

円筒形タンクにおける地震時スロッシング抑制法に関する研究

電力中央研究所	正会員	○高畠	大輔
京都大学	正会員	澤田	純男
京都大学	正会員	米山	望
出光エンジニアリング	正会員	三浦	正博

1. はじめに

2003年9月26日に起こった「2003年十勝沖地震」では多くの石油貯蔵タンクでスロッシングが生じ、苫小牧の製油所でタンク火災や浮屋根の変形・座屈・破断・沈没といった被害を及ぼした。今後、東海・東南海・南海地震においてもスロッシングによる同様の被害が予測され、その対策が緊急かつ重要なものとなっている。そこで、スロッシング被害を低減する方法の一つとしてスロッシング抑制装置の開発が期待され、多くの実験的及び解析的研究が行われている¹⁾。

本研究ではスロッシング抑制する方法として、遮閉板をタンク内に設置することにより、振動系に減衰を付加及び振動系そのものを変化させて、スロッシングを抑制することを考える。模型実験結果にも続いて、遮閉板によるスロッシング抑制メカニズムを解明した上で、スロッシングを効果的に抑制する遮閉板レイアウトを提案する。

2. スロッシング減衰メカニズム

図1に実験装置の概観を示す。内径512mm、高さ390mmの亚克力製の模型タンクを用いて振動台実験を実施し、内容水には白色絵具で着色した水道水を用いた。入力には振幅1mm、周波数0.90Hz~3.00Hzの範囲の正弦波を用いた。遮閉板は横幅480mm、縦幅240mmの長方形の枠に、板をはめ込む構造となっており、板のレイアウトにより開口率や開口位置を変化させることができる。板は真鍮板（以下、ノーマルパネル）と、開口率36%の細かな網状のステンレス板（以下、メッシュパネル）の2種類を用い、タンク端部でのスロッシング波高及び遮閉板に生じる荷重の2点を計測した。

横軸に入力した正弦波の周波数、縦軸に計測されたスロッシング波高を振動台の変位で除した無次元スロッシング波高をとり、無次元スロッシング波高の応答関数を作成した。図2にそれぞれ無体策タンク（●印）、ノーマルパネルを用いたケース（■印、Case#NA）、メッシュパネルを用いたケース（▲印、Case#MA）の応答関数を示す。無対策タンクの応答関数には2つのピークが現れるが、それぞれ1.2Hz付近のピークが1次モード、2.2Hz付近のピークが2次モードを示す。これらのモードの応答値は、Case#NA及びCase#MAでは小さくなるが、Case#NAでは1.7Hz付近に新たに別のピークが現れた。この新たなピークは、遮閉板で2つの半円形タンクに分割されたため、タンクの振動系が変化したことによって現れたと考えられる。従って、ノーマルパネルで構成された遮閉板は、タンクの振動系を変化させることによってスロッシングが抑制されたと考えられる。また、本研究では、この新たなピークのモードを「半タンクモード」と呼ぶ。一方、Case#MAでは半タンクモードは現れなかった。従って、メッシュパネルで構成された遮閉板は、振動系に減衰を付加することによってスロッシングが抑制されていると考えられる。



図1 実験装置の概観

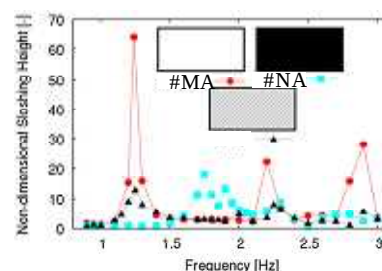


図2 応答関数の比較

(無体策・Case#NA・Case#MA)

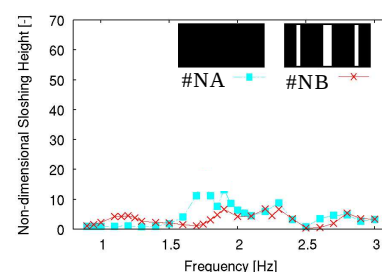


図3 応答関数の比較

(Case#NA・Case#NB)

キーワード スロッシング, 付加減衰, 振動系の変化, 遮閉板レイアウト

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 (財)電力中央研究所 地球工学研究所 TEL:04-7182-1181

図3にCase#NAと、ノーマルパネルで構成された遮閉板に3つのスリットを設けたケース(×印, Case#NB)の応答関数を示す。Case#NBでは、1次モードの応答が若干増加したが、広い周波数領域に対して応答が抑制されている。従って、ノーマルパネルで構成される遮閉板は、適切にスリットを配置することによって、スロッシングを効果的に抑制できると考えられる。

3. 遮閉板レイアウトの調整

1次モードの応答について検討する。図4に遮閉板の開口率と無次元スロッシング波高の関係を示す。中央スリットケース(図4(a))とサイドスリットケース(図4(b))の両ケースとも、開口率が小さいほど

1次モードの応答は小さくなる。図5(a)に遮閉板の開口率を固定した場合の、中央スリット幅と無次元スロッシング波高の関係を示す。中央スリット幅が大きくなるにつれて無次元スロッシング波高は大きくなるが、パネルをタンク端部に設置した遮閉板のケースでは無次元スロッシング波高は小さくなる。さらに、図5(b)にスリットの設置位置と無次元スロッシング波高の関係を示す。スリットの位置がタンク中央からタンク端部へ移動するにつれて、無次元スロッシング波高は小さくなる。

一方、図6に開口率を固定した場合の、中央スリット幅と半タンクモードの無次元スロッシング波高の関係を示す。半タンクモードは中央にスリットを設けること、応答が小さくなるのがわかる。

図7は中央にスリットを設けた場合の、1次モード及び半タンクモードの無次元スロッシング波高の変化を示す。この遮閉板のレイアウトは上述したCase#NBと同じである。中央にスリットを設けると、半タンクモードの応答は小さくなるが、1次モードの応答は若干増加した。

図8(a)に無対策タンクとCase#NBの無次元スロッシング波高の応答関数を示す。Case#NBは広い周波数領域でスロッシング波高が抑制できている。また図8(b)にCase#NAとCase#NBの遮閉板に生じる荷重の応答関数を示す。Case#NBでは遮閉板に生じる荷重も抑制されていることがわかる。

参考文献

- ¹⁾ J.R.Cho, H.W.Lee, S.Y.Ha: "Finite element analysis of resonant sloshing response in 2-D baffle tank, Journal of Sound and Vibration, pp.829-845, 2005

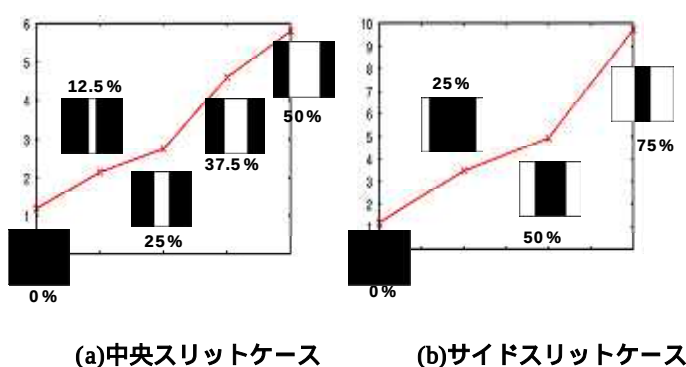


図4 1次モードの無次元スロッシング波高

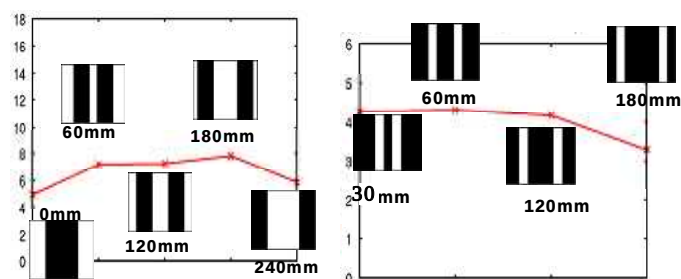


図5 1次モードの無次元スロッシング波高

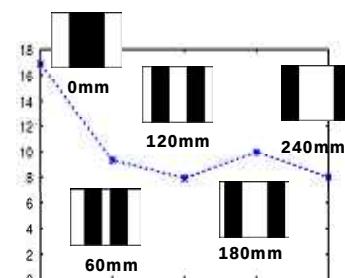


図6 半タンクモードの無次元スロッシング波高

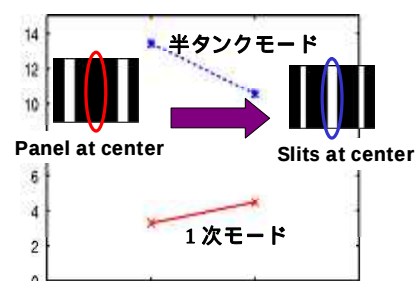


図7 レイアウトの調整

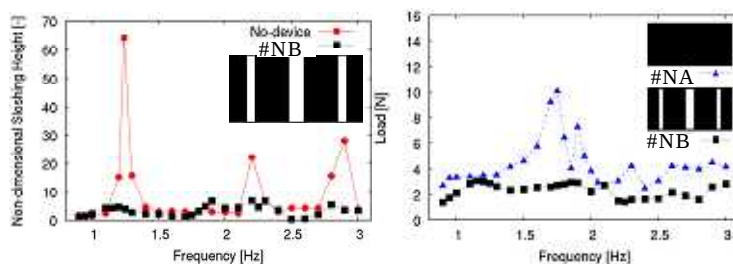


図8 最適な遮閉板の応答関数