

## 橋に影響を与える津波の作用状態とその評価方法

独立行政法人 土木研究所 正会員 ○中尾 尚史 独立行政法人 土木研究所 正会員 炭村 透  
独立行政法人 土木研究所 正会員 星隈 順一

**1. はじめに** 現在多くの研究機関で、津波が橋梁に与える影響について実験及び解析的研究が行われている。しかし、支承部などの部材状態の評価を行うために、津波の作用によって橋に生じる力を定量的に評価した検討例は少ない。本研究は、津波によって橋桁に作用する力を評価する手法を構築することを目的として、橋に影響を与える津波の作用状態と橋桁に生じる力の評価方法について、著者らの既往の実験結果を基に検討した。

### 2. 橋に影響を与える津波の作用状態と橋に生じる力の関係

著者らがこれまでにに行った実験<sup>1)</sup>や、東北地方太平洋沖地震により発生した津波が橋に作用している時の映像解析による幸左らの研究<sup>2)</sup>から、津波により桁下の高さまで水位が上昇し、その後段波状の津波が作用する状況に着目した時、橋梁に最も影響を及ぼす状態としては次の2つの段階があると考えた。

#### ①津波が橋桁に到達した段階(状態Ⅰ)

津波が橋桁に到達した直後の状態では、**図-1**に示すように、橋桁には津波により津波作用側の耳桁に作用する力が水平方向に、また、床版張出し部底面に作用する力  $f_{vd1}$  と、津波により浸水した部分(緑色で示した部分)の浮力(ただし桁間の空気はそのまま保持される)  $f_{vs1}$  が上向きに作用する。

#### ②津波が橋桁の上を通過している段階(状態Ⅱ)

津波が橋桁の上を通過しているときには、津波が橋桁に到達した直後に作用する衝撃的な力は作用せず、橋桁を通過する流れによって作用する力が作用する。また**図-2**に示すように、橋桁が完全に水没する状態となるため、桁間の空気溜りを含む橋桁全体が浮力として作用する。

ここで、上記に示した以外の力は、十分小さく無視できると仮定すると、各段階(状態Ⅰ, 状態Ⅱ)において桁に作用する単位長さあたりの力は次式で表される。

水平方向に作用する単位長さあたりの力 鉛直方向に作用する単位長さあたりの力

$$\text{状態Ⅰ} : f_{H1} = 0.5\rho U_1^2 d C_{D1} C_{H1} C_r \quad (1) \quad \text{状態Ⅰ} : f_{V1} = f_{vs1} + f_{vd1} = 0.5\rho U_1^2 C_{L1} b' C_{vd1} + 0.5\rho g h b C_{vs1} \quad (2)$$

$$\text{状態Ⅱ} : f_{H2} = 0.5\rho U_2^2 D C_{D2} C_{H2} \quad (3) \quad \text{状態Ⅱ} : f_{V2} = f_{vs2} + f_{vd2} = 0.5\rho U_2^2 C_{L2} b' C_{vd2} + \rho g A \quad (4)$$

ここで、 $\rho$  は水の密度( $1000\text{kg/m}^3$ )、 $g$  は重力加速度( $9.8\text{m/s}^2$ )、 $d$  は主桁の高さ(m)、 $b$  は耳桁間の距離(m)、 $b'$  は床版張出し部の長さ(m)、 $D$  は橋桁の高さ(m)、 $A$  は桁間に生じる空気溜りを含めた桁断面積( $\text{m}^2$ )、 $h$  は波高( $h \geq d$  のときは  $d$ )(m)、 $U_1, U_2$  は各状態における津波速度(m/s)、 $C_{D1}, C_{D2}, C_{L1}, C_{L2}$  は津波到達時および津波通過時

キーワード 津波, 橋梁, 津波速度, 抗力係数, 揚力係数

連絡先 〒305-8516 つくば市南原 1-6 土木研究所 構造物メンテナンス研究センター TEL 029-879-6773

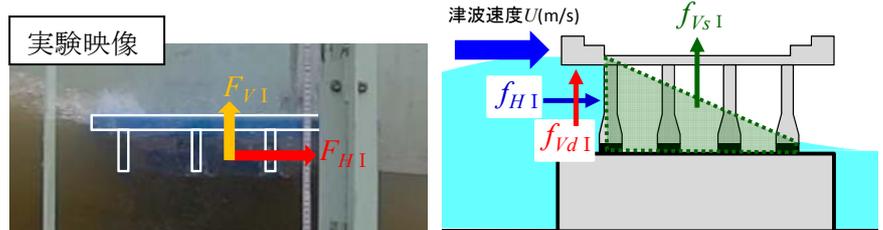


図-1 津波が橋桁に到達した段階の流況と桁に生じる力の関係(状態Ⅰ)

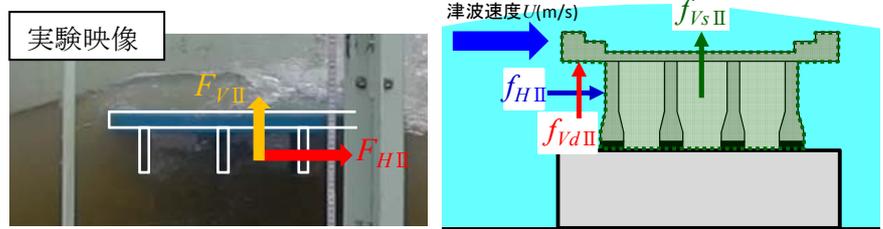


図-2 津波が橋桁の上を通過している段階の流況と桁に生じる力の関係(状態Ⅱ)

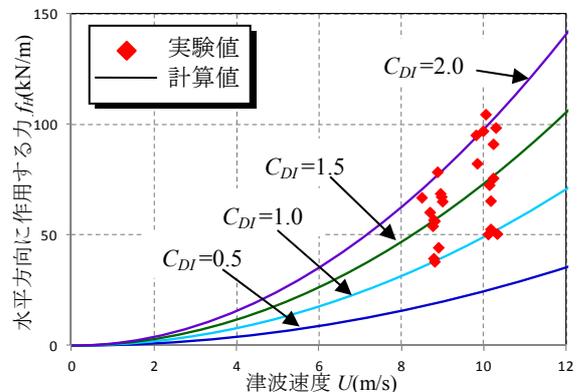


図-3 水平方向に作用する力の試算結果

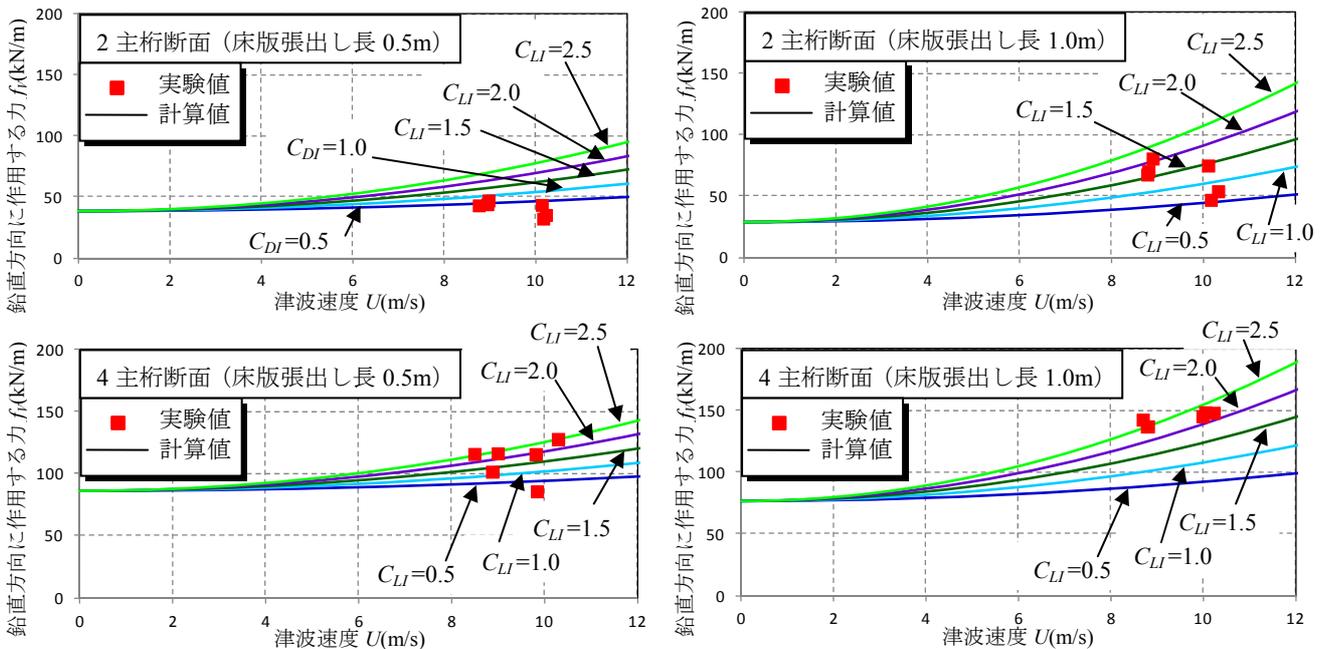


図-4 鉛直方向に作用する力の試算結果

の抗力係数および揚力係数である。また、 $C_{H1}, C_{H2}, C_{Vs1}, C_{Vs2}, C_{Va1}, C_{Va2}$ は津波特性による補正係数であり、橋桁の各部位に生じる圧力分布から算出される値である。 $C_r$ は浸水率であり、波高と主桁の高さの比( $h/d$ )から算出でき、波高が主桁の高さよりも大きいときは1となる。実際に橋に生じる力を評価する場合、上記に示した各段階における桁に生じる力を求め、力が大きい方の値を桁に生じる力とする。

**3. 2主桁および4主桁断面の橋に作用する力の試算** 上述した評価式を用いて、床版張出し長の異なる2主桁（主桁高  $d=1.4\text{m}$ ，橋桁幅  $b=5\text{m}$ ）および4主桁断面（主桁高  $d=1.4\text{m}$ ，橋桁幅  $b=10\text{m}$ ）に生じる力を試算した。本研究では、津波が橋桁に到達した段階（状態Ⅰ）における、単位長さあたりの津波により橋桁に作用する力を求めた。式中の補正係数は、著者らが別途行った実験<sup>1)</sup>から、主桁下部に生じる圧力は、主桁上部に生じる圧力の40%となる圧力分布を仮定し、作用高さ（ここでは主桁高  $d$ ）で積分することにより  $C_{H1}$ は0.7に設定した。同様に、床版張出し部底面先端の圧力は、床版張出し部底面の主桁側の圧力の25%となる圧力分布を仮定し、床版張出し長  $b'$ で積分することにより  $C_{Va1}$ は0.625、また、津波作用側と反対側の桁底面に生じる圧力は、津波作用側の主桁底面に生じる圧力の40%になる圧力分布を仮定し、耳桁間の距離  $b$ で積分することにより  $C_{Vs1}$ は1.4にそれぞれ設定した。

これらパラメータを用いて、津波速度および抗力係数、揚力係数を変化させたときの計算結果を、図-3および図-4に示す。図には著者らが行った水路実験（初期水位が桁下の高さまでであり、橋面および橋面を超える高さの津波が作用する条件<sup>1)</sup>による計測値（津波が橋桁に到達した時の最初のピーク値）も示した。水平方向に作用する力については、図-3より実験値は式(1)における抗力係数が1.0~2.0の範囲に相当する結果となる。一方、鉛直方向に作用する力については、図-4より一部の計算結果を除き、実験値は式(2)における揚力係数が1.5~2.5の範囲に相当していることがわかる。

**4. まとめ** 本研究では、橋に影響を及ぼす津波の作用状態を示すとともに、津波により橋桁に作用する力の評価方法を式(1)~式(4)のように提案した。また、著者らが別途行っている水路実験の結果<sup>1)</sup>に基づき、抗力係数および揚力係数の設定方法について提示した。

**参考文献** 1)中尾尚史，張広鋒，炭村透，星隈順一：津波速度の違いが上部構造の挙動に与える影響に関する実験的研究，第16回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，pp.421-428，2013。2)神宮司博志，幸左賢二，佐々木達生，佐藤崇：画像及び数値解析を用いた気仙大橋の津波被害分析，第16回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，pp.349-356，2013。