

( 続紙 1 )

京都大学	博士 ( 工 学 )	氏名	三 浦 正 博
論文題目	地震時のスロッシングによる浮屋根式タンクの被災メカニズムと遮閉板を用いたスロッシング抑制装置の設計手法に関する研究		
( 論文内容の要旨 )			
<p>2003 年十勝沖地震では，北海道苫小牧市の製油所で数多くの浮屋根式タンクが被災した．これは，やや長周期地震動が引き起こしたスロッシングによって，浮屋根が大きく揺動させられ，浮室が損傷して浮屋根が沈没し，油面の全面火災という甚大な被害につながったと考えられている．</p> <p>本研究では，浮屋根が沈没するほどの被災が起こったメカニズムを詳細に検討すると共に，本質的なスロッシング対策として，遮閉板を用いたスロッシング抑制装置を提案し，この効果について模型実験と数値解析で詳しく調べ，さらに簡易な計算で実施できる設計手法を開発している．</p> <p>第 1 章は序論であり，本研究の背景と，既往の研究成果をまとめている．</p> <p>第 2 章では，2003 年十勝沖地震における浮屋根式石油タンクの被災メカニズムを解明するために，高次モードのスロッシングが表現でき，スロッシングにより動かされる油とそれを抑えようとする浮屋根の相互作用を考慮した数値解析を実施した．その結果 1 次モードのスロッシングについて，スロッシング波面の非線形性により，浮屋根のポンツーンを面外に曲げる変形が発生し，これがポンツーンの座屈を引き起こしたことを明らかにしている．曲げモーメントが極大になる位置は，従来より指摘されていたスロッシングによって液面が最高位または最低位となる部位だけではなく，これらから 90 度の位置においても極大になることを示している．さらに，2 次モードのスロッシングによって，ポンツーンを半径方向に収縮させる変形が発生し，これがポンツーンの座屈を引き起こすことを明らかにしている．この半径方向に収縮させる変形は，タンクの側壁から内側に寄った位置で波頭が発生するようなスロッシングの振動モード形状に応じて，浮屋根の大部分の面積を占めるデッキ板が波打つような動きをするために生じることを示している．</p> <p>第 3 章では，スロッシングを抑制する方法として遮閉板を用いる装置を提案し，小規模モデルタンク ( 直径 0.5m，液位 0.2m ) の振動実験を実施して，遮閉板にスロッシング抑制効果があることを確認している．振動実験では，一定振幅の定常波で水平一方向の加振を行い，加振方向と直交するタンク中央断面にスリットを設けた遮閉板を入れて行なっている．スリットの位置や開口幅を変え，数十ケースの遮閉板配置に対して振動実験を行い，スロッシング高さ，遮閉板へ加わる荷重の応答関数を求めている．その結果，スロッシング抑制効果の高い遮閉板の基本配置を提案している．</p>			

第4章では、中規模モデルタンク(直径2.0m, 液位0.9m)に対して振動実験を行い、小規模タンクモデルでのスロッシング抑制効果を検証している。モデルタンクの1次モードおよび2次モードのスロッシング固有周期を持つ正弦波を水平一方向に、2003年十勝沖地震時に北海道苫小牧市の製油所内で計測された地震波を振動実験用に調節した「苫小牧波」を水平鉛直三方向に与えている。遮閉板は、小規模モデルタンクの振動実験結果を参考にして、開口率63%のType-Aと44%のType-Bの二つを用いている。1次モードのスロッシング固有周期を持つ正弦波を入力した場合、遮閉板を入れない場合に対比して、Type-Aで70%、Type-Bで40%のスロッシング高さに抑制できることを示している。また、苫小牧波加振時は、Type-Aで80%、Type-Bで50%に抑制された。また、この振動実験によって、数値解析手法および設計手法の構築のための数多くのデータを採取している。

第5章では、中規模モデルタンクの振動実験を数値解析で模擬し、実機タンクにスケールアップするための数値解析手法を構築している。実機タンクは、その直径が最大で百メートル程度に達し、実験によって抑制効果を把握することは非常に困難である。従って、実機タンクのスロッシング抑制効果を確認するには、数値解析で模擬することが必要になる。そこで、中規模モデルタンクの振動実験と同じ条件に対して数値解析を実施している。その結果、中規模モデルタンクの振動実験で得られたスロッシング高さ、内容液の流速、側壁に加わる圧力、遮閉板に加わる荷重などを精度良く模擬できることを示している。

第6章では、簡易な計算によって、入力地震動の大きさに応じてスロッシング抑制量を設定し、遮閉板の配置の決定する一連の設計手法を提案している。中規模モデルタンクの振動実験結果に基づいて最適な抗力係数を求め、さらに振動実験結果と比較することにより妥当性を検証している。6万kLの実機タンクを想定して遮閉板を試設計し、提案法と数値解析によって求められた抑制効果を比較することにより、提案法の妥当性を示している。

第7章では、本研究で得られた結論をまとめている。

## (論文審査の結果の要旨)

2003年十勝沖地震では数多くの浮屋根式石油タンクが被災したが、必ずしも本質的な対策が実施されていない。本研究では直接の被災原因であるスロッシング震動を抑制する装置を開発することを目的とし、被災メカニズムの解明を行った上で、遮閉板を用いた抑制装置の設計手法を構築し、その妥当性について実験と数値解析によって検証している。得られた主な成果は次のとおりである。

1. 2003年十勝沖地震における浮屋根式石油タンクの被災メカニズムを、現地で観測された地震動記録に基づく数値解析によって解明した。既往の研究で指摘されていた1次モードのスロッシング震動に加えて、2次モードのスロッシング震動が、浮屋根の損傷に大きな影響を与えていることを明らかにした。
2. スロッシングを抑制する方法として遮閉板を用いる装置を提案し、小規模モデルタンク(直径0.5m, 液位0.2m)の振動実験によって、遮閉板にスロッシング抑制効果があることを確認した。
3. 中規模モデルタンク(直径2.0m, 液位0.9m)に対して振動実験を行ない、モデルの大きさによる挙動の違いを調べるとともに、スロッシング抑制効果を確認した。また、数値解析および設計手法の構築のための数多くのデータを採取した。
4. 実機タンクではその大きさから実験によって抑制効果を把握することが困難であるため、その挙動を数値解析で模擬する手法を構築した。中規模モデルタンクの振動実験と同じ条件に対して数値解析を行ない、振動実験の状態を精度良く再現できることを示した。
5. 入力地震動の大きさに応じたスロッシング抑制量を設定して遮閉板の配置を決定する一連の設計手法を構築した。構築された設計手法を中規模モデルタンクの振動実験に適用してその妥当性を確認した上で、実機タンクを想定して遮閉板配置を試設計し、数値解析によってその妥当性を検証した。

本論文は、スロッシングによる浮屋根式タンクの被災原因と、その本質的な対策としての遮閉板を用いた抑制装置の評価・設計手法を提示するものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成22年8月26日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。