

スロッシングダンパーの制震性能に関する基礎的検討

広島大学	学生会員	○本山潤一郎
広島大学大学院	学生会員	中山 健
広島大学大学院	フェロー会員	中村 秀治
広島大学大学院		辻 徳生

1. 背景と目的

地震被害を軽減するために、剛構造の考え方を基礎におく耐震設計が行われる一方で、免震により地震力そのものを軽減する方法や、制震により揺れを制御する方法が検討されている。制震手法の一つとしてスロッシングダンパーがあり、風荷重などに対する制震手法として活用されており、実例もある。本研究ではスロッシングダンパーで、線形に近いスロッシングを発生させる実験手法を検討し、実験と解析の双方からスロッシングダンパーの制震性能について検討を行う。

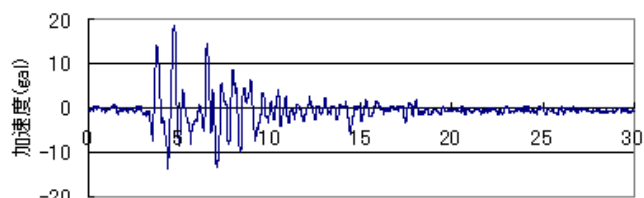
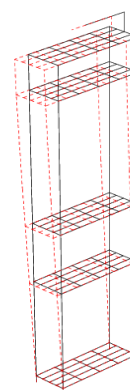
2. 実験的検討

スロッシングダンパーの水面上に油膜を張ることで、スロッシング時の液面の乱れが抑制され線形に近い液面振動を生じるため、制御力となる側圧が効果的に作用し、制震効果の向上が期待できる。スロッシングダンパーは構造物の固有周期と液体の固有周期が近い場合に最も制震効果が得られるため、水槽幅だけを変えることで、液体のスロッシングの周期を変化させ、構造物の周期に近い場合や大きく離れた場合で振動させた。スロッシングの周期は式

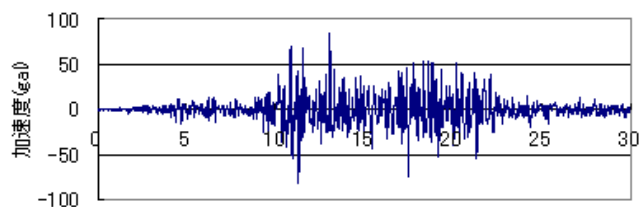
$$T = 1 / \sqrt{(g / 4\pi L) \tanh(L / \pi H)}$$

より求めることができ、実験に用いたモデルの固有周期 $T=0.52(\text{s})$ に最も近づくのは水槽幅 21cm の時であることがわかっている。ここで、 H :水深, L :水槽幅である。

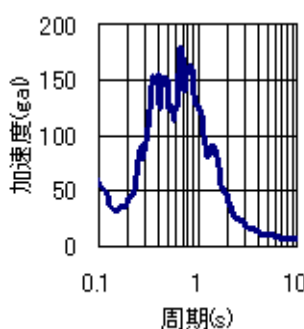
実験を行った結果、最も制震効果が得られたのは水槽幅 21cm のときであることが確認出来た。実験に用いた神戸波と芸予波の加速度波形を Fig. 2 に、加速度応答スペクトルを Fig. 3 に示す。また、神戸波、芸予波、芸予波の時間軸を 4 倍に引き延ばしたものを用いて加振した際の水槽幅 21cm のモデルの最上部の応答変位を Fig. 4 に示す。神戸波の場合、初期の地震動に対してはほとんど効果が見られないが、9 秒付近で構造物と液体のスロッシングが共振し始めてからは、振幅が最大で 3 分の 1 程に抑えられている。また、スロッシングダンパーは加振時に構造物からダンパーに伝わる揺れが大きいほど制御力が大きくなり、振幅を抑えることができる。



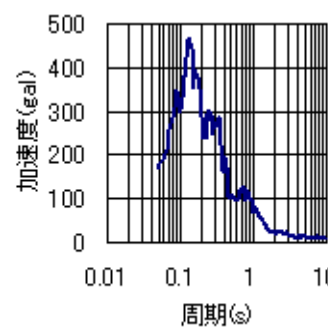
(a) 神戸波



(b) 芸予波



(a) 神戸波



(b) 芸予波

そのため、15 秒付近では構造物の揺れが小さくなっていることから、ダンパーに伝わる揺れが小さくなり、制震効果が小さくなっていることがわかる。

キーワード：スロッシング，固有周期，周期成分

連絡先：〒739-8527 東広島鏡山 1-4-1 広島大学大学院工学研究科

Fig. 3 からわかるように、神戸波は実験に用いた模型の固有周期と近い周期成分を多く有しているため、十分な制震効果が得られたと考えられる。

しかし、芸予波のように模型と近い周期成分がほとんどない地震波を作用させた場合、15秒付近で構造物と液体のスロッシングが共振し始めるが、制震効果はあまり現れなかった。そこで、芸予波の周期成分を4倍に引き延ばした地震波を用いて実験を行った結果、模型と地震波の周期成分が近くなることで模型の振幅が大きくなるため、ダンパーを設置した場合には十分に制震効果が得られた。これらより、スロッシングダンパーは構造物とダンパーとの周期が近く、地震波の持つ周期成分とも近い場合に最も効果があることがわかる。

3. 解析的検討

Fig. 1 に解析モデルを示す。液面に油膜をはることで、液面の乱れを抑制できるため、水槽内の液面振動を線形であると仮定できる。そこで、スロッシングダンパーをマスダンパーにみたてて解析モデルを作成した。実験で計測した模型の固有周期と解析モデルの固有周期とが共に $T=0.52(s)$ と一致することを確認した上で、実験時と同様の地震波を用いて解析を行った。解析モデルとダンパーの固有周期が近く、神戸波と芸予波を作用させた場合の結果を Fig. 5 に示す。神戸波では、9秒付近で解析モデルとダンパーが共振しており、その後に振幅が抑えられていることがわかる。芸予波では15秒付近で解析モデルとダンパーが共振したが、共振後の振幅は半分も抑えられず、全体的にほとんど制震効果が見られない。これらのことを実験結果と比較すると、解析モデルは実験時と共振し出す時刻も等しく、地震波やダンパーの周期成分による制震効果の違いも同様に現れているため、解析は良好に行われているといえる。

4. 結論

水槽内の液面に油膜を張ることで、加振終了後のスロッシングの抑制が可能となり水面の乱れが小さくなる。そのため、水槽壁面に十分な制御力が作用し、制震効果が向上することが確認できた。また、実験結果と解析結果の挙動がほぼ一致し、スロッシングダンパーの特徴も同様に現れているため、油膜を張った場合、マスダンパーと見立てた解析が適用可能である。作用させる地震波の周期成分が構造物および液体の固有周期と近い場合は十分制震効果が得られるため、Fig. 6 に示すように、正弦波のように一定周期で長時間ゆれる風荷重などに対しては十分に有効であることがわかる。

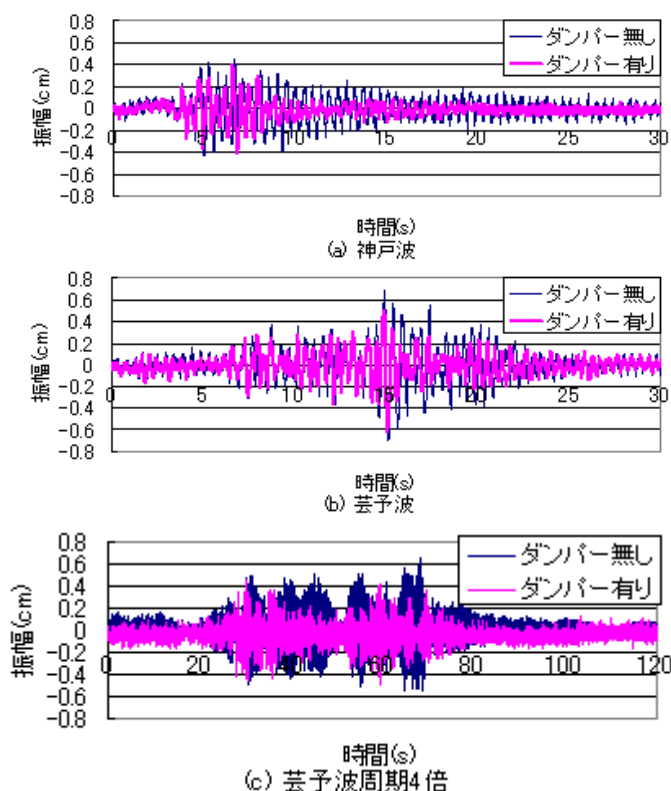


Fig.4 応答変位（実験）

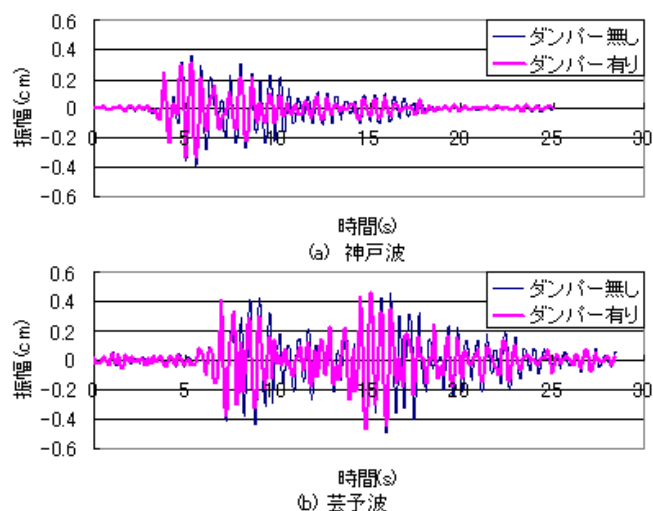


Fig.5 応答変位（解析）

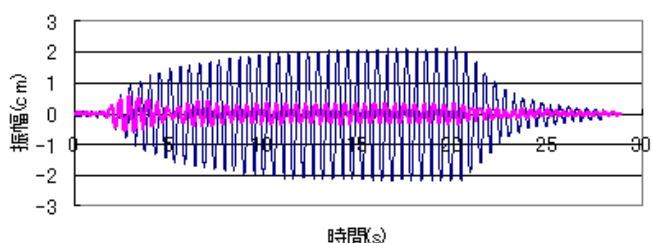


Fig.6 正弦波による応答変位（解析）

5. 参考文献

- (1) 小堀鐸二：制震構造—理論と実際—、鹿島出版会、1993