

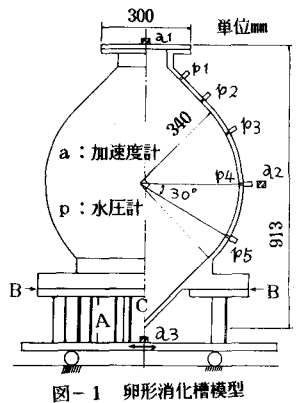
I-43

卵形消化槽の地震時動水圧

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 近年、省エネルギーの観点から、下水処理場において、下水汚泥及び有機汚泥等に対して嫌気性消化法による処理がなされることが多くなっているが、その際、消化槽としては、通常、円筒形及び亀甲形のものを用いられているのが現状である。しかし、円筒形消化槽にはその緩い傾斜の底部に細かい砂が堆積し易いという欠点があり、また亀甲形のものにはその経線が折れ曲る箇所に応力集中が生じるという欠点がある。これらの欠点はいずれもその幾何学的な形状に起因するものであるから、そのような欠点をもたない合理的な消化槽の形状として卵形をしたものが、約20年前に西ドイツで開発され、現在西ドイツを中心に数多く建設されて稼動中であり、好成績を収めている。しかし、卵形消化槽を我が国に導入する際に検討されなければならない重要な問題の一つとして挙げられるのはその耐震性ということであろう。卵形消化槽の耐震性について考えるとき、まずオー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をどのように見積、たら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応答する衝撃圧と(ii)地震の長周期成分に応答する振動圧(いわゆるスロッシングによる動水圧)とがある。本論ではまず(i)の衝撃圧の問題を取上げた。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高い振動数で加振する。模型の壁面に取付けた水圧計によってその時の動水圧(衝撃圧)を測定する。次に、卵形消化槽に対する水の衝撃圧を算定する理論について述べ、数値計算によって得られた結果と上記の実験値とを比較して理論の妥当性を検証した。

2. 振動実験 実験に用いた卵形消化槽模型を図-1に示す。大きさは実物の約1/30である。模型には図に示すように、模型の中心軸を通る鉛直面が模型の壁と交る経線上に、合計5箇の水圧計P1～5(共和電業製圧力変換器PG-200GD, 容量0.2 Kgf/cm²)を取付けた。また、模型の天端、経線上、振動台上に加速度計A1～3(共和電業製AS-2C, 容量2G)を取付けてある。模型は振動台上にし、かりと固定した。内容液としては水を用いた。振動実験は、水深をいろいろに変えた場合について、調和波加振による(i)水平剛振動実験と(ii)ロッキング振動実験とを行って、上記の各測点における動水圧と加速度とを計測した。加振振動数としては、模型のスロッシングによるオ1次の固有振動数が1.5～2.5 Hz(水深によって異なる)であること及び満水時の模型自身の弾性振動のオ1次の固有振動数が71.1 Hzであることを考慮して10 Hzを採用した。少なくとも加振振動数が6～25 Hz(実験は25 Hz以下でしか行なわなかった)の範囲では、水平剛振動に対して、図-1に示した加速度計はいずれも同一の加速度値を示した。これは、この振動数の範囲では、模型の弾性振動成分は無視してよく、模型は剛振動をしていると考えてもよいことを示唆している。オ2次以上のスロッシングによる共振現象は顕著には表われないので、当然のことながら、6～25 Hzの加振振動数においては、同一の入力加速度に対してはいずれの場合も各測点における動水圧の計測値はそれぞれ等しいという結果が得られることを確かめた。(A)水平剛振動実験 加振振動数を10 Hz, 入力加速度を100 Galとして、水深をいろいろ変えて行った水平剛振動実験によって得られた結果の一例を図-2の●印で示す。水深は84 cmの場合である。測点の位置は同図中○印で示してある。



実験値は模型の中立軸を基準として水平右向きに目盛っている。なお、図-2に示した実験値は、実際に実験によって計測された生の測定値に、次に述べるような2種類の補正を加えた後に得られた値である。すなわち、(i) 水圧計の計測部に加わる計測部自身の慣性力に対する補正と(ii) 水圧計の計測部の前面に取込まれた水の慣性力に対する補正とである。(i)については、水を全く入れないで模型を一定加速度で加振したときに得られる水圧計の出力(見掛けの動水圧の値)を知ることによってその補正値が求められる。(ii)については、水圧計はその構造上、消化槽内壁面と受圧面との間に水が取込まれるが、この空間の形状を知れば、入力加速度が与えられたときこの取込まれた水による慣性力は計算によって求めることができる。以上2種類の補正値を、実験によって得られた生の測定値から共に差し引くことによって正しい動水圧の実験値が得られることになる。さて図-2から、模型の経線上の最大壁面動水圧の分布形は、ほぼ経線の形に相似であることがわかる。(8) ロッキング振動実験 図-1に示すように、模型は支持台(A)を通して振動台に取付けられているが、いまここで改めて、模型を支持台に固定しているボルトの部分(B)に適當な厚さのゴムのパッキングを押入することによって、振動台を一定の振動数で加振したとき、卵形模型がその最下端(C)を不動点とするロッキング振動を生ずるように調整して、振動実験を行った。加振振動数を22.5 Hz、模型の天端加速度を100 Gal、水深84.6 cmとしたときの実験結果を図-3に示す。動水圧の分布形は水平剛振動の場合によく似た形をしているが、いまの場合は、水面に近い部分が相対的に多少ふくらんだ形をしていることがわかる。動水圧の値は、水平剛振動の場合に比べて小さい。

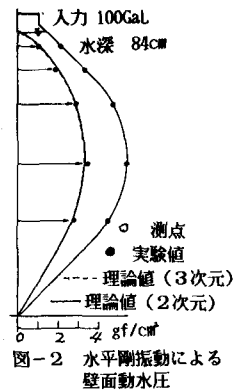


図-2 水平剛振動による壁面動水圧

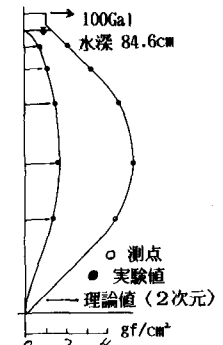


図-3 ロッキング振動による壁面動水圧

3. 理論解析 卵形消化槽が比較的高い振動数をもつ調和振動を受けた場合の内容液

による動水圧(衝撃圧)の理論解析を、次の2通りの方法を用いて行った。(i) 2次元境界要素法を利用する解析法。これは槽の中心軸を通る平面で槽を切断したときの断面形状に対して、2次元境界要素法を用いて面内の動水圧分布を求め、円周方向にはそれは $\cos\theta$ に従って分布するとして、槽内の3次元的内容液の動水圧分布を得るという方法である。(ii) 伝達行列法を利用する方法。高我部等⁽¹⁾は軸対称容器中の内容液のスロッシング現象を解明するのに、内容液を厚さの薄い円板状の集合体から成るものとみなして、これに伝達行列法を適用する解析法を提案している。著者等は、上記の方法に少し手を加えて、軸対称容器の剛振動に対する内容液の衝撃圧を容易に求めることができる解析法を導いた。上述の(i)と(ii)の2通りの方法を用いて数値計算を行い、卵形模型の水平剛振動に対する衝撃圧を求めた結果の一例を図-2に示す。図中、実線が(i)の方法、点線が(ii)の方法に従って求めた結果である。(i)の結果は(ii)のそれによく一致しているといえる。水深が異なる場合についても同様な結果が得られた。このことは、卵形消化槽のような球形に近い軸対称容器に対する衝撃圧を、本質的には2次元解析である(i)の方法によって比較的精度よく、しかも容易に求め得ることを示すものである。また、理論値と実験値とを比べると、図-2及び3に示すように、いずれの場合についても、両者はよく一致していることがわかる。さらに、図-4は、図-1に示す卵形消化槽が水平剛振動を行った場合に対する内容液の付加質量係数(内容液の慣性力に対する衝撃圧の振動方向の合力の比)及びその付加質量の着力点の位置が、水深によって変化する様子を示したものである。

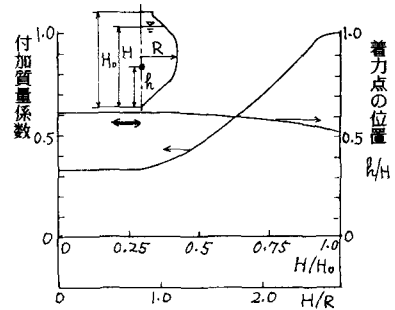


図-4 付加質量係数と着力点の位置

付加質量係数(内容液の慣性力に対する衝撃圧の振動方向の合力の比)及びその付加質量の着力点の位置が、水深によって変化する様子を示したものである。

高我部潔・重田達也・朱田碧:液体貯槽の耐震設計に関する基礎的研究, 東京大学生産技術研究所報告第26巻, 第7号 (1977.3)