

橋桁に作用する津波波力評価及び波力低減手法に関する検討

(株) I H I 正会員 ○山内邦博

(株) I H I 正会員 上島秀作
九州工業大学 正会員 幸左賢二

1. 緒言

2011年3月11に発生した東日本大震災における巨大津波では、多くの橋梁で橋桁が流失する被害を生じた。日本における現行の設計法では、橋桁に津波が作用する事態が想定されていないことが一因である。2004年のスマトラ島沖地震（インド洋大津波）の被害調査を契機として、橋桁に作用する津波波力や、津波被害を軽減させるための対策について研究^{1), 2)}が行われてきたが、津波のような長周期波の現象を評価した例は少ない。本研究では、橋桁に作用する長周期の津波波力の評価手法及び橋桁を流失させないための対策（波力低減対策）について検討を行なった。



図-1 曳航試験装置

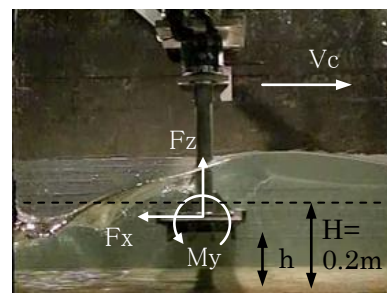


図-2 試験状況

2. 水槽実験

高潮や波浪とは異なり、津波は周期（波長）が長い現象であるため、津波波力を評価するためには長周期の水槽試験を実施する必要がある。フルード則によれば、縮尺1/50の模型を用いて周期 $T=90\text{sec}$ の造波を実施した場合、周期がおおよそ10min.の津波を再現していることになる。そのような長周期の波を対象とする場合には、定常的な波力で津波波力を概ね評価することが可能であると考え、曳航台車を用いた波力計測（曳航試験）を実施した。

図-1に試験設備を示す。長さ44m、幅2.5mの水槽を用い、静水深 $H=0.2\text{m}$ （実橋で10mを想定）として、フルード数： $Fr=V_c/\sqrt{gH}$ がおおよそ0.7及び1.0となるように、台車の曳航速度 V_c は1.0m/s及び1.4m/sとした。図-2に試験の実施状況を示す。モデル橋梁として、4主桁のプレートガーダー橋を縮尺1/50の2次元模型でモデル化した。実橋諸元としては、総幅員 $B=10\text{m}$ 、桁高 $D=3.4\text{m}$ （ $B/D\approx 3$ ）、死荷重10ton/m程度を想定している。桁下高 h が実橋で2m～9mとなるように、模型を所定位置（水深）に設置した状態を初期値（荷重ゼロ）とし、支持具（ロッド）に作用する波力は計測結果から差引いた。検討を実施した模型の断面を図-3に示す。

実橋に換算した津波波力（ $Fr=1.0$ ）を図-4に示す。曳航試験から得られた定常波力（ F_x 及び F_z ）を、以下に示す係数（ C_D , C_L ）に換算した後に実橋の諸元（桁高及び幅員、フルード数が実験と等しくなる流速 V ）に合わせて波力を算定した。 My の値は小さいため、ここでは割愛した。

- ・抗力係数： $C_D=2F_x/(\rho V^2 D)$
- ・揚力係数： $C_L=2F_z/(\rho V^2 B)$, ρ ：水の密度

$Fr=1.0$ の場合、実橋における津波の流速は $V=9.9\text{m/s}$ となる。桁下高が低いほど抗力が大きくなり、 $h=6\text{m}$ と比較的桁下高が大きい場合でも基準断面では死荷重の2倍程度の抗力が作用している。高欄を撤去した（或いは高欄が破壊された）対策断面⑦では30%程度、更に整流板（フェアリング）

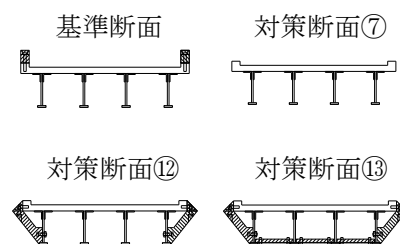
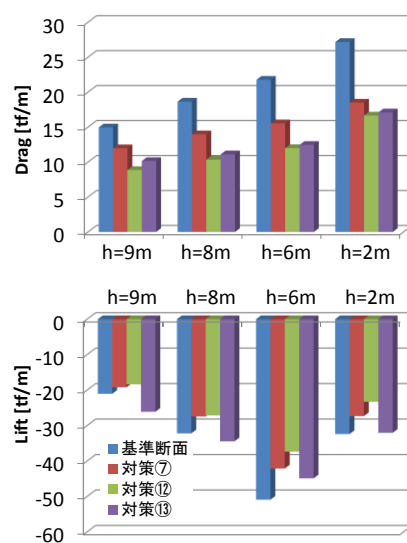


図-3 模型断面

図-4 津波波力（実橋換算）
($V=9.9\text{m/s}$, $Fr=1.0$)

キーワード 津波, 橋梁, 水槽実験, 数値流体解析

連絡先 〒235-8501 横浜市磯子区新中原町1 (株) IHI 電話 045-759-2866 FAX 045-759-2210

を設置した対策断面⑫及び⑬では 40%程度の抗力低減効果が見られた。対策により、津波による抗力を死荷重と同程度にまで低減することが可能であることから、現行の落橋防止構造を流用できれば桁の流失を防ぐことが可能であると考ええる。一方で、死荷重の数倍程度の下向きの揚力が作用している。

3. 数値流体解析

定常状態に至る過渡応答としての波力を評価する目的で、流れ解析を実施した。解析には航空港湾研究所の数値波動水槽 (CADMAS-SURF/3D) を用いた。1/50 縮尺の水槽実験を想定し、図-5 に示す傾斜床 (1:10 及び 1:100) を有する水路 (長さ 50m, 幅 1m, 高さ 1m, 水深 0.68m) をモデル化した。解析格子サイズは、水路の幅方向 (Y 方向) に 0.1m, 高さ方向 (Z 方向) に 0.005m で一定とし、長さ方向 (X 方向) には 0.1m~0.005m (桁近傍) とした。格子数は 618 (長さ) × 10 (幅) × 200 (高さ) = 1,236,000 である。入力波として、入口境界に波高 0.2m, 周期 90sec の正弦波 (押し波初動) を与えた。

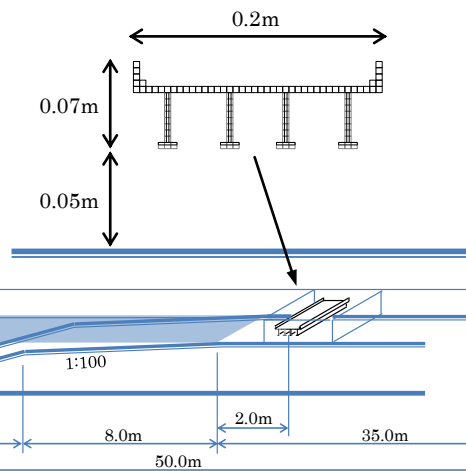


図-5 解析モデル

実橋に換算した津波波高及び波力を図-6 に示す。

橋桁が無い場合の津波波高の最大値と、その時の橋桁位置における流速の平均値からフルード数をおよそ 1.1 と見積もり、曳航試験と同様の手法で実橋の波力を算定した。抗力は時間とともに増加し、橋桁前面の波高が最大となる付近ではほぼ定常値と見なせる最大値を示した。曳航試験結果と同様に、対策により抗力が半減している。津波の抗力については、曳航試験の定常波力で評価することが可能であると考ええる。

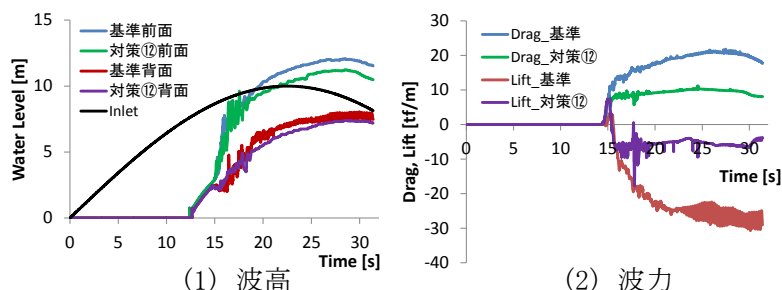


図-6 実橋換算結果

一方で揚力に関しては、津波の初期には上向きの力が作用し、その後下向きの力へ変化している。対策の有無により、下向きの揚力の大きさに違いが見られる。図-7 に示す最大波高付近の流速分布及び圧力分布から、対策前の桁下を流れる流速が大きく、床版下面の圧力が低下している様子が見て取れる。桁下の早い流れに伴う負圧により床版下面の圧力が低下し、桁上の水重量に抵抗できなくなることで、下向きの揚力が大きくなったものと考えられる。

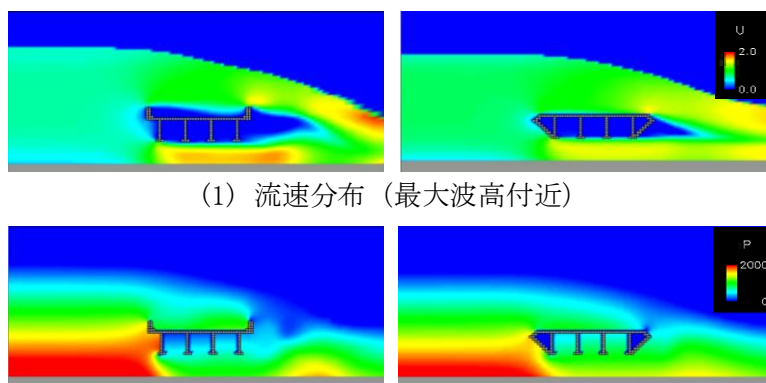


図-7 解析結果

4. まとめ

- ・津波の抗力は曳航試験の定常波力で概ね評価することができる。
- ・高欄撤去とフェアリング設置により、津波の抗力を死荷重と同程度にまで低減することができる。
- ・津波の初期には上向きの揚力が作用するが、その後は大きな下向きの揚力へ変化する。

参考文献

- 1) 幸左, 宮島, 藤間, 庄司ら: “津波による道路構造物の被害予測とその軽減策に関する研究”, 道路政策の質の向上に資する技術研究開発成果報告レポート, No. 19-2, 平成 22 年 6 月
- 2) 張, 薄井, 星隈: “津波による橋梁上部工への作用力の軽減対策に関する実験的研究”, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol. 66, No. 1 (地震工学論文集第 31 巻), pp425-433, 2010