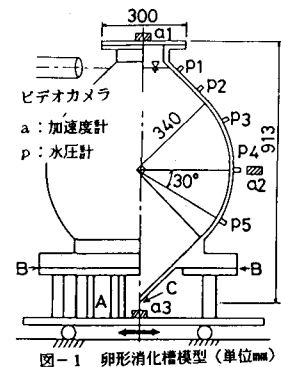


調和加振をうける卵形消化槽内の表面波高応答

九州大学 工学部 正員 小 坪 清 真
 九州工業大学 正員 〇高 西 照 彦
 九州工業大学 多 田 浩
 九州工業大学 大 貝 和 也

1. まえがき 卵形消化槽は、従来西ドイツを中心に、ヨーロッパおよびアメリカで数多く建設されており、それらは現在稼働中であり、好成績を収めている。我国では昨年(1984年)、横浜市によって我国最初の卵形消化槽の建設が計画され、現在6基が同時に築造中である⁽¹⁾。その規模は一基について、容量 6800m^3 、全高 33.6m 、最大外径 22.7m 、壁厚 $35\sim 50\text{cm}$ である。我国で築造される卵形消化槽に対してはその耐震性の検討が不可欠であるが、現在までにそれは十分なされているとはいえない難いようである。卵形消化槽の耐震性について考えるとき、まず第一に解明しなければならない課題としては、その内容液による地震時動水圧および表面波高をどのように見積もればよいかという問題がある。地震時動水圧には(i)地震の短周期成分にตอบสนองする衝撃圧と(ii)地震の長周期成分にตอบสนองする振動圧(いわゆるスロッシングによる動水圧)とがある。著者らは(i)の衝撃圧の問題については、その理論的・実験的研究を行い、結果は既に報告^{(2),(3)}したので、本論では(ii)の振動圧および表面波高の問題を取り上げた。実物の約 $1/30$ の大きさの卵形消化槽模型を作製し、これに水を満たして振動台上に設置して、比較的低い振動数($1\sim 3\text{Hz}$)で加振した。加振振動数および加振加速度をいろいろ変えて定常調和加振したときの模型中の内容液の表面波高をビデオ装置を用いて記録し、これを読み取ることによって、スロッシングによる表面波高の共振曲線および波高の成長曲線を求めた。さらに、加振加速度を急に0に減少させることによって、スロッシングに対する減衰定数を求めた。また同時に、模型の壁面に取り付けた水圧計によって振動圧を測定した。卵形消化槽は、その幾何学的な形の特長から見て同径の円筒容器と比べて表面波高の共振曲線の非線形性が著しいことが予想される。本論は、卵形消化槽が調和加振を受けたときの内容液の表面波高および振動圧応答の非線形特性を実験的に明らかにしようとしたものである。

2. 振動実験 実験に用いた卵形消化槽模型を図-1に示す。模型は厚さ 15mm の透明なアクリル樹脂製である。図に示すように、模型の中心軸から約 1.5m 離れたところに、その光軸の方向を加振方向に、高さを静止水面位置に固定してビデオカメラ(ソニー製ロータリーシャッターカメラRSC-1150, $1/60$ 秒/コマ)を設置した。また模型には、水圧計 $p1\sim 5$ (共和電業製圧力変換器PG-200GD, 容量 0.2kgf/cm^2)と加速度計 $a1\sim 3$ (共和電業製AS-2C, 容量 2G)が取り付けられている。模型は振動台上にしっかりと固定した。実験を行った振動数と加速度の範囲内では、模型は剛であり、その弾性変形は無視できる。内容液としては水を用いた。波高を明瞭にビデオ装置に記録するために、内容液に二酸化チタンの粉末を重量比で約 $1/10000$ 加えた。分散剤としてメタリン酸ナトリウムを用いた。常温における内容液の比重および粘度は、水のそれらと測定誤差の範囲で一致していた。なお、ビデオカメラ用の照明装置としてストロボスコープを用い、その発光間隔をコマ送り速さに同期させることによって、画像の鮮明化を計った。実験はそれぞれ水深および調和入力加速度の値をいろいろ変えた場合について、内容液のスロッシングの第一次共振振動数近傍で、まず、(a)入力の振動数を低いところから順次上げてゆき、波高の共振点を通り過ぎて波高が十分小さくなった時点で振動数の上昇を停止し、つづいて今度は逆に入力の振動数を順次下げて行くという方法で行った。このとき、各振動数においては、現象が十分定常状態に



なるのをまっけてそれぞれ表面波高をビデオ装置に、振動圧を電磁オシログラフに記録した。ビデオ装置に記録された表面波高はビデオモーションアナライザー（ソニー製SVM-1110）に出力して、その画面から最大および最小波高を読み取った。振動圧については、得られた計測値から（i）水圧計の特性上生ずる見掛けの動水圧（ii）消化槽内壁と受圧面との間に存在する水の慣性力にもとずく動水圧（iii）加速度に比例する衝撃圧（これらはすべて入力加速度に比例する）などの誤差を位相を考慮してベクトルの的に補正することによって、スロッシングによる動水圧を求めた。つぎに、（b）水面が静止状態にあるとき、模型に、共振振動数に等しい振動数を有する加速度一定の調和入力急に加えつづけることによって、表面波高の成長の様子を記録した。さらに、（c）表面波高が共振状態にあるとき、急に入力加速度を0にすることによって減衰自由振動を生じさせて、その記録からスロッシングによる減衰定数を求めた。

3. 実験結果 上記の実験によって得られた結果を示せば次の通りである。一例として水深が80.65cm（ほぼ満水状態）、入力加速度3Galに対する表面波高の共振曲線を図-2に示した。また、図-3はいろいろな入力加速度に対する共振振動数と最大波高の関係を示したものである。同図から、微小な入力加速度においても既に応答の非線形性が認められることがわかる。さらに、入力加速度の大きさによって、共振点（表面波高が最大になる振動数）が変わること

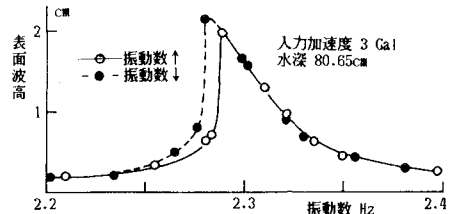


図-2 表面波高の共振曲線

、表面波高の最大値が入力加速度に比例しないことなどがわかる。図-4はスロッシングによる動水圧（内容液の壁面振動圧）の共振曲線の一例を示す。図中の壁面振動圧として

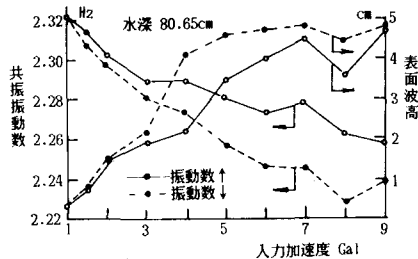


図-3 入力加速度と共振振動数、波高の関係

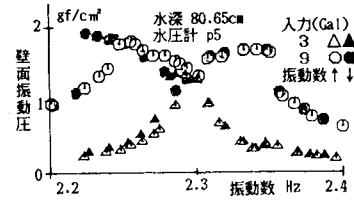


図-4 壁面振動圧の共振曲線

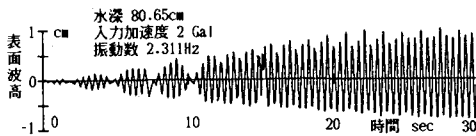


図-5 表面波高の成長過程

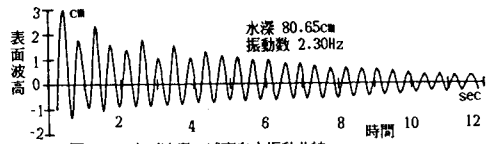


図-6 表面波高の減衰自由振動曲線

は、その最大値と最小値との差をとって表した。曲線の形状は、同一条件のときの表面波高の共振曲線とその傾向がほぼ同じである。図-5は表面波高の時間に対する成長の過程を示したものである。減衰定数が小さいので、波高が定常状態に達するまでにはかなりの加振回数が必要であることがわかる。図-6は表面波高の減衰自由振動曲線の一例を示したものである。本消化槽模型を用いた実験においては、スロッシングに対する減衰定数は約1～1.5%であった。

- (1) 吉田作治他：横浜市における卵形消化タンク，プレストレストコンクリート vol.26, No.5, 1984.9.
- (2) 小坪清真他：卵形消化槽の地震時動水圧，土木学会西部支部講演概要集，1984.2.
- (3) 小坪清真他：卵形消化槽に対する内容液の地震時衝撃圧の算定について，土木学会第39回講演概要集 I，1984.10.