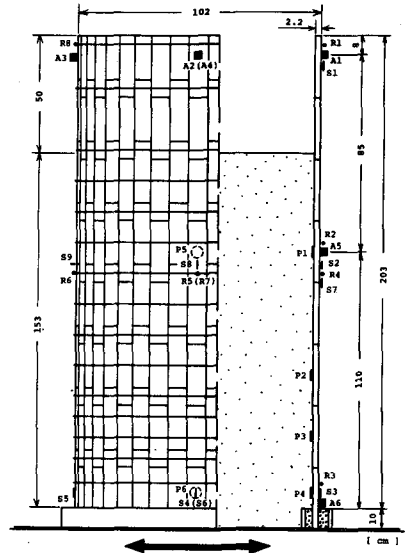


図1 スティフ・サイロ模型おび計測位置

2. 模型実験概要

2.1 スティフ・サイロ模型 サイロ模型の設計および実験実施に際し、慣性力と復元力に関する相似則を適用した。模型の縮尺は1/6である。模型は、木平振動台上で、模型用スティフを円周方向40個・高さ方向8段に積上げ外壁を5mm径のロッドで締付け組立てた。図1に、サイロ模型寸法、スティフの組合せ状態およびロッドの締付け位置を示す。内容物は、飼料を模擬し水分を含ませたオガクズを用いている。なお、サイロ模型の内部が空およびオガクズを充填した状態を、以下ではそれぞれ「Empty」、
「Full」と略称する。

2.2 実験方法 実験は、Empty・Fullの状態それぞれで正弦波・地震波加振実験を実施した。使用した地震波は、十勝沖広尾沖・根室半島沖地震の加速度記録である。相似則に従い断面積を1/6に圧縮し、最大加速度100 galを入力した。計測は、加速度6点、壁体(スティフ)およびロッドのひずみ17点、動壁圧6点である。計測量・計測位置を図1に、また、主な計測量の略称を表1に示す。ここで、 $\theta=0^\circ$ とは加振方向、 $\theta=90^\circ$ とは加振直角方向を表わす。

表1 計測量・計測位置と略称

" Accelerometer "	
A1:	Top ($\theta=0^\circ$)
A2:	Top ($\theta=90^\circ$)
A5:	Mid. ($\theta=0^\circ$)
" Strain Gauge on Staves "	
S1:	Top ($\theta=0^\circ$)
S2:	Mid. ($\theta=0^\circ$)
S3:	Bot. ($\theta=0^\circ$)
S4:	Bot. ($\theta=90^\circ$)
" Strain Gauge on Rods "	
R1:	Top ($\theta=0^\circ$)
R2:	Mid. ($\theta=0^\circ$)
R3:	Bot. ($\theta=0^\circ$)
" Pressure Gauge "	
P1:	Mid. ($\theta=0^\circ$)
P4:	Bot. ($\theta=0^\circ$)

3. 実験結果おおよそ考察

3.1 固有振動特性 図2は、加振振幅 20 gal に対する各種計測量の正弦波応答曲線である。

サイロ壁体上部加振方向および加振直角方向加速度 ($A1, A2$) は、Empty の場合、 22 Hz 、 32 Hz (加振直角方向については、さらに 38 Hz) に共振点がある。このサイロ壁体の共振状態では、加振直角方向の動きを伴うことがわかる。なお、最大応答倍率はそれぞれ31倍、15倍である。これに対し、Full の場合、共振振動数は殆ど変化しないが、応答倍率が約 $1/8$ にも低下する。これは、内容物が減衰効果として壁体に影響を与えているためと思われる。

壁体上部におけるロッドのひずみ ($R1$) については、Empty の状態では、 22 Hz 、 32 Hz 、 38 Hz と、サイロ壁体の共振振動数にピークを併す。しかし、その最大応答は、加速度応答が最大となる 32 Hz ではなく、 22 Hz に生じている。Full の状態でも 22 Hz にピークがある。この点に関しては、振動モードと関連性解析が可能である。図3に、共振時振動モードを示す。 32 Hz では、ほぼ円形モードであるのに対し、 22 Hz では楕円に近いモードで動いている。したがって、壁体を円周方向に締めているロッドのひずみは、円形からの形状変化によって生じると考えられる。

壁体下部・中下部における動壁圧 ($P4, P1$) については、壁体の共振振動数と異なる 24 Hz にも共振点をもっている。

なお、壁体上部・中下部におけるスチーブのひずみ ($S1, S2$) は、共振振動数によらず 1μ 以下であり、殆どひずみは生じないと言えよう。

3.2 地震時応答特性 ここでは、紙面の都合上、各応答の倍率が比較的良好に抑えられている、根室半島沖地震波に対する結果について述べる。

表2は、主な計測量の最大応答値である。図4に、根室半島沖地震波形および Full・Empty の状態での応答波形を示す。壁体上部の加速度 ($A1$)、壁体下部のひずみ ($S3$) および動壁圧 ($P4$) の最大値は、入力地震波形のほぼ同一時刻で生じている。また、こちらは類似した応答波形である。他方、壁体上部における加振直角方向加速度 ($A2$) とロッドのひずみ ($R1$) は、異なる応答であることがわかる。

図5に、各応答波形のパワー・スペクトルを示す。入力波である根室半島沖地震波は、 6 Hz に卓越振動数を併す (ただし、時間軸を $1/6$ 圧縮)。

壁体上部加振方向の応答加速度 ($A1$) は、入力地震波の卓越振動数成分のほか、壁体の共振振動数成分が含まれるが、内容物の存在により共振振動数成分が抑えられる。壁体下部のひずみ ($S3$) についても、これと同様の傾向が見られることは、両者の関連性を示すものと思われる。

壁体下部における動壁圧 ($P4$) は、入力地震波の卓越振動数成分が支配的である。細かく見ると 24 Hz の成分を含んでいる。これは、内容物 (オガクズ) の内部に加速度計を埋込み、その応答特性を測った結果、この 24 Hz に卓越振動数を併すことから、内容物の動きによるものと考えられる。

壁体上部加振直角方向の応答加速度 ($A2$) については Empty の場合、壁体の共振振動数に似たピークを併す。他方、Full の場合、壁体の共振振動数ではなく、前述の 24 Hz に卓越振動数を併す、内容物の動きに支配されることがわかる。また、入力地震波の卓越振動数成分を殆ど含んでいない点が特徴的である。

壁体上部におけるロッドのひずみ ($R1$) の応答特性は、壁体上部加振直角方向加速度 ($A2$) の場合と類似した傾向を併す、振動モードを介した両者の関連性を示している。ただし、Full の状態ではロッドのひずみは、入力地震波の卓越振動数成分も含んでいる。

4. あとがき

本実験により、スチーブ・サイロの加速度・ひずみ・動壁圧に関するいくつかの応答特性が明らかにされたと考えられる。

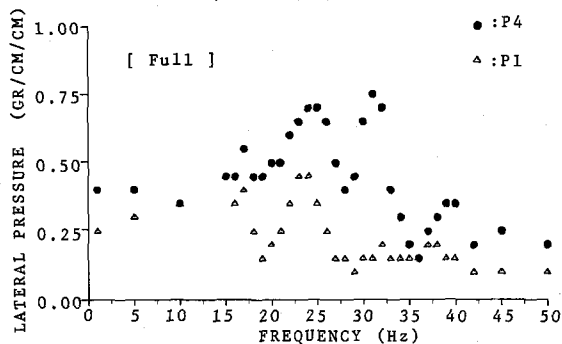
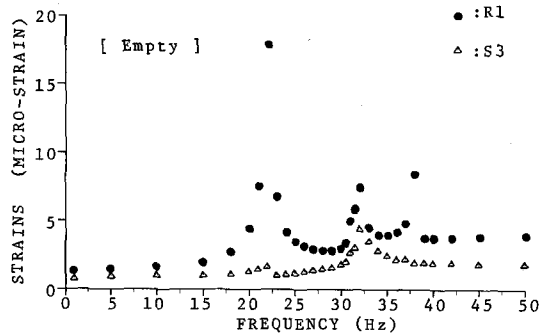
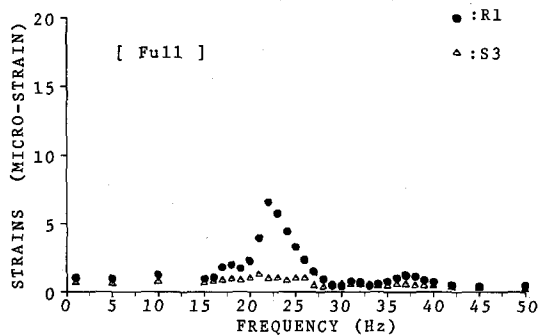
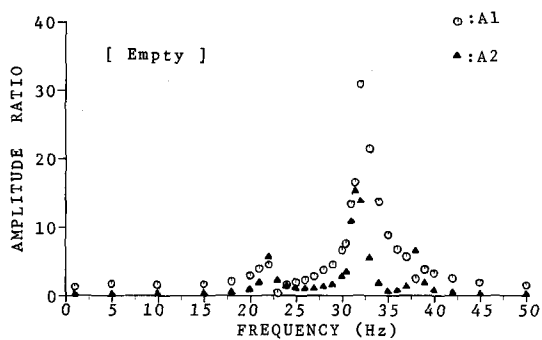
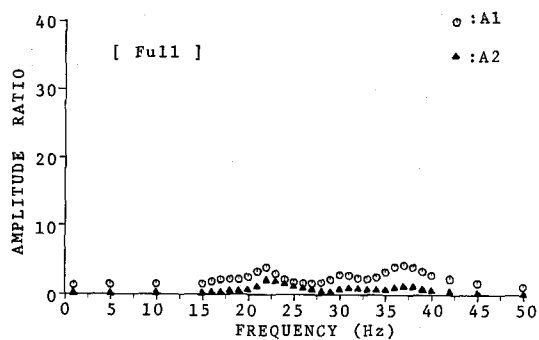


表2 地震波最大応答値

NEMUROHANTOU-OKI		
	Full	Empty
ACCELERATION (GAL)		
A1:	166	206
A2:	41	74
A5:	126	130
STRAIN OF STAVES (μ)		
S1:	0.3	0.2
S2:	0.4	0.2
S3:	1.4	1.1
S4:	0.6	0.8
STRAIN OF RODS (μ)		
R1:	8.1	8.3
R2:	4.5	3.0
R3:	1.1	1.2
LATERAL PRESSURE (GR/CM ²)		
P1:	1.1	—
P4:	1.9	—

図2 正弦波応答曲線

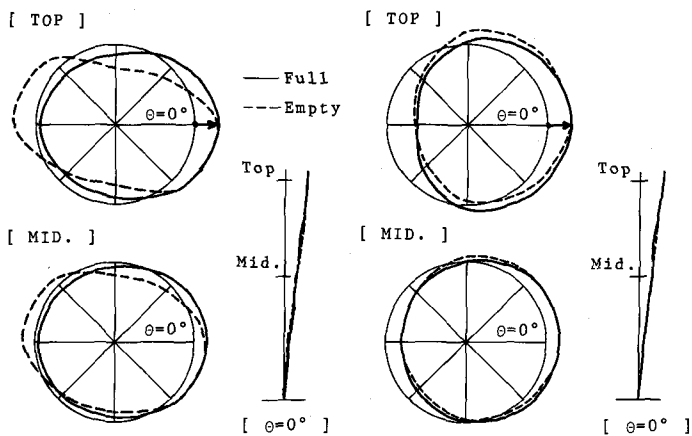


図3 振動モード

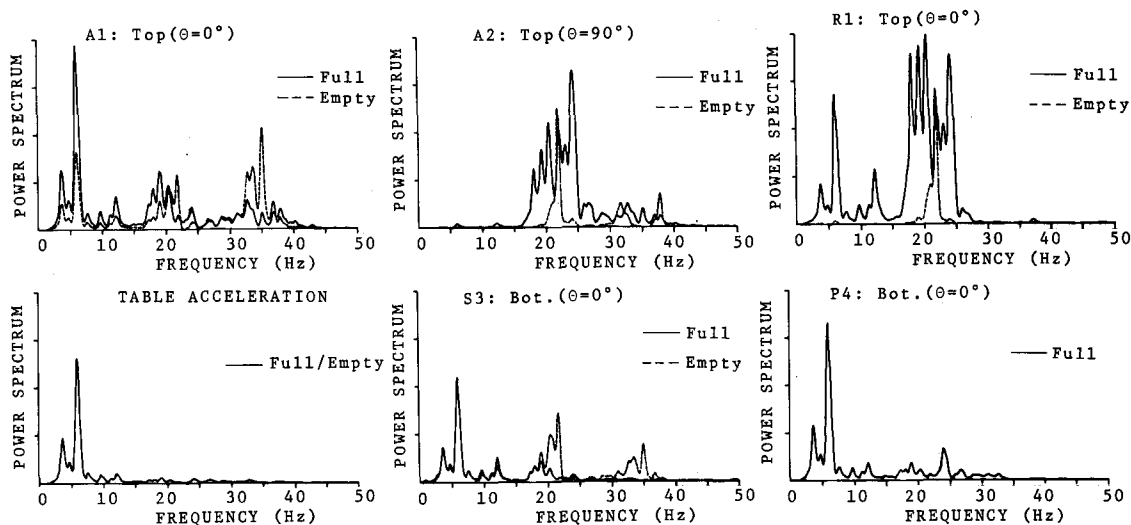
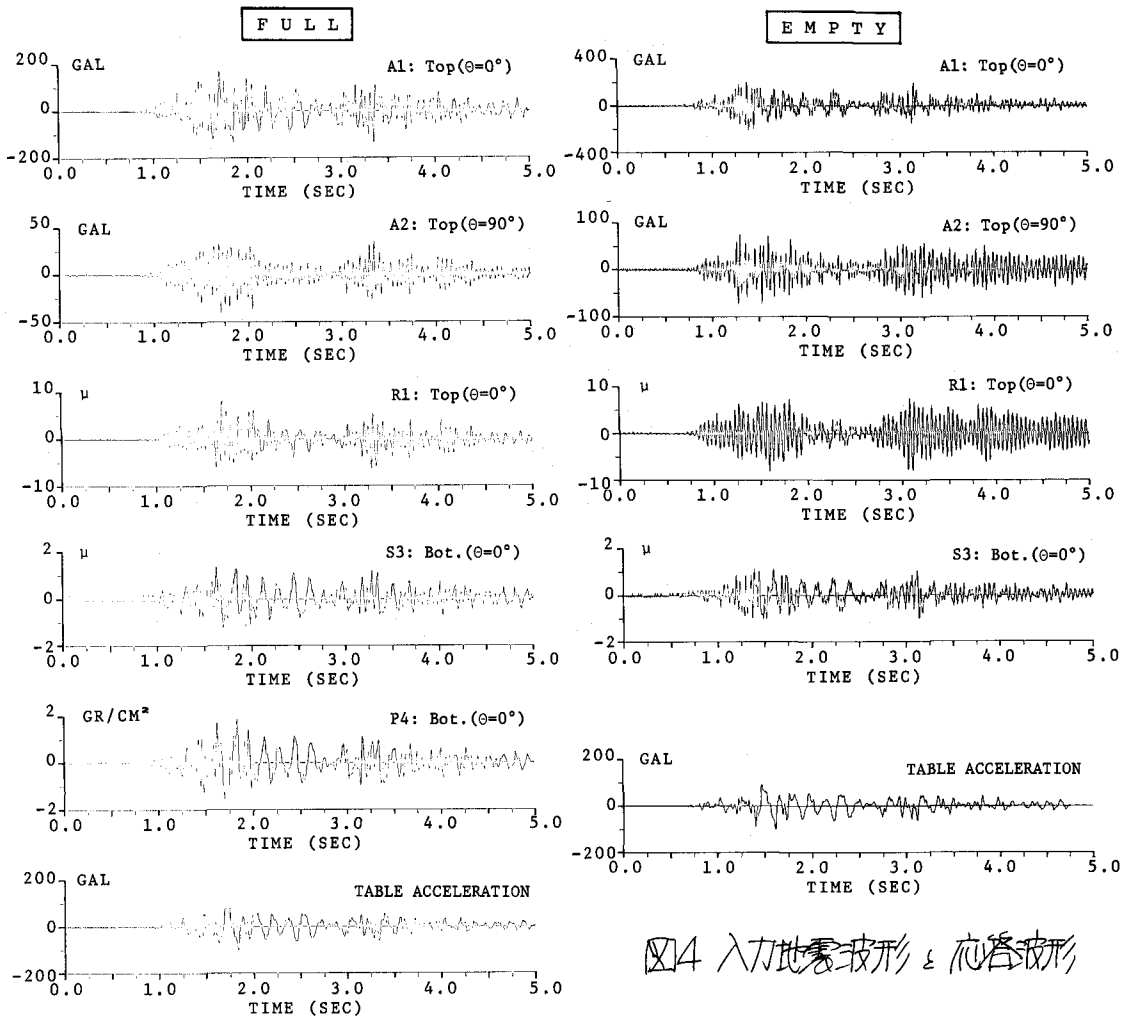


図5 117-21°SH