

変位許容型防波堤の転がり抵抗

九州大学 学生員○山下 裕司 正員 吉田 明德
正員 村上 啓介 正員 牛房 幸光

1. まえがき

堤体底面に円弧を設けてrocking運動を積極的に許容する透過性防波堤(回転変位許容型防波堤)を提案し、実験と数値計算を行った結果、波長によらない様な波の遮断効果や、作用波力の低減等の有用性が確かめられた¹⁾。しかし、理論解析は必ずしも現象を十分に表現しているとは言えず、その主たる原因としては、堤体のrocking運動に伴う転がり抵抗の特性が明らかでない点が挙げられる。本文は周期的にrocking運動をする堤体に作用する転がり抵抗の大きさと、運動に対する位相差を実験により求め、その特性を示したものである。

2. 堤体の運動方程式

堤体は滑らず、堤体の回転中心Cに関する回転と、それに伴う転がり運動のみを行うものとする。堤体の回転中心Cに外力Fを加え、堤体を角周波数 σ 、回転変位 ω_2 で強制的にrocking運動させると、堤体には図-1に示すような力が作用する。ただし、 F_t は接線力、 W は堤体重量、 N は垂直反力を表し、任意時刻における堤体の回転角を $\theta = \omega_2 \cdot \sin(\sigma t)$ で表すものとする。このとき垂直反力 N が回転中心Cと作る腕の長さ e は堤体の転がりに伴って周期的に変動し、純粹転動車輪における転がり抵抗係数と腕の長さとの関係より²⁾ $e = \mu R$

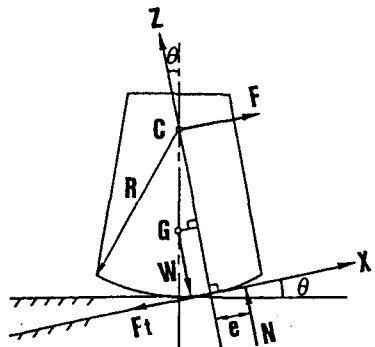


図-1 堤体に作用する外力

$\omega_2 \cdot \sin(\sigma t + \epsilon)$ (μ : 転がり抵抗係数, ϵ : 回転変位に対する位相差で、前論文では堤体は最大傾斜時にいったん静止しそこから転がり方向を反転することから $\epsilon = \pi/2$ と仮定した)で表されるものとする。また転がり抵抗が回転変位に対して位相差を持って作用するために、堤体を運動させるのに必要な力 F もまた ϵ' なる位相差を持つことになる。従って堤体重心Gの水平運動及び重心まわりの回転運動に関する運動方程式は次式のように書ける。

$$M \frac{d^2 x_g}{dt^2} = F \sin(\sigma t + \epsilon') - F_t \quad (1)$$

$$I_\theta \frac{d^2 \theta}{dt^2} = F \sin(\sigma t + \epsilon') \overline{GC} \cos \theta - W \overline{GC} \sin \theta - Ne + F_t z_g \quad (2)$$

ただし、 M は堤体質量、 I_θ は堤体の重心まわりの慣性モーメント、 Z_g は重心のZ座標を表し、 X_g は任意時刻における重心のX座標で $X_g = Z_g \cdot \theta$ なる関係がある。(1)(2)式より μ と ϵ について次式が得られる。

$$\mu = \frac{1}{N \omega_2} \sqrt{(F \cos \epsilon' - f)^2 + (F \sin \epsilon')^2} \quad (3)$$

$$\tan \epsilon = \frac{F \sin \epsilon'}{F \cos \epsilon' - f}, \quad f = \left(N \frac{\overline{GC}}{R} - \frac{I_g + M z_g^2}{R} \sigma^2 \right) \omega_2 \quad (4)$$

従って、荷重 F と位相差 ϵ' の値を実験より求めれば、(3)(4)式より μ と ϵ の値を決めることができる。

3. 実験方法

実験装置の概略を図-2に示す。実験は、曲率半径 $R=25.35$ (cm)の堤体を用い、堤体の振動周期 $T=1.5, 2.5, 3.0$ (sec)、回転中心の水平振幅 $a=3.0, 4.5, 6.0$ (cm)の場合について、堤体重量を変化させて行った。堤体は厚さ10mmの比較的柔らかいゴムマット上に設置し、荷重 F と回転中心Cの水平変位をサンプリング周

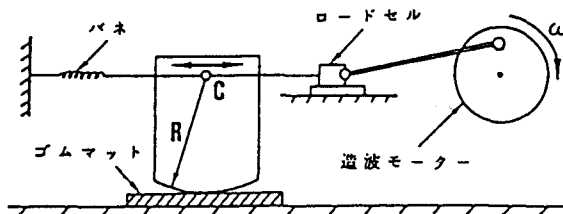


図-2 実験装置の概略

波数50Hzで同期して測定し、移動平均をかけた後、荷重 F の大きさと、荷重と変位との位相のずれ ε を読み取った。

4. 結果と考察

図-3は $R=35\text{cm}$, $a=3.0\text{cm}$ の場合、図-4は $R=35\text{cm}$, $a=4.5\text{cm}$ の場合、図-5は $R=25\text{cm}$, $a=3.0\text{cm}$ の場合についての堤体重量 W と転がり抵抗係数 μ との関係を示したものである。実験値に多少のばらつきはあるが、 μ の値は周期 T 、堤体重量 W に関係なくおよそ0.08~0.14を取ることがわかる。また、 μ の値は、 a および R が異なっても、あまり違いはない。図-6は、例として $R=35\text{cm}$, $a=4.5\text{cm}$ の場合の堤体重量 W と転がり抵抗の位相差 ε との関係を示したものである。堤体重量が増加するにつれ、 ε の値は減少する傾向がみられるが、その変化は小さく、 μ と同様に W , T , a , R によらずほぼ $\pi/4 \sim \pi/3$ の値を取ることがわかる。

5. まとめ

今回の実験より、堤体のrocking運動に伴って生じる転がり抵抗の特性として、転がり抵抗係数 μ とその回転変位に対する位相差 ε は、堤体重量 W 、曲率半径 R 、堤体の振動周期 T 、回転変位 ω_2 によらずほぼ一定の値を取ることがわかった。今回は、堤体を比較的柔らかいゴムマット上に設置した場合について、転がり抵抗の特性を調べたが、転がり抵抗係数 μ の値は、堤体を設置するマウンドの材質により異なると考えられ、それらについても予め調べておく必要がある。

参考文献

- 1) 吉田, 村上, 門司, 牛房: 縦スリットを有する変位許容型防波堤による波の制御, 海岸工学論文集, 第36巻, 1989
- 2) 近藤政市: 基礎自動車工学, 養賢堂, 1965

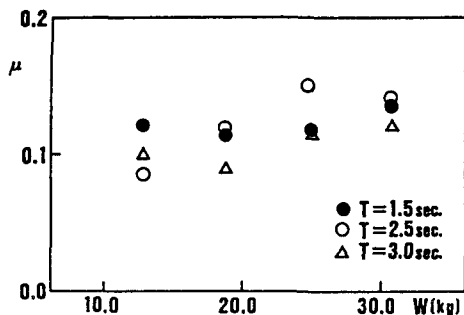


図-3 転がり抵抗係数 μ ($R=35\text{cm}$, $a=3.0\text{cm}$)

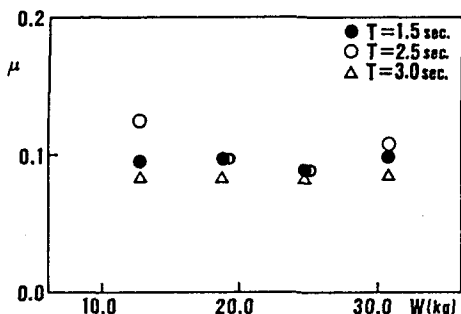


図-4 転がり抵抗係数 μ ($R=35\text{cm}$, $a=4.5\text{cm}$)

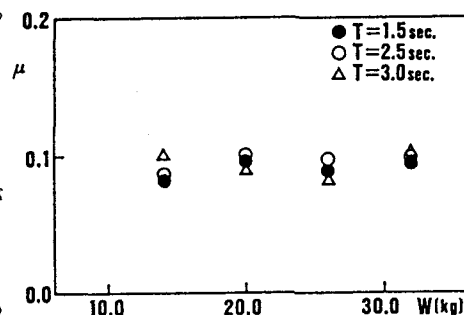


図-5 転がり抵抗係数 μ ($R=25\text{cm}$, $a=3.0\text{cm}$)

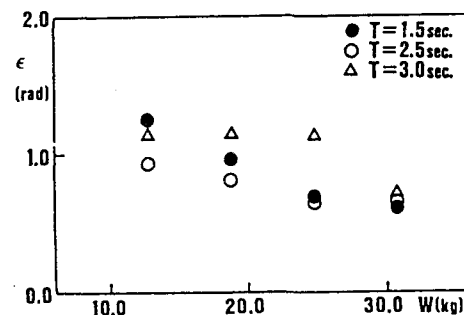


図-6 転がり抵抗の位相差 ε ($R=35\text{cm}$, $a=4.5\text{cm}$)