

地震時における大型水槽のスロッシング解析

Sloshing Analysis under the Seismic Acceleration of Large Water Storage Tank

平原裕行, 塩崎考壽, 池谷聡, 山田義英

Hiroyuki Hirahara, Kouju Shiozaki, Sou Ikegaya, Yoshihide Yamada

埼玉大学工学部 機械工学科

Department of Mechanical Engineering, Saitama University

(株)エヌ・ワイ・ケイ

NYK Co.,Ltd

Abstract

The sloshing response of a large water reservoir under the seismic acceleration was investigated by using a flow visualization technique, PIV measurement and numerical simulation. Transient flow pattern was observed by a high speed CCD camera and micro bubbles were analyzed in order to obtain the flow velocity with cross correlation method. The impact pressure of sloshing fluctuation was measured with pressure transducer mounted on the top plate. The pressure history was digitized and averaged for ensemble of sloshing cycle. Numerical simulation also performed for the tank design. A practical seismic wave was used in the numerical calculation. Consequently, a severe criteria for the tank design was deduced from the present results.

Key Words: Sloshing, Water Tank, Earthquake, Flow Visualization, PIV Measurement, Numerical Simulation

1. まえがき

昨年度において、地震時の大型水槽のスロッシング解析を行うために、はじめに、大型水槽の固有振動数におけるスロッシングインパクトの測定実験を行った。昨年度までの実験では、地震振動によって水面が大きく変動し、非線形変動を発生する場合に発生する天板における圧力インパクトを測定した。今年度は、高速度カメラを用いて、水面変動の時間変化を詳細に調べ、最大圧力を発生する時刻、および負圧を発生する時刻における水面の挙動を対応付けるための実験を行った。また、数値解析では、star-cdによる解析を行い、実験データの妥当性の確認を行い、さらに、実地震波を用いて、実際の地震発生時の水面変動をシミュレーションして、天板にかかる圧力インパクトを推定した。今回はその実験結果について報告する。

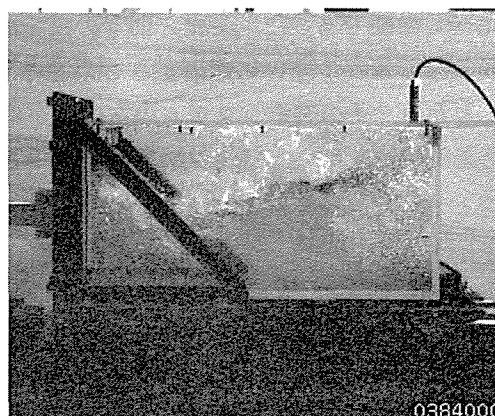
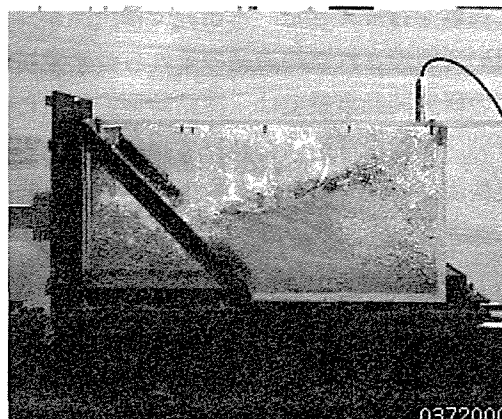


図1 スロッシング実験の高速度撮影

2. 実験結果と考察

図1は、1/10スケールモデルにおいて、加振振幅 $A=50\text{mm}$ 、圧力系測定位置、 $x=10$ 、タンク深さに対する水深の比 $\beta=0.55$ 、加振加速度振幅 180gal で可視化したときの水面変動を示す画像であり、図2は、それに対応する天板の圧力データである。この条件で圧力の最大値はおよそ

2.3kPa 発生している。これは、実機のスケールでの圧力に換算すると 23kPa を発生していることになる。実地震波には、固有振動数程度（実機では 0.3Hz 程度となる）の振動のスペクトルが、初期の数秒間においておよそ 150gal 程度含まれていることが波形解析から判明した。また、実験の圧力データに見られるように、圧力には負圧発生領域が観察される。これは、水面が天板に衝突した後、衝突噴流が水平方向に曲げられ、その後、水流が天板から離脱するときに発生するものと考えられる。さらに詳細な観察結果を図3に示す。図3に加振振幅 $A=50\text{mm}$ 、圧力系測定位置、 $x=10$ 、タンク深さに対する水深の比 $\beta=0.45$ 、加振加速度振幅 156gal の条件における最大圧力発生時の水槽右上のコーナーにおける流れの拡大図と最低圧力発生時のそれである。観察画像をPIVの手法によって解析し、水の速度も求めて示してある。これらの結果から、地震波に含まれる固有周波数成分の加速度振幅に対応した加速度を受けた水面は非常に大きな変動を生じ数十 kPa の圧力変動を発生することが確認された。

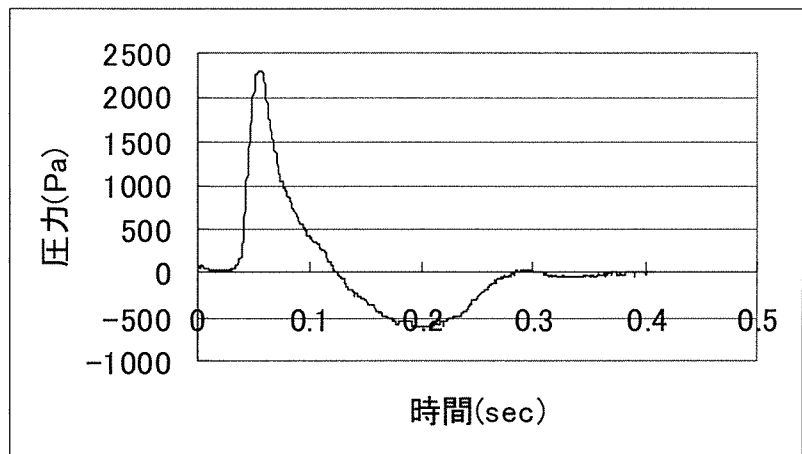
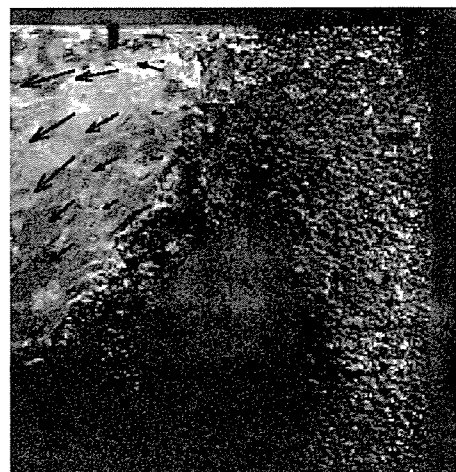


図2 最大圧力の発生と負圧の発生



(a)



(b)

図3 PIV計測による最大圧力発生時及び負圧発生時の速度ベクトル。線 $A=50, x=30, \beta=0.45$ (a)最高圧力,(b)最低圧力