

I-628

ステイブ・サイロ壁体構造の不連続性を考慮した動的応答解析

北海道大学工学部 正会員 佐々木 康彦
北海道大学工学部 正会員 芳 村 仁

1. まえがき

“コンクリートステイブ・サイロ (concrete stave silo)” とは、コンクリートブロック(ステイブ)を円筒状に組合せて積上げ、外壁をリング状の鉄筋(フープ)で締付けた不連続な壁体構造を持つ、粉粒体貯蔵用のサイロ構造物である。このようなステイブ・サイロ壁体構造の動的挙動に関する解析的な検討をめざして、“ステイブ・サイロ要素”と呼ぶ動的解析モデルの開発を進めてきた。本報告は、この新しい解析モデルの正弦波・地震波応答解析への適用計算例およびステイブ・サイロ模型実験結果との比較について述べたものである。

2. ステイブ・サイロ要素および剛体間バネの剛性評価法の概要

ステイブ、フープ、ステイブ継目というステイブ・サイロ壁体構造の主要な構成要素を、それぞれ立方体状の『剛体』、ステイブとの接触点を節点とする『円弧梁』、剛体間に配置した『分布バネ・集中バネ』としてモデル化する。これら三種類の基本的解析モデルを円筒状に組合せて積上げた“剛体-剛体間バネ-円弧梁”系(円筒状RSB系)モデルにおける全体系の質量・剛性マトリックスは、その基本的解析モデルである剛体、剛体間バネ、円弧梁の質量や剛性のほか、幾何学的寸法や隣接剛体間の運動学的関係によって定式化が可能となる¹⁾。

図1に示す“ステイブ・サイロ要素”は、さらに円筒状RSB系モデルを2つの水平面で切断して取出した構造要素であり、切断面における各節線上で図のような4個の変位・回転成分を節線変位とする。これらの節線変位は円周方向に $\cos n\phi$ あるいは $\sin n\phi$ 分布形(n は円周方向波数、 ϕ は円周方向座標)をなすとし、その節線変位振幅をこの構造要素の未知量とする。円筒状RSB系モデルの、このような“有限要素化”により、動的解析モデルの簡略化と自由度の大幅な低減が可能となった¹⁾。

ステイブ・サイロ要素をステイブ・サイロ模型や実物ステイブ・サイロに適用する場合、ステイブ継目での凹凸や摩擦による抵抗機構をモデル化した“剛体間バネ”の剛性評価法が最も重要な問題となる。本研究では、解析すべきステイブ・サイロ壁体構造と同一材料・同一寸法の『円筒殻』を考え、それと等価な剛性定数をひとつの基準値とする。さらには、ステイブ・サイロ模型実験結果に基づいて、不連続性に起因する構造剛性の低減率を推定するという方法を用いる。なお、円筒殻と等価な剛性定数の算定式およびその算定式の妥当性・精度の検証については参考文献1)に譲る。

構造剛性の低減率推定に利用する縮尺1/8ステイブ・サイロ模型(その2)は直径80cm、高さ198.5cmであり、

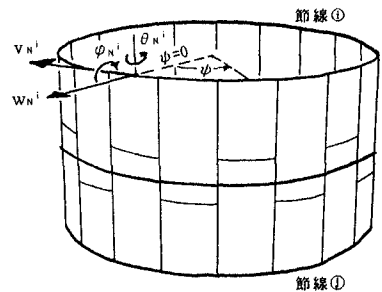


図1 ステイブ・サイロ要素と節線変位

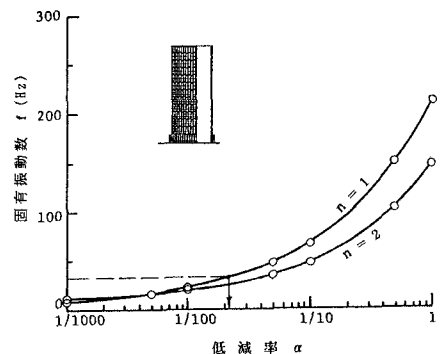


図2 剛性定数の低減に伴う固有振動数の低下状況 [円周方向波数 $n = 1, 2$]

円周方向50個・高さ方向13段のモルタル製模型用ステープ（単位重量 2.09gf/cm^3 ；幅 5.0cm ・高さ 15.2cm ・厚さ 2.0cm ）と32組のフープ（ 4mm 径）で構成される。ステープ・サイロ要素を用いた固有振動解析では、モルタルの弾性係数を $2.5 \times 10^5 \text{kgf/cm}^2$ 、ポアソン比を $1/6$ 、またフープの弾性係数を $2.1 \times 10^6 \text{kgf/cm}^2$ とした。図2は剛体間バネの剛性定数を円筒殻と等価な基準値から段階的に低減した場合の、ステープ・サイロ模型の固有振動数（解析値）の低下状況を表わしたものである。他方、図3に示すように共振振動数の実験値（ $n=1$ ）は 33Hz であることから、このステープ・サイロ模型の構造剛性に関して低減率 $\alpha=2.4/100$ （ 2.4% ）という推定値が得られた。

3. 縮尺 $1/8$ ステープ・サイロ模型の動的応答解析結果

ステープ・サイロ壁体構造の動的解析モデルであるステープ・サイロ要素と前章で略述した剛体間バネの剛性評価法を、縮尺 $1/8$ ステープ・サイロ模型の正弦波・地震波応答解析に適用し、振動実験結果との比較を行なった。この数値計算で使用したサイロ模型の材料定数・寸法は前述の通りである。構造剛性の低減率は $\alpha=2.4/100$ （ 2.4% ）を用いた。また、図4（a）に示す入力地震波は根室半島沖地震（1973-6-17）の北海道厚岸で観測された加速度記録である。

正弦波定常加振（振幅 20gal ）に対する模型上部での加速度共振曲線を、実験と解析とで比較した結果を図3に示す。この解析結果は減衰定数 $h=0.018$ （ 1.8% ）で計算したものであり、解析値は共振振動数における応答倍率が約 10% ほど大きめであること、また共振点より高い振動数領域では全体的に実験値を下回ることがわかる。

図4はステープ・サイロ模型上部における加速度（A1）および変位（D1）の時刻歴応答波形を、（b）模型実験と（c）数値解析とで比較したもので、入力地震波の最大加速度が 0.67g に対する結果である。変位波形に関してはこの解析によって応答性状を良く再現しているが、最大応答値には相対誤差で約 20% 程度の相違が見られた。また、加速度波形について見ると、解析結果は高振動数成分が卓越し過ぎていることから、剛体間バネ剛性の軟化性状という非線形効果のモデル化を含めて、今後はより詳細な検討を進めたい。

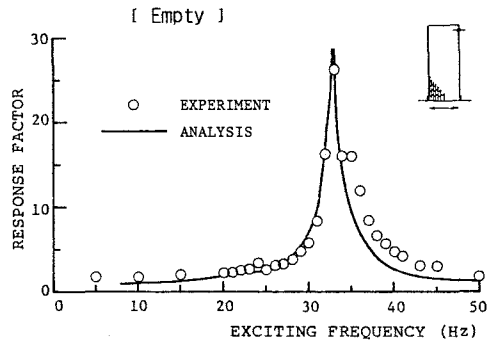


図3 模型上部での加速度共振曲線の比較

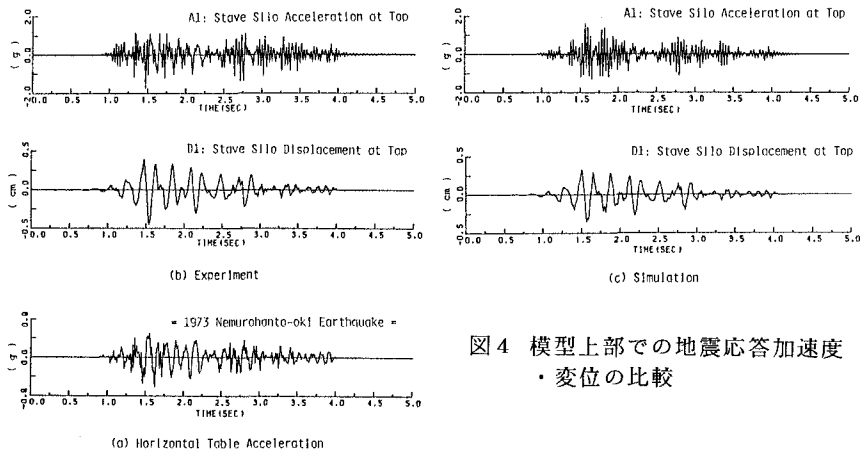


図4 模型上部での地震応答加速度・変位の比較

参考文献 1) 佐々木康彦、芳村 仁：ステープ・サイロの固有振動解析のための一離散的構造モデル、土木学会北海道支部論文報告集、第45号、pp. 145-150、1989。