

# 浮屋根が有る燃料タンクのスロッシング解析

振動実験の再現解析を通じた解析方法の考案

## Sloshing Analysis of Floating Roof Fuel Tanks

Invention of an Analytical Method by Reproducing Results of Vibration Experiments through Numerical Analysis

(電力技術研究所 土木建築G 構築T)

(Construction Engineering Team, Civil and Architectural Engineering Group, Electric Power Research and Development Center)

地震時のゆっくりした揺れにより、燃料タンクの内容液ではスロッシング(液面揺動)が生じる。浮屋根式燃料タンクのスロッシングによる波高評価に用いる解析手法を確立するため、液面に浮屋根を浮かべたタンク模型を使用した振動実験を行い、数値解析による実験結果の再現を通して、浮屋根を考慮したスロッシング解析を行えるようにした。

Long-term components of earthquake waves induce a sloshing phenomenon (fluctuations in the liquid level) in the liquid contents of fuel tanks. In order to establish a method of analysis to be used for assessing the height of waves caused by the sloshing phenomenon in floating roof fuel tanks, we performed vibration experiments using a model tank where a floating roof was placed on the liquid level, and by reproducing the experiment results through numerical analysis, made it possible to perform sloshing analyses taking into consideration the floating roofs.

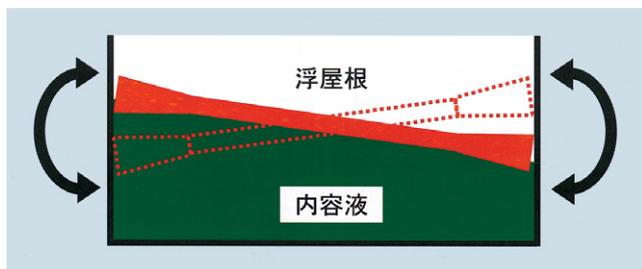
### 1 背景と目的

2003年9月に発生した十勝沖地震により、浮屋根式燃料タンクにおいて、タンクからの溢流などの被災があった。これは、ゆっくりした揺れ(長周期地震動)によるスロッシング(液面揺動)が原因であった(第1図)。

当社管内においても東海・東南海地震等の大規模地震の発生が危惧されている。このため、スロッシングによる波高を評価する必要があるが、そのためには、実現象を良く再現できる解析手法が必要である。

浮屋根式燃料タンクは、屋根が液面に浮かんでいるため、スロッシング時には内容液と共に浮屋根も揺れる。このため、波高評価に当たっては、浮屋根の影響を考慮した波高を算定する必要がある。

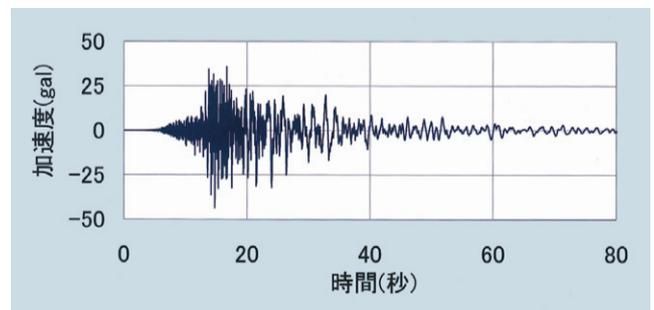
そこで、タンク模型を用いた振動実験を行い、数値解析による実験結果の再現を通して、浮屋根の影響を考慮したスロッシング解析を行えるようにした。



第1図 浮屋根式燃料タンクのスロッシング



第2図 振動実験状況

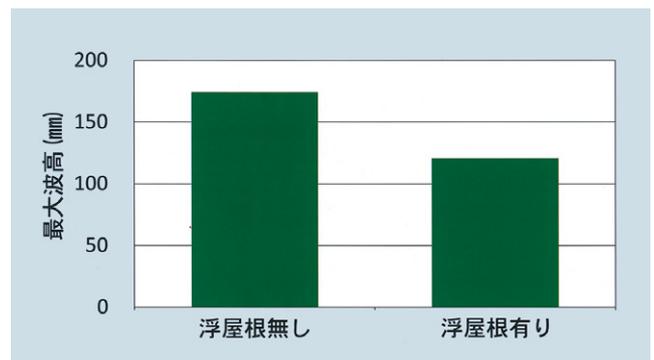


第3図 振動実験に用いた地震波(模擬地震波)

実験の結果、浮屋根が波高に及ぼす影響が大きく、浮屋根を浮かべた場合(第4図、浮屋根有り)の方が、浮屋根が無い場合に比べて波高が低くなるのがわかった。そこで、浮屋根が有る場合のスロッシング解析を行えるよう検討することとした。

### 2 振動実験

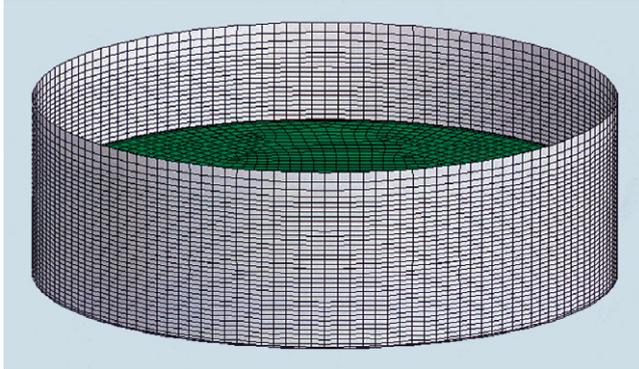
振動実験は、アクリル製の円筒タンク(内径194cm、高さ55cm)に水を入れ(水深41cm)、浮屋根(塩化ビニル製)を浮かべた場合(第2図)と、浮屋根が無い場合の2ケース実施した。十勝沖地震における観測地震波を基にした模擬地震波(第3図)にて加振を行い、円筒タンク上部に配置した多数のレーザー変位計により波高を測定した。



第4図 浮屋根の有無による最大波高の違い

### 3 数値解析による振動実験結果の再現

振動実験結果の再現解析は、3次元流体解析により行った。タンクサイズ、液位を実験と同じにした解析モデル(第5図)に、実験で使用した地震波を入力し、波高を算出して実験による波高との比較を行なった。

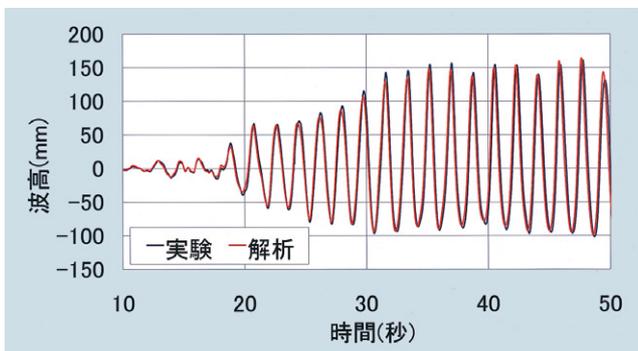


第5図 解析モデル

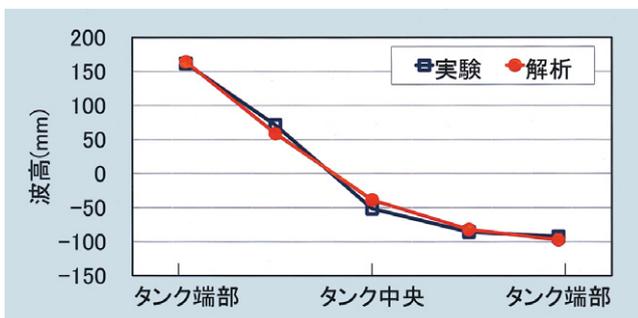
#### (1) 浮屋根が無い場合の再現解析

浮屋根を浮かべた場合の解析に先立ち、まずは浮屋根が無い場合について解析した。

最大波高はタンク端部で発生した。最大波高発生位置における時刻歴波高は、解析と実験で良く一致していた(第6図)。また、最大波高発生時の液面形状(最大波高発生位置とタンク中心を通る断面、第7図)もほぼ一致しており、実験結果を再現できた。



第6図 最大波高発生位置における時刻歴波高



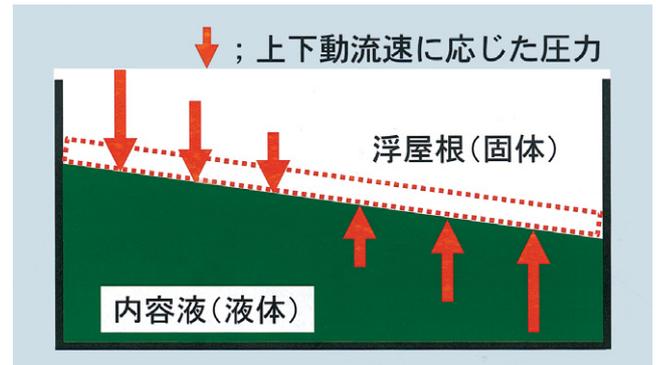
第7図 最大波高発生時の液面形状(断面図)

#### (2) 浮屋根が有る場合の再現解析

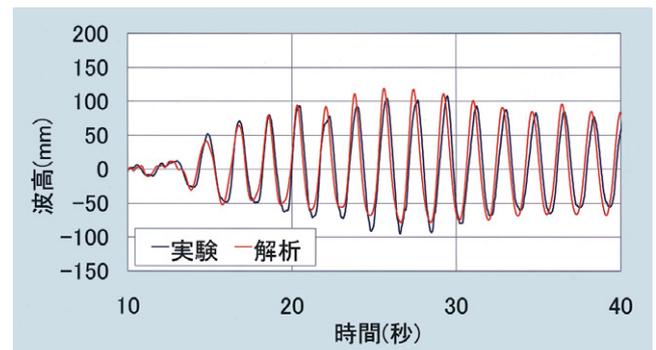
(1)で使用したモデルを用いて、浮屋根を浮かべたケースについて解析するが、浮屋根は液面に浮かぶ固体で

あり、そのまま流体解析に考慮するのは難しい。そこで、浮屋根の波高抑制効果として、液面の上下動流速に応じた圧力を液面に作用させることにより、浮屋根の影響を考慮することにした(第8図)。

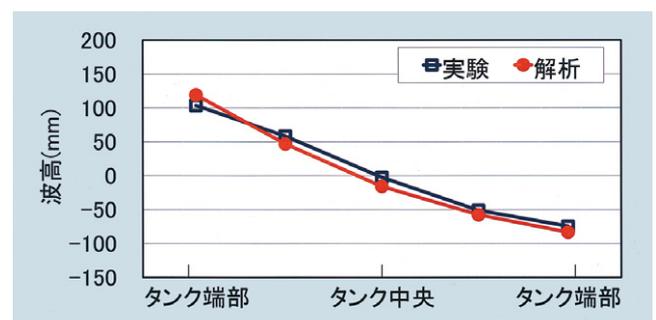
その結果、最大波高発生位置における時刻歴波高(第9図)および最大波高発生時の液面形状(第10図)ともに、解析結果が実験結果と概ね一致していた。本検討で行った解析方法で、浮屋根を考慮した解析が行えることが明らかとなった。



第8図 浮屋根影響の考慮方法



第9図 最大波高発生位置における時刻歴波高



第10図 最大波高発生時の液面形状(断面図)

### 4 研究成果

浮屋根を考慮した燃料タンクのスロッシング解析を行えるようにした。また、本解析方法を当社管内の燃料タンクのスロッシング解析に活用した。



執筆者/松下政史