

# 定常波による水槽の重さの不思議

熊本県立宇土高等学校

## 【要旨】

水が入った容器を運ぶ際、波の発生によって運びにくく感じることに疑問を抱いた。そこで、水波実験器で定常波を起こし、水槽の重さを調査したところ、『**水槽の重さの振動数 = 定常波の振動数 × 2**』という規則性を発見した。また、水槽の重さ(台秤に及ぼす力)は、**波形が「水平」の時に最大、「山」「谷」の時に最小**となることや、水が振動する時の水槽の重さは静止時よりも増加していること、さらに**台秤に及ぼす力と波が持つエネルギーには高い相関関係がある**ことを突き止めた。

## 1. 目的

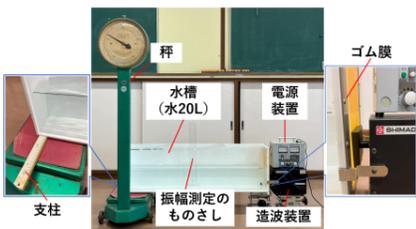
先輩の研究から、水面波の振動数と水槽の重さの振動数の関係性等がわかってきた。定量的な測定をすすめ、この現象のメカニズムをさらに解明する。

## 2. 方法

水波実験器(市販)を使って定常波を起こし、波長を変化(1波長, 1.5波長, 2波長, 2.5波長)させたときの、定常波の振動と水槽の重さの変化を調べた。

### ●準備物【図1】

- ・水(約20L), 水波実験器(島津;WWT-1000), ・台秤(アナログ体重計), カメラ(iPhone), 支柱(水槽を1点で支える木材)



【図1】水面波の定常波をつくる水波実験器



【図2】アプリケーション「ウゴトル」について  
最小0.03秒ごとにコマ送りができるアプリ

## 3. 結果

1波長 ( $\lambda = 1.0\text{m}$ ) のときは【図3】が1.5波長 ( $\lambda = 0.67\text{m}$ ) のときは【図4】が得られた。

時刻[s]	0.91	0.95	0.99	1.03	1.08	1.12	1.16	1.21	1.24	1.28	1.32	1.36
重さ[kg]	19.62	19.98	20.22	20.30	20.25	20.07	19.90	19.65	19.45	19.30	19.28	19.35

時刻[s]	11.8	11.83	11.86	11.9	11.93	11.96	12	12.03	12.07	12.1	12.13
重さ[kg]	19.9	20.2	20.6	21.2	22	22.2	21.8	21.2	20.3	19.8	19.5

【図3】時刻(s)における水槽の重さ(kgw) (1波長) 【図4】時刻(s)における水槽の重さ(kgw) (1.5波長)

1波長, 1.5波長において、波形が「山」, 「谷」の時、水槽の重さ、すなわち、台秤に及ぼす力は最小になり、波形が「水平」の時、台秤に及ぼす力は最大になった。2波長, 2.5波長でも同様の現象が確認できた。

## 4. 考察

### ①周期性の調査

振動数について調査したところ、水槽の重さの振動数は水面波の振動数の約2倍であることが分かった。

波長	$\lambda$ (m)	水面波の振動数(回/s)	水槽の重さの振動数(回/s)
1	1.0	1.1	2.2
1.5	約0.67	1.3	2.7
2	0.50	1.8	3.4
2.5	0.40	2.0	3.8

【図5】水面波と水槽の重さの振動数の調査結果

## 水槽の重さの振動数 = 定常波の振動数 × 2

### ②水槽の重さが変化するメカニズム

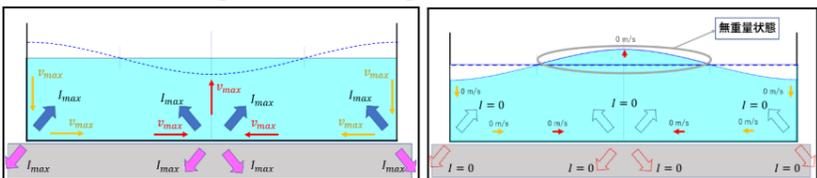
#### ●水槽の重さが最大になる原因

【図6】は、水槽の中央部の波形が「谷」から「水平」になった瞬間を示している。水は水槽から力積(斜め上方向矢印)を受け、その反作用が台秤にかかることができる。波形が「山」から「水平」になった瞬間も同様に考えられる。

#### ●水槽の重さが最小になる原因

【図7】は、水槽の中央部の波形が「水平」から「山」になった瞬間を示している。この瞬間、全体の水の動きはゼロとなるため、水が水槽から受ける力は0となり、その反作用も0となる。また、静時ラインを超える水は一瞬、無重量状態となるため、水槽の重さが最小となると考えられる。

波形が「水平」から「谷」になった瞬間も同様に考えられ



【図6】中央部の波形が「谷」から「水平」になった瞬間 【図7】中央部が「水平」から「山」になった瞬間

### ③台秤に及ぼす力の検証

台秤に及ぼす力がどの程度であるかを解明するために、基準値からの増加割合( $\alpha$ ), 及び、減少割合( $\beta$ )を調査したところ、以下のデータが得られた。

▶秤に及ぼす力の増加割合( $\alpha$ ), 減少割合( $\beta$ )とする	
1波長(静時19.6kg)の $\alpha, \beta$ (最大)	
$\alpha_1 = \frac{20.36 - 19.6}{19.6} = 3.9\%$	$\beta_1 = \frac{19.6 - 19.2}{19.6} = 2.0\%$
1.5波長(静時20.5kg)の $\alpha, \beta$ (最大)	
$\alpha_{1.5} = \frac{22.1 - 20.5}{20.5} = 7.8\%$	$\beta_{1.5} = \frac{20.5 - 19.5}{20.5} = 4.9\%$

【図8】台秤に及ぼす力の増加・減少割合

【図8】より、いずれも、 $\alpha > \beta$ であることが分かった。

したがって、水面が振動している時、水槽の重さは静時よりも平均的に大きくなっていると考えられる。

## 静時の液体の重さ < 振動する液体の重さ

### ④波のエネルギーの検証

考察3では、波長によって水槽の重さの増加割合と減少割合は異なることが示された。

波が持つエネルギーを求めることで、水槽の重さが増減するメカニズムを単に力積(反作用)という概念で示すだけでなく、数値による説明によって、より分かりやすく、そして、これまでの考察の信頼性を高めることができると考えた。そこで、ばねの単振動のように理想的に振動する波のエネルギーは、「 $2\pi m f^2 A^2$ 」と表せることから、エネルギーの算出を試みた。

波長	振幅・A (m) 谷	振動数・f (Hz)	エネルギー係数 ( $f^2 A^2$ ) 谷	最大増加量(kgw)	最大減少量(kgw)
1	0.0469	1.060	0.002471482	0.73	-0.40
1.5	0.0448	1.390	0.003877802	1.80	-1.00
2	0.0220	1.720	0.001431866	0.50	0.10
2.5	0.0230	1.945	0.002001220	0.76	-0.13

【図】エネルギー係数の値

$f^2 A^2$ と最大増加量, 及び, 最大減少量をそれぞれグラフにすると, 【図10】 【図11】 が得られた。



【図10】水槽の重さの最大増加量とエネルギー係数の関係(左)

【図11】水槽の重さの最大減少量とエネルギー係数の関係(右)

【図10】 【図11】より、水槽の重さの増加減少とエネルギー係数は、高い相関関係が得られた。これにより、振動する波のエネルギー係数をe, 水槽の重さの増減値を $\Delta N$ とすると、以下の式で表せることを新たに突き止めた。

$$e = k \Delta N \quad (k: \text{係数})$$

## 5. 結論

- ①水槽の重さの振動数は、水面波の定常波の振動数の2倍となることを発見した(2022)。
- ②水槽内で定常波が生じている時水は水槽から力積を受け、その反作用が台秤に余計な負荷として与えていることを突き止めた(2022)。
- ③水面が振動している時、水槽の重さは静時よりも平均的に大きくなることを発見した(2023)。
- ④水槽の重さの増加・減少とエネルギー係数には、高い相関関係があることがわかった(2023)。

## 6. 今後の展望

水槽の重さが平均的に重くなることから、実際、タイヤの摩耗など、どれほどの環境負荷につながるかを調べるため、モデル実験を行う準備をしている。