Behavior of Circular Cylindrical Shells under Horizontal
Vibration (I, Experiment)

正 児珠 昭太郎 (石巻専修大)

Shotaro KODAMA, Ishinomaki Senshu University, 1 Minamisakai
Sinmito, Ishinomaki, Miyagi

Key Words: Vibration, Circular Cylindrical Shell, Buckling

1. 緒言

今日、原子力、化学プラントやコンビナート等に各種プラントにおいて、各種の大型円筒構造物が見受けられる。これらの大型円筒構造物は、大口径化、薄肉化する傾向があり、地震等の動的荷重に対する強度検証の必要性が増している。

円筒殻の振動実験を行うにあたり、試験円筒殻はポリエステル製のフィルムを用い、半径 100mm のアルミニウム端版に接着し、一端固定、多端自由の試験円筒殻を製作した。円筒殻の変形はフォトニックスンサを用いて、軸方向、周方向それぞれ数点を測定した。それらの測定結果をもとに、殻の変形状態を解析した。

2. 実験装置と実験方法

試験円筒殻はポリエステルフィルムを用い、接着部分は 5 mm の糊代をとり、約 30 度に斜めに削り接着した。円筒殻の半径は 100mm とし、円筒殻の高さは円筒殻の形状係数 Z が 500, 1000, 2000 になるように切断した。フィルムの物性は密度 1.4 gf/cm^3 、ポアソン比 0.3、縦弾性係数 5.61 GPa 、厚さ 0.24 mm である。この円筒殻を厚さ 20 mm のアルミニウム端版に接着し、試験円筒殻とした。円筒殻の長さ L はそれぞれの形状係数 Z にたいして 112.16mm、158.62mm、224.32mm となる。試験円筒殻を図 1 に示す。

Fig. 1 Test cylindrical shell

円筒殻の変位は殻の軸方向、周方向のどの点においても測定できるように製作した。装置は三脚上に XY ステージを設置し、その上にハイトゲージを取り付けた。周方向ガイドはハイトゲージに直径 25mm のアルミニウム棒を介して、厚さ 10 mm、内径 213mm、外径 261mm の円環

を取り付け、円環上にホトニックスンサ取り付け装置をつけ、それをスライドさせることによって、ホトニックスンサが常に円筒殻の中心を向き、周方向の変位を自由に測定可能にした。測定装置を図 2 に示す。

Fig. 2 Displacement measuring apparatus

実験に先立ち、振動試験装置とホトニックスンサの性能試験を行った。円筒殻を固定する加振治具を振動試験装置の水平テーブル上に設置し、治具に対しホトニックスンサを振動方向に対して並行に設置し、0.2 mm p-p の振動振幅で、88.0~162.5 Hz までの周波数でスイープテストを行い、ホトニックスンサの波形を FFT アナライザーを通して電圧を測定し、変位に換算した。また $Z=500$ の円筒殻を治具上にセットし、振動方向に対して直角の所を 0 度とし、30, 45, 60 度の位置も測定した。その結果、変位は周波数、角度を変えても正常に測定できることがわかった。

実験は試験円筒殻を治具上に取り付け、それを振動試験装置の水平テーブルに固定し、定められた周波数でスイープテストを行い、変形する周波数を特定し、その周波数において軸方向 5 点すなわち上端近傍、軸方向高さの $3/4$ 、 $1/2$ 、 $1/4$ 、下端近傍、周方向は 0 度、30 度、45 度、60 度、90 度の 5 点で測定した。

3. 実験結果

円筒殻形状係数 Z が 500, 1000, 2000 の円筒殻について実験を行った。一例として $Z=2000$ の結果について

示す。円筒殻を 0.2 mm p-p で加振し、周波数を 50～100 Hz 間でスイープさせた結果を図 3 に示す。角度は 90 度、軸方向高さは上端近傍 223.32mm、3/4 近傍の 167.32mm、中点の 112.16mm、1/4 の 52 mm の 4 点で測定した結果で、縦軸は変位に相当する電圧で示した。

Fig. 3 Sweep test of the shell : Z=2000, 90°

図から 50 ～ 85 Hz まではほぼ一定だが、88 Hz 付近より急激に変化することが見受けられる。ピークは 92 Hz 付近でその後急激に減少し、98 Hz 付近で又一定値となる。図 4、図 5、図 6 は 88 ～ 99.5 Hz 間を拡大して示したものである。それぞれ 90 度、30 度、60 度の場合で下側の測定点は 1/4 近傍の変位が小さいので、1/3 近傍の 65.12 mm に変更して測定した値を示している。

Fig. 4 Sweep test of the shell : Z=2000, 90°

図 4 から、測定電圧は軸方向高さによって異なっていることが分かる。高さ 112.16mm、65.12mm の 93.5 ～ 95.5 Hz の範囲で、測定電圧が加振に相当する電圧より低い値となり、中立点より内側に変形していることになる。

Fig. 5 Sweep test of the shell : Z= 2000, 30°

これらより、測定された電圧はそれぞれ周方向によって異

Fig. 6 Sweep test of the shell : Z = 2000, 60°

なり、周波数に対しても変位の仕方が異なっている。

以上の結果から、Z = 2000 の場合について、2 mm p-p の振動を与えたときの円筒殻側面の変形状態の変化を図 7、図 8 に示す。図の縦軸は円筒殻の高さを表し、横軸は実験で得られた測定電圧を距離に換算したものである。+側は中立点より外側、-側は中立点より内側に変形している

Fig. 7 Axial distribution : Z=2000, 30°

Fig. 8 Axial distribution : Z=2000, 60°

ことを表している。図 8 から、上端近傍での様相を見ると、88.5 Hz においてその変形は小さいが、91 Hz で一側最大となり、周波数が増加するにつれて変形状態も変化し、変位は 94 Hz で最大となり、その後向きを変えて減少方向に変化する。上端の変位について見たが、軸方向全般の変化は 89.5 Hz から軸方向に凹凸が現れ、波を打つようになる。さらに、周波数を上げていくと複雑な変化をし、上端が最大値になると軸方向の波がなくなり、その後又波を打ちながら変位が小さくなり、97.5 Hz 以降は高さ 3/4 近傍が一側に変形した状態になる。

以下省略