

津波の波力特性の変化が橋梁の応答に及ぼす影響に関する検討

九州工業大学大学院 学生員 ○湯山 泰士

九州工業大学大学院 正会員 木村 吉郎 フェロー 久保 善延 正会員 幸左 賢二

1. はじめに

津波により、沿岸部に位置する橋梁が流出するなどの被害を受けることがある。津波により橋梁に作用する波力の特性は十分に明らかになってはいない。そのため、波力を測定する実験的研究が近年実施されている。しかし、波力のこういった特性が、橋梁の応答にどのような影響を及ぼすかといった関係の理解は十分にできていない。そこで、本研究では、孤立波により橋梁に作用する波力の実験値を用いて、それにより生じる橋梁の応答を単純なモデルに基づき解析する。波力特性の変化により、応答がどのように影響を受けるのかを明らかにすることが、本研究の目的である。

2. 解析対象

本研究で用いる解析の対象は、インド洋大津波で被害を受けた Lueng Ie 橋を想定した。橋梁断面図を図 1 に示す。この橋は、インドネシアのスマトラ島北部の海岸線から約 1 km 内陸の河川に架設されている単純 RCT 桁橋である。

3. 応答解析手法

本研究では、橋軸方向の変位を無視して対象橋梁を鉛直、水平、ねじれの 3 自由度系として単純化し、応答解析をする。支承の反力を、沖側（添字 f）と陸側（添字 r）の端部の 2 箇所に作用するものとして、運動方程式は以下になる。

$$M\ddot{x} = Fx(t) - R_{Hf} - R_{Hr} \quad (1)$$

$$M\ddot{z} = Fz(t) + R_{Vf} + R_{Vr} - Mg \quad (2)$$

$$I\ddot{\theta} = My(t) + R_{Vf} \cdot B/2 + R_{Vr} \cdot B/2 - R_{Hf} \cdot H/2 - R_{Hr} \cdot H/2 \quad (3)$$

ただし、 M :質量、 I :極慣性モーメント $F(t)x, Fz(t), My(t)$:波力である。座標等の定義を図 2 に示す。水平反力 R_H は摩擦力により作用するものとして扱うが、鉛直反力 R_V については応答変位から求められるように、図 3 のように仮想の鉛直ばね（ばね定数 k_v ）があるものとしてモデル化する。図 3 に示しているのは、 $z_f \leq 0, z_r \leq 0$ の場合であるが、この他に図 4 のような z_f, z_r の組み合わせが考えられる。 z_f と z_r の両方、もしくはどちらかが 0 より大きい場合、つまり点 f, r の両方もしくは片方が浮いた場合、浮いた点の鉛直反力は 0 になる。水平反力は浮いた点は 0、浮いていない点は図 5 のように考えられる。橋梁と支持部の静止摩擦係数を μ_s 、動摩擦係数を μ_d とすると、最大静止摩擦力 $(R_{Vf} + R_{Vr}) \cdot \mu_s$ と水平力 $Fx(t)$ の関係が $Fx(t) \leq (R_{Vf} + R_{Vr}) \cdot \mu_s$ の場合は、水平反力は $R_{Hf} + R_{Hr} = Fx(t)$ 、 $Fx(t) > (R_{Vf} + R_{Vr}) \cdot \mu_s$ の場合は、 $R_{Hf} + R_{Hr} = (R_{Vf} + R_{Vr}) \cdot \mu_d$ と、水平反力をそれぞれ表すことができる。

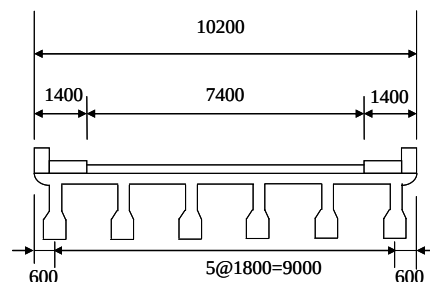


図1 橋梁断面図

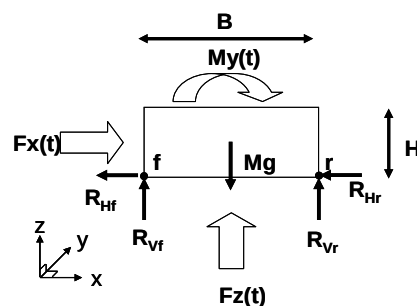


図2 橋梁に働く力と座標の定義

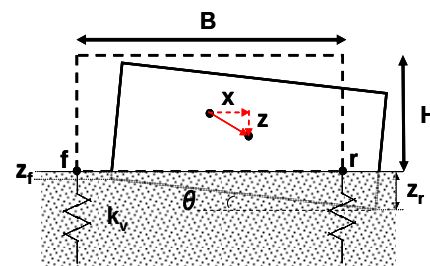


図3 移動した橋梁の変位の定義

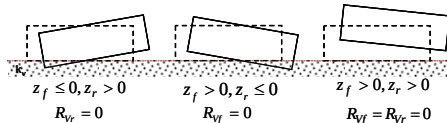


図4 点 f, r の鉛直変位のパターンと鉛直力への影響

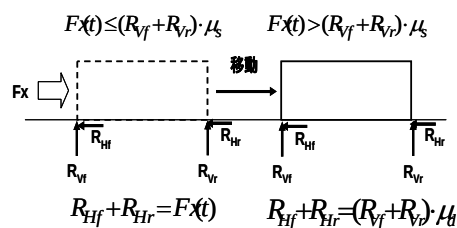


図5 静止摩擦力と動摩擦力

キーワード 橋梁 津波 運動方程式 応答解析

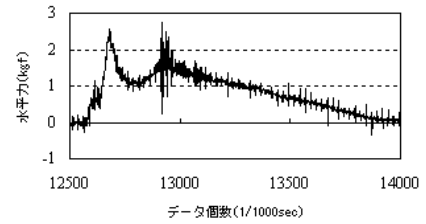
連絡先 福岡県北九州市戸畑区仙水町1-1 093-884-3121

以上のことから、式(1)～(3)は条件によって以下のような式となる。

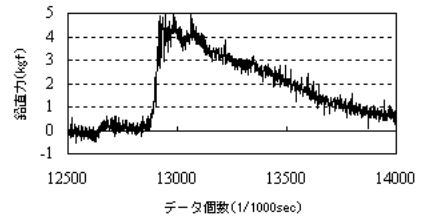
$$M\ddot{x} = \begin{cases} Fx(t) & z_f > 0, z_r > 0 \\ 0 & \begin{aligned} & z_f \leq 0, z_r \leq 0, \mu_s \cdot k_V \cdot (z_f + z_r) \geq Fx(t) \\ & z_f > 0, z_r \leq 0, \mu_s \cdot k_V \cdot (z_f + z_r) < Fx(t) \\ & z_f \leq 0, z_r > 0, \mu_s \cdot k_V \cdot (z_f + z_r) \geq Fx(t) \end{aligned} \\ Fx(t) - \mu_d \cdot k_V \cdot (z + B/2 \cdot \sin \theta) & z_f \leq 0, z_r > 0, \mu_s \cdot k_V \cdot (z_f + z_r) < Fx(t) \\ Fx(t) - \mu_d \cdot k_V \cdot (z - B/2 \cdot \sin \theta) & z_f > 0, z_r \leq 0, \mu_s \cdot k_V \cdot (z_f + z_r) \geq Fx(t) \\ Fx(t) - \mu_d \cdot k_V \cdot (z + B/2 \cdot \sin \theta) - \mu_d \cdot k_V \cdot (z - B/2 \cdot \sin \theta) & z_f \leq 0, z_r \leq 0, \mu_s \cdot k_V \cdot (z_f + z_r) < Fx(t) \end{cases} \quad (4)$$

$$M\ddot{z} = \begin{cases} Fz(t) - M \cdot g & z_f > 0, z_r > 0 \\ Fz(t) + k_V \cdot (z + B/2 \cdot \sin \theta) - M \cdot g & z_f \leq 0, z_r > 0 \\ Fz(t) + k_V \cdot (z - B/2 \cdot \sin \theta) - M \cdot g & z_f > 0, z_r \leq 0 \\ Fz(t) + k_V \cdot (z + B/2 \cdot \sin \theta) + k_V \cdot (z - B/2 \cdot \sin \theta) - M \cdot g & z_f \leq 0, z_r \leq 0 \end{cases} \quad (5)$$

$$I\ddot{\theta} = \begin{cases} My(t) & z_f > 0, z_r > 0 \\ My(t) - k_V \cdot (z + B/2 \cdot \sin \theta) \cdot B/2 + Fx(t) \cdot H/2 & z_f \leq 0, z_r > 0, \mu_s \cdot k_V \cdot (z_f + z_r) \geq Fx(t) \\ My(t) - k_V \cdot (z + B/2 \cdot \sin \theta) \cdot B/2 + \mu_d \cdot (z + B/2 \cdot \sin \theta) \cdot H/2 & z_f \leq 0, z_r > 0, \mu_s \cdot k_V \cdot (z_f + z_r) < Fx(t) \\ My(t) - k_V \cdot (z - B/2 \cdot \sin \theta) \cdot B/2 + Fx(t) \cdot H/2 & z_f > 0, z_r \leq 0, \mu_s \cdot k_V \cdot (z_f + z_r) \geq Fx(t) \\ My(t) - k_V \cdot (z - B/2 \cdot \sin \theta) \cdot B/2 + \mu_d \cdot (z - B/2 \cdot \sin \theta) \cdot H/2 & z_f > 0, z_r \leq 0, \mu_s \cdot k_V \cdot (z_f + z_r) < Fx(t) \\ My(t) + k_V \cdot (z + B/2 \cdot \sin \theta) \cdot B/2 - k_V \cdot (z - B/2 \cdot \sin \theta) \cdot B/2 + Fx(t) \cdot H/2 & z_f \leq 0, z_r \leq 0, \mu_s \cdot k_V \cdot (z_f + z_r) \geq Fx(t) \\ My(t) + k_V \cdot (z + B/2 \cdot \sin \theta) \cdot B/2 - k_V \cdot (z - B/2 \cdot \sin \theta) \cdot B/2 + \mu_d \cdot k_V \cdot (z + B/2 \cdot \sin \theta) \cdot H/2 - \mu_d \cdot k_V \cdot (z - B/2 \cdot \sin \theta) \cdot H/2 & z_f \leq 0, z_r \leq 0, \mu_s \cdot k_V \cdot (z_f + z_r) < Fx(t) \end{cases} \quad (6)$$

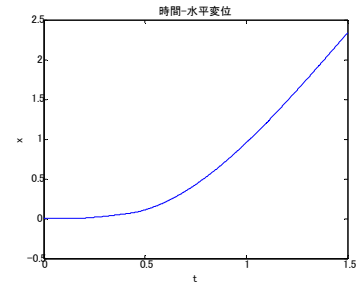


(i) 水平力

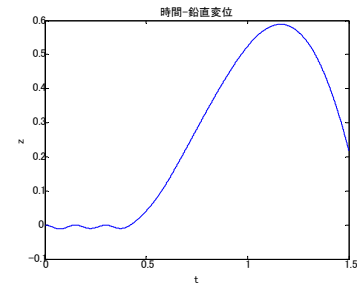


(ii) 鉛直力

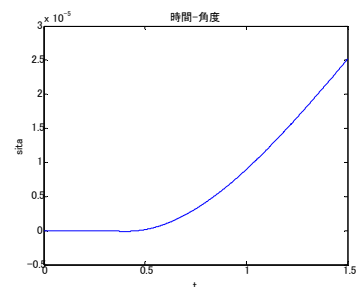
図6 模型実験の計測結果
(水深 5cm, 波高 10cm, 桁下高 4.8cm)



(i) 水平変位



(ii) 鉛直変位



(iii) 角度

図7 解析結果

(水深 5cm, 波高 10cm, 桁下高 4.8cm)

4. 解析に用いる波力

外力 $Fx(t)$, $Fz(t)$, $My(t)$ は、模型実験¹⁾で孤立波を作用させた際に計測された波力を用いる。解析に用いた波力の時刻歴の例を図6に示す。

5. 解析結果

図6の波力(水深 5cm, 波高 10cm, 桁下高 4.8cm)を作用させた際の解析結果を図7に示す。今後、波力特性が異なる計測波力を用いた解析を行い比較することで、波力特性の変化により、応答がどのように影響を受けるのかを明らかにしていく予定である。

7. 参考文献

1) 二井伸一・幸左賢二・庄治学・木村吉郎：橋梁への津波作用力に関する実験的検討，構造工学論文集，第55巻A，2009（投稿中）