

I-16 コンクリートスティブ・サイロの振動特性および地震時挙動について

北海道大学工学部 正会員 芳村 仁
北海道大学工学部 正会員 ○佐々木 康孝
北海道大学農学部 堂腰 純

1. まえがき

近年、“スティブ・サイロ”と呼ばれる、コンクリート・パネル(スティブ)を横上げ外壁を鉄筋(ロッド)で締付けた組積式円筒構造物があり、穀物・飼料貯蔵用サイロとして使用されてきている。このスティブ・サイロは、他種のサイロと比べて経済性・断熱性に優れ、アメリカ・カナダでは50年余の使用実績を持つ。しかし、地震時挙動に関しては殆ど不明であり、地震多发地帯の我国では、その動時挙動の解明・耐震安全性の検討が必要であると思われる。

本研究は、スティブ・サイロ模型振動実験により、その基本的振動特性・地震時挙動の解明およびそれらに対する内容物の有無の影響の検討を目的とする。

2. 模型振動実験概要

2.1 スティブ・サイロ模型 模型の設計および模型実験実施に際し、振動現象に対する相似則を考慮した。ここでは、模型と原型とで慣性力と復元力の比(バインナンバー)が等しくなる相似則を用いた。実際に使用されているスティブ・サイロの大きさは種々あるが、本実験では壁体部分の寸法が直径5m高さ10m程度のもを想定し、幾何学的縮尺約1/4の模型を製作した。水平振動台上に、円周方向40個・高さ方向8段の模型用スティブを横上げ、外壁を5mm径のロッドで締付けてある。組立後の模型寸法、スティブの組合せ状態およびロッドの締付け位置を図1に示す。模型の下端は、底板を介してモルタルで振動台に固定した。模型用スティブは砂鉄モルタル製である。相似則より砂鉄を混入し単位重量を大きくした。スティブの寸法は、長さ26.7cm、幅8.0cm、厚さ2.2cm。また、上下・両側面には接合のため凹凸が付いている。内容物はオガクズを用いた。オガクズを充填した場合の高さも図1に示す。模型の総重量は、壁体部分約490kg・内容物約400kgである。なお、以下ではサイロ模型の内部が空、オガクズを充填した状態をそれぞれ Empty および Full と略称する。

2.2 振動実験方法 本実験で用いた振動試験装置は、動電形水平一軸加振、水平振動台寸法2.5m×2.5m、許容荷重重量10ton、双振り正弦波2500kg・G、最大振幅±50mm等である。ここでは、構造および加振条件下、変形量の大きい壁厚方向(半径方向)の振動特性に着目し、その方向の応答加速度を計測した。加速度計の主な設置位置および計測位置の名称を図1に示す。ここで、 $\theta=0^\circ$ とは加振方向を表わす。

実験としては、2つの模型状態 Empty と Full と、それぞれ正弦波・地震波加振実験を実施した。入力地震波は、十勝沖(E-W, 1968-5-16)・エルセントロ(N-S, 1940-5-18)を用い、相似則に従い時間軸を1/4に圧縮して入力した。

A1:Top($\theta=0^\circ$)
A2:Top($\theta=90^\circ$)
A3:Top($\theta=180^\circ$)
A4:Mid. ($\theta=0^\circ$)
A5:Mid. ($\theta=90^\circ$)

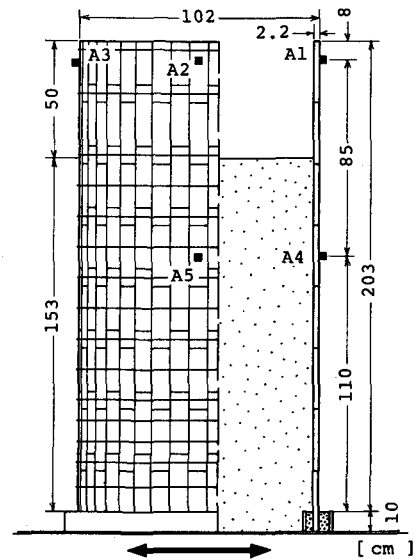


図1 スティブ・サイロ模型と計測位置

3. 振動実験結果および考察

3.1 正弦波加振実験結果 図2は、加振振幅20 galに對する、壁体上部における加速度応答曲線も、2つの模型状態 Empty / Full と比較したものである。Empty の状態での固有振動数は、15.5 Hz, 22.0 Hz, 27.5 Hz 付近であり、これらの振動数で加振直角方向の応答もかなり生じる。これに對して、Full の状態では、内容物が減衰効果として作用するためか、応答倍率が 1/3 程度に減少する。また、加振直角方向の応答が殆ど生じなくなる点が特徴的である。なお、壁体中央部の応答曲線は、応答倍率は低下するが、Empty / Full にかかわらず、壁体上部のそれと同様な形状を示す。

次に Empty の場合、加振振幅の増加に伴い固有振動数が低下・応答倍率の減少という結果が得られた。

図3に加振振幅 20 gal と 50 gal の場合の応答曲線を示す。また、共振峰に近づくに従い応答正弦波形の乱れが生じた。これらの結果は、組織式という壁体構造の特殊性に起因し、加振振幅の増加に伴いスティブ上下・側面の凹凸の影響が大きく現われるためと推測される。

共振時の円周方向振動モードについては、Empty / Full ともほぼ円形である。ただ、Empty の 15.5 Hz では、楕円に近いモードが見られた。壁体上部と中央部とは、同様のモードであった。また、高さ方向については、振動数によらず 1 次のモードで動いている。

3.2 地震波加振実験結果 本振動台によりスティブ・サイロ模型下端を2種類の地震波で加振し、壁体上部円周方向8点・加振軸上高さ方向8点の応答加速度を計測した。用いた地震波は、十勝沖・エルセントロ波、前述のように時間軸を 1/4 に圧縮して入力した。入力地震波の最大加速度振幅は約 100 gal である。

図4に、入力地震波形および壁体上部加振軸上 Top ($\theta=0^\circ$) の応答加速度波形を示す。なお、Empty と Full とでは、最大応答値は異なるものの、応答波形としては顕著な相違が見られなかったの2、図4には Empty の場合のみを示した。

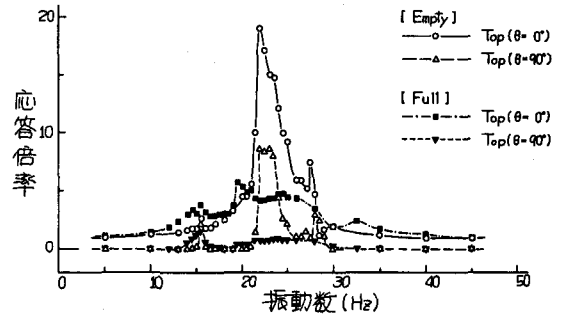


図2 加速度応答曲線 [Empty / Full, 20 gal]

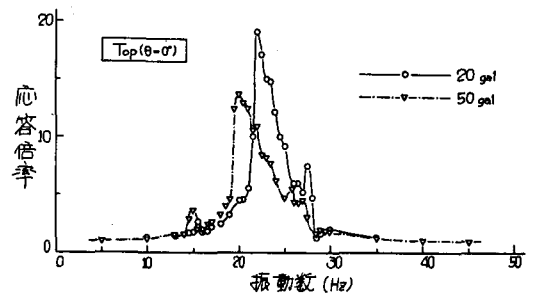
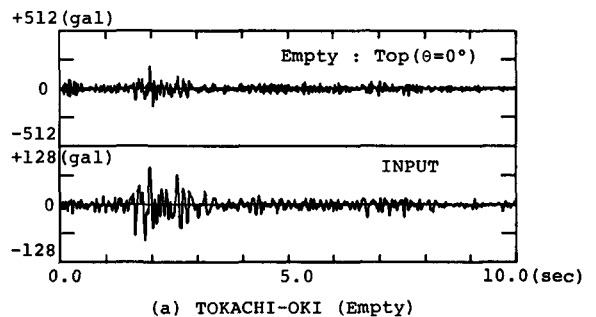
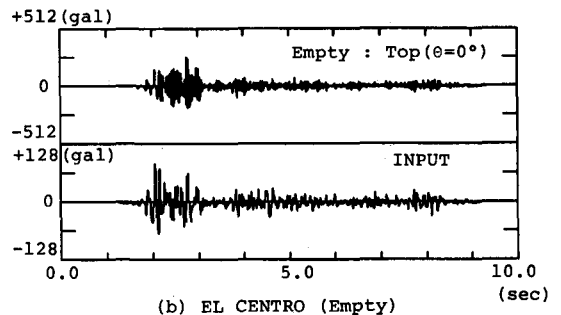


図3 加振振幅と加速度応答曲線 [Empty]



(a) TOKACHI-OKI (Empty)



(b) EL CENTRO (Empty)

図4 入力地震波形 / 応答波形 Top ($\theta=0^\circ$)

図5は、十勝沖・エルセントロに対する、(a) 壁体上部円周方向、(b) 加振軸上高き方向での最大応答加速度分布である。図中の数値は、入力最大加速度振幅100galに対する応答倍率を表わす。地震波に対する最大応答倍率は、十勝沖波の2倍、エルセントロ波の2.6~3.2倍程度である。(a) 円周方向(T_{θ})の最大応答分布を見ると、Fullの状態では正弦波の場合と同様に、加振直角方向の応答が殆ど生じないことがわかる。これは、内容物により加振直角方向の壁体の動きが拘束されるためと思われる。(b) 高さ方向($\theta=0^\circ$)の応答については、エルセントロ波の場合 Empty の方が大きい。十勝沖波の場合は Empty/Full とど顯著な相違は見られない。

図6に、十勝沖地震波に対するサイロ模型壁体各点での応答加速度の1/4フー・スペクトル図を示す。(d), (h) が入力地震波のスペクトル図、(b), (f) / (c), (g) がそれぞれ加振軸上壁体上部/壁体中央部、そして (a), (e) が壁体上部加振直角方向のスペクトル図である。また、左側に Empty, 右側に Full の状態での結果を示した。なお、各図は、バンド幅0.8Hzとした Parzen ラグ・ウィンドウにより平滑化されたものである。

Empty の状態では、加振軸上中央部・上部に行くに従って、入力地震波の卓越振動数成分が減少し、模型の固有振動数成分が卓越していくことがわかる。これに対し、Full の状態では、内容物の存在により、入力地震波の卓越振動数成分もかなり含まれるという結果である。また、加振直角方向については、模型の固有振動数成分だけを通過させたフィルターの様な応答をする点が特徴的である。オーダは小さいが Full の状態でも同様な性質を示す。なお、エルセントロ波の場合も、入力波形に模型の固有振動数成分を含んでいるため、固有振動数成分の卓越量は大きい。前述した十勝沖波の場合と同様な傾向を示した。

4. あとがき

スティブ・サイロ模型で正弦波・地震波加振実験を実施し、スティブ・サイロの基本的振動特性・地震時応答加速度の振動数特性とそれに対する内容物の影響等について検討を加えた。

今後は、壁体およびロッドの動いずみ、内容物による動壁圧に重点をおいた振動実験を行おう予定である。

参考文献

- 1) 江守一郎, D.J. シーリング: 模型実験の理論と応用, 技報堂, 1973
- 2) 大崎順孝: 地震動のスペクトル解析入門, 鹿島出版会, 1976

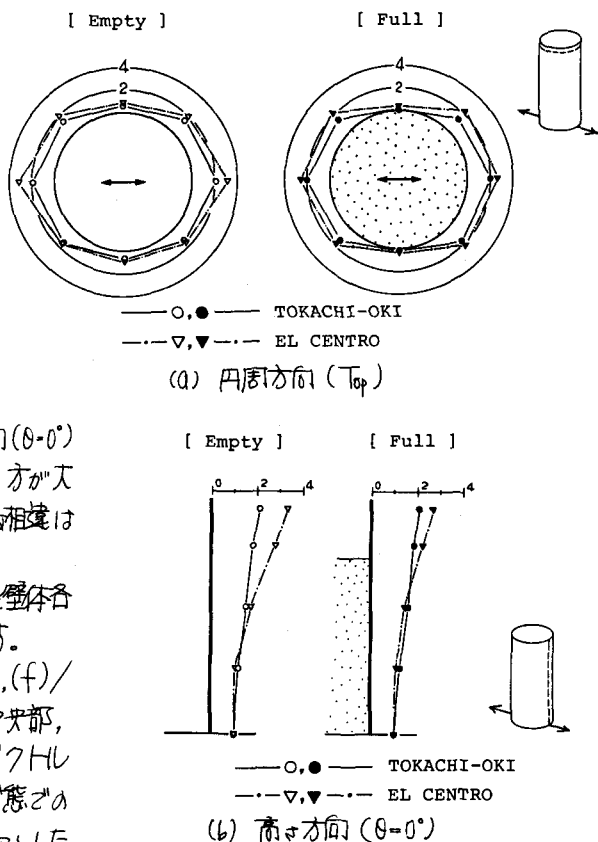


図5 地震波 最大応答加速度分布

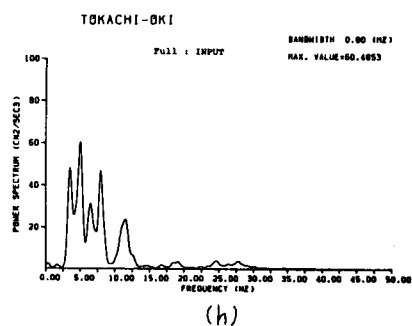
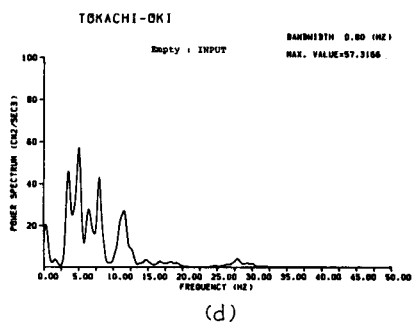
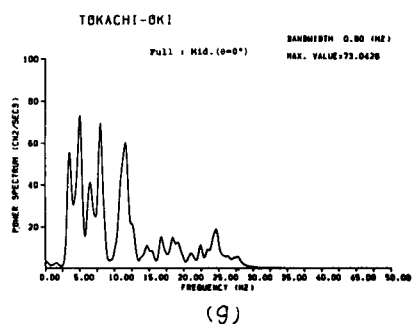
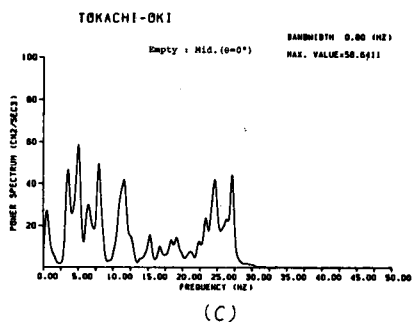
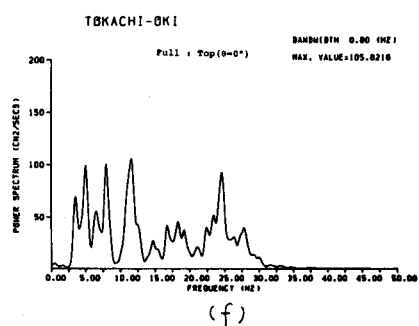
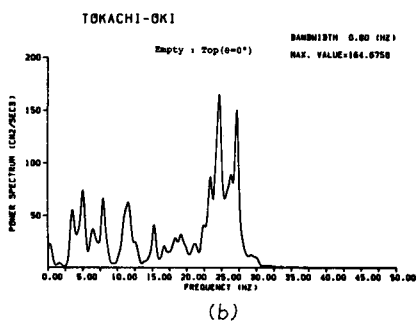
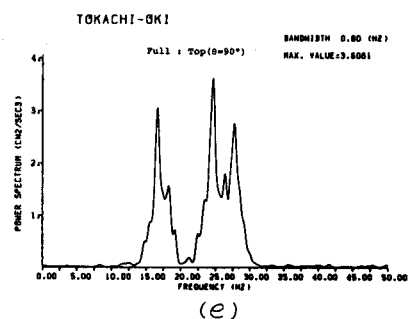
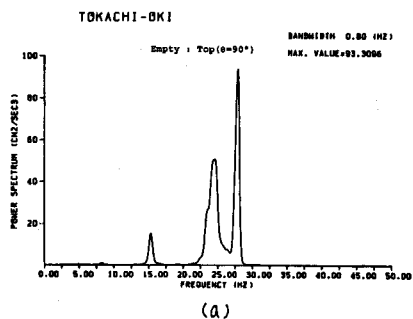


図6 パワースペクトル [Empty/Full]